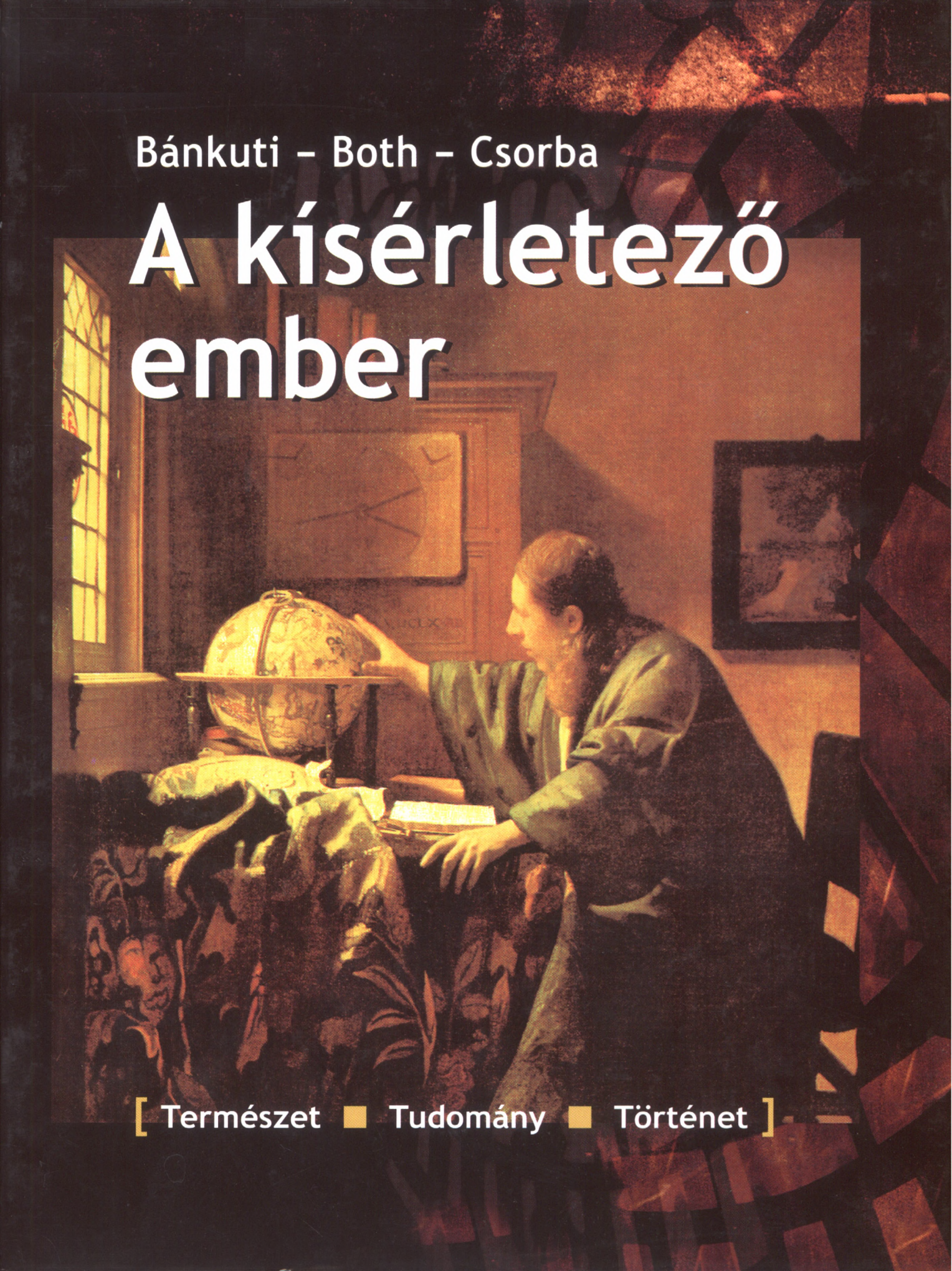
Bánkuti – Both – Csorba

A kísérletező ember



[Természet ■ Tudomány ■ Történet]

természet ■ tudomány ■ történet

A kísérletező ember

Szüleinknek

természet ■ tudomány ■ történet

Bánkuti Zsuzsa–Both Mária–Csorba F. László

A kísérletező ember



Kairosz Kiadó

A kötet a Váci Egyházmegye támogatásával készült.

A kötet lektorai:

Békési Sándor (XVI. és XVII. fejezet)
Dobos Tibor (XI. és XII. fejezet)
Horányi Gábor (XI., XIV–XV. fejezet)
Kertai Pál (XVI–XVIII. fejezet)
Lenkei Irén (XVI–XVIII. fejezet)
Pléh Csaba (XVI. és XVII. fejezet)
Vekerdi László (XI–XVII. fejezet)

A korábbi változatot lektorálta, vagy véleményével segítette: Balázs Lóránt, Csaba György Gábor, Gazda István, Fehér Márta, Hronszky Imre, Kiss János, Lust Iván.

Ábrák:

Bánkuti Zsuzsa
Csorba F. László
Papp György

Fedélterv:

László Csaba

A fedélen Fermeer van Delft, Jan „A földrazjtudós”
című festménye látható

Minden jog fenntartva, A mű egészének vagy bármely részének
mechanikus, illetve elektronikus másolása, sokszorosítása,
valamint információszolgáltató rendszerben való tárolása
és továbbítása a Kiadó előzetes írásbeli engedélyéhez kötött.

© Both Mária, Bánkuti Zsuzsa, Csorba F. László,
Kairosz Kiadó, Budapest, 2006

ISBN 963 9642 03 7

Tartalom

Előszó a második kötethez 11

XI. VONZÁS ÉS TASZÍTÁS

1. Elektrosztatika 15
   1.1 Elektromos alapjelenségek 15
   1.2 Elméletek az elektromosság magyarázatára 16
      1.2.1 A kétfolyadékos elmélet 16
      1.2.2 Az egyfolyadékos elmélet 17
   1.3 Coulomb törvénye 18
   1.4 Az elektrosztatikus mező 19
      1.4.1 Az erőtér mint fizikai realitás 19
      1.4.2 A térerősség 20
      1.4.3 Feszültség, potenciál 22
   1.5 Töltés elhelyezkedése a vezetőkön 23
   1.6 Kondenzátorok 26

2. Magnetosztatika 29
   2.1 Mágneses alapjelenségek, iránytű 29
   2.2 A mágneses tér 30
   2.3 Az anyagok mágnesezhetősége 30
   2.4 A Föld mint mágnes 31
      2.4.1 A Föld mágneses tere 31
      2.4.2 A pólusvándorlás 32

3. Az elektrodinamika megszületése 33
   3.1 Az elektromos áram 33
      3.1.1 Galvani és Volta 33
      3.1.2 Elektromos egyenáram, áramforrások 34
   3.2 Elektromosság és mágnesség 34
      3.2.1 Az elektromos áram mágneses hatása 34
      3.2.2 Áramok egymásra hatása 35
      3.2.3 Az elektromágnes 36
   3.3 Feszültség, áramerősség, ellenállás az áramkörben 37
      3.3.1 Ohm törvénye 37
      3.3.2 Soros kapcsolás 38
      3.3.3 Párhuzamos kapcsolás 39
      3.3.4 Vegyes kapcsolás 39
   3.4 Az elektromos áram hőhatása 40
      3.4.1 Az elektromos áram által termelt hő 40
      3.4.2 Az áram munkája és teljesítménye ... 40
   3.5 Az áram biológiai hatása 41

4. Elektromosság és kémia 43
   4.1 Az elemzés eszköze: az elektromosság 43
      4.1.1 Elméleti megfontolások 43
      4.1.2 Gyakorlati eredmények 43
   4.2 Berzelius elmélete 45
      4.2.1 Savak, bázisok, sók – tapasztalatok . 45
      4.2.2 Az első magyarázat-kísérletek 46
      4.2.3 Berzelius elmélete 46
   4.3 Arrhenius elmélete 49
      4.3.1 Problémák és megoldás-keresés 49
      4.3.2 Arrhenius megoldása 50
      4.3.3 Savak és bázisok erőssége 52
      4.3.4 A kémhatás mértéke a pH 52
      4.3.5 Az indikátorok működése 53
   4.4 Brönsted elmélete 54
      4.4.1 A disszociáció: kölcsönhatás 54
      4.4.2 Brönsted sav-bázis elmélete 56
   4.5 Az elemi töltés 57
      4.5.1 Elektrolízis a gyakorlatban 57
      4.5.2 Faraday elektrolízis-törvénye 58
      4.5.3 Az elektron és a proton 60
      4.5.4 A vezetők típusai 62
   4.6 Elektronok több atom vonzásában 64
      4.6.1 Rácstípusok 64
      4.6.2 A redox folyamatok általános elmélete 67
      4.6.3 Polaritás és halmaztulajdonságok 67
   4.7 Kémiai és elektromos energia 70
      4.7.1 A galvánelem működése. Standard potenciálok 70
      4.7.2 A korrózió 74
      4.7.3 Az akkumulátor és a tüzelőanyag elem 75

XII. VÁLTOZATOK HAT ELEMRE (Szerves kémia)

1. Élő és élettelen határán 81
   1.1 A titokzatos életerő 81
   1.2 A szerves kémia ma 82

2. Képlet és valóság 83
   2.1 Összetétel és összegképlet 83
   2.2 A szerkezeti képlet 83
   2.3 A térszerkezet 84

3. A szénhidrogének 87
   3.1 Csoportosítás, elnevezés, jelölés 87
      3.1.1 Csoportosítás 87
      3.1.2 A telített szénhidrogének jelölése és elnevezése 88

3.1.3 A telítetlen szénhidrogének jelölése és elnevezése ... 90
3.1.4 A gyűrűs szénhidrogének elnevezése 90
3.2 A kőolaj és a földgáz ... 91
3.2.1 Az eredet kérdése ... 91
3.2.2 Kitermelés és felhasználás ... 92
3.2.3 Környezeti hatások ... 94
3.3 Az alkánok tulajdonságai ... 95
3.3.1 Fizikai sajátságok ... 95
3.3.2 Kémiai reakciók ... 96
3.4 A telítetlen szénhidrogének tulajdonságai ... 98
3.4.1 Addíció és térszerkezet ... 98
3.4.2 Polimerizáció, műanyagok ... 100
3.5 Az aromás szénhidrogének ... 103
3.5.1 A név eredete ... 103
3.5.2 A benzol szerkezete ... 103
3.5.3 A stabilitás magyarázata ... 105
3.5.4 A benzol származékai ... 105

4. Egyszerű oxigéntartalmú vegyületek ... 107
4.1 A funkciós csoportok ... 107
4.1.1 Elnevezések ... 107
4.1.2 Összetett funkciós csoportok ... 108
4.1.4 Elnevezésük ... 109
4.2 A funkciós csoportok hatásai ... 111
4.2.1 Fizikai tulajdonságok ... 111
4.2.2 Redoxi reakciók ... 112
4.2.3 Sav-bázis reakciók ... 114
4.2.4 Funkciós csoportok kölcsönhatása ... 115
4.3 Egyszerű oxigéntartalmú vegyületek környezetünkben ... 117
4.3.1 Alkoholok ... 117
4.3.2 Éterek és oxo-vegyületek szenesedő fadarabok éghető gázok (pl. etén) ... 118
4.3.3 Karbonsavak ... 119
4.3.4 Észterek ... 121

5. Molekulahalmazok belső rendje ... 126
5.1 Szappanok és más mosószerek ... 126
5.1.1 Szappanfőzés ... 126
5.1.2 A micellák ... 127
5.1.3 Egyéb mosószerek és hatásaik ... 128
5.2 Membránok és habok ... 129
5.2.1 Habok ... 129
5.2.2 Membránok ... 130

6. Aszimmetrikus molekulák ... 132
6.1 Fényforgatás ... 132
6.1.1 A forgatóképesség felfedezése ... 132
6.1.2 Ábrázolás, jelölés ... 133
6.1.3 Több kiralitáscentrumot tartalmazó molekulák ... 133
6.2 Élet és aszimmetria ... 133
6.2.1 Pasteur meglepő eredményei ... 133
6.2.2 Az aszimmetrikus élet ... 134
7. A szénhidrátok ... 136
7.1 Egyszerű cukrok (monoszaharidok) ... 136
7.1.1 A szőlőcukor szerkezete ... 136
7.1.2 Egyéb egyszerű cukrok ... 138
7.2 Összetett cukrok ... 139
7.2.1 Diszaharidok ... 139
7.2.2 Poliszaharidok ... 140

8. Nitrogéntartalmú vegyületek ... 144
8.1 Az aminok ... 144
8.2 Aminosavak és peptidek ... 146
8.3 A fehérjék szerkezete ... 148
8.3.1 Elkülönítés ... 148
8.3.2 Az aminosav-összetétel ... 150
8.3.3 Az aminosav-sorrend ... 151
8.3.4 A másodlagos szerkezet ... 152
8.3.5 A harmadlagos szerkezet ... 155
8.3.6 A funkció (enzimhatás) ... 156
8.3.7 A térszerkezet kialakulása: stresszfehérjék és prionok ... 158

9. Kolloidika ... 162
9.1 A kolloid rendszerek ... 162
9.2 Kolloidok adszorpciója ... 163
9.3 Kolloidok stabilitása ... 164

XIII. AZ ÉLET KÉMIÁJA

1. A biokémiai modell ... 169
1.1 Új tudományág születik ... 169
1.2 Felépítés és lebontás ... 169
1.3 Az életmódok ... 170

2. A fotoszintézis ... 173
2.1 A színtestek szerepe ... 173
2.2 A fotoszintézis részfolyamatai ... 173

3. Lebontó folyamatok a sejtben ... 177
3.1 Az erjedés ... 177
3.1.1 Erjedés élő sejtekben ... 177
3.1.2 Az energianyerés két útja (a Pasteur-hatás) ... 178
3.1.3 Erjedés sejtmentes közegben ... 179
3.2 A biológiai oxidáció lépései ... 179
3.2.1 Glükolízis ... 179
3.2.2 A citromsav-ciklus ... 180
3.2.3 A végső oxidáció ... 182
3.2.4 A lebontás más útjai ... 182
3.3 A mitokondriumok szerepe ... 182
3.3.1 A mitokondrium ... 182
3.3.2 A „sejt motorja” ... 183
3.3.3 A működés modellje ... 185

4. A sejt, az élet egysége ... 187
4.1 A sejt anyagcsere-térképe ... 187
4.1.1 Reakcióhálózatok ... 187
4.1.2 Az anyagcsere zsákutcái (vitaminok és esszenciális anyagok) ... 188
4.1.3 Az anyagcsereutak szabályozása ... 189
4.2 Szerkezet és működés ... 191

4.2.1 A sejt határán (membránfolyamatok) 191
4.2.2 Membránok a sejten belül 193
4.2.3 Felismerés és üzenetátadás 194
4.2.4 Sejtváz és mozgás 195
4.3 Sejttípusok 196

5. Az emésztés 200
5.1 Az emésztés formái 200
5.2 Emésztés az emberben 201
5.2.1 Fizikai folyamatok 201
5.2.2 Az emésztés kémiája 204
5.3 A fölszívódás 205
5.4 Táplálkozás és egészség 206

6. A tápanyagok útja a sejtekig 210
6.1 Vér és nyirok 210
6.2 A máj szerepe 210
6.3 Mi történik a hajszálerekben? 212
6.4 A nyirokkeringés 212

7. A vér biokémiája 214
7.1 A vér összetétele 214
7.2 A légzési gázok szállítása 214
7.2.1 A szállítás módja 214
7.2.2 Alkalmazkodás és rendellenességek 217
7.3 A véralvadás 218

8. A kiválasztás 221
8.1 Elválasztás és kiválasztás 221
8.2 Kiválasztás az élővilágban 222
8.3 Az emberi vese működése 222
8.3.1 Fölépítése 222

9. Az izomműködés biokémiája 226
9.1 A kérdésfölvetés 226
9.2 A mikroszkópos szerkezet 226
9.3 A kémiai összetétel 227
9.4 A csúszószál-modell 227
9.5 Energiaigény 228

XIV. FÉNY ÉS HANG

1. Geometriai optika 233
1.1 A visszaverődés 233
1.2 Tükrök 234
1.3 Fénytörés 236
1.4 Lencsék 237
1.5 Mikroszkópok 238
1.6 Távcsövek 239
1.7 Fényképezőgépek 240
1.8 A szem optikája 241
1.9 Szembetegségek 242
1.10 Más típusú szemek 243
2. Rezgések 245
2.1 Ingák és húrok 245
2.2 A rezgőmozgás 247
2.2.1 A rezgőmozgás dinamikája 247
2.2.2 A rezgőmozgás kinematikája 248
2.2.3 Rezgések összetétele 250
2.2.4 Kényszerrezgések, rezonancia 253
2.3 Hullámok 254
2.3.1 A hullámok keletkezése 254
2.3.2 Hullámjelenségek 256
2.4 Akusztika 263
2.4.1 A hang terjedési sebessége 263
2.4.2 A hanghullám jellemzőinek kapcsolata a hangérzettel 264
2.4.3 A hangszerek és az emberi hang 266
2.4.4 A Doppler-effektus 267

3. Fizikai optika 269
3.1 A fény sebessége 269
3.2. Részecske vagy hullám? 270
3.2.1 Newton válasza 270
3.2.2 Huygens és a hullámelmélet 272
3.3 A XIX. század optikája 275
3.3.1 Interferenciakísérletek 275
3.3.2 Fényelhajlás 277
3.3.3 A fény polarizációja 280
3.3.4 A fény terjedése különböző közegekben 281

XV. LÁTHATATLAN HULLÁMOK

1. Az áramok keltette mágneses mező 285
1.1 Erővonalak 285
1.2 A mágneses mező mennyiségi jellemzése 285
1.3 Különböző mágneses mezők 287
1.3.1 A mágneses mezők tulajdonságai 287
1.3.2 Vonzás és taszítás 287

2. Az elektromágneses indukció 289
2.1 Az elektromágneses indukció felfedezése 289
2.2 Az indukció törvényei matematikai alakban 290
2.2.1 A nyugalmi indukció 290
2.2.2 A mozgási indukció 290
2.3 Az önindukció 291
2.4 Az elektromágneses jelenségek gyakorlati alkalmazásai 292
2.4.1 A generátor és a dinamó 292
2.4.2 Az elektromotor 294
2.4.3 A transzformátor 296
2.4.4 Az elektromos hálózat 297
2.4.5 A rezgőkör 298

3. A Maxwell-elmélet 300
3.1 Az elektrotonikus állapot – matematikai absztrakció vagy fizikai valóság? 300
3.2 Az eltolódási áram 301
3.3 A Maxwell-egyenletből levonható következtetések – új távlatok, régi korlátok 302
3.4 A kísérleti bizonyíték 303
3.5 Gyakorlati alkalmazások 305

3.5.1 A rádióadó 305
3.5.2 A rádióvevő 305
3.6 A Lorentz-féle elektronelmélet 306
3.7 Az elektromágneses színkép 307
3.7.1 Az infravörös sugárzás 307
3.7.2 Az ultraibolya sugárzás 308
3.7.3 Rádióhullámok 308
3.7.4 A röntgensugárzás 309

XVI. ÉSZ ÉS ÖSZTÖN
(pszichológia, etológia)

1. A kísérleti pszichológia 313
1.1 Útkeresés 313
1.2 Pszichológia a laboratóriumban 314
1.2.1 Az érzetek erőssége 314
1.2.2 A reakcióidők 314
1.2.3 A memória működése 315
1.2.4 A lélek „térképe” Wundt szerint 316

2. A behaviorizmus 320
2.1 Továbblendítő problémák 320
2.2 A reflex-fogalom átalakulása 320
2.3 A feltételes reflex 322
2.4 Az amerikai behavioristák 324
2.5 A behaviorizmus buktatói 327

3. Az alaklélektan 329
3.1 Az Egész pszichológiája 329
3.2 Tanulás belátással 331
3.3 Alaklátás és megismerés – a kognitív pszichológia kezdetei 333
3.4 Az alaklélektan problémái 334

4. Az etológia 337
4.1 A kérdésfölvetés 337
4.2 Az etológia kibontakozása 338
4.2.1 Az öröklött mozgásminták 338
4.2.2 Tájékozódás térben és időben 340
4.3 Nyílt és zárt programok 342
4.4 Kulcsinger és motiváció 344
4.4.1 A kulcsinger 344
4.4.2 A motiváció 345
4.4.3 Döntési sémák 346
4.5 Agresszió, önzetlenség, erkölcs 347
4.5.1 A biológiai funkció 347
4.5.2 A rítusok 348
4.5.3 Az ember (humánetológia) 350

XVII. A TUDATTALAN BIRODALMA
(Mélylélektan és filozófia)

1. Szabadság és lelkiismeret 355
1.1 A belső várkastély 355
1.2 A szív érvei (Pascal) 356
1.3 A „természetes ember” (Rousseau) 358
1.4 „A világ mint akarat és képzet” 359
1.4.1 Kelet hatása 359
1.4.2 A világakarat (Schopenhauer) 360
1.5 Az „emberfeletti ember” (Nietzsche) 362
1.6 „Az élet tisztelete” (Schweitzer) 364

2. A pszichoanalízis 367
2.1 A tudattalan felfedezése 367
2.1.1 Gyógyító erők 367
2.1.2 Gyógyítás a felvilágosodás korában 367
2.2 Freud elmélete 369
2.2.1 A pszichoanalízis születése 369
2.2.2 A tudattalan megismerésének módszerei és problémái 371
2.2.3 A lelki folyamatok dinamikája 373
2.2.4 A személyiség rétegei 374
2.2.5 Kultúra, erkölcs, vallás – Freud szerint 376
2.3 A lélekelemzés irányzatai 380
2.3.1 Az eredet keresése: néprajz 380
2.3.2 Választott sors (Szondi) 381
2.3.3 A hatalomvágy (Adler) 381
2.4 A tudattalan kitágítása (Jung) 383
2.4.1 A személyes tudattalan 383
2.4.2 A lélektani típusok 385
2.4.3 A kollektív tudattalan 387
2.5 A személyiség 391
2.5.1 Az értelemre irányuló kérdés (Frankl) 391
2.5.2 A személyiség kibontakozása 393

3. A mindennapi élet pszichológiája 397
3.1 Érzelmek 397
3.1.1 Érzelem és hangulat 397
3.1.2 Az érzelmek zavarai 397
3.2 Gondolkodás és intelligencia 400
3.2.1 A gondolatmenet 400
3.2.2 Zavart gondolkodás 400
3.2.3 Az intelligencia 401
3.3 Kommunikáció 402
3.3.1 Emberi és állati kommunikáció 402
3.3.2 Metakommunikáció 403
3.3.3 Meggyőzés, reklám, propaganda 404
3.4 Életpályák 406
3.4.1 Pályaválasztás 406
3.4.2 Játék és sport 407
3.4.3 Az iskola 408
3.4.4 Alkotás és befogadás 409

XVIII. A SZERVEZET

1. Szabályozás és vezérlés 413
1.1 A gép, mint modell 413
1.1.1 Szabályozott folyamatok 413
1.1.2 Az automaták 413
1.2 A kibernetikai modell 415
1.3 A homeosztázis 417

1.3.1 A belső környezet 417
1.3.2 Állandóság nyílt rendszerekben 418
1.3.3 Stabilitás és változékonyság – a homeosztázis új értelmezése 419

2. A hormonális rendszer 421
2.1 A hormonok 421
2.2 Hormonok az élővilágban 421
2.2.1 Növényi hormonok 421
2.2.2 Állati hormonok és feromonok 423
2.3 Szabályozás hormonok útján 424
2.3.1 A kalcium-koncentráció szabályozása 424
2.3.2 A cukor-anyagcsere szabályozása 425
2.4 Vezérlő szerepű emberi hormonok 428
2.4.1 Az emésztés irányítása 428
2.4.2 Ciklikus folyamatok 429
2.4.3 Egyirányú folyamatok 429
2.4.4 Az agyalapi mirigy (hipofízis) 430

3. Az idegrendszer 433
3.1 Az idegsejt 433
3.1.1 Fölépítésük 433
3.1.2 Elemi idegműködések 434
3.1.3 A szinapszis 436
3.1.4 „Minden vagy semmi” 438
3.1.5 Az „elemi” idegműködés zavarai 440
3.1.6 Kábítószerek (drogok) 440
3.1.7 Hormonok és idegsejtek 442
3.1.8 Az ideg-izom kapcsolat 444
3.2 A szerveződés módjai 446
3.2.1 Idegrendszer-típusok az állatvilágban 446
3.2.2 A gerincvelő 447
3.2.3 Az agy felépítése 449
3.2.4 A szervek autonómiája 450
3.2.5 A vegetatív idegrendszer 451
3.2.6 Vegetatív szabályozó működések 452
3.2.7 Egy sok funkciójú szerv: a bőr 454
3.2.8 Stressz és nyugalom 456
3.2.9 Az érzelmek iskolája 457
3.3 Az érzékelés 461
3.3.1 Érzéklet és valóság 461
3.3.2 Érzékcsalódások 461
3.3.3 Az adekvát inger 462
3.3.4 A látvány mozgófilm-modellje 464
3.3.5 A retina 467
3.3.6 A színlátás 470
3.3.7 A formák felismerése 472
3.3.8 A látvány, mint öntudatlan ..... következtetés 474
3.3.9 A hallószervek anatómiája 478
3.3.10 A belső fül 480
3.3.11 A hallópálya 482
3.3.12 A helyzetérzés 483
3.4 Mozgás és érzelem 486
3.4.1. Az elhatározástól a mozdulatig 486
3.4.2 A mozgáselemek összehangolása 487
3.4.3 A mozgások kiváltói: érzelem, késztetés 488
3.5 Emlékezet és figyelem 489
3.5.1 Memória-modellek 489
3.5.2 Ébrenlét, alvás, figyelem 491
3.5.3 Az alvás és az álom élettana 492
3.6 Agyi aszimmetriák 494

4. Az immunitás 497
4.1 Harc a kórokozókkal 497
4.1.1 A járványok 497
4.1.2 Az anyák megmentője: Semmelweis 497
4.1.3 Pasteur és kora 499
4.1.4 Baktériumok és vírusok 501
4.2 A védekező szervezet 503
4.2.1 Sejtes és humorális immunválasz 503
4.2.2 Vércsoportok 505
4.2.3 Szervátültetések 506
4.2.4 Az immunrendszer sejtjei és molekulái 508
4.2.5 Az immunrendszer betegségei 511

5. Egészség – betegség 514
5.1 Sokszálú egészség – sokténye zős kórok 514
5.2 Kockázat és betegség 515
5.3 Test és lélek „kölcsönhatása” 517
5.3.1 Megküzdési stratégiák: az egészség tanult elemei 517
5.3.2 Idegek, hormonok, immunitás 518
5.3.3 A homeosztázis őre: a fájdalom 520

Idegen eredetű szavak és jelentésük/II. 525

Felhasznált képek jegyzéke 531

Előszó a második kötethez

Háromrészes sorozatunk előző kötete, a *Források*, azokat a szellemitörténelmi áramlatokat mutatta be, melyek elvezettek a mai természettudományok kibontakozásához. Ízelítőt adott a mechanikai-atomisztikus világkép gazdagságából: a Naprendszer bolygóinak mozgását Newton törvényei írják le, a vegyületeket tömegpontok vonzása és taszítása tartja fenn, a Földet a napenergia egyenlőtlen eloszlása miatt mozgásba lendülő és övezetes mintázatokba rendeződő szél- és víztömegek formálják, az élőlények harmonikus mikrokozmoszát kölcsönös mechanikai összefüggések, korrelációk hangolják össze és kapcsolják környezetükhöz. A kor filozófiája is e világkép két forrásának – a tapasztalásnak és az értelemnek – termékeny küzdelméről és egymásra épüléséről szól.

Hogyan élt ezzel a szellemi örökséggel a XIX-XX. század tudománya? Ezt követi nyomon jelen kötetünk, melynek címét – *A kísérletező ember* – Németh László tanulmányából kölcsönöztük. A *kísérlet* az empíria és a ráció szövetsége: a világnak föltett értelmes kérdések sora. A kor embere ezt a hatékony módszert teszi elemzésének eszközévé. Akár a fény és az elektromosság a vizsgálódás tárgya, akár a vegyületek szerkezete és biológiai funkciója, akár önmagát elemzi így a vizsgálódó ember – mint a lélektan és a humánetológia esetében – a kísérleti munkára alapozott tudatos analízis pontosságát és értelmező erejét csodálhatjuk meg. De e kutatók szorgalma több is, más is mint valamilyen módszer puszta ismételgetése, szolgai alkalmazása. Munkájukat leleményesség, kíváncsiság, lelkesedés, kétkedés, becsvágy teszi egyedivé, emberivé. A szellem, a „rendező nyugtalanság" emberei ők, akikre jól illenek Németh László sorai: „A szellem emberét az jellemzi, hogy nem olthatja el magában a teljesség szomját, s nem nyomhatja el az egész iránti felelősség érzetét. Szívesen foglalkozik a részletekkel, de az egész felől száll feléjük, s egy még nagyobb egész felé tör rajtuk át utat" (Új enciklopédia). Ez a vágyott, de előre nem látható teljesség néha váratlanul jelenik meg a részletek vizsgálója előtt. Sejthette-e előre Semmelweis, hogy a bécsi halálozási statisztikák összehasonlító elemzése a fertőzések megelőzésének általános elvéhez (és gyakorlatához!) vezet majd? Tudhatta-e, a poláros fény forgatóképességének első leírója, hogy e látszólag érdektelen jelenség Pasteur előtt a mikrobiológia, van t'Hoff előtt pedig a térbeli kémia egész kiterjedt birodalmát nyitja meg? Ami e kor tudományának tanulmányozását – gyakorlati hasznán túl – a mai olvasó előtt is izgalmassá teheti, az éppen e kettősség: az objektív összefüggések léte és a kanonizálódó kutatási módszerek ellenére meglepetések és kiszámíthatatlan fordulatok sora vezet mai tudásunkig. És a tudás e változatai – noha sokszor kibékíthetetlennek tűnő ellentétben állnak egymással – valójában soha nem érvénytelenítik, hanem kiegészítik egymást. A régi tudás nem avul el, hanem új fényben ragyog föl, mert tévedéseivel, hiányaival együtt is ugyanazt a teljességet tükrözi a maga részleges módján, mint szellemi vetélytársai. Így bukkan föl a flogisztonelmélet az oxidáció elektronelméletében, Püthagorasz harmóniái a rezgő húrok hullámtani leírásában és a homeosztázis modern fogalmában vagy az alkímia és a mítoszok egész elfeledettnek hitt világa Jung pszichológiai elemzésének fényében.

A könyv szerzői remélik, sikerült fölidézniük a fölfedezések szellemi izgalmát éppúgy, ahogy maguknak a fölfedezett tényeknek, kidolgozott elméleteknek a megértéshez szükséges mélységű leírását is. A XIX–XX. század szellemi áramlatainak szövevényéből e kötetben azokat emeltük ki,

melyek a klasszikussá vált elődök – Descartes, Galilei, Cuvier, Kant – örökségének közvetlen folytatói. E tudományágak szemléletében közös az analízisnek és az okság elvének általános elfogadása, az időtlen összefüggések keresése, az objektív véletlen tagadása. Ezekkel párhuzamosan létrejöttek más tudományos-szellemi irányzatok is, melyek a valószínűség és a történetiség segítségével rendezték újra ismereteinket. Ezekkel az áramlatokkal foglalkozik majd a *Sokaság és történelem*, sorozatunk befejező kötete.

Verőce, 2005. 07. 09.
a szerzők

A margó szerepe

A szöveg mellett futó margón **NAGYBETŰVEL** jelöltük a bekezdésben szereplő kulcsfogalmakat. Ezek a fejezeten belüli tájékozódást könnyítik meg.

*

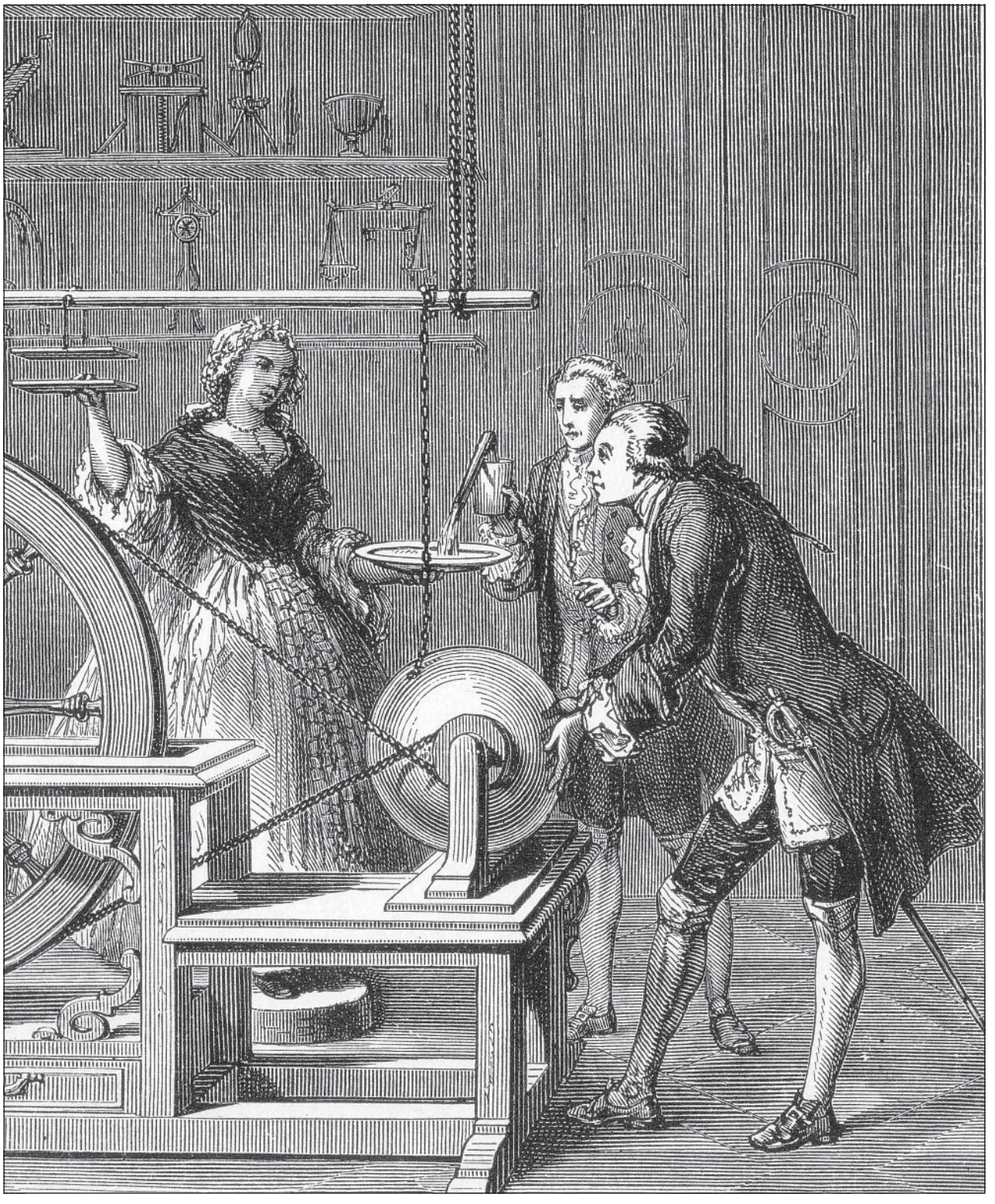
A fejezetek közti mozgáshoz a kisbetűs utalások adnak támpontokat. Ezek kapcsolatokat jeleznek a szöveg távoli részei közt. A ← jel korábbi, a → jel későbbi részletesebb kifejtésének helyét mutatja. Kapcsolatot jelent az ellentét, vagy a mitikus és tudományos fogalom összevetése is.

*

Az utalások ötletadók, nem a teljesség igényével készültek. Számukat az Olvasó is gyarapíthatja, kiemelve azokat az összefüggéseket, melyeket fontosnak vagy hasznosnak tart.

Az irodalomjegyzékben a következő jelek szerepelnek:
♒ Forrásmunka, a könyvben szereplő szerzők eredeti írása
⌘ Értelmezés, életrajz, kézikönyv
✍ Gazdagon illusztrált könyv

XI. VONZÁS ÉS TASZÍTÁS



Láttam, hogy szamotrák gyűrűk mint jártak alá s fel,
S réztálcákon a vasreszelék mint járta a táncot,
Hogyha az ember mágneskőt húzgált el alatta.
Látszik, mennyire vágyik a vas menekülni e kőtől,
Oly nagy visszavonást kelt köztük a közbeeső réz. (…)
Ám e jelenség nincs oly távol más anyagoktól,
Hogy több is ne kerülne elém például azokból,
Mik közt mondhatnám, szintén efféle viszony van.
Látjuk, hogy tapad egybe a kő pusztán csak a mésztől,
És bikavér-enyvtől úgy összeragadnak a deszkák,
Hogy száluk rossz volta miatt hamarább repedeznek,
Mintsem az enyv-kötelék engedne az összekötésnél.
Összevegyülhet a szőlőtőke nedűje a vízzel,
Míg a nehéz szurok ezt nem tudja s a könnyű olaj sem.
És a bíborcsiga színe úgy összekötődik a gyapjú
Testével, hogy nem válnak többé el azontúl,
Nem, bár mosd el Neptunus valamennyi vizét rá,
S nem, ha egész tenger minden hulláma locsolná.
Végül: nincs-e olyan, mi aranyt kötöz egybe arannyal,
És a rezet rézzel nem a cink kapcsolja-e össze?
S mennyi ilyen dolgot lelhetnénk még, de mi végre?
Sem teneked nincsen szükséged hosszú beszédre,
S én sem tartom jónak e tárgynál annyit időzni,
Ám kevesebb szóval szeretek többet kifejezni,
Miknek akként alakult hát kölcsönösen szövedékük,
Hogy hol az egyik üres, s telten néz szembe a másik,
Ott jön létre a legszorosabb kötelék a világon.

Lucretius: De rerum natura VI. könyv (részlet)
Tóth Béla fordítása

1. Elektrosztatika

1.1 Elektromos alapjelenségek

Az „elektromos” elnevezés a görögöktől származik. A borostyánkövet nevezték elektronnak, „kikapart”-nak, mert az egykor élt tűlevelű fák megkövesedett gyantáját a tenger homokjából kaparták ki. A milétoszi Thálész (i.e. 624–547) írta le elsőként a megdörzsölt borostyánkő (napkő) különleges állapotát, amelyben apró kis tárgyakat (porszem, rost, hajszál, tollpihe, száraz falevél, stb.) magához vonz, majd eltaszít.

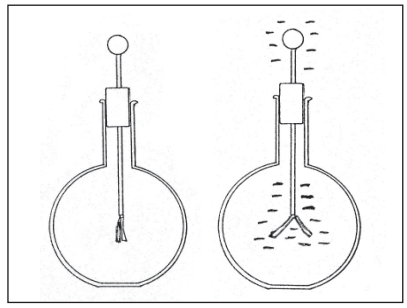
Tudományos kísérleteket e varázslatos jelenséggel először William Gilbert (1544-1603) angol orvos, természettudós végzett, aki a borostyánkő mellett más anyagok elektromos állapotát is kimutatta, pl. az üvegét, kénét, viaszét, egyes drágakövekét. Úgy tapasztalta, hogy két, megfelelő anyag összedörzsölésekor a megdörzsölt test és a dörzsölő anyag kölcsönösen vonzza egymást. Az azonos módon elektromossá tett hasonló természetű anyagú testek viszont taszítják egymást.

Gilbert az elektromos hatás kimutatására vízszintes tengelyre rögzített szalmaszálat használt, vagyis elkészítette az első egyszerű **elektroszkóp**ot. Az elektroszkóp az elektromos állapot jelzésére és összehasonlítására szolgáló készülék. Ezek közül a legegyszerűbb, az elektromos inga ma is használatos: egy szigetelőre (száraz selyemszálra) függesztett könnyű vezető, pl. fémbevonattal ellátott bodzabélgolyó.

Finomított változatában (lemezes elektroszkóp) zárt üvegedénybe nyúló fémrúd végén két fémfólia lóg. Az elektroszkóp lemezkéi semleges állapotban függőlegesek, hiszen csak a nehézségi erő hat rájuk. Ha a semleges fémrudat kívülről megérintjük egy megdörzsölt testtel („feltöltjük”), akkor a fémfóliák is feltöltődnek a megdörzsölt testhez hasonlóan, így az azonos állapot taszító hatása miatt eltávolodnak egymástól. A szétágazás nagyságából következtetni lehet az elektromos állapot erősségére is. Ha a feltöltött elektroszkópot kézzel megérintjük, a lemezek újra függőlegesek lesznek.

Stephen Gray (1666–1737) megfigyelései alapján csoportosította az anyagokat elektromosokra, azaz dörzsöléssel elektromossá tehetőkre (pl. üveg, borostyán, gyanta, selyem) és nem elektromosokra, vagyis amelyek dörzsöléssel nem tehetők azzá (pl. fémek). A nem elektromos anyagok ma használatos neve **vezető**, míg az elektromosnak nevezettek a **szigetelők**. A vezetőkön könnyen, gyorsan elterjed az elektromos állapot, a szigetelőkön pedig nehezen. Ha szigetelő nyélre helyezett fémet csak egyetlen ponton is megérintünk egy elektromos állapotú testtel, akkor teljes felületén elektromos állapotú lesz, míg a szigetelők csak a dörzsölés vagy érintés helyén mutatnak elektromosságot, a test többi része semleges marad.

Az elektromos állapot létrehozása kézi dörzsöléssel fáradságos munka és csak gyenge hatást eredményez. Ezért a tudósok olyan dörzselektro-



2. ábra. ***Elektroszkóp töltetlen és töltött állapotban***
Létezik olyan elektroszkóp is, amelyben egyetlen lemez – valójában egy könnyű fémmutató – mozdul el a feltöltés hatására. A skálán leolvasható a mutató kitérése, így pontosan összehasonlítható két elektromos állapot erőssége.

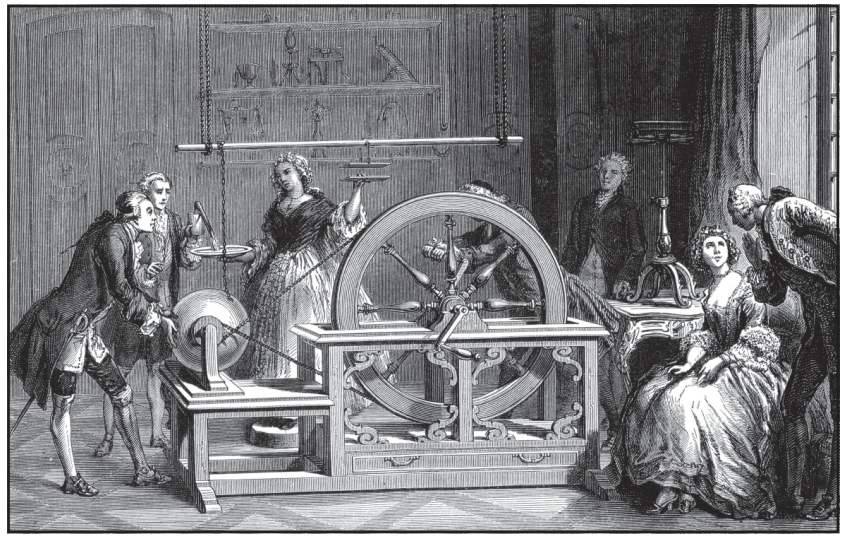
A XI. fejezet címlapképe.
Planté: A dörzselektromozó gép (részlet)
A rézkarc megjelent Amadé Guillemin: A mágnesség és az elektromosság c. művében, melyet magyarul 1885-ben adott ki a Magyar Királyi Természettudományi Társaság)

Ez az 1754-ben használt szerkezet alkalmas volt elektromos töltések szétválasztására, melyeket aztán változatos módon – például emberi testeken át – egyesítettek. A francia szalonokban zajló kísérletek jó alkalmat adtak az ismerkedésre is. A természettudományos érdeklődés hátterében az a meggyőződés állt, hogy az emberi vonzalmaknak és az elektromágneses jelenségeknek végső soron közös okuk van. Ebben az időben jelent meg J.W. Goethe híressé vált regénye, a „Vonzások és választások”, melyben Goethe az emberi kapcsolatok átrendeződését kémiai reakciókhoz hasonlította. A kémia bevonásával teljesebbé vált a hasonlóságok köre, hiszen a kor tudománya a vegyi vonzalmak hátterében is elektromos vonzásokat és taszításokat látott.



1. ábra. ***William Gilbert (1544–1603) angol orvos, fizikus, polihisztor***
Erzsébet királynő, majd I. Jakab udvari orvosa. Érdeklődését a mágnestű és borostyánkő gyógyító hatásába vetett hit keltette fel. Munkássága a magnetosztatika területén is úttörő fontosságú. Fő műve: *De Magnete Magneticisque Corporibus et De Magno Magnete Tellure,* amely 1600-ban jelent meg. Könyve kísérleti és elméleti fejtegetéseket tartalmaz.

mozó gépek kifejlesztésére törekedtek, amelyek erősen elektromossá tudtak válni, és az elektromossá tett test tartósan meg is őrizte ezt az állapotát (azaz nem „sült ki” hamar).



3. ábra. ***Dörzselektromozó gép használat közben***
Az elektromosság a XVIII. században olyannyira divatos tudománnyá vált, hogy a dörzselektromozó gépeket társasági mulatságok játékszereként is használták. Az eredeti készülékekkel mindenki kísérletezett. A vonzó és taszító hatások bemutatása, a fényes szikrák elővarázslása, az emberi testet megrázó hatása olyan izgalmas és szép látvány volt, hogy még a Királyi Társaság nézőit is elkápráztatta. E mulatságok felkeltették az orvosok figyelmét is, akik áramütéssel kezdtek gyógyítani, feleleventve azt az ókori hagyományt, hogy a fejfájást fejre kötözött elektromos halak adta áramütéssel kezelték.

1.2. Elméletek az elektromosság magyarázatára

1.2.1 A kétfolyadékos elmélet

← a magdeburgi féltekék IX.2.1.2

A XVII. században is születtek jelentős eredmények az elektromosság vizsgálatában, a magas matematikai szinten művelt, a filozófiára is hatást gyakorló mechanika mellett azonban ezek háttérbe szorultak. Otto von Guericke például az 1660-as években írt az elektromos vonzásról és taszításról, és szerkesztett egy egyszerű dörzselektromos gépet is. Az ismeretgyűjtés szintjén lévő vizsgálódások azonban feledésbe merültek a mechanika hatalmas sikerei mellett. Csak a XVIII. században támadt fel igazán az érdeklődés a jelenségkör iránt.

„Azt látjuk tehát, hogy két – teljesen különböző természetű – elektromosság van, éspedig az átlátszó szilárd testeké, mint az üvegé, kristályoké stb, valamint a kátrányos vagy gyantás testeké, mint a borostyáné, gyantáé, pecsétviaszé, stb. Ezek mindegyike taszítja azon testeket, amelyek elektromossága ugyanazon természetű, mint az övé, és vonzza azokat, amelyek ellenkező természetűek.”

„FLUDIUMOK” A TERMÉSZETTUDOMÁNYOKBAN

← „caloricum” VI.9.3.2

→ Mesmer és a lelki hatás XVII.2.1.2

Dufay (Charles Francois de Cisternay, 1698–1739) francia botanikus és fizikus írta le újból a kétféle elektromos állapotot. Az azonos anyaggal megdörzsölt azonos anyagok, pl. a bőrrel megdörzsölt üvegrudak taszítják egymást, a megdörzsölt üveg és gyanta pedig vonzza egymást. Megfigyelte a megdörzsölt anyagok és a dörzsölő anyagok egymásra hatását is. A megdörzsölt test és dörzsölő anyag között vonzóerő hat, tehát ellentétes elektromos állapotúak.

Magyarázatként azt a hipotézist állította fel, hogy az elektromos állapot kétféle: „gyantavillamosság” és „üvegvillamosság”. Az egyik fajta elektromosság az üveg, a másik a gyanta dörzsölésével állítható elő. Egy tárgy vagy az egyik, vagy a másik fajta elektromossággal lehet feltöltve.

← éter Arisztotelésznél III.9.1.2
→ létezik-e éter? XXI.

Elmélete szerint dörzsöléskor a testekből a felszínre szivárog egy súlytalan folyadék (fluidum), ami az elektromos állapotot okozza. Kétféle fluidum okozza a kétféle elektromosságot. Guericke elképzelése szerint a kétféle elektromos állapotú testet a környezetében is kétféle fluidum veszi körül. Ezek a fluidumok különleges tulajdonságúak, hiszen képesek áthatolni a „súlyos" anyagon. Az elektromos állapotú testek mozgás közben fluidummal telt környezetüket is magukkal viszik. Az ellenkező fajtájú elektromos anyagok egymás hatását semlegesíthetik, ha elektromosságuk mennyisége ugyanannyi.

1.2.2 Az egyfolyadékos elmélet

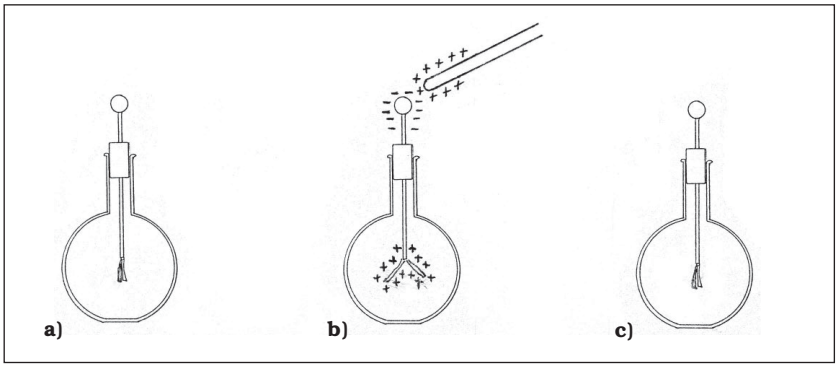
Franklin más hipotézist állított fel: az egyfolyadékos elméletet, mely szerint csak egyféle fluidum létezik, a másik fajta elektromos állapotot ennek hiánya okozza. Franklin az „üvegelektromosságot" fogadta el létezőnek, a „gyantaelektromosságot" pedig hiánynak.

„Az emberek beszélnek üvegvillamosságról és gyantavillamosságról. Az embereken persze a tudósokat értem elsősorban. Nos, merném Önnek mondani, hogy nincs ilyen vagy olyan villamosság, hanem az egész világon egyfajta elektromosság van csupán. Attól félek, merésznek tartja majd ezt az állításomat, de én mégis így látom a dolgot… Mi értelme lenne hát, ha továbbra is „üvegvillamosságról" és „gyantavillamosságról" beszélnénk? Mennyiségekről és eloszlásról, mondjuk egyszerűen: matematikáról van itt szó, pluszról és mínuszról. Ezért úgy gondolom, sokkal közelebb járnánk az igazsághoz, ha a jövőben pozitív és negatív előjelű villamosságról beszélnénk. Én ezt a kifejezést használom ezentúl, és remélem, hogy a tudósok is elfogadják majd."

Részlet Franklin P. Collinshoz írt leveléből

Szerinte a testek természetes állapotában elektromos egyensúly van, töltésük nulla. Ha valahová fluidum kerül, akkor az a test üvegelektromos állapotú, ahonnan eltávozik, gyantaelektromos állapotú lesz. Mai szóhasználattal: a test pozitív, illetve negatív elektromos állapotba került, pozitív, illetve negatív töltésűvé vált. Elektrosztatikus kísérletei Franklin számára nyilvánvalóvá tették, hogy a dörzsölés nem előállít töltéseket, hanem szétválaszt.

Azt a sejtést, miszerint a testek elektromos állapotba kerülésekor nem keletkezik a töltés, hanem csak átrendeződik, 1672-ben Otto von Guericke



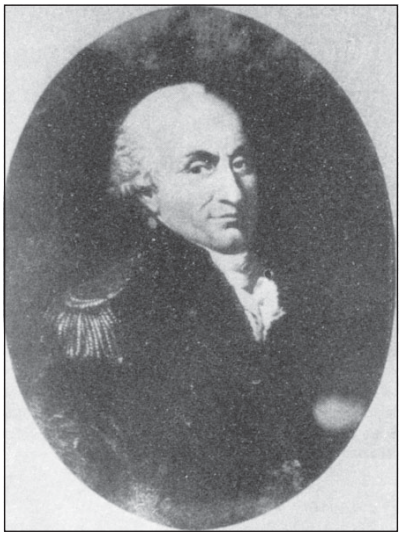
5. ábra. ***A megosztás jelensége***
a) semleges elektroszkóp; b) a megdörzsölt üvegrúd közelítésekor a lemezek szétágaznak; c) az üvegrúd eltávolításakor a lemezek újra összezáródnak



4. ábra. ***Benjamin Franklin (1706–1790), amerikai fizikus, politikus***
„aki elragadta a villámot az égtől és a kardot a zsarnoktól"

Műveltségét nyomdász- és kereskedőinasként szerezte. Több foglalkozást űzve gyűjtött pénzt, hogy könyvkiadói álmát megvalósíthassa. 1728-ban könyvnyomdát alapított Philadelphiában, újságot adott ki, amelybe saját maga is sokat írt. Művelődési kört hozott létre kézművesek és kereskedők részére, könyvtárat létesített, az ifjúság képzésére akadémiát szervezett. Természettudományos kísérleteket is folytatott. Eleinte az égéssel, légköri jelenségekkel és villamossággal foglalkozott. Kutatásait *B. Franklin villamossággal kapcsolatos kísérletei és megfigyelései* címmel tette közzé. Ekkor már a londoni Királyi Társaság is figyelemre méltatta, és tagjai sorába választotta. Világhírűvé vált kísérletei mellől az állami és a közéleti szereplés vonta el. Kiváló politikus és diplomata volt. Harcolt hazája függetlenségéért, a rabszolgaság megszüntetéséért. Egyik kezdeményezője és szerkesztője volt az 1776-os amerikai Függetlenségi Nyilatkozatnak, részt vett az USA alkotmányának kidolgozásában.

ELEKTROMOS MEGOSZTÁS



6. ábra. ***Charles Auguste de Coulomb (1736–1806) francia fizikus, hadmérnök***
Párizsi matematikai és természettudományi tanulmányainak befejezése után katonai pályára lépett egy műszaki hadtestben. 1776-tól már csak tudományos problémák megoldásán fáradozott. 1782-ben akadémiai tag, 1806-ban a közoktatás főfelügyelője lett. Sztatikai vizsgálataival akadémiai díjat nyert. Emellett fontos eredménye a drótok csavarási rugalmasságára vonatkozó törvények megállapítása, valamint az elektromosság és mágnesség elméletét megalapozó, róla elnevezett törvények.

← a gravitációs erő nagysága VI.8.3

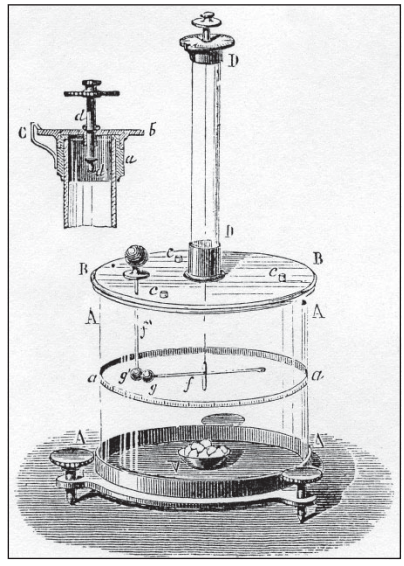
← Eötvös-féle torziós inga VI.8.3

által leírt **elektromos megosztás** (influencia) jelensége is alátámasztotta. Azt tapasztalta, hogy az elektroszkóp lemezkéi már akkor eltávolodtak egymástól, amikor csak közelítette hozzá a megdörzsölt üvegcsövet, távolításkor pedig ismét összezáródtak. Ilyenkor a megdörzsölt (pozitív töltésű) üvegcső hatására a fémes vezetőben könnyen elmozduló ellentétes előjelű töltések a fémrúd közelebbi részéhez kerültek, az azonos töltések pedig az ellentétes végeken halmozódtak fel. Tehát influencia során a megdörzsölt test környezetében levő fémtest elektromos töltései átrendeződnek. A fémtest külső felületének átellenes részein ellentétes előjelű, de egyenlő nagyságú töltés gyűlik fel. Elektromos megosztással a fémdarab két pólusúvá válik, miközben a test össztöltése nem változik: **zárt rendszerben a töltések algebrai összege állandó.** Töltéseket tehát csak szétválasztani lehet, de előállítani nem. Ez a **töltés megmaradásának elve.**

1.3 Coulomb törvénye

A XVIII. század folyamán számos kísérleti tapasztalatot alapján megszülettek az elektromosság természetét magyarázó első elméletek is. Hiányzott azonban a jelenségek leírásának matematikai alakba öntése, ahogyan az korábban a mechanika területén is megtörtént.

Coulombnak is a newtoni mechanika szolgált példaként, amely erőtörvények alakjában írta le a testek közötti kölcsönhatásokat. Ezért természetesnek vette, hogy az elektromosan töltött testek között fellépő vonzó- és taszítóerő nagyságát ugyanolyan alakú összefüggés adja meg, mint a gravitációs erőtörvény. Tehát meg volt győződve arról, hogy ezek az erők a testek közötti távolság négyzetével fordítottan arányosak.



7. ábra. ***Coulomb torziós ingája*** vékony ezüstszálon függő könnyű szigetelő rúdból (*f*) áll, amelyet egy aranyozott bodzabél gömböcske (*g*) és egy kiegyensúlyozó test vízszintesre állít. Egy másik szigetelő rúd (*f'*) segítségével egy másik vezető gömböcske (*g'*) bocsátható be az előző mellé oly módon, hogy mindkét gömböcske középpontja az eszköz tartójául szolgáló üveghenger oldalán lévő skála *(a)* körsíkjában legyen. Kezdetben mindkét gömböcske semleges és a skála 0 pontjánál van. Ezután Coulomb kivette az *f'* rudat, a végén lévő *g'* gömböcskét feltöltötte, majd visszahelyezte úgy, hogy a másik gömbhöz hozzáérjen. Mivel így mindkettő azonos töltésűvé vált, taszították egymást, ezért eltávolodtak egymástól és a felfüggesztő szál elcsavarodott, míg a csavarodásból adódó erő egyensúlyba nem került a taszítóerővel. Az elcsavarodás mértéke, amely arányos a csavaróerővel, leolvasható az *a* skáláról, pl. 36°. Ezután a berendezés tetején lévő mikrométerrel (a külön rajzon látható) elcsavarta a felfüggesztő szálat úgy, hogy a gömbök távolsága a felére csökkenjen, vagyis az *a* skálán 18° legyen.

Ehhez a mikrométert 126°-kal kellett elforgatni, vagyis az összes csavaróerőt – és így a vele egyenlő nagyságú taszítóerőt – 126° + 18° = 144° jellemezte. Ezt megismételve a távolság negyedelésével, 576°-nyi csavaróerőt kapott. A távolságok (36°, 18°, 9°) arányai tehát 1, 1/2, 1/4. A taszítóerők (36°, 144°, 576°) arányai pedig 1, 4, 16. Ez azt jelentette, hogy az erő a távolság négyzetével fordított arányban

változik. A töltés nagyságától való függés vizsgálatához feltételezte, hogy az összeérintett golyócskák a töltésen egyenlő arányban osztoznak, így mindegyik töltése az *f'* gömböcske eredeti töltésének a fele lett. Ha az előbb leírt mérés után az *f'* gömböcskét kivette és semlegesítette, majd visszatette, akkor összeérintés után az *f* gömböcske töltésén osztoztak, így töltésük az eredetinek negyede lett. Így megismételve a mérést, azt találta, hogy a taszítóerő a töltések nagyságának szorzatával egyenesen arányos, vagyis amikor mindkét gömböcske töltése feleakkora lett, mint az előző méréssorozatban, akkor az elcsavarodások negyedakkorák lettek.

COULOMB-TÖRVÉNY

Mérései alapján 1785-ben Coulomb valóban a várt alakú összefüggést kapta:

$$F = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \cdot k$$

Q_1 és Q_2 a testek töltésének nagysága (töltésmennyisége), k pedig egy arányossági tényező.

A fenti törvényben vagy az arányossági tényezőt, vagy a töltésmennyiséget vehetjük egységnyinek. Coulomb idejében a töltésmennyiségnek nem volt egysége, így azt ő definiálta úgy, hogy az arányossági tényező 1 legyen. Később ezt a mértékegységet kicsinek találták, és a testek elektromos állapotát jellemző elektromos töltésmennyiség egységét az ő tiszteletére coulombnak nevezték. Ennek a mértékegységnek a definiálásakor az arányossági tényező értéke 1-nél jóval nagyobb lett: 1 C (coulomb) az a töltés, amely az 1 m távolságban levő ugyanolyan nagyságú töltésre $9 \cdot 10^9$ N erővel hat. Ennek felhasználásával az arányossági tényező értéke:

$$k = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

Az 1 C viszont gyakran túl nagynak bizonyult, ezért a gyakorlatban általában törtrészei használatosak.

Coulomb törvénye: légüres térben két pontszerű, tartósan nyugvó töltött test között fellépő vonzó- vagy taszítóerő egyenesen arányos a töltésmennyiségek nagyságával és fordítottan arányos a köztük lévő távolság négyzetével. Az erő iránya a két pontszerű töltött testet összekötő egyenesbe esik, előjele vonzás esetén negatív, taszításkor pedig pozitív. Levegőben a töltések között ható erő ugyanakkora, mint légüres térben. Más anyagokban (pl. petróleumban, olajban) a töltések között ennél kisebb erő hat. A Coulomb-törvény általánosítható kiterjedt testekre is.



8. ábra. ***Michael Faraday (1791–1867) angol fizikus, kémikus***
London környékén született olyan szegény család gyermekeként, hogy még az elemi iskolát sem végezhette el. Hatalmas műveltségét könyvkötő- és könyvkereskedő inasként és esti előadásokon szerezte. Davy előadásait látogatva azokról jegyzeteket készített, melyeket egyszer elküldött Davynek, azzal a kéréssel, hogy ha lehetséges, alkalmazza őt laboratóriumában. Egy évvel később már a Royal Institution-ban dolgozott, s ügyessége miatt csakhamar nélkülözhetetlenné vált Davy számára, ám önálló kísérleteket is végzett. A fizika és kémia határterületén elért eredményei miatt a Királyi Társaság tagja és laboratóriumi igazgató lett.

1.4 Az elektrosztatikus mező

1.4.1 Az erőtér mint fizikai realitás

Az elektromos erőhatásoknál kezdettől fogva az volt a különleges, sőt mágikus, hogy a testek távolból, a közöttük lévő közeg közvetítése nélkül hatottak egymásra. A gravitációs erő kivételével ez semmilyen más esetben nincs így.

E távolhatás értelmezésére Faraday bevezette a „tér" vagy „mező" fogalmát (1852). Faraday az erőteret fizikai realitásnak tekintette. Álláspontja szerint a tér betöltött, s az erők erővonalak mentén hatnak. Az erővonalak a testhez tartoznak, pl. egy világító test erővonalai a fénysugarak, egy melegé a hősugarak. Az **erőtér** az anyag egyik megjelenési formája, amely a kölcsönhatásokat közvetíti és amelyben azok erő formájában hatnak.

„Faraday lelki szemeivel az egész teret átívelő erővonalakat látott

→ hő (infravörös) sugarak XV.3.7.1

← a távolhatás problémája a gravitációnál VI.8.4

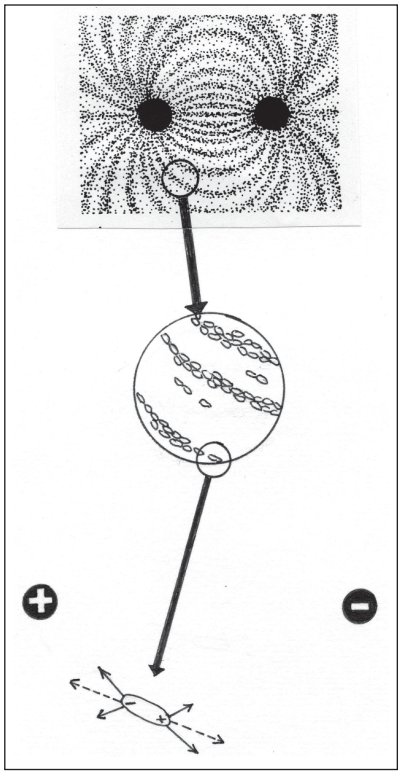
← van-e valami a vákuumban? (Arisztotelész) III.9.1.2

ott, ahol a matematikusok távolba ható erőközpontokat láttak, Faraday közeget látott ott, ahol ők semmi mást, mint távolságot láttak, Faraday a jelenségek lényegét a közegben végbemenő tényleges hatásokban kereste, míg amazok megelégedtek azzal, hogy megtalálták azt valamilyen távolba ható erőben." (Maxwell)

Faraday az elektromos töltésű testek környezetében kialakuló teret – ahol erőhatások észlelhetők – **elektromos térnek** nevezte. Az állandó, nyugvó töltésből származó tér neve: elektrosztatikai tér, amely nem kémiai anyagból van, hiszen vákuumban is fellép az erőhatás.

Faraday elképzelése szerint a geometriai tér a töltések közelében „feszültségi" állapotba kerül. Az elektromos testek közötti tér teli van „erővonalakkal", melyek kifeszített, rugalmas szálak gyanánt megrövidülni törekszenek, és amelyek által a testek egymásra hatást gyakorolnak.

ELEKTROMOS TÉR



9. ábra. ***Az erővonalak szemléltetése***
Lapos tálkába öntött ricinusolaj tetejére búzadarát szórunk. Ha a dörzselektromos géppel összekötött huzal végét a ricinusolajba mártjuk, akkor az olaj felszínén úszó búzadara-szemcsékben a töltések az elektromos mező hatására átrendeződnek, a szemcsék kis dipólusokká válnak és a térerősség irányába állnak be. Mivel ellentétes töltésű végeik vonzzák egymást, hosszú láncokba rendeződnek. Ezek a láncok szemléltetik az erővonalakat. Attól függően, hogy milyen elrendezésű és töltésű vezetőket merítünk az olajba, különböző erővonalképeket kapunk.

1.4.2 A térerősség

A térnek egy töltött test által okozott „feszültsége", vagyis az elektromos tér egy másik töltés (próbatöltés) segítségével pontról pontra megmérhető. Ha az elektrosztatikus tér valamely pontjába egy kis töltésű testet, próbatöltést helyezünk, akkor arra az elektromos tér erőt fejt ki. Azonban a próbatöltés körül is kialakul az elektromos tér, ami Newton III. törvénye értelmében szintén erőt fejt ki a mérendő elektromos teret létrehozó testre. Valójában a mérés eredménye a vizsgált jelenség és a mérőeszköz kölcsönhatásának a következménye, és az eredmény rögzítése mellett ugyanolyan fontos feladat annak megállapítása, hogy a mért érték mennyiben köszönhető a vizsgált jelenség mérendő tulajdonságának, és mennyiben függ a mérőeszköztől. Ha ezt elmulasztjuk, akkor a kapott eredmény a mérendő és a mérő test közös tulajdonsága lesz, és nem a vizsgált jelenség méréstől független állapotáról ad képet.

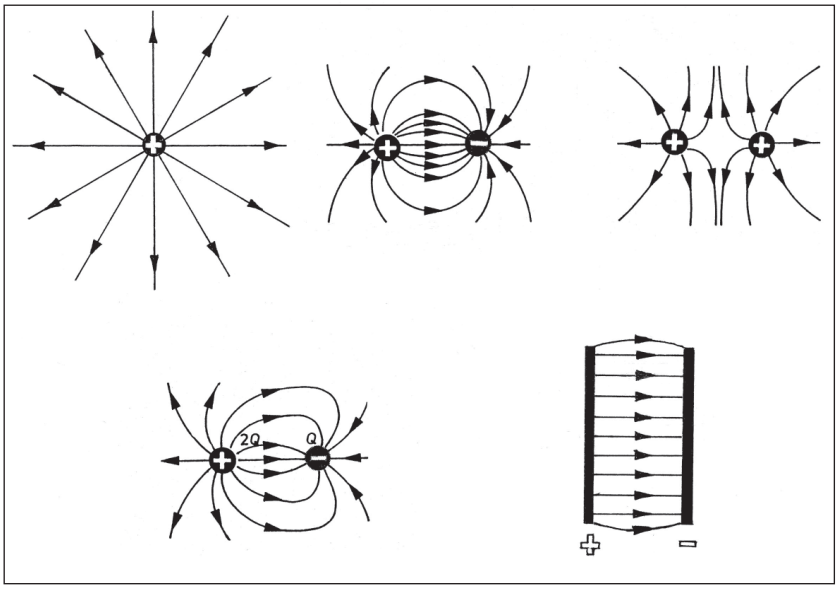
Ebben az esetben a probléma könnyen megoldható: a kölcsönhatás eredménye, a próbatestre ható erő egyenesen arányos annak töltésével, így hányadosuk állandó, és ez a hányados független lévén a próbatöltés nagyságától, *csak* az elektromos tér adott pontbeli erősségére jellemző. Az **elektromos térerősség (jele E)** *az elektromos tér vizsgált pontjába helyezett pontszerű próbatöltésre ható F elektromos erő és a próbatest q elektromos töltésének hányadosa:*

$$E = \frac{F}{q}$$

Mérőszáma megadja az adott pontba helyezett egységnyi töltésre ható erő nagyságát. Mértékegysége: 1 N/C. Egységnyi a térerősség az elektromos tér azon pontjaiban, ahol az ott levő 1 C töltésre 1 N erő hat. A definícióból következik, hogy az elektromos térerősség vektormennyiség, iránya az adott pontba helyezett pozitív töltésre ható erő irányával azonos.

Mi köze van Faraday erővonalainak a térerősséghez? Ha a próbatöltés segítségével pontról pontra meghatározzuk a térerősséget, és mindig annak irányában haladunk tovább, akkor a kapott vektorok kezdőpontjait összekötve folytonos vonalakat kapunk. Ezek az **erővonalak**. Az erővonalak tehát az elektromos tér szerkezetét mutatják meg. Az erővonalak egyszerű kísérlettel „láthatóvá" is tehetők.

Az erővonalakból tehát következtetni lehet az elektromos térerősségvektor irányára. Az erővonal bármely pontjához húzott érintő megadja az ottani térerősség vektorának irányát. Az erővonalakat is irányítottnak tekintjük: megállapodás szerint a pozitív töltésű testből indulnak, és a negatív töltésű testen végződnek.



10. ábra.
a) Pontszerű töltés elektromos mezője
b) Két azonos nagyságú, de ellentétes előjelű pontszerű töltés mezője
c) Két azonos nagyságú és előjelű pontszerű töltés mezője
d) Két különböző előjelű és nagyságú pontszerű töltés mezője
e) Két párhuzamos, ellentétes töltésű fémlemez között kialakuló elektromos mező

ERŐVONALAK

Az erővonalak a térerősség nagyságával is összefüggenek. Megfigyelhető, hogy pl. a pontszerű töltés elektromos terében a töltéshez közelebb – ahol nagyobb a térerősség – az erővonalak sűrűbben helyezkednek el. Valójában a tér minden pontján át rajzolhatnánk erővonalat, hiszen minden pontban hat. Viszont az előbbi megfigyelésre támaszkodva megállapodhatunk abban, hogy egységnyi felületen át annyi erővonalat rajzolunk be, amekkora a felület pontjaiban a térerősség, pontosabban a felületre merőleges összetevője. A felület és az erővonalak merőlegessége azért fontos, mert ha ugyanazt a felületet elforgatjuk az erővonalakhoz képest, már nem ugyanannyi erővonal megy át rajta (ha párhuzamos az erővonalakkal, akkor pl. 0). Az „egységnyi felület" a jelenleg használt mértékrendszerben 1 m^2 lenne. Ekkora méretekben azonban a térerősség általában nem ugyanakkora. Ezért célszerűbb kisebb felületet választani, ahol már állandónak tekinthető a térerősség értéke, pl. 1 cm^2-t. Ha itt a térerősség értéke pl. 10^5 N/C, akkor 1 m^2 felületen 10^5 db erővonalat kellene berajzolni, így a kiszemelt 1 cm^2 felületen 10 db-ot. Így az is megállapítható, hogy tetszőleges nagyságú felületen (A) hány erővonal megy át. Egy tetszőleges felületen merőlegesen átmenő erővonalak számát **elektromos fluxusnak** nevezzük (jele Ψ). Ha a felület minden pontjában ugyanakkora a térerősség, akkor

ELEKTROMOS FLUXUS

$$\Psi = EA$$

Ha a térerősség nem ugyanakkora a felület minden pontjában, akkor a fluxus kiszámításához bonyolultabb matematikai eljárás szükséges.

Ennek alapján az is megállapítható, hogy egy Q töltésű testből hány erővonalnak kell kiindulnia. Legegyszerűbb olyan felületet választani, amelynek pontjaiban ugyanakkora a térerősség és mindenhol merőleges rá. Pontszerű töltés elektromos terében például ilyenek azok a gömbfelületek, amelyeknek középpontjában a töltés van. A töltéstől r távolságban a térerősség:

$$E = k\,\frac{Q}{r^2}$$

egy r sugarú gömb felülete pedig: $A = 4r^2\pi$. Így

$$\Psi = 4\pi kQ$$

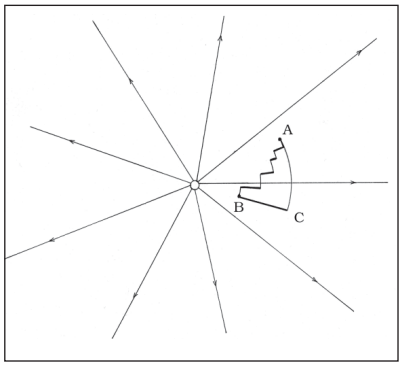
A fenti összefüggést Gauss német matematikus általánosította tetszőleges felületre és töltéseloszlásra a XIX. sz. közepén, amikor már az elektromosság tudománya is a mechanikáéhoz hasonló fejlett matematikai szintet ért el. Valóban, a kapott eredményből már nem látszik, milyen töltött testről vagy testekről és felületről van szó: csak annyi, hogy **az erővonalak forrásai a töltések**, és a forrás erőssége e töltésmennyiség nagyságától függ.

1.4.3 Feszültség, potenciál

← energia (Arisztotelész) III.9.1

← helyzeti energia VI.9.2

A mechanikából ismert, hogy a gravitációs tér bizonyos pontjába helyezett testnek az adott pontra jellemző energiája van. Hasonlóan: az elektrosztatikus környezet (tér) egy adott pontjában elhelyezett töltésnek erre a pontra jellemző helyzeti energiája van, hiszen vagy a térnek, vagy a tér ellenében valamilyen erőnek munkát kell végeznie, hogy a töltés oda kerüljön. Ezen energia megváltozása fordítódhat újabb munkavégzésre, vagyis az adott elektrosztatikus térben a kis (próba)töltés elmozdítására *s* úton. Tetszőleges elektrosztatikus mezőben a töltés mozgatásakor végzett munka nagysága csak a kezdő- és végpont helyétől függ, azaz független a kezdőpontból a végpontba vezető úttól; vagyis az út tetszőlegesen választható meg. Ha meggondoljuk, hogy bármilyen út jól megközelíthető és összerakható a térerősséggel párhuzamos és arra merőleges kis lépésekből, akkor ez nem is meglepő. A térerősségre merőlegesen nincs munkavégzés, csak azzal párhuzamosan.



11. ábra. ***A térerősség irányában mindkét úton ugyanakkora az elmozdulás.***

A végzett munka egyenesen arányos a mozgatott töltésmennyiség nagyságával, ezért a két mennyiség hányadosa állandó, és *csak* az elektromos mezőre jellemző érték:

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$$

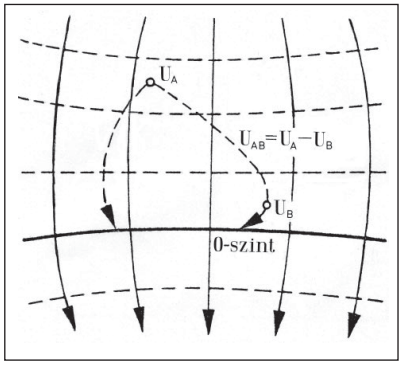
FESZÜLTSÉG

Neve **feszültség**, egysége az **1 V (volt)**: ekkora a feszültség az elektromos mező *A* és *B* pontja között, ha 1 C töltés *A*-ból *B*-be történő elmozdításához 1 J munkavégzés szükséges.

POTENCIÁLOK

Egyszerűbb az összehasonlítás két pont között, ha egy rögzített, közös viszonyítási pontot használunk. Célszerű ezt ott választani, ahol az elektrosztatikus tér hatása már nem érvényesül, vagyis ahol a próbatöltés helyzeti energiája 0. Szigorúan véve ez a „végtelen távoli" pont, ezért az elméleti fizikában ezt használják. (A technikában a föld a 0 pont – „földelés".) Egy A pont 0 ponthoz viszonyított feszültségét nevezik az elektrosztatikus tér A pontbeli potenciáljának, jele U_A. Ha U_B a *B* pontbeli potenciál, akkor a feszültség és a potenciál kapcsolata:

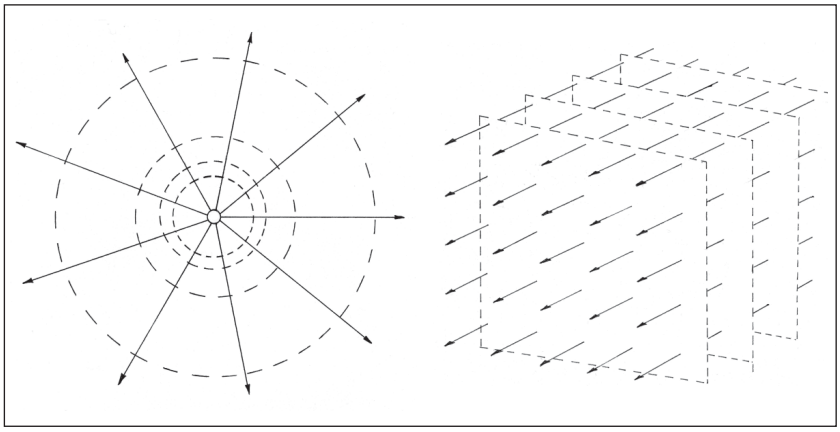
$$U_{AB} = U_A - U_B$$



12. ábra. ***Feszültség és potenciál kapcsolata***

Egy Q töltésű test elektromos helyzeti energiája az *A* pontban egyenlő azzal a munkával, amit a mező végez a testen, míg az az *A* pontból a 0 pontba kerül.

Ha a töltést az erővonalakra merőlegesen mozgatjuk, akkor nincs munkavégzés, az érintett pontok között a feszültség 0, azaz azonos a potenciáljuk: ekvipotenciálisak. Az ilyen pontok által alkotott felületek a nívó- vagy ekvipotenciális felületek. A tér minden pontján áthalad egy ilyen felület, ezért megállapodásszerűen olyan távolságban rajzoljuk be őket a tér szemléltetésére, hogy két szomszédos ekvipotenciális felület között 1 V legyen a feszültség. A 12. ábrán ezért van 0-szint, és nem 0 pont, a szaggatott vonalak pedig az ekvipotenciális felületeket jelölik.



13. ábra. ***a) Pontszerű töltés terének erővonalai és ekvipotenciális felületei***
Az ekvipotenciális felületek gömbök, amelyek egyre nagyobb távolságban helyezkednek el egymástól.
b) Homogén mező erővonalai és ekvipotenciális felületei
Az ekvipotenciális felületek párhuzamos síkok, amelyek egyenlő távolságban vannak egymástól.

← szintvonalak VIII.1.5
izo-vonalak

← izobárok VII.2.4.2

→ „epigenetikai táj" XXVII. és XXIII.

Ha egy töltés az elektrosztatikus mezőben egy *A* pontból eljut egy *B* pontba, akkor az *A* pontba történő visszajuttatásához ugyanakkora, de ellenkező előjelű munkát kell végezni (ha ez más úton történik, természetesen akkor is). Ez azt jelenti, hogy egy zárt görbe mentén történő összes munkavégzés 0: az elektrosztatikus mező is **konzervatív**, akárcsak a gravitációs. Az elektrosztatikus mezőnek ezt a tulajdonságát másképpen is meg lehet fogalmazni: az erővonalak nem alkothatnak zárt görbéket. Ez ugyanis azzal a következménnyel járna, hogy a zárt erővonal mentén mozgó töltés – mivel egész úton a mező végezne rajta munkát – nagyobb energiával érkezne vissza a kezdőpontba, mint amekkorával elindult, anélkül, hogy bármi egyéb változás történt volna. Másszóval, örökmozgóként működhetne – de elektromos örökmozgó éppúgy nem létezik, mint mechanikai.

← gravitáció VI.8.4

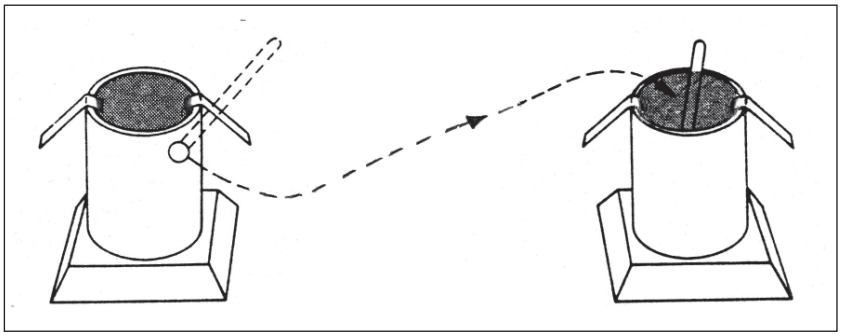
← energiamegmaradás VI.9.2

← a mechanikai örökmozgó lehetetlensége VI.9.1–2

1.5. Töltés elhelyezkedése a vezetőkön

A fémes vezetőkön az elektromos töltés könnyen elmozdul, ezért ha többlettöltést viszünk rá (pl. hozzáérintünk egy töltött testet), a lehető legnagyobb felületen fog elhelyezkedni és így lesz egyensúlyban. A lehető legnagyobb felület a vezetőből készült test külseje. Stephen Gray fedezte fel,

→ a fémrács szerkezete 4.5.4; 4.6.1



14. ábra.
A poharas elektroszkóp peremére akasztott sztaniolcsíkok kívül akkor is elágaznak, ha a töltést a pohár belsejére visszük rá, a belülre helyezett csíkok viszont ekkor sem.

hogy **a feltöltött fémes testeken a töltés a test külső felületén helyezkedik el.** A fémes test körül kialakuló elektromos tér erővonalai a felületre merőlegesek, hiszen különben a töltés nem lenne egyensúlyban a felületen. Vagyis a vezető külseje ekvipotenciális felületet alkot. A vezető belsejében viszont nincs többlettöltés, ezért ott a térerősség 0. Ez akkor is így van, ha a vezető belseje üreges: a többlettöltés nem „vándorol át" a kisebb belső felületre.



15. ábra. ***Franklin fiával*** Currier és Ives színes nyomata
Vihar idején két fapálcából és selyemkendőből álló sárkányt eresztett fel kenderszálon, a végére rögzített kulcsból hatalmas szikrákat tudott csiholni és a földbe vezetni.

Ha a semleges fémtestet külső elektrosztatikus mezőbe helyezzük, akkor a megosztás következtében úgy rendeződnek át benne a töltések, hogy felülete ekvipotenciális lesz, a belsejében pedig 0 a térerősség, különben a benne könnyen elmozduló töltések nem maradnának egyensúlyban. Ez a tulajdonságuk teszi alkalmassá a fémeket az elektromos tér „leárnyékolására". A Faraday által feltalált ún. Faraday-kalitka vezető anyagból készült sűrű hálóval körülvett térrész. A benne lévő ember vagy az elektromos mezőre érzékeny tárgy védve van, mert a térerősség 0. Villámcsapás esetén a zárt, fém karosszériájú kocsik is Faraday-kalitkaként működnek.

FARADAY-KALITKA: ELEKTROMOS ÁRNYÉKOLÁS

Franklin a dörzselektromozó gépek és elektromos töltéssűrítők kisüléseit látva és hangját hallva, arra gondolt, hogy hatalmas méreteivel és pusztító erejével a villám is ehhez hasonló jelenség. 1752-ben papírsárkánnyal végzett híres kísérletével ezt be is bizonyította.

Franklin megállapította azt is, hogy ha a feltöltött fémtesten csúcsok is vannak, akkor ezek környezetében a legerősebb az elektrosztatikus vonzás. Ez azt jelenti, hogy bár a vezető felülete ekvipotenciális, a töltés eloszlása nem egyenletes: a csúcsokon nagyobb a töltéssűrűség. Ez a **csúcshatás**. A csúcsokon olyan nagy töltéssűrűség is kialakulhat, hogy a fémről töltések lökődhetnek le, ami általában fényjelenséggel jár. Régóta ismert, hogy az alacsonyan járó zivataros felhők és nagy elektromos feszültség esetén a tengereken és a hegyvidékeken a csúcsokból és a hegyes tárgyakból „lángkéve" csap fel: a néphit szerint ez Elmo tüze, Éliás-tűz. Tengeri hajókon Elmo tüzét az árbocok csúcsain vették észre, láttára félelem szorította össze a tengerészek szívét.

CSÚCSHATÁS

→ katódsugárzás XI.4.5.3

A villám tanulmányozása és a hegyes tárgyakon végzett elektromos kisülési kísérletek Franklint a **villámhárító** feltalálásához vezették, amely tudósként is híressé tette. Franklin ezután javasolta a csúcsos végű villámhárítók építését. Az épületeket és berendezéseket védő villámhárítók felfogóberendezésből (hegyes végű fémrúd), az épületben haladó vezetékből és a vezetékhuzallal összekötött kb. 2 méter mélyen lévő földelt réz- vagy acéllemezből áll. A villámhárító fémrúdjának vége – éppen a csúcshatás miatt – elősegíti a villám becsapódását, s veszélytelen úton a földbe jutását. A villámhárítók a villám áramát (kb. 100000 A) észrevehető felmelegedés nélkül vezetik a földbe. A zivatarfelhő megosztja a házban levő elektromosságot: a ház tetején a felhővel ellentétes töltés alakul ki, vonzás lép fel, aminek eredménye erős kisülés, villám is lehet. Villámcsapás csak zivatarfelhők jelenlétekor keletkezik. A villámcsapásnak legjobban kitett tárgyak az élő fák, a magas építmények, a tornyok, a gyárkémények.

VILLÁMHÁRÍTÓ

Hogyan kerül az elektromos töltés a levegőbe? Mióta Franklin felismerte, hogy „a heves zivatarok felhői többnyire negatív, néha pozitív elektromos töltésűek", számos tudományos vizsgálat foglalkozott a villámlással, de pontos válasz még ma sincs. Az egyik elfogadott elmélet szerint az elektromos töltések megjelenése vihar idején a le- vagy felszálló légáramlatokkal kapcsolatos. A zivatar idején nagy sebességgel mozgó felhők szétporladt vízcseppjei, illetve jégszemcséi súrlódnak a levegővel és elektromosan feltöltődnek. A zivatarfelhőkben egyszerre jelenik meg a pozitív és a negatív töltés, de a felhő más-más rétegeiben. Rendszerint az alsóbb rétegek negatív töltésűek, a felsők pozitívak. Ha nagy töltésmennyiség halmozódik fel, akkor kisülés következik be hő-, fény- és hangjelenség kíséretében. Egy átlagos villámcsapás energiája kb. 10 kWh.

← felhők képződése VIII.2.4.3

→ ívfény (villámcsatorna) kialakulása XI.4.5.4

Mennydörgéskor a villámcsatornában a levegő erősen felmelegszik, ezért gyorsan kitágul, ez a légmozgás pedig hanghullámokat kelt. A dörgés egyre távolodó hangját az okozza, hogy a villámcsatorna akár több kilométer hosszúságú is lehet, ezért a különböző szakaszain keletkező dörgés jelentős időkülönbséggel ér a megfigyelőhöz.

← gáztörvények IX.2.1.
→ elektromos kisülések kémiai hatása: Xi.4.1.2
→ az őslégkör feltételezett reakciói XXIX.

1.6. Kondenzátorok

A különböző dörzselektromozó gépek kifejlesztésével párhuzamosan a tudósok egy olyan eszköz megalkotására is törekedtek, amelyben az elektromos fluidumot – hasonlóan a folyadékokhoz – tárolni lehetne. Musschenbroek (1692–1761) holland természettudós az analógia miatt egy kívül-belül kétharmad részéig fényfóliával bevont üvegpalackot választott erre a célra, amit félig vízzel töltött meg, s belevezette a dörzselektromozó gép töltését az üveg dugóján átvezetett fémszál segítségével. Amikor – a palackot még mindig kezében tartva – a fémszálat ki akarta venni, olyan hatalmas ütést érzett, hogy – mint egy levelében írta – „a világért sem ismételné, még ha Franciaország koronáját kínálnák is érte".

→ az áram biológiai hatása XI.3.5

„LEIDENI PALACK"

Más fizikusok érdeklődését azonban felkeltette a Musschenbroek által leírt elektromos ütés erőssége és továbbfejlesztették kísérletét, mígnem kialakult az az eszköz, amely nagy mennyiségű töltés tárolását tette lehetővé. Az eszközt az első kísérlet helyszínéről leideni palacknak nevezték el.

Hamarosan felismerték, hogy a célnak megfelel két, egymással szembeállított, egymástól szigetelt fémlemez is. A lemezek feltölthetők pl. úgy, hogy az egyiket összekötik egy dörzselektromozó géppel, a másikat pedig egy fémlánc segítségével a földdel. A lemezeken kívül gyakorlatilag semmilyen elektromos hatás nem észlelhető, a berendezés a feltöltött lemezek körül kialakuló elektromos teret a két lemez közötti térrészbe „sűríti". Ezért nevezik ezeket az eszközöket sűrítőnek, azaz **kondenzátor**nak.

KONDENZÁTOR

A mérések szerint a fémlemezek között kialakuló U feszültség és az egyik vezetőre vitt Q töltés között egyenes arányosság áll fenn. (A kondenzátor töltésén természetesen mindig csak az egyik lemez töltését értjük, hiszen a két lemez töltésének összege nulla.) Ekkor $Q = C \cdot U$, ahol a C arányossági tényező csak az adott kondenzátorra jellemző, állandó mennyiség. Neve **kapacitás**, mértékegysége 1 F (farad), Faraday tiszteletére. (1 F igen nagy egység, a legtöbb kondenzátor kapacitása μF és pF közé esik. $1\mu F = 10^{-6} F$ és $1pF = 10^{-12} F$.)

KAPACITÁS

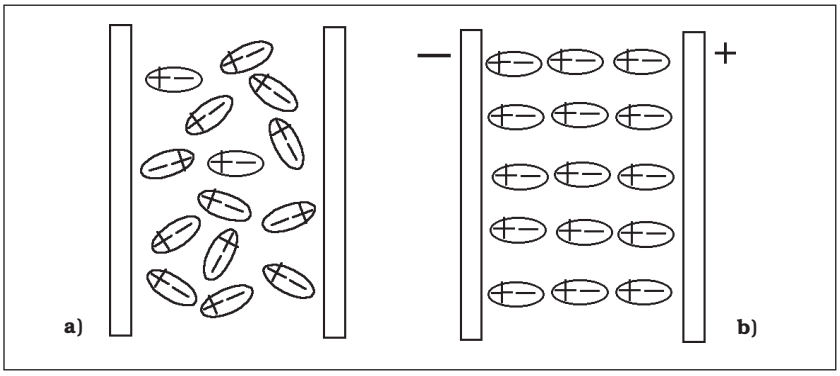
A kapacitás csak a kondenzátor méreteitől és a vezetők közötti szigetelőtől függ. A kapacitás a lemezek (fegyverzetek) közötti távolság növelésével fordítottan arányos, a felületek növelésével viszont egyenesen arányos.

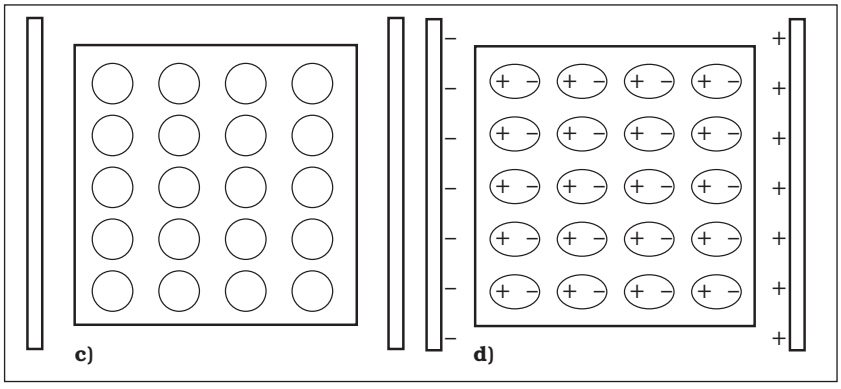
A kapacitás függ a szigetelő anyagától is. Faraday vette észre, hogy a szigetelők ugyan nem árnyékolják le az elektromos mezőt, de csökkentik az erősségét. Ezért nevezte el őket dielektrikumnak. A jelenség magyarázata nem lehet a megosztás, mivel a szigetelőkben a töltések nem mozdulhatnak el szabadon. Valamiféle töltésátrendeződésnek mégis be kell következnie, hiszen különben nem változna a kondenzátor lemezei között a térerősség. Ez azonban csak a szigetelő részecskéin, molekuláin belül mehet végbe. Ha ezek eleve polárosak (vagyis bennük a pozitív és negatív töltések súlypontja nem esik egybe), akkor az elektromos mező hatására egy irányba állnak be és dipólusláncokat alkotnak, hasonlóan a búzadara-szemcsékhez az erővonalak szemléltetésére szolgáló kísérletben. Ha apolárosak, akkor az elektromos mező hatására a pozitív és negatív töltések kissé szétválnak bennük és így lesznek belőlük a poláros molekulákhoz hasonlóan kis dipólusok. A jelenség neve **dielektromos polarizáció**.

→ molekuláris dipólusok XI.4.6.1

→ diszperziós erők XI.4.6.2

A szigetelő felszínén jelentkező töltések „hatástalanítják" a kondenzátorlemezek töltésének egy részét, így az elektromos tér erőssége csökken, ezáltal a kapacitás nő (ugyanakkora töltés mellett kisebb lesz a feszültség). A szigetelő **relatív dielektromos állandó**ja az a szám (jele ε), amely megmutatja, hogy hányszorosan változik egy eszköz kapacitása, ha a fegyverzetek közét vákuum helyett a szóban forgó szigetelőanyaggal töltjük ki. Pl. a levegőé 1,0006, az üvegé 8-16 stb. A kondenzátorokban gyakran alkalmazott szigetelők: levegő, papír, üveg, parafin, műanyagfólia, csillám, ke-





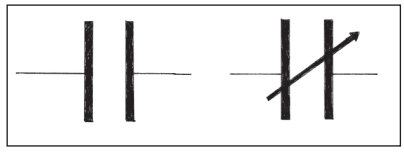
16. ábra. ***A dielektromos polarizáció szemléltetése***
a) A molekulák helyzete a kondenzátor feltöltése előtt rendezetlen
b) A részecskék az elektromos tér hatására rendeződnek
c) A kezdetben apoláros molekulák elrendeződése
d) Az elektromos tér hatására az apoláros molekulák belső szerkezete megváltozik, polarizálódnak

rámia. A napjainkban forgalomba kerülő kondenzátorok új szigetelő anyagainak dielektromos állandója már csaknem 20000!

A fegyverzetek lehetnek alumíniumkorongok, -fóliák, vékony fémrétegek, amit a szilárd dielektrikum ellentétes oldalfalaira visznek fel. A fegyverzetek elrendezése is nagyon eltérő lehet, pl. párhuzamos lemezek, ponttöltés és lemez, gömbök. Vannak olyan kondenzátorok is, amelyek kapacitását változtatni lehet.

A kondenzátorokat a megengedett vagy annál kisebb feszültségen kell használni, mert ennél magasabb feszültségen csattanó szikrajelenséggel „átütnek", kisülnek. Kisülés közben a feltöltéssel kapott energia más energiafajtákká alakul: hőenergiává, hanghullámok energiájává, stb. Ezalatt a fegyverzetek közötti feszültség, tehát az elektromos térerősség is lecsökken. Ha a szigetelőanyag nem levegő, akkor kisülés esetén ez, s vele együtt a kondenzátor is tönkremegy. A kondenzátorok a tápfeszültség kikapcsolása után is jelentős ideig megőrzik töltésüket. Ez a töltés veszélyes is lehet! A nagyfeszültségű kondenzátorok (pl. televíziókban, vakukban használatosak) halálos töltésmennyiséget is képesek tárolni. Soha ne nyúljunk az ilyen kondenzátor kivezetéseihez!

Ma már nagyon sok helyen alkalmaznak kondenzátorokat, pl. televíziókban, rádiókban, számológépekben, számítógépekben, digitális órákban.



17. ábra. ***A kondenzátorok rajzjelei:***
a) állandó kapacitású,
b) változtatható kapacitású

KISÜLÉS

→ villámlás XI.1.5

Summa

A testek elektromos feltöltése az a folyamat, amelynek során a testek semleges állapotból elektromos állapotba kerülnek. A testek elektromossá tehetők dörzsöléssel (csapkodással), érintéssel és megosztással. Az elektromossá tett testek között kölcsönhatás lép fel, amely vonzásban, illetve taszításban nyilvánul meg. Elektromos szempontból az anyagok lehetnek vezetők és szigetelők. Az elektromosság kétféle, amelynek magyarázatára kétféle elektromos folyadék áramlását tételezték fel, illetve egyféle fluidum meglétét vagy annak hiányát. Két, elektromosan töltött test között ható erő nagyságát a Coulomb-törvény adja meg.

Az elektromosan töltött testek körül elektromos tér jön létre. Az elektromos mező pontjaiba helyezett töltésekre elektromos erő hat. A mező erőssége és iránya a térerősséggel jellemezhető, a tér szerkezetének szemléltetésére az erővonalak alkalmasak. Az elektrosztatikus mezőbe helyezett töltés helyzeti energiája a mezőt jellemző skalármennyiség, a potenciál segítségével adható meg. Az elektrosztatikus mező forrásai a töltések és ez a mező konzervatív.

A fémtestek felülete ekvipotenciális felület, belsejükben a térerősség 0. A szigetelőkben csökken az elektromos tér erőssége, ennek a csökkenésnek az arányát adja meg a szigetelő dielektromos állandója. Szűk térrészbe sűrített elektromos mező előállítására alkalmas eszközök a kondenzátorok, ezek jellemző tulajdonsága a kapacitás.

Kérdések, problémák

1. Az elektromosan töltött testek között vonzó- vagy taszítóerő hat. Hogyan lehetséges, hogy az elektromosan töltött testek vonzzák a semleges (töltetlen) testeket?

2. Milyen érvek szólnak az elektromosság egyfolyadékos, illetve kétfolyadékos elmélete mellett?

3. Dörzselektromos jelenségeket a mindennapi életben is tapasztalhatunk. Mikor?

4. Az elektromos mezőben végzett munka független a megtett úttól, csak a kezdő- és végpont egymáshoz viszonyított helyzetétől függ. Milyen kapcsolatban van ez a tény az energiamegmaradás törvényével?

5. Egy C kapacitású kondenzátort feltöltünk U feszültségre. Ezután két egyforma kondenzátort sorba kapcsolunk, és feltöltjük úgy, hogy az egyik kondenzátor pozitív lemeze és a másik kondenzátor negatív lemeze között szintén U feszültséget mérhetünk. Mekkora a két kondenzátor kapacitása az eredetihez képest?

6. Miért nem szabad olyan elektromos berendezésbe nyúlni még az áramkörből való kiiktatás után sem, amelyben kondenzátor van?

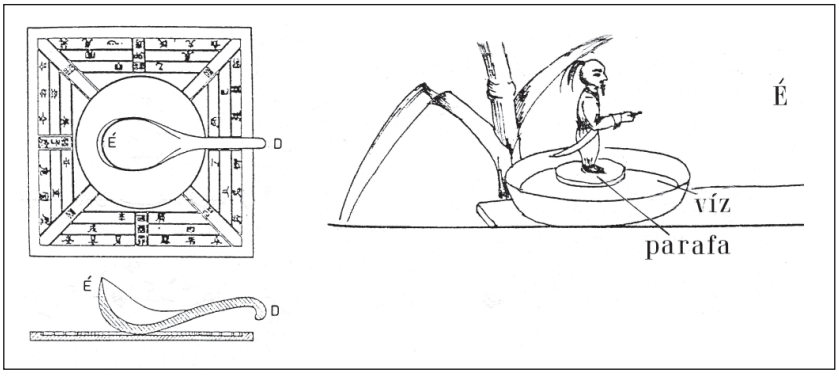
2. Magnetosztatika

2.1 Mágneses alapjelenségek, iránytű

A természetes mágnes erősen mágneses ásvány, amely vonzza a vasat. Nevét Magnesia városáról kapta, amely már az ókorban ismert lelőhelye volt Kisázsiában. A mágneses jelenségek régóta ismeretesek, de ma is mégis megdöbbentőek, hiszen ha kezünkbe veszünk egy mágnest és egy vasdarabot, azt tapasztaljuk, hogy minden külső mechanikai hatás nélkül hatnak egymásra. Számtalan hiedelem, mágia, babona kapcsolódott a mágnességhez. Sokan azt gondolták, hogy a földi pólusok közelében óriási mágneshegy van, ami a mágnestűt vonzza. E helyet a hajósoknak nem tanácsos megközelíteni, mert a vasszögeket kihúzza, s a hajó darabokra esik szét. E titokzatos jelenségek ismeretének egyetlen gyakorlati haszna évszázadokig az **iránytű** volt.

← Kepler sejtése a bolygómozgások okáról VI.2.2

IRÁNYTŰ



18. ábra. ***Kínai iránytű***
A kínaiak jöttek rá az addig csak kultikus célokra (jóslásra, sírok megfelelő helyének kiválasztására) használt mágnestű irányt mutató tulajdonságára. A sima felszínű, mágikus rajzokat, írásokat tartalmazó lapon megforgatott mágneskő mindig ugyanabba az irányba állt be. Az iránytűt a III. században már általánosan használták a Távol-Keleten. Irányt mutató eszközről Európában a XIII. századtól vannak feljegyzések, de nem lehet pontosan megállapítani, mikor került ide, mert kereskedelmi és katonai jelentősége miatt eleinte biztosan titokban tartották; talán a vikingek is használták portyázásaikon.

Az iránytűről és a mágneses jelenségekről hallottakat, tapasztaltakat Petrus Peregrinus (Pierre de Maricourt) 1269-ben írt tudományos értekezésében foglalta össze:

A MÁGNESEK JELLEMZŐI

– a mágnesnek egymással átellenben elhelyezkedő pólusai (sarkai, végei) vannak;
– a két pólust (dipól)tengely köti össze;
– az adott mágnes két pólusa mindig azonos erősségű;
– a vonzó hatás a végek közelében a legerősebb (ez a meghatározható hely az erőcentrum szerepét játssza, tehát olyan, mintha abból indulna ki a taszító vagy vonzó hatás);
– két mágnes közelítésekor az ellentétes pólusok vonzzák, az azonos pólusok pedig taszítják egymást;
– a kettévágott mágnesből kettő lesz, azaz a mágnes pólusai nem választhatók szét (a mágnes mindig dipólus). Önálló mágneses pólus (monopólus) nem állítható elő.

A PÓLUSOK ELNEVEZÉSE

Az iránytű (tűje) egy nagyon könnyű mágneses dipólus (mágnesrúd, mágnesezett acéltű), amely szokványos esetben függőleges tengelyen forog, így csak vízszintes síkban fordulhat el. Bármely helyzetbe hozva É-D irányba áll be (hacsak nincs a közelében mágnes vagy vas). Az északi és déli pólusok léte alakította ki az iránytű végeinek önkényes elnevezését: az iránytűnek a földrajzi észak felé mutató végét nevezzük északi mágneses pólusnak, a dél felé mutatót pedig mágneses déli pólusnak. (Tudva, hogy az ellentétes pólusok vonzzák egymást: az iránytű és a földi azonos elnevezésű pólusok természetesen ellenkező értelmű mágneses pólusok.)

← tájolás II.2.3

← földrajzi pólusok IV.4

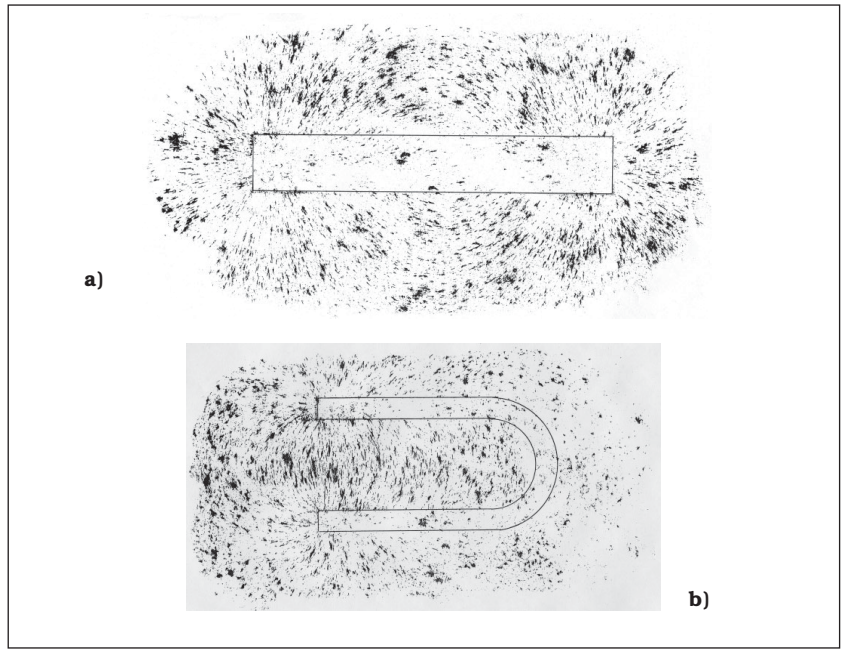
2.2 A mágneses tér

MÁGNESES ERŐTÖRVÉNY

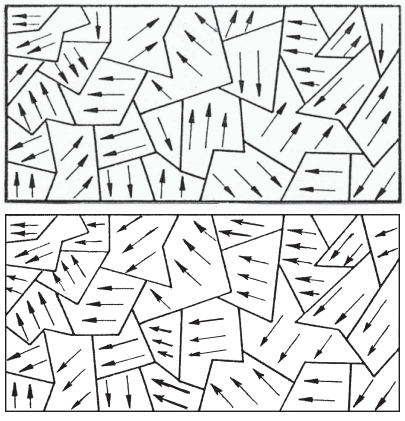
→ elektromos erőtörvény XI.1.3

A mágneses pólusok közötti erőhatás nagyságának meghatározása szintén Coulombnak köszönhető. Ezt az összefüggést is a newtoni gravitációs törvényhez hasonló alakban kereste és kísérleti eszköze is ugyanaz volt, csak a szigetelőrudak és a fémgömbök helyett hosszú mágnesrudakat használt. A hosszú rudakra azért volt szükség, hogy a mágnesek másik pólusa ne befolyásolja jelentősen a mérési eredményeket. A mágneses erőtörvény (1785) alakját tekintve hasonló volt az elektromos Coulomb-törvényhez, de a későbbi eredmények hatására elvesztette gyakorlati jelentőségét.

19. ábra. ***a) Rúdmágnes és b) patkómágnes tere***



A mágneses tér vagy mező fogalmát az elektromoséval együtt Faraday vezette be. Valóban, a mágnesek körül ugyanúgy erőhatások észlelhetők kis mágnestűk segítségével, mint a töltött testek körül kis próbatöltésekkel. A mágneses tér ugyanúgy szemléltethető erővonalakkal, mint az elektrosztatikus. Ezeknek „láthatóvá" tételére mágnestűk helyett használhatóak kis vasdarabkák is, amelyek a tér hatására kis dipólusokká válnak, hasonlóan, mint a szigetelők az elektromos térben a dielektromos polarizáció következtében.



20. ábra. ***A vas doménszerkezete a) nem mágnesezett állapotában b) mágnesezve***

A ferromágneses anyagok viselkedése azzal magyarázható, hogy a felmágneseződés nem az anyag legkisebb részeinek szintjén következik be, hanem a kristályszerkezet kisebb tartományai eleve mágneses tulajdonsággal rendelkeznek, ezek azonban különböző irányúak lévén, lerontják egymás hatását. A külső mágneses tér hatására csupán annyi történik, hogy hasonló irányba állnak be. A többi anyagban ilyen eleve mágneses cellák, domének nincsenek.

2.3. Az anyagok mágnesezhetősége

Mindennapi tapasztalat, hogy vannak mágneses és nem mágneses anyagok, míg elektromos szempontból a testek természetes állapota a semlegesség. Másik eltérés, hogy mind a vezetők, mind a szigetelők tartósan elektromos állapotba hozhatók, feltölthetők. Ezzel szemben azt tapasztaljuk, hogy mágneses tér hatására csak egyes anyagok válnak mágnesessé, pl. a vas. Ráadásul ezek közül némelyek a külső mágneses tér megszűnte után elvesztik mágnesességüket (pl. a lágyvas), mások pedig tartósan megőrzik azt (pl. az acél). Csak a XIX. század közepén derült ki, amikor már elég erős mágneses tereket tudtak előállítani és kellően érzékeny műszerek álltak rendelkezés-

re, hogy valójában erős mágneses térben valamennyi anyag mágnesezhető. A **diamágneses** anyagok (réz, ezüst, ólom, nemesgázok, víz, szerves vegyületek) kissé csökkentik, míg a **paramágneses**ek (pl. oxigén, alumínium, platina, króm, alkálifémek) kissé növelik a külső mágneses tér erősségét. A jelenséget 1845-ben fedezte fel Faraday. A vashoz hasonló viselkedésű anyagok (pl. kobalt, nikkel) **ferromágneses**ek. Azt a számot, ami megmutatja, hogy adott anyag hányszorosára növeli a mágneses tér erősségét, az anyag **mágneses permeabilitás**ának nevezik. Ez ugyanolyan anyagi jellemző, mint a szigetelők dielektromos állandója. A ferromágneses anyagoké 100 és néhány ezer között változhat, a paramágneseseké 1-nél valamivel nagyobb, a diamágneseseké 1-nél kicsit kisebb. A ferromágneses anyagok az úgynevezett Curie-pont fölött elvesztik mágnességüket (a vas 769 C°-on, a kobalt 1075 C°-on, a nikkel 360 C°-on), és paramágnesessé válnak.

DIA- ÉS PARAMÁGNESES ANYAG

FERROMÁGNESEK

Ma már mesterségesen is előállítanak könnyen mágnesessé tehető anyagokat. A ferritek úgy készülnek, hogy valamilyen fémoxidot (vas-, nikkel-, mangánoxid) finom lisztté őrölnek, 900-1000 C°-on kiégetnek, szerves kötőanyagokkal kevernek, formába sajtolnak. Ezek már tulajdonképpen nem is fémek, hanem kerámia jellegű anyagok. Ellenállásuk és keménységük nagy. A mágnessé tett ferritek mágnességüket megőrzik, de ha ellenkező irányú mágnességet kapnak, ugrásszerűen átcsapnak ellenkező irányú mágnességbe. Ez a sajátságuk kiválóan alkalmassá teszi őket arra, hogy a parányi ferritgyűrűkből kialakított emlékezőegységek a számítógépek jelrendszerét megőrizzék.

FERRITEK

→ mesterséges intelligencia? XIX.

2.4. A Föld mint mágnes

2.4.1 A Föld mágneses tere

Gilbert abból a tényből, hogy a mágnestű segítségével a földrajzi É-D irány meghatározható, arra következtetett, hogy a Föld is egy nagy mágnes és ezt szellemesen modellezte is: a Földet kis mágnesgömb (terrella) jelképezte, amelyet pici mágnesekkel vett körbe. Úgy tapasztalta, az Egyenlítőnél gyengébb a vonzóerő, mint a sarkoknál. Jól megfigyelhető az inklináció is (az erőhatás vízszintestől való eltérése), valamint a vonzások és taszítások.

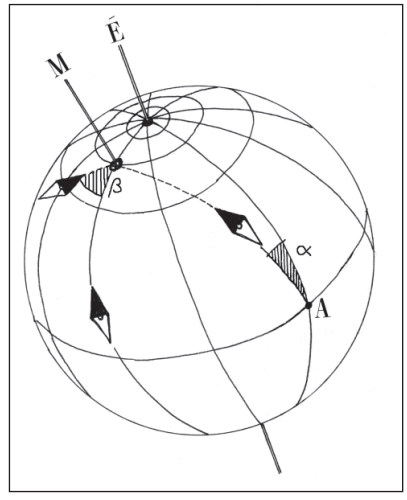
„…legnagyobb vonzóerő a Pólus közelében lép fel, míg a gyengébb és kevésbé hatásos az Egyenlítő környéki részeken… a Sarktól távoli pontokon a mágneskő nem egyenes vonalban húzza a testeket a középpontja felé, azok ferdén irányulnak rá… A mágneses hatás a mágneses test minden oldaláról egyaránt kiáramlik” – írja Gilbert (1600).

Gilbert abban a meggyőződésben élt, hogy az egész Naprendszer mágneses, a bolygókat is ezen erők mozgatják. Tehát a mágnességet kiterjesztette egy mindent (a szférákat is) átható mágnességre. Sejtésének egy részét a mai tudomány megerősíti: nemcsak a Föld, hanem a Nap és a Naprendszer bolygóinak többsége is rendelkezik mágneses térrel, sőt a csillagok között örvénylő ritka anyagnak is van mágneses tere.

A Föld mágneses terének nagy része – jó közelítéssel – úgy képzelhető el, mintha benne a forgástengelyhez képest kissé – 11 foknyira – elhajló nagy rúdmágnes lenne. Emiatt a Föld mágneses terének déli pólusa a földrajzi Északi-sark, északi pólusa a Déli-sark közelében van, de nem esnek pontosan egybe.

Az iránytű ezért nem a földrajzi északi irányba mutat, hanem azzal szöget zár be. Ez a szög a mágneses *deklináció, elhajlás.* Iránya néha keleti, máskor kissé nyugati, de vannak zérus értékű helyek is.

Edmund Halley (1656–1743) nagy munkával mérte meg az iránytű valódi északtól való eltéréseit az Atlanti-óceánon, de hamarosan kiderült,



21. ábra. ***A mágneses elhajlás (deklináció)***
A képen É jelöli a földrajzi, M pedig a mágneses pólus helyzetét. Az elhajlás mértéke a Föld különböző pontjain más és más (α és β szögek).

Az északon levő mágneses sarkot Ross kapitány 1831-ben Észak-Amerika Jeges-tengerének Melville szigetén találta 70 fok földrajzi szélességben, tehát 20 foknyira a földrajzi saroktól. A délen levőt 1908-ban találta meg Shackleton hadnagy a déli szélesség 72 és a keleti hosszúság 154 foka alatt.) A déli mágneses sarok a Bathurst-szigetek (Kanada), az északi földmágneses pólus az Antarktiszon az Adelie-part közelében helyezkedik el. A Föld geometriai középpontja sem esik pontosan egybe a mágneses középponttal, hanem attól mintegy 3-400 km-re van. Az eltérés ismerete hosszabb (hajó)utak során életbevágóan fontos.

← tematikus térképek VIII.1.6.2

hogy az iránytű eltérései bármely ponton fokozatosan megváltoznak. Térképe így navigációs eszközként elavult, de vizsgálata a geofizika tudományának nyitánya volt.

DEKLINÁCIÓ ÉS INKLINÁCIÓ

A Föld mágneses terének azonban van eltérése a vízszintes iránytól is. (Ez a lehajlási vagy inklinációs szög). Ezt pedig olyan iránytűvel (inklinométerrel) lehet mérni, amely vízszintes tengelyre van szerelve, tehát függőleges síkban mozog, minden helyen más szöget zár be a vízszintes síkkal. Alexander von Humboldt (1769–1859) tovább folytatta Halley vizsgálatait, de minden utazásán ezzel együtt megmérte az inklinációt is. Saját és mások méréseit egybevetve elkezdte feltérképezni a Föld mágnességét. A térképen az azonos inklinációjú helyeket összekötő vonalak (izoklin) a szélességi körökhöz hasonlóan veszik körbe a Földet, de nem esnek egybe azokkal. A mágnestű a vízszintessel annál nagyobb szöget zár be, minél távolabb vagyunk az Egyenlítőtől. A mágneses É-i pólusnál az inklináció +90°, a D-inél –90°, tehát itt az iránytű függőlegesen áll.

2.4.2. A pólusvándorlás

→ jelentősége az evolúció-történetben XXIX.

Halley méréseinek megismétlése során kiderült, hogy az idők során a Föld mágneses tere lassan ugyan, de fokozatosan változik. Pl. az É-i pólus a századforduló óta 600 km-t vándorolt. (A múltbeli pólusvándorlást vastartalmú vulkáni kőzetek lokális mágneses mezejének irányából lehet megállapítani.) Az utóbbi 150 év során a geomágneses pólusok ugyanazon a hosszúsági fokon maradtak, szélességi helyüket 6,3 fokkal változtatták, s erősségük 7%-kal csökkent. (Ha a csökkenés üteme megmaradna, 4000-ben el is tűnne). E változások hátrányt jelentenek a navigációban, a tengerészeti térképeket állandóan korszerűsíteni kell.

→ geológiai időskála XXV.

A Föld mágneses teréről csak 1800-tól készülnek pontos mérések, így kevés adat áll rendelkezésre a geomágnesség hosszú távú változásáról. A Föld mágneses terének időről időre történő változásairól információt szereztek az óceáni aljzatot képező magmás kőzetek mágnesezettségéből. Erről is csak 1950-es évektől, hiszen ekkor sikerült olyan érzékeny műszereket készíteni, amelyek e gyenge mágneses hatásokat mérhették. Ezekből kiderült, hogy a dipólusok iránya kb. 10000 évenként teljesen megfordul északról délre, és erőssége az utóbbi 2000 év alatt 50%-kal csökkent. A Föld mágneses terének jó egy évszázados egyértelmű és folyamatos gyengüléséből pólusváltozásra következtetnek.

Summa

A mágnesség és az elektromosság összehasonlítása:

állapot	mágneses	elektromos
fajtái	– kétféle mágneses pólus van: északi és déli	– kétféle elektromos állapot van: pozitív és negatív
hordozója	– a két mágneses pólus nem választható el, csak mágnes dipólus létezik	az elektromos – töltések könnyen elmozdulhatnak, a kétféle elektromos töltés szétválasztható
kölcsönhatás	– az ellentétes pólusok vonzzák egymást – az azonos pólusok taszítják egymást	– az ellentétes töltések vonzzák egymást – az azonos töltések taszítják egymást
kölcsönhatás más testekkel	– a mágnes a magához vonzott könnyű tárgyakat ott tartja – csak bizonyos anyagokkal van könnyen észlelhető kölcsönhatás	– a töltött test a magához vonzott semleges tárgyat ott tartja, majd eltaszítja – bármilyen anyagból készült test feltölthető

3. Az elektrodinamika megszületése

3.1. Az elektromos áram

3.1.1 Galvani és Volta

A XVIII. század utolsó évtizede fordulatot hozott az elektromosságtanban. Galvani felfigyelt arra, hogy az anatómiai kísérleteihez előkészített békacomb görcsös rángatózásba kezdett, ha egyszerre kétféle fém ért hozzá.

Eredményeit 10 éves kutatómunka után tette közé:

„...fogtam az állatot, és bevittem egy zárt szobába, ott ráhelyeztem egy vaslemezre; és amikor a lemezt az idegbe akasztott rézhoroggal megérintettem, ugyanazt a görcsös rángatózást figyeltem meg, mint azelőtt. Más fémekkel is próbálkoztam hasonló eredménnyel... A nem vezetőkkel semmi hatást nem kaptam. Ez eléggé meglepő volt, és ahhoz a sejtéshez vezetett, hogy az elektromosság az állatban székel...”

A rángás, amelyet a békacombon átfutó elektromosság okoz, az izomtevékenység és az elektromosság közötti kapcsolatot bizonyította. Galvani arra a következtetésre jutott, hogy az elektromosság eredete a békacombban van és ezért elnevezte „állati” elektromosságnak, megkülönböztetésül a szervetlen elektromosságtól. Valami olyan elektromosságnak képzelte a leideni palackhoz hasonló jelenséget, mint amilyet a régóta ismert elektromos halak képesek előállítani. A zsibbasztó rája például táplálékát elektromos ütés segítségével szerzi meg.



22. ábra. ***Aloisio Luigi Galvani (1737–1798) olasz anatómus, fiziológus, orvos***
Bolognában szerzett orvosi diplomát, majd ugyanitt tanított. Legismertebb kísérletei a béka ideg-izom készítmény elektromos ingerlésével kapcsolatosak (*De viribus elettricitis in motu musculari commentarius,* 1791).

→ az idegrendszer elektromos jelenségei XVIII.3.1

Volta sokszor megismételte a Galvani kísérleteit, ám a jelenségre más magyarázatot talált. Szerinte a jelenség lényege a kétféle fém érintkezésében van, a békacomb csak a vezető és a hatást érzékelteti. Békacomb helyett érzékeny elektrométert alkalmazott és igazolta, hogy bármilyen két különböző anyagi minőségű fém és a békacombot helyettesítő vezető folyadék megfelel a Galvani-jelenség bemutatásához.

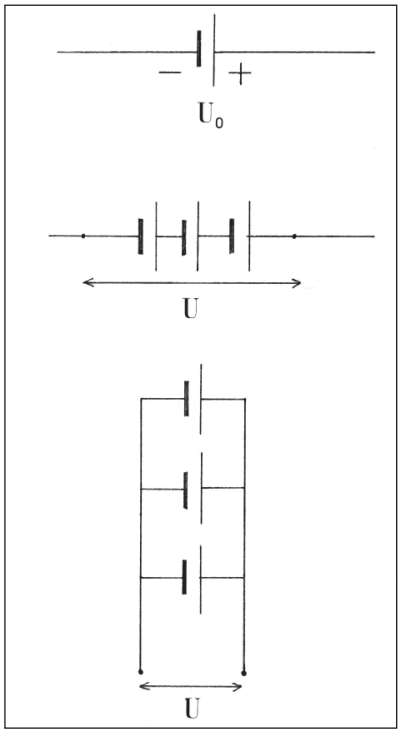
E tapasztalatok alapján készítette el 1800-ban az első mesterséges áramforrást. Számos fémpár (pl. réz-ón, ezüst-cink) lemezei közé savval átitatott papírkorongot tett és az oszlop végeit (pólusait) összekötve tartós töltésáramlás keletkezett. *„Hogy az elektromos fluidum szakadatlanul kering, paradoxonnak és megmagyarázhatatlannak tűnhet. Mindazonáltal tényleg ez a helyzet; a jelenség úgyszólván kézzel fogható”* – írta Volta. Annál nagyobb hatású készüléket nyert, minél magasabb oszlopot rakott össze, illetve minél több készüléket kapcsolt össze.

„...van szerencsém közölni Önnel és Ön útján a Királyi Társasággal néhány meglepő jelenséget, melyet akkor tapasztaltam, mikor kísérleteket folytattam különböző fémek érintkezése által keletkező elektromossággal... A legfontosabb eredmény, mely valóban a többit mind magában foglalja, egy készülék megszerkesztése, mely hatásaiban a leideni palackhoz hasonlít, amennyiben a karokra elektromos ütést tud mérni stb., azonban folyamatosan működik, mert minden kisülés után a töltés folyamatosan megújul rajta.”

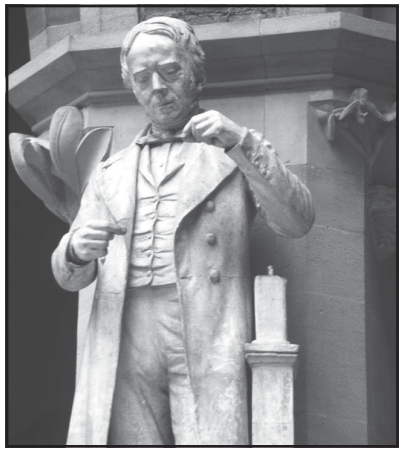
Volta levele a Royal Society elnökének



23. ábra. ***Alessandro Volta (1745–1827) olasz fizikus***
Kora fiatalságától vonzódott a természettudományokhoz. Szülővárosában, Comóban, majd a paviai egyetemen lett fizikaprofesszor. Sok szellemes készülék feltalálója, továbbfejlesztője; pl. egy igen érzékeny elektrométernek is. Legfontosabb találmánya a róla elnevezett Volta-oszlop volt.



24. ábra.
a) Egyenáramú áramforrások ma használatos rajzjele
b) soros kapcsolása (ilyenkor $U = nU_o$)
c) párhuzamos kapcsolása (ilyenkor $U = U_o$)
(U_o az egyetlen áramforrás kapcsai között létrejövő feszültség)



25. ábra. ***Hans Christian Oersted (1777–1851) dán természettudós***
Koppenhágában folytatta filozófiai, természettudományi és orvosi tanulmányait. Németországi tanulmányutak után a fizika és a kémia professzora lett. Kiváló kísérletező tanár, tankönyvszerző és ismeretterjesztő volt.

3.1.2 Elektromos egyenáram, áramforrások

Volta a készülékével előállított áramot stacionáriusnak nevezte. Ez azt jelenti, hogy az áramlás erőssége állandó. Ennek jellemzésére definiálta az **áramerősség**et. Egyenletes áramlás esetén az áramlás erősségét a vezető bármely keresztmetszetén áthaladó Q töltés és az áthaladás t idejének hányadosával mérjük. Az áramerősség jele: I (az intenzitás latin szóból, jelentése: erősség, a hatás erőssége). Vagyis

$$I = \frac{Q}{t}$$

Mérőszáma tehát a vezeték adott keresztmetszetén egységnyi idő alatt átáramló töltés mérőszámával egyenlő. Egysége: amper. 1 A az áramerősség, ha 1 s alatt 1 C töltés áramlik át a vezető kiszemelt keresztmetszetén. Megállapodás szerint az áram iránya a pozitív pólus felől a negatív pólus felé mutat (technikai áramirány). Ez az értelmezés azért hasznos, mert így mindig fennáll, hogy az elektromos áram a nagyobb potenciálú helyről a kisebb potenciálú hely felé áramlik. Erre a megállapodásra azért volt szükség, mert ekkor még nem tudták, hogy valójában *mi* áramlik a vezetőben.

A tartós elektromos áramot biztosító berendezések az **áramforrások**. Az áramforrások töltésszétválasztó rendszerek, amelyek kapcsain (sarkain, pólusain) szétvált töltések elektromos teret hoznak létre. A töltések szétválasztásához energia kell, pl. kémiai energia. Egyenáramú áramkörben a leggyakrabban alkalmazott áramforrások az elektrokémiai áramforrások. Ilyenek a Volta-elem, a zsebtelep, az akkumulátor. Az áramforrásokban a töltések szétválasztása folyamatosan megvalósul. Egyetlen zsebtelep annyi töltéshordozót hoz mozgásba, hogy 10 millió embernek állandóan fésűt kellene dörzsölnie, hogy az ennek megfelelő elektromos teret létrehozza.

A zárt **áramkör** az áramforrások, a vezetékek, a fogyasztók (kapcsolók, feszültségátalakítók) folytonos, megszakítás nélküli rendszere, amely a töltések zárt körben való áramlását biztosítja. Az áramkörben folyamatos **töltésszétválasztás** és folyamatos **kiegyenlítő töltésáramlás** is történik.

3.2 Elektromosság és mágnesség

3.2.1 Az elektromos áram mágneses hatása

A Volta-oszlop feltalálása után a természettudósok számára új lehetőségek nyíltak. Az elektrokémiai kísérletek mellett sokan vizsgálták az elektromosság kapcsolatát más jelenségekkel: hanggal, hővel és fénnyel.

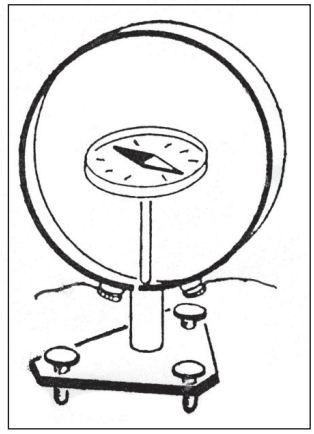
E kísérletezések közben vette észre Oersted 1820-ban, hogy az elektromos áram mágneses hatással jár. A felfedezésre vezető kísérlet igen egyszerű volt: az árammal átjárt vezető közelébe helyezett iránytű kilengett, tehát a töltés mozgása közben a vezető környezetében mágneses tér alakul ki. Oersted az É-D irányba kifeszített vezető alá mágnestűt helyezett úgy, hogy a vezető és az iránytű egy irányban legyen, majd áramot bocsátott a vezetékbe. A mágnestű eredeti irányából kitért, s a vezetőre merőlegesen állt be. Az áram irányának megváltoztatása az iránytű 180 fokos elfordulásával járt.

„A szabadon függesztett iránytű felett északról délre haladó galvánelektromosság északi végével keletre téríti ki az iránytűt: az elektro-

mosság ugyanazon irányú mozgásának esetében, ha az az iránytű alatt megy végbe, nyugatra téríti el azt…"

Oersted levele Ampère francia fizikusnak

Az évszázados sejtés beigazolódott: az elektromos és a mágneses jelenségek összefüggenek. A tudósok sorra megismételték a dán felfedező kísérleteit, s közben újabb és újabb felismerésekre jutottak maguk is. Megszületett a fizika új fejezete: az **elektrodinamika**.

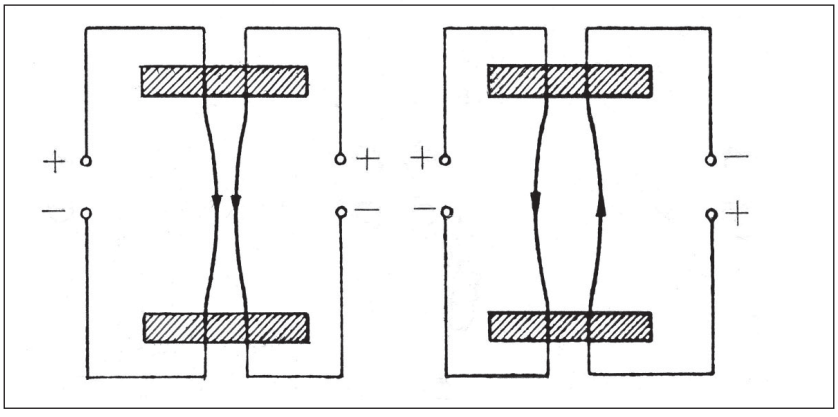


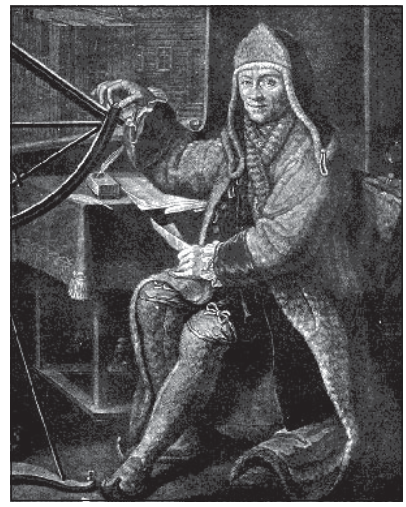
27. ábra. ***Galvanométer***
Az áram mágneses hatásának felfedezése tette lehetővé érzékeny árammérő műszer építését. A galvanométer fő része egy függőleges síkú körvezető, amelynek középpontjában kis vízszintes mágnestű foroghat függőleges tengely körül. A galvanométert úgy állítják be, hogy árammentes állapotban a körvezető síkja észak-déli irányba essen. Amikor a mérendő áramot a körvezetőbe vezetik, a mágnestű elfordul, mivel a körvezető körül kialakuló mágneses mező annak síkjára merőleges. Az elfordulás szögéből és a földi mágneses mező erősségének ismeretében az áramerősség meghatározható. Később a körvezető helyett többmenetes tekercset használtak, mert belsejében ugyanakkora áramerősség mellett erősebb mágneses mező keletkezik.

3.2.2 Áramok egymásra hatása

Ampère Oersted nyomán kezdett az áramok keltette mágneses terekkel foglalkozni. A kísérletekben nagyon fontos volt az elektromos áram iránya és az iránytű kitérésének iránya közötti összefüggés. Ampère a mágnestű kitérésére fontos gyakorlati szabályt állított fel: ússzunk képzeletben arccal az iránytű felé fordulva az áram irányába, s ekkor az iránytű északi sarka balra tér ki. (Ampère-féle „úszószabály".)

Mivel ismert volt az állandó mágnesek közötti kölcsönhatás és az áramok mágneses hatása, ezért az áramok egymásra hatását vizsgálta. Az áram-áram kölcsönhatást a tömegvonzás newtoni elméletéhez hasonló átfogó elmélettel kívánta magyarázni. Kimutatta az áramjárta párhuzamos vezetők közötti kölcsönhatásokat és 1821-ben kidolgozta ennek matematikai elméletét is.





26. ábra. ***Hell Miksa (Maximilian Höll, 1720–1792), magyar csillagász, matematikus***
egyike volt azoknak, akik kutatták az elektromosság és a mágnesség kapcsolatát. Selmecen született. Tanulmányait Besztercebányán és Bécsben végezte, majd Bécsben lett udvari csillagász. Az ő tervei szerint és vezetése alatt épült fel a nagyszombati, a régi budai, az egri és a gyulafehérvári csillagtorony. Ezek berendezései is az ő tervei alapján készültek. 1752-ben a kolozsvári egyetemre került, ahol a csillagdát vezette, s közben a matematika, a csillagászat, az elektro- és mágnességtan területén is eredetit, korát megelőzőt alkotott. Hell Miksa és tanársegéde, Sajnovics János lappföldi expedícióval is öregbítette hírnevét. Ez az expedíció tekinthető az első magyar tudományos kutatóútnak, melynek során meteorológiai, csillagászati, földrajzi, geológiai, nyelvészeti és néprajzi megfigyeléseket végeztek. Az expedíció fő célja a Nap-Föld távolság megállapítása volt annak mérése alapján, hogy a Vénusz mennyi idő alatt vonul át a Nap előtt. Számításaik nagyon pontosak voltak: 151,2 millió km, a mai adat: 149,6 millió km. Az expedíció „mellékes" eredménye a magyar és a lapp nyelv rokonságának felderítése.

28. ábra. ***Áramátjárta vezetők egymásra hatása***
a) egyirányú áramok esetén vonzás
b) ellentétes irányú áramok esetén taszítás
Ha a vezetékek lazán vannak felfüggesztve, jól látható a vezetékek közeledése, illetve távolodása. A hatás még jobban megfigyelhető, ha a vezetőket erős fénynyel megvilágítjuk és a falra vetített árnyékukat figyeljük.



29. ábra. ***André Marie Ampère (1775–1836) francia matematikus és fizikus***
Bourg-en-Bresse-ban és Lyonban fizikát és kémiát tanított, majd a Collége de France-ban fizikát adott elő. A matematika különböző területeiről jelentek meg cikkei, dolgozatai. 1821-ben felállította az áramok elektrodinamikus kölcsönhatására vonatkozó törvényt.

Vákuumban, és levegőben is, a vezetőkre ható mágneses erőhatás egymással egyenlő, egyenesen arányos a vezetékekben folyó áram erősségével, és fordítottan arányos a köztük lévő távolság négyzetével:

$$F = k \frac{I_1 I_2}{r^2} l,$$

ahol a k arányossági tényező nagysága a mértékegységek megválasztásától függ. Az erők az árammal átjárt vezetőket összekötő vonal mentén hatnak. 1948-ban ezen összefüggés alapján rögzítették az áramerősség egységét: 1 A erősségű áram akkor folyik egy egyenes vezetőben, ha vele egyenlő nagyságú, párhuzamos vezető 1 m hosszú darabjára 1 m távolságban vákuumban $2 \cdot 10^{-7}$ N erővel hat.

„Az a kísérleti vizsgálat, amellyel Ampère felállította az elektromos áramok közötti mechanikus hatás törvényeit, a tudomány egyik legbriliánsabb teljesítménye. Az egész elmélet és kísérlet, úgy látszik, mintha teljes fegyverzetben pattant volna ki az „elektromosság Newtona" agyából. Tökéletes a formája, megtámadhatatlan a pontossága, és egy olyan formulában van végül is összefoglalva, amelyből az összes jelenség levezethető, és amely mindig az elektrodinamika sarkalatos formulája marad." (Maxwell)

3.2.3 Az elektromágnes

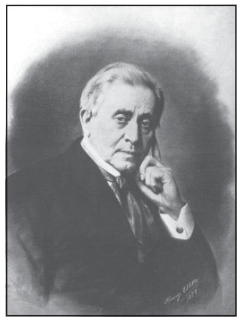
Amikor egy vezetékben áram folyik, körülötte mágneses tér alakul ki, melynek erőssége az egyenes huzaltól távolodva rohamosan csökken. Ha azonban a vezetékből tekercset készítünk, akkor a keletkező mágneses tér szinte csak a tekercs belső tartományára korlátozódik és megközelítőleg homogén lesz. Arago és Gay-Lussac francia fizikusok észrevették, hogy az árammal átjárt tekercsbe tett vasdarab mágnessé válik és ezáltal a tekercs belsejében a mágneses tér felerősödik. Így született meg az **elektromágnes**.

Az elektromágnes mágneses tere a rúdmágneséhez hasonló: pólusai a tekercs két végén helyezkednek el. Az elektromágnes körül kialakuló mágneses tér erőssége növelhető a tekercsben folyó áram erősségének növelésével és a tekercs egységnyi hosszára jutó menetszám növelésével.

Az elektromágnes használata sokkal előnyösebb, mint a permanens (állandó) mágnesé, hiszen sokkal erősebb, erőssége változtatható és meg is szüntethető az áramforrás kikapcsolásával. Az elektromágnes teheremelő hatását szinte azonnal kihasználták, sőt egyre erősebbek építésével próbálkoztak.

Henry 1831-ben olyan erős elektromágnest állított elő, amely 1000 kg tömegű terhet emelt fel. Elsőként kapcsolt össze (párhuzamosan) elektromágneseket, így növelve azok teljesítményét (1575 kg-ra).

Azóta az elektromágnesek mindennapi életünk eszközeinek részévé váltak. Az elektromos csengő gombját benyomva áramkört zárunk. Az áram az elekromágnes vasmagját átmágnesezi, ez pedig magához rántja a csengő fémharangjához ütődő fémkalapácsot. Ezzel az áramkör megszakad, a mágneses hatás megszűnik, így a kalapács eredeti helyzetébe visszajutva ismét zárja az áramkört. Az emberre veszélyes erősségű áramkörök ki- és bekapcsolását elektromágneses kapcsolóval oldják meg. Az utcai vagy hivatali elektromos órák mutatóit is az időközönként áramot kapcsoló elektromágnesek lendítik előre. Elektromágneseket használnak a sebészetben vasszilánkok eltávolítására, a villanygépek motorjában, a videókban, a számítógépek lemezmeghajtójában is.



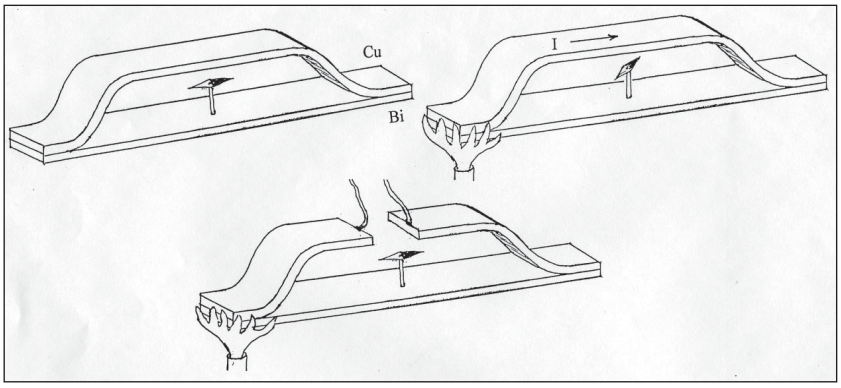
30. ábra. ***Joseph Henry (1797–1878) amerikai fizikus***
Pályafutását órásként kezdte, később író, színész, rendező is volt. Tanított a Princeton Egyetemen, s ő lett a híres Smithsonian Institution első igazgatója.

3.3. Feszültség, áramerősség, ellenállás az áramkörben

3.3.1 Ohm törvénye

Ohm kvantitatív összefüggéseket keresett a galvánelemen átfolyó áramerősség és az áramlást létrehozó feszültség között. Matematikai elméletének kidolgozásához átfogó kísérleti tervet készített.

Az áramerősség mérésére galvanométert használt. A legnagyobb nehézséget az jelentette, hogy a Volta-elem feszültsége használat közben állandóan változott („kimerült"), és emiatt nagyon nehéz volt pontos méréseket végezni. Ezért Ohm vizsgálataihoz termoelemet használt, ami állandó feszültséget adott.



32. ábra. ***Az Ohm által használt termoelem működése***
A Volta-féle érintkezési feszültség hőmérsékletfüggését vizsgálva Seebeck 1821-ben felfedezte, hogy ha két különböző anyagú fémhuzalt két végén összeforraszt, és az egyik forrasztást melegíti, akkor a két huzal által alkotott körben áram folyik, amit a mágnestű kitérése jelzett. Ha az egyik huzalt megszakítjuk, akkor az így keletkező sarkok közé bármilyen más áramköri elemet is be lehet illeszteni. A hőmérséklet-különbség állandósága esetén a termoelem állandó feszültséget biztosít. Ohm bizmut- és vörösréz drótból készült termoelemet használt, az egyik forrasztást forrásban lévő vízbe, a másikat jeges vízbe merítette.



31. ábra. ***Georg Simon Ohm (1787–1854) német fizikus, matematikus***
A kölni jezsuita kollégiumban tanított matematikát, később a nürnbergi politechnikumot vezette. A róla elnevezett törvényt 1826-ban hozta nyilvánosságra, de eredményeit bizalmatlanul fogadták. Csak 1841-ben ismerte el tevékenységét a Royal Society. 1849-ben végre meghívták a müncheni egyetemre fizikaprofesszornak, ezzel régi álma teljesült. Az elektromosságtan mellett jelentős eredményeket ért el a hangtanban és az optikában is.

TERMOELEM

Ohm elsőként ugyanazt a termoelemet különböző anyagi minőségű vezetőkkel zárta és mérte az áram erősségét. A kapott különböző értékeket úgy lehetett értelmezni, hogy a más-más anyagi minőségű vezetők a töltéshordozók áramlásával szemben különböző **ellenállást** fejtenek ki. Ohm arra a megállapításra jutott, hogy az áramerősség fordítottan arányos egy olyan mennyiséggel, ami a vezető anyagától és méreteitől függ. A feszültség változtatásával viszont az ugyanazon vezetőn átfolyó áram erőssége is változott, a feszültséggel egyenes arányban. Az Ohm által megállapított törvény mai megfogalmazásban:

→ mitől függ az oldatok vezetőképessége (vezetése): XI.4.4.1

Bármilyen alakú fémes vezetőben folyó áram erőssége egyenesen arányos a vezető végei között mért feszültséggel, ha a külső körülményeket nem változtatjuk:

$$I \sim U$$

ELEKTROMOS ELLENÁLLÁS

A feszültség és az áramerősség hányadosa az áramkör vizsgált szakaszára (vezetőre) jellemző állandó. Ez az **elektromos ellenállás** (rezisztencia). Jele R. **Ohm törvénye** matematikai alakban:

$$R = \frac{U}{I}$$

Az elektromos ellenállás mai egysége: 1Ω (ohm). 1Ω annak a vezetőnek az ellenállása, amelyben két pont között 1 V feszültség esetén 1 A áram folyik.

Ohm megállapította azt is, hogyan függ a vezető ellenállása a méreteitől. Eszerint

$$R = \rho \frac{l}{A},$$

ahol l a vezető hossza, A a keresztmetszete, ρ pedig az anyagi minőségtől függő ún. fajlagos ellenállás. 1Ω az ellenállása pl. 1 mm² keresztmetszetű, 106,3 cm hosszú, 0 °C fok hőmérsékletű Hg-szálnak, azaz a Hg fajlagos ellenállása 0,958 $\frac{\Omega mm^2}{m}$. A hőmérséklet megadása igen fontos, mert a vezetők fajlagos ellenállása – anyagonként más-más mértékben – függ tőle.

→ a hőmérsékletfüggés magyarázata: XI.4.5.4

3.3.2 Soros kapcsolás

Valamely vezetőben a töltések állandó áramlásának feltétele az állandó feszültség és a zárt áramkör. Legegyszerűbb esetben az áramforrás egyik pólusát egy vezetővel összekötjük egy fogyasztó (pl. egy izzó) egyik kivezetésével, a másik kivezetését a következő fogyasztóéval, és így tovább, míg visszaérünk az áramforrás másik pólusához. Ilyenkor a fogyasztókat sorba kapcsoltuk.

→ biológiai körfolyamatok XIII., XXIX.

← a nagy földi légkörzés VIII.2.5

Soros kapcsolás esetén a töltések áramlásának csak egy útja van, az áramerősség mindenhol ugyanakkora, hiszen töltés az áramkör egyik pontján sem keletkezik, illetve tűnik el.

Az egyes fogyasztók sarkai között mérhető feszültségek összege megegyezik a fogyasztólánc két vége között mérhető feszültséggel. Ugyanis az elektromos tér, miközben a töltést végigviszi az egyes fogyasztókon, munkát végez és ezek a munkák összeadódnak:

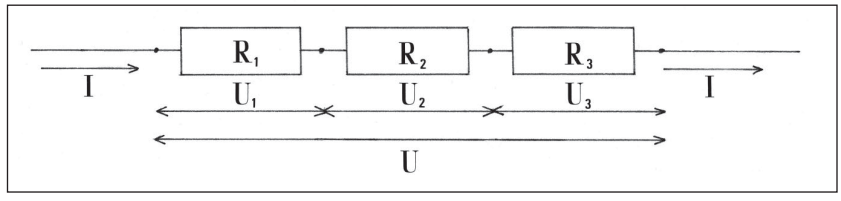
$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \ldots$$

← vérkörök ellenállása X. 4.3

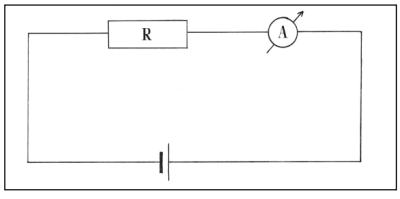
A sorba kapcsolt fogyasztók összellenállása is (az ellenállások eredője) az egyes fogyasztók ellenállásainak összegével egyenlő. A fenti összefüggésben, Ohm törvénye értelmében, minden fogyasztó feszültsége egyenlő a fogyasztó ellenállásának és a rajta átfolyó áram erősségének szorzatával, az összfeszültség pedig egyenlő az eredő ellenállás és az áramerősség szorzatával. A mindenhol ugyanakkora áramerősséggel egyszerűsítve:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots$$

Az újabb ellenállások bekapcsolása tehát az eredő ellenállást növeli.



33. ábra. ***Soros kapcsolás***



34. ábra. ***Árammérő műszer bekapcsolása az áramkörbe***

Az árammérő műszert is sorba kell kapcsolni azzal az áramköri elemmel, amelyen az átfolyó áramerősséget mérni akarjuk. Alapvető követelmény, hogy az ampermérő saját ellenállása kicsi legyen, hogy ne változtassa meg nagyon az áramkör ellenállását és ezáltal a mérendő áramerősséget.

3.3.3 Párhuzamos kapcsolás

Párhuzamos kapcsolás esetén mindegyik ellenállás (fogyasztó) egyik kivezetése az áramforrás egyik, a másik kivezetése a másik pólusához kapcsolódik. A párhuzamos kapcsolás előnye a soros kapcsolással szemben az, hogy bármelyik fogyasztó ki- vagy bekapcsolása a többi működését nem zavarja, hiszen egy ág kiiktatásával a többi ág még zárt kört alkot.

Most nem a fogyasztókon átfolyó áram erőssége lesz ugyanakkora, hanem a fogyasztók sarkai közötti feszültségek, hiszen valójában ugyanazon két pont közötti feszültségről van szó, ez pedig független attól, melyik úton jutottunk egyik pontból a másikba. Az elektromos térnek ezt a tulajdonságát áramkörökre a következő törvény tartalmazza: Egy áramkörben bármely zárt hurokban az egyes szakaszokon mért feszültségek előjeles összege 0. (Huroktörvény vagy Kirchhoff II. törvénye, 1847.)

Természetesen párhuzamos kapcsolás esetén is érvényes a töltésmegmaradás törvénye. Ez most azt jelenti, hogy az elágazási pontokba befolyó áram egyenlő a kifolyó, azaz az egyes fogyasztókon áthaladó áramok összegével:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$

Az összefüggés akkor is igaz, ha az elágazási pontba több áram is befolyik. Ha a be- és kifolyó áramerősségeket ellenkező előjelekkel látjuk el, akkor az áramerősségek előjeles összege nulla. (Csomóponti törvény vagy Kirchhoff I. törvénye, 1847.)

A fentiekből következik, hogy párhuzamos kapcsolás esetén az eredő ellenállás reciproka egyenlő a részellenállások reciprokának összegével. Ugyanis Ohm törvénye értelmében a fenti összefüggésben minden áramerősség helyébe beírhatjuk a megfelelő feszültség és ellenállás hányadosát, és a minden fogyasztóra azonos feszültséggel egyszerűsítve:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots$$

Tehát egyre több fogyasztó bekapcsolása az eredő ellenállást csökkenti, és változatlan feszültség esetén az áramerősség egyre nagyobb lesz.

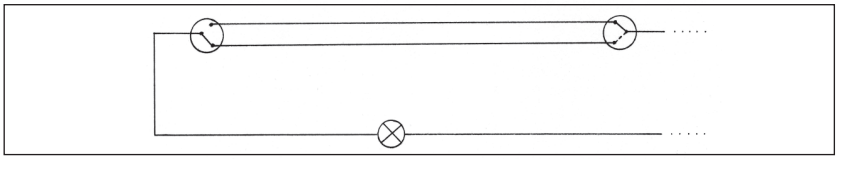
A feszültségmérő műszert a mérendő fogyasztóval párhuzamosan kell kötni, hiszen így lesz ugyanakkora a feszültség sarkaik között. A feszültségmérő ellenállásának viszont nagynak kell lennie, hogy az eredő ellenállást (és ezáltal a fogyasztó feszültségét) ne változtassa meg számottevően.

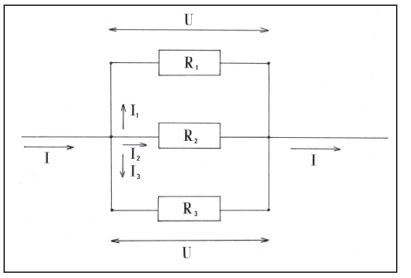
3.3.4 Vegyes kapcsolás

Vegyes kapcsolás esetén az ellenállások soros és párhuzamos kapcsolása egyaránt előfordul. A huroktörvény és a csomóponti törvény segítségével az ilyen áramkörökben is kiszámítható az egyes fogyasztók feszültsége és a rajtuk átfolyó áram erőssége.

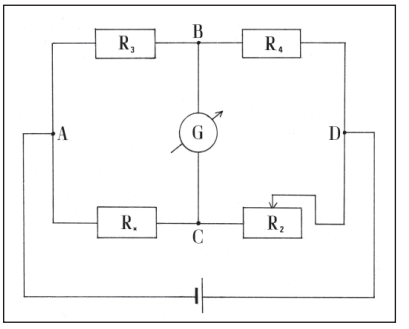
Ilyen áramkör pl. a hídkapcsolás, amelynek segítségével egy ismeretlen ellenállás megmérhető.

Az alternatív kapcsolás a házi elektromos rendszerek gyakori eleme, amely két kapcsolót tartalmaz.





35. ábra. ***Párhuzamos kapcsolás***

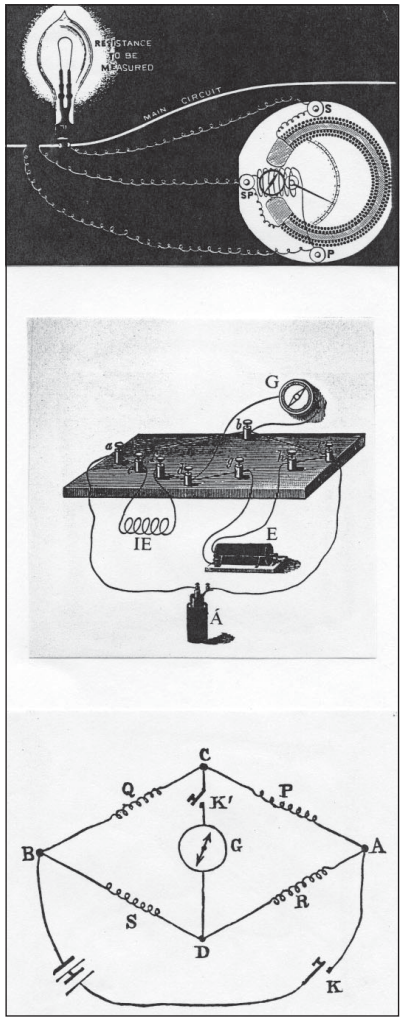


36. ábra. ***Hídkapcsolás és ellenállásmérésre használt változata (Wheatstone-híd) mai rajzjelekkel***

Ha az R_5 ellenállás helyébe egy galvanométert, az R_1 helyébe az ismeretlen R_x ellenállást, R_2 helyébe pedig egy változtatható ellenállást kötünk, akkor R_2 változtatásával elérhető, hogy a galvanométer ne jelezzen áramot. Ez azt jelenti, hogy a B és C pontok között nem folyik áram, azaz ekvipotenciális pontok. Ezért $U_{AB} = U_{AC}$, ill. $U_{BD} = U_{CD}$. Mivel pl. U_{AB} éppen az R_3 ellenállás sarkai közötti feszültséggel azonos, a két egyenlőség Ohm törvénye alapján így is írható: $I_1R_3 = I_2R_x$, ill. $I_1R_4 = I_2R_2$. A két egyenletet elosztva egymással, R_x a többi ellenállás ismeretében kiszámítható. (A fenti gondolatmenetben az összekötő huzalok ellenállását és így a végeik között fellépő potenciálcsökkenést is 0-nak vettük, mivel a szereplő ellenállásokhoz képest elhanyagolható.)

37. ábra. ***Alternatív („lépcsőházi”) kapcsolás***

Alternatív kapcsolásnál mindegyik kapcsolónak két érintkezőpárja van. Az egyik kapcsoló érintkező párjait huzal köti össze a másik kapcsoló megfelelő érintkezőpárjával. A kapcsoló fel- vagy lebillentése zárja az egyik érintkezőpárt és nyitja a másikat. A lámpa bekapcsolásakor a kapcsolókat összekötő két huzal valamelyikének mindkét végén zárt az érintkezés. Így pl. egy folyosó bármelyik végén belépő ember a lámpát bekapcsolhatja, függetlenül attól, hogy milyen állású a folyosó másik végén a kapcsoló.



38. ábra. ***1884-ből, 1890-ből és 1898-ból származó rajzok a Wheatstone-hídról***
Jól megfigyelhető, hogy az idők során az ábrázolásban egyre inkább az áramkör logikai elrendezése került előtérbe, az áramköri elemek tényleges kinézete és valóságos térbeli elhelyezkedése pedig háttérbe szorult.

3.4. Az elektromos áram hőhatása

3.4.1 Az elektromos áram által termelt hő

Joule kora fiatalságától foglalkozott az elektromossággal és hosszas kísérleteket végzett annak megállapítására, hogy mennyi hőt termel az elektromos áram. Egyik kísérletében egy ledugaszolt, vízzel telt üvegcsövön vezette át az árammal átjárt drótot és mérte a víz hőmérséklet-növekedését. Ebből következtetett a fejlődött hő mennyiségére. A felfedezett összefüggést a Royal Society *Jegyzőkönyv*ében tette közzé 1840-ben:

„A fémes vezetőben áram áthaladásakor egy meghatározott idő alatt keletkezett hő arányos a vezető ellenállásával és az áramerősség négyzetével."

Matematikai alakban:

$$Q \sim I^2Rt$$

(Q itt a hőmennyiség, és *nem* a töltés jele!)

A keletkezett hő mennyisége független az áram irányától. A Joule-hő hatására melegedő vezeték hőmérséklete természetesen nem nő akármeddig, hiszen a keletkező hőt folyamatosan átadja környezetének.

Néhány évvel később Lenz német származású orosz fizikus sokoldalú kísérletsorozattal ellenőrizte és megerősítette Joule törvényét, ezért ma Joule–Lenz-törvénynek nevezik.

Az elektromos áram hőhatását a mindennapi életben sok helyen használják (hajszárító, vízmelegítő, vasaló, forrasztópáka, szivargyújtó, stb.). Ezen az elven működik az ún. olvadó-biztosíték is, amely vékony, alacsony olvadáspontú fémből készült huzal (ólomdrót, ólomlemez). A védett fogyasztóval sorba kapcsolják. Ha valamilyen hiba folytán az áramkörben megnő az áramerősség, akkor a biztosíték kiolvad, és megszakítja az áramkört. Ilyen hiba lehet pl. a rövidzárlat, ami akkor keletkezik, ha az áramkör egy kis ellenállású vezetőn át záródik (pl. a hibás szigetelésű vezetékek összeérnek), és ezért nagyon nagy lesz az áramerősség. Másik hiba lehet pl., hogy sok fogyasztót kapcsolunk párhuzamosan, ezért túlságosan kicsi lesz az áramkör eredő ellenállása (túlterheljük a hálózatot).

Ha a hőfejlesztés a célunk, akkor nagy ellenállású huzalt kell használni. Pl. ilyen az izzólámpa vékony wolframszála, ami fehér izzásig felmelegedve 95% hőt termel és „mellékesen" 5% fényt.

3.4.2 Az áram munkája és teljesítménye

Ha a hő átszámítható munkává, akkor az elektromos áram által fejlesztett hő is felfogható munkavégzés eredményének. Így az elektromos áram munkája:

$$W = Q = I^2Rt$$

Azonos mértékegységben számolva a munkát és a hőt, az arányossági tényező 1 lesz, így egyenlőség írható az arányosság helyett. Az elektromos áram munkája jelenti a „fogyasztást", tehát ezt kell megfizetnünk.

Az elektromos berendezéseken a feszültség mellett a teljesítményt is feltüntetik. Kiszámítása:

$$P = W/t = I^2R.$$

Az Ohm-törvényt felhasználva, a munka $W = UIt$ alakban, a teljesítmény pedig $P = UI$ alakban is leírható. Ez összhangban van a feszültség definíciójával, hiszen az It mennyiség éppen az elmozduló töltésmennyiséget jelenti.

Néhány fogyasztó teljesítménye:

Fogyasztó	Teljesítmény
telefonkészülék	0,001 W
izzólámpa	40 W
vasúti mozdony	4000 kW
elektromos kemence	15000 kW

3.5. Az áram biológiai hatása

A dörzselektromozó gépek a kísérletezőkre gyakran kisebb-nagyobb áramütéseket mértek, azaz hirtelen fellépő, szokatlanul nagy ingereket. Áramütés érheti az emberi szervezetet akkor is, ha valamely áram alatt levő eszközhöz érve az áramkör részévé válik, tehát egy érintkezési ponton belép, egy másikon kilép az áram. Ezek a helyek néha kis sebek formájában láthatóvá is válnak. Hogy milyen áram veszélyes, az az elektromos áram feszültségétől, az áramerősségétől és az áramütés idejétől is függ. Szerepet játszik az is, hogy az áram melyik szerven haladt át, azaz hol vált a test az áramkör részévé.

Kis erősségű árammal az idegek ingerelhetők, az izmok összehúzódnak. Nagy áramerősség esetén az izmok görcsösen húzódnak össze, a szervek nem megfelelően működnek; beállhat légzés-, illetve szívbénulás is. Az agyban és az idegsejtekben működési zavarok léphetnek fel, az áram útjába kerülő szervek pedig közvetlenül is károsodhatnak. Az áramütöttet először természetesen ki kell szabadítani áramkörből áramtalanítással (villanyóra lecsapása, konnektorból a dugó kihúzása). Amíg ez meg nem történik, az áramütött emberhez hozzáérni tilos, mert mi is az áramkör részévé válhatunk!

→ felhasználása az agykutatásban XVIII.

→ a szívműködés szabályozása XVIII.

A nagy feszültség veszélyes. (A tiltó táblákat komolyan kell venni!) Súlyos égési sérüléseket, halált okozhat. Ha „csak” a légzés és szív működése állt le, akkor mesterséges lélegeztetést kell alkalmazni a természetes légzés visszatértéig vagy az orvos megérkezéséig. Ajánlatos a testet a mell, a combok és a lábszárak dörzsölésével melegíteni is.

← mesterséges lélegeztetés X.3.3

Summa

A Volta-oszlop feltalálásával lehetővé vált a folyamatos töltésáramlás megvalósítása. Az áramlás intenzitását az áramerősség jellemzi. A tartós áram zárt áramkörben jön létre, amelynek részei a telep, a vezetékek és a fogyasztók. Az áramkör két pontja közötti feszültség és az áramerősség hányadosa állandó, ez a mennyiség az áramkör két pontja közötti ellenállás (Ohm-törvény). A fogyasztókat sorosan vagy párhuzamosan lehet az áramkörbe kapcsolni. A soros kapcsolás növeli, a párhuzamos csökkenti az eredő ellenállást. Bonyolultabb áramkörökben a feszültség- és áramerősség-értékeket a csomóponti és a huroktörvény segítségével lehet kiszámítani.

Az elektromos áramnak mágneses, hő- és biológiai hatása van. Az áramátjárta vezetők között a körülöttük kialakuló mágneses tér következtében vonzó- vagy taszítóerő lép fel. A mágneses hatás lehetővé teszi az áramerősség mérését. A hőhatás alapján meghatározható az elektromos áram munkája és teljesítménye.

Kérdések, problémák

1. Mi lehetett az oka, hogy Ohm méréseihez nem Volta-oszlopot, hanem termoelemet használt?

2. Az árammérő műszerek egy meghatározott értéknél nagyobb áramerősséget nem tudnak mérni (ekkor a mutató a skála végéig tér ki). A méréshatárt úgy lehet növelni, hogy a műszerrel párhuzamosan kapcsolnak egy ellenállást (sönt-ellenállás), így a mérendő erősségű áram egy része ezen folyik át. Mekkora legyen a sönt ellenállása a műszer ellenállásához képest, ha a méréshatárt a 10-szeresére akarjuk növelni?

3. A feszültségmérő műszerek egy része is valójában az áramerősséget méri, csak a skálát – az Ohm-törvényt felhasználva – feszültségre készítik. Hogyan kell kapcsolni az ellenállást a műszerrel, ha növelni akarjuk a méréshatárát? Miért?

4. A tömegközlekedési járműveken a leszállásjelző úgy működik, hogy ha megnyomjuk az ajtónál a gombot, akkor kigyullad egy lámpa az ajtó fölött és egy, a megfelelő ajtót jelző lámpa a sofőr előtti műszerfalon. Tervezze meg az áramkör kapcsolási rajzát egy háromajtós buszra!

5. Mekkora a leggyakoribb elektromos háztartási eszközök teljesítménye (pontosabban egy órai energiafogyasztása)?

6. Miért veszélyes a rövidzárlat?

7. Hogyan működik az olvadóbiztosíték? Ez lényegében egy rövid ólomszál, amelyet az áramkör főágába iktatnak.

8. Miért olvad ki a biztosíték (vagy lép működésbe más védelmi megoldás), ha a háztartásban túl sok elektromos berendezést használunk egyszerre?

Irodalom

- Arrhenius, Svante: A világegyetem élete, FRANKLIN TÁRSULAT, 1914
- Faraday, : Miről beszél a gyertya lángja? ATHAENEUM, é.n.
- Oláh György: Életem és a mágikus kémia – egy Nobel-díjas önéletrajzi gondolatai, Better- NEMZETI TANKÖNYVKIADÓ, 2002

- ✍ Balázs Lóránd: A kémia története I–II. NEMZETI TANKÖNYVKIADÓ, 1996
- ✍ Borec, Tomas: Jó napot, Ampére úr! MÓRA, 1980
- ✍ Erdey-Grúz Tibor (szerk): A kémia újabb vívmányai 1–2, MAGYAR KIRÁLYI TERMÉSZETTUDOMÁNYI TÁRSULAT, 1940
- Erdey-Grúz Tibor: Az energia kémiai forrásai, GONDOLAT, 1967
- ✍ Gulillemin, Amédéé: Mágnesség és elektromosság, MAGYAR KIRÁLYI TERMÉSZETTUDOMÁNYI TÁRSULAT, 1885
- Inzelt György: Kalandozások a kémia, VINCE, 2003
- Kendall, Jack: Davy élete, GONDOLAT, 1967
- ✍ Meadows, Jack (szerk): A tudomány csodálatos világa, HELIKON, 1990
- ✍ Pető–Szabadváry: A kémia nagy pillanatai, MÓRA, 1980
- ✍ Paturi, Felix (szerk): A technika krónikája, OFFICINA NOVA, 1991
- ✍ Simonyi Károly: A fizika kultúrtörténete, GONDOLAT, 1981 (2.kiad.)

4. Elektromosság és kémia

4.1 Az elemzés eszköze: az elektromosság

4.1.1 Elméleti megfontolások

A XIX. századra az anyag felépítésének kétféle modellje vált ismertté: Daltoné és Boskovicé. E modellek használhatóak voltak, azonban sok kérdésre nem adtak választ. Így pl. nem derült ki, hogy mi tartja össze a – Dalton szerint – homogén részecskéket? Miért éppen olyan az elemek aránya a vegyületekben, amilyen? Általánosan: mi a mélyebb oka a vonzások és taszítások azon rendszerének, amit mi tapintható és mérhető világként érzékelünk?

← IX.2.3

← a probléma ókori megfogalmazása: III.6.5

Az elektromos jelenségek felfedezése és elemzése a magyarázat új lehetőségét vetette fel. Lehetséges-e, hogy az elektrosztatikában megismert jelenségek parányi méretekben a *vegyületeken belül* is hatnak, és ezek az erők okozzák az anyagok tapasztalt tulajdonságait? Az elvi megfontolásokról így írt Svante Arrhenius, svéd kémikus:

→ a kvantummechanika válasza: XXIX.

MI TARTJA ÖSSZE A MOLEKULÁKAT?

Ahogyan azt már láttuk, lehetetlen, hogy az a vonzóerő, amely az atomokat molekulákká kapcsolja össze, azonos formájú törvényeknek engedelmeskedjen, mint a nehézségi erő. Szemléljük csak a legegyszerűbb esetet: egyetlen kémiai kötést két atomfajta között, amilyen pl. a HCl! Itt olyan binär kapcsolatot kell feltételeznünk, melyben az egyik atomfajta, miután a másik atomfajta egyértékű tömegével már vegyült, ugyanezen anyag további atomjaira már egyáltalán semmiféle vonzást nem gyakorol. A fizikában hasonló eset a két elektromosan töltött test között fennálló vonzás. Tegyük fel, hogy egy „A" testet „a" mennyiségű pozitív elektromossággal töltünk fel, amelyik a „b" mennyiségű negatív elektromossággal feltöltött „B" testet vonzza. Tegyük fel, hogy egy ilyen B test az A-t annyira megközelíti, hogy töltéseik szoros szomszédságba kerülnek: az így kialakuló (A + B) komplex [test] annyi vonzóerőt fog még gyakorolni, amennyi a és b különbsége volt.(…)

← többszörös tömegviszonyok IX.2.3.2

→ sók képződése Berzelius szerint XI.4.2.3

Svante Arrhenius: A kémia teóriái (1906)

Miként igazolható, hogy mindez így is van, és nem csupán gondolatébresztő hasonlat? *Elemző eszközként* maga az elektromosság szolgál. Ha egy összetett részecskét (pl. molekulát) valóban elektromos erők tartanak össze, akkor annak alkotóelemeire a külső elektromos tér is hat. Megfelelően nagy feszültség hatására az összetett részecskék alkotóelemeikre válnak szét, így az elektromosság segítségével megismerhetjük a molekulák összetevőit és az azokat összetartó erőket is.

← mitől függ a kondenzátorok kapacitása? XI.1.6

4.1.2 Gyakorlati eredmények

Amint elkészültek az első dörzselektromos gépek, azonnal vizsgálni kezdték a szikrák kémiai hatásait is. A XVIII. század közepén már fémoxidokat bontottak szét ezen a módon. Beccaria pl. elemi higanyt és cinket állított elő így, mások ammóniát (NH_3) bontottak szét elemi hidrogénre és nitrogénre. A század végére a vizet is sikerült alkotóelemeire bontani, s így is igazolni Lavoisier elméletét, miszerint az nem más, mint hidrogén és oxigén vegyülete. E korai kísérleteknek azonban volt egy „szépséghibája". Az elektromos kisülés mentén jelentős hő is felszabadult. Azt pedig

→ nitrogénoxidok keletkezése villámláskor XXII., XXVI.

← a víz összetétele: IX.1.4.3

← XI.3.4.2

már régóta tudták, hogy egyes vegyületek bomlása pusztán hő hatására is bekövetkezhet. (Ilyen a cinóber (HgO) vagy a víz hőbontása.) Ezért nem volt világos, hogy a szikrák esetében nem ez a másodlagos hatás okozza-e a tapasztalt jelenségeket. (Mint később kiderült: nagyrészt igen.)

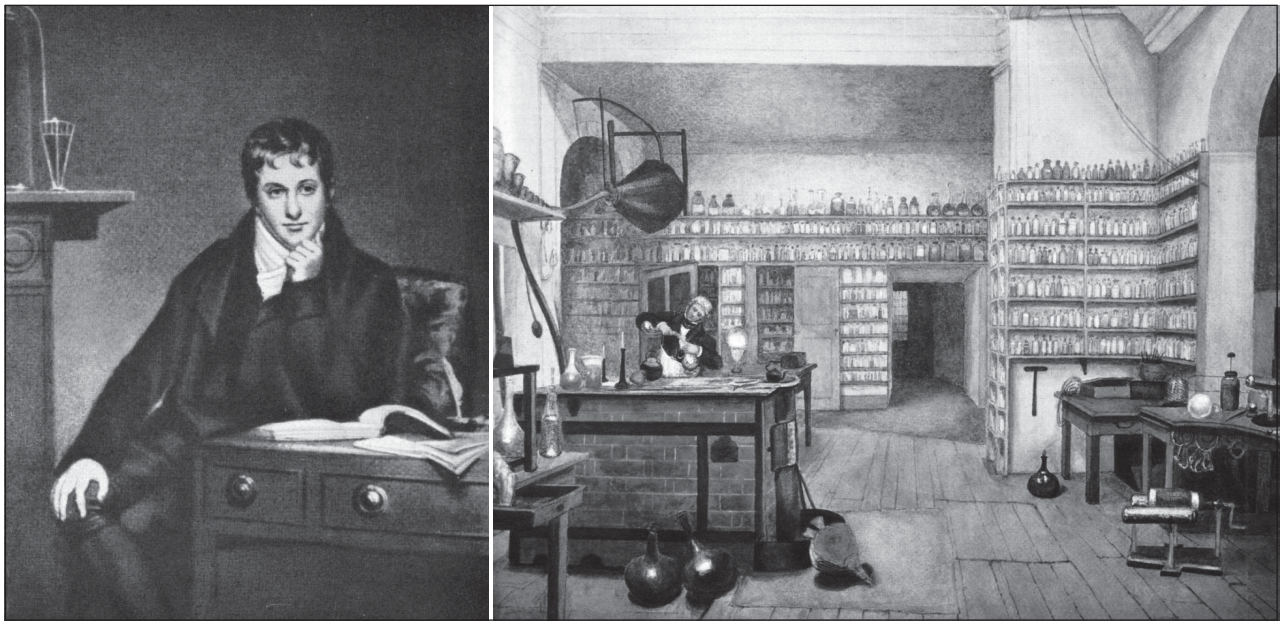
← XI.3.1.1

E problémákat egy csapásra megoldotta a Volta-oszlop, az egyenáram fölfedezése. A Volta-oszlop egyenletes és mérhető mennyiségű töltésáramlást szolgáltatott, miközben hő alig szabadult fel. Az egyenáram hatását főleg *vezetőképes folyadékokban*: **elektrolitokban** tanulmányozták. *Az elektrolitok elektromos árammal történő vizsgálatát (analízisét)* **elektrolízisnek** nevezték el (a görög elektron és lüzisz=bontás szavakból). Ezeket a folyamatokat ma már másként magyarázzák, mint Davy, de maga az elektrolízis kifejezés megmaradt. Ma is azokat a folyamatokat nevezik így, melyek elektromos áram hatására az elektrolitokban végbemennek.

ELEKTROLITOK

ELEKTROLÍZIS

A XIX. században a Volta-oszlop segítségével érte el eredményeit az angol Humphry Davy és a svéd J. Jacob Berzelius.



39. ábra. ***a) Davy, Sir Humphry (1778-1829)*** angol vegyész
Szegény családból származott, lovagi rangját (Sir) kémiai felfedezéseiért kapta. Olvadék-elektrolízissel elsőként állította elő a K-t, Na-t, Sr-t, Ba-t. Elektrokémiai vizsgálatai mellett a gázok élettani hatásaira vonatkozó kutatásai is figyelemreméltóak. E – nemegyszer életveszélyes – megfigyeléseket önmagán tette, miközben a vizsgált anyagokat belélegezte (nitrogén-oxidok, szén-dioxid, szén-monoxid). Davy nagyszerű előadó és kísérletező volt, Royal Institution-beli előadásai közéleti látványossággá is váltak. Munkáját leghíresebb tanítványa, Faraday folytatta.
b) A laboratórium, ahol Davy, majd Faraday folytatta kísérleteit. A jobboldali asztalon láthatók az elektromos berendezések

VÍZBONTÁS

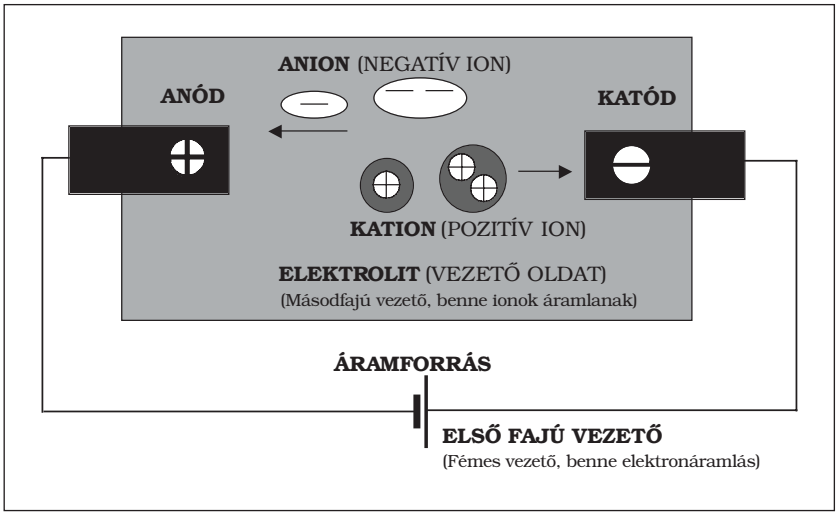
Az egyik legfontosabb vizsgált vegyület a víz volt. A kémiailag tiszta víz ugyan alig vezeti az áramot (nem elektrolit), némi só vagy sav hozzáadásával azonban vezetővé tehető. Davy megfigyelte, hogy a vízbontás során a *hidrogén a negatív pólus* (katód) körül fejlődik, az *oxigén pedig az ellentétes oldalon* (anód). Ebből arra következtetett, hogy a folyadékba merülő fémes vezetőkön, **az elektródákon** keresztül elektromosság áramlik a folyadékba (innen az elnevezés is: elektród = az elektromosság útja). Ennek hatására a víz elektromosan töltött részecskékre, **ionokra** bomlik. Az elektrolitok emiatt vezetők: *a bennük lévő ionok mozdulnak el a velük ellentétes töltésű elektróda irányába*. A negatív töltésű elekt-

ELEKTRÓDA

IONOK

ródához, **a katódhoz** a *pozitív ionok* áramlanak, melyeket **kationok**nak neveztek el, a pozitív töltésű elektróda, az **anód** felé pedig a *negatív ionok,* az **anionok** haladnak.

KATION, ANION



40. ábra. ***Az elektrolízis magyarázatakor használt fontosabb fogalmak***
Az anódot és a katódot összefoglaló néven elektródnak nevezik ha önmagában a fémes vezető anyagát értik alatta, és elektródának, ha a környező elektrolittal együtt vizsgálják.

Summa (4.1)

Az anyag tulajdonságait a XVIII. századtól az atomi szinten (is) ható elektromos vonzó- és taszítóerőkre igyekeztek visszavezetni. Legfőbb vizsgálati módszer az elektrolízis (elektrolitokban elektromos áramhatására lezajló folyamat), mely a Volta-elem felfedezése után terjedt el.

Elektrolízis során a vezetőképes folyadékba (elektrolitba) merülnek az elektródok: a pozitív töltésű anód és a negatív töltésű katód. Az elektrolitokban ionok: pozitív töltésű kationok és negatív töltésű anionok szállítják az áramot az elektródák felé.

4.2 Berzelius elmélete

4.2.1 Savak, bázisok, sók – tapasztalatok

A redox folyamatok (redukció és oxidáció) mellett a sav-bázis reakciók voltak azok, amelyeket legrégebben ismertek. Ókori és középkori alkimisták részletes recepteket adtak előállításukra és vegyítésükre, anélkül azonban, hogy szerkezetükről – mai fogalmaink szerint – bármit is tudtak volna. Boyle sem tudott mást tenni az 1660-as években megjelent művében, mint hogy összegezte elődei tapasztalatait, ekképp:

A *savak* olyan anyagok, melyek a fémek nagyobb részét feloldják, savanyú az ízük, vagy – nagyobb koncentrációban – maró hatásúak, és a bázisokkal hőfejlődés közben sókká egyesülnek.

SAVAK ÉS BÁZISOK

A *bázisok (lúgok)* a fémeket többnyire nem oldják, a bőr felszínét viszont igen, ezért „sikamlós” tapintásúak, a savakkal sókká egyesülnek.

A savasságot vagy bázikusságot az oldat **kémhatásának** nevezték el. (A teljesen tiszta desztillált víz semleges kémhatású.) Azt, hogy egy oldat savas, vagy lúgos kémhatású. Bizonyos anyagok színe jelzi. Így például a

KÉMHATÁS
→ számszerű jellemzése, a pH: XI.4.3.4

SAV-BÁZIS INDIKÁTOROK

→ működésük magyarázata: XI.4.3.5

vörös káposzta leve, a ribizli vagy a meggy savakban piros, lúgokban (bázikus közegben) pedig kék vagy lila színű. E kémhatás-jelző (indikáló) anyagokat **indikátoroknak** nevezték el (indicare = jelezni, latinul). A sók – vízben oldva – gyakran semleges kémhatásúak, de lehetnek savasak vagy bázisok is.

→ az indikáció általános elve az ökológiában: XXVI.

← felhasználásuk a titrálásban IX.2.3.1

Néhány egyszerű kísérlet indikátorokkal
Vizsgáljuk meg vöröskáposzta-lé és málnaszörp-indikátorokkal néhány háztartásban előforduló folyadék kémhatását: sósav, ecetsav, ammónia („szalmiákszesz"), nátrium-hidrogénkarbonát oldat („szódabikarbóna"), mosószeres víz, sós víz, alkohol.

4.2.2 Az első magyarázat-kísérletek

← flogiszton-elmélet: IX.1.2.2

A savasság magyarázatául Stahl és követői természetesen a flogisztontartalmat adták meg: szerintük a bázikusság egyenes arányban áll az adott vegyület flogisztontartalmával. (A savasság pedig fordítottan arányos vele.)

← Lavoisier elmélete: IX.1.4

A flogiszton-elmélet elvetése után Lavoisier megkísérelte összhangba hozni oxigén-elméletét a savakról és bázisokról nyert tapasztalatokkal. Megfigyelései szerint a fémek oxidációjával nyert fém-oxidok vízben oldva mindig lúgos kémhatásúak, a nemfém-oxidok vizes oldata viszont savas.

Pl.
$2Ca + O_2 = 2CaO$ (bázikus)
$C + O_2 = CO_2$ (savas)
$CaO + CO_2 = CaCO_3$ (só, semleges)

→ mai magyarázata: XI.4.3.2

Noha Lavoisier megfigyelései helytállóak voltak, nem tudhatta, hogy az oxidok vízben oldva további kémiai reakciókon mennek át, így Lavoisier jelölései, elnevezései eltérnek a mai írásmódtól.

4.2.3 Berzelius elmélete

Az oxigén-elméletnek az elektromosságtannal való egyeztetését, egyúttal a sav-bázis reakciók lehetséges következményeit a svéd Berzelius foglalta rendszerbe (1803, illetve 1811).

ELEMEK ELEKTROKÉMIAI „ERŐSSÉGI SORA"

→ elektronegativitás XI.4.6.1

Berzelius – Davyvel párhuzamosan – egész sor vegyületet elektrolizált. Arra volt kíváncsi, hogy különféle vegyületeket szétbontva mikor melyik póluson jelennek meg az elemek, tehát – egymáshoz képest – melyik a pozitívabb és melyik a negatívabb. Tapasztalatai szerint az oxigén mindig a pozitív póluson (anódon) jelenik meg, a kálium pedig mindig a negatív póluson (katódon). Ennek alapján Berzelius az oxigént egy elektrokémiai „erősségi sor" egyik végpontjába helyezte, mint a „legnegatívabb szubsztanciát", a kálium fémet viszont a másik végpontba, mint „legpozitívabbat". A többi elem helyzetét egyenként határozta meg egy kiválasztott másik elemhez képest aszerint, hogy elektrolízis során melyik póluson jelent meg. A hidrogén pl. a katódon válik ki, ha az oxigénnel vegyült (ezért az oxigénnél pozitívabb), de az anódon, ha fémmel kapcsolódott (pl. a BeH_2 – berillium-hidrid – elektrolízisekor). A nitrogén az oxigénvegyületekből (pl. NO_2) a negatív póluson válik ki, ezért az oxigénnél pozitívabb, hidrogén vegyületeiből (NH_3, ammónia) azonban már a pozitív pó-

luson, tehát a hidrogénnél negatívabb. Ennek alapján már felírható ezen öt elem helye az elektrokémiai sorban:

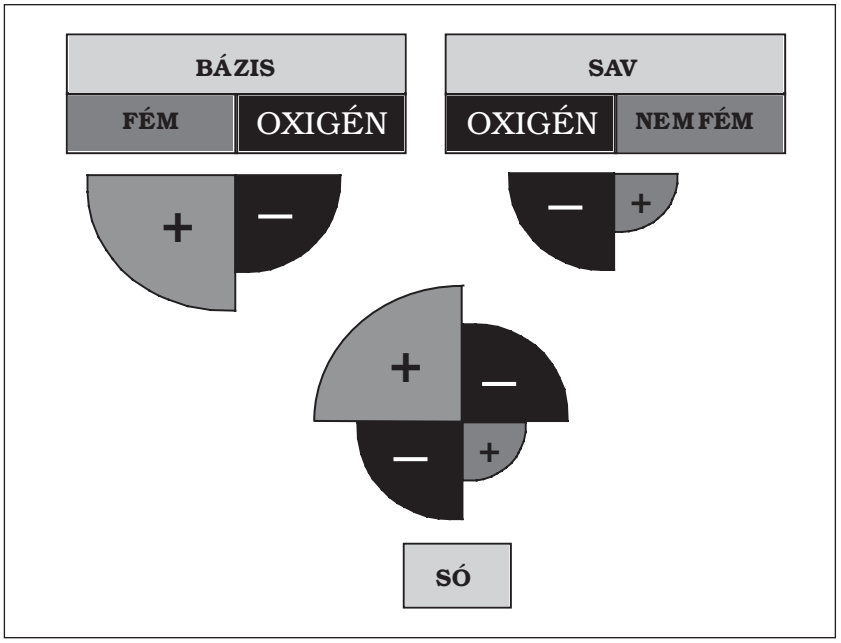
$$\oplus \; K < Be < H < N < O \; \ominus$$

Berzelius a leírt módszerekkel nemcsak az akkor ismert 54 elem helyét határozta meg az elektrokémiai sorban, hanem összetett – több atomból álló – rendszerekét is. A külön-külön is erősen negatív kén és oxigén vegyüléséből létrejött kéndioxid (SO_2) e logika szerint negatívabb, mint pl. a sorozat közepe táján elhelyezkedő szén és hidrogén vegyülete, a metán (CH_4).

–

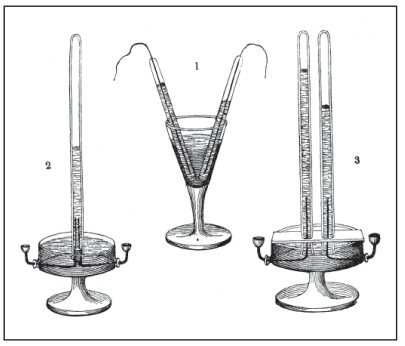
O, S, Se, N, F, Cl, Br, I, P, As, Cr, V, Mo, W, B, C, Sb, Te, Ta, Ti, Si, H, Au, Os, Ir, Pt, Rh Pa, Ag, Cu, U, Bi, Sn, Pb, Cd, Co, Ni, Fe, Zn, Mn, Ce, Th, Al, Y, Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Li, Na, K +

Milyen segítséget jelenthet ez az elektrokémiai sor a sav-bázis reakciók megértéséhez? Berzelius – miként Davy is – feltételezte, hogy a kémiai reakciók hajtóereje (az affinitás) egyszerűen atomi méretű Coulomb-erőkkel azonosítható: az ellentétes töltések vonzzák, az azonosak taszítják egymást. Ennek megfelelően azt állította, hogy az oxigén – lévén a legnegatívabb – gyakorlatilag bármely más elemmel vegyülhet, hiszen azok mind pozitívabbak nála, tehát vonzás lép föl köztük. Ha a reakciópartner nemfém, a létrejött vegyület továbbra is negatív lesz, azaz savas tulajdonságú. Ha azonban fém, a pozitív töltés kerül(het) túlsúlyba, s bázis alakul ki. Ezek az összetett vegyületek aztán tovább reagálhatnak egymással. A sók képződését ezek szerint a továbbra is megmaradó töltéskülönbség magyarázza.



Egy vegyület (sók) kötéseinek erőssége – Berzelius szerint – azzal a feszültséggel jellemezhető, ami ahhoz szükséges, hogy alkotórészeire szakadjon, disszociáljon. Az elektrolízis során tehát voltaképpen megfordítjuk az egyesülés folyamatát.

Berzelius elméletét nagy örömmel fogadták a kémikusok, hiszen az egy sor reakciót, jelenséget egységesen és egyszerűen magyarázott, sőt azt is



41. ábra. ***Elektrolizáló berendezések a XIX. századból.*** Ilyeneket használt Davy, Faraday és Berzelius is.
Mellette: az elemek elektrokémiai sora Berzelius szerint **(a növekvő pozitivitás irányában)**

← affinitás: IX.2.3.1

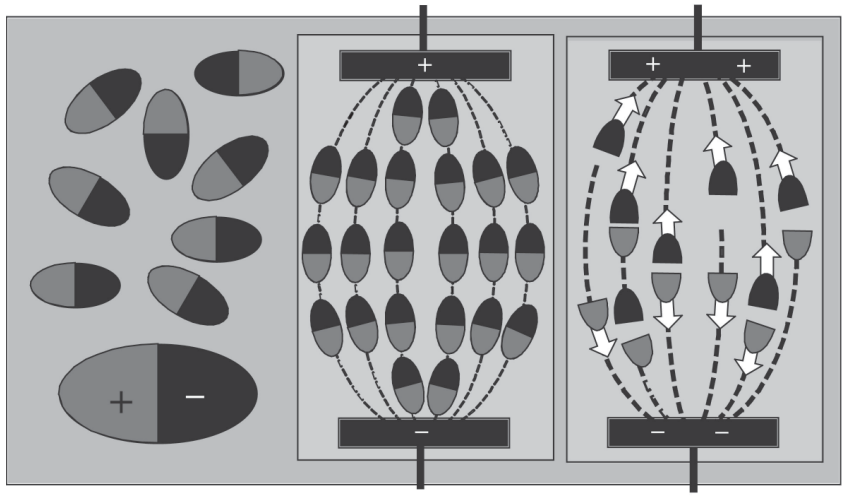
→ mai magyarázata: XI.4.3.3

42. ábra. ***Berzelius sav-bázis elmélete***
A negyed körcikkek nagysága a pozitív vagy negatív töltések nagyságát szemlélteti. Az elmélet összhangban van azzal a tapasztalattal is, hogy a sók nem feltétlenül semlegesek, hiszen nem szükségszerű, hogy a savak negatív és a bázisok pozitív töltése éppen azonos nagyságú legyen. Erős savnak gyenge bázissal képzett sója, tehát savas marad. Ilyen pl. a HCl – sósav – és a NH_3 – ammónia – vegyüléséből keletkező NH_4Cl – ammónium-klorid).

→ Arrhenius cáfolata XI.4.3.1

← a kondenzátorok kapacitásának függése az anyagi minőségtől XI.1.6

sejtette, hogy továbbfejlesztésével talán az összes elektromos és kémiai jelenség azonos alapra vezethető majd vissza.



43. ábra. ***Az elektrolízis folyamata Berzelius szerint***

a) Olvadék az elektrolízis előtt (a semleges részecskék pozitív pólusát a világos, negatív pólusát a fekete szín jelzi.
b) Kis feszültség hatására a részecskék az elektromos erővonalak mentén rendeződnek.
c) Megfelelő feszültséget (Berzelius kifejezésével: a bomlásfeszültséget) elérve a részecskék disszociálnak és az ellentétes töltésű elektróda felé kezdenek áramlani.

Ha (…) az egymással egyesült, elektromosságukat vesztett testeket egymástól újra elválasztjuk, elemeik eredeti tulajdonságaikat felvéve visszatérnek a szigetelt állapotba, a vegyülés miatt elvesztett elektromos állapotukat is vissza kell nyerniük.. Valóban, másként fogalmazva, ha a vegyült testek valamilyen okból visszakerülnek abba az eredeti elektromos állapotba, amelyik elveszett az egyesülés miatt, szét kellett válniok és eredeti tulajdonságaikkal kellett megjelenniük. (…)

Jelenlegi tudásunk szerint az ebből fakadó égésnek és gyulladásnak legvalószínűbb magyarázata az, hogy *minden kémiai vegyülésben ellentétes elektromosságok semlegesülnek és ez a semlegesítődés okozza a tüzet, csakúgy, mint a villamos palack, a villamos oszlop vagy a villámlás esetében bekövetkező kisülésben anélkül, hogy az utóbbi eseményeket vegyfolyamat kísérné. …*

Minden test között az oxigén a legelektronegatívabb. Minthogy soha egyetlen más testtel sincs pozitív viszonyban, és mivel minden eddig ismert kémiai jelenség tanúsága szerint nem valószínű, hogy glóbusunkon lenne nála negatívabb elem, abszolút negatívnak ismerhetjük el. (…) A többi test ebben a tekintetben változó, egy test a másikhoz képest lehet negatív, a harmadikkal szemben viszont pozitív. A kén és az arzén az oxigénhez képest pozitív, fémekkel szemben viszont negatív. A kötött alkáliák és alkáli földek ezzel szemben a legelektropozitívabb testek. (…)

Ha ezek az elektrokémiai nézetek helyesek, az következik, hogy minden vegyülés csak két erőtől, a pozitív és negatív elektromosságtól függ, következésképpen bármely vegyület két részből áll, amelyek elektrokémiai reakció révén egyesültek, feltéve, hogy harmadik erő nincs. Ebből az következik, hogy minden vegyület, tekintet nélkül alkotóik számára, két részre osztható, egy elektromosan pozitívra és egy másik negatívra.

Berzelius: A kémiai viszonyok elméletéről, 1819 *Szepesváry Pálné fordítása*

Summa (4.2)

A savak, bázisok és sók reakcióinak magyarázatára a flogisztonelmélet megdöntése után az első elméletet Lavoisier alkotta. Szerinte a savak fém-oxidok, a bázisok pedig nemfém-oxidok.

Berzelius megkísérelte az oxigén-elmélet egyeztetését az elektrokémiával. Az elektrolízis során leválasztott elemeket – aszerint, hogy melyik pólus körül váltak ki – elektrokémiai erősségi sorba helyezte el. (Az általa megalkotott skálán a legpozitívabb a kálium, a legnegatívabb az oxigén.) Magyarázata szerint a savak az oxigén negativitása miatt negatívak, a bázisok pedig a fém pozitivitása miatt pozitívok. Sóvá egyesülésüket e töltéskülönbség magyarázza. Ha az egyesülő sav negatív és a bázis pozitív töltése éppen megegyezik, a só semleges kémhatású lesz, más esetekben még ez is hordoz valamennyi maradék töltést. Ez magyarázza, hogy egyes sók oldata savas vagy bázikus kémhatású.

A tartós elektrolízis feltétele megfelelő nagyságú feszültség alkalmazása. Berzelius magyarázata szerint ekkor megfordítjuk az egyesülés folyamatát: az összetett vegyületeket elemeikre választjuk szét.

4.3 Arrhenius elmélete

4.3.1 Problémák és megoldás-keresés

Berzelius elmélete – szépsége és használhatósága ellenére – sok megoldatlan kérdést is felvetett. Ezek részben a disszociáció mechanizmusára, részben pedig a savak és bázisok Berzelius-féle csoportosítására vonatkoztak.

A **disszociációról** (elektrolitikus bomlásról) Berzelius elképzelése az volt, hogy a molekulák (pl. a H_2O) előbb – parányi mágnesként – pólusaikkal beállnak a megfelelő irányba, majd – ha az alkalmazott feszültség nagyobb a molekulát összetartó vonzásnál – szét is szakadnak. Berzelius szerint egy semleges kémhatású vegyület (pl. NaCl) oldatában csak egy jól meghatározott érték fölött folyhatna elektrolízis, hiszen ezen érték alatt még nem szakadtak ionokra. A tapasztalat azonban azt mutatta, hogy ez nincs így: az elektrolízis – legalább is rövid időre – tetszőlegesen kis feszültséggel is megindítható. Ebből az következik, hogy elektromosan töltött részecskék (ionok) már az elektrolízis megkezdése **előtt** is jelen lehettek az oldatban, hiszen a parányi feszültség képtelen lenne az oldott anyag kötéseit felbontani, csak a már eleve jelenlévő ionokat képes elmozdítani.

HOGYAN TÖRTÉNIK A DISSZOCIÁCIÓ?

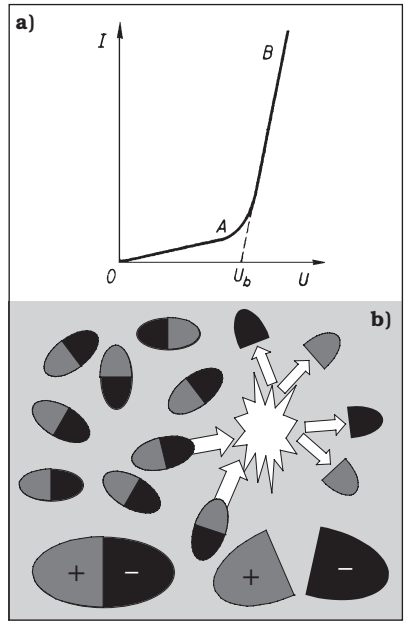
← kondenzátorok kapacitása XI.1.6

Az elmélet ellentmondását Clausius próbálta feloldani (1857). Feltételezte, hogy néhány nagyobb sebességű részecske már oldáskor felbomlik ionjaira – pusztán a hőmozgás következtében. Az elgondolás eredetisége abban rejlett, hogy figyelembe vette: az elektromos feszültség csak egyike a bomlást kiváltó lehetséges tényezőknek. Mivel a tartós elektrolízis valóban csak egy meghatározott elektromos potenciálkülönbség fölött lehetséges, Clausius úgy gondolta, hogy a hőmozgásból eredő disszociáció nem jelentős mértékű, a Berzelius-elmélet érvényességét alapvetően nem befolyásolja.

← ozmózis IX,4,2,4

Más tapasztalatok azonban arra utaltak, hogy a helyzet nem ilyen egyszerű. Ezek közül legfontosabbak **az ozmózisnyomásra** és az oldatok **forráspont-emelkedésére** vonatkozó mérések. Az ozmózis értékének mérését a XIX. század második felében már pontosan el tudták végezni. E mérések azt mutatták, hogy az oldat ozmózis nyomása bizonyos határok között (híg oldatok esetén) egyenesen arányos az oldott anyag koncentrációjával. Ugyanezt állapították meg az oldatok forráspont-emelkedésére és fagyáspont-csökkenésére is. (Raoult 1878) E két utóbbi jelenségnek sok fontos gyakorlati vonatkozása is van (jeges utak sózása, gépkocsik fagyálló hűtővize). Elméleti szempontból ezek a jelenségek azért lényegesek, mert három egymástól eltérő módszert is kínálnak a koncentráció meghatározására. A hatások mértéke csak a térfogategységben levő részecskék számától függ és független azok anyagi minőségétől. Ha tehát az oldott anyag moláris tömegét más úton már megismerték, ennek alapján kiszámítható adott töménységű oldatának várható forráspont-emelkedése és ozmózis nyomása is. Az esetek többségében (s főként a szerves anyagoknál) a mért értékek valóban jól egyeztek az elméletileg számított adatokkal. Gyakori volt azonban az is, hogy a várt érték 2-3 szorosát mérték. Az ilyen oldatok mind jól vezették az áramot, tehát elektrolitok voltak. Úgy tűnt: az elektrolitokban a részecskeszám többszöröse a bemért molekulák számának. Mivel e tény független bármiféle elektrolízistől, le kellett vonni a (fájó) következtetést: Berzelius elmélete alapvető változtatásra szorul.

A másik probléma a savak és bázisok csoportosítására vonatkozott. Berzelius átvette Lavoisier elképzelését, mely az oxigén jelenlétét mind a savakban, mind a bázisokban elengedhetetlennek tartotta. Ennek azonban ellentmondott az ún. hidrogénsavak léte (pl. HCl, HBr), amelyek nem tartalmaztak oxigént, mégis egyértelműen savas kémhatást mutattak. A bázisok között ugyancsak vannak olyanok (pl. NH_3), amelyek nem tartalmaznak oxigént, sőt fémet sem.



44. ábra. ***a) Az alkalmazott feszültség (U) és az áramerősség (I) kapcsolata vezető folyadékok elektrolízisekor.***
Látható, hogy a tartós és jelentős mértékű elektrolízis csak egy bizonyos U_b feszültség fölött indul meg, amit Berzelius bomlásfeszültségnek nevezett.
b) Clausius módosította Berzelius elektrolízis-modelljét.
A hőmozgás következtében néhány molekula már az elektrolízis megkezdése előtt szétesik, az így keletkező ionok magyarázzák, hogy az elektrolízis már a bomlásfeszültség alatt is megindul.



45. ábra. ***Svante Arrhenius (1859–1927) svéd kémikus***
A svédországi Wijkben született, tanulmányait az uppsalai egyetemen folytatta, ahol 1884-ben doktori címet szerzett. Az elektrolitos disszociáció elméletének kidolgozásáért – melyet kezdetben hevesen támadtak – 1903-ban kapott Nobel-díjat. 1905-től ő lett a Nobel Intézet Fizikai Kémiai Osztályának vezetője.

Az összes felsorolt problémára megoldást kínáló új elméletet Berzelius honfitársa, Svante Arrhenius (1859–1927) dolgozta ki.

> *Az alábbiakban azt fogjuk megmutatni, hogy bizonyos anyagok vízben való disszociációjának feltételezését igen erősen alátámasztják az ugyanezen anyagok elektromos viselkedéséből levonható következtetések, s hogy a kémiai oldalról esetleg felmerülő kifogások gondos vizsgálódásokkal ugyancsak kiküszöbölhetők.*
> *Az elektromos jelenségek megmagyarázására Clausius nyomán fel kell tételeznünk, hogy az elektrolitok molekuláinak egy része ionjaira van disszociálva, melyek egymástól függetlenül mozognak... Ha ki tudnánk számítani ezt az arányt (azazhogy a molekulák hanyadrésze disszociált), a van't Hoff-törvény segítségével az ozmózisnyomás is kiszámíthatóvá válna.*
> *Előző, „Az elektrolitok vezetőképességéről" című cikkemben azon molekulákat, melyeknek ionjai egymástól függetlenül mozognak, aktívnak, míg azokat, melyeknek ionjai továbbra is szoros kapcsolatban vannak egymással, inaktívnak neveztem. Éltem azzal a feltételezéssel is, hogy nagyon híg oldatokban egy elektrolit valamennyi inaktív molekulája aktívvá alakul. Ezen az alapon fogom az alábbi számításokat végezni...*
>
> Arrhenius: A vízben oldott anyagok disszociációjáról, 1887

4.3.2 Arrhenius megoldása

ELEKTROLITIKUS DISSZOCIÁCIÓ

Arrhenius két ponton is szembeszállt Berzelius elméletével. Nagy vihart kiváltó doktori disszertációjában (1887) kifejtette, hogy elektrolitokban az ionok képződése **minden esetben megelőzi** az elektromos hatást, attól függetlenül megy végbe. Ezt a folyamatot nevezte Arrhenius **elektrolitikus disszociációnak**. Az elektrolit oldatok tehát nem azért semlegesek, mert semleges részecskék vannak bennük, hanem azért, mert az oldatban a pozitív és negatív töltések száma megegyezik.

← XI.4.2.3

HOGYAN LESZ A NEMFÉMEKBŐL SAV?

Figyelembe véve a hidrogénsavak létét, Arrhenius megváltoztatta a savak és bázisok Berzelius-féle rendszerét. Úgy találta, hogy az összes **sav** közös jellemzője nem az oxigén, hanem a hidrogén, pontosabban a **hidrogénion** jelenléte. Ezt a feltevését megerősítette az a tapasztalata, hogy savak elektrolízise során a katódon mindig hidrogéngáz fejlődött. Kell tehát, hogy minden savban hidrogénionok legyenek, melyek a katódhoz vándorolnak, s ott elveszítve pozitív töltésüket semleges gázként szabadulnak fel. Hogyan magyarázhatók ezen elmélet szerint Lavoisier és Berzelius tapasztalatai? Arrhenius szerint úgy, hogy a nemfém-oxidok nemcsak fizikailag oldódnak a vízben, hanem kémiai reakcióba is lépnek vele. Eközben keletkeznek azok a vegyületek, amelyek immár savként viselkednek: hidrogénionra és ún. savmaradék-ionra disszociálnak. Az tehát, amit Lavoisier nyomán egyetlen reakciónak tekintettek valójában három lépésből áll: 1. oxidáció, 2. az oxid egyesülése a vízzel, (létrejön a sav), 3. disszociáció (hidrogénion képződés).

→ a reakció az emberi vérben: XIII.7.2

→ a szén körforgása során: XXII. és XXVI.

→ savas esők XXII., XXVI.

1. Oxidáció	2. Egyesülés a vízzel	3. Disszociáció
$C + O_2 = CO_2$ szén-dioxid	$CO_2 + H_2O = H_2CO_3$ szénsav	$H_2CO_3 = 2\,H^+ + CO_3^{2-}$ karbonát-ion
$S + O_2 = SO_2$ kén-dioxid	$SO_2 + H_2O = H_2SO_3$ kénessav	$H_2SO_3 = 2\,H^+ + SO_3^{2-}$ szulfit-ion
		$HCl = H^+ + Cl^-$ kloridion

Oldódás során a fémoxidok is kémiailag egyesülnek a vízzel: hidroxidok keletkeznek. (hüdor = víz; hidroxid = hüdor-oxid) Ezek a hidroxidok azonban nem hidrogén-iont adnak le, hanem összetett anionként: OH^--ként válnak le a bázisról. A **bázisok** közös jellemzője tehát az, hogy **hidroxid-ionokat** juttatnak a vízbe.

HOGYAN LESZ A FÉMEKBŐL BÁZIS?

1. Oxidáció	2. Egyesülés a vízzel	3. Disszociáció
$2\ Ca + O_2 = 2CaO$ kalcium-oxid (égetett mész)	$CaO + H_2O = Ca(OH)_2$ kalcium-hidroxid (oltott mész)	$Ca(OH)_2 = Ca^{2+} + 2\ OH^-$ kalciumion + hidroxidion
$2\ Li + O_2 = Li_2O$ lítium-oxid	$Li_2O + H_2O = 2Li\ OH$ lítium-hidroxid	$Li\ OH = Li^+ + OH^-$ lítiumion + hidroxidion
	$NH_3 + H_2O = NH_4\ OH$ Ammónium-hidroxid („szalmiákszesz”)	$NH_4\ OH = NH_4^+ + OH^-$ Ammóniumion + hidroxidion

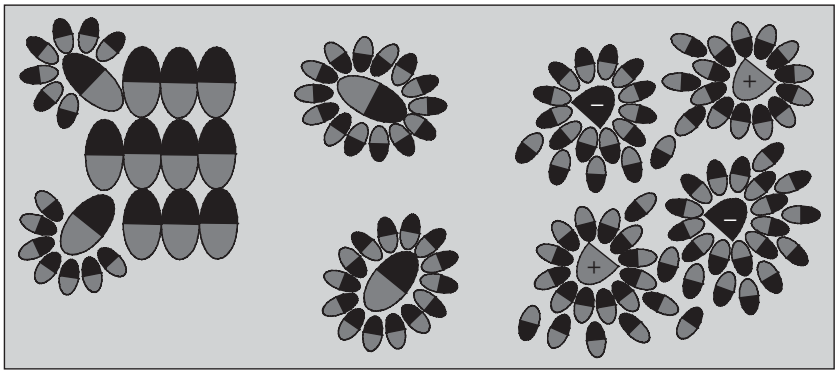
→ a nitrogén körforgása XXVI.

→ keletkezése az emberi anyagcserében XIII.4.1; 4.6.2

A bázisok (lúgos kémhatású oldatok) elektrolízise is megerősítette e hipotézist. Itt az anódon fejlődő gáz volt mindig azonos: oxigén. Magyarázatot ad, ha feltételezzük, hogy a hidroxidionok az anódhoz érve leadják negatív töltésüket és átrendeződve részben oxigénné, részben vízzé alakulnak át:

$$OH^- \text{———>} [OH]$$
$$4[OH] \text{—->} 2H_2O + O_2$$

(A szögletes zárójel arra utal, hogy a keletkező OH csoport csak ideiglenesen keletkezik, igen rövid életű.)



46. ábra. ***Az elektrolitos disszociáció mechanizmusa Arrhenius szerint***

a) Az oldószer molekulái körbeveszik a kristályt, s abból molekulákat szakítanak le.
b) Az oldott anyag molekuláit oldószer burok veszi körül (szolvatáció, víz esetén: hidratáció).
c) A molekula ionjaira disszociál. Az ionokat körülvevő hidrátburok megakadályozza az újbóli egyesülést.

„SEMLEGESÍTÉS”: SAVAK ÉS BÁZISOK REAKCIÓJA

Mi történik a savak és bázisok egyesülésekor? Arrhenius véleménye hasonló Berzeliuséhoz: egyesülés, közeledés a semleges ponthoz. Az új elmélet szerint azonban a savakra jellemző hidrogénionok és a bázisokra jellemző hidroxid-ionok egyesülnek semleges vízzé:

$$H^+ + OH^- \Leftrightarrow H_2O$$

Amennyiben a reagáló hidroxid-ionok és hidrogénionok száma megegyezett, a keletkező oldat semleges lesz, ha valamelyik túlsúlyban volt, az oldat savas vagy bázikus marad. Arrhenius elmélete – melyet 1903-ban kémiai Nobel-díjjal ismertek el – sikeresen váltotta fel Berzeliusét. A kezdeti idegenkedés után hamar átvették és megszokták a kémikusok. Azt azonban szomorúan vették tudomásul, hogy az új elméletből hiányzik Berzelius elképzelésének magyarázó ereje. Arrhenius – a

← hasonló probléma a Stahl–Lavoisier vitában: IX.1.4.2

tényekkel összhangban – **leírja** a savak és bázisok viselkedését, de nem tudja **magyarázni,** hogy egy adott vegyület miért éppen úgy viselkedik, ahogyan azt tapasztaljuk.

4.3.3 Savak és bázisok erőssége

A „gyenge" és az „erős" kifejezéseket régóta használták savak és bázisok jellemzésére, anélkül, hogy arra magyarázatot tudtak volna adni. Gyengébb volt az a sav, amely a másiknál kevesebb fémet oldott vagy lassabban reagált velük, ami kevésbé csípett vagy mart. Később már mennyiségileg is tudták jellemezni az erősséget. Két sav erősségét például úgy lehet összevetni, hogy összehasonlítjuk azonos koncentrációjú oldataik vezetését.

VEZETÉS, ELLENÁLLÁS

A **vezetés** (vezetőképesség) az ellenállás reciproka. Minél erősebb a sav, annál több hidrogénion (mai tudásunk szerint: oxóniumion) van benne térfogat-egységenként, tehát annál jobban vezeti az áramot. A tapasztalat azt mutatta, hogy azonos koncentrációjú savak erőssége nagyon különböző lehet. Így például az 1 mól/dm^3 koncentrációjú HCl oldat igen erős, addig az ugyanilyen töménységű ecetsav jóval gyengébb. Mi határozhatja meg egy sav, illetve bázis „erejét"? Arrhenius elmélete szerint az, hogy – azonos feltételeket biztosítva – melyikben keletkezik több hidrogénion, illetve hidroxidion. Ha az 1 mol/dm^3 koncentrációjú HCl oldatban több a hidrogénion, mint az ugyanilyen koncentrációjú ecetsavban, ebből arra lehet következtetni, hogy a molekulák közül nem mindegyik disszociál ionjaira, és **a disszociáció mértéke a két vizsgált vegyületben eltérő**. A disszociációt egyensúlyi folyamatnak tekintve alkalmazhatjuk rá a tömeghatás törvényt (amit valójában éppen az ilyen esetek leírására vezettek be).

← ellenállás XI.3.3.1

→ szerves vegyületek savasságának magyarázata: XII.4.2.3

← tömeghatás-törvény: IX.3.3.4

$$HCl \rightleftharpoons H^+ + Cl$$
$$K_d = [H^+][Cl^-]/[HCl]$$

Hasonló gondolatmenet alkalmazható a bázisok erősségére is.

4.3.4 A kémhatás mértéke a pH

A desztillált víz alig vezeti az áramot. Ezt a tényt úgy magyarázhatjuk, hogy a víz tiszta állapotban igen kis mértékben disszociál hidrogén- és hidroxidionokra:

$$H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$$
$$K_d = [H^+]\,[OH^-] / [H_2O]$$

VÍZIONSZORZAT

Mivel azonban a disszociáció mértéke minimális, a nevezőben szereplő $[H_2O]$ gyakorlatilag állandónak vehető és „beolvasztható" a K_d-be. Így kapjuk a **víz ionszorzatát (K_v)**:

$$K_d \cdot H_2O] = K_v = [H^+]\,[OH^-]$$

A víz ionszorzata különböző hőmérsékleteken

0 °C-n	$K_v = 0{,}12 \cdot 10^{-14}$
25 °C-n	$K_v = 1{,}1 \cdot 10^{-14}$
100 °C-n	$K_v = 59{,}0 \cdot 10^{-14}$

A K_v értéke a mérések szerint erősen függ a hőmérséklettől, 25 °C-on $K_v = 10^{-14}$.

Mivel semleges közegben $[H^+] = [OH^-]$, ezért ekkor $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$ mól/dm^3. Savas kémhatású oldatban $[H^+] > [OH^-]$, lúgosban fordítva. Az 1M-os HCl oldat hidrogénion koncentrációja pl. kb. 10^{-1} mól/dm^3, ebben a közegben a hidroxidion koncentráció:

$$[OH^-] = K_v / [H^+] = 10^{-14} / 10^{-1} = 10^{-13} \text{ mól/dm}^3$$

A gyakorlatban a nehezen használható negatív kitevőjű számok helyett azok negatív logaritmusait használják a hidrogénionokra vonatkoztatva. Ez a **pH**. (Soerensen 1920-as meghatározása szerint, a pondus Hidrogenii kifejezésből).

PONDUS HIDROGENII (pH)

$$pH = - \lg [H^+].$$

Ritkábban használt a pOH kifejezés:

$$pOH = - \lg [OH^-].$$

Mivel pH + pOH = 14, a fenti példában a számítás a következőképpen egyszerűsödik:

$$pOH = 14 - pH = 14 - 1 = 13.$$

A pH skálán a 7 alatti tartomány a savaké, a 7 fölötti a lúgoké.

A pH MAI JELENTÉSE

A pH fogalma bevezetése óta többször is módosult. Elsőként azzal, hogy fölismerték: a H^+ helyett pontosabban oxónium-ionról (H_3O^+) kell beszélni. Nagyobb ionkoncentrációknál azt is figyelembe kell venni, hogy az ionok befolyásolják egymás hatását, például az ellentétes töltésűek folyadékállapotban is csoportokat (asszociátumokat) alkotnak. Ilyen körülmények között a koncentráció helyett annak módosított értékével, az úgynevezett aktivitással adható meg a pH értéke. Nem vizes oldatokban (például olajokban, krémekben) szintén nehézséget okozna az eredeti definíció használata. A pH fogalmát ma egy megállapodás szerinti mérési eljáráshoz kötik, azaz amilyen értéket mér egy bizonyos, pontosan leírt eszköz, annyinak kell tekinteni a közeg pH-ját.

→ XI.4.4.1

→ asszociátumok XII.5.1.2

4.3.5 Az indikátorok működése

A sav-bázis reakciók Arrhenius-féle elmélete lehetővé tette a (sav-bázis) indikátorok működésének magyarázatát is. Eszerint ezek az indikátorok *olyan gyenge savak vagy bázisok, melyeknek disszociálatlan és disszociált alakja eltérő színű*. Az oldat színét ennek két alkotórésznek az aránya szabja meg. Ha az anion aránya több mint 90%, gyakorlatilag csak a rá jellemző szín érzékelhető, fordított esetben csak a disszociálatlan alaké. A kettő közti keskeny (kb. 2 pH-egységnyi) „átcsapási tartományban" átmeneti szín észlelhető. Ha a disszociálatlan indikátort HM-el, a disszociált aniont M^--el (maradék) jelöljük, úgy egyensúlyban a különböző színű alakok arányát a közeg hidrogénion-koncentrációja szabja meg:

← XI.4.2.1

→ biológiai indikáció XXVI.

$$[M^-] / [HM] = K / [H^+]$$

Az indikátorok tehát csak akkor alkalmasak pH-jelzésre, ha erősségük és mennyiségük elhanyagolható mértékű a vizsgált anyagéhoz képest. Ekkor a *vizsgált* sav vagy bázis erőssége szabja meg a közeg hidrogénion (pontosabban: oxóniumion) koncentrációját, mert erős (jól disszociáló) sav jelenléte visszaszorítja a gyengébb (kisebb disszociáció-álladójú) sav – jelen esetben az indikátor – disszociációjának mértékét. (A hatás valójában sohasem egyirányú, tehát a gyengébb sav is hat az erősebbre, ha azonban nagy köztük a különbség, ez elhanyagolható mértékű.)

← a mérés problémái XI.3.3.3

→ minden mérés: kölcsönhatás XXI.

Summa (4.3)

Az ozmózisnyomás, a fagyáspont-csökkenés és a forráspont-emelkedés mérése során bizonyították, hogy az elektrolitokban a vezető részecskék száma többszöröse a bemért molekulák számának. Ebből arra lehetett következtetni, hogy a disszociáció már az elektromos hatás előtt, attól függetlenül megy végbe. (Arrhenius: elektrolitikus disszociáció).

Abból kiindulva, hogy a savak és bázisok egy részében nincs oxigén, Arrhenius új sav-bázis elméletet vezetett be: a savak hidrogéniont, a bázisok hidroxidiont juttatnak az oldatba. A közömbösítés ezen ionok egyesülése vízzé.

A korábbi tapasztalatok úgy magyarázhatók, hogy az oxidok oldódás során további reakciókban vesznek részt (egyesülés és disszociáció).

A savak és bázisok erősségét disszociáció-állandójukkal jellemezhetjük. A kémhatást számszerűen a pH érték mutatja meg (7 alatt savas, 7 fölött lúgos).

Kérdések, problémák (1–3)

1. Boskovic atommodellje sem magyarázhatta a molekulák keletkezését pusztán a gravitációval vagy ahhoz hasonló vonzóerőkkel. Miért tételezte fel Boskovic az erőcentrumok közti taszítóerőket is?

2. Miért fogadták el általánosan Berzelius sav-bázis elméletét, s miért utasították el kezdetben Arrheniusét?

3. A kétértékű karbonsavakban két karboxilcsoport van, ám oldataik hidrogénion-koncentrációja általában nem kétszerese az egyértékű savakénak. Mi a jelenség oka?

4. A sók egy része savas, más része semleges, harmadik része bázikus kémhatású. Hogyan magyarázta ezt a jelenséget Berzelius, és mi lehet Arrhenius magyarázata ugyanerre a tényre?

5. A sósavat (HCl) már Berzelius korában is ismerték, de sokáig nem fogadták el képletét: mérési hibára gyanakodtak. Miért „nem hittek a szemüknek” a kor kémikusai?

6. Egy gyenge sav pH-ját úgy kívánjuk megmérni, hogy jelentős mennyiségű indikátort adunk az oldathoz. Miért hamisítjuk meg ezzel az eredményt?

7. Hányszoros hidrogénion-koncentráció emelkedést jelent, ha a pH 1 egységgel csökken? A tiszta víz pH-ja 7, a Pepsi-Coláé 2. Hányszorosa a Pepsi Cola H^+-koncentrációja a vízének? Milyen veszélyekkel járhat a kola mértéktelen fogyasztása?

4.4 Brönsted elmélete

4.4.1 A disszociáció: kölcsönhatás

MI A DISSZOCIÁCIÓ OKA?

Arrheneius sav-bázis elmélete megválaszolatlanul hagyta azt a kérdést, hogy *mi okozza* az elektrolitikus disszociációt. Tudták, hogy a hőmérséklet növelésével a disszociáció foka nő. (Lásd a vízionszorzat értékeit különböző hőmérsékleteken.) Ez azonban csak befolyásolja, módosítja az alapvető folyamatot: az oldószer (többnyire víz) és az oldott anyag **kölcsönhatását**. Még az olyan erős sav is, mint a HCl tiszta állapotban (cseppfolyóssá hűtve) alig

vezeti az áramot, vezetőképessége azonban ugrásszerűen megnő, ha vízben oldjuk. Még erősebben befolyásolja a víz jelenléte (az oldat koncentrációja) a gyenge elektrolitok (pl. ecetsav) vezetőképességét.

MOLÁRIS FAJLAGOS VEZETÉS

Néhány elektrolit moláris fajlagos vezetésének (vezetőképességének) összehasonlítása

A vezetés (görög jele: λ) az ellenállás reciproka: $\lambda = 1/R$. A vezetést két olyan, egymástól 1 cm távolságban levő elektróda között mérik, amelyek között a folyadék molnyi anyagmennyiséget tartalmaz a kérdéses elektrolitból. Az alábbi táblázat a növekvő hígítás függvényében mutatja az elektromos vezetés értékeket. A „végtelen hígítás" eredményeit nem tényleges méréssel, hanem számítással határozták meg.

	Moláris fajlagos vezetés vízben (cm^2 / ohm·mol)			
Képlet	0,1 mol/dm^3	0,01 mol/dm^3	0,001 mol/dm^3	Végtelen hígítás
NaCl	106,74	118,51	123,74	126,45
KCl	129,1	141,3	147,0	149,9
HCl	391,3	412,0	421,4	426,2
CH_3COOH	5,2	16,3	49,2	(390,7)
NH_3	3,6	11,3	34,0	(271,0)
NH_4Cl	128,8	141,3	146,8	149,7

Ezek az adatok arra utalnak, hogy az elektromos vezetést okozó ionok száma az oldószertől is függ. Föltehető tehát, hogy az ionok kölcsönhatás eredményeként jönnek létre. Például a HCl oldatban nem egyszerűen a $HCl \rightleftharpoons H^+ + Cl^-$ disszociáció megy végbe (hiszen annak függetlennek kellene lennie a közegtől), hanem egy olyan folyamat, amelyben a *víz kémiailag is reagál a savval*:

$$HCl + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + Cl^-.$$

HIDROXÓNIUMION

A keletkező **hidroxóniumion** (vagy röviden **oxóniumion**) lényegében egy vízmolekula, ami megkötött egy hidrogéniont. Ez a felismerés módosítja a savak Arrhenius-féle meghatározását, amennyiben hidrogénion helyett helyesebb oxónium-ionról beszélni. (A pH elnevezése ezért helyesebben pH_3O^+ lehetne.)

→ datív kötés XXII.

Hasonló tapasztalatok és gondolatmenet vezettek a bázisok általánosabb értelmezéséhez is. A cseppfolyós ammónia alig vezeti az áramot, a vízben oldott kitűnően. Ebben az esetben is a vízzel való reakció során alakultak ki az ionok:

$$NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$$

BOMLÁS HELYETT KÖLCSÖNHATÁS

A hagyományos Arrhenius-féle modelltől ez abban különbözik, hogy nem tételez föl (még ideiglenesen sem) NH_4OH molekulát, hanem az NH_3 az egyenlet szerint közvetlenül a víztől vesz fel hidrogéniont. Ez aztán éppúgy a hidroxidionok felszaporodásához vezet, mintha létezett volna az NH_4OH, s az disszociált volna NH_4^+ és OH^- ionokra. Noha a végeredmény Arrheniuséval azonos, a mechanizmus lényegesen eltér attól: ez a folyamat sem „spontán bomlás", hanem kémiai reakció következménye. Úgy képzelhetjük, mintha parányi molekuláris méretű erőterek ragadnák el a hidrogénionokat egyik molekulából (vagy ionból) a másikba. A gondolatmenet – megváltozott formában – ismét felszínre hozza és megmutatja Berzelius elméletének magyarázó erejét. Aki először végiggondolta, általánosította és ennek lehetséges következményeit is nyilvánosság elé tárta 1923-ban, egy dán vegyész volt: J. Nicolaus Brönsted (1879–1947).



47. ábra. ***Nicolaus Brönsted (1879–1947) dán kémikus***

A savak és bázisok kémiai jellege a legegyszerűbben és a legáltalánosabban a következő sémával definiálható:
sav <===> bázis + H^+
A hidroxilion nem játszik kitüntetett szerepet a bázikus tulajdonságok megjelenésében.
A savak és a bázisok erősségének összehasonlítására nincs logikus mértékünk.
A neutralitás szokásos felfogása nem létezik, vagy csak önkényes definíció esetén létezik. Ezért az oldószer, például a víz, elméleti szempontból nem tekinthető semlegesnek.
A sav-bázis és redukciós-oxidációs egyensúly analóg:

Sav $\rightleftharpoons$ *Bázis +* $\oplus$

Redukált anyag $\rightleftharpoons$ *Oxidált anyag +* $\ominus$

Az első esetben a pozitív, a másodikban a negatív elektron (= a proton) játszik szerepet.

Brönsted: Néhány megjegyzés a savak és bázisok elméletéhez, 1923

4.4.2 Brönsted sav-bázis elmélete

← szűk és tág definíció III.11.3.2

Valószínűleg maga Brönsted is elcsodálkozott azon a felismerésen, hogy ugyanaz a vízmolekula hol fölvesz hidrogéniont, hol lead. Miként lehetséges ez? A *reakciópartnertől* függ a viselkedése: a HCl-től *kap* hidrogéniont, az NH_3-nak *ad*. Sav a víz, vagy bázis? Arrhenius szerint egyik sem, hiszen viszonyítási pontként határozták meg. Brönsted azonban felismerte, hogy a hagyományos definíció praktikus bár, de szükségtelenül szűk. Van a kémiai reakcióknak egy tágas köre, melyekre az jellemző, hogy H^+ átadással járnak. Nevezzük ezentúl ezeket sav-bázis reakcióknak, függetlenül attól, hogy szerepel-e benne víz! Brönsted definíciója szerint **egy adott reakcióban sav az a partner, amelyik hidrogén-iont ad le, bázis pedig az, amelyik hidrogéniont vesz föl**. Ha pl. a HCl közvetlenül reagál az ammóniával:

BRÖNSTED-SAV ÉS BÁZIS

$$\underset{\text{sav}_1}{HCl} + \underset{\text{bázis}_2}{NH_3} \rightleftharpoons \underset{\text{sav}_2}{NH_4^+} + \underset{\text{bázis}_1}{Cl^-}$$

SAV–BÁZIS PÁROK
← visszafordítható reakciók IX.3.3

Az elmélet egyik érdekessége, hogy megfordítható kémiai reakciók esetén (márpedig többé-kevésbé minden reakció az) sav-bázis *párok* alakulnak ki, hiszen a visszaalakulás is H^+ átadással jár. Furcsa, de logikus, ha az ammóniumiont is savnak, a kloridiont pedig bázisnak nevezzük.

VISZONYLAGOSSÁG

A Brönsted-elmélet másik érdekessége a savasság, ill. a bázikusság *viszonylagossága*. Csak a reakciópartner ismeretében mondható meg, hogy egy adott vegyület savként vagy bázisként fog viselkedni. Egy erősebb (nagyobb disszociációállandójú) savhoz képest egy gyengébb (kisebb disszociációállandójú) sav *bázisként* fog viselkedni.

← XI.4.3.3

Így például az 1M-os HCl disszociációállandója $K_{d\,(HCl)} = 3{,}02$ (erős sav), míg az ecetsavé $K_{d(ecet)} = 1{,}86 \cdot 10^{-5}$ (gyenge sav).

Ennek alapján a HCl képes hidrogéniont átadni a CH_3COOH-nak, az ecetsavnak:

$$\underset{\text{sav}_1}{HCl} + \underset{\text{bázis}_2}{CH_3COOH} \rightleftharpoons \underset{\text{sav}_2}{H_3CCOOH_2^+} + \underset{\text{bázis}_1}{Cl^-}$$

A Brönsted-féle sav-bázis elmélet sajátos esetének tekinthető az, amikor egy vegyület saját molekulái közt ad át egy hidrogéniont. Ilyen a víz „öndisszociációja”, ami valójában szintén nem disszociáció, hanem H^+ átadás:

$$H_2O + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^-$$

Ebben az esetben pusztán a véletlen dönti el, hogy melyik vízmolekula fog savként, s melyik bázisként viselkedni. Szokás az ilyen – savként is, bázisként is – viselkedő anyagokat **amfoternek** nevezni. Mint az eddigiekből sejthető, a legtöbb vegyület amfoter – feltéve, hogy egyáltalán képes valamiféle sav-bázis reakcióban részt venni.

AMFOTÉRIA

A modern kémiában a Brönsted-féle elmélet mellett más sav-bázis elméleteket is kidolgoztak. A konkrét reakciótól és feladattól is függ, hogy melyiket célszerűbb használni. A mindennapi életben a víz kitüntetett szerepe miatt általában ma is megfelel Arrhenius eredeti elmélete.

← XI.4.3.2

Abból a tapasztalatból, hogy az elektrolitok vezetőképességét erősen befolyásolja a koncentráció, Brönsted arra következtetett, hogy a disszociáció olyan kölcsönhatás eredménye, mely az oldószer és az oldott anyag közt jön létre. A kölcsönhatás során a víz a savaktól fölvesz, a bázisoknak lead hidrogéniont (amfotéria).

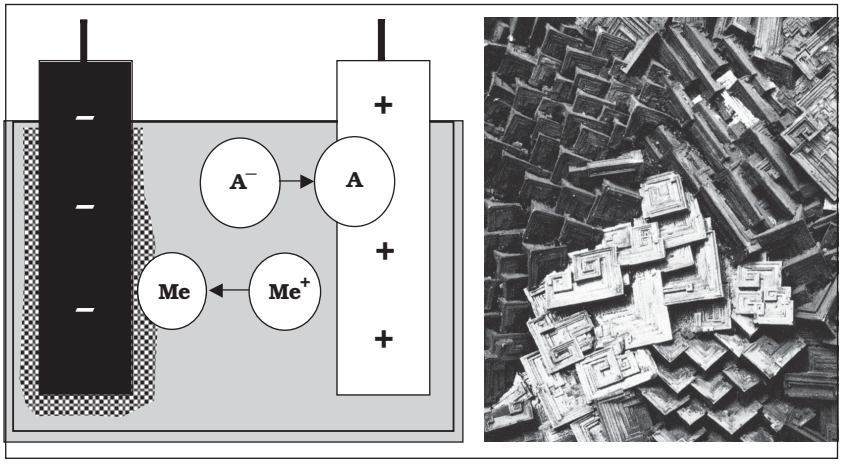
Az elméletet általánosítva Brönsted szerint egy adott reakcióban sav az a partner, amelyik hidrogéniont ad le, bázis pedig az, amelyik hidrogéniont vesz föl. Ebben az elméletben a sav-bázis párok egymást feltételezik, a savasság és bázikusság viszonylagossá vált.

Summa (4.4)

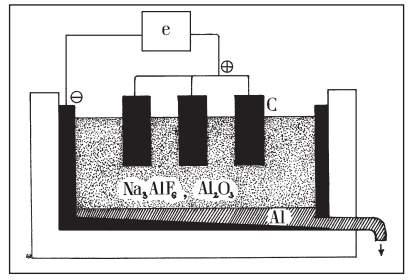
4.5 Az elemi töltés

4.5.1 Elektrolízis a gyakorlatban

Az elektrolízis nemcsak a kutatók elméleti érdeklődését szolgálta, hanem ipari eljárás is vált belőle. A *fémkohászatban* olyan elemi fémek előállítására használják az elektromosságot, melyeket más módon nem, vagy csak nehezen és szennyezetten nyerhetnének.



48. ábra. ***a) Fémek elektrolitikus előállításának elve***
A fémionok (Me+) a katód felé igyekeznek, ott elektront vesznek föl, így elemi fémmé (Me) redukálódnak. Az anódon ellentétes folyamat, oxidáció zajlik le.
b) Fém bizmutkristályok. Elektrolízissel tiszta és szabályos kristályrácsú fémeket lehet előállítani.



49. ábra. ***Alumíniumkohó elektrolizáló cellájának vázlata***
Az alumínium előállításának első lépése a tiszta alumínium-oxid kivonása a bauxit ércből. (Ennek melléktermékе, a lúgos „vörösiszap” veszélyes, környezetszennyező hulladék.)
A kohókban a szennyeződésektől megtisztított alumínium-oxidot (Al_2O_3, timföld) olvasztott állapotban, szénelektródok között elektrolizálják. Mivel az anód is szén, a keletkező oxigén szén-oxidokká alakítja, az elektródát tehát folyamatosan pótolni kell. A rendkívül energiaigényes eljárás csak energiahordozókban gazdag országok számára kifizetődő. Az elektrolízis kb. 1000 °C-n zajlik, az olvadt alumíniumot a fölötte úszó kriolitos (Na_3AlF_6) oxidréteg védi meg attól, hogy újra oxidálódjon. A kriolit kb. 1000 °C-al csökkenti a timföld magas olvadáspontját.

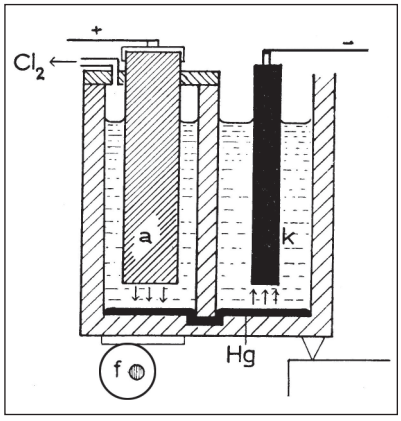
Tömény NaCl oldat elektrolízisekor a katódon hidrogén, az anódon klórgáz fejlődik:

Anód $H^+ + e^- \longrightarrow H$

$2\,H \longrightarrow H_2$

Katód $Cl^- \longrightarrow Cl + e^-$

$2\,Cl \longrightarrow Cl_2$



50. ábra. ***A kősó higanykatódos bontása***
A cella bal oldali részében a higany a katód, a nátrium-klorid oldatból leváló nátrium ebben oldódik. A cellának az f jelű excenterkerékkel való megbillentésekor a nátriumtartalmú higany átfolyik a cella jobboldali részébe, amelyben a higany az anód. Itt a benne oldott nátrium tiszta nátrium-hidroxid képződése közben oldatba megy, miközben hidrogéngáz fejlődik. Az eljárás előnye, hogy ugyanazzal a higanymennyiséggel sok hidrogént és klórt lehet előállítani, egymástól távol. Súlyos veszélyforrás, hogy gondatlan kezelés miatt az elfolyó higany talajszennyezést okozhat.

A Na^+-ionok ilyen körülmények között oldatban maradnak. Ha esetleg egy-egy át is alakul fémnátriummá, a következő pillanatban máris reagál a körülötte levő vízmolekulák valamelyikével. Az eredmény éppúgy H_2 gáz lesz, mintha közvetlenül a H^+-ionok reagáltak volna:

$$2Na + 2H_2O = 2NaOH + H_2$$

Az ipar számára a keletkező H_2 és Cl_2 gázokon kívül az oldatban maradó NaOH is fontos termék. Az eljárás nehézsége az, hogy a hidrogén- és klórgáz veszedelmes robbanó elegyet alkothat egymással. A gyakorlatban ezért ún. **higanykatódos elektrolízist** alkalmaznak. Ebben az anód- és katódfolyamatot egymástól térben elválasztják. A fémhigany ilyen körülmények között a fémnátriumot oldja magába, azzal sajátos ötvözetet, **higany-amalgámot** alkotva. A második fázisban aztán a higany-amalgám nátrium-tartalmát egy másik berendezésben vízzel reagáltatják, ami kioldva belőle a Na-t, NaOH-t és tiszta higanyt eredményez.

Kísérletek
Elektrolízis 4,5 V-os zsebteleppel
Szükséges: U alakú elektrolizáló edény, zsebtelep, vezeték, grafit- és fémrudak, pénzérmék, indikátoroldat, keményítőoldat.
1. Kálium-jodid oldat elektrolízise: Elektrolizáló edénybe híg KI oldatot öntünk (0,5 g KI 100 cm^3 vízben oldva) és az edény egyik szárába 1 csepp fenolftaleint, a másik oldalra 1 csepp keményítőoldatot adunk. A cső mindkét szárába grafit-elektródákat illesztünk. Az anód környéke a kiváló I_2-tól megkékül, a katód környéke viszont megvörösödik, jelezve a KOH keletkezését.
2. ZnI_2 oldat elektrolízise. A ZnI_2 oldatot az előző kísérlethez hasonlóan elektrolizáljuk. Megfigyelhető a katódon leváló fémcink.

4.5.2 Faraday elektrolízis-törvénye

ÖSSZEFÜGGÉS AZ ANYAG ÉS A TÖLTÉS MENNYISÉGE KÖZT

Berzeliusnak s követőinek figyelme elsősorban az elektrolízis során felszabaduló anyagok *minőségére*, s az ehhez szükséges *feszültség* nagyságára irányult, hiszen ebből következtettek az anyagokat összetartó erők nagyságára.

Faraday az elektrolízis során felhasznált töltésmennyiség (Q) és a keletkező anyagok mennyisége (m) között keresett kapcsolatot. Hogyan lépnek kapcsolatba egymással a fémlemezen felhalmozódó töltések és az oldatbeli ionok? Faraday gondolatmenetét mai köntösben mutatjuk be (maga Faraday nem használt képleteket, elektrolízis-törvényét később öntötték matematikai alakba).

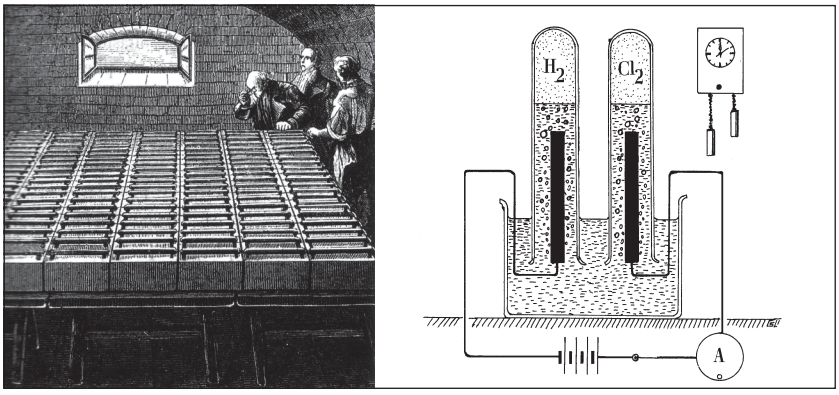
A kísérletekben a fémvezetéken áthaladó töltésmennyiség ampermérő és pontos óra segítségével jól mérhető:

← XI.3.1.2

$$Q = I \cdot t$$

Ha az elektrolízis során gáz keletkezik, annak mennyiségére térfogatából lehet következtetni, ha pedig szilárd anyag, elegendő szárítás után mérlegre helyezni. A tapasztalat azt mutatta, hogy *bármely anyag 1 móljának kiválasztásához 96.500 C töltésmennyiség*, vagy ennek egész számú többszöröse (kétszerese, háromszorosa) szükséges (Faraday elektrolízis-törvénye).

FARADAY TÖRVÉNYE



51. ábra.
a) A Royal Institutionban 1807-ben galvánelemekből épített hatalmas villamos telep részlete, melyet előbb Davy, majd Faraday használt elektrokémiai kísérleteihez.
b) NaCl oldat elektrolízise
Óra és ampermérő segítségével megadható az oldaton áthaladó töltés mennyisége, mérhető, hogy eközben milyen gázból mennyi szabadul fel az anódon és a katódon.

96.500 C töltés hatására kiváló anyagok mennyisége (közelítő értékek)

Ion-képlet	Mi szabadul fel belőle?	Mennyiség (g)	Moláris atomtömeg
Al^{3+}	Al	9	27
Fe^{2+}	Fe	28	56
Fe^{3+}	Fe	18,6	56
Na^{+}	Na (olvadékból!)	23	23
H_30^{+}	H_2	1	1
Cl^{-}	Cl_2	35,5	35,5
OH^{-}	O_2	8	16
O^{2-}	O_2 (olvadékból!)	8	16

Az adatok értelmezéséhez föl kell tételeznünk, hogy az áramkör csakugyan *kör*, tehát benne a töltések sehol nem torlódnak, hanem – akármi hordozza is őket – folyamatosan áramlanak. Ha ez igaz, *ugyanannak a töltésmennyiségnek, ami a vezetékben áramlott, át kellett haladnia az elektrolit-oldaton is*. Ha nem így lenne, töltések tűnnének el, vagy keletkeznének, azaz sérülne a töltésmegmaradás törvénye.

← áramkör: XI.4.1

← töltésmegmaradás XI.1.2

A részfolyamatok elemzését a HCl-oldat (sósav) elektrolízisén követhetjük nyomon. Ebben az esetben a katódon (negatív póluson) H_2 gáz fog fejlődni, az anódon (pozitív póluson) pedig Cl_2. A HCl oldódásakor keletkező hidrogén (oxónium)-ionok a katód, a kloridionok pedig az anód irányába haladnak. A hidrogénionoknak ahhoz, hogy semlegessé váljanak, ugyanannyi negatív töltést kell fölvenniük, ahány pozitív töltéssel rendelkeztek. A semlegessé vált 2 hidrogénatom H_2 gázzá egyesül. Így összesen 1 mol H^+ vált semlegessé (s ebből 0,5 mol H_2 gáz keletkezett). Az anódon fordítva: 1 mol Cl^- vált semlegessé, amiből 0,5 mol Cl_2 gáz keletkezett.

AZ ELEMI TÖLTÉSEGYSÉG

Feltételezve, hogy minden hidrogénion 1 egységnyi pozitív, s minden kloridion 1 egységnyi negatív töltést hordoz, ezzel megmértük 1 molnyi elemi töltés nagyságát is: 96.500 C. Az Avogadro-szám ismeretében ebből egyszerű osztással megkapható az elemi töltésegység nagysága is:

$$q_{\text{elemi}} = \frac{96500\text{C}}{6 \cdot 10^{23}} = 1{,}5 \cdot 10^{-19}\ \text{C}$$

← az „atom” szó eredeti jelentése III.6

Bármely anyag elektrolízisekor ezen elemi töltésegység *egész számú többszörösét* kapjuk eredményül. Mindez alátámasztja azt az elképzelést, miszerint az elektromosság is atomos, oszthatatlan és parányi töltésegységek („csomagok”) formájában létezik. Maga Faraday ugyan nem vont le ilyen következtetést, a későbbi kutatások azonban igazolták, hogy e kísérletsorozatában annak a valaminek a töltését határozta meg, amit utóbb **elektronnak** neveztek el.

4.5.3 Az elektron és a proton

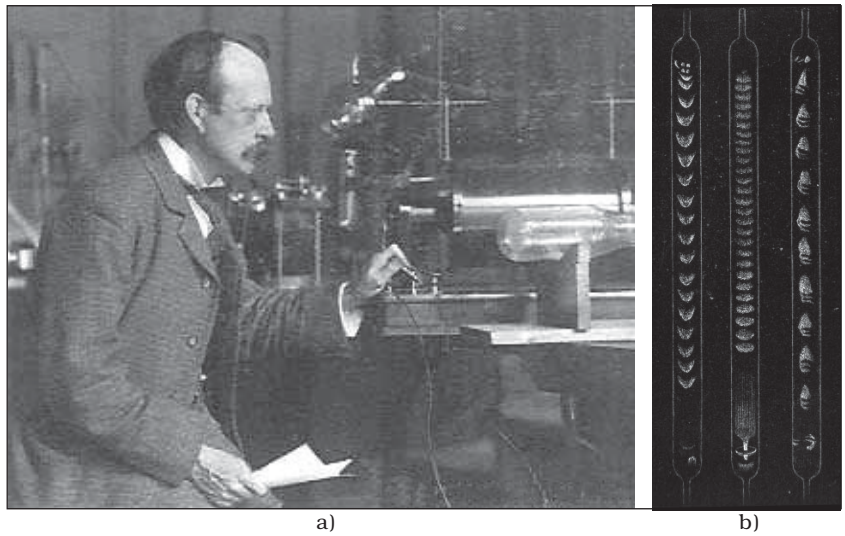
A XVIII. századtól egyidejűleg kezdték vizsgálni a fémekben, a folyadékokban és a gázokban végbemenő töltésáramlást. Utóbbi esetben megfigyelték, hogy a folyamatos áramláshoz a gáznak elég ritkának kell lennie. Ezért az elektródákat olyan üveghengerbe forrasztották, melyből a gáz egy részét légszivattyúval eltávolították, kb. 5000 Pa értékig. (Az ehhez szükséges hatékony légszivattyút 1855-ben találták fel.) Az így előállított **katódsugárcsőben** a feszültséget fokozatosan növelve egy határértékig az áramkör még nem zárult. Meghatározott feszültség fölött azonban a cső sejtelmes fényt kezdett sugározni, egyidejűleg töltésáramlás indult meg a vezetőkben. Valami tehát átjutott az egyik elektródról a másikra, s ezáltal záródott az áramkör. A jelenséget **katódsugárzás**nak nevezték el.

KATÓDSUGÁRCSŐ

Érdekes módon, ha még tovább csökkentették a nyomást a katódsugárcsőben, akkor a fény halványult, majd – 1 Pa alatt – el is tűnt. Ezzel együtt azonban az áram erőssége *nőtt* a vezetékben. Maga a katódsugárzás eszerint láthatatlan áramlás, melynek útjában állnak a gázrészecskék. A látható fény a gázrészecskék és a katódsugár ütközésének eredménye, tehát csak *másodlagos jelenség*. Az igazi kérdés az, hogy mik áramlanak a *katódsugárban*? Az egyik elképzelés szerint (Goldstein és Hertz) talán egy nem látható fény, elektromágneses hullám. A sugár azonban *elektromos térben eltérült*, méghozzá a pozitív pólus irányába. Bizonyos tehát, hogy *negatív töltésű*.

→ gerjesztés és fénykisugárzás XXI.

→ elektromágneses sugarak XV.3.7



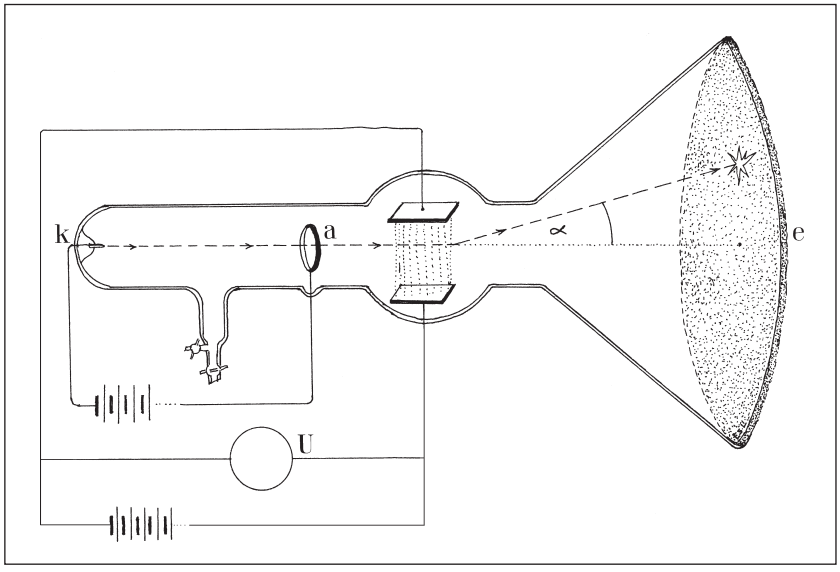
a) b)

52. ábra. ***a) Sir Joseph John Thomson (1856-1940) angol fizikus***
Szegény könyvkereskedő fiaként ösztöndíjak segítségével végezte el a cambridge-i egyetemet, ahol élete végéig munkálkodott. Tehetségét hamar felismerték: már 27 évesen a nagy hírű Cavendish Laboratórium igazgatója lett. Vezetése alatt nyitottá, demokratikussá vált az intézet, s a tudomány élvonalába került. Legnagyobb felfedezéséért, az elektron kimutatásáért és fajlagos töltésének megméréséért (1897) 1906-ban kapott Nobeldíjat. 1918-ban a Trinity College Master-jévé választották. Ő volt az első világi tudós, aki ezt a címet megkapta. J. J. Thomson sírja a westminsteri apátságban van, Newtoné mellett.
b) Fényjelenségek ritkított gázokkal töltött katódsugárcsövekben

A katódsugarakkal a fizikusok közel fél évszázadon át kísérleteztek, míg rejtélyét 1897-ben megfejtette J. J. Thomson. Azt a feltevését igyekezett igazolni, hogy a katódsugárban az elektromosság feltételezett hordo-

zói: negatív töltésű, de parányi tömegű részecskék, **elektronok** áramlanak. Több módosítást hajtott végre a katódsugárcsövön, amelyben ismert erősségű elektromos térrel tudta eltéríteni útjukról a feltételezett részecskéket.

ELEKTRON



53. ábra. ***Thomson katódsugár-csöve sematikusan***
Thomson megfigyelte, hogy a katódsugár – noha láthatatlan – nemcsak az üvegbe, hanem más anyagokba ütközve is fényfelvillanást (fluoreszcenciát) okoz. A katódsugárcső kiszélesedő végződését fluoreszkáló cink-oxiddal (ZnO) vonta be. Így nyomon tudta követni, hogy a sugárzás merre és milyen mértékben térült el. Berendezésének másik újdonsága az volt, hogy újabb elektródapárt (lényegében egy síkkondenzátort) forrasztott bele, amelyek lemezei között a katódsugár áthaladt. Ennek hatására azok úgy mozogtak, mint a gravitációs mezőben vízszintesen elhajított test. Thomson a becsapódások következtében keletkező hő méréséből következtetett a részecskék összes mozgási energiájára, a szállított össztöltést elektroszkóppal mérte, és újabb összefüggést kapott a sugár eltérüléséből. A katódsugarak a katódból (k) lépnek ki, átlendülnek a gyűrű alakú anódon (a), majd áthaladnak a pályájukat keresztező elektromos téren, ami α szöggel téríti el. A felvillanás az e képernyőn észlelhető. A síkkondenzátorra kapcsolt U feszültség értéke mérhető és változtatható.

→ gerjesztés és fénykibocsátás XXI.

← kondenzátor XI.1.6

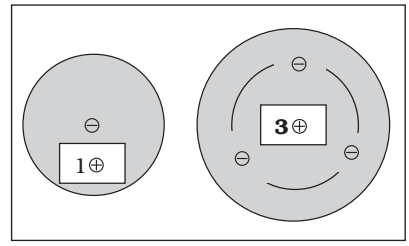
← hő és mechanikai energia VI.9.3

Thomson mérései alapján is csak a részecske **fajlagos töltését**, azaz *töltésének és tömegének hányadosát* lehetett kiszámítani. Viszont a Faraday-állandóból és az akkor már elfogadott Loschmidt-számból egyszerűen meg lehetett állapítani az elektron töltését: $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C. Ebből Thomson mérései alapján kiszámítható a tömege: $m(e) = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg, kb. kétezred része a legkönnyebb atom, a hidrogén tömegének. Az elektron töltését közvetlenül csak 1910-ben mérte meg Millikan.

AZ ELEKTRON TÖLTÉSE ÉS TÖMEGE

Thomson fölismerte, hogy az elektronsugár tulajdonságai függetlenek a katód anyagától, az elektron tehát minden kémiai elemben jelen van. Ha azonban ez igaz, minden semleges atomban kell lennie annyi pozitív töltésnek is, amennyi éppen egyenlő az elektronok negatív töltésével. Thomson le is vonta a következtetést: közzétette az első olyan atommodellt, mely összetett, osztható részecskeként írta le az atomot. Modelljében az elektronok pontszerű, negatív töltésű részecskék, melyek pozitív töltésű „masszába" ágyazva lebegnek, esetleg keringenek. A töltések száma elemenként különböző. Semleges atomban az ellentétes töltések száma megegyezik, anionokban elektronfölösleg, kationokban elektronhiány van. Thomson modelljét képszerűen „mazsolás pudingnak" becézték, és 1911-ig általánosan elfogadták.

„MAZSOLÁS PUDING" ATOMMODELL



54. ábra. ***A Thomson féle „mazsolás puding" atommodell (1897)*** Baloldalt a hidrogénatom, jobboldalt a lítiumatom modellje.

PROTON

← villámlás XI.1.5

Thomson eredeti modelljében nem tért ki arra, hogy milyen lehet a pozitív „massza” fölépítése. A katódsugárcső, illetve kisülési cső alaposabb tanulmányozása vezetett a másik elemi részecske, a **proton** felfedezéséhez. Ha a csőbe különböző gázokat töltünk, 5000 Pa nyomás alatt a legkülönbözőbb fényjelenségek lépnek fel, amelyek erőssége és színe a gázok minőségétől és a nyomástól is függ. 1 Pa nyomás alatt a fényjelenségek megszűnnek, de az áram fennmarad. A fényjelenségek arra utalnak, hogy a nagy sebességű ütközések következtében a gázmolekulák ionizálódnak. Mivel ezek az ionok szabadon elmozdulhatnak, részt vesznek a vezetésben is. Az áramvezetés tehát az ilyen kisülési csövekben nemcsak a katódsugárzásnak, hanem az **ionáramlásnak** is köszönhető. Valóban, ha a katódba kis lyukakat, csöveket fúrnak, akkor a katód mögött a lyukakból kiinduló, gyengén világító sugárnyalábok figyelhetők meg. Ezt az anód felől (de nem az anód*ból*!) a katód felé haladó sugárzást Goldstein fedezte fel 1855-ben és **csősugaraknak** nevezte el. 1898-ban állapították meg Thomsonéhoz hasonló eltérítési kísérletekkel, hogy a csősugarak pozitív töltést szállítanak és az elektronénál sokkal nagyobb tömegű részecskékből, ionokból állnak. Azt is hamarosan megállapították, hogy a *hidrogéngázzal töltött* kisülési csőben keletkező csősugarak nagyrészt *egy* pozitív elemi töltésű és a H-atommal csaknem egyenlő tömegű részecskékből állnak. Ezt nevezték el **protonnak**, mert ennél kisebb tömegű pozitív töltésű részecskét nem ismertek (egészen 1932-ig). (A pro- görög előtag valaminek az elsődleges voltát jelenti.) A protonok tehát egyszeresen pozitív töltésű **hidrogénionok**.

CSŐSUGARAK: IONÁRAMLÁS

→ további elemi részecskék fölfedezése XXI.

4.5.4 A vezetők típusai

A katódsugár elektronokból áll, folyadékokban pedig ionok vezetik az áramot. Mi áramlik a **szilárd vezetőkben**? Több megfigyelés is arra utalt, hogy a vezetés módja különbözik a szilárd anyagokban és az elektrolitokban. Ezek közül legfontosabb a vezetőképesség hőmérsékletfüggése. Szilárd anyagok (pontosabban: a valódi fémek) *ellenállása általában nő, az elektrolitoké viszont csökken hőmérséklet emelkedésével.* A fémek ellenállás-növekedése legegyszerűbben úgy magyarázható, ha feltesszük, hogy benne az atomokról leszakadt elektronok áramlanak, melyek a magasabb hőmérsékleten jobban rezgő fém-ionokkal gyakrabban ütköznek, ezért mozgásuk lelassul, az ellenállás nő. Az ilyen vezetőket, melyekben elektronok hordozzák az áramot, **elsőfajú vezetőknek** nevezik. Ezzel szemben az elektrolitokban oldott ionok mozgékonysága (a „lyukvezetés” sebessége) nő a hőmérséklettel, így természetes, hogy az ellenállás csökken. Az ilyen vezetőket, melyekben ionok mozgása hozza létre az áramot, **másodfajúaknak** nevezik.

A VEZETŐKÉPESSÉG HŐMÉRSÉKLETFÜGGÉSE

← lyukvezetés folyadékban: IX.4.2.1

SZUPRAVEZETŐK

Sok fém és ötvözet ellenállása egy Tk kritikus hőmérséklet alatt 0-ra csökken, **szupravezetővé** válik. A jelenséget 1911-ben fedezték fel, ma főleg nagyon erős mágneses terek előállítására használják.

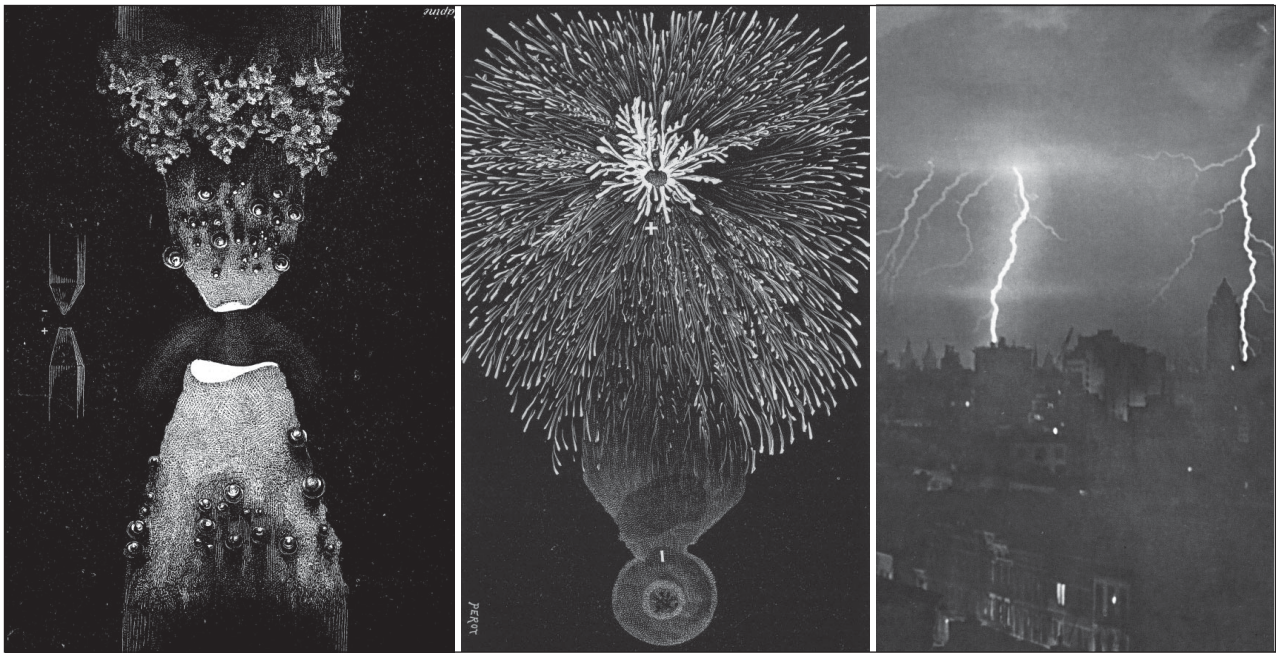
Az ellenállás hőmérséklet-függésének általános szabálya alól több érdekes kivételt találtak. Egyes fém-ötvözetek (pl. a konstantán: 40-45% nikkel, 60% réz és 0,3-1,0% mangán) elektromos ellenállása hőmérséklet-növekedés hatására úgyszólván nem változik, ezért ezeket az ötvözeteket nagy pontosságú ellenállásdrótok készítésére használják.

FÉLVEZETŐK

→ fémrács XI.4.6.1

→ delokalizáció XXI.

Az úgynevezett **félvezetők** (pl. szilícium, germánium) annál jobban vezetnek, minél melegebbek. A jelenség magyarázatául föltehető, hogy ezen anyagok elektronjai erősebben kötődnek a fémionokhoz, mint a legtöbb más fém esetében, így alacsony hőmérsékleten gyakorlatilag szigetelők. A magasabb hőmérséklet előmozdítja az elektronok leszakadását, ami lehetővé teszi az elsőfajú vezetést.



55. ábra.
a) Izzó széncsúcsok közt kialakuló ívfény erős nagyításban
b) Mesterséges elektromos kisülés hatására létrejövő „fénypamat" (Lichtenberg-féle alak)
c) Villámlás

A **gázok vezetőképessége** nagymértékben függ a nyomástól. Légköri nyomáson az egymástól néhány centiméternyire lévő elektródok között a levegő csak több ezer volt feszültség hatására válik vezetővé. Ekkor az elektródok felületén kékes-piros fényréteg figyelhető meg és jellegzetes sercegés is hallható. Ha az egyik elektród csúcsos, akkor csúcskisülés következik be. A feszültség további növelésével az elektródokról szétágazó, világító nyalábok indulnak ki. Még nagyobb feszültségnél az elektródok között rövid időtartamú és igen erős áramnak megfelelő szikrák ugranak át. Ezek a jelenségek azzal magyarázhatók, hogy a nagy térerősség miatt az elektródokról töltések válnak le, és a levegő molekuláit az ütközések folytán ionizálják. Viszonylag kis feszültségen (40-50 V) is létrehozható az ívkisülés. Ha szénelektródokat összeérintünk, majd kissé széthúzzuk őket, az áram nem szakad meg, nagy fényerősségű ívfény keletkezik (Davy, 1812). Az érintkezés helyén ugyanis a nagy ellenállás miatt az elektródok izzásba jönnek, a katódból kilépő elektronokkal való ütközések és a magas hőmérséklet miatt az elektródok közötti levegő ionizálódik, és a katódba ütköző pozitív ionok, ill. az anódba ütköző elektronok az elektródokat továbbra is izzásban tartják. Az ívfényt a magas hőmérséklet (3000 – 6000 °C!) és a nagy fényerősség miatt hegesztésre, ill. fényforrásként lehet alkalmazni.

GÁZOK VEZETÉSE

→ ionizációs energia értékei XXII.

A fenti esetekben a levegőben önálló vezetésről beszélhetünk, hiszen a töltéshordozók az elektromos tér miatt fellépő jelenségek következtében keletkeztek. Kívülről is lehet a levegőbe töltéshordozókat juttatni, pl. dörzsöléssel elektromosan feltöltött finom porszemcséket. Alkalmazható külső ionizáló hatás is, pl. magas hőmérsékleten a levegő ionizálódik és így alacsonyabb feszültségen is vezetővé válik.

A legjobb szigetelő a **vákuum**. A „nagy vákuum" 0,001 Pa-nál kisebb nyomást jelent. Ilyen alacsony nyomáson már csak a katódsugárzás révén lehet vezetést létrehozni, ehhez azonban nagy feszültség szükséges. Ha a katódot rá lehetne venni, hogy „magától" bocsásson ki elektronokat, akkor kisebb feszültség is elegendő lenne. Ezt teszi lehetővé az Edison által 1883-ban felfedezett **termoelektromos hatás**: a fémekből magas hőmérsékleten elektronok lépnek ki. Ezen a jelenségen alapul az **elektron-**

← III.6.5
← IX.2.1
← XI.4.5.3

ELEKTRONCSÖVEK

→ csillapítatlan elektromágneses rezgések XV.2.4

csövek működése, amelyek többek között egyenirányításra és erősítésre használhatóak.

Summa (4.5)

Az elektrolízis eredménye nemcsak az elektrolit anyagi minőségétől, hanem annak koncentrációjától és az elektróda anyagától, annak felszínétől is függ (konyhasó-elektrolízis különböző feltételek között). Ipari szempontból is fontos az elektrolízis alkalmazása a fémek előállítására (timföld elektrolízise alumíniummá).

Elektrolízis-kísérletei során Faraday azt tapasztalta, hogy *bármely anyag 1 moljának kiválasztásához 96.500 C töltésmennyiség*, vagy ennek egész számú többszöröse (kétszerese, háromszorosa) szükséges (Faraday elektrolízis-törvénye). Az Avogadro-szám ismeretében ebből kiszámítható az elemi töltésegység nagysága. Az elektromos töltés tehát „atomos" szerkezetű.

Thomson katódsugárcső – kísérleteivel igazolta, hogy ez a negatív elemi töltés – az elektron – minden kémiai elemnek alkotórésze, abból kiszakítható (katódsugár) elektromos térrel eltéríthető. A semleges atomban az elektron(ok) negatív töltésével a proton(ok) pozitív töltése tart egyensúlyt. A kationokban elektronhiány, az anionokban elektrontöbblet van.

Az elektromos vezetőképesség hőmérsékletfüggése is bizonyítja, hogy fémekben (elsőfajú vezetőkben) elektronok, míg az elektrolitokban (másodfajú vezetőkben) ionok vezetik az áramot.

A gázok vezetőképessége erősen függ a nyomástól. Önálló vezetés csak nagy feszültség mellett lehetséges. Ritkított gázokban az elektronokból álló katódsugárzás és a pozitív ionokból álló csősugárzás egyaránt szerepet játszik. Vákuumban az izzított katódból kilépő elektronsugárzás kis feszültségen is lehetővé teszi a vezetést. Ezen az alapon működik az egyenirányításra használható dióda és az erősítésre alkalmas trióda.

4.6 Elektronok több atom vonzásában

4.6.1 Rácstípusok

→ magyarázata XXI., XXII.

Az elemek között feltűnő különbségek vannak. A nemesgázok kivételével legtöbbjük szívesen, sőt néha hevesen lép kémiai reakcióba. Ez arra utal, hogy nem feltétlenül az elektromos semlegesség a legkedvezőbb állapotuk, hanem esetleg egy pozitív vagy negatív töltésű ionként „érzik legjobban magukat". Éppen ennek alapján állította őket sorrendbe egykoron Berzelius.

← XI.4.2.3

ELEKTRONEGATIVITÁS

A mai kémiában az elemek elektronvonzó képességét más úton számolják ki és elektronegativitásnak nevezik. Az **elektronegativitás** leginkább használatos számszerű értékeit Linus Pauling (1901–1994) amerikai kémikus adta meg. A Pauling-féle elektronegativitás mértékegység nélküli viszonyszám, értéke annál nagyobb, minél nagyobb a kötött állapotú (azaz valamilyen vegyületben részt vevő) elem elektronvonzó képessége. Az elemek elektronegativitási értékek alapján rendezett sora hasonlít Berzelius sorozatához, de nem mindenütt egyezik meg vele. (Berzelius eredményeit befolyásolta a vizes közeg és az oldott anyag kölcsönhatása, sőt az elektródák felszíne is. Pauling kiküszöbölte e „zavaró tényezőket".)

→ ionizációs energiák és a héjak szerkezete XXII.

← XI.4.2.3

Az elektronegativitás-értékek legfőbb haszna, hogy segítségükkel értelmezni és jósolni lehet az elektronok helyzetét akkor, amikor két vagy több atom vegyületté kapcsolódik össze. Az eredmény elsősorban a kapcsolódó

→ következménye a redox reakciókban: XI.4.6.2

elemek elektronegativitásainak *abszolút értékétől és különbségétől* függ. Mintha egy parányi kötélhúzó-versenyt látnánk: a nagyobb elektronegativitású elem maga felé húzza partnerének elektronját is, olyan mértékben, amennyire az engedi. Noha a határok nem élesek, a következő lehetőségeket szokták megkülönböztetni.

IONRÁCS

Ionrácsos vegyületek. A kapcsolódó elemek elektronegativitásának nagy a különbsége (1,5 fölötti). Például a lítium-kloridban (LiCl) a Li elektronegativitása 1,0, a klóré 3,0, különbségük tehát 2,0. Ekkor az egyik elem valósággal elragadja a másiktól annak (egy vagy több) elektronját: belőle negatív töltésű anion, partneréből pedig pozitív töltésű kation alakul ki. Ezek az **ionos (ionrácsos)** vegyületek. Minél nagyobb a két elem közti elektronegativitás-különbség, annál nagyobb részt „húz magához" a nagy elektronegativitású elem. A lehetséges legnagyobb elektronegativitás-különbség a F és a Cs között: 4,0 – 0,7 = 3,3. Tehát a CsF (cézium-fluorid) a *leginkább ionos* vegyület. A gyakorlatban 1,5 fölötti elektronegativitás különbségek esetén már ionos vegyület létrejöttére számíthatunk.

→ a töltésszám magyarázata XXII.

A szilárd ionrácsos vegyületek rácspontjain kationok és anionok „ülnek". Mindegyik ion lehet összetett, azaz állhat több atomból. Például az ammónium-kloridban (NH_4Cl) ammónium- (NH_4^+) és kloridionok, a rézszulfátban ($CuSO_4$) réz- és szulfátionok (SO_4^{2-}) vannak.

← miből tudjuk ezt? (Brönsted) XI.4.4.1

FIZIKAI TULAJDONSÁGOK

Az ionrácsos vegyületek olvadáspontja magas, ami azt jelzi, hogy az ionok közti erős kötést nehéz fölbontani. Az azonos töltésű ionok közti taszítás pedig magyarázza ridegségüket, alakíthatatlanságukat: az ionkristályt meg lehet repeszteni, de az ionok elrendeződését bennük többnyire nem lehet megváltoztatni. A kősó például porrá törhető, de nem nyújtható.

← vonzás és taszítás Boskovic rendszerében: IX.2.3.4

Az ionkristályok szilárd állapotban nem vezetik az áramot, hiszen az ionok a rácspontokról (többnyire) nem képesek elmozdulni. Ha az ionrácsos vegyületeket megolvasztjuk vagy feloldjuk, akkor elektromos áramot vezető folyadékot, **elektrolitot** kapunk.

← XI.4.1

Az ionrácsos vegyületek hagyományos összegképlete az ionok töltését nem jelzi, csak az elemek arányát. Például a konyhasóban a Na^+ (nátriumion) és Cl^- (klorid-ion) aránya 1:1, amit az összegképlet így fejez ki: NaCl. A lítium-oxidban két Li^+ ion jut egy oxidionra (O^{2-}), amit az összegképlet így jelöl: Li_2O.

← összegképlet IX.2.3

Ha a kapcsolódó elemek elektronegativitása azonos vagy közel azonos (0,5-nél kisebb, vagy azzal egyenlő) sokféle rácstípus jöhet létre (fémrács, molekularács, atomrács). Töltéseloszlásuk egyenletes, bennük elektromos pólusok nem vagy alig alakulnak ki. Hogy melyik rácstípus alakul ki, az az elektronegativitások abszolút értékétől is függ.

FÉMRÁCS

A **fémekre (fémrácsokra)** jellemző, hogy bennük az elemek elektronegativitás értékei alacsonyak, ezért minden egyes atomról könnyen leszakad egy vagy több elektron. Így a rácspontokon pozitív fémionok alakulnak ki, a leadott elektronok pedig könnyen elmozduló „felhőt" alkotnak körülöttük. Az így létrejövő rácsban az elektronok nem köthetők egy-egy konkrét fémionhoz, **delokalizáltak** (a szó *helyhez nem kötöttet* jelent latinul). A delokalizált elektronfelhő magyarázza a fémek jó elektromos vezetőképességét és megmunkálhatóságát is (a fémionok erő hatására elmozdulhatnak anélkül, hogy a rács szerkezete eközben megváltozna). Több fém is alkothat közös rácsot, ilyenek az ötvözetek.

→ vegyértékhéj XXII.

→ jelenség a szerves kémiában XII.3.5

DELOKAKIZÁCIÓ ÖTVÖZETEK

A **molekulák** alkotóelemeinek elektronegativitás értékei magasak, az elektronok ezért bennük (többnyire) nem szakadnak el az egyes atomoktól, **lokalizáltak** (a szó *helyhez kötöttet* jelent latinul). A molekularácsos vegyületek ezért az áramot sem szilárd, sem folyékony állapotban nem vezetik. Ha a molekulát alkotó elemek elektronegativitása egyenlő vagy kö-

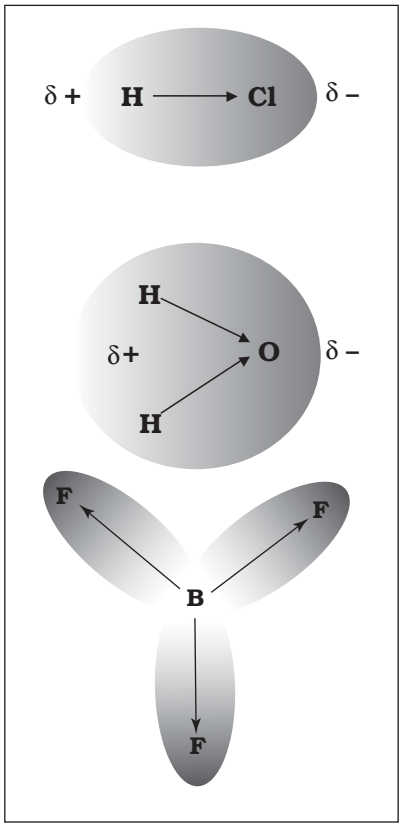
→ a kovalens kötés kialakulása a molekulám belül XXII.

APOLÁROS MOLEKULÁK

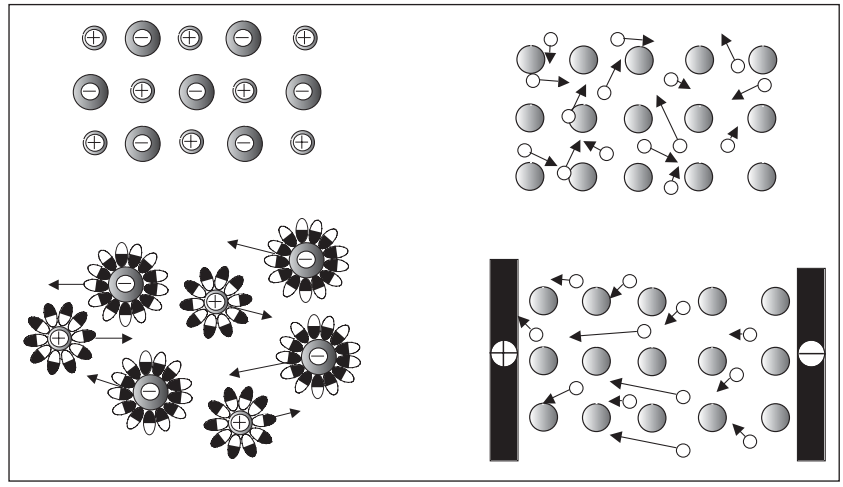
zel azonos, a molekulán belül nem alakulnak ki pólusok, a molekula minden egyes kötése, és maga a molekula is **apoláros** lesz (az „a” fosztóképző, az „apoláros” tehát *nem-polárost, elektromosan egyneműt* jelent).

ÁTMENETI RÁCSTÍPUSOK

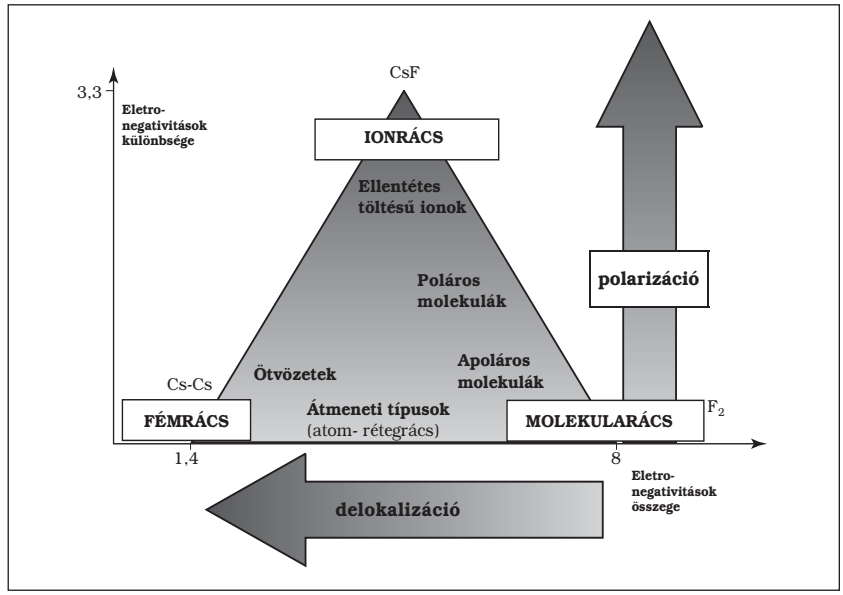
A fémek és az apoláros molekulák közti átmeneti tartományban **rétegrács** (pl. grafit) vagy **atomrácsos** (pl. gyémánt) szerkezet alakulhat ki. Ha vannak bennük delokalizált elektronok: vezetők (mint a grafit), ha nem, szigetelnek (gyémánt).



57. ábra.
a) Példák dipólusos szerkezetű molekulákra δ+ a molekula pozitív, δ– a negatív pólusát jelöli.
b) Példa poláros kötésű, de apoláros molekulára. A szimmetrikus szerkezet miatt a polarizáló hatások kioltják egymást.



56. ábra. ***Az ionrács (balra) és a fémrács (jobbra)***
Fönt a rácsok fölépítése, alatta elektromos vezetésük módja. Az ionos vegyületeknél az alsó kép az oldatban (elektrolitban) mozgó, az oldószer molekuláktól körülvett ionokat ábrázolja. A fémrácsban a szürke körök a fémionok, a fehér körök az elektronok.



58. ábra. ***Rácstípusok és elektronegativitás értékek összefüggése***
A tengelyeken két szomszédos elem elektronegativitásainak különbségét ill. összegét tüntettük föl.

Poláros molekulák. Ha az elektronegativitás-különbség kevés ahhoz, hogy ionok jöjjenek létre, de elég nagy ahhoz, hogy a vegyületen belül pólusok alakuljanak ki (a kötődő elemek elektronegativitásainak különbsége kb. 0,5 és 1,5 között van), **poláros kötésű molekulák** keletkeznek. Bennük részleges elektroneltolódás következik be a nagyobb elektronegativitású elem irányába, ami a molekulának kifelé részleges pozitív, illetve (a másik póluson) részleges negatív töltést adhat. (Az így létrejövő molekulákat dipólusoknak is nevezik, mert bennük két ellentétes pólus van). A részleges töltést a kémiában általában a töltésjel elé írt kis görög delta (δ) betűvel jelölik. Bonyolultabb szerkezetű nagymolekulákban több helyen – akár több száz ponton is – megjelenhetnek részleges pozitív és negatív töltések, ugyanakkor lehetnek bennük apoláros szakaszok is.

Egy molekula lehet apoláros úgy is, hogy benne több poláros kötés van, de ezek szimmetrikus elrendeződése miatt az ellentétes erők kioltják egymás hatását. Így például a szén-tetrafluoridban (CF4) *külön-külön* mind a négy kötés poláros, de tetraéderes elrendeződésük miatt a *teljes molekula* apoláros.

A poláros molekulákból álló vegyületek ugyan nem vezetik az áramot, de oldatban könnyen alakulnak ionokká, ekkor vezető elektrolit lesz az eredmény.

POLÁROS MOLEKULÁK

← XI.1.6

→ oxigéntartalmú vegyületek polaritása XII.4.2

→ detergensek, mosószerek, XII.5.1
→ fehérjék XII.8.3
→ a molekulák alakja: XXII. és XII.2.3; 8.3

4.6.2 A redox folyamatok általános elmélete

A kémiai elemek közül Lavoisier óta kiemelkedő fontosságot tulajdonítottak az oxigénnek. Figyelembe véve magas elektronegativitási értékét (3,5), vegyületeiben majdnem mindig teljes vagy részleges negatív töltést hordoz. Ha ionrács alakul ki, anion lesz belőle, ha molekulába kerül, ott a negatív póluson lesz. (Az egyedüli kivétel a fluorral alkotott vegyületeiben tapasztalható, ugyanis a fluor még az oxigénnél is nagyobb elektronegativitású. A F és az O azonban igen ritkán képez vegyületet egymással.) Az oxidációs reakciókat ezek szerint úgy értelmezhetjük, hogy azok során az oxigén – teljes egészében vagy részlegesen – elektront (vagy elektronokat) „rabol" reakciópartnereitől. Hasonló folyamat zajlik le minden olyan esetben, amikor különböző elektronegativitású elemek vegyülnek. A kisebb elektronegativitású elem elektronban szegényedik (szélső esetben: elektron(ok)at veszít), a nagyobb elektronegativitású pedig elektronban gazdagodik (szélső esetben: elektron(ok)at nyer). E gondolatmenet alapján általánosítható a redukció és oxidáció fogalma is.

← IX.1.4

← Berzelius tapasztalatai XI.4.2.3

→ szerves vegyületek oxidációs sora XII.4.2.2

Redukció = elektronokban való gazdagodás (elektronfelvétel).
Oxidáció = elektronokban való szegényedés (elektronleadás).

Például: $2Na + Cl_2 = 2\,NaCl$
oxidálódik redukálódik

Megjegyzendő, hogy e meghatározás értelmében az oxigén – miközben más elemeket oxidál – maga redukálódik, hiszen elektront nyer. Az oxigénnel való vegyülés az új definíció szerint is oxidáció marad. A fogalom tehát gazdagodott kiterjesztése következtében.

← mi a definíció? III.11.3.2

4.6.3 Polaritás és halmaztulajdonságok

Poláros molekulák vagy molekularészletek között **dipólus-dipólus – röviden dipol-dipol** – kölcsönhatás lép föl, mely annál erősebb, minél polárosabbak maguk a molekulák. A molekulák közti kölcsönhatások – másod-

← IX.2.3.5

lagos kötőerők – erőssége szabja meg a molekulahalmaz egészének tulajdonságait is. Halmaztulajdonság az olvadáspont, a forráspont, a viszkozitás (belső súrlódás), a párolgáshő, a fajhő. Általában minél nagyobb a molekulák közti kötőerő, annál magasabbak ezek az értékek. Fontos lehet két különböző molekulahalmaz egymásra hatása is. Ezzel összefüggő tulajdonság az **oldhatóság**.

← viszkozitás IX.4.2.1

← fajhő VI.9.3.2

← „hasonló a hasonlóban" IX.4.2.3

Vegyületek halmaztulajdonságai

molekula	molekula-tömeg (g)	olvadás-pont °C	forráspont °C	forráshő kJ/kg	fajhő kJ/kg (0 °C-on)
metán	16	–182,6	–161,6	503,7	
víz	18	0,0	100,0	2256,4	4,183
ammónia	17	–77,7	–33,4	1368,3	
dietil-éter	74	–116,3	34,6	376,8	2,30
benzin	100 – 120	–50…..–130	40….220	395,6	2,09

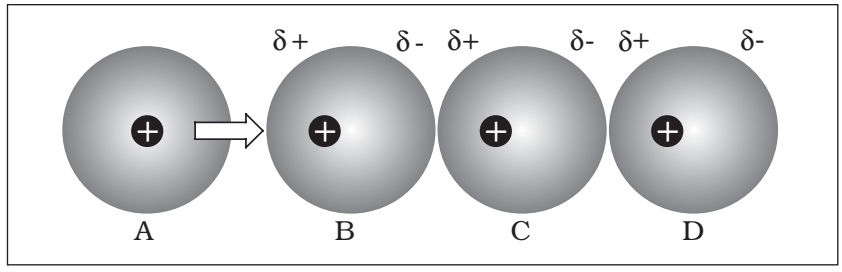
→ példák a molekula alakjának fontosságára XII.6., 7., 8.

A halmaztulajdonságokat erősen befolyásolja a molekula tömege, sőt alakja is. Ahhoz, hogy helyesen következtessünk a másodlagos kötőerők nagyságára, ezt is figyelembe kell venni.

Ha a másodlagos kötőerők valóban parányi Coulomb-erők, akkor teljesen apoláros molekulák között nem léphetnének fel. Ha ez így lenne, apoláros anyagokat nem lehetne cseppfolyósítani, sem megfagyasztani. Mivel ez nincs így, szükségszerű, hogy köztük is hasson valamilyen – jóllehet igen kicsiny – vonzóerő. Ezen úgynevezett **diszperziós erők** (más néven van der Waals-féle erők) magyarázata az, hogy az eredetileg apoláros molekulák ütközés során polarizálhatják egymást: ekkor az eredetileg egyenletes töltéseloszlás megváltozik bennük. Ez ugyan csak ideiglenes hatás, de ahhoz elegendő, hogy molekuláról molekulára tovaterjedjen, s a nagyon gyenge diszperziós erőt létrehozza.

DISZPERZIÓS ERŐK

→ mitől függ ezek nagysága? (szénhidrogének) XII.3.3



59. ábra. ***A diszperziós erőt létrehozó hatás magyarázata***
Két, eredetileg semleges molekula ütközése parányi töltésszétválást eredményez az A-ban. Az így létrejövő „indukált dipólus" negatív pólusa kissé polarizálja a szomszédos B molekulát is, oly módon, hogy abban az elektronokat valamelyest maga felé húzza. A hatás ugyanígy terjed tovább C-re, D-re és az összes jelenlévő molekulára is.

A tapasztalatok szerint a poláros molekulák közül kiemelkedően vonzódnak egymáshoz azok, amelyekben poláros kötéssel kapcsolódó hidrogénatom is van. Ilyen pl. a hidrogén-klorid, a víz vagy az alkoholok. A magyarázat kulcsa Brönsted sav-bázis elmélete. E vegyületekben a H nemcsak arra képes, hogy hidrogénionként tartósan leváljon (s ezáltal a molekula savként viselkedjen), hanem arra is, hogy épp csak „kacérkodjon" e sav-bázis reakcióval. Úgy képzelhető, hogy a H^+ egyetlen másodperc alatt sok ezerszer oda-vissza ugrik a két molekula között, s így mintegy „hidat" képez köztük. Innen a „**hidrogén-híd"** elnevezés. Annál nagyobb a kötés polaritása – s ezáltal a hidrogén-híd kötés erőssége – minél nagyobb a hidrogénhez közvetlenül kötődő atom elektronegativitása.

→ alkoholok: XII.4.3.1

← XI.4.4

HIDROGÉN-KÖTÉS (HÍD)

→ molekulahalmazok belső rendje XII.5

A másodlagos kötőerők ismeretében pontosabb értelmet nyert az oldódás „hasonló a hasonlóban" elve is. Minél hasonlóbb két molekula polaritása, annál könnyebben helyettesíthetik egymást, azaz elegyedhetnek. Energetikai szempontból az lenne a halmaz legkedvezőbb állapota, ha az összes másodlagos kötés kialakulhatna. Ha egy poláros anyag – például

víz – molekulái közé apoláros – például benzin – keveredik, akkor ez utóbbiak nem képesek dipol-dipol kölcsönhatásra (s hidrogén-hidak kialakításra sem), sőt ráadásul azt is megakadályozzák, hogy az általuk szétválasztott vízmolekulák között fölléphessen ez az erő. Így aztán a vízmolekulák a benzinmolekulákat kilökik maguk közül (a lehető legkisebb felületen érintkeznek). Ha ellenben egy másik poláros anyag – pl. ammónia – kerül a vízbe, az energetikailag semmilyen hátrányt nem jelent (sőt, kedvező is lehet) – így aztán ezek az anyagok kitűnően elegyednek egymással.

A vízben jól oldódó, poláros molekulák egy része csupán fizikailag elegyedik, de szerkezete, elektronjainak eloszlása eközben nem változik meg. Ilyen például a cukor. A poláros molekulák másik része a fizikai oldódás mellett – és azzal egyidejűleg – kémiai reakcióba is lép a vízzel, az tehát számára nem csupán **közeg,** hanem **reakciópartner is**. E reakciók mindig Brönsted-féle sav-bázis folyamatok, s eredményük mindig vezetőképes oldat, elektrolit lesz. Így viselkedik pl. a HCl, az NH_3, a CH_3COOH (ecetsav).

A dipol-dipol kölcsönhatáshoz hasonló erősségű az ionok és a poláros molekulák közt föllépő **ion-dipol** kölcsönhatás is. Ez azonban nem mindig elegendő az ionrácsot összetartó erő legyőzéséhez, ezért az ionrácsos vegyületeknek csak egy része oldódik vízben vagy más poláros oldószerben.

Kísérlet

Végezzük el az alábbi kísérletsorozatot, annak eldöntésére, hogy melyik anyag melyik másikkal elegyedik jól, alig vagy egyáltalán nem! Keressünk magyarázatot tapasztalatainkra! (Vigyázat: a szén-tetraklorid méreg, az etilalkohol és a benzin gyúlékony folyadékok!)

a) víz
b) elemi jód (I_2)
c) széntetraklorid (CCl_4)
d) benzin (szénhidrogén-elegy, pl. C_8H_{18})
e) etilalkohol ($CH_3–CH_2–OH$)

Summa (4.6)

Berzelius elektrokémiai sora helyébe a mai, pontos mérések alapján az elektronvonzó képesség mértéke (elektronegativitás) lépett (Pauling). A nagyobb elektronegativitású elem a vegyületben teljesen magához ragadhat egy vagy több elektront, ha a különbség elég nagy (1,5 fölötti). Ekkor ionrácsos vegyület jön létre.

Ha a különbség 0, vagy nagyon kicsi (0,5 alatti), akkor fémrács, molekularács vagy átmenetei rácstípus jön létre. Az ilyen molekulák pólus-nélküliek (apolárosak). Az olyan molekulák, melyekben ennél nagyobb az alkotórészek elektronegativitás-különbsége, többnyire polárosak (elektromos dipólusok).

A redox folyamatok Lavoisier-féle elmélete ennek ismeretében úgy általánosítható, hogy minden (teljes vagy részleges) elektronleadást oxidációnak, s bármiféle elektronban való gazdagodást redukciónak tekintünk.

A molekulatömegen kívül a molekula belső szerkezetétől is függ, hogy milyen nagyságú molekulák közötti (intermolekuláris) erők ébrednek köztük. Ezen másodlagos kötőerőktől függ az anyagok sok halmaztulajdonsága: olvadás- és forráspontja, keménysége, viszkozitása, vízben való oldhatósága. A másodlagos kötőerők is Coulomb-féle vonzáson alapulnak, ezért nagyságuk a töltésszétválás mértékétől függ: az ion-dipol, dipol-dipol, diszperziós irányban csökken.

Az igen gyenge diszperziós vonzást a molekulák ütközéséből származó deformáció hozza létre (indukált dipólus). Különlegesen erős másodlagos kötőerő a hidrogén-híd. Létrejöttének feltétele, hogy a poláros molekulában legyen poláros kötéssel kapcsolt hidrogénatom, mely sav-bázis reakciókban is részt vehet. A hasonló polaritású anyagok jól, a különbözők nem vagy alig oldódnak egymásban.

4.7 Kémiai és elektromos energia

4.7.1 A galvánelem működése. Standard potenciálok

A XVIII-XIX. században galvánelemek segítségével elemezték a vegyületeket. Azt azonban, hogy maga a galvánelem hogyan működik, csak utólag, a XX. században, az elektrokémia elméletével lehetett megmagyarázni.

Egy cinkből és rézből álló Daniell-elemben egymástól elválasztott réz-, ill. cinklap merül saját ionjainak oldatába (réz-szulfát – $CuSO_4$–, illetve cink-szulfát –$ZnSO_4$ – oldatba). Ha a fémeket és oldatokat nem választanánk el egymástól, egyszerű kémiai reakció menne végbe, melynek során a rézionok fémrézzé redukálódnak, mert elektront vesznek föl a fémcinktől.

← a redox folyamatok általános elmélete XI.4.6.2



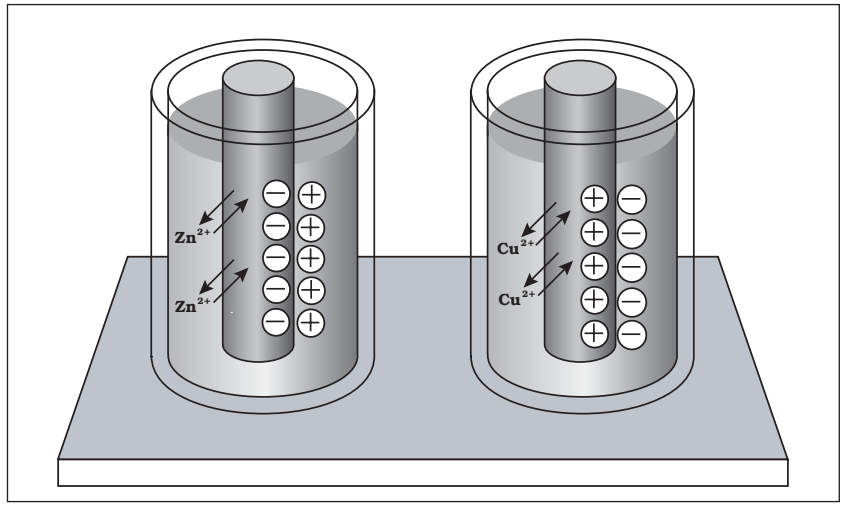
TÉRBEN ELVÁLASZTOTT REAKCIÓLÉPÉSEK

A galvánelemben is ugyanez a reakció zajlik le, de a két folyamatot (az elektronleadást és az elektronfelvételt) térben elválasztjuk, az elektronáramlást pedig kényszerpályára tereljük: az elektródokat összekötő vezetéken tesszük lehetővé. Ezzel galvánelemet, a*z olyan áramforrást kaptunk, melyben a kémiai energia egy része elektromos energiává alakul*.

A galvánelem kikapcsolt (nem működő) állapotában a pozitív sarok a réz, a negatív a cinklemez lesz. Ha mindkét oldat koncentrációja 1 mol/dm^3, köztük 1,1 V-os feszültség mérhető. (A mérés közben a feszültségmérő nagy ellenállása miatt gyakorlatilag nem folyik áram a vezetékben.)

← XI.3.3.3

Ez a tapasztalat úgy magyarázható, hogy a az oldatból Cu^{2+} ionok válnak ki a rézlemez felszínére, a cinklemezből pedig Zn^{2+} ionok kerülnek az oldatba. Minden Cu^{2+} ion, amelyik kiválik a rézlemez felületére, 2 elektront vesz fel ahhoz, hogy semlegessé váljon. Itt tehát redukció zajlik, melynek eredménye elektronhiány lesz – ez okozza a rézlemez pozitív töltését. A másik elektródon eközben ellentétes folyamat indul meg: miközben a cinkionok oldatba lépnek, egyenként 2 elektront hagynak ott a cinklemezen. A cinkionok keletkezése tehát elektronleadással történik, vagyis itt oxidáció zajlik. A lemezen elektronfölösleg alakul ki, ami negatív töltést



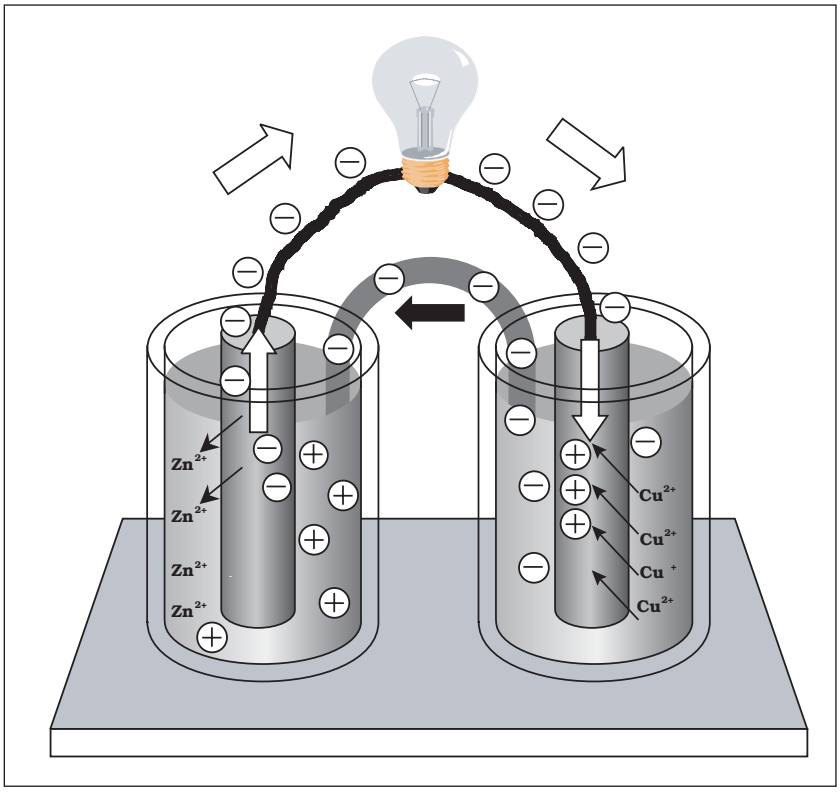
60. ábra. ***Galvánelem különválasztott cellái egyensúlyi állapotban***
Az egyre negatívabbá váló Zn lemez egyre erősebb vonzást gyakorol az oldódni készülő Zn^{2+} ionokra, visszatartja azokat. Ugyancsak gátolják a kilépést a negatív lemez körül gyülekező pozitív ionok (elektromos kettősréteg). Ennek eredménye, hogy az oldódással egyidejűleg megindul az ellentétes folyamat, a kiválás is. Mikor a két folyamat sebessége egyenlővé válik, beáll a dinamikus egyensúly.
A rézlemezen az egyre pozitívabbá váló fém akadályozza a további ionok kiválását, illetve serkenti az ezzel ellentétes folyamatnak: a Cu ionok oldatba kerülésének reakcióját. Itt is kialakul az elektromos kettősréteg és beáll a dinamikus egyensúly.

jelent. Ezek a folyamatok a nem működő galvánelemben csakhamar leállnak, mert az ellentétes töltések vonzó hatása miatt mindkét elektróda felszínén dinamikus egyensúly alakul ki. Ha azonban zárjuk az áramkört, mindkét egyensúly fölbomlik, és a galvánelem működni kezd. Az áramkör tartós fennmaradásához az is szükséges, hogy a folyadékterek közt is lehetővé tegyük az ionáramlást, anélkül hogy az oldatok keverednének. Erre a célra szolgálhat egy féligáteresztő hártya, kocsonyás anyaggal töltött üvegcső, vagy akár egy nedves szűrőpapírcsík is. A mai galvánelemekben a könnyebb kezelhetőség miatt a folyadékokat általában valamilyen kocsonyás anyagba itatják föl.

← dinamikus egyensúly IX.3.3.4

← áramkör XI.4.1

← féligáteresztő hártya IX.4.2.4



61. ábra. ***Galvánelem működésének elve***
A rajzon a fehér nyil az elektronáramlás, a sötét nyíl az ionáramlás irányát jelöli.

Az egyensúlyok rögtön megbomlanak, ha zárjuk az áramkört. Ekkor az elektronok az összekötő vezetéken át a Zn lemezről a Cu lemez irányába kezdenek vándorolni, így mind a Zn mind a Cu elektróda felszínén megindul az elektrokémiai reakció.

A galvánelem tartós működéséhez azonban az is szükséges, hogy az *oldatok* közt kialakuló töltéskülönbség kiegyenlítődése is megtörténhessen. Ez megoldható úgy, hogy az anionoknak (a példában a szulfát-ionoknak) megengedjük az átjutást a negatív $ZnSO_4$ oldatból a pozitívvá váló $CuSO_4$ oldatba. Erre szolgálhat például a két oldatot elválasztó, de az ionok vándorlását nem akadályozó porózus anyag (például mázatlan kerámia). Valójában így zárul az áram*kör*. Egyik részében – fémhuzalokban – *elektronok* áramlanak a pozitív pólus irányába. Másik részében, az elektrolitokban, *ionok* vándorolnak az ellentétes töltésű elektróda felé.

E folyamatok – elvben – addig tartanak, amíg az egyik elektróda (jelen esetben a Zn) anyaga „el nem fogy", azaz teljesen el nem oxidálódik vagy a rézionok el nem fogynak az oldatból. Lehetséges azonban az is, hogy már e pont előtt olyan töménységűvé válik a cink-szulfát oldat, ami megakadályozza a további kiválást. Ekkor az elem „kimerül", további elektromos energiát már nem lehet belőle nyerni.

körkörös anyagáramlás nyílt rendszerekben:
← A Föld víz- és légkörzése VIII.2., 3., 4.

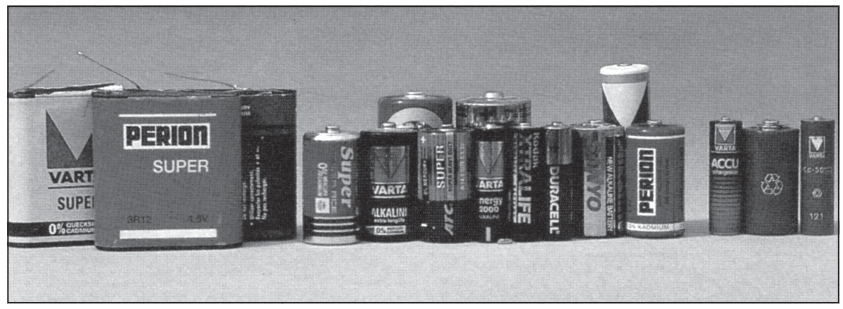
→ a mitokondrium működése XIII.3.3

→ stacioner áramlás az élő szervezetekben XVIII.1.3

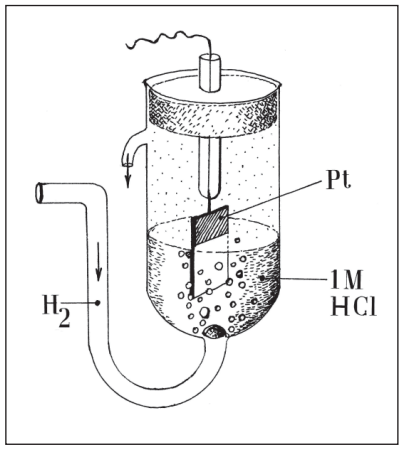
→ nyílt rendszerek termodinamikája XX.

→ lemeztektonikai mozgások XXV.

→ a folyamat megfordítása az akkumulátorokban XI.4.7.3



62. ábra. ***Használt galvánelemek***
Ártalmatlannak látszó külsejük ellenére a galvánelemek veszélyes hulladékok, mert mérgező nehézfémsókat – rezet, cinket, kadmiumot – tartalmaznak. Ezért ezeket mindig a többi hulladéktól elkülönítve – szelektíven – kell gyűjteni és raktározni. A veszélyes hulladékok gyűjtése önkormányzati feladat, de sok helyen intézményekben (például iskolákban) is találhatunk szelektív elemgyűjtő konténereket.



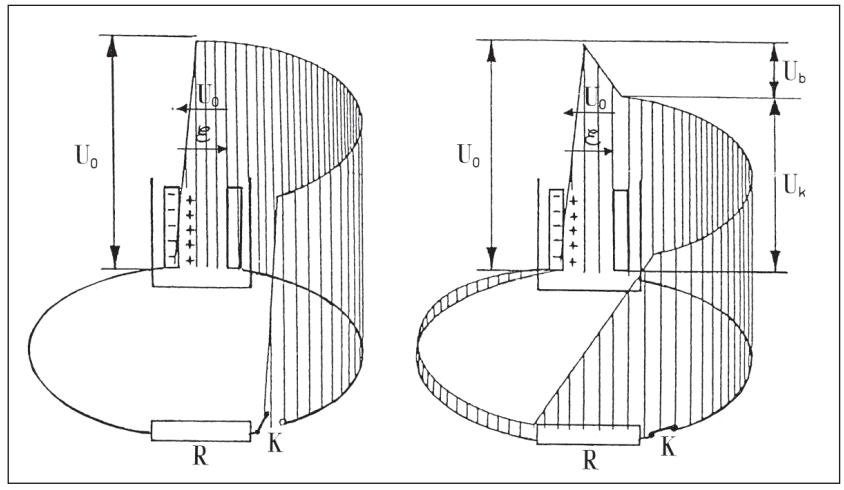
63. ábra. ***Standard hidrogénelektród felépítése***
Meglepőnek tűnhet, hogy olyan elektródok is készíthetők, melyekben gáz halmazállapotú az elem. Éppen ilyen a viszonyítási pont, a standard H-elektród is. Az összeállítás lényege az ilyen esetekben az, hogy a gáz ugyanezen elem ionjaival érintkezik egy olyan felületen, mely maga nem vesz részt a reakcióban, de jól vezeti az áramot. A bevezetett hidrogéngáz ebben az elektródában 0,1 MPa nyomású és 25 °C-os, a platina elektróda felszínén ez érintkezik az egységnyi aktivitású (kb. 1 mol/dm^3-es koncentrációjú) HCl oldattal.

A tapasztalatok szerint egy galvánelem két pólusa közt mérhető feszültség függ az oldat koncentrációján kívül az elektródák anyagától is, mégpedig úgy, hogy minél távolabb állanak egymástól a Berzelius-féle elektrokémiai sorban, annál nagyobb feszültséget szolgáltat az elem. Számszerűen ma az ún. *standard elektródpotenciálokat* használják az egyes elemek, ill. folyamatok jellemzésére.

Bármelyik elem standard potenciálját úgy állapítják meg, hogy összeállítanak egy galvánelemet, amelynek egyik elektródja az úgynevezett standard hidrogén elektród, a másik pedig a vizsgált elemből és annak ionjából áll. A standard H_2/H^+ elektród potenciálja megegyezés szerint 0.

A mérés eredménye függ attól is, hogy milyen erősségű áram folyik át a körön. A legnagyobb feszültséget akkor mérhetjük, ha az ellenállás olyan nagy, hogy az áram erőssége gyakorlatilag 0. Az így mért feszültséget szokás a reakció (elem) elektromotoros erejének is nevezni.

A standard potenciál a vizsgált standard elektródból és a standard hidrogénelektródból összeállított elem elektromotoros ereje. Így bármilyen két másik anyagból készült elektród közötti feszültség azok standard potenciáljainak különbsége lesz.



64. ábra. ***Potenciáleloszlás a) nyitott „áramkörben”; b) zárt áramkörben***
U_k: kapocsfeszültség, U_o: üresjárási feszültség, U_b: belső feszültség, E: elektromos erő

KAPOCSFESZÜLTSÉG

Zárt áramkörben – tehát ha áram folyik – az elektródák között mérhető feszültség (a kapocsfeszültség) kisebb lesz, mint a teljes (üresjárási) feszültség. Ennek oka az, hogy a galvánelem elektrolitja is ellenállást jelent az árammal szemben, így az elektródák között potenciálesés („belső” fe-

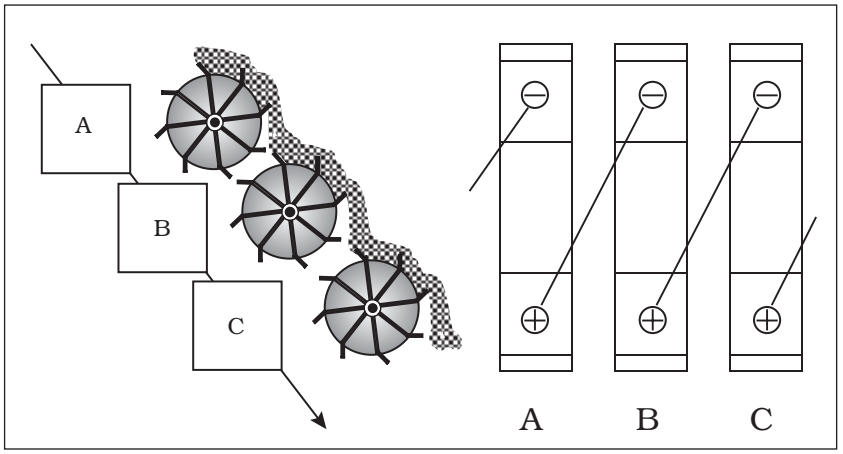
szültség) lép fel. Az áramkör többi részére a „maradék” feszültség jut, mérni ezt lehet. A „teljes” feszültség, amit a fizikában üresjárási feszültségnek (U_0) neveznek, a kapocsfeszültség és a belső feszültség összege:

$$U_0 = U_b + U_k$$

Az elektromotoros erő hatására kialakuló elektromos mező feszültsége a két elektród között az U_0, ennek hatására folyik áram az áramkör zárása esetén. Az elektromotoros erő a *töltésszétválasztó* hatás erősségét, az üresjárási feszültség pedig a *töltéskiegyenlítő* hatás erősségét jelenti. Nagyságuk természetesen azonos, de előjelük ellentétes.

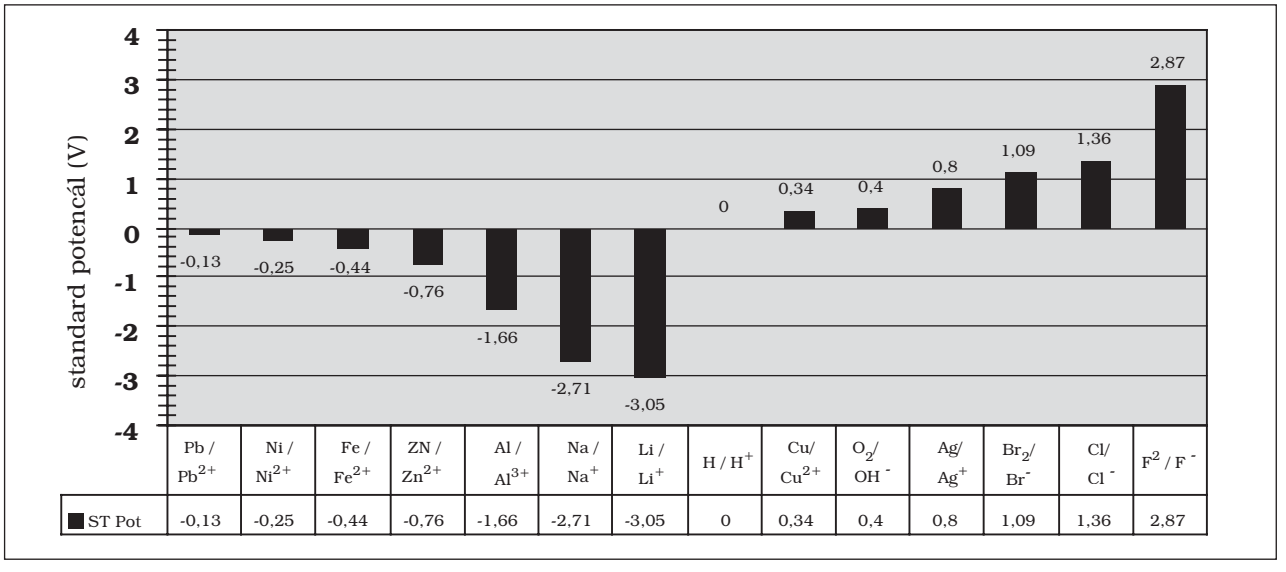
Több galvánelem sorbakapcsolásával **telepet** kapunk.

TELEP



→ hasonlóság a kapcsolt biokémiai folyamatokkal: XIII.3.1.2

65. ábra. ***Elektromos telep kapcsolási vázlata***
Az egyes galvánelemek feszültségei sorbakapcsolással összeadódnak, mintha több vízikereket kapcsolnánk össze



66. ábra. ***Néhány elem elektromotoros erejének kiszámítása a standard potenciálok alapján***
Az oszlopok magassága a potenciálkülönbségekkel arányos. A 0-szint a H-é. Az egyes elemek standard potenciáljának megadásához azt is figyelembe kell venni, hogy milyen ion keletkezik a reakcióban. Egyes elemek ugyanis többféle iont is képezhetnek, s ezek reakciópotenciálja eltérő, ezért a táblázatban mindig az adott elem két állapotát (redukált és oxidált formáját) tüntetik föl, s a kettőt törtvonallal választják el egymástól. Tetszőleges összeállítású standard galvánelem feszültségét e számok különbsége adja meg. Mivel a nagyobb standard potenciál értékből kell kivonni a kisebbet, ezért a különbség mindig pozitív lesz. Például a $Zn/Zn^{2+}//Ag/Ag^{+}$ összeállítású standard galvánelem elektromotoros ereje: +0,8 – (–0,76) = 1,56 V.

MELYIK REAKCIÓ MEGY VÉGBE?

A standard potenciál értékek ismerete nem csak a galvánelemek működésének magyarázatához nyújtott segítséget. Lehetővé vált az is, hogy különböző fémek és fém-ionok közti reakciók kimenetelét megjósolhassuk.

Kísérlet
a) Helyezzünk jól lecsiszolt vasszöget $CuSO_4$ oldatba!
b) Helyezzünk Cu huzalt $FeSO_4$ oldatba! Nem történik változás.

A vasszög felületére fémréz válik ki, s kimutatható, hogy eközben a vas ionos formában oldatba került. Redox reakció zajlott le, melynek során a vas elektront adott át a rézionnak, azaz redukálta azt elemi rézzé:
$Fe + Cu^{2+} \longrightarrow Fe^{2+} + Cu$

← kémiai egyensúlyok IX.3.3.4

Fordított irányba (gyakorlatilag) nem megy végbe a folyamat. Általánosan: **csak a kisebb standard potenciálú elem képes a nála nagyobb potenciálú elem kationját elemi állapotúvá redukálni.** (Eközben ő maga oxidálódik).

← redox folyamatok elmélete XI.4.6.2

Példa
Egy 150 g-os réztárgy ezüst-nitrát ($AgNO_3$) oldatba merül. Hogyan változik meg a tömege, miközben 0,1 mol ezüst válik ki a felszínére? (A folyamatban Cu^{2+} ionok vesznek részt!)

A Cu/Cu^{2+} st. potenciálja: 0,34 V, míg az Ag^+/Ag: 0,80 V. A réz a kisebb st. potenciálú, így képes redukálni az Ag^+-ionokat elemi ezüstté. Egy Cu 2 elektront képes leadni, 1 Ag^+ viszont csak 1 e-t képes felvenni.
A folyamat egyenlete: $Cu + 2\ Ag^+ \longrightarrow Cu^{2+} + 2\ Ag$
0,1 mol · 107,8 g/mol Ag = 10,78 g . Ennyivel gyarapodott a tárgy tömege.
Eközben oldatba ment 0,05 mol · 63,5g/mol Cu = 3,175 g Cu. Ennyivel csökkent a tárgy tömege.
Az összes változás: 10,78 g – 3,175 g = 7,6 g.

4.7.2 A korrózió

KORRÓZIÓ

← hasonlóság a flogiszton-elmélettel: IX.1.2.2

A fémek egy része hosszabb-rövidebb idő után oxidálódik, miközben elveszti előnyös fizikai tulajdonságait, és törékeny, használhatatlan anyaggá alakul át. E folyamatok összefoglaló neve: **korrózió**. Az oxigén felfedezése után a kémikusok megállapították, hogy a fémek korróziójának központi lépése redox folyamat: az elemi fém elektront ad le. A felvevő – legegyszerűbb esetben – éppen a levegő oxigénje, például:

$$4Fe + 3\ O_2 = 2\ Fe_2O_3$$

KÜLÖNBSÉGEK AZ ELEMEK KÖZÖTT

Elektrokémiai szempontból logikus az a feltevés, hogy az oxidáció annál hevesebb lesz, minél kisebb az illető fém elektronegativitása, illetve minél pozitívabb az elektrokémiai potenciálja. A tapasztalat azonban sok esetben ellentmondani látszik ennek. Így pl. a vas elektronegativitása 1,8 (St. potenciálja = – 0,44 V) , míg az alumíniumé 1,5 (st. pot = –1,66 V). A gyakorlatban viszont a vas gyorsan és erőteljesen korrodál (rozsdásodik), az alumínium viszont tartósan megőrzi kedvező tulajdonságait. Alaposabban megvizsgálva kiderült, hogy a különbséget a képződő oxidréteg szerkezete okozza. Míg a vas esetében a rozsdát alkotó vas-oxid, illetve oxihidroxid laza, lukacsos, addig az alumínium-oxid tömör szerkezetű, így

már vékony rétege is hatékonyan zárja el a fém belsejétől az oxigént. Ha ezt a védő oxidréteget valami módon eltávolítjuk, a korrózió gyorsan megindul. Hasonló tulajdonságú az ón és az ólom.

A NEDVESSÉG HATÁSA

Régi tapasztalat, hogy a nedvességnek kitett fémfelületet sokkal gyorsabban pusztítja a korrózió, mint a szárazat. Az ilyen fémfelületek – pl. hajótestek, talajcsövek – valójában soha nem tiszta vízzel, hanem elektrolit-oldattal érintkeznek. Elektronjaikat sem közvetlenül az oxigénnek, hanem valamely ionnak adják le. Leggyakoribb, hogy az (általában savas) oldatban levő oxónium-ionok a felvevők:

← Brönsted-savak XI.4.4.2

$$2\ Fe\ +\ 6\ H_3O^+ =\ 2\ Fe^{3+} + 3\ H_2 + 6\ H_2O$$

HELYI GALVÁNELEMEK

Ugyancsak gyorsíthatja a korróziót, ha különböző potenciálú fémek érintkeznek ugyanazzal az elektrolit-oldattal. Ezt a jelenséget a **helyi galvánelemek** működése magyarázza. A helyi elemben a kisebb (negatívabb standard potenciálú) fém oldódik, a másik fémen pedig az elektrolit valamelyik ionja (pl. az H_3O^+) vagy az O_2 felveszi a leadott elektronokat. A folyamat addig tart, ameddig a kisebb potenciálú fém teljesen fel nem oldódik. Az ilyen ún. **elektrokémiai korrózióban** a nagyobb potenciálú fém látszólag nem vesz részt, valójában azonban mintegy „kaput nyit" az elektronáramlás előtt, s így meggyorsítja azt.

KORRÓZIÓVÉDELEM

A korrózióvédelem célja a fémek megóvása a korróziótól. A **passzív korrózióvédelem** egyik módja az, hogy a fém felületét elzárják a levegő oxigénjétől. A védőréteg lehet valamilyen tömör festék (pl. az ólom-oxid, a jellegzetesen vörös színű mínium) vagy egy nem oxidálódó másik fém (például ónréteg a vas felszínén: bádog). Egy másik módszer szerint több fém anyagát összeolvasztják, ötvözik, pl. Cr+Ni+Fe(+C) = króm-nikkel acél. A megfelelően összeállított **ötvözetek** igen hosszú ideig ellenállnak a korróziónak.

Az **aktív korrózióvédelem** elektrokémiai folyamatokat használ föl a fémtárgy védelmére. A talajvízzel érintkező vascsőre erősített cinkdarab például megóvja a vascsövet a korróziótól, mindaddig, amíg a cink el nem fogyott. A módszer alkalmazásakor figyelembe kell venni, hogy a talajvízbe kerülő fémionok környezet- és egészségkárosító hatásúak lehetnek.

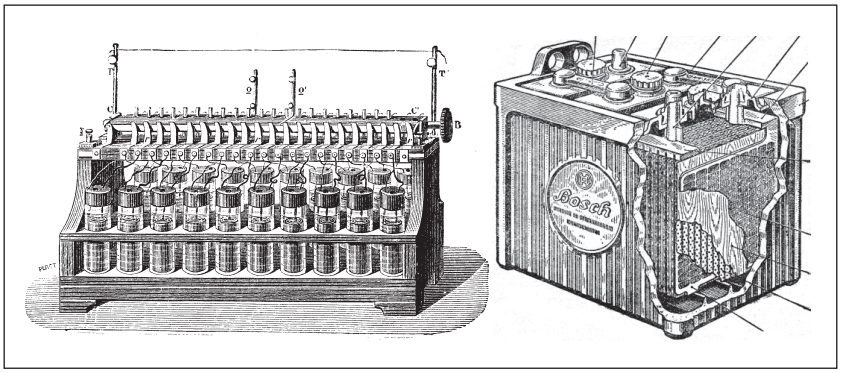
→ fémionok hatása a kolloidokra XII.9.3

4.7.3 Az akkumulátor és a tüzelőanyag elem

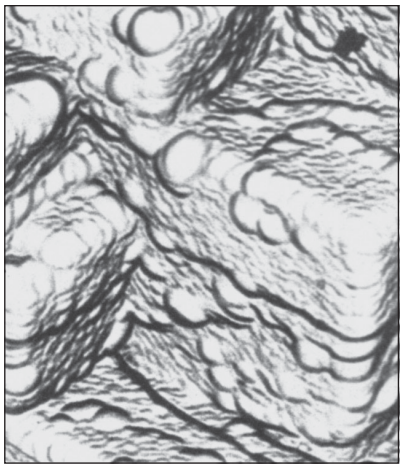
A galvánelemben lezajló folyamatok és az elektrolízis megismerése közben kirajzolódott kölcsönös kapcsolatuk. Elektrolízis során galvánelem is keletkezik, a galvánelem által termelt energiával viszont (akár) elektrolizálni is lehet. Első esetben *elektromos energia* alakul át *kémiaivá*, az

← XI.4.1–3.
← XI.4.7.1

ELEKTROMOS ÉS KÉMIAI ENERGIA KAPCSOLATA



67. ábra.
Az akkumulátorok őse, a Gaston Planté francia fizikus által 1859-ben összeállított „másodrendű telep" (balra). A kénsavoldattal telt üvegekbe ólom- és rézelektródok merülnek, akárcsak az autókban használt mai akkumulátorokban (jobbra).



68. ábra. ***Alumínium-oxid hártya elektronmikroszkópos képe, 40 000-szeres nagyításban***
A vastárgy felszínén képződő rozsda laza, nem gátolja a további rozsdásodást. Az alumíniumoxid tömör, védi a fém belsejét.

utóbbiban fordítva. Az, hogy e két folyamat kölcsönös és megfordítható, arra a gondolatra vezetett, hogy olyan elemet is össze lehet állítani, amely kimerülése után elektromos energiával újra feltölthető, regenerálható. Ez a szekunder elem, vagy közismert nevén: **akkumulátor** (a latin *accumulare* = feltölteni, összegyűjteni szóból.) A legismertebb, leggyakrabban használt akkumulátor az autók indítómotorának 12 V-os ólomakkumulátora.

A kimerült akkumulátort fel kell tölteni. Erről üzem közben az autó motorja által működtetett generátor gondoskodik. *Feltöltés közben* az áram irányának megváltoztatásával a kisüléssel ellentétes irányú folyamat játszódik le. A legnagyobb töltésmennyiséget kis áramerősséggel, hosszú idő alatt szolgáltatja az akkumulátor. Többszöri, rövidebb ideig tartó használat esetén a hatásfok kisebb.

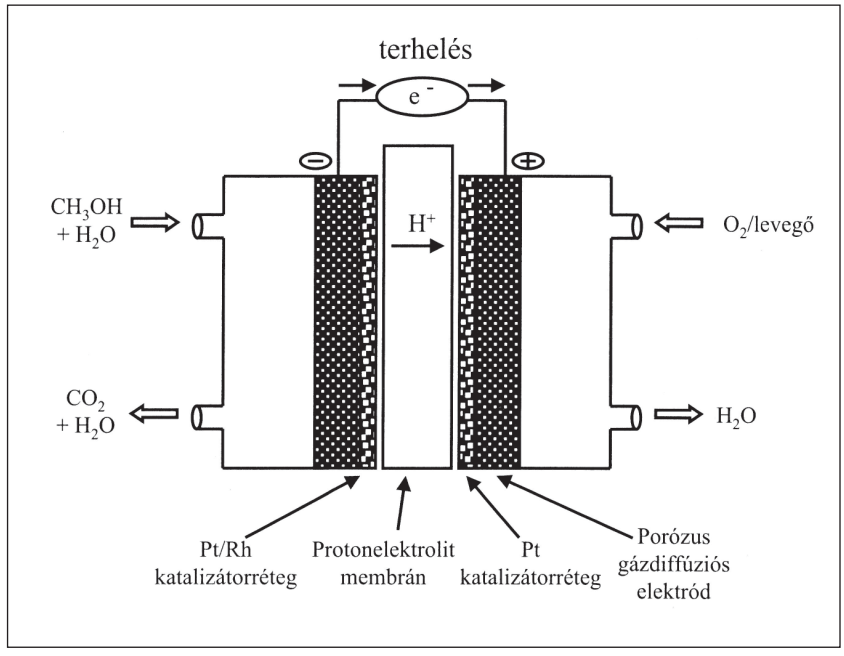
Hosszabb-rövidebb idő után nemcsak az egyszer használható galvánelemek, hanem az akkumulátorok is kimerülnek, használhatatlanná válnak. Kénsav- és nehézfém-tartalmuk miatt az elhasznált galvánelemek és akkumulátorok *súlyos környezetszennyező forrást* jelentenek, s ezért *veszélyes hulladéknak* tekintendők! Az útszélen, erdőben „elhagyott" és a háztartási szemét közé dobott elem tartalma előbb-utóbb egyaránt a talajvízbe, onnan pedig a növényekbe s az ivóvízbe kerül. A biztonságos kezelést csak a **szelektív (szétválogató) gyűjtés és kezelés** oldhatja meg. (Magyarországon már több helyen megkezdődött a galvánelemek szelektív gyűjtése). A szelektíven gyűjtött elemek egy része – megfelelő körülmények között – újra feldolgozható, más részük pedig veszélyeshulladék-lerakókban a talajvíztől elszigetelten tárolható. Az elemek, illetve akkumulátorok használata óvatosságot igényel. Felületükre nehézfém-ionok tapadhatnak még látszólag sértetlen állapotukban is. Ezért használatuk után ajánlatos az alapos kézmosás.

Elektromos energiát nemcsak fémionok és fémek reakciójából nyerhetünk, hanem hidrogén vagy szerves anyagok oxidációja során is. Az így működő **tüzelőanyag elemek** (üzemanyagcellák) ősét már a XIX. században előállították (1839-ben W. Grove hidrogén/oxigén akkumulátora volt ilyen), ám igazán jelentőssé talán csak a XXI. században válnak majd.

SZELEKTÍV GYŰJTÉS

→ a hulladékkezelés módszerei XXVI.

TÜZELŐANYAG ELEM



69. ábra. ***Üzemanyagcella működésének vázlata***
Ezt a berendezést Oláh György magyar kémikus laboratóriumában fejlesztették ki (JPL, Caltech, USA). A tüzelőanyagként alkalmazott folyékony metanol csak úgy oxidálódhat, ha protonjai egy féligáteresztő hártyán át, elektronjai pedig vezetéken áramlanak, így elektromos energiát termelnek. A cella nagyon hosszú életű és jó hatásfokú (40%). A keletkező víz és szén-dioxid nem környezetszennyező.

Summa (4.7)

A galvánelemek működésének alapja, hogy két különböző elektrokémiai erősségű (standard potenciálú) anyag érintkezésbe lép egy saját ionjait tartalmazó elektrolittal. Ha a közvetlen kémiai érintkezés (redox reakció) nem lehetséges, úgy az elektronok kényszerpályán: a fémes vezetőn át jutnak el a redukció színhelyére. A galvánelemekben tehát két különböző formájú töltésáramlás zárul körré: a vezetékekben (elsőfajú vezetők) elektronok, az oldatban pedig (másodfajú vezető) ionok mozognak.

A pozitív töltésű elektródán elektronfelvétel (redukció), a negatívon pedig elektronleadás (oxidáció) zajlik le.

A fémek oxidatív pusztulása a korrózió. A korrózió sebességét a fém és a keletkező fém-oxid minőségén kívül az is befolyásolja, hogy érintkezésbe lép-e elektrolittal illetve más fémekkel. Két vagy több fém érintkezésekor a negatívabb standard potenciálú oxidálódik előbb (helyi galvánelem). A korrózióvédelem részben igyekszik elzárni a fémfelületet (felületvédelem), részben kihasználja a helyi elemek hatását (aktív védelem).

A galvánelem működésekor (kisülés) kémiai energia alakul át elektromos energiává, elektrolízis során fordítva. Megfelelő összeállítású berendezésben e két folyamat megfordítható, az elem feltölthető (akkumulátorok).

Irodalom:

- Arrhenius, Svante: A világegyetem élete
- Faraday, Michael : Miről beszél a gyertya lángja?
- Oláh György: Életem és a mágikus kémia – egy Nobel-díjas önéletrajzi gondolatai Better, NEMZETI TANKÖNYVKIADÓ 2002

- Balázs Lóránd: A kémia története I–II, TANKÖNYVKIADÓ
- Borec, Tomas: Jó napot, Ampére úr! MÓRA, 1980
- Erdey-Grúz Tibor (szerk): A kémia újabb vívmányai 1–2. MAGYAR KIRÁLYI TERMÉSZETTUDOMÁNYI TÁRSULAT, 1940
- Erdey-Grúz Tibor: Az energia kémiai forrásai GONDOLAT, 1967
- Gulillemin: Mágnesség és elektromosság
- Inzelt György: Kalandozások a kémia múltjában és jelenében, VINCE, 2003
- Kendall, Jack: Davy élete, GONDOLAT, 1967 Magyar Királyi Természettudományi Társulat
- Meadows, Jack (szerk): A tudomány csodálatos világa, HELIKON, 1990
- Paturi, Felix (szerk): A technika krónikája, OFFICINA NOVA, 1991
- Simonyi Károly: A fizika kultúrtörténete, GONDOLAT, 1981 (2. kiadás)

Kérdések, problémák (4.4–7)

1. Vessük össze Berzelius, Arrhenius és Brönsted elméletét a savasságról és bázikusságról! Mi az, ami mindháromban közös? Melyiknek mi az erénye? Miért használható ma is jól a mindennapokban Arrhenius elmélete?

2. Mi a kapcsolat a Brönsted-féle savak reakciói és a hidrogén kötés (hidrogén-híd) között?

3. Hasonlítsuk össze a 4.6.2 fejezet táblázatának adatait! Mi az oka a metán, a víz és az ammónia eltérő olvadáspontjának és forráspontjának? Milyen típusú kötések tartják össze ezen molekulák halmazait?

4. Mi a hasonlóság a fémrács és az ionrács között? Mi a fő különbség?

5. Miért csak nagy vákuumban indul meg a katódsugárzás?

6. Miben hasonlít a „mazsolás puding” modell a Dalton-féle atommodellhez? Mi a fő különbség?

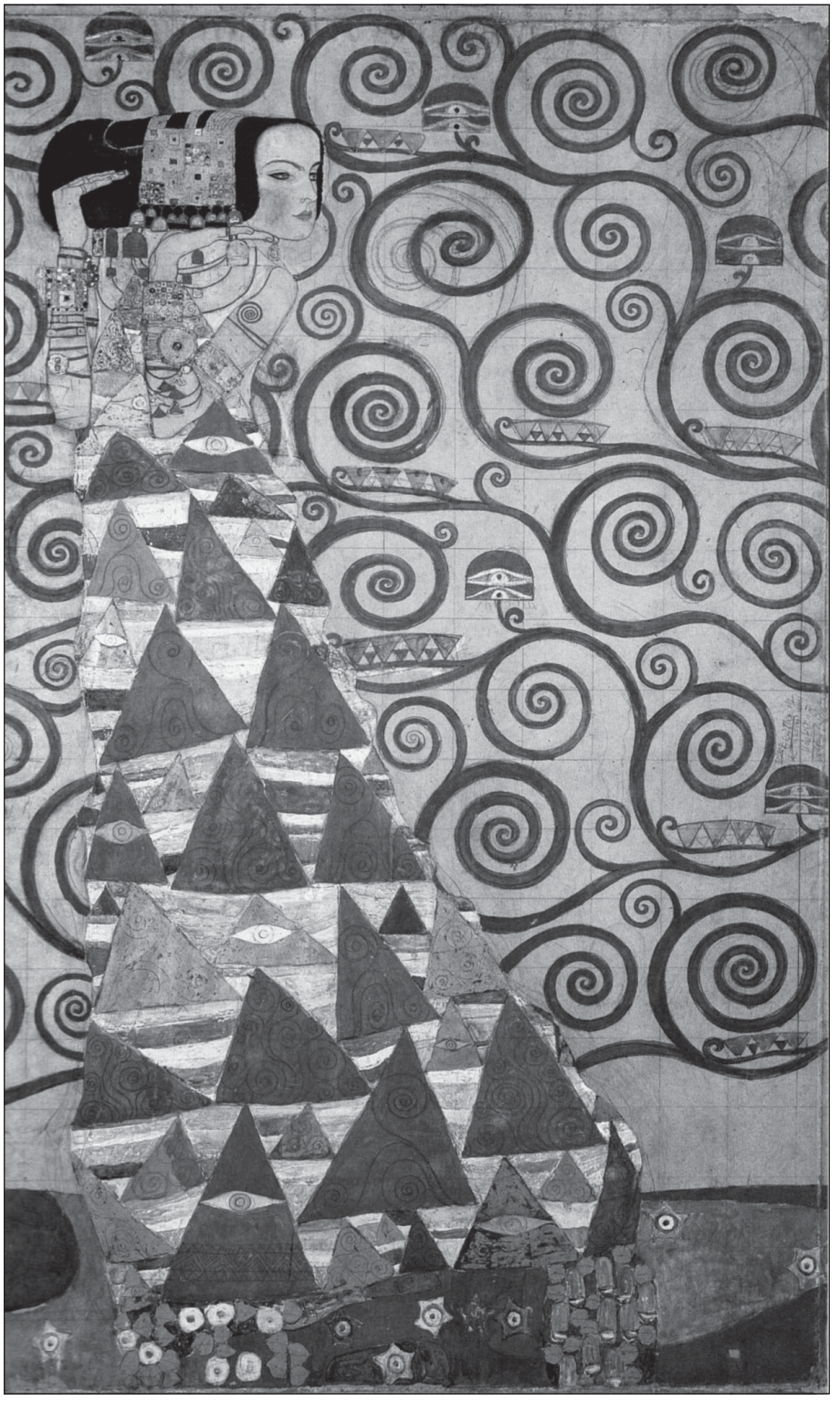
7. Helyes-e az a megállapítás, hogy Faraday, illetve később az elektron létét igazoló Thomson egyszerűen az elektront és a protont helyezte Démokritosz „atomosz” fogalma helyébe?

8. A standard potenciál értékek és az elektronegativitás egyaránt magyarázza az elemek reakciókészségét és a reakciók irányát is. Milyen esetben célszerű használni az egyik fogalmat, és mikor a másikat?

9. Hány mol klórgáz (Cl_2) választható le 100 A-es áram segítségével 1 óra alatt NaCl elektolízisével? Milyen térfogatú gáz ez, ha 1 mol gáz adott körülmények közt 24 dm^3?

10. Hány mol alumínium választható le 100 A-es áram segítségével 1 óra alatt Al_2O_3 olvadék elektrolízisével? Hány gramm ez?

XII. VÁLTOZATOK HAT ELEMRE (SZERVES KÉMIA)



Mélyebben, mint a gond fészke szivedben,
kérge alatt minden dolognak,
a tünemények medrei,
a világ ereszkékei ragyognak,
örvénylik a láng, parttalanul forog
az eleven tűz, az ezerszemű,
párába borult paripák dobognak,
megvillan tajtékos tomporuk,
áthallik érc-patáik csattogása,
füled mellett süvít a híg elem,
bőrödet érinti a végtelen
és sistereg és hártyát növel
mint jégtől az olvadt acél.
Szólít – vagy képzeled? Ha arra riadnál,
hogy nem rideg, nem idegen!
hogy eleven, hullámzó szerelem!
hogy rokonabb veled önmagadnál!

Weöres Sándor: Az állandó a változóban
(részlet a Hatodik szimfóniából)

1. Élő és élettelen határán

1.1 A titokzatos életerő

Descartes kutatási programja – előbb szétszedni, aztán összerakni – nagy nehézséget okozott az élők kémiai felépítését kutató vegyészeknek. Azok az eszközök és módszerek, amelyek az élettelen világ elemzésére alkalmasak, eleinte túl durvának bizonyultak az élőlények érzékeny molekuláihoz. De ha sikerült is a szétbontás (az analízis), rendre csődöt mondtak a szintézis-kísérletek. Épp ennek alapján jelentette ki Berzelius, hogy az élőlények molekuláinak szintézise csakis az élő szervezet belsejében, az élő szervek (organum, organellum lat.) segítségével mehet végbe. Ezért Berzelius és kortársai a kémiát két ágra: a **szervetlen és a szerves (organikus) kémiára** osztották föl. Feltételezték, hogy az élőlények sejtjeiben – és csak ott – különleges erő, az **életerő (vis vitalis)** lakozik, s ez teszi lehetővé a szintézist. Így ír az életerőről a kor egyik vezető kémikusa, Justus Liebig (idézi F. Jacob):

„Az anyagban rejlő anyagtalan életerő aktivitásának van alávetve az anyagcsere minden mozzanata, mely erővel a kémikus nem rendelkezhet tetszése szerint. (…) Az életerő kiváltja a tápanyagok lebontását, megtámadja a vonzásokat, (…) eltéríti a kémiai erőket, hogy maga köré csoportosítsa a tápanyag elemeit, és új vegyületeket produkáljon. (…) Meghatározott mennyiségű életerőre van szükség ahhoz, hogy az élőlény ellenálljon az elemeit szüntelenül támadó légköri oxigén hatásának."

E kutatók szemében az életerő nemcsak erő vagy energia volt, hanem – mai kifejezéssel – információ is: valami, ami *szervezi, rendezi az élő anyagot*. Ahogy a neves francia biokémikus, Francis Jacob írja:

„Az életerőre való hivatkozás közvetlenül következik a biológiai szemléletből, hiszen el kell választani egymástól az élőlényeket és az élettelen dolgokat, és ezt az elválasztást nem az anyagra kell alapítani, amelynek egysége elismert, hanem az erőre. Az „életerő" absztrakciós tényezőként hat. Az „élet" fogalma fontos szerepet játszik a tudásban. Az „élet" az, amit az állatban vagy a növényben faggatunk, az élet analízisünk tárgya, más, mint a tárgyak, és a biológia más, mint a fizika."

A tojás és a tyúk (Az élők logikája)

Az életerő-elmélet a vegyészeket arra csábította, hogy megvizsgálják: csakugyan minden részletre kiterjed-e az életerő, avagy vannak olyan molekulák is, melyeket mesterségesen (in vitro, azaz „lombikban") is szintetizálhatunk?

E program első lépéseként Wöhler német kémikusnak sikerült mesterségesen karbamidot szintetizálnia. A karbamidot korábban vizeletből vonták ki, ami az „élet terméke", így a molekula szerves voltához kétség sem fért. Ahogy a módszerek finomodtak, egyre több szerves molekula mesterséges szintézise sikerült. A kutatók lassan kezdték elhagyni a „vis vitalis" kifejezést, a megszokott „szerves kémia" elnevezéshez azonban továbbra is ragaszkodtak. E ponton a tudományok fejlődése kettévált. A **szerves kémia** arra vállalkozott, hogy az élet építőköveit és azok reakcióit, a **biokémia** pedig arra, hogy ezen anyagok és reakciók *szerepét, biológiai funkcióját* kutassa.

A XII. fejezet címlapképe.
Gustav Klimt:
A Stocklet palota frízének terve

Az osztrák Klimt a szecesszió művészi irányzatának kiemelkedő képviselője volt. Festményein az embereket és környezetüket dekoratív formákra, alakzatokra bontotta, vagy abba ágyazta. Ez a módszer emlékeztet a szerves kémikusok gondolkodásmódjára, akik a bonyolult molekulákat néhány egyszerű egységre, funkciós csoportokra bontják, s a teljes fomát ezek kölcsönlátásából igyekeznek megérteni.

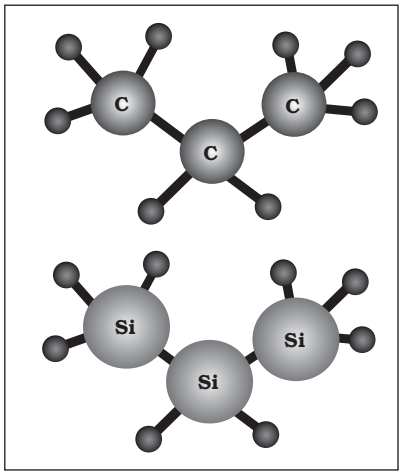
MI AZ „ÉLETERŐ"?

← Arisztotelész a formáról III.9.1
→ az információ a molekuláris genetikában XXIII.

→ mi az élet? (Kenoton) XXIX.

→ szeress molekulák spontán keletkezése (Miller) XXIX.

SZERVES KÉMIA ÉS BIOKÉMIA



1. ábra. ***Egy egyszerű szénvegyület és az ezzel azonos szerkezetű szilíciumvegyület (szilán).***
A szénen kívül a szilícium (Si) is képes láncokká kapcsolódni (szilánok). A szénláncok tartósak, a szilíciumláncok stabilitása a lánchossz növelésével gyorsan csökken.

1.2 A szerves kémia ma

Annak, hogy a szerves kémia ma is a Berzelius korabeli elnevezést viseli, a hagyománytiszteleten kívül gyakorlati oka is van. Az analízisekből kiderült ugyanis, hogy valamennyi szerves molekula szénvegyület. Az új definíció szerint tehát a szerves kémia a **szénvegyületek kémiája.** Ez a meghatározás érvényes a mesterséges vegyületekre, például a műanyagokra is. Néhány szénvegyületet azonban a szervetlen vegyületek közé sorolnak. Ezek: a szénmonoxid (CO), a szén-dioxid (CO_2) és a szénsav (H_2CO_3). Az elkülönítést indokolja, hogy ezek a szén leginkább oxidált, igen egyszerű vegyületei.

A szén különleges sajátságú az elemek között. Képes arra, hogy **hosszú láncokká vagy gyűrűkké kapcsolódjon** *anélkül, hogy eközben a vegyületek stabilitása csökkenne*. Így aztán – elvben – végtelen féle szerves molekula jöhet létre. Jelenleg kb. 20 millió szerves vegyület ismert, de mennyiségük folyamatosan növekszik, s a variációk számának valószínűleg nincs elvi határa.

Kérdések, problémák (1.)

1. Wöhler, az „életerő-elv megdöntője” haláláig hitt a vis vitalisban. Hogyan magyarázható ez? Következetlen volt-e Wöhler?

2. Az élőlények szervezetének jó része szervetlen anyag (víz, illetve a csontokban kalcium-sók). Lehet-e ez érv a vitalizmus ellen?

3. Egyenértékű-e az alábbi két állítás: „minden szerves vegyületben van szén” illetve: „minden olyan vegyület, amely szenet tartalmaz, szerves”. Miért dönthettek úgy a vegyészek, hogy a műanyagokat is a szerves vegyületek között tárgyalják?

4. A fotoszintetizáló növények szervetlen anyagokból szerves molekulákat állítanak elő (ld. a IX. fejezetben). Milyen problémát okozna, ha a kémikusok minden szénvegyületet a szerves molekulák közé sorolnának be?

2. Képlet és valóság

2.1 Összetétel és összegképlet

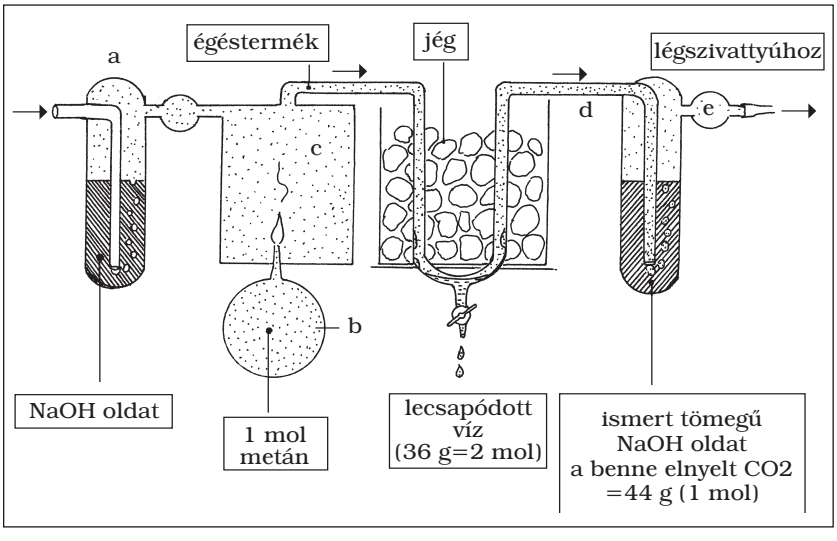
Amikor a kutatók egy szerves molekulát szeretnének megismerni, a következő – egyre bonyolultabb – kérdésekre keresik a választ:

1. Milyen atomokból áll? (Összetétel) ← Dalton IX.2.3.2
2. Mely atomokból mennyi kapcsolódik össze molekulává? (Összegképlet) ← Képletek IX. 2.3.3
3. Milyen rend szerint kapcsolódnak ezek az atomok? (Szerkezeti képlet)
4. Milyen a molekula térbeli formája? (Térszerkezet)

Az **összetétel** megállapítása sokszor egyszerű. A tűzifa szenesedő darabjai láthatóan jelzik széntartalmát. A bomló fehérjékből felszabaduló ammónia (NH_3) szag alapján is felismerhető, de lúgos kémhatása révén indikátorral is kimutatható.

Nehezebb feladat az *alkotórészek arányának* megállapítása. Erre vállalkozik a **mennyiségi elemzés** (kvantitatív analízis) tudománya.

A módszeres kutatást Lavoisier mérleg-elvének felhasználásával végzik a vegyészek. A vizsgált vegyületet megtisztítják minden szennyeződéstől, majd pontosan lemért mennyiségét kémiai reakcióba viszik. Meghatározzák a keletkező anyagok mennyiségét, s ebből következtetnek a kiindulási anyag (a vizsgált vegyület) összetételére. A módszer lényegét a mocsárgáz (metán) példáján mutatja be az ábra.



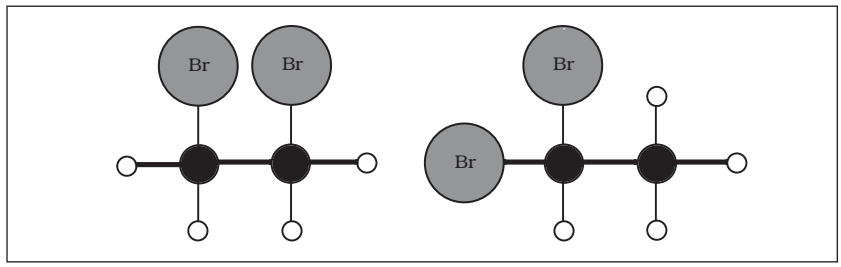
2. ábra. ***Metán összegképletének elemzésére szolgáló berendezés***
Az a, b, c, d és e betűk eltérő összetételű gázokat jelölnek
A vizsgált vegyület a mocsárgáz (metán). Ebből adott mennyiséget (pl. 1 molt) elégetve CO_2 és H_2O keletkezik, melyeknek tömegét pontosan le kell mérni. A keletkező vizet elnyelethetjük valamilyen ismert tömegű, vízmegkötő anyagban (pl. P_2O_5, H_2SO_4) vagy lehűtés után megmérhetjük a lecsapódott víz tömegét. Mivel más H-tartalmú termék nem keletkezett, szükségszerű, hogy a metánban található összes hidrogén-atom a vízbe került. 1 mol metán elégetésekor 36 g víz keletkezik, ami éppen 2 mol. A metánban tehát 4 H-atom van. Hasonló gondolatmenet alkalmazható a szénre. Széntartalmú termék csak egy keletkezett: a CO_2. Ezért biztosak lehetünk benne, hogy a metán teljes széntartalma ebben található. A CO_2-t a második gázmosó lombikban található lúgos víz megkötötte, amelynek tömegnövekedése 44 g, ami 1 molnak felel meg. A metán összegképlete tehát: CH_4.
Ez a módszer közvetlenül csak gázok vizsgálatára alkalmas, mert adott hőmérsékleten és nyomáson a gázok térfogatából következtethetünk anyagmennyiségükre (molszámukra) is.

2.2 A szerkezeti képlet

Egyetlen összegképletnek gyakran több, néha nagyon sok szerkezeti képlet felelhet meg. Az azonos összegképletű, de eltérő szerkezetű (konstitúciójú) molekulák egymásnak **szerkezeti vagy konstitúciós izomérjei.** (A görög izo = azonos, hasonló és merosz = rész szavakból).

IZOMÉRIA

→ kiralitás XII.6



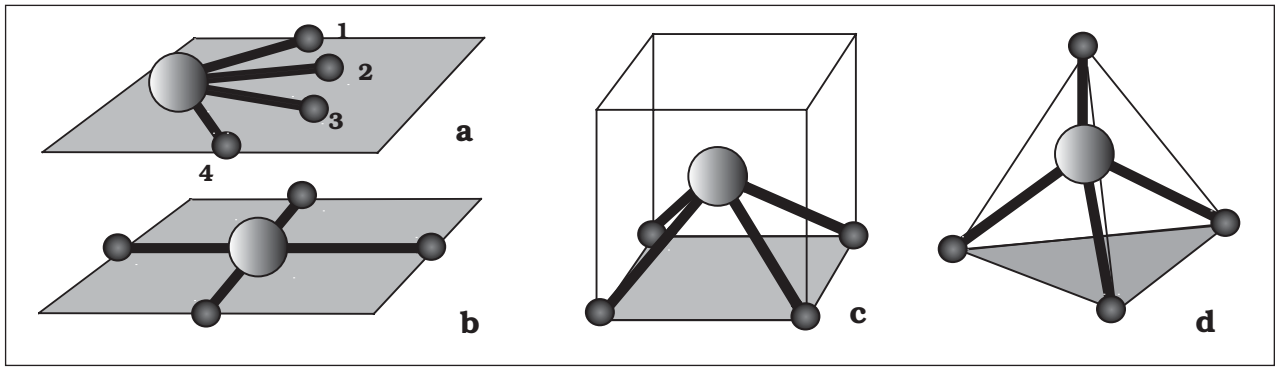
3. ábra. A dibróm-etán kétféle szerkezeti izomérje

→ például:
XII.3.5.2; 4.3.4; 8.3

A szerkezeti képlet kiderítése sokszor bonyolult feladat. A kutatási módszerekre a későbbi fejezetek mutatnak példát.

2.3 A térszerkezet

Hogyan rendeződnek térben a molekulát alkotó atomok? A szerkezeti képlet ezt már csak azért sem mutathatja meg, mert síkbeli ábrázolásmód. A legegyszerűbb szerves molekula, a metán esetében is *végtelen számú változatot képzelhetünk el*. Ezek közül négyet mutat be – példaként – az ábra.



4. ábra. ***A metán néhány elképzelhető térszerkezete***

← Dalton-modell IX.2.3.2
← Bošković IX.2.3.4

Mivel a metán fizikai és kémiai szempontból egységes, nincsenek eltérő tulajdonságú CH_4-változatok, *választanunk kell* a térszerkezet-lehetőségek közül egyet, a valódit. Akár tényleges térbeli kiterjedést tulajdonítunk az atomoknak (mint pl. Dalton tette), akár vonzó- és taszítóerők centrumának tekintjük őket (mint Bošković) – mindenképpen ésszerű feltételezni, hogy az *összes H-atom azonos vonzó- és taszítóerőt fejt ki*, egymástól tehát azonos távolságra helyezkednek el. Ez a tetraéderes szerkezetben valósul meg.

→ szubsztitúció XII.3.3.2

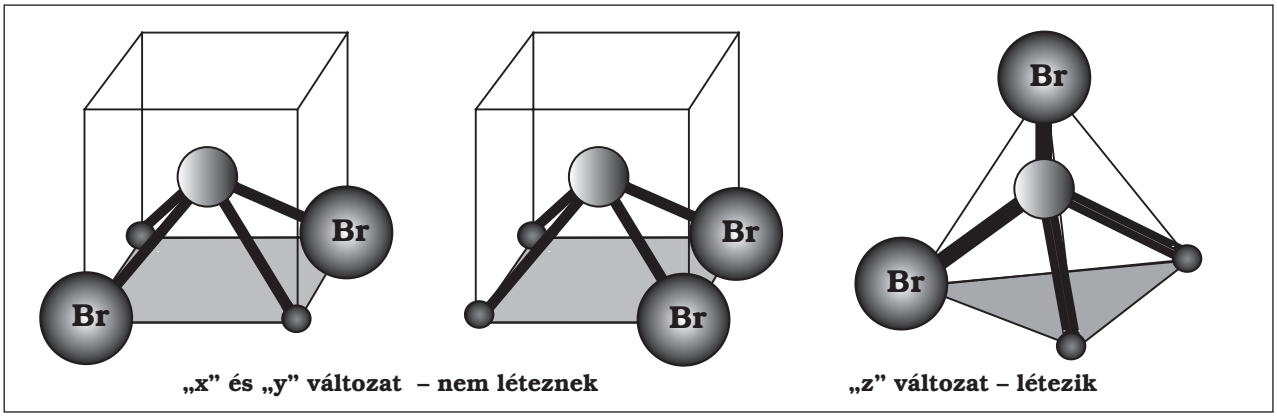
→ indirekt bizonyítás a logikában III.11.4

A sejtést csak a XIX. században sikerült igazolni (van t' Hoff és Le Bel, 1874). Megfelelő eljárást alkalmazva mód van arra, hogy a metán egy hidrogénjét más atomra, pl. brómra (Br) cseréljék ki (szubsztitúció). Ekkor a *termékekből* következtethetünk az *eredeti* vegyület tulajdonságaira. Ha pl. a metán esetében az ábrán látható „a" változat lenne igaz, kétféle terméket kapnánk: másfélét akkor, ha az 1. vagy 4. számú hidrogéneket cserélnénk ki, mint ha a 2. vagy 3. számúakat. A tapasztalat szerint azonban a bróm-metán (CH_3Br) kémiailag és fizikailag egységes, nincsenek változatai. Elvethető tehát az „a" hipotézis, s vele együtt minden más, nem szimmetrikus alak.

„Versenyben maradnak” viszont a szimmetrikus „b”, „c” és „d” elképzelések.

Mi történik, ha két hidrogént cserélünk ki brómra? Ha a „b” vagy a „c” változat lenne igaz, kétféle terméket kapnánk. A tapasztalat azonban az, hogy dibróm-metánból is csak egyféle létezik. Ezt a feltételt csak a legszimmetrikusabb „d” változat, a tetraéderes szerkezet elégíti ki. Sejtésünk tehát igazolódott. Ezt az eredményt a legmodernebb spektroszkópiai eljárások is megerősítették.

→ spektroszkópia XXI., XIV.3.8



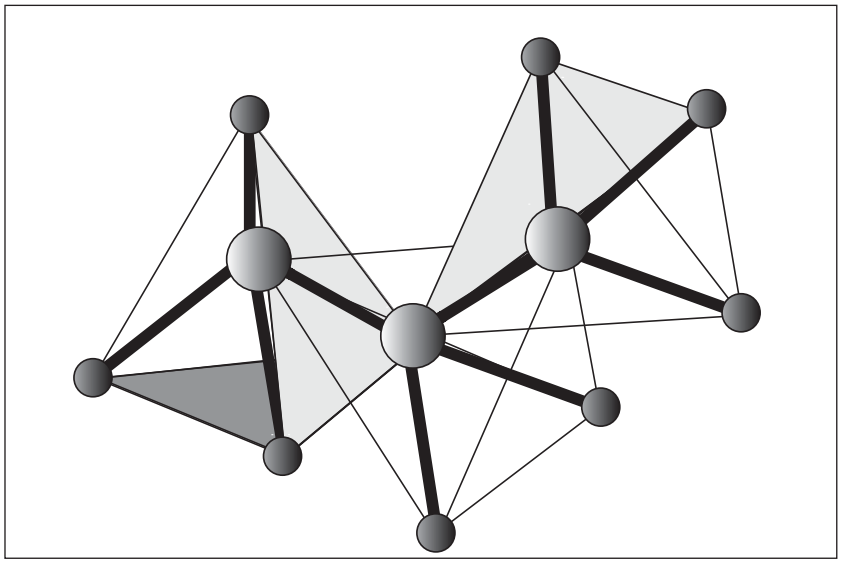
5. ábra. A tetraéderes térszerkezet igazolása a metánban
Ha két hidrogént cserélünk ki brómra, a „c” változatnál kétféle terméket kapnánk (x és y). A tapasztalat azonban az, hogy csak egyféle dibróm-metán (CH_2I_2) van. Ez egyedül a tetraéderes szerkezettel magyarázható (z változat).

TETRAÉDEREK

Ésszerű feltételezni, és igazolható is, hogy a szénatom körül akkor is megmarad a tetraéderes vegyérték-szerkezet, ha hidrogén- és brómatomok helyett más atomokat vagy atomcsoportokat kapcsolunk hozzá – feltéve, hogy számuk továbbra is négy – és egymásra nem gyakorolnak eltérő erősségű hatást. (Ellenkező esetben a tetraéder torzulhat.)

Milyen térszerkezet jellemzi ebben az esetben a C_2H_6 összegképletű etánt? Ennek ábrázolásához két olyan tetraédert kell elképzelni, melyeknek egyik csúcspontja a másik középpontjába esik (és viszont). Ilyen szerkezet esetén bárhogy forogjon is a molekula a C-C tengely körül, a tetraéderes szerkezet változatlanul megmarad. Ugyanez érvényes a nagyobb szénatomszámú szénvegyületekre is.

→ gátolt forgás XXII.3.4.1; 8.3.4

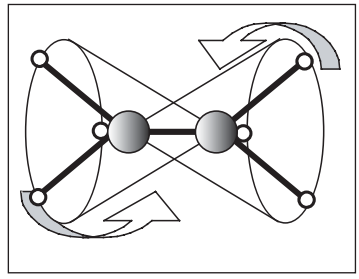


6. ábra. ***A propán térszerkezete***
A kis körök a hidrogén-atomokot, a nagyok a szeneket jelképezik. A vékony vonalak a képzeletbeli tetraéderek körvonalai. A tetraéderek a két C–C tengely körül szabadon elfordulhatnak.



8. ábra. ***Jacobus van t' Hoff (1852–1911) holland kémikus***

A molekulák térszerkezetével foglalkozó tudományág (sztereokémia), valamint a reakciókinetika kimagasló alakja. 1877-től Amszterdamban 20 éven át professzor, majd 1896-tól a Porosz Tudományos Akadémia vendégeként dolgozott. 1901-ben elsőként nyerte el a kémiai Nobel-díjat az ozmózisnyomás és a reakciókinetika terén elért eredményeiért.



7. ábra. ***Az etán forgása***
Az egyes térformákban (konformációkban) a H-atomok egymás közti távolsága más-más. Ebből sejthető, hogy e térformák közül nem mindegyik egyformán előnyös, „kellemes" az etán számára. Szobahőmérsékleten nem tudunk többféle etánt elkülöníteni, ezért azt kell feltételezni, hogy ezek gyorsan átalakulnak egymásba, az etán a C-C tengely körül „pörög, mint a motolla". (Modern módszerekkel e térformák kimutathatók, energiatartalmuk meg is mérhető.)

Az etán vagy a bonyolultabb szénvegyületek esetén a szénatomok körüli vegyértékek által bezárt szög (a vegyértékszög) forgás közben változatlan marad. A molekula **geometriai szerkezete** (latin szakszóval: **konfigurációja**) tehát nem változhat.

Ebből azonban már az etán esetében sem lehet levezetni azt, hogy a más-más szénatomokhoz kapcsolódó atomok egymáshoz képest milyen térbeli helyzetet vesznek föl. Ez utóbbit – a molekulát alkotó összes atom egymáshoz viszonyított helyzetét – nevezik a molekula **térformájának** (latin szakszóval: **konformáció**jának). *Ha* a két szénatom közti tengely körül *szabadon foroghat a molekula*, akkor egyetlen konstitúciós képletnek nagyon sok, végtelen számú térforma, konformáció felehet meg.

Ugyanez a gondolatmenet érvényes a nagyobb szénatomszámú vegyületek térformáira (konformációira) is. Bonyolultabb molekulák (pl. fehérjék) tulajdonságainak megértéséhez elengedhetetlen alakjuk gondos tanulmányozása. Ezekben az esetekben már jól megkülönböztethetők, esetleg el is különíthetők egymástól az egyes **geometriai izomerek** (**konformerek**).

Egy vegyület összetétele az alkotó atomok minőségét, összegképlete pedig azok számát is megadja.

A kapcsolódás sorrendje (konstitúciója) jól leírható a vegyértékfogalom segítségével (Kekulé). Az azonos összegképletű, de eltérő kapcsolódási sorrendű molekulák egymás szerkezeti (konstitúciós) izomerjei. A térszerkezet magyarázatához feltételezhető, hogy a szénhez kapcsolódó atomok vagy atomcsoportok egymástól azonos távolságra helyezkednek el. Négy atom (atomcsoport) esetén ezt a tetraéderes szerkezet biztosítja. A sejtés indirekt úton (helyettesítési reakciókkal) igazolható is (van t Hoff).

Summa (2.)

Feladatok, problémák (2.)

1. Mire szolgál a metán összegképletét elemző készülékben az 1. gázmosó lombik? Milyen hibát okozna a mérésben, ha elhagynánk? Milyen összetételű gázokat jelent az a, b, c és d?

2. A metán összegképletét megállapító készülékben a víz mennyiségének mérése ezen a módon nem egészen pontos. Mi okozhat hibát? Javíthatnánk-e úgy a helyzeten, ha a jeges hűtés helyett egy tömény kénsavat tartalmazó gázmosó lombikot iktatnánk be? (A tömény kénsav tökéletesen megköti az összes vizet). A lúgos gázmosó lombik elé vagy mögé kellene-e csatlakoztatni ezt az új egységet? Milyen hibák léphetnének fel ebben az esetben? Mi célt szolgálhatnak a gázmosó lombikok kivezetése utáni kis üveggömbök?

3. Hasonlítsuk össze a metán szerkezetét elemző készüléket Lavoisier berendezésével (IX.5.1 fejezet)! Mi a hasonlóságok és a különbségek magyarázata?

4. Egy kristályos szénhidrogén 2,56 g-jának elégetésekor 8,76 g szén-dioxid és 1,44 g víz keletkezik, relatív molekulatömege 128,2. Mi az összegképlete?

5. Hányféle konstitúciós izomerje lehetséges a $C_2H_2Br_2Cl_2$ összegképletű vegyületnek? Hányféle a $C_2H_3BrCl_2$-nek?

3. A szénhidrogének

3.1 Csoportosítás, elnevezés, jelölés

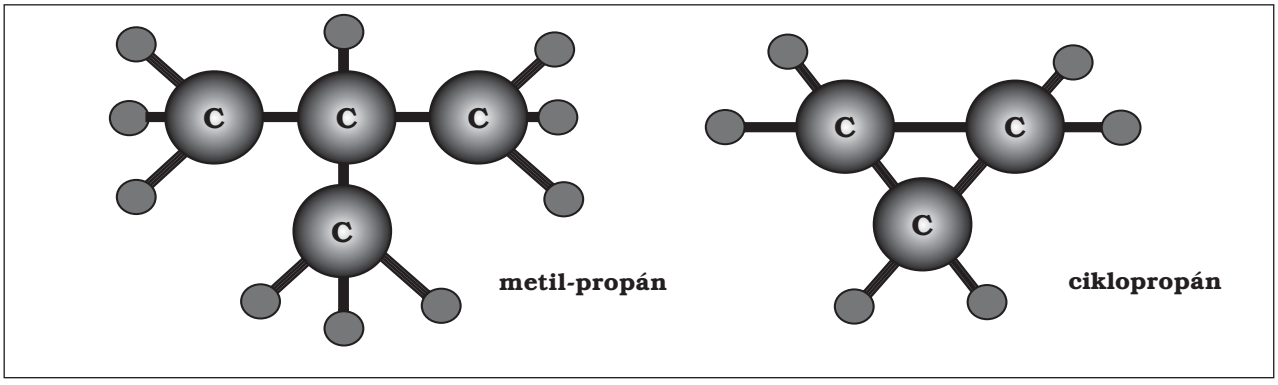
3.1.1 Csoportosítás

A csak szénből és hidrogénből álló vegyületeket nevezik szénhidrogéneknek.

Csoportosításuk lehetséges szempontjai:
– a szénlánc alakja szerint
– a szénatomok közti kötések jellege szerint
– gyakorlati szempontból.

NYÍLT LÁNCÚ, GYŰRŰS, NORMÁLIS

A szénlánc **alakja szerint** beszélhetünk nyílt láncú és gyűrűs szénhidrogénekről. Gyűrűsnek tekintjük mindazokat a vegyületeket, amelyekben legalább egy gyűrű van, függetlenül attól, hogy a gyűrűről kiindulnak-e további szénláncok vagy sem. A nyílt láncú szénhidrogéneket további két csoportra bonthatjuk: „normális" láncú (nem-elágazó) és elágazó láncúakra.



9. ábra. ***Példák nyílt láncú, elágazó valamint gyűrűs szénhidrogénekre***

A szénatomok közti kötések alapján négy csoportot szoktak elkülöníteni.

a) A legegyszerűbb esetben minden szénatom csak egy vegyértékével kapcsolódik egy másikhoz, vagy – egyetlen szénatom esetén – a négy hidrogénhez. Ezek a telített szénhidrogének, vagy más néven **alkánok.** Régi elnevezésük: **paraffinok**. Az alkánok szabályos neve mindig *-án* végződést kap.

ALKÁN

b) Telítetlenek azok a szénhidrogének, amelyekben – legalább egy helyen – két szomszédos szénatom között kettős vagy hármas kötés jön létre. A kettős kötést tartalmazó szénhidrogének az **alkének**, a hármas kötést tartalmazók pedig az **alkinek.** Az alkének szabályos neve mindig *-én,* az alkinoké pedig *-in* végződést kap. Mind a telített, mind a telítetlen szénhidrogének lehetnek nyílt láncúak és gyűrűsek is.

ALKÉN
ALKIN

c) A szénhidrogének negyedik csoportja az **aromásoké**. Különleges kötésrendszerüket a benzolról szóló fejezet írja le.

AROMÁS

Gyakorlati szempontból fontos a szénhidrogének halmazállapot és felhasználhatóság szerinti megkülönböztetése, pl. a földgáz, a kőolaj s az ezekből nyerhető termékek nevei. Érdemes megkülönböztetni eredetük szerint a természetes és a mesterséges szénhidrogéneket. Utóbbiak közé tartozik a műanyagok nagy része.

→ kőolaj, földgáz XII.3.2

→ műanyagok XII.3.4.2

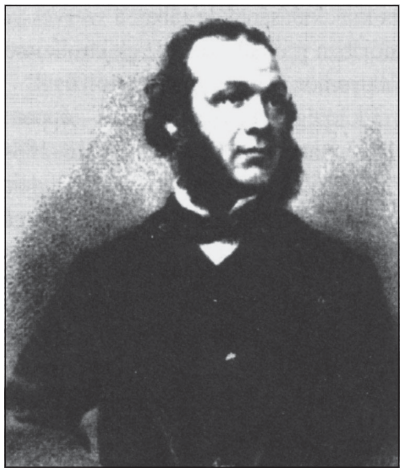
3.1.2 A telített szénhidrogének jelölése és elnevezése

Néhány telített, nem-elágazó szénhidrogén nevét s elméletileg lehetséges izomerjeinek számát a táblázat mutatja.

Név	Összegképlet	A belőle származtatható atomcsoport neve		Konstitúciós izomerjeinek száma
metán	CH_4	metil	$-CH_3$	1
etán	C_2H_6	etil	$-CH_2-CH_3$	1
propán	C_3H_8	propil	$-CH_2-CH_2-CH_3$	1
bután	C_4H_{10}	butil		2
pentán	C_5H_{12}	pentil		3
hexán	C_6H_{14}	hexil		5
heptán	C_7H_{16}	heptil		9
oktán	C_8H_{18}	oktil		18
nonán	C_9H_{20}	nonil		35
dekán	$C_{10}H_{22}$	decil		75
undekán	$C_{11}H_{24}$	undecil		.
dodekán	$C_{12}H_{26}$	dodecil		.
pentadekán	$C_{15}H_{32}$	pentadecil		4347
eikozán	$C_{20}H_{42}$	eikozil		366 319
triakontán	$C_{30}H_{62}$	triakontil		111 846 763

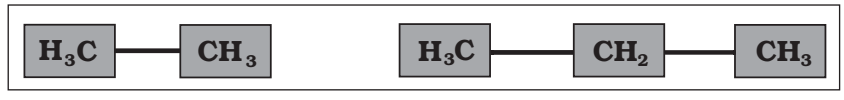
ATOMCSOPORT ÉS GYÖK

Az alkánok szerkezeti képletének felírása nagyobb szénatomszámok esetén már fáradságos és kényelmetlen. A francia Dumas javaslatára a molekulát felbonthatjuk jellegzetes, kisebb részletekre – **atomcsoportokra, „gyökökre"** – s ezeket összevontan jelölve kapjuk az ún. **gyökcsoportos képletet**. A két fogalom jelentése eltérő. Az atomcsoport a molekula valamelyik jellegzetes, gondolatban különválasztott részlete. A gyökök viszont valóságosan is szabad, lekötetlen vegyértékkel rendelkeznek, ezért – az eredeti elmélet szerint – önállóan csak nagyon rövid ideig létezhetnek. (A mai kutatási eredmények szerint azonban különleges körülmények között sok „szabad gyök" hosszabb ideig is fennmaradhat.) A gyökcsoportot gyakran nevezik **funkciós csoportnak** is, ha jellegzetes fizikai-kémiai sajátosságai, „funkciói" vannak.



10. ábra. ***Jean Baptiste André Dumas (1800–1884) francia kémikus, a szerves gyökcsoportos kémia kidolgozója***

Gay-Lussac tanítványaként a XIX. századi francia kémia egyik legismertebb alakja. Dumas – Berzelius hatására – eleinte a legbonyolultabb szerves vegyületeket is megkísérelte egymáshoz elektromos vonzással kapcsolódó gyökök „társulásának" látni. A metil-kloridot például a metil-csoport (gyök) és a klóratom kapcsolataként lehet leírni, ahol a klór a negatív pólust képviseli. A szerves vegyületek szubsztitúciós reakcióit tanulmányozva azonban Dumas felismerte, hogy Berzelius elmélete – eredeti formájában – nem alkalmazható, hiszen például a metil-klorid metil-csoportja szubsztitúcióval újabb klóratomokat képes fölvenni egészen a szén-tetrakloridig. Dumas elismertségét jelzi, hogy egy ideig mezőgazdasági miniszterként is tevékenykedett. Berzelius mellett éles tudományos vitákat folytatott a kortárs szerves kémia másik nagy alakjával, Liebiggel is.

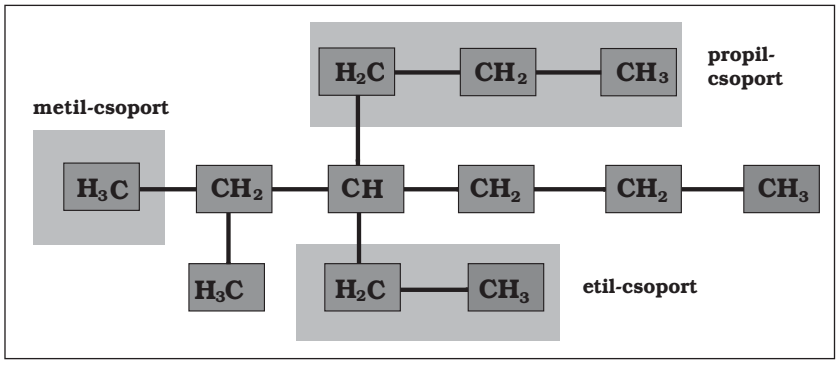


11. ábra. ***Az etán és a propán gyökcsoportos képlete***

A gyökcsoportos képlet alkalmazása némi gyakorlatot kíván, de nagy előnye, hogy segítségével elnevezhetők az elágazó láncú szénhidrogének is.

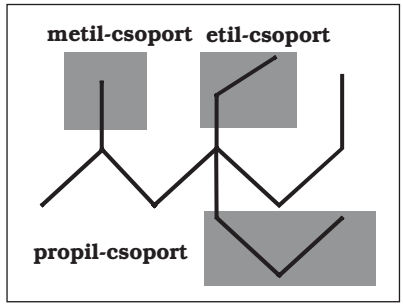
Ehhez külön névvel kell ellátni az egyes jellemző atomcsoportokat. A szénhidrogén-csoportok közül azoknak, melyek csak 1 hidrogénatommal tartalmaznak kevesebbet, mint a megfelelő alkán, **alkil-csoport** az összefoglaló neve. Az alkilcsoportok neve megegyezik az azonos szénatomszámú szénhidrogénével, de mindig „*-il*” végződést kapnak.

ALKIL-CSOPORT



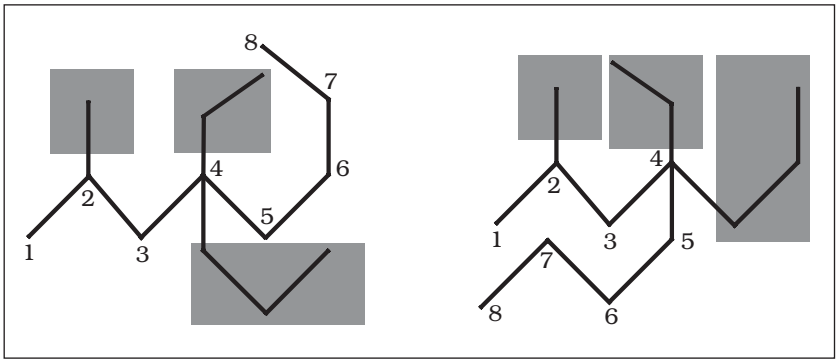
12. ábra. ***Példák atomcsoportok kijelölésére egy szénhidrogén-láncon belül***

Még egyszerűbb jelölésmód a **vonal-képlet**. Ebben csak egy cikk-cakkos vonalat látunk, melyben az egyenes szakaszok közti töréspontok és a vonalvégződések egyaránt szénatomokat jelentenek, a hozzá kapcsolódó hidrogénekkel együtt.



13. ábra. ***Példa vonal-rajzra és azon belül az egyes atomcsoportok kijelölésére***

A molekula szerkezete (konstitúciója) szempontjából mindegy, hogy a lánc milyen térbeli helyzetet (konformációt) vesz fel. Így például az alábbi két – látszólag különböző – molekula konstitúcióját tekintve azonos, csupán „tekereg a térben”.



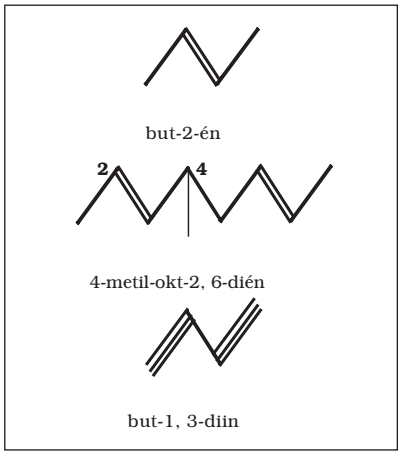
14. ábra. ***Példa egy molekula különböző térszerkezeteire (konformációira) és elnevezésére***
A könnyebb azonosíthatóság kedvéért három elágazást (atomcsoportot) kiemeltünk. A molekula neve: 4-etil-2-metil-4-propil–oktán.

Az azonosítást és az elkülönítést egyaránt megkönnyíti a vegyület helyes **elnevezése**. Minden eltérő konstitúciós izomer szabályos kémiai neve is eltér és viszont: bármely szabályos kémiai névből egyértelműen azonosítani lehet az illető konstitúciós izomert. A név azonban (általában) nem tájékoztat a térszerkezetről. Az elnevezés szabályait bonyolult, nemzetközileg elfogadott rendszerbe foglalták (Genfi nómenklatúra). Erre már csak a sokféle hagyományos elnevezés miatt is szükség volt, hiszen találomra adott nevek esetén egy idő után szinte lehetetlenné vált volna a tájékozódás. Itt csak azt a néhány szabályt ismertetjük, melyek segítségével az egyszerűbb szénhidrogének elnevezhetők. (Bonyolultabb esetekben már kényelmesebb a szabályos név helyett magát a képletet felírni.)

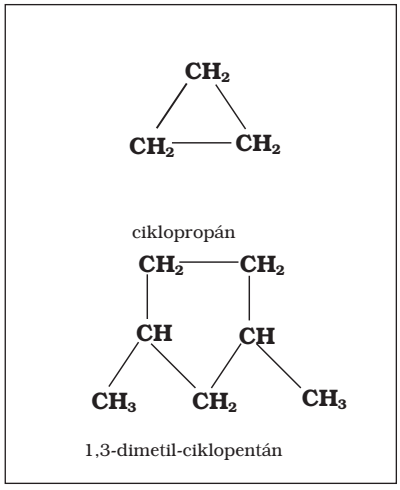
AZ ELNEVEZÉS SZABÁLYAI

Az elnevezés lépései:

a) Megkeressük a leghosszabb, el nem ágazó szénláncot a molekulán belül. Ez lesz az alaplánc, minden más pedig elágazás. A molekulát úgy tekintjük, mint az ennek megfelelő szénhidrogén származékát, amelyekben a H-atomok egy részét alkil-csoport „helyettesíti”. A számozást az elágazáshoz közelebb eső végen kell



15. ábra. ***Példák telítetlen szénhidrogének jelölésére és elnevezésére***



16. ábra. ***Példák cikloalkánok elnevezésére***

kezdeni. Ha a molekula két végétől azonos távolságra egyaránt van atomcsoport, akkor a nagyobb szénatomszámú csoport felől kezdődik a számozás. (Szimmetrikus molekula esetén a kezdőpont tetszőleges.) Példaként szolgál a 14. ábra.

b) Jelöljük, hogy milyen atomcsoport az alapláncmely szénatomjáról ágazik le, és – ha szükséges – azt is, hogy hány ilyen atomcsoport van összesen. Ez utóbbit a csoportnév elé írt görög számnév mutatja. (2 = di, 3 = tri, 4 = tetra, 5 = penta, 6 = hexa stb.)

c) A névben először az elágazás(ok) felsorolása, utána az alapláncnak következik. A csoportok nevét ábécérendben soroljuk fel.

3.1.3 A telítetlen szénhidrogének jelölése és elnevezése

A telítetlen szénhidrogének képletét ugyancsak lehetséges gyökcsoportos formában vagy vonalrajzzal ábrázolni. Elnevezésük logikája is megegyezik az alkánokéval. Ez esetben azonban azt is fel kell tüntetni, hogy a kettős kötés mely szénatomok között jött létre. A jelölés abban az esetben is egyértelmű, ha a két szénatom közül csak az első sorszámát adjuk meg az alapláncneve előtti számmal.

Ha több kettős vagy hármas kötés is van a vegyületben, ezek helyzetét és számát is fel kell tüntetni – egyszerűbb esetekben az alapláncnevét megbontva, abba beillesztett görög számnévvel. A kettős kötés(ek) helyének variációi növelik a konstitúciós izomerek számát

3.1.4 A gyűrűs szénhidrogének elnevezése

A gyűrűs vegyületek szabályos elnevezésében a megfelelő szénatomszámú nyílt láncú szénhidrogén neve elé írt „ciklo” szócskával jelzik a gyűrűt. Ha van elágazás, itt is jelölni kell. Ez esetben a gyűrű szénatomjait számozzuk. A gyűrűnek nincs „vége”, ezért a számozást arról a szénatomról kell kezdeni, amelyről az elágazás (ha több van: a nagyobb elágazás) kiindul. A számozást a közelebb eső első elágazás felé kell folytatni.

Summa (3.1)

A csak szénből és hidrogénből álló vegyületek a szénhidrogének.

Csoportosításuk a szénlánc alakja szerint:

1. nyílt láncúak a) nem-elágazók (normális lánc)
   b) elágazók
2. gyűrűsök.

A kötések jellege szerint:

1. telítettek (alkánok)
2. telítetlenek a) kettős kötést tartalmazók (alkének)
   b) hármas kötést tartalmazók (alkinek)
3. aromások.

A telített szénhidrogének -án, a kettős kötést tartalmazok -én, a hármas kötésűek -in végződést kapnak. A telített szénhidrogén-atomcsoport -il végződésű. Az elágazó szénhidrogének elnevezése: a vegyületet a molekulán belüli leghosszabb összefüggő szénláncnak megfelelő szénhidrogén származékának tekintjük. Az oldalláncokat – a leágazási szénatom sorszámának feltüntetésével – az alapláncneve előtt soroljuk fel. A gyűrűs szénhidrogének neve előtt ciklo-előtag szerepel.

A szénhidrogének szerkezeti képletének jelölésére elterjedt a gyökcsoportos képlet és a vonalrajz is.

Kérdések, problémák (3.1)

1. A normális láncú szénhidrogéneket gyakran nevezik „egyenes láncúaknak” is. Miért hibás ez az elnevezés?

2. Az alkánok szerkezeti izomerjeinek számát feltüntető táblázat adatai – nagyobb szénatomszámok esetén – már nem közvetlen tapasztalat eredményei, hanem egy matematikai képlet segítségével számolták ki. Ezen izomerek egy része azonban nem létezhet a valóságban, mert a szénatomok (metil-csoportok) túl közel kerülnének egymáshoz. Próbáljunk ilyen változatot molekula-makett segítségével kirakni!

3. Az alábbi két név közül az egyik hibás. Melyik? Mi a megfelelő vegyület szabályos neve?
   a) 5-etil-2-metil-heptán
   b) 2-etil-5-metil-heptán.

4. Mi az alábbi vegyületek konstitúciós képlete? Melyek izomerjei egymásnak?
   a) 3-etil-2-metil-pentán b) metil-ciklohexán
   c) 1-etil-3-metil ciklobután d) 1,1-dimetil-ciklopentán
   e) 2,2,3,3-tetrametil-bután

5. Hányféle ötszénatomos nyílt láncú alkán illetve alkinizomer létezik? Általánosságban: adott szénatomszám mellett alkán, alkén vagy alkinizomerekből van-e több?

6. Milyen esetben lehet szerkezeti izomerje alkán alkénnek vagy alkinnek? Hogyan változtatja meg a helyzetet, ha nem egy, hanem több kettős vagy hármas kötés van a molekulában?

3.2 A kőolaj és a földgáz

3.2.1 Az eredet kérdése

A szénhidrogének legnagyobb mennyiségben a kőolajban és a földgázban fordulnak elő. A földgáz nagyrészt metán, etán, propán és bután, a kőolaj több ezerféle szerves molekula elegye. E természetes forrásokat már az ókorban is ismerték, igazi jelentőségük azonban csak a robbanómotorok és az oljajfúrótornyok korszakában mutatkozott meg. Ma az olaj- és földgázvezetékek hossza kb. 1,6 millió km (a Hold-Föld távolságnak kb. a négyszerese). A belőlük előállított termékek pedig életünk csaknem minden részét átalakították.

→ szerves vegyületek abiogén keletkezése XXVIII; XXIX.

A kőolaj és földgáz **keletkezésének** egyik (Mengyelejev-féle) elmélete szerint **szervetlen úton** jött létre a Föld mélyén uralkodó magas hőmérsékleten és nyomáson. Valóban képesek is egyes fémek szénvegyületei (a fém-karbidok) forró vízgőzzel szénhidrogének keletkezése mellett reagálni. Például:

$$Al_4C_3 + 12\ H_2O = 4\ Al(OH)_3 + 3\ CH_4$$

→ a szén természetes körforgása XXV., XVII.

Az elméletet alátámasztja, hogy a vulkáni gázok és gőzök csakugyan tartalmaznak szénhidrogéneket. Ennek ellenére úgy látszik, hogy a kőolaj döntő részben mégiscsak **szerves eredetű**. Ezen elmélet szerint az elpusztult élőlények (főként planktonok) maradványai oxigéntől elzárt helyre jutva baktériumok tevékenységének hatására lassanként elvesztik oxigéntartalmukat és szénhidrogénekké alakulnak át.

→ kőzettípusok XXV.

Ennek bizonyítékai:

a) A kőolaj- és földgáztelepek többnyire nem vulkanikus, hanem üledékes kőzetekben (például homokkőben) gyűlnek össze. Ha esetleg mégsem ott lelünk rájuk: bizonyítható, hogy utólag, máshonnan vándoroltak oda.

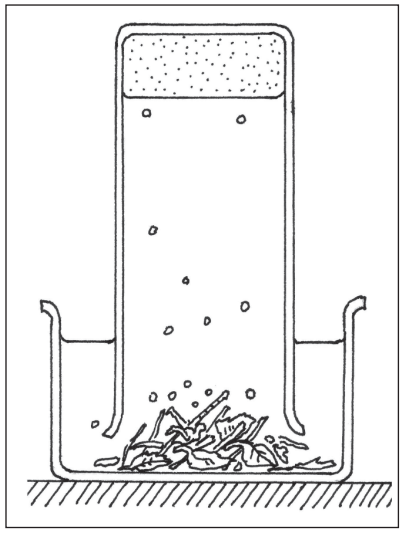
→ klorofil XIII.2

b) A kőolajban felfedeztek olyan szerves molekulákat, amelyek bizonyosan élőlényekből kerültek oda. Ilyen pl. a klorofill egyik alkotóeleme, a porfinváz. A porfinváz eléggé bomlékony, már 200 °C fölött szétesik. A keletkező kőolaj tehát még utólag sem kerülhetett ennél magasabb hőmérsékletű helyre.

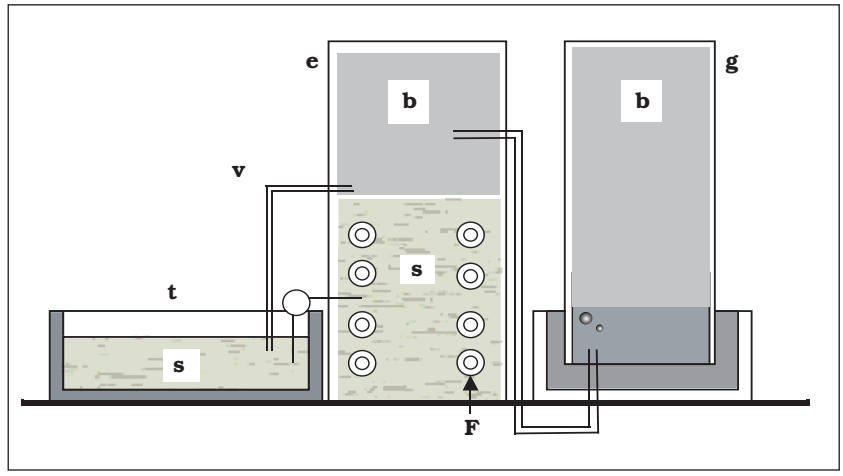
→ anaerob élőlények XIII.3.1

c) Mély kőolajrétegekből sikerült olyan anaerob baktériumokat kitenyészteni, amelyek „melléktermékként" szénhidrogéneket állítanak elő.

d) Oxigéntől elzárt helyeken, ahol sok szerves anyag halmozódott fel, ma is tapasztalható a földgáz, vagy ahhoz hasonló összetételű gázelegy képződése. Ilyen például a lápok mélye, az oxigéntől elzárt beltengerek (Feketetenger, Holt-tenger), de – mint sajátosan emberi jelenség, a rizsültetvények és szeméttelepek is. A nem komposztált, hanem egyszerűen betemetett szerves hulladék igen lassan, de bomlásnak indul és „biogázokat" termel. Ez veszélyes is lehet, mert a fölé épített ház pincéjébe szivárogva súlyos robbanást idézhet elő. Ugyanez a jelenség azonban energianyerés céljából fel is használható. A **biogáz-üzemek** *alternatív (helyettesítő) energiaforrást jelenthetnek* olyan közösségek (pl. kisvárosok) számára, amelyek szerves hulladékaikat képesek e cél érdekében **gyűjteni** és megfelelő technikával **feldolgozni**.



17. ábra. ***Metán előállítása „házilag"***
Egy nagyobb edény aljára állóvízből származó iszapot, faleveleket, rothadó növényi részeket halmozunk. Vízzel bőven feltöltve egy szájával lefelé fordított, vízzel színültig töltött üvegedényt helyezünk rá, úgy, hogy abból a víz ne folyjon ki. Kb. egy hét alatt már jól látható mennyiségű mocsárgáz (jórészt metán) gyűlik össze az edényben.



18. ábra. ***Biogáztermelő üzem vázlatos rajza***
A szerves anyagokat tartalmazó szennyvíz a „t" tartályból az oxigénmentes „e" erjesztőtoronyba kerül. Az itt élő anaerob baktériumok anyagcsereterméke szénhidrogén-elegy (főként metán), amit a „g" gáztartályba vezetnek.
F = fűtés, v = visszafolyó, s = szerves biomassza, b = biogáz

A kőolaj és a földgáz a legritkább esetben teljesen „tiszta" szénhidrogén-elegy. A „kísérő" gázok és folyadékok feltehetően az egykori élőlények szén-, kén-, nitrogén-, és foszfortartalmából keletkeztek. Ezek sokszor kellemetlen szagúak és mérgezőek is lehetnek.

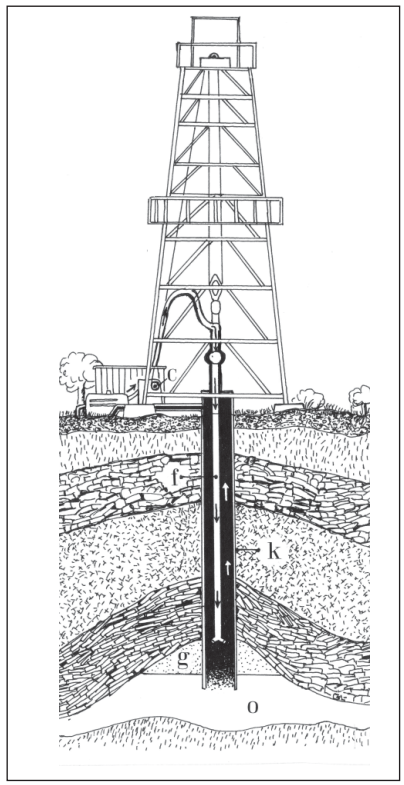
→ a fehérjék összetétele XII.8.2–3

→ foszfatidok XII.4.3.4

3.2.2 Kitermelés és felhasználás

A kőolaj és a földgáz ritkán tör természetes úton a felszínre. Általában fúrótornyok segítségével jutnak el a telepekig és aknázzák ki annak tartalmát. A környező kőzeteknél jóval kisebb sűrűségű kőolaj és földgáztelepek megtalálásában sokáig egyedüli eszközként alkalmazták az Eötvös-féle torziós ingát.

← Eötvös-inga VI.8.3



19. ábra. ***Kőolajfúró-torony működése***
A fúrócső (f) zárt köpenyben (k) hatol a földkéregbe. A fúrás megkönnyítésére a csövön át iszapot nyomnak a mélybe, ezt a köpenyen át szivattyúzzák vissza (nyilak). A fúróiszap a fúrófej nedvesítésén kívül szerepet játszik a kőzettörmelék felszínre hozásában balesetek esetében az olaj- és gázkitörések megakadályozásában. Az egész szerkezetet a (c) csörlő segítségével eresztik lassan a mélybe. A kép azt a fázist ábrázolja, mikor a fúrófej már elérte a kőolaj (o) illetve a földgáz (g) lelőhelyet. Ekkor megszüntetik a fúrást és elkezdődik a kitermelés.

A földgáz nyomása néha elegendően nagy ahhoz, hogy a felszínre préselje az olajat, sőt, a kilövellés ereje feldöntheti a fúrótornyot, s ha az elegy meggyullad, nehezen oltható hatalmas „fáklya" keletkezik. Amennyiben a földgázt nem találtak, a kőolajat szivattyúkkal emelik a felszínre.

A nyersolaj feldolgozása – első lépésben – alkotórészeinek *részleges szétválasztását* jelenti, tehát fizikai, és nem kémiai folyamat. A szétválasztás az alkotórészek forráspont-különbsége alapján történik, és eredményül valamely gyakorlati célra jól használható elegyet (frakciót) ad. Innen az eljárás neve: **szakaszos lepárlás (frakcionált desztilláció).** Egy-egy frakcióba olyan szénhidrogéneket sorolnak, melyek forráspontja két adott érték közötti hőmérsékleti tartományban van. A fontosabb frakciók (növekvő molekulatömeg szerint): **könnyűbenzin, nehézbenzin, petróleum (ma már inkább: kerozin), Diesel-olaj, és a lepárlási maradék.** A lepárlási maradékból csökkentett nyomáson (vákuumdesztillációval) nyerik a **gázolajat, kenőolajat, a nehéz fűtőolajat és a bitument**. (Ez utóbbi oxidációja során keletkezik az útburkolásra használt aszfalt.)

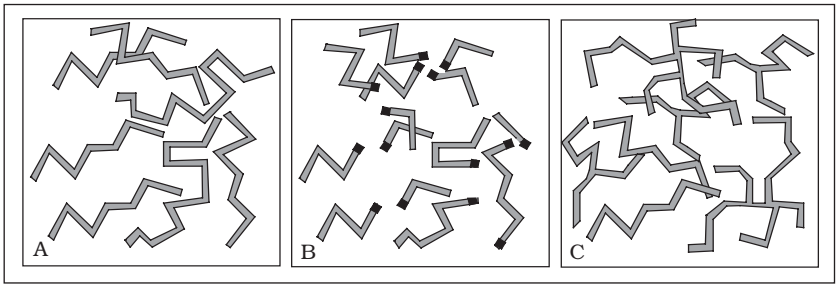
A kőolaj feldolgozásának további útja már kémiai átalakításokon át vezet. A modern vegyipar szinte valamennyi terméke előállítható a szénhidrogének megfelelő átalakításával. Közülük legnagyobb mennyiségben műanyagokat gyártanak. Mivel a Föld kőolajkészlete véges, szükségszerű, hogy pazarló és szennyező fölhasználásuk csökkenjen.

A kőolajpárlatok egyik *kémiai átalakítása* a termikus **krakkolás** (a *to crack* = törni angol igéből). Magas nyomáson és hőmérsékleten, katalizátorok hatására a szénhidrogénláncok széttöredeznek, ezért ezen az úton a könnyű frakció (benzin) mennyisége növelhető. A krakkolást követő reformálás során a szénhidrogén-törmelékek (gyökök) a legkülönbözőbb kombinációkban forrhatnak újra össze. Ha az elegy eredetileg normális láncú izomerekben volt gazdag, úgy összetétele meg fog változni: a nagyobb valószínűséggel keletkező elágazó láncú vagy gyűrűs izomerek szaporodnak föl benne (reformált, javított minőségű benzin). Ez előnyös, mert az elágazó szénhidrogének jobb motorhajtóanyagok, erősebb préselést viselnek el robbanás nélkül (szakkifejezéssel: nagyobb a kompressziótűrésük).

→ üvegházhatás VIII.2.4.1

KRAKKOLÁS

→ forráspontjuk különbsége XII.3.3.1



20. ábra. ***A krakkolás és reformálás mechanizmusa***
Az eredetileg főként normál láncú szénhidrogénekből álló elegy (A) a hő és a magas nyomás hatására reakcióképes atomcsoportokká töredezik (B), majd e töredékek véletlenszerű elrendeződésben kapcsolódnak össze (C). Az így kapott elegyben jóval nagyobb lesz az elágazó izomerek aránya, mint eredetileg volt.

A benzinek minőségét az **oktánszámmal jelezzük**. Az oktánszám olyan izooktán-heptán elegy százalékos izooktántartalmával egyenlő, amellyel a vizsgált benzinnek azonos kompressziótűrése van. (Az izooktánok közül a 2,2,4-trimetil-pentán a legnagyobb kompressziótűrésű, ezért ez a viszonyítási alap.)

OKTÁNSZÁM

3.2.3 Környezeti hatások

← oldhatóság és polaritás XI.4.6.3

OLAJSZENNYEZÉS

A kőolaj apoláros szénhidrogének elegye. Ezek poláros anyagokban – így a vízben is – **kevéssé oldódnak**. A benzin vagy olaj a víz felszínén úszik, és széles foltban, hártyaként terül el rajta. A gyakori **olajszennyezés** (emberi mulasztások, tankhajó-katasztrófák, háborúk) miatt hatalmas mennyiségű szennyezés kerül a tengerekbe, tavakba. Az olaj a tengeri állatok bőrére, tollára ragadva okozza pusztulásukat („olajpestis"), részben pedig mérgező hatása miatt (különösen a benne található aromás szénhidrogének veszélyének). Az összefüggő hártya nyugodt felszínen az oxigénfelvételt is gátolja, sőt a hullámzás hatására a víz mélyebb rétegeibe is bejuthat, és az édesvizeket ihatatlanná teszi. Szerencsére a könnyű szénhidrogének néhány nap alatt elpárolognak (hozzájárulva az üvegházhatás fokozódásához), a maradék pedig előbb-utóbb partra sodródik. Itt azonban sokáig, gyakran évekig nem bomlik le, s így a partok élővilágát is tönkreteszi. A tapasztalat szerint az elágazó láncú izomerek a stabilabbak.

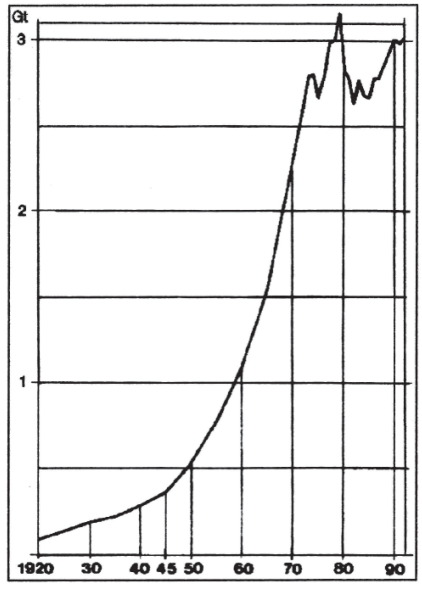
→ XII.3.5

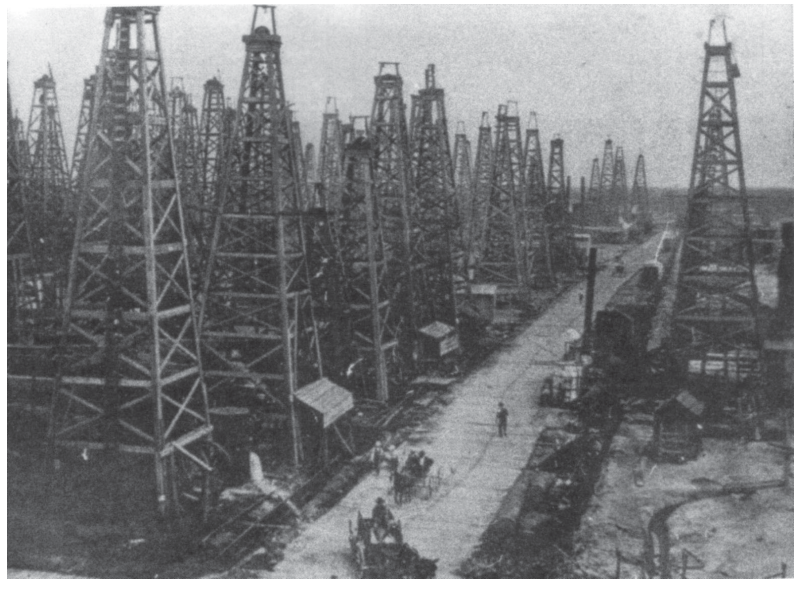
ÉGÉSTERMÉKEK HATÁSA

A kőolajból nyert termékek közül a közlekedésben használt benzin és Diesel-olaj elégetése többféle szennyező anyagot juttat a levegőbe Ilyenek az el nem égett **szénhidrogének,** a *súlyosan mérgező* **szén-monoxid és nitrogén-oxidok** (ez utóbbiak a kőolajban kis mennyiségben mindig fellelhető szerves nitrogénvegyületekből keletkeznek). Ez utóbbiaknak döntő szerepük van az emberi tüdőt és a növényeket is károsító légszennyezés, a Los Angeles típusú **szmog** kialakulásában. A hatalmas mennyiségű kőolaj és földgáztermék elégetése (motorokban, erőművekben) elsősorban a levegőbe kerülő szén-dioxid miatt *fokozza az üvegházhatást*. Az autóforgalom ésszerű korlátozásán kívül csökkentheti a szennyezést a helyes levegő/benzin arány beállítás és a szennyezéseket átalakító katalizátorok alkalmazása is.

→ a szén-monoxid hatása XIII.7.2

→ a szmog típusai XXVII.





21. ábra.
a) A világ kőolajtermelésének adatai 1920-tól 1990-ig gigatonnákban.
b) Kőolajfúró-tornyok erdeje az Egyesült Államokban, Spindletopban, 1901-ben.

Summa (3.2)

A legnagyobb természetes szénhidrogén-források: a kőolaj és a földgáz. Szervetlen vagy szerves úton keletkeztek. Az előbbire bizonyíték a vulkáni gőzök szénhidrogén-tartalma, az utóbbira pedig az, hogy a kőolaj élőkre jellemző, hőérzékeny molekula-töredékeket tartalmaz, s keletkezése is üledékes kőzetekhez köthető. Anaerob körülmények között, baktériumok hatására ma is keletkeznek szénhidrogének (biogáz).

A kőolaj feldolgozása fizikai elválasztási folyamattal kezdődik (frakcionált lepárlás). Ennek során hasonló forráspontú és tulajdonságú molekula-elegyeket (frakciókat) nyernek (benzin, kerozin, Diesel-olaj, kenőolajok, bitumen). A feldolgozás második fázisa kémiai átalakítás lehet (pl. krakkbenzin, műanyag vagy más szerves vegyületek szintézise). Krakkolással növelhető a benzin mennyisége, reformálással vagy adalékolással emelhető az oktánszáma. A benzinmotorok által termelt kipufogógáz szennyező anyagainak mennyisége helyes gyújtásbeállítással és a gépjárművek ésszerű használatával csökkenthető.

3.3 Az alkánok tulajdonságai

3.3.1 Fizikai sajátságok

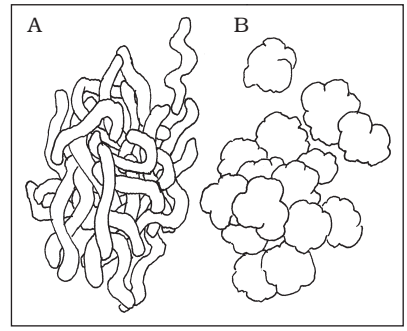
NÉV	Olvadáspont °C	Forráspont °C
metán	–183	–162
etán	–183	–89
propán	–188	–42
bután	–138	0
pentán	–130	36
hexán	–95	69
heptán	–91	98
oktán	-57	126
nonán	–54	151
dekán	–30	174
eikozán	37	342
triakontán	66	(258)*

(*:3 Hgmm nyomáson mért érték)

A molekula alakjának és fizikai tulajdonságainak összefüggésére hívja fel a figyelmet az elágazás nélküli (normál) pentán és a 2,2-dimetil-propán forráspontjának összevetése: az előbbié 36 °C, az utóbbié viszont csak 10 °C. A különbség – lévén a két vegyület egymás izomerje – csak a szerkezetre, s ennek következtében az érintkező felületek nagyságára vezethető vissza. A pentán számtalan, különböző konformációjú helyzetet vehet fel, „tekereg, miként a giliszta". Eközben a pentán-molekulák összegabalyodnak, nagy felületen érintkeznek. Az elágazó izomer eleve kevesebb térformát vehet fel, gömbszerű alakja miatt az egyes molekulák csak kis felületen érintkeznek egymással.

A normális láncú szénhidrogének olvadás- és forráspontjait a táblázat tünteti fel.

A táblázat adatait tanulmányozva feltűnik, hogy a molekulatömeggel nem egyenletesen, hanem *csökkenő mértékben nő* az olvadás- és forráspont. Ez azzal magyarázható, hogy egy-egy újabb -CH_2- (metilén) csoport hozzátétele mind kisebb tömeg ill. felületváltozást idéz elő.



22. ábra. ***Elágazó és normális láncú szénhidrogén-izomerek eltérő forráspontjának magyarázata***
A normál pentán molekulái („giliszták") nagy felületen érintkeznek egymással, így forráspontjuk magasabb (A). Az elágazó izomer molekulái kisebb felületen érintkeznek („gyöngyök") – így forráspontjuk alacsonyabb (B).

3.3.2 Kémiai reakciók

Az alkánok régi neve – paraffin – kis reakcióképességükre utalt. (Parum affinis = kevéssé reakcióképes lat.). Ismerve a földgáz robbanás-hevességű reakcióit, ez az elnevezés magyarázatra szorul. Az alkánok valóban sokáig megmaradhatnak partnerükkel (pl. az oxigénnel) egy elegyben – de ha megkapják a szükséges aktiválási energiát, a reakció igen gyorsan végbemegy. Az alkánok tehát magas aktiválási energiájú metastabil „energiavölgyben" fekszenek, de oxidációjuk során sok energia szabadul fel. Ezt használjuk fel – többek között – a gáztűzhelyekben és a robbanómotorokban:

← aktiválási energia IX.3.3.3

$$CH_4 + 2\ O_2 = CO_2 + 2\ H_2O$$

$$2\ C_2H_6 + 7\ O_2 = \quad 4\ CO_2 + 6\ H_2O \text{ stb.}$$

ROBBANÁS

Amennyiben a szénhidrogén és az oxigén megfelelő arányú elegyet alkot, az oxidáció eredménye hirtelen, minden irányba kiinduló nyomáshullám: a **robbanás**. Ez történik például a bányákban összegyűlő metán (sújtólég) felrobbanásakor. Ha ellenben a gáz csak egy felület mentén érintkezik az oxigénnel – pl. egy csőből áramlik ki – úgy **láng** alakul ki. Ha az égés nem tökéletes, a szén-dioxid mellett *mérgező* **szén-monoxid (CO) és elemi szén (korom, pernye)** is keletkezhet. Ez a folyamat (a tökéletlen égés) kismértékben csaknem mindig lejátszódik: az oxigénnel rosszabbul ellátott lángnyelvek belsejében keletkező koromszemcsék izzanak fel a láng szegélyén: ezért *látható* a tűz.

← a robbanás kinetikája IX.3.3.2

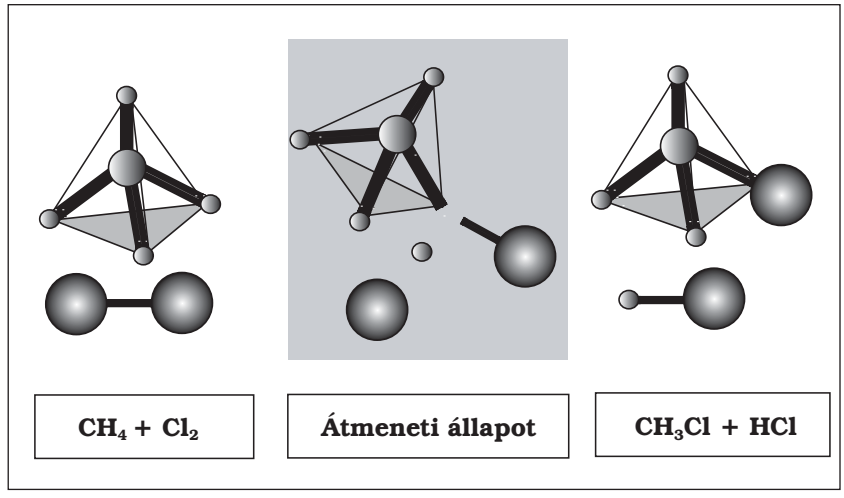
LÁNG

$$CH_4 + O_2 = C + 2H_2O$$

$$2C + O_2 = 2CO$$

SZUBSZTITÚCIÓ

Az alkánokra jellemző a **helyettesítési reakció, a szubsztitúció**. Ennek során egy hidrogénatomot kicserélünk más atomra vagy atomcsoportra.



23. ábra. ***Szubsztitúció mechanizmusa (egyszerűsítve)*** A reakció szobahőfokon és sötétben nem megy végbe, de ha az elegyet nagy energiájú fény éri (aktiválási energia!) ez is robbanásszerűen hevessé válik. A jelentős aktiválási energiát mind az égés, mind a szubsztitúció esetében az magyarázza, hogy a C-H és a Cl-Cl kötéseknek előbb fel kell bomlaniuk ahhoz, hogy más rendben kapcsolódhasson össze. Az ehhez szükséges energiát a hő és a fény is biztosíthatja.

A szubsztitúciónak nemcsak a molekulák szerkezetkutatásában van jelentősége, hanem a szerves kémiai szintézisekben is. Megfelelően irányított szubsztitúciókkal ugyanis sokféle molekula összerakható, felépíthető.

A halogénezett szénhidrogének közül nevezetesebbek: a kloroform, a szén-tetraklorid és a freon. A kloroform (triklór-metán) illékony, altató hatású anyag (a gyógyászatban ma már nem használják, mellékhatásai miatt).

← XII.2.3
→ XII.3.5.2
HALOGÉNEZETT SZÉNHIDROGÉNEK

Metán háromlépéses szubsztitúciójával állítható elő. A széntetraklorid (tetraklór-metán) pedig úgy jön létre, ha négy lépésben a metán összes hidrogénjét klór-atomokra cseréljük.

$CH_3Cl + Cl_2 = CH_2Cl_2 + HCl$

$CH_2Cl_2 + Cl_2 = CHCl_3 + HCl$

$CHCl_3 + Cl_2 = CCl_4 + HCl$

kloroform szén-tetraklorid

A szén-tetraklorid kitűnő apoláros oldószer, de mérgező.

FREON

A „freon" fantázianév a diklór-difluor-metánt (CF_2Cl_2) jelöli. Mint színtelen, szagtalan és ártalmatlannak hitt gázt sokáig alkalmazták hűtőgépekben és szórópalackok (spray-k) töltőgázaként. A freon azonban a légkör magasabb rétegeiben (a sztratoszférában) elősegíti az ózon-oxigén (O_3/O_2) átalakulást.

$$2O_3 \xrightleftharpoons{\text{freon}} 3O_2$$

ózon oxigén

→ ultraibolya sugárzás XV.3.7.2

A freon e reakcióban **katalizátorként** vesz részt, tehát egyetlen molekula sok ezer vagy százezer reakciót is megindíthat. A magaslégköri ózon (ózonpajzs) megfogyatkozása súlyos következményekkel járhat, mert az ózonmolekulák tartják vissza a Nap ultraibolya sugárzásának jelentős részét. A freon alkalmazását ezért ma már nemzetközi szerződések tiltják. (Egyes vizsgálatok szerint azonban a freonnál sokkal veszélyesebb ózonpusztítók a szuperszonikus repülőgépek motorjának égéstermékei.)

← IX.3.3.3

← ózonpajzs VIII.2.3

→ mutagén hatások XXIII; XXVII.

PESZTICIDEK, HERBICIDEK

Halogéntartalmúak a mezőgazdaságban alkalmazott **peszticidek** (rovarölőszerek) és gyomirtók (herbicidek) is. Használatuk ugyan nyereségessé teszi a nagyüzemi gazdálkodást, de felelőtlen alkalmazásuk súlyos környezeti és egészségügyi kockázatokkal jár.

Summa (3.3)

Az alkánok *fizikai sajátosságait* apoláros jellegük, s ennek következtében a molekuláik közt fellépő gyenge diszperziós erők határozzák meg. Ilyenek az alacsony olvadás- és forráspont, a vízben való oldhatatlanság, a kis felületi feszültség. Olvadás- és forráspontjukat befolyásolja a molekulák alakja is: az elágazó izomerek kisebb felületen érintkeznek egymással, mint a nem elágazók, így a köztük ható diszperziós erők nagysága, s ezért forráspontjuk is alacsonyabb.

Az alkánok *kémiai viselkedését* alacsony hőmérsékleten a passzivitás jellemzi (paraffinok), a szükséges aktiválási energiát megadva azonban heves exoterm reakciók mehetnek végbe, például az égés során. Tökéletes égés során szén-dioxid és víz, tökéletlen égéskor szénmonoxid és/vagy elemi szén és víz keletkezik. Ha a szénhidrogének egy felületen érintkeznek az oxigénnel: láng, ha pedig elegyük egyszerre reagál: robbanás jön létre (sújtólég, gázrobbanás).

Jellegzetes ké miai reakciójuk a szubsztitúció (helyettesítés). Szubsztitúció során a szénhidrogén egy hidrogénjét más atommal vagy atomcsoporttal cseréljük ki. Fontos származékok a halogénezett szénhidrogének: kloroform, szén-tetraklorid, freon. Az utóbbi környezetromboló (ózonpusztító) hatásáról vált híressé.

Kérdések, problémák (3.2-3)

1. Írjuk fel a propán, a bután és a pentán égésének egyenletét! Milyen általános egyenlet írható fel egy tetszőleges n szénatomszámú alkán égésére? Változik-e az egyenlet, ha cikloalkánból indulunk ki?

2. Rajzoljuk le a C_6H_{14} összegképletű izomerek konstitúcióját! Nevezzük el a keletkező vegyületeket! Melyik lehet a legalacsonyabb és melyik a legmagasabb forráspontú? Miért?

3. Készítsünk grafikon az olvadáspont és forráspont adatokat felhasználva a szénhidrogének halmazállapotáról! Mely alkánok gázok, melyek folyadékok s melyek szilárdak 20 °C-on? Hogyan változik a helyzet, ha –10°C-on illetve ha +60 °C-on vizsgáljuk meg ugyanezt?

4. A táblázat adatait felhasználva döntsük el: légköri nyomáson van-e olyan hőmérséklet, amelyen az összes szénhidrogén gáz, amelyen folyadék, illetve amelyen szilárd halmazállapotú?

5. Mennyi szén-dioxid keletkezik 1 molnyi metánból, etánból illetve propánból? Mi a különbség oka?

6. Mi lehet az oka, ha a gáztűzhely vagy a gázkonvektor kormozó lánggal ég? Miért hátrányos ez?

7. A laboratóriumi Bunsen-égők lángja szabályozható: előállítható csaknem színtelen „szúró” és élénk színű világító láng. Mi lehet a különbség oka? Melyik láng a melegebb? Miért hasznos egy laboratóriumban az állítható lángú égő?

8. Milyen következménye lehet, ha levegő kerül egy gázvezetékbe?

9. Zárt lakótelepi szobából gázszivárgást észlelünk. Hasznos-e a biztonság kedvéért csengetni, mielőtt értesítjük a tűzoltóságot és a mentőket?

10. Számítások szerint, ha a freontermelést azonnal beszüntetné is minden gyár, az ózonpusztító hatás akkor is csak nagyon sokára kezdene kissé csökkenni. Mi az oka e késleltetett hatásnak?

11. Írjuk fel az izooktán (2,2,4-trimetil-pentán) lehetséges izomerjeit! Bizonyítsuk be, hogy krakkolás során a normális láncú oktánból elágazó izomerjei fognak keletkezni (és nem fordítva)!

12. Egy molnyi metán égetésekor sokkal több energia szabadul fel, mint 1 molnyi szénből. A képződéshők ismeretében (IX. fejezet) indokoljuk a különbséget!

3.4 A telítetlen szénhidrogének tulajdonságai

3.4.1 Addíció és térszerkezet

ETILÉN (ETÉN)

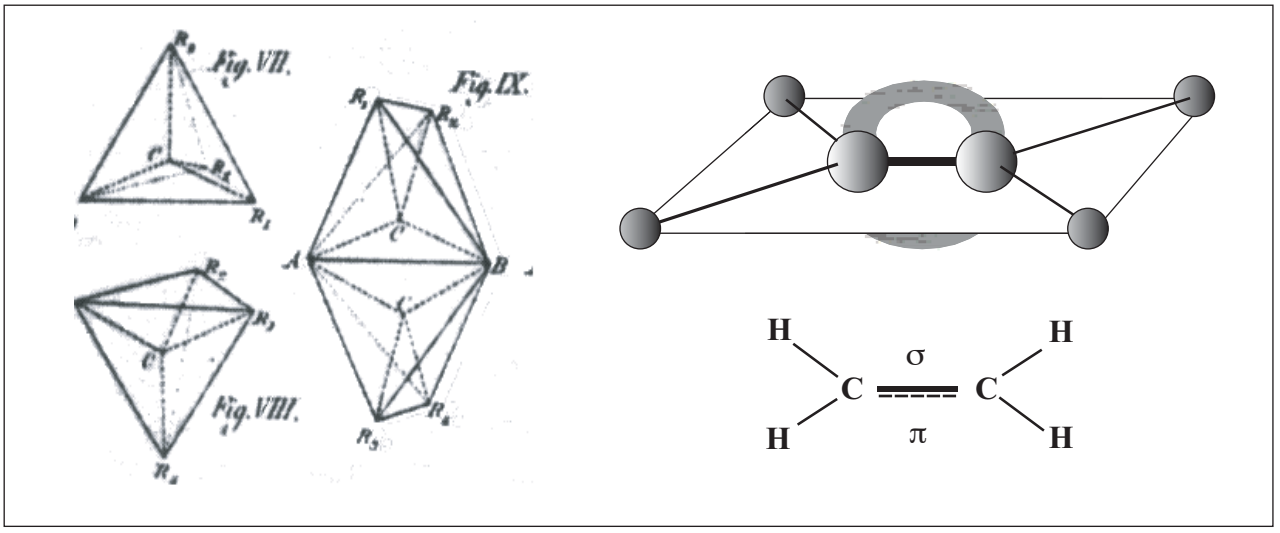
A legegyszerűbb alkén az **etén** (régebbi nevén: etilén). Összegképlete C_2H_4. Szerkezeti képlete:

$H_2C \text{—} CH_2$

Mivel a szénatomok nem négy, hanem csak három másik atommal kapcsolódnak, a tetraéderes elrendeződés megoldhatatlannak látszik. Van t' Hoff azonban még a XIX. században (1874-ben) érdekes megoldást javasolt. Föltevése szerint az alkénekben a szénatomok egy-egy tetraéder középpontjában vannak, s e tetraéderek egy-egy élükkel közösek, így kapcsolódnak egymáshoz. E modell érdekessége, hogy *az összes hidrogénatom egy síkban helyezkedik el*, s e síkból nem képes kimozdulni (hiszen akkor megbomlana a tetraéderek érintkezése, „felszakadna a kötés”).

← XII.2.3

GÁTOLT FORGÁS

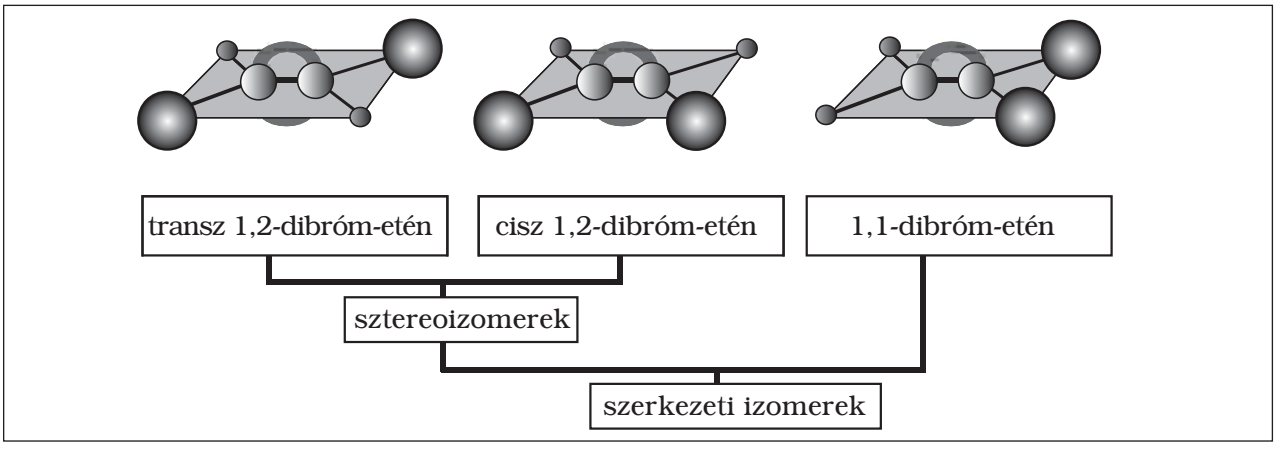


24. ábra. ***Balra: van t' Hoff eredeti rajza (1874)***
Jobbra: Baeyer javaslata az etén térszerkezetének ábrázolására.
Alatta: a szerkezeti képlet lehetséges jelölése, melyben figyelembe vettük a két kötés eltérő erősségét is.

A kettős kötés van t' Hoff-féle modelljével lényegében azonos eredményre vezet, ha a szénatomok körül egy síkban 120°-os kötésszögekkel rajzoljuk fel a többi atomot, s a kettős kötést két meghajlított rúddal szemléltetjük (Baeyer, 1885). Lehet-e igazolni egy ilyen sejtést? Ha van t' Hoff-nak igaza van, a C-C tengely körül nem foroghat a molekula. Ha a két szénatom hidrogénjeit két-két különböző atomra vagy atomcsoportra cseréljük, *két izomernek kell fellépnie*. A tapasztalat igazolta is e feltételezést. Az izomériának ezt az új formáját **sztereo (cisz-transz) izomériának** nevezték el (Wislicenus, 1887). Ha az azonos atomok vagy atomcsoportok a kettős kötést tartalmazó C-C tengely azonos oldalán vannak: *cisz*, ha pedig az ellentétes oldalon: *transz* az izomer neve.

SEJTÉS ÉS IGAZOLÁS

SZTEREO IZOMÉRIA



25. ábra. ***Három lehetséges dibróm-etén. Az első kettő sztereoizomér, míg a harmadik az elsőnek is, a másodiknak is szerkezeti izomereje.***
Az izoméria ezen formája akkor lép fel, ha valami (pl. egy kettős kötés) megakadályoz egy molekuláris tengely körüli forgást, és ha ugyanezen tengely két oldalához 2-2 egymástól eltérő atomcsoport kapcsolódik. (Ha ez utóbbi feltétel nem teljesül, nincsenek „változatok", illetve nem tudjuk megkülönböztetni őket). A cisz-transz izomerek fizikai és kémiai sajátosságaikban is eltérnek kissé egymástól.

ADDÍCIÓ

→ az aromás vegyületekben XII.3.5.3

A kettős kötés könnyen megszüntethető, ekkor a molekula telítetté válik. A telítés addíció eredménye. Az **addíció (lat.: hozzáadás)** során *két vagy több molekula egyesül úgy, hogy az egyik – telítetlen – kiindulási anyag kettős kötése megszűnik s egyszeres kötésekké alakul át.*

Addícióra példa az etén és a Br_2 reakciója:

$C_2H_4 + Br_2 = C_2H_4Br_2$ (dibróm-etán)

Hasonló módon addicionáltatható – katalizátor jelenlétében – az alkénekre egy sor más molekula, pl. H_2, HCl vagy H_2O is.

$H_2C{=}CH_2 + H_2 = H_3C{-}CH_3$ (etán)

$H_2C{=}CH_2 + H\text{-}Cl = H_3C{-}CH_2{-}Cl$ (klór-etán)

$H_2C{=}CH_2 + H\text{-}OH \quad H_3C{-}CH_2{-}OH$ (etil-alkohol)

→ magyarázata XXII.

Addíció során a két kötés közül mindig csak az egyik hasad fel, mégpedig elég könnyen: gyakran még melegítés vagy katalizátor sem szükséges. Ezek szerint az egyik kötés „gyenge", bomlékony – ezt szokás π-kötésnek is nevezni – míg a másik stabil – ez az ún. σ-(szigma) kötés. A jelenséget helyes lenne úgy jelölni, hogy a két kötést a szerkezeti képletben is megkülönböztetjük egymástól – a gyakorlatban azonban ez nem terjedt el. Elég, ha ismerjük a jelenséget.

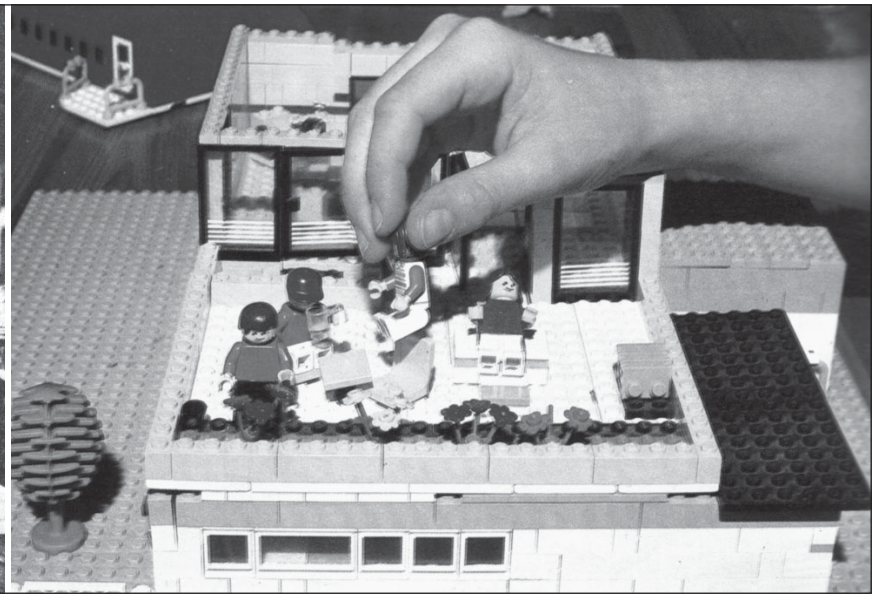
Az alkénekhez hasonlóan a három kötést tartalmazó **alkin**ek is szívesen addicionálnak, méghozzá *két lépésben*. Ebből arra következtethetünk, hogy a hármas kötésben egy σ és két π-kötés van: telítés során a π-kötések közül közül először az első, majd a második szakad fel.

3.4.2 Polimerizáció, műanyagok

Egy amerikai kémikus, H. Carothers (1896–1937) figyelt fel először arra, hogy egyszerű telítetlen molekulák megfelelő körülmények között tartós szálakká egyesülhetnek. E felfedezés hasznosításával – a nylon névre keresztelt termék megjelenésével – vette kezdetét a **műanyagok** mind rohamosabb térhódítása (1935).



26. ábra. ***H. Carothers (1896–1937) amerikai vegyész, a műanyaggyártás megindítója***
Kezében találmányát, a nylont tartja, melynek elméleti alapját, a mesterséges polimerizációt 1932-ben fedezte föl, s néhány év múlva az amerikai Du Pont cég már elárasztotta vele a világot.



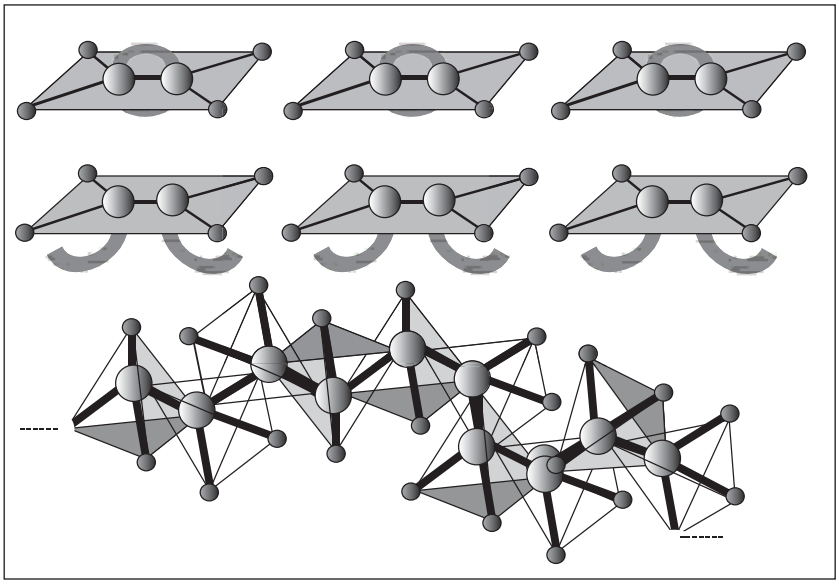
27. ábra. ***Műanyag világ***
A műanyagok mára elválaszthatatlan részei életünknek, noha használatuk sokszor fölösleges, és a keletkező szemétheggyek nem bomlanak le.

Az ún. mesterséges alapú műanyagok nagy részét ma is a Carothers által fölfedezett úton: **polimerizációval** állítják elő. Ez a reakció a telítetlen szénhidrogének *addíciójának sajátos esete*, amikor a molekulák kölcsönösen telítik egymást. Az ilyen folyamat nem zárulhat le egyetlen lépéssel, hanem folytatódik, és melléktermék keletkezése nélkül gyakran több ezer vagy tízezer egységből álló hatalmas molekulává: **polimerré** kapcsolódik össze (Poli = sok, merosz = rész gör.). A polimerek ismétlődő alapegységeit illetve a kiindulási molekulákat monomereknek nevezik. A legegyszerűbb polimerizáció az etén (etilén) polietilénné alakulása. A keletkező polietilénből fóliákat, csöveket, kannákat gyártanak.

POLIMERIZÁCIÓ

→ olajok száradása XII.4.3.4

→ poliszaharidok keletkezése XII.7.2.2
→ polipeptidek keletkezése XII.8.2



28. ábra. ***Etén polimerizációja.***
Fent: az eténmolekulák a polimerizáció előtt
Középen: az eténmolekulák felszakadó π-kötései (instabil állapot)
Lent: A polietilén szerkezete. A szaggatott vonalak a folytatódó láncot jelzik.

A polimerizáció végpontját valamely **lánclezáró folyamat** jelenti. Kapcsolódhat például a szélső kötésekhez valamely anyag addícióval, de kialakulhat gyűrű is.

A műanyagok sajátosságait befolyásolja a monomerek tulajdonsága, a polimerizáció foka (az átlagos lánchossz) és az alkalmazott adalékanyagok is.

Sok közismert műanyag monomerje halogénezett szénhidrogén. Ilyen pl. az edények bevonására alkalmazott teflon, ami tetrafluor-eténből jön létre. A műanyagok népszerűségét magyarázza, hogy viszonylag olcsón, nagy mennyiségben egységes tulajdonságú termék állítható elő, s ráadásul ennek sajátságai befolyásolhatók is. A műanyagok egy része enyhe melegítésre megmunkálhatóvá válik, utána ismét visszanyeri szilárdságát. Mivel ezek a vegyületek a földi élet számára ismeretlenek, többségüket még a baktériumok és gombák sem tudják lebontani. Ez tartósságuk magyarázata, egyben azonban legnagyobb veszélyük is: a műanyag ugyanis hulladék formájában is tartós, nem épül be a szénvegyületek természetes körforgásába. A műanyaghulladékok megsemmisítésére tehát *nem alkalmas az elföldelés*, elégetésük során pedig többnyire **veszélyes, mérgező gázok** (pl. HCl) **szabadulnak fel**. Lehetséges megoldás a veszélyeshulladék-égető üzem, melynek füstjét megszűrik, vagy olyan **lebomló műanyagok** kifejlesztése, melyek hozzáférhető tápanyagot jelentenek a lebontó szervezetek számára. Természetesen lehetőség van **újra hasznosítható, természetes anyagok alkalmazására is**, pl. a csomagolásban, tárolásban. (Papír, visszaváltható üvegek.)

MŰANYAGOK TULAJDONSÁGAI

→ természetes lebontás (életmódok) XIII.1.3; 5.1

→ a szén körforgása XXV.; XXVII.

KÖRNYEZETI KÁROK

Summa (3.4)

Az alkének (olefinek) kettős kötése közül az egyik (a π-kötés) könnyen felszakad, ekkor addícióval valamely más molekulát köthet meg. Eközben másik kötése (a σ-kötés) sértetlen marad. Az alkinekben két könnyen felbomló π-kötés van.

Ha a p-kötés két oldalán két-két különböző atom vagy atomcsoport kapcsolódik a szénatomokhoz, úgy két geometriai izomer (cisz-transz izomer) keletkezik. Ennek magyarázatául fel kell tennünk, hogy a kettős kötés körül az atomok (atomcsoportok) egy síkban helyezkednek el, s a molekuláris C-C tengely körül a forgás nem lehetséges (van t' Hoff).

Speciális addíciótípus a polimerizáció, melynek során a molekulák kölcsönösen telítik egymást. Polimerizáció során a monomerekből polimerek keletkeznek. Ezt a reakciótípust kiterjedten használják műanyagok gyártására (polietilén, teflon). A műanyagok tartóssága előny, de hátrány is: a lebontó szervezetek (baktériumok, gombák) számára idegenek, így szemétként halmozódnak fel.

A műanyagok veszély nélkül semmisíthetők meg hulladékégetőkben, kifejleszthetők lebomló változataik, de sok esetben mellőzhető is a használatuk (természetes anyagok alkalmazása).

Kérdések, problémák (3.4)

1. Mi keletkezik az alábbi olefinekből HCl -addíció eredményeképpen?
   a) 1-butén b) 2-butén c) 2-pentén
   d) 1-metil-ciklopentén e) 4-metil-ciklopentén f) 2,3-dimetil-2-pentén

2. Keletkeznek-e cisz-transz izomerek illetve szerkezeti izomerek az alábbi reakciók során?
   a) 1-pentin hidrogén-addíciója (2 lépésben)
   b) 1-pentin HCl-addíciója (2 lépésben)
   c) 1,3 pentadiin HBr-addíciója (2 lépésben)

3. A tapasztalatok szerint cisz-transz izoméria fellép cikloalkánokban, illetve ezek származékaiban is. Létezik pl. cisz- és transz 1,2-dimetil-ciklopropán. Mi a jelenség oka? Hogyan szüntethető meg ez az izoméria?

4. Az előző feladat gondolatmenetét követve milyen lehetőség kínálkozik a ciklobután Br_2-szubsztitúciójával cisz-transz izomerek előállítására?

5. Mi a különbség és a hasonlóság a térszerkezet (konfiguráció), a térforma (konformáció) és a geometriai izoméria között?

6. Előállítható-e etén bróm-addíciójával 1,1-dibróm-etán? Miért?

7. Írjuk fel a propén (propilén) polimerizációjának egyenletét! Hányféle módon mehet végbe, s mi módon tükröződik ez a keletkező polipropilén műanyag szerkezetében?

8. Vessük össze a kőolaj és a műanyagok által okozott környezeti károkat! Összefüggésben állnak-e ezek kémiai szerkezetükkel?

9. Modern szállodákban, panelházakban fellobbanó tüzeknek sok esetben akkor is vannak halálos áldozatai, ha a tüzet időben sikerül megfékezni. Miért veszélyesek a műanyag berendezési tárgyak, burkolóanyagok?

10. Készítsünk rövid leltárt a környezetünkben található műanyag tárgyakról, alkatrészekről! Melyeket tudnánk más anyagokkal helyettesíteni? Milyen következményekkel járna, ha egy – képzeletbeli – baktérium vagy gomba átállna a műanyagok fogyasztására?

3.5 Az aromás szénhidrogének

3.5.1 A név eredete

A XIX. század elején kellemes illatú anyagokból – gyantákból, balzsamokból – egy sor hasonló tulajdonságú anyagot vontak ki, amelyeket eredetük miatt **aromásoknak** neveztek el. Később kiderült, hogy nem mind kellemes illatúak, sőt gyakran mérgezőek is. Az eredeti elnevezés azonban ennek ellenére „rajtuk ragadt". Kémiai viselkedésük sajátos, mind a telített, mind a telítetlen szénhidrogénektől eltér. Könnyen végrehajthatók velük *szubsztitúciós reakciók* – ami a telített szénhidrogének jellemzője. Szerkezeti képletük alapján azonban telítetleneknek kellene lenniük – és valóban, megfelelő körülmények között *addícióra is képesek*, ami viszont a telítetlenek sajátossága. Indokolt volt tehát, hogy önálló, harmadik csoportként különítsék el őket. A kutatók azonban sokáig nem tudták megmagyarázni különös viselkedésüket.

AZ AROMÁS VEGYÜLETEK SAJÁTOS VISELKEDÉSE

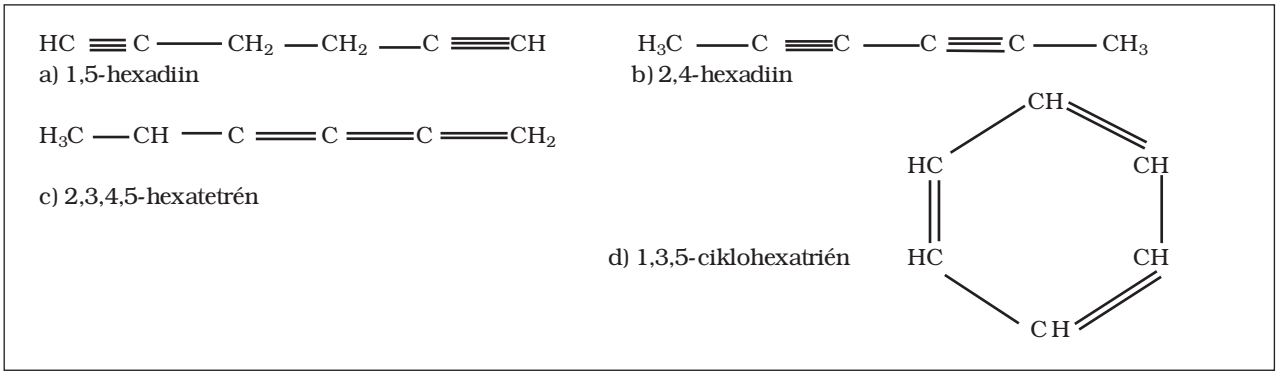
←XII.3.4.1; 3.3.2

3.5.2 A benzol szerkezete

A legegyszerűbb aromás vegyületet, a **benzol**t Faraday fedezte fel 1825-ben. Színtelen, kellemetlen szagú, vízben alig oldódó folyadék, melynek összegképlete: C_6H_6. Milyen lehet a szerkezete? A szerves kémia „hőskorának" nagy alakjai közül a német Kekulé foglalkozott legalaposabban a kérdéssel. Az alábbiakban fölidézzük gondolatmenetét és a bizonyítás módját. A sok lehetséges (C_6H_6 összegképletű) konstitúciós izomer közül kell kiválasztani az egyetlen igazi benzol-képletet.

BENZOL

← összegképlet és szerkezeti képlet IX.2.3.3



29. ábra. ***Néhány példa C_6H_6 összegképletű vegyületekre:***

A sok lehetőség közül a d) változat volt a legkedvesebb Kekulé számára, állítólag egymásba kapaszkodó majmok képében álmodta meg. Persze, egy hihető álom még nem bizonyítás.

→ Loewi álma: XVIII.3.1

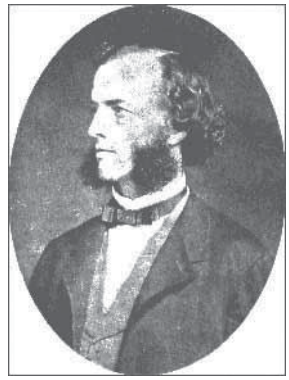
A bizonyítás menete:

a) Föltesszük egy lehetséges izomerről, hogy az a benzol.
b) Levezetjük, hogy ebben az esetben egy kiválasztott reakcióban milyen termékek *keletkeznének* belőle.
c) Összevetjük ezt a valóságos tapasztalattal.
d) Ha e kettő nem egyezik, a premisszát (a föltételezett képletet) elvetjük. Szerencsés esetben ezzel a módszerrel addig szűkíthetjük a szóba jöhető változatok körét, míg végül csak egy marad – a keresett képlet.

← indirekt bizonyítás III.11.4.2

Mivel a benzol hajlamos volt a szubsztitúciós reakciókra, könnyű volt egy H-jét pl. Br-ra cserélni: $C_6H_6 + Br_2 = C_6H_5Br + HBr$.
A tapasztalatok szerint csak egyféle bróm-benzol keletkezett.

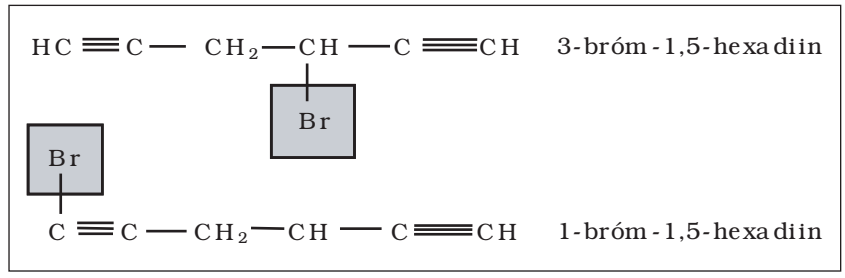




30. ábra. ***a) Kekulé álmának illusztrációja***
A majmocskák a szénatomok, karjaik és farkaik a vegyértékek

b) Friedrich Kekulé (1829–1896) német vegyész
A neves német kémikus, J. von Liebig tanítványa. A vegyértékelmélet egyik kidolgozója, az aromás vegyületek szerkezetének kutatója.

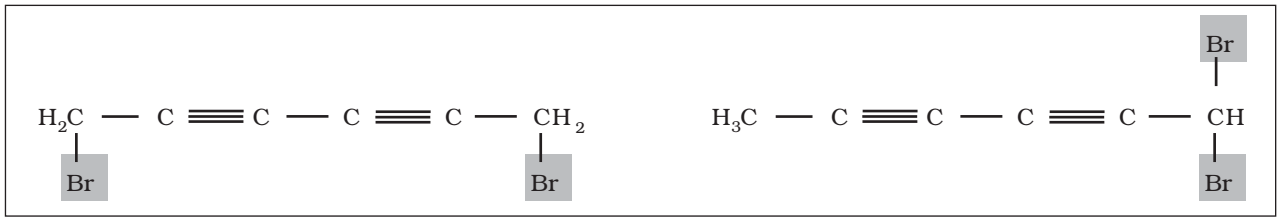
Ennek alapján elvethető pl. az a) változat (1,5-hexadiin), hiszen abból kétféle termék keletkezne:



31. ábra.

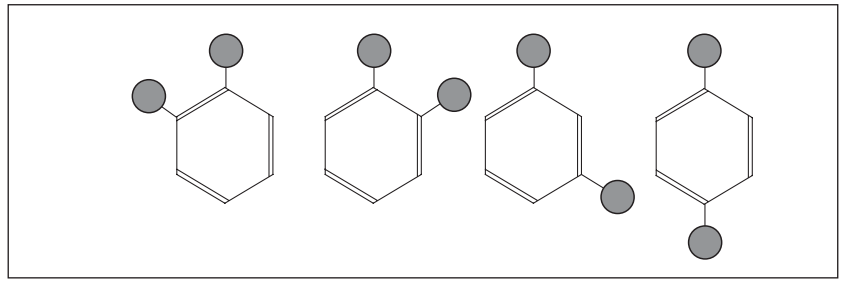
„Versenyben maradtak” a szimmetrikus változatok, például a 2,4 hexadiin és a ciklohexatrién is. Mi történne, ha e vegyületekben két, tetszés szerinti hidrogént cserélnénk ki Br-ra? A 2,4 hexadiinből kétféle termék keletkezhetne:

32. ábra.



A ciklohexatriénből ellenben négyféle is:

33. ábra. ***A ciklohexatrién várható négyféle dibróm-származéka***

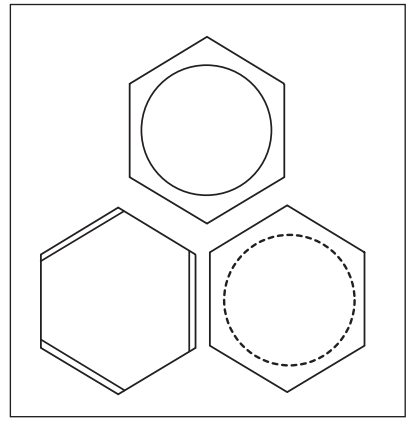


A tényleges tapasztalat meglepő volt: *háromféle* izomer keletkezett. Ennek alapján biztonsággal ki lehetett ugyan zárni a gyűrűs változat minden „riválisát", azonban a Kekulé-képlet sem felelt meg a tényeknek, hiszen egy izomerrel többet jósolt a ténylegesnél. Ha – újabb kísérletként – két *szomszédos* hidrogént cseréltek ki Br-ra, úgy a várt kétféle izomér helyett csak egyféle keletkezett. Tehát a benzol még a Kekulé-képletnél is szimmetrikusabb, **nem különböztethetők meg benne az egyszeres és a kettős kötések**!

→ a delokalizáció mai magyarázata XXII.

← a delokalizáció a fémekben XI.4.6.1; 4.5.4

Hogy a négy vegyértékű szénről szóló elméletet fenntarthassa, Kekulé a következő javaslattal állt elő (1865): képzeljük el a benzolt úgy, hogy abban az egyszeres és kétszeres kötések folyamatosan és nagyon gyorsan átrendeződnek, s így „átlagosan másfélszeres" kötőerőt képviselnek. Úgy is fogalmazhatunk, hogy Kekulé magyarázata szerint a 3 π-kötés 6 atom erőterében egyenletesen oszlik el, mintegy **delokalizálódik**. (locus = hely, delokalizált = helyhez nem kötött). Ez az elképzelés furcsa volt (mitől ugrálnának a kötések?), ám a tapasztalatokat jól magyarázta.



34. ábra. ***A benzol szokásos jelölései***

A gyakorlatban ma is sokszor a Kekulé-képletet használják, tudva és elfogadva, hogy az a valóságnak nem pontos mása. Az is gyakori, hogy a kötések teljesen szimmetrikus, egyenletes eloszlását jelképezendő, kört rajzolnak a hatszög közepébe. Ez utóbbi jelölésmód azért is hasznos, mert jól kifejezi, hogy a szénhidrogének önálló, mind a telítettektől, mind a telítetlenektől eltérő felépítésű csoportjáról van szó. Kimutatható, hogy mindegyikben közös szerkezeti elv a (Kekulé-képletben ábrázolt) *egyszeres és kettős kötések szabályos váltakozása egy vagy több gyűrűn belül, s az, hogy a π-kötések kettőnél több atomhoz köthetők, delokalizáltak.*

3.5.3 A stabilitás magyarázata

A benzol – és a hozzá hasonló aromás szénhidrogének – közös sajátossága, hogy *szubsztitúcióra és addícióra is hajlamosak,* ez utóbbi azonban sokkal nehezebben megy végbe, mint a telítetlenek esetén. E tulajdonságok közös magyarázatául feltételezhető, hogy az *aromás kötésrendszer energetikailag meglehetősen kedvező, metastabil állapotot jelent*. Megbontása tehát lehetséges, sőt a folyamat energiatermelő, azonban nagy aktiválási energiát igényel. Szubsztitúció során az aromás kötésrendszer nem sérül, így a reakció könnyen végbemehet. Addíció során azonban felbomlik a delokalizált rendszer, hiszen a három π-kötés közül legalább egy megszűnik.

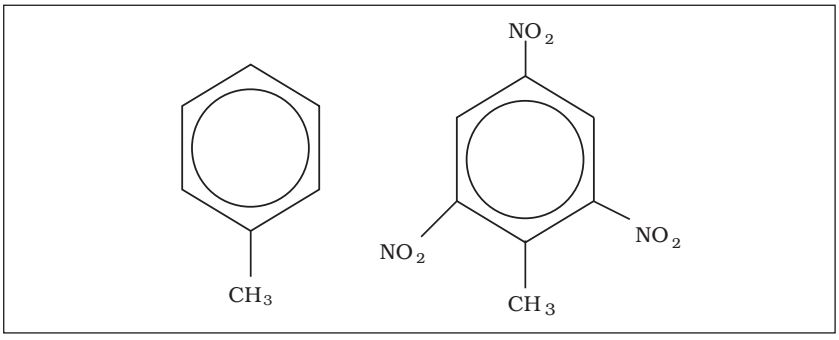
← metastabil állapot VI.9.5

← XII.3.4.1

3.5.4 A benzol származékai

A benzolból nyerhető termékek egyike a metil-benzol vagy **toluol.** Ugyancsak régóta ismert a dimetil-benzol (xilol) három változata is. A tolouolból tömény salétromsav hatására nagyhatású robbanószer: trinitro-toluol (TNT) nyerhető.

TULOUL, XILOL, TNT

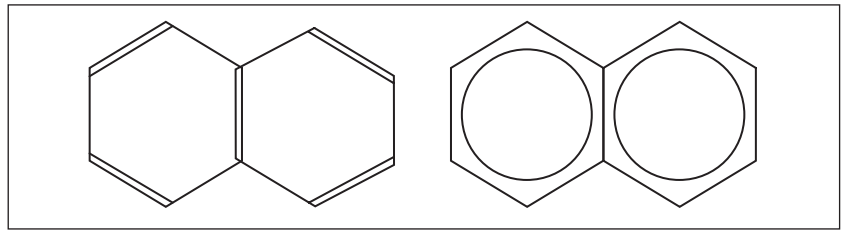


35. ábra. ***A toluol és a trinitro-toluol (TNT) szerkezete***

NAFTALIN

→ biológiai hatásuk XXIII.

A benzolhoz hasonló szerkezet és tulajdonság több aromás gyűrű „összeolvasztásából" is nyerhető. A legegyszerűbb ilyen vegyület a **naftalin** ($C_{10}H_8$). Kimutatható, hogy a Kekulé-képlet ebben az esetben sem írja le pontosan a valóságot. Hasonlóan a benzolhoz, a naftalinban is delokalizált kötésrendszert kell feltételeznünk, csakhogy a delokalizáció ez esetben már 10 szénatomra terjed ki.



36. ábra. ***A naftalin szerkezeti képlete Kekulé szerint*** és a valós helyzetet jobban kifejező rajz (jobbra).

A naftalin fehér színű, könnyen párolgó, kristályos anyag. Molyirtóként közismert, de vegyipari szerepe is jelentős.

Summa (3.5)

Az aromás szénhidrogének jellemző reakcióik révén mind a telített, mind a telítetlen szénhidrogénektől eltérnek. Szubsztitúcióra is, addícióra is hajlamosak, addíciójuk azonban nehezen indítható el.

Legegyszerűbb képviselőjük a benzol (C_6H_6). Szerkezetének kiderítése során (Kekulé) az indirekt bizonyítást alkalmazták. Elsőként azokat az izomereket zárták ki, amelyeknek többféle monoklór-származékuk volt (csak egyféle klór-benzol van), második lépésben azokat, amelyeknek nem három diklór-származékuk van. Ugyan a benzol Kekulé-féle képlete (a ciklohexatrién) sem teljesíti ezt a feltételt (4 diklór-származéka lenne), Kekulé azonban feltételezte az egyszeres és a kettős kötések állandó, gyors egymásba-alakulását. Így delokalizált (helyhez nem kötött) kötésrendszer jön létre: ez az aromás vegyületek jellemzője. Az aromás kötésrendszer stabilizációs energiája a hidrogénezési hők összevetéséből számszerűen is megadható.

A szubsztitúciós reakciók során nem sérül, addíció során azonban felbomlik ez a kedvező állapot.

Ismert aromás vegyületek a toluol, a xilol és a kétgyűrűs naftalin.

Kérdések, problémák (3.5)

1. Rajzoljunk föl minél több C_6H_6 összegképletű izomert! Vannak-e ezek között olyanok, amelyeknek csak egy monoklór-származéka van (miként a benzolnak)? Ez utóbbiaknak hányféle diklór-származékuk képzelhető el?

2. A xilol (dimetil-benzol) háromféle változata fizikai úton (pl. forráspont-különbség alapján) könnyen elválasztható egymástól. Tegyük fel, hogy kezünkben a három különböző xilolt tartalmazó edény, és nem tudjuk: melyik melyik? Hogyan lehetne szubsztitúciós reakciókkal – a benzolhoz hasonlóan – a termékek számából eldönteni a kérdést?

3. Vessük össze a benzol helyes szerkezeti képletének kiválasztása során alkalmazott indirekt bizonyítási módszert az arisztotelészi következtetések logikájával! Milyen hasonlóságokat és különbségeket fedezhetünk fel?

4. Hányféle monoklór- illetve diklór-naftalin létezhetne, ha a Kekulé-képlet pontos volna? Hányféle terméket várunk, ha elfogadjuk az aromás (delokalizált) elektroneloszlást?

5. A benzol részleges hidrogénezésekor 1,3-ciklohexadién keletkezik. Hogyan lehet igazolni, hogy ebben a vegyületben megszűnt-e a delokalizált kötésrendszer vagy sem?

6. A polisztirol nevű polimer-műanyagot a sztirol (vinil-benzol) nevű aromás vegyületből gyártják. Ebben a benzol egy hidrogénatomját két szénatomos, telítetlen $-CH = CH_2$ csoport helyettesíti. Írjuk fel a keletkezés egyenletét, a sztirol képletét!

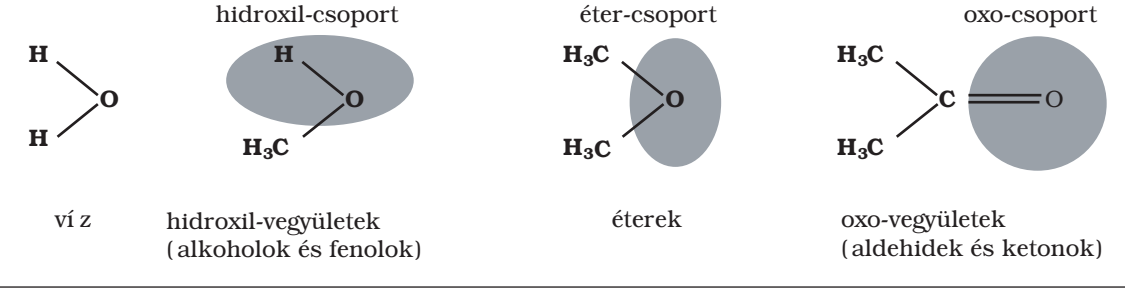
4. Egyszerű oxigéntartalmú vegyületek

4.1 A funkciós csoportok

4.1.1 Elnevezések

Az egyetlen oxigénatom részvételével elképzelhető funkciós csoportok legegyszerűbben a *vízből* vezethetők le. Eszerint a víz egy vagy több hidrogénjét alkilcsoportokra cserélve hidroxi-vegyületeket, illetve étereket kapunk, ha pedig az oxigén mindkét vegyértékével ugyanahhoz a szénatomhoz kapcsolódnak, oxo-vegyületek keletkeznek.

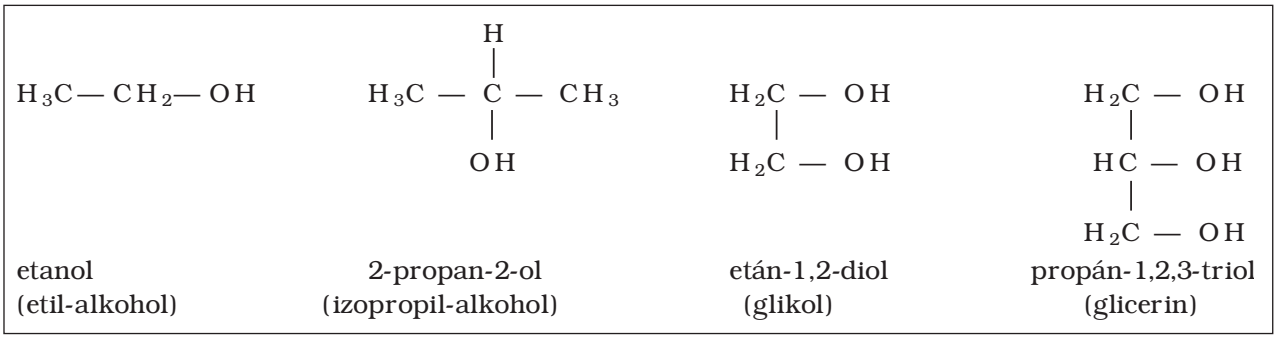
← XII.3.1.2



37. ábra. ***Egyetlen oxigénatom lehetséges helyzetei különböző funkciós csoportokban***

A hidroxi-vegyületek egyik csoportjában, a **fenolok**ban a hidroxil-csoport aromás gyűrűhöz kapcsolódik. Másik csoportjuk az **alkoholok.** Ezek szabályos nevét az alapszénhidrogén nevéhez kapcsolt -ol végződéssel képzik. Ha a funkciós csoport helyzetét is jelölni kell, akkor azt az utótag elé írjuk. Az alapláncot számozását a hidroxilcsoporthoz közelebbi láncvégen kell kezdeni. Néhány közismert alkohol esetében elterjedtek a hagyományos elnevezések is.

A csak egyetlen hidroxilcsoportot tartalmazó alkoholokat egyértékűeknek, a többet tartalmazókat többértékűeknek nevezik. Általánosságban: *egy vegyület értékűsége a molekulában lévő azonos funkciós csoportok számát jelenti.* Többértékű alkoholok esetében a szabályos név feltünteti a hidroxilcsoportok számát és helyzetét is.



38. ábra. ***Példák egy-, két- és háromértékű alkoholok elnevezésére (zárójelben a hagyományos nevek)***

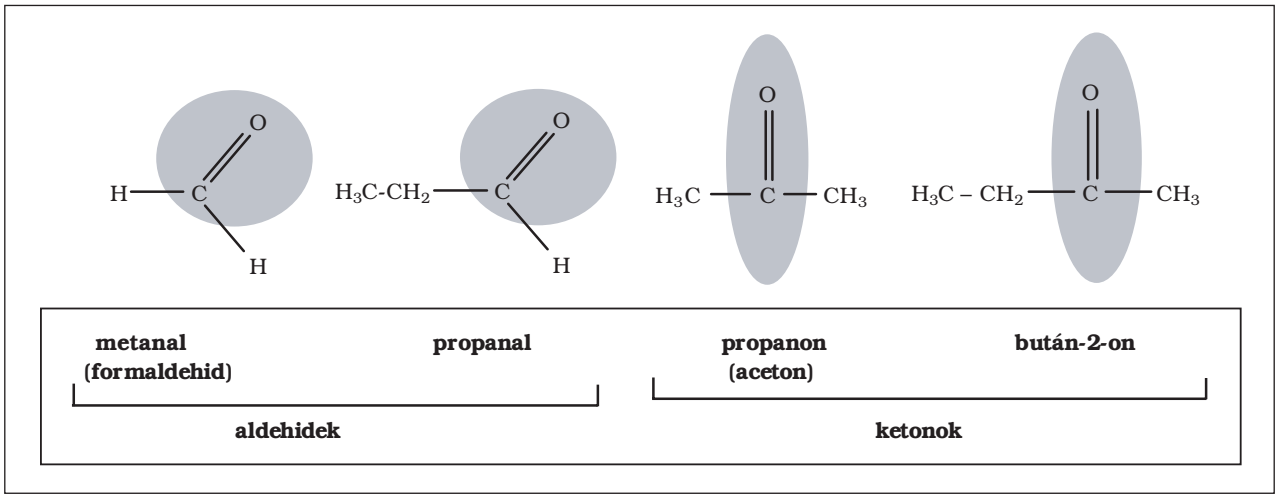
Az egyszerűbb **éterek** elnevezése: az oxigénatomhoz kapcsolódó két szénhidrogéncsoport neve után az éter szó kerül. Például: $H_3C — O — CH_2—CH_3$ = metil-etil-éter. Étercsoport lehet gyűrű tagja is. Bonyolultabb éterek neve általában hagyományos, illetve nem ezen logika szerinti.

Az oxovegyületeket két csoportra oszthatjuk aszerint, hogy a kettős kötésű oxigénatom – az oxocsoport – láncvégi vagy láncközti szénatomhoz kapcsolódik. A láncvégi szénatomhoz kapcsolódó oxocsoportot tartalmazó vegyületek az **aldehidek**, **ketonok** pedig azok, amelyekben az oxocsoport láncközti vagy gyűrűbe tartozó szénatomhoz kapcsolódik. Az aldehidek

ALDEHIDEK
KETONOK

jellegzetessége, hogy egyazon szénatomhoz oxocsoport és hidrogénatom is kapcsolódik (ez az ún. formilcsoport). Mivel a formilcsoport jellemző a legegyszerűbb oxovegyületre is, ez is aldehid (formaldehid vagy metanal). Az oxovegyületek szabályos neve is az alapszénhidrogénből képezhető: az aldehidek esetében *-al*, a ketonok esetében pedig *-on* végződést kap. Az aldehidek nevében nem kell számot használni, mert a számozás mindig az oxocsoportot tartalmazó szénatommal kezdődik. A ketonok nevében – ha hosszabb a lánc – számmal adható meg az oxocsoport helyzete.

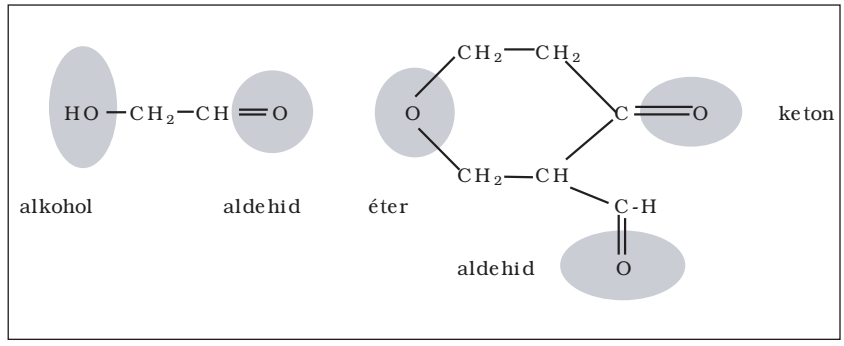
39. ábra
***Példák aldehidek és ketonok elnevezésére.* Szürke háttér jelzi az oxo-csoportot**



4.1.2 Összetett funkciós csoportok

TÖBB „ÖNÁLLÓ" FUNKCIÓS CSOPORT

Ha egy molekulában az oxigéntartalmú funkciós csoportok különböző szénatomokhoz kapcsolódnak, akkor feltehető – és igazolható is – hogy általában nem gyakorolnak egymásra számottevő hatást. Ugyanolyan sajátságokat kölcsönöznek a vegyületnek, mintha külön-külön volnának jelen.



40. ábra. ***Példák különböző funkciós csoportokat tartalmazó molekulákra. E vegyületek mindegyik funkciós csoportjukra jellemző reakciókat mutatják***

CSOPORTOK KÖLCSÖNHATÁSA

→ összetett csoportok kölcsönhatása XII.4.2.4

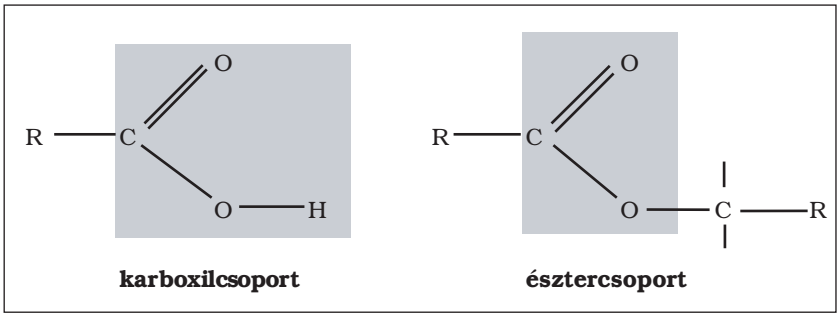
Abban az esetben viszont, ha két különböző egyszerű funkciós csoport azonos szénatomhoz kapcsolódik, olyan új sajátosságok lépnek fel, amelyek külön-külön egyik alkotórészre sem jellemzők. Ezért az ilyen molekularészleteket célszerűen egyetlen egységnek: **összetett funkciós csoportnak** tekintjük.

KARBOXILCSOPORT

Az azonos szénatomhoz kapcsolódó oxo- és hidroxilcsoportból felépülő összetett funkciós csoport a **karboxilcsoport**, az azonos szénatomhoz

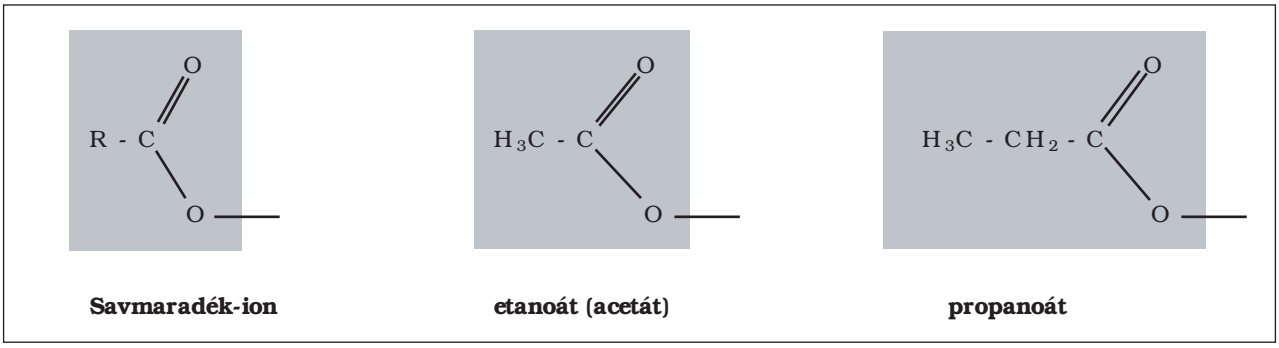
kapcsolódó oxo- és étercsoportból felépülő pedig az **észtercsoport**. Előbbi a karbonsavak, utóbbi a karbonsav-észterek jellemző funkciós csoportja.

ÉSZTERCSOPORT
→ fontosabb észterek XII.4.3.4



41. ábra. ***Összetett oxigéntartalmú funkciós csoportok (szürkével jelölve). Az R tetszőleges alkil-csoportot vagy hidrogént jelöl***

Egy karbonsavmolekulán belül nemcsak a karboxilcsoportot emelhetjük ki, hanem az ún. savmaradék-iont is. Ez a karbonsavból keletkezik, ha a karboxilcsoportból kilép egy hidrogén-ion (proton). A savmaradék-ion az *-át,* illetve *-oát* végződést kapja.

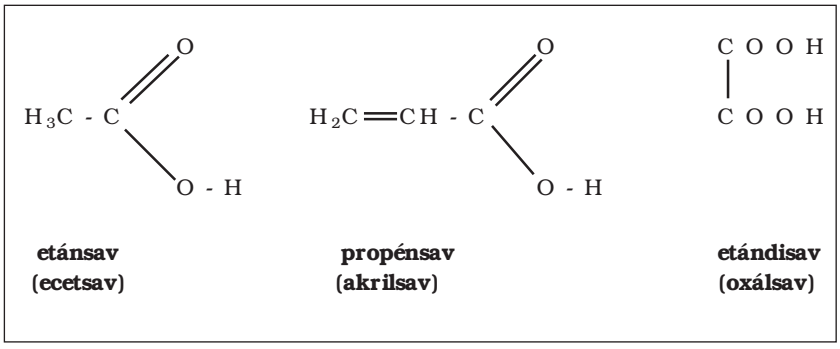


42. ábra. ***Példák a savmaradék-ionok elnevezésére***

4.1.4 Elnevezésük

A karbonsavak elnevezése: az alapszénhidrogén neve után a -sav végződést illesztjük. (Az alapszénhidrogénbe a karboxilcsoport szénatomja is beleszámít. A számozás mindig itt kezdődik.) Széles körben elterjedtek azonban a hagyományos elnevezések is. Két- és többértékű karbonsavak is ismeretesek. Néhány példát mutat az ábra.

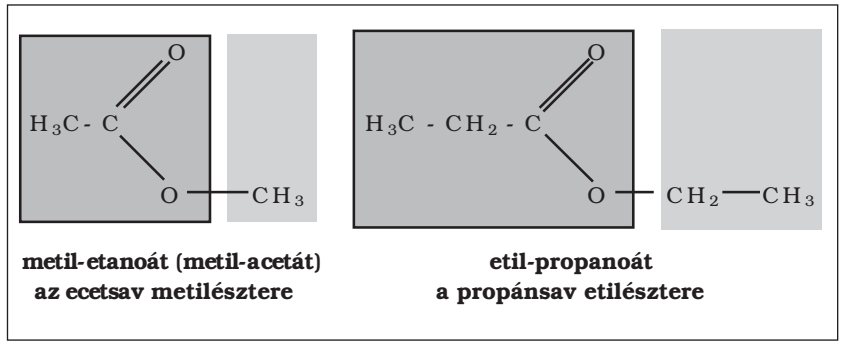
→ fontosabb karbonsavak XII.4.3.3



43. ábra. ***Példák karbonsavak elnevezésére (zárójelben a hagyományos nevek)***

Az észterek szabályos elnevezése az észtereket karbonsav-származékoknak tekinti. Ha a karboxilcsoport hidrogénjét szénhidrogén-csoport-

tal helyettesítjük, olyan vegyületet kapunk, amelyben az alkilcsoport egy savmaradékhoz kapcsolódik. Hagyományos elnevezésként elterjedt az is, hogy megadják: mely karbonsav savmaradékához kapcsolódik az alkilcsoport, s egyszerűen az utána írt „észter" szócskával jelzik a vegyület típusát.



44. ábra. ***Példák észterek elnevezésére***

Summa (4.)

Egyetlen oxigénatomot tartalmazó funkciós csoportok: hidroxil (-OH), éter (R – O – R) és oxo (CO).

Több funkciós csoport egyetlen molekulán belül megőrizheti önállóságát, ha más-más szénatomokon vannak. Azonos szénatomhoz kötődve azonban sajátos tulajdonságú új egységet: összetett funkciós csoportot hoznak létre. Két oxigénatom esetén ilyenek lehetnek: a karboxil (-COOH) és az észtercsoport (-C OO – R).

Kérdések, problémák (4.)

1. Hányféle C_2H_5O összegképletű vegyület létezhet? Mely vegyületcsoportokba tartoznak?

2. Mi a következő vegyületek szerkezeti képlete?
   a) 2-metil-2-butanol b) 2,2-dimetil-1-propanol c) 2-propén-1-ol

3. Hányféle négyszénatomos, telített alkohol-izomer létezik?

4. Milyen $C_5H_{12}O$ összegképletű alkoholok (8 izomer) és éterek (6 izomer) léteznek? Hogyan lehetne csoportosítani ezeket az alkoholokat?

5. Mi a szerkezeti képlete az alábbi karbonsavaknak illetve észtereknek?
   a) 2-metil-pentánsav b) 2,2-dimetil-propándisav
   c) 1,4-ciklohexándikarbonsav d) metil-metanoát
   e) etil-butanoát f) pentil-acetát (=etanoát)

6. Milyen izomer ötszénatomos telített karbonsavak létezhetnek? (Négy izomer.).

7. Milyen $C_4H_8O_2$ illetve $C_5H_{10}O_2$ összegképletű észterek létezhetnek? (Négy illetve kilenc izomer.).

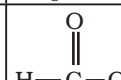
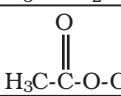
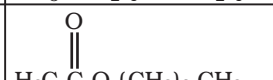
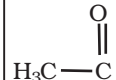
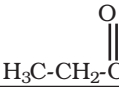
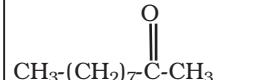
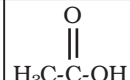
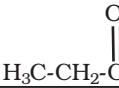
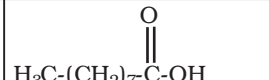
4.2 A funkciós csoportok hatásai

4.2.1 Fizikai tulajdonságok

SZERKEZET ÉS TULAJDONSÁG KAPCSOLATA

Egy vegyület fizikai állandói (forráspont, olvadáspont, oldhatóság) önmagukban nem sokat mondanak. Érdekes következtetések vonhatók le viszont az egymástól kisebb-nagyobb mértékben különböző szerkezetű vegyületek fizikai állandóinak összehasonlításából. Ezen a módon kapcsolat teremthető a molekulaszerkezet és a fizikai sajátságok között.

Egyszerűbb oxigéntartalmú szénvegyületek forráspontjai és oldhatóságuk vízben
Fp = forráspontok °C-ban, Sv = vízben való oldhatóság: 100 g vízben hány g anyag oldódik

Vegyülettípus	Képlet	fp	S_v	Képlet	Fp	S_v	Képlet	Fp
alkán	CH_3-CH_2-CH_2-CH_3	0	0	H_3C-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3	36	0	CH_3-$(CH_2)_9$-CH_3	195
éter	CH_3-O-CH_2-CH_3	8	15	H_3C-CH_2-O-CH_2-CH_3	35	8	CH_3-$(CH_2)_4$-O-$(CH_2)_4$-CH_3	188
észter		32	30		57	32		192
aldehid	H_3C-CH_2-CH=O	50	20	H_3C-CH_2-CH_2-CH=O	76	4	CH_3-$(CH_2)_8$-CH=O	208
keton		56	∞		80	37		209
alkohol	H_3C-CH_2-CH_2-OH	97	∞	H_3C-CH_2-CH_2-CH_2-OH	118	9	CH_3-$(CH_2)_8$-CH_2-OH	233
karbonsav		118	∞		141	∞		254
diol	HO-CH_2-CH_2-OH	198	∞	HO-CH_2-CH_2-CH_2-OH	214	∞	-	-

A forráspontok nagysága a molekulák közt ható másodlagos kötőerők nagyságától függ, ez utóbbira pedig a molekula polaritásából lehet következtetni. Az oxigén elektronegativitását (3,5) a szénével (2,5) és a hidrogénnel (2,1) összevetve megállapítható, hogy a C-H kötések apolárosak, a C-O és H-O kötések viszont polárosak. Az oxigén tehát parányi molekuláris dipólusokká teszi a molekulákat, így – az azonos tömegű szénhidrogénekhez képest – magasabb forráspontot kölcsönöz e vegyületeknek. A polaritás mértéke azonban erősen függ az oxigénatom(ok) helyzetétől.

← IX.3.2.5; XI.4.6.4

ELTÉRŐ POLARITÁSOK

Az **éterek** forráspontja nagyon közel áll a szénhidrogénekéhez. Ez érthető, ha figyelembe vesszük, hogy az oxigénatom két szénatom *között* van. Így két ellenétess irányba ható polarizáló hatása – mely a molekula tengelyével nagyjából párhuzamos – csaknem kioltja egymást. Ha az oxigénhez 180°-os szögben kapcsolódna a két szomszédos alkilcsoport, egyáltalán nem várhatnánk különbséget a szénhidrogének és az éterek forráspontja között. Éppen a csekély, de létező emelkedésből lehet arra következtetni, hogy a C-O-C kötésszög kisebb 180°-nál, a molekula e ponton (is) „megtörik".

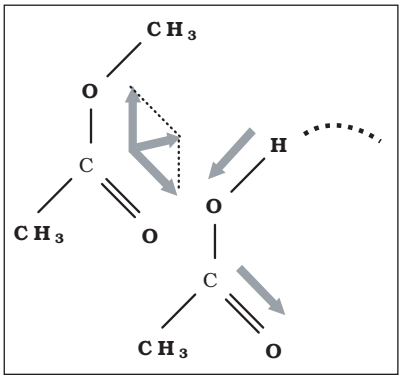
→ mai magyarázata XXII.

Az **oxo-vegyületek** magasabb forráspontját dipólus jellegük magyarázza.

Az **alkoholok** forráspontja – molekulatömegükhöz képest – feltűnően magas. Mivel poláros kötésű hidrogént tartalmaznak, képesek hidrogén-híd létesítésére. Két hidrogén-híd erősebb kapcsolat, mint egy: ez az oka, hogy a diolok forráspontja magasabb, mint az egyértékű alkoholoké.

← H-híd XI.4.4.2; 4.6.3

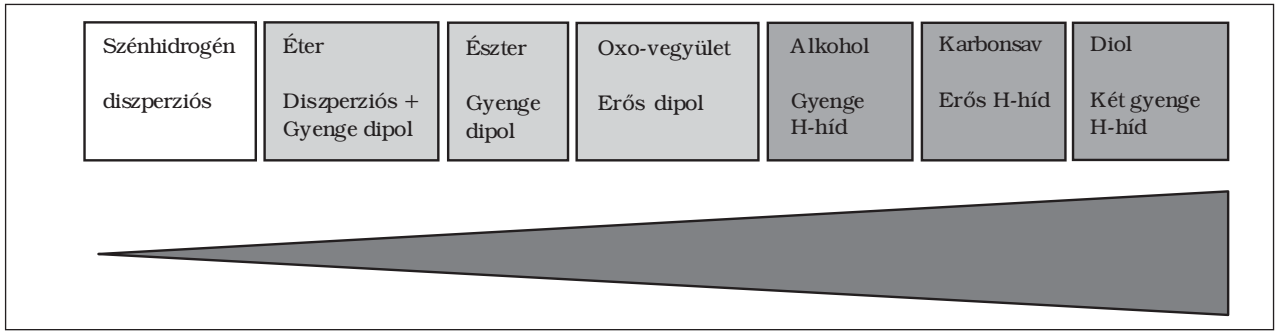
A több oxigénatomot tartalmazó összetett csoportok tulajdonságai is az oxigén- és hidrogénatomok helyzetének figyelembevételével magyarázhatóak. Az **észterekben** nincs olyan hidrogénatom, mely oxigénhez kapcsolódna, ezért hidrogén-híd nem alakulhat ki. A molekula poláros ugyan, de gyengén. Ennek oka az, hogy az észtercsoportban az oxo-részlet polarizáló hatását *lerontja* az éter-rész vonzóereje. A közös szénatom elektronjait ebben az esetben két oxigén vonzza – így mindegyik-



45 . ábra. ***Észterek és karbonsavak polaritása***
A szürke nyilak az oxigénatomok polarizáló hatását jelzik. A szaggatott vonal a karbonsavak közt kialakuló hidrogénhidat mutatja.

nek „kevesebb jut". Más következményekkel jár, ha a két oxigénatom a **karboxilcsoportra** jellemző elrendeződésben vesz részt. Ebben az esetben – az alkoholokhoz hasonlóan – lehetőség van hidrogén-híd kiépülésére is. A hidrogén-híd pedig annál erősebb, minél inkább poláros kötéssel kapcsolódik az adott hidrogénatom. A másik oxigénatom – az oxo-rész – polarizáló hatása a karoxil-csoportban *erősíti* az -O-H kötés polaritását. Az hidroxil-rész oxigénje számára ugyanis – elektronigénye kielégítése céljából – két lehetőség kínálkozik: a szén illetve a hidrogénatom. A szénatom elektronjaira azonban „igényt tart" az oxo-rész oxigénje is (számára ez az egyedüli elektronforrás), így a hidroxil-rész oxigénje csaknem teljes elektronigényét a hidrogénről biztosítja: az -O-H kötés még erősebben poláros lesz. (A karbonsav molekulák az erős hidrogén-híd miatt olyan szoros kapcsolatban állnak, hogy két molekulából álló egységeik – dimerjeik – még gázhalmazállapotukban is kimutathatóak.)

A forráspont magyarázatához hasonló gondolatmenet alkalmazható a vízben való oldhatóságra is. Minél polárosabb a molekula, annál könnyebben oldódik vízben. Különösen megkönnyíti az oldódást, ha a kérdéses molekula is képes hidrogén-híd létrehozására, így mintegy beépülhet a víz hidrogén-híd kötéseinek rendszerébe. Figyelembe kell venni a molekula apoláros és poláros részeinek arányát is. Ha az apoláros rész nagy, a molekulán belüli egyetlen poláros csoport önmagában nem képes oldhatóvá tenni a vegyületet – amint azt pl. a butanol csekély oldhatósága bizonyítja.



46. ábra. ***A molekulák közti kötőerők típusa és nagysága az egyszerű oxigéntartalmú szerves molekulák körében***

4.2.2 Redoxi reakciók

← IX.1.4.2

← XI.4.6.2

AZ „ELEKTONGAZDASÁG" MÉRTÉKE

Az oxigéntartalmú szerves vegyületek jellemző és változatos módon vehetnek részt redoxi-reakciókban. Ezek értelmezéséhez sok esetben elegendő a Lavoisier-féle definíció is (oxidáció = oxigén-felvétel és/vagy hidrogénleadás). A mai – mélyebb és teljesebb – magyarázat azonban az elektronelméleten nyugszik. Ha a teljes vegyület helyett *a reagáló funkciós csoportban található szénatomra* irányítjuk figyelmünket, azt látjuk, hogy a környező oxigénatom(ok) számától és helyzetétől függően változatos módon alakulhat „elektrongazdagságuk". Minden olyan hatás, mely elektronban szegényíti a szénatom környezetét, az (az illető vegyület szempontjából) oxidáció, ami pedig gazdagítja, az redukció.

A legegyszerűbb oxidációs reakció – miként a szénhidrogének esetében – itt is az égés. Ha ez tökéletes, szén-dioxid és víz keletkezik:

ERŐS ÉS GYÖNGE OXIDÁCIÓ

$$H_3C - OH + 1{,}5O_2 = 2H_2O + CO_2$$

$$H_2C = O + O_2 = H_2O + CO_2$$

$$H_3C - O - CH_3 + 3O_2 = 3H_2O + 2CO_2$$

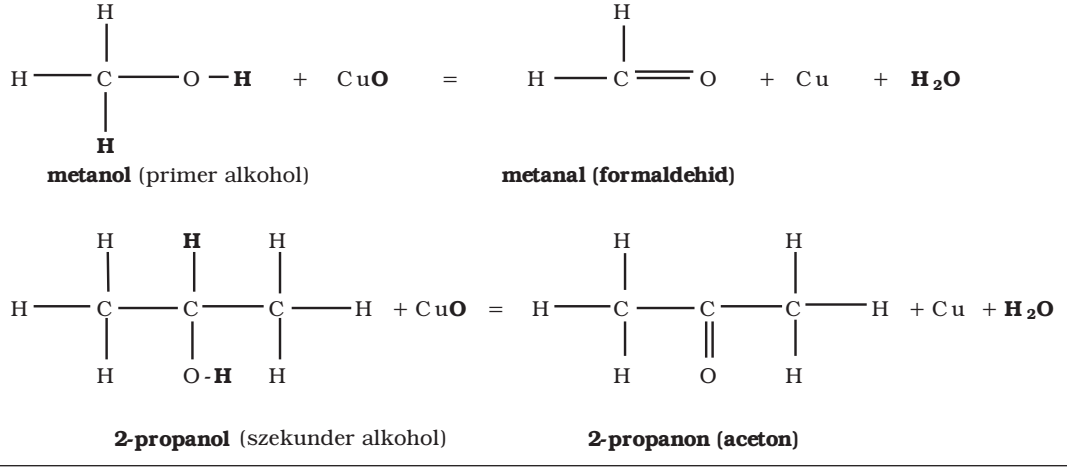
E reakciókat erős oxidációnak nevezhetjük, hiszen mindegyik esetben egy lépésben a szén legoxidáltabb formája: a szén-dioxid jött létre.

A gyönge oxidáció végterméke sohasem szén-dioxid, hanem egy másik oxigéntartalmú szerves molekula. Az egyszerű oxigéntartalmú szerves mo-

lekulák éppen így: gyenge oxidációval illetve redukcióval alakíthatók át egymásba.

Kísérlet
Rézhuzalt lángban izzítva fekete színű réz(II)oxidos felületet kapunk. A még forró oxidált rézdarabkát metilalkoholba helyezve a huzal felszíne ismét fényes vörössé válik: a réz-oxid rézzé redukálódott. Egyidejűleg felismerhető a keletkező formaldehid jellegzetes, csípős szaga. Ha ugyanezt a kísérletet izopropil-alkohollal (2-propanollal) is elvégezzük, acetonszagot érezhetünk.

A tapasztalatok szerint nem túl erős oxidálószerekkel az alkoholok oxovegyületekké alakíthatók át. A reakciót hidrogénelvonással magyarázhatjuk (innen az aldehidek arab-latin eredetű neve is: *al*kohol *dehyd*rogentatus). Az eredmény attól függ, hogy a hidroxil-csoport láncvégi helyzetű volt-e (primer alkoholok) vagy láncközti (szekunder alkoholok). Előbbi esetben aldehid, utóbbiban keton lesz a végtermék. A reakciót tanulmányozva érthetővé válik az a tapasztalat is, hogy a hidroxilcsoportot láncelágazási pontban tartalmazó ún. tercier alkoholok ezen a módon nem oxidálhatók tovább.



47 . ábra. ***Primer és szekunder alkoholok gyenge oxidációja.*** Vastag betűkkel jelöltük a reakcióban szereplő hidrogén- és oxigénatomokat.

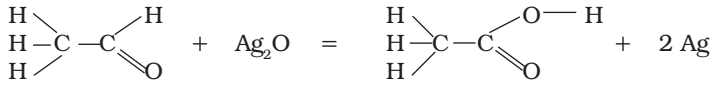
A keletkező aldehidek illetve ketonok az alkoholoknál oxidáltabb vegyületek. Az oxo-csoport oxigénje ugyanis teljes elektronigényét a hozzá kapcsolódó szénatomról elégíti ki, s ezáltal róla az elektronokat kissé maga felé húzza. Az alkoholok esetében viszont az oxigén elektronvonzó hatása megoszlik a szén és a hidrogénatom között így a szénatom környezete elektronban gazdagabb (redukáltabb) maradhat.

Kísérlet
Zsírtalanított kémcsőbe 1%-os $AgNO_3$ (ezüst-nitrát) oldatot öntve, majd ehhez 2 mólos NH_3-oldatot adva lúgos oldatot kapunk. (A kezdetben kiváló AgOH csapadék az ammónia fölöslegében feloldódik). Az így előállított oldathoz valamely aldehidet adva – esetleg némi melengetés hatására – a kémcső falára szép fényes ezüstréteg rakódik le (ezüsttükör-próba). A kísérlet ketonokkal (pl. acetonnal) végezve negatív eredményt ad.

→ fölhasználása a glükóz szerkezetének kimutatásában XII.7.1.1

EZÜSTTÜKÖR REAKCIÓ

Az aldehidek gyenge oxidálószerekkel könnyen tovább oxidálhatók karbonsavakká. Ilyen oxidáló hatásúak pl. lúgos közegben az Ag^+-ionok. A (valójában bonyolultabb) reakciót egyszerűsítve úgy jelölhetjük, mintha az aldehid ezüst-oxiddal reagált volna:



Ketonok ezen a módon tovább nem oxidálhatók, hiszen a karboxilcsoport szénatomja csak lánc végén lehet (a szén nem lehet öt vegyértékű). A ketonok csak jóval erélyesebb oxidálószerekkel (pl. forró salétromsavval) oxidálhatók. Ez azonban már az eredeti C-C kötések valamelyikének felhasadásával jár együtt: a reakcióban az eredetinél kisebb szénatomszámú karbonsavak keletkeznek.

→ biológiai oxidáció lépései XIII.3.2

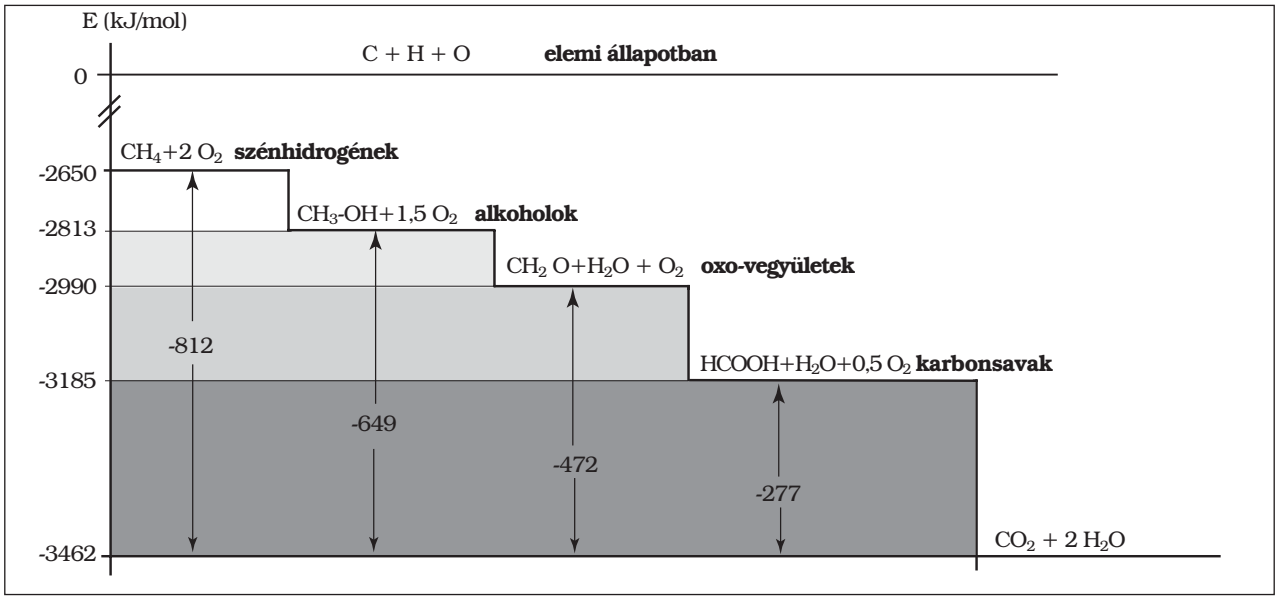
A karboxilcsoport szerkezetét vizsgálva belátható, hogy ez – a szénatom szempontjából – valóban oxidáltabb elektroneloszlást jelent, mint az oxovegyületekké. A szénatomról ugyanis két oxigén is maga felé vonzza az elektronokat, s közülük csak az egyik háríthatja át részlegesen elektron-igényét a hozzá kapcsolódó hidrogénre.

A „NAGY OXIDÁCIÓS LÉPCSŐ"

← IX.3.2

A tapasztalat szerint *az oxidációs folyamatok* energetikai szempontból *mindig hőtermelők* (exotermek), azaz ezek során kedvezőbb energetikai helyzetbe kerülnek a molekulák. Fordítva: *a redukció mindig energiaigényes* (endoterm). A reakcióhőket részben mérve, részben kiszámolva olyan redox-lépcsőt szerkeszthetünk meg, melynek „lépcsőfokai" az egyes, mind oxidáltabb molekulák, a lépcsőfokok közti távolság pedig a köztük levő energiakülönbségnek felel meg.

48. ábra. ***A „Nagy oxidációs lépcső"***



4.2.3 Sav-bázis reakciók

MIÉRT SAVASAK A KARBONSAVAK?

Megvizsgálva az egyszerű oxigéntartalmú vegyületek kémhatását, azt látjuk, hogy az minden esetben semleges, kivéve a karbonsavakat (és az itt nem részletezett fenolt). A karbonsavak közepesen erősek. Az ecetsav molekulái közül pl. 1 mol/dm^3 koncentrációjú oldatban a pH = 2, azaz kb. minden századik adja le protonját. Ugyanilyen körülmények között a HCl csaknem

100%-ban disszociált, az etanol 7-es pH-ja viszont azt jelzi, hogy az alkoholmolekulák közül csak minden tízmilliomodik (10^{-7} mol/dm^3) „vállalkozik" hidrogénion-leadásra. Miért adják le könnyebben protonjukat a karbonsavak, mint az alkoholok? A magyarázatot a karboxilcsoport belső elektroneloszlása adja. Jelen esetben azonban nem a szén, hanem a hidrogénatom szempontjából kell megvizsgálni az oxigének polarizáló hatását.

← pH XI.4.3.4

← XII.4.2.1

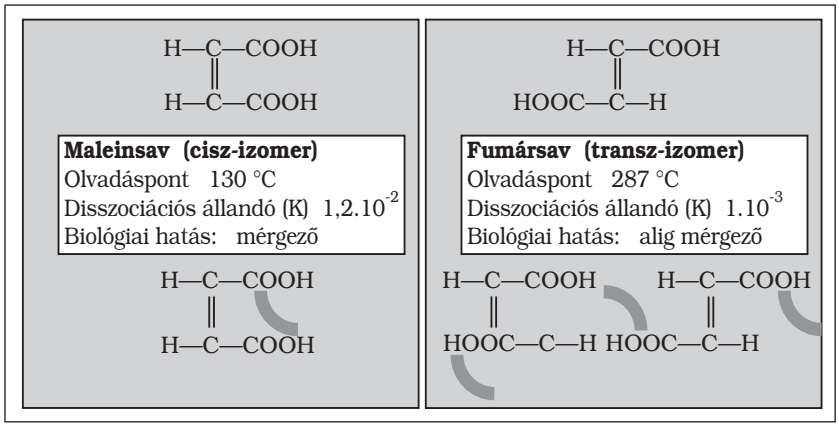
4.2.4 Funkciós csoportok kölcsönhatása

A kutatók – az elemzés megkönnyítése miatt – eredetileg feltételezték, hogy a funkciós csoportok tulajdonságaikat megőrző, állandó egységek, melyekből, mint mozaikkockákból rakható össze a molekula. Kezdettől sejthető volt azonban, hogy ez a kép nem pontos: a csoportok ugyanis egymáshoz viszonyított helyzetüktől és távolságuktól függően eltérő tulajdonságokat adhatnak a molekulának.

← analízis Descartes szerint VII.3.1.1

← funkciós csoportok: XII.3.1.2

A helyzettől való függésre példa a buténdisav két változatának: a maleinsavnak és a fumársavnak az összevetése. Ezek a telítetlen dikarbonsavak egymásnak cisz-transz izomerjei. Szerkezetüket és néhány tulajdonságukat az ábra mutatja.

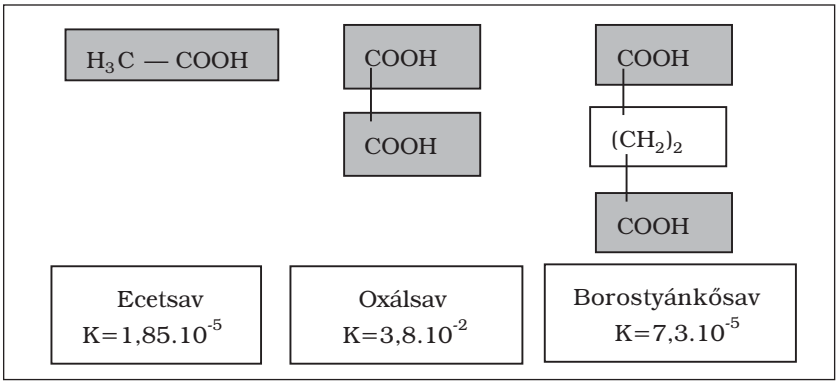


49. ábra. ***Szerkezet és tulajdonságok összefüggése két karbonsav példáján***

A szürke ívek a karboxilcsoportok közt kialakuló H-hidakat jelölik. A maleinsavnál ezek egy molekulán *belül,* a fumársavnál molekulák *között* alakulnak ki.

A két változat közti olvadáspont-különbség jól magyarázható azzal, hogy a maleinsav esetében a két karboxilcsoport egymás közelében rögzített helyzetű (a kettős kötés miatt nem lehetséges elfordulás), így a hidrogén-hidak egy része molekulán *belül*, a két funkciós csoport között jöhet létre. A transz változat esetében ez nem lehetséges, itt minden hidrogén-híd *különböző molekulák között (intermolekulárisan)* alakul ki, ami a molekulákat erősen összeköti, az olvadáspontot megemeli.

→ funkciós csoportok helyzetének hatása a fehérjék térszerkezetére XII.8.3.5



50. ábra. ***Karboxilcsoportok számának és távolságának hatása a savasságra (K= a sav disszociáció-állandója)***

A funkciós csoportok távolságának hatását az előző oldalon lévő három sav savasságának összevetése szemlélteti.

Mint az összevetésből látszik, a borostyánkősav kb. négyszer olyan erős sav, mint az ecetsav. Ez nem is meglepő, hiszen két karboxilcsoportot tartalmaz, két protont adhat le. Annál érdekesebb, hogy a szintén csak két karboxilcsoportot tartalmazó oxálsav több mint ezerszer erősebb sav az ecetsavnál! A magyarázat abban rejlik, hogy a két, egymáshoz kapcsolódó karboxilcsoport kölcsönösen polarizálja a másikat, így az -O-H kötések kiemelkedően polárosak lesznek. Egyik szénatom sem képes ugyanis elektronhiányát (legalább részben) a másikról pótolni, hiszen mindkét szénatom ugyanolyan helyzetben van. A borostyánkősav esetében viszont a két $-CH_2$ – csoport miatt a karboxilcsoportok olyan messze kerültek egymástól, hogy kölcsönhatásuk elhanyagolható, gyakorlatilag csakugyan úgy tekinthetők, mintha hatásuk külön-külön érvényesülne.

KÖLCSÖNÖS POLARIZÁCIÓ

Summa (4.2)

Az oxigéntartalmú szerves vegyületek fizikai és kémiai tulajdonságai egyaránt a molekulák polaritásának mértékével függenek össze. Minél polárosabb a molekula, annál erősebb a dipol-dipol kölcsönhatás, amihez még a hidrogén-híd is hozzájárulhat (ha hidrogén kapcsolódik poláros kötéssel).

A kémiai reakciók közül oxidációnak tekinthető minden hatás, mely a szénatomok környezetét elektronban elszegényíti. Így az alkohol – észter- oxo-vegyület – karbonsav – széndioxid+víz irányban nő az oxidáltság mértéke. Az oxigéntartalmú vegyületek egy része gyenge oxidációval illetve redukcióval átalakítható egymásba (primer alkohol – aldehid, szekunder alkohol – keton, aldehidek ezüsttükör-próbája). A vegyületek más részénél szerkezeti okok miatt a gyenge oxidáció nem lehetséges (tercier alkoholok, ketonok). Az oxidáció minden esetben energianyerő (exoterm), a redukció pedig energiaigényes (endoterm) folyamat.

A karbonsavak savasságát a poláros kötéssel kapcsolódó hidrogénatom magyarázza.

Több funkciós csoportot tartalmazó vegyületek esetében a csoportok – helyzetüktől és távolságuktól függően – eltérő kölcsönhatásban léphetnek egymással és a környezetükkel.

Feladatok, problémák (4.2)

1. Mely vegyületekhez tartoznak az itt felsorolt forráspontok: 77, 186, 102, 71, 103, 138 °C?
   a) pentán-1-ol b) pentánsav c) etil-acetát
   d) metil-butil-éter e) dietil-keton f) pentanal

2. Milyen oxovegyületek illetve karbonsavak keletkezhetnek az alábbi alkoholokból?
   a) bután-1-ol b) bután-2-ol c) 2-metil-propán-1-ol
   d) 2-metil-propán-2-ol e) cikloheaxanol f) tejsav (2-hidroxi-propánsav)

3. Milyen termékek keletkeznek az alábbi ketonok erélyes (salétromsavas) oxidációjának eredményeként?
   a) bután-2-on b) pentán-3-on c) aceton (2-propanon)

4. Milyen termékek keletkeznek az alábbi vegyületek (ha kell, erélyes) redukciójával?
   a) acetaldehid (etanal) b) butanon c) butanal
   d) ciklohexanon e) ecetsav f) 2-metil-propánsav

5. Öt kémcsőben az alábbi anyagok vannak: acetaldehid, 2-metil-propán-2-ol, aceton, ecetsav és 2-metil-propán-1-ol. Milyen módszerek kínálkoznak azonosításukra? Csoportosítsuk módszereinket aszerint, hogy fizikai vagy kémiai tulajdonságokra alapoznak!

6. Az oxigéntartalmú vegyületek oxidációs lépcsősorában nincsenek feltüntetve az éterek és az észterek. Kíséreljük meg oxidáltsági fokukat meghatározni, s így valamely szintet (vagy ahhoz közeli állapotot) kijelölni számukra!

7. Az oxidációs reakciók során felszabaduló energiát egy sor élőlény hasznosítja.
   a) Legföljebb mennyi energiát nyerhet egy etanolt ecetsavvá erjesztő ecetbaktérium 1 molnyi etanolból?
   b) Mennyi energiát nyerhet egy ecetbaktérium 1 molnyi etanal ecetsavvá erjesztésével?
   c) Mennyi energiához jutnak azok a baktériumok, amelyek etanol etanallá alakítanak át? Melyik baktérium számára szükséges oxigén ezen folyamatokhoz, s melyek anaerobok?

9. Az oxidációs energialépcső ismeretében meglepőnek látszik, hogy a metántermelő baktériumok oxigéntartalmú bomlástermékeket (pl. acetont, szerves savakat) szénhidrogénekké redukálnak. Ismerve életkörülményeiket: mi hasznuk lehet e folyamatból?

10. A ftálsavban a benzolgyűrű két szomszédos szénatomjához (1,2) kapcsolódik egy-egy karboxilcsoport, a tereftálsavban 1,4 helyzetűek a karboxilcsoportok. Előbbi vegyület olvadáspontja 213, utóbbié 309 °C. Mi a különbség magyarázata?

11. A tejsav (2-hidroxi-propánsav) erősebb sav a propánsavnál. Miért?

12. Mi jön létre a maleinsavból és mi a fumársavból, ha hidrogénezéssel telítjük a kettős kötést? Mit bizonyít ez a reakció?

4.3 Egyszerű oxigéntartalmú vegyületek környezetünkben

4.3.1 Alkoholok

Az alkohol – arab alkimistáktól eredő szó – finom gőzöket, kipárolgást, átvitt értelemben lelket, szellemet jelent (al-kohlu). Ugyanezt a latin a „spiritus" szóval fejezte ki, utalva egyben arra is, hogy az (etil)alkohol a „bor lelke" (spiritus vini). A kisebb szénatomszámú alkoholokat ősidők óta cukortartalmú levek **erjesztésével** állítják elő. Ezen a módon azonban legföljebb 15%-os vizes oldat állítható elő, mert a nagyobb koncentrációjú oldatban az alkoholt előállító élesztőgombák elpusztulnak. A töményebb szeszt a vizes oldat lepárlásával nyerik (konyak, pálinka). Ezen az úton legföljebb 96%-os oldat nyerhető, ugyanis az ilyen összetételű elegynek valamivel alacsonyabb a forráspontja, mint a tiszta szesznek.

← V.7.3

→ az erjedés lépései XIII.3.1

→ negatív visszacsatolás XVIII.1.2

METANOL

A kis szénatomszámú alkoholok közül a metanol (metilalkohol) erős méreg. Kis mennyisége is hidegrázást, görcsöket vált ki, tartós fogyasztása vakságot okoz, nagyobb mennyisége pedig halálos. Sok tragikus balesetet okozott már, hogy összekeverték az etanollal. Metanolt kis mennyiségben tartalmaznak a rossz minőségű (fejfájást okozó) házi borok, pálinkák is.

ETANOL

Az etanolt nevezik a mindennapokban alkoholnak. Élénkítő, szorongásoldó hatása miatt kedvelik, noha nagyobb koncentrációban szintén méreg (70%-os vizes oldatát éppen ezért lehet külsőleg fertőtlenítésre használni). A tartós alkoholfogyasztás elsősorban a májat, a bőrt és az idegrendszert károsítja. Az idült alkoholizmus alkoholhoz való kötődéssel, alkoholfüggőséggel járó betegség, mely szakszerű orvosi kezelést igényel.

→ függőség XVII.3.2; XVIII.3.4.1

← addíció XII.3.4.1

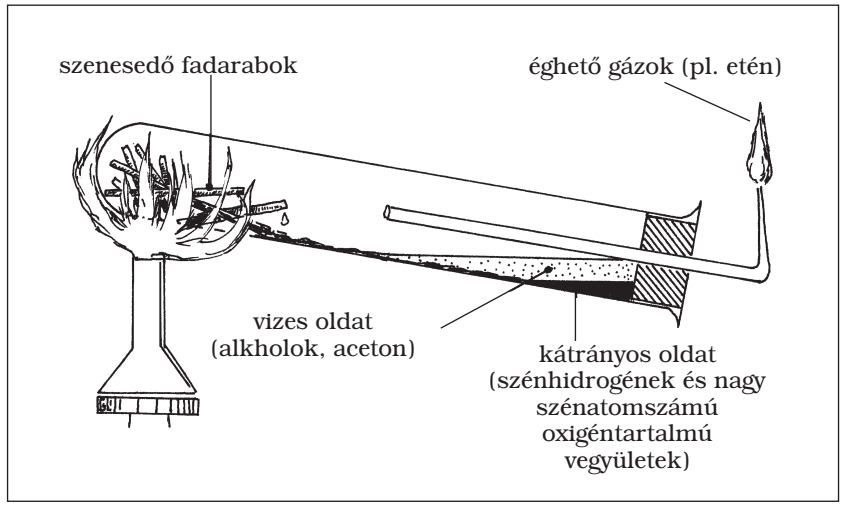
Etanolt nemcsak erjesztéssel állítanak elő, hanem – ipari célokra – **etén vízaddícójával** is:

$H_2C{=}CH_2 \;+\; H\text{-}O\text{-}H \;=\; H_3C{-}CH_2{-}OH.$

(A reakció valójában bonyolultabb lefolyású: az eténre első lépésben a katalizátorként alkalmazott 50%-os töménységű kénsav – H_2SO_4 – addicionálódik, majd az így keletkezett vegyület bomlik etanollá.)

DENATURÁLT SZESZ

Az ipari alkoholok – szennyezőanyag-maradványaik miatt – fogyasztásra alkalmatlanok. Hogy ezt biztosan elkerüljék, kellemetlen szagú anyagot, piridint kevernek hozzá. Ez a „denaturált szesz".



51. ábra. ***Fa ún. száraz lepárlása útján szénvegyületek egész sorát nyerhetjük, többek között alkoholokat is.***

GLIKOL

A többértékű alkoholok közül gyakorlati szempontból a **glikol** (etán-1,2-diol) és a glicerin (propán-1,2,3-triol) a legfontosabb. Mindkettő sűrűn folyó, édeskés, szirupszerű folyadék, amelyek vízzel kitűnően elegyednek. Mivel a vízmolekulákkal hidrogénkötéseket létesítő glikolmolekulák megakadályozzák a szabályos jégkristályok kialakulását, a glikol-víz elegy nagyon alacsony hőfokon fagy meg (a 60%-os oldat –60 °C-on). Ezért szoktak glikolt keverni autók hűtővizébe.

← oldatok fagyáspont-csökkenése XI.4.3

GLICERIN

A **glicerin** – szintén a kialakuló sok hidrogén-híd miatt – erősen nedvszívó (higroszkópos) anyag. Tiszta állapotban ezért kiszárítja a bőrt, a vizes oldatából készült krémek viszont éppen ellenkezőleg: megakadályozzák, hogy a bőr vizet veszítsen, s így gátolja a ráncosodást is („Hidratáló krémek").

4.3.2 Éterek és oxo-vegyületek

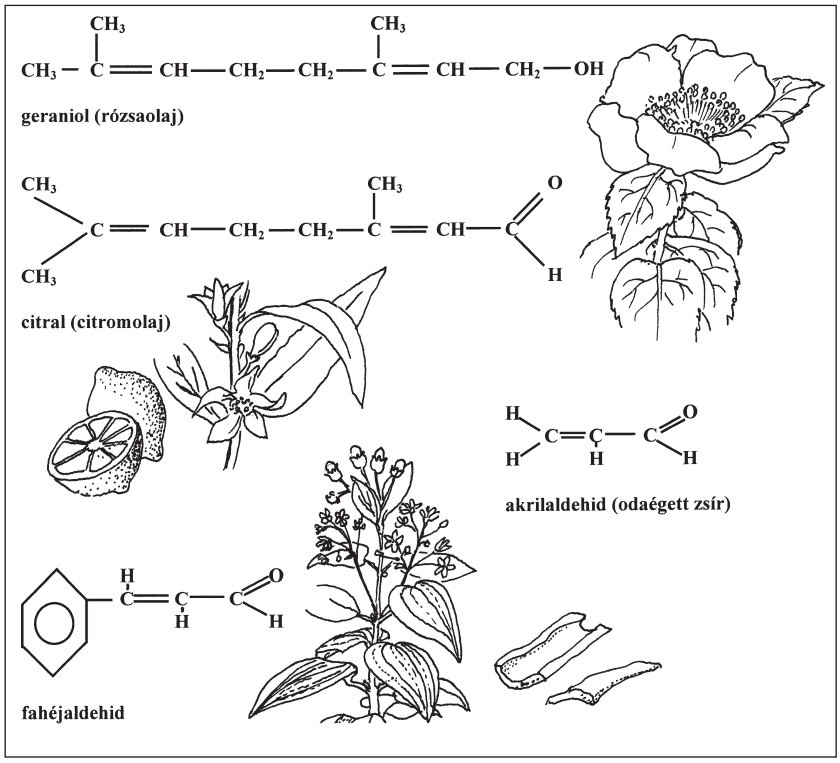
← az öt őselem III.9

Az éterek elnevezése az arisztotelészi ötödik őselemre, a bolygók közti teret kitöltő feltételezett könnyű anyagra utal. Nyilván a legismertebb éter, a könnyen párolgó dietil-éter tulajdonságai miatt érezte találónak első előállítójuk, a XVI. században élt Valerius Cordus ezt a név-analógiát. A leírások szerint Cordus etanolt tömény kénsavval melegített, s a keletkező gőzöket hűtőcső segítségével alakította folyadékká. Ma is ez az éterek előállításának egyik módja. A kénsav (H_2SO_4) vízelvonó szerként szerepel (130-140 °C-on). Két molekula alkoholból szakít ki 1 molekula vizet:

$H_3C - CH_2 - \mathbf{OH} + \mathbf{H}O - CH_2 - CH_3 \;=\; H_3C - CH_2 - O - CH_2 - CH_3 \;+\; \mathbf{H_2O}$

KONDENZÁCIÓ ÉS HIDROLÍZIS

Az ilyen típusú reakciókat, melyekben *két vagy több molekula vízkilépés mellett egyesül,* **kondenzációnak** nevezik. Ellentéte a **hirdrolízis**.



52. ábra. ***Néhány alkohol és oxo-vegyület előfordulása a természetben***
Az illatanyagok másik nagy csoportja a gyümölcsészterek közé tartozik, ld. XII.4.3.4

DIETIL-ÉTER

A **dietil-étert** régebben altatószerként használták az orvosi gyakorlatban. Káros mellékhatásai miatt ma már nem alkalmazzák erre a célra. Rendkívül tűz- és robbanásveszélyes anyag.

FORMALDEHID

A legegyszerűbb aldehid a **formaldehid** (metanal). Szúrós szagú gáz. A gyakorlatban 40%-os vizes oldatát, a formalint használják. Ez baktériumölő hatása miatt fertőtlenítésre és biológiai preparátumok tartósítására is alkalmas, legnagyobb mennyiségben azonban a műanyaggyártás használja fel kiindulási anyagként.

ACETON

A ketonok közül legismertebb az **aceton** (dimetil-keton). Szintén könnyen párolgó, jellegzetes illatú folyadék. Kitűnő szerves oldószer, ezért lakkok (pl. körömlakk), ragasztók oldására is használják. Festékek egyenletes eloszlatására alkalmas módszer, ha az acetonban oldott anyagot sűrített levegővel rápermetezik a befestendő felületre. Az aceton gyorsan elpárolog, a festék ott marad („dukkózás"). Gőzeinek belégzése az idegrendszert súlyosan károsítja, ezért veszélyes mint „pót-kábítószer" is („szipuzás").

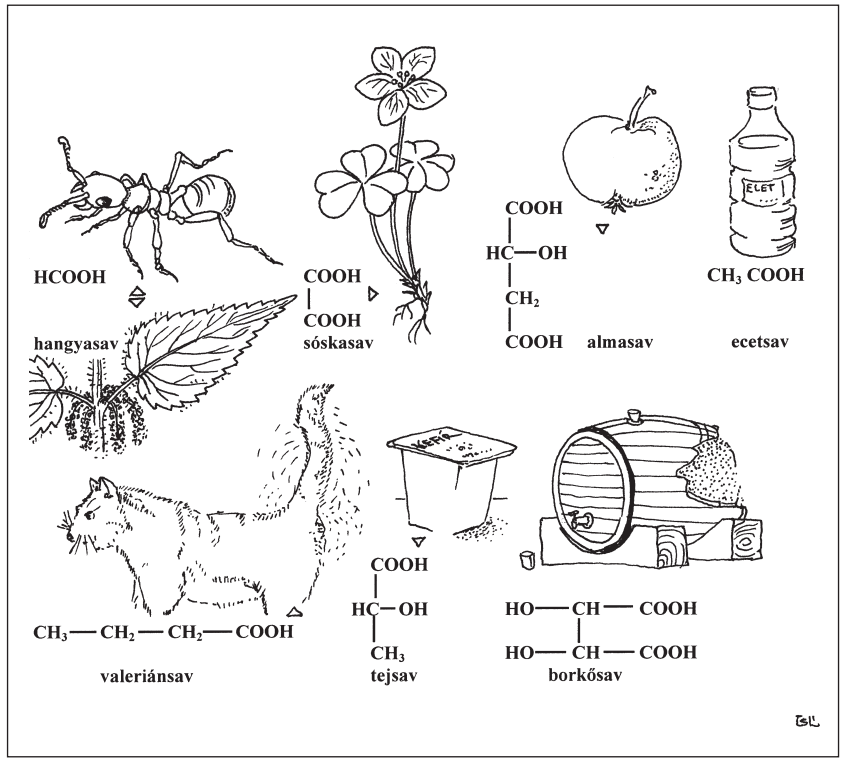
→ XVIII.3.1.6

A számtalan bonyolult felépítésű, gyakran biológiai szempontból fontos oxigéntartalmú vegyület közül néhányat az 52. ábra mutat be.

4.3.3 Karbonsavak

A karbonsavakat valójában régebben ismeri az ember, mint a szerkezetileg egyszerűbb vegyületeket, például a szénhidrogéneket. Ezt részben az magyarázza, hogy a XIX. század kémiai eszközeivel könnyen kivonhatók és elkülöníthetők voltak különféle növényi vagy állati nedvekből. Mivel ekkor még nem létezett egységesen elfogadott kémiai nevezéktan, e szerves savakat többnyire az eredetükre utaló névre keresztelték el. A gyakorlatban ma is inkább ezeket a hagyományos neveket használják a szabályos elnevezések helyett.

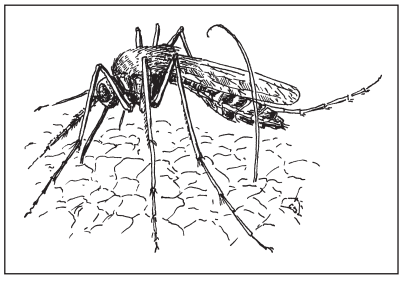
53. ábra. ***Néhány jellegzetes karbonsav előfordulása a természetben***



Ezek közül az almasav a Szent-Györgyi–Krebs ciklus egyik tagja (ld.: XIII.)

A tejsav az izmokban erjedés során és baktériumokban is keletkezhet, részleteit ld. a XII.6.2.2 fejezetben).

A borkősav kristályait vizsgálva fedezte föl Pasteur az optikai forgatóképesség okát (XII.6.2.1 fejezet).



54. ábra. ***Karbonsav-mintázatok***
A kutyáknak közismerten finom a szaglásuk. Meg tudják különböztetni az egyes karbonsavakat, sőt azok arányát is. Minden ember verejtékében egyedi, csak rá jellemző arányban fordulnak elő a 4-8 szénatomszámú karbonsavak. Ezek beivódnak zsebkendőjébe, ruhájába, sőt még a cipőtalpába is. Így a kutya a szagokból – akár a nyomozó az ujjlenyomatokból – azonosítani tudja a személyt. A fákon, fűszálakon várakozó kullancs viszont csak a vajsavra (butánsavra) reagál. Ha ezt érzi, elengedi az ágat, s ha szerencséje van, éppen egy gazdaállatra hull. Az ábrán látható gyötrő szúnyog is így ismeri fel gazdaszervezetét.

Az egyértékű karbonsavak közül legegyszerűbb – s egyben legerősebb – a **hangyasav** (metánsav). Egyedülálló sajátossága a karbonsavak között, hogy az ezüsttükör-próbát adja: tehát gyenge oxidációval széndioxiddá alakítható. Ezt az teszi lehetővé, hogy nemcsak karboxil, hanem – más felosztásban – aldehidekre jellemző csoportot is tartalmaz:

$$\mathbf{H}-\underset{\underset{\mathbf{O}}{\|}}{\mathbf{C}}-\mathbf{OH} \;+\; \mathbf{Ag_2O} \;=\; 2Ag \;+\; CO_2 \;+\; \mathbf{H_2O}$$

Az **ecetsav**val (etánsavval) ősidőktől kezdve megismerkedhettek azok a borkedvelők, akiknek etilalkoholt tartalmazó italát levegőn állva továbboxidálták az ecetsav-baktériumok. Ezt a biokémiai folyamatot ma is felhasználják étkezési ecet előállítására. Nagyobb mennyiségben – ipari célra – acetaldehid katalitikus oxidációjával állítják elő. A vízmentes ecet sűrű, maró folyadék, mely 16 °C-on jéghez hasonló kristályokká dermed. Ezért is nevezik jégecetnek. A boltokban kapható háztartási ecet 10%-os (vagy 20%-os) vizes oldat, ételek készítéséhez hígítani kell. Tömény formájában alkalmas az üvegre, edényre rakódott vízkő leoldására. A fémtárgyakat (pl. kanalat) híg formájában is lassan oldani kezdi, ezért ecetes ételekben nem ajánlatos fém evőeszközt hagyni.

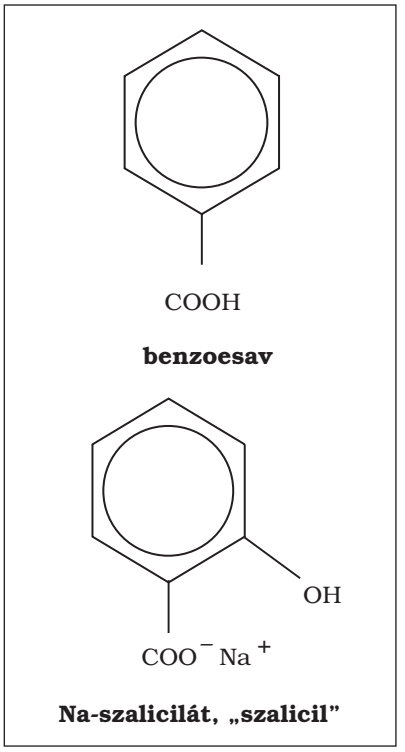
A közepes szénatomszámú (C_3 – C_8) karbonsavak kellemetlen szagú folyadékok, az avasodó vaj, a trágya és a verejték „aromáját” alkotják.

A nagy szénatomszámú karbonsavak közük kerülnek ki a zsírok és olajok alkotórészei. (Ezért szokták néha az összes monokarbonsavat zsírsavnak is nevezni). Legfontosabb közülük a palmitinsav (hexadekánsav), a sztearinsav (oktadekánsav) és az olajsav (cisz-oktadec-9-énsav). Nagy apoláros molekularészletük miatt ezek már egyáltalán nem oldódnak vízben. Jelentőségüket részletesebben az észterképződésről szóló fejezet tárgyalja.

Monokarbonsavak összefoglaló táblázata

Hagyományos név	C n	Szabályos név	Oldhatóság (Sv)	Előfordulás
hangyasav	1	metánsav	∞	hangya, csalán
ecetsav	2	etánsav	∞	ecet
propionsav	3	propánsav	∞	
vajsav	4	butánsav	∞	verejték, avas vaj
valeriánsav	5	pentánsav	3,3	macskák, verejték
kapronsav	6	hexánsav	1,1	verejték
palmitinsav	16	hexadekánsav	0	zsírok, olajok
sztearinsav	18	oktadekánsav	0	zsírok, olajok
olajsav	18	9-oktadecénsav	0	olajok

A karboxil-csoport kapcsolódhat aromás gyűrűhöz is. Legegyszerűbb ilyen vegyület a **benzoesav**, ennek származéka a szalicilsav (hidroxi-benzoesav). Nátrium-sóikat (Na-benzoát és Na-szalicilát) baktériumölő hatásuk miatt ételek tartósítására használják. („Szalicil".)



benzoesav

Na-szalicilát, „szalicil"

55. ábra. ***Aromás karbonsavak***

4.3.4 Észterek

Az ananász aromáját adó anyag összegképlete: $C_4H_8O_2$. A sok lehetséges szerkezet közül három:

a) $H_3C - CH_2 - CH_2 - CH_2 - COOH$

b) $H_3C - \overset{\overset{O}{\|}}{C} - O - CH_2 - CH_3$

c) $H_3C - CH - CH_2 - COH$

Hogyan igazolható, hogy az izomerek közül melyik a tényleges ananász-aroma? Részben a benzol vizsgálatánál megismert *kizárásos* módszerrel, részben pedig a feltételezett helyes képletet *megerősítő* megfigyelésekből.

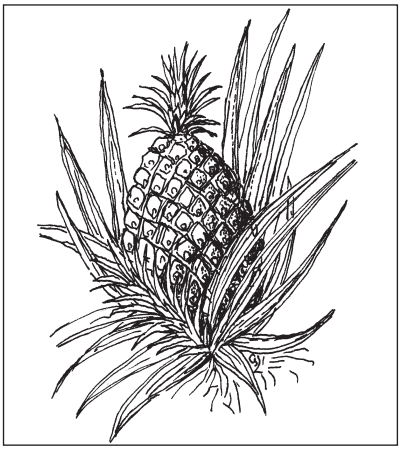
Az **a** változatként felírt vajsav már kellemetlen szaga miatt sem lehet azonos a keresett vegyülettel. Ugyancsak kizárható a **c** jelű aldehid is az ezüsttükör-próba sikertelensége miatt. A gyanú a **b** jelű észterre terelődik. Hogyan lehet megerősíteni ezt a sejtést? Ha az ananászaromát sok vízzel lúgos közegben főzzük, az oldatban ecetsav és etanol jelenik meg, méghozzá azonos mennyiségben. Ez a tapasztalat jól magyarázható, ha föltesszük, hogy a **b** jelű észter (az etil-acetát) víz felvételével alkotórészeire bomlott: hidrolizált.

$$H_3C - \overset{\overset{O}{\|}}{C} - O - CH_2 - CH_3 \; + \; H_2O \; = \; H_3C - \overset{\overset{O}{\|}}{C}\!\!\diagdown\!\!\!\!\diagup OH \; + \; H_3C - CH_2 - OH$$

A kémiai analízis eredménye tehát megerősítette a sejtést. A folyamat megfordítható: ha ecetsavat és etanolt vízelvonószer (pl. kénsav) jelenlétében melegítünk, rövid idő múlva lepárolhatjuk lombikunkból a kellemes illatú folyadékot, ami teljesen azonos lesz az ananászból kivont anyaggal. Ez a reakció *a kondenzáció speciális esete*: **észterképződés**. Észterképződés során alkoholból és savból vízkilépés mellett észter jön létre. Analízis és szintézis tehát egyaránt a „B" képlet helyességét igazolta.

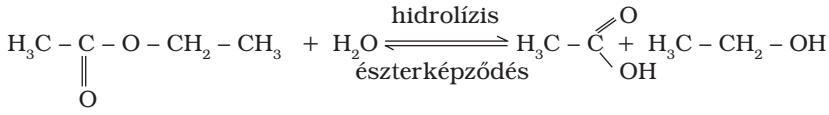
A hidrolízis és a kondenzáció (észterképződés) tehát a körülményektől függően vezet észterek képződéséhez illetve bomlásához egy egyensúlyi pontig:

← XII.3.5



56. ábra. ***Ananász***

← analízis és szintézis a víz képletének megállapításában: IX.1.4.3



Az észterek latin-német eredetű neve is részben szerkezetükre, részben eredetükre utal: az **Es**sig – Ae**ther** rövidítése az aesther, magyarosan észter (Essig = ecet németül).

Az észterek csoportjai közül négy jelentős gyakorlati szempontból.

GYÜMÖLCSÉSZTEREK

A **gyümölcsészterek** kis szénatomszámú alkoholoknak kis szénatomszámú karbonsavakkal képzett észterei. Vízben kevéssé oldódnak, illékonyak, kellemes illatúak.

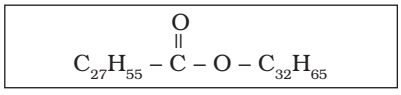
A mesterséges ételízesítők („természetazonos aromák") többnyire szintetikus úton előállított észterek. Ritkán közelítik meg azonban a természetes gyümölcsök ízét, hiszen azokban nem egy vagy néhány észter, hanem egész sor anyag jellegzetes arányú elegye fordul elő.

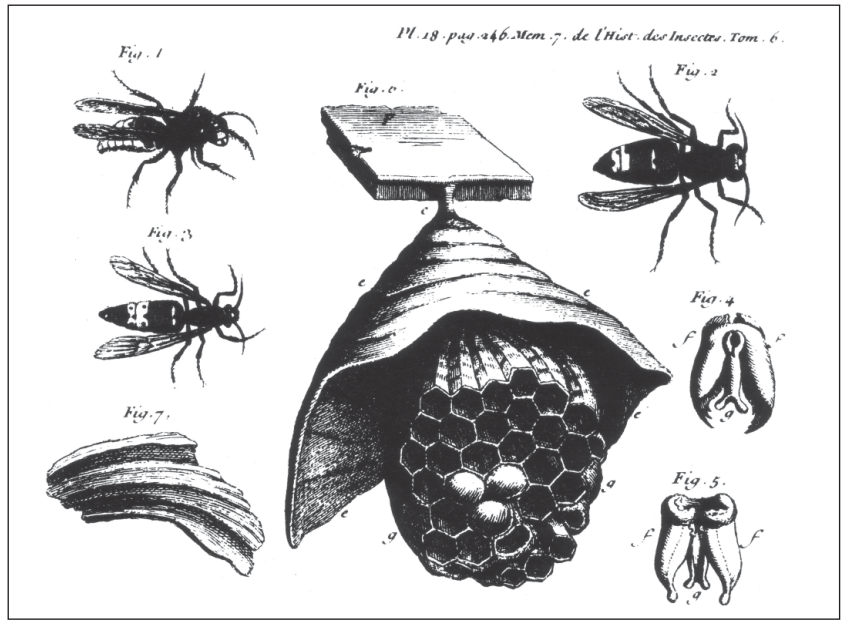
VIASZOK

A **viaszok** nagy szénatomszámú karbonsavaknak nagy szénatomszámú alkoholokkal képzett észterei. Vízben teljesen oldhatatlanok, amit a két hosszú apoláros lánc túlsúlya jól magyaráz. Az állat- és a növényvilág egyaránt a viaszok víztaszító sajátosságait használja ki.

ZSÍROK ÉS OLAJOK

Az észterek harmadik csoportját az ún. semleges (neutrális) zsírok és olajok alkotják. (Elnevezésükben a semleges szó arra utal, hogy nem tartalmaznak savas kémhatású csoportot.) E vegyületek a glicerinnek nagy szénatomszámú monokarbonsavakkal (zsírsavakkal) képzett észterei. Ezért trigliceridéknek is nevezik őket. Ha mindhárom karbonsav telített – többnyire palmitin- és/vagy sztearinsav – akkor a molekula zsír. A zsírok főleg az állatokban fordulnak elő. A növények (s részben az állatok által is) termelt olajok esetében legalább az egyik karbonsav telítetlen, olajsav.

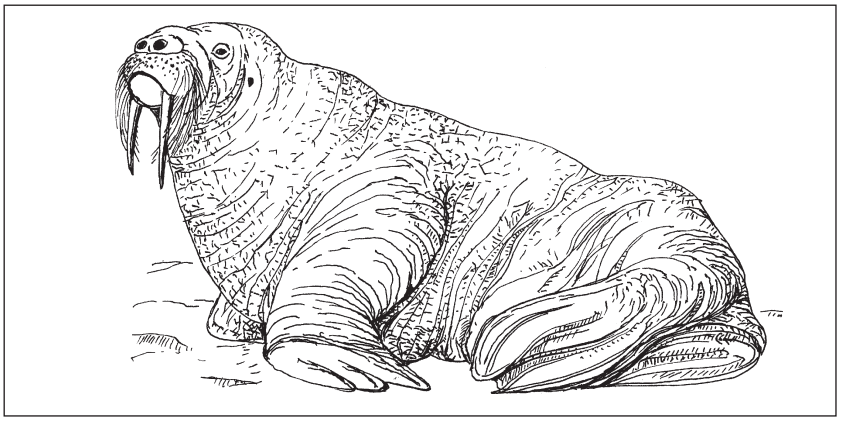




57. ábra. ***Balra: darázsfészek rajza Reomur könyvéből. Mellette: a méhviasz szerkezeti képlete***

Az olajsavak telítetlensége könnyen kimutatható, pl. Br_2- addícióval. Ha a növényi olajok kettős kötéseit – legalábbis részben – hidrogénnel telítik, akkor zsírokhoz hasonló, magasabb olvadáspontú terméket kapnak (margaringyártás). A zsírok és olajok vízben való oldhatatlanságát hosszú apoláros láncaik magyarázzák. Az állatvilág szempontjából lényeges magas energiatartalmuk, hőszigetelő képességük és fajsúlycsökkentő szerepük is.

→ zsírok oxidációja XIII.3.2.4



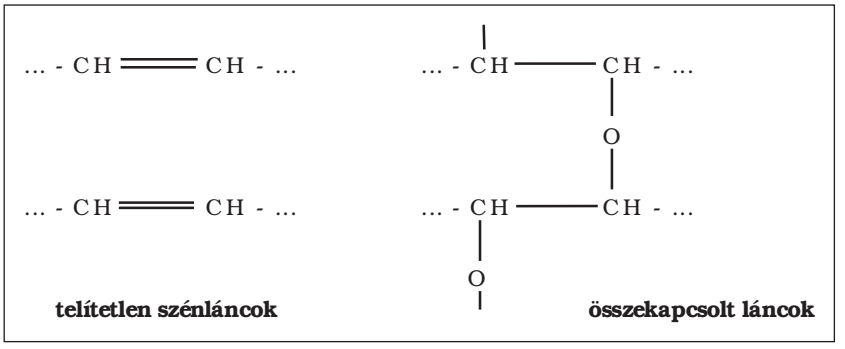
$H_2C - O - CO - C_{17}H_{35}$
$HC - O - CO - C_{17}H_{35}$
$H_2C - O - CO - C_{17}H_{35}$

58. ábra. ***Rozmár***
A vastag zsírréteg tartalék tápanyag, hőszigetelő, fajsúlycsökkentő és egyben mechanikai védelmet is ad a sarki tengerekben élő állat számára.
Felül: a semleges zsír (glicerin-trisztearát) képlete.

Egyes növényi olajok értékes tulajdonsága, hogy vékony rétegben, levegőn gyorsan száradnak. Ilyen olajokból készülnek a kencék, illetve – gyantával, benzinnel elegyítve – a lakkok. E megszáradt kence- illetve lakkfelület sokáig megóvja a fafelületet vagy a festményt a víztől, mechanikai sérüléstől, oxidációtól. A növényi olajok száradása bonyolult, polimerizációra emlékeztető folyamat, amit egyszerűsítve úgy ábrázolhatunk, hogy a kettős kötések felszakadnak és a szabaddá váló vegyértékek oxigént vesznek fel, így az oxigénatomok éterszerű kötésekkel kapcsolják össze a szénláncokat:

KENCÉK, LAKKOK

← polimerizáció XII.3.4.2

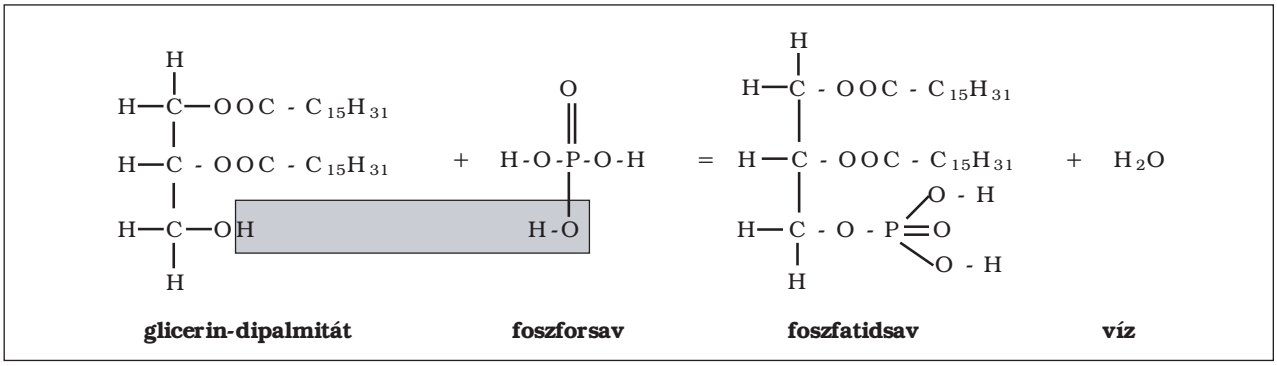


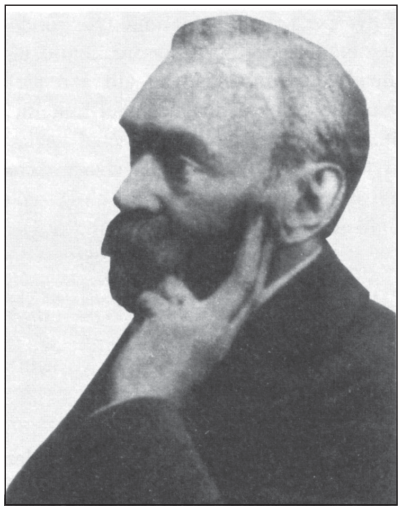
59. ábra. ***Növényi olajok száradásának sematikus rajza (részletek az olajsav-láncból)***

Észterek keletkezhetnek úgy is, hogy az alkoholt nem karbonsav, hanem valamilyen szervetlen sav észteresíti. Ebben az esetben természetesen nem jön létre az észtercsoport sem. Az elnevezést mégis indokolja a létrehozó reakció hasonlósága. Biológiai szempontból fontosak a foszfatidok. Ezek olyan zsírszerű anyagok (lipidek), amelyekben a glicerin egyik hidroxilcsoportját foszforsav (H_3PO_4) észteresíti.

FOSZFATIDOK

60. ábra. ***A foszfatidsav keletkezése. Szürke satírozás jelzi a kilépő vízmolekula atomjait***





61. ábra. ***a) Alfred Nobel (1833–1896) svéd feltaláló, gyáros***

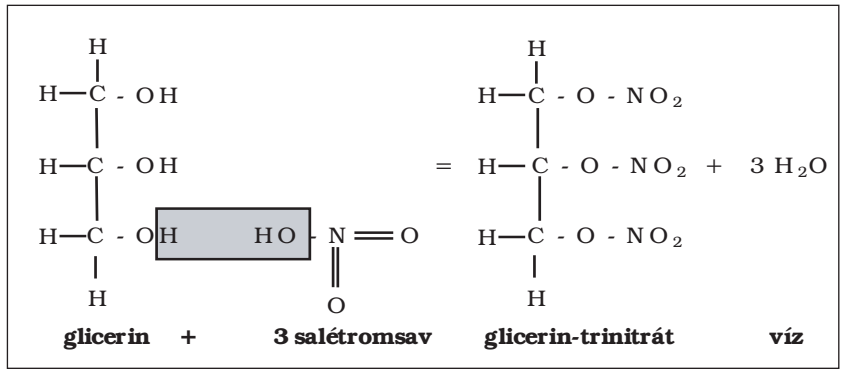
Egész életében új és biztonságos robbanóanyagok kifejlesztésén dolgozott. Munkáját több súlyos baleset kísérte: Emil öccsét – aki szintén a nitroglicerinnel kísérletezett – így veszítette el. Hatalmas vagyonából végrendeletileg alapítványt hozott létre a tudományos kutatások támogatására és a nemzetközi béke előmozdítására.

Mivel a foszfatidsavban is megmaradnak az erősen poláros kötéssel kapcsolódó, s ezért könnyen leadható hidrogének, a foszfatidok savas kémhatásúak, s semleges közegben negatív töltést hordoznak. Ennek jelentőségét a következő fejezet részletezi.

Az észteresítő partner lehet a salétromsav (HNO_3) is. Ekkor nitrát-észterek jönnek létre. Közülük legismertebb a glicerin-trinitrát (nitroglicerin), mely ütésre robbanó veszélyes anyag. Bomlásakor gáz halmazállapotú termékek jönnek létre, a robbanást a keletkező nyomáshullám okozza:

$$4 \text{ glicerin-trinitrát} \longrightarrow 6N_2 + 12\,CO_2 + 10\,H_2O + O_2$$

A svéd Alfred Nobel jött rá, hogy ha a nitroglicerint kovaföldbe itatja fel, akkor veszélytelenül kezelhető, de továbbra is nagy hatóerejű anyagot kap (dinamit).



61. b) ábra. ***A glicerin-trinitrát (nitroglicerin) keletkezése***

Summa (4.3)

Az egyértékű alkoholok közül a metilalkohol (metanol, faszesz) erősen mérgező, az etilalkoholt (etanol) cukros nedvek erjesztésével illetve etén vízaddíciójával állítják elő. A kétértékű glikolt fagyásálló folyadékokban, a háromértékű glicerint krémekben alkalmazzák. A glicerin szerves kémiai szintéziseknek is kiindulóanyaga (nitroglicerin), és a zsíroknak, olajoknak is alkotórésze.

Az aldehidek közül a formaldehid (metanal) fertőtlenítőszer és vegyipari szintézisek kiinduló anyaga. A ketonok közül az aceton (dimetil-keton) mint kiváló oldószer ismeretes.

Az éterek közt az illékony dietil-étert alkoholokból vízelvonással (kondenzációval) állítják elő.

A karbonsavak legegyszerűbbike a hangyasav (metanal), legismertebb az ecetsav (etánsav). Alkoholokból is előállíthatók (ecetsav-baktériumok). A közepes szénatomszámú monokarbonsavak erjesztő tejsavbaktériumok végtermékei (avas vaj) illetve a verejték alkotórészei. A nagy szénatomszámú monokarbonsavak (sztearinsav, palmitinsav, olajsav) zsírok, olajok és viaszok alkotórészei.

Az észterek savakból és alkoholokból vízkilépéssel (kondenzációval) jönnek létre. Az egyensúlyra vezető folyamat ellentéte a hidolízis (bomlás víz hatására). A kis szénatomszámú észterek illékonyak, kellemes aromájúak (gyümölcsészterek). A nagy szénatomszámúak víztaszító tulajdonságukkal tűnnek ki (viaszok). A zsírok és olajok glicerinnek zsír- és olajsavakkal képzett észterei.

A szervetlen savakkal képzett glicerinészterek közül fontosabbak a nitrátok (glicerin-trinitrát, dinamit) és a foszfátok (foszfatidsav).

Kérdések, problémák (4.3)

1. Többnyire a rossz minőségű, kis alkoholtartalmú borok hajlamosak a megecetesedésre, azok is főként akkor, ha nincsenek jól lezárva. Miért?

2. Mi a hasonlóság és a különbség a növényi olajok száradása és a szénhidrogének polimerizációja között?

3. A köznyelv a háztartási tüzelőolajra és a növényi olajokra is az „olaj” kifejezést használja. Miért? Mi a különbség a két vegyületcsoport között?
4. Milyen termékek keletkeznek az alábbi észterek hidrolízisének eredményeként?
   a) butil-acetát b) etil-butanoát c) propil-formiát (-metanoát)
   d) dietil-oxalát e) glicerin-trioleát f) foszfatidsav

5. Mennyi energia szabadul fel 1 kg vízmentes alkohol tökéletes elégetésekor? (Égéshője: –1365 kJ/mol)

6. Primer, szekunder vagy tercier alkoholnak tartsuk-e a glicerint? Hogyan reagálna az ezt eldöntő vizsgálatokra?

7. Átalakítható-e egy karbonsav-alkohol elegy egésze észterré? (Tömeghatás-törvény!) Hogyan lehet tiszta (100%-os) észtert előállítani?

8. Van-e valami hasonlóságuk kémiai szempontból az illékony (kellemes vagy kellemetlen illatú) anyagoknak?

9. Négy azonos nagyságú olaj-, glicerin-, aceton illetve étercseppet porcelánlapra cseppentve az utóbbi kettő gyorsan elpárolog, az első kettő nem. Mi a különbség oka?

10. Csoportosítsuk az 52. és 53. ábrán látható vegyületeket aszerint, hogy milyen és hányféle funkciós csoportot tartalmaznak! Mely vegyületek közé lehetne besorolni őket?

5. Molekulahalmazok belső rendje

5.1 Szappanok és más mosószerek

5.1.1 Szappanfőzés

SZAPPANOK

Szappanokat valószínűleg már az ősidőkben előállítottak az emberek, a latin Plinius – akitől a „sapo” elnevezés is ered – a módját is leírta. Állati zsiradékot vagy növényi olajat valamilyen lúgos anyaggal (például szódával vagy fahamuval) sokáig főztek, majd a keletkező kenőcsszerű pép kellemetlen szagát igyekeztek illatszerekkel elvenni. Mai tudásunk szerint zsírok és olajok **lúgos hidrolízise** ment végbe, melynek során a megfelelő zsírsavak, illetve olajsavak kálium- vagy nátriumsói keletkeztek. Így pl. a sztearinsav K-sója, a kálium-sztearát: $C_{17}H_{35}$ COOK. A káliumszappanok lágyak (kenőszappanok), ezeket ma is használják az iparban és a mezőgazdaságban. A mosakodáshoz alkalmas keményebb mosdószappanok a **zsír- és olajsavak Na-sói.**

← észterek hidrolízise XII.4.3.4

← XI.4.2–3; 4.4.2

A szappanok síkos tapintása lúgos pH-jukra vezethető vissza. Ezt az magyarázza, hogy a szappanok erős bázisok gyenge savakkal képzett sói, ezért oldatuk lúgos kémhatású.

MIÉRT LÚGOS A SZAPPANOLDAT?

A lúgos kémhatás mélyebb magyarázatát a karbonsavak és a víz — Brönsted szerint felírt – reakcióegyenlete adja:

$$C_{17}H_{35}-COOH + H_2O \underset{\text{visszaalakulás}}{\overset{\text{ionképződés}}{\rightleftharpoons}} C_{17}H_{35}COO^- + H_3O^+$$

sztearinsav víz sztearát-ion oxónium-ion

← tömeghatás törvény: IX.3.3.4

Ha tiszta vízbe sztearinsav-molekulák kerülnek, a reakció az ionképződés (felső nyíl) irányában indul meg. Az oldat enyhén savas kémhatású lesz. Ha azonban kiindulásunk szappan, oldás során Na^+ és sztearát-ionok kerülnek az oldatba. A Na^+-ionok reakcióban nem vesznek részt. A sztearát-anionok egy része azonban – az egyensúly eléréséig – H^+-ionokat vesz föl:

$$C_{17}H_{35}COO^- + H_3O^+ \rightleftharpoons C_{17}H_{35}\,COOH + H_2O$$

A szappan tehát „elfogyasztja” a vízben eredetileg található oxónium-ionok egy részét. A hidroxid-ionok fölöslegben maradnak, az oldat *enyhén lúgos lesz*.

← indikátorok XI.4.2.1

Kísérletek szappanoldattal

a) Cseppentsünk szappanoldatba fenolftalein indikátort! Vessük össze az oldat színét tömény NaOH-ba illetve HCl-be csöppentett indikátor színével! Univerzál indikátor-papírral az oldatok kémhatása számszerűen is megadható.

b) Azonos mennyiségű szappanoldatot fél kémcsőnyi desztillált vízbe, csapvízbe illetve $CaCl_2$ (kalcium-klorid) oldatba töltve figyeljük meg összerázás után a keletkező hab mennyiségét és tartósságát! Változott-e maga az oldat?

← felületi feszültség IX.4.2.2

c) Zsilettpengét vagy tízfillérest helyezzünk óvatosan lapjával tiszta víz illetve szappanoldat felületére!

← oldhatóság XI.4.6.3

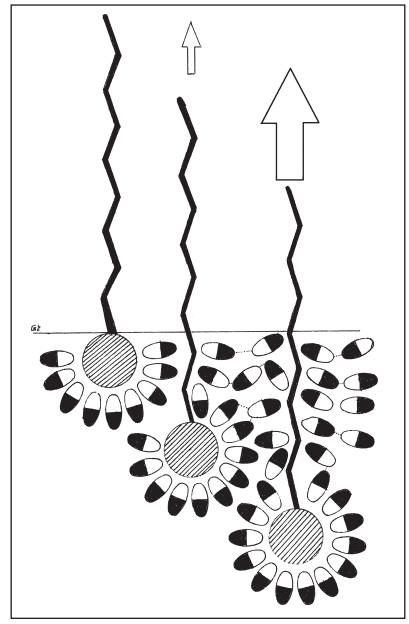
d) Kíséreljünk meg egy kristályka elemi jódot (I2) vízben oldani! Ezután rázzuk össze hidrofób oldószerrel (benzin vagy szén-tetraklorid), és figyeljük meg, hogy mennyi idő alatt válik szét a két oldat. Hova került a jód? Most öntsünk a rendszerhez tömény szappanoldatot, és alaposan rázzuk össze így is! Vessük össze a két eredményt!

5.1.2 A micellák

A szappanok tulajdonságai közül lúgos pH-jukon kívül mosóhatásuk valamint sajátosan opaleszkáló színű oldatuk (szappanos víz) és habképző sajátosságuk jellegzetes és feltűnő.

A szappanok vízben opálos színű rendszert, kolloid oldatot alkotnak. Ez a jelenség magyarázatra szorul, hiszen az azonos szénatomszámú zsírsavak a hosszú apoláros lánc miatt oldhatatlanok. A magyarázatot részben megadja, hogy a zsírsavak és víz közt fellépő hidrogén-hídnál is erősebb a zsírsav-anionok és a víz között létrejövő ion-dipól-kölcsönhatás. A víz tehát nagy erővel igyekszik kötődni a szappanok ionos „fejéhez" – változatlanul kitaszítja viszont az apoláros „farkat". E két ellentétes hatás rendező erőként hat. Az energetikailag legkedvezőbb állapotot semmilyen térszerkezettel nem érheti el *egyetlen* molekula, de elérheti a molekulák megfelelő rendezettségű *csoportja*. Ha egy sztearát-anion – az őt „követő" Na+ -ion társaságában – a vízfelszínre kerül, ott apoláros „farki része" a levegőbe, ionos „feje" viszont a poláros vízbe merül. Sok szappanmolekula ilyen módon hártyaként borítja be a víz színét.

→ XII.9



62. ábra. ***Az „imbolygó bója" modell***
A hártya stabilitását magyarázza, hogy a víz színén bójaként úszó zsírsav-anionokra egyre erősödő taszítóerőt gyakorolna a víz, ha helyét elhagyva megpróbálna lesüllyedni. Semmi akadálya nincs viszont a hártya síkjában történő bármilyen irányú elmozdulásnak.

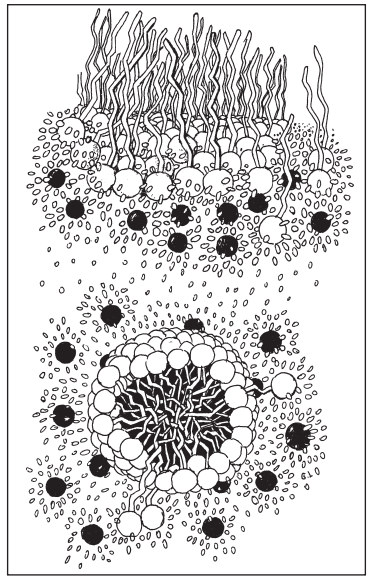
A sávozott kör a szappan ionos „fejét", a cikk-cakkos vonal az apoláros „farok" részt jelképezi. A fekete-fehér ovális alakzatok a dipólusos vízmolekulák. A nyilak nagysága arányos a szappanmolekulát felszínre lökő erő nagyságával.

Mi történik, ha már a teljes vízfelszínt beborították a szappanmolekulák, és még többet oldunk fel belőlük? Azon molekulák számára, amelyeknek már nem jutott hely a felszínen, a rajzon látható ún, **micellás szerkezet** a legkedvezőbb, hiszen így sem érintkeznek apoláros molekularészletek a vízzel.

MICELLA

→ koacervátumok XXIX.

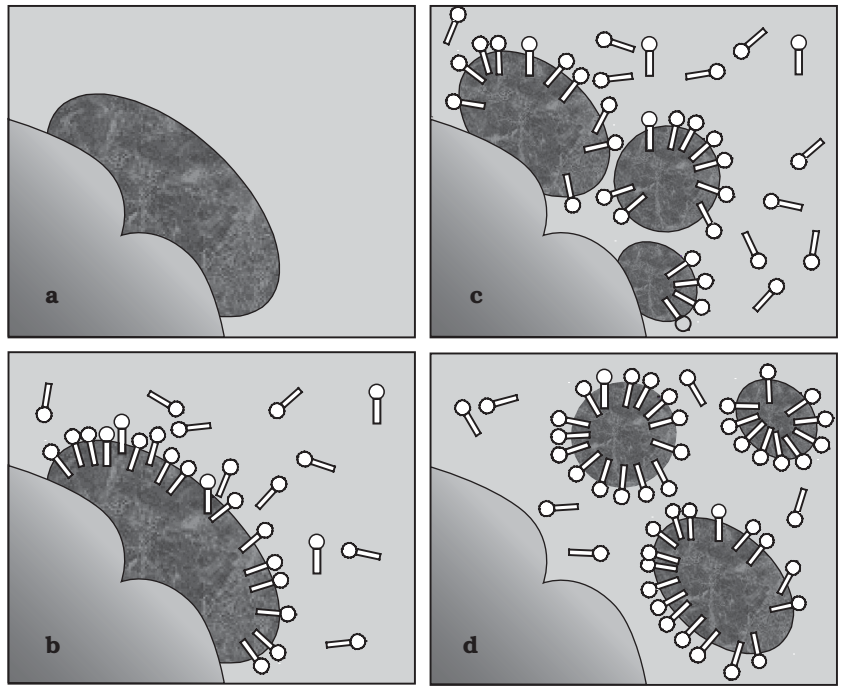
63. ábra. ***Szappanmolekulák rendeződése a víz felszínén és micellákban***
A tömény szappanoldatban nem az egyes molekulák, hanem a micellák oldódnak. E micellák jóval nagyobbak a molekuláknál, ugyanakkor még mindig túl kicsinyek ahhoz, hogy akár a legjobb fénymikroszkópban is megpillanthassuk őket. Jelenlétükre az oldat jellegzetes fénytörése, opaleszkálása utal.



A sötét körök a kálium- vagy nátriumionokat jelképezik, az apró ellipszisek a vízmolekulák. A gömbmicella felénk eső oldalát megbontottuk, hogy bepillanthassunk a belsejébe

→ kolloid rendszerek XII.9.1

A micellák képződése magyarázza a szappanok mosóhatását is. Ilyenkor a leoldandó apoláros szennyeződések a micellák belsejébe kerülnek.



64. ábra. ***A szappanok tisztító hatásának magyarázata***

a) A szilárd felületre (ruhára, kézre) zsír és olaj tapad, abban korom és más hidrofób részecskék oldódhatnak. Az ilyen hidrofób szennyeződést nem oldja a víz.
b) A szappanmolekulák hidrofób láncai könnyen oldódnak a szennyeződésben, ez azonban önmagában még nem elég a leváláshoz.
c) Mechanikai hatásra micellák válnak le a felszínről, bennük az oldott szennyeződéssel.
d) A szappanmolekulák minden oldalról körülveszik a szennyeződéssel teli cseppeket. Az így létrejött micellák már könnyen lemoshatók.

MOSÓHATÁS

→ habok XII.5.2.1

A zsírsavaknak csak kálium- és nátriumsóik oldódnak jól, a kalcium- és magnéziumsóik csapadékot képeznek. (pl. Ca-sztearát, Mg-palmitát). Ezek az anyagok tehát nem vesznek részt a mosóhatásban, hanem apró szemcséket képeznek, s leülepednek vagy a habban dúsulnak fel. Mivel a csapvíz többnyire sok Ca^{2+} és Mg^{2+} iont tartalmaz (ún. „kemény víz”), a szappanok egy része ezek lekötésére fordítódik, s csak a maradék képez micellát, tisztít.

5.1.3 Egyéb mosószerek és hatásaik

Mosni vagy mosakodni nem csak szappannal lehet. Sok olyan molekula létezik, amely ehhez hasonló szerkezetű, tehát hosszabb apoláros részletet és ionos feji részt tartalmaz. Ezek egy része – ha más szempontból is megfelelő – alkalmas lehet mosószernek is. A ma használt szintetikus mosószerek egy része negatív, más része pozitív töltésű feji részt tartalmaz, vannak kén- és foszfortartalmúak, de hatásuk lényege a szappanokéval egyező. Újabban alkalmaznak nemionos tenzideket is, ezek sem kationt, sem aniont nem képeznek, és a hagyományos mosószereknél kevésbé szennyezik környezetünket.

→ az epe hatása XIII.5.2.1

SZINTETIKUS MOSÓSZEREK

Néhány példa mosószerek hatóanyagaira (R=alkil-csoport)

Alkil-benzol-szulfonátok	R –⬡– $SO_3^- Na^+$
Alkil-szulfonátok	R – $SO_3^- Na^+$
Karboxilátok	R – $COO^- Na^+$
Alkil-szulfátok	R – O – $SO_3^- Na^+$
Alkil-ammónium sók	$R_x NH_{(4-x)}^+ X^-$ ahol R > 8 és X = 1–4

A természetes és a mesterséges mosószerek jelentős környezeti károkat okozhatnak: **csökkentik a víz felületi feszültségét (tenzidek**), ami sok élőlény számára végzetes. Néhány ilyen anyag közvetlen **mérgezést** is okoz. Szerencsére a ma terjedő tenzideket képesek lebontani egyes baktériumok. A mérgező hatás a szénlánc növekedésével erősen csökken, a lebomlás ideje viszont nő. A három fő szempont: mosóhatás, mérgező hatás, a biológiai lebomlás gyorsasága. Sajnos a bomlás még legkedvezőbb esetben is csökkenti a víz oxigéntartalmát (a szükséges oxigént a közegből nyerik a lebontó baktériumok).

TENZIDEK HATÁSA
← felületi feszültség IX.4.2.2

→ lebontó szervezetek XIII.1.3; XXVI.

A kereskedelemben kapható mosóporok a micellaképző mosószeren kívül több száz úgynevezett **adalékanyagot** is tartalmaz(hat)nak. Ilyenek a fehérítők, korrózió gátlók, lágyítószerek (ezek a víz keménységét szüntetik meg), illatosító anyagok, enzimek stb. Ezek egy része a vízben élő baktériumok és kékmoszatok tömeges elszaporodásához, a **vízminőség gyors romlásához vezet** (eutrofizáció, „túltápláltság").

→ enzimek XII.8.3.6

EUTROFIZÁCIÓ

A mosószerek okozta környezeti kárt **biológiai szennyvíztisztítással** lehet megelőzni. Ennek során a szennyvíz olyan jól szellőztetett medencéken halad át, melyben a baktériumoknak módjuk van a lebontásra. Az élővízbe jutó szervesanyag-terhelés így elfogadható szintig csökkenthető.

→ szukcessziós folyamatok XXVI.

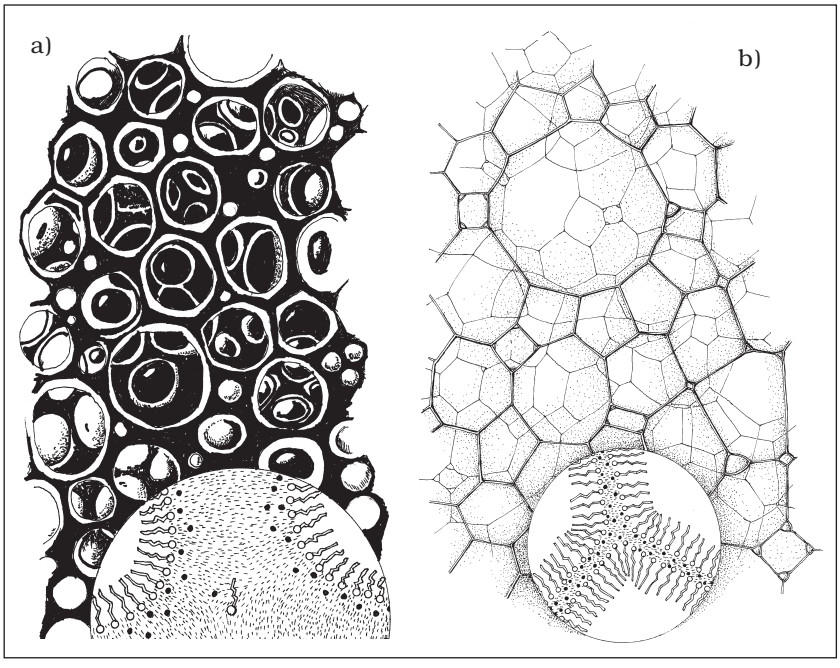
→ környezetvédelmi technológiák XXVI.

5.2 Membránok és habok

5.2.1 Habok

A hosszú apoláros láncot és ionos feji részt tartalmazó **felületaktív anyagok** (**detergensek**, **tenzidek**) csökkentik a víz felületi feszültségét. Ennek legfeltűnőbb következménye a habzás. **Habok** tiszta vízben is keletkeznek, azonban az összerázás után gyorsan eltűnnek a nagy felületi feszültség miatt. A felületaktív anyagok tehát csak stabilizálják a habokat.

DETERGENSEK HATÁSA



65. ábra. ***Sörhab szerkezete a kitöltés után 1 perccel (a) és 10 perccel (b).***
A gömbhab állapotban (a) a vízréteg még elég vastag a buborékok között. A sokla pú hab (b) „száraz", a buborékok hármasával, 120°-os szögben találkoznak egymással, köztük síklapok, vagy – ha a buborékokban különbözik a nyomás – enyhén torzult lapok feszülnek ki. A kinagyított részekben a tenzidmolekulák elrendeződése látható. A fekete körök: ionok.

← H.híd XI.4.6.3

Ennek oka a hab szerkezetében rejlik. A habokat légbuborékokkal elválasztott vízrétegek alkotják. Ez hatalmas felületnövekedést okoz, ami kedvezőtlen állapot, ha csak víz van jelen – hiszen a hidrogén-hidak egy részét megszakítja. Ha azonban felületaktív anyagokat is tartalmaz az oldat, akkor e molekulák lehetőséget kapnak arra, hogy az újonnan létesülő felületre emelkedjenek. A vékony vízhártyákat a pillanat tört része alatt egyrétegű (monomolekuláris) detergens-réteg borítja be mindkét oldalukon. Ez stabilizálja a habot, miként a szappanbuborékot is. A hab azonban még felületaktív anyagok jelenlétében is „rövid életű”. A víz lassan kifolyik a detergens rétegek közül, a hab előbb soklapúvá válik, majd megszűnik.

→ kolloidokk stabilitása XII.9.3

5.2.2 Membránok

KETTŐS FALÚ MICELLÁK

Felületaktív anyagok megfelelően nagy koncentrációjú oldatában ez egyszerű micellák mellett bonyolultabb szerkezetű, ún. kettős falú micellák létrejöttére is lehetőség van. E micellák határoló rétegét **molekuláris membránnak** is nevezik. A membrán két felületaktív molekularétegből áll, melyek apoláros részei egymással, ionos fejeik viszont a poláros közeggel (pl. vízzel) érintkeznek. A membránok mindig zártak vagy zárulni igyekeznek, többnyire a legkedvezőbb gömbformát veszik fel. Ennek következtében a kettős falú micella mindig elhatárolja egymástól a folyadék két terét: a micellába zártat és az azt körülvevőt. Ha a membrán ép, poláros anyag nem juthat át egyik oldalról a másikra.

→ kemoton XXIX.

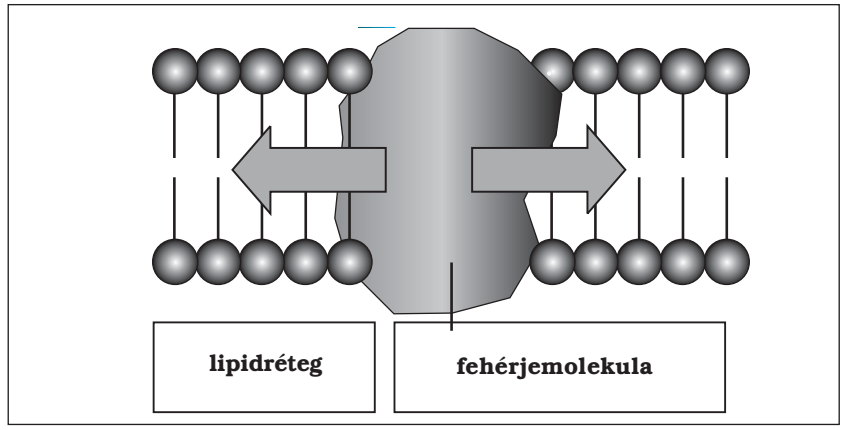
→ sejtmembrán XIII.4.2.1
→ mitokondrium-membrán XIII.3.3.3

Bonyolult eljárásokkal sikerült igazolni a XX. század második felében, hogy minden biológiai membrán (sejthártya, színtest-membrán, emésztő űröcske hártyája stb.) ilyen alapfelépítésű. A felületaktív anyagok itt természetesen nem szappanok, hanem többnyire a foszfatidsav illetve annak származékai. A biológiai membránoknak kettős feladatot kell ellátniuk: nemcsak az elválasztást, elszigetelést, hanem a két térrész közötti összeköttetést is. Például az egysejtű amőba nemcsak elkülönül környezetétől, hanem kapcsolatot is tart azzal: táplálkozik, kiválaszt, ingerekre reagál stb. Erre a membránba ágyazott fehérjemolekulák segítségével képes a sejt. A fehérjék a foszfatidokhoz képest igazi molekulaóriások, annyiban azonban hasonlítanak rájuk, hogy többnyire apoláros és poláros csoportokat is tartalmaznak. Így aztán lehetőség van arra, hogy apoláros részükkel az apoláros láncokhoz, poláros csoportjaikkal pedig a poláros közeghez kötődve stabilan beágyazódjanak a membránba. Az „imbolygó bója”-modellt a fehérjékre is alkalmazhatjuk: mozgásukat a membrán felületének síkjában nem gátolja semmi, erre merőleges elmoz-

→ receptor fehérjék XVIII.2.1;3.1.3

→ fehérjék térszerkezete 2.1; 3.1.3

←XII.5.1



66. ábra. ***Kettős falú micella illetve egy sejt hártyájának folyékony-mozaik modellje***
A felületaktív molekulák a sejthártyában kettős rétegű micellát alkotnak, ebbe ágyazódva óriásmolekulák (fehérjék) ülnek. Egy-egy fehérjemolekula gyakran maga is poláros és apoláros részekből áll. Poláros részei a vizes közegekhez kötődnek (ez a hártya két oldala), apoláros részeiket a kettős rétegű micella apoláros belső tere fogadja be. Az „imbolygó bója” modell ezért a fehérjemolekulákra is alkalmazható: kötődnek a hártyához, a hártya síkjára merőleges irányban nehezen mozdíthatók el.

dulásukat azonban igen. A fehérjék szinte jéghegyekként úsznak a foszfatidok tengerében. Ezért szokták ezt a sejthártya-modellt „**folyékony-mozaik"-modellnek** is nevezni. Ha a fehérjemolekula elég nagy, és két részén is poláros csoportokat tartalmaz, úgy a membránt át is érheti, mintegy „kaput nyit" a membrán apoláros falán. A hasonlat azért is találó, mert ha a fehérje belsejében egy poláros „alagút" van, úgy azon át poláros anyagok juthatnak be illetve ki.

FOLYÉKONY MOZAIK

→ az idegsejt működése XVIII.3.1

→ vízvisszaszívás a vesében XIII.2.; 3.1.3

Summa (5.)

A felületaktív anyagok (detergensek, tenzidek) hosszú apoláros részlettel és ionos „fejjel" rendelkező molekulák. Ilyenek pl. a szappanok (a zsírsavak K- illetve Na-sói), a foszfatidok és egy sor szintetikus mosószer. A szappanok enyhén lúgos kémhatásúak (lúgos hidrolízis), a víz felszínén monomolekuláris hártyát alkotnak (imbolygó bója-modell), a folyadék belsejében micellákat képeznek (opaleszkáló szín). A micellák belsejébe került apoláros szennyeződés vízben oldhatóvá válik, lemosható (mosó hatás). A felületi feszültség csökkenése habzást vált ki. A habokban monomolekuláris tenzidhártyák választják el egymástól a légbuborékokkal tagolt folyadékrétegeket. Folyadék belsejében kettős falú micellák is kialakulhatnak. Ezek zárt membránt képeznek, mely a folyadékteret két részre tagolja. Ilyen alapfelépítésűek a biológiai membránok is (pl. sejthártya), azonban ezekben a két térrész közti anyag- és energiaáramlást a kettős rétegbe ágyazott fehérjemolekulák biztosítják (folyékony mozaik-modell).

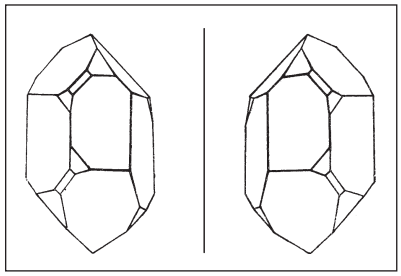
Kérdések, problémák (5)

1. Milyen szerkezetet vesz föl egy vizes közegben képződött szappan-micella, ha apoláros közegbe (pl. benzinbe) kerül?
2. Hajmosás közben megfigyelhető, hogy a zsíros haj nem habzik, a tisztább igen. Miért?
3. Figyelembe véve a habképződés tényét: vajon a felszíni vagy a micellás állapot a kedvezőbb a szappanmolekulák számára?
4. Figyeljünk meg egy lebegő szappanbuborékot! Milyen változások mennek végbe benne a szétpukkadás előtt? Mivel magyarázható ez?
5. Mi okozza a sörhab szerkezetváltozását(ábra)? Különbözik-e a hab felszíne a mélyebb rétegek szerkezetétől?
6. Miben hasonlít s miben különbözik egymástól a hab és a kettős falú micella szerkezete? Mi a különbségek oka?
7. Miért alkalmazható az „imbolygó bója"-modell a sejtmembránba ágyazott fehérjékre is?
8. Alkalmas lenne-e szappannak a zsírok *savas* hidrolízisével nyert termék?
9. Vessük össze a szénhidrogének (kőolaj) és a mosószerek okozta környezeti károkat, ezek okát és a védekezés módját!

6. Aszimmetrikus molekulák

6.1 Fényforgatás

6.1.1 A forgatóképesség felfedezése



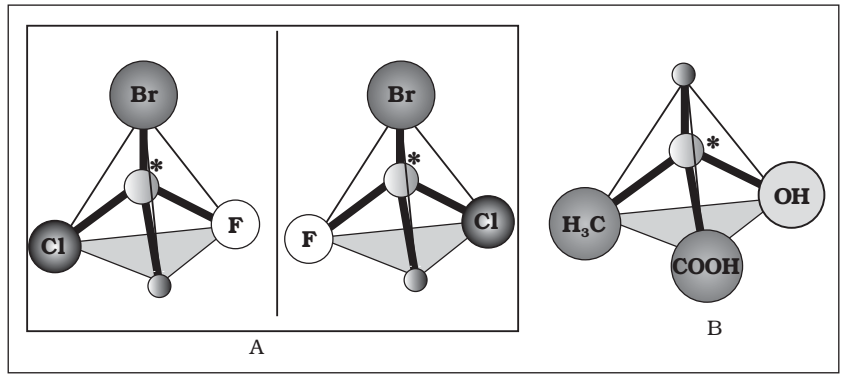
67. ábra. ***Kvarckristályok tükörképi változatai***
→ poláros fény XIV.3.3.3

1811-ben a francia Arago érdekes jelenséget figyelt meg. Ha megfelelően szűrt poláros (polarizált) fényt kvarckristályokra bocsátott, úgy az az esetek egy részében balra, más részében jobbra térült el. (Pontosabban: a kilépő fény rezgési síkja elfordult.) A jelenséget **optikai forgatóképességnek** (optikai aktivitásnak) nevezték el. Arago fölismerte, hogy a kvarcnak kétféle kristálya van, melyek csaknem minden fizikai és kémiai tulajdonságukban megegyeznek egymással, mégsem azonosak: egymás tükörképei. A kvarckristályok nem hozhatók fedésbe tükörképükkel. Az egyik kristály jobbra, a másik – a tükörképe – ugyanolyan mértékben balra forgatta a fényt. Számos ásványt megvizsgáltak ebből a szempontból, s úgy találták, hogy kémiai összetételtől függetlenül egy részük forgat, más részük nem. Az aszimmetrikus (tükörképével nem egyező) kristályok mindig optikailag aktívak voltak.

OLDAT FORGATÓKÉPESSÉGE
← oldódás XI.4.6.3

A kutatók azt várták, hogy az optikai forgatóképesség a kristályrács felbomlásával elenyészik. Az esetek egy részében csakugyan ez történt. Ha pl. nátrium-klorátot ($NaClO_3$) megolvasztunk vagy föloldunk, elveszti forgatóképességét. Sok olyan szerves vegyületet találtak azonban, amelyek kristályos állapotban és oldatban is optikai aktivitást mutattak. Ilyen volt pl. egy dikarbonsav, a borkősav (HOOC – HCOH – HCOH – COOH) is. A borkősav (pontosabban annak sója) boroshordók belső falára rakódik (innen kapta nevét), de szintetikusan is előállítható. Igazi meglepetést okozott, hogy kiderült: a szintetikus borkősav optikailag inaktív, a természetes úton keletkező viszont forgat! (Tévedésről nem lehetett szó: a két anyag minden más fizikai-kémiai tulajdonsága pontosan egyezett.) A jelenség vizsgálatára egy fiatal francia kutató: Louis Pasteur vállalkozott. Pasteur arra gondolt, hogy mivel a forgatóképesség oldott formában is megmarad, az nem a kristály, hanem az *egyes molekulák* sajátossága. Föltételezte tehát, hogy vannak jobbra- és balraforgató borkősav-molekulák, s ha ezek azonos számban vannak jelen, hatásuk kioltja egymást: nem tapasztalunk optikai aktivitást. Sejtését úgy igazolta, hogy a szintetikus borkősavat kikristályosította, majd az apró kristályokat türelmes munkával szétválogatta tükörképi párokra. Ha aztán ezeket külön-külön feloldotta, akkor már a szintetikus oldat is aktívnak bizonyult: az egyik változat jobbra, a másik ugyanolyan mértékben balra forgatott.

→ Pasteur további eredményei XIII.3.1.2; XVIII.4.1.3

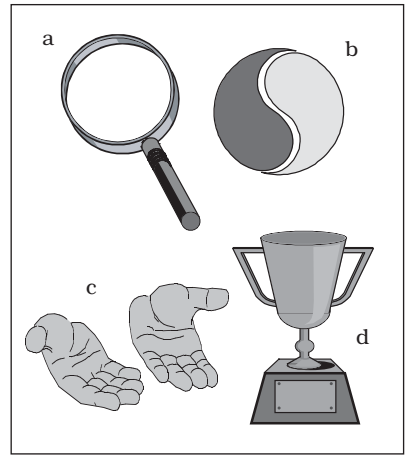


68. ábra. ***Két királis molekula: a fluor-klór-bróm-metán (A) és a tejsav (B)***
A * a kiralitáscentrumokat jelöli. Megfigyelhető, hogy ha két tetszőleges atomot vagy atomcsoportot kicserélünk egy kiralitáscentrum körül, akkor a másik enentiomerpárhoz jutunk. Ha a csoportok száma csökken, vagy kettő azonossá válik, az optikai aktivitás megszűnik.

A forgatóképesség molekuláris magyarázatát a sztereokémia két nagy alakja: van t' Hoff és Le Bel találta meg (1874). A két kutató észrevette, hogy a tetraéderes térszerkezet érdekes következménnyel jár. Amennyiben a kiválasztott szénatomnak mind a négy vegyértékéhez más atom vagy atomcsoport kapcsolódik, úgy két izomer jöhet létre, melyek nem hozhatók fedésbe és tükörképei egymásnak. Az izomériának ezt a fajtáját **optikai izomériának vagy kiralitásnak**, az izomer-párokat pedig **enantiomereknek** nevezték el. (A kiralitás a görög kheir = kéz szóból származik. Amint jobb- és balkezünk tükörképei egymásnak, úgy a királis molekula-párok, az enantiomerek is.) Azokat a szénatomokat, melyek körül a királis elrendeződés létrejön, kiralitáscentrumoknak nevezik.

← XII.2.3

KIRALITÁS



69. ábra. ***Hétköznapi tárgyak kiralitása***
A kiralitás jelenségét nemcsak molekulákon és kristályokon, hanem a bennünket körülvevő tárgyakon is észrevehetjük, ha királisnak nevezünk minden formát, amely tükörképével nem hozható fedésbe (b és c).

6.1.2 Ábrázolás, jelölés

Az enantiomereket *perspektivikus rajz*zal ábrázolhatjuk. Kényelmi okokból azonban sokszor alkalmazzák ennek síkvetületét is. E vetületi rajzok hasonlítanak az egyszerű szerkezeti képletekhez, de annál gazdagabb, árnyaltabb a jelentésük. Míg az egyszerű szerkezeti képletben csak az atomok kapcsolódási rendje rögzített, addig egy síkvetületi rajzon elrendeződésük iránya, helyzete is kötött (hiszen jelentése van). Annak jelzésére, hogy nem szerkezeti képletről, hanem vetületi rajzról van szó, gyakran csillaggal jelölik a *kiralitáscentrumot* (vagy centrumokat).

6.1.3 Több kiralitáscentrumot tartalmazó molekulák

Egy molekulában több kiralitáscentrum is lehet. A négy-négy különböző atom illetve atomcsoport mindegyik szénatom körül két különböző konfigurációban rendeződhet el. Ezért a két kiralitáscentrumot tartalmazó molekuláknak legföljebb $2.2 = 4$, a háromcentrumosoknak $2.2.2=8$, az n kiralitáscsentrumot tartalmazóknak pedig 2^n különböző izomer térszerkezete lehet. (Megjegyzendő azonban, hogy ez a képlet csak az izomerek elvben lehetséges maximális számát adja meg. Ha a molekula szimmetrikus – azonos csoportok szabályosan rendeződnek benne – az optikai izomerek száma ennél kisebb.)

AZ ENANTIOMEREK SZÁMA

6.2 Élet és aszimmetria

6.2.1 Pasteur meglepő eredményei

Az optikai izoméria jelenségére a forgatóképességen kívül Pasteurnek az a megfigyelése is fölhívta a figyelmet, hogy a természetes és a mesterséges úton létrejött vegyületek optikai aktivitása eltért. Pasteur feltételezte – s később igazolta is – hogy a hordók falára lerakódó borkő apró élőlények, mikroorganizmusok terméke. Ezek szerint ezek az élőlények valamiképpen meg tudják különböztetni a két enantiomert, s csak az egyiket állítják elő. Kísérletei során talált egy olyan penészgombát (Penicillium fajt), amelyik a borkősavat táplálékként tudja hasznosítani. Ha ezt a gombát szintetikus (racém) borkősav-eleggyel táplálta, akkor a penész lassanként lebontotta a jobbra forgató változatot, míg a balra forgató molekulák változatlanul maradtak vissza. (Eközben az optikailag eredetileg inaktív oldat balra forgatóvá vált.) Ha a gomba csak balraforgató borkősavat kapott, elpusztult.

„VÁLOGATÓS" ÉLŐLÉNYEK

→ erjedés XIII.3.1.2

Pasteur arra gondolt, hogy a jelenség általános lehet, s talán minden élőlényre jellemző. Ezt azóta számos megfigyelés megerősítette. Sok szintetikus úton előállított gyógyszer pl. csak fele olyan hatékony, mint a természetes eredetű, mert enantiomer-molekuláinak csak a feleannyira hat. A szintetikus tejsav optikailag inaktív, a tejsavbaktériumok által termelt balra, az izmokban keletkező viszont jobbra forgat. Az élőlényekben található aminosavak közül egy kivételével mind optikailag aktív – és az összes D-változat!

→ tejsavas erjedés XIII.9.5

→ aminosavak XII.8.2

→ abiogén úton létrejött szerves molekulák XXIX.

Valamennyi kísérleti eredmény azt erősítette meg, hogy az **élő természet molekulárisan aszimmetrikus, az élettelen viszont szimmetrikus (racém).** Az optikai aktivitás ezzel az élő és élettelen világ közti kémiai határvonallá vált.

6.2.2 Az aszimmetrikus élet

→ egy lehetséges magyarázat: XII.8.3.6

Csak föltevések vannak arra, hogy miért és hogyan alakulhatott ki az élők molekuláris aszimmetriája. Az biztosan tudható: hogyan válogat az élőlény a molekulák között, tehát milyen mechanizmussal választja szét egymástól az enantiomer-párokat.

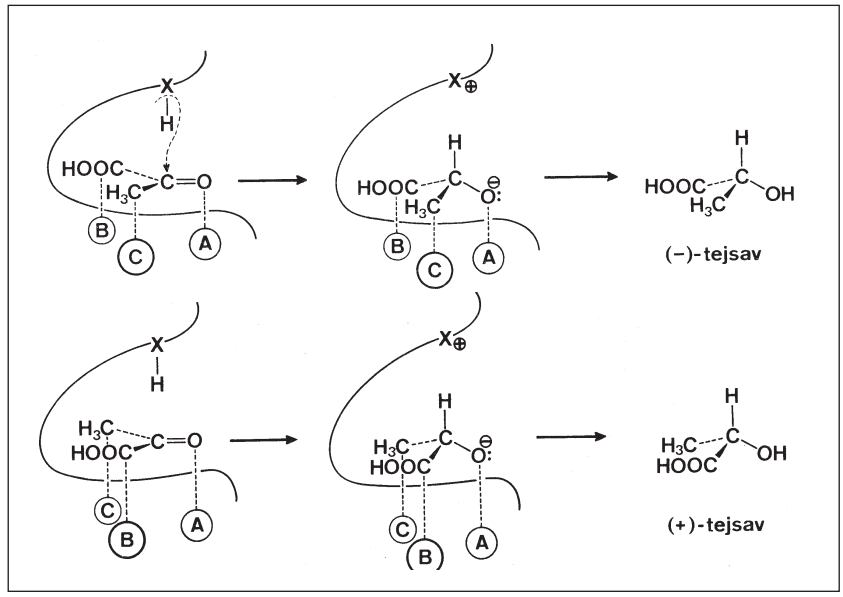
EGYMÁST „FÖLISMERŐ" MOLEKULÁK

A királis molekulák megkülönböztetésére a poláros fényen kívül létezik még egy alkalmas eszköz: *egy másik királis molekula*. Amennyiben van egy olyan királis vegyületünk, melynek csak egyik enantiomerje van jelen, és reagálhat egy másik vegyület mindkét enantiomerjével, akkor válogatni fog: a lehetséges termékek közül nagyobb mennyiségben, esetleg kizárólagosan csak az egyik jön létre. A jelenség ahhoz hasonlítható, mintha egy dobozban levő jobb- és balmenetes csavaranyák közül egy jobbmenetes csavarral válogatnánk ki a megfelelőket: amelyik ráillik, az biztosan jobbmenetes. Az élő szervezetek ilyen királis molekulái *az enzimek*.

→ enzimműködés XII.8.3.6

Az enzimek hatását az adott reakciót felgyorsító aktív hely térszerkezete magyarázza. Például a piroszőlősav nem királis, de egy enzimreakcióban királis tejsavvá alakul át. Hogy melyik változattá, az attól függ, hogy az őt „megragadó" enzim megfelelő csoportjai (A, B és C) milyen térbeli helyzetűek.

„Az enzimet valami egykezű sárkánynak képzelhetjük, amelyik vagy csak a jobb kézbe, vagy csak a bal kézbe „illő" enantiomert tudja megfogni, de amelyi-



70. ábra. ***a) A piroszőlősav redukcióját végző enzim aktív helye a tejsav-baktériumban***
Az enzim A részlete az oxo-csoporthoz, B-részlete a karboxil-csoporthoz, a C pedig a metil-csoporthoz illeszkedik. (Az X csoport szolgáltatja a redukcióhoz szükséges hidrogént.) A reakció eredménye ilyen körülmények között balraforgató tejsav.
b) A piroszőlősav redukcióját végző enzim aktív helye az izomban
A jelölés megegyezik az a) ábráéval, de az A, B és C csoportok elrendezése más. A reakció eredménye ilyen körülmények között jobbraforgató tejsav.

(Rajzok Kajtár Márton: Változatok négy elemre című könyvéből)

ket megfogta, annak „leharapja a fejét”. A másik enantiomert bántatlanul hagyja. A tejsavat oxidáló „enzimsárkányt” olyannak képzelhetjük, amelynek egyetlen mancsán csak három ujj van, a hüvelykkel a karboxilcsoportot, a középsővel a hidroxilcsoportot, a kisujjával meg a metilcsoportot csípi el.

Az enzimek térbeli – konfigurációs – válogatóképessége alapján érthető, hogy az élő szervezet az akirális molekulákat is királisan tudja átalakítani, ezért biológiai körülmények között az enantiomerek közül csak az egyik keletkezik, illetve csak az egyik alakul át.”

Kajtár Márton: Változatok négy elemre

Summa (6)

Az olyan kristályok vagy molekulák, melyek tükörképükkel nem hozhatók fedésbe, királisak. Az ilyen anyagok tükörképi párjai (enantiomerjei) a poláros fény síkját ellenkező irányba forgatják el, egyéb fizikai-kémiai tulajdonságaik megegyeznek. (Optikai aktivitás). A molekuláris aszimmetria oka a szén négy vegyértékéhez kapcsolódó négy különböző atom vagy atomcsoport jelenléte (kiralitáscentrum).

A kiralitást perspektivikus vagy vetületi rajzzal, az elnevezésben a forgatás irányának feltüntetésével (+) – (–), vagy a D-L illetve R-S betűpárokkal szokták jelölni.

Több (n) kiralitáscentrum esetén az izomerek maximális száma: 2^n. A több kiralitáscentrumot tartalmazó vegyületek enantiomer-párokba rendezhetők, amelyek *egymástól* már fizikai-kémiai szempontból is különböznek (diasztereomerek).

Az élettelen világban azonos arányban jönnek létre a jobbra- és a balraforgató izomerek (racém oldatok). Az élőlények csak az egyik enantiomert hasznosítják vagy termelik. Ennek oka, hogy ők maguk is csak az egyik enantiomert tartalmazó molekulákból állnak (enzimek), a királis molekulák pedig különbséget tesznek az enantiomer-párok között (molekuláris aszimmetria).

Kérdések, problémák (6)

1. A 94. ábrán királis és akirális tárgyakat, testeket egyaránt felfedezhetünk. Melyik milyen? A királis tárgyak közül mely esetben van gyakorlati jelentősége is annak, hogy melyik enantiomerről van szó?

2. Az alábbi vegyületek közül melyek királisak? Hány kiralitáscentrumot tartalmaznak?
   a) 1-klór-bután b) 2-klór-bután c) 2-klór-pentán
   d) 3-klór-pentán e) 2-metil-3-hidroxi-pentánsav f) propán-2,3-dihidroxi-al

3. Mi történik, ha egy egyetlen kiralitáscentrumot tartalmazó molekula csoportjai közt nem egy, hanem 2, 3, 4, 5 vagy több cserét hajtunk végre? (Minden esetben két, tetszőlegesen kiválasztott csoportot cserélve ki.) Megfogalmazható-e valamely általános szabály?

4. Melyik az a legkisebb szénatomszámú paraffinmolekula, amelyikben van kiralitáscentrum?

5. Hasonlítsuk össze a konstitúciós izoméria, a geometriai (cisz-transz) izoméria és a kiralitás (enantiomeria) jelenségét! Mi az izomerek létrejöttének feltétele, mitől függ az izomerek száma az egyes esetekben? Hogyan különböztethetők meg egymástól?

6. Rajzolhatunk-e két olyan molekulát, melyek egymásnak enantiomerjei is és cisz-transz izomerjei is? Lehetséges-e, hogy konstitúciós izomerek *is* legyenek?

7. A borkősavnak Pasteur vizsgálatai szerint háromféle változata van: egy jobbra-, egy balraforgató és egy optikailag inaktív (ún. mezo-borkősav). Hány kiralitáscentrumot tartalmaz a borkősav? Nincs-e ellentmondás ebben az esetben az elmélet és a tapasztalat között? Hogyan lehet megkülönböztetni a mezo-borkősavat a szintetikusan előállított (racém) elegytől?

8. Miért nem szünteti meg a borkősav optikai aktivitását az a tény, hogy a szénatomok közti tengelyek körül szabadon forog a molekula?

9. Bizonyos hőmérséklet fölött az optikailag aktív oldatok hajlamosak a forgatóképesség lassú elveszítésére (racemizálódás). Mi lehet a jelenség oka? Miért van az, hogy fordítva nem megy végbe a folyamat?

7. A szénhidrátok

ELNEVEZÉSÜK

A gyümölcsökben, mézben, növényi nedvekben fellelhető kellemes, édes ízű anyagokat, a cukrokat ősidők óta ismeri az ember. Kémiai felépítésük vizsgálata során a XIX. században arra az eredményre jutottak, hogy sokuk összetétele olyan, mintha a szén vízzel „vegyült" volna: $C_n(H_2O)_m$. Ezért nevezték el őket **szénhidrát**oknak (hüdor = víz, görögül). Később kiderült, hogy e föltevésnek nincs elvi alapja, de az elnevezés addigra már elfogadottá vált. Meglepő felfedezés volt, hogy sok, tulajdonságaiban a cukrokhoz egyáltalán nem hasonlító anyag (pl. a keményítő és a cellulóz) szerkezete alapján szintén e csoportba sorolható. Közös jellegzetességük, hogy

KÖZÖS JELLEMZŐIK

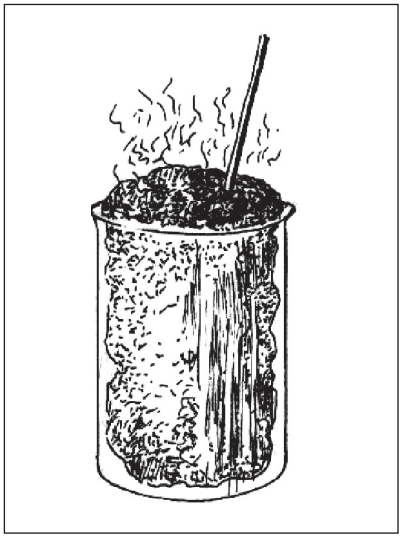
szénből, hidrogénből és oxigénből állnak, s az oxigénatomok száma nagy (legalább három, de több ezer is lehet).

7.1 Egyszerű cukrok (monoszaharidok)

A bonyolult, sok szénatomos szénhidrátok hidrolízisével juthatunk azok építőegységeihez: az egyszerű cukrokhoz (monoszaharidokhoz). Ezek általában 5 vagy 6 szénatomos vegyületek.

← hidrolízis XII.4.3.2

7.1.1 A szőlőcukor szerkezete



71 . ábra. ***Szőlőcukor elszenesítése*** Ha a cukorhoz lassan, kevergetés mellet tömény kénsavat (H_2SO_4) adunk, az a vegyületből elvonja a vizet. A visszamaradt a szenet a keletkező savtartalmú gázok felfújják, szinte „megkelesztik". A reakció végrehajtása a tömény kénsav balesetveszélyessége miatt nagy óvatosságot igényel!

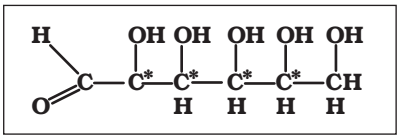
Az édes ízű, vízben jól oldódó szénhidrátok, a cukrok közül különösen fontossá vált a szőlőcukor (glükóz) szerkezetének földerítése. A glükóz önmagában is gyakran fordul elő (pl. a szőlőben is), de sok bonyolultabb, összetett szénhidrát (pl. a cellulóz) bontása során is ez az anyag keletkezik, így joggal tekinthető „általános szénhidrát-építőkőnek".

A glükózt erős vízelvonószer szénre és vízre bontja. Pontos mérésekkel igazolható, hogy a keletkező vízmolekulák száma megegyezik a szénatomokéval: $C_n(H_2O)_m$. A molekulatömeg ismeretében (M = 180 g) az összegképlet: $C_6H_{12}O_6$.

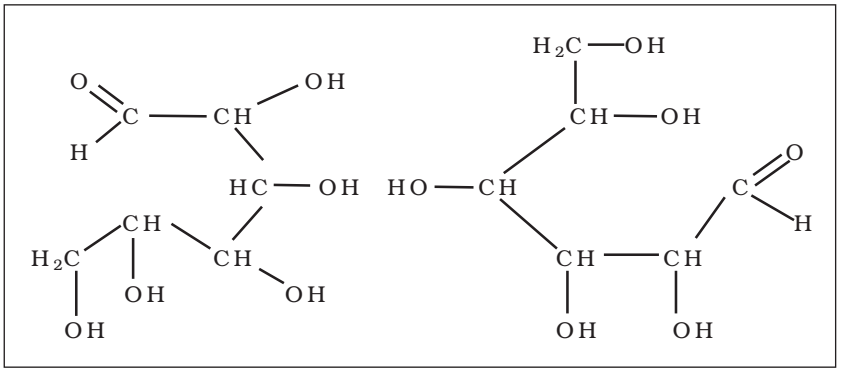
$$C_6H_{12}O_6 - 6H_2O \longrightarrow 6\,C$$

A **szerkezeti képlet** megtalálásához a funkciós csoportok jellegének és számának meghatározásán át vezetett az út. (A lehetséges konstitúciós izomerek száma ez esetben már olyan nagy, hogy „találomra" nem is érdemes elkezdeni a fölírásukat!) A funkciós csoportok közül a karboxil jelenléte kizárható, mivel a szőlőcukor vizes oldata semleges kémhatású. Észter sem lehet, mivel hidrolízissel nem bontható savés alkohol-összetevőkre. A hidroxilcsoportok jelenlétét bizonyítja viszont az, hogy észterképzésre hajlamos, ha megfelelő körülmények közt savakkal (vagy az azokkal rokon szerkezetű savanhidridekkel) reagáltatjuk. Kimutatható, hogy egyetlen glükózmolekula 5 észtercsoport képzésére képes, tehát 5 hidroxil-csoport van benne. Az ismeretek ezt a fázisát tükrözi a következő „félkész" szerkezeti képlet: $C_6H_7O(OH)_5$. A glükóz mutatja az ezüsttükör-reakciót is (ha nem is oly „készségesen", mint egy egyszerű aldehid). Ebből arra lehet következtetni, hogy a hatodik oxigénatom egy láncvégi oxo-csoportot (aldehid-csoportot) alkot. Figyelembe véve, hogy ugyanazon a szénatomon (legalábbis szilárd állapotban) soha nem lehet két hidroxilcsoport, a glükóz szerkezeti képlete a 72. ábrán látható módon rajzolható fel.

Sajnos a helyzet nem ilyen egyszerű. Már az ezüsttükör-reakció lassúsága is gyanút keltett, a modern, XX. századi vizsgálómódszerek (pl. spektroszkópia) pedig egyértelműen igazolták, hogy a glükóz kristályos formában egyáltalán nem tartalmaz aldehid-csoportot, s oldata is alig (a molekuláknak kevesebb, mint 1%-a tartalmazza csupán). A jelenséget *molekulán belüli átrendeződéssel* magyarázhatjuk. Mivel a glükóz a C-C kötések, mint tengelyek körül szabadon foroghat, számtalan térszerkezetet vehet föl. Ezek közül az egyikben az 1. és az 5. számú szénatom megfelelő közelségbe kerül egymáshoz, ami lehetővé teszi az átrendeződést.

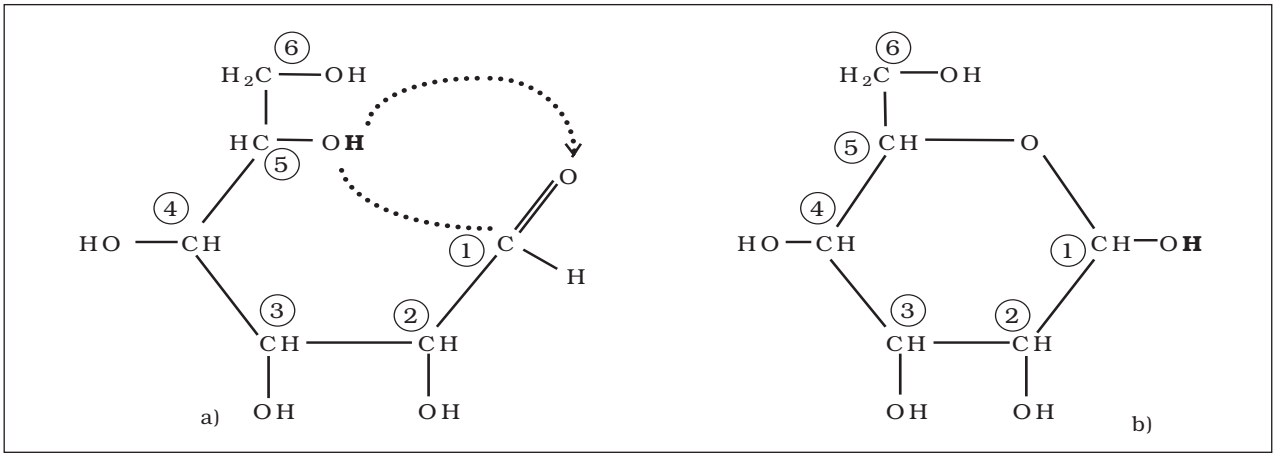


72. ábra. ***A glükóz nyíltláncú szerkezeti képlete.***
Csillaggal jelöltük a kiralitáscentrumokat



→ spektoroszkópia XXI.

73. ábra. ***Nyíltláncú glükóz néhány lehetséges térszerkezete forgás közben***



74. ábra. ***Nyíltláncú glükóz gyűrűvé záródása***
Az „a” helyzetben lehetőség van arra, hogy hidrogénátadással gyűrűs éter alakuljon ki. Az étercsoport oxigénje az 5. szénatom -OH csoportjából alakul ki, az 1. szénatom oxo-csoportja viszont hidroxil-csoporttá alakul. Ebben az ún. gyűrűs formában a glükóz már nem tartalmaz oxo-csoportot, így nem mutatja annak jellegzetes reakcióit sem.

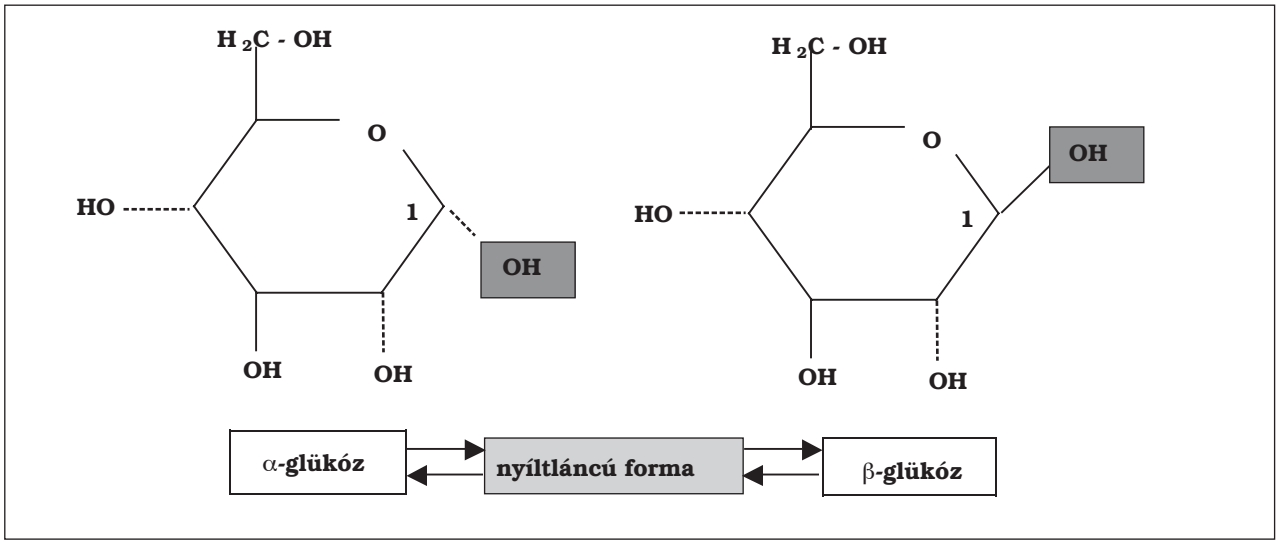
Noha a gyűrűs forma energetikailag sokkal kedvezőbb, mint a nyíltláncú (hiszen a molekulák több, mint 99%-a ebben az állapotban van), a visszalakulásnak sincs semmi akadálya. Ha feltesszük, hogy a gyűrűvé záródás és a felnyílás folyamata állandóan zajlik, a tapasztalt arányt **dinamikus egyensúly** eredményének tekinthetjük. Ezzel magyarázható, hogy a glükóz – ha lassan is – adja az ezüsttükör-reakciót. Ilyenkor az éppen jelenlévő kevés nyíltláncú változat reagál, s amint megfogyatkozik – a dinamikus egyensúly megbomlása miatt – utánaalakul az egyensúlynak megfelelő mennyiségű a nyíltláncú változatból. Így aztán a reakció szép lassan „elfogyaszthatja” szinte a teljes glükózmennyiséget.

A glükóz pontos **térszerkezetének** megállapítása még a szerkezeti képlet kiderítésénél is bonyolultabb volt. A nyíltláncú forma 4 kiralitáscentrumot tartalmaz, ennek megfelelően 24 =16-féle lehetséges izomer írható fel (8 enantiomer-pár). A gyűrűs forma esetében a kiralitáscentrumok száma 5, így itt 32 az izomerek száma, s ezek közül csak egy a tényleges szőlőcukor. A század elején a német Emil Fischer (1852–1919) hosszas kutatás után bizonyította, hogy a glükóz térszerkezetét az ábrán látható képlet fejezi ki. A

← XII.6.1.3

75. ábra
Az α- és a β- D- glükóz térszerkezete sematikus „felülnézeti" ábrázolásban.
A folyamatos, vastag vonalak a „felénk eső" (a gyűrű síkja fölötti), a szaggatottak pedig a tőlünk távolabbi (a gyűrű síkja alatti) kötéseket jelképezik.

többi 15 izomer is előállítható, ezek azonban más vegyületek, a természetben ritkák vagy egyáltalán nem fordulnak elő. A szőlőcukor kiralitást is kifejező neve: **D-glükóz.** (Enantiomer-párjában, az L-glükózban az 5. szénatomon más helyzetű a hidroxil-csoport. Ez a természetben nem fordul elő.) Gyűrűs formában a szénatomokhoz kapcsolódó hidrogén- és hidroxil-csoportok vagy a gyűrű síkjára *merőlegesen* állnak (ezt axiális helyzetnek nevezik), vagy megközelítőleg *egybeesnek a síkkal, kissé alatta vagy fölötte* (ez az ekvatoriális helyzet).



A gyűrűs formában különös jelentősége van az 1. szénatomon található -OH csoport (a glükozidos hidroxilcsoport) helyzetének. Ha ez a D-gyűrű síkja alatt áll (axiális) α-, ha kissé afölött: β-változatnak nevezik. Mindkettő nagy eséllyel keletkezik a gyűrűvé záródás során, ezért – a nyíltláncú formán át – egymásba is átalakulhatnak. Ezért – mindaddig, amíg a gyűrű felnyílását valami meg nem akadályozza – az α és a β-glükóz nem különíthető el egymástól.

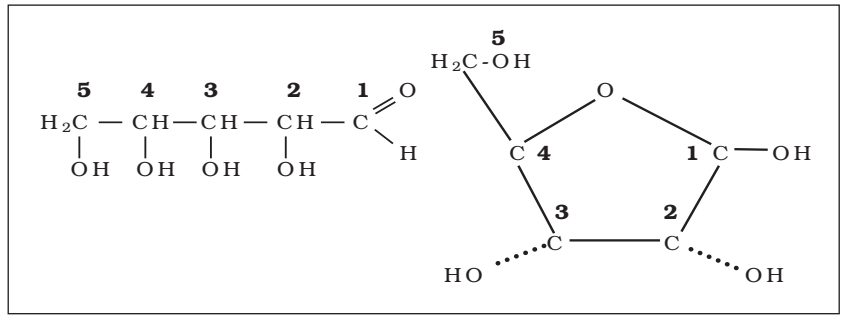


76. ábra. ***Emil Fischer (1852–1919) német kémikus***
A egyetem elvégzése után (Bonn, Strassburg) Erlangenben, Würzburgban majd Berlinben lett professzor. Az alkaloidák közül a koffein és a teobromin szerkezetét fedezte fel. Híressé a glükóz térszerkezetének kimutatása tette, a Nobel-díjat is részben ezért kapta 1902-ben. Ő indította meg a fehérjék szerkezetének módszeres kutatását is.

7.1.2 Egyéb egyszerű cukrok

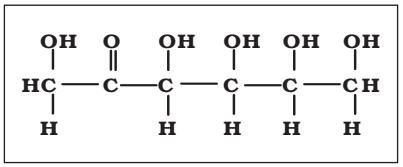
A természetben előforduló egyszerű cukrok közül legfontosabbak az ötszénatomos pentózok és a hatszénatomos hexózok.

A **pentózok** közül a ribóz is aldehidcsoportot tartalmaz, gyűrűvé záródása az 1. és a 4. szénatom közt megy végbe.



77. ábra. ***A β-D ribóz nyíltláncú és gyűrűs formája.*** A jelölések megegyeznek a 96. ábráéval

A **hexózok** közül a **gyümölcscukor (fruktóz)** összegképlete a glükózhoz hasonlóan $C_6H_{12}O_6$, tehát konstitúciós izomerek. Az oxo-csoport azonban a gyümölcscukorban a 2. szénatomhoz kapcsolódik, a nyíltláncú molekula tehát keton. Gyűrűvé záródáskor a 2. és 5. szénatom között jön létre kapcsolat, a gyűrű ezért öttagú. A gyümölcscukor gyümölcsökben, mézben önmagában is előforduló, a glükóznál is édesebb ízű vegyület. Legnagyobb mennyiségben azonban a glükózzal összekapcsolódva a **répacukorban** (szaharóz) található.



78. ábra. ***A gyümölcscukor nyíltláncú formája***

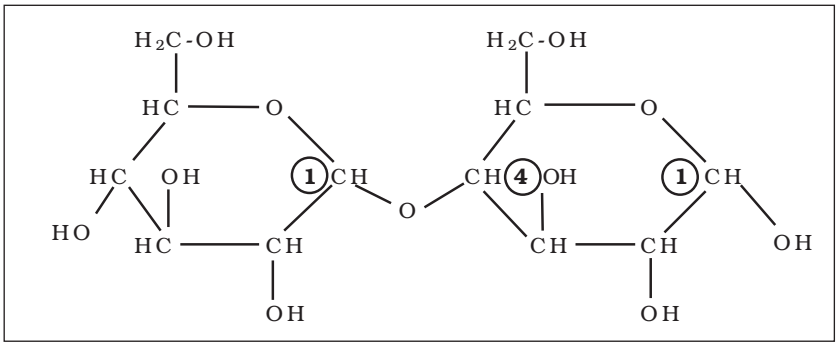
7.2 Összetett cukrok

7.2.1 Diszaharidok

Az összetett cukrok több, a diszaharidok két egyszerű cukor-egységből keletkeznek vízkilépéssel. Hidrolízisük egyszerű cukrokat eredményez. Így pl. két α-glükóz – amennyiben a víz az egyik glükózmolekula 1. és a másik glükózmolekula 4. hidroxilcsoportjából válik ki – maltózzá kapcsolódik össze.

MALTÓZ

→ keményítő 7.2.2

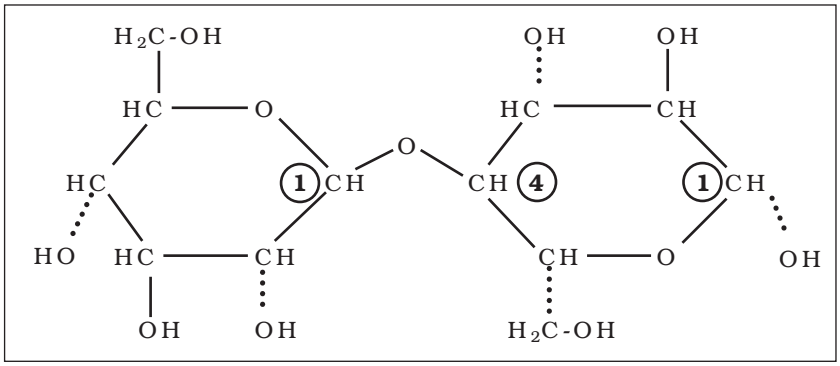


α-GLÜKÓZ
↓
MALTÓZ
↓
KEMÉNYÍTŐ
GLÜKOGÉN

79. ábra. ***Maltóz keletkezése két α-glükózból.***
A maltóz a természetben csírázó növényi magvakban, levelekben fordul elő. Különösen sokat tartalmaz a csíráztatott árpából készült maláta, a sörgyártás egyik alapanyaga. (Innen származik a maltóz neve is).

Ha egy normális és egy ehhez képest 180°-al elfordított β-glükóz kapcsolódik össze az 1. és 4. szénatomok között, **cellobióz** jön létre.

CELLOBIÓZ
→ cellulóz 7.2.2



β-GLÜKÓZ
↓
CELLOBIÓZ
↓
CELLULÓZ

80. ábra. ***Cellobióz -molekula***
A cellobióz szabad formában a természetben nem fordul elő, de mint a cellulóz alkotórésze, az egyik legelterjedtebb szerves molekula.



81. ábra. ***Cukornád***
A cukorrépa mellett a szaharóz legfontosabb forrása.

Kísérletek kristálycukorral (répacukor, nádcukor szaharóz)

1. Pohárnyi vízben kb. 100 g répacukrot oldva az oldat egy részét tegyük félre. A másik feléhez adjunk késhegynyi citromsavat vagy borkősavat (citrompótló). Forraljuk fel az oldatot és tartsuk kb. 10 percig forrásban. Ha lehűlt, kóstoljuk meg, és hasonlítsuk össze ízét az eredeti oldatéval! Azt várnánk, hogy a forralt oldat a citromsav miatt savanyúbb lesz, valójában édesebbnek érezzük. A savas főzés hatására ugyanis hidrolizált, alkotórészeire bomlott a répacukor, s így kétszer annyi cukormolekula van az oldatban.

2. Karamellizáció: a szerves vegyületek általában hőérzékenyek, ami azt jelenti, hogy magasabb hőmérsékleten elbomlanak. Ha kristálycukrot kémcsőben lassan melegítünk, 160 °C körül megolvad, majd lassan oxidálódni kezd: barnássá válik, karamellizálódik. A hevítést tovább folytatva mind kellemetlenebb szagú anyagok keletkeznek, végül a cukor elszenesedik.

3. Végezzük el tejjel (tejcukor) és répacukor-oldattal az ezüsttükör-reakciót! Észlelünk-e különbséget, ha reakció elvégzése előtt felforraljuk az oldatokat? (hidrolízis!)

7.2.2 Poliszaharidok

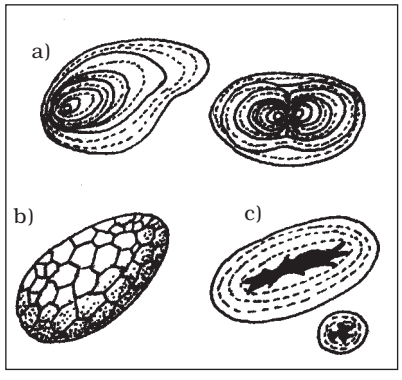
ÖSSZEADÓDÓ KÜLÖNBSÉGEK

Az a látszólag apró különbség, ami a maltóz és a cellobióz-molekula között fennáll, alapvető szerkezeti különbséghez vezet, ha e diszaharidok több száz vagy ezer tagból álló óriásmolekulákká: **poliszaharidokká** kapcsolódnak össze. A poliszaharidok két alaptípusa: a **keményítő és a cellulóz**. Közös tulajdonságuk, hogy nem édes ízűek, vízben nem vagy rosszul oldódnak, hidrolízisük során glükózmolekulákra esnek szét.

KEMÉNYÍTŐ

← XII.5.1.2

A **keményítő (amilum)** növényi magvakban, gumókban mikroszkóppal jól látható szemcsékben van jelen. Keményítőt tartalmaznak az ebből készült termékek is (liszt, kenyér). A keményítő hideg vízben nem, melegben nehezen oldódik. Oldata – akárcsak a szappanos víz – opaleszkál.



82. ábra. ***Növényi keményítő-szemcsék***
a) burgonya; b) zab; c) bab

Kísérletek keményítővel

1. Egy falat kenyeret a szokásosnál hosszabb ideig rágva édes ízt érzünk. A nyálban található amiláz hatására édes maltóz-molekulák keletkeznek.

2. Kíséreljünk meg háztartási keményítőt hideg vízben oldani. Miután ez nem sikerült, kevés vízzel csomómentesre kikevert keményítőt forró vízbe csurgassuk! Opálos oldatot kapunk.

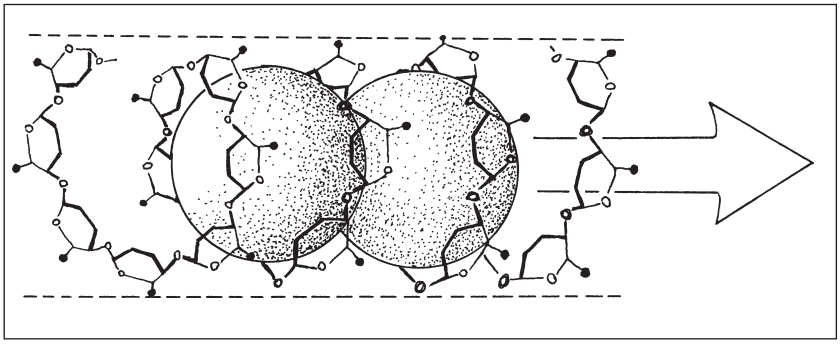
3. A keményítőoldatba csöppentsünk jódoldatot (Lugol-oldat)! Ha túl tömény az oldat: fekete, egyébként kék színt látunk. Az oldatot forrásig hevítve a kék szín eltűnik, ha kémcsövet lehűtjük, a kék szín visszatér. Ezt többször is elvégezhetjük.

4. Természetes anyagokban is kimutathatjuk a keményítőt. Egy szelet nyers burgonyára csöppentett jód megkékül, akárcsak a csiriz vagy a palacsintatészta.

A keményítő tulajdonságai a maltózok kapcsolódásának rendjéből érthetők meg. Amennyiben a maltózok valamennyien 1. és 4. szénatomjaikon levő hidroxilcsoportjaikkal alakítják ki a kötést, úgy a mindig azonos irányba térülő oxigénhidak miatt a keményítőlánc „begörbül", helikális alakot vesz föl (hélix-térszerkezet, a helix=csiga latin szóból).

HÉLIX

→ DNS kettős hélix XXIII.



83. ábra. ***A keményítő-hélix (amilóz) szerkezete oldalnézetben.*** A jódmolekula (I_2) éppen belefér a keményítő-spirál apoláros belső terébe. A molekula-henger palástján fekvő hidroxil-csoportok ugyanakkor egymással és a környező vízzel is hidrogén-hidakat létesítenek.

A keményítő-hélix (más néven: amilóz) makettjét vizsgálva feltűnő, hogy a poláros hidroxilcsoportok sohasem a molekula-cső belseje felé állnak, így az vizes közegben is apoláros tér marad. A szintén apoláros I_2-molekulák szívesen kötődnek ide, s adják a keményítő kimutatására alkalmas jellegzetes kék elszíneződést. Magasabb hőmérsékleten azonban a fokozott hőmozgás szinte „kirázza" a keményítő-csőből a jódot, a kék szín ilyenkor eltűnik. A molekula-henger palástján levő hidroxil-csoportok olyan állásúak, hogy részben egymással (molekulán belül), részben pedig a környező vízzel számos hidrogén-híd létrehozására képesek. A molekulán belüli hidak úgy merevítik ki a spirált, ahogyan egy csigalépcsőt a fordulók közé hegesztett vasrudak. A „kifelé néző" hidrogénhidak pedig azt biztosítják, hogy a víz – hatalmas molekulatömege ellenére – valamelyest mégiscsak oldja a keményítőmolekulát.

A KEMÉNYÍTŐ TULAJDONSÁGAI

→ XIII.2

→ fehérjék szerkezete XII.8.3.4

A maltózmolekulák között nem csak 1,4-helyzetű kötések alakulhatnak ki. Előfordulnak *elágazó láncok* is, melyekben időnként 1,6-kötések is vannak. Mivel ezek lehetetlenné teszik a szabályos spirál kialakulását, tulajdonságai is eltérnek attól. Ilyen elágazó szerkezet jellemzi a keményítőszemcsék felszínét burkoló ún. amilopektint és az állatok, gombák tartalék-tápanyagát jelentő **glükogén**t (ez utóbbit előfordulása miatt „állati keményítőnek" is nevezik).

GLÜKOGÉN

→ a máj szerepe XIII.6.2

A **cellulóz** szálas, rostos anyag. A növények sejtfalát, rostjainak fő tömegét alkotja. (Nevét is innen kapta: cellula = cellácska, sejt latinul.) Csaknem tiszta cellulóz a gyapot és a belőle készült vatta. A Földön a legnagyobb mennyiségben előforduló szerves anyag. Vízben nem oldódik, mechanikai és kémiai hatásokkal szemben igen ellenálló. Hidrolízisére az élőlények közül csak néhány baktérium és gomba képes. A növényevő állatok belében is ezek végzik az emésztését. Tömény savas közegben főzve cellobióz egységekre bontható.

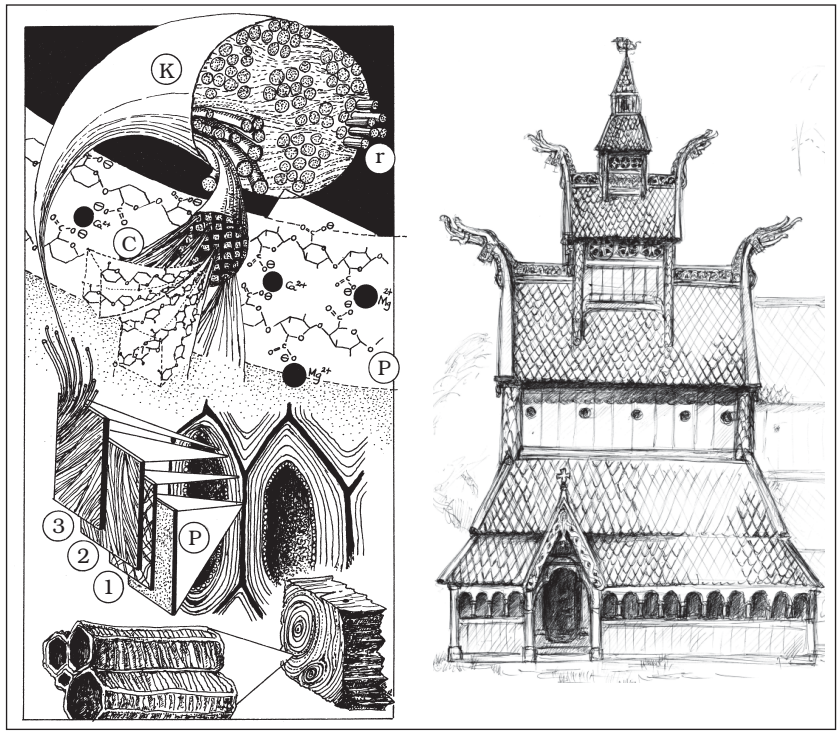
CELLULÓZ

← X.1.1.2

→ XIII.1.3; 5.1

Ezek a keményítőtől erősen különböző sajátságok a maltóz és a cellobióz eltérő térszerkezetére vezethetők vissza. Ha cellobióz-molekulák 1,4-kötésekkel kapcsolódnak egymáshoz, akkor a létrejövő oxigén-kötések felváltva a gyűrűk síkja alá és fölé mutatnak. A kitérések kiegyenlítik egymást, így hosszú, nyújtott szál alakú molekula jön létre. A hidrogén-hidak egyrészt a molekulán *belül*, a szomszédos glükóz-egységek között, másrészt a szomszédos cellulóz-molekulák *között* jöhetnek létre, szoros egységbe kapcsolva azokat. A hidrogén-hidak e rendszerében a rostok belsejében nem jut hely a víznek, a rostok *közt* azonban igen: a fa megduzzad a felszívott víztől, de nem oldódik abban.

A CELLULÓZ TULAJDONSÁGAINAK MAGYARÁZATA

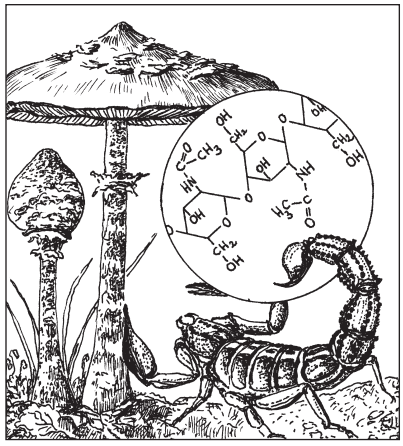


84. ábra. ***A megmunkált fatörzsek rostjainak szerkezete biztosítja az épület szilárdságát***
A kötegekbe (K) kapcsolódó rostok (r) sokezer cellulóz molekulából (C) állnak. A sejtfalakat egymásra rakódó, ellentétes lefutási irányú kötegek teszik szilárdakká (1-2-3). A cellulózrostok egy másik poliszaharid, a pektin (P) kocsonyás állományába ágyazódnak.

85. ábra. ***Hopperstad fatemploma (Norvégia).***
A XII. században épült templom minden része fából készült. Hasonló remekművek ékesítették ebben az időben Magyarországot is, közülük néhány fönnmaradt Erdélyben és Kárpátalján.
A fa tartóssága, szépsége, megmunkálhatósága és jó hőszigetelése miatt az ember által használt legfontosabb építőanyag. Ha lebontói: a gombák és az ízeltlábúak ellen megvédik, több ezer éven át ellenállhat az időjárás viszontagságainak.

KITIN

← X.5.3.5



86. ábra. ***A kitin felépítése és előfordulása a természetben***

Szerkezeti hasonlósága miatt poliszaharidnak tekintik az ízeltlábúak és a gombák jellegzetes vázanyagát, a **kitint** is. A kitin a cellulózhoz hasonló felépítésű, azonban nitrogént is tartalmaz. Fizikai és kémiai hatásoknak egyaránt ellenálló anyag, mely nagyban hozzájárult az ízeltlábúak bámulatos változatosságának kibontakozásához.

A szénhidrátok több hidroxil- és oxo-csoportot (gyűrűvé záródva éter-csoportot) tartalmazó szerves vegyületek.

A poliszaharidok íztelenek, vízben nem, vagy rosszul oldódnak. Hidrolízissel diszaharidokká, a diszaharidok pedig monoszaharidokká bonthatók. A di- és monoszahridok vízben oldódnak, édesek (cukrok).

A monoszaharidok nyíltláncú és gyűrűs formában léteznek. Az aldehidekre jellemző reakciókat csak nyíltláncú formában adják. A glükózban gyűrűs formájában az 1. szénatomon létrejövő hidroxilcsoportnak két lehetséges állása miatt a (a sík alatt) és b (kissé a sík fölött) változatot lehet elkülöníteni.

A szénhidrátok típusai:

a) Monoszaharidok – hexózok (hat szénatomosak): glükóz (aldehid), fruktóz (keton)
– pentózok (öt szénatomosak): ribóz (aldehid)
b) Diszaharidok – két α-glükózból: maltóz
– két β-glükózból: cellobióz
c) Poliszaharidok – α-glükózokból: keményítő, glükogén
– β-glükózokból: cellulóz.
-nitrogént tartalmaz: kitin

Summa (7)

Kérdések, problémák (7)

1. A glükóz nyíltláncú szerkezeti képletének bizonyítása során a könyv átugrott egy „logikai lépcsőfokot”. Melyiket? Hányféle lehetséges izomert lehetne szerkeszteni, melyek még mind megfelelnek a könyvben leírt tapasztalatoknak?

2. Szobahőmérsékleten a szőlőcukor-oldat 63% b-D glükózt, 37% a-D glükózt és elenyésző mennyiségű nyíltláncú változatot tartalmaz. Mire következtethetünk ebből?

3. A tejben levő tejcukor (laktóz) szerkezete hasonlít a cellobiózéhoz. A különbség: a laktózban az egyik monoszaharid (amelyik az 1. számú szénatomjával kapcsolódik) nem glükóz, hanem annak tér-izomerje: a galaktóz. A galaktóz 4. szénatomján a D-glükózzal ellentétes térszerkezetű. Hogyan ábrázolható a tejcukor? Redukáló tulajdonságú-e?

4. Hány konstitúciós izomerje van a D-fruktóznak és a D-ribóznak?

5. Az amilopektin és a glikogén néhány tulajdonságában eltér a keményítő-spirálétól. Milyen tulajdonságok lehetnek ezek és mi az eltérés magyarázata?

6. Adja-e az ezüsttükör-próbát a keményítő és a cellulóz? Miért?

7. Hány db. glükóz-egység építi fel annak a cellulóznak egy molekuláját, melynek molekulatömege 1.400.000 ?

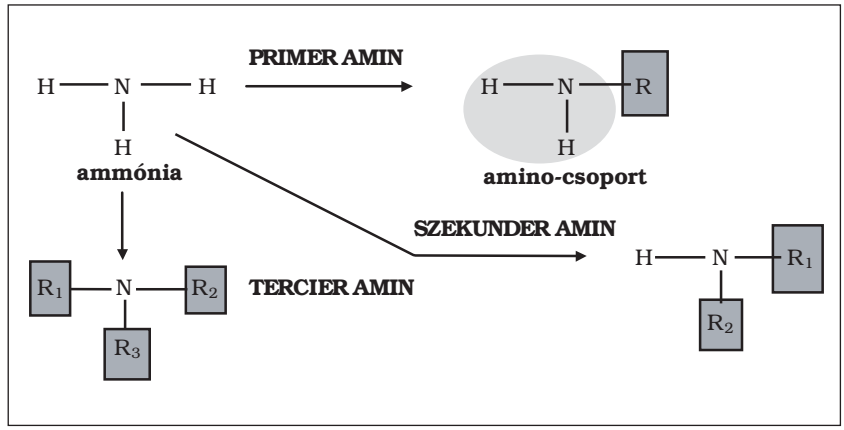
8. Nitrogéntartalmú vegyületek

8.1 Az aminok

A nitrogéntartalmú szerves vegyületek mindegyike tartalmaz legalább egy nitrogénatomot. Az olyan vegyületeket, amelyekben a nitrogénatom egyszeres kötéssel kapcsolódik egy vagy több szénatomhoz, a többi vegyértékét pedig hidrogének kötik le: **aminoknak** nevezik. Az aminok típusai és tulajdonságai az ammónia-molekulából vezethetők le.

AZ AMINOK TÍPUSAI
→ az ammónia, mint az aminok bomlásterméke XIII.4.1.1

Az ammónia egyik hidrogénjét széntartalmú csoportra cserélve primer amint kapunk. Ezek jellemző funkciós csoportja az **amino-csoport.** Két hidrogén cseréje után szekunder, mindháromé után tercier amint kapunk. Az aminok rendűségét tehát a nitrogénatom helyzete szabja meg.



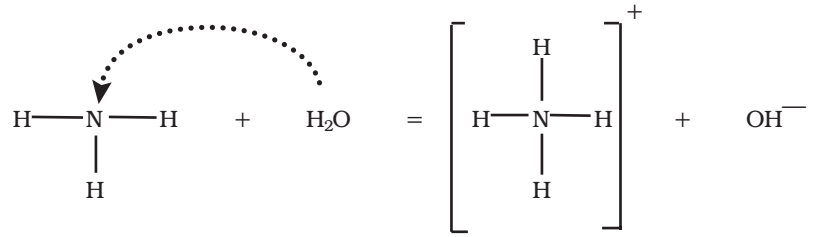
88. ábra. ***Az aminok származtatása ammóniából.*** Az $R_{1,2,3}$ csoportok bármilyen széntartalmú láncot jelenthetnek

Az aminok nevét a nitrogénatomhoz kapcsolódó csoportok nevének felsorolása után tett *-amin* szóval képezzük.

Például: $H_3C - NH_2$ = metil-amin, $C_2H_5 - NH - CH_3$ = etil-metil-amin.

Az aminok kémiai reakciói az ammónia-molekula bázikus sajátosságából következnek. Az ammónia savaktól, de a víztől is szívesen vesz föl hidrogén-iont, ezért az oldatot lúgossá teszi:

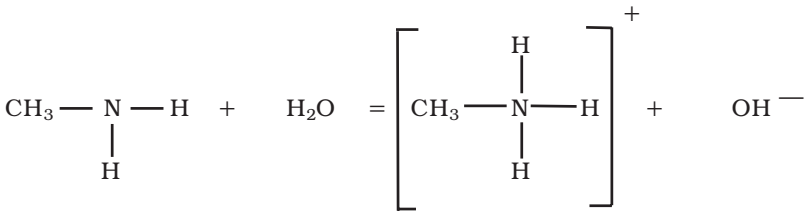
← XI.4.4
→ magyarázata XXII.



ammónia víz ammónium-ion hidroxid-ion

→ jelentősége a fehérjék szerkezetének kutatásában XII.8.3.1

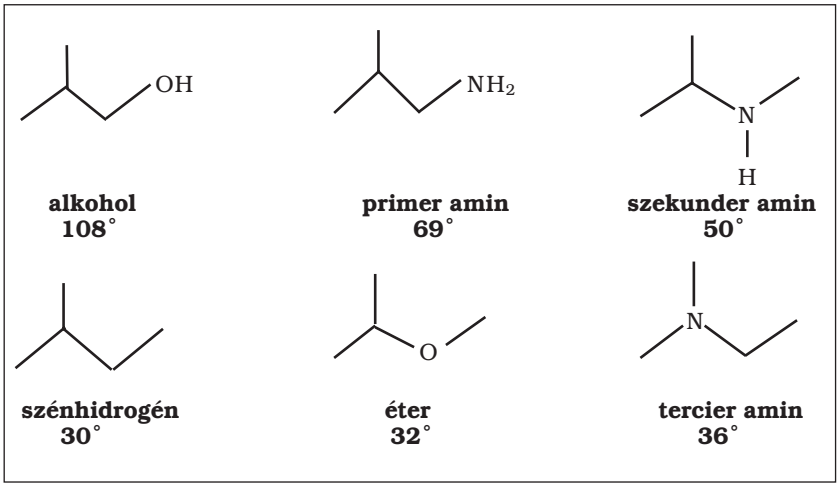
A nitrogénatom az aminokban is megőrzi hidrogénion-felvevő képességét, így ezek a vegyületek is bázikus kémhatásúak:



metil-amin víz metil-ammónium-ion hidroxid-ion

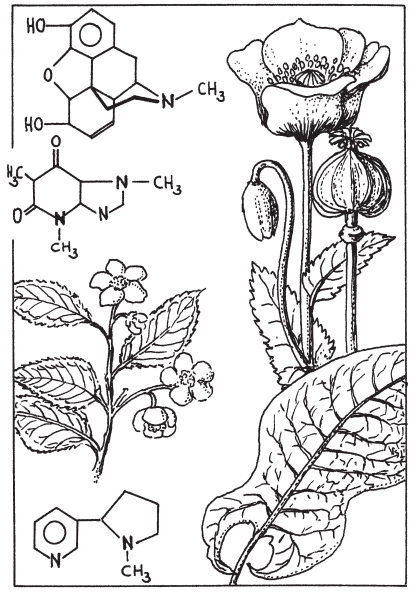
Mivel az aminok szívesen vesznek részt sav-bázis reakciókban, hidrogén-híd létrehozására is képesek. Mivel a nitrogénatom elektronegativitása az oxigénénél kisebb, az N–H kötés(ek) kevésbé poláros(ak), mint az O–H kötés. Ennek megfelelően az várható, hogy az aminok forráspontja az azonos tömegű szénhidrogénekénél magasabb, az alkoholokénál viszont alacsonyabb lesz. A tapasztalat igazolja ezt a várakozást.

FORRÁSPONTJUK



89. ábra. ***Néhány nitrogén- és oxigéntartalmú vegyület forráspontja***
Összehasonlításként megadtuk egy hasonló szerkezetű szénhidrogén forráspontját is.

A nitrogénatom gyűrűbe is beépülhet, sőt aromás jellegű (ún. heterociklusos) vegyületek alkotórésze is lehet. A nitrogéntartalmú gyűrűs vegyületek (részben aminok) közül soknak jellegzetes biológiai hatása van: ezeket nevezik összefoglaló néven **alkaloidák**nak. Az alkaloidákat többnyire növényekből vagy gombákból vonják ki. Fontos gyógyszer-alapanyagok, de kábítószerekként (drogokként) is ismertek.



90. ábra. ***Néhány alkaloida szerkezete és hatása***

a) Morfin (fent)
A mákgubóból kiszivárgó tejszerű nedv (ópium) egyik alkotórésze. Erős fájdalomcsillapító, emellett önkívületi állapotot (eufóriát) okoz(hat). Használata – a többi kábítószerhez hasonlóan – azért veszélyes, mert a szervezet könnyen hozzászokik (függőség, dependencia), s ekkor megvonása már súlyos tüneteket okoz.

b) Koffein (középen)
Valószínűleg a legnagyobb mennyiségben fogyasztott alkaloida. A kávé, a tea, a kóla is tartalmazza. A központi idegrendszert izgató, fáradtságérzést csökkentő szer. Túladagolása mérgezést okozhat.

c) Nikotin (lent)
Dohánylevélben előforduló tercier amin. Erős méreg, szerencsére a cigarettaparázsban nagy része elég.

Summa (8.1)

A nitrogéntartalmú szerves vegyületek közül az aminokban a nitogénatom egyszeres kötésekkel kapcsolódik egy vagy több széntartalmú csoporthoz, maradék vegyértékeit pedig hidrogének kötik le. A primer aminok amino-csoportot ($–NH_2$) tartalmaznak.

Az aminokban a nitrogén megőrzi protonfelvevő képességét: így bázikus sajátságúak. Mivel képesek hidrogén-híd kialakítására, vízben is jól oldódnak. Forráspontjuk a megfelelő tömegű alkoholokénál kisebb, a nitrogénatom kisebb elektronegativitása miatt ugyanis az N–H kötés kevésbé poláros, mint az O–H.

A gyűrűs aminok illetve nitogénatomot tartalmazó aromás vegyületek közül kerül ki sok alkaloida, ezek egy része kábítószer (drog), pl.: koffein, morfin, kinin, sztrichnin.

8.2 Aminosavak és peptidek

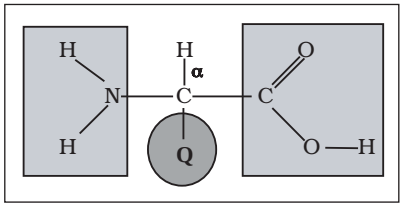
A XIX. században ismerték fel, hogy a minden élőlényben előforduló bonyolult óriásmolekulák, a fehérjék alapvető fontosságúak az élet szempontjából. Vizsgálatuk során feltűnt, hogy minden fehérje legföljebb húszféle „építőkőre" bontható. Ezeket az alkotórészeket **aminosavaknak** nevezték el.

AMINOSAVAK

← amino-csoport XII.8.1

← karboxil-csoport XII.4.1.2

A húszféle biológiai eredetű (biogén) aminosav alapfelépítése hasonló. Mindegyik tartalmaz amino-csoportot (tehát primer amin) és karboxilcsoportot (tehát karbonsav is). A legegyszerűbb aminosavnak, a glicinnek az összegképlete: $C_2H_5O_2N$. Miután igazoltuk az amino- és a karboxilcsoport jelenlétét, a szerkezeti képlet csak a következő lehet: $H_2N\text{-}CH_2\text{-}COOH$. A többi aminosav vizsgálata során kiderült, hogy a természetben mindig ugyanahhoz a szénatomhoz kapcsolódik a karboxil- és az amino-csoport. Ezt a-szénatomnak nevezték el. Az aminosavak közti különbség ezek szerint az, hogy az a-szénatomról *húsz különbözőféle csoport*, **oldallánc** ágazik le.

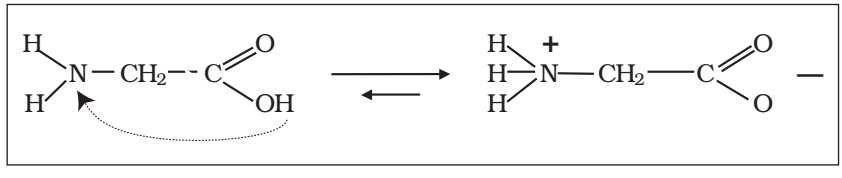


91. ábra. ***Az aminosavak általános szerkezeti képlete.***
A Q húszféle oldallánc összefoglaló jele

Az oldalláncok igen változatos szerkezetűek, szinte a szerves funkciós csoportok által kínált valamennyi lehetőséget kínálják. Vannak köztük egyszerű alkilcsoportok (pl. az alanin), van aromás (fenilalanin), poláros (szerin), bázikus (lizin), savas (aszparaginsav), sőt kéntartalmú is (cisztein). Feltűnő a prolin „oldallánca", mely gyűrűs szerkezetű. Mesterségesen létrehozhatók ezektől eltérő szerkezetű aminosavak is – ezeknek azonban az élet szempontjából nincs jelentőségük.

Az aminosavak jellegzetessége, hogy molekuláikban két ellentétes jellemű csoport – a bázikus amino- és a savas karboxilcsoport – együtt van jelen. E két csoport ugyanúgy hat egymásra, mintha egy oldatban primer amin és karbonsav reagálna: a savas csoport protont ad át a környező víznek, a bázikus pedig protont vesz föl onnan (mintha a karboxil-csoport adna át egy protont az amino-csoportnak, a víz mint katalizátor segítségével). Így az aminosavak vizes oldatában pozitív és negatív töltést egyaránt hordozó ún. ikerionok jelennek meg. Valójában tehát ez az ikerionos képlet fejezi ki hívebben a tényleges helyzetet. (Vizes oldatban kb. tízezer ikerionra jut egy-egy semleges molekula.)

IKERIONOK



92. ábra. ***A glicin ikerionos szerkezete.***
(A karboxil csoport ionos változatában valójában nem különböztethetők meg egyszeres és kétszeres kötések. Ezt a delokalizált eloszlást jelölhetjük egy mindkét oxigénatomra kiterjedő szaggatott vonallal is.)

Az ikerionos szerkezet magyarázza az aminosavak sok tulajdonságát: pl. minden eddig megismert szerves vegyületnél magasabb olvadáspontjukat (glicin: 292°C). Ionok között ugyanis erősebb a vonzás, mint a dipólusok, (részleges töltések) között. Vízben kitűnően oldódnak, ami arra utal, hogy annak hidrogén-híd rendszerébe könnyen be tudnak kapcsolódni.

← rácstípusok XI.4.6.1

← magyarázata (tömeghatás-törvény): IX.3.3.4

Az aminosavak töltése függ a közeg kémhatásától. Minél nagyobb a hidrogénionok koncentrációja – azaz minél savasabb a közeg – annál több karboxilcsoport kapja vissza protonját. Ezek az aminosavak elvesztik negatív töltésüket, kationná válnak. Lúgos közegben viszont az amino-csoportok adják le korábban fölvett protonjaikat, ekkor az aminosavak pozitív töltésüket vesztik el, és anionná válnak. Hasonlóképpen reagálnak a közeg pH-változására az oldalláncok savas vagy bázikus csoportjai is.

→ kondenzáció XII.4.3.2; 7.2.1–2

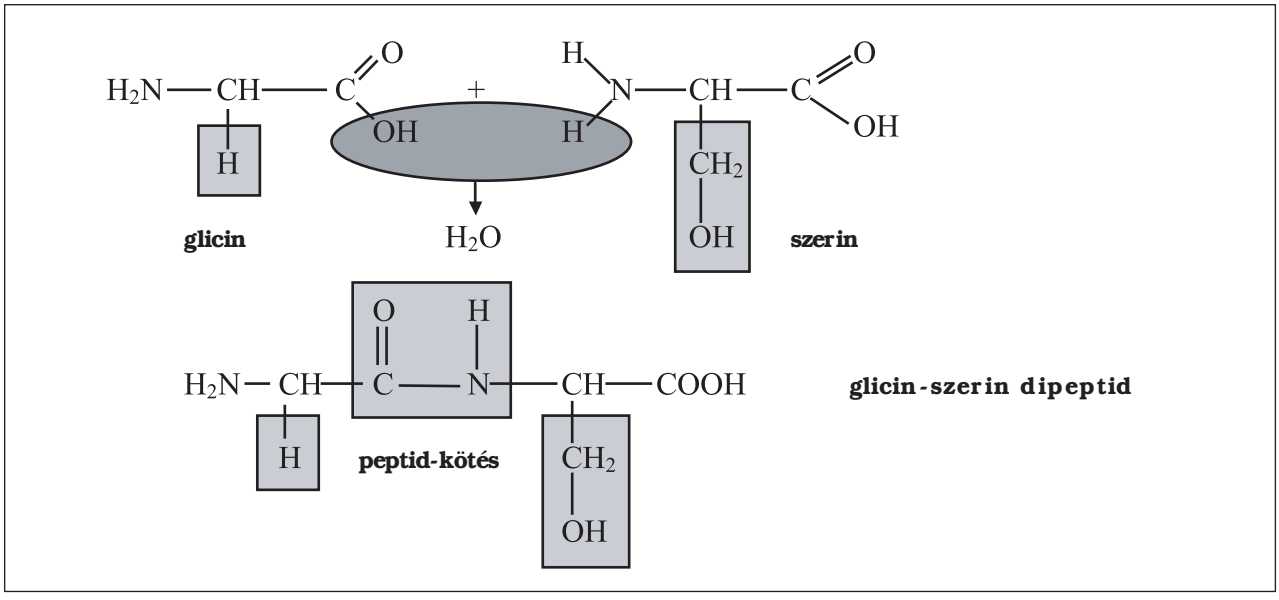
Emil Fischer német kémikus, aki elsőként állított elő fehérjékből hidrolízissel aminosavakat, azt is megfigyelte, hogy ezek az aminosavak képesek amino- és karboxilcsoportjaikkal vízkilépés mellett újra egyesülni. Az így kialakuló kötéseket **peptidkötés**nek, a reakciót peptidképződésnek nevezik. A peptidképződés tehát a hidrolízissel ellentétes folyamat. Két aminosavból **dipeptid**, háromból tripeptid képződik, a kevés (3-10) aminosavból állókat általában oligopeptideknek nevezik (oligosz = kevés, görögül). A **polipeptidek** sok aminosavból kapcsolódnak össze. Az **egyszerű fehérjék (proteinek)** átlagosan száznál is több aminosav kapcsolódásából jönnek létre, ezek kémiai értelemben polipeptidek.

PEPTIDKÖTÉS

EGYSZERŰ ÉS ÖSSZETETT FEHÉRJÉK

Az **összetett fehérjék** az aminosavakon kívül más alkotórészt is tartalmaznak (pl. fémionokat, lipideket).

→ hemoglobin XIII.7.2



93. ábra. ***Glicin és szerin egyesülése dipeptiddé*** Szögletes keretben a két aminosavra jellemző oldalláncok és a létrejött dipeptiden belül a peptidkötés, ovális satírozás jelzi a kilépő vízmolekula eredetét.

Summa (8.2)

Az aminosavak amino- és karboxilcsoportot tartalmazó vegyületek. A természetben található húszféle aminosav fehérjék hidrolízisével állítható elő. Ezek felépítésükben megegyeznek: az amino- és a karboxilcsoport ugyanazon szénatomhoz (az a-szénhez) kapcsolódik, s ugyanezen szénatomról ágazik el a minden aminosavra jellemző oldallánc.

Az ugyanazon molekulán belül található savas és bázikus csoport miatt az aminosavak nagyrészt ikerionos állapotban vannak. Ez magyarázza magas olvadáspontjukat, vízben való oldhatóságukat.

Az aminosavak töltése függ a közeg pH-jától.

Az aminosavak amino- és karboxilcsoportjaiból vízkilépéssel peptid-kötés alakul ki. A kapcsolódó aminosavak számától függően di-, tri-, tetra stb , oligo- illetve polipeptidek jönnek létre. Az egyszerű fehérjék polipeptidek, (E. Fischer) az összetett fehérjék más alkotórészt is tartalmaznak.

Kérdések, problémák (8.1–2)

1. Milyen ionok keletkeznek szekunder és tercier aminok vízzel való sav-bázis reakciójakor? Változik-e az eredmény, ha a sav-partner nem a víz, hanem valamely szerves vagy szervetlen sav (pl. ecetsav, sósav)?

2. Mi a 89. ábrán látható vegyületek neve?

3. Mivel magyarázható, hogy a szekunder aminok forráspontja alacsonyabb, mint a primereké? Mi az oka, hogy a tercier aminok mind a primereknél, mind a szekundereknél jóval alacsonyabb forráspontúak? (89. ábra!)

4. Semleges közegben a glicin, az aszparaginsav és a lizin közül melyek pozitív s melyek negatív töltésűek? Miért? Hogyan változik a töltések száma és nagysága, ha az oldatot savanyítjuk illetve lúgosítjuk?

5. Vezeti-e az áramot (elektrolit-e) a glicin vizes oldata? Változik-e a helyzet, ha savas illetve lúgos közegben vizsgáljuk a vezetőképességet? Miért? Vizsgáljuk meg ugyanezt a lizin illetve az aszparaginsav esetében!

6. Hányféleképpen kapcsolódhat egymáshoz két tetszőleges aminosav (pl. a glicin és a szerin)? Figyelembe véve az aminosavak számát: összesen hányféle dipeptid állítható elő? Hányféle tripeptid? Hogyan adható meg tetszőleges *n* aminosav esetén a lehetséges peptid-variációk száma?

7. Az aminosavak közül egy nem primer amin. Melyik az? Hova sorolható be?

8. Az aminosavak optikailag aktív molekulák – egy kivételével. Melyik az?

9. Milyen funkciós csoportok találhatók az aminosavak oldalláncaiban? Javasoljunk reakciókat, amelyek alkalmasak lehetnek ezek kimutatására!

8.3 A fehérjék szerkezete

8.3.1 Elkülönítés

Minden kémiai analízis első lépése, hogy a vizsgálni kívánt anyagot *tiszta állapotban* és *kellő mennyiségben* állítsuk elő. Ez gyakran nem is egyszerű feladat. Az élő szervezet szöveteit – pl. a vérplazmát – többszázféle fehér-

→ a plazma összetétele: XIII.7.1

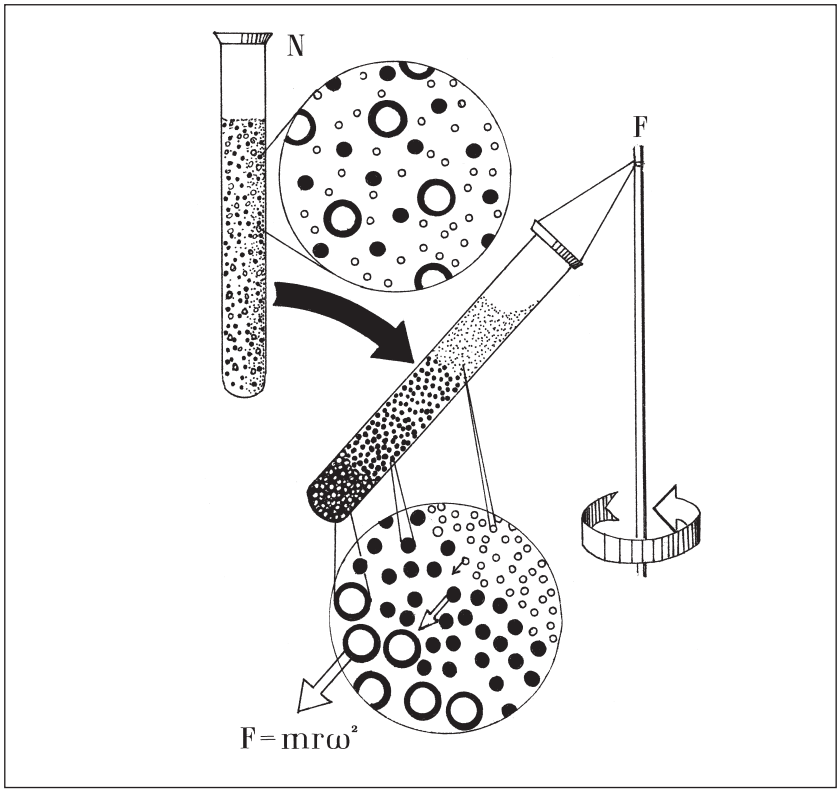
je alkotja. Hogyan különíthető el ebből az elegyből a vizsgálni kívánt egyetlen anyag? A szervetlen kémiából vagy az egyszerűbb szerves vegyületek analíziséből ismert módszerek – amilyen pl. a forráspont-különbségen alapuló desztilláció – ebben az esetben már használhatatlanok. A fehérjék nem illékonyak, ráadásul érzékeny szerkezetük már jóval a feltételezett forráspont alatt megváltozik.

→ koaguláció XII.9.3

A fehérjék jellemző tulajdonsága molekulatömegük. Ennek megállapítására szerkesztették meg az **ultracentrifugát** (Svedberg, 1926. évi Nobeldíj). Az ultracentrifuga belsejében a fehérjeelegy 40-100.000 fordulat/perc sebességgel forog, így az egyes molekulákra a földi gravitációnak legalább százezerszeresét kitevő erő hat. Ez meggyorsítja az ülepedést: minél nagyobb molekulatömegű a fehérje, annál inkább. Így a kezdetben egynemű oldatban az ultracentrifuga hatására az eltérő tömegű fehérjék elkülönülő rétegekbe rendeződnek. Az ulracentrifuga segítségével tehát a molekulatömeg megállapításán kívül a különböző molekulatömegű anyagok elkülönítése is lehetséges.

ELKÜLÖNÍTÁS TÖMEGKÜLÖNBSÉG ALAPJÁN

← a forgómozgás gyorsulása X.8.1





94. ábra. ***b) Ultracentrifuga és működési elve***
A gyorsan forgó elegy n fordulatszám esetén $\omega = 2\pi n$ szögsebességgel forog. A részecskékre ekkor
$F = mr\omega^2$ erő hat. Azonos szögsebesség esetén tehát az erő a tömeggel arányos.
a) Theodor Svedberg (1884–1971) svéd kémikus, az ultracentrifuga feltalálója. Módszerével sikerült meghatározni például a hemoglobin és cellulóz molekulatömegét.

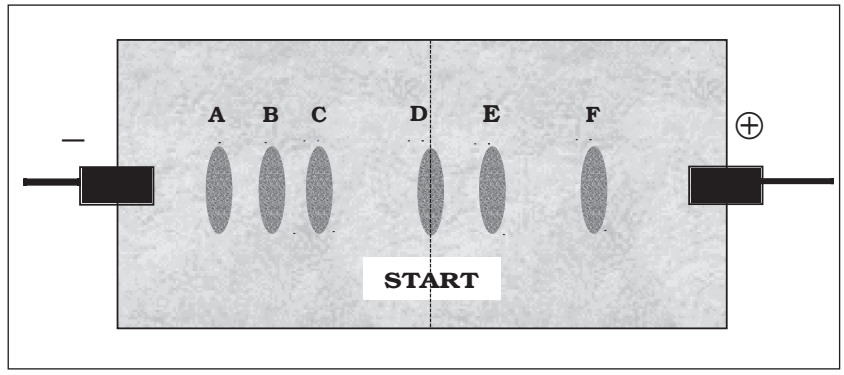
Miután sikerült elkülöníteni a nagyjából azonos tömegű fehérjéket, még mindig valószínű, hogy egy-egy ilyen „frakciót" sok különböző fehérje alkot. Közülük soknak biztosan különbözik a töltése (hiszen ha aminosav-összetételük más, a bennük föllelhető savas és bázikus csoportok száma is eltérhet). Ez fölhasználható elektromos áram segítségével történő szétválasztásukra. Az eljárás neve **elektroforézis**. Megfelelő felületen – például egy áramkörbe kapcsolt nedves itatóspapíron – a kiindulási pontba cseppentett fehérjeelegy összetevői elkülönülnek. Azok a fehérjék, amelyekben a savas oldalláncok száma nagyobb, a pozitív pólus irányába mozdulnak el, a többségben bázikus oldalláncokat tartalmazók a negatív pólus felé vándorolnak, míg a semlegesek helyben maradnak. A vándorlás sebessége a molekula tömegétől, alakjától, és töltéseinek számától is függ. Ennek alapján a „lom-

ELEKTROFORÉZIS

← ionvándorlás oldatban XI.4.2–4

→ ultraibolya fény XV.3.7.2

hább" és a „fürgébb" fehérjék egész sora különül el az itatóspapír felszínén. Noha a fehérjék többnyire színtelenek, megfelelő vegyszerekkel vagy ultraibolya fénnyel láthatóvá tehetők. A megszárított itatóspapírból aztán ezek a foltok egyszerűen kivághatók, s tartalmuk külön-külön kioldható.



95. ábra. ***Papír-elektroforézis vázlata***
A nedves szűrőpapír-csík START pontjába csöppentjük a fehérje-elegyet. Az elektromos tér hatására rövid idő múltán elkülönülnek az eltérő töltésű fehérjék. Az A,B és C fehérjék pozitív, az E és F jelűek negatív töltésűek, míg a D-vel jelöltekben az adott pH-n azonos a pozitív és negatív töltésű oldalláncok száma.

8.3.2 Az aminosav-összetétel

← összegképlet és szerkezeti képlet IX.2.3.3

Az elkülönített fehérjék teljes hidrolízise után aminosav-elegyet kapunk. Amennyiben ezek mennyiségét is sikerül megadni, úgy lényegében a fehérje „összegképletéhez": egy arányokat jelző sémához jutunk. Így például az inzulin nevű fehérje aminosav-összetételét a következőképpen adhatjuk meg: Ala_6 Arg_2 Asp_6 Cys_{12} Gly_8 Glu_{14} His_4 $Ileu_2$ Leu_{12} Lys_2 Phe_6 Pro_2 Thr_2 Tyr_8 Ser_6 Val_8.

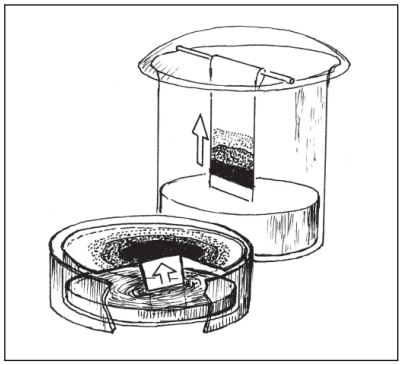
KROMATOGRÁFIA

Az egyes aminosavak elkülönítésére és meghatározására alkalmas az elektroforézis is, de sokkal elterjedtebb eljárás a **kromatográfia**. A kromatográfia (görögül: „színes rajz") az anyagok eltérő adszorpciós képességén alapul. Az orosz Mihail Szemjonovics Cvet (Cwiet) (1872–1919) alkalmazta először a növényi színanyagok szétválasztására. Cvet megfigyelte, hogy ha festékek elegye szivárog át lassan egy nagy adszorpciós képességű oszlopon, akkor a jobban adszorbeálódó festék lassabban halad, így egy idő után „lemarad". Ugyanezt tapasztaljuk a kérdéses aminosav-elegy esetében is, csak arról kell gondoskodnunk, hogy a színtelen aminosavakat valamilyen festési technikával láthatóvá tegyük.

← adszorpció IX.4.1.3

A kromatográfia egyszerűsége és megbízhatósága miatt széles körben elterjedt, sok változata létezik. Gyakran kocsonyás anyagot (gélt) tartalmazó oszlop belsejében adszorbeáltatják a teljes anyagmennyiséget, aztán egy olyan folyadékot folyatnak át az oszlopon, melynek molekulái jobban kötődnek a gélhez, mint a kérdéses anyagok (pl. aminosavak), így kiszorítják azokat. Ez esetben az oszlop alján először a legkevésbé adszorbeálódó aminosav oldata fog csöpögni, utána a többi. Az alul elhelyezett és cserélt kémcsövekben így külön-külön fölfoghatók a vizsgált vegyületek (oszlopkromatográfia). Elterjedt a papírkromatográfia is: ez esetben az adszorbeáló felület egy nedves papírlap.

→ gélek szerkezete XII.9.2



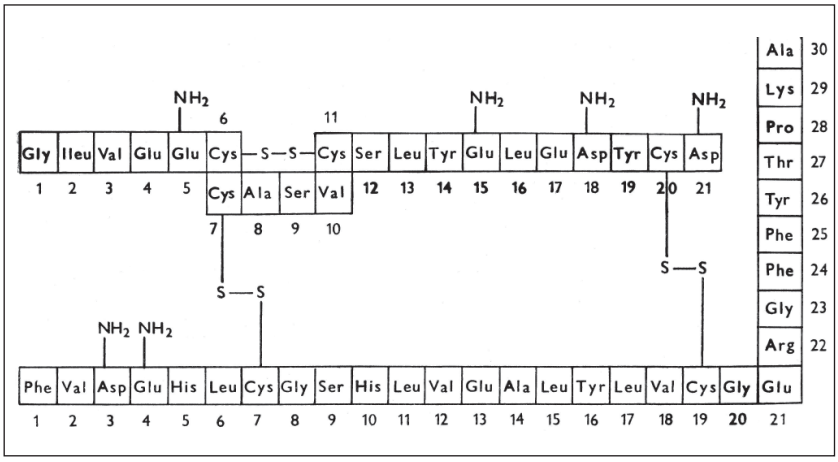
96. ábra. ***Kromatográfiás kísérletek – papírkromatográfia***

A pirospaprika színanyagai.
Acetonban egy kevés édesnemes pirospaprikát oldunk és azt a szűrőpapír startvonalára cseppentjük. Miután megszáradt, benzin és aceton 2:1 arányú elegyével „futtathatjuk": hamarosan egy sárga és egy piros színanyagot tartalmazó sávra válik szét.
Megkísérelhetjük egyéb festékelegyek szétválasztását is (fekete tinták, filctoll, virágszirom-oldatok) A futtatóelegy összetétele is változtatható.
Alkoholos levélzúzalékot itatóspapíron futtatva szétválaszthatók az egyes színanyagok.

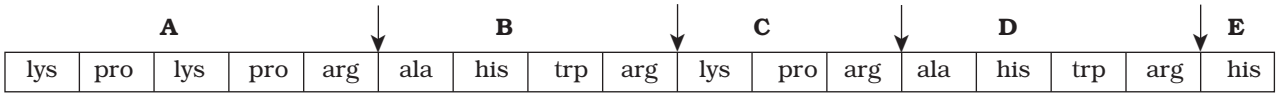
8.3.3 Az aminosav-sorrend

Az aminosav-összetétel nem ad információt az aminosavak kapcsolódási sorrendjéről (szekvenciájáról), azaz a fehérjemolekula szerkezeti képletéről. Arra, hogy ez milyen lényeges, Fischer kísérletei világítottak rá. Ha egy oligopeptidet (10-20 aminosavból álló láncot) alkotóelemeire bontott, és utána ugyanezeket az aminosavakat egyesítette, a létrejött termék tulajdonságai egyáltalán nem hasonlítottak az eredetire! (Amint egy vers betűiből véletlenszerűen összerakott halmaz sem hasonlítana az eredeti versre.)

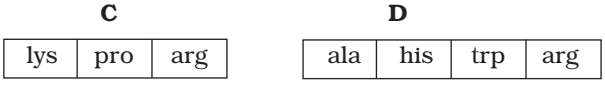
A lehetőségek száma elképzelhetetlenül nagy: egy olyan „egyszerű" molekula, mint az 51 aminosavból álló inzulin esetében elvben 20^{51} (az aminosav-összetétel ismeretében ez a szám csökken, de az izomerek száma még így is óriási). Nem csoda, hogy az első teljes fehérje szerkezeti képletét tíz évi munkával sikerült meghatározni (1954, F. Sanger). Ma az aminosav-sorrendet számítógépek segítségével elemzik.



Sanger tudta, hogy vannak olyan módszerek, amelyekkel a láncvégi aminosavak egyenként hidrolizáltathatók, s így azok egymás után meghatározhatók. Sajnos ez az eljárás csak néhány aminosav esetén használható, utána áttekinthetetlenné, pontatlanná válik. Ezért a fehérjét előbb elemeire – oligopeptidekre – kell hasítani. Szerencsére vannak olyan olyan bontóenzimek, amelyek éppen ilyen részleges hidrolízist hajtanak végre. Például a tripszin nevű emésztőenzim – megfelelő közegben – mindig csak az egyik aminosav, az arginin mellett hasítja a peptid-kötéseket. Az alábbi – elképzelt peptidláncot például a következőképpen:



A kapott oligopeptidek aminosav-sorrendje külön-külön már viszonylag könnyen meghatározható. De hogyan kapcsolódtak maguk az oligopeptidek? A példánkban szereplő C és D töredék számára (amennyiben tudjuk, hogy szomszédosak) két lehetőség kínálkozik:



avagy:





97. ábra. ***Frederick Sanger (1918–) amerikai biokémikus***
Kutatócsoportjával tíz éven át (1944-54) dolgozott egy egyszerű fehérje, az inzulin aminosav-sorrendjének meghatározásán. 1958-ban kapott Nobel-díjat.

98. ábra. ***Az inzulin aminosav-sorrendje***
(A molekula két rövid peptidláncból áll, melyet kén-hidak kapcsolnak össze az ábrán látható módon).

→ fehérjék emésztése XIII.5.2

Hasznos lenne, ha az argininek mindkét oldali környezetét ismernénk. Szerencsére van olyan enzim, amelyik máshol, vagy véletlenszerűen bontja a fehérjét. Ezt alkalmazva ugyanabból a kiindulási anyagból az oligopeptidek másféle keverékét kapjuk. Ha ezek közül találunk olyan töredéket, amelyikben az aminosavsorrend ilyen:

lys	pro	arg	ala	his	trp	arg

DOMINÓ-MÓDSZER

az az első elrendeződést valószínűsíti, hiszen a szakaszok átfedik egymást. A módszer a dominó-játék elvét követi. Szemléltethető a következő hasonlattal is: képzeljük el, hogy egy mániákus őrült egy novella szövegét úgy szabdalja fel, hogy mindig az „s” betűk után vágja el a sort, és utána összekeveri a törmelékeket. (Az „őrült” nyilván a tripszin.) Az alábbi mondatnak: **ISMERT AZ AMINOSAVSORREND** – például ez lesz a sorsa: **IS MERTAZAMINOS AVS ORREND**. Feladatunk az eredeti szöveg megfejtése. Ehhez igénybe vehetjük egy másik, kevésbé következetes őrült segítségét, aki minden rendszer nélkül szabdalja a sorokat (és a törmelékeket szintén összekeveri). Ha a novella elegendő példányban állt rendelkezésre, előbb-utóbb a következő töredékek is megjelennek: **RTAZ SMERTAZ RTAZAM NOSAVSOR VSORRE** stb. Különösen érdekesek az „s” betűt tartalmazó töredékek, ha azokban az „s” más betűkkel van körülvéve. Ezek segítségével ugyanis megtörténhet az illesztés:

→ a DNS szerepe az aminosavsorrend meghatározásában XXIII.

→ hogyan jöttek létre az első fehérjék? XXIX.

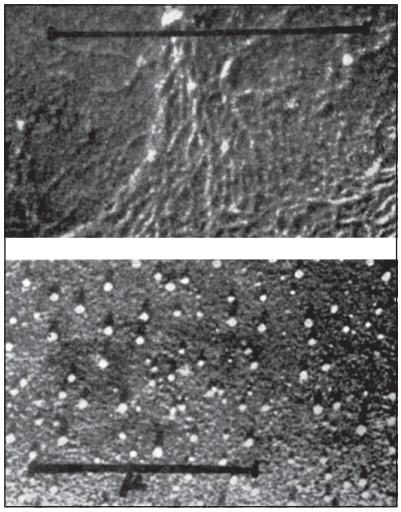
„1. ŐRÜLT”: **MERTAZAMINOS** **AVS** **ORREND**

„2. ŐRÜLT”: **NOSAVSOR**

VSORRE

A mondat vége ezzel egyértelművé vált. Hasonló módszerrel megfejthető a szöveg egésze is.

8.3.4 A másodlagos szerkezet



99. ábra. ***Fehérjék elektronmikroszkópos képe***
A felső kép fonalas, az alsó gömbszerű formát ábrázol. A sötét szakasz 1 μm (10^{-6} m) távolságnak felel meg.

Bármilyen fáradságos is egy fehérjemolekula aminosav-sorrendjének megállapítása, a munka igazán nehéz része csak ezután kezdődik. A tulajdonságok csak térszerkezet ismeretében érthetőek meg. Ezt egy egyszerű tojásfőzés eredménye is jelzi. Igazolható, hogy a főtt és a nyers tojásban levő fehérjék aminosav-sorrendje megegyezik: a jól látható fizikai-kémiai és biológiai különbségeket tehát csak az okozhatta, hogy a főzés hatására térszerkezetük változott meg.

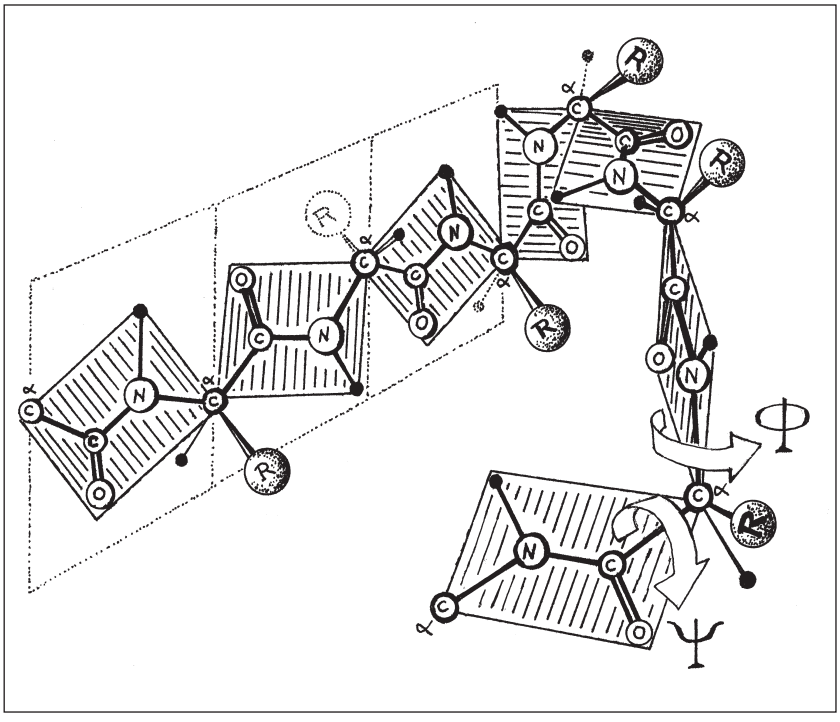
A térszerkezet vizsgálatához két úton foghatunk hozzá. Vagy a teljes, kész fehérjét vizsgáljuk valamilyen empirikus módszerrel, vagy pedig – aminosav-sorrendjének ismeretében – próbáljuk meg levezetni, hogy ezen aminosavak számára mely térszerkezet az energetikailag legkedvezőbb állapot. Mindkét megközelítésmód csak részleges eredményre vezet, együttes alkalmazásuk azonban lehetővé teheti a teljes térszerkezet feltárását.

Az empirikus módszerek közül a **molekulák elektronmikroszkópos képe** megmutatja, hogy a fehérje megnyúlt, fonalas vagy gömb formájú-e. A finomabb szerkezetről, például az egyes aminosavak molekulán belüli helyzetéről azonban nem ad információt. Jóval pontosabb képet ad a **röntgendiffrakciós** (röntgensugár-elhajlási) eljárás, ami a fénysugarak ill. elektromágneses hullámok optikai rácsokon való elhajlásán és interferenciáján alapul. Az interferencia-kép nemcsak a sugárzás hullámhosszától, hanem az útjában elhelyezett rács szerkezetéről is függ, szinte „átvilágítja” azt. Ha az optikai rácspontok a vizsgált fehérjemolekula atomjai, akkor magáról a molekuláról készül a „fénykép”. Röntgensugár alkalmazása azért szükséges, mert érzékelhető nagyságú elhajlás akkor lehetséges, ha a sugár hullámhossza összemérhető az optikai rács réseinek tá-

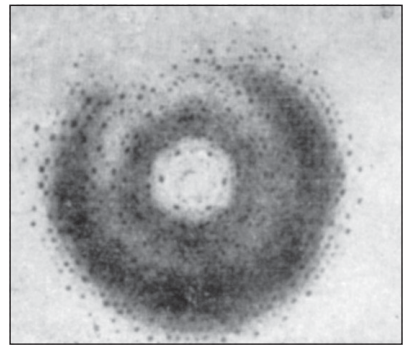
volságával. Mivel itt ez igen kicsi (az atomok közti kötéshossznak felel meg) az elektromágneses hullámok közül csak a legnagyobb frekvenciájúak jöhetnek számításba.

A röntgendiffrakciós diagram elemzése bonyolult folyamat: elsőként az 1950-es években sikerült az amerikai Linus Paulingnak összefüggést találnia a pontok eloszlása és a szerkezet között. Pauling megfigyelte, hogy a legkülönbözőbb eredetű fehérjéknek (pl. izom, szaru) nagyon hasonló, sőt azonos diffrakciós képe lehet. Két alaptípust írtak le: az α- és a β-változatot. Pauling feltételezte, hogy a képi szabályosság oka a tényleges szerkezet szabályossága (ahogyan egy árnykép szimmetrikus rajzolata sejteti, hogy az árnyékot vető test felépítésében is szabályosság, rend uralkodik). Az α- és a β-szerkezet tehát a fehérjékre jellemző belső rendre utal. Mivel a különböző fehérjék oldalláncaikban különböznek egymástól, azt kellett feltételezni, hogy az α- és a β-szerkezet nem ezekkel, hanem a peptidkötésekkel összekapcsolt molekula-gerinc helyzetével függ össze. Ezt a fehérjemolekulákban közös, oldalláncoktól független belső rendet a fehérjék **másodlagos szerkezete** (az „elsődleges szerkezet" az aminosav-sorrend).

A másodlagos szerkezet vizsgálatakor azt kell elsőként kideríteni, hogy a peptidlánc csavarodásai során milyen helyzeteket vehet fel. Az atomok ütközése miatt sok változattal eleve nem kell számolnunk. A lehetőségeket tovább szűkíti az a felismerés, hogy a peptidkötésben levő C,-O,-N- és H-atomok mindig egy síkban maradnak, azaz a peptidkötések C-N tengelyei körül nem lehetséges a forgás. A kérdés ezek után úgy módosul, hogy a peptid-síkok egymáshoz képest milyen szögekkel fordulhatnak el? Ha teljesen nyújtott állapotból indulunk ki (melyben az összes peptidkötés azonos síkba esik), két szöggel adhatjuk meg az elfordulás mértékét. Ezeket a görög Φ és Ψ betűkkel (fí és pszí) jelölik.



102. ábra. ***Peptidkötések helyzetei egy fehérjeláncon belül. R = oldallánc, a fekete körök a hidrogénatomokat jelölik.***
Φ = a C–N tengely körüli elfordulás szöge, Ψ = a C-C (α) körüli elfordulás szöge. Az első három egység síkban kiterített (nyújtott) állapotban van, Φ = Ψ = 0.

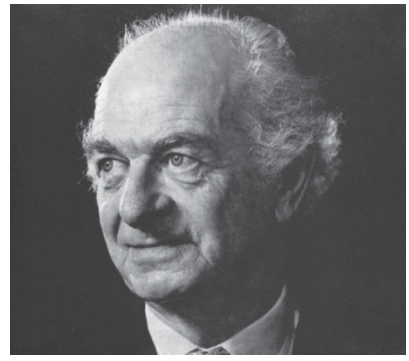


100. ábra. ***Fehérjemolekuláról készült röntgendiffrakciós kép***

→ interferencia XIV.3.3.1

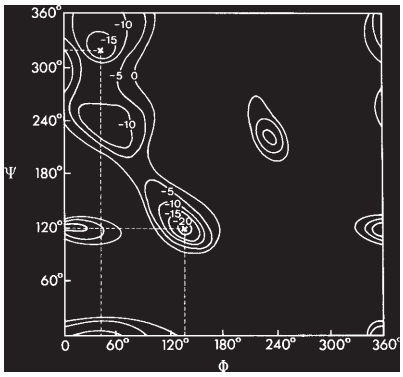
→ röntgensugárzás XV.3.7.4

← hasonlóság alkénekkel: XII.3.4.1



101. ábra. ***Linus Pauling (1901–1994)***
Amerikai biokémikus, a fehérjék szerkezetének kutatója. 1954-ben kémiai, 1962-ben Nobel-békedíjjal tüntették ki. 1958-ban, Einsteinnel együtt elsőként hívta föl a figyelmet a nukleáris sugárzás biológiai veszélyeire.

← szintvonalas ábázolás a térképészetben VIII.1.5



103. ábra. ***A fehérjék lehetséges másodlagos szerkezeteit jellemző Ramachandran-diagram „energiafelülete”***
A peptidkötések teljesen nyújtott térszerkezetének a bal alsó sarok (Φ és Ψ = 0°) felel meg.
A szintvonalakat 5 kJ/mólonként rajzolták be, a legkisebb energiájú (legnagyobb negatív értékű) szögpárok jelentik a legkedvezőbb állapotot.



104. ábra. ***G.N. Ramachandran (1922–1979)***
indiai biokémikus, a fehérjék másodlagos szerkezetét ábrázoló diagram megszerkesztője.

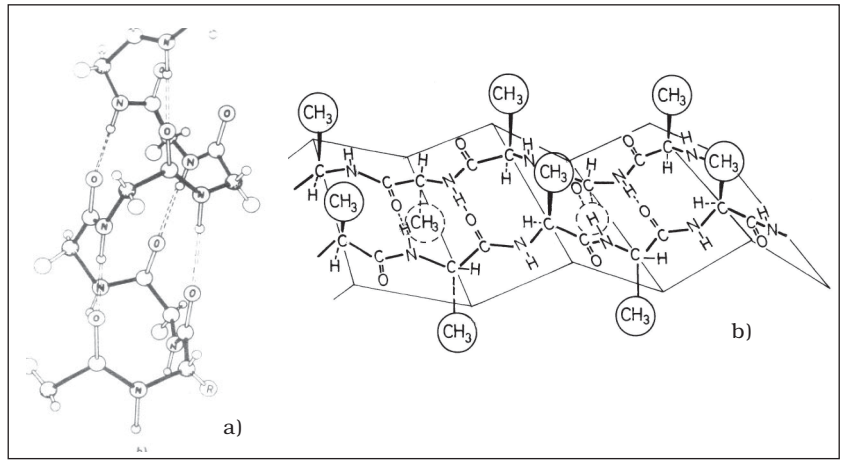
A Φ és Ψ lehetséges és tiltott értékeit az indiai Ramachandran elméleti úton számította ki (1962). Eredményei egy Φ-Ψ koordináta-rendszerben ábrázolhatók (Ramachandran-diagram). A bekeretezett területek a lehetséges szög-kombinációkat tartalmazzák. Az ezen kívüli területek a molekula-részletek ütközése vagy erős taszítása miatt nem valósulhatnak meg.

A Ramachandran-diagramon feltűnő, hogy a lehetséges formák két csoportot alkotnak. A csoportokat sikerült azonosítani a röntgendiffrakciós képből megismert α- és a β-szerkezettel. Pauling mérései és Ramachandran számításai tehát azonos eredményre vezettek. (A kutatók nemcsak az ez idő tájt elterjedő számítógéppel dolgoztak, hanem a molekula-makettekkel való „rakosgatás”, próbálgatás is fontos szerepet játszott felfedezéseikben.)

A Ramachandran-diagram minden egyes pontjához rendelhető egy jellemző energia-érték. Minél alacsonyabb, annál kedvezőbb a térszerkezet. Ez az „energiafelület” egy háromdimenziós koordináta-rendszerben ábrázolható, pl. úgy, hogy a sík pontjaira merőlegesen egy-egy tűt vagy pálcát állítunk, melyeknek hossza arányos az illető pont energiatartalmával. Ez a „tűtenger” azonban nehezen tekinthető át. Szemléletesebb a térképészetben használt szintvonalas ábrázolás. Míg azonban a térképeken az azonos tengerszint feletti magasságú pontokat kötik össze egy szintvonallal, addig ebben az esetben az azonos energiájú pontokat. A 0 szintben (potenciálfelületen) a vonzó- és taszítóerők éppen kiegyenlítik egymást. A legmélyebb völgyek immár egyértelműen kijelölik a két igazán kedvező állapotot: az α- és a β-szerkezetet.

Az **α- és a β-szerkezet** Pauling által felrajzolt képét az ábrák mutatják. Az α-változatban a csavarvonal mentén (helikálisan) föltekeredett peptidlánc tagjai közt a hidrogén-hidak egy láncon *belül* jönnek létre, míg a β-szerkezetben két, egymással ellentétes irányban futó lánc *között*. Ez utóbbi helyzet vagy úgy jön létre, hogy két láncmolekula illeszkedik egymás mellé ellentétes irányban, vagy úgy, hogy egyetlen igen hosszú molekula hajlik be időnként hajtűszerűen, s így egyes szakaszai – melyek immár „ellentétes irányúak” – egymás mellé kerülnek. A hidrogén-hidak az első esetben különböző láncmolekulák között, a második esetben egyetlen molekula távolabbi részletei között teremtenek kapcsolatot.

Vannak olyan fehérjék, melyeknek teljes hosszában végigfut az α-szerkezet (ilyen pl. a gyapjút, hajszálat fölépítő keratin), másokra kizárólag a β-szerkezet jellemző (hernyóselyem). Ezek fonalszerű, nagy szakítószilárdságú anyagok.

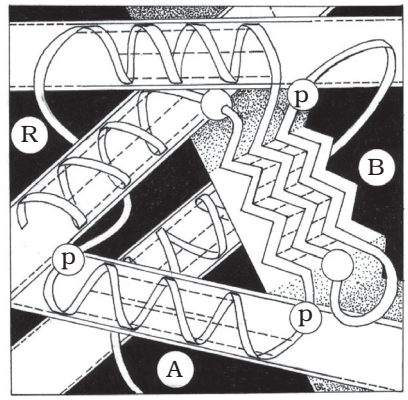


105–106. ábra. ***a)* Az α- szerkezet (α-hélix) *és a hajszálban található keratinfonalak (balra). b)* A β-szerkezet (β-redő).** Kizárólag ilyen szerkezete van a selyemlepke hernyója által szőtt fehérjefonalaknak.

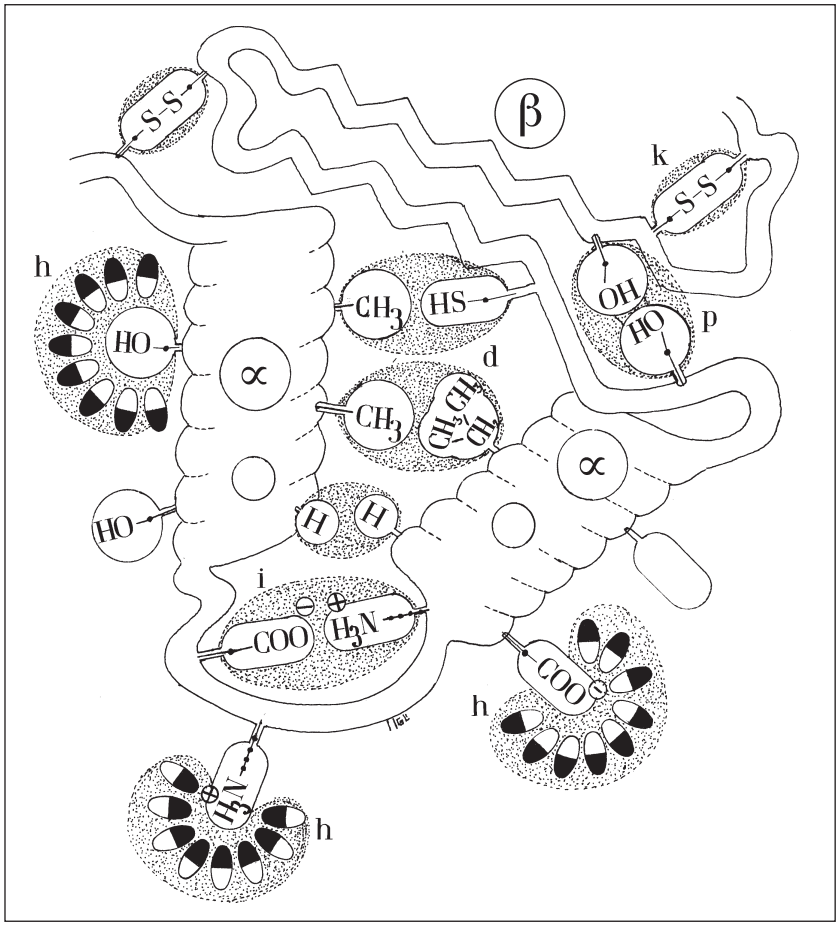
8.3.5 A harmadlagos szerkezet

A legtöbb fehérje gömbszerű (globuláris), tehát alakját nem lehet kizárólag α- vagy β-szerkezettel magyarázni. Mivel azonban csaknem minden fehérjében kimutathatók a- és a β-részletek is, föl kell tételeznünk, hogy ezek egy még bonyolultabb forma alkotóelemei, amit harmadlagos szerkezetnek neveznek. Ennek megértéséhez tisztázni kell, hogy miért szakad meg az egyszer már kialakult α-hélix vagy β-redő, s azt is, mi rögzíti egymáshoz ezen bonyolultabb térformában az egyes molekularészleteket. Az első kérdésre részben választ ad a prolin gyűrűs szerkezete. Ha ez a különös aminosav épül be a peptidláncba, „csonka" peptidkötés alakul ki, amely nem képes hidrogén-híd létrehozására. Ez jelentősen csökkenti mind az α- mind a β-szerkezet stabilitását. Valóban gyakran megfigyelhető, hogy a szabályos másodlagos szerkezetek végpontjai környékén, a „rendezetlen szakaszban" prolinok vannak.

Figyelembe kell venni az **oldalláncok hatását** is. Pauling és Ramachandran levezetésük során ezt szándékosan figyelmen kívül hagyták (pl. úgy számoltak, mintha az összes aminosav alanin lenne). Valójában azonban az oldalláncok méretük és funkciós csoportjaik révén sokféle kölcsönhatásba léphetnek egymással is és a molekulát körülvevő közeggel is. E kölcsönhatások szilárdítják meg a fehérje harmadlagos szerkezetét. Az alapvető magyarázó elv ebben az esetben is az, hogy minél több és erősebb kötés tud kialakulni, annál kedvezőbb állapotba kerül az egész molekula.



107. ábra. ***Gömbszerű (globuláris) fehérje harmadlagos szerkezetének felépülési elve***
„A"-val jelöltük az α-hélix, „B"-vel a β-redő, „R"-rel a „rendezetlen" szakaszokat, melyek sem α- sem β-szerkezetet nem mutatnak. A szaggatott vonalak a hidrogénhidakat, a „p" jelű körök prolin aminosavakat jelölnek. A peptidlánc e molekuláris csuklókon hajlik be, változtat irányt.



108. ábra.
Az oldalláncok funkciós csoportjainak kölcsönhatásai
A fehérjemolekula belső terében apoláros csoportok (glicin, alanin, izoleucin, cisztein) közt létrejövő diszperziós erők (d) hatnak. A poláros csoportok (p) – itt a szerinek – között dipol-dipol kölcsönhatás és hidrogén-híd jön létre (molekulán belül vagy a környező vizes oldattal). A ciszteinekből hidrogén-kilépéssel kovalens kötés: kénhíd (k) alakul ki. Az ellentétes töltésű savas és bázikus csoportok (itt: aszparaginsav és lizin) között ionos kölcsönhatás lép fel (i). Ugyanezek a csoportok erős kapcsolatot tarthatnak fenn a környező vízzel is (h = hidrátburok).
Az oldallánc-képletekben a fekete pontok -CH_2- csoportokat jelképeznek. A rajzon feltüntettük a másodlagos szerkezeti egységek (alfa-hélix és béta-redő) körvonalait is (α és β).

OLDALLÁNCOK KÖZTI KÖLCSÖNHATÁSOK

← XI.4.6

Az oldalláncok között vannak apolárosak. Ezeket a vizes közeg egymás közelébe taszítja, így aztán többnyire a gömb belsejében, egymás felé fordulva helyezkednek el. Köztük gyenge diszperziós erők hatnak. A poláros csoportok (pl. szerin) egymással is, de a környező vízzel is kapcsolatba léphetnek (hidrogén-hidak). Ugyanez érvényes az ionos oldalláncokra is, azzal a különbséggel, hogy csak az ellentétes jelleműek (töltésűek) vonzzák egymást (például a lizin az aszparaginsavat). Az így kialakuló ionos kötés éppolyan erős, mintha különálló aminosavak között hatna. A legerősebb – oldalláncok közötti – kötés a kénhíd. Ez két cisztein között jöhet létre, ha a hidrogéneket leadva egymással kapcsolódnak a kénatomok.

NEGYEDLEGES SZERKEZET

Előfordul, hogy több polipeptidlánc („egyszerű fehérje") kapcsolódik egymáshoz másodlagos kötésekkel. Ezt szokás a fehérje **negyedleges szerkezetének** is nevezni.

→ XIII.7.2

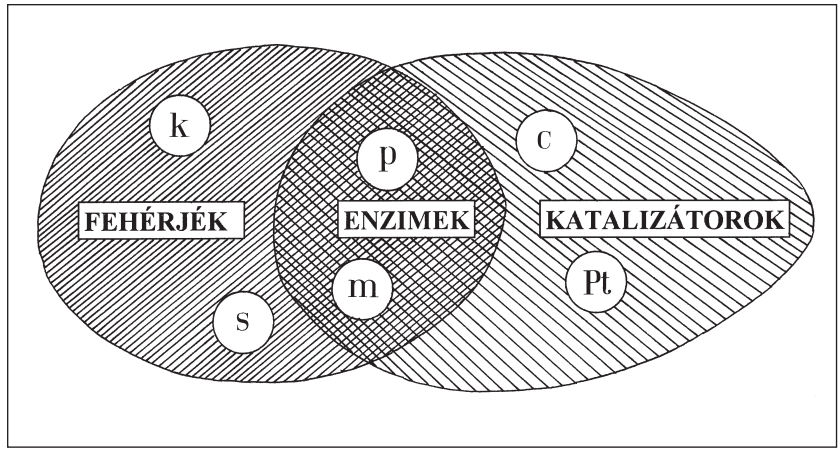
Az összetett fehérjék a polipeptidlánchoz kötve másféle molekulákat, atomokat is tartalmaznak (prosztetikus csoport). Ezek lehetnek szénhidrátok, zsírszerű anyagok, de fém-ionok is (Fe^{2+}, Cu^{2+}). Ezek a kötött fémionok sok esetben alapvető fontosságúak a fehérjék működése szempontjából (pl. a hemoglobinban a vas-ion köti meg az oxigént).

8.3.6 A funkció (enzimhatás)

Azok a kísérletek, amelyeket elsőként francia kutatók (Reaumur, Pasteur) végeztek, megmutatták, hogy a szervezetben zajló sokféle folyamat katalízisét mindig fehérjék végzik. A fehérjék egy része tehát bio-katalizátor. E funkció szerepét, jelentőségét az élő szervezetben a biokémia vizsgálja. A szerves kémia azt mutatja meg, hogy milyen elemi mechanizmusok okoznak ilyen működést.

← katalízis IX.3.3.3

→ Pasteur és Buchner vitája az erjedésről XIII.3.1.3



109. ábra. ***Enzimek, katalizátorok, fehérjék***
A fehérjék egy részének nincs katalitikus aktivitása. Ilyen például haj anyagát alkotó keratin (k), vagy a hernyóselyem (s). A katalizátorok egy része nem fehérje, például a finom eloszlású szén (c) vagy platina (Pt). Katalizátor hatású fehérje (enzim) például az emésztőnedvben található pepszin (p) vagy az ATP-bontó sajátossággal is rendelkező izomfehérje, a miozin (m).

FAJLAGOSSÁG

→ XIII.5.2.2

← optikai aktivitás XII.6.2.2

Az enzimek működésével kapcsolatos legfontosabb megfigyelés e reakciók **fajlagossága (specificitása)** volt. Ez azt jelenti hogy egy enzim csak egy vagy néhány reakciót gyorsít meg, mintegy „válogat" az átalakítható anyagok között. A nyál-amiláz például csak keményítőt bont maltóz-egységekre, a gyomor pepszinje csak fehérjét hidrolizál. Az enzim segítségével átalakítható anyagot az enzim szubsztrátjának nevezik. A jelenséget magyarázó legegyszerűbb modell, a **kulcs-zár modell** szerint a szubsztrát úgy illeszkedik az enzimhez, mint a kulcs a zárba. Emiatt a fehérjének csak egy jól meghatározott felület-részlete lényeges a működés szempontjából, ez az „aktív hely" mutatja az enzimaktivitást. A fehérje többi része azért fontos, mert rögzíti az aktív hely megfelelő térszerkezetét.

KULCS-ZÁR MODELL

→ a hormonhatás magyarázatában XVIII.2

Az enzimműködésnek ezt a modelljét sok tapasztalat megerősítette. Legfeltűnőbb ezek közül a **denaturáció** jelensége. A működőképes enzim **natív** állapotban van. Minden olyan folyamat, amely ezt az állapotot megszünteti: denaturáció (natura = természet latinul, de-naturáció= „természetétől való megfosztás"). Denaturációt okozhat pl. a hőhatás. Ilyenkor a fehérje aminosavsorrendje nem, térszerkezete viszont megváltozik – tehát a natív állapot az eredeti térszerkezet következménye.

DENATURÁCIÓ

→ koaguláció XII.9.3

→ a stresszfehérjék szerepe XII.8.3.7

Azt, hogy az enzimműködés szempontjából csak a peptidlánc *egy része* meghatározó, egy sor állatfaj azonos működésű enzimjeinek vizsgálata igazolja. Összehasonlítva pl. a tőkehal, a vízisikló, a csimpánz és az ember hemoglobinjának aminosav-sorrendjét, azt találjuk, hogy a láncok egyes részletei pontosan megegyeznek, más szakaszokban viszont eltérések vannak. Az azonos funkció (oxigénszállítás) azonos aktív helyen zajlik – az ezt nem befolyásoló szakaszokon viszont nincs ilyen kötöttség.

→ molekuláris törzsfák XXVII.

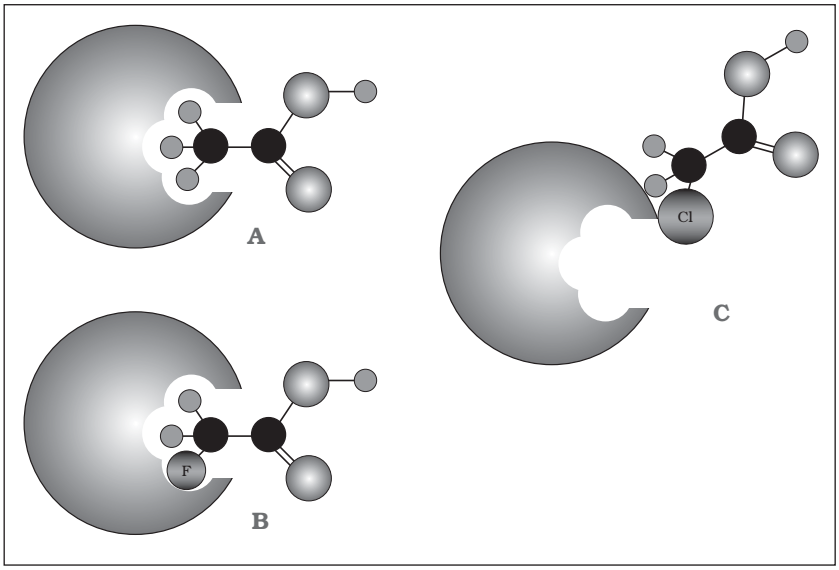
Sok enzim önmagában nem működőképes, csak akkor, ha előzőleg egy kisebb molekula, a **koenzim** kapcsolódik hozzá (*Ko* = együtt, latinul). Koenzim funkciójuk miatt nélkülözhetetlenek a vitaminok, koenzimekhez kötve alakítja át szervezetünk az acetil-csoportot, vagy a lebontott tápanyag molekulák hidrogénjeit.

KOENZIMEK

→ vitaminok: XIII.4.1.2
→ biológiai oxidáció XIII.3.2

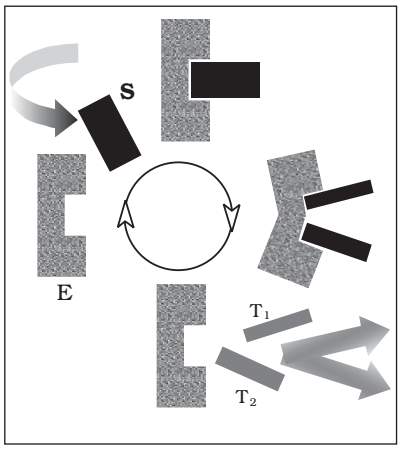
Elméleti és gyakorlati szempontból egyaránt fontosak az **enzimmérgek**. Ezek az anyagok létfontosságú enzimek aktív helyéhez kötődnek olyan stabilan, hogy azok természetes szubsztrátjait részben vagy teljesen kiszorítják (vetélkedéses gátlás).

ENZIMMÉREG



→ az enzimmérgek szerepe a biokémiai reakciók kutatásában
XIII.3.2.2–3; 3.3
XIII.8.3.2
XVIII.3.1.2

110. ábra. ***Enzimméreg működésének szemléltetése***
Az enzimet gyakran „becsapja" a méreg. Azt az enzimet például, amely az ecetsav oxidációját végzi, gátolja a fluor-ecetsav, de nem hat rá a klór-ecetsav. A magyarázat az, hogy a viszonylag kicsi fluor-atom még „befér" a hidrogén helyére az aktív helyen, a klór viszont nem. Így az ecetsav számára a fluor-ecetsav sikeres vetélytárs, a klór-ecetsav viszont közömbös.
A) Az ecetsav az enzim természetes szubsztrátja
B) A fluor-ecetsav méreg: stabilan kötődik az aktív helyhez
C) a klór-ecetsav – a klór nagy mérete miatt közömbös hatású



111. ábra. ***A kulcs-zár modell***

a) Az enzimfehérje aktív helyéhez kötődik a megfelelő térszerkezetű szubsztrátmolekula (S).

b) Az enzim katalizálja a reakciót (jelen esetben a szubsztrátot bontja T_1 és T_2 termékre). A reakció azonban időlegesen megváltoztatja az enzim térszerkezetét is. Ennek hatására a termékek leválnak az aktív helyről.

c) Az enzim a leválás után visszanyeri eredeti térszerkezetét. Az aktív hely ismét alkalmassá válik egy szubsztrátmolekula megkötésére.

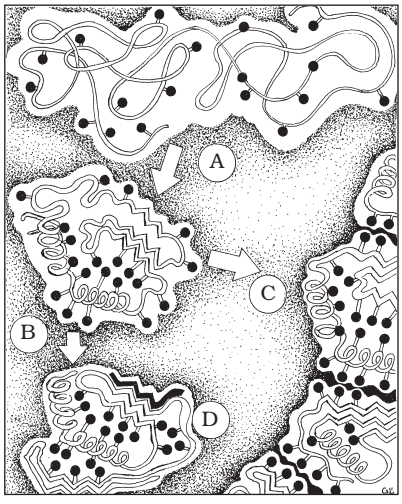
A vetélkedési gátlás részletes tanulmányozása pontos képet adott egyes enzimmolekulák hatófelületének szerkezetéről. Gyógyszertanilag érdekes esetekben a szerves vegyészek rendszeresen szintetizálnak a kérdéses szubsztráttal rokon, ismert szerkezetű szerves vegyületeket, és ezek hatékonyságának pontos tanulmányozása alapján térképezik fel az enzim hatékony felületét. Gyakorlati szempontból ezek az anyagok gyógyszerek lehetnek, amennyiben egy betegségokozó baktérium anyagcseréjét bénítják meg. Ilyen szerek például a szulfonamidok (ultraseptil), melyek a gennykeltő baktériumok egyik enzimjét bénítják vetélkedéses gátlás révén.

A térszerkezet és az enzimműködés ismeretében részben érthetővé vált az élők molekuláris aszimmetriájának oka. Az összes optikailag aktív aminosav L-térszerkezetű, a D-enantiomerek – néhány különleges baktérium és gomba kivételével – ismeretlenek a természetben. Az α- és a β-szerkezetet tanulmányozva belátható, hogy ezek a szabályos szerkezetek nem jöhetnének létre, ha a kétféle enantiomer elegyéből építkezne az élőlény. A *szabályos építményekhez egységes építőkövekre* van szükség. Érdekes elgondolni egy földihez hasonló, de ellentétes forgatóképességű aminosavakból álló „tükörképi világot". (Ebben az α-hélix ellentétes irányban, de szintén szabályosan csavarodna.) Bizonyos, hogy az egységes földi anyagcsere, a táplálékhálózatok miatt az egész földi élővilágnak „választania kellett". Egy csupa D-aminosavból álló nyúl itt a Földön sem enni nem tudna, sem más élőlényeknek nem jelentene táplálékot.

8.3.7 A térszerkezet kialakulása: stresszfehérjék és prionok

Harmadlagos fehérjeszerkezetből sokféle – elvben végtelenül sok – létezhet. Ezek közül azonban csak kevés az energetikailag is kedvező. Vizes közegben ilyenek azok a tömör szerkezetek, melyek belsejébe nem juthat víz, kifelé pedig csak poláros vagy ionos oldalláncokat fordítanak. Enzimaktivitást csak a legkedvezőbb térszerkezetű fehérjemolekula mutat. Az ilyen, teljesen tömör forma kialakítása azonban nem könnyű, időigényes, és fönnáll a veszély, hogy tekeredés közben hibás szerkezet rögzül. A XX. század végének fontos fölismerése, hogy az élő szervezetben ilyenkor úgynevezett **stresszfe-**

DAJKAFEHÉRJÉK



112. ábra. ***Fehérjék föltekeredésének lépései***

A) Ha kémcsőben rendezetlen (denaturált) fehérjét állítunk elő, az apoláros csoportok (fekete körök) kezdetben véletlenszerqen helyezkednek el, a fehérje térfogata nagy.

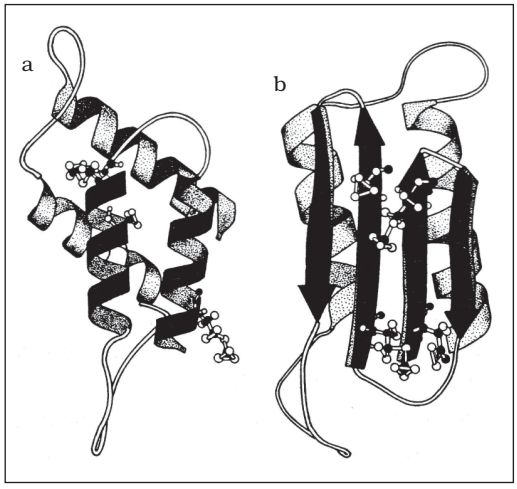
B) Villámgyorsan kialakulnak másodlagos szerkezet jellegzetes szakaszai, a molekula térfogata csökken. Ennek az „olvadt gombóc" névre keresztelt állapotnak (angolul *molten globule*) jellemzője, hogy már megvan a hidrofób mag, energetikailag is kedvező, de még vannak hidrofób részletek a felszínen, és nem képes ellátni biológiai feladatát. Ebből a zsákutcából „önerőből" kevés molekula képes kijutni, ekkor segítenek a stresszfehérjék.

C) A nyíl a köztes állapot veszélyére, az aggregációra (összetapadásra) utal. Ez akkor következik be, ha két vagy több fehérjemolekula hidrofób részeivel egymáshoz tapad. Az összetapadt molekulák biológiai szempontból „selejtek", mert nem képesek ellátni természetes funkcióikat.

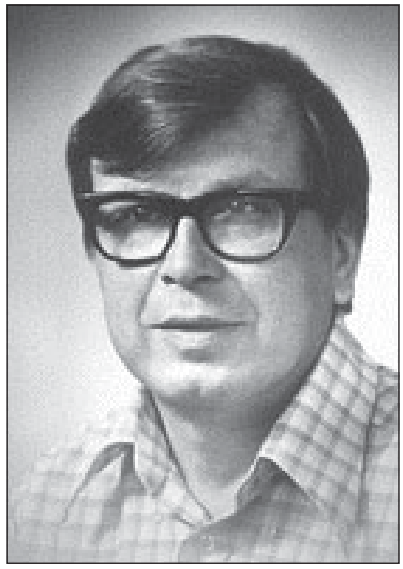
D) A stresszfehérjék segítségével kialakuló natív állapotban a fehérje minden hidrofób csoportja a molekula belseje felé fordul. Kialakul a mqködQképes felszín, az aktív hely (sötét vonallal jelölve).A stresszfehérjék több típusa közül egyesek fölismerik a hibásan tekeredett fehérjéket, mások segítenek a tekeredésben, ismét mások az összetapadt fehérjéket választják szét. Elnevezésük jelzi, hogy a sejteket érő bármilyen kellemetlen vagy akárcsak váratlan inger, stressz hatására mennyiségük hirtelen megnő. (Ilyen hatás lehet a hőmérséklet változása, ultraibolya sugárzás, alkohol, ozmózis-változás stb.) Ez a fölismerés arra utal, hogy enyhe stressz sokszor gyógyító hatású lehet.

hérjék vagy más néven **dajkafehérjék** (chaperonok) segítenek a helyes tekeredésben. Ezek a segítők a hibás szerkezetben rögzült fehérjékhez kötődnek, és azokat energiabefektetés árán (ATP-bontás segítségével) addig „ráncigálják", amíg a felszínükön érzékelt hidrofób csoportok mindegyike befordul a helyére, a gombolyag belsejébe.

Ha a stresszfehérjék nem vagy hibásan működnek, súlyos betegségek léphetnek föl. Az elbutulással járó Alzheimer-kór, vagy a szintén az idegszövetet támadó Parkinson-kór esetében az idegsejtekben a normálisnál rövidebb fehérjék összetapadnak, és tömör zárványokat alkotnak, ami tönkreteszi a sejtet. Máskor a stresszfehérjék tévesztenek, és nem a normális, hanem a hibás térszerkezetet állítják elő. Különlegessége miatt nagy nyilvánosságot kapott a szarvasmarhák szivacsos agysorvadása, a Kreuzfeld-Jacob kór valamint az emberi *kuru* nevű betegség. Mindháromban egy hibás térszerkezetű fehérje „fertőz", azaz ennek mintájára az egészséges fehérjék is rosszul tekerednek. A hibás térszerkezetű alakot ráadásul a szervezet enzimjei nem tudják lebontani, és az így fölszaporodó működésképtelen molekulahalmaz összetapad, tönkretéve az idegsejteket. Az ilyen típusú fertőző betegségek okozóját prionnak nevezték el (az angol *protein only*, azaz *csak fehérje* kifejezésből alkotott mozaikszó). A prionok nem élőlények, nem is vírusok, hanem hibás térszerkezetű, stabil fehérjék, melyek e tulajdonságukat más fehérjéknek is át tudják adni, és ezzel működésképtelenné teszik azokat is.



113. ábra.
Prion egészséges (a) és beteg (b) formája. Az egészséges prion két a-hélixe a beteg prionban b-redős lemezzé alakul át. (Csermely Péter könyvéből)



114. ábra.
Carleton Gajdusek (1923–) szlovák (és részben magyar) származású amerikai virológus, aki Stanley Prusinerrel együtt fölfedezte a prionokat. Gajdusek egy rejtélyes, pápua törzs tagjai közt pusztító betegségről, a *kuru*ról mutatta ki, hogy okozója nem élő sejt, de nem is vírus, hanem módosult térszerkezetű fehérje, prion. A *kuru* csak az emberevő pápuák körében pusztított, így a szokással együtt ez a betegség is ki fog halni. A kutatók azonban azt sejtik, hogy több más betegség hátterében is hasonló rendellenesség áll. Gajduseket munkásságáért 1976-ban Nobel-díjjal tüntették ki.

Gajdusek 1976-os stockholmi Nobel-előadása meghökkentette közönségét. Váratlanul sajtkészítő asszonyokról kezdett beszélni. Amikor a tej megalvad, benne szálak képződnek. Ennek oka, hogy a gömbölyű fehérjemolekulák hosszú rostokká rendeződnek – annak ellenére, hogy kémiai összetételük nem változik meg. Gajdusek továbbment, és két tárcát mutatott be, egy régit és egy újat. Amikor meghajlította, összenyomta őket, a régi nyikorgó hangot adott, az újabb „csendben maradt". Ez azért van, mert a régiben a fehérjék „elöregedtek", szerkezetük megváltozott. Másik példa az új és régi gumi különbsége: a régebbieket könnyedén tönkre lehet tenni rugdosással, hiszen fehérjéjük szétmorzsolódott. Mindkét példában az öregedés", ami kristályosodási folyamat, egy vagy néhány magban kezdődik és szétterjed a tárcán vagy gumin. Gajdusek szerint az idegrendszer elfajulási folyamata is hasonlóan megy végbe. A kuru, a Creutzfeldt-Jakob-kór és a surlókór egyetlen vagy kevés kezdőhelyről indul ki, feltehetően amikor az élőlény egy saját fehérjéje megváltoztatja normális felépítését. A változás ezután átterjedt más, hasonló molekulára. A „ragály" terjedését az idegrostok millióinak láncolata közvetíti, valahogy úgy, ahogy a tej sajttá alakul.

Georg Klein: Alive today – a részlet megjelent a Fizikai Szemle 1998-as számában

Summa (8.3)

FEHÉRJÉK ELKÜLÖNÍTÉSE

(8.3.1-2)
A fehérjék vizsgálatának első két lépése az elkülönítés és az aminosav-összetétel meghatározása.

A fehérjék elkülönítésére és molekulasúlyának meghatározására alkalmas eszköz az ultracentrifuga (Svedberg), melyben az eltérő molekulatömegű fehérjék más-más sebességgel ülepednek.

A kromatográfia (Cvet) az anyagok eltérő adszorpciós képességén alapuló elválasztó módszer.

Az elektroforézis során az eltérő töltésű molekulák – töltésüknek és tömegüknek megfelelő sebességgel – az elektromos térben elmozdulnak, s így elkülöníthetőek.

AMINOSAV-SORREND

(8.3.3-4.)
A fehérjék elsődleges szerkezete: az aminosav-sorrend.
Meghatározása során a fehérjét előbb oligopeptidekre bontják (részleges hidrolízis), az oligopeptidek szerkezetét külön-külön meghatározzák, majd az egyes részleteket összeillesztik. (Sanger)

MÁSODLAGOS SZERKEZET

A másodlagos szerkezetet a peptidkötések közötti kölcsönhatások (hidrogén-hidak) hozzák létre. Megadható, hogy melyek a térben elképzelhető lehetséges formák (Ramachandran), s ezen belül, melyek azok, amelyek a hidrogén-hidak nagy száma miatt energetikailag is kedvezőek (α- és a β-szerkezet). Ezek az eredmények összhangba hozhatók a röntgendiffrakciós eljárással készült „molekulafényképek” adataival (Pauling).

HARMADLAGOS SZERKEZET

(8.3. 5-7)
A fehérjék harmadlagos szerkezete az a- és a b-szerkezetek molekulán belüli helyzetét, az egész molekula alakját adja meg. Kialakításában és rögzítésében az oldalláncok közötti kölcsönhatások a döntők. (Apoláros láncok: diszperziós erők, poláros láncok: dipol-dipol kölcsönhatás, hidrogénhíd, savas és bázikus csoportok: ionos kölcsönhatás, ciszteinek:kénhíd).

A negyedleges szerkezet több polipeptidlánc összekapcsolódásaként jöhet létre.

ENZIMHATÁS

Az enzimek: katalizátor funkciójú fehérjék az élő szervezetben. Aktív felületükön megkötik az átalakítandó szubsztrát(ok)at, átalakítják, majd a létrejött termékek leválnak. Az enzimek fajlagosságát (specificitás) az aktív felület és a szubsztrát pontos illeszkedése magyarázza (kulcs-zár modell). Ezt bizonyítja a denaturáció (térszerkeztet-változás hatására elveszett biológiai aktvitás), az összehasonlító fehérje-vizsgálatok (változó és állandó szakaszok jelenléte különböző fajok azonos funkciójú fehérjéiben) valamint az enzimmérgek hatása (vetélkedéses gátlás a természetes szubsztrátok és a mérgek között).

Kérdések, problémák (8.3)

1. Két oligopeptidet elektroforézissel kísérelünk meg szétválasztani. Az egyik gly_4-cys_2-ala-ser_3-leu_7 összetételű. A másik összegképlete: Gly_7-Lys_5-Asp_5.
   a) Elkülöníthetők-e semleges közegben?
   b) Hogyan változik a helyzet, ha az oldatot lúgosítjuk vagy savassá tesszük?

2. Hány oligopeptidre hasítja a tripszin az inzulint?

3. Hány lehetőség kínálkozik a 8.3.3. fejezetben szereplő elképzelt öt oligopeptidnek a kapcsolódásra? Mekkora az esélye, hogy (az oligopeptidek aminosav-sorrendjének ismeretében) a teljes szakasz sorrendjét véletlenül helyesen találjuk el? Mekkora lenne az esély, ha az oligopeptidek aminosav-összetételét sem ismernénk?

4. Mi az, amiben a kulcs-zár modell jól írja le az enzim – szubsztrát kölcsönhatást? Mi az, amiben módosításra szorulna?

5. Hasonlítsuk össze a KRESZ jobbkéz-szabályának illetve balkéz-szabályának elterjedését az egyes országokban! Mennyiben hasonlítható a KRESZ az L- illetve D-aminosavakból álló (valóságos illetve elképzelt) élővilághoz?

6. A gyilkos galóca által termelt legveszélyesebb méreg (phalloidin) egy 7 aminosavból álló oligopeptid, melyben az egyik aminosav D-enantiomer. Keressünk magyarázatot e gombaméreg veszélyes voltára! Hogyan lehet igazolni a sejtést?

7. Meteoritok anyagának elemzésekor találtak aminosavakat is. Ezek D- és L-enantiomereket tartalmaznak felefele arányban. Milyen következtetés vonható le ebből?

9. Kolloidika

9.1 A kolloid rendszerek

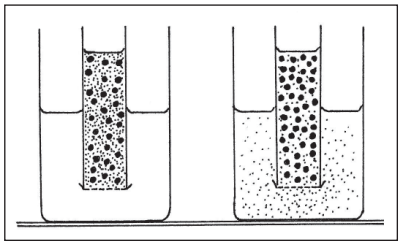
← diffúzió folyadékban: IX.4.2.1

KOLLOIDOK

Régi megfigyelés, hogy bizonyos folyadékok kissé másként viselkednek, mint a többi oldat. A karamell, a tojásfehérje, az enyv egyik sajátossága a *lassú diffúzió*, amit elsőként Thomas Graham (1805-1869) brit kémikus ismert fel (1861). Ő nevezte el **kolloid**nak („enyvszerűnek") az anyagok ezen csoportját (a görög kolla = enyv szóból). Feltételezte, hogy az oldott részecskék szokatlanul *nagy mérete* miatt jelentős a belső súrlódás (viszkozitás), és ez a lassú diffúzió oka. Ezt a sejtést Graham kísérletileg igazolta. Egyszerű berendezése (dializátor) egy üvegcső volt, melyet jól záró pergamenhártya választott el egy nagyobb edénytől. A nagyobb edénybe desztillált vizet töltött, a felső csőbe pedig a vizsgált oldatot. Azt tapasztalta, hogy a valódi oldat molekulái (például cukor vagy konyhasó) akadálytalanul átdiffundáltak a membránon, a kolloid részecskék (például gumiarábikum) viszont nem. A pergamenlap pórusai tehát nagyobbak a valódi oldatok molekuláinál, de kisebbek, mint a kolloidok. Mai mérések szerint *bármely anyag kolloidnak tekinthető, ha részecskéinek átmérője 1–1000 nm* közé esik. A kolloid szó tehát nem az anyagi minőségre utal, hanem az oldószerben eloszlatott (diszpergált) részecskék méretére. Ebből következik, hogy sohasem egy anyag, hanem legalább kettő alkot egy **kolloid rendszert**: a közeg és a benne eloszló (diszpergált) részecskék.

← viszkozitás IX.4.1.2

→ féligáteresztő kártya IX.4.2.4



115. ábra. ***Graham dializáló berendezése a kolloidok és a valódi oldatok elkülönítésére***
a) Kiindulási állapot: a felső edényben kolloid gumiarábikum (nagy körök) és cukor oldata van (pontok), alul víz
b) Végállapot: a cukor átdiffundált, a gumiarábikum nem

A **kolloidika** a kolloid rendszerek tulajdonságaival foglalkozó önálló tudományág. Szorosan kötődik a szerves kémiához, annak eredményeit felhasználja, azonban el is különül tőle, hiszen sok kolloid rendszer egyáltalán nem tartalmaz szerves molekulákat.

Kolloid méretű részecskéket alkotnak egyes óriásmolekulák, főként a fehérjék. Ezenkívül bármely szerves vagy szervetlen anyagból megfelelő finomságú diszpergálással (aprítással, őrléssel stb) elérhetjük ezt a mérettartományt. Kolloidok keletkezhetnek több kisebb molekula összekapcsolódásából, asszociációjából is (asszociációs kolloidok, pl. a szappanmicellák), vagy ha részecskék csapódnak ki megfelelő méretű szilárd szemcse felszínére. A szilárd kolloid részecskéket tartalmazó vizet **hidroszol**nak (röviden: szolnak nevezik). (Általánosságban – ha a közeg nem víz – az ilyen rendszer neve: lioszol). Nem sorolják azonban közéjük a **makromolekulás kolloido**kat (például fehérjéket). A folyadékban diszpergált anyag lehet egy másik folyadék is, amennyiben nem oldódnak egymásban (pl. olajcseppecskék vízben) – ezek az **emulziók**. Maga a közeg lehet légnemű is. A kolloid szilárd szemcséket tartalmazó levegőt **füst**nek, a lebegő folyadékot tartalmazót **köd**nek nevezik. (Mindkettőben lehetnek azonban a kolloid tartománynál kisebb és nagyobb részecskék is.)

← szappanmicella XII.5.1

→ emulgeálás az emésztésben XIII.5.2.1

→ szmog XXIX.

DISZPERZ RÉSZECSKE → KÖZEG ↓	**szilárd**	**folyékony**
folyékony	(lio)szolok, kolloid makromolekulás rendszerek, (lio)gélek	emulziók
gáz	aeroszolok: füst	aeroszolok: köd

9.2 Kolloidok adszorpciója

A szilárd anyagok és folyadékok felülete mindig más tulajdonságú, mint belső terük. A vonzóerők aszimmetriája miatt olyan felületi jelenségek lépnek fel, mint a *felületi feszültség* és az *adszorpció*. Az adszorpció gyorsasága és erőssége a két anyag minőségén kívül erősen függ az adszorbeáló felület nagyságától is. Ez legegyszerűbben a **fajlagos felülettel** – egységnyi tömegű anyag felületével – jellemezhető. A fajlagos felület a test aprítása során nő, maximumát a kolloid mérettartományban éri el. (Ennél kisebb részecskék esetén már megszűnik a fizikai határfelület). Ezért a kolloidok a legjobban adszorbeáló rendszerek.

← IX.4.2.2–3

FAJLAGOS FELÜLET

← meddig aprítható egy alma? (Démokritosz) III.6.1

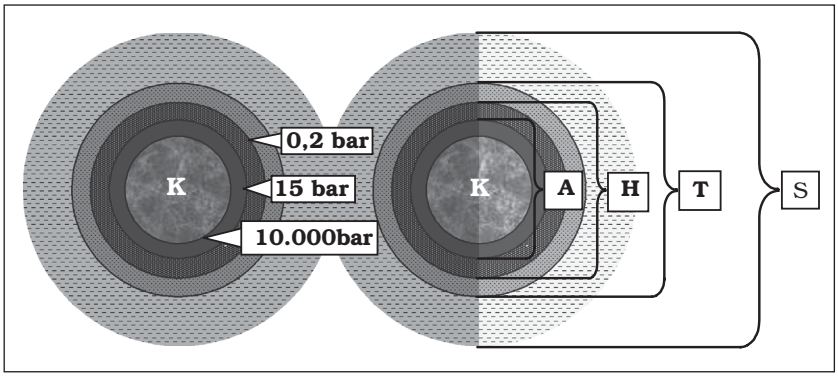
A részecskék kémiai tulajdonságaitól (pl. polaritásától) függően egyes kolloidok inkább pozitív vagy negatív ionokat, mások vizet vagy más oldószert kötnek meg erősebben. Különösen jelentős a hidroszolok víz-adszorbeáló képessége. A részecskék körül hidrátburok alakul ki, melynek legbelső – egy-két molekulányi vastagságú – rétege szorosan kötődik a felszínhez, a távolabb fekvők lazábban. A talajba kerülő víz egy része például így kötődik a kolloid méretű talajszemcsék, humuszrészecskék felszínéhez. Ez az ún. adszorbeált víz nem folyik el a talajvízbe, hanem szárazabb időszakban is a növények rendelkezésére áll. A növények azonban az adszorbeált víznek csak a lazábban kötött részéhez tudnak hozzáférni. A gyökerük által kifejtett szívóerőtől függ, hogy ez a teljes kötött vízmennyiségnek hány százaléka.

← hidrátburok XI.4.3–4

A TALAJ SZERKEZETE

← talajvíz VIII.4.2

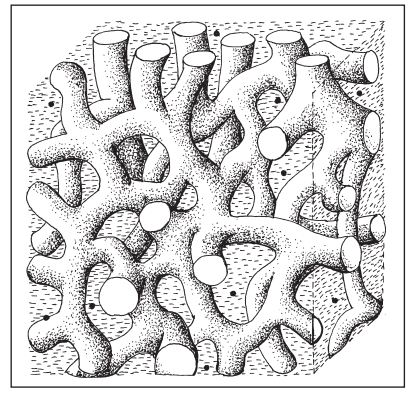
← gyökerek fölszívása X.4.1.1



116. ábra. ***Talajkolloidok vízmegkötése***
K = kolloid méretű részecske (agyag, humusz). A = szorosan adszorbeált víz (nem választható le); H = hervadáspont (ezt a vízmennyiséget a növények többsége még nem tudja hasznosítani); T = természetes talajnedvesség (az a kötött vízmennyiség, amit a növény gyökereinek szívóerejével le tud választani, és föl tud szívni); S = szabadon mozgó víz (a kolloidszemcsék közt áramlik).

Ha a hidroszol vizet veszít vagy lehűl, félig-meddig szilárd, kocsonyás állapotú anyag: **gél** alakul ki (húsleves kocsonyásodása). A gélek térfogatállandóságát az magyarázza, hogy a diszpergált részecskék laza térhálóvá kapcsolódtak össze, így már nem képesek elmozdulni. Noha ezzel megszűnt az önálló részecskék léte, a géleket is a kolloid rendszerek közé sorolják, mert fajlagos felületük szintén igen nagy. A géleken könnyen átdiffundálhatnak kismolekulájú oldott anyagok. Ez azt bizonyítja, hogy még mindig sok vizet tartalmaznak, ami azonban már erősen kötődik a térháló felszínéhez. A nagy víztartalmú gélek (liogélek) rugalmas szerkezete fontos szerepet játszik az élőlényekben. Ilyen pl. a szemlencse anyaga vagy a medúzák teste.

Vannak olyan gélek (ún. xerogélek) is, melyek alig tartalmaznak oldószert, kolloid voltukra csak a hatalmas fajlagos felületük utal. Az ilyen anyagokban az üregek esnek a kolloid mérettartományba. Ha bennük rostszerű finomszerkezet van, úgy egyszerre rugalmasak és szilárdak is (cellulóz rostok, csont-osteonok, kitin).



117. ábra. ***Sok vizet tartalmazó gél (liogél) szerkezetének vázlata.***
A fekete körök ionok, melyek a térhálót kitöltő vízben is szabadon diffundálhatnak

9.3 Kolloidok stabilitása

KOAGULÁCIÓ

← metastabil állapot: VI.9.5

A nagy fajlagos felszín – a határon fellépő felületi feszültség miatt – energetikailag kedvezőtlen állapot. A kolloid rendszerek számára ezért előnyös, ha összeolvadás útján csökken a fajlagos felszín nagysága. Ez a folyamat a **kicsapódás** vagy **koaguláció**. (A francia eredetű szó megalvadást jelent). Koagulál például főzés során a tojásfehérje vagy az állni hagyott tejben az zsíremulzió apró cseppjei (tejszín). Magyarázatra szorul, hogy sok kolloid rendszer hogyan őrizheti meg hosszú időn át (meta)stabil helyzetét, s milyen hatások képesek azt megváltoztatni.

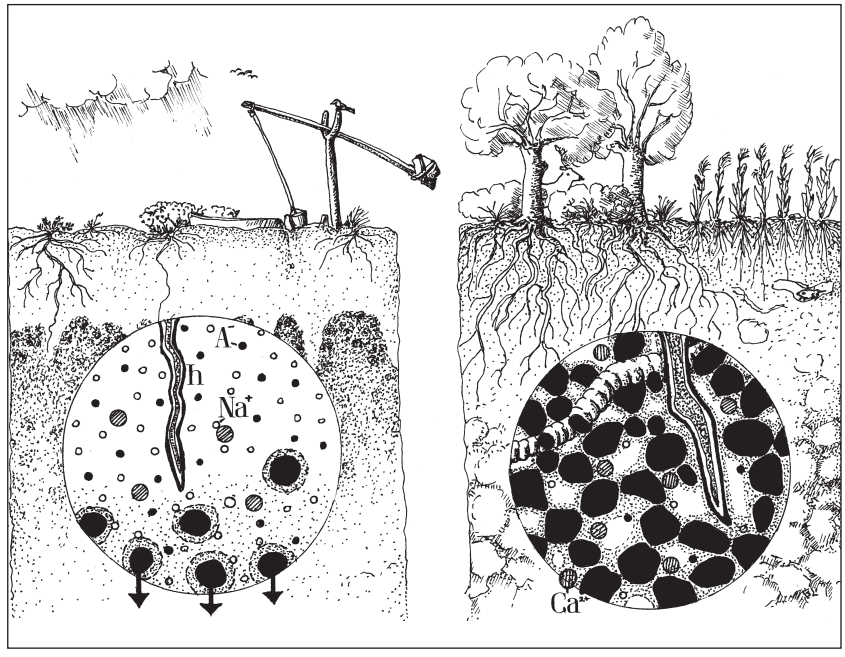
STABILIZÁLÓ HATÁSOK

Minden olyan hatás, ami a részecskék összetapadását gátolja, stabilizálja a kolloidot. Ilyen tényező lehet a felületi töltések taszító ereje és/vagy a hidrátburok védelme. A kolloid részecske gyakran „eleve” rendelkezik valamilyen töltéssel (például a fehérjék többsége vizes közegben negatív). Ekkor kationokat kötnek meg a felszínükön. Hogy milyet és mennyit, az a közeg kation „választékától” is függ. Elképzelhető, hogy a jelen lévő kationok – nagy méretük és kis töltésük miatt – nem semlegesítik teljesen a kolloid részecskék felületi töltéseit, így azok továbbra is negatívok maradnak. A kölcsönös taszítás ebben az esetben megakadályozza a koagulációt, a kolloid stabil marad. Ez következik be például akkor, ha a talajban a humuszrészecskéket olyan közeg veszi körül, melyben a Na^+-ionok aránya meghaladja a 12%-ot. Ezekben a **szikes talajokban** a keletkező humusz vízben oldható marad, ezért a csapadékvíz könnyen lemossa, elszállítja. A szikesek így válnak tápanyagban szegényekké. Az ilyen talaj tömör, levegőtlen, esőben kenőcs-szerű, szárazságban repedezett, kőkemény.

SZIKES TALAJ

→ szikesedés XXVII.

← szikes puszták VIII.5.3.2



118. ábra. ***Szikes talaj szerkezete (balra) és kalcium-gazdag talaj (jobbra)***
A szikes talajban 12% fölötti arányban vannak a nátrium-ionok (Na^+, kis világos körökkel jelölve), a másikban a kalcium-ionok vannak döntő többségben (Ca^{2+}, sávozott nagyobb körök). A: a szervetlen anionok, h: hajszálgyökér. Sűrű pontozás jelzi a kolloid méretű talajszemcsék felszínén megkötött hidrátburkot. A fekete nyilak jelzik a kolloid szemcsék talajvízbe áramlását. A jobb oldali rajzon a morzsalékos talaj szemcséi közti üregeket (világos területek) levegő tölti ki.

Ha az adszorbeált ionok megszüntetik a felületi töltést – a rendszer koagulál. Ez következik be például a Ca^{2+}-ionokban gazdag talajokban. A kicsapódott humuszszemcsék morzsalékossá teszik a talajt, megkötik a csapadékvíz egy részét, beengedik a levegőt és lassú bomlásukkal folyamatos, bőséges tartalék-tápanyagot szolgáltatnak az élőlényeknek.

MORZSALÉKOS TALAJ

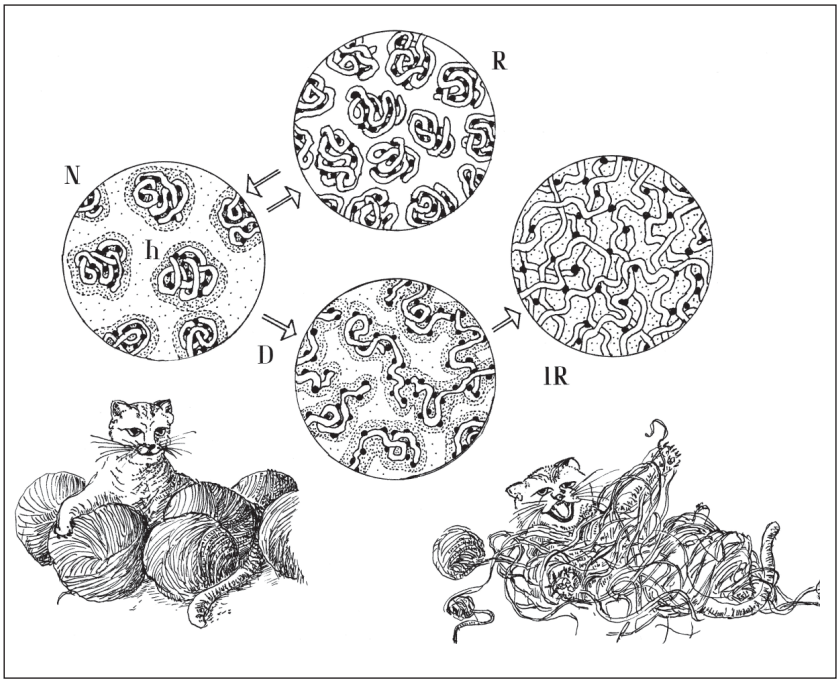
A koaguláció életveszélyes változásokat is okozhat. A szervezetbe került **nehézfém ionok** (Pb^{2+}, Hg^{2+}, Cd^{2+}) például *visszafordíthatatlan* koaguláltatják fehérjéinket, ezért **erős mérgek**.

FÉMSÓK MÉRGEZŐ HATÁSA

Koaguláció előidézhető a hidrátburok elvonásával is. A fehérje-oldathoz adott **könnyűfémsók** (pl. NaCl) ezen a módon *visszafordítható* (reverzíbilis) kicsapódást okoznak. Ez még nem jár a harmadlagos szerkezet megváltozásával, a molekulák csak egymáshoz tapadnak. Víz hozzáadására ismét visszanyerik hidrátburkukat és eltávolodnak egymástól.

KOAGULÁCIÓ HŐ HATÁSÁRA

A fehérjeoldat **melegítés –** vagy éppen forralás – hatására visszafordíthatatlanul koagulál (tojásrántotta). Ilyenkor nemcsak a molekulák körüli hidrátburok vékonyodik el, hanem a harmadlagos szerkezet is megváltozik. A felgombolyodott makromolekulák letekeredve kinyúlnak, így oldalláncaik véletlenszerű kapcsolatba léphetnek egymással; bekövetkezik a koaguláció.



119. ábra. ***Fehérjék reverzibilis (R) és irreverzibilis (IR) koagulációja***
Natív állapotban (N) a fehérjemolekulákat másodlagos kötőerők tartják megfelelő térszerkezetben. A kicsapódást a hidrátburok (h, sűrűn pontozott rész) is gátolja. Reverzibilis kicsapódáskor ez a hidrátburok vékonyodik el, de a térszerkezet megmarad. Irreverzibilis kicsapódáskor (például hőhatásra) előbb megszűnik a natív térszerkezet (denaturáció, D), majd stabil térháló alakul ki, amely már nem alakítható vissza az eredeti formába.

Kísérlet
Végezzük el a tojásfehérje-oldat koaguláltatását alkohollal, tömény sósavval és salétromsavval, telített $(NH_4)_2SO_4$-oldattal, $CuSO_4$-oldattal, melegítéssel! Visszafordíthatók-e a változások?

Summa (9)

A kolloidika a kolloid rendszerek tulajdonságaival foglalkozó tudományág (Graham, 1861).

Kolloid minden olyan diszperz rendszer, melyben a diszpergált részecskék átmérője 1 és 1000 mm közé esik.

Ilyenek a szolok, a makromolekulás rendszerek és az emulziók (folyékony közegben); az aeroszolok (füstök és ködök) (légnemű közegben), valamint a térhálót képező gélek. Minden kolloid rendszerre jellemző a nagy fajlagos felület miatti erős adszorpciós képesség.

A kolloidok kicsapódása (koagulációja) energetikailag kedvező folyamat. Felgyorsítja a hidrátburok elvonása (reverzíbilis koaguláció), a felületi töltés megszüntetése nehézfémsókkal vagy savakkal, a melegítés (irreverzíbilis koaguláció).

Kérdések, problémák (9)

1. Ha egy 10 cm-es alma átmérőjét minden vágással megfelezzük, hány vágás után jutnánk el a kolloid mérettartomány határáig?

2. Egy Graham-féle dializátorba *csak* kolloid oldatot töltünk (alul pedig tiszta víz van). Történik-e ebben az esetben változás?

3. A tejszínhab is diszperz rendszer. Ebben az esetben milyen halmazállapotú a közeg, s milyen a diszpergált „részecske”?

4. Mi a különbség a koaguláció és a denaturáció között? Előfordulhat-e, hogy egy fehérje koagulál, de nem denaturálódik? Van-e olyan denaturáció, ami nem jár koagulációval?

5. Szikes és elsavanyodott talajok javításának egyik módja a meszezés. Ekkor finomra őrölt mészkövet ($CaCO_3$) szórnak szét. Miért jótékony hatású ez?

6. Nehézfémsó-mérgezés esetén gyakran tejet itatnak a beteggel. Miért hatékony ez a védekezés?

7. Vajon elvi vagy csak gyakorlati akadálya van annak, hogy irreverzibilisen kicsapott fehérjéket újra kolloid állapotba hozzunk?

8. Miért nem lehet főtt tojásból kiscsibe?

9. Tiszta levegőjű hegyekben gyakrabban hull nagy kristályokból álló hópehely; mint a városokban. Mi lehet a különbség oka?

10. A városokra telepedő köd fokozza a környezeti ártalmakat (szmogveszély), a gyors záporok viszont tisztítják a levegőt. Miért?

Irodalomjegyzék

- ⌘ Balázs Lóránd: A kémia története I–II., Nemzeti Tankönyvkiadó, 1996
- ⌘ Bruckner Győző: Szerves kémia, Tankönyvkiadó, 1980
- ⌘ ✍ Bíró Endre: A modern biokémia alapkérdései, Gondolat, 1962
- ⌘ Csermely Péter: Stresszfehérjék, Vince, 2001
- ⌘ ✍ Elődi Pál: A fehérjék titkai nyomában, Gondolat, 1972
- ⌘ ✍ Füleky György: A talaj, Gondolat, 1988
- ⌘ Kajtár Márton: Változatok négy elemre, Gondolat, 1984
- ⌘ ✍ Kertai Pál: Korunk biológiája, Gondolat
- ⌘ ✍ Rózsahegyi Márta–Wajand Judit: Kémia itt, kémia ott…, ELTE Eötvös–NTK, 1995
- ⌘ ✍ Breuer, Hans: Kémia / SH atlasz, Springer Hungarica, 1995
- ⌘ ✍ Szurovy Géza: A kőolaj regénye, Hírlapkiadó, 1993
- ⌘ Venetianer Pál: Csillagórák a tudományban, Medicina, 2003

XIII. AZ ÉLET KÉMIÁJA



Óh, hát miféle anyag vagyok én,
hogy pillantásod metsz és alakít?
Miféle lélek és miféle fény
s ámulatra méltó tünemény,
hogy bejárhatom a semmiség ködén
termékeny tested lankás tájait?

S mint megnyílt értelembe az ige,
alászállhatok rejtelmeibe!…

Vérköreid, miként a rózsabokrok,
reszketnek szüntelen.
Viszik az örök áramot, hogy
orcádon nyíljon ki a szerelem
s méhednek áldott gyümölcse legyen.
Gyomrod érzékeny talaját
a sok gyökerecske át meg át
hímezi, finom fonalát
csomóba szőve, bontja bogját –
hogy nedűid sejtje gyűjtse sok raját
s lombos tüdőd szép cserjéi saját
dicsőségüket susogják!

Az örök anyag boldogan halad
benned a belek alagútjain
és gazdag életet nyer a salak
a buzgó vesék forró kútjain!

Hullámzó dombok emelkednek,
csillagképek rezegnek benned,
tavak mozdulnak, munkálnak gyárak,
sürög millió élő állat,
bogár,
hinár,
a kegyetlenség és a jóság;
nap süt, homályló északi fény borong –
tartalmaidban ott bolyong
az öntudatlan örökkévalóság.

József Attila: Óda (részlet)

1. A biokémiai modell

1.1 Új tudományág születik

Az élőlények működését leíró mechanikai modell több kérdést megválaszolatlanul hagyott. Honnan szerzi és hogyan hasznosítja az élőlény a működéséhez szükséges **energiát**? Lavoisier kimutatta kísérleteivel az égés és a biológiai oxidáció lényegi hasonlóságát. A biológiai oxidáció azonban lassú, benne egész sor bonyolult szerves molekula vesz részt. Azt is sejtették, hogy az oxidáció is csak egyike a szervezetben lejátszódó sokféle reakcióútnak.

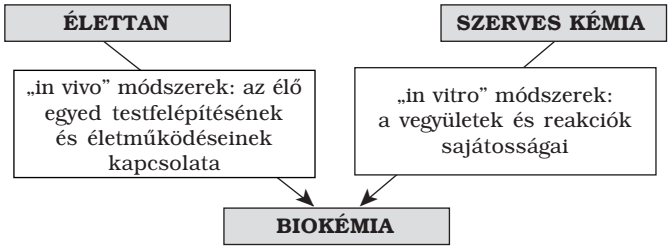
A XIX. század végén kialakuló **biokémia** tudománya arra vállalkozik, hogy ezeket a reakcióutakat feltérképezze. Felhasználja a szerves kémia eredményeit, de a molekulák tulajdonságai helyett e tulajdonságok **biológiai szerepét (funkcióját)** kutatja. A mechanikai modellt kiegészítő (és részben felváltó) új szemléletmódot az **élők biokémiai modelljének** nevezhetjük. *A biokémiai modell az élőlényeket olyan kémiai rendszereknek tekinti, melyeken anyag és energia áramlik át.*

A biokémia kutatási módszerei két csoportra oszthatók. Az egyik módszer meghagyja működésében az élő egységet (egyedet, szervet, sejtet), csupán a körülményeket változtatja meg, s figyeli válaszreakcióit. Ezeket az eljárásokat összefoglalóan „**in vivo**" (szó szerint: „életben") névvel jellemzik. A másik módszer az „**in vitro**" (szó szerint: „üvegben"). Ekkor a kutató a vizsgált anyagokat és reakciókat az élőlény szervezetén kívül, mesterséges közegben tanulmányozza. Az egyes anyagcserelépések megismerése után pedig lépésről lépésre rakja össze a vizsgált hálózatot.

Az XIII. fejezet címlapképe.
Hieronymus Bosch: Az Édenkert (részlet)
(1510 körül. Madrid, Prado)

A holland festő képe különös, álomszerű utazásra hív minket. Az élő természet részletei és az emberi elme szüleményei képtelen, mégis összefüggő hálózattá kapcsolódnak össze, melyben kíváncsi, vágyakozó vagy gyötrődő utazókként bolyongunk. Bosch-hoz hasonlóan a biokémia is az élet új, korábban láthatatlan oldalát tárta föl. Az anatómiai részletek sokasága – maga a látható emberi test – váratlanul magyarázatot nyert: a rajtuk átáramló folyamatok, reakciókörök kapcsolják élő egésszé a szerveket. E reakciók láthatatlanok ugyan, de elemezhetők, ahogyan a Bosch kép világa is titokzatos ugyan, de megfejthető és bejárható.

← Descartes módszere VII.3.1.1



1.2 Felépítés és lebontás

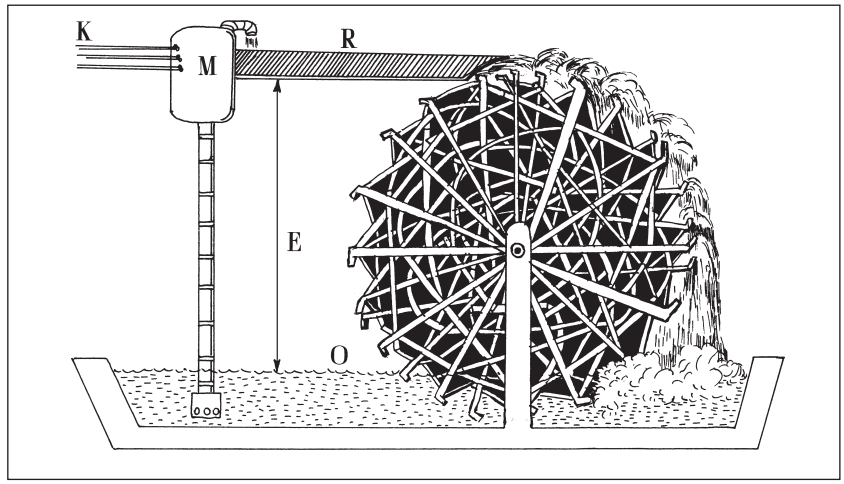
Az **égés** és a **biológiai oxidáció** sok szempontból hasonló folyamat. Mindkettőben energia szabadul fel, a magasabb energiájú molekulák mindkét esetben alacsonyabb energiájúvá alakulnak át. Az energiakülönbség felszabadulhat hő formájában, de egy része átalakítható más energiává vagy munkává is. Ezt használja fel az élőlény. A szerves kémia megmutatta, hogy az energiaszolgáltató molekulák valamennyien **redukáltak** és többnyire **nagyméretűek** is. Ezek szerint az energianyerő reakciók a nagymolekulák *bomlását* jelentik – és rendszerint *oxidációjukat* is. Az élőlényben zajló lebontó folyamatokat szokás **disszimiláció**nak nevezni. Az ezzel ellentétes folyamat, az élőlényekre jellemző nagymolekulák felépítése pedig, az **asszimiláció**. (Similis *lat.* = hasonló. A szó tehát „önmagához hasonlóvá tételt" jelent.)

← Lavoisier bizonyítékai IX.1.4.2

← IX.1.4.5 és XI.4.6.2

ASSZIMILÁCIÓ

← a fogalom Arisztotelésznél III.10.2.1



1. ábra. ***Az asszimiláció és disszimiláció mechanikai malomkerék-modellje***
Az „R" redukált nagymolekulákból „O" oxidált kismolekulák keletkeznek. E reakciók „E" energiakülönbsége mozgatja az életműködések bonyolult sorát. Az oxidált molekulákat az „M" motor emeli vissza a magasabb energiaszintre valamilyen „K" külső energiaforrás segítségével.

Ha csak disszimiláció folyna, akkor egy idő után elfogynának a redukált nagymolekulák. Szükséges tehát, hogy a két ellentétes irányú folyamat hosszú idő alatt kiegyenlítse egymást. Minden élőlényben egyszerre zajlanak felépítő és lebontó folyamatok is. A nagymolekulák szerepe kettős. Részt vesznek a test fölépítésében (például a fehérjék, cellulóz, kitin) és energiát raktároznak (például a magvak keményítő-, a máj és az izom glükogéntartalma). A felhalmozott anyag olykor mindkét funkciót ellátja (pl. fókák zsírrétege).

1.3 Az életmódok

Általános értelemben **életmódnak** nevezik adott élőlény élettevékenységeinek szervezett rendszerét, így anyag- és energianyerési útját, forrását is. A biokémiában az élőlények életmód szerinti csoportosítására több szempont van. Figyelembe vehetjük, hogy:

a) Honnan nyeri a működéshez szükséges *energiát*?
b) Milyen forrásból szerzi a *szénatomokat*?
c) Milyen molekulának *adja le* (lebontás során) *a hidrogénatomokat*?

KEMOTRÓFOK, FOTOTRÓFOK

a) Ha az élőlény életműködéseihez **energiaforrásként** *csak* kémiai energiát használ, **kemotrófnak** (régebbi nevükön: kemoszintetizálónak) nevezik. Ilyenek az állatok, a gombák, de sok baktériumfaj is (például a szerves anyagot hasznosító cellulózbontók vagy a szervetlen iont oxidáló nitrifikáló baktériumok). Más élőlények képesek megkötni a fény energiáját: ezek a **fototrófok** (más néven: **fotoszintetizálók)**. Ilyenek a zöld növények és egyes baktériumok. Semmilyen élőlény sem képes azonban a fény *közvetlen* hasznosítására: előbb energiadús szerves molekulákat szintetizálnak a segítségével, majd ezek lebontásából fedezik energiaigényüket. Fotoszintézisre a zöld növények és egyes baktériumfajok képesek. Fény hiányában (éjjel) és csírázás során azonban ők is csak kémiai energiát hasznosítanak. Mégis lényeges különbség, hogy míg a fototróf élőlény a *saját maga által termelt* tartalékokat hasznosítja, addig az állatok vagy gombák a *környezetükből felvett anyagokat* előbb megemésztik, átalakítják, s csak az így kapott szerves anyagok egy részét oxidálják.

→ részlépései XIII.2.2

HETEROTRÓFOK, AUTOTRÓFOK

b) Aszerint, hogy honnan szerzi a tápanyagot (a szén- és nitrogénatomokat), az élőlények két csoportját különböztetik meg: a **heterotrófokat** (más néven: **organotrófokat**) és az **autotrófokat.** A **heterotrófok anyagforrása szerves**, s mivel szerves molekulák gyakorlatilag csak élőlények segítségével keletkeznek a természetben, ezért úgy is fogalmazhatunk, hogy „más élőlényekre vannak utalva". (Hetero *gör.* = más, különböző; trofeo *gör.* = táplálni.)

Heterotróf élőlények a **ragadozók, rovarevők, a növényevők, a vegyes táplálkozásúak, a korhadékbontók (ha állat: szaprofágok, ha növény: szaprofitonok) és az élősködők (paraziták).**

Az autotrófok **szervetlen szénforrást (szén-dioxidot vagy szénsavat) hasznosítanak**, s többnyire nitrogénforrásuk is szervetlen. A zöld növényeken kívül több baktérium tartozik közéjük.

A heterotrófia és autotrófia közti számos átmeneti eset közül néhány az ábrán látható. A rovaremésztő növények sajátos helyzetét az magyarázza, hogy – szemben az élőlények döntő többségével – szén- és nitrogénforrásuk különböző. A szenet autotróf élőlények módjára szervetlen szén-dioxidból, a nitrogént azonban szerves fehérjékből (a rovarokból) szerzik be. Nitrogén szempontjából tehát heterotrófoknak tekinthetők.

c) Amilyen fontos a H-forrás a redukcióhoz, tehát az „élőlény testének felépítéséhez", éppolyan fontos, hogy lebontás, energianyerés során legyen valamilyen molekula, ami fölveszi az immár „fölöslegessé vált" hidrogént. Energetikailag az a legkedvezőbb, ha ez a H-felvevő molekula az oxigén: $4H + O_2 = 2H_2O$. Az ilyen élőlények **aerobok** (elemi oxigént igénylők): oxigén hiányában megfulladnak. (Aer *lat.* = levegő) Ilyen élőlények az állatok, a növények, sok gomba és baktérium is. Ha egy élőlény oxigénmentes közegben él (pl. mocsarakban vagy más élőlények bélrendszerében) akkor **anaerob** életmódot folytat. Ilyenkor a H-felvevője lehet valamilyen szervetlen molekula (pl. szén-dioxid, nitrátsók), de szerves vegyület is. Érdekes, hogy az anaerob fajok legtöbbjének az oxigén kifejezetten méreg: jelenlétében elpusztulnak. Anaerob a baktériumok egy része és az erjesztő gombák.



Az élőlények biokémiai modellje az élők kémiai reakcióútjainak feltérképezésére, élettani szerepük megvilágítására vállalkozik. A molekulák tulajdonságainak biológiai szerepe, funkciója foglalkoztatja. Az élőlények a kémiai kötésekben rejlő energiát hasznosítják. Az energiaszolgáltató vegyületek az asszimiláció (felépítés) során keletkeznek. Ezek redukált nagymolekulák.

Az asszimiláció *energiaigényét* az élőlény a napfényből (fotoszintézis) vagy vegyületek kötéseiből nyeri (kemoszintézis). Az asszimilációhoz szükséges *anyagot* az élőlények vagy szerves molekulákból nyerik (organotrófok = heterotrófok), vagy szervetlen anyagokból (autotrófok).

A lebontás (disszimiláció) többnyire oxidációs folyamat. Ha a hidrogénfelvevő molekula az elemi oxigén, az élőlény aerob, ha más vegyület: anaerob életmódú az élőlény.

← szerves és szervetlen vegyületek különbsége XII.1

ÁTMENETI FORMÁK

← fehérjék XII.8.3

2. ábra. ***Heterotróf és autotróf lények***
Autotrófok: a tölgy(a) és a rajta növő félélősködő fehér fagyöngy (b), a szőrmoha (c), az erdei pajzsika (d), a mocsári zsurló (e), a gyékény (f), a víz színén lebegő békalencse (g) és a rucaöröm nevű vízipáfrány (h), az aktívan mozgó mikroszkopikus kovamoszatok (i) és a nyálkás csomókat alkotó békanyálmoszat (j).
Átmeneti típusok: a legtöbb orchidea, pl. a kétlevelű sarkvirág (k) autotróf ugyan, de testét átszövik a vele szimbiózisban élő heterotróf gombafonalak. Néhány orchidea pedig egyáltalán nem tartalmaz zöld színtestet, szaprofiton. Ilyen pl. a madárfészek-kosbor (l). Autotróf és heterotróf életmódra egyaránt képes a mikroszkopikus méretű zöld szemesostoros (m). A tölcsérzuzmó (n) és a rénszarvaszuzmó (o) testét fotoszintetizáló moszatok és gombafonalak szimbiózisként hozzák létre. A rovaremésztő kereklevelű harmatfű (p) fotoszintetizál, csak nitrogénigényét elégíti ki heterotróf módon.
Heterotrófok: a ragadozók, mint az erdei cickány (q), a kis fakopáncs (r) és az erdei sikló (s); növényevők, mint az éti csiga (t) és a zöld lombszöcske (u); korhadékbontók, mint a földi giliszta (v), a gyilkos galóca (x) és a talajlakó atkák (y); paraziták, mint a gyökérélősködő vicsorgó (z), vagy vegyes táplálkozásúak, mint az erdei vöröshangya (w).

Summa (1)

Kérdések, problémák (1)

1. Szükségképpen autotróf-e minden fototróf? Fordítva: fotoszintetizál-e minden autotróf lény? Heterotróf-e minden kemotróf – és kemotróf-e minden heterotróf?

2. Milyen életmódot folytat (anyag- és energiaforrás szempontjából)
   a) a teljes élősködő aranka nevű növény
   b) az ember
   c) a Desulfovibrio nevű baktérium, mely tejsavval táplálkozik és fénytől elzárt helyen él
   d) a nitrit-baktérium, mely a talajban ammóniát oxidál nitrit-ionokká
   e) a káposzta éjjel
   f) a káposztalepke nappal?

3. Milyen életmódot folytató élőlények számára megfelelőek az alábbi élőhelyek (anyag- és energiaforrás valamint energianyerés szempontjából)? Indokolja a választ!
   a) mocsár rothadó iszapja
   b) mély tenger
   c) esőerdő talajszintje
   d) felásott kerti talaj
   e) múzeumi lepkegyűjtemény

4. Miért találó a latin asszimiláció és disszimiláció kifejezés? Milyen molekulák vesznek részt benne?

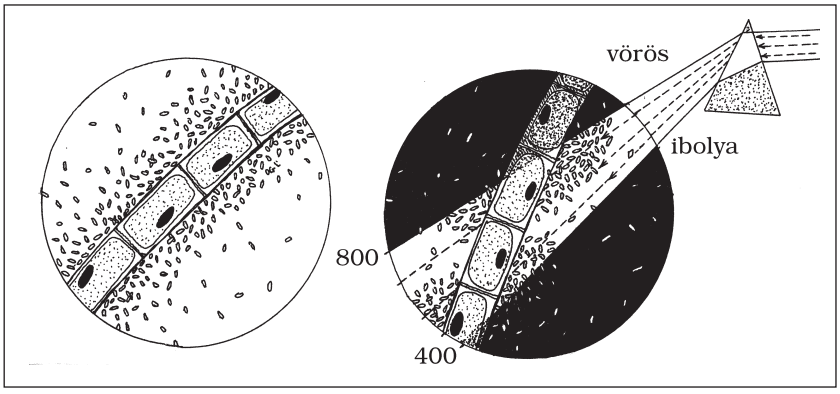
5. A harmatfű C szempontjából autotróf, N szempontjából heterotróf. Elképzelhető-e a fordított eset: egy N szempontjából autotróf, de C szempontjából heterotróf lény? Különböznek-e a ragadozó és a növényevő állatok lehetőségei?

6. Találó-e a heterotróf és az autotróf elnevezés? Milyen magyar szavakkal helyettesíthetnénk ezeket a görög kifejezéseket?

2. A fotoszintézis

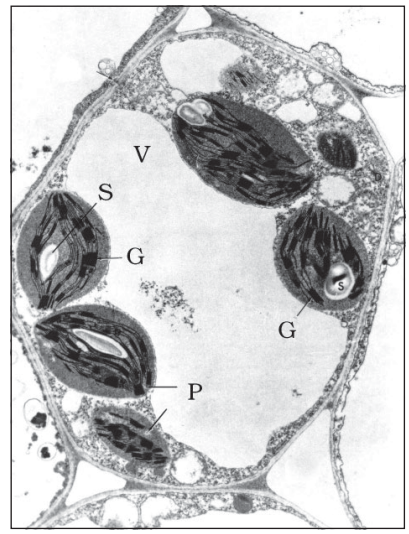
2.1 A színtestek szerepe

A prokarióták kivételével valamennyi fotoszintetizáló sejtben megtalálhatók a **zöld színtestek (kloroplasztiszok**). Szerepüket a következő kísérletsorozattal ismerte fel Engelmann német kutató. Megfigyelte, hogy egy bizonyos baktériumfaj egyedei mindig ott gyűlnek össze, ahol sok az oxigén, tehát ez a faj O_2-kedvelő (aerob). Ha például mikroszkóp alatt egy fonalas zöldmoszatot helyezett egy baktériumoktól nyüzsgő cseppbe és azt megvilágította, a baktériumok a fonal körül csoportosultak. Ez megerősítette a már jól ismert tényt, hogy a növényi fotoszintézis során oxigén keletkezik. Kísérletének következő részében Engelmann azt vizsgálta, hogy befolyásolja-e a fotoszintézist a fény színe (hullámhossza)? Ennek eldöntésére a fehér fény prizmával szétbontott színképét (spektrumát) vetítette a moszatfonalra. Azt tapasztalta, hogy a baktériumok a vörös színnel megvilágított sejtek körül gyülekeznek a legnagyobb számban. A fotoszintézis során tehát (főként) ezt hasznosítja a növény.



A következő lépésben azonosították azt a sejtalkotót, amelyik a vörös színű fényt nyeli el: a zöld színtest volt az. (Éppen ezért zöld: az elnyelt vörös fény kiegészítő színét látjuk.) Ezután azt a molekulát kellett elkülöníteni a zöld színtestből, amelyik a fényelnyelésért felelős. Ezt **klorofillnak, „**levélzöldnek" (klorosz = zöldessárga, fillon = falevél, gör.) nevezték el.

Tehát a klorofillmolekula biztosítja a fotoszintézis energiaigényét oly módon, hogy az elnyelt fény energiáját alakítja kémiai energiává (a glükóz kötéseinek energiájává). Ezt a képet a későbbi kutatások már nem változtatták meg, csak pontosították. Kiderült például, hogy a klorofill fénymegkötéséhez más anyagok – úgynevezett segédpigmentek – is hozzájárulnak. Ilyenek például a karotin és a xantofill.



3. ábra. ***Zöld színtestek egy növényi sejt elektronmikroszkópos felvételén***
A kettős membránba zárt test (plasztisz, P) belső membránja pénztekercsekre emlékeztető sötét oszlopokat alkot (gránumok, G). Ezek felszínén és belsejében zajlik a fotoszintézis. A színtestekben keményítő szemcsék (S) is láthatók. A sejt nagy részét egyetlen hatalmas sejtnedvvel telt üreg (vakuolum, V) tölti ki.

4. ábra. ***Engelmann kísérlete a fotoszintézis fényigényének kimutatására***
A számok a fény hullámhosszát mutatják, nm-ben.

→ színek XV.3.7

KLOROFILL

→ elektronok gerjesztése XXII.

2.2 A fotoszintézis részfolyamatai

A fotoszintézis összefoglaló egyenlete a folyamat részleteiről semmit nem árul el. Annyi bizonyos, hogy a glükóz összes szénatomja a szén-dioxidból, és összes hidrogénatomja a vízből származik.

← az összefoglaló egyenlet: IX.1.4.4

HILL KÍSÉRLETEI

R. Hill angol biokémikus arra volt kíváncsi, hogy melyek a fotoszintézis lépései, szakaszai. Föltette, hogy a víz először elbomlik, hidrogénjeit átveszi valamilyen szállítómolekula, majd ez a molekula adja tovább a szén-dioxidnak. A feltevés igazolása olyan kísérlettel lehetséges, amelyben a fotoszintézis e két szakasza elkülönül egymástól.

FÉNYSZAKASZ

A döntő kísérletet Hill 1937-ben végezte el. Sejtből kiemelt sértetlen színtesteket használt. Ilyen körülmények között – hiába világította meg őket – nem indult meg a fotoszintézis. Ha viszont egy olyan festékmolekulát adott az oldathoz, ami szívesen vett föl hidrogénatomokat (azaz könnyen redukálódott), akkor érdekes változást tapasztalt. Világítás hatására megindult a színtestek oxigéntermelése, anélkül, hogy glükóz keletkezett vagy CO_2 fogyott volna! Mintha csak félig játszódna le a folyamat… A fotoszintézis ezen részét ma **fényszakasznak** (vagy Hill 1. reakciójának) nevezik.

← redukció IX.1.4

VÍZBONTÁS

Hill így magyarázta tapasztalatait: az első lépés **a víz bontása** (fotolízise) fényenergia segítségével. A keletkező oxigén gáz formájában távozik, a hidrogént viszont megköti a festékmolekula. Nevezzük ezt a molekulát A-nak! Ekkor az egyenlet így írható fel:

$$2\,\mathbf{H_2}O + 2\,A = O_2 + 2\,A\mathbf{H_2}$$

← analízis (Descartes) VII.3.1.1

Ebben a reakcióban az a meglepő, hogy nem kell hozzá szén-dioxid. Eszerint az oxigén termelése és a szén-dioxid megkötése két független folyamat, hiszen mesterséges körülmények között szétválaszthatók. Vajon *természetes körülmények között* hogyan kapcsolódnak össze ezek a részfolyamatok? Hill elgondolása az volt, hogy a természetben valamilyen könnyen redukálódó molekula tölti be az „A” szerepét. Hamarosan meg is találták: ez a **NADP** (nikotinsavamid-adenin-dinukleotid-foszfát). Kiderült, hogy az összes élőlényben a NADP vagy a hozzá nagyon hasonló szerkezetű NAD az elektron (illetve hidrogén) szállítója.

A NADP A HIDROGÉNSZÁLLÍTÓ

← koenzimek XII.8.3.6

$$\mathbf{H_2}O + NADP = NADP\mathbf{H_2} + 0{,}5\,O_2$$

A hidrogént tehát nem közvetlenül a víz adja át a szén-dioxidnak, hanem előbb egy „küldöncre”, egy szállítómolekulára bízza. Miután a $NADPH_2$ leadta két hidrogénjét, ismét készen áll a hidrogénfelvételre: ez a **körfolyamat** kapcsolja össze a fotoszintézis két szakaszát.

→ hidrogénszállítás a biológiai oxidációban XIII.3.2.3

A hidrogénszállítás módja a fotoszintézisben

A NADP vagy a NAD valójában bonyolultabb módon működik: két elektront és egy protont vesz föl, a második proton pedig külön úton, az oldatban halad, s csak a folyamat végén egyesülnek:

$$NADP^+ + \mathbf{2H} \longrightarrow NADP\mathbf{H} + \mathbf{H^+}.$$

Ezért e folyamatokat egészen pontosan elektron- és protonszállításnak, egyszerűsítve pedig hidrogénszállításnak nevezhetjük. Könyvünk a továbbiakban az egyszerűbb jelölésmódot követi.

ATP, AZ ENERGIASZOLGÁLTATÓ

→ termokémia IX.3.2

Hill végiggondolta a folyamat **energiaigényét** is. Termokémiai számításokból tudta, hogy a fotoszintézisben az egyik energiaigényes lépés a víz bontása, a másik a szén-dioxid redukciója szőlőcukorrá. Ezeket fedezi tehát a napfény energiája. Csakhogy míg a vízbontás már a fényszakaszban megtörténik, a szén-dioxid redukciója ettől elkülönül. E második szakasz energiaigényét ezért nem fedezheti közvetlenül a fény: olyan molekulára van szükség, ami ezt az energiát időlegesen kémiai kötéseiben tárolja. Hill tudta, hogy sok energiaigényes reakcióban egy ATP (adenozin-trifoszfát) nevű molekula az energiaszolgáltató: ennek hidrolízise (bomlása) során mólonként kb. 30 kJ energia szabadul fel, ami elegendő arra, hogy a sejt energiaigényes folyamatait végbevigye.

← ATP keletkezése lebontó folyamatban XIII.3.3

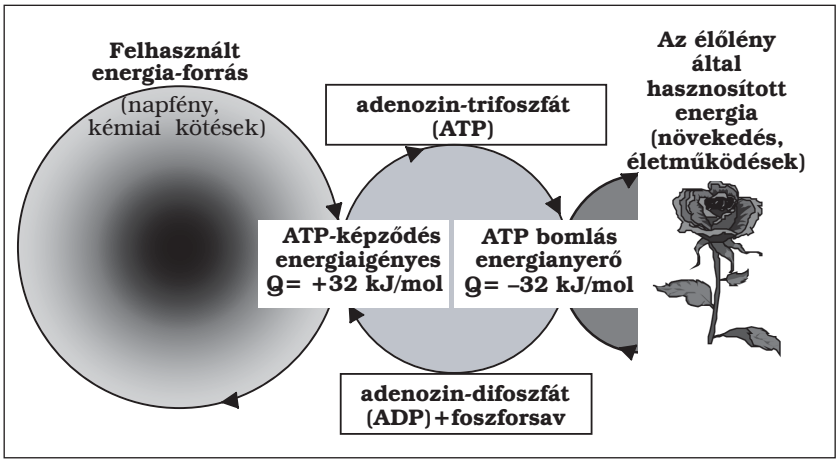
$$ATP + H_2O \longrightarrow ADP + H_3PO_4 \quad \Delta G = -30\ \text{kJ/mol}$$

adenozin-trifoszfát — adenozin-dinfoszfát + foszforsav

Föltehető tehát, hogy a napfény energiáját nem közvetlenül hasznosítja a növény, hanem segítségével előbb ATP-t szintetizál, majd ezen ATP hidrolízisének energiáját felhasználva építi fel szerves molekuláit:

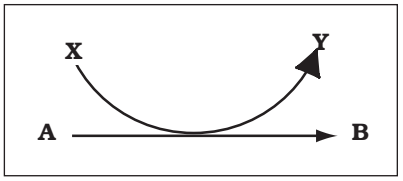
$$ADP + H_3PO_4 \longrightarrow ATP + H_2O \quad \Delta G = +30 \text{ kJ/mol}$$

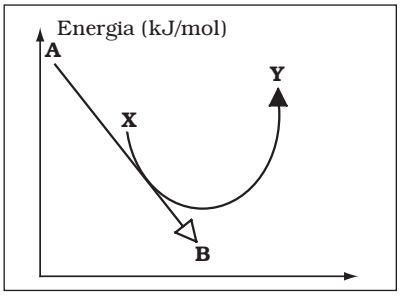
Hill valóban igazolta, hogy ha ADP-t és foszforsavat ad az oldathoz, a fényszakaszban ATP is keletkezik. A keletkező ATP azonban nem jut ki a citoplazmába, a fotoszintézis tehát saját céljaira használja fel.



6. ábra. ***Az ATP keletkezése ADP-ből és foszforsavból, majd bomlása ugyanezekké – körfolyamat.***
Amennyi energiát befektet a szervezet az ATP szintézisébe (32 kJ/mol), ugyanannyit használhat fel a bomlás során. (Valójában a befektetett energia egy része elvész, mert hő formájában távozik.)

5. ábra. ***Kémiai reakciók kapcsoltsága és ábrázolásuk a biokémiában***
a) Az A + X = B + Y típusú kémiai reakciót úgy is fel lehet írni, hogy kifejezze: az X → Y átalakulás az A → B átalakuláshoz kötött, ahhoz kapcsolt:



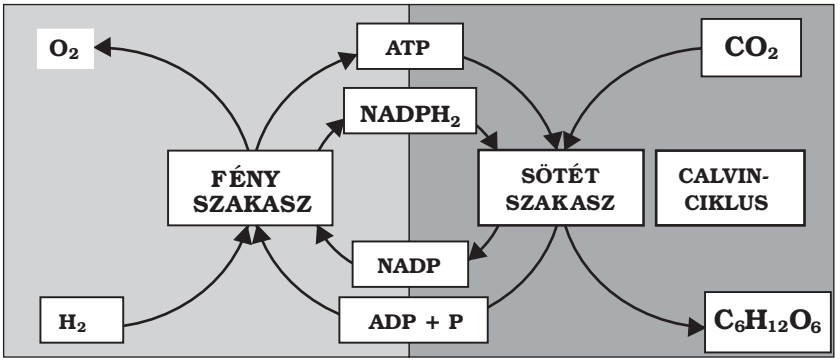


b) Ez az ábrázolásmód különösen akkor szerencsés, ha az X → Y reakció energiaigényes, az A → B pedig energiatermelő, az X → Y reakció energiaigényét tehát az A → B folyamat fedezi. A fotoszintézisben X = ADP; Y=ATP.

Hill elegáns zárókísérlettel igazolta feltevését. Ebben elkülönített kloroplasztiszokhoz sötétben adott $NADPH_2$-t és ATP-t. A kloroplasztiszok ilyen körülmények között megkötötték a CO_2-t és glükózt termeltek, oxigéngázt azonban nem. Ezzel megtalálta a *fotoszintézis másik felét*, a **sötét szakaszt** is (Hill II. reakciója). Mivel ennek részleteit és körfolyamat-jellegét az amerikai Calvin tisztázta, Calvin-ciklusnak is szokták nevezni. A Calvin-ciklusban egy vegyület megköti a szén-dioxidot, és több lépésben glükózzá alakítja. A glükózból keletkezik a növény többi szerves molekulája is.

SÖTÉT SZAKASZ

→ keményítő, cellulóz: XII.7.2



7. ábra. ***A fotoszintézis fény- és sötétszakaszának kapcsolata vázlatosan***

Summa (2)

Fotoszintézis során a növény vízből és szén-dioxidból oxigént és szerves molekulát állít elő. Ennek feltétele a megfelelő hullámhosszúságú fény és az azt elnyelni képes klorofill jelenléte (Engelmann, Borogyin). A fotoszintézis két rész-szakaszra bontható (Hill).

A fényszakasz úgy hasznosítja a fény energiáját, hogy azzal vizet bont (fotolízis), a keletkező H-atomokkal NADPH-t termel, O_2-gázt és ATP-t állít elő.

A sötét szakasz (Calvin-ciklus) a CO_2 megkötését és szerves molekulává redukálását jelenti. E folyamat energia- és hidrogénigényét a fényszakaszban nyert ATP és $NADPH_2$ biztosítja.

Problémák, feladatok (2)

1. Változatlan-e a napsugárzás hullámhossz-eloszlása (színe) egy nap során? Figyelembe véve a hőmérséklet-változást is: hogyan változhat eközben a fotoszintézis intenzitása?

2. Azt jelenti-e a fotoszintézis sötét szakasza (Calvin-ciklus), hogy sötétben is lehetséges a fotoszintézis? Élhet-e egy növény természetes körülmények között is azzal a lehetőséggel, hogy a fotoszintézis két szakasza szétválasztható? Ha igen: hogyan lehet ezt igazolni?

3. Klorofilloldatot magunk is készíthetünk, ha szétdörzsölt leveleket (pl. spenótot) aceton és víz 4:1 arányú elegyével visszafolyó hűtővel ellátott lombikban forraljuk. Az így készült oldat ráeső fényben sötétzöld színű. Miért? Homogén vagy összetett szín ez? Hogyan bizonyíthatjuk sejtésünket?

4. Bizonyos kénbaktériumok (Thiorhodaceae) a következő bruttó egyenlet szerint végzik fotoszintézisüket:

   $6\ CO_2 + 12\ H_2S = C_6H_{12}O_6 + 12\ S + 6\ H_2O$,

   tehát kénhidrogént elemi kénné alakítanak át. Milyen hasonlóságokat és különbségeket mutat a növényi fotoszintézishez képest? Vajon bennük is elkülöníthető-e a Hill által felfedezett fény- és sötétreakció?

3. Lebontó folyamatok a sejtben

3.1 Az erjedés

3.1.1 Erjedés élő sejtekben

AZ ERJEDÉS FELHASZNÁLÁSA

Az erjedés (fermentáció) ősidők óta ismert jelenség. Ezt használják például a bor és sör készítésekor (alkoholos erjedés), káposztasavanyításkor, tejtermékek (aludttej, kefir, sajtok) vagy a fekete tea előállítása során.

A szerves kémiai kutatások mutatták meg, hogy kémiai szempontból mi közös e folyamatokban. Valamilyen *szerves molekulából* indulnak ki, és egy szintén *szerves, de kisebb molekula* a végtermék. Kiindulási anyag lehet például a szőlőcukor, végtermék pedig az etanol, az ecetsav, a vajsav vagy a tejsav. A szőlőcukor például gyakran etanollá erjed, miközben apró buborékok formájában szén-dioxid szabadul fel. A folyamat bruttó (összefoglaló) egyenletét már Lavoisier ismerte:

← etanol XII.4.3.1
← ecetsav XII.4.3.3
← tejsav XII.6.2

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2\ C_2H_5OH + 2\ CO_2$$

szőlőcukor etanol szén-dioxid

A „FERMENT" KATALIZÁTOR?

Azt is tudták, hogy az erjedés megindításához valamilyen kiváltó anyagra, korabeli kifejezéssel: „**fermentre**" van szükség (a fermentum sört vagy kovászt jelent latinul). A teljesen tiszta, felforralt és légmentesen lezárt cukoroldat évek múlva sem erjed meg, ha azonban bármilyen kis darab élesztőt (fermentet) adunk hozzá, azonnal megindul a pezsgés. A jelenség magyarázataként Berzelius feltételezte, hogy a ferment (itt: az élesztő) *katalizálja* a folyamatot. Észrevette, hogy az erjedő oldatban mikroszkóp alatt apró gömböcskék („fermentgömböcskék") láthatók. Úgy vélte, ezek felszínén megy végbe a katalízis, éppúgy, ahogy egy szervetlen katalizátor (például a fém platina finom, szivacsszerű felszíne) megköti és elbontja a hidrogén-peroxidot. Ezt a véleményt a kor legtöbb neves kémikusa is osztotta.

← Pasteur kísérlete az ősnemzés cáfolatára X.1.3

← katalízis IX.3.3.3

← adszorpció IX.4.1.3

„A fermentgömböcskék ugyanolyan kapcsolatban vannak a cukorral és a vízzel, (…) mint a platinaszivacs a hidrogénperoxiddal." – írta Berzelius egyik tanítványa.

Más körülmények között azonban ugyanabból a kiindulási anyagból más végtermék keletkezhet. 1856-ban egy francia gyáros riadtan észlelte, hogy a várt etanol helyett több erjesztőkádjában kellemetlen szagú, szürkés folyadék jelent meg. Problémájával egy fiatal francia vegyészhez, Louis Pasteur-höz fordult, aki megállapította, hogy a „beteg" kádakban etanol helyett főként vajsav jött létre a cukorból. Pasteur az optikai forgatóképesség vizsgálata során már korábban fölismerte, hogy egyes vegyületek apró élőlények anyagcseréjének termékei lehetnek. Most is erre gyanakodott. Amikor megvizsgálta a mintákat, az „egészséges" lében gömb formájú élesztőgombák tömegét látta, a „beteg" kádakban viszont pálcika alakú baktériumsejteket. Pasteur tervszerű kísérletek sorozatával igazolta, hogy az élesztősejtek jelenlétében alkoholos, a baktériumsejtek hatására pedig vajsavas erjedés indult meg. Amíg az erjedés tart, a sejtek gyorsan osztódnak, ha viszont elpusztítja őket (például hőkezeléssel), akkor az erjedés is, az osztódás is megáll. A „fermentek" tehát nem katalizátorok, hanem *élőlények, amelyek táplálék- és energiaforrásként használják fel a cukrot* – állapította meg Pasteur.

← katalizátorok fajlagossága XII.8.3.6

← a forgatóképesség vizsgálata XII.6.1

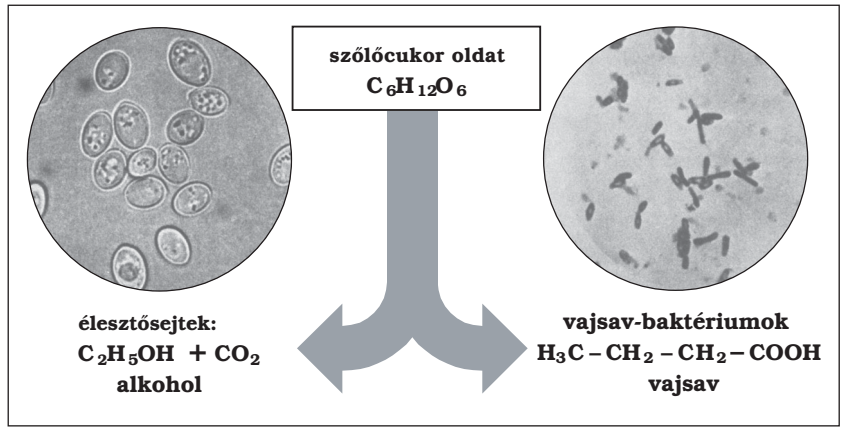
A „FERMENT" ÉLŐLÉNY?

→ Pasteur vitája Buchnerrel XIII.3.1.3

„Kezdetben távolról sem gondoltam erre a lehetőségre; és próbáltam szabadulni ezektől az apró állatoktól, mert féltem, hogy ugyanazt az ismeretlen növényi fermentet használják táplálékul, amelyet éppen akkor akartam megtalálni a kísérleteimhez használt folyékony közegben. De végül is feltűnt, hogy a jelen lévő vajsav és az ázalékállatok közti arány mennyire állandó, bár először ezt annak tulajdonítottam, hogy a vajsav értékes táplálék ezeknek az állatkáknak.

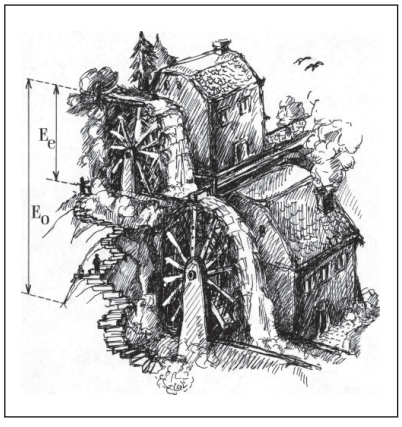
Azután számtalan kísérlet győzött meg arról, hogy a cukor, mannitol és tejsav átalakítása vajsavvá kizárólagosan ezeknek az ázaléklényeknek a munkája és az igazi vajsav-fermentnek kell tekintenünk őket."

Pasteur: Emlékirat a szeszes erjedésről (1860), idézi:H. Lechevalier



8. ábra. ***A glükóz erjedésének két útja és az azt előidéző lények***

3.1.2 Az energianyerés két útja (a Pasteur-hatás)



8. ábra. ***Az erjedés és a biológiai oxidáció malomkerék-modellje***
A kisebb kerék (az erjedés) anélkül is működtethető, hogy a nagyobb (az oxidációé) forogna. Ekkor azonban csak az E_e energia hasznosítható, míg a biológiai oxidáció során a teljes E_0 energiát fölhasználhatja a szervezet.

Pasteur megfigyelte, hogy az erjedés oxigénmentes (anaerob) körülmények között is végbemegy, sőt vannak olyan erjesztő sejtek, melyeknek az elemi oxigén méreg. (Anaerob körülményeket úgy tudott létrehozni, hogy az élesztősejteket tartalmazó tápoldat edényéből semleges gázzal, például nitrogénnel kiszorította a levegőt). Más mikrobák – így az élesztő is – képesek légköri levegőn és oxigéntől elzárva is szaporodni. Levegőn a szőlőcukrot szén-dioxiddá és vízzé oxidálják, anaerob körülmények közt pedig erjesztéssel nyernek energiát. Szükséges tehát, hogy egyetlen sejten belül is kapcsolat legyen a két alapvető folyamat: a biológiai oxidáció és az erjedés között.

Pasteur egyik kísérletében élesztősejtek glükózfogyasztását mérte különböző körülmények között. (A sejteknek ez volt az egyedüli szén- és energiaforrásuk.) Megfigyelte, hogy ha az anaerob körülményeket megszüntetve oxigént ad a tenyészethez, akkor annak glükózfogyasztása hirtelen *csökken* (Pasteur-hatás). Pasteur ebből arra következtetett, hogy az erjedés és az oxidáció két egymástól független, de kapcsolódó folyamat, s *az élőlény erjesztéssel ugyanannyi szőlőcukorból csak jóval kevesebb energiát tud nyerni, mintha oxidálná.* (Ezért a magasabb fogyasztás.)

A két folyamat kapcsolatát két, egymás után kapcsolt vízimalommal lehet szemléltetni, az ábrán látható módon.

3.1.3 Erjedés sejtmentes közegben

Bár Pasteur eredményei meggyőzték a tudományos közvéleményt arról, hogy az erjedés különféle élőlények műve, arra nem adtak választ, hogy ezek a folyamatok hogyan, milyen lépéseken keresztül zajlanak a sejteken belül. Sőt, sokan úgy vélték, hogy ez nem is lehetséges, az élőlények belsejébe „nem láthatunk bele". Ez a gondolatmenet az életerő (vitalizmus) elméletét erősítette – de nem sokáig.

ÉLETERŐ?

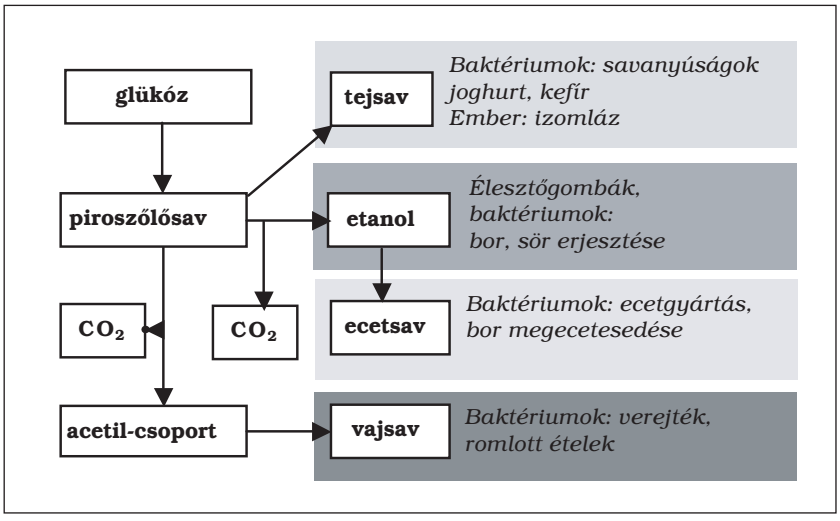
← vitalizmus X.2; XII.1

A német Buchner fivérek gyógyszerészek voltak, akik szerettek volna tartós élesztő-kivonatot előállítani (1897). Ekkoriban már felismerték, hogy az élesztőben sok jótékony hatású anyag van, s Buchnerék nem az egész sejtet, csak ezeket a gyógyító hatású vegyületeket szerették volna kinyerni. E célból a sejteket szétroncsolták, s így pépszerű, sejtmentes kivonatot kaptak. Tervük az volt, hogy ezt tömény cukoroldat segítségével tartósítják. Meglepő módon a cukorszirup a sejtmentes, tehát „élettelen" élesztő-préslé hatására heves erjedésnek indult! Az eset óriási felzúdulást keltett a kor vitalista tudósainak körében. Bebizonyosodott, hogy azok az enzimek, amelyek az erjedést okozzák, nemcsak az élő sejt belsejében, hanem kémcsőben, élettelen közegben is hatnak. Ezzel megnyílt a lehetőség az **életfolyamatok analízise** előtt. Kutatók egész serege kezdte meg a szétroncsolt sejtekből kivont enzimek elkülönítését és hatásuk vizsgálatát. E kutatások mindig csak egy-egy részlépés vizsgálatára szorítkoztak. E lépésekből azonban, mint egy kirakós játékban, lassan összeállt a teljes kép.

AZ ANALÍZIS LEHETŐSÉGE

← enzimműködés mechanizmusa XII.8.3.6

← „in vitro" módszerek XIII.1.1



10. ábra. ***Az erjedés néhány lehetséges útja, terméke, előfordulása és felhasználása***



10.a ábra.
Eduard Buchner (1860–1917) német vegyész, gyógyszerész, bakteriológus. Münchenben tanult kémiát és botanikát. Az erjedés enzimes mechanizmusának tisztázásáért 1907-ben kapott Nobel-díjat.

3.2 A biológiai oxidáció lépései

3.2.1 Glükolízis

A legfontosabb lebontó folyamat a biológiai oxidáció. Elemzése során a kutatók egyik módszere az volt, hogy sejtmentes közegben bizonyos anyagokat hozzáadtak az oldathoz és figyelték a változást. Más esetekben **gátló-**

← Lavoisier elemzése IX.1.4.4

ENZIMMÉRGEK FELHASZNÁLÁSA
← XII.8.3.6

szerekkel (enzimmérgekkel) megakadályozták a reakciósor egyik lépését. Eközben azt vizsgálták, hogy *milyen vegyületek szaporodnak fel és melyek tűnnek el* a kezelés után. Előbbiek nyilván a kérdéses reakciólépés *előtti* anyagok, utóbbiak pedig csak a reakció lezajlása után jöttek (volna) létre. Ilyen úton sikerült kideríteni, hogy egy 3 szénatomos szerves savnak, a piroszőlősavnak a biológiai oxidációban is és az erjedésben is döntő szerepe van: hozzáadása ugyanis mindkét folyamatot gyorsítja. Ha ellenben keletkezését valamilyen sejtméreggel (pl. arzénnal) gátolják, úgy mindkét folyamat leáll. Ha a piroszőlősav keletkezését megengedjük, lehetőség van arra, hogy *csak* a biológiai oxidációt gátoljuk, az erjesztést azonban nem. Ilyen hatása van például a KCN-nek (kálium-cianidnak), az egyik legerősebb sejtméregnek. E kísérletek – és mások – értelmezése során a kutatók előtt kirajzolódott a szerves molekulák lebontásának első néhány lépése. A piroszőlősav keletkezéséig az erjedés és az oxidáció közös pályán halad, csak ezután válik ketté. A biológiai oxidáció és az erjedés e kezdeti, közös szakaszát felfedezőik (a német Embden és Meyerhof) **glükolízisnek**, (glükózbontásnak) nevezték el. *A glükolízis a sejtek plazmájában lejátszódó folyamat, mely szénhidrátokból indul ki és piroszőlősav molekulák keletkezésével jár.*

SZELEKTÍV GÁTLÁS
→ felhasználása pl. a veseműködés kutatásában XIII.8.3.2

→ elemi idegműködések XVIII.3.1

GLÜKOLÍZIS

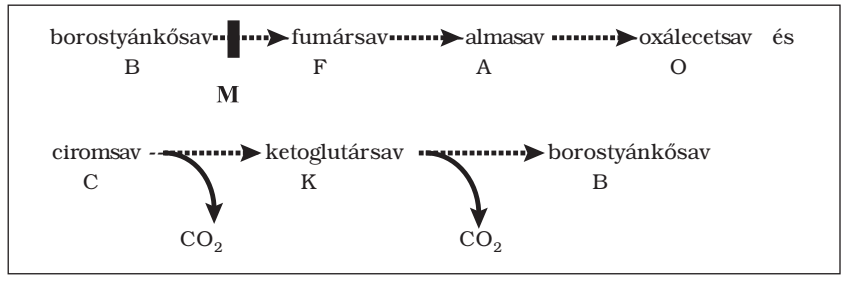
3.2.2 A citromsav-ciklus

SZENT-GYÖGYI ALBERT KÍSÉRLETEI

A század harmincas éveiben több kutatócsoport párhuzamosan kísérelte meg a biológiai oxidáció lépéseinek feltérképezését. Kiemelkedik közülük a Szent-Györgyi Albert által vezetett szegedi munkaközösség. Szent-Györgyi megfigyelte, hogy a galamb repülőizmából készült pép közvetlenül az állat pusztulása után rövid ideig még élénk anyagcserét folytatott: oxigént fogyasztott és szén-dioxidot termelt. Sejtjeiben tehát biológiai oxidáció folyt. Néhány perc után azonban ez az aktivitás megszűnt. Vajon azért, mert az érzékeny enzimek tönkrementek? Szent-Györgyi inkább valamilyen anyag hiányában kereste az okot. Az izom gondos elemzése során fölfigyeltek egy 4 szénatomos szerves savra, a borostyánkősavra. Ez a vegyület kis mennyiségben minden sejtben előfordul. A kísérleti anyagban azonban – az oxidáció csökkenésével párhuzamosan – mennyisége rohamosan csökkent. Ha a mintához borostyánkősavat adtak, a szövet légzése ismét felélénkült. A hatás sokkal erőteljesebb volt, mint az várható lett volna, ha ezt a vegyületet a szervezet egyszerűen energiaforrásként használná, azaz „elégetné". Ebből arra lehetett következtetni, hogy a borostyánkősav *katalitikus* módon fokozza az oxidációt. Később hasonló aktivitást sikerült kimutatni egy sor más szerves savról is. Fény derült arra is, hogy ezek a savak meghatározott sorrendben átalakulhatnak egymásba (11. ábra).

← kolloidok stabilitása XII.9.3

ENERGIAFORRÁS? – KATALIZÁTOR? – REAKCIÓKÖR!



11. ábra. ***A biológiai oxidáció során szerves savak alakulnak át egymásba – Szent-Györgyi Albert felfedezései***
A fekete vonal egy enzimméreg (M, malonsav) hatásának a helye. A malonsav megakadályozza a B → F átalakulást. Ennek a gátlásnak döntő szerepe volt abban, hogy felismerték a folyamat körkörösségét (további magyarázat a szövegben).

A német Krebs bizonyította be, hogy e savak **reakciókört (ciklust) alkotnak**. Krebs tudta, hogy egy gátlószerrel (a malonsavval) megakadályozhatja a borostyánkősav-fumársav átalakulást. Megfigyelte, hogy a gátlószerrel kezelt sejthez bármelyik savat adagolja a fentiek közül, az eredmény mindenképpen a borostyánkősav felszaporodása lesz. Mivel ez igaz a reakciósorban a borostyánkősav „előtt" illetve „után" következőkre is, az eredményt kézenfekvő volt úgy magyarázni, hogy ezek a reakciók körré zárulnak. Ez a **citromsav (vagy citrát)-ciklus**, amit felfedezőik után **Szent-Györgyi-Krebs ciklusnak** is szoktak nevezni.

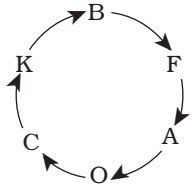
→ a reakciókörök jelentősége (kemoton) XXIX.

← a „dominó-módszer" a fehérjék szerkezetkutatásában XII.8.3.3

CITROMSAV-CIKLUS

B > F > A > O

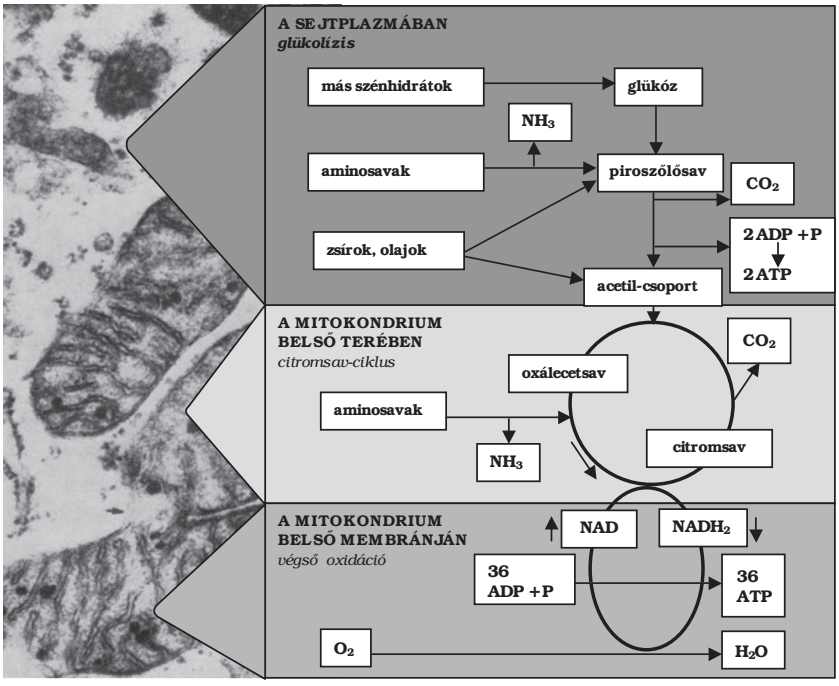
C > K > B



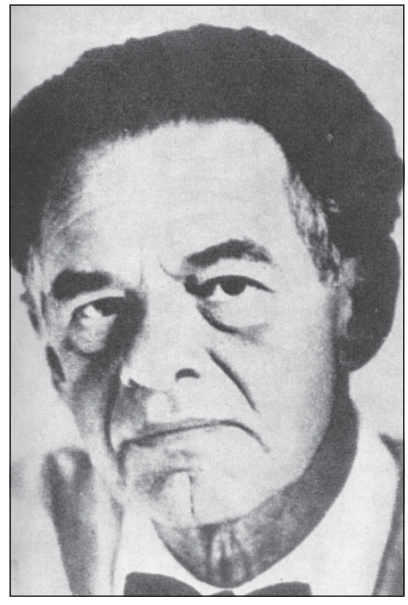
Hogyan kapcsolódik e ciklus a glükolízishez? Krebs kimutatta, hogy a piroszőlősav – egy molekula CO_2 leadása után – képes kapcsolódni az oxálecetsavhoz, ekkor keletkezik a citromsav. Később azonosították azt a hordozómolekulát (koenzimet) is, amelyik a piroszőlősavból a CO_2 lehasadása után maradt kétszénatomos acetil-csoportot az oxálecetsavhoz kapcsolja. A folyamat képe végül az ábrán látható módon állt össze.

RÉSZFOLYAMATOK KAPCSOLATA

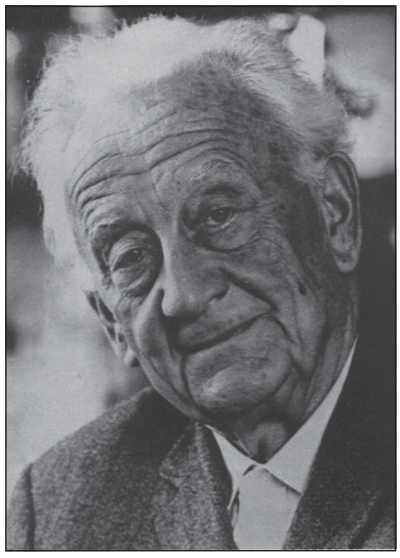
← koenzimek XII.8.3.6



12. ábra. ***A glükolízis, a citrát-ciklus és a végső oxidáció folyamatai vázlatosan***
A nem glükózból kiinduló lebontó folyamatoknak csak a kapcsolódási pontjait jeleztük, ez is mutatja azonban, hogy a szőlőcukron kívül más szénhidrátok, zsírok, aminosavak is bekapcsolódhatnak a reakcióláncba, így az a sejt szinte minden anyagának lebontására és átalakítására is lehetőséget ad.
Baloldalt: osztódó mitokondriumokról készített elektronmikroszkópos kép (N: 53.000X), melyeken jelöltük azt is, hogy a folyamatok hol zajlanak le bennük. Jól láthatóak a belső membrán begyűrődései.



13. ábra. ***Hans Krebs (1900–1981)*** német származású angol biokémikus, a citrát-ciklus egyik felfedezője. A sejtanyagcsere központi folyamatának felderítéséért Szent-Györgyi Alberttel együtt orvosi Nobel-díjat kapott.



14. ábra. ***Szent-Györgyi Albert (1893–1986)***
magyar biokémikus. A sejtanyagcserével és izomműködéssel kapcsolatos vizsgálataiért 1937-ben Nobel-díjat kapott. Fölfedezte a C és P vitamint. A II. világháború végén diplomáciai szolgálatot is vállalt: Isztambulban titkos tárgyalásokat folytatott az angol titkosszolgálattal a háborúból való kilépésről. 1947-től az USA-ban dolgozott tovább. Itt elsősorban a biológiai szabályozás, a rák biokémiai szintű vizsgálatával foglalkozott. Magyarul is olvasható írásaiban (Az élő állapot, Az őrült majom) nemcsak tudományos, hanem etikai-filozófiai kérdéseket is fölvet.

→ a máj szerepe XIII.6.2

→ kiválasztása XIII.8.3.2

3.2.3 A végső oxidáció

A glükolízis és a citrát-ciklus folyamatai végeredményben szén-dioxiddá alakítják a kiindulási glükózmolekula szénatomjait, anélkül, hogy a sejt eközben számottevő energiát nyert volna. A glükóz hidrogénjei azonban eközben egy szállítómolekulára, a NAD-ra (nikotinsav-adenin-dinukleotid) kerültek. Egyszerűsített jelöléssel:

$$NAD + \mathbf{2\ H} \longrightarrow NAD\mathbf{H_2}$$

Mi lesz e hidrogénatomok sorsa? Végső lépésben nyilván a légzéskor felvett oxigénnel fognak egyesülni:

$$2\ \mathbf{H2} + O_2 \longrightarrow 2\ \mathbf{H_2}O.$$

Az ide vezető reakciósor közben kell keletkeznie annak a sok ATP-molekulának, ami a biológiai oxidációnak az erjedéshez viszonyított nagy hatékonyságát magyarázza (Pasteur-hatás). Ezt a befejező folyamatsort nevezték el **végső (terminális) oxidációnak**. Német és magyar kutatók (Warburg, Wieland, Szent-Györgyi) derítették ki, hogy a végső oxidációban egy sor fehérje adja tovább a $NADH_2$-ről leválasztott hidrogéneket, s e molekuláris „futószalag" végállomása valóban az oxigén. A sejtmérgek jelentős része gátlószer: e „futószalag" működését állítják le. (KCN, CO, H_2S)

3.2.4 A lebontás más útjai

Baktériumok vagy gombák nemcsak glükóztartalmú táptalajon tenyészthetők, hanem másféle szénhidrátokon, sőt zsírokon vagy fehérjéken is. A természetes emberi táplálék is nagyrészt ezekből az anyagokból áll. A szervezet zsírokból, olajokból és fehérjékből is tud energiát nyerni. Ezek a molekulák változatos átalakulások után a glükolízis vagy a citrát-ciklus különböző pontjain csatlakozhatnak a folyamathoz. A **zsírok és olajok** például két szénatomos acetil-csoportokká hasadnak szét, melyek a koenzim A-molekulához kötődve már beléphetnek a citromsav-ciklusba.

A **fehérjék** előbb aminosavakra bomlanak, az aminosavak pedig – felépítésüktől függően – átalakulhatnak piroszőlősavvá, vagy a citromsav-ciklus valamelyik tagjává. Előbb azonban át kell adniuk aminocsoportjukat egy másik molekulának (transzaminálás) vagy végleg meg kell szabadulniuk tőle (dezaminálás). Az így keletkező **ammónia** veszélyes méreg, így a sejtnek mielőbb el kell távolítania.

3.3 A mitokondriumok szerepe

3.3.1 A mitokondrium

RÉSZLEGES AUTONÓMIA

→ sejtosztódás XXIII.

A sejt citoplazmájába ágyazva még a XIX. század végén fölfedeztek egy sajátos testecskét. Kezdetben úgy látták, mintha fonalak hálóznák be a belsejét, ezért a fonal görög neve lapján (mitosz) **mitokondriumnak** neveztek el. (Benda, 1897). A vizsgálatok során kiderült, hogy csaknem minden sejt alkotórésze ez a baktérium nagyságú (0,5–2 μm-es) sejtszervecske. Kivételek a prokarióták (baktériumok, kékmoszatok), illetve az anaerobok. A megfigyelések szerint a mitokondriumok részleges önállóságot élveznek e sejten belül: alakjukat változtatni képesek, önállóan mozognak és osztódásuk a sejt többi részétől többé-kevésbé függet-

len folyamat. A későbbi elektronmikroszkópos vizsgálatok megmutatták finomabb belső szerkezetüket is: mindegyik mitokondriumot kettős membrán burkol, melyek közül a belső jóval nagyobb felületű, mint a külső. Ennek következtében a mitokondrium belső terét sűrű begyűrődések tagolják: redőzetek vagy csövek jönnek létre (ezeket látták fonalaknak). Finomabb elektronmikroszkópos képeken jól látszik, hogy a belső membrán felépítése eltér a külsőétől: belső felületén szabályosan elhelyezkedő, gömb alakú részecskék ülnek, melyek rövid, pálcikaszerű résszel kapcsolódnak a membrán felületéhez.

A MITOKONDRIUMOK SZERKEZETE

→ föltételezett eredetük (endoszimbiózis) XXIX.

A mitokondriumok és a biológiai oxidáció kapcsolatára akkor figyeltek föl, amikor észrevették, hogy anaerob sejtekből hiányoznak és számuk a nagy energiaforgalmú sejtekben (például a májsejtekben) sokkal magasabb, mint a nyugalomban levőkben. Amikor sikerült ép mitokondriumokat ultracentrifuga segítségével elkülöníteni, kiderült, hogy ezek – megfelelő körülmények között – tovább működnek. Megmérték oxigénfogyasztásukat: azonos volt a működő ép sejtével. A biológiai oxidáció oxigénigényes lépései tehát biztosan a mitokondriumban zajlanak le. Később fény derült arra is, hogy a citromsav-ciklus és a végső oxidáció enzimjei is itt találhatóak.

← anaerob sejtek XIII.1.3

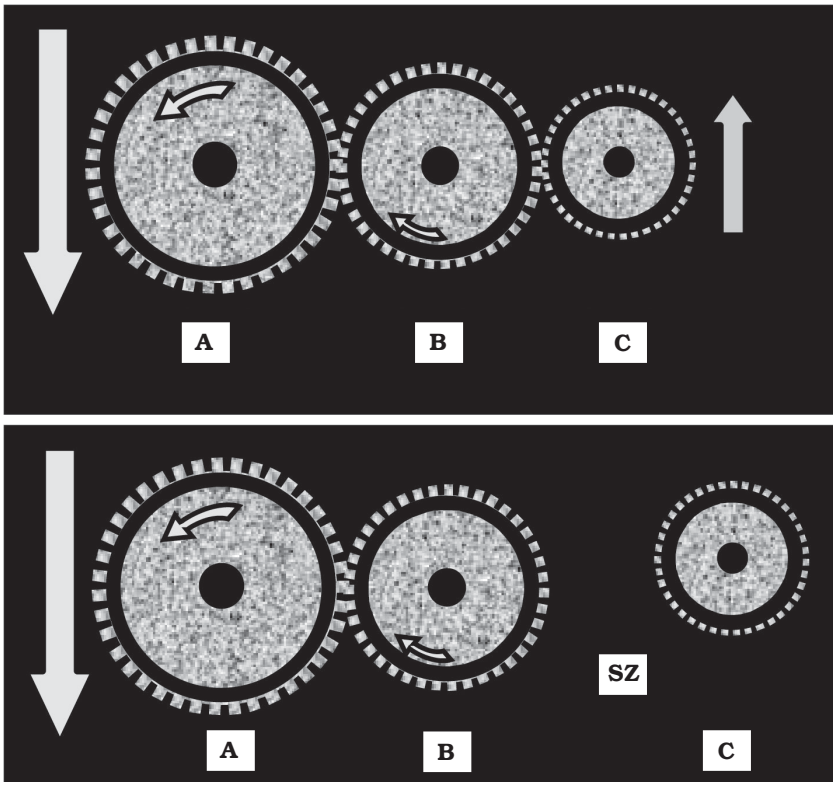
← ultracentrifuga XII.8.3

← XIII.3.2–3

3.3.2 A „sejt motorja”

A végső oxidáció során a mitokondriumban keletkezik a biológiai oxidációban képződő 38 ATP-molekula túlnyomó többsége (36 ATP), ezért jogosan tekinthetjük a sejt „motorjának”. E „motor” az oxidáció energianyereségét az energiaigényes ATP-szintézisre fordítja. A végső oxidációt és az ATP szintézisét a mitokondrium kapcsolja össze. Miután az oxidá-

VÉGSŐ OXIDÁCIÓ ÉS AZ ATP-SZINTÉZIS KAPCSOLATA



15. ábra. ***A végső oxidáció és az ATP-szintézis kapcsolata (modell)***

Fent: Ép sejtben az oxidáció folyamata fedezi az ATP-szintézis energiaigényét. A kapcsolatot a fogaskerekek jelképezik.

Lent: Szétkapcsolószerrel (SZ) mérgezett mitokondriumban az oxidáció zavartalan, ám ATP nem képződik.

A : glükózbontás (CO_2 termelés)

B: H^+-ionpumpa működése (H_2O termelés, végső oxidáció). Részletesebb leírását lásd a 3.3.3 (A működés modellje) c. fejezetben.

C: ATP szintézis

ció egyes lépéseit feltérképezték, azt kellett tisztázni, hogy *miképpen jön létre ez a kapcsolat.*

SZÉTKAPCSOLÓSZEREK HATÁSA

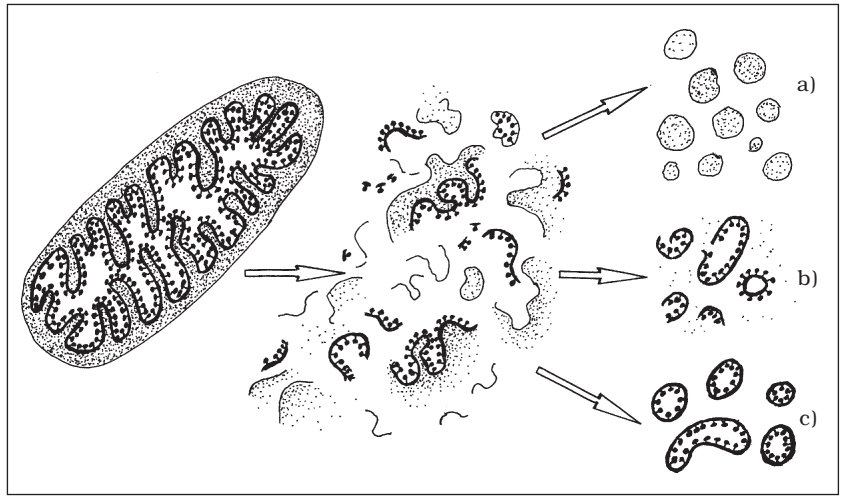
A kutatók igyekezete arra irányult, hogy a két folyamatot (a végső oxidációt és az ATP szintézisét) valami módon szétválasszák, s így külön-külön elemezhessék. Fel is fedeztek olyan vegyületeket, melyeket **„szétkapcsolószereknek"** neveztek el. Szétkapcsolószer (pl. 2,4 dinitrofenol) jelenlétében a sejt glükóz- és oxigénfogyasztása valamint szén-dioxidtermelése nem különbözik a normálistól, ATP azonban nem keletkezik. A biológiai oxidáció tehát végbemegy, csak éppen nem hasznosul. Hasonló ez az autó motorjának üresjáratához: fogyasztja az üzemanyagot, a jármű azonban nem halad. S ahogy a gépkocsiban a motor dugattyúja és a kerekeket forgató tengely között lennie kell kapcsolatnak, ami átadja a mozgást, a sejtben is föl kell tételezni egy kapcsolómechanizmust. (A kísérletben a szétkapcsolószer ezt tette tönkre). A következő kérdés az volt, hogy a mitokondrium *melyik részében* található ez a „szerkezet"?

← CO_2-termelés XIII.3.2.2

MŰKÖDŐKÉPES EGYSÉGEK

A kutatócsoportok megkísérelték *működőképes egységekre bontani* a mitokondriumot. Néhány esetben sikerült is mechanikai hatással (pl. ultrahanggal) úgy törni szét a membránrendszert, hogy annak darabjai ismét összeforrjanak, s apró cseppeket alkossanak. Kimutatták, hogy e cseppecskék továbbra is végzik a végső oxidációt, feltéve, hogy membránjuk ép és tartalmazza azokat a nyeles részecskéket, amelyeket a sértetlen mitokondrium belső hártyáján korábban már megfigyeltek. Sérült hártyájú cseppek ugyanúgy viselkedtek, mintha szétkapcsolószerrel kezelték volna őket: oxidáltak, de eközben nem szintetizáltak ATP-t.

← membránok „önszerveződésének" oka XII.5.2.2



16. ábra. ***Mitokondrium roncsolása és a törmelék-részecskék viselkedése***
A külső membránból származó cseppek (a) semmiféle oxidációs aktivitást nem mutatnak, a sérült belső membrán-eredetűek (b) oxidálnak, de nem szintetizálnak ATP-t, az ép belső membrán-eredetűek (c) mindkét aktivitást mutatják.

E kísérletből két következtetés vonható le. Egyrészt **az oxidáció** valószínűleg a **mitokondrium belső membránján** zajlik le és a benne részt vevő enzimek a nyeles gömb alakú testecskékben vannak. Másrészt az ATP-szintézis előfeltétele, hogy ez **a membrán ép legyen**, a kapcsoltság titka tehát valamiképpen összefügg a tér tagoltságával. A roncsolt mitokondriumok gondos elemzéséből az is kiviláglott, hogy a citromsav-ciklus nincs membránhoz kötve, enzimjei a belső membrán által határolt térben (mátrixban) működnek.

← a membrán épségének szerepe az ozmózisban IX.4.2.4

3.3.3 A működés modellje

A KEMIOZMOTIKUS MODELL

A sokféle tapasztalatot egy brit biokémikus Peter Mitchell ötvözte egységes, ma is elfogadott elméletté (1961). E szerint a mitokondrium belső membránjához kötött elektronszállító enzimek arra használják fel az oxidáció energiáját, hogy segítségével H^+-ionokat pumpáljanak ki a belső térből. Az ily módon létrejött **egyenlőtlen ioneloszlás** (pH-különbség) és elektromos potenciálkülönbség kiegyenlítődésre „törekszik". A membrán a protonokat csak egy speciális csatornán keresztül engedi át, ahol az ATP szintetizáló enzimjei is vannak. Az energiaigényes ATP-szintézis e kiegyenlítődéshez kapcsoltan megy végbe. A végső oxidáció elektronszállító rendszere tehát folyamatosan létrehozza és fenntartja a protonkoncentráció különbséget, amit az ATP-szintézis folyamatosan megszüntet. Sérült membrán vagy szétkapcsolószerek hatására a H^+-koncentráció különbség anélkül egyenlítődik ki, hogy azt a mitokondrium hasznosítani tudná. Elméletének alátámasztására Mitchell érzékeny műszerrel megmérte a mitokondrium belső tere és a két membrán közti tér pH-ját, és úgy találta, hogy az valóban különböző (az eltérés kb 1 pH-egység).

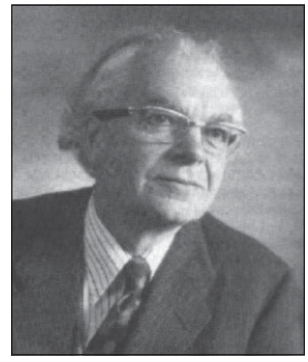
→ a H^+-pumpa mechanizmusa XIII.4.2.1

← ozmózis IX.4.2.4

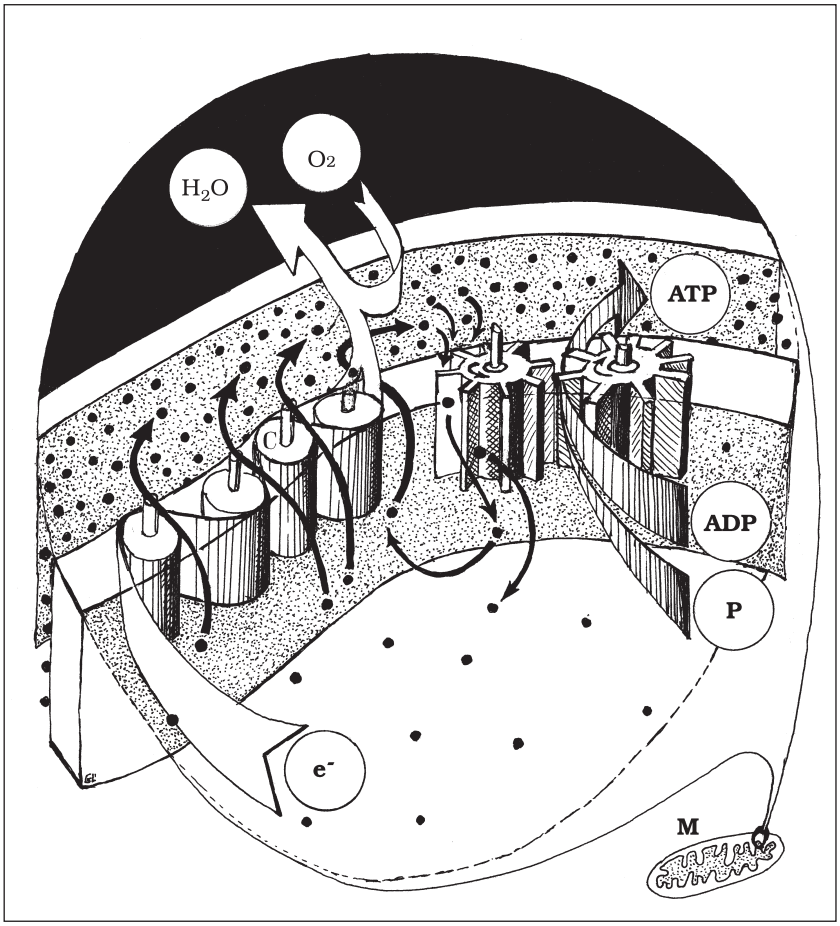
← pH: XI.4.3.4

Mitchell elmélete ráirányította a figyelmet az eukarióta sejtet tagoló számtalan membrán fontosságára. Úgy látszik, hogy sok reakciót csak **gazdagon tagolt belső tér** tesz lehetővé. Ma a mitokondriumokéhoz hasonló módon magyarázzák a fotoszintézis során a zöld színtest belső membránján zajló folyamatokat is.

← XIII.2.2



17. ábra. ***Peter Mitchell (1920–1992) angol biokémikus***
A mitokondrium működésének fölismeréséért 1978-ban Nobel díjat kapott.



18. ábra. ***Mitchell elmélete a mitokondrium működésére (kemiozmotikus hipotézis)***

A végső oxidáció citokróm-enzimrendszere (c) protonokat (kis fekete körök) pumpál ki a mitokondrium (M) belső teréből a két membrán közé. A kiegyenlítődés egy speciális csatornán megy végbe, kényszerkapcsolatban az ATP szintézisével (fogaskerekek). P = foszfát-csoport. e^- = elektron. Az elektronok és a protonok egyaránt a $NADH_2$-ből származnak (citromsav-ciklus). Az elektronok pályájuk végén – egy protont felvéve – vízzé egyesülnek az oxigénnel. Az ábrán a sötét háttér a mitokondriumot körülvevő sejtplazmát jelzi.

Summa

A disszimiláció sejtben lezajló folyamatai: a glükolízis és a biológiai oxidáció.

A glükolízis folyamata anaerob közegben egy szerves vegyülettel (pl. alkohollal) zárul. Ez az erjedés (fermentáció).

A biológiai oxidáció jóval több energiához juttatja a sejteket, mint az erjedés (Pasteur-effektus).

A glükolízis és az erjedés enzimjei a citoplazmában találhatók (Büchner), a biológiai oxidáció viszont csak ép membránokkal határolt mitokondriumban zajlik le (Mitchell).

Kérdések, problémák

1. A biológiai oxidáció sokkal hatékonyabb az erjedésnél. Mi az oka, hogy számos baktérium és gomba mégis kizárólag erjedéssel állít elő energiát?

2. Buchnerék élesztőkivonatos kísérleteinek közzététele után heves vita bontakozott ki köztük és Pasteur között. Pasteur azt állította, hogy az erjedés csak mikroorganizmusok jelenlétében megy végbe. Melyiküknek volt igaza?

3. A szétkapcsolószerek veszélyes mérgek. Miért? Mi a különbség a szétkapcsolószerek és az enzimmérgek (pl. HCN) hatása között?

4. Szent-Györgyi vizsgálatai alapján a borostyánkősav katalitikus aktivitású a biológiai oxidációban. Mit jelent ez? Igaza volt-e Szent-Györgyinek?

5. Hogyan változnának az idő függvényében a citromsav, a ketoglutársav, a borostyánkősav és a fumársav kiindulási koncentrációi, ha a Krebs által használt malonsavas gátlás után citromsavat adagolunk az izompéphez?

6. A szétkapcsolószerek mind olyan gyenge savak, amelyek apoláros csoportjuk révén könnyen átjutnak hidrofób közegen, például biológiai membránon is. Ha elfogadjuk a mitokondrium működésének kemiozmotikus hipotézisét, hogyan magyarázhatjuk a szétkapcsolószerek hatását?

7. Megváltozna-e egy mitokondrium vagy kloroplasztisz aktivitása, ha benne vagy körülötte mesterségesen megváltoztatnánk a pH-t? Tervezzünk kísérletet a Mitchell-hipotézis igazolására!

8. Miért nincs a prokariótákban és az anaerob élőlényekben mitokondrium?

4. A sejt, az élet egysége

4.1 A sejt anyagcsere-térképe

4.1.1 Reakcióhálózatok

A sejtek életműködéseikhez energiát igényelnek, amit szerves molekulák *lebontásából* nyernek. Testük felépítéséhez viszont anyagforrásra van szükségük: ekkor szerves molekulákat *építenek fel*. Ehhez azonban megfelelő mennyiségű és minőségű kiindulási anyag kell, szükséges tehát a felvett táplálék *átalakítása* is.

ANYAGCSERE-TÉRKÉP

A sejtben ezért *egyszerre* mennek végbe **felépítő, lebontó és átalakító** folyamatok, melyek kapcsolódnak egymáshoz, és egységes hálózatot alkotnak. Mai tudásunkat foglalja össze „a sejt" **anyagcsere-térképe**. (Valójában nagyon sokféle sejt közös jellemzőit mutatja.) Ebből kiderül, hogy a sejt anyagcsere-folyamatai, hanem többnyire elágazóak és körkörösek. A citromsav-ciklusba például nemcsak be-, hanem onnan ki is léphetnek anyagok. Ez lehetőséget ad arra, hogy a sejt a fölöslegben levő anyagokból olyanokat állítson elő, amelyekből éppen fogytán van a készlet. Természetesen az oxidáció folyamatából kilépő molekulák nem szolgáltatnak energiát a sejtnek, hanem többnyire felépítő (szintetikus) reakciók kiinduló anyagaivá válnak.

→ Kemoton és hiperciklus XXIX.

→ alkalmazkodás és belső állandóság (homeosztázis) XVIII.1.3.3

KÖZÖS JELLEMZŐK

Bár az élőlények anyagcsere-térképe bonyolult és fajonként is eltérő lehet, néhány jellemzője minden sejtben közös. A folyamatok minden lépését egy-egy **enzim** katalizálja, egyes enzimekhez pedig kisebb szállítómolekulák, **koenzimek** segítségével kapcsolódnak az átalakítandó anyagok. Ilyen koenzim például a hidrogén- és elektronszállító NAD vagy NADP és az acetil-csoportot megkötő „koenzim-A". Ugyancsak minden sejtre jellemző, hogy energiaigényes folyamataihoz **ATP**-t használ fel, energianyerő folyamataiban pedig ATP-t termel.

SZÁLLÍTÓ KOENZIMEK

← koenzimek XII.8.3.6
→ vitaminok XIII.4.1.2

EGYSÉGES RENDSZER: KÖZÖS KAPCSOLÓDÁSI PONTOK

Ezek a reakciók és anyagok kötik össze, teszik egységes rendszerré az élő sejtet. Olyan szerepet játszanak a sejt életében, mint a pénz egy ország gazdaságában. Látszólag egyszerűbb lenne kinek-kinek a maga termékét elcserélni arra, amire éppen szüksége van. Ez a módszer azonban nehézkes és bizonytalan. A pénz teszi lehetővé a hatékony, gyors és szabályozható árucserét éppen azért, mert minden árura átváltható, egységes fizetőeszköz.

„A biológia napjainkban molekuláris tudomány. Reakcióiban a főszerepet a fehérjemolekulák játsszák, s ezen reakciók vonzereje csodálatosan kifinomult szövevényességükben rejlik. Nehéz elhinni, hogy ezt a bonyolult, de precíz mechanizmust a lomha makromolekulák sokkal kisebb, mozgékonyabb és reakcióképesebb egységek nélkül létre tudnák hozni, s ezek az egységek aligha lehetnek mások, mint különösen reakcióképes elektronok. Elgondolkodhatunk azon, hogy a fehérjemolekula mennyire a színésze, és milyen mértékben színpada az élet nevezetű drámának, és vajon az élet maga milyen mértékben molekuláris, elektronműködési jelenség."

Szent-Györgyi Albert: Elektronikus biológia és a rák (1977)

→ elektronpályák XXI.

→ a fehérjék térszerkezete XII.8.3.5

← az érme két oldala (Spinoza) VII.3.3

4.1.2 Az anyagcsere zsákutcái (vitaminok és esszenciális anyagok)

→ hogyan állapítható meg a szükséges anyagok aránya? (Liebig) XXVI.

→ jódhiány következménye XVIII.2.4.3

A XIX–XX. században a nagyüzemi állattartás új igényeket támasztott. Úgy látszott, célszerű lenne az állatokat csak vízzel és olyan apró tablettákkal etetni, amelyek minden anyagból az éppen szükséges mennyiséget tartalmazzák. Az ilyen irányú próbálkozások azonban rendre kudarcot vallottak. Noha a kísérleti állatok pontosan a kiszámított mennyiségű vegytiszta szénhidrátot, fehérjét, ásványi sót és vizet kapták, mégis megbetegedtek, és – ha nem változtattak étrendjükön – egy idő után el is pusztultak. A normális táplálékban tehát vannak olyan anyagok, amelyek mennyisége ugyan kicsiny, nélkülük azonban nem lehetséges élet. Kezdetben ritka, még föl nem fedezett aminosavakra gyanakodtak. Ezért nevezték el

VITAMINOK

vitaminoknak, („életfontosságú aminoknak") ezeket az akkor még csak feltételezett vegyületeket (Casimir Funk lengyel-francia kutató, 1912). Később derült ki, hogy ez a kifejezés nem szerencsés, hiszen sok vitamin egyáltalán nem tartalmaz amino-csoportot, az elnevezés azonban máig megmaradt.

← aminok XII.8.1

HIÁNYBETEGSÉGEK, SKORBUT

A vitaminok felfedezése megmagyarázott egy sor régről ismert **hiánybetegséget**. A **skorbut** a földrajzi felfedezések korában terjedt el, a vitorláshajók legénységének rettegett betegsége volt. Elgyengülés, végtagfájdalom, fogínyvérzés jellemezte, a fogak kihullottak, a szervezet egyre kevésbé tudott ellenállni a fertőzéseknek, végül beállt a halál. Néha előfordult, hogy a haldokló skorbutos betegeket kitették egy lakatlan szigetre, hogy ne „fertőzzék" tovább a többieket. Visszafelé jövet azonban nagy meglepetéssel tapasztalták, hogy az illetők élnek és meggyógyultak. E szigeteken főként gyümölcsöket és gumókat ettek, a hajókon kizárólag szárított húst és kétszersültet. Ez felhívta a figyelmet arra, hogy talán valami hiányzik a hajósok táplálékából, s nem fertőzés, hanem ez a hiány okozza a skorbutot.

→ a fertőzések oka XVIII.4.1

1660-ban 4 vitorlás indult el Angliából Indiába, összesen 480 hajóssal. Az egyik hajó kapitánya a szokásos táplálék mellett minden embernek naponta 3 kávéskanál limonádét is adott. Négy hónap alatt érték el a Jóreménység-fokot, ahol megpihentek. Azon a hajón, melyen limonádét is fogyasztottak, senki nem volt beteg, a másik hajón viszont 105 ember meghalt és az élők mind betegek voltak.

C-VITAMIN

A skorbut ellenszerét, a **C-vitamint** Szent-Györgyi Albert azonosította az 1930-as években. Kiderült, hogy ez egy egyszerű szerkezetű, vízben oldódó molekula, az aszkorbinsav. Naponta mindössze 50-70 milligramm kell belőle, ennyi azonban feltétlenül, mert vízben oldódó lévén a felesleg a vizelettel kiürül a szervezetből.

ANGOLKÓR

Az **angolkór (rachitisz)** – mint neve is jelzi – főként a XVIII-XIX. század Angliájában terjedt el a szegények körében. Jellegzetes tünete a csontok lágyulása, a végtagok meggörbülése. A meggörbült csontokat elemezve kiderült, hogy azok Ca-tartalma csökkent. Tengeri halak, máj, élesztő, gomba vagy csukamájolaj fogyasztása megszüntette a tüneteket. Sikerült is kivonni ezekből a táplálékokból egy anyagot, amelyet **D-vitaminnak** neveztek el. (Később kiderült, hogy egész vitamincsoportról van szó). Érdekes megfigyelés volt az, hogy a mediterrán vagy trópusi országokban élőknek egyáltalán nincs szükségük erre az anyagra. Kiderült, hogy a bőrben napfény hatására is keletkezik D-vitamin. Ha elegendő sugárzás éri a szervezetet, az önmagában is elég lehet a vitaminigény fedezésére. A D-vitaminok zsírban (apoláros oldószerekben) oldódnak jól, így nem is ürülnek ki olyan gyorsan a szervezetből, mint a vízben oldható vitaminok. Ezért kisebb mennyiségben szükségesek, sőt esetleges túladagolásuk betegséget okozhat.

D-VITAMINOK

→ a kalcium-anyagcsere szabályozása XVIII.2.3.1

A XX. század biokémikusai sok újabb vitamin-hatású anyagot találtak (lásd a táblázatot!). A változatos étrendben általában a szükséges mennyiségben van jelen az összes vitamin, így *tabletták formájában való fogyasztásuk fölösleges*, sőt kárt okozhat.

A XX. század biokémiai kutatásai derítették ki, hogy a vitaminok *enzimek alkotórészei (koenzimek)*, jelentőségük tehát katalitikus aktivitásukban van. Találtak azonban olyan anyagokat, főként aminosavakat is, amelyek – a többi aminosavhoz hasonlóan – építőkövei a szervezetnek. Mivel azonban ezeket – szemben az összes többivel – nem képes előállítani a szervezet, **esszenciális (életfontosságú) anyagoknak** nevezték el. Újabban találtak esszenciális telítetlen zsírsavakat is. Az esszenciális anyagokat tehát kívülről, a táplálékból kell fölvennünk. Az olyan fehérjéket, amelyek az összes, számunkra esszenciális aminosavat tartalmazzák, **teljes értékű fehérjének** szokták nevezni. Természetesen többféle nem teljes értékű fehérje együttes fogyasztása is kielégítheti a szervezet igényeit: ez a változatos táplálkozás egyik haszna.

← koenzimek XIII.4.1.1

ESSZENCIÁLIS AMINOSAVAK, ZSÍRSAVAK

TELJES ÉRTÉKŰ FEHÉRJÉK

Ha minden sejt képes lenne arra, hogy bármely szerves kiindulási anyagból bármilyen más, számára szükséges molekulát előállítson, akkor a táplálék minősége, összetétele közömbös lenne az élőlények számára. Ez azonban nincs így. A vitaminok és más esszenciális anyagok léte arra utal, hogy bizonyos molekulákat képtelenek vagyunk másokból előállítani, mert hiányzik a szervezetünkből az ehhez szükséges enzim. „A sejt" anyagcsere-térképe tehát valójában egy nem létező, ideális sejtre vonatkozik, s az anyagcsere-lehetőségek teljes láncolatát adja meg. A valóságos sejtek ennek csak bizonyos részleteire képesek, noha a termékek teljességét igénylik. Anyagcsere-útjaik „zsákutcái" ellenére az élőlények életképesek maradhatnak, ha más élőlények segítségével kívülről pótolják a hiányt. Biokémiai szempontból ez az egyik magyarázata **az élőlények egymásrautaltságának és az élővilág sokféleségének.**

← az enzimek fajlagossága XII.8.3.6

← idea (Platoú) III.8.1

AZ ÉLŐLÉNYEK EGYMÁSRA-UTALTSÁGA

→ diverzitás XXVI.

Néhány vitamin (v= vízben, z= zsírban oldódó vitaminok)

anyag	mihez szükséges	hiánytünetek	napi szükséglet (mg)
A (retinol) z	látóbíbor képződés a szemben	szürkületi vakság	2
B_1 (tiamin) v	lebontó anyagcsere	beriberi	1
B_6 (piridoxin) v	aminosav-anyagcsere	máj elzsírosodása	2
B_{12} (kobalamin) v	vörösvértest-képzés	vészes vérszegénység	0,001
C (aszkorbinsav) v	redox folyamatok	skorbut	75
D (kalciferol) z	csontképzés	angolkór (rachitisz)	0,025
K (fillokinon) z	protrombin szintézise	lassú véralvadás	0,001

Néhány táplálék vitamintartalma 0,1 mg/100 g táplálék

táplálék	A	B_1	B_6	K	C
baromfihús	+	?	8	2	–
máj	2000	5,2	25	4	300
tojás	2	1,4	20	2	–
anyatej	10	0,2	1,5	+	70
burgonya	0,6	1,8	6	0,8	350
sárgarépa	100	0,7	2	0,8	100
búzaliszt	3	10	7	0,2	15

4.1.3 Az anyagcsereutak szabályozása

A sejt anyagcsere-térképe megmutatja a *lehetséges* átalakulásokat, de nem érthető meg belőle, hogy az anyagokból *ténylegesen mikor, mennyi és mivé alakul át*. Pedig a sejt környezete folyamatosan változik: például bizonyos tápanyagok elfogynak, mások megjelennek. Az ilyen változásokra minden sejt reagál, azaz *alkalmazkodik a környezetéhez*. Ilyenkor

→ szabályozás XVIII.1

SZABÁLYOZOTT ÁTALAKULÁSOK

→ homeosztázis XVIII.1.3

anyagcseréjét változtatja meg úgy, hogy az összhangban legyen a lehetőségeivel.

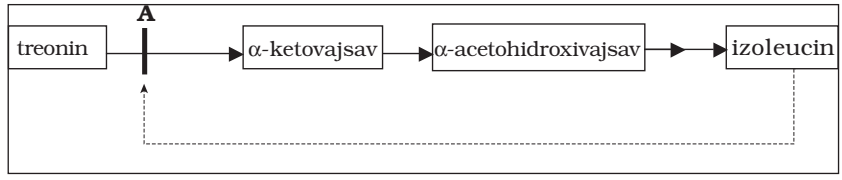
→ a szabályozás mechanizmusa (operon) XXIII.

Mivel minden reakciót egy-egy specifikus (fajlagos) enzim katalizál, az alkalmazkodás legegyszerűbb módja, ha a sejt a szükséges **enzimek koncentrációját növeli**, az éppen szükségtelenekét pedig **csökkenti**. Valóban találtak is példát erre: a kólibaktérium szőlőcukor- táptalajon szőlőcukrot bontó enzimeket termel, tejcukor tartalmú táptalajon viszont áttér a tejcukor-bontó enzimek termelésére és leáll a fölöslegessé vált glükózbontó enzimek előállításával.

VÉGTERMÉK-GÁTLÁS

A szabályozás másik egyszerű módja a **végtermék-gátlás**. Ekkor a folyamat során keletkező anyag (a végtermék) úgy kötődik a folyamat(sor) valamelyik enzimjéhez, hogy (időlegesen) gátolja annak működését. Így például a baktériumok (miként az ember is) képesek a treonin nevű aminosavból több lépésen át egy másik aminosavat, izoleucint készíteni. Kimutatták, hogy a reakciósor első enzimjének aktivitását csökkenti az izoleucin növekvő koncentrációja. Ha tehát kevés az izoleucin, fölgyorsul az előállítása, ha sok van belőle, lelassul vagy leáll. Ez a szabályozás nemcsak rendkívül érzékeny, hanem „gazdaságos" is, hiszen ha nem a reakciósor első, hanem például utolsó enzimjét gátolná, akkor izoleucin jelenlétében felszaporodnának a szükségtelen közbeeső termékek.

→ negatív visszacsatolás XVIII.1.3



19. ábra. ***Végtermék-gátlás mechanizmusa***
A treonin-izoleucin átalakulás sebességét az izoleucin koncentrációja befolyásolja, úgy, hogy gátolja a folyamatsor első lépését, az „A" enzim működését (vastag vonal).

Summa (4.1)

A sejtben egyszerre és egymáshoz kapcsolódva zajlanak le a lebontó, felépítő és átalakító folyamatok. Ezek összefüggéseit adja meg a sejt anyagcsere-térképe.

Sejtjeink nem minden anyagot képesek belső átalakítás révén előállítani. Ezeket kívülről, a táplálékból kell fölvennünk. Legfontosabbak az esszenciális aminosavak, a zsírsavak és a vitaminok. Ha a táplálékból hiányoznak, hiánybetegségek jönnek létre (pl. skorbut a C-vitamin, angolkór a D-vitamin hiányában).

A sejtek számára esszenciális anyagokat, vitaminokat más élőlényekből kell fölvennünk (biokémiai egymásrautaltság).

Kérdések, problémák (4.1)

1. A teve zsírt tárol a púpjában, hogy abból vizet nyerhessen a sivatagi utak során. Nem áll-e ellentmondásban ez a feltevés azzal, hogy a zsírok hidrolíziséhez víz szükséges? Hány molekula vizet nyerhet valójában egy molekula sztearinsavas glicerinészter elbontásával? Élhet-e ezzel a módszerrel az ember is?

2. Ugyanazok-e az esszenciális aminosavak minden élőlény számára? Különböznek-e egymástól ebből a szempontból az állatok és a növények? Elképzelhető-e, hogy két ember számára nem ugyanazok az esszenciális anyagok?

3. Előfordulhat-e, hogy valamely anyagnak (pl. aminosavnak) nem az előállítása, hanem a lebontása válik lehetetlenné? Milyen következményekkel járna ez?

4. Miért Angliában, s miért csak a szegények körében terjedt el az angolkór? Ez a betegség érdekes módon ismeretlen volt az eszkimók körében. Mi lehet ennek az oka?

5. A vitorláshajók ideális kísérleti terepei voltak a táplálkozás-élettani vizsgálatoknak. Miért? Miért nem figyeltek fel a hiánybetegségekre már a földrajzi felfedezések kora előtt?

6. A vitaminokból nagyon kevés is elegendő, az esszenciális aminosavakból jóval több szükséges. Mi a különbség oka?

7. A mérések azt mutatták, hogy a zsírokból és a szénhidrátokból nyerhető energia élő szervezetben és élettelen közegben (kaloriméterben) megegyezik. A fehérjék lebontásából azonban a kaloriméterben több hő keletkezik, mint amit a szervezetben elégetett fehérje termel. Mi lehet a különbség oka?

8. A zsírok és a szénhidrátok biológiai oxidációja összevethető oly módon is, hogy megállapítjuk az elégetésükhöz szükséges oxigén és az oxidáció során keletkező széndioxid mólarányát. Ezt az $n(CO_2) / n\text{-}(O_2)$ számot légzési hányadosnak (respirációs quotiens, R.Q.) is nevezik. Számítsuk ki az R.Q.-t
   a) glükóz
   b) sztearinsav esetére!

9. Egy téli álmot alvó mormota légzési hányadosa 0,71-nek bizonyult. Milyen következtetés vonható le ebből az eredményből?

10. A (nem kezelt) cukorbetegek légzési hányadosa (R.Q., lásd az előző feladatban!) igen alacsony (kb. 0,7), míg az agyszövet légzési hányadosa kb. 1,0. Mire következtethetünk ebből?

4.2 Szerkezet és működés

4.2.1 A sejt határán (membránfolyamatok)

Elsőként Robert Hooke pillantotta meg mikroszkópjában a parafa **sejtfal**rendszerét. Később igazolták, hogy ez a vastag és merev, cellulóztartalmú burok minden **növényi** sejtre jellemző. Ehhez hasonló, de más felépítésű sejtfalat találtak a **gombákban és a baktériumokban** is. Az állati szöveteket vizsgálva azonban a legjobb fénymikroszkópokban sem pillantható meg semmilyen merev határoló felület. Ezért a XIX. század végéig sokan úgy vélték, hogy az állati sejtek egyszerűen fehérje- vagy „plazma"gömbök, amiket nem határol semmi.

← X.1.2.2

SEJTFAL

← szerkezete XII.7.2.2

← kitin XII.7.2.2

→ koacervátumok XXIX.

Pfeffer német botanikus 1890-ben az ozmózis jelenségét használta fel annak bizonyítására, hogy minden élő sejtet vékony hártya vesz körül. Amikor élő sejteket kis ozmózisnyomású (híg) folyadékba helyezett, azok megduzzadtak, amikor viszont tömény oldatba, összezsugorodtak (plazmolízis). Ilyen viselkedést csak féligáteresztő hártyával borított folyadékcsepp mutathat. Pfeffer **sejthártyának vagy sejtmembránnak** nevezte el az élő sejtek – akkor még láthatatlan – felszínét, és megállapította, hogy ez minden sejt része. Világosan elkülönítette ettől a sejtfalat, ami kívülről borítja a sejthártyát és az állatokból hiányzik.

← IX. 4.2.4

SEJTMEMBRÁN

Az elektronmikroszkóp felfedezése után láthatóvá vált a sejthártya, sőt annak finomszerkezete is. A kutatók két sötétebb réteg között egy világosabb sávot fedeztek fel, a három réteg vastagsága közel azonos volt. A kettős falú micellák és a fehérjemolekulák szerkezetének ismeretében a „folyékony mozaik"-modellel magyarázták a tapasztalatokat. E szerint a világosabb sáv a felületaktív molekulákból álló kettős lipidréteg, amibe két oldalról a sötétebb (elektronokat jobban elnyelő) fehérjék merülnek.

A MEMBRÁN FINOMSZERKEZETE

← micellák XII.5.1.2

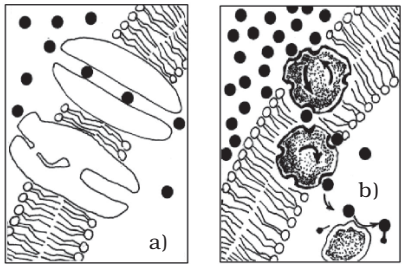
„FOLYÉKONY MOZAIK"

Noha Pfeffer ozmotikus sajátosságai miatt ismerte fel a sejthártyát, tudta, hogy annak működése sokkal bonyolultabb, mint egy féligáteresztő hártyáé. A legfontosabb különbségek: az élő sejt anyagfelvétele szabályozható, az anyagfelvétel sokszor jóval gyorsabb, mintha egyszerű diffúzióval történne, és a nagyobb koncentráció irányába is végbemehet. Ezek a különb-

← XII.5.2.2

PASSZÍV ÉS AKTÍV TRANSZPORT

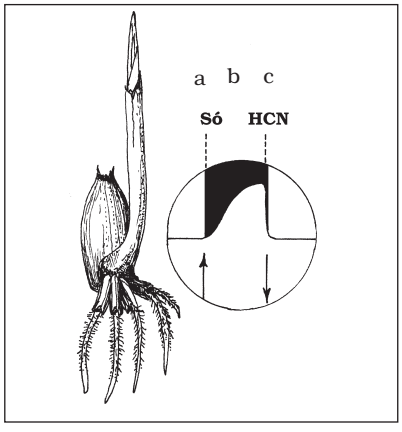
20. ábra. ***A sejtmembrán elektronmikroszkópos szerkezete és annak magyarázata***



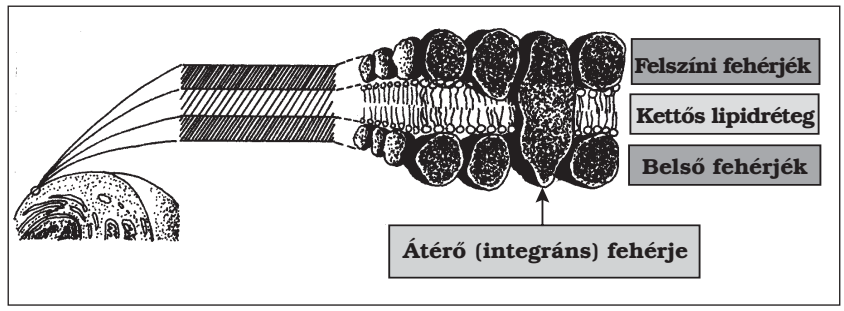
21. ábra. ***A passzív szállítás kétféle módja***

a) **A „vizes csatornák”** a membránt átérő fehérjék belsejében nyitható poláros alagutak, melyek lehetővé teszik a poláros anyagok átjutását az apoláros rétegen

b) **A szállítómolekulák** az egyik oldalon megkötik, továbbítják, majd a másik oldalon elengedik a szállított anyagot. Noha a folyamat elvben oda-vissza végbemegy, a sejt könnyen elérheti, hogy egyirányúvá váljon, ha a bejutó anyagot (pl. glükózt) átalakítja. Az átalakított glükózt már nem köti a szállítómolekula, így a sejt a környezetében található összes glükózt fölveheti.



22. ábra. ***Kísérlet, mely azt bizonyította, hogy a növények sófelszívása energiát igényel***
A kutatók egy búzacsíranövény légzését mérték. Gyökerét először desztillált vízbe merítették (a) = alaplégzés. Híg sóoldatba merítve a növény elkezdte a só felszívását, ezzel egyidejűleg fokozódott a légzése (b, úgynevezett „sólégzés”). Ha a gyökereket cianiddal mérgezték, a sófelvétel azonnal megszűnt és a légzés visszaállt az alapszintre (c).



ségek a sejt életműködéseivel függenek össze. Az életműködések a sejt anyagcsere-folyamatai, az anyagcserét pedig befolyásolja, hogy milyen anyagok hogyan juthatnak be és ki a sejthártyán át.

Az anyagok egy része **szállítási (transzport) folyamatok**kal a sejtmembrán síkján hatol át. A **passzív anyagszállítás** (passzív transzport) az anyagokat a nagyobb koncentrációjú hely felől a kisebb koncentrációjú hely felé mozgatja és legfeljebb a kiegyenlítődéséig tart. Mivel ezen folyamatok a diffúzió hajtóerejét használják ki, külön energiabefektetés nélkül is végbemennek. Az **aktív anyagszállítás** (transzport) az anyagokat a kisebb koncentrációjú hely felől a nagyobb koncentrációjú felé mozgatja („pumpa” mechanizmus), ezért energiaigényes.

A sejtbe **passzívan** bejutó anyagok közül az **apoláros** molekuláknak a membrán nem jelent akadályt, mert a lipidrétegben könnyen oldódnak. A **víz és más poláros molekulák** vagy ionok alkotják a másik csoportot. Ezek mesterséges membránon (kettős micellák falán át) alig képesek átjutni, hiszen az apoláros tér gátat jelent a diffúziónak. Az élő sejtek hártyáin azonban a mérések szerint ennél sokkal gyorsabban áramolhatnak át.

Ez azt bizonyítja, hogy a membránon „vizes csatornák”: poláros anyagok számára átjárható rések vannak. A folyékonymozaik-modell szerint ezek a csatornák a membránt átérő fehérjemolekulák belsejében alagútszerűen vezetnek, s a sejt szükség szerint képes nyitni vagy zárni azokat. Másik lehetőség, ha a sejt egy vagy több szállító fehérjére bízza az átjuttatást, melyek megragadják, továbbadják majd a membrán túloldalán elengedik a szállított molekulát.

Azt, hogy a sejtek **aktív anyagfelvételre** is képesek, Pfeffer bizonyította először, amikor kimutatta, hogy a növények olyan ionokat is képesek felszívni, amelyek koncentrációja a talajban jóval kisebb, mint a sejtekben. Hamarosan sok állati sejtben is kimutatták ugyanezt, ma pedig úgy látjuk, hogy szinte minden élő sejt állandóan működtet valamilyen **energiaigényes „pumpát”,** amivel nem-egyensúlyi állapotot tart fenn a külső és a belső tér között.

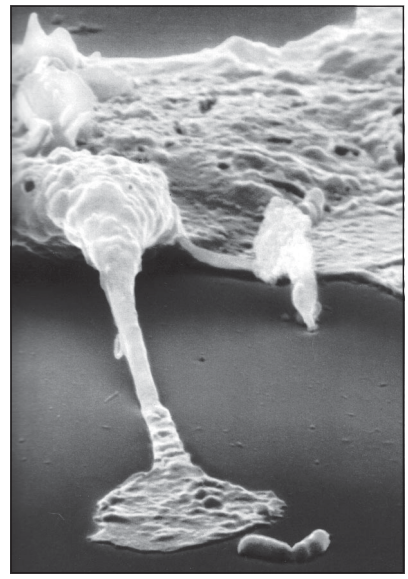
A baktériumok például folyamatosan H^+-ionokat pumpálnak ki a sejtből a környezetbe. (Ehhez hasonlít a mitokondriumok belső membránjának működése is.) Az állati sejtek Na/K pumpát működtetnek: a Na^+-ionokat kilökik a sejtből, eközben K^+-ionokat szívnak be. E folyamatok energiaigényességét bizonyítja, hogy az ATP-szintézist bénító mérgek (HCN) hatására megállnak, a sejt és környezete közti ionkoncentráció-különbség ilyenkor lecsökken.

Az aktív ionpumpák szerepe könnyen belátható például a növények sófelszívásában. A sókra akkor is szüksége van a növénynek, ha azok koncentrációja a talajban kisebb, mint a növény testében. Felszívásuk ilyenkor csak energia befektetésével lehetséges. Sokszor ennél jóval bonyolultabb folyamatok energiaigényét fedezi az egyenlőtlen ioneloszlás.

4.2.2 Membránok a sejten belül

Elsőként Mecsnyikov orosz biológus figyelte meg, hogy egyes sejtek képesek bekebelezni a szervezetbe került kórokozó baktériumokat. Később az egysejtű amőbák táplálkozását vizsgálva figyelték meg alaposabban a folyamat lépéseit.

Az **endocitózis** („bekebelezés") első lépése a sejtmembrán egy szakaszának bemélyedése, majd egy apró hólyag, („űröcske", vakuolum) fűződik le a sejt belsejébe. Ez tartalmazza a bekebelezett anyagot, ami lehet egy baktérium, szilárd szemcse vagy folyadékcsepp is. A vakuolum membránja eszerint a sejtmembránból származik, annak egy leszakadt darabja. A sejt más részén emésztőnedvekkel telt és szintén membránnal határolt szemcsék (lizoszómák) jelennek meg, melyek egybeolvadnak az űröcskével s megemésztik annak tartalmát. A fölösleges maradékot eltávolítja a sejt. Ez utóbbi folyamat, az **exocitózis** éppen fordítottja az endocitózisnak: az űröcske egybeolvad a sejthártyával, így növeli annak felszínét.



23. ábra.
Emberi falósejt (fagocita) az endocitózis előtti pillanatban. (Lennart Nilsson pásztázó elektronmikroszkópos felvétele.)
A kép alsó sarkában látható baktérium-sejt felé hosszú állábat növesztett a sejt, hogy bekebelezhesse zsákmányát.



24. ábra. ***Sejt belseje pásztázó elektronmikroszkópos képen***
(Lennart Nilsson felvétele)
Jól látszanak a mitokondriumok gazdagon tagolt belső membránjaikkal, és a sejten belül sűrű hálózatot alkotó üregrendszer, felszínén az apró gömb alakú riboszómákkal.

Az endo- és exocitózis nemcsak a sejtek táplálkozásában és a szervezet védekezésében játszik szerepet, hanem a sejthártya megújulásában is. A sejt úgy tudja módosítani a sejthártya összetételét, hogy annak darabjait endocitózissal „beszippantja", elvégzi a szükséges változtatásokat, majd az új membrándarabkákat exocitózissal a felszínre juttatja.

A mikroszkópos – főként elektronmikroszkópos – vizsgálatok a sejteken belül sokféle üreget és sejtalkotót tártak fel. Ezeket többnyire szintén membrán határolja, melynek felépítése a sejthártyáéhoz hasonló. A sejtalkotók közül kettős membrán határolja a színtesteket, a mitokondriumot és a sejtmagot.

ÜREGRENDSZER A SEJTEN BELÜL

Az állatok, növények és gombák sejtjeit bonyolult, elágazó **üregrendszer** hálózza be, mely jól elkülöníthető egységekből áll, részei mégis összekapcsolódnak. (Mikroszkópi készítményeken e térbeli alakzatnak csak a metszés síkjába eső, látszólag különálló részeit pillanthatjuk meg.) Camillo Golgi olasz anatómus 1898-ban fedezte fel a később róla elnevezett **Golgi-hálózatot**, ami különösen mirigysejtekben fejlett, de a sejten belüli emésztésben szerepet játszó emésztőnedvvel telt üregek (lizoszómák) is ebből válnak ki és közvetlenül a sejthártya létrehozásában is részt vesz. Elektronmikroszkóp segítségével mutatták ki az **endoplazmatikus retikulum** (= plazmán belüli „rácsozat", valójában: membránnal határolt üregrendszer) jelenlétét. Két típusa közül az egyik sima felszínű, a másikon szemcséket figyeltek meg (ezért „durva felszínűnek" nevezték el). Később ultracentrifuga segítségével leválasztották és elkülö-

GOLGI-HÁLÓZAT

ENDOPLAZMATIKUS RETIKULUM

RIBOSZÓMÁK

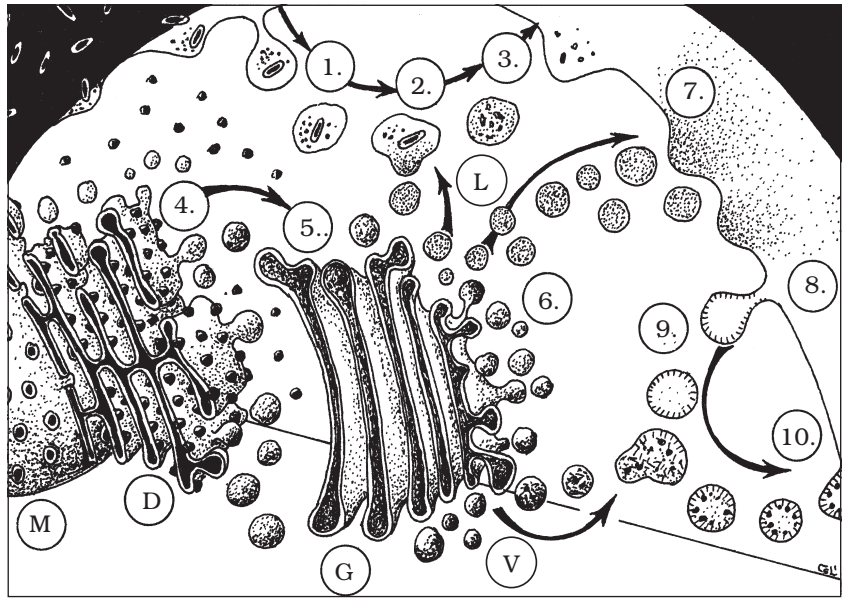
nítették e szemcséket, és **riboszómáknak** nevezték el őket. Az 1950-es években mutatták ki, hogy a sejtek fehérjeszintézise arányos a riboszómák számával. A durva felszínű endoplazmatikus retikulum – a hozzá nagy számban kötődő riboszómákkal – tehát a fehérjeszintézis legfontosabb színtere. Magának az üregrendszernek a kész fehérjék szállításában van fontos szerepe. Mirigysejtekben a Golgi-hálózatba kerülnek, mely összegyűjti, membránba csomagolja majd a sejten kívülre juttatja a terméket. A riboszómák egy része nem kötődik az üregrendszer membránjához (baktériumokban csak ilyen „szabad" riboszómák vannak): ezek olyan fehérjéket állítanak elő, melyeket nem kell szállítani, mert a sejten belül maradnak. A sima felszínű üregrendszernek a poliszaharidok, lipidek szintézisében van szerepe.

→ a fehérjeszintézis mechanizmusa XXIII.

→ XIII.4.3

A MEMBRÁNOK SZEREPE

A sokféle sejten belüli üreg kapcsolatban áll a sejtmag membránjával és a sejt külső hártyájával is. Olyan csatornarendszerhez hasonlítható, mely szabályozható módon köti össze a sejt külső és belső terét. Az erre szolgáló rekeszek, gátak és zsilipek: a sejten belüli membránfelületek.



25. ábra. ***A sejten belüli üregrendszerek kapcsolata***
G = Golgi-hálózat, a róla leváló lizoszómák (L) és a sejthártya felé áramló más „űröcskék" (vezikulumok :v).
D = durva felszínű endoplazmatikus retikulum, felszínén a riboszómákkal
M = sejtmaghártya
1-3: **sejten belüli emésztés** 1. endocitózis; 2. emésztés a lizoszóma segítségével; 3. exocitózis
4-7: **fehérjeszintézis** 4. fehérjeszintézis; 5. szállítás; 6. átalakítás, csomagolás; 7. mirigyműködés
8-10: **membrán megújulás** 8. endocitózis; 9. átalakítás; 10. exocitózis

4.2.3 Felismerés és üzenetátadás

A SOKSEJTŰSÉG FELTÉTELEI

A **soksejtű szervezetek** sejtjei összehangoltan működnek. Ehhez szükség van arra, hogy felismerjék egymást, hogy képesek legyenek jelezni a másiknak, végül, hogy térben is egyetlen „testet" alkossanak, azaz a sejtek megfelelő térbeli rendben kapcsolódjanak össze (pl. szövetekké). A **felismerés, a kapcsolódás és a más sejtek jeleire való reagálás képessége** minden soksejtű szervezet sejtjeire jellemző.

SEJTFELISMERÉS

A **sejtfelismerés** tényét sok kísérleti adat bizonyítja. Így például ha két különböző szivacsfaj egy-egy telepét sűrű szövésű szitán átpréselik és a keletkező nedveket összekeverik, az azonos fajú sejtek újra csoportosulnak és a különbözőktől elkülönülnek. A jelenségért feltehetően a sejthártya külső fehérjerétege és az ahhoz kapcsolódó szénhidrát-láncok felelősek. Ezek mintázata, eloszlása nemcsak fajra, hanem egyedre sőt szövetre is jellemző, így lehetővé teszi, hogy a sejtek mintegy „letapogassák a másik felszínét", s ezáltal azonosítsák egymást.

→ immunológiai önazonosság XVIII.4.2

A membrán külső felszínének fehérjéi teszik lehetővé a sejtek **megta-**

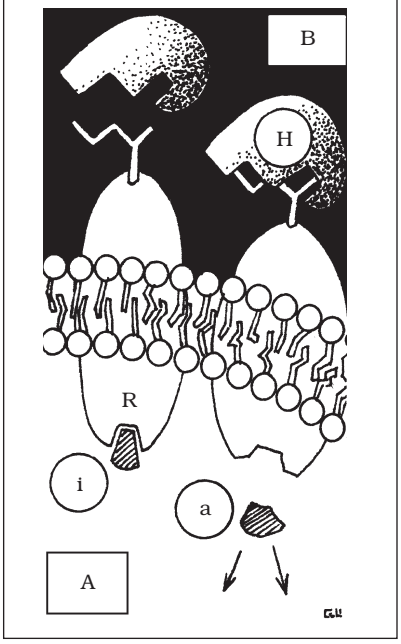
padását a szilárd felszínen és **kapcsolódásukat** is. A szomszédos sejtek – például hámsejtek – között gyakran közvetlen, mindkét sejthártyán átnyúló fehérjék teremtenek szoros kapcsolatot, sőt közös „fehérje-alagutakon" keresztül anyagcseréjük is összekapcsolódhat.

A **jelfelismerés** a sejtek közötti „párbeszéd" (kommunikáció) alapja. Két sejt kommunikál, ha egy sejt állapota úgy befolyásolja egy vagy több más sejt állapotát, hogy a változás az egész szervezet fennmaradását segíti. Ezt a „párbeszédet" az egész szervezet szintjén az idegi-, immun- és hormonális rendszer működésének nevezik. A biokémia módszereivel ebből az kutatható, hogy a jelként szolgáló molekulák hogyan hatnak. Így például a szervezetben stresszhelyzetben adrenalin hormon szabadul fel, melynek egyik hatása az, hogy a májsejtek glikogéntartalékait mozgósítja, a vérbe juttatja. E folyamatban az adrenalin a jeladó molekula, a célsejtek pedig – melyeknek anyagcseréjére az adrenalin hat – a máj sejtjei. A kutatók olyan fehérjéket – úgynevezett receptor molekulákat – azonosítottak a májsejtek membránjának külső felületén, melyek képesek kötődni az adrenalinhoz. A hatás tehát közvetítőkön keresztül érvényesül:

JELADÓ SEJT JEL ⟶ RECEPTOR MOLEKULA ⟶ A CÉLSEJT MŰKÖDÉSVÁLTOZÁSA

A jelátadásnak ez a módja lehetővé teszi, hogy a jel *csak arra* a sejtre hasson, amelyik a neki megfelelő receptor molekulát tartalmazza. Az üzenet tehát „címzett" – ezért a „célsejt" elnevezés.

Más hormonok – például a szteránvázasok – bejutnak a sejt belsejébe, sőt a sejtmagba is, és ott – egy fehérjemolekulához kötődve – közvetlenül befolyásolják a sejt anyagcseréjét.



26. ábra. ***A jelfelismerés és jelátadás általános sémája***
A) A membránba ágyazott receptormolekula (R) belső felszínén inaktív jelzőmolekulát (i) köt.
B) A hormon (H) a receptor külső felszínéhez kötődik, ez megváltoztatja annak szerkezetét, belső felszínén aktivizálja a jelzőmolekulát (a), ami leválik róla és kifejti hatását.

4.2.4 Sejtváz és mozgás

Noha az eukarióta citoplazma fénymikroszkópban általában egyneműnek látszik, már a múlt században gyanították, hogy valójában bonyolult belső szerkezete van. Erre utalt a sejt belső mozgásainak rendezettsége (pl. az endocitózis-exocitózis folyamata, a Golgi-hálózat működése, az osztódás módja), de sok állati sejt rugalmas alaktartását is így lehet legkönnyebben magyarázni. (A vörösvértestek alakja például torzul, miközben átpréselődnek a vékony hajszálereken, ám utána visszanyerik jellegzetes formájukat.) Fénymikroszkópban is megfigyelhető az osztódáskor kialakuló húzófonalak rendszere („magorsó"), mely azonban az osztódás után eltűnik.

Különleges jelölési és festési eljárásokkal és főként elektronmikroszkóp segítségével sikerült láthatóvá tenni azt a bonyolult fehérjehálózatot, amit összefoglalón „**sejtváznak**" neveztek el. Vékony és vastagabb fonalak alkotják.

A **vékony fonalak** alkotója az **aktin**, melyhez más fehérjék is kapcsolódhatnak és így rugalmas hálózattá állnak össze. Részben ez a hálózat felelős az állati sejtek alaktartásáért, de valószínűleg a sejt belső mozgásaiban is részt vesz. Ebben egy másik, nagyméretű fehérje, a miozin játszhat szerepet. A **miozin** ATP elbontása mellett képes kapcsolódni a szomszédos aktinszálakhoz és azokat egymás mellett elmozdítani. Amennyiben az aktinfonalak vége a sejthártyához vagy valamelyik sejtalkotóhoz kapcsolódik, úgy ezeket is magával húzza.

A **vastag fonalak** (tubulin) a sejt alaktartásában és a sejt mozgásaiban is szerepet játszanak. Ebben a **sejtközpont** segíti őket. Mai ismereteink szerint a csillók és ostorok csapkodása, a kromoszómák mozgatása is a vastag fehérjefonalaknak köszönhető.

← XIII.4.2.2

→ XIII.7.2.1

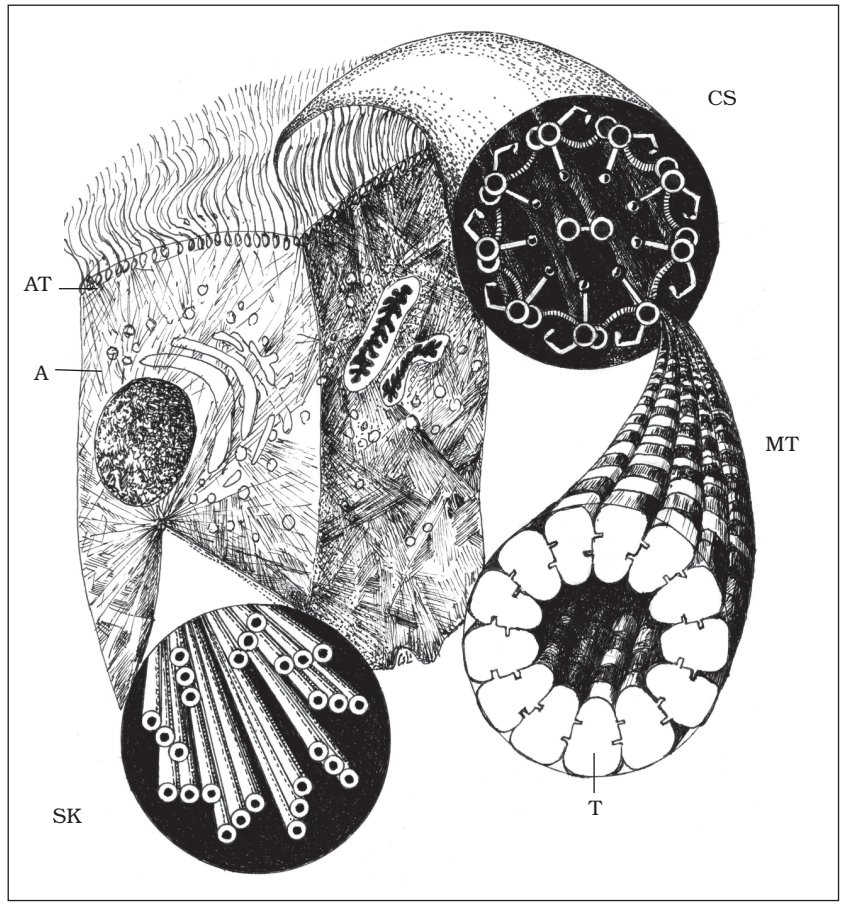
→ sejtosztódás XXIII.

SEJTVÁZ

AKTIN ÉS MIOZIN

→ izommozgás XIII.9.2

TUBULIN FONALAK



27. ábra. ***A sejt szerkezeti elemei (sejtváz) és a csilló működése***
A) Az állati sejtek alakját a sejthártyával párhuzamosan futó fehérjefonalak rugalmas hálóként rögzítik. A sejt belső terét is behálózza az aktin és a hozzá kapcsolódó sokféle fehérje.
T: a tubulin fehérje a sejtváz másik legfontosabb alkotója. Kettős egységekké (dimérekké) rendeződik (az ábrán sötét és világos színnel jelölve), az összekapcsolódó egységek pedig hosszú fehérjecsövet, mikrotubulust (MT) alkotnak. A mikrotubulusok a sejt minden részét behálózzák, de néhány ponton még rendezettebb szervecskékké tömörülnek. Ilyen az SK: a sejtközpont, mely 9·3 párhuzamosan futó mikrotubulusból áll, és a hozzá hasonló alapi testecskék (AT), melyek a csillók mozgását irányítják.
CS: csilló, kerülete mentén 9, középen pedig 1 kettős mikrotubulussal. A kerületi csöveket összekötő fehérjék (nexin) kapcsolják össze, egy másik fehérje a dinein pedig ATP bontás közben „bólintó" mozgással elcsúsztatja egymáson a két fehérjecsövet. Az összekötő fehérjék azonban csak kismértékű elcsúszást tesznek lehetővé, megfeszülnek, ezért az egész csilló meghajlik. A bonyolult mozgás irányításában feltehetően a központi két csőnek és a központ felé kerékküllőszerűen benyúló fehérjéknek van szerepe.

4.3 Sejttípusok

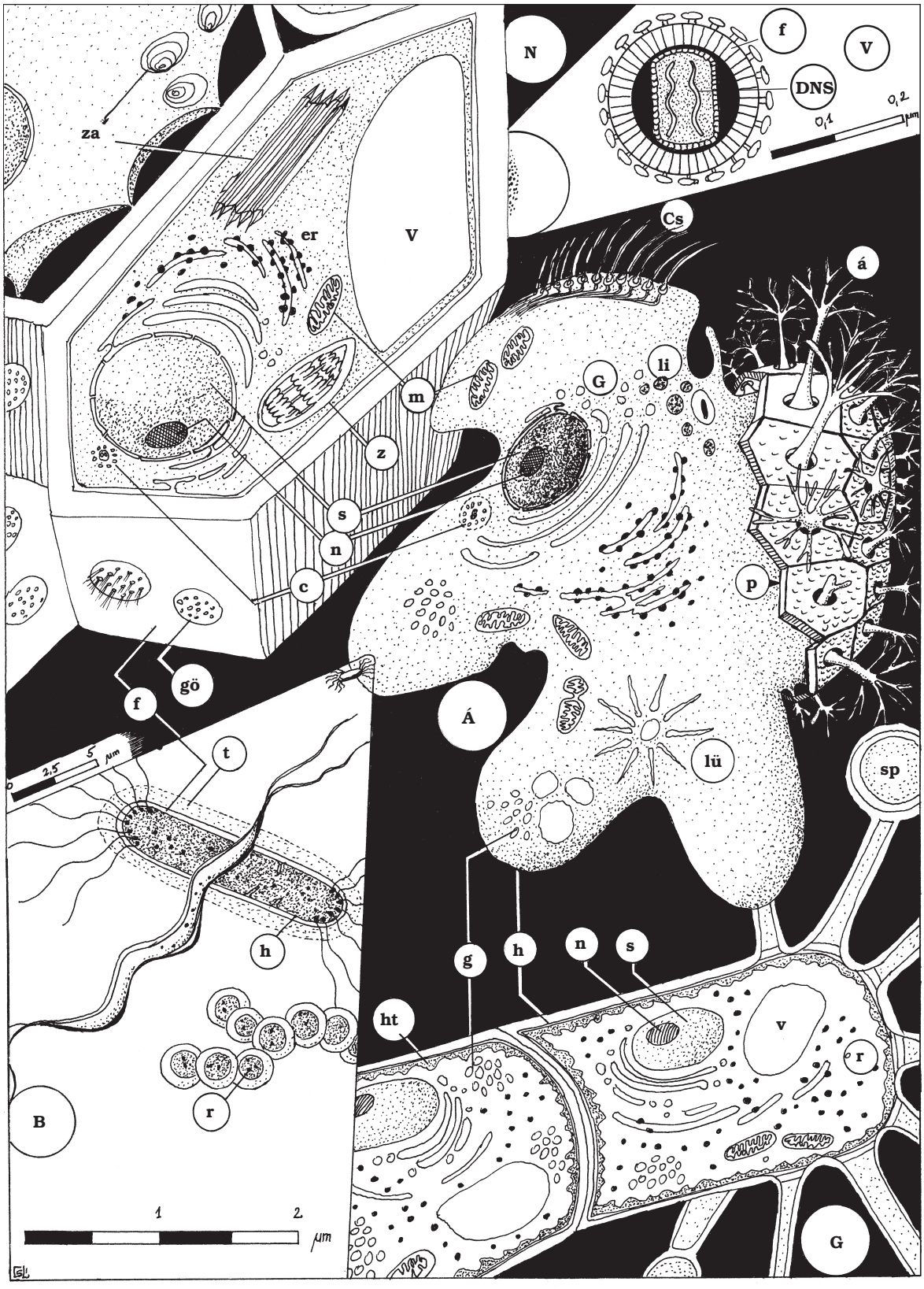
ÖTREGNUMOS FELOSZTÁS

PROKARIÓTÁK, EUKARIÓTÁK

→ feltételezett eredetük XXIX.

A sokféle sejtalkotó előfordulását vagy hiányát figyelembe véve az élőlények hagyományos csoportosítása (állatok és növények) helyett ma leginkább az ún. ötregnumos beosztást alkalmazzák. Ebben az élőlényeket öt nagy csoportra (birodalomra, latinul: regnumra) választják szét. **Sejtmag nélküliek (prokarióták** vagy protociták) a **baktériumok**, **sejtmagvasok (eukarióták** vagy euciták) az **eukarióta egysejtűek, a gombák, a növények és az állatok.** Mint azt az összefoglaló táblázat és az ábra is mutatja, ezek az élőlények a sejtmag meglétén vagy hiányán kívül sok más tulajdonságban is különböznek, ezért az öt regnum alapvető rendszertani kategória is. (A mai rendszertanok a baktériumokat, az egysejtű eukariótákat és a gombákat is több önálló csoportra bontják, amit sejtjeik eltérő fölépítése és származásuk vélhetően különböző útja indokol.)

28. ábra. ***Sejttípusok Az ábrán növényi (N), állati (Á), gomba (G) és prokarióta baktérium (B) sejtek láthatók, mellettük összehasonlításként – nagyobb nagyításban – egy vírusrészecske (V)***
A jelölések magyarázatát lásd a 198. oldalon!


za
er
V
N
f
V
DNS
0,1
0,2
µm
Cs
á
li
G
m
z
s
n
c
p
gö
f
t
Á
lü
sp
2,5
5
µm
h
g
h
n
s
ht
v
r
B
r
1
2
µm
G

	PROKARIÓTA SEJT (PROTOCITA)	EUKARIÓTA SEJT (EUCITA)			
	Baktérium	**Egysejtű**	**Gomba**	**Növény**	**Állat**
Sejtmag	–	+	+	+	+
Sejthártya	+	+	+	+	+
Sejtfal	+ (murein)*	+/–	+ (kitin)	+ (cellulóz)	–
Színtest	–	+/–	–	+	–
Mitokondrium	–	+	+	+	+
Sejtközpont	–	+/–	+	+/– **	+
Riboszóma	+	+	+	+	+
Endo-plazmatikus r.	–	+	+	+	+
Életmód	hetero/autotróf	hetero/autotróf	heterotróf	autotróf ***	heterotróf

* A murein szénhidráttartalmú összetett fehérje. A baktériumsejtfalra jellemző, néhány csoport kivételével.
** Mozgó ivarsejtekkel szaporodó csoportokban (mohák, harasztok).
*** A kivételeket lásd a 2. ábrán.

→ növényi kiválasztás XIII.8.2

A 28. ábra bal felső sarkában egy plazmolízissel „zsugorított" **növényi sejt**, melynek sejtmembránja elvált a sejtfaltól (f). Benne keményítőzárványok (zá). A mellette látható teljes növényi sejtben tű alakú kalcium-oxalát kristályzárványok (zá), endoplazmatikus retikulum (er), sejtnedvvel telt üreg azaz vakuolum (v), zöld színtest (z), mitokondriumok (m), sejtmag (s), ebben a sötétebb magvacska vagy nukleolusz (n) és sejtközpont vagy citocentrum (c). (Ez utóbbi csak moszatokban, és a mohák, harasztok ivarsejtjeiben figyelhető meg.) A sejtfal átjárhatóságát gödörkék (gö) biztosítják, melyeken keresztül kapcsolatba léphet egymással a szomszédos sejtek plazmája.

← endocitózis XIII.4.2.2

→ a lüktető űrücske működése XIII.8.2

Az **állati sejt** rajza egysejtű eukarióták és állati sejtek néhány alkotórészét összevontan ábrázolja. A sejtmag körül Golgi-készülék (G), mellette lizoszómák (li), jobbra a néhány egysejtűre jellemző héj vagy sejtpáncél (p), melynek nyílásain állábak (á) nyúlnak ki. Fent a csillós egysejtűekre jellemző csillók (cs), lent tartaléktápanyag glikogénszemcsék (g), mellette lüktető űröcske (lü).

→ spóraképzés XXIV.

A **gombasejt**ben a sejthártya és a sejtfal közti amorf, kocsonyás határréteg (ht) és egy spóra (sp). A sejtben szabadon és az endoplazmatikus retikulumhoz kötötten riboszómák (r).

→ tokos és tok nélküli baktériumok XXIII.

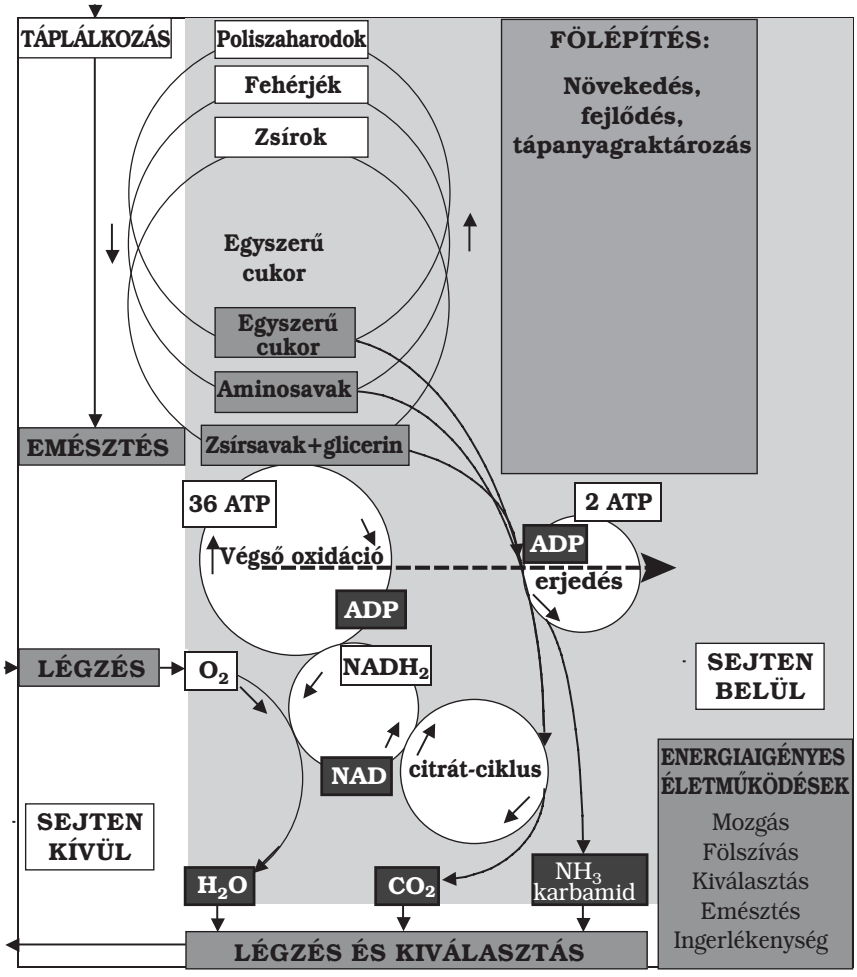
A **prokarióták** közt pálcika alakú bacilus (fent), spirillum (elől) és gömb alakú kokkuszok (lent). A bacilus sejtet a sejthártyán és a sejtfalon kívül kocsonyás tok (t) is védi. A tok alatt itt is sejthártya (h) burkolja a sejtet, a citoplazmában riboszómák (r) láthatók.

→ vírusok fertőzése XXIII.

A vírusrészecske csak fehérjeburokból (f) és örökítő anyagból (DNS) álló óriásmolekula rendszer. (A DNS helyett némelyik vírus RNS-t tartalmaz.)

Summa (3-4.)

A heterotróf sejtanyagcsere – anyag- és energiaáramlás – fő útjait a 29. ábra foglalja össze. Az anyagok között világos háttérrel jelöltük a magasabb, sötéttel az alacsonyabb energiatartalmúakat. Szürke háttér jelzi a sejten belüli folyamatokat. Jelöltük a szervezet szintű életműködések és a sejtanyagcsere néhány kapcsolatát is.



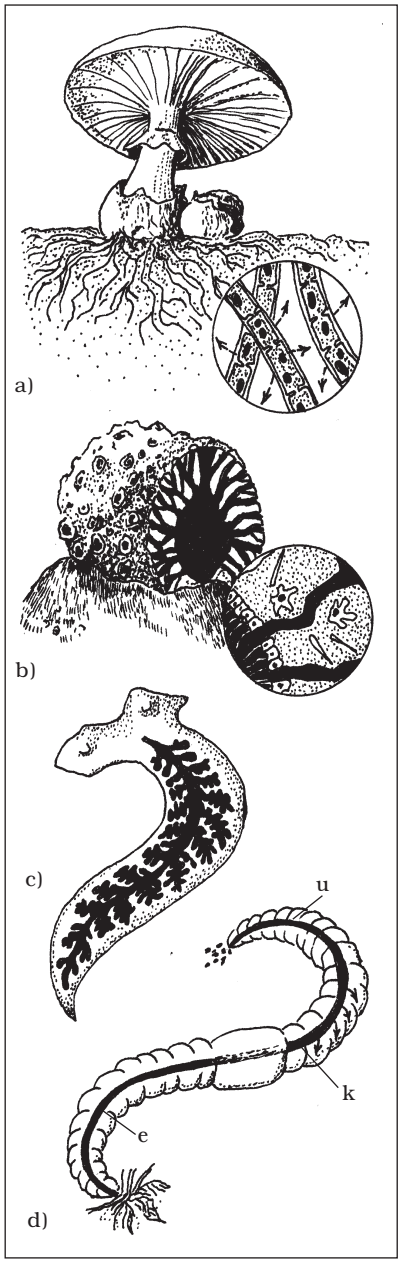
29. ábra. ***A heterotróf anyagcsere összefoglalása***

Irodalom:

- Gánti Tibor: Az élet princípiuma, GONDOLAT 1977 (1. Kiadás)
- Szent-Györgyi Albert: Egy biológus gondolatai, GONDOLAT 1970
- Szent-Györgyi Albert: Az élő állapot, Gyorsuló idő
- Lechevalier, H. A.–Solotorovski, M: A mikrobiológia három évszázada, GONDOLAT 1971
- Attenborough, David: A növények magánélete, AQUA, 1995
- Bíró Endre: A modern biokémia alapkérdései, GONDOLAT 1962
- Csányi Vilmos: Sejtbiológia, GONDOLAT 1976
- Frenyó Vilmos: Rejtelmes-e a növényi élet?, MÓRA 1977
- Halász Zoltán: Így élt Pasteur, MÓRA 1976
- Dr. Haraszti Ede: Zsebkönyv a növények életéről, NATURA 1977
- Hoffmann, Paul: Fotoszintézis, MEZŐGAZDASÁGI 1987
- Kertai Pál: Korunk biológiája, GONDOLAT 1973
- Mindell, Earl: Vitamin biblia, GLORIA 1999
- Dr. Nagy Mária : Mi a sejt?, MEZŐGAZDASÁGI 1977
- Obál Ferenc (szerk): Az emberi test I–II., GONDOLAT 1986

5. Az emésztés

5.1 Az emésztés formái



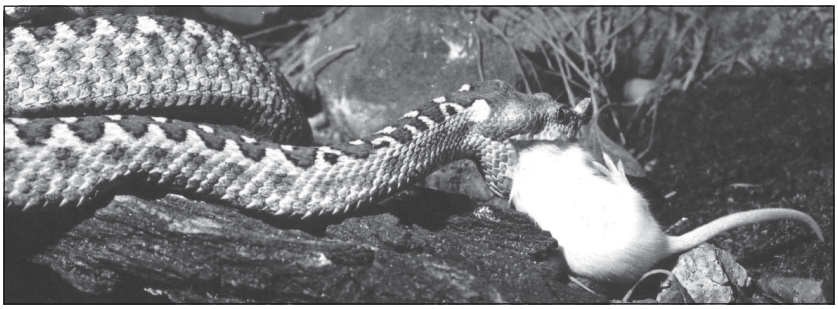
A heterotróf élőlények anyagforrásai szerves vegyületek. Ezek azonban két okból sem hasznosíthatók közvetlenül. Egyrészt általában túlságosan **nagyok**, másrészt pedig a felhasználó szervezettől **idegenek**, hiszen más élőlény állította elő őket. (Immunológiai összeférhetetlenség.) Ezért a heterotróf szervezetek kettős feladat előtt állnak.

a) A nagymolekulákat le kell bontani olyan alkotórészekre, amelyek már felhasználható nagyságúak és a szervezet számára nem idegenek (immunológiailag semlegesek), de továbbra is redukáltak, tehát energiagazdagok. Ez történik az **emésztés** során.
b) Az emésztés során keletkezett molekulákat föl kell szívni, és a keringési rendszer segítségével vagy más módon az egyes sejtek belsejébe juttatni. Csak ezután és csak itt kezdődhetnek meg a sejten belüli anyagcsere folyamatai.

30. ábra. ***Az emésztés formái***

a) A **gombák** testét alkotó gombafonalak folytatódnak a tápanyagot szolgáltató közegben (avarban, korhadó fában, bőrben) és behálózzák azt. Ezekből a fonalakból emésztőenzimeket bocsátanak ki, és a lebontott molekulák egy részét felszívják.
b) A **sejten belüli emésztésű** állatok endocitózissal vagy sejtszájon át veszik fel a táplálékot. Noha e folyamatok a sejt belsejében zajlanak, a membránok mégis biztosítják a citoplazmától való elkülönítést mindaddig, amíg az emésztés le nem zajlott. Sejten belüli emésztésűek az egysejtűek, a szivacsok, de vannak ilyen sejtek a csalánozókban és a laposférgekben is. A kis képen a szivacsok galléros ostoros és vándorsejtjei láthatók.
c) A *sejten kívüli* emésztés általában a bélcsatornában, tehát a *szervezeten belül* megy végbe, de kivétel is akad. (A pókok mérgükkel együtt enzimeket is juttatnak az áldozatba, az emésztés ez esetben már a *szervezeten kívül* megkezdődik.) A laposférgek **egynyílású bélcsatornájában** zajlik a sejten kívüli emésztés legegyszerűbb módja. A képen egy Planária faj elágazó béledényrendszerét sötét színnel emeltük ki.
d) A **kétnyílású bélcsatorna** (az ábrán: egy gyűrűsféregben) lehetővé teszi az emésztés folyamatainak térbeli elkülönítését (előbél = e; középbél = k; utóbél = u). A tápanyagok felszívása a középbélből történik.

Az emésztés során válik a fogyasztásra alkalmas *táplálékból* felszívásra alkalmas *tápanyag*. Az átalakulás lényege – kémiai szempontból – valamilyen **hidrolízis**. Ezt a kémiai folyamatsort az emésztőnedvekben található különböző bontóenzimek katalizálják. Az emésztés annál gyorsabb, minél nagyobb felületen érintkeznek e bontóenzimek a táplálékkal. Ezért a *kémiai bontást* többnyire valamilyen *fizikai aprózás* előzi meg. Ugyancsak fizikai folyamat a táplálék-massza keverése és továbbítása, valamint cseppekre bontása (emulgeálása) is.



32. ábra. **Egeret zsákmányoló homoki vipera.** A gerincesek nagy része egészben nyeli le táplálékát (halak, kétéltűek, kígyók), vagy az abból lehasított darabokat (cápák, krokodilok). A gyors bekebelezés ára a viszonylag lassú emésztés.

5.2 Emésztés az emberben

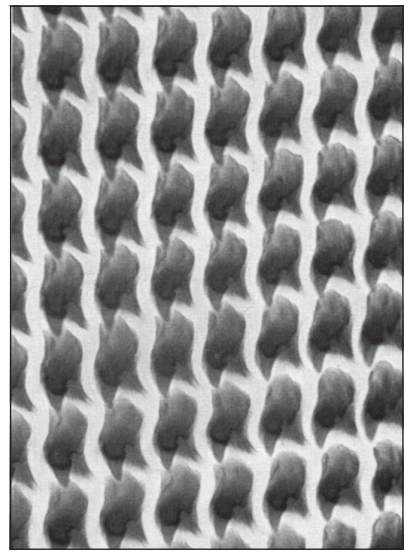
5.2.1 Fizikai folyamatok

A szájüregbe kerülő táplálékot – akárcsak a többi emlős – többnyire harapja, majd rágja az ember. A harapás eredetileg a metszőfogak feladata, a kés és villa használata részben átvette ezek szerepét. A rágásban az őrlőfogak, a nyelv és az ajkak vesznek részt. A kapkodva vagy erőtlenül megrágott falatok főként a gyomor működését nehezítik meg. Fontos a falat hőmérséklete, kémhatása és nedvtartalma is: ennek beállítását elsősorban a **nyál** végzi. A nyál síkos fehérjetartalma (mucin) is hozzájárul ahhoz, hogy a képződő falat könnyen nyelhetővé váljon. Nyelés kezdetén a falatot vagy kortyot a nyelv hátára gyűjtjük, majd a nyelvet fokozatosan a lágy szájpadlás felé emeljük, miáltal a falat lassan a garat irányába csúszik. Ez akaratlagos (akaratunkkal szabályozható) folyamat. Ha ellenben a falat a nyelvgyökkel vagy a garat falával érintkezésbe kerül, ez már önműködően, reflexesen váltja ki a nyelés második fázisát. A nyelés során felemelkedő lágy szájpadlás elzárja az orrüreg felé vezető utat, a hátrahajló gégefedő pedig a falat légcsőbe jutását akadályozza meg. A nyelés egésze bonyolult, öröklött mozgássor, mely többnyire hibátlanul zajlik le. Ha mégis félrenyelünk, és valami a légcsőbe kerül, az azonnal reflexes védekező mechanizmust, **köhögést** vált ki.

A lenyelt táplálék további útját nehezebb nyomon követni. A XIX. században állítottak össze először olyan berendezést (kimográfot), amely a bélcsatorna mozgását láthatóvá, sőt mérhetővé tette. Ez a módszer azon a megfigyelésen alapult, hogy a zsigeri szervek egy része az állat pusztulása után egy darabig még mutatja a rá jellemző működéseket. Ha megfelelő tápoldatba helyezett béldarabot felfüggesztünk, és írókart kapcsolunk hozzá, úgy azzal lerajzoltathatjuk a bél mozgásait.

A röntgensugarak felfedezése után mód nyílt arra is, hogy a kísérleti állat vagy a vizsgált személy bélmozgásait közvetlenül is nyomon kövessék. (A módszert az amerikai Cannon alkalmazta először, 1902-ben.) Ennek során a röntgensugarakat elnyelő, de egyébként ártalmatlan anyagot („bizmutkását") juttatnak a kérdéses bélszakaszba, ami így sötét sziluettként jelenik meg a filmen. Rövid ideig – műtét idején – mód van a bélműködés közvetlen megfigyelésére, a mai technika pedig lehetővé teszi az ultrahangos és CT vizsgálatot, valamint a bélcsatorna közvetlen optikai megfigyelését is (endoscopia).

Mindegyik vizsgálati módszer azt mutatta, hogy a bélcsatornára kétféle mozgás jellemző: az egyik lassan előretolja, a másik pedig előre-hátra moz-



31. Ábra. ***Éti csiga reszelőnyelvének felszíne***
(1080 X-os térbeli elektronmikroszkópos felvétel)
A csiga valósággal bereszeli belébe a táplálékot.

A NYÁL FUNKCIÓI

NYELÉS

→ vegetatív központok XVIII.3.2.6

→ feltétlen reflex XVI.2.3

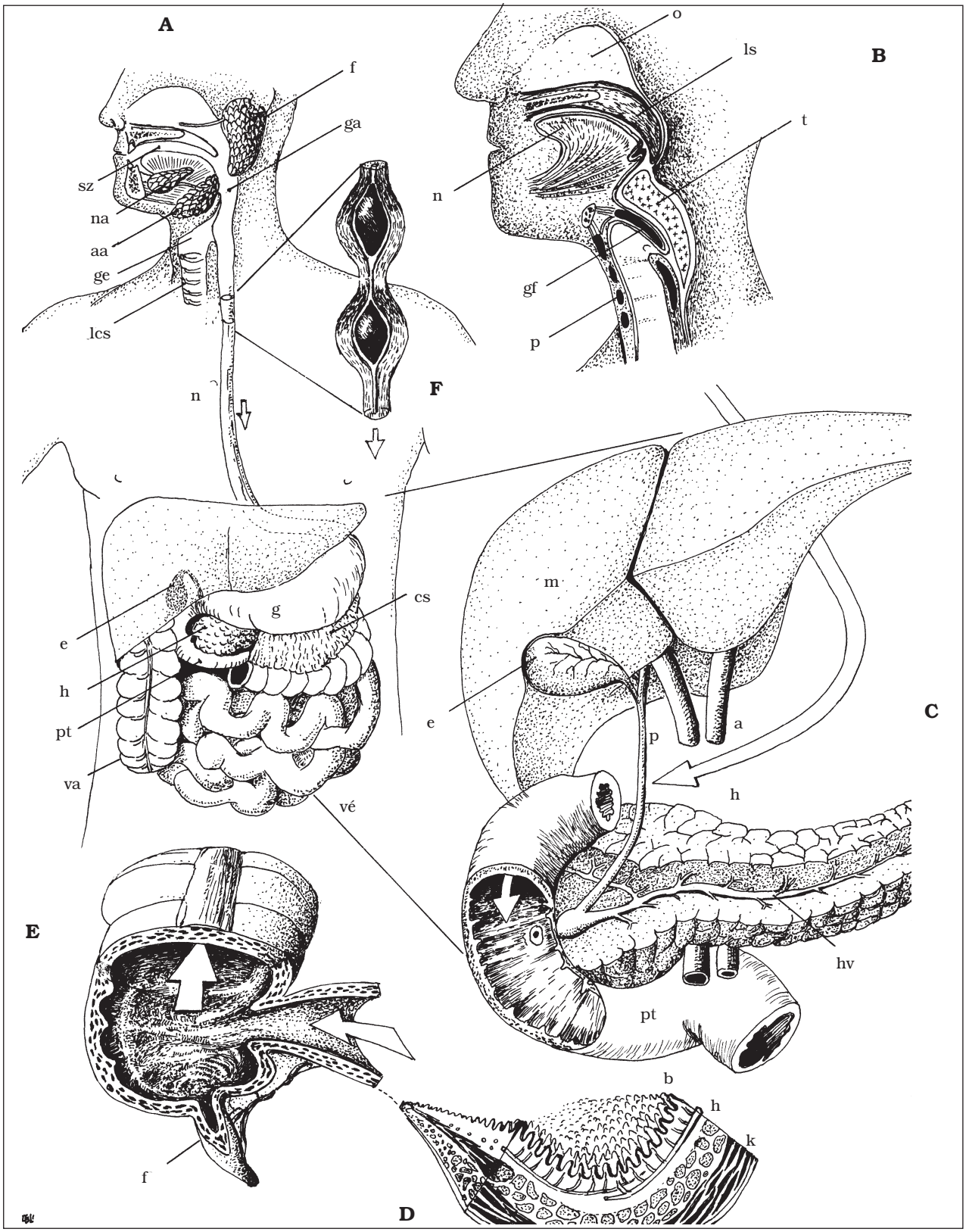
VÉDEKEZŐ REFLEXEK

A BELEK ÚTJÁN

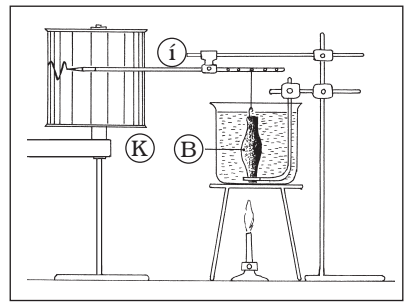
→ Röntgen-sugárzás XV.3.7.4

→ száloptika XIV.1.3

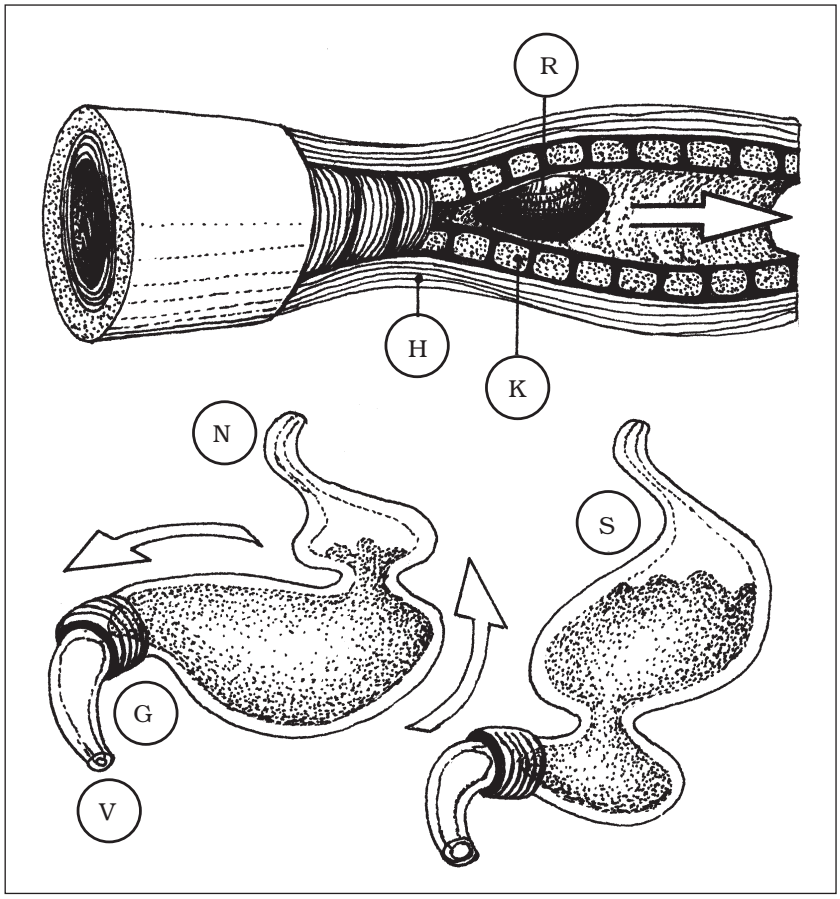
PERISZTALTIKUS MOZGÁS

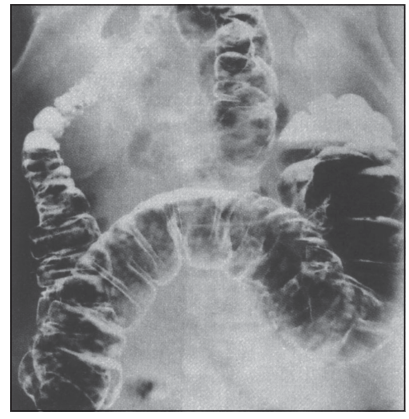

A
f
ga
sz
na
aa
ge
lcs
n
F
B
o
ls
t
n
gf
p
C
m
cs
g
e
h
pt
va
vé
e
p
a
h
hv
pt
b
h
k
D
E
f

33. ábra. ***Az ember bélcsatornája és annak részei***
A: Áttekintés a szervek elhelyezkedéséről (a vastagbél harántágának egy részét eltávolítottuk, hogy láthatóvá váljon az alatta fekvő vékonybél és hasnyálmirigy)
B: A **táplálék útja nyeléskor (b)**: lágy szájpad, n: nyelőcső, lcs: légcső, ga: garat, o: orrüreg.
C: A máj, hasnyálmirigy és patkóbél kapcsolata a: a máj artéria, p: portális ér (májkapuér)
D: A bélbolyhok a vékonybél falában h:hosszanti, k: körkörös simaizmok
E: A vakbél és a féregnyúlvány
F: A perisztaltikus mozgás a nyelőcsőben
A táplálék először a szájüregbe (sz) jut, ahol a nyelv (n) segítségével keveredik a három pár nyálmirigy: a nyelv alatti mirigy (na), az állkapocs alatti mirigy (áa) és a fültőmirigy (f) váladékával. Innen a garatba (ga) kerül. Itt keresztezi egymást a levegő és a táplálék (t) útja. A keveredést a lágy szájpad (ls) és a gége (ge) akadályozza meg.
A gége felső porca, a gégefedő (gf) gátolja meg, hogy a légcsőbe (lcs) táplálék kerüljön. A légcső falát félkör alakú gyűrűporcok (p) merevítik.
A nyelőcső (n) a gyomorba (g) vezet. A gyomorból kilépő vékonybél (vé) első szakaszába, a patkóbélbe (pt) két vezeték is torkollik. Az egyik a máj (m) által termelt, s egy ideig az epehólyagban (e) raktározott epét szállítja (epevezeték), a másik a hasnyálmirigy (h) kivezető csatornája (hv).
A vastagbél kezdetén egy tág szakasz, a vakon végződő vakbél (E) található, melyhez vékony féregnyúlvány (f) kapcsolódik. A vastagbél (va) felszálló, keresztirányú és leszálló ágát a kötőszövetes cseplesz (cs) rögzíti.



34. ábra. ***A holland Magnus módszere bélmozgások megfigyelésére (kimográf)***
A béldarabot oxigénnel telített oldatba helyezik, melynek ionösszetétele, ozmózisnyomása megegyezik a vérplazmáéval (Ringer-oldat). A berendezés segítségével vizsgálható különféle anyagok hatása a béldarab összehúzódásaira.
B = a vizsgált béldarab,
K = kimográf,
Í = írókar, mely a bél mozgásait rajzolja fel a papírhengerre. A rajzon jeleztük, hogy az oldat hőmérséklete a kísérlet során változtatható.





35. ábra. ***Emberi bélcsatorna (röntgenfelvétel)***

36. ábra. ***Az előrehaladó perisztaltika mechanizmusa a bélben***
H = hosszanti simaizom,
K = körkörös simaizom,
R = a megrágott táplálékfalat

37. ábra. ***A gyomor felépítése és keverő perisztaltikája vázlatosan***
Amíg a gyűrű alakú záróizom nem engedi tovább, a gyomorba került masszát folyamatosan keveri a fal simaizomzatának ritmikus összehúzódása.
N = nyelőcső, V = vékonybél,
G = gyűrű alakú záróizmok

gatva összekeveri a masszát. Mivel a bélfal izomzatának mozgása emlékeztet a férgekére, ezt féregszerű vagy perisztaltikus mozgásnak szokták nevezni. Az elkülönített béldarab mozgásképessége azt igazolja, hogy a perisztaltika önálló, nem szükségesek hozzá az oda vezető idegek. Ha azonban az idegi összeköttetés megmarad, szabályozhatóvá válik a mozgás intenzitása, gyorsasága, sőt iránya is. A **hányás** a gyomorból fordított irányban meginduló perisztaltikus hullámok eredménye, amit a hasizmok összehúzódásának préselő hatása erősít fel. Ezt a védekező reflexet az agy meghatározott területének izgalmi állapota váltja ki. Többnyire a gyomorba került romlott vagy undort keltő anyag következtében lép föl, de a hirtelen izgalom, szédülés, a torok tartós ingerlése vagy fertőzés is okozhatja.

→ beidegzése XVIII.3.2.4

→ vegetatív központok az agyban XVIII.3.2.5

A normális perisztaltikához a bél illetve gyomor megfelelő telítettsége is hozzá tartozik. Az üres gyomor korgása közismert jele annak, hogy nincs mit mozgatnia. Hátrányos az is, ha a táplálék kevés növényi rostot tartalmaz. Ezeket ugyan gyakorlatilag nem tudjuk megemészteni, viszont előnyös módon serkentik a bélmozgásokat.

← cellulóz XII.7.2.2

5.2.2 Az emésztés kémiája

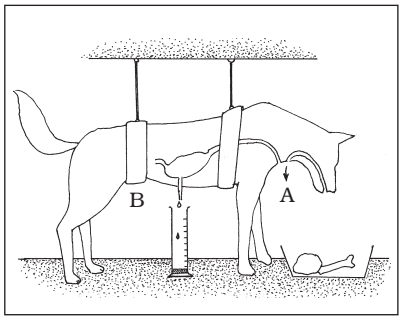
Az emésztéskor lezajló kémiai folyamatok vizsgálata során a kutatók több kérdésre kerestek választ: *milyen anyagot, mivé és milyen körülmények között* bontanak le az adott emésztőnedvek?

← szénhidrátok hidrolízise XII.7.2

A nyál könnyen és tisztán nyerhető, s kimutatható, hogy a különböző táplálékok közül csak a szénhidráttartalmúakat bontja le, elsősorban a keményítőt maltóz-egységekre. A nyál emésztőenzimét **amiláznak** nevezték el (amilum *lat.* = keményítő)

AMILÁZ, PEPSZIN

Kísérlet
Keményítőoldalhoz nyálat vagy gyógyszertárban kapható keményítőbontó oldatot keverve az oldatból azonos időközönként mintát veszünk. A mintához káliumjodidos jódoldatot (Lugol-oldatot) cseppentve a színreakció halványulása mutatja a keményítő fogyását.



38. ábra. ***Pavlov életetéses kísérletének vázlata***
Német kutatók tapasztalatait felhasználva az orosz Pavlov fejlesztett ki olyan kísérleti technikát, amellyel nemcsak hogy tisztán ki tudta nyerni a gyomornedvet, hanem még annak termelődési ütemét és mennyiségét is nyomon követhette. A nyelőcsövet átvágva annak nyílását a nyakon át kivezette (A), így az nem került a gyomorba. Ennek ellenére azt figyelte meg, hogy az életetés utáni 3-5. percben a gyomorból kivezetett vékony csövön (sipolyon) át bőséges gyomornedv-ürülés kezdődik (B).

A XVIII. században kimutatták, hogy a gyomorban a fehérjék emésztése zajlik, a német Schwann pedig a XIX. század közepén elkülönítette a bontóenzimet is, és **pepszinnek** nevezte el. A pepszin különleges helyet foglal el az enzimek sorában: működési optimuma ugyanis az erősen savas tartományban (1-2 pH körül) van. A gyomornedv bőséges sósavtartalma biztosítja számára ezt a közeget, ami egyúttal kiváltja a megemészteni kívánt fehérjék denaturálódását, széttekeredését is. Ez lehetővé teszi, hogy a pepszin nagy felületen érintkezzen velük, ami gyorsítja az emésztést.

Mivel a gyomor fala maga is fehérjéket tartalmaz, fölmerült a kérdés, hogy a pepszin miért nem bontja le azt is? Kiderült, hogy a bélcsatorna fala – így a gyomoré is – nyálkás védőréteget (mucint) termel, ami megakadályozza, hogy a sejtek a savas gyomornedvvel közvetlenül érintkezzenek. Ha ez a réteg valami okból elvékonyodik, úgy valóban emésztett seb, **fekély** alakul ki, sőt a gyomorfal át is fúródhat. A fekély fájdalmas, néha csak műtéttel gyógyítható betegség. Kialakulásában szerepet játszhat a zaklatott életmód, a folyamatos stressz. Ilyenkor az izgalom miatt tartósan összehúzódott gyomor vérellátása romlik, ami a védőréteg termelését gátolja. Fekély – hasonló okból – nemcsak a gyomorban, hanem a vékonybélben is kialakulhat. Jellemző tünete a gyomortáji éhségfájdalom: a savas emésztőnedv az üres gyomrot erősebben támadja, mint a teltet.

Újabban kimutatták, hogy egy, a gyomorba kerülő élősködő baktériumfaj hatása is kiemelt kockázati tényező a fekély kialakulásában.

→ Helicobacter pylori XIII.5.4

A vékonybél emésztőnedvei lúgos kémhatásúak, és – az epe kivételével – fajlagos hatású bontóenzimeket tartalmaznak. A **hasnyál** a hasnyálmirigyben keletkezik, és vezetéken jut a bélcsatornába, a **bélnedvet** a vékonybél falának sejtjei termelik. Ezek a nedvek folytatják és befejezik az összes fontos tápanyag emésztését. A keletkező szerves kismolekulák (monomerek) már fölszívhatók a vérkeringésbe.

HASNYÁL, BÉLNEDV

Az **epét** a máj termeli. Noha enzimet nem tartalmaz, a zsírok és más, vízben nem oldható anyagok emésztését megkönnyíti. Magyar kutatók (Verzár és Kuthy, 1929–31) mutatták ki, hogy az epe hatóanyagai, az epesav-sók jelenlétében a mechanikailag mozgatott (rázott) zsírok oldhatóvá válnak, stabil emulziót képeznek. Az epesav-sók szerkezetét megismerve a jelenség érthetővé vált: felületaktív hatású molekulák ezek is, akár a szappanok. A létrejött emulzió nagy felülete lehetővé teszi a zsírbontó enzimek hatékonyabb munkáját.

EPE

← emulzió XII.9.1

← micellák szerkezete XII.5.1

Az epehólyagban tárolt oldott anyagok pangás vagy gyulladás következtében néha kicsapódnak: **epekő** képződik. Ha ez a kő kijut az epevezetékbe, azt görcsös összehúzódásra kényszeríti. Jellemzője a jobb bordaív alól (itt fekszik az epehólyag) a jobb lapocka felé kisugárzó heves fájdalom.

Az emésztőnedv neve	pH	Az emésztőenzim neve	Működése
nyál	6,2-7,4	amiláz	keményítő ——➤ diszaharid
gyomornedv	1,0-2,0	pepszin(ek)	fehérjék ——➤ oligopeptidek
hasnyál	8,0	tripszin lipáz amiláz	fehérjék ——➤ oligopeptidek zsírok,olajok——➤ glicerin, gliceridek keményítő ——➤ diszaharid
epe	7,0-8,0	—	zsír- olaj emulzió stabilizálása
bélnedv	7,6	peptidbontók szénhidrátbontók lipidbontók	oligopeptidek ——➤ aminosavak diszaharidok ——➤ monoszaharidok zsírok, olajok ——➤ glicerin, gliceridek

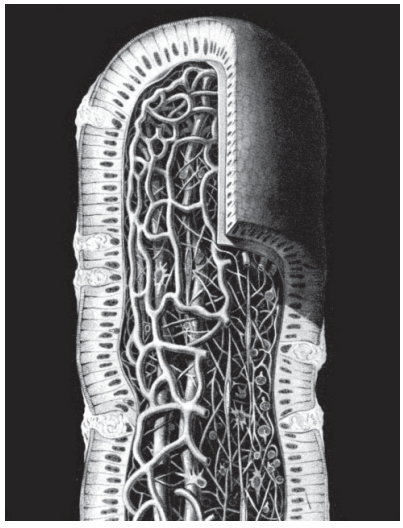
Kísérlet
Az epe hatásának kísérleti vizsgálata
a) Kémcsőbe vizet és olajat töltünk, majd összerázzuk.
b) Egy másik kémcsőbe vizet, olajat és epét töltve megfigyelhető az összerázás utáni állapotok különbsége

5.3 A fölszívódás

A fölszívódás során anyagok kerülnek a bélcsatornából a keringési rendszerbe. A táplálék nagymolekulájú alkotóelemei természetesen csak megemésztésük után, a vékonybélben szívódhatnak fel, a kisebb molekulák azonban már előbb is. Így például a víz, a benne oldott sók vagy az alkohol egy része már a szájüreg nyálkahártyáján keresztül is bejuthat a keringési rendszerbe, bizonyos gyógyszerek vagy mérgek pedig a gyomorfalon keresztül szívódnak fel. A felszívás nagy része azonban a vékonybél falán át történik. A mikroszkópos vizsgálat megmutatta, hogy a bél falát itt nyúlványok, bolyhok tömege teszi hatalmas felületűvé (kb. 200 m^2). E vér- és nyirokerekkel gazdagon átszőtt bolyhok saját izomzatuk révén önálló pumpaszerű mozgásra képesek, ami szintén gyorsítja a felszívást.

HELYSZÍNEI

BÉLBOLYHOK



39. ábra. ***A bélbolyhok egyikének felnagyított képe***
A nyálkahártya hosszúkás hengerhámsejtjei közt elhelyezkedő úgynevezett kehelysejtek termelik a védő nyálkaréteget. A bélbolyhot behálózó vérerekbe szívódnak fel az aminosavak, a cukrok és a sók, a nyirokerekbe pedig a zsírok.

Az emészthető tápanyagok a vékonybélből felszívódnak. A következő szakasz, a vakbél, főleg növényevőkben jelentős, mint a cellulózbontó baktériumok tárolója. Az emberben főleg kis nyúlványa, a féregnyúlvány válhat fontossá. Ez a nyirokszerv a baktériumok elleni küzdelemben játszik fontos szerepet, néha azonban – bélből jövő fertőzés, esetleg bélféreg hatására – begyullad. A „vakbélgyulladás" tehát valójában: **féregnyúlvány-gyulladás** (appendicitis). Lüktető, erősödő fájdalommal jelentkezik a jobb hasi részen. A múlt század közepéig halálos kimenetelű volt, ma azonnali műtéttel szüntetik meg.

A **vastagbélbe** emésztőnedvekkel átitatott ballasztanyag jut, ennek főleg a nedvességtartalmát hasznosítja a szervezet. Ezért a vastagbél falán még intenzív só- és vízfelszívás zajlik, miközben kialakul a széklet jellegzetes állaga. Ennek létrejöttében a vastagbél flórája játszik fő szerepet. A bélflórát lebontóbaktériumok és gombák tömege alkotja. E fajoknak a vastagbél természetes tartózkodási helyük, mert itt védett környezetben vannak, és bőségesen jutnak olyan táplálékforráshoz, amely az ember számára már nem hasznosítható. Ilyen például a növények rosttartalma (cellulóz) vagy az epéből a bélbe került bomlástermékek. A bélbaktériumok ezek erjesztésével energiához jutnak, anaerob anyagcseréjük végtermékei pedig a bélgázok kialakulásához járulnak hozzá. E kellemetlen szagú anyagok mellett azonban életfontosságú termékeik is vannak: K- és B_{12}-vitaminok. Előbbi a normális véralvadáshoz, az utóbbi a vörös vértestek képződéséhez szükséges.

Újabb vizsgálatok a bélcsatorna más szakaszain, így a vékonybélben és a gyomorban is sokféle baktériumot, gombát mutattak ki. Egy részük segíti a tápanyagfelszívást, mások viszont méreganyagokat termelnek. Az egészséges szervezet a bélflóra összetételét és mennyiségét is szabályozni tudja, ezért parányi „társbérlőink" az egész test igényeihez igazodva élnek bennünk.

5.4 Táplálkozás és egészség

→ a táplálkozás és az ivás vegetatív központjai XVIII.3.2.6

Az emberi szervezet anyag- és energiaellátása a táplálkozás függvénye. A közös étkezés központi szerepet játszik az ember társas életében, az evés és ivás pedig a jóllakástól függetlenül is örömforrást jelent. A nyugodt táplálkozás a jó emésztés feltétele, de az ember lelki életét is kiegyensúlyozottá teszi. Ehhez a szükséges, hogy kellő ideig, rendszeresen és megfelelő hőfokon fogyasszuk el ételünket-italunkat.

VÁLTOZÓ SZOKÁSOK

A táplálkozási szokások az elmúlt száz évben a Föld nagy részén megváltoztak vagy változóban vannak, érintik a táplálék mennyiségét, minőségét, tartósságát és azt az módot is, ahogyan táplálkozunk. A változások egy része kedvezőtlen és betegségekhez vezet.

ALAPENERGIA-SZÜKSÉGLET

A táplálék szükséges mennyiségét főként energiatartalma és az egyén életmódja, kora szabja meg. A fiatalemberek átlagosan 10.000 kJ energiát igényelnek naponta, a teljes nyugalomban mérhető **alapenergia-szükséglet** kb. 7-8000 kJ. Az emberiség jelentős része ma is tartósan kevesebb táplálékhoz jut, mint amennyi energiaszükségletét fedezné (alultápláltság, éhezés). A „fejlett, ipari" társadalmakban ugyanakkor gyakori a **túltápláltság**, ami a zsírszövet-tartalékok felszaporodásához vezet. Az elhízott ember nemcsak szépségéből veszít, de keringési rendszerét is megterheli, ami egy idő után érrendszeri és szívpanaszokhoz vezet.

← érelmeszesedés X.4.3.5

Az „ideális testsúly" legegyszerűbben következőképpen számítható ki:
Testtömeg-index = testsúly (kg) / testmagasság (m)^2. Ha az index értéke 25 alatt van, a testtömeg ideális, 25 fölött „túlsúlyos, 30 fölött „kövér" az illető.
Például egy 60 kg-os, 1,4 m magas ember testtömeg indexe:
T = 60 / 1,4^2 = 25,5.
A serdülőkori hirtelen változások idején vagy különleges megterhelések hatására ettől az ideától nagyobb eltérések is előfordulhatnak.

ELHÍZÁS, FOGYÓKÚRÁK

Az elhízás elleni **fogyókúrák** néha gyors javulást hoznak, ám tartós siker csak úgy érhető el, ha a táplálkozási szokásokat és az életmódot is úgy változtatja meg az egyén, hogy azok összhangba kerüljenek (rendszeres mozgás, sport, zsírszegény táplálékok).

ANOREXIA, BULIMIA

A **kóros étvágytalanságnak (anorexiának)** lelki okai vannak. Ez a főleg fiatal lányok körében előforduló betegség az önértékelés zavarával függ össze: a súlyfölöslegtől való indokolatlan félelem miatt izom- és zsírszövetsorvadás lép föl, a havi vérzés is elmaradhat. Az anorexia néha túlevési rohamokkal folytatódik, amit hányás követ **(bulimia)**. Évek alatt gyógyítható, pszichológus, belgyógyász és az egész család segítségével.

→ öntudatlan késztetések XVII.3.1

Néhány tevékenység energiaigénye kJ/óra

alvás	séta	takarítás	ásás	kerékpározás	úszás
230	800	640	1080	1400	2300

ÉHEZÉS, HIÁNYBETEGSÉGEK

A táplálék minősége alkotórészeinek arányától függ. Egyoldalú táplálkozás mellett fennáll a **minőségi éhezés** veszélye: ekkor valamely vitamin, esszenciális aminosav, só vagy mikroelem hiányzik a táplálékból. A minőségi éhezés **hiánybetegségekhez** vezet. A táplálék összetételének és mennyiségének tudatos, célszerű megváltoztatása, **a diéta** már ókori források szerint is a gyógyítás egyik eszköze lehet. Tartós, gondosan összeállított diétát igényelnek az anyagcsere-betegek: például a cukor- és vesebetegek vagy a fenilalanin nevű aminosav átalakítására képtelen emberek (fenilketonuria).

← vitaminok XIII.4.1.2

← ókori diéta III.4

→ fenilketonuria öröklése XXIII

A magyar táplálkozási szokások miatt a fogyasztott ételek **tápanyag-összetétele** eltér az optimálistól. Ajánlatos kevesebb zsír, több szénhidrát és fehérje fogyasztása. A szénhidrátokon belül kerülendők a fogszuvasodást okozó cukrok, viszont előnyösek a rosttartalmú, cellulózgazdag ételek (zöldség, gyümölcs). Noha a cellulózt nem tudjuk megemészteni, a perisztaltika fenntartásában és a mérgező anyagok adszorbeálásában egyaránt fontos szerepet játszik.

← perisztaltika XIII.5.2.1

A táplálék minőségéhez **frissessége** is hozzátartozik. Mivel ételeink nemcsak nekünk ízlenek, hanem különféle baktériumok és gombák számára is jó táptalajok, állás közben elszaporodnak bennük, így a táplálék minősége romlik. A rossz szagú, gyanús színű, penészfoltos ételek nemcsak undorítóak, de hányást, hasmenést is okozhatnak (gyomorrontás) vagy súlyos megbetegedésekhez vezethetnek (Salmonella, egyes penészgombák). A romlás hűtéssel vagy tartósítószerekkel lassítható, ám a legegészségesebb mindig a friss étel.

→ mutagén, karciogén gombák XXIII.

KONYHASÓ

A tartósítószerek közül legősibb a **konyhasó**. Baktériumölő hatású, de nagyobb mennyisége az embernek is árt. A Na-ionok a vérbe kerülve gátolják a vízleadást, a fölösleges folyadék terheli az ereket, a szívet és a vesét is. Mindez elősegíti a magasvérnyomás betegség kialakulását. A szervezetnek általában elegendő az a sómennyiség, ami a táplálékban amúgy is benne van. Hogy mit érzünk „sótlannak", az nagyrészt tanult, tehát a táplálkozási szokásoktól függ. Aki már hozzászokott, nátriumszegény káliumos sót használatával csökkentheti szervezete terhelését.

← magas vérnyomás X.4.3.5

VESZEDELMES ADALÉKOK

→ mutagén vegyületek XXIII.

← aromák XII.4.3.4

A tartós élelmiszerek (konzervek, húsáruk, italok) gyakran tartalmaznak speciális **tartósítószereket**. Noha ezek kis mennyiségben ártalmatlanok, tartós és tömeges fogyasztásuk már veszélyes lehet. Különösen a **füstölt, pörkölt, pácolt, nitrites sókkal (KNO_2) tartósított** élelmiszerek fogyasztásában ajánlatos a mértéktartás. A tartós élelmiszerek gyakran tartalmaznak mesterséges színezékeket, szintetikus ízanyagokat, állományjavítókat is, melyek vonzóbbá, könnyebben kezelhetővé teszik a terméket. A mesterséges „adalék"anyagok általában terhelik a szervezetet, minél kevesebbet juttassunk belőlük a szervezetbe. Listájukat ma már kötelező feltüntetni!

FŰSZEREK

← alkaloidák XII.8.1

A táplálékhoz tartoznak az ízadó anyagok is, pl. a **fűszerek. Az alkohol, a kávé és tea** részben feszültségoldó, részben serkentő hatásúak. Mivel a száj és gyomor nyálkahártyáját izgatják, mértéktelen fogyasztásuk (többek között) gyulladást, fekélyt idézhet elő.

Mivel emésztésünket és a fölszívódás folyamatát befolyásolja a **bélflóra, ennek megváltozása** is betegséghez vezethet. Távoli országokban járva az ételekből és italokból szokatlan baktériumok és gombák jutnak bélcsatornánkba. A szervezet néhány napig vagy hétig heves hasmenéssel vagy hányással reagálhat a bélflóra hirtelen változására, aztán többnyire alkalmazkodik az új feltételekhez. Más esetben a megtelepedő baktérium nem ilyen ártalmatlan, hanem hosszan tartó (krónikus) betegséget okoz. A gyomorfekélyes emberek gyomrából kimutatott igen ellenálló baktériumfaj (*Helicobacter pylori*) például nagy valószínűséggel a gyomorfekély egyik kiváltó oka (rizikófaktora).

← XIII.5.2.2
→ rizikófaktorok XVIII.5.2

ANTIBIOTIKUMOK

→ szelekció XXVII.

Megváltoztatják a bélflóra összetételét a súlyos betegségek ellenszereként használt **antibiotikumok** is. E gyógyszerek nemcsak a betegséget okozó baktériumot pusztítják, hanem a bélflóra hasznos tagjait is. A hatás az anyagcserezavarok mellett a bélben élő gombák és az ellenálló baktériumok elszaporodása. E veszedelmes folyamat megelőzésének egyik módja az, hogy antibiotikumokat csak a legszükségesebb esetben – és mindig az orvosi előírás szerint – alkalmazunk, másrészt az antibiotikum-kezelés után megkíséreljük helyreállítani a fölbomlott arányt (például baktériumgazdag természetes táplálékok, tejtermékek fogyasztásával).

Summa (5.)

Emésztés során az emésztőnedvek hatására válik az elfogyasztott táplálékból felszívható tápanyag. A szerves nagymolekulák hidrolízissel szerves kismolekulákká alakulnak.

A kémiai folyamatokat megelőzően vagy azzal párhuzamosan többnyire a táplálék fizikai aprózása, darabolása is megtörténik (rágás, keverő perisztaltika, epe emulzió-stabilizáló hatása). E folyamatok funkciója az, hogy biztosítsa az emésztőnedvek hatékony működését.

Az emésztett táplálékot az egyirányú perisztaltikus mozgás továbbítja a bélben.

A felszívás során a megemésztett tápanyagok a keringési rendszerbe jutnak.

A megemésztetlen és/vagy föl nem szívott anyagok, illetve ezeknek a bélflóra által átalakított termékei a széklettel távoznak. A bélflóra tagjai értékes vitaminokat is juttatnak a szervezetbe (szimbiózis), ha azonban arányuk, mennyiségük, összetételük megváltozik, betegséget is okozhatnak.

Az egészséges táplálkozás biztosítja a szervezet számára szükséges energiamennyiséget, esszenciális anyagokat, vitaminokat, növényi rostokat. Ajánlatos kerülni a túl sok tartósítószert, adalékanyagot, sót, serkentőszert tartalmazó ételek vagy italok fogyasztását, ügyelni kell az étel frissességére és hőmérsékletére és biztosítani kell a nyugodt étkezés feltételeit is.

Kérdések, problémák (4–5.)

1. A baktériumok H+ ionokat pumpálnak a külső térbe. Hasonlítsuk össze ezt a tényt a mitokondriumok működésének Mitchell-féle leírásával! Mely membránok végeznek hasonló működést?

2. Az amőba emésztése is, biológiai oxidációja is a sejten belül zajlik, mégis alapvetően különböző folyamatok. Fogalmazzuk meg a különbségeket az alábbi szempontból: a sejt mely részén zajlik, mi a kiinduló molekula és mi a végtermék, mi a folyamat energiamérlege és biológiai feladata!

3. Ugyanarra a sejtre többféle hormon is hathat, ugyanaz a hormon különböző sejtekre másként hat. Magyarázzuk a jelenségek okát a receptor molekulákkal!

4. A kutya nyála nem tartalmaz amilázt. Miért?

5. A hosszabb ideig rágott kenyérdarab édeskés ízűvé válik szájunkban. Miért?

6. Akaratlagosan nyelhetünk akkor is, ha semmit nem ettünk vagy ittunk előtte. Mi történik ilyenkor? Ha ezt néhányszor egymás után megismételjük, azt tapasztaljuk, hogy rövid ideig gátlás alá kerül a folyamat. Miért? Miért nyel gyakran az ember izgalmában, félelmében?

7. Hogyan változik a nyál összetétele ha száraz kekszet illetve levest eszünk, ha savas vagy lúgos anyagot veszünk a szánkba? Változik-e a nyál mennyisége a táplálék hőmérsékletének függvényében?

8. A gyomorba kerülve a szénhidrátok emésztése egy ideig még folyik, aztán leáll. Miért?

9. Kísérletnek vagy megfigyelésnek tekinthetők-e a bélperisztaltika vizsgálatának a fejezetben leírt módszerei? Hogyan jelennek meg az e módszerekkel kapcsolatos elvi problémák az adott esetben?
   Mik a hibaforrások? Kiküszöbölhetők-e ezek? Vajon elkerülhetők (lettek volna)-e az állatkísérletek ezen eredmények eléréséhez?

10. Energiaigényes vagy energiatermelő folyamat-e az emésztés? Milyen mindennapi tapasztalatok utalnak erre? Hogyan lehetne sejtésünket kísérleti úton igazolni? Milyen táplálékot célszerű fogyasztani olyanoknak, akik hosszabb ideig éheztek? Miért?

11. Mi az oka, hogy az apró kortyokban fogyasztott, kóstolgatott alkohol hamarabb okoz részegséget, mint az egy adagban lenyelt?

6. A tápanyagok útja a sejtekig

6.1 Vér és nyirok

A tápanyagot az egysejtű élőlény (például amőba) az emésztés befejeztével az emésztő űröcskéből közvetlenül a citoplazmába szívja fel. A soksejtű szervezeteknek azonban a tápanyagot minden sejthez el kell juttatni. Ez a **keringési rendszer** egyik feladata.

ZÁRT KERINGÉS

A gerincesek – s így az ember – keringési rendszere **zárt típusú**. Szervezetünkben a **vér** összefüggő csőrendszerben, erekben kering, a legtöbb sejttel így nem érintkezik. A sejtek közvetlen környezetét egy halványsárga folyadék, a **szövetnedv** és az abból keletkező **nyirok** adja.

VÉR ÉS NYIROK

A tápanyagok és a bomlástermékek szállítása többlépcsős folyamat.

RÉSZFOLYAMATOK

a) A fölszívódás során a megfelelő mennyiségű és minőségű tápanyag a vérbe jut.
b) A vérkeringés a fölszívott anyagokat a test minden részébe eljuttatja.
c) A hajszálerek falán át a szükséges anyagok átjutnak a szövetnedvbe.

← fölszívás XIII.5.3

d) A szövetnedv minden sejtnek átadja a szükséges anyagokat és fölveszi az ott keletkezett bomlástermékeket, szükségtelen vagy mérgező anyagokat.

← keringés X.4.3

e) A nyirokkeringés elszállítja és a vérkeringésbe juttatja a sejtek bomlástermékeit.

6.2 A máj szerepe

A **máj** a szervezet legnagyobb mirigye, s egyben legnagyobb szerve. Súlya több mint 1,5 kg, és nyugalomban a vérnek több mint egyötöde áramlik át rajta. Közvetlenül a rekeszizom alatt, a hasüreg jobb felső részében fekszik. Felépítésére jellemző különös keringése. Az artérián kívül egy vénás vért szállító eret is kap, mely a vékonybél falából érkezik ide (bélvéna), a májat elhagyó átszűrt vért pedig egyetlen ér, a májvéna kapcsolja a vénás keringésbe. Ez a sajátos, véna-véna kapillárisokból álló úgynevezett kapuér rendszer teszi lehetővé a méregtelenítést, az epetermelést és a vér összetételének gyors szabályozását.

KAPUÉR RENDSZER

Az aortából érkező vér részben a máj oxigénigényét fedezi, a májartérián át, részben a bélfal sejtjeit látja el. Egyúttal felveszi a felszívott tápanyagokat is. Az így vénássá és tápanyagban gazdaggá vált vér a bélvénán át jut be a májba. Míg a vér a májvénába kerül, a máj kiszűri belőle az epe anyagait, és kivonja vagy hozzáadja mindazt, ami szükséges (tartalék tápanyag, glikogén).

A MÁJ SZABÁLYOZÓ SZEREPE

A májat Galénosz vérképző szervnek tartotta. Vélekedését sok szempontból a mai orvostudomány is megerősítette. A bélcsatornából változó mennyiségű és minőségű tápanyag szívódik fel a vérbe. Ha ezek töménységét semmi nem szabályozná, akkor a vér összetétele a mindenkori táplálék függvényében változna. A tapasztalatok azonban azt mutatták, hogy ez nincs így: a vér szőlőcukor-tartalma például – bár változó – mindig 0,1% körül mozog. Figyelembe véve, hogy a vékonybélbolyhokból összeszedődő vénák nem közvetlenül a testvénába vezetnek, hanem előbb a májba, természetes volt feltételezni, hogy e bonyolult kiegyenlítő feladatot a máj végzi. E sejtést megerősítette a bélvénában és a májvénában áramló vér összehasonlító vizsgálata. Míg az előbbi összetétele erősen ingadozik *és a táplálléktól függ*, addig az utóbbiban az ingadozás jóval kisebb, és

→ befolyásoló tényezők, stressz XVIII.3.2.8

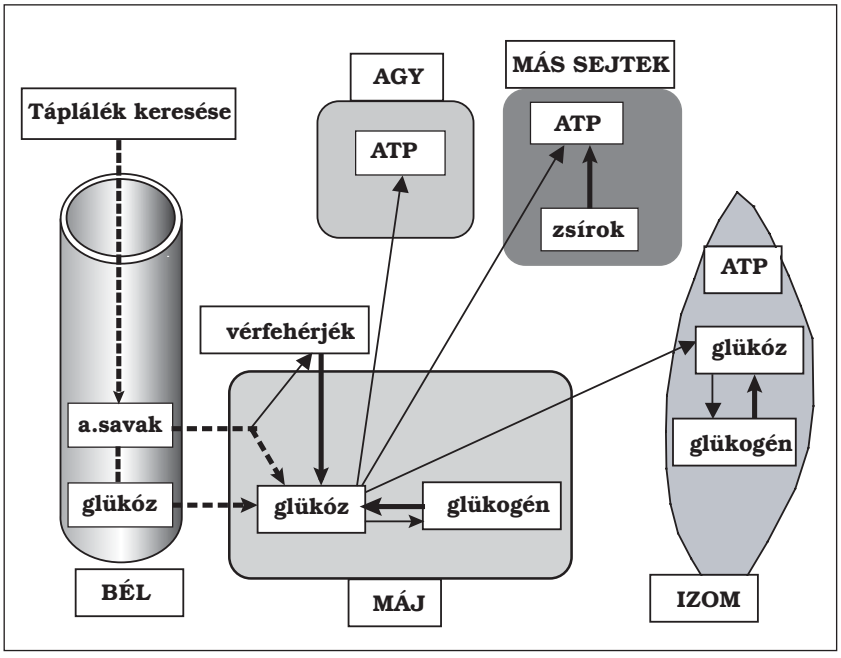
változásai a szervezet állapotát, igényeit követik. Maga a máj is erősen változó összetételű. Rendszeres és bőséges táplálkozás után 250-300 g glikogént is felhalmozhat (teljes tömegének ez 18%-a), éhezés, erős munka után viszont semmi glikogén nem marad benne.

← glikogén XII.7.2.2

→ az inzulin szerepe XVIII.2.3.2

E tapasztalatok alapján a máj szerepét a szénhidrát-anyagcserében úgy magyarázhatjuk, hogy a cukorfelesleget mintegy lefölözi és **glikogén formájában raktározza**, cukorhiányos időszakban pedig az így létrejött glikogénkészletét lebontja, és glükóz formájában juttatja vissza a vérbe a szükséges mennyiséget. A máj azonban nemcsak glükogént használhat föl erre a célra: a fehérjéket és a zsírokat is glükózzá alakíthatja.

← anyagcsere-hálózat a sejten belül XIII.4.1



→ az izom, mint glükogénraktár XIII.9.5

→ az idegsejtek energiaigénye XVIII.3.1.2

40. ábra. ***A szervezet cukor- és aminosav anyagcseréjének vázlata***
Az agy egyedül glükózt használt fel energiaforrásként. A máj és az izmok glükogént raktároznak, a szervezet más részein lipidek (zsírok) halmozódnak fel. Az éhezés hatását a vastag nyilak jelzik: a májban a lebomló vérfehérjék aminosavaiból glükóz keletkezik, és szükség esetén a glükogéntartalékokat is felhasználja a szervezet. Az izmok és más sejtek saját készleteik (zsír, ill. glükogén) lebontását fokozzák, a vérben keringő cukorral viszont takarékosabban bánnak. A csökkenő vércukorszint éhségérzetet is kelt, ami táplálkozásra, azaz a készletek mielőbbi feltöltésére ösztönzi a szervezetet.

← a vegetatív központok szerepe: XVIII.3.2.6

VÉRFEHÉRJÉK

A májon átáramló vérnek nemcsak cukor-, hanem aminosav- és fehérje-összetétele is megváltozik. A májvénában már jelen van a vérplazma összes jellemző **vérfehérjéje**, méghozzá a szükséges mennyiségben: létrehozásukban tehát a májnak döntő szerep jut. Ennek érdekében a májsejtekben intenzív átalakítások zajlanak: az esszenciális aminosavak kivételével az összes többit létrehozhatja, és belőlük a vérplazmára jellemző fehérjéket termeli.

→ véralvadási faktorok XIII.7.3

← esszenciális aminosavak XIII.4.1.2

MÉREGTELENÍTÉS

A májat elhagyó vér többnyire nem tartalmaz mérgeket. A mérgező anyagok egy részét folyamatosan termelik maguk a sejtek, más részük a táplálékkal vagy belégzés útján kerül a szervezetbe. Bárhonnan származzanak is, a máj igyekszik kivonni őket a vérből. További sorsuk attól függ, hogy a májsejtek számára „ismerős” anyagról van-e szó. Ha igen, átalakulnak ártalmatlan vagy éppen hasznos anyaggá, s így hagyják el a

← XIII.3.2.4; XII.1

← XIII.3.1.3 és XIII.3.5

← XII.4.3.1

„MÉREGTEMETŐ"

EPETERMELÉS

→ hemoglobin XIII.7.2.1

májat. Az aminosav-átalakítások során melléktermékként keletkező **ammónia** (NH_3) például erős sejtméreg. A máj ártalmatlan karbamiddá alakítja, amit a későbbiekben a vese választ ki. Ugyancsak káros az intenzív izommunka során keletkező tejsav. A máj vagy oxidálja, vagy visszaalakítja szőlőcukorrá. A kívülről származó mérgek közül gyakori az **alkohol**. A máj ugyan oxidálja, eközben azonban maga is károsodik: egyes sejtjeiben zsírcsöppek halmozódnak föl (májnagyobbodás, zsírmáj). Ha a károsítás tovább tart, a sejtek elhalnak, helyüket kötőszövet tölti ki, majd ezek a működésképtelen szövetrészek el is tűnhetnek (májzsugorodás). Bizonyos anyagokkal (DDT- növényvédőszer, nehézfémsók) a máj nem tud mit kezdeni, így hát (egy részüket) raktározza (más részük a szervezet más szöveteiben rakódik le). Ezen anyagok feldúsulhatnak a májban, s azt lassan valóságos „méregtemetővé" teszik. Egy sor anyaggal szemben a máj sem képes megvédeni a szervezetet. Ezen pusztító molekulák egy része magát a májat támadja meg (egyes gombamérgezések) vagy a szervezet más részén hat igen gyorsan (kígyómarás).

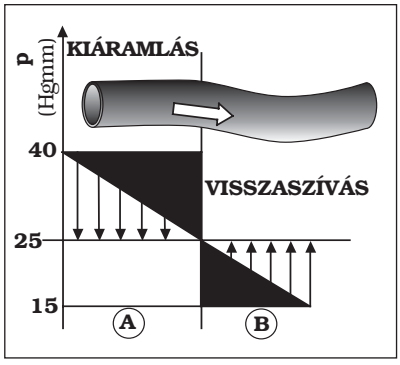
A máj **termeli az epét**. Az epe nemcsak a zsírok és zsírszerű anyagok emulziójának stabilizálását végző epesavakat tartalmazza, hanem az elpusztult vörös vértestek félig lebomlott hemoglobinjából képződő anyagokat is. Ezek adják az epe jellegzetes sárgászöld színét.

6.3 Mi történik a hajszálerekben?

← félig áteresztő hártya IX.4.2.4

← kapilláris X.4.3.3

← XII.9.1



41. ábra. ***A kolloidozmózis-nyomás és a vérnyomás értékeinek változása a kapillárisokban***
A kapillárisok artériák felé eső részében („A" szakasz) a vérnyomás meghaladja a vér kolloid ozmózis nyomását, a vénák felé eső részben („B" szakasz) ez alá kerül.
A kolloid ozmózis nyomás végig állandó marad (π = 25 Hgmm).

Az artériát elhagyó és a vénába kerülő vér összetételét megvizsgálva azt tapasztalták, hogy azokban közel azonos az alakos elemek (pl. vörös vértestek) és a fehérjék koncentrációja, az ennél kisebb molekulák aránya viszont elérő. Ez a megfigyelés arra utalt, hogy a kisméretű molekulák számára a kapilláris fala átjárható, a kolloid méretű vagy annál nagyobb részecskék szempontjából viszont *féligáteresztő hártyaként viselkedik*. A vér viszonylag tömény (kb. 7%-os) fehérjeoldat, kolloid ozmózis nyomása is jelentős. Mivel a vér jóval töményebb fehérjeoldat, mint a környező nedv, ezért a kolloidozmózis-nyomás az erek felé mutató, tehát befelé szívó hatás. Ezzel szemben a hidrosztatikai nyomás a kapillárisból a szövetek felé mutat, tehát igyekszik kipréselni az anyagokat. Ezért *a vérnyomás és a kolloid-ozmózis nyomás mindenkori eredője szabja meg az anyagáramlás irányát és sebességét* a hajszálerek falán át. E két hatás együttesen jól magyarázza azt, hogy a kapillárisok kezdeti szakaszán kiáramlik a vérből a víz, a tápanyag és az oxigén, végső szakaszán viszont megfordul az irány: víz, bomlástermék és szén-dioxid áramlik a szövetekből a hajszálerek felé. Mivel a kipréselt folyadék mennyisége kissé meghaladja a visszaszívottét, a szövetek közt nedv keletkezik: ez a szövetnedv.

Ha a nyomásviszonyok bármi okból megváltoznak, a folyadékáramlás rendszerének is változnia kell. Ha például egy vérrög (trombus) megakad a vénás elvezetésben, akkor a vénás nyomás megemelkedése miatt a visszaszívás gyengül, a szöveti nedv fölszaporodik. Ez a helyi duzzanat, ödéma (vizenyő) létrejöttének egyik lehetséges oka.

6.4 A nyirokkeringés

A nyirokerek különös keringési rendszerét a XVII. század közepétől ismerték (Először Aselli fedezte föl a nyirokereket 1622-ben, majd 1655-ben Rudbeck és Bartholinus írták le a nyirokkeringést) – összefüggése a vérkeringéssel azonban csak a kapillárisok működésének tisztázása után,

NYIROKEREK

a XX. században vált világossá. A nyirokerek kesztyűujjszerű, vakon végződő nyirokkapillárisokból indulnak a szövetek közti térben, ezek gyűjtik össze a keletkező szövetnedvet. Ezután egyre vastagabb falú erekké szedődve összeömlenek a mellkasi nagy nyirokérbe, az úgynevezett mellvezetékbe, ami közvetlenül a jobb pitvar előtt torkollik a vénás vérkeringésbe. A nyirok áramoltatását sok állatban (például békákban) külön nyirokszívek végzik. Emlősökben a fő mozgatóerő a szív szívó hatása, a visszafolyást pedig – miként a vénákban is – billentyűk sora gátolja meg.

← X.4.3.1

NYIROKSZERVEK

Régóta ismert volt, hogy a nyirok útja során nyirokcsomókon és nyirokszerveken halad át. Ilyen szervek például a **lép, a féregnyúlvány, a mandulák**. Hogy ezek milyen fontos szerepet töltenek be a szervezet védekező (immun) működésében, az a XIX–XX. században, az iummunológiai kutatások során vált világossá. Működésük révén válik a szövetnedv nyirokká, termékeik a nyirokvezetéken keresztül végül a vérbe jutnak. Ugyancsak újabb felismerés a nyiroknak a zsírok és fehérjék szállításában betöltött szerepe. A vízben nem oldható molekulák nem közvetlenül a vérbe kerülnek, hanem a nyiroknedvbe, s így egy-egy táplálkozást követően az egész szervezetet „elárasztják”. Azonban a zsíranyagcsere sem szabályozatlan: a máj (a következő „körben”) a zsírokat is képes átalakítani más anyagokká. A szövetnedvbe került fehérjéket is a nyirok szállítja vissza a véráramba.

→ szerepük az immunitásban XVIII.4.2

← felszívás XIII.5.3

Summa (6.)

A táplálék megemésztése után a felszívott tápanyagok zárt keringésű élőlényekben a vérbe illetve a nyirokkeringésbe (zsírok) kerülnek.

A máj biztosítja a vérplazma szükségleteknek megfelelő, kevéssé változó szervesanyag-összetételét: raktároz, átalakít, méregtelenít.

A kapillárisok falán át zajló anyagcsere irányát a vérnyomás és a kolloid ozmózis nyomások eredője szabja meg. A keletkező szövetnedv egy része a nyirokkeringésen keresztül jut vissza a vérkeringésbe.

Problémák, feladatok (6.)

1. A félélősködő, fotoszintetizáló sárga fagyöngy és a teljes élősködő, heterotróf aranka egyaránt a gazdanövény edénynyalábjaiból szívogat, azonban nem ugyanabból a részéből. Mi a különbség magyarázata?

2. Ha az érfali izomtónus egy kritikus szint alá csökken „fehér ájulás” következik be. Milyen következményekkel jár ez a vér eloszlása szempontjából? Mi a teendő?

3. Mi a hasonlóság az elektromos hálózatokból ismert sönt, a folyószabályozások során alkalmazott zárógát (zárás) és az artéria-véna kapillárisok funkciója között? Tervezzünk olyan elektromos hálózatot, amely jól modellezi a keringési rendszert!

4. Milyen következményekkel jár, ha
   a) tartós éhezés következtében csökken a vér fehérjekoncentrációja
   b) zúzódás következtében sérülnek az érfalak
   c) csökken az erek hidrosztatikai nyomása az artériákban ?

5. Kétéltűekben az kapillárisok fala gyakorlatilag teljesen átjárható a fehérjék számára is. Milyen következményekkel jár ez?

6. Figyelembe véve, hogy az agyszövet légzési hányadosa 1,0 (lásd 4. fejezet 11. kérdés) – miért életfontosságú az agy szempontjából a máj normális működése?

7. A vér biokémiája

7.1 A vér összetétele

→ XIV.1.5

VÉRPLAZMA ÉS ALAKOS ELEMEK

A mikroszkóp felfedezése után lehetővé vált a vér alaposabb vizsgálata is. Ennek során fölfedezték, hogy a vér két részre osztható: **alakos elemekre és vérplazmára**. Az alakos elemek mikroszkóppal elkülöníthető nagyságú részecskékből állnak, melyek a homogénnek látszó vérplazmában lebegnek vagy sodródnak tova.

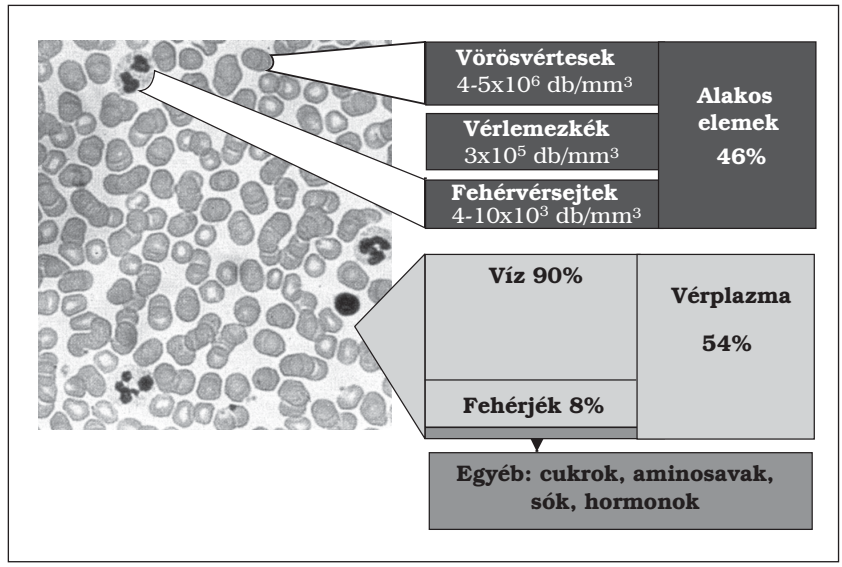
alakos elem	száma db/mm³ vér	mérete (μm)	élettartama (nap)	keletkezési helye	funkciója
vörösvértest	4-5.000.000	5-8	120-130	Vörös csontvelő	Gázok szállítása
fehérvérsejt	6-8.000	8-20	7-14	Vörös csontvelő	védekezés
vérlemezke	300.000	2-3	8-9	Vörös csontvelő	véralvadás

← ultracentrifuga XII.8.3

Az alakos elemek a vérplazmától és egymástól is elkülöníthetők, például centrifuga segítségével.

→ a fehérvérsejtek szerepe XVIII.4.2.4

→ a vérlemezkék szerepe XIII.7.3



42. ábra. ***A vér összetétele.*** Baloldalt: fénymikroszkópos felvétel festett emberi vérről. Mellette: a vér alkotóinak mennyiségi viszonyai.

7.2 A légzési gázok szállítása

7.2.1 A szállítás módja

→ XIV.1.5

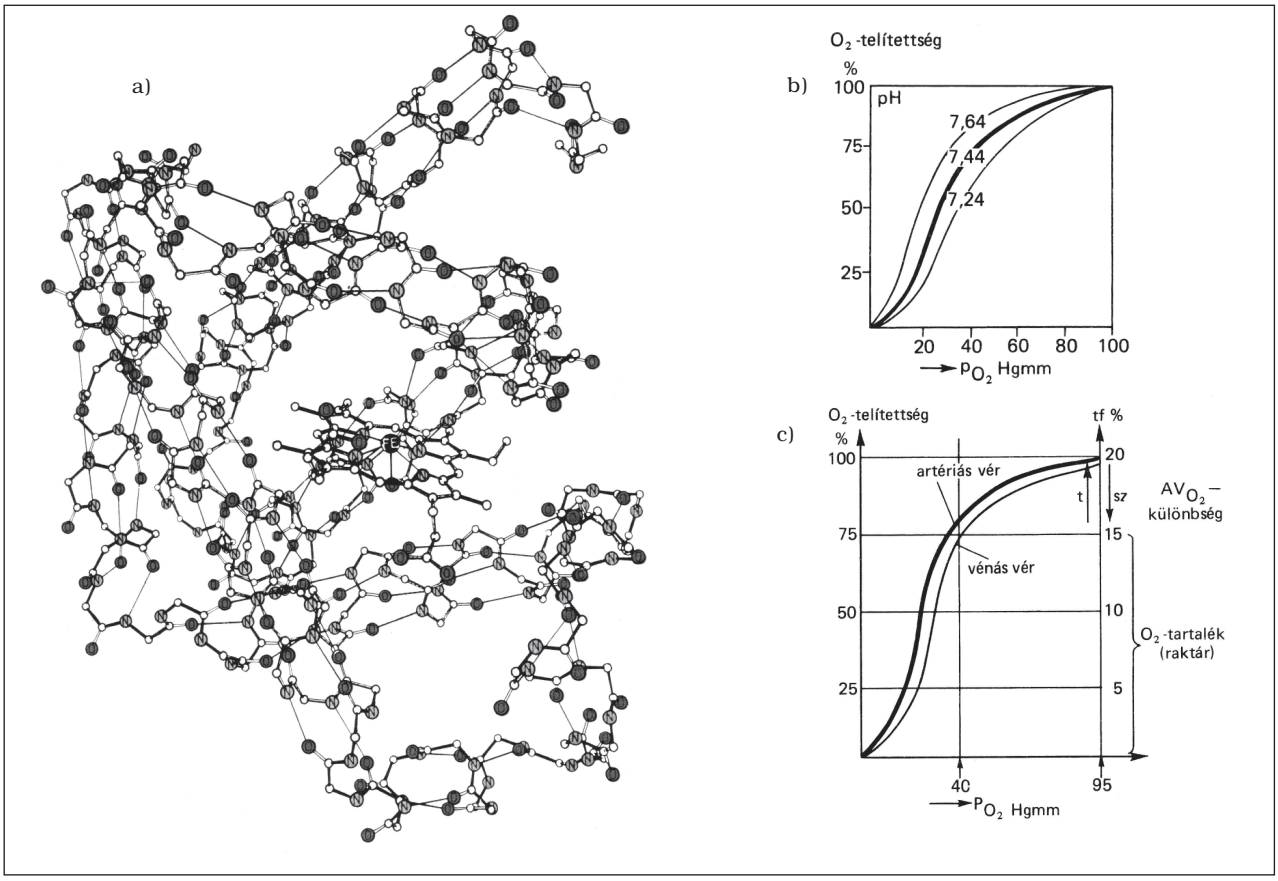
VÖRÖSVÉRSEJT/VÉRTEST

Az emberi vörösvértesteket már 1673-ban fölfedezte és leírta Leeuwenhoek, arra azonban csak jó kétszáz évvel később (1868-ban) jöttek rá, hogy a vöröscsontvelőben képződnek. A sejtek, amelyek létrehozzák őket, sejtmaggal rendelkeznek és kékes árnyalatúak. Többszöri osztódás után azonban színük vörösre változik, és – az emlősök zömében – elvesztik

sejtmagjukat. Az így létrejött, immár osztódásra képtelen vörösvértestek a véráramba kerülnek. A vörösvértestek színét egy vastartalmú fehérje, **a hemoglobin** adja, mely a szárazanyagtartalom 90%-át is teszi ki.

HEMOGLOBIN

← összetett fehérjék XII.8.3



43. ábra. ***A hemoglobinmolekula térbeli szerkezete***

a) A négy alegységből álló összetett fehérjemolekula zsebszerű bemélyedésében közepén látható vas-ion (Fe) köti meg és adja le az oxigénmolekulát.

b) Hemoglobinmolekulák átlagos telítettsége az oxigénkoncentráció függvényében

c) Hemoglobin telítettségi görbéje a környező vérplazma különböző pH-i mellett

A vízszintes tengely az oxigénkoncentrációt (pontosabban az azzal arányos ún. parciális nyomást, pO_2) jelzi, a függőleges tengely pedig azt, hogy az adott koncentráció (és pH) mellett a hemoglobinmolekulák hány %-a tart megkötve oxigént.

HOGYAN DERÜLT FÉNY A HEMOGLOBIN SZEREPÉRE?

A vörösvértestek gázszállításban játszott szerepére akkor derült fény, amikor azonos mennyiségű tiszta víz és vér oxigénmegkötő képességét hasonlították össze. Míg 1 liter tiszta víz kb. 3 ml oxigéngázt tud megkötni, addig ugyanannyi vér 180-200 ml-t. Ha a vérből eltávolítjuk a vörösvértesteket, a maradék oxigénmegkötő képessége nagyjából a víznek megfelelő értékre esik vissza. Hasonló módon igazolható, hogy a vér szén-dioxidból is jóval többet képes magába fogadni, mint a víz.

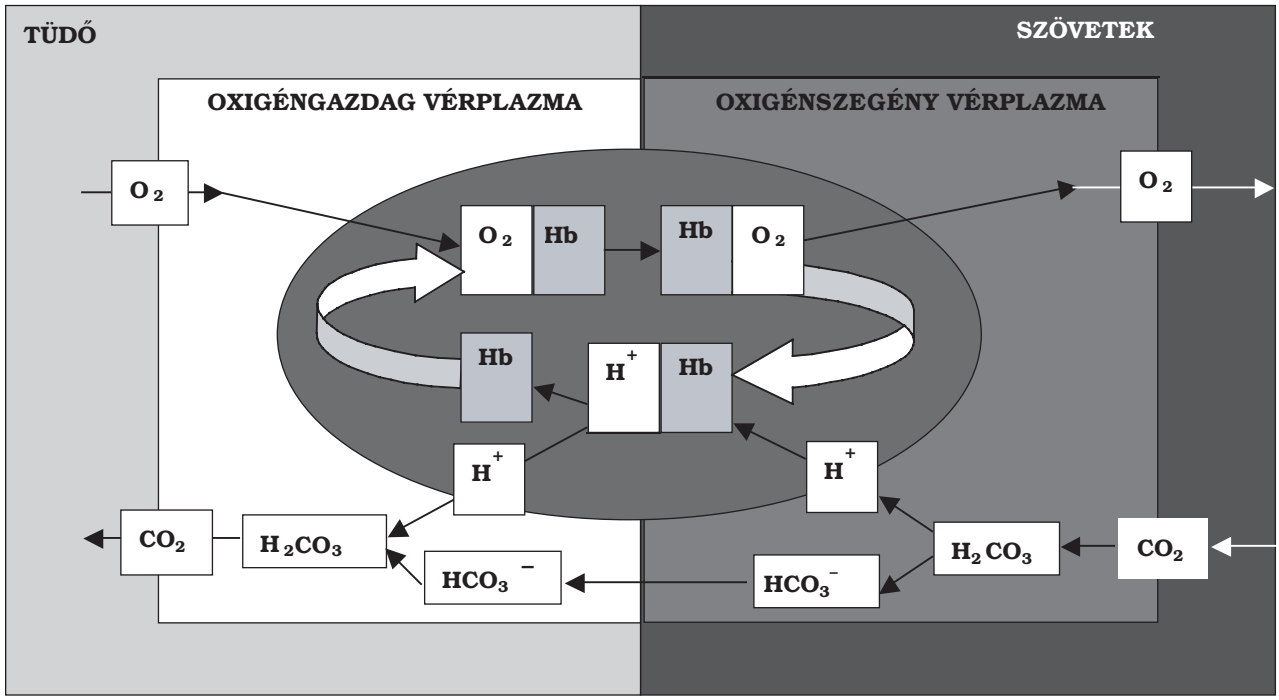
Keresték a vértestben az oxigénszállító molekulát. A kísérlet azt mutatta, hogy a vörösvértestekből kivont **hemoglobin** oldott állapotban is képes az oxigén megkötésére. (Néhány gerinctelen állatban csak így szállít.) A vashiányos táplálkozás miatt fellépő vérszegénység hívta fel a figyelmet arra, hogy a hemoglobinban kötött Fe^{2+}-ionok nélkülözhetetlenek az O_2 szállításában.

CO_2 ÉS AZ O_2 ÖSSZEHANGOLT SZÁLLÍTÁSA

A gázszállítás előfeltétele, hogy a hemoglobin ne csak megkötni, hanem leadni is tudja az oxigént, éppen ott és annyit, ahol és amennyit szükséges. Az is kiderült, hogy a hemoglobin a CO_2-t közvetlenül alig köti meg, szállításáért azonban valami módon mégiscsak felelős. A megoldást az a kísérletsorozat hozta, amelyben azt vizsgálták, hogy a hemoglobin oxigénkötő- és leadó képessége hogyan függ a *közeg kémhatásától*. Az eredményt a 43.b ábra mutatja. A savas közeg tehát kedvez az oxigén leadásának. Ilyenkor a leadott oxigénmolekula helyére hidrogén-ion (H^+) lép. Oxigén megkötésekor fordított folyamat zajlik le. Minél élénkebb az adott szövet anyagcseréje, annál több szén-dioxidot termel, s annál nagyobb az oxigénigénye is. E két folyamat finom összehangolását teszi lehetővé ez a mechanizmus.

← XI.4.3.4

← XIII.3.2–3



44. ábra. ***A vér szén-dioxid- és oxigénszállításának vázlata***
A CO_2 vízben oldásakor oxónium és hidrogénkarbonát-ionok keletkeznek:

(1) $CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$ (szénsav)

(2) $H_2CO_3 + H_2O \rightleftharpoons HCO_3^- + H_3O^+$
(hidrogénkarbonát-ion)

(3) $HCO_3^- + H_2O \rightleftharpoons CO_3^{2-} + H_3O^+$
(karbonát-ion)

A keletkező oxóniumionokat (illetve az abból keletkező hidrogénionokat) szinte felitatja a hemoglobin, s éppen ez a savasodó közeg segíti elő az oxigén leválását. A szén-dioxidot tehát zömmel közvetve, hidrogénionok formájában kötve szállítja a hemoglobin, „udvartartásként" hurcolva maga után a plazmában a hidrogénkarbonát (s részben karbonát) ionokat. E szétszakított molekula csak a tüdőben egyesül ismét szénsavvá, mely rögtön elbomlik. A keletkező szén-dioxid elhagyja a vérplazmát, s a tüdőn át a külvilágba kerül.

← sav-bázis reakciók XI.4.4

← kémiai egyensúlyok IX.3.3.4

7.2.2 Alkalmazkodás és rendellenességek

A VÉRTESTEK SZÁMA

A légzési gázok szállításához megfelelő mennyiségű és minőségű vörösvértest szükséges. Gyakran előfordul – például erőteljes munkavégzés során – hogy a meglévő mennyiség nem elegendő. Ilyenkor a vérraktárakból: belek kapillárisaiból, lépből, májból préselődik ki a tartalék. Ez természetesen csak időleges megoldás: a fokozott igény megszűntével helyreáll az eredeti állapot. Ha azonban állandósul a nagyobb igény – pl. edzésbe kezd a sportoló – akkor a szervezet is tartósan növelni tudja a vörösvértestszámot. Francia kutatók (Carnot és Deflantre, 1906) mutatták ki, hogy a vérképzést hormonális úton (is) szabályozza a szervezet. E kutatók tartósan oxigénszegény környezetben tartott kutyák vérében vörösvértestszám-emelkedést észleltek. Feltételezték, hogy egy vérképzést serkentő anyag jutott vérükbe. Ezekből a kutyákból vért vettek, s annak plazmáját a normális körülmények között tartott (kontroll) állatokba fecskendezték. Ennek hatására ezekben az állatokban is emelkedni kezdett a vértestszám, noha arra semmi szükség nem lett volna. A kutatók azonosították, és **vértestképző hormonnak** (eritropoetinnek) nevezték el az új anyagot. Jóval később (1959-ben) bizonyították be, hogy ez a hormon jórészt a vesékben képződik.

ALKALMAZKODÁS

→ doppingszerek veszélye XVIII.2.3

→ hormonok XVIII.2.1

VÉRSZEGÉNYSÉG

Ha a vértestek száma valami okból tartósan és túlságosan lecsökken, **vérszegénység** (**anémia**) alakul ki. A vérszegény ember fáradt, erőtlen, sápadt, szédül, feje könnyen megfájdul, komoly fizikai és szellemi munkára nem képes. Régi megfigyelés volt, hogy máj fogyasztása gyakran enyhíti e tüneteket. Kiderült, hogy ennek oka kettős. Egyrészt a máj sok vasat (vasiont) gyűjt össze, ami a hemoglobin képzéséhez nélkülözhetetlen. Másrészt fölhalmozza a B_{12}-vitamint is, ami a vas felszívódását és a hemoglobin képzését serkenti. A vas- és B_{12}-vitaminhiány változatos táplálkozással, vagy mesterséges úton, tabletták segítségével is megszüntethető.

← enzimmérgek XII.8.3.6

SARLÓSEJTES VÉRSZEGÉNYSÉG

Előfordulhat az is, hogy a vörösvértestek száma normális, de a bennük levő hemoglobin működésképtelen. Ez a helyzet például **szén-monoxid-mérgezéskor**. A szén-monoxid (CO) jóval erősebben kötődik a hemoglobinhoz, mint az oxigén, így azt valósággal leszorítja onnét. A mérgezetten magas oxigéntartalmú levegő belélegeztetésével lehet segíteni (oxigénsátor), de vérátömlesztés is szükséges lehet. A hemoglobin öröklött betegség következtében is működésképtelenné válhat. Trópusokon terjedt el a sarlósejtes vérszegénység, melynek súlyos formája bármilyen komoly fizikai munkát lehetetlenné tesz, ezért – különösen régebben – sokszor halálos volt. Enyhébb változatában a vértestek oxigénhiányban jellegzetes sarló alakú görbült formát vesznek fel. A hibás hemoglobin mindössze egy aminosavban tér el a normálistól. Ez azonban már elég ahhoz, hogy megváltozott térszerkezete következtében ne (vagy alig) kösse az oxigént.

→ öröklése XXIII.

→ elterjedésének oka XXVII.

NITRÁTOS VÍZ

A magzat és a kisgyermek hemoglobinja kissé eltér a felnőttekétől, és vörösvértestjeik anyagcseréje is más. Ennek veszélyes következménye, hogy a vízben levő nitrát (NO_3^-) ionok már kis mennyiségben is működésképtelenné teszik (ún. met-hemoglobinná alakítják át). A tisztának látszó, de (például túlzott műtrágyázás következtében) szennyezett, **nitrátos kútvíz** fogyasztása ezért felnőtt szervezetben nem tesz komoly kárt, a csecsemőknek viszont fulladással járó met-hemoglobinémiát okoz.

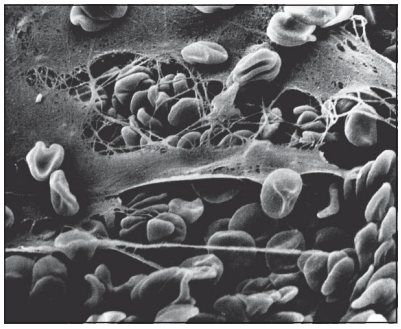
→ a nitrogén körforgás a természetben XXII–XXVI.

7.3 A véralvadás

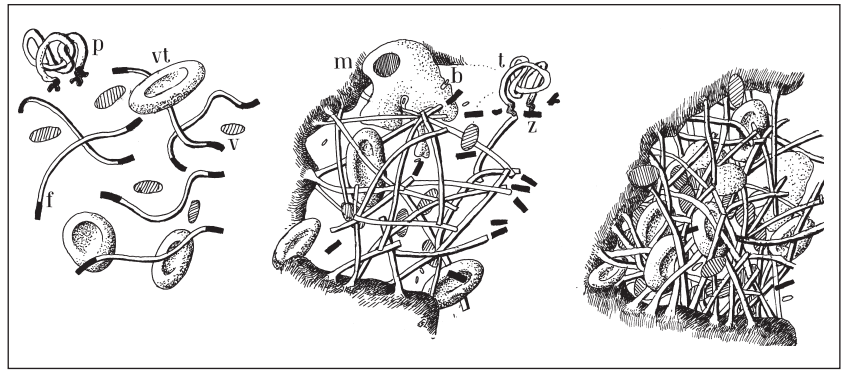
VÉRLEMEZKÉK ÉS VÉRALVADÁS

← a vérzéscsillapítás módjai X.4.3.5

A vér alakos elemei közül a vérlemezkéket a XIX. század közepén vették észre (1844, Donne), de csak a század végén figyeltek föl arra, hogy a véralvadás ezeknek a lemezeknek az összecsapódásával és szétesésével jár együtt. Feladata az, hogy a sérült érfal épségét minél gyorsabban helyreállítsa. Egészen apró sérülések, horzsolások esetén elegendő csupán a vérlemezkék tömörülése és az érfal összehúzódása, súlyosabb esetben azonban egy ragacsos és ruganyos háló keletkezik, s ezen akadnak fenn az alakos elemek, mintegy önnön testükkel falazva be a nyílást.



46. ábra. ***Kialakuló fibrinháló és a benne fönnakadó vörösvértestek tömege.***
Lennart Nilsson pásztázó elektronmikroszkópos felvétele



45. ábra. ***A véralvadás mechanizmusa***
A) A vér plazmája oldva tartalmazza a fibrinogén molekulákat (f) és a protrombint (p).
B) A sérült felületből és a vérlemezkékből kiszabaduló anyagok hatására a protrombin aktiválódik trombinná (t), amely leválasztja a fibrinogénről a zárószakaszt (z). Az így létrejött fibrinszálak ragacsos hálót alkotnak. A képen feltűnik egy falósejt is (m = makrofág), mely a sérüléskor bekerült baktériumokat (b) kebelezi be.
C) Kialakult a vérlepény: a fibrinhálón fennakadt alakos elemek, a vörös vértestek (vt) és és vérlemezkék (v) alkotják a fő tömegét.

A LÉPCSŐZETES ERŐSÍTÉS MECHANIZMUSA

← fehérjék koagulációja XII.9.3

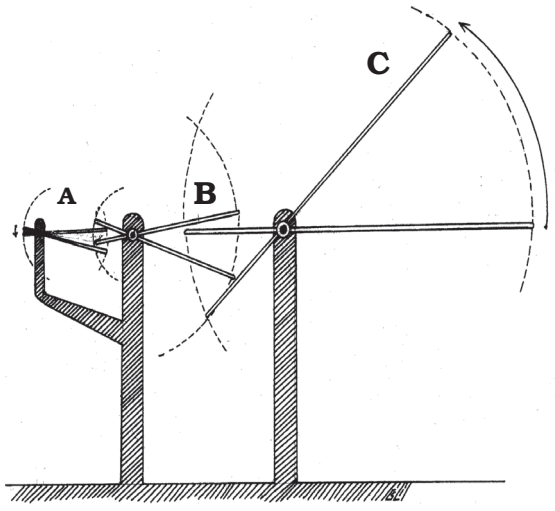
→ a kalcium-anyagcsere szabályozása XVIII.2.3.1

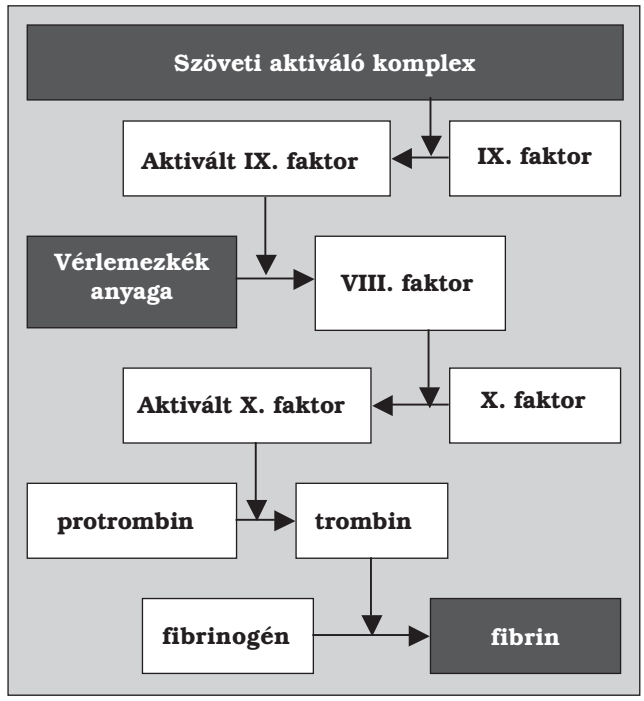
VÉRALVADÁSI FAKTOROK

LÉPCSŐZETES ERŐSÍTÉS

A hálót egy vérplazmából kicsapódó fehérje, a **fibrin** alkotja. Amíg nem indul meg a véralvadás, a fibrin sem létezik, csak ennek előanyaga, a fibrinogén (szó szerint: fibrinképző) kering oldva a vérben. Az átalakulás során egy szakasz lehasad róla, s az ennek következtében ragadóssá vált fibrinszálak végei összetapadnak, létrehozva így a fehérjehálót. Mi váltja ki ezt a reakciót? Az eredeti vérplazma nem, de véralvadás előtt keletkezik benne egy anyag, ami elindítja a folyamatot. Kimutatták, hogy egy **protrombin** nevű fehérjéből – hasonlóan a fibrinogénhez – egy szakasz lehasadásával aktív fehérje, **trombin** keletkezik. A trombin (Ca^{2+}-ionok jelenlétében) enzimként katalizálja a fibrinogén – fibrin átalakulást. De mi mozdítja elő a protrombin – trombin reakciót? A további – ma is folyó – kutatások egy sor tényezőt, úgynevezett véralvadási faktort mutattak ki, melyek egy része a **sérült érfalból,** más része viszont **a vérlemezkékből** szabadul fel. A bonyolult folyamatot – egyszerűsítve – a 47. ábra szemlélteti.

A mechanizmus érdekessége, hogy az egyes lépések egymást erősítik, gyorsítják, így végül robbanásszerű hevességgel mehet végbe az alvadás. Az ilyen folyamatot **lépcsőzetes erősítésnek** vagy kaszkád rendszernek nevezik. Figyelembe véve ezt az érzékeny rendszert, a kutatók előtt egyre inkább az vált csodálatossá, hogy miért *áll meg egyáltalán* a folyamat? Az elkerülhetetlenül keletkező kisebb sérülések következtében miért nem ke-





47. ábra.
a) A véralvadásban szerepet játszó fontosabb anyagok és ezek egymásra hatása, mint önerősítő folyamat
b) A véralvadás erősítő (kaszkád) mechanizmusának mechanikai modellje
A kicsiny elmozdulás az A pálcikán fölerősödik a B-n, és egészen gyorssá, hatékonnyá válik a C-n.

letkeznek lépten-nyomon alvadt vérrögök (trombusok) az erekben? Föl kellett tételezni egy alvadást gátló rendszert is. A várakozásoknak megfelelően valóban azonosítottak több, a véralvadást akadályozó illetve a vérrögöket feloldó anyagot, melyet a máj termel. Normális esetben a serkentő és a gátló rendszer rövid időn belül egyensúlyba kerül, így a folyamat csak a szükséges mértékig megy végbe. E finom egyensúly felborulása súlyos betegségekhez vezet.

ALVADÁSGÁTLÓ RENDSZER

Ha a láncolatból bármelyik tag hiányzik vagy működésképtelen, akkor az egész folyamat megáll, vagy vontatottá válik (hemofília, vérzékenység). A **vérzékenység** – enyhébb esetben – csak fokozott érzékenységgel jár. Súlyos formája az apró és nem gyógyuló vérzések miatt állandó ízületi gyulladásokhoz, s ennek következtében a porc- és csontrendszer pusztulásához vezet. Kialakulhat vitaminhiány (pl. K-vitamin hiány) következtében, de öröklődő betegségként is.

VÉRZÉKENYSÉG

→ öröklődése XXIII.

Veszélyes betegség a **trombózis**. Ekkor az érben vérrög (trombus) keletkezik, ami nem oldódik fel, viszont leszakadva tovasodródhat. Útja során előbb-utóbb megakad az érfal valamilyen egyenetlenségén (a zsíros táplálkozás következtében kialakuló ún. szklerotikus plakkok lehetnek ilyenek). Így keletkezik az eret elzáró **embólia**. Az elzáródott ér által korábban ellátott szövet hamarosan elhal: **infarktus** keletkezik. A szívet tápláló koszorúerek elzáródása miatti szívinfarktus hazánkban ma a leggyakoribb halálok.

TROMBÓZIS

← az infarktus jelei X.4.3.5

Summa (7.)

Az emberi vért a folyékony vérplazma és az alakos elemek (vörös vértest, fehér vérsejt, vérlemezkék) alkotják.

A vörös vértest az oxigén és – közvetett módon – a széndioxid szállításában vesz részt (hemoglobin). E két gáz kötése és leadása a közeg pH-jától is függ: savasodó környezetben az oxigénkötés kevésbé intenzív. A vörös vértestek számát a nem, a kor, az erőnlét, s a levegő oxigéntartalma befolyásolja.

A vérlemezkék a véralvadásban játszanak szerepet (aktiváló faktorok kibocsátása). Az aktiválás hatására a plazmában oldott protrombin fehérje aktív trombinná, a trombin hatására pedig a fibrinogén aktív, „ragadós végű" fibrinné alakul át. (Kaszkád mechanizmus). A keletkező fibrinhálón megtapadó alakos elemek tömik el a vér útját. Ha a véralvadás mechanizmusa kevéssé működik, vérzékenység, ha pedig túl érzékeny, trombózisveszély fenyeget.

Problémák, feladatok (7.)

1. Egy-egy vörösvértest felszíne $1{,}28 \cdot 10^{-4}$ mm^2. Figyelembe véve, hogy teljes vérmennyiségünk kb. 2/5-e vörösvértest, mekkora egy emberben a vörösvértestek összfelülete?

2. Ismerve a vörösvértestek átlagos élettartamát (ld. táblázat): hány vörösvértest pusztul el illetve keletkezik naponta egy ember szervezetében?

3. Egy Andokban élő kecsua indián vörösvértestszáma jelentősen eltér a miénkétől. Más a testalkata is: széles mellkas, nagy térfogatú tüdő jellemzi. Mi a különbségek oka? Vajon öröklődő jellegzetességről van szó? Hogyan igazolható ez? Mi történik egy síksági indián szervezetében, ha meglátogatja hegyvidéki rokonát?

4. A nők körében sokkal gyakoribb a vashiányos vérszegénység, mint a férfiakéban. Mi a különbség oka?

5. Mi a szerepe a Cl^--ionoknak a vörös vértestek gázszállításában?

6. Ismerve a CO-mérgezés okát és azt, hogy megszüntetése hogyan lehetséges, rajzoljuk fel a vörösvértest CO-kötésének hozzávetőleges görbéjét!

7. A gerinctelenek nagy részében vagy nincs véralvadás, vagy másként és sokkal lassabban megy végbe. Mivel magyarázható a különbség?

8. A kiválasztás

8.1 Elválasztás és kiválasztás

Az élőlények sokkal több anyagot vesznek fel, mint amennyivel – ugyanezen idő alatt – testsúlyuk gyarapszik. A különbség távozik a szervezetből. Táplálékaink meg nem emésztett anyagai (például a növényi rostok) a széklettel ürülnek. A felszívódó hányad – tápanyag, víz, só – a keringési rendszerbe, majd a sejtekbe kerül, s ott az anyagcsere-folyamatok során részben átalakul. A termékek egy része a szervezet többi sejtje számára hasznosítható, valami *funkciója van*. Az ilyen anyagokat termelő sejteket váladéktermelő mirigysejteknek, a folyamatot **elválasztásnak (szekréciónak**) nevezik. Az elválasztott anyag visszakerülhet a testnedvbe – ezek a hormonok – ekkor **belső elválasztásról** beszélünk. Ha a váladék kivezető csövön keresztül a bélcsatornába vagy a test felszínére ürül: ez **külső elválasztás**. Az emésztőmirigyek és a verejtékmirigyek külső elválasztásúak.

KÜLSŐ ÉS BELSŐ ELVÁLASZTÁS

A sejtekben keletkező, a szervezet számára *szükségtelen vagy éppen mérgező* anyagokat távolítja el a testnedvből a **kiválasztó szervrendszer**. A folyamat: **kiválasztás (exkréció).** Elválasztás és kiválasztás közti határvonal sokszor nem éles. A verejtékben például a vízen kívül sok méreganyag, só is távozik, ezért a verejtékmirigyeket kiválasztószervnek *is* lehet tekinteni. A tipikus kiválasztási terméknek tartott vizelet számos szaganyagot tartalmaz, aminek fontos funkciója lehet (például a kutyák területjelzésre használják). Tovább bonyolítja a meghatározást, hogy a szükségtelen vagy mérgező anyagok egy része néha úgy lép ki a keringési rendszerből, hogy a szervezeten belül marad. Ilyenek például a máj által raktározott mérgek, vagy a csontokban felhalmozódó ólom. Néha ezt a folyamatot is kiválasztásnak nevezik, bár pontosabb lenne raktározásnak mondani.

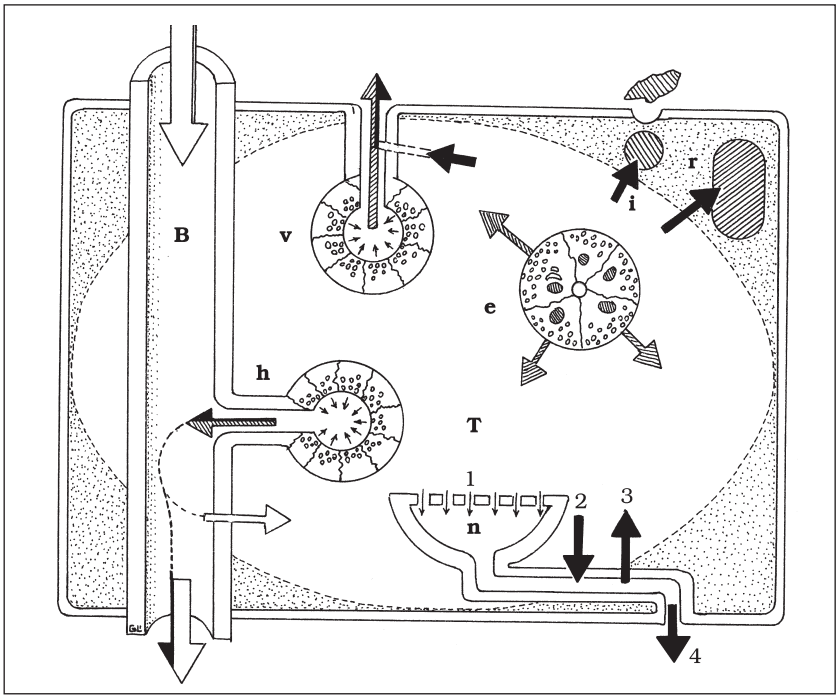
→ a belső elválasztás részletes leírása XVIII.2

KIVÁLASZTÁS

→ a bőr felépítése XVIII.3.2.7

→ territórium XVI.4.5.1

← XIII.6.2



48. ábra. ***Elválasztás és kiválasztás kapcsolata sematikusan***
A belső elválasztású (endokrin) mirigyek (e) a testnedvbe (T) juttatják hormonjaikat. A külső elválasztású mirigyek egy része – például a verejtékmirigy (v) – a test felszínére, mások – például a hasnyálmirigy (h) – az emésztőnedvekkel a bélcsatornába (B) juttatják váladékukat (sávozott nyilak). Ez utóbbiak nagy része később visszaszívódik a szervezetbe (fehér nyíl), kisebb részük azonban távozhat, mint pl. az epe bilirubinja (szaggatott vonal).
A vese alapegységeiben, a nefronokban (n) három lépcsőben zajlik a kiválasztás. 1. szűrletképződés, 2. aktív kiválasztás 3. visszaszívás. A képződött vizelet kiürül: 4. A szervezet tartósan kivonhatja a keringésből az anyagok egy részét: raktározás (r). Ez lehet ideiglenes is (i), ha az anyag előbb-utóbb lelökődik (pl. vedlés során). Kiválasztott anyagok kerülhetnek a külső elválasztású mirigyek váladékába is (szaggatott nyíl).

8.2 Kiválasztás az élővilágban

← 28. ábra (XIII.4.3)

A növények sejtjeiben gyakran figyelhetők meg szilárd kristályok – zárványok –, és folyadékkal telt üregek – vakuolumok. Gyakori, hogy ezek száma, térfogata egyre nő, míg végül a sejt elpusztul, s ezen anyagok „raktárává" válik. E folyamatot – ha egyirányú – kiválasztásnak nevezhetjük.

NÖVÉNYEK

LÜKTETŐ ŰRÖCSKÉK

Az állatvilágban az egysejtű papucsállatkában megfigyelhető lüktető űröcskék fő feladata a víz kipumpálása a sejtből. A papucsállatka ozmózisnyomása nagyobb, mint a környező vízé, ezért folyamatosan víz áramlik be, ezt kell eltávolítania (ozmoreguláció).

← IX. 4.2.4

A többsejtű állatok kiválasztó szervei alapvetően azonos felépítésűek. Mindegyikre jellemző egy hosszú cső, melyben folyadék áramlik a külvilág felé. A cső falának sejtjei anyagokat juttatnak ebbe a folyadékba (aktív kiválasztás) és anyagokat szívnak fel onnét (visszaszívás). A két folyamat eredményeként jön létre a **vizelet**. Sok állatban e két lépést megelőzi a testnedv molekuláris szűrése. Így keletkezik a **szűrlet**. Összetételét megszabja a szűrő pórusátmérője – csak kis molekulák juthatnak át, a testnedvre jellemző arányban, függetlenül attól, hogy közülük mire van szükség és mire nincs. Az aktív kiválasztás és a visszaszívás ekkor a szűrlet mennyiségét és összetételét módosítja.

SZŰRLET ÉS VIZELET

← aktív transzport XIII.4.2.1

MALPHIGHI EDÉNYEK

A kiválasztószervek rovarokban a közép- és utóbél határán a bélcsatornába nyílnak (Malpighi-edények). A többi állatban önálló kivezetőnyílása van, vagy az ivarszervekkel közösen torkollik a külvilágba.

8.3 Az emberi vese működése

8.3.1 Fölépítése

VESE

A **vese** páros, bab alakú szerv a hasüregben, a gerincoszlop két oldalán. Noha súlyuk nem nagy (együtt kb. 700 gramm), a teljes vérmennyiség 1/5-e áramlik át rajtuk. Szabad szemmel is jól látható részei a kéreg- és velőállomány, valamint a vesemedence. A vizelet innen a páros húgyvezetéken keresztül a tágulékony falú húgyhólyagba jut. Ez a szerv 1-2 liter folyadék tárolására is képes. A vizelet a páratlan húgycsövön keresztül jut a külvilágba. A húgyhólyag és a húgycső határán vastag simaizomgyűrű, és egy harántcsíkolt izmokból álló gyűrű teszi lehetővé a vizelet visszatartását. Az ürítés a húgyhólyag és a húgycső harántcsíkolt és simaizomzatának összehúzódása és elernyedése révén megy végbe. A hím emlősökben a kiválasztó és a nemi szervek szoros egységet alkotnak (urogentális apparátus).

← izomszövetek X.1.3

A húgycső könnyen lehet **fertőzések** útja. Ennek esélye nőkben nagyobb, mert a húgycső bennük rövidebb. A nemi szervekkel való kapcsolata miatt a kiválasztó szervrendszert nemi betegségek is megtámadhatják.

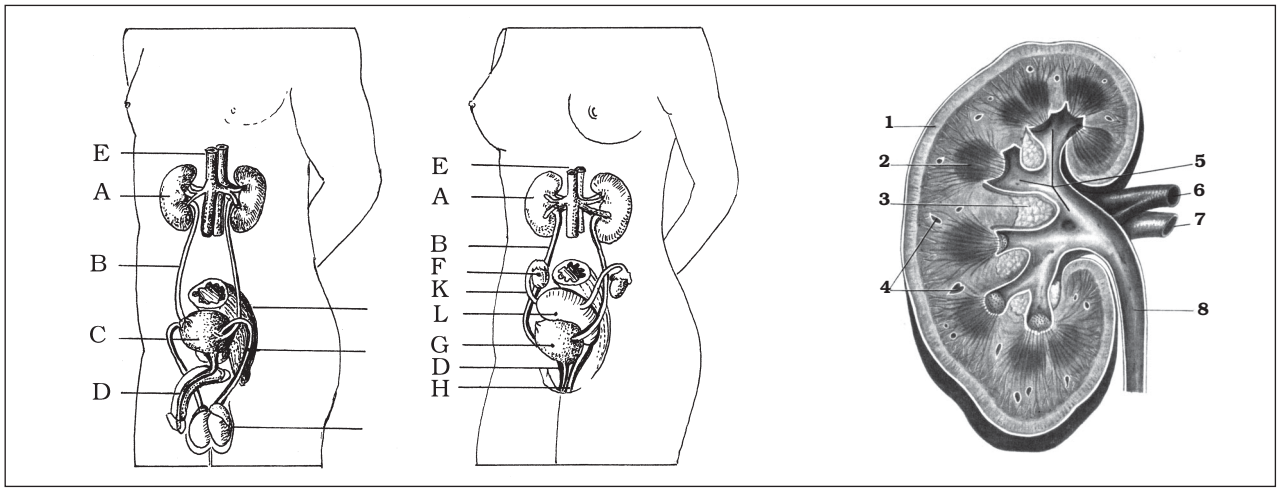
→ nemi működések XXIV.

VESEKŐ

A **vesekő (húgykő)** többnyire akkor alakul ki, ha a vesemedencében valami okból pang a vizelet. Létrejöttét elősegítheti A és D-vitamin hiány (és többlet) is. A képződött „kő" fehérjevázra rakódott sókból: kalcium karbonátból, foszfátból vagy oxalátból áll. Igen fájdalmas lehet, mert a húgyvezetékbe kerülve annak falát fölsértheti, s a görcsös összehúzódás miatt el is zárhatja a vezetéket. Eltávolítható mechanikailag (széttörik), újabban ultrahangos módszerrel próbálkoznak.

→ ultrahang XIV.2.4

Galénosz már igazolta, hogy a vizeletet a vese termeli. A vesemedencében keletkező folyadék összetétele és mennyisége a továbbiakban már nem változik. Összetételét Berzelius (1809) pontosan meghatározta. Francia kutatók a XIX. század első felében vizsgálták, hogy hogyan hat a kísérleti állat vérének összetételére a vesék eltávolítása. Azt tapasztalták,

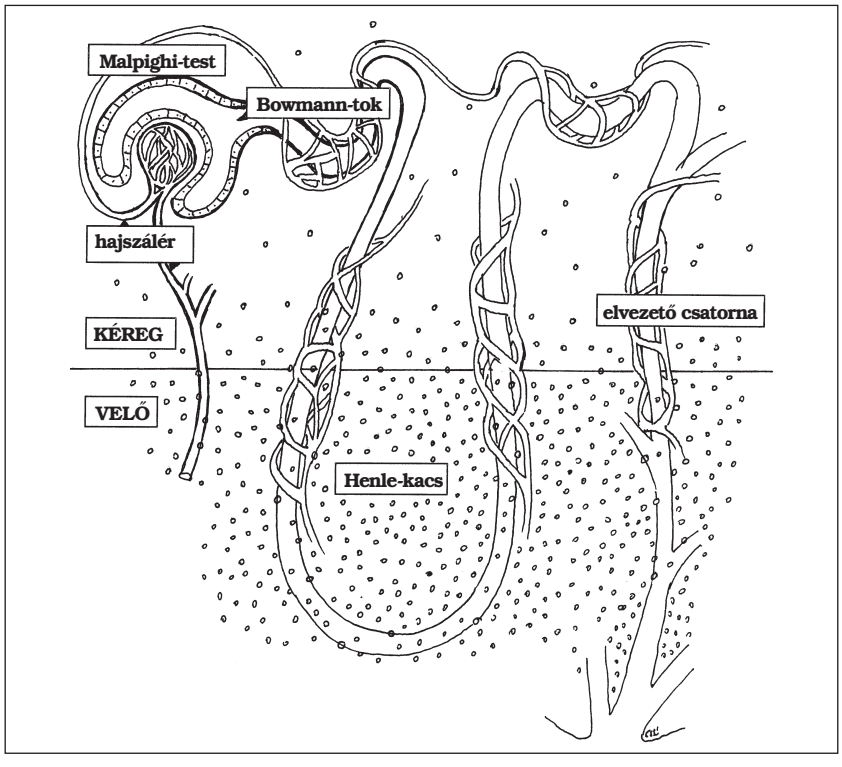


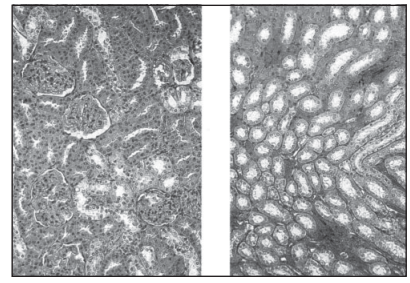
49. ábra ***a) Az ember kiválasztó szervrendszerének részei férfiakban és nőkben***
A: vese; B: húgyvezeték, C: húgyhólyag, D: húgycső, E: vérerek, F: petefészek, G: méh, H: hüvely
b) A vese fölépítése 1. kéregállomány; 2. vesepiramis, 3. Zsírszövet, 4. Erek, 5. Vesekelyhek és vesemedence (lent), 6. Artéria, 7. véna, 8. húgyvezeték

hogy a karbamidszint megnőtt, s az állat hamarosan elpusztult. A továbblépést a mikroszkópos vizsgálatok eredményei hozták. Az olasz Marcello Malpighi 1665-ben megfigyelte, hogy a vese hosszú (kb 5 cm-es) csövecskék szövevénye, s a csövek végén „becsomagolt" hajszálér-gomolyagok találhatók. Azt is megfigyelte, hogy a csöveket gazdagon elágazó vérérhálózat borítja. A vese Malpighi által fölfedezett alapegységeit ma **nefronnak** nevezik. Az emberben a számuk milliós nagyságrendű.

← a hajszálerek fölfedezése X.4.2.1

NEFRON





50. ábra. ***Mai mikroszkópos képek a vese felépítéséről.***
Jól láthatók a vesetestecskék és a csatornák (mivel ez utóbbiak tekervényes lefutásúak, egyetlen sík akár többször is metszhet egy nefront).

51. ábra. ***Egy nefron felépítése***
A nefront vérerek hálózzák be (ezeknek csak egy-egy szakaszát jelöli az ábra). A körök: Na^+-ionok. A Bowman-tok és a hajszálérgomolyag együtt alkotják a vesetestecskét. A csatorna elvezető része a vesemedencébe vezet.

8.3.2 A vese működése

A vese mikroszkópos képét sokáig nem tudták értelmezni. A XIX. század kémiai tudása és kísérleti technikája kellett ahhoz, hogy az anatómiai formákhoz a funkciót is megtalálják. Az angol Bowman mutatta ki (1842), hogy a Malpighi testecskék a **szűrletképződés helyei**: a hajszálérgomolyagból kipréselődő folyadék itt jut be a nefron kezdeti, kiszélesedő szakaszába (a Bowman-tokba). A hajszálérgomolyag különlegesen nagy felületű artéria-artéria kapilláris: az érgomolyagok összfelülete kb. 3,2 km²! A kipréselő nyomást az biztosítja, hogy az elvezető artéria átmérője kisebb, mint az odavezetőé. Bravúros kísérleti technikával, nagyon finom üvegkapillárisba felszívott minták elemzésével vizsgálták meg a szűrlet összetételét: fehérjementes vérplazma.

SZŰRLETKÉPZŐDÉS

← kapillárisok X.4.3

A VISSZASZÍVÁS MÓDJA

Számítások útján következtetni lehetett a képződő szűrlet mennyiségére is: kb. napi 180 liter. Mivel a vizelet átlagos mennyisége csak 1,5 l/nap, a keletkező szűrlet 99%-a szükségképp visszaszívódik. Bowman és kortársai úgy gondolták, hogy a nefron további, kanyargós csatornájának éppen ez a feladata. Későbbi mérések azt mutatták, hogy a helyzet ennél jóval bonyolultabb. Igaz ugyan, hogy a víz nagy része visszaszívódik, de nem *csak* ez zajlik le. Bizonyos anyagok teljesen eltűnnek a szűrletből (mint pl. a glükóz), mások koncentrációja viszont jelentős változásokon megy át (karbamid). Ez arra utalt, hogy a vesecsatornákban aktív transzportfolyamatok mennek végbe. Ezt a sejtést 1930-ban igazolták kísérletileg. Ha a vesét KCN-el (kálium-cianiddal) mérgezték, a vizelet mennyisége és összetétele a szűrletéhez közelített. Ekkor már tudták, hogy a KCN az egyik olyan enzim működését gátolja, amelyik az ATP szintézisében vesz részt. A szervezet számára szükséges anyagok visszaszívása tehát energiaigényes folyamat.

← aktív transzport XIII.4.2.1

← végső oxidáció XIII.3.2.3

Abból, hogy a KCN-es mérgezés után a vizelet vízmennyisége is jelentősen nőtt, arra lehetett következtetni, hogy a víz visszaszívása is energiaigényes folyamattal van kapcsolatban. Ennek mechanizmusát érdekes megfigyelés világította meg. A normális vesecsatornák Na^+-koncentrációja a velőállományban jóval nagyobb, mint a kéregben és mint a nefron belsejében. A cianidos mérgezés után ez a koncentrációkülönbség megszűnik. A nefron kéregállományban levő szakasza, az úgynevezett „hajtűkanyar” (Henle-kacs) tehát aktív transzporttal juttatja a Na^+-ionokat a nefronból annak környezetébe. Így nagy ozmózisnyomású, jelentős szívóerővel rendelkező tér jön létre. A víz ezután már külön energiabefektetés nélkül áramlik ki a nefronból – amennyiben módja van rá. A vizsgálatok szerint a csatorna elvezető szakaszának fala, mely a nagy ozmózisnyomású velőállományon halad át – szabályozható mértékben ereszti át a vizet. Ez lehetővé teszi, hogy a szervezet igényeitől függően – hormonális úton – csökkentse vagy növelje a vizelet mennyiségét, víztartalmát.

„NÁTRIUM-PUMPA”

← XIII.4.2.1

→ az idegsejt határán XVIII.3.1.2

← IX.4.2.4

Néhány anyag mennyiségének változása a vesében a szűrletben található mennyiséget 100%-nak tekintve

A nefron része	Víz	Glükóz	Nátrium-ion	Karbamid
Szűrlet	100	100	100	100
Henle-kacs	15	0	36	258
Gyűjtőcsatorna kezdete	9	0	3	96
Gyűjtőcsatorna vége	0,5	0	0,25	45
Vizelet	0,5	0	0,25	45

Summa (8)

A kiválasztás a szervezet számára már szükségtelen, az elválasztás pedig valamilyen funkciót betöltő anyag termelése, elkülönítése. A belső elválasztású mirigyek a testnedvbe juttatják váladékukat (hormonok), a külső elválasztásúak a bélcsatornába vagy a test felszínére.

A kiválasztás történhet raktározással (növények, máj, csontok) vagy a szükségtelen anyagok eltávolításával (vese).

A vese először megszűri a testnedvet (szűrletképzés), majd a vese csatornácskáiban aktív transzporttal visszaszív és kiválaszt anyagokat. A visszaszívott víz mennyisége a vesevelő ozmotikus koncentrációjától (Na^+-pumpa) és az elvezető csatorna falának áteresztőképességétől függ.

A képződő vizelet a vesemedencéből a húgyvezetéken át a húgyhólyagba kerül, majd a húgycsövön át hagyja el a testet.

Kérdések, problémák (8)

1. A rovarporzású virágok többnyire édes nedvet, nektárt termelnek. A rovaremésztő harmatfű emésztőnedvet állít elő, a citromfélékben illóolajtartó sejtek alakulnak ki. Elválasztó vagy kiválasztó működések ezek?

2. Részeg ember bűzlik az alkoholtól, a megrögzött dohányos bőre nikotinszagú. Kiválasztás-e ez a két folyamat?

3. A tengeri papucsállatkákban nincs lüktető űröcske. Mi lehet ennek az oka? Mit tapasztalunk, ha édesvízi papucsállatkát tengervízbe helyezünk? Mi történik egy tengeri egysejtűvel édesvízben?

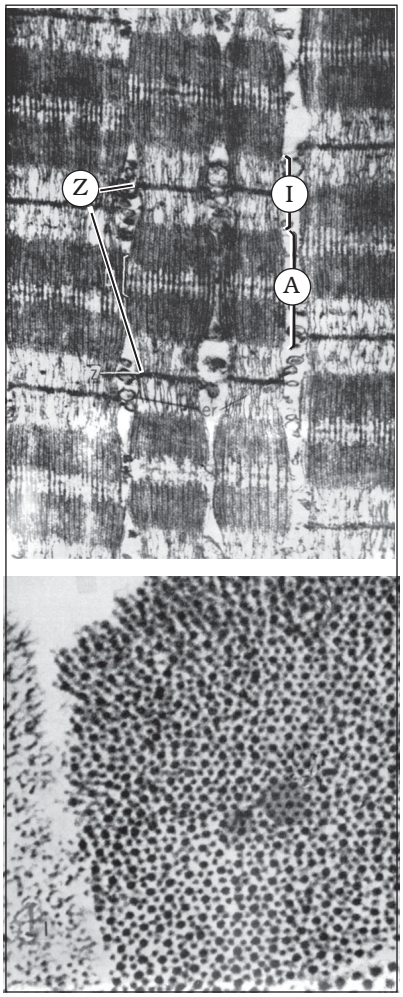
4. Az édesvízi és a tengeri halak egyaránt képesek aktív sótranszportra kopoltyúikon keresztül és híg vagy tömény vizelet kibocsátására, ezenkívül ihatnak is a körülvevő vízből.
   a) A tengeri csontoshalak ozmotikus nyomása a tengervíznél kisebb, ezért testükből folyamatosan vizet veszítenek. Hogyan védekezhetnek ez ellen? Milyen összetételű és mennyiségű a vizeletük?
   b) Az édesvízi halak viszont nagyobb ozmotikus nyomásúak a környezetüknél. Milyen következménye van ennek?

5. Vajon a kiválasztás az élőlény tökéletlen anyagcseréjének a jele? Létezhet-e olyan élőlény, amelyik nem választ ki, hanem a táplálékát tökéletesen feldolgozza?

9. Az izomműködés biokémiája

9.1 A kérdésfölvetés

← XI.3.1



52. ábra.

a) A harántcsíkolat hosszmetszetben elektronmikroszkópos képen. Jól látszik a sötét „A" sávok közepén a világosabb „H" sáv, és az izomegységek (szarkomérák) határát jelző sötét „Z" lemez. Ebben rögzülnek az aktin molekulák.

b) Ugyanez keresztmetszeti képen. A nagy pontok a miozinmolekulák, melyeket hatszöges alakzatban vesznek körül a kicsiny aktinok.

Az izomműködés a legfeltűnőbb életjelenség. Biokémiai alapjai régóta izgatták a kutatók fantáziáját. Galvani híres békacomb-kísérletei nemcsak az elektromosság és az izommozgás kapcsolatára derítettek fényt, hanem arra is, hogy az izom mozgásai az élő szervezettől elkülönítve is vizsgálhatóak. Később olyan készüléket – kimográfot – szerkesztettek, amellyel egy felfüggesztett izomrost rángásainak idejét és mértékét is rögzíteni tudták.

A mérések során nyilvánvaló lett, hogy az izom működésének Galénosz óta elfogadott „fújtató-modellje" nem tartható tovább. Nemcsak az derült ki, hogy az izmokba sem az ereken, sem az idegeken át nem juthat levegő, hanem az is, hogy az izom megrövidülése valójában nem jár térfogatváltozással.

„A vegyületek felfúvó hatásáról és robbanékonyságáról szóló elméletek lassanként el fognak hallgatni a következő kísérlet hatására. Vegyünk egy megfelelő méretű és köbtartalmú hosszú üveghengert. Ebbe helyezzünk el egy kisebb csövet. A henger szájába valaki benyújtja meztelen karját, majd a hengert megtöltjük vízzel és elzárjuk úgy, hogy az ne folyhasson ki a végtag mellett. Mármost, ha az illető megfeszíti és elernyeszti a karizmait, azt látjuk, hogy a víz szintje a csőben nem változik. Ebből pedig az következik, hogy az izmok összehúzódáskor nem növelheti térfogatukat. Nyilvánvaló tehát a következtetés, hogy az izmok valamilyen belső mozgás hatására megrövidülnek, és semmi szükség animális vagy vitális áramlatok felfúvó hatására."

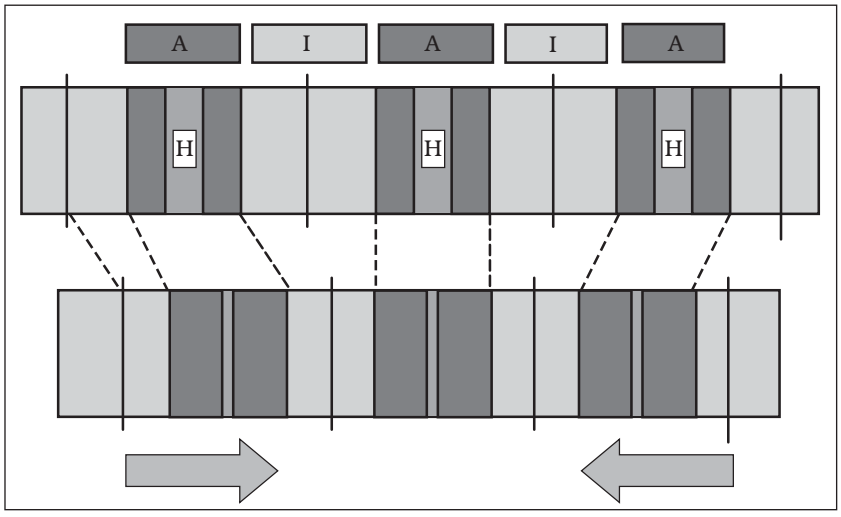
Francis Glisson: Tractatus (1672)

Hogyan jön létre ez az összehúzódás? A kutatások két irányban indultak meg. Voltak, akik az izom mikroszkopikus szerkezetét, mások a kémiai összetételét vizsgálták.

9.2 A mikroszkópos szerkezet

A mikroszkóp megmutatta, hogy izmaink egy része sejtekből áll (simaizmok), a harántcsíkolt izomszövet pedig hosszan elnyúló **rostokból**. A rostok belsejében sok sejtmag, mitokondriumok és más sejtszervecskék találhatók, kívülről sejtmembrán határolja. Az izomrost óriási és különös sejtnek tekinthető, mely valószínűleg sok sejt összeolvadásából jött létre. Legjellegzetesebb a mintázata: világos és sötét csíkok jellegzetes sorozata, ami harántcsíkolatként fut rajta végig. Belsejében párhuzamosan futó **izomfonalakat (miofibrillumokat)** figyeltek meg. A harántcsíkolatot *ezek* szabályos szerkezete adja.

A működés szempontjából alapvető fontosságú megfigyelés volt, hogy összehúzódás közben megváltozik a sötét és világos sávok aránya (Krause, Engelmann). Amilyen arányban csökkennek a világos és a halványszürke sávok, olyan arányban növekszik a fekete sávok területe. (A sötét *A* és *H* sáv együttes hossza azonban változatlan marad!) Közelebb kerülnek egymáshoz az egyes izomfonal-egységek (szarkomérák) határai, azaz mindegyik egység megrövidül. Ez a folyamat vezet az egyes izomfonalak, s végeredményben a teljes rost megrövidüléséhez is. Mi magyarázza a változásokat? A választ a biokémiai kutatások hozták meg.



53. ábra. ***Az izomrostok harántcsíkolatának megfigyelhető változása sematikus rajzon***
Fent nyugalmi állapotban, alatta összehúzódás közben. Magyarázat a szövegben.

9.3 A kémiai összetétel

A XX. század első felében sikerült elkülöníteni az izomfonal két legnagyobb mennyiségű fehérje-összetevőjét: az **aktin**t **és a miozin**t. (Miozin: 1934, Weber, majd kristályos formában Szent-Györgyi Albert; aktin: 1942, Straub F. Brunó). A magyar kutatók meghatározták a két fehérje tömegét is. Kiderült, hogy a miozin több, mint hatszor akkora tömegű, mint az aktin (450 000 és 70 000 g). Mindkettő fonalas szerkezetű. A két fehérje – a körülményektől függően – képes összekapcsolódni vagy szétválni, sőt kapcsolódásuk nem független az ATP jelenlététől.

← előfordulásuk más sejtekben XIII.4.2.4

AKTIN ÉS MIOZIN

← fonalas fehérjék XII.8.3.4

„Ha az F-aktin és a miozin oldatát összekeverjük, a fizikai tulajdonságaik hirtelen megváltozása mutatja, hogy reakció ment végbe, és egy komplex, az aktomiozin képződött: a fényszórásban és az áramlási kettős törésben erős növekedés figyelhető meg, (…) a viszkozitás nagymértékben növekedik (…). Ha a fehérjekoncentráció elég nagy, a keverék rugalmas géllé alakul. (…) A viszkozitásban tapasztalható növekedés nagyon hirtelen. Mindenesetre az A-aktin nagyon hosszú szálakból áll, ennélfogva a viszkozitás növekedését aligha lehet a még hosszabb szálak képződésének számlájára írni. A szálaknak merevebbé kell válniuk, vagy egyfajta szuperszerkezetnek, egy egymással többszörösen összefüggő hálózatnak kell képződnie (…). Az elektronmikroszkópos felvételek is (Reed, Astbury és Spark) alátámasztják ezt az elképzelést.

→ komplex vegyületek XXII.

← viszkozitás IX.4.2.1

← sejtváz XIII.4.2.1

Bizonyos értelemben az aktomiozin sztöchiometrikus vegyület. Straub (1943) azt találta, hogy ha aktint és miozint 1:2,5 arányban keverünk, vagyis ugyanabban az arányban, ahogy ez a két fehérje az izomban található (Balenovics és Straub), akkor ATP hozzáadására igen kifejezett fizikai változásokat mutat."

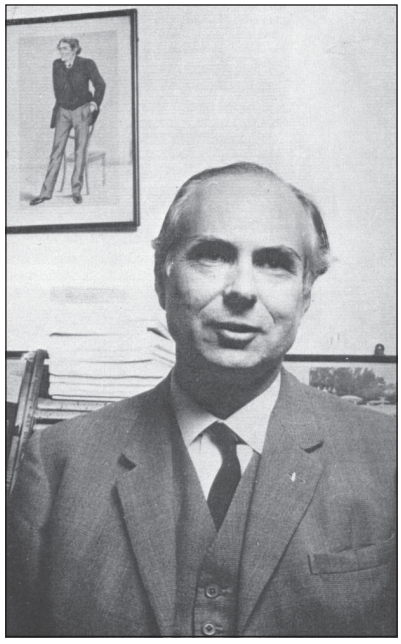
Szent-Györgyi Albert: Izomkutatás (New York, 1951)

← vegyületek jellemzői (sztöchiometria) IX.2.3

← az ATP szerepe XIII.2.4

9.4 A csúszószál-modell

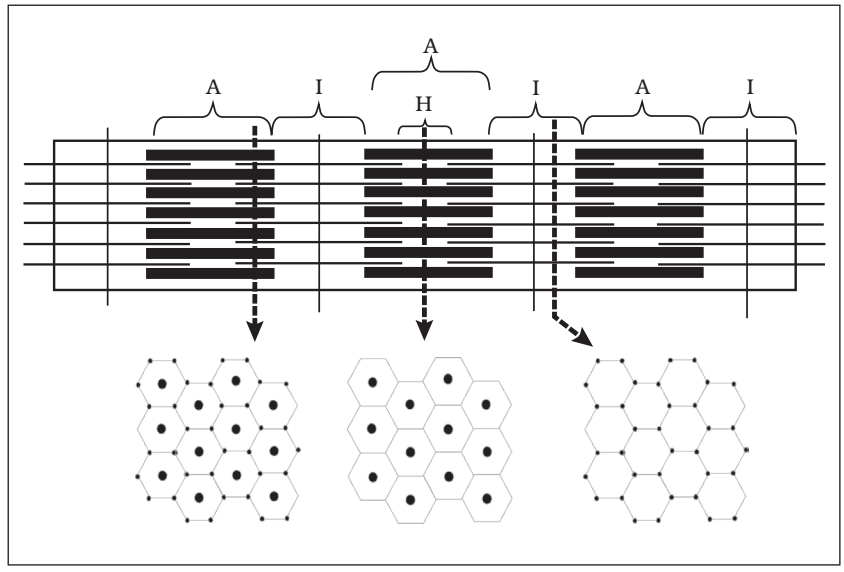
Az (elektron)mikroszkópos és biokémiai eredményeket egyaránt jól magyarázó, szellemes és egyszerű „csúszószál"- modellt, az angol Andrew Huxley dolgozta ki 1963-ban.



54. ábra. Andrew Huxley (1917–) angol biokémikus, az izomműködés csúszószál-modelljének kidolgozója.

Az idegek ingerületvezetésének kutatásáért 1963-ban Hodgkinnal és Ecclessel együtt Nobel-díjat kapott. A Huxley család bővelkedett tehetségekben; a nagyapa, Thomas Henry Huxley ugyancsak kiváló biológus, Darwin tanainak egyik első hirdetője, Aldous Huxley – a „Szép új világ" és a „Vak Sámson" című művek szerzője – pedig a XX. századi angol próza kiemelkedő alakja volt.

A csúszószál-modell szerint a sávokat párhuzamosan futó fehérjeszálak alkotják; a szürke „A" a nagy molekulasúlyú miozinból, a világosabb „I" sáv pedig a kisebb aktinból áll. A legsötétebb sávban mindkét molekula megtalálható, e szakaszon kapcsolódnak egymáshoz az aktin és a miozinmolekulák. A „H" sávban csak miozin van. A kapcsolódási rend szigorúan kötött, miként azt a keresztmetszeti elektronmikroszkópos kép is mutatja; egy vastag miozint mindig hat vékony aktinszál vesz körül. Ezt az elképzelést Huxley kísérletileg is igazolta. Ha az izomfonalakból megfelelő kémiai eljárással kivonta a miozint, eltűnt a szürke „A" sáv, ha pedig az aktint, a világos „I" sáv. A modell lényege az, hogy összehúzódáskor a miozin ATP-t bont Ca^{2+} ionok jelenlétében. Az aktinfonalak egymás felé csúsznak a miozinok mellett. Az aktinmolekulákon egymástól szabályos távolságra kötőhelyek vannak, nyugalomban ezek közül egyhez-egyhez kötődnek miozinmolekulák, összehúzódáskor pedig kötőhelyről kötőhelyre araszolnak előre. Ez a modell remekül magyarázta az „I" sávok megrövidülését és az A sávok változatlan méretét, ebben a formájában azonban sok részletkérdést figyelmen kívül hagy (például az elcsúszás módját). Mivel e problémák nagyon izgalmasak, ma is sok kutatónak adnak munkát.



55. ábra. A csúszószál-modell
Fönt: hosszmetszetben, lent: három helyen keresztmetszetben. A betűk jelentése megegyezik az 53. ábráéval.

9.5 Energiaigény

Amint az Szent-Györgyi és Straub kísérleteiből is kiderült, az izom összehúzódásához az ATP energiáját használja fel. A fokozott izommunka sokszorosára emeli az ATP-igényt. A vérben keringő glükóz csak egy határig képes fedezni ezt. Tartaléktápanyagként fölhasználhat némi glikogént: kimutatták ugyanis, hogy az izmok – miként a máj – glikogénraktárak is. Szemben azonban a májjal, ezeket a raktárakat csak saját szükségleteire halmozza fel, s nem a vércukor megfelelő szinten tartására. Akárhonnan származzon is a glükóz, elégetéséhez megfelelő mennyiségű oxigén is szükséges.

← glükóz, glikogén XII.7.2

← a máj szerepe XIII.6.2

Ennek a megállapításnak ellentmondani látszott az alábbi kísérlet (Fletcher és Hopkins, 1902 ill. 1907). E kutatók elkülönített izomrostot tiszta N_2-gázban ingereltek, s az ekkor is összerándult, bár kisebb mértékben. Az izomműködéshez tehát nem kell feltétlenül oxigén. Anaerob környezetben áttér a jóval kevésbé gazdaságos erjedésre. Ennek végterméke, a tejsav normális körülmények között nem marad sokáig a vérben, mert a máj kiszűri azt. Ha azonban a szokatlanul erőteljes izommunka következtében az izmok közt felszaporodik, „izomlázat"okoz. (A megterhelő munka utáni fájdalom másik oka a rostok egy részének szakadása lehet.) Az izomláz akkor múlik el, ha a tejsav a vérkeringésbe kerül, s a májban lebomlik. Ezért ajánlatos ilyenkor a vérkeringést fokozó könnyű mozgás.

← erjedés XIII.3.1

← az enzim működése XII.6.2.2

IZOMLÁZ

← XIII.6.2

Summa (9.)

A vázizmok harántcsíkolatát az izomfonalakban található aktin és miozin fehérjék szabályos elrendeződése okozza (Szent-Györgyi, Straub).

A csúszószál-modell szerint (A. Huxley) ezek mozdulnak el egymáshoz képest, így rövidül meg az izom.

A folyamat energia (ATP) igényét ideális esetben oxidációval, oxigénhiányos környezetben pedig tejsavas erjedéssel fedezi az izom.

Kérdések, problémák (9.)

1. Erőteljes mozgás vagy statikus izommunka (például függeszkedés) során lép fel könnyebben izomláz? Miért?

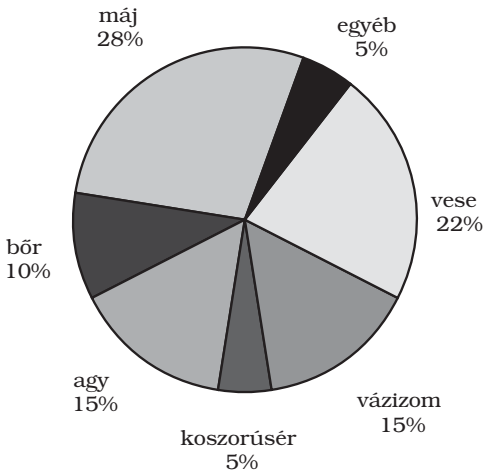
2. A tejsavas erjedés megindulása az izmokban kimutathatóan serkenti az izmok jobb oxigénellátását. Hogyan „szerez tudomást" a szervezet a különleges igényről és mi módon elégítheti ki azt? (A válaszadáshoz vegyük figyelembe a hemoglobin telítési görbéit!)

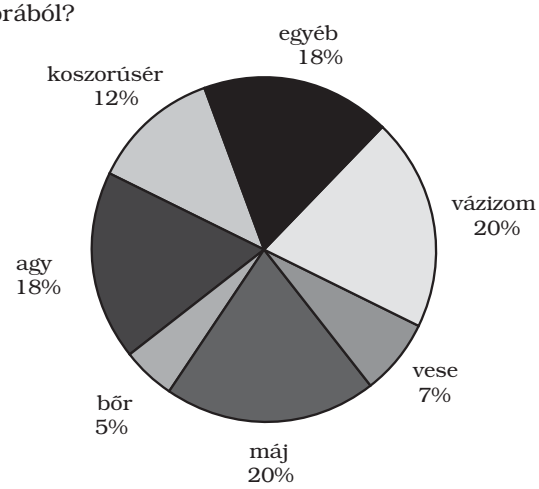
3. Különlegesen erős izomösszehúzódás során előfordulhat, hogy az aktinszálak összeérnek, sőt egymás fölé csúsznak. Milyen képet mutat ilyenkor az izomfonál hosszmetszetben és keresztmetszetben?

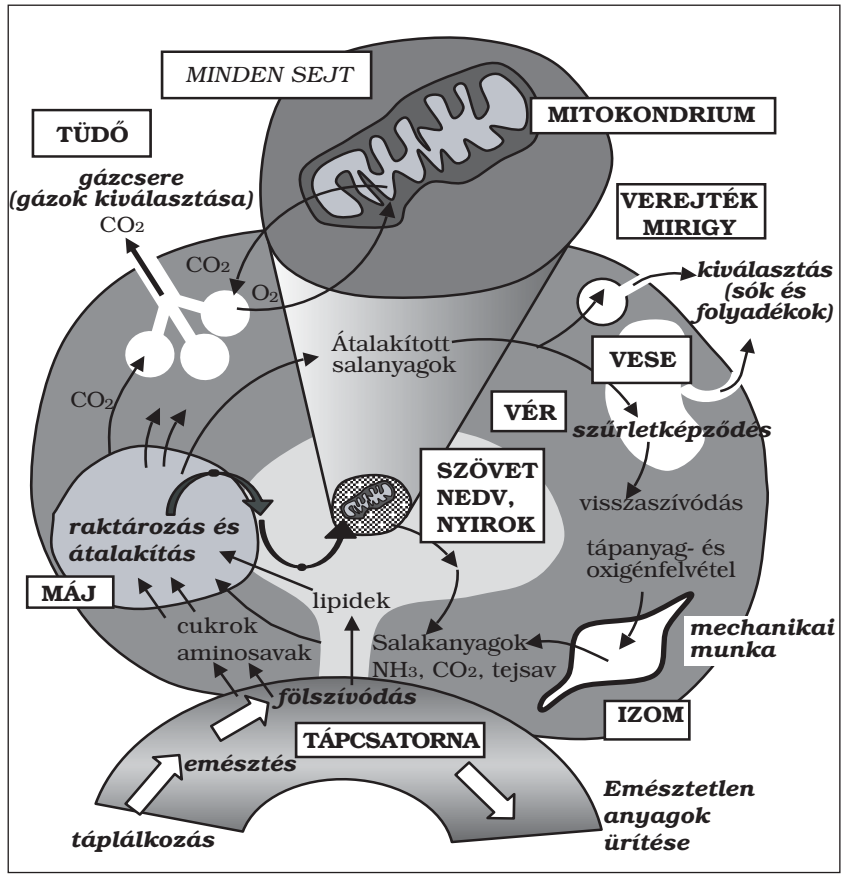
4. Fogalmazzunk meg néhány, az izomműködéssel kapcsolatban felvethető kérdést, problémát, melyre a Huxley-féle csúszószál-modell nem ad (kielégítő) magyarázatot! Tervezzünk kísérleteket, melyek segítségével esetleg választ kapunk kérdéseinkre!

5. Nagy hidegben remeg, didereg az ember. Miért?

6. Az alábbi két diagram néhány szerv vérellátását (balra) és oxigénigényét (jobbra) mutatja nyugalomban levő szervezetben. Milyen következtetéseket vonhatunk le a két ábrából?







Summa (1–9.)

Az élők biokémiai modellje – áttekintés

Az alábbi ábra összekapcsolja a fejezetben szereplő biokémiai folyamatokat, életjelenségeket. Külön kinagyítva mutatja egyetlen sejten belül az oxigén és szén-dioxid útját, de nem részletezi az egyéb sejten belüli reakciókat.

Irodalom:

- Pavlov, Ivan Petrovics: Válogatott művei, AKADÉMIAI, 1951.
- Szent-Györgyi Albert: Egy biológus gondolatai, GONDOLAT, 1970.

- Attenborough, David: Élet a Földön, NOVOTRADE, 1988.
- Attenborough, David: Az élő bolygó, NOVOTRADE, 1989.
- Az emberi test. MEDICINA–LÁNG, 1992 (London: 1989).
- Az állatvilág titkai – Az egysejtűtől az emlősállatig, MÓRA, 1982.
- Csányi Vilmos: Sejtbiológia, GONDOLAT, 1976.
- Élettan, SPRINGER HUNGARICA, 1994.
- Gion Gábor: Egészségvédelem, NEMZETI TANKÖNYVKIADÓ 1995.
- Kalmár Zoltán: A gombák világa, GONDOLAT, 1982.
- Kertai Pál: Korunk biológiája, GONDOLAT, 1973.
- Obál Ferenc (szerk): Az emberi test I–II. GONDOLAT, 1986.
- Oláh–Kállai–Vadnai: Reformkonyha, MEZŐGAZDASÁGI, 1985.
- Schneider, Leo: Életünk és a mikrobák, MÓRA, 1974
- Whifield, Philip: Megmagyarázzuk az emberi testet, HELIKON, 1999.

XIV. FÉNY ÉS HANG



Fönn az égen ragyogó nap.
Csillanó tükrén a tónak,
Mint az árnyék, leng a csónak.

Mint az árnyék, olyan halkan,
Észrevétlen, mondhatatlan
Andalító hangulatban.

A vad alszik a berekben.
Fegyveremmel az ölemben
Ringatózom önfeledten.

Nézem ezt a szép világot.
Mennyi bűbáj, mily talányok!
Mind amit körültem látok.

Nap alattam, nap fölöttem,
Aranyos, tüzes felhőben,
Lenn a fénylő víztükörben.

Itt az ég a földet éri.
Tán szerelme csókját kéri…
Minden oly csodás, tündéri.

Mi megyünk-e vagy a felhő,
Vagy a lenge déli szellő,
A szelíden rám lehellő?

Gondolatom messze téved
Kék ürén a semmiségnek.
Földi élet, hol a réved?

Szélei nádligeteknek
Tünedeznek, megjelennek.
Képe a forgó jelennek…

Most a Nap megáll az égen,
Dicsőség fényözönében,
Csöndessége fönségében.

S minden olyan mozdulatlan…
Mult, jövendő tán együtt van
Ebben az egy pillanatban?

A levegő meg se lebben,
Minden alszik…és a lelkem
Ring egy méla sejtelemben:

Hátha minden e világon,
Földi életem, halálom
Csak mese, csalódás, álom?…

Vajda János: Nádas tavon (1888)

1. Geometriai optika

Az ember számára a látás a legfontosabb információforrás a külvilágról. Így nem csoda, hogy a fénnyel kapcsolatos jelenségek vizsgálata gyakran összefonódott a látás mechanizmusának kutatásával. Ptolemaiosz látósugár-elmélete is inkább a látás magyarázatára szolgált.

Az ókorban is ismert fénytani jelenségek (visszaverődés, törés) köre sokáig nem bővült. Csak egy-két elszigetelt felismerésről tudunk, pl. a XIV. század második felében felismerték a prizma színszórását. Az optika fejlődésének igazi lendületet a XVI. században a távcső felfedezése adott. Mivel a fénytan nem volt szerves része az arisztotelészi rendszernek, e vizsgálódások nem ütköztek akadályokba, mint a mozgások vagy a kozmosz kutatása.

Bár a fény természetének kérdése a kezdetektől fogva izgalmas kérdés volt, a fénytani jelenségek egy része anélkül is jól leírható, hogy a fény fizikai természetéről bármit is mondanánk. Elegendő az a hétköznapi tapasztalat, hogy a fény homogén közegben egyenes vonalban terjed. Így az az idea, amin az egész geometriai optika nyugszik, a **fénysugár**. Newton definíciója szerint:

„Én fénysugárnak nevezem azt a legkisebb fényt vagy fényrészecskét, amely a fény többi részétől elválasztva egymagában is felfogható vagy kibocsátható, ill. egymagában terjedhet."

Newton: Optika

A fénysugár a természetben is gyakran megfigyelhető fénypászták (pl. a felhők mögül kisütő Nap sugarai) végtelenül keskenynek tekintett határesete, geometriai absztrakciója. A geometriai optika tehát a fényt az egyenessel modellezi, és így még a fény *terjedéséről* sem kell számot adnia.

A XIV. fejezet címlapképe.
Egry József (1883–1951): Balatoni halászok (részlet) (Badacsony, Egry József Múzeum)

Egry József festményén a víz hullámzásának ritmusát veszi át a halászok mozdulata, a csónak lendülete is. A fizikai hullámoknak és az élőlények ritmikus mozgásainak közös oka van: a részecskék körmozgása a tó felszínén és a körkörös biokémiai reakciók az élő szervezetben. E hullámzások, lüktetések és törekvések energiaforrása a képen csak sejthető Nap – a földi ritmusok hátterében az égi körmozgások állnak.

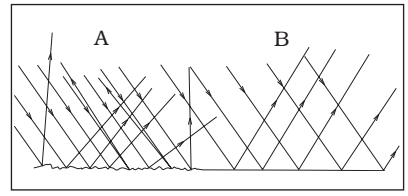
FÉNYSUGÁR

← „Látósugár" (Ptolemaiosz) IV.2.2

← absztrakció I.2.1
→ a fény terjedési sebessége XIV.3.

1.1 A visszaverődés

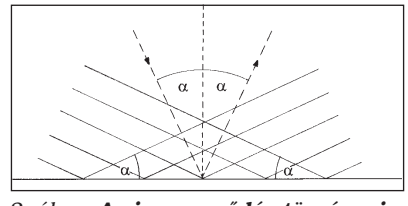
A leggyakrabban megfigyelhető optikai jelenség akkor jön létre, ha a fénysugár egy másik közeg határához érkezik és arról visszaverődik. Ha az új közeg felülete sima és fényes, akkor **tükrözés**ről beszélünk. Ilyen pl. egy nyugodt tó felszíne vagy egy simára csiszolt fémlemez. Gyakoribb azonban, hogy a fény egyenetlen felületről verődik vissza, ez a **szórt visszaverődés**.



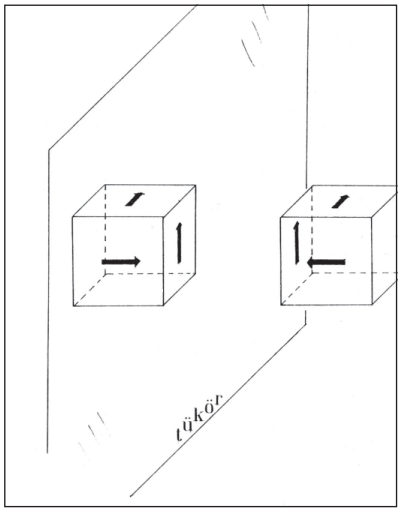
1. ábra. ***Szórt visszaverődés (A) és tükrözés (B)***

A **visszaverődés két törvényét** az ókorban állapították meg:

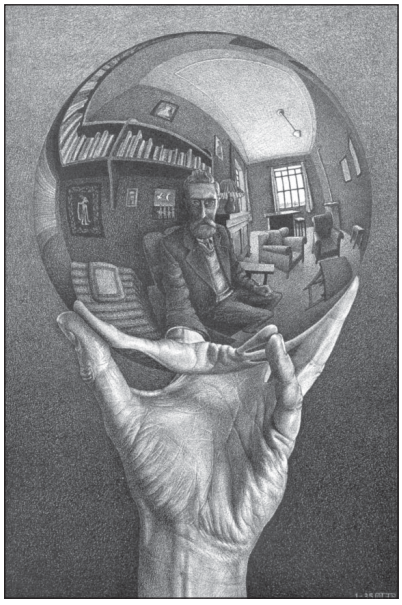
1. A beesés szöge egyenlő a visszaverődés szögével. E két szög a beeső, ill. a visszavert sugárnak a beesés pontjában a tükörre állított merőlegessel bezárt szögét jelenti.
2. A visszavert fénysugár nem lép ki a beeső fénysugár és a beesési merőleges által meghatározott síkból.



2. ábra. ***A visszaverődés törvényei***



3. ábra. ***Síktükör képalkotása***
A síktükör felcseréli az elöl-hátul viszonyt (a közhiedelemmel ellentétben nem a bal-jobb viszonyát!).

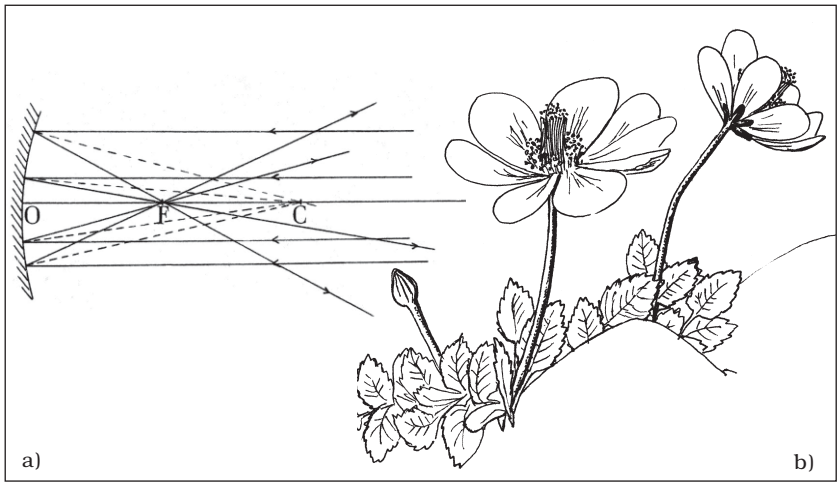


4. ábra. ***M. C. Escher: Kéz tükröző gömbbel (Önarckép)***

1.2 Tükrök

Ha a tükröző felület sík, akkor a párhuzamosan érkező fénysugarak visszaverődés után is párhuzamosak maradnak. Ha a síktükör elé egy kiterjedt tárgyat helyezünk, akkor a tárgy minden egyes pontjából kiinduló összes fénysugárra igaz a fenti két törvény. Egyszerű szerkesztéssel megmutatható, hogy az egy pontból kiinduló fénysugarak visszaverődés után olyanok lesznek, mintha a tükör mögül, egy ugyanakkora távolságban lévő pontból indultak volna ki. Így megkapjuk a tükörképet, ami ideális tükör esetén a tárgy hű mása lesz: csupán a „körüljárása" változik meg.

A tükör felülete azonban nem feltétlenül sík, lehet pl. egy gömb külső vagy belső felülete, azaz lehet domború vagy homorú.

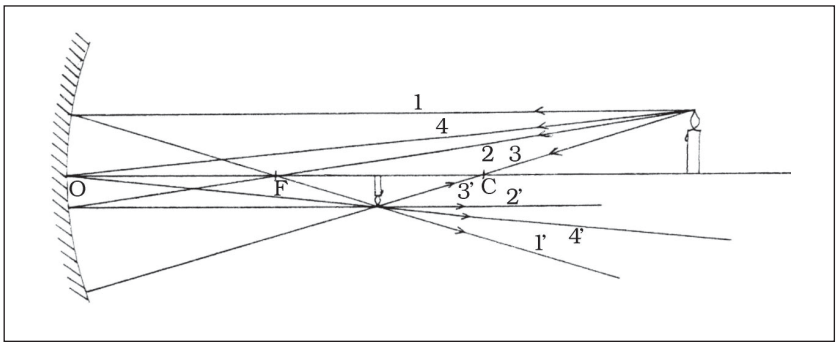


5. ábra.
a) Homorú tükör
A tükör optikai középpontja O, geometriai középpontja (vagyis a képzeletbeli gömb centruma) C. A CO egyenes a tükör optikai tengelye. A visszaverődés törvényeinek felhasználásával megszerkeszthető a párhuzamos fénynyaláb visszaverődése. A beesési merőlegeseket a szaggatott vonalak ábrázolják.
A homorú tükörről visszaverődő párhuzamos fénynyaláb mindegyik fénysugara visszaverődés után az optikai tengely közelítőleg ugyanazon pontján halad át: ez a tükör fókuszpontja. A szerkesztés és a tapasztalat szerint is a fókuszpont és a tükör távolsága a görbületi sugár fele. A jelenség fordítva is igaz: ha a fókuszpontba helyezünk egy fényforrást, akkor a tükör párhuzamos fénynyalábot ver vissza (reflektorok). A valóságban a homorú gömbtükör a párhuzamos fénynyalábot nem pontosan egy pontba gyűjti össze, ez közelítőleg csak a kis nyílásszögű gömbtükrökre igaz. (A nyílásszög a tükör szélső pontjait a geometriai középponttal összekötő egyenesek által bezárt szög, az előző ábrán kicsit nagyobb, mint a két szélső beesési merőleges szöge.)

b) Magcsákó.
A tundrákon és magas hegységekben élő apró virág fehér szirmaival úgy gyűjti össze a visszavert fénysugarak hőjét, hogy a virágkehely 5-10 °C-al is melegebb lehet környezeténél. Így csalogatja a beporzó rovarokat.

DOMBORÚ ÉS HOMORÚ TÜKÖR

Tapasztalatból tudjuk, a homorú tükör is alkot képet az eléhelyezett tárgyról. Követhetjük szerkesztéssel is, hogy a tárgy egyes pontjaiból kiinduló fénysugarak visszaverődés után is olyanok lesznek-e, mintha egy pontból indulnának ki. Ehhez elegendő berajzolni néhány olyan fénysugarat, amelyek visszaverődés utáni útja könnyen megállapítható.



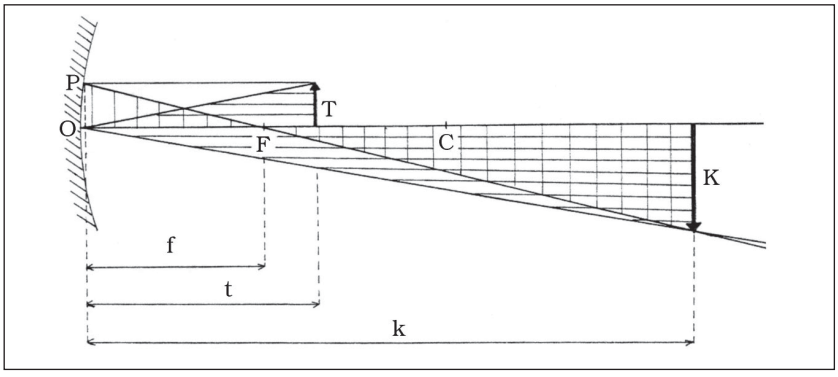
6. ábra. ***Homorú tükör képalkotása***

1. Az optikai tengellyel párhuzamos sugár visszaverődés után a fókuszponton halad át.
2. A fókuszponton áthaladó sugár az optikai tengellyel párhuzamosan verődik vissza.
3. A geometriai középponton áthaladó (tehát a tükör felületére merőleges) sugár „önmagában" verődik vissza.
4. Az optikai középpontba beeső sugár az optikai tengelyre szimmetrikusan verődik vissza.

Jól látható, hogy a gyertyaláng csúcsáról kiinduló fénysugarak újra egyesülnek, és ez nyilván igaz a gyertya minden más pontjára is. Ha ebből az irányból nézünk a tükör felé, akkor úgy látjuk, mintha a fénysugarak innen indulnának, vagyis a gyertya képét látjuk.

Ha arra a helyre, ahol a visszavert fénysugarak újra találkoznak, egy fehér papírlapot helyezünk (persze úgy, hogy a gyertyát ne takarjuk el a tükör elől), akkor megjelenik rajta a gyertya képe. Ezért az ilyen kép, amit *valóban* egyesülő fénysugarak alkotnak, szemben a síktükör által alkotott látszólagos képpel, **valódi kép.** Az ábrán látható esetben ez a kép **kicsinyített és fordított állású.**

Egyszerű geometriai számításokból kideríthető, hogy hol keletkezik a kép és mekkora lesz.



7. ábra. ***Homorú tükör leképezési törvénye***

Ha a P pontból merőlegest bocsátunk az optikai tengelyre, akkor ennek talppontja kis nyílásszögű tükrök esetében olyan közel lesz az optikai középponthoz, hogy a talppont és a fókuszpont távolsága egyenlőnek vehető a fókusztávolsággal, illetve a tárgytól és a képtől mért távolsága a tárgytávolsággal és a képtávolsággal. A függőlegesen vonalkázott hasonló háromszögek között fennáll a következő arányok egyenlősége:

$$\frac{K}{t}=\frac{k-f}{f}$$

A vízszintesen vonalkázott, szintén hasonló háromszögek között pedig:

$$\frac{K}{T}=\frac{k}{t}$$

A két összefüggésből egyszerű matematikai átalakításokkal megkapható a homorú gömbtükör leképezési törvénye.

A homorú tükör **leképezési törvénye** a tárgynak a tükörtől mért távolsága, a keletkező kép távolsága és a fókusztávolság közötti összefüggést adja meg:

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{t}+\frac{1}{k}$$

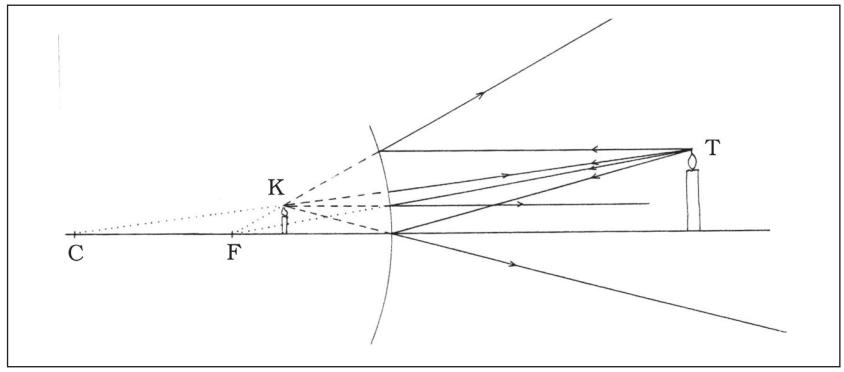
Eszerint a fókusztávolság reciproka egyenlő a tárgytávolság és a képtávolság reciprokának összegével. Ha t kisebb, mint f, akkor k-ra negatív érték jön ki. Ez azt jelenti, hogy a kép a tükör mögött „keletkezik": az egy pontból induló, majd visszavert fénysugarak széttartóak lesznek, csak képzeletbeli meghosszabbításaik találkoznak a tükör mögött, mint a síktükör esetében. Ebben az esetben tehát a homorú gömbtükör is látszólagos képet ad.

A tükör **nagyítása:**

$$N=\frac{K}{T}=\frac{k}{t}$$

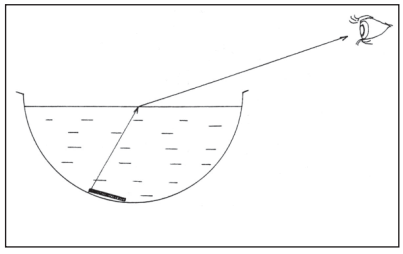
A domború tükör fókuszpontja a tükör mögött van, az optikai tengellyel párhuzamosan érkező sugarak visszaverődés után innen látszanak kiindulni. Ha az előbb is használt nevezetes sugármenetek segítségével megszerkesztjük a tükör elé helyezett tárgy T csúcsának képét, akkor azt a tükör mögötti K pontban fogjuk látni: a visszavert fénysugarak olyanok lesznek, mintha ebből a pontból indulnának ki.

NAGYÍTÁS



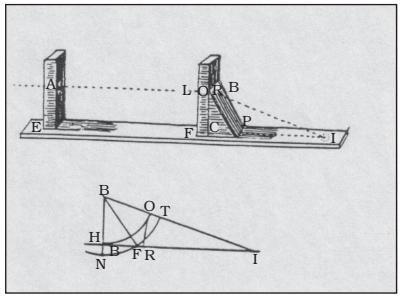
8. ábra. ***Domború tükör képalkotása***

Az előbb levezetett leképezési törvény a domború gömbtükörre is érvényes, csak a fókusztávolságot – mivel a „fókuszpont" a tükör mögött van – negatív előjellel kell figyelembe venni.



10. ábra. ***Ptolemaiosz kísérlete***
Vegyünk egy átlátszatlan, félgömb alakú edényt, és tegyünk az aljára egy pénzdarabot. Ha oldalról nézünk rá, akkor az edény pereme miatt nem látjuk a pénzdarabot. Ha ellenben bizonyos magasságig vizet öntünk az edénybe, akkor megjelenik a pénzdarab képe, mintha az felemelkedett volna. A jelenség oka az, hogy a két közeg határán irányt változtattak a fénysugarak (ill. Ptolemaiosznál a „látósugarak").

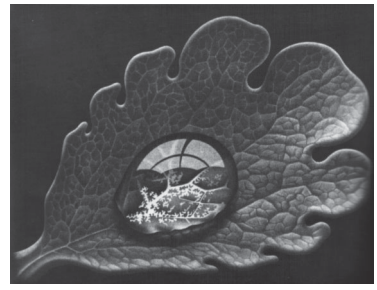
← Látósugarak IV.2.2



11. ábra. ***Descartes készüléke a törésmutató meghatározásához***
A fénysugár a B pontban hagyja el a prizmát, a törésmutatót a HI/OI arány adja meg. A víz törésmutatója pl. 1,333.

1.3 Fénytörés

Ha egy fénynyaláb egy átlátszó (tehát számára átjárható) közeg határához ér, „választ előtt áll": visszaverődjön vagy folytassa útját? Valójában mindkettőt teszi. Azon sugarak számára, amelyek visszaverődnek, a tükrözési törvények érvényesek, így pl. egy parányi vízcsöpp tükörként *is* viselkedik.



9. ábra. ***M. C. Escher: Vízcsöpp***

A sugarak másik része folytatja útját az új közegben, de általában más irányban. Ez a jelenség a fénytörés, ismerték és tanulmányozták már az ókorban is.

Hogy a törés mértéke valamiképpen a két közeg anyagi minőségétől függ, azt tudták már az ókorban is, de a pontos összefüggést nagyon sokáig nem sikerült meghatározni. Az első jelentős előrelépést Kepler tette, aki kísérletei alapján felismerte, hogy a beesési szög és a törési szög arányossága nem áll ugyan fenn, de 30°-ig valóban jó közelítéssel érvényes a távcsövekre addig is használt *(11. ábra)*

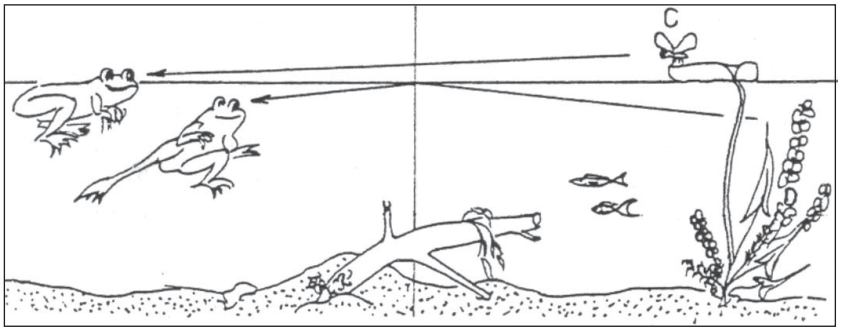
$$\frac{\alpha}{\beta} = n = \text{állandó}$$

összefüggés. Az n **törésmutató** a közegre jellemző érték, és Kepler úgy vélte, hogy az illető anyag mechanikai sűrűségével arányos: a sűrűbb közegek nagyobb mértékben változtatják meg a fénysugár irányát. A pontos összefüggést csak 1620 körül sikerült a holland Willebrod Snellnek (1546–1613, latinosan Snellius), a leideni egyetem professzorának megállapítania. Ma is használatos alakjában Descartes publikálta először 1637-ben. Eszerint a beesési és a törési szögek között az alábbi összefüggés áll fenn:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n = \text{állandó}$$ (Snellius–Descartes-törvény)

Vagyis nem a szögek, hanem azok sinusai arányosak egymással. A törésmutatót valójában a két közeg együttesen határozza meg. A gyakorlatban általában minden anyagnak a levegőre vonatkoztatott törésmutatóját szokták megadni, hiszen az a leggyakoribb eset, hogy a fény levegőből lép egy új közegbe.

Előfordulhat az is, hogy a fénysugár pl. vízből lép ki levegőbe. Ekkor az előbbi törési szög lesz a beesési szög, és ehhez éppen akkora törési szög fog tartozni, mint amekkora az előbb a beesési szög volt: a levegőnek a vízre vonatkoztatott törésmutatója az előző érték reciproka lesz. Mivel most a törési szög a nagyobb, a beesési szög növelésével elérkezünk egy olyan helyzethez, hogy a fénysugárnak 90°-os szögben kellene megtörnie – de ekkor már csak visszaverődés következik be! Hiába átlátszó az új közeg, a fénysugár nem lép be abba. Ezt a jelenséget – amit Kepler fedezett fel és írt le először – **teljes visszaverődésnek** nevezzük.



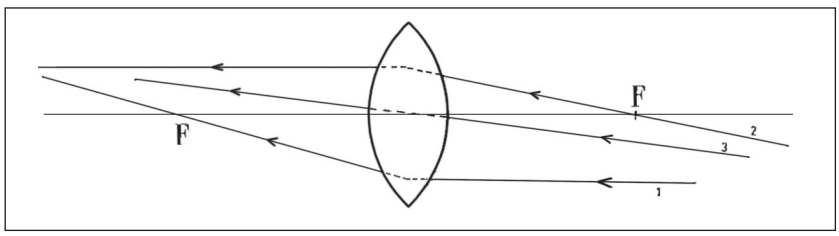
12. ábra. ***Fénytörés és teljes visszaverődés a víz alól***
A víz felszínén nézelődő béka könnyen észreveszi a tavirózsa levelén sütkérező legyet, míg a víz alatt ugyanabba az irányba néző másik béka csak a hínárok leveleit látja a víz felszínéről tükröződni.

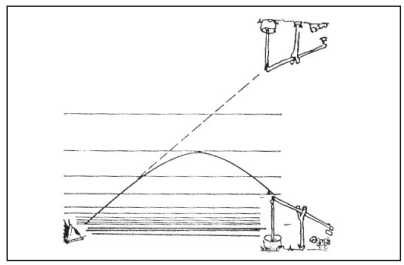
Hasonló okból fordíthatják meg az üvegprizmák a fénysugár irányát. Elég nagy törésmutatójú, hajlékony üvegszállal az is elérhető, hogy sokszoros visszaverődés után se lépjen ki belőle a fénysugár. Ez a modern száloptika alapja is. Így nehezen hozzáférhető helyek is megvilágíthatóak és parányi kamera segítségével vizsgálhatóak például az erek és a működő szív belseje, anélkül, hogy a szervezetbe lényegesen be kellene avatkozni.

1.4 Lencsék

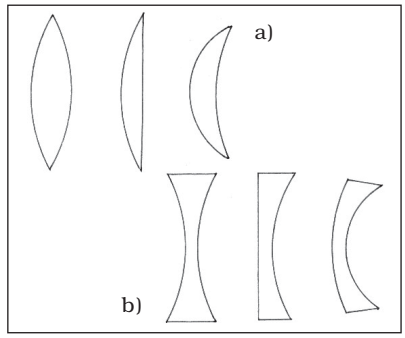
A fénytörés jelenségén alapszik a lencsék működése. A lencséket általában két gömbfelület-rész határolja, úgy, hogy a gömbök középpontjai és a lencse középpontja egy egyenesbe esnek. Ez az egyenes a lencse optikai tengelye.

A lencsék kétszer törik meg a fényt: egyszer, amikor a fénysugár belép, másodszor, amikor kilép. Így meglehetősen nehéz pontosan követni a fénysugár útját, de most is, mint a gömbtükrök esetében, felhasználható néhány különleges menetű fénysugár.





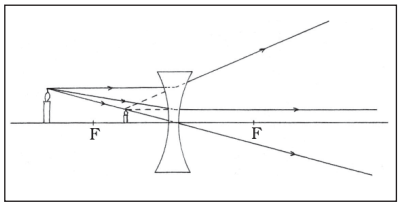
13. ábra. ***Délibáb keletkezésének magyarázata***
A természetben számos érdekes jelenség figyelhető meg, amely a fénytörésnek vagy a teljes visszaverődésnek köszönhető. Ezek közül a leglátványosabb a szivárvány és a délibáb.



14. ábra. ***Különböző lencsék***
a) domború lencsék, b) homorú lencsék
Levegőben a domború lencse gyűjtőlencse, a homorú lencse szórólencse

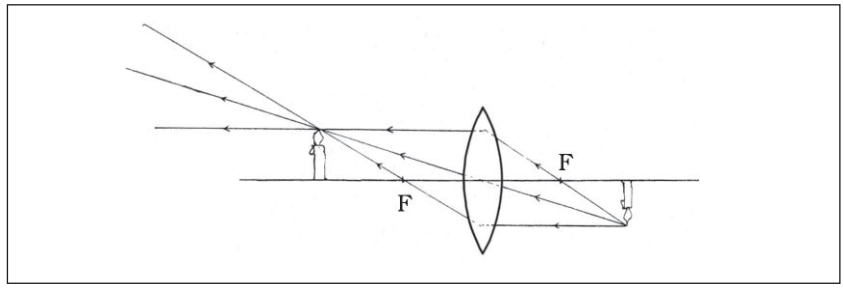
15. ábra. ***Gyűjtőlencse nevezetes sugármenetei***

1) Tapasztalatból jól tudjuk, hogy a gyűjtőlencsék az optikai tengelyükkel párhuzamosan érkező fénysugarakat egy pontba gyűjtik össze: ez a fókuszpont. A szórólencsék viszont a párhuzamos sugarakból álló nyalábot úgy teszik széttartóvá, mintha a fénysugarak egy pontból indultak volna ki – ebben az esetben ezt tekintjük fókuszpontnak. A vékony lencséknek két fókuszpontja van, hiszen mindegy, hogy a lencse melyik oldaláról érkezik a fény. Az a hely, ahová a gyűjtőlencse összegyűjti a párhuzamos fénynyalábot, a lencséknél is csak a kis nyílásszögűek esetében tekinthető közelítőleg pontszerűnek.
2) A fénysugár irányának megfordíthatósága most is igaz: a fókuszponton át beeső fénysugár a lencse után az optikai tengellyel párhuzamosan halad tovább. Szórólencse esetén ez a túloldali fókuszpont irányába tartó fénysugárra igaz.
3) A lencse optikai középpontja irányába beeső fénysugár irányváltoztatás nélkül halad tovább.



17. ábra. ***Szórólencse képalkotása***

A nevezetes sugármenetek felhasználásával megszerkeszthető a lencsék által alkotott kép és megállapítható, hogy különböző helyzetű tárgyakról milyen képet adnak.



16. ábra. ***Gyűjtőlencse képalkotása***

← a mikroszkóp hatása a filozófiára VII.3.2.1

Az ábrák geometriailag nagyon hasonlítanak a gömbtükrök képalkotásáról rajzoltakhoz, ezért nem meglepő, hogy teljesen hasonló levezetés után ugyanazt a leképezési törvényt kapjuk. A negatív képtávolság a lencsék esetében is azt jelenti, hogy látszólagos kép keletkezik; a szórólencse fókusztávolságát – hasonlóan a szintén *csak* látszólagos képet adó domború gömbtükréhez – negatív előjellel kell figyelembe venni.

→ Pasteur fölismerése XVIII.4.1.3

1.5 Mikroszkópok

ÖSSZETETT LENCSERENDSZEREK

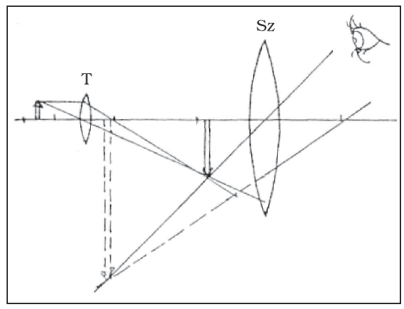
A természettudományok szempontjából alapvető fontosságú eszköznek bizonyult összetett lencserendszereket – a távcsövet és a mikroszkópot – a XVII. században, Németalföldön (a mai Hollandiában) fedezték fel, valószínűleg többen, egymástól függetlenül. A mikroszkóp egyik első megalkotója, a holland Antonij van Leeuwenhoek (1632 – 1723) még egyetlen – igaz, bámulatos nagyítású – lencsét használt, s azzal a környezetében található legkülönfélébb tárgyakat és lényeket vizsgálgatta.



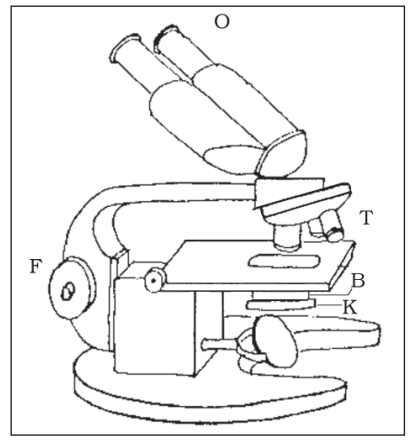
18. ábra. ***Antonij van Leeuwenhoek (1632-1723) holland természetbúvár M.C. Escher bankjegy-tervén***
A Leeuwenhoek kezében látható mikroszkóp egyetlen, nagy gonddal csiszolt vagy olvasztott domború üveglencséből állt, amit két nemes fa vagy fémlemez közé erősített, és egy apró lyukon nézett át rajta. (Így kevésbé jelentkeztek a minden lencse szélén föllépő képhibák, torzulások.) Egyszerű szerkezetével több százszoros nagyítást és kiváló felbontóképességet ért el (1-2 μm-re levő pontokat még meg tudott különböztetni). Minden keze ügyébe eső dolgot megfigyelt és leírt. Felfedezte például a baktériumokat, de az apró lények jelentőségét ekkor még nem ismerték. A bankjegyet a Leeuwenhoek által elsőként megpillantott lények: kovamoszatok, fonalas algák díszítik..

Leeuwenhoek „megszállott amatőr" volt: megélhetését delfti posztókereskedése biztosította, de minden szabad idejét a mikroszkopizálás kötötte le. Eredményeinek elismeréseként fölvették az angol Royal Society tagjai közé. Még halálos ágyán is egy nekik szóló levél latin fordítása foglalkoztatta (ő maga csak hollandul tudott). Egyetlen könyve volt: a Biblia.

Az első összetett mikroszkópokat Leeuwenhoek kortársai, az angol Robert Hooke és a holland Huygens készítették. Hooke *Micrographia* című albumában (1665) a mikroszkopikus lények világát páratlanul szép és pontos rajzokban jelenítette meg.



19. ábra. ***Mikroszkóp működési elve***
A tárgylencse (T) fókusztávolságánál kissé messzebb elhelyezett tárgyról nagyított, fordított állású, valódi kép keletkezik a cső belsejében. Ezt a képet **mint tárgyat** nagyítjuk fel a szemlencsével (sz), így az eredő (teljes) nagyítás a tárgy- és szemlencse nagyításainak szorzata lesz. A modern fénymikroszkópok mindig kettőnél több lencsét tartalmaznak. Ezeknek az a feladatuk, hogy a színes szegélyeket és egyéb torzulásokat kiszűrjék.

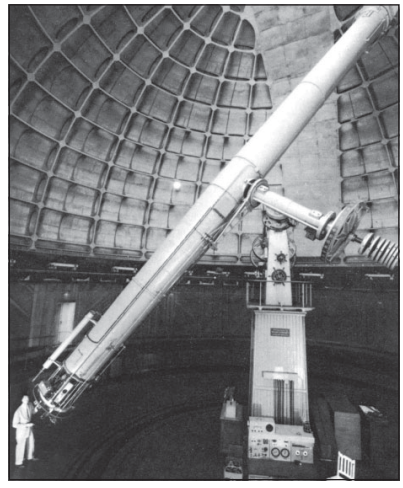


20. ábra. ***Mai fénymikroszkóp részei***
A tárgylencsék (T) egy forgatható foglalatba vannak rögzítve. A képtávolság a finom- és a durvabeállítóval is változtatható (F). A jobb képalkotást a tárgyasztal alá erősített kondenzor (K) – szintén lencserendszer – szolgálja. A bejutó fény mennyisége a fényrekesszel vagy blendével (B) szabályozható. A mikroszkóp nagyítását a szemlencse vagy okulár (O) és a tárgylencse nagyításainak szorzata adja meg.

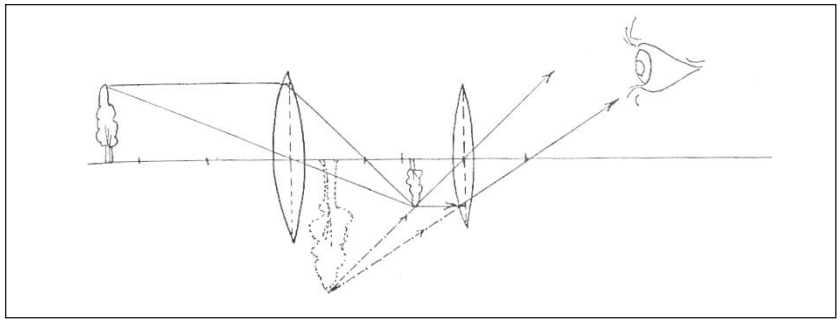
1.6 Távcsövek

A távcső talán még fontosabb változást hozott a tudomány fejlődésében, mint a mikroszkóp. Nem véletlen, hogy közel egy időben jelentek meg. A távcső – legegyszerűbb formájában – ugyanazon az elven működik, mint az összetett mikroszkóp. Ám lényeges különbség, hogy a tárgy itt mindig távoli (kétszeres fókuszon jóval túli), így a tárgylencse által létrehozott kép kicsinyített – ezt a képet nagyítjuk fel a szemlencsével.

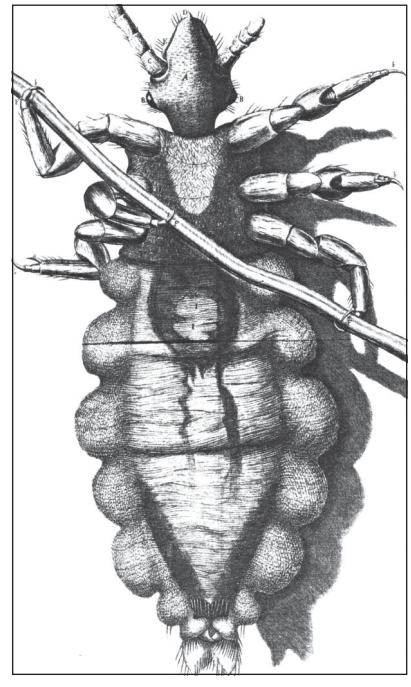
A különféle lencsehibákat a távcsövekben is segédlencsékkel próbálták megszüntetni. A mind nagyobb lencsés távcsövek esetén egyre több nehezen megoldható gyakorlati probléma merült föl (az óriás lencsék buborékmentes kiöntése szinte lehetetlen, az üveg a saját súlyától deformálódik stb.), így a Lick Obszervatóriumnak a képen látható 91,44 cm átmérőjű távcsöve valószínűleg a legnagyobb ilyen típusú berendezések egyike marad.



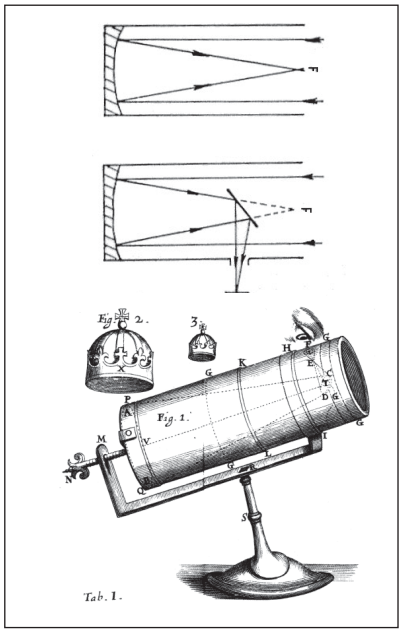
21. ábra. ***A Lick Obszervatórium óriástávcsöve***



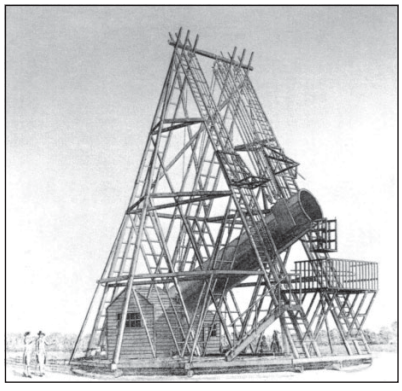
22. ábra. ***Lencsés távcső működési elve***
Távcsövek esetében nem sok értelme lenne úgy megadni a nagyítást, mint a tárgy és kép valódi méretének az arányát. Ha pl. a Holdat szemléljük egy „erős”, majd egy „gyönge” távcsövön, a két műszer által szemünk ideghártyájára vetített folt nagysága csaknem azonos, a Holdhoz viszonyított arányuk pedig mérhetetlenül kicsit tér el egymástól. A különbség, amit észlelünk, mégis jelentős, mert a távcső megnöveli azt a **szöget**, ami alatt a tárgyakat látjuk. Nagyításként tehát a **szögnagyítás** értékét adhatjuk meg.



23. ábra. ***Tetű. Rajz Hooke Micrographia című művéből (1665)***



24. ábra. ***a) A Newton-féle tükrös teleszkóp működési elve és rajza***



25. ábra. ***A 6 m hosszú tükrös távcső, amelyet Herschel 1783-ban fejezett be***

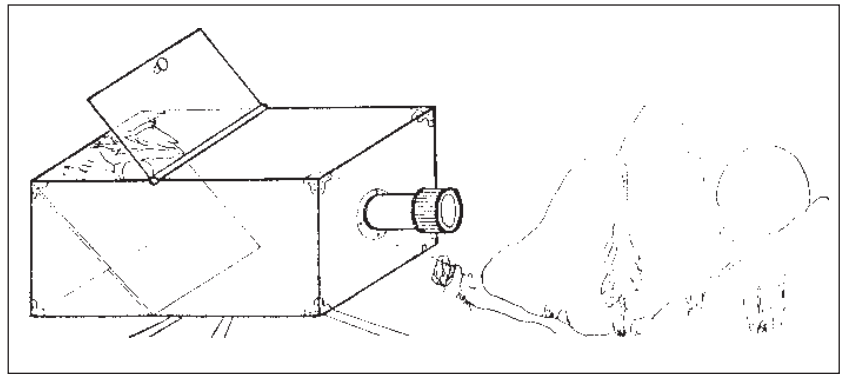
Alsó végében egy 45 cm átmérőjű főtükör helyezkedett el. A legjelentősebb előrehaladást a távcső különleges szerelése jelentette. A megfigyelő a távcső nyílásnál lévő dobogón állhatott, függetlenül a távcső állásszögétől, s a finombeállításhoz szükséges fogantyúk karnyújtásnyira voltak tőle. A teljes szerkezetet egyetlen munkás körbeforgatta. Bár a tükrös távcsövet eredetileg Newton-rendszerűnek tervezték, ahol egy kis síktükör vetíti a képet az oldalt elhelyezkedő megfigyelő szemébe, Herschel nem tudott belenyugodni az így fellépő fényveszteségbe. Ezért elhagyta a segédtükröt, s egy, a távcső belső peremére erősített okuláron keresztül közvetlenül tekintett bele a cső belsejébe.

A lencsehibák kiküszöbölésére Newtonnak remek ötlete támadt: a domború lencsét homorú tükörrel helyettesítette. Csak arról kellett gondoskodnia, hogy egy kisméretű ferde síktükörrel (ami a fénysugaraknak csak kis részét zavarja) a megfigyelő szeméhez vetítsék a fényt. Az ilyen ún. tükrös teleszkóp módosított változatai jól beváltak és az egész világon elterjedtek.

A mai csillagászati távcsövekhez mindig kapcsolódik egy óraművel összekötött motor, ami a csövet automatikusan együtt mozgatja a vizsgált égitesttel. Így lehetővé válik annak tartós megfigyelése és fotografálása is.

1.7 Fényképezőgépek

Miután rendelkezésre álltak már olyan optikai rendszerek – tükrök, lencsék megfelelő együttesei -, amelyek valódi képet alkotnak egy síkfelületen, nem okozott gondot olyan szerkezet készítése, amilyen az ábrán látható.



26. ábra. **A camera lucida** olyan utazóknak volt segítőtársa, akik meg akarták örökíteni a hangulatos tájak szépségét, de nem bíztak rajzkészségükben. Ma is használnak ehhez hasonlókat, pl. moziplakátok készítésekor.

A rajz elkészítése persze még így is fáradságos munka volt. A XIX. század elején többekben felmerült az ötlet, hogy valamilyen kémiai folyamatot használjanak fel a kép gyors és pontos rögzítésére. Valamilyen fotokémiai reakciót kellett találni, ami energiaszükségletét a fényből fedezi, így nem pillanatszerűen gyors, hanem a megvilágítás mértékével arányos a sebessége. Az is fontos volt, hogy a reakció valamilyen színváltozással járjon, s így maradandó változást okozzon. Az eljárást Niépce és Daguerre francia és Talbot angol feltalálók fedezték fel. Ezek az ős-fényképek (dagerrotípiák) viszonylag lassú kémiai reakción alapultak, így a tárgynak vagy a modellnek hosszú időn át mozdulatlanul kellett maradnia. Később, amikor lehetővé vált a pillanatfelvételek rögzítése is, meg kellett oldani, hogy a fényképezőgép belsejébe csak a szükséges ideig és a szükséges mennyiségben jusson fény. Előbbit a **zárszerkezet**, utóbbit a **blende** (fényrekesz) biztosítja.

A mai analóg fényképezőgépek működési elve – néhány részlettől eltekintve – ezzel azonos. Mindegyikben egy fénytől jól zárható doboz rejti a filmet, az előtte lévő zárszerkezet beállítható ideig nyitható (exponálás). A rekesz (blende) alkalmas arra, hogy segítségével a kívánt mértékig csökkentsük a filmre jutó fény mennyiségét. A régebbi gépekben a lencse, ill. lencserendszer fókusztávolsága nem volt változtatható, ezért a más-más távolságra levő tárgyak fényképezésekor változtatni kellett a képtávolságot

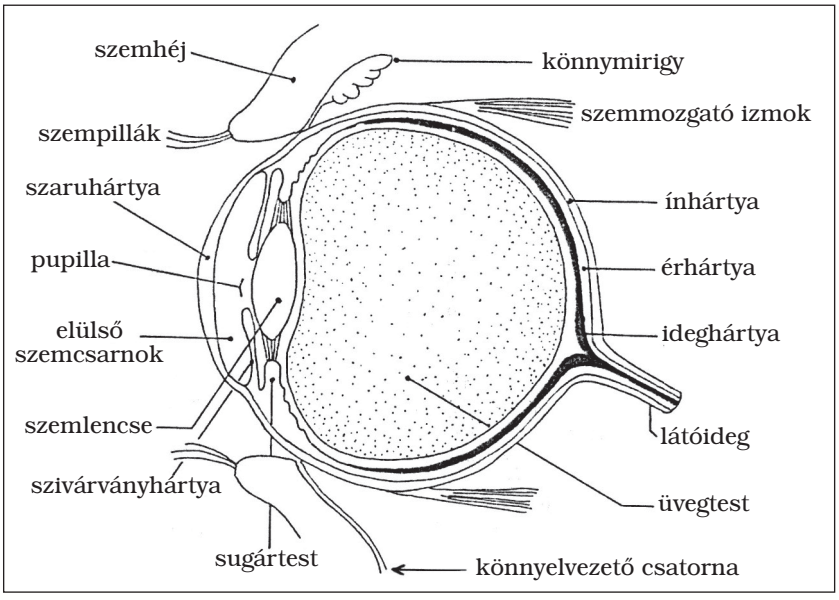
is. Ezt a lencse, ill. lencserendszer előre-hátra mozgatásával érték el. A modernebb gépekben már a lencserendszer fókusztávolsága változtatható a lencserendszer első tagjának mozgatásával. Egyes gépek e folyamatokat automatikusan végzik el.

A fényképezőgépek lencséjének torzításait segédlencsékkel csökkentik, ezért az optika mindig lencserendszer. Ennek ellenére a képalkotás – különösen a széli részeken – nem tökéletes. A „lerekeszelés" (szűk blendével fotózás) ezért élesebb, s egyben nagyobb mélységélességű képet ad. (A mélységélesség az éles tartomány szélessége.)

→ automatikus élességállítás az emberi látás során XVIII.3.3.4

1.8 A szem optikája

A mechanikában és optikában elért eredmények arra csábították a kutatókat, hogy eredményeiket az élővilágra is kiterjesszék. Különösen alkalmasnak látszott erre az emberi szem, ami sok szempontból hasonlít a fényképezőgéphez.



→ az ideghártya fölépítése XVIII.3.3.5

→ a látás mozgófilm-modellje XVIII.3.3.4

27. ábra. ***Az emberi szem részei***

IN- ÉS SZARUHÁRTYA

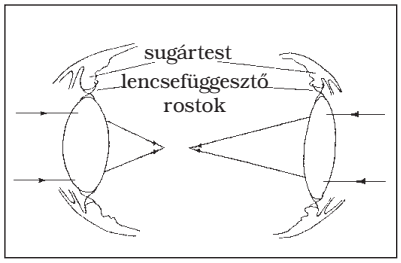
A szemgolyó – hasonlóan a fényképezőgéphez – minden oldalról zárt, fényszigetelt tér, egyetlen nyílást kivéve. A szem esetében ezt a védelmet az **ínhártya** biztosítja, ami egyrészt ellenáll a mechanikai sérüléseknek, másrészt a hozzátapadó izmok segítségével alkalmas arra is, hogy az egész szemgolyót a megfelelő irányba fordítsa. Az ínhártya elöl az átlátszó **szaruhártyában** folytatódik. Ennek tisztán tartásáról, védelméről sokféle mechanizmus gondoskodik. A könnymirigyek által termelt könny nemcsak a rákerült porszemcséket mossa le, hanem baktériumölő enzimet (lizozimot) is tartalmaz, valamint melegíti is a szaruhártyát. (Ez különösen télen feltűnő. Amikor a nagy hidegben gyakran fújunk orrot, akkor valójában a nagy mennyiségben termelődött és a könnyelvezető csatornán át az orrüregbe jutó könnyet távolítjuk el.)

→ a tárgyak követése XVIII.3.3.4–7

← enzimek XII.8.3.6

SZEMHÉJ

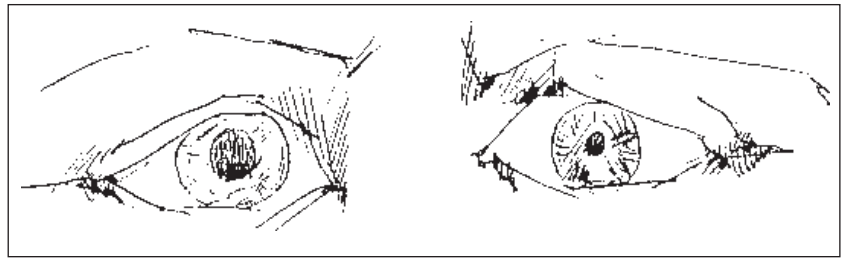
A **szemhéj** a pislogás során általában pillanatszerűen zárul, így hasonlít a fényképezőgép zárszerkezetéhez, bár szerepe éppen ellentétes: míg az a rövid ideig tartó megvilágítást teszi lehetővé, addig a szemhéj pillanatsze-



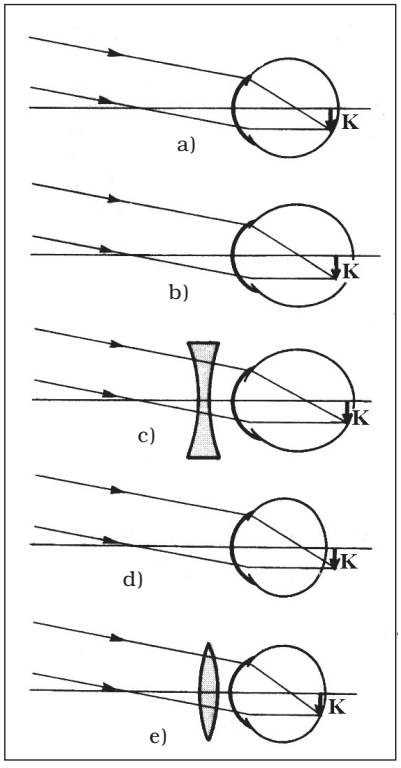
28. ábra. ***Az akkomodáció mechanizmusa***
a) távolra nézéskor;
b) közelre nézéskor

rűen *megszakítja* a látás folyamatát. Erre nemcsak a könnyréteg egyenletes eloszlatása miatt van szükség, hanem akkor is, ha valamilyen tárgy repül a szem felé. Ekkor a szemhéj automatikusan (akaratunktól függetlenül) zárul.

A **szivárványhártya (írisz)** egyik szerepe pontosan megegyezik a fényképezőgép blendéjével, azaz a szembe jutó fény mennyiségét szabályozza. Ez – akárcsak a legújabb fényképezőgépekben – automatikus folyamat.



29. ábra. **Szivárványhártya összehúzódott és kitágult állapotban.** Első esetben tág, másodikban szűk a pupilla.



30. ábra. ***A közel- és távollátás és korrigálása***
a) egészséges szem – a kép a retinán keletkezik
b) közellátó szem – az éles kép a retina előtt keletkezik
c) a közellátás szórólencsével (utcai szemüveg) javítható
d) távollátó szem – az éles kép a retina mögött keletkezik
e) a távollátás gyűjtőlencsével (olvasószemüveg) javítható

A szivárványhártyába beépült színanyagok (pigmentek) színe alapján szokás kék, barna vagy fekete „szemű" emberekről beszélni. Magát a nyílást **pupillának** szokták nevezni (pupilla = babácska, latinul), mert benne apró babaként tükröződik a szemlélő.

Bár a szaruhártya is részt vesz a fénytörésben, a **szemlencse** az a test, melynek a törőképessége változtatható, így ez teszi lehetővé a távolsághoz való alkalmazkodást (akkomodációt). A fényképezőgépek lencséitől alapvetően eltér abban, hogy görbületi sugara és ezzel együtt fókusztávolsága változtatható. Ez akkor is lehetővé teszi a tárgy távolságához való alkalmazkodást, ha a képtávolság nem változik.

A szemlencse rugalmassága miatt erősen domború formát vesz föl, amennyiben erre módja van. Ez akkor fordulhat elő, ha a **sugártest** izmai megfeszülnek és befelé domborodnak, így a lencsefüggesztő rostok elernyednek (közelre nézés). Távolra nézéskor fordított a helyzet.

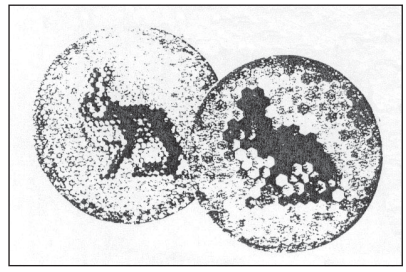
A szaruhártya és a lencse közötti teret – a szemcsarnokot – a folyékony **csarnokvíz**, a szemlencse mögötti teret pedig a kocsonyás üvegtest tölti ki. Szerepük az, hogy a szemgolyó belső felszínét burkoló ideghártyára (retinára) éles és megfelelő fényerősségű kép vetüljön.

A retinán valamilyen fotokémiai reakció zajlik le, akárcsak a film fényérzékeny rétegében. A hasonlóság azonban ezzel véget is ér ezzel. Hiszen azt, hogy ebből a kémiai reakcióból hogyan lesz **fényérzet,** már semmiképpen nem magyarázhatja az egyszerű optikai modell.

1.9 Szembetegségek

Viszonylag gyakoriak az olyan szembetegségek, amelyek a normális képalkotást torzítják. Mivel a szemlencse rugalmassága idővel csökken, **idős korban** általában **távollátók** lesznek az emberek: hiába ernyednek el a lencsefüggesztő rostjaik, a lencse már nem képes jobban kidomborodni, így az illető *közelre* nem lát jól. A hiba domború lencséjű szemüveggel orvosolható. A fiatalkori távol-, ill. rövidlátás oka általában az, hogy a szem nem tökéletesen gömb alakú, így a lencse által létrehozott kép nem a retinán lesz éles.

Ha a szemlencse valamilyen anyagcserezavar miatt átlátszatlan lesz, **szürkehályog** alakul ki. Ezt a szemlencse kiemelésével és egy azt többékevésbé pótló mesterséges lencse alkalmazásával gyógyítják. A helytelenül zöldhályognak is nevezett **glaukóma** ellenben a csarnokvíz kóros fölszaporodásával magyarázható. (Vagy a termelés túlzott, vagy az elvezetés nem megfelelő.) A megnövekedett nyomás miatt a szaruhártya torzul, ami egyrészt fájdalommal, másrészt azzal jár, hogy a beteg a fényforrások körül színes gyűrűket lát, továbbá a nagy szemgolyónyomás tönkreteszi a recehártyát. A **kancsalság** lényege: a végtelen messzire tekintő két szem tengelye nem párhuzamos egymással, így kettős kép keletkezik. Mivel ez nagyon zavaró, az agy hamarosan „kikapcsolja" az egyiket, így ez a szem lassan „elfelejt" látni. Kezelése fiatal korban úgy történik, hogy az *egészséges* szemet letakarják, s így a hibás mintegy „kényszerül" a normális látásra.

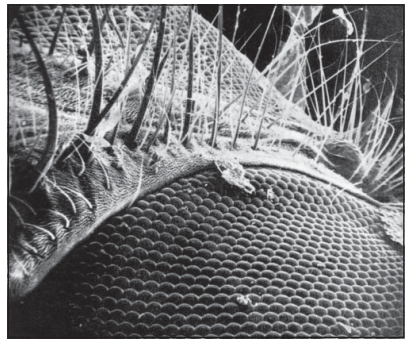


31. ábra. ***A rovarok látása***
a) 130 cm távolságból a méh ilyennek látja az üldögélő nyulat (balra).
b) Kissé távolabb röppenve, 2 méterről még homályosabbá válik a kép, kevesebb elemi lencsére esik fény (jobbra).

1.10 Más típusú szemek

Az állatvilágban az emberétől eltérő felépítésű szemek is kialakultak. Így például a halak és kétéltűek esetében a lencse – hasonlóan a fényképezőgépéhez – előre-hátra mozgatható („teleszkópos szem"). Egészen sajátos az ízeltlábúak **mozaikszeme**. Itt a látvány valóban mozaikként, az egyes fényérzékelő egységek működési mintázataiból áll össze. Mint azt az ábra is érzékelteti, a rovarszem felbontóképessége gyenge. Igen nagy viszont a látótere, és a mozgásokra is sokkal érzékenyebb, mint a madarak vagy az emlősök szeme.

← az ízeltlábúak életműködései X.5.3.5



32. ábra. ***Rovarszem részlete.***
Pásztázó (scanning) elektronmikroszkópos felvétel

← felbontóképesség magyarázata Ptotemaiosz szerint IV.3

Summa (1.)

A geometriai optika abból indul ki, hogy a fény homogén közegben egyenes vonalban terjed, két közeg határán pedig irányt változtat. E jelenségek következményeit a geometria eszközeivel kutatja, anélkül, hogy a jelenségek okára – a fény fizikai természetére – magyarázatot kívánna adni.

Összetett lencserendszer a mikroszkóp (Leeuwenhoek, Hooke) és a távcső. A mikroszkópban a tárgylencse (objektív) által alkotott nagyított, fordított állású és valódi képet a szemlencse (okulár) mint „tárgyat" nagyítja fel. A lencsés távcsőben a kétszeres fókuszon túli tárgyról kicsinyített, fordított állású képet alkot a tárgylencse. Ezt nagyítja föl az okulár. A nagyítás értéke itt a szögnagyítást jelenti. A tükrös távcsövekben homorú tükör helyettesíti a tárgylencsét.

A fényképezőgépekben egy lemezre vetített kép mását fényérzékeny kémiai reakció segítségével rögzítik. A pillanatfelvételek készítését zárszerkezet, a fénymennyiség szabályozását rekesz (blende) teszi lehetővé. A lencsét (lencserendszert) előre-hátra mozgatva állítható a képtávolság értéke, a lencserendszer első tagjának mozgatásával pedig a fókusztávolság.

Az emberi szem optikai rendszere több szempontból hasonlít a fényképezőgépére. A blende szerepét a szivárványhártya (írisz) látja el, az éles kép a retinára (ideghártyára) vetül. A fénytörő közegek

közül a szaruhártya állandó, a lencse – rugalmassága miatt – változtatható fókusztávolságú. Ez teszi lehetővé a változó tárgytávolsághoz való alkalmazkodást (akkomodáció). A folyamat a sugártest megfeszülése és elernyedése révén, a lencsefüggesztő rostok közvetítésével jön létre. A szem optikai rendszerének betegségei közül az időskori távollátás a lencse rugalmasságának csökkenéséből, a szürkehályog átlátszóságának csökkenéséből, a glaukóma a csarnokvíz felszaporodásából, a fiatalkori közel-, illetve távollátás a szem alakjának torzulásából származik.

Az élővilágban az emberétől eltérő típusú szemek is kialakultak (ízeltlábúak mozaikszeme, kétéltűek változtatható képtávolságú szeme).

Kérdések, problémák

1. Milyen anyagból készítették a tükröket az ókorban?

2. A mindennapi életben különféle tükröket használunk. Milyen tükör az,
   – amelyet fésülködéshez használunk,
   – amelyet a fogorvos használ,
   – amelyik a fül-orr-gégész homlokára van erősítve,
   – amelyik a villamosmegállókban van elhelyezve,
   – a borotválkozótükör?

3. A hullámzó tó vizén tükröződő Nap vagy Hold képét hosszú sávnak látjuk. Miért?

4. A lombkoronán átszűrődő napfény a földön gyakran kör alakú foltokban látszik. Miért?

5. Miben különbözik a színházi látcső és a csillagászati távcső?

6. Mi az előnye a tükrös távcsőnek a lencséssel szemben?

Ajánlott irodalom a XIV. fejezethez

- Galilei, Galileo: Matematikai érvelések és bizonyítások, EURÓPA, 1986
- Newton válogatott írásai, TYPOTEX, 2003
- Newton, Isaac: A principiából és az Optikából KRITERION/TÉKA, Bukarest, 1981

- Dr. Bernolák Kálmán: A fény MŰSZAKI, 1981
- Greguss Ferenc: Élhetetlen feltalálók, halhatatlan találmányok MÓRA, 1985
- Karácsonyi Rezső: Egy a valóság s ezer a ruhája III., TANKÖNYVKIADÓ, 1986
- Kulin György: A távcső világa GONDOLAT, 1975
- Lovas Béla: Mikroszkóp – mikrokozmosz GONDOLAT, 1984
- Menzel, Donald: Csillagászat GONDOLAT, 1980
- Öveges József–Molnár Ottó: Színes fizikai kísérletek a „semmiből”, MÓRA, 1977
- Öveges József: Az élő fizika GONDOLAT, 1972
- Paturi, Felix: A technika krónikája OFFICINA NOVA, 1991
- Sain Márton: A fény birodalma GONDOLAT ZSEBKÖNYVEK, 1980
- Schneider, Leo: Hogyan érzékelünk? MÓRA, 1976
- Simonyi Károly: A fizika kulturtörténete GONDOLAT, 1981 (2. kiadás)

2. Rezgések

2.1 Ingák és húrok

Amikor Galilei azt vizsgálta, hogy a szabadon eső testek mozgása függ-e a súlyuktól, két nehézséget kellett leküzdenie. Egyrészt a szabadesés nagyon gyorsan lezajló jelenség, ezért valamilyen módon meg kellett hosszabbítani vagy le kellett „lassítani”, hogy a különböző testek mozgása jobban összehasonlítható legyen. A meghosszabbítás könnyen megvalósítható: nagy magasságból kell leejteni a testeket. Ám ekkor a nagy sebesség miatt a mozgást lényegesen befolyásolja a közegellenállás. A „lelassítás” elérhető azzal, hogy nem függőlegesen, hanem pl. egy lejtőn engedjük mozogni a testeket a nehézségi erő hatására. Ekkor viszont a súrlódás módosítja a testek mozgását. Ezért Galilei egy olyan jelenséget keresett a különböző súlyú testek mozgásának összehasonlításához, amelyik szintén a nehézségi erő hatására megy végbe, elég lassú ahhoz, hogy a közegellenállás csak kismértékben befolyásolja, és sokáig megfigyelhető. Így fordult figyelme az ingamozgás felé.

← VI.6.2

← IX.4.3.3

INGAMOZGÁS

„SALVIATI: …végül aztán vettem egy ólom- és egy parafa golyót – az előbbi súlya több mint százszorosa volt az utóbbinak –, két egyforma, négy-öt rőf hosszú fonalra kötöttem, ugyancsak egyenlő magasságban rögzítettem a fonalak másik végét, a két golyót olyan helyzetbe vittem, hogy a fonalak azonos szöget zárjanak be a függőlegessel, majd egyszerre elengedtem, mire olyan kör kerülete mentén kezdtek mozogni, melynek sugarát a két egyenlő hosszú fonál szabta meg; áthaladtak a függőleges helyzeten, és ugyanezen ív mentén tértek vissza. Jó száz lengést végigvártam, és azt tapasztaltam, hogy a súlyos és könnyű test lengésideje oly mértékben megegyezik, hogy száz, de még ezer lengés után sincs a legcsekélyebb különbség sem köztük: járásuk tökéletesen egyforma. Természetesen a közeg bizonyos mértékig akadályozza a mozgást, és jól meg lehet figyelni a hatását: a parafa kilengései sokkal jobban csökkennek, mint az ólomé, de nem lesznek se gyakoribbak, se ritkábbak; sőt, amikor a parafa már csak öt-hat fokos ívet fut be, az ólom pedig még ötven-hatvan fokos ív mentén mozog, lengésidejük akkor is tökéletesen egyforma.”

Galilei: Matematikai érvelések és bizonyítások

LENGÉSIDŐ ÉS FONALHOSSZ

Galilei megfigyelte, hogy az ingák **lengésideje** – a kiindulási helyzetbe való visszatéréshez szükséges idő – csak az inga fonalának hosszától függ: sem az nem számít, mekkora a ráfüggesztett test súlya, sem az, hogy a függőlegeshez képest mekkora kitéréssel indult. Azt is megállapította, hogyan függ össze a lengésidő a fonal hosszával: *„A különböző fonalakon függő ingák lengésideje pedig úgy aránylik egymáshoz, mint a fonalak hosszának négyzetgyökei…”*

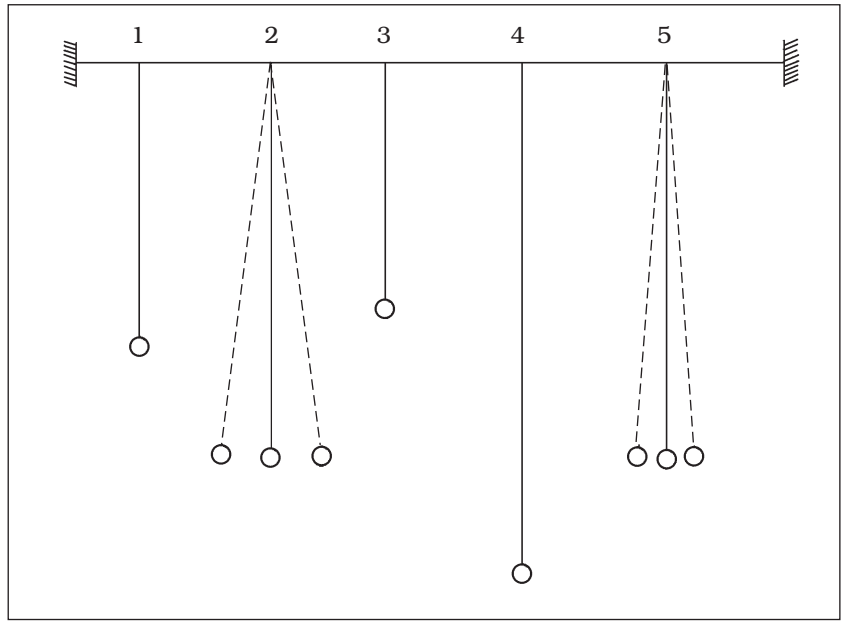
A lengésidő, ill. a lengések gyakorisága (az egységnyi idő alatt végzett lengések száma) tehát az ingának olyan sajátossága, amit a hossz változatlansága mellett semmilyen módon nem lehet befolyásolni, az inga mindig ugyanolyan gyakoriságú lengéseket „hajlandó” csak végezni. Ennek felhasználásával egészen kis hatásokkal súlyos ingákat is könnyen lengésbe lehet hozni, ha ezeket a hatásokat megfelelő ütemben fejtjük ki. Így képes pl. a harangozó a többmázsás harangot egyedül megszólaltatni. Ha több inga között olyan kapcsolat van, hogy energiát tudnak egymásnak átadni, akkor a már lengésben lévő inga hatására a vele azonos lengésidejűek jönnek mozgásba, a többire nincs hatással.

CSATOLT INGÁK

Christian Huygens holland fizikus mutatta ki, hogy Galilei gondolatmenete teljes pontossággal csak kis kitérésű ingák lengésidejére igaz. Ezekre viszont fennáll a lengésidő és a hossz között az az összefüggés, amelyet Galilei megállapított és ezt Huygens le is vezette:

$$T = 2\Pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

ahol T egy lengés ideje, l az inga fonalának hossza, g a nehézségi gyorsulás értéke.



33. ábra. ***Csatolt ingák***
Ha a közös fonálra függesztett ingák közül a 2. számút kitérítjük, akkor egy idő után a vele azonos hosszúságú (lengésidejű) 5. inga kezd egyre nagyobb amplitúdóval lengeni, míg a 2. lengése fokozatosan csillapodik. Egy idő után a helyzet megfordul. Eközben a többi, eltérő hosszúságú inga gyakorlatilag nyugalomban marad.

FREKVENCIA

← Püthagorasz megfigyelése III.3.

Galilei észrevette a hasonlóságot az ingamozgás és más **periodikus** (mindig ugyanúgy ismétlődő) jelenségek között. Behatóan foglalkozott a húrok rezgéseivel és ezeknek az általuk keltett hangokkal való kapcsolatával. A húrokra is jellemző, hogy megpendítéskor milyen gyakoriságú, más szóval milyen **frekvenciájú** rezgésbe jönnek, hiszen ugyanaz a húr mindig ugyanolyan magasságú hangot ad, amíg a hosszát vagy feszülését meg nem változtatjuk. A rezgés frekvenciája és a hang magassága közti kapcsolatot Galilei a következő kísérlettel támasztotta alá:

„SALVIATI: …ha egy vízzel telt poharat úgy szólaltatunk meg, hogy ujjunkat végighúzzuk a pohár peremén, a benne lévő víz tökéletes szabályossággal hullámzani kezd; ez a hatás még jobban megfigyelhető, ha a pohár talpát egy nagy térfogatú edény fenekéhez rögzítjük, és azt csaknem a pohár pereméig megtöltjük vízzel; ha most az előbb elmondottak szerint ujjunk dörzsölésével megszólaltatjuk a poharat, látjuk, hogy a víz teljesen szabályosan hullámzik, a hullámzás nagy sebességgel terjed, és még a pohártól távol is mozogni kezd a víz. Azt is gyakran megfigyeltem, hogy ha az említett módon megszólaltattam egy elég nagy és majdnem teljesen teli poharat, tökéletesen egyforma hullámok alakultak ki, és amikor sikerült elérnem, hogy a pohár hangja egy oktávval magasabb legyen, láttam, hogy abban a pillanatban minden egyes hullám hossza megfeleződött; ez a jelenség világosan bizonyítja, hogy egy hang oktávjának rezgésszáma kétszerese az alaphangénak.”

Galilei: Matematikai érvelések és bizonyítások

→ a hang terjedése XIV.2.4.1

Galilei számos példával szemléltette, hogy hang akkor keletkezik, ha egy test rezgésbe jön és és ezek rezgésbe hozzák a körülötte lévő levegőt is; ez a „remegés” hullámzó mozgás formájában igen messzire terjed.

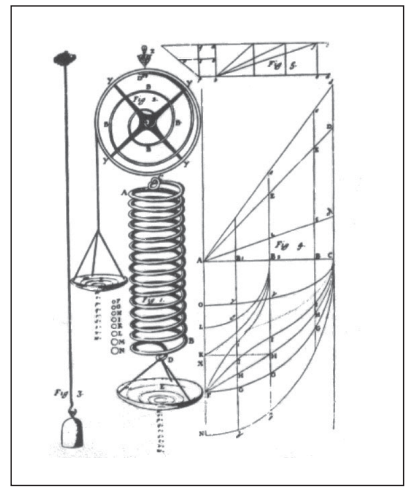
REZONANCIA

A húrok esetében is fellép a csatolt ingáknál megfigyelt jelenség. Ha egy rezgő húr környezetében található egy vele azonos hangolású, azaz vele azonos frekvenciájú rezgésre képes húr, akkor ez is megszólal a másik húr hatására, anélkül, hogy megpendítenénk. Sőt, bármilyen másik test is, amelyik vele azonos frekvenciájú rezgésre képes, rezgésbe jön a rezgő húr hangjának hatására: *„…ha tehát különböző hosszú sörtéket vagy más rugalmas testeket erősítünk a hangszer peremére, és megszólaltatjuk a csem-*

balót, azt látjuk, hogy hol az egyik, hol a másik testecske jön rezgésbe, aszerint, hogy a megütött húr rezgésideje éppen melyikével egyezik meg; a többiek nem mozdulnak meg ennek a húrnak a hatására, valamint ez sem rezeg, ha valamelyik másik húr szól."

A húrok rezgése azonban minden hasonlóság ellenére bonyolultabb jelenség az ingamozgásnál. Ezt mutatja az is, hogy bár egy húr mindig egy meghatározott frekvenciájú rezgésre képes, de az ennek megfelelő magasságú hanggal egyidejűleg – igaz, hogy gyengébben – megszólaltatja pl. alaphangjának oktávját is. Ez könnyen ellenőrizhető úgy, hogy a rezgő húrt közepén óvatosan megérintjük. Ezzel kioltjuk az alaprezgést és hallhatóvá válik az alaphang oktávja. Tehát a húr egyszerre legalább kétféle rezgést végez.

A rezgések és általában a periodikus mozgások pontos leírásához és mechanizmusuk kiderítéséhez, ugyanúgy, mint az ingák esetében, szükség volt a fizika későbbi eredményeire.



34. ábra. ***Egy oldal Hooke Lectures de Potentia Restitutiva (1678) c. művéből***
Robert Hooke (1635–1703) angol fizikus. Kezdetben Boyle asszisztense volt, együtt tökéletesítették a légszivattyút és vele a vákuumra vonatkozó kísérleteket végeztek. Különböző kutatásokat végzett mikroszkóppal is. Legjelentősebb eredményeit a rezgések és a rugalmasság terén érte el, de igen fontosak optikai eredményei is.

2.2. A rezgőmozgás

2.2.1 A rezgőmozgás dinamikája

Mind az inga, mind a húrok egyes pontjai a lengés, illetve a rezgés közben változó távolságra vannak eredeti, nyugalmi helyzetüktől. Ennek hatására olyan erők lépnek fel, amelyek visszatéríteni igyekeznek őket. Az inga esetében ez a nehézségi erőnek az inga körívéhez képesti érintőirányú összetevője, a húroknál pedig a húr rugalmasságából adódó erő. Ezeknek az erőknek a nagysága attól függ, hogy milyen távol van a mozgó test, ill. pont az eredeti helyzetétől, azaz mekkora a **kitérése**. A rezgések és a rugalmas megnyúlás közben fellépő erők vizsgálata Robert Hooke munkásságában játszott jelentős szerepet.

RUGÓK MOZGÁSA

Ő állapította meg, hogy a rugalmas testek megnyúlásának mértéke és az erőhatás nagysága között egyenes arányosság áll fenn. Vizsgálta azt is rugók és különböző huzalok esetén, hogy hogyan függ a megnyúlás a keresztmetszettől, a hosszúságtól, a huzal anyagától. Rugók esetében ezeket a tényezőket célszerű és lehetséges is egyetlen állandóban összefoglalni, amit rugóállandónak nevezünk (jele D) és azt mutatja meg, hogy egységnyi hosszúságú megnyújtáshoz mekkora erő szükséges, vagy másképpen fogalmazva, egységnyi megnyúlás hatására mekkora erő ébred a rugóban (milyen „erős" a rugó). Így a rugóban ébredő rugalmas erő a következő alakban írható fel:

$$F = -Dy$$

A negatív előjel azt jelenti, hogy az erő a megnyúlással vagy összenyomással, azaz a hosszváltozással ellentétes irányú.

A húrok rezgéseinek vizsgálatához ezt az összefüggést nem tudjuk közvetlenül alkalmazni, hiszen nem arról van szó, hogy a húrt hosszában megnyújtjuk (legfeljebb áthangolásnál), hanem a húrra merőlegesen hozzuk létre a kitérést, ráadásul sok pont egyszerre történő mozgását kellene figyelembe venni. Célszerű ezért először egyetlen, rugóra függesztett test mozgását vizsgálni.

Erre a mozgásra is alkalmazható Newton II. törvénye, az erő a Hooke által megállapított összefüggésből adódik:

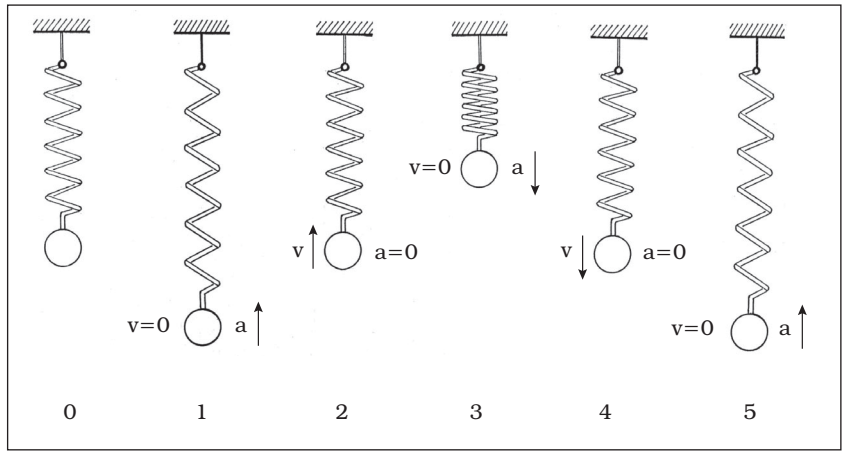
← Newton axiómái VI.7.3

$$ma = -Dy$$

REZGÉS

A rezgés tehát olyan mozgás, amelynek során a test gyorsulása arányos a kitéréssel, és azzal mindig ellentétes irányú. Ebből az összefüggésből

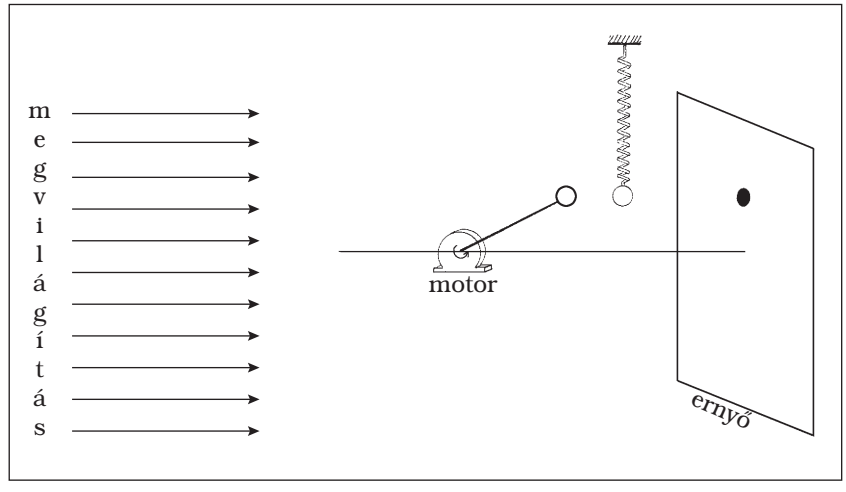
már a XVII. századi matematikai ismeretek birtokában levezethető volt, hogyan függ a rezgő test kitérése, sebessége és gyorsulása az időtől. A rezgések tárgyalása valóban megtalálható Newton Principiájában. A rezgőmozgás időbeli lefolyásának leírása azonban lehetséges ezek nélkül a matematikai ismeretek nélkül is.



35. ábra. ***Rugóra függesztett test mozgása***
A felfüggesztett test súlyánál fogva valamennyire megnyújtja a rugót (ennek mértéke attól függ, milyen nehéz a test és milyen „erős" a rugó), és ebben a helyzetben nyugalomban marad (0). Ha ennél a helyzetnél egy kicsit lejjebb húzzuk a testet, majd elengedjük (1), akkor a rugó – éppen azért, mert rugalmas – igyekszik visszanyerni eredeti hosszát, és felfelé gyorsítja a testet. Így az az eredeti nyugalmi helyzethez valamekkora sebességgel érkezik (2) és tehetetlenségénél fogva túlmegy rajta, és egyre lassulva, összenyomja rugót, majd egy pillanatra megáll (3); de mivel most a nyugalmi helyzet fölött van, újra elindul lefelé, de a nyugalmi helyzeten (4) tehetetlenségénél fogva megint túlszalad és kinyújtja a rugót (5). Ezzel éppen egy periódust tett meg. A nyugalmi helyzetnél éppen annyival jut magasabbra, mint amennyivel annál lejjebb húztuk, hiszen a rugónak annyi energiája lesz, amennyi munkát a megnyújtása közben végeztünk; ez az energia alakul át a test mozgási energiájává, mire a test a nyugalmi helyzethez érkezik; és ez az energia lesz megint rugalmas energia, mire a test a fölső szélső helyzetbe ér. Ugyanakkora energia pedig ugyanakkora hosszváltozást okoz.

2.2.2 A rezgőmozgás kinematikája

A leírást az teszi lehetővé, hogy a rezgőmozgás kapcsolatba hozható a legegyszerűbb periodikus mozgással, az egyenletes körmozgással. Ha ezt a pálya síkjából nézzük, akkor azt látjuk, hogy a körmozgást végző test ide-oda mozog. Bebizonyítható, hogy ez a mozgás éppen olyan, mint a rugóra függesztett testé.

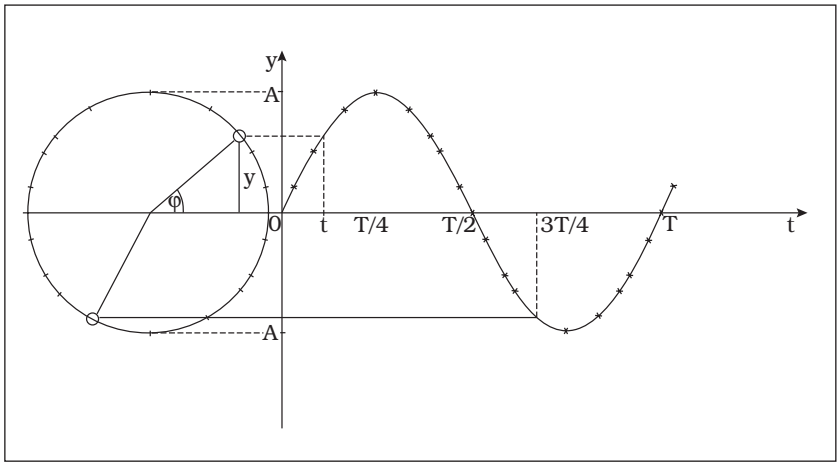


← a körmozgás dinamikája VI.8.1

36. ábra. ***A körmozgás és a rezgőmozgás kapcsolata***
A körpálya középpontja legyen éppen egy magasságban a rugóra függesztett test nyugalmi helyzetével. Nyújtsuk meg a rugót annyival, amennyi a körpálya sugara, és engedjük el abban a pillanatban, amikor a másik test éppen a körpálya legalsó pontján halad át. Ha oldalról párhuzamos fénysugarakkal megvilágítjuk a két testet, akkor mindkettő árnyéka egy vonalban mozog a körpálya síkjára merőlegesen elhelyezett ernyőn, és ha jól választjuk meg a körmozgás fordulatszámát, a két árnyék pontosan fedi egymást mozgás közben.

Az egyenletes körmozgás merőleges vetülete rezgőmozgás.

Ennek alapján levezethető a rezgőmozgás időbeli lefolyását leíró összefüggés. A kitérés jele y, az **amplitúdó**,a legnagyobb kitérés jele A, az egy teljes periódus megtételéhez szükséges idő, a periódusidő vagy **rezgésidő** jele T.



37. ábra. ***A kitérés az idő függvényében***

Legyen a kiinduló időpont az a pillanat, amikor a körmozgást végző test árnyéka éppen a nyugalmi helyzetnek megfelelő ponton halad át. A kitérés az a távolság lesz, amennyire a körpályán mozgó test a kör vízszintes átmérőjétől van. Ez egy tetszőleges t időpillanatban, mivel a kör sugara éppen egyenlő a rezgés amplitúdójával,

$$y = A \sin\varphi.$$

A φ szög úgy aránylik a teljes szöghöz, mint az eléréséhez szükséges idő a teljes körülforduláshoz szükséges időhöz, ami egyben a periódusidő is. Azaz

$$\frac{\varphi}{2\Pi} = \frac{t}{T}$$

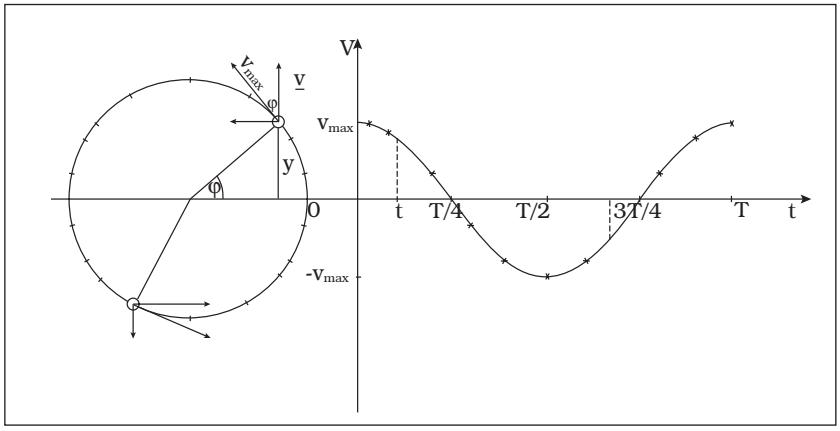
Ebből φ-t kifejezve és behelyettesítve az első összefüggésbe, megkapjuk a keresett összefüggést.

A rezgőmozgás kitérése az idő függvényében:

$$y = A \sin\frac{2\Pi}{T}t$$

Az olyan rezgéseket, amelyeket egy szinuszfüggvény ír le, **harmonikus rezgőmozgások**nak nevezzük.

Ugyanezzel a módszerrel leírhatjuk a rezgőmozgás sebességét is az idő függvényében.



38. ábra. ***A sebesség az idő függvényében***

A körmozgást végző test kerületi sebességének függőleges összetevője egyenlő a rezgést végző test sebességével.

$$v = v_{ker} \cos\varphi = v_{ker} \cos\frac{2\Pi}{T}t$$

A v_{ker} sebesség a rezgőmozgás maximális sebessége, éppen akkor látjuk ekkora sebességgel mozogni, amikor a körmozgást végző test sebessége függőleges, vagyis amikor a nyugalmi helyzetnek megfelelő ponton halad át. Ezt a sebességet felírhatjuk a körmozgás, ill. a rezgőmozgás adataival is:

$$v_{max} = \frac{2\Pi r}{T} = A\frac{2\Pi}{T}$$

A rezgő test sebességének időbeli változását leíró függvény:

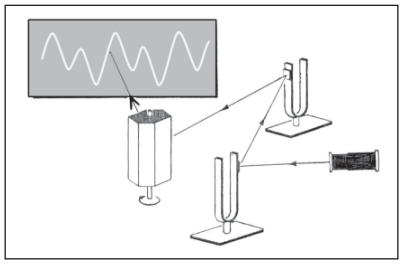
$$v = A\frac{2\Pi}{T}\cos\frac{2\Pi}{T}t$$

Hasonló meggondolások alapján felírható a rezgőmozgást végző test gyorsulása is, hiszen ez egyenlő a körmozgást végző test centripetális gyorsulásának függőleges komponensével, így

$$a_{rezg} = -A\left(\frac{2\Pi}{T}\right)^2 \sin\frac{2\Pi}{T}t$$

AMPLITÚDÓ ÉS REZGÉSIDŐ

← a körmozgás gyorsulása VI.8.1



39. ábra. ***Két egyirányú rezgés összetétele***

Két egyforma, kis tükörrel felszerelt hangvillát az ábrán látható módon vékony fénynyalábbal megvilágítunk és a kétszeresen visszavert fénysugarat egy gyorsan forgó tükörre ejtjük.

Így a megfelelő helyen elhelyezett ernyőn egy vízszintes fénycsíkot kapunk. Ha a hangvillákat rezgésbe hozzuk, velük együtt rezegnek a tükrök is és a visszavert fénynyaláb ennek megfelelően „ugrál", így a forgó tükör a két rezgés által okozott együttes kitérést rajzolja az ernyőre. (Ha csak egy hangvillát használnánk, akkor a 2.2.2 pontban kapott sinusgörbe jelenne meg az ernyőn.)

40. ábra

a) Egyirányú, azonos fázisú rezgések eredője

Az összetett rezgés kitérése minden időpillanatban a két rezgés kitérésének (előjeles) összege, hiszen a rezgő pontnak mindkét rezgés által diktált kitérést meg kell tennie. Azonban az, hogy a két rezgés együttesének milyen lesz az időbeli lefolyása, attól függ, milyen a két összetevő rezgés frekvenciája és milyen fázisban vannak egymáshoz képest.

Ha két hangvilla egyforma, akkor rezgésük frekvenciája is egyenlő. Ha egyszerre ütjük meg őket, akkor a két rezgés azonos fázisú lesz, vagyis egyszerre lesznek szélső helyzetben és a nyugalmi helyzeten is egyszerre és azonos irányban haladnak át. Szaggatott, ill. vékony vonal ábrázolja az összetevő rezgések görbéjét (ezek azok a rezgések, amelyeket a hangvillák külön-külön végeznek), a vastag az eredő rezgését.

b) Egyirányú, ellentétes fázisú rezgések eredője

Ha sikerül a két hangvillát ellentétes fázisú rezgésbe hozni (ez elég nehéz), akkor az eredő kitérés a két kitérés különbsége, mivel a két rezgés mindig ellentétes irányú mozgást ír elő a rezgő pontnak.

Ha a két összetevő rezgésnek az amplitúdója is egyenlő, akkor a két rezgés kioltja egymást, a fénysugár a két visszaverődés után újra vízszintes vonalat rajzol.

A sinus előtt álló együttható nem más, mint a $\frac{v^2}{r}$ centripetális gyorsulás, ami egyben a rezgés maximális gyorsulása is. Ez akkor lép fel, mikor a centripetális gyorsulás függőleges, vagyis a test a két szélső pont valamelyikén halad át. A negatív előjel azt jelzi, hogy a gyorsulás mindig ellentétes a kitéréssel; ha a test a nyugalmi helyzet fölött van, akkor lefelé gyorsul (akkor is, ha éppen fölfelé mozog!), ha alatta, akkor pedig fölfelé gyorsul (akkor is, ha éppen lefelé mozog).

A $\frac{2\Pi}{T}$ kifejezés a körmozgás szögsebessége. A rezgőmozgás esetében **körfrekvenciának** nevezzük (jele itt is ω). Az elnevezés onnan származik, hogy a „rendes" frekvencia 2Π-szerese. A **frekvencia** megfelel a körmozgás fordulatszámának, s azt mutatja meg, hogy a test egy időegység alatt hány rezgést végez, és így most is a T reciproka. (Jele f vagy n.) A fentiekben többször használt szöget pedig, ami $\varphi = \omega t$ alakban is írható, a rezgés esetében **fázisszög**nek vagy röviden fázisnak szokás nevezni, mivel azt mutatja meg, hogy a test a teljes rezgés melyik szakaszában van éppen. Ha a $t = 0$ időpillanatban a test kitérése és így fázisa nem 0, akkor az ωt értékhez hozzáadódik a φ_0 kezdőfázis is, így $\varphi = \varphi_0 + \omega t$.

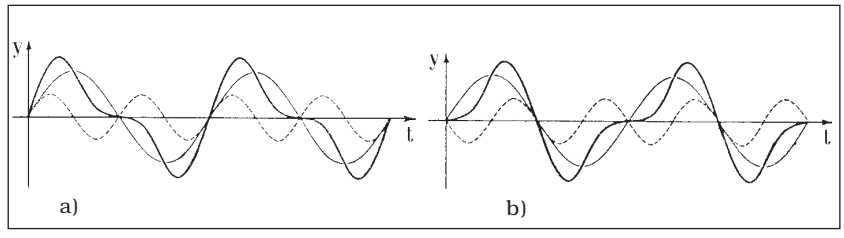
A rezgőmozgás periódusidejét legegyszerűbben a dinamikai egyenletből lehet megállapítani. Célszerű az egyenletet az egyik szélső pontra alkalmazni. Ekkor $y = A$, a gyorsulás pedig maximális, vagyis $A\omega^2$-tel egyenlő. Ezeket az értékeket beírva az egyenletbe, az amplitúdó kiesik, ω helyett (mivel most a rezgésidőt akarjuk megkapni) a $\frac{2\Pi}{T}$ kifejezést használva, azt kapjuk, hogy

$$T = 2\Pi\sqrt{\frac{m}{D}}$$

Minél nagyobb a test tömege, annál nagyobb a rezgésidő, a test annál lomhábban rezeg; és minél nagyobb a rugóállandó, vagyis minél erősebb a rugalmas kölcsönhatás, annál kisebb a rezgésidő, annál gyorsabb, nagyobb frekvenciájú a rezgés. Ezt az összefüggést természetesen mérésekkel, tapasztalati úton is alá lehet támasztani különböző rugóállandójú rugók és különböző tömegű testek felhasználásával, a rezgésidő mérésével. A rezgésidő sem függ az amplitúdótól, mint ahogyan a kis kitérésű ingák lengésideje sem függ attól, mekkora kitérésű lengéseket hozunk létre. A rezgőrendszerek is a rájuk jellemző frekvenciával rezegnek, még akkor is, ha a rezgés csillapodik, azaz az amplitúdó folyamatosan csökken – ahogy Galilei is leírta az ingák esetében.

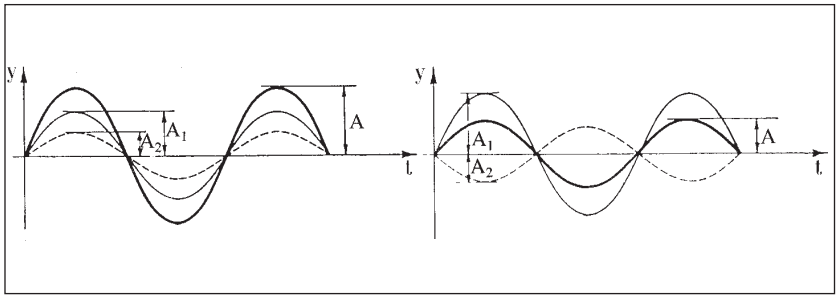
2.2.3. Rezgések összetétele

Gyakori eset, hogy egy test egyszerre két különböző mozgást végez. Ha egy testet elhajítunk, vízszintes irányban egyenletesen mozog (hiszen ebben az irányban semmilyen erő nem hat rá), függőlegesen pedig szabadon esik. Ha a 2.2.2 pontban leírt kísérleti berendezést kiegészítjük egy, az eredetileg használthoz képest merőleges megvilágítással és ernyővel, akkor a test árnyéka ezen is ugyanolyan mozgást végez, mint az eredeti ernyőn. Ez azt jelenti, hogy a körmozgást végző test egyszerre végez két, egymásra merőleges rezgést, aminek az eredménye a körmozgás.



Előfordul az is, hogy a test két egyirányú rezgőmozgást végez egyszerre. Ennek kimenetele rendkívül sokféle lehet, sőt, több harmonikus rezgőmozgás összetételével tetszőleges rezgés előállítható.

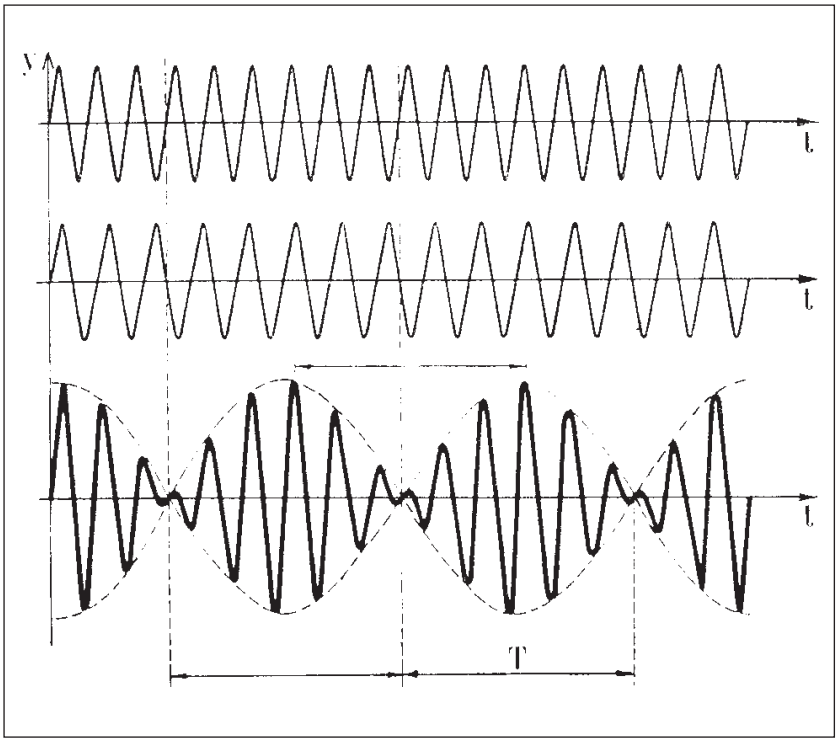
→ hogyan elemzi hallásunk a hangérzetet? (Helmholtz) XVIII.3.3.10



← analízis és szintézis (Descartes) VII.3.1.1

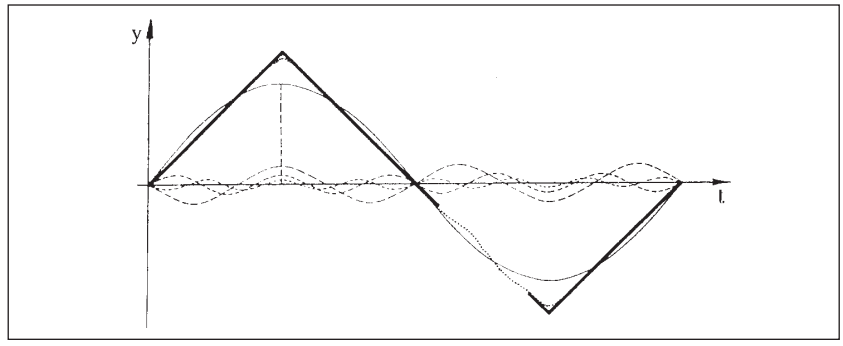
← összetett mozgások a kinematikában VI.6.3 (szabadesés)

41. ábra.
a) Különböző frekvenciájú, azonos fázisban induló rezgések eredője
b) Különböző frekvenciájú, ellentétes fázisban induló rezgések eredője
Ezt egymástól különböző hangvillák segítségével lehet előállítani. Az ábra két olyan rezgés összetételét mutatja, amelyek közül az egyik kétszeres frekvenciájú a másikhoz képest.
Az egyik esetben azonos fázisban indulnak, a másikban éppen ellentétesben. Még bonyolultabbak a görbék, ha a két rezgés között a fáziseltérés 0-tól és P-től különböző érték. Ez a grafikonon úgy mutatkozna, hogy az egyik összetevő rezgés görbéje nem az origóban kezdődne.

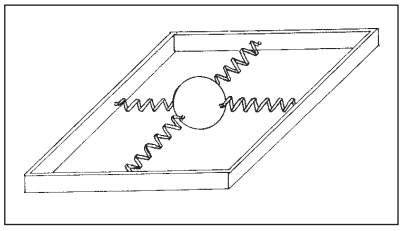


42. ábra. ***Lebegés***
Ha a két összetevő rezgés frekvenciája kismértékben tér el egymástól, akkor periodikusan váltakozva fogják erősíteni, ill. gyengíteni egymást; az eredő rezgés az ún. lebegés lesz. A rezgés amplitúdója hol nagyon nagy lesz, hol majdnem 0, és az ábrán látható módon ez a váltakozás is szinuszfüggvénnyel leírható módon történik.

→ lebegés a hullámtanban XIV.2.3.2



43. ábra. ***Rezgés előállítása harmonikus rezgések eredőjeként***
A vastag vonallal ábrázolt mozgást pl. úgy valósíthatjuk meg, hogy egy testet egyenletesen emelgetünk le-föl. A mozgás előállításához elegendő négy harmonikus rezgés, vagyis ezt a függvényt már négy, alkalmasan megválasztott szinuszfüggvény összege is igen jól megközelíti. Az összetevők szaggatott vonallal, a közelítő görbe pedig pontozott vonallal szerepel az ábrán.

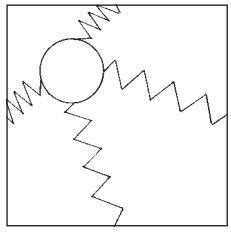


44. ábra. ***Eszköz merőleges rezgések összetételére***

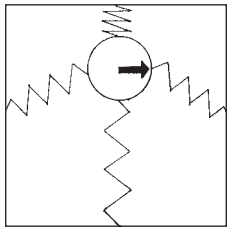
Azt a matematikai eljárást, amelynek segítségével meghatározható, hogy mekkora frekvenciájú és amplitúdójú rezgéseket kell „összerakni" tetszőleges rezgés előállításához, Joseph Fourier (1768–1830) francia fizikus dolgozta ki az 1820-as években. Az elmélet olyan termékenynek bizonyult, hogy ebből a matematikának egy külön ága fejlődött ki, és a fizika számos más területén is alkalmazható. Fourier-nak is egy hőtani probléma megoldásához volt rá szüksége.

Az az állítás, mely szerint a körmozgás két merőleges rezgés összetétele, fordítva is igazolható. Ne a körmozgást bontsuk merőleges összetevőkre, hanem fordítva: kényszerítsünk egy testet arra, hogy két, egymásra merőleges rezgést végezzen egyszerre, és nézzük meg, mi lesz az eredmény. Ezt például úgy valósíthatjuk meg, hogy a testet két vízszintes, merőleges rugópár közé rögzítjük.

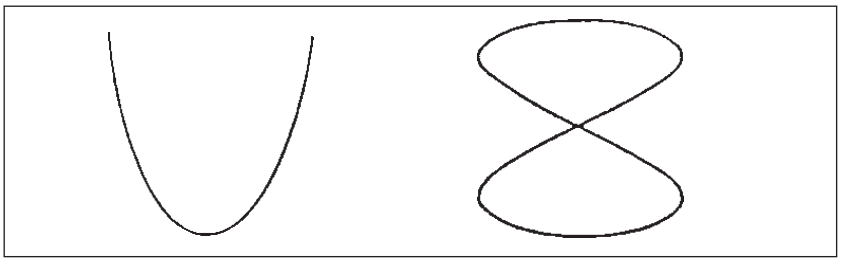
Attól függően, hogy melyik rugópárt mennyire nyújtjuk meg és milyen irányú és nagyságú kezdősebességet adunk a testnek, rendkívül sokféle, általában *görbepályájú* mozgás figyelhető meg – köztük a körmozgás is.

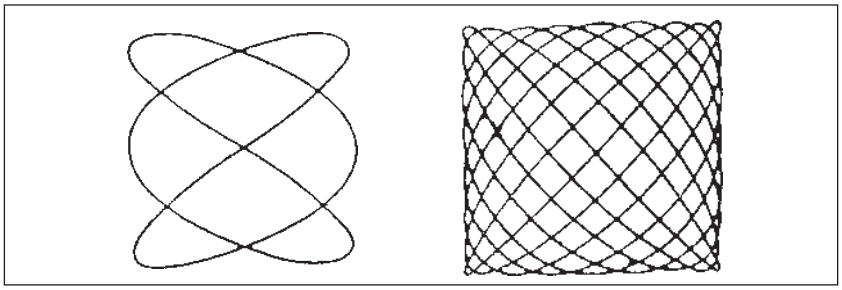


45. ábra. ***Azonos fázisú merőleges rezgések előállítása***
Ha azt akarjuk, hogy a test mindkét irányban rezegjen, akkor mindkét irányba ki kell térítenünk, például az ábrán látható módon. Ha elengedjük, a test az átló mentén rezeg, mivel a rugók mindig erre szimmetrikus erőket fejtenek ki rá. A rezgés frekvenciája akkora lesz, mint külön-külön lenne az egyes rugópárok hatására (ha a rugók egyformák), amplitúdóját pedig egyszerűen kiszámíthatjuk a Pitagorasz-tétel segítségével. Így tehát nem jön létre körmozgás.



46. ábra. ***π/2 fáziskülönbségű merőleges rezgések előállítása***
Amikor a körmozgás és a rezgőmozgás összehasonlítására szolgáló kísérletben a körmozgást végzős test oldalról nézett árnyéka éppen a nyugalmi helyzeten halad át, akkor az alulról nézett árnyék szélső helyzetben van, vagyis éppen negyedrezgésnyi eltérés – fáziskülönbség – van köztük. Tehát elég az egyik rugópár irányában kitérést létrehozni, viszont ekkor a másik irányban már mozgásban kellene lennie a testnek, méghozzá maximális sebességgel – így nem elég elengedni, hanem meg kell lökni, a kitérésre merőlegesen, és éppen az amplitúdó és a frekvencia által megszabott maximális sebességgel. Ha ezt sikerül eltalálni, akkor a test körpályán fog mozogni, igaz, hogy az energiaveszteség miatt csak rövid ideig. Ha nem sikerül, akkor ez a rezgés más amplitúdójú lesz, mint a másik, a körpálya torzulni fog, és ellipszis lesz.





47. ábra. ***Merőleges rezgések összetételéből kapott pályavonalak***
Ha az egyik rugópár helyett olyat alkalmazunk, amelyiknek a rugóállandója például négyszerese a másikénak, akkor az általa létrehozott rezgés frekvenciája feleakkora lesz, mint a másiknak. Ebben az esetben a pálya – attól függően, hogy fáziskülönbség nélkül vagy fáziseltéréssel indítjuk a testet a két irányba, mint az előző két esetben – az ábrán látható két görbe lesz.

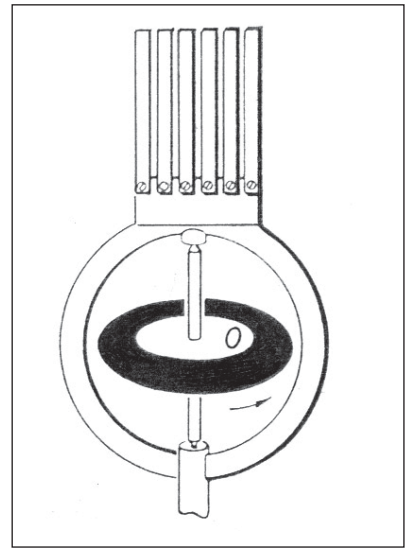
48. ábra. ***Lissajous-görbék***
Az előbbitől különböző frekvenciaarányokat mechanikus úton már nehéz előállítani, de néhány pályának – más úton megkapott – rajzát közöljük.

2.2.4 Kényszerrezgések, rezonancia

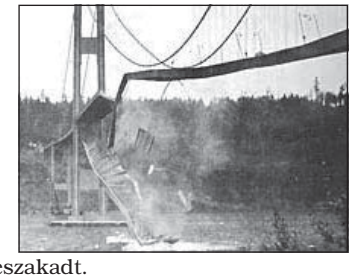
Ha a rezgésre képes rendszert kitérítjük egyensúlyi helyzetéből, és aztán magára hagyjuk, akkor rezgésbe jön, és ún. szabadrezgést vagy **sajátrezgés**t végez. Ez történt pl. a rugóra függesztett testtel, a hangvillákkal vagy a rugópárok közé rögzített golyóval. Az ilyen rezgés frekvenciáját a rezgést végző rendszer tömege és rugalmas tulajdonságai határozzák meg, és **sajátfrekvenciának** nevezzük. A rugóra függesztett test esetében például ez a rugóállandótól és a test tömegétől függ. Bonyolultabb alakú rendszereknek több különböző sajátfrekvenciája is lehet. A magukra hagyott rendszerek rezgése a körülményektől függően többé vagy kevésbé gyorsan csillapodik, majd megszűnik.

Ha a rezgő rendszerre egy külső, periodikusan változó erőt gyakorlunk, akkor ez is rezgésre kényszeríti és ez a **kényszerrezgés** a sajátrezgéssel az előző pontban megismert szabályok szerint összegződik. Rövid átmeneti időszak után „győz” a gerjesztő rezgés, a rezgő rendszer ennek frekvenciájával rezeg, a gerjesztő rezgéshez képest némi fáziskéséssel. Könnyen előállíthatunk ilyen kényszerrezgést, ha a rugót, amelyen a függesztett test rezeg, le-föl mozgatjuk.

Ha változtatjuk ennek a le-föl mozgatásnak a frekvenciáját, akkor azt tapasztaljuk, hogy egyszer csak a rezgés amplitúdója ugrásszerűen megnő. Ez éppen akkor következik be, amikor „eltaláljuk” a rendszer valamelyik sajátfrekvenciáját. Ezt a jelenséget nevezzük **rezonanciának**. A rezgő rendszerek tehát csak a sajátfrekvenciájuknak megfelelő ütemben érkező energiát „fogadják el”. Lényegében ugyanezt a jelenséget írta le Galilei a csembalóra erősített kis, rugalmas sörtékkel. A rezonancia jelentősége igen nagy mind a fizikában, mind a technikában, mind a hétköznapi életben.



49. ábra. ***Nyelves frekvenciamérő***
A vízszintes síkú, súlyos korong középpontja nem esik pontosan a tengelyre. Ezért ha a korongot a mérendő rezgés frekvenciájával azonos fordulatszámmal forgatják, akkor a tengelyt ugyanilyen frekvenciájú rezgésbe hozza. Ezt a rezgést a függőleges gyűrűn keresztül a ráerősített, ismert sajátfrekvenciájú rugalmas lemezek átveszik. A rezonancia következtében a mérendő frekvenciával megegyező sajátfrekvenciájú lemez jön rezgésbe. A lemezek sajátfrekvenciája azért más, mert különböző a vastagságuk.



50. ábra. ***A széllökésekkel rezonáló híd***
Más esetben éppen az a cél, hogy ne léphessen fel rezonancia. Ez különösen épületek, hidak esetében fontos. Ha pl. katonaság vonul át egy hídon, nem tartanak lépést, mert ha a menetelés üteme véletlenül egybeesik a híd sajátfrekvenciájával, olyan nagy amplitúdójú rezgés alakulhat ki, hogy károsodást okoz a híd szerkezetében. Bekövetkezett már olyan katasztrófa, hogy a nem is túl erős szél éppen olyan ütemben lökdösött egy hidat, hogy az berezonált és leszakadt.

Summa (2.2)

Egy test két szélső helyzet között egy egyenes szakasz mentén végzett periodikus mozgása a rezgőmozgás. A rezgőmozgás harmonikus, ha a nyugalmi helyzettől mért kitérést sinusfüggvény írja le. Harmonikus rezgőmozgást olyan erő hoz létre, amely a kitéréssel egyenesen arányos, de azzal ellentétes irányú, ilyen pl. a megnyújtott rugó által kifejtett erő. Egy test egyszerre több rezgést is végezhet. Ha ezek a rezgések egy egyenesbe esnek, akkor erősíthetik vagy gyengíthetik egymást, aszerint, hogy milyen fázisban vannak egymáshoz képest. Tetszőleges periodikus rezgés előállítható harmonikus rezgések eredőjeként. Ha a test két, egymásra merőleges rezgést végez egyszerre, akkor a mozgás pályavonalai igen változatos görbék lehetnek a rezgések frekvenciájától és fáziskülönbségétől függően. Egy rezgésre képes test mindig ugyanazzal a frekvenciával, a tömege és a rugalmas tulajdonságai által meghatározott sajátfrekvenciával rezeg. Ha egy külső, periodikus hatás éri, akkor a saját- és a kényszerrezgés eredője alakul ki. Ha a kényszerrezgés frekvenciája egybeesik a sajátfrekvenciával, az eredő rezgés amplitúdója ugrásszerűen megnő, ez a jelenség a rezonancia.

Kérdések, problémák

1. Mi a jelentősége a periodikus mozgásoknak?
2. A húrok a billentyűs és a vonós hangszereknek is alapvető részei. Mi a különbség a két hangszercsalád között?
3. Mit csinálunk, amikor a húros hangszereket hangoljuk?
4. „Hasznos” vagy „káros” jelenség a rezonancia?

2.3 Hullámok

2.3.1 A hullámok keletkezése

→ hangok keletkezése XIV.2.4

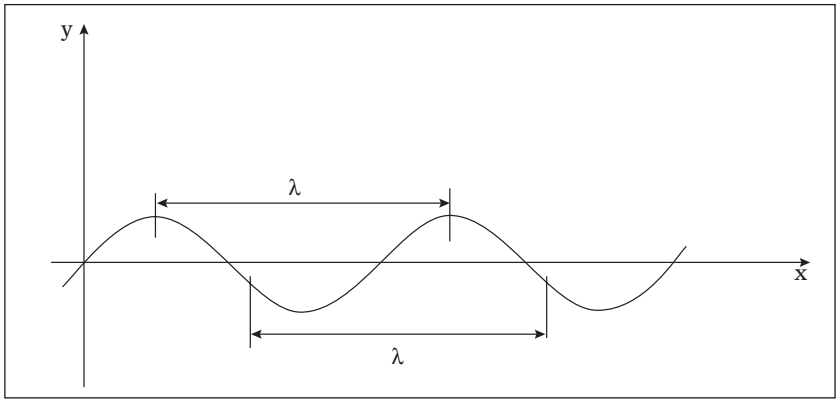
HULLÁM

← vízrészecskék mozgása a hullámokban VIII.3.2.2

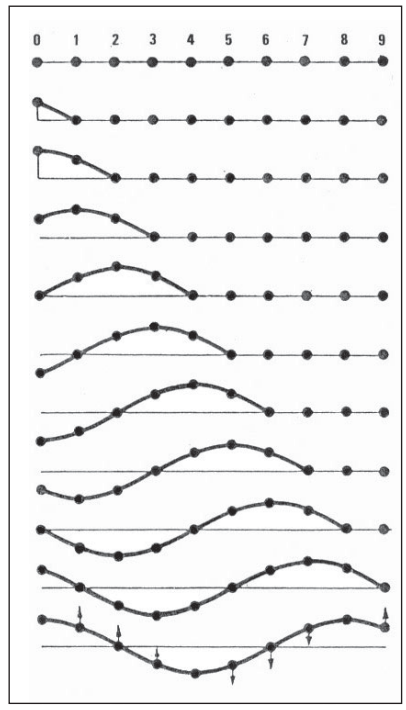
Galilei is leírta, hogy ha egy kiterjedt test egy pontját rezgésbe hozzuk – vagy általánosabban fogalmazva valamilyen közeg egy pontján rezgést keltünk – akkor a közeg távolabbi pontjai is fokozatosan rezgésbe jönnek. Ez történik akkor, ha a húr egy pontját megpendítjük, és ennek hatására az egész húr rezegni kezd; ha a vízbe állított, dörzsöléssel „megszólaltatott” pohár hatására a környező víz felszíne hullámzásba kezd; ha a rezgő húr a környező levegőt rezgésre készteti, amit hangként érzékelünk. **A rezgésállapot terjedését nevezzük hullámnak**. Valóban csak a hullám terjed; az őt hordozó közeg pontjai a terjedés irányában nem mozdulnak el. A vízen úszó fadarab is csak le-föl táncol az átvonuló hullám hatására, de nem sodródik vele.

A hullámok terjedését általában nehéz megfigyelni. A húr túl gyorsan rezeg ahhoz, hogy szemmel követhessük. A vízhullámoknál csak annyit látunk, hogy hullámhegyek és -völgyek követik egymást, de azt nem, hogy mi történik a víz részecskéivel. A hang tulajdonságaira legfeljebb hangérzetünk alapján következtethetünk. Előállítható azonban lassúbb és szemmel követhető hullám egyik végén rögzített, hosszú, vízszintes kötél segítségével, amelynek szabad végét le-föl rázogatjuk. Így nemcsak a hullámhegyek és -völgyek vonulása figyelhető meg, hanem a kötél egyes pontjainak mozgása is.

51. ábra. ***Hullám terjedése kötélen***
A pillanatképeknek tekinthető ábrasorozat azt mutatja, mi történik a kötél 1-től 9-ig számozott egyes pontjaival, míg a kötél vége több, mint egy teljes rezgést végez. Két szomszédos pillanatkép között nyolcadrezgésnyi idő telik el, tehát feleannyi, mint amennyi a nyugalmi helyzettől a szélső helyzetig való eljutáshoz szükséges. Mire a kötél vége a szélső helyzetbe jut, azaz a kitérése az amplitúdóval egyenlő, addigra a rajzon a 2. pont kezdi meg éppen a rezgést, vagyis a hullám ennyi idő alatt idáig jutott el. Megfigyelhető, hogy minden pont éppen olyan rezgésállapotban van, mint amilyenben a mögötte lévő jelzett pont volt nyolcadrezgésnyi idővel azelőtt. Ha viszont függőlegesen nézzük végig az ábrasort például a 2. pont mentén, azt látjuk, hogy ugyanolyan mozgást végez, mint a kötél vége, csak kissé késve ahhoz képest. Mikor a kötél vége egy teljes rezgést végrehajtott, akkor kezd rezgésbe a 8. pont, és pontosan ekkor kezdi a második rezgést a kötél vége is. Ez a két pont tehát azonos fázisban fog rezegni. Eddig ilyen pontok nem voltak a kötélen; minden pontja a rezgés más-más szakaszában tartott. Ezután viszont egyre több ilyen pont lesz. Az utolsó két rajzon látszik, hogy az 1. és a 9. is ilyen pontpár, de ezek távolsága is ugyanakkora, mint a 0. és 8. ponté.



52. ábra. ***A hullámhossz***
A kötél minden pontja azonos frekvenciájú és amplitúdójú rezgést végez, egymáshoz képest némi fáziskéséssel. Vannak azonban olyan pontok is, amelyek azonos fázisban rezegnek. Két szomszédos ilyen pont távolsága egy hullámban mindig ugyanakkora, a neve **hullámhossz** (jele λ). A hullámhossz két fontos tulajdonsága:
– egy rezgésidő alatt a hullám éppen ekkora távolságra jut el;
– ekkora a távolsága a közeg két legközelebbi, azonos fázisban rezgő pontjának.



HULLÁMHOSSZ

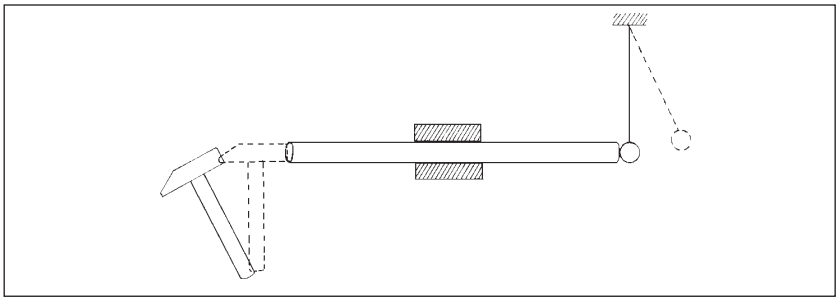
A hullámhossz – két szomszédos, azonos fázisban rezgő pont távolsága – a hullám fontos jellemzője. Segítségével felírható a hullám terjedési sebessége is:

$$c = \frac{\lambda}{T}$$

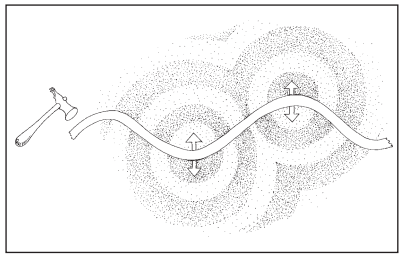
Ennek az összefüggésnek gyakrabban használt alakja – felhasználva azt, hogy a frekvencia a periódusidő reciproka – a következő:

$$c = \lambda f$$

← egyenes vonalú egyenletes mozgás VI.5.2



53. ábra. ***Hullám keltése szilárd rúdban***
Nemcsak kötélen, hanem szilárd rúdban is létrejöhetnek hullámok. Ha a rudat egyik végén megütjük, akkor a másik végéhez érintett felfüggesztett golyó kilendül, akkor is, ha a rudat rögzítjük, például a közepén satuba fogjuk.



54. ábra. ***Hanghullámok keletkezése rezgő fémlemez körül***
A rajz csak két kiválasztott pont által keltett hullámokat ábrázolja. Valójában a rezgő lemez minden pontja ilyen hullámokat kelt. A hullámhegy felőli oldalon összesűrűsödnek a levegő részecskéi, a másik oldalon pedig megritkulnak. A sűrűbb, nagyobb nyomású helyről a levegőrészecskék igyekeznek továbbjutni, így a lökést továbbadják; a ritkább, kisebb nyomású helyre pedig igyekeznek újabb levegőrészecskék behatolni, így azok is elindulnak a rezgő lemez vagy húr felé. Rövid idő múltán azonban megfordul a helyzet; a húron hullámhegyből hullámvölgy lesz és fordítva. Ezért ellenkező irányú sűrűsödési és ritkulási folyamat indul meg és ez terjed váltakozva folyamatosan egyre nagyobb távolságra a levegőben.

HULLÁMTÍPUSOK

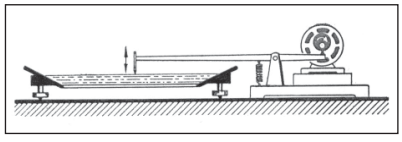
Egy végén megütött rúdban a rezgésirány párhuzamos a rúddal, vagyis a hullám terjedési irányával. Most nem hullámhegyek és -völgyek alakulnak ki, hanem a rúd részecskéi a rúd mentén rezegve sűrűsödéseket és ritkulásokat hoznak létre, és ezek terjednek a hullámban. Az ilyen hullámokat **longitudinális (hosszanti) hullámok**nak nevezzük, szemben a kötélen terjedő **transzverzális (haránt-) hullámok**kal, ahol a rezgésirány a terjedési irányra merőleges. Ezeknél a hullámoknál is ugyanúgy értelmezhetjük a hullámhosszt és számolhatjuk a terjedési sebességet, mint az előbbieknél.

A vízhullámok ebből a szempontból abban különböznek az előző két hullámtól, hogy nem vonal mentén, hanem felületen terjednek. A hang – mivel a hangforrástól a tér minden irányába terjed – térbeli hullám.

A hangot már több ókori gondolkodó is a levegő mozgásával azonosította, ill. hozta kapcsolatba. Galilei le is írta, hogyan hat a rezgő húr a levegő közvetítésével a dobhártyára. Azt könnyű bebizonyítani, hogy a hang terjedéséhez szükség van a levegőre – legalábbis a légszivattyúk létezése óta (XVII. század második fele). Ha egy rezgő hangvillát helyezünk a légszivattyú üvegburája alá, nem halljuk a hangot – pedig látjuk, hogy a hangvilla rezeg. Ha megütünk egy rugalmas fémlemezt, vagy megpendítünk egy húrt, a részecskéi rezgésbe jönnek és meglökik az őket körülvevő levegő részecskéit.

A levegőrészecskék ide-oda rezegnek és a *rezgés irányában* adják tovább ezt a rezgésállapotot. A mozgás irányára merőlegesen nem fejtenek ki egymásra hatást. A hang tehát longitudinális hullám.

A hullámok terjedésében a közeg részecskéi között fellépő rugalmas erők játszanak szerepet. A longitudinális hullámokban a sűrűsödések és ritkulások miatt fellépő nyomáskülönbségből adódik az az erő, ami a részecskéket rezgésre kényszeríti: minél nagyobb a részecske kitérése, annál nagyobb a visszatérítő erő, ezért ez rugalmas hatásnak tekinthető. Ennek köszönhetően longitudinális hullámok szilárd anyagokban, folyadékokban és gázokban egyaránt terjedhetnek. A tapasztalat valóban alátámasztja ezt: vízben is hallunk hangot, és pl. a vasúti sínek is jól vezetik a vonatzajt. A hullám terjedési irányára merőlegesen rugalmas erők csak szilárd anyagokban léphetnek fel, a folyadékokban és gázokban a részecskék közötti kapcsolat ehhez túl gyenge. Ezért rugalmas transzverzális hullám csak szilárd anyagokban terjedhet. A vízhullámok ugyan transzverzális hullámok, de nem rugalmasak. Kialakulásuk a nehézségi erőnek és a felületi feszültségnek köszönhető. Ezek egyikének nagysága sem függ a vízrészecskék kitérésének nagyságától, így azokra nem rugalmas erők hatnak. A vízrészecskék valójában nem is rezgőmozgást végeznek, hanem körmozgást, ennek ellenére *kis* amplitúdók esetén a vízhullámok alkalmasak a rugalmas hullámok szemléltetésére.

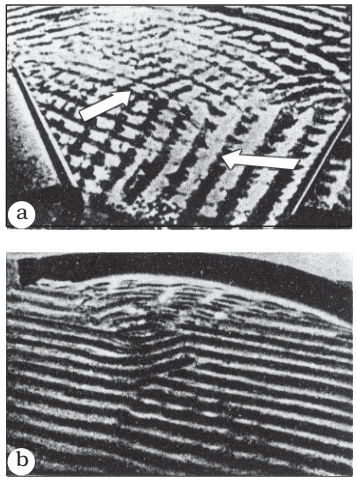


55. ábra. ***Young-féle hullámtál***
A lapos edény fokozatosan mélyül, hogy az oldalfalakról visszaverődő hullámok ne zavarják a jelenségek megfigyelését. Jól megfigyelhető vízhullámok kelthetők úgy, hogy lapos edénybe öntött víz felszínét egy harmonikus rezgést végző vékony rúd vége vagy lemez éle ütögeti. A hullámkeltőt az eszköz modern változatában nagy fordulatszámú motor hajtja. Ha az edény alja üvegből készül, akkor alulról kivetíthető a megfigyelt jelenség. Az állítható lábak segítségével elérhető, hogy a vízréteg mindenhol azonos mélységű legyen. A visszaverődés törvényei könnyen vizsgálhatók az eszköz segítségével.

2.3.2. Hullámjelenségek

A húrokon terjedő hullámokat nemcsak azért nehéz megfigyelni, mert túl gyorsak, hanem azért is, mert a húr rögzített végéhez érve a hullám „visszafordul”, és valójában az oda-vissza terjedő hullámok együttese figyelhető meg. A hang is „képes” ugyanerre a jelenségre. Visszhang akkor jön létre, ha a hang egy akadályba ütközik és irányt változtat. Ritka észlelhetőségének hallásunk az oka: az eredeti és a visszavert hangot akkor érzékeljük különbözőnek, ha köztük bizonyos idő telik el, ehhez pedig távoli akadályok szükségesek.

Ha a hullám nem tud belépni az új közegbe, akkor kénytelen az eredetiben továbbhaladni, és ez biztosan irányváltozást jelent. Ezt a jelenséget nevezzük **visszaverődés**nek – ugyanúgy, mint a fény esetében.



56. ábra. ***a) Egyenes hullámok visszaverődése sík felületről***
A vízhullámokat egy rezgő, egyenes lemez kelti. A keletkező hullámhegyek és -völgyek egymással párhuzamos egyenesek, amelyek merőlegesek a terjedési irányra. A visszaverődés létrehozásához a hullám útjába egy szintén egyenes akadályt, falat helyezünk. A képen jól látszik, hogy a visszaverődő hullámvonulatok továbbra is egyenest alkotnak. A nyilak az érkező, ill. a visszaverődő hullám terjedési irányát jelzik.
Az akadályhoz érkező és az arról visszaverődő hullámok terjedési iránya ugyanakkora szöget zár be a fallal. Az irányt azonban nem a visszaverő felülethez, hanem az arra állított merőlegeshez viszonyítva szokás megadni, mert ez görbült visszaverő felületek esetén is használható.
b) Egyenes hullámok visszaverődése görbült felületről

VISSZAVERŐDÉS

A visszaverődés két törvénye:
- A beesési szög (az érkező hullám terjedési irányának a beesési merőlegessel bezárt szöge) egyenlő a visszaverődési szöggel (a visszavert hullám terjedési irányának a beesési merőlegessel bezárt szögével).
- Ez a három irány egy síkban van, ami felületi hullámok esetén magától értetődő, de térbeli hullámokra is igaz.

← visszaverődés a geometriai optikában XV.1.1

A visszaverődésről készült képeken jól megfigyelhető, hogy bár az érkező és a visszavert hullám át tud hatolni egymáson, találkozásukkor módosítják egymást. A képeken ezért látszik „kockásnak” a vízfelület.

A hullámok találkozásakor létrejövő jelenségeket nevezik **interferenciának**.

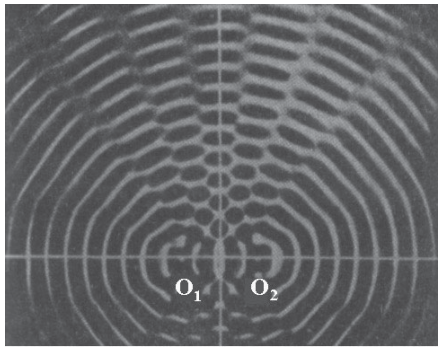
INTERFERENCIA

Az interferencia-jelenségek a rezgések összetevődése alapján értelmezhetőek. A vízfelület minden egyes részecskéje a két hullám által hordozott két rezgésállapot együttes hatásának engedelmeskedik. Ha a két hullám azonos vagy legalább hasonló „utasítást” ad, akkor erősítik egymást: a részecske kitérése nagyobb lesz, mint lenne a hullámok hatására külön-külön. Ha pedig a részecske eltérő vagy ellentétes hatást kap, akkor a hullámok gyengítik egymást, vagy ki is oltják. Azon a helyen, ahol például két hullámhegy vagy két hullámvölgy találkozik, az eredmény egy magasabb hullámhegy, ill. mélyebb hullámvölgy. Ott pedig, ahol hullámhegy találkozik hullámvölggyel, azonos amplitúdójú hullámok esetén (mint a képen is) az eredmény kioltás: a részecske nyugalomban marad.

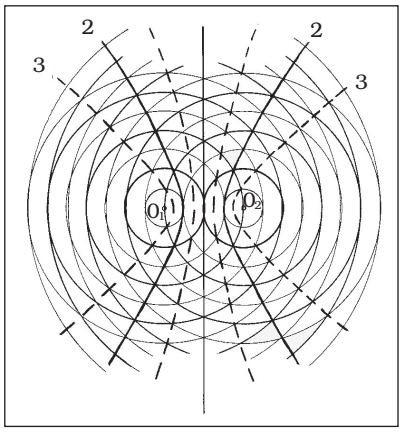
← összetett mozgások VI.6.3; XIV.2.2.3

→ hasonlóság az idegsejtek működésével XVIII.3.1.4

ERŐSÍTÉS ÉS KIOLTÁS



57. ábra. ***Körhullámok interferenciája egyszerre rezgő hullámforrások esetén***
Ennek vizsgálatához a hullámtálban két különböző hullámforrást kell működtetni. Ha pontszerű hullámforrásokat használunk, a keletkező hullámvonulatok kör alakúak lesznek.
A felvétel átmenő fényben készült, tehát a sötét helyek a hullámhegyek (mivel itt vastagabb a vízréteg), a világos helyek a hullámvölgyek, az elmosódottabb, szürkés helyek pedig egyik sem: itt nyugalomban van a vízfelszín, méghozzá tartósan.



58. ábra. ***A maximális erősítés és gyengítés helyei***
Az O_1 és O_2 pontok jelölik a hullámforrásokat, a vastagabb koncentrikus körök a belőlük kiinduló hullámok hullámhegyeit jelzik, a vékonyabbak a hullámvölgyeket, így két szomszédos koncentrikus kör távolsága $\lambda/2$. A két hullám ott erősíti maximálisan egymást, ahol azonos fázisban találkoznak. Ez nyilván teljesül azokban a pontokban, amelyek egyenlő távolságban vannak a két hullámforrástól: mivel idáig mindkét hullám egyenlő utat tett meg, és egyformán indultak, mindig egyformán is érkeznek. Ezek a pontok a 0 egyenesen helyezkednek el. De nemcsak ezekben a pontokban találkoznak azonos fázisban. Egy hullámban a szomszédos azonos fázisú pontok λ távolságban vannak egymástól, tehát ha egy pontig az egyik hullám ennyivel nagyobb utat tett meg, a két hullám ugyanúgy azonos fázisban találkozik, mintha egyenlő utakat tettek volna meg. A rajzon ilyen a P pont: az O_1-ből kiindult negyedik és az O_2-ből kiindult harmadik hullámhegy-vonulat metszéspontja. A 2 görbéket azok a pontok alkotják, amelyekre ugyanígy teljesül, hogy a két hullám közül az egyik odáig egy hullámhosszal nagyobb utat tesz meg, mint a másik. A rajzon nincs feltüntetve, de be lehetne rajzolni azokat a görbéket is, amelyek pontjaiig az egyik hullám 2 λ -val nagyobb utat tesz meg, mint a másik, és itt ugyanúgy maximálisan erősítik egymást.

A kioltáshoz az kell, hogy a két hullám pontosan ellenkező fázisban találkozzon. Az ellentétes fázisú pontok egy hullámban $\lambda/2$ távolságban vannak, ha tehát a vízfelszín valamelyik pontjáig az egyik hullám ennyivel nagyobb utat tesz meg, mint a másik, akkor – mivel egyformán indultak – itt ellentétes fázisban találkoznak. Az 1 görbéket éppen ezek a pontok alkotják. A rajzon látszik, hogy ezekre esnek a hullámhegy-körök és a hullámvölgy-körök metszéspontjai (míg a 2 görbéken hullámhegyek metszettek hullámhegyeket, hullámvölgyek pedig hullámvölgyeket). A 3 görbéken vannak azok a pontok, amelyek az egyik hullámforrástól $\frac{3}{2}\lambda$-val nagyobb távolságban vannak, mint a másiktól; így a két hullám ezeken a helyeken is ellentétes fázisban találkozik, tehát kioltják egymást.

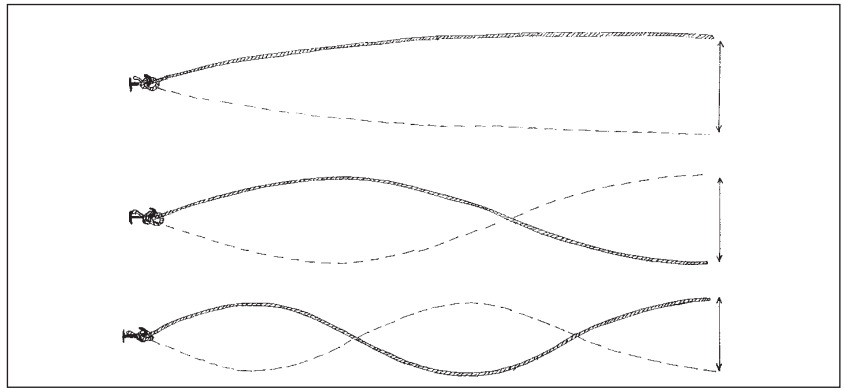
Találkozáskor a hullámok erősíthetik és gyengíthetik, azonos amplitúdó esetén ki is olthatják egymást. Egyenlő frekvenciájú és azonos fázisban induló hullámok esetén a maximális erősítés feltétele az, hogy a hullámok útkülönbsége a hullámhossz egész számú (a fél hullámhossz páros számú) többszöröse legyen. Ugyanis azokban a pontokban, amelyekben ez a feltétel teljesül, éppen azonos fázisban találkozik a két hullám. A maximális gyengítés feltétele pedig az, hogy a hullámok útkülönbsége a fél hullámhossz páratlan számú többszöröse legyen. Ezekben a pontokban a két hullám éppen ellentétes fázisban találkozik. Matematikai alakban:

maximális erősítés: $\Delta s = |s_1 - s_2| = 2k\frac{\lambda}{2}$

maximális gyengítés: $\Delta s = |s_1 - s_2| = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}$

Interferencia akkor is létrejöhet, ha a két hullámforrás ellentétes fázisban, vagy bármilyen más fáziseltéréssel működik, feltéve, ha ez időben állandó. Az ilyen hullámokat nevezzük **koherens**nek. Az erősítési és gyengítési helyek megállapításánál a fáziseltérést figyelembe kell venni. Ha a fáziskülönbség nem állandó, akkor nagyon gyorsan változik, hogy éppen hol van erősítés és gyengítés, és ezért ilyenkor az interferencia nem észlelhető.

59*. ábra.* ***Állóhullám kötélen***
A nagyobb méretek és a kisebb sebesség miatt a jelenség jobban megfigyelhető kötélen. Rögzítsük a kötél egyik végét, egy kissé feszítsük ki, és hozzuk rezgésbe a másik végét. Kicsit próbálgatva a frekvenciát (ezzel egyben a hullámhosszt is változtatjuk), rövid idő múlva azt tapasztaljuk, hogy nem hullámhegyek vonulnak ide-oda a kötélen, hanem a kötél minden pontja egymástól különböző, de időben állandó amplitúdóval rezeg, és a kötél a rajzokon jelölt két szélső helyzet között mozog.
Mivel az állóhullám interferenciajelenség, magyarázata is ennek alapján lehetséges. A szemléletesség kedvéért válasszunk egy olyan pillanatot, amikor az érkező hullám hullámhegye éri el éppen a rögzítést: ilyenkor a kötél felfelé rántja a végpontot, az pedig – a hatás-ellenhatás törvénye értelmében – lefelé a kötelet. Tehát a hullámhegyből hullámvölgyet csinál! Így a visszavert hullám hullámvölgye és az érkező hullám hullámhegye, ellentétes fázisban lévén, kioltja egymást: a pont nyugalomban marad. Ettől $\lambda/2$ távolságban az ittenihez képest mindkét hullám ellentétes fázisban van, tehát egymással is: itt is kioltják egymást. A maximális erősítési helyek nyilván két kioltási hely között lesznek, ezek helye is állandó: itt rezegnek a kötél pontjai a legnagyobb amplitúdóval.

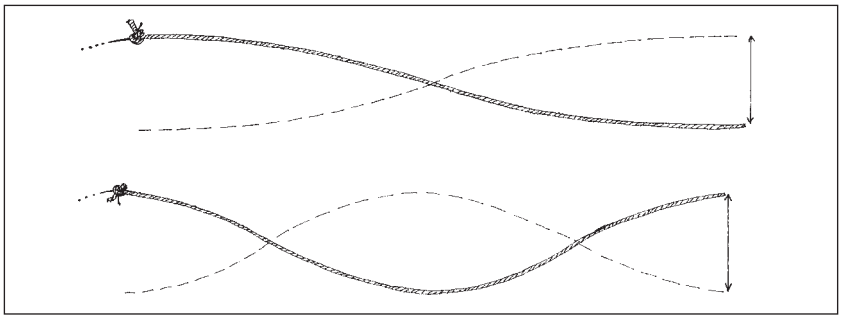


Interferencia nemcsak akkor jöhet létre, ha egymástól független hullámforrásokból kiinduló hullámok találkoznak, hanem akkor is, ha egy hullám a saját visszavert hullámával találkozik. Az interferenciának ez a speciális esete az **állóhullám**. Éppen ez a helyzet pl. a húrok esetében.

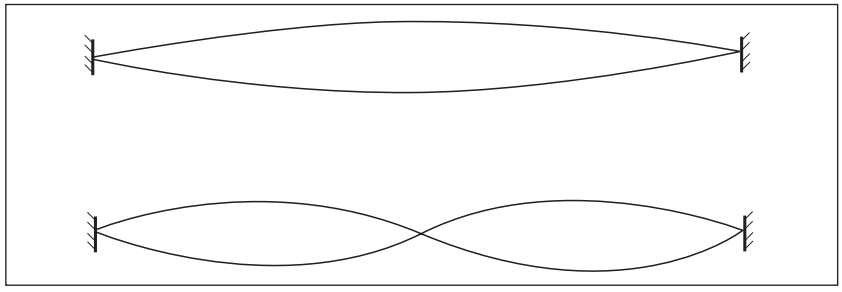
A kialakuló állóhullámban a kötél minden pontja különböző, de időben állandó amplitúdóval rezeg. A frekvencia növelésével elérhető, hogy a rögzített végen kívül a kötélnek még egy vagy több olyan pontja legyen, amelyik nyugalomban marad. Azt ilyen helyek a **csomópontok**, a legnagyobb amplitúdójú pontok a **duzzadóhelyek**.

Állóhullámok kialakulhatnak mindkét végén „szabad”, ill. mindkét végén rögzített kötélen is. Ez utóbbira legjobb példa a húrokon létrejövő állóhullám, de ezt nem lehet szabad szemmel megfigyelni.

ÁLLÓHULLÁMOK



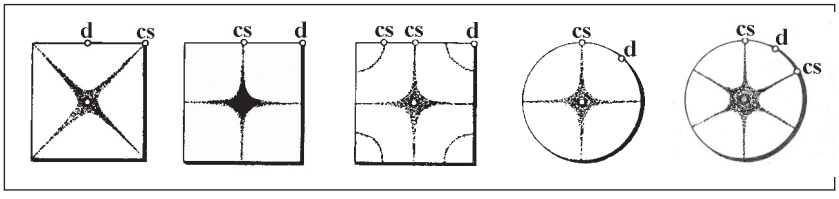
60. ábra. ***Egy, ill. két csomópontos állóhullám szabad végű kötélen***
A kötél végén bekövetkező fázisugrást ki lehet küszöbölni, ha a kötelet megtoldjuk valamilyen vékony huzallal és ezzel biztosítjuk a rögzítést. Az érkező hullámhegy most is felrántja a végpontot, de az engedelmeskedik ennek, így a visszavert hullám is hullámheggyel indul, mivel a két hullám azonos fázisban van, maximálisan erősíteni fogja egymást: itt most duzzadóhely lesz. Ettől $\lambda/2$ távolságra ehhez képest mindkét hullám ellentétes fázisban van, tehát egymással megint azonosban: itt is duzzadóhely alakul ki. A csomópontok most is a duzzadóhelyek között lesznek, egymástól szintén $\lambda/2$ távolságban.



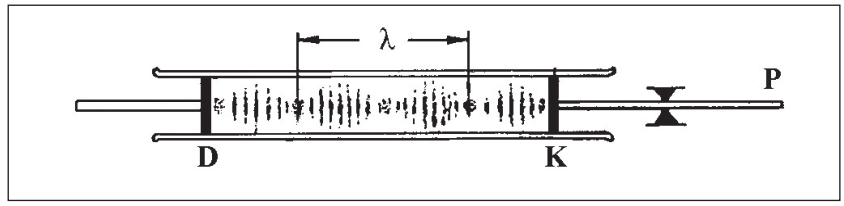
61. ábra. ***Állóhullámok mindkét végén rögzített kötélen (húron)***

Az ábrákról leolvasható, hogy milyen kapcsolatban kell lennie a kötél hosszának és a hullámhossznak ahhoz, hogy a kötélen terjedő és a visszaverődő hullám interferenciájából állandó helyű duzzadóhelyekkel és csomópontokkal rendelkező állóhullám alakuljon ki. Állóhullámok rugalmas lemezeken és hártyákon is létrejöhetnek. Sőt, létrehozhatók levegőoszlopokban is, tehát léteznek hang-állóhullámok is.

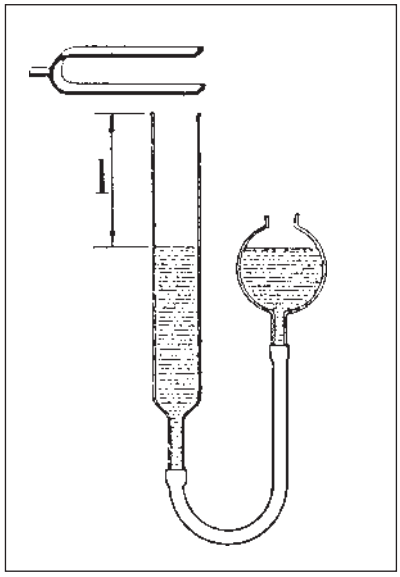
→ az elektron hullámmodellje XXI.



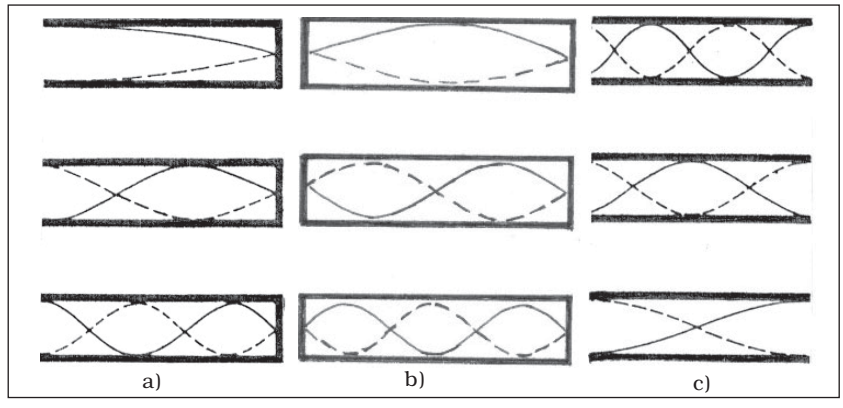
62. ábra. ***Chladni-féle hangábrák***
A vízszintes helyzetű vékony fémlemezek a középpontjukban függőleges rúdra vannak erősítve. A lemezekre vékony rétegben finom homokot szórunk. Ha a lemezek szélén a d-vel jelölt helyeken végighúzunk egy hegedűvonót, miközben a cs-vel jelölt helyeken ujjal megérintjük a lemezt, a homok az ábrákon látható vonalak mentén gyűlik össze. Itt a lemezek pontjai nyugalomban vannak: ezek a csomóvonalak. Közöttük helyezkednek el a nagy amplitúdóval rezgő helyek, ezek a duzzadópontok, itt nem marad homok.



63. ábra. ***Állóhullám keltése mindkét végén zárt levegőoszlopban*** *(Kundt-cső)*
Az üvegcső egyik végét könnyen mozgatható dugattyú (D) zárja le, ezzel a bezárt levegőoszlop hosszát könnyen lehet változtatni, a másik végét pedig egy hosszú, közepén befogott pálcára (P) erősített korong (K). Ha a pálcát hosszában dörzsölgetjük, akkor benne meghatározott frekvenciájú rezgés alakul ki, ezt a korong közvetítésével a bezárt levegő részecskéi is átveszik, és a levegőoszlopban ugyanilyen frekvenciájú longitudinális hullám alakul ki. Ha a dugattyúval jól állítjuk be a levegőoszlop hosszát, akkor a végekről oda-vissza verődő hullámok állóhullámot hoznak létre. Ezt „láthatóvá" is lehet tenni az üvegcsőbe szórt finom parafareszelékkel: ahol az állóhullámnak duzzadóhelye van, ott a levegő részecskéi élénk mozgást végeznek, és szétszórják a parafareszeléket. Ahol az állóhullámnak csomópontja van, ott a levegőrészecskék nem vagy alig mozognak, a parafareszelék is egy csomóban marad. A két zárt végnél csomópontok alakulnak ki, a mindkét végén zárt levegőoszlop állóhullámok szempontjából úgy viselkedik, mint a mindkét végén rögzített kötél vagy húr. Így az üvegcső hosszából és a csomópontok számából kiszámítható a hullámhossz.



64. ábra. ***Állóhullámok keltése egyik végén nyitott levegőoszlopban***
Az edény föl-le emelgetésével a hengerben is változik a folyadékszint magassága, így a fölötte lévő levegőoszlop hossza is. A levegőoszlopot pl. úgy hozhatjuk rezgésbe, hogy fölé rezgő hangvillát tartunk. Ha a levegőoszlop l hossza megfelelő, és kialakul az állóhullám, akkor úgy érzékeljük, mintha a hangvilla hangja felerősödne, mert most már a levegőoszlop is hangforrásként működik. A folyadékoszlopnál csomópont lesz (ez zárt vég), a nyitott végnél azonban duzzadóhely. A levegőoszlop alaphangját az az állóhullám jelenti, amelyiknek negyed hullámhossza fér el a levegőoszlopban.



65. ábra. ***Állóhullámok***
a) egyik végén nyitott levegőoszlopban
b) mindkét végén zárt,
c) mindkét végén nyitott,
Az állóhullámokat a húron kialakuló állóhullámok analógiájára rajzoltuk be.

Hanghullámok interferenciájára az állóhullámokon kívül más bizonyíték is van. Ha két, csak kismértékben különböző hangmagasságú hangvilla egyszerre szól, úgy halljuk, mintha hol felerősödne, hol gyengülne a hangjuk. Ez azt mutatja, hogy két, különböző hangforrásból keletkező hang képes erősíteni és gyengíteni egymást, vagyis interferálni. A jelenség a rezgések összetételénél megismert **lebegés**.

A húrokon, rugalmas felületeken és a levegőoszlopokban egyszerre többféle állóhullám is kialakulhat. Így az általuk keltett **alaphangon** kívül a **felhangok** is vele együtt szólhatnak.

Ha a hullám egy másik közeg határához ér, és az új közegbe be tud hatolni, akkor abban másképpen terjed – különben hullámterjedés szempontjából ez ugyanolyan közeg lenne.

LEBEGÉS
← XIV.2.2.3

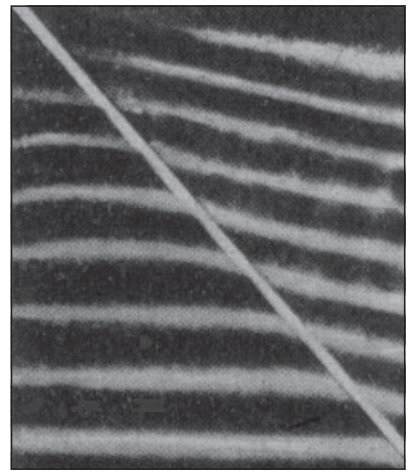
ALAPHANG ÉS FELHANGOK

→ hangszín XIV.2.4

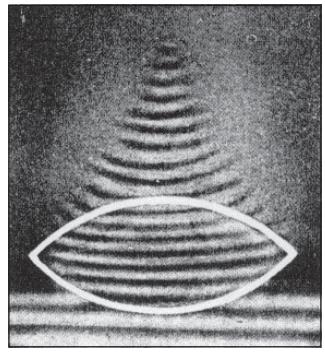
Az új közegbe történő belépéskor a hullám terjedési iránya megváltozik, ezért nevezzük a jelenséget **hullámtörés**nek. Ha változik az érkező hullám terjedési irányának a szöge a közeghatárhoz képest, akkor változik a megtört hullám irányának a szöge is. Bár vízhullámokkal nehézkes, de kimutatható, hogy a beesési szög szinuszának és a törési szög szinuszának aránya állandó:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$$

Az n állandót a második közeg elsőre vonatkoztatott **törésmutató**jának nevezik. A törésmutató értéke függ a frekvenciától is, vagyis a különböző frekvenciájú hullámok ugyanakkora beesési szögben érkezve is más irányban haladnak tovább. Törésnél a hullámhossz is megváltozik, ez arra utal, hogy a hullám terjedési sebessége is megváltozott az új közegben, de ezt a törési törvénnyel csak egy másik – a leíráson túlmutató – elmélet hozhatja összefüggésbe.



66. ábra. ***Vízhullámok törése***
A kép úgy készült, hogy a fehér vonalon innen a víz mélyebb, mint azon túl. Ezt úgy lehet elérni, hogy a hullámtálba pl. egy üveglapot helyezünk, ezáltal ott a víz sekélyebb lesz. A hullámokat a visszaverődés vizsgálatánál megismert módon keltettük. Jól látszik, hogy a hullám terjedési iránya most is megváltozott, de az is megfigyelhető, hogy a hullámvonulatok közelebb kerültek egymáshoz, vagyis a hullámhossz csökkent.

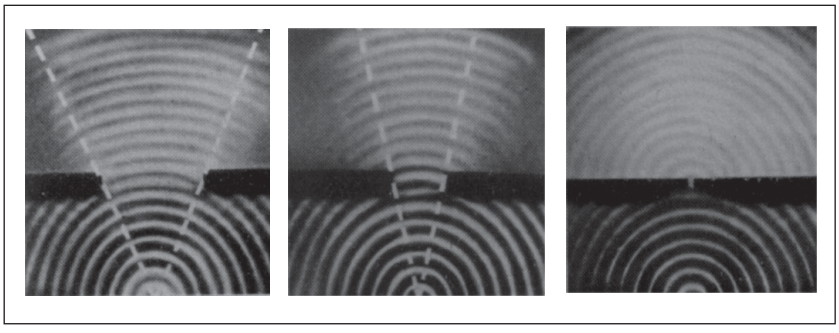


67. ábra. ***Vízhullámok törése lencse alakú sekélyebb vízrétegben***
Törés esetén is lehet a két közeg határa görbe felület. A képen egy lencse alakú részen sekélyebb a vízréteg. Jól látható, hogy ez a lapos vízréteg a síkhullámokat meggörbíti és „összegyűjti", majd ezek újból széttartanak.

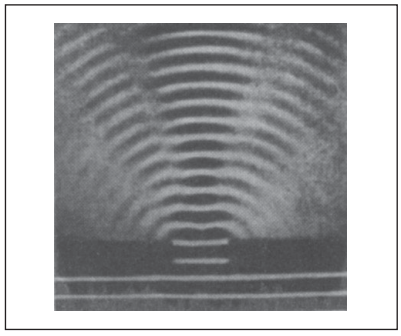
Az eddigi megfigyelések értelmezésekor magától értetődőnek tűnt, hogy a hullámok egyenes vonalban terjednek. Ez kimutatható kísérlettel is: a hullámtálban keltsünk kör-, majd egyenes hullámokat és helyezzünk a hullám útjába egy olyan akadályt, amin hagyunk egy nyílást. Ha képzeletben a hullámforrást és a nyílás széleit összekötjük egy-egy félegyenessel, ill. egyenes hullámok esetében a nyílás széleinél merőlegeseket húzunk a hullámfrontokra, várakozásunknak megfelelően azt tapasztaljuk, hogy a hullám csak ezek között terjed tovább az akadály után, az „árnyéktérbe" nem hatol be. A hang esetében is ellenőrizhető az egyenes vonalú terjedés. Ha azonban a rés méretét csökkentjük, azt tapasztaljuk, hogy a hullám olyan helyekre is eljut, ahová az egyenes vonalú terjedést követve nem lenne szabad: a hullám behatol az árnyéktérbe is. A jelenség neve **elhajlás** (diffrakció).

ELHAJLÁS

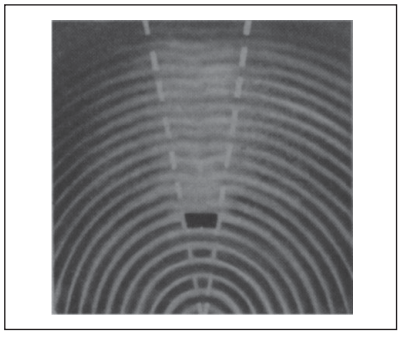
→ Huyghens-elv XIV.3.2.2



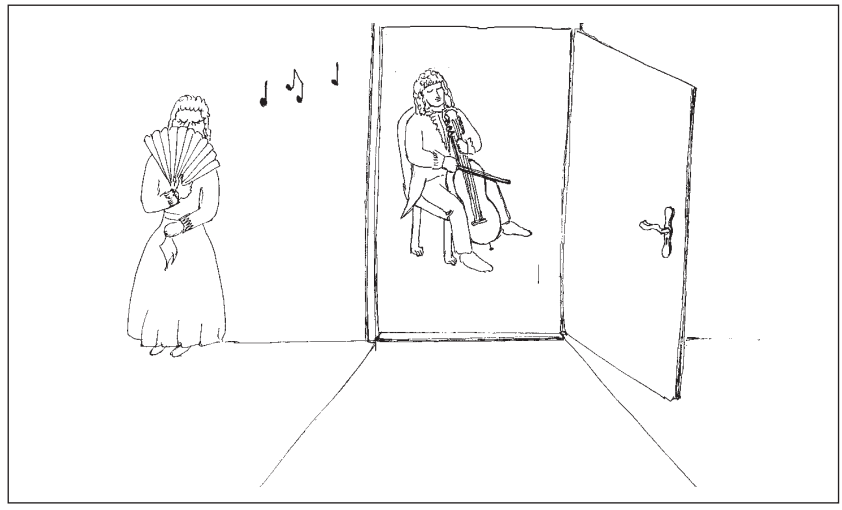
68. ábra. ***Körhullámok elhajlása különböző méretű réseken***
Az első képen a rés körülbelül a hullámhossz kétszerese, a másodikon egyenlő vele, a harmadikon pedig kisebb nála. Minél kisebb a rés mérete, annál nagyobb az elhajlás mértéke, a hullámhosszhoz hasonló nagyságú rés esetén a rés úgy viselkedik, mintha belőle indulnának ki a hullámok.



69. ábra. ***Egyenes hullámok elhajlása résen***
Ekkor is szükséges, hogy a rés ne legyen túl nagy a hullámhosszhoz képest.

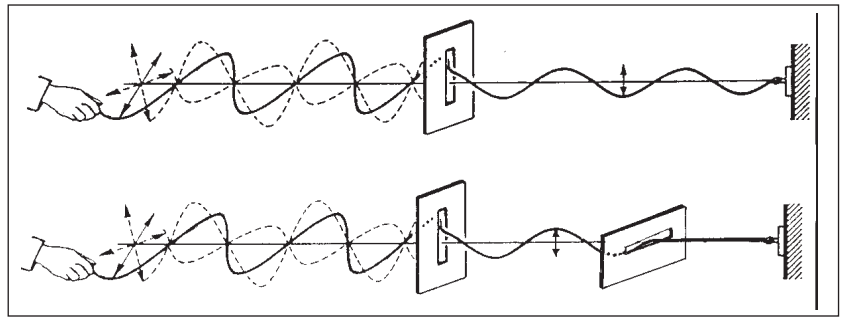


70. ábra. ***Elhajlás akadályokon***
Nemcsak résen, hanem a hullám útjába helyezett, szintén hullámhossz-méretű akadályon is létrejöhet elhajlás: a hullám behatol az akadály képezte árnyéktérbe is.



71. ábra. ***Hangelhajlás***
Mindennapos élmény, hogy egy teremben beszélő ember hangját akkor is halljuk a nyitott ajtón át, ha oldalt állunk az „árnyéktérben". Ez azzal magyarázható, hogy a hang az ajtón mint résen elhajlik. Az is megfigyelhető, hogy az ajtótól nagyobb távolságban a mélyebb hangokat halljuk jobban, vagyis ezek elhajlása nagyobb mértékű, mint a magasabbaké. Mivel az elhajlás mértéke attól függ, mekkora a rés mérete a hullámhosszhoz képest, a mélyebb hangoké nagyobb, mint a magasaké.

A hullámok terjedésében két irány játszik kitüntetett szerepet: a hullám terjedési iránya és a hullámot hordozó közeg részecskéinek rezgésiránya. A longitudinális hullámok esetében ez a két irány párhuzamos, míg a transzverzális hullámoknál merőleges. A terjedési iránnyal párhuzamosan csak egyetlen irány létezik, míg merőlegesen végtelen sok. Lehetséges tehát, hogy egy transzverzális hullámban a közeg részecskéi egyszerre több különböző irányú rezgést végezzenek, amelyek mindegyike a terjedési irányra merőleges.



72. ábra. ***Kötélhullám polarizálása és a polarizált hullám kioltása***

POLARIZÁCIÓ

Ha a kötél végét nem csak egy irányban (pl. le-föl) mozgatjuk, hanem körkörösen, akkor két, egymásra merőleges rezgésirány jön létre. De megtehetjük azt is, hogy gyorsan váltogatjuk az ide-oda mozgatás irányát, ilyenkor még több, különböző irányú rezgés állítható elő. Ha a kötelet átvezetjük egy merev lapon vágott keskeny résen, akkor a rés után csak a vele párhuzamos irányú rezgés marad meg. Ha a kötelet még egy, az előzőre merőleges résen is átvezetjük, akkor a második rés után a hullám megszűnik, hiszen nincs már olyan rezgés, amelynek iránya ezzel párhuzamos lenne.

Ha a transzverzális hullámban a több (akár végtelen sok) irányban zajló rezgés közül egyet kiválasztunk, a többit megszüntetjük, akkor **a hullámot polarizáltuk**. Alkalmas eszközzel minden nem polarizált transzverzális hullám azzá tehető; még egy, az előzőhöz képest merőleges állású eszközzel megszüntethető. Az eszköz milyensége a hullám természetétől függ. Mivel polarizálni csak transzverzális hullámokat lehet, ez a jelenség alkalmas annak megállapítására, hogy egy hullám transzverzális vagy longitudinális-e.

→ optikai aktivitás XIV.3.3.3
← szerves molekulák forgatóképessége XII.6.1

Summa (2.3)

MI A HULLÁM?

A hullám egy rezgésállapot terjedése a közegben. Ha a közeg részecskéinek rezgésiránya egy egyenesbe esik a hullám terjedési irányával, akkor a hullám longitudinális, ha merőleges rá, akkor a hullám transzverzális. Gázokban és folyadékok belsejében csak longitudinális hullámok jöhetnek létre, folyadékok felszínén és szilárd anyagokban transzverzális hullámok is kialakulhatnak. A közeg kiterjedésétől függően léteznek vonalmenti, síkbeli és térbeli hullámok. A közeg két legközelebbi, azonos fázisban rezgő pontjának távolsága a hullámhossz. Egy rezgésidő alatt a hullám egy hullámhossznyi távolságot tesz meg.

VISSZAVERŐDÉS, TÖRÉS

Ha a hullám egy új közeg határához ér, akkor onnan visszaverődik. Visszaverődéskor a beesési szög egyenlő a visszaverődési szöggel. Ha a hullám az új közegbe is be tud lépni, akkor terjedési iránya megváltozik oly módon, hogy a beesési szög szinuszának és a törési szög szinuszának hányadosa egy állandó érték, amit a második közeg elsőre vonatkoztatott törésmutatójának nevezünk. Ugyanilyen arányban változik meg a megtört hullám hullámhossza és terjedési sebessége is.

ELHAJLÁS

Ha a hullám a hullámhosszához képest keskeny résen vagy akadályon halad át, akkor eltér az egyenes vonalú terjedéstől, és behatol az árnyéktérbe is, ez a jelenség az elhajlás.

INTERFERENCIA

Két hullám találkozásakor létrejövő jelenségeket nevezzük interferenciának. A hullámok ilyenkor erősíthetik vagy gyengíthetik egymást attól függően, hogy a hullámtér adott pontjában a bennük terjedő rezgésállapotok milyen fázisban találkoznak. Az interferencia különleges esete az, amikor egy hullám a saját visszavert hullámával találkozik. A közeg megfelelő geometriai méretei esetén állóhullámok alakulnak ki: a részecskék időben állandó, de egymástól különböző amplitúdóval rezegnek, ezért a hullámhegyek és -völgyek egy helyben „állnak”.

POLARIZÁCIÓ

Transzverzális hullámok esetén a több lehetséges merőleges irányú rezgésből megfelelő eszközzel kiválasztható egy, ill. megszüntethető a többi. Ez a jelenség a polarizáció, amelynek segítségével egy hullámról eldönthető, hogy transzverzális vagy longitudinális-e.

2.4. Akusztika

2.4.1 A hang terjedési sebessége

MITŐL FÜGG A HANG TERJEDÉSI SEBESSÉGE?

A hang terjedési sebességét 1660-ban mérték meg a Firenzei Akadémia irányításával. Egy puskából lövést adtak le és tőle nagyobb távolságra a torkolattűz felvillanása és a fegyver hangjának észlelése között eltelt időt mérték. Pontosabb méréseket Arago és Humboldt végzett 1822-ben, ágyúk felhasználásával. Eszerint a hang terjedési sebessége levegőben 331 m/s, 0°C-on. A mérésekből ugyanis az derült ki, hogy a levegő jellemzői közül

A hang terjedési sebessége különböző anyagokban:	
ólom	1300 m/s
jég	3230 m/s
téglafal	3600 m/s
vas	5000 m/s
üveg	5200 m/s
lucfenyő (szálirányban)	5300 m/s

A közegtől nemcsak a hang sebessége függ, hanem az is, hogy benne milyen messzire terjed a hang. Ha például víz alatt egy olyan csengő szólna, amelyiknek a hangját levegőben 200 méterről még éppen lehetne hallani, a víz alatt több száz kilométerről is hallatszana!

számottevően csak a hőmérséklet befolyásolja a hang terjedési sebességét. Melegben gyorsabban terjed, 15°C-on pl. 340 m/s. A gázok közül a hidrogénben a legnagyobb a terjedési sebesség, 1270 m/s. Vízben a hangsebességet először 1827-ben mérték meg a genfi tavon, és 1440 m/s-nak találták. Szilárd anyagokban a longitudinális hullámokat nevezik hangnak (ezekben ugyanis transzverzális hullámok is terjedhetnek).

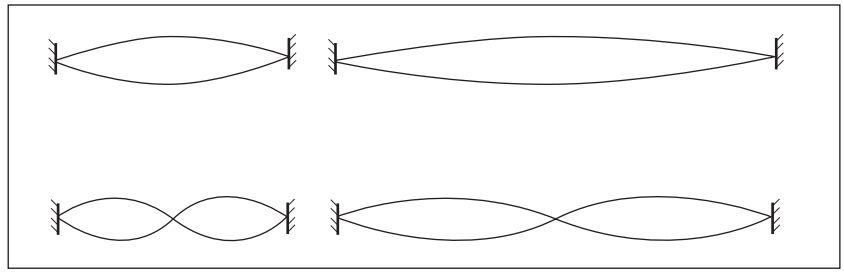
2.4.2 A hanghullám jellemzőinek kapcsolata a hangérzettel

A hang vizsgálatát megkönnyíti, de meg is nehezíti az, hogy érzékeljük. Megkönnyíti, mert a kísérletek eredményét közvetlenül tapasztalhatjuk, de meg is nehezíti, mert mindig ellenőriznünk kell, hogy ez a tapasztalat mennyiben a hangérzet sajátossága és mennyiben az észlelt hangé mint tőlünk független fizikai jelenségé. Hangérzeteink alapján a hangnak különböző sajátosságokat tulajdonítunk: pl. hangmagasság, hangszín, erősség. Megkülönböztetünk különböző típusú hangokat is, pl. zenei hangot, zörejeket, melyek nagyon különböző érzelmi hatásokat gyakorolhatnak ránk. Az észlelési sajátosságok mögött a hangnak milyen fizikai, mérhető tulajdonságai vannak, amelyek ezeket a különbségeket okozzák?

HANGMAGASSÁG ÉS FREKVENCIA

A hang magassága és frekvenciája közötti kapcsolatot Galilei ismerte fel. A hangforrás rezgései által keltett vízhullámok hosszának megfelelődéséből arra következtetett, hogy a hangforrás frekvenciája kétszeresére nőtt, miközben hangja egy oktávval magasabb lett. Emögött az a feltételezés van, hogy a rezgések hatására keletkező vízhullámok sebessége nem változott a frekvenciaváltozás következtében. Galilei megállapítása ellenőrizhető húrokon kialakuló állóhullámokkal is.

HOGYAN HALLHATJUK MEG A FELHANGOKAT?



73. ábra. ***A két húr kétféle állóhulláma***
Ha egy kifeszített húrt megpendítünk, meghatározott magasságú és hangszínű hangot hallunk. Tudjuk, hogy a mindkét végén rögzített húron olyan állóhullámok alakulnak ki, amelyek fél hullámhosszának egész számú többszöröse a húr hossza. Ha középen pendítjük meg, akkor itt biztosan duzzadóhely lesz, a húr hossza éppen az ennek megfelelő állóhullám fél hullámhosszával egyenlő. Ez azonban nem a hallott hang hullámhossza (hanem a húron terjedő hullámé), a frekvenciáját pedig nem tudjuk megmondani, hacsak nem tudjuk, hogy a húron mekkora sebességgel terjed a létrehozott hullám. De meg lehet hallgatni a két duzzadóhelyes állóhullám által keltett hangot, és így van összehasonlítási alapunk. Ennek ugyanis feleakkora a hullámhossza, tehát kétszeres a frekvenciája. Ha a húr közepét óvatosan megérintjük, például puha madártollal, a húr tovább szól, kicsit halkabban, és éppen egy oktávval magasabban. Az először hallott hang a húr alaphangja, ez pedig az első felhang. Ha a kísérletben az előzőhöz képest kétszeres hosszúságú, de azzal minden másban (feszítettségben is) megegyező húrt használunk, akkor annak alaphangját az előző húréhoz képest egy oktávval mélyebbnek halljuk: a kialakuló egy duzzadóhelyes állóhullám hullámhossza kétszeres, tehát frekvenciája feleakkora. Az első felhangja pedig olyan magas lesz, mint az első húr alaphangja.

A **hangmagasság** tehát a hallott hang frekvenciájától függ, méghozzá a nagyobb frekvenciájú hangot magasabbnak halljuk, de amit azonos magasságkülönbségnek érzékelünk, az nem azonos frekvenciakülönbséget, hanem azonos frekvenciaarányt jelent. Egy hangot és az oktávját egyszerre megszólaltatva a két hangot összecsengőnek, harmonikusnak érezzük.

← Püthagorasz III.3

HANGMAGASSÁG

Egy megpendített húron egyszerre több állóhullám alakul ki, a húr egyszerre több, különböző magasságú hangot ad. Ha a húrt nem középen pendítjük meg, hanem például a hatodában, ugyanazt az alaphangot halljuk, de más lesz a **hangszín**. Most erősebben szól az a hang, amit a három duzzadóhelyes állóhullám kelt (ez a második felhang), mint amikor középen pendítettük meg a húrt, de most is csak ugyanazok a frekvenciák lehetségesek, mint az előbb. A hangszínt tehát az határozza meg, hogy a legerősebben hallott hang – az alaphang – mellett milyen más frekvenciájú hangok szólnak még és milyen ezek viszonylagos erőssége. (Helmholtz, 1863). Például a hegedű és a fuvola azonos magasságú hangját jól meg tudjuk különböztetni, mert más-más felhangok szólnak bennük más-más viszonylagos erősséggel, vagyis más a hangjuk rezgési spektruma (a különböző frekvenciájú és erősségű összetevők összessége). Tiszta, vagyis csak egyetlen frekvenciájú rezgést tartalmazó hangot hangvillával lehet előállítani.

HANGSZÍN

→ a hallás magyarázata XVIII.3.3.9–11

← hangképzés X.3.3.2

A rezgések frekvenciája természetesen húrok segítségével is megállapítható. Már a XVII. században is tudták, hogyan függ a húr jellemzőitől (hosszától, keresztmetszetétől, sűrűségétől, a feszítőerőtől) hangjának magassága. Egyszerűbb a feladat, ha magában a levegőben (pl. egy zárt levegőoszlopban) hozunk létre állóhullámokat: a hullámhossz a méretekből meghatározható, a terjedési sebesség a hangsebességgel egyezik meg, így a frekvencia egyszerűen kiszámítható. A normál zenei a hang például 440 Hz-es.

A magasság és a hangszín mellett a **hang erőssége** az a jellemzője, amit igen jól érzékelünk. Kérdés, hogy ez a hanghullám milyen fizikai tulajdonságával hozható kapcsolatba. Egy húrral úgy lehet erősebb hangot kelteni, hogy erősebben pendítjük meg, vagyis nagyobb amplitúdójú rezgésekre kényszerítjük. Így a húr a környező levegőben nagyobb nyomásingadozást hoz létre és a levegőrészecskék is nagyobb amplitúdójú rezgéseket végeznek. Mivel az erősebb pendítéstől nem változik, hogy a húr mekkora frekvenciájú rezgésekre képes, a keletkezett hang frekvenciája sem változik, csak benne a levegőrészecskék a nagyobb amplitúdó miatt nagyobb sebességű mozgásra kényszerülnek, ezért nagyobb lesz az energiájuk is. A hang, mint minden hullám, a rezgésállapot terjedésével együtt ennek az energiának a terjedését is jelenti. A hangforrást tehát jellemezhetjük azzal, hogy az általa kibocsátott hang időegységenként mekkora energia útnak indulását jelenti, vagyis a teljesítményével.

HANGERŐSSÉG

Néhány hangforrás teljesítménye:	
normális beszéd	0,00001 W
kiáltás	0,001 W
zongora	0,1 W
autókürt	5 W
középerős orgona	20 W
nagyzenekar fortissimóban	60 W
erős hangszóró	100 W
légoltalmi sziréna	1000 W

A hallás szempontjából azonban nem csak a hangforrás teljesítménye számít. A kibocsátott energia ugyanis minden irányban szétáramlik, és a hangforrástól távolodva a fülhöz egyre kisebb hányada jut. A fül számára az a döntő, hogy az időegységenként kibocsátott energiából egy felületegységen – ezt most célszerű cm^2-nek választani – mennyi áramlik át. Ha a 10^{-5} W teljesítményű normális beszéd pl. 10 méter távolságból jut el hozzánk, akkor az általa hordozott energia egy 10 méter sugarú gömbfelületen oszlik szét, és 1 cm^2 felületre mindössze 10^{-12} W teljesítmény jut. Ez a watt milliomod részének a milliomod része, és az egészséges fül ezt hallja! Sőt, ennek még a tízezred részét is képes érzékelni. Ez a 10^{-18} W/cm^2 jelenti a **hallásküszöb**öt.

HALLÁSKÜSZÖB

A fenti módszer alkalmasnak látszik egy hangforrás által kibocsátott, a fülhöz eljutó hang objektív, érzékelésünktől független jellemzésére. Mindennapi tapasztalataink azonban azt mutatják, hogy például egy szimfonikus zenekar hangját ugyanolyan távolságból nem érzékeljük hatmilliószor erősebbnek, mint a beszédhangot, amint ez a fenti adatokból következne. A fül ezek szerint nem ezt a skálát „használja”! Valóban, a vizsgálatok szerint a fenti skála szerint tízszeres erősségű hangot csupán kétszer hangosabbnak halljuk, a százszoros erősségűt háromszor hangosabbnak. Ezért

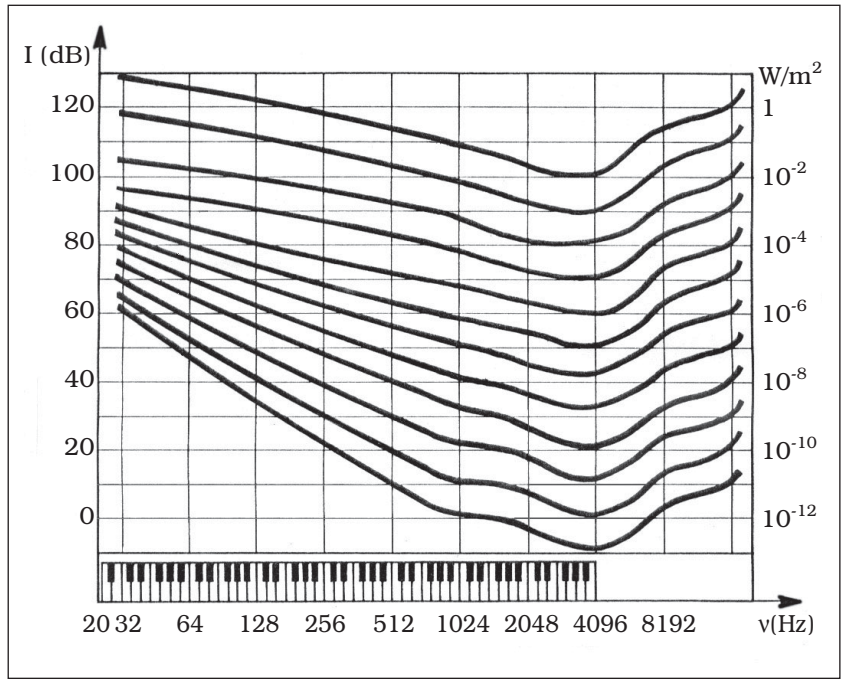
→ Békésy György eredményei XVIII.3.3.10

→ a kísérleti pszichológia eredményei XVI.1.2.1

74. ábra. ***Az egyenlő hangosság görbéi***
Az érzékelt hangosság nem csak a fizikai hangerősségtől függ, hanem a hallott hang frekvenciájától is. Ez azt is jelenti, hogy a hallásküszöb értéke sem ugyanaz minden frekvenciájú hangnál, és a decibel-skálán ugyanolyan erősségű hangokat is különböző hangosságúnak érzékelünk más-más frekvenciák – tehát hangmagasság – esetén. Ezért használatos egy harmadik skála is, ami nem a fülünket ért inger erősségéhez, hanem az érzet erősségéhez alkalmazkodik. Ehhez szükség van egy viszonyítási alapra: milyen frekvenciájú hang legyen az, amelyiknek a hangosságához viszonyítjuk a többi, ugyanolyan fizikai erősségű, de más frekvenciájú hang érzékelt hangosságát. Megállapodás szerint ez az 1000 Hz magasságú hang, és az előbb megadott hallásküszöb-érték is erre vonatkozik. Ez a skála a hangosság-skála, ami phonban mutatja egy hang érzékelt hangosságát. A megállapodásból következően az 1000 Hz-es hang esetén a decibel-skála és a phonskála éppen egybeesik. Például az 1000 Hz-es hangot 20 phon hangosnak halljuk akkor, ha 10^{-14} W/cm^2 az erőssége, de az ugyanilyen erősségű, 200 Hz-nél mélyebb hangokat meg sem halljuk. Vagy a 100 Hz frekvenciájú és 10-10 W/cm^2 erősségű, a 200 Hz frekvenciájú és 10^{-11} W/cm^2 erősségű, az 1000 Hz frekvenciájú és 10^{-12} W/cm^2 erősségű hangokat egyaránt 40 phon hangosságúnak érzékeli a fül. Ezeket az összefüggéseket az egyenlő hangosság görbéiről lehet leolvasni, amelyek tapasztalati úton állapíthatóak meg. Ez a skála jellegéből adódóan szubjektívnak tűnik, mégis, nagyon sok kísérleti személy vizsgálata után kiderült, hogy alig mutatkoznak egyéni eltérések.

REZONÁTOR TEREK

célszerű egy olyan skálát is bevezetni, ami ehhez alkalmazkodik, és ami a különböző erősségű hangok viszonylagos erősségét mutatja. Induljunk ki a hallásküszöb tízszereséből, ezt már jól érzékeljük: $10 \cdot 10^{-16}$ W/cm^2. Nevezzük ezt **10 decibelnek** (10 dB). Ha a fizikai hangerősség tízszeresére nő, tehát értéke $100 \cdot 10^{-16}$ W/cm^2, a viszonylagos erőssége ennek duplája, azaz 20 dB lesz. A hallásküszöb értéke decibelben így éppen 0.



2.4.3 A hangszerek és az emberi hang

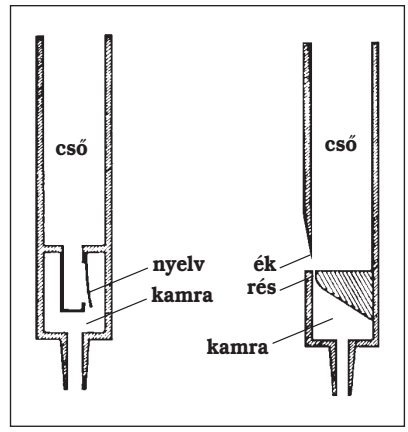
A levegőoszlopok és a bármilyen üreges testbe bezárt levegő rezgéseinek nagyon sok hangforrás működésében fontos szerepük van. Egy sima falapra kifeszített húr hangját alig hallani, de ha egy dobozra helyezzük, a hang felerősödik: a dobozba bezárt levegőben kialakulnak a megfelelő frekvenciájú állóhullámok, ráadásul a doboz is rezonátorként működik, hiszen az is rezgésbe jön. Ezért szokták a vonós hangszerek húrjait bonyolult alakú üreges testekre kifeszíteni. Hosszú évszázadok alatt alakult ki, hogy pl. egy hegedű testét mekkorára és milyen alakúra, milyen fából, milyen vastagságú lemezekből és milyen ragasztóanyagokat használva kell megalkotni, hogy a húrok rezgései, a bezárt levegőben kialakuló állóhullámok és a hegedűtest rezgéseinek frekvenciája összhangban legyenek és ezek a rezgések a megfelelő módon erősítsék egymást. Bár pengetéssel erősebb hangot lehet kelteni, mint a vonóval történő megszólaltatáskor (és az alaphang is sokkal erősebb a felhangokhoz képest), ennek ellenére a pengetős hangszereknek is szükségük van hasonló „erősítésre". Ezért üreges az akusztikus gitár teste. Vannak olyan húros hangszerek is, amelyekben a húrokat ütéssel szólaltatják meg, például a zongora billentyűjének leütésekor egy kis kalapács üt rá a megfelelő húrra.

A hangszerek másik csoportjának működése azon alapul, hogy rugalmas lemezeken és hártyákon is kialakulnak állóhullámok. A rugalmas hártyák (membránok) közvetlen hangja ugyanolyan gyenge, mint a húroké, ezért ezeket is üreges testek fölé feszítik ki. Így működnek a dobok, amelyeket ütéssel

szólaltatnak meg. A lemezek ütésre közvetlenül is elég erős hangot adnak, ezért a xilofonnak, réztányérnak, harangnak stb. nincs szüksége rezonátortestre.

A fúvós hangszerekben az üregbe zárt levegő közvetlenül jön rezgésbe. A legegyszerűbb fúvós hangszerek a sípok. A nyelvsípokban a befújt levegő hatására egy rugalmas fém- vagy nádlemez kezd rezegni, és ennek hatására a levegő periodikus megszakításokkal jut tovább a csőbe. Az ajaksípokban a befújt levegő egy szűk résen áthaladva örvényeket kelt, és ezek hozzák létre a periodikus nyomásingadozást, azaz a csőben a levegő sűrűsödéseit és ritkulásait.

Az emberi hang képzése egy olyan húros hangszer működéséhez hasonlítható, amit levegőárammal hoznak működésbe. A tüdőből kiáramló levegő a garatban elhelyezkedő, rugalmas húrhoz hasonlító hangszálakat rezgésbe hozza, ezeket a rezgéseket a garat-, száj- és orrüregben lévő levegő átveszi és rezonátorként felerősíti. A hangszálak által keltett hang magassága a hangszálak méreteitől és megfeszítettségétől függ. Azonban a hangszálak is, mint a húrok, egyszerre több, különböző frekvenciájú rezgést végeznek: van alaphangjuk és vannak felhangjaik. Hogy ezekből az előbb említett rezonátorüregek melyiket képesek átvenni és milyen mértékben erősítik fel, az azok méreteitől és alakjától függ. Ez mindenkinek egyéni jellemzője, ezért minden egyes embernek – még azonos hangmagasság esetén is – más és más lesz a hangszíne. Ezért változik meg a náthás ember hangja: rezonátorüregei részben ki vannak töltve.



75. ábra. ***Nyelvsíp és ajaksíp vázlata***
A nyelvsípokban a légkamra és a cső közötti összeköttetést a fémből vagy nádból készült nyelv zárja el, amely befúváskor rezgésbe jön, és így a légáram periodikus megszakításokkal jut a csőbe. A keletkező hang magassága mind a nyelv, mind a csőben lévő levegőoszlop sajátfrekvenciájától függ.
Az ajaksípokban a befújt levegő a légkamrából a keskeny résen áthaladva az ékbe (ajakba) ütközik. Az ék két oldalán felváltva örvények keletkeznek, amelyek a csőben lévő légoszlopban peroidikus nyomásingadozást létesítenek, és így sajátrezgésre gerjesztik.

2.4.4 A Doppler-effektus

A kötélhullámok és a vízhullámok vizsgálatánál természetes volt, hogy a hullámok terjedését a közegen kívülről figyeljük meg. A hanghullámok esetében azonban a megfigyelő is ugyanabban a közegben van, amelyikben a hangforrás működik és amelyikben a hang is terjed. Felmerülhet a kérdés, hogy ezek egymáshoz viszonyított mozgása nem befolyásolja-e az észlelés eredményét. Vannak olyan hétköznapi tapasztalatok is, amelyek alátámasztják a kérdés jogosságát. A közeledő mozdony sípjának hangja magasabbnak hallatszik, majd amikor elhalad mellettünk és távolodni kezd, akkor mélyebbnek. De a sorompóhoz közeledő vonatban ülő utas is magasabbnak hallja a sorompó csengőjének hangját, távolodáskor pedig mélyebbnek.

Ha a hangforrás mozog a közeghez képest, például közeledik a nyugvó megfigyelő felé, akkor a kibocsátott hang hullámhossza csökken. Az alatt az idő alatt ugyanis, amíg a hangforrás útnak indít egy hullámhossznyi hangot, maga is elmozdul valamennyivel; így a hullámhossz „végét” az „elejéhez” közelebb bocsátja ki, mint tenné nyugalomban. Ez éppen a hullámhossz csökkenését és a változatlan terjedési sebesség miatt a frekvencia növekedését jelenti. Távolodás esetén – hasonló meggondolások alapján – a hullámhossz nő, azaz a frekvencia csökken. A változás mértékét a hangforrás sebessége és a hangsebesség szabja meg. A jelenség neve **Doppler-effektus**.

→ felhasználás a kozmológiában XXVIII.

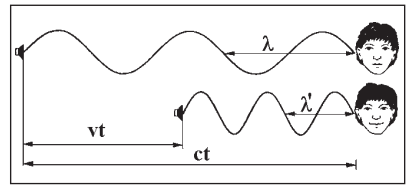
DOPPLER-EFFEKTUS

Ha a hangforrás mozog, a hullámhossz a mozgás irányában megrövidül, ellenkező irányban hoszszabbá válik. Mivel ugyanannyi számú hullám észlelése mindkét esetben ugyanannyi idő alatt történik, a kétféle hullámhossz úgy aránylik egymáshoz, mint a hangforrás és a megfigyelő távolsága. Mozgó hangforrás esetén ez $v_F t$-vel kisebb, mint a nyugvó hangforrás és a megfigyelő ct távolsága. (v_F a hangforrás, c a hang sebessége.) Így

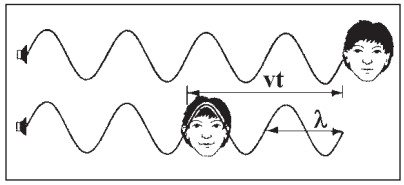
$$\frac{\lambda'}{\lambda} = \frac{ct - v_F t}{ct} = \frac{c - v_F}{c}$$

A $c = f\lambda$ összefüggést a $f' = \frac{c}{\lambda'}$ alakban is felhasználva az észlelt frekvencia értéke

$$f' = f\,\frac{c}{c - v_F}$$



76. ábra. ***A Doppler-effektus mozgó hangforrás esetén***

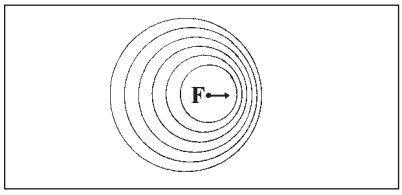


77. ábra. ***A Doppler-effektus mozgó megfigyelő esetén***

Ha a hangforrás távolodik, akkor a sebessége ellenkező előjelű lesz. A közeledést és a távolodást egybefoglalva:

$$f' = f\,\frac{c}{c \mp v_F}$$

Ha a megfigyelő közeledik a hangforrás felé, akkor a hullámhossz nem változik meg, hiszen a megfigyelő mozgása nem befolyásolja a hang kibocsátását. Ebben az esetben azonban az észlelő valamekkora idő alatt nemcsak azokat a hullámvonulatokat észleli, amelyek nyugvó helyzetében is elérnék ez alatt az idő alatt, hanem azokat is, amelyeknek elébemegy az adott idő alatt. Vagyis ugyanannyi idő alatt több hullámvonulat éri el, ez pedig számára éppen a frekvencia növekedését jelenti. Távolodásnál éppen fordított a helyzet.



78. ábra. ***A Doppler-effektus vízhullámokkal***
A hullámhegyek és -völgyek nem koncentrikus körök, hanem a haladás irányában közelebb kerülnek egymáshoz, a másik irányban pedig távolabb haladnak egymástól.

Ha a megfigyelő v_M sebességgel mozog a hangforrás felé, akkor időegységenként nem csak az f frekvenciának megfelelő számú hullámot észleli, hanem azokat is, amelyek az időegység alatt megtett útján elférnek. Ezek száma: $\frac{v_M}{\lambda}$. Az észlelt frekvencia ebből a kettőből tevődik össze:

$$f' = f + \frac{v_M}{\lambda}$$

A $\lambda = \frac{c}{f}$ behelyettesítéssel ezt kapjuk:

$$f' = f + f\frac{v_M}{c} = f\left(1 + \frac{v_M}{c}\right) = f\frac{c + v_M}{c}$$

Távolodásnál a megfigyelő sebessége ellenkező előjelű lesz. A közeledést és a távolodást egybefoglalva, az észlelt frekvencia:

$$f' = f\,\frac{c \pm v_M}{c}$$

Bár a jelenség legkönnyebben éppen a hang esetében figyelhető meg, mindenfajta hullám esetében előfordulhat. Jól szemléltethető például vízhullámokkal, amelyeket mozgó pontszerű forrás kelt.

Summa (2.4)

A hang a különböző közegekben – leggyakrabban levegőben – terjedő longitudinális hullám. Terjedési sebessége levegőben kb. 340 m/s, folyadékokban és szilárd anyagokban ennél nagyobb. A hang visszaverődését, törését, elhajlását, interferenciáját a más hullámokra is érvényes törvények írják le. Az észlelt hang magasságának a hanghullám frekvenciája felel meg: azonos hangmagasság-különbségek azonos frekvenciaarányokat jelentenek. Az észlelt hang magassága függ a hangforrás és a megfigyelő egymáshoz viszonyított mozgásától is, ez a jelenség a Doppler-effektus. A hangszínt az egyszerre észlelt, különböző frekvenciájú és erősségű hangok keveréke határozza meg. A hangerősség a hang által hordozott, a felületegységen időegységenként átáramló energiával jellemezhető. Ettől jelentősen eltér az észlelt hang erőssége, a hangosság: a fizikailag 10-szer erősebb hangot csupán kétszer hangosabbnak érzékeljük. A legtöbb hangforrás működésében jelentős szerepe van a rezonanciának. A rezgő test rezgéseit gyakran egy kiterjedt, üreges test és a benne lévő levegő veszi át és erősíti fel. Ez különösen fontos a beszéd és a hangszerek esetében.

Kérdések, problémák

1. Ahhoz, hogy a fülünk két hangingert különbözőnek érzékeljen, kb. 0,1 s időkülönbség szükséges a kettő között. Milyen messzire kell lennie a hangvisszaverő felületnek ahhoz, hogy az általunk kibocsátott hangot és visszhangját meg tudjuk különböztetni?
2. Az üres szobákat gyakran érezzük „visszhangosnak”, míg ha a szoba be van rendezve, ezt nem tapasztaljuk. Miért?
3. Egy nyitott síppal azonos frekvenciájú hangot fele olyan hosszú zárt síp bocsát ki. Ennek ellenére a fúvós hangszerek nagy része nyitott. Mi lehet ennek az oka?
4. Mondjon példákat a hang hullámjelenségeire a mindennapi életből!

3. Fizikai optika

3.1 A fény sebessége

Bár a geometriai optika a XVII. században jelentős eredményeket ért el, a tudósokat változatlanul izgatta a fény mibenlétének kérdése. Továbbra is nyitott kérdés maradt, hogy vajon a fény terjedéséhez szükség van-e időre; egyáltalán *terjed-e* valami a fényben? A válasz nagy előrelépést jelentett volna a fény természetének kiderítésében. Galilei az alábbi kísérletet javasolta:

← Platón elképzelése (látósugár) III.10.2.2

„SIMPLICIO: A mindennapi tapasztalat azt mutatja, hogy a fény terjedéséhez nincs szükség időre: ha nagy távolságban elsütnek egy ágyút, a láng fénye azonnal eljut a szemünkbe, de a hang csak jóval később érkezik fülünkhöz.

SAGREDO: No de Simplicio úr, ez a jól ismert tapasztalati tény legföljebb azt bizonyítja, hogy a hang sokkal lassabban jut el hozzánk, mint a fény, de nem győz meg arról, hogy a fény terjedése pillanatszerű-e vagy időre van szüksége, még ha nagyon rövidre is…

← a hang terjedési sebessége XIV.2.4.1

SALVIATI: Látván, milyen kevéssé meggyőzőek az ilyen és ehhez hasonló megfigyelések, egyszer elgondolkoztam, hogyan szerezhetnénk csalhatatlan bizonyosságot, hogy a fény terjedése csakugyan pillanatszerű-e. (…) Ketten vegyenek egy-egy fényforrást, helyezzék lámpatestbe úgy, hogy kezükkel eltakarhassák a másik elől. Álljanak néhány rőf távolságra egymástól és gyakorolják a fény felvillantását úgy, hogy amikor az egyik megpillantja a másik fényforrását, nyomban láthatóvá teszi a sajátját. (…) Ha ezen a kis távolságon jól begyakorolták a módszert, helyezkedjenek el két hasonló fényforrással egymástól 2-3 mérföldnyire, és éjszaka ismételjék meg a kísérletet, gondosan ügyelve arra, hogy megfigyeljék: vajon a felvillanásra ugyanolyan gyorsan érkezik-e a válasz, mint kis távolságok esetén. Ha igen, meglehetősen biztosak lehetünk benne, hogy a fény terjedése pillanatszerű, ui. ha időre lenne szüksége pl. 3 mérföld távolságnál, ami voltaképpen 6, hiszen a fénynek el kell jutnia oda és vissza kell térnie, a késedelem valószínűleg már jól megfigyelhető volna."

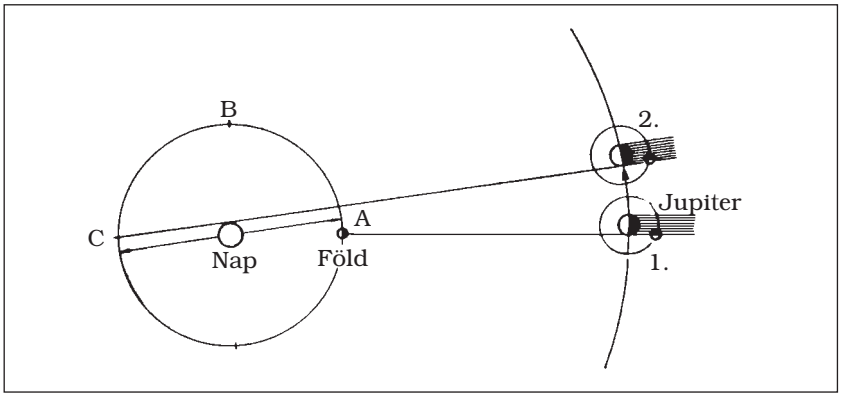
→ reakcióidő XVI.1.2.2

→ „milyen gyors a gondolat"? (Helmholtz) XVIII.3.1.2

Galilei: Discorsi

Bár a kísérlet nem hozott eredményt, a kor fizikusai mégsem vetették el a problémát. A kudarcból azt a következtetést vonták le, hogy a fény terjedési sebessége igen nagy, és ilyen kis távolságokon az idő nem mérhe-

← egyenletes mozgások VI.5.2



79. ábra. ***A Jupiter holdjának fogyatkozásai***
Ha a Föld a Nappal és a Jupiterrel éppen egy egyenesben (az ábrán az A helyzetben) van, akkor két egymást követő eltűnés közötti idő 42 óra 28,6 perc. A Földnek a Jupitertől való távolodásakor azonban (az ABC pályaszakaszon) az elsötétedések ennél az időköznél mindig később jelentkeznek. A késések fél év alatt összesen kb. 1000 s-ot tesznek ki. Römer ezt azzal magyarázta, hogy a hold eltűnéséről tudósító „utolsó" fénysugárnak a Föld és a Jupiter távolodása miatt egyre hosszabb utat kell megtennie, míg a megfigyelő szemébe ér, és ehhez több időre van szüksége. Eszerint a fény a földpálya átmérőjének megfelelő utat, vagyis kb. 300 millió km-t 1000 s alatt teszi meg. Így a fény sebességére 300000 km/s adódik. Valójában Römer az akkori adatok és időmérés pontatlansága miatt ennél kb. 30%-kal kisebb eredményt kapott.

← a Jupiter-holdak fölfedezése VI.4.1

tő. Nem meglepő, hogy egy csillagászati megfigyelés szolgáltatta az első bizonyítékot a fénysebesség véges voltára. Olaf Römer dán csillagász 1675-ben felfigyelt arra, hogy a Jupiter belső holdjának fogyatkozásai nem azonos időközökben követik egymást. Számításának alapját 79. ábra mutatja.

MI MOZOG A FÉNYBEN?

Ez volt az első megfigyelés, ami arra utalt, hogy a fény, bár igen nagy, de véges sebességgel terjed, vagyis valamilyen *mozgás*. De minek a mozgása?

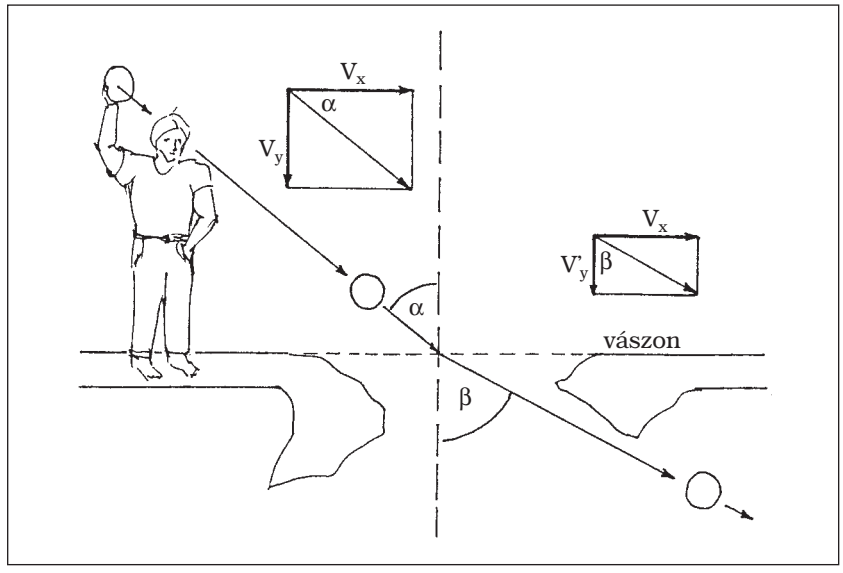
3.2. Részecske vagy hullám?

3.2.1 Newton válasza

DESCARTES GONDOLATMENETE

Az első feltételezések szerint a fény rendkívül kisméretű részecskék áramlása. Ennek alapján – a rugalmas ütközés analógiájára, mint ahogyan egy labda visszapattan egy felületről – jól lehetett magyarázni a visszaverődést. Nehezebb problémának bizonyult a fénytörés. Descartes gondolatmenetét követve fel kell tételeznünk, hogy ebben az esetben a labda átszakítja a két közeg határfelületét, mint valami vásznat, és úgy halad tovább.

← XIV.1.1
← XIV.1.3



80. ábra. ***A törés magyarázata Descartes szerint***
V_x a labda sebességének vízszintes, V_y pedig függőleges összetevője. Descartes szerint a közeghatáron (a vászon átszakítása közben), V_y csökken, ezért a labda pályája „megtörik”, hasonlóan a fénysugárhoz.

A vászon a labda sebességének rá merőleges összetevőjét lecsökkenti, a vele párhuzamosat pedig változatlanul hagyja. Az eredmény: a „törési szög” nagyobb, mint a beesési. A fény esetében ez éppen fordítva van, ha sűrűbb közegbe lép! Mi következik ebből? Meglepő módon az, hogy a sűrűbb közegben a fény nagyobb sebességgel terjed! Descartes véleménye egyébként az volt, hogy a fény terjedéséhez nincs szükség időre, mivel a fényérzetet a mindenséget kitöltő anyag örvényléséből adódó nyomáskülönbség okozza.

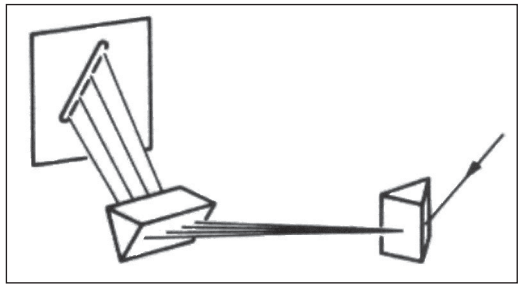
← Descartes kozmológiája VII.3.1.2

SZÍNKÉP ÉS PRIZMA

Newton ezt az elméletet elvetette, hiszen egyszerű nyomáskülönbség nem melegíthetné fel a tárgyakat. Newtont, bár Optikájában leírja a geometriai optika addig elért eredményeit, valójában a színek problémája izgatta. *Mi történik*, amikor a prizmára eső fehér fénysugárból széthúzódó színkép lesz? Gondosan kivitelezett kísérletek sorozatával arra a következtetésre jutott, hogy nem a prizma anyaga okozza a fehér fény színessé válását, mint azt általánosan gondolták, hanem a fehér fényben eleve meglévő szí-

← felhasználása a fotoszintézis vizsgálatában XIII.2.2

neket a prizma csak szétválasztja: a fehér fény az összetett, és a prizma által szétválasztott színes fénysugarak az egyneműek, homogének. A különböző színű fénysugarak különböző „törhetőséggel” rendelkeznek: a legkisebbel a vörös, a legnagyobbal az ibolya.

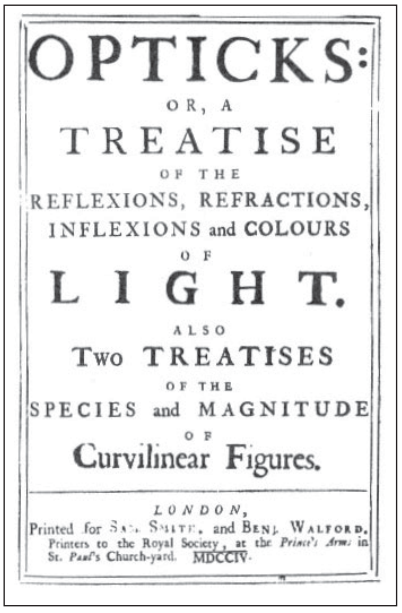


81. ábra. ***Newton döntő kísérlete (experimentum crucis)***
A prizma által előállított színes fényt egy másik prizma már nem bontotta tovább. Ezek keveréséből viszont más színek állíthatók elő. Ha a színképet egy megfelelően elhelyezett másik prizmára ejtjük, akkor újból fehér fény keletkezik. Newton azt is kimutatta, hogy ha egy kétszínű tárgyat (egy piros-kék papírlapot) egy lencsével leképez, akkor a tárgy kék és piros feléről nem ugyanott keletkezik éles kép: a prizma, ill. a lencse anyagának törésmutatója más és más a különböző színű fénysugarak esetén.

A szín tehát a fény minőségi tulajdonsága, márpedig ezzel csak anyag rendelkezhet. Vagyis a fény kicsi anyagi részecskékből, korpuszkulákból áll, amelyeket a fényforrás egyenes vonalban, nagy sebességgel lövell ki magából. A különböző homogén színek a korpuszkulák nagyságában különböznek egymástól. A legnagyobbak a vörös, a legkisebbek az ibolya szín hordozói. A nagyobb részecskék tehetetlensége nagyobb, így azok kevésbé térnek el az eredeti iránytól, ezért törik meg a vörös fény kevésbé, az ibolya jobban. Bár Newton véleménye különbözött Descartes-étól, abban egyetértett vele, hogy sűrűbb közegben nagyobb a fény sebessége: ezt a sűrűbb közegben fellépő nagyobb gravitációs erővel magyarázta.

Newton más, színekkel kapcsolatos jelenségeket is vizsgált. Amikor egy sík üveglemezre egy síkdomború lencsét helyezett, akkor az érintkezési pont körül színes koncentrikus gyűrűket észlelt. Ha egyszínű fénnyel világította meg, akkor pedig sötét és világos gyűrűket tapasztalt; a világos helyek természetesen olyan színűek voltak, mint az alkalmazott fény. Visszavert fényben (tehát ha a rendszert ugyanarról az oldalról nézzük, mint ahonnan a megvilágítás érkezik) a középpont sötétnek látszik. Mivel a részecskék egyformán érik a lencse egész felületét, és mégis felváltva észlelünk sötét és világos helyeket, Newton úgy gondolta, hogy a korpuszkulák rendelkeznek valamiféle térben és időben periodikus tulajdonsággal, amit *fit*nek („illeszkedés”) nevezett. Minden részecske felváltva hol olyan fittel rendelkezik, ami az új közegbe való könnyű behatolást segíti elő, hol pedig olyannal, ami a közeghatárról való könnyű visszaverődést teszi lehetővé. Ha a fenti elrendezésben a korpuszkulák a légréteg felső határához a könnyű áthatolás állapotában jutnak el, és a légréteg vastagsága olyan, hogy az alsó határához ugyanebben az állapotban érkeznek, akkor innen nem verődik vissza fény és a megfigyelő sötétet észlel. Ha azonban a légréteg vastagsága olyan, hogy az alsó határánál a korpuszkulák már éppen a könnyű visszaverődés állapotában vannak, akkor innen visszaverődnek és a megfigyelő világos helyet észlel. A lencse görbületi sugarának ismeretében és a sötét vagy világos gyűrű sugarának megmérésével a légréteg vastagsága kiszámítható és ennek alapján megadható a korpuszkula térbeli periodicitásának, azaz a fitnek a „hossza”. Ezt maga Newton is megtette:

„Ha egy fénysugár, amelynek színe a sárga és narancs közé esik, merőlegesen lép ki bármely közegből a levegőre, a könnyű reflexiós fitállapotainak intervallumai az inch 1/89000-ed részét teszik ki. És ugyanez a hossza a könnyű transzmissziós fitállapotok intervallumainak.”


OPTICKS:
OR, A
TREATISE
OF THE
REFLEXIONS, REFRACTIONS,
INFLEXIONS and COLOURS
OF
LIGHT.
ALSO
Two TREATISES
OF THE
SPECIES and MAGNITUDE
OF
Curvilinear Figures.
LONDON,
Printed for Sam. Smith, and Benj. Walford,
Printers to the Royal Society, at the Prince's Arms in
St. Paul's Church-yard. MDCCIV.

82. ábra. ***Newton Optikájának címlapja***

→ színlátás: Newton és Goethe vitája XVIII.3.3.6

FÉNY „KORPUSZKULÁK”?

PERIODIKUSAN VÁLTOZÓ TULAJDONSÁGOK

→ „Fit” és foton XXI.

„FITHOSSZ”-HULLÁMHOSSZ?

A fitállapotok hossza tehát a színnel van kapcsolatban. Ez abból is látható, hogy fehér fényben különböző sugarú színes gyűrűk keletkeznek, vagyis más-más vastagságú légréteg kell a különböző színű fénysugaraknak ahhoz, hogy fitállapotot tudjanak váltani. Mint a fenti idézetből kitűnik, Newton felismerte, hogy a térbeli periodicitás mértéke a közegtől is függ; sőt, még azt is megállapította, hogy sűrűbb közegben ez a hossz *csökken*. Ha ezt a hosszúságot a hullámhosszal azonosítanánk, akkor ebből azt a következtetést kellene levonni, hogy sűrűbb közegben kisebb a terjedési sebesség; márpedig, tudjuk, Newton éppen az ellenkező álláspontot képviselte.

Newton ismerte a fény keskeny réseken és akadályokon történő elhajlását is. Ezt azzal magyarázta, hogy a fényrészecskék és az akadály széle között vonzóerő lép fel.

← „Nem gyártok hipotéziseket" VI.8.4

Newton művében igen óvatosan fogalmaz, amikor a fény tulajdonságairól következtetéseket von le; tényként csak azt szögezi le, amit a kísérletek egyértelműen alátámasztanak. Amikor pedig a fény természetéről beszél, még csak nem is óvatos kijelentések, hanem az Optika végén feltett kérdések formájában fogalmazza meg gondolatait.

„Vajon a fénysugarak nem kis testekből állanak-e, amelyeket a fényló anyag kibocsát?"

Optika, 29. kérdés

„Vajon nem téves-e minden olyan hipotézis, amely azt tételezi fel, hogy a fény nyomás vagy mozgás, amely valamely fluidumban terjed?"

Optika, 28. kérdés

Ennek ellenére Newton elméletéből az utána következő nemzedék egyoldalúan a fény részecsketermészetének gondolatát vitte tovább és a periodicitásra utaló tulajdonságok háttérbe szorultak. Így a XIX. századra Newton neve – teljes tekintélyével – a fény meglehetősen leegyszerűsített korpuszkuláris elméletével fonódott össze.

3.2.2 Huygens és a hullámelmélet

A részecske-elmélettel egy időben jelentek meg azok az elképzelések is, amelyek szerint a fény természete inkább a hullámokhoz hasonlítható. A XVII. század közepétől többen úgy vélekedtek, hogy a fény valamilyen finom közegben terjedő hullám, és ez az éternek nevezett közeg éppúgy hordozója a fény terjedésének, mint a levegő a hangénak. A hullámelmélet első jelentős képviselője Robert Hooke volt. Hooke kutatásainak nagy része a rezgésekkel volt kapcsolatban; a fényt is, a hőt is valamilyen rezgésállapot tovaterjedésének tekintette, azonban az egyes jelenségek magyarázatában nem ért el jelentős eredményeket.



83. ábra. ***Christian Huygens (Huyghens) (1629–1695) holland fizikus, matematikus kezében az általa készített ingával M.C. Escher holland művész bankjegy-tervén***

Huygens, bár jogi diplomát szerzett, már igen fiatalon komoly eredményeket ért el a matematikában. Fizikai vizsgálódásait a testvérével együtt épített távcsővel kezdte. Felfedezte a Szaturnusz gyűrűjét és egyik holdját. Mivel ezekhez a megfigyelésekhez pontos időmérésre volt szükség, 1657-ben ingaórát szerkesztett, és ettől kezdve intenzíven foglalkozott az ingák elméletével. Legismertebb műve a Traité de la lumiére (Értekezés a fényről, 1690). Huygens kísérleti tapasztalatok és elméleti megfontolások alapján arra a következtetésre jutott, hogy az inga lengésideje akkor lesz valóban független a kitérés nagyságától, ha az inga fonala a két szélső helyzetben egy speciális görbe alakú lemezpárra simul. Ekkor az ingatest egy hasonló alakú görbe mentén mozog. Ennek alapján Huygens megépítette az első ingaórát. Erre a pontos időmérő eszközre csillagászati megfigyeléseihez volt szüksége.

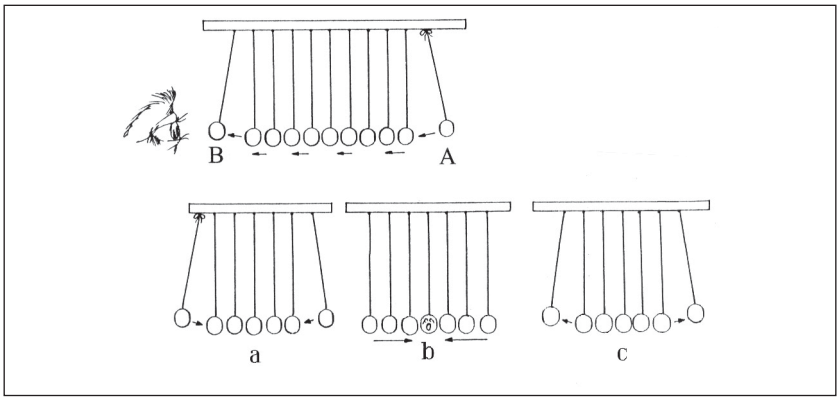
A bankjegy terv bal oldalán egy kettős fénytörésű izlandi pát kristály látható. A kettős törés magyarázata szintén Huygens nevéhez fűződik. Huygens Newtonéhoz hasonló tekintélynek örvendett a fizikusok között. Azon kevesek közé tartozott, akiket Newton is elismert és tisztelt. 1665-től a Francia Akadémia elnöke lett. 1681-ben tért vissza Hágába és ott is halt meg.

A hullámelméletet Huygens dolgozta ki részletesen. Ahogy Newton megfogalmazta kétségeit a hullámhipotézissel szemben, Huygens is megtette ellenvetéseit a részecskeelmélet ellen. Newton azzal érvelt, hogy a tapasztalat szerint az égitestek akadálytalanul és súrlódásmentesen végzik mozgásukat, ami ellentmond a fényt hordozó feltételezett fluidum létezésének. Huygens szerint viszont a fény azért nem állhat sebesen mozgó részecskékből, mivel az egymást keresztező vagy éppen szemben haladó részecskék egymást zavarnák mozgásukban, és így például egymással szemben álló emberek nem láthatnák egymást egyazon időpillanatban.

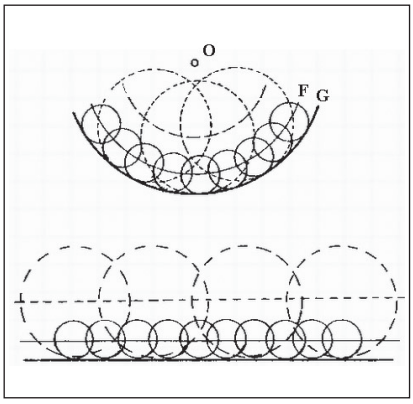
Huygens szerint a fény úgy terjed, hogy a fényt kibocsátó test meglöki az őt körülvevő éter részecskéit, majd ezek a részecskék továbbadják mozgásállapotukat a velük szomszédos részecskéknek.

A korpuszkula-elmélet számára magától értetődő, hogy miért terjed egyenes vonalban a fény. Huygens elméletében ez magyarázatra szorul, hiszen az éter részecskéi akár összevissza is lökdöshetik egymást!

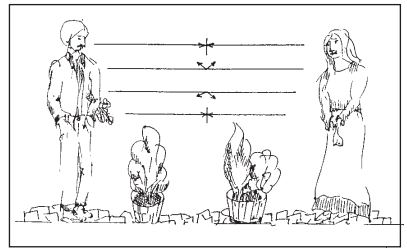
1678-ban sikerült Huygensnek egy olyan elvet felállítania, amellyel jól lehetett magyarázni a hullámok egyenesvonalú terjedését és egyes hullámjelenségeket. Az elhajlás vizsgálatakor megfigyelhető, hogy a kisméretű réshez érkező hullámfelület pontjai úgy viselkednek, mintha belőlük indulna ki az árnyéktérbe behatoló hullám. Huygens úgy vélte, hogy ez akadálytalan terjedés esetén is így van: a hullámfelület minden egyes pontja hullámforrásként viselkedik és belőle másodlagos vagy elemi hullámok indulnak ki. Ezek azonban külön-külön nem észlelhetők, viszont az új hullámfelület, ezeknek az elemi hullámoknak a közös érintője, a burkoló felülete igen.



85. ábra. ***Huygens elképzelésének szemléltetése golyósorokkal***



86. ábra. ***Az új hullámfelület létrejötte a Huygens-elv alapján***
Ha az O hullámforrásból kiinduló körhullám egyik hullámfelülete egy adott időpillanatban az F kör (pl. egy hullámhegy), akkor ennek minden egyes pontjából kiinduló elemi hullámok kis idő múlva a kis körök lesznek, amelyeket külön-külön nem észlelünk, csak közös burkológörbéjüket, a G kört mint új hullámfelületet. A burkológörbe tulajdonképpen az elemi hullámok közös érintővonala. Egyenes hullámok esetén hasonló a helyzet, csak ekkor a burkoló felület, vagyis az új hullámfelület is egyenes.



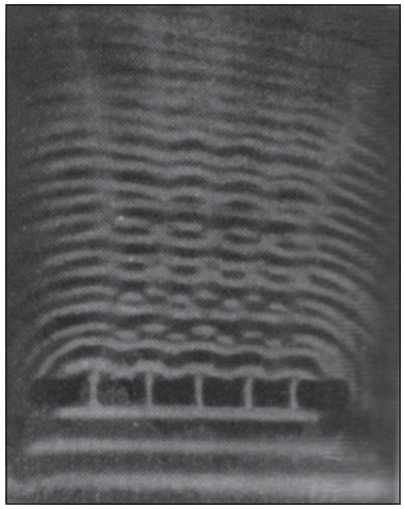
84. ábra. ***Huyghens kérdése: hogyan láthatjuk egymást egyidejűleg?***

← az „éter” az ókori gondolkodásban III.9.2.2

HUYGENS-ELV

← elhajlás kis réseken XIV.2.3.2

FÉNYSUGÁR HELYETT: BURKOLÓFELÜLETET?



87. ábra. ***A Huygens-elv kísérleti szemléltetése***
A képen egyszerre működő, pontszerű hullámforrások által keltett hullámok láthatók. Megfigyelhető, hogy a hullámforrásoktól távolodva a hullámvonulatok egyre inkább egyenes hullámokhoz hasonlítanak.

Tegyük fel, hogy az új közeg olyan, hogy benne a hullám terjedési sebessége kisebb. Ekkor az A pontból induló elemi hullám a B pontba érkezéséig kisebb lesz, mint az előbb volt (ha a terjedési sebesség az új közegben nagyobb lenne, akkor lenne nagyobb). A felezőpontból kiinduló elemi hullámé pedig ehhez képest megint feleakkora lesz. Így a burkolófelület, azaz a megtört hullám most a DF szakasz. Az ADB és ADF háromszögekből:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}=\frac{\overline{BD}}{\overline{AF}}$$

Az α és a β szög az érkező és a megtört hullámfelületnek a közeghatárral alkotott szöge, és ezek ugyanakkorák, mint a terjedési irányoknak a beesési merőlegessel bezárt szöge. A BD és az AF szakaszok hossza nem más, mint az érkező és a megtört hullámok által ugyanannyi idő alatt megtett utak, így arányuk a két közegbeli sebesség arányával egyenlő. Ezért a törés törvénye az alábbi alakban is felírható:

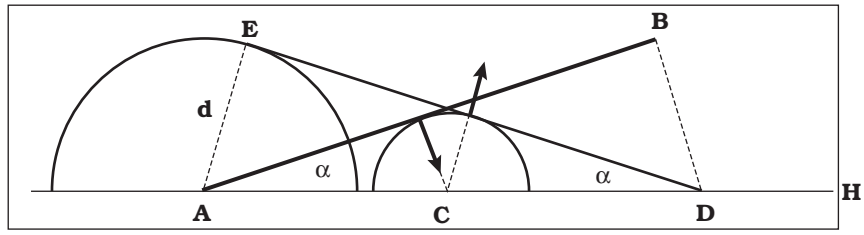
$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}=\frac{c_1}{c_2}=n$$

Az α és a β szög egyben a terjedési irányok és a beesési merőleges által bezárt szögek is.

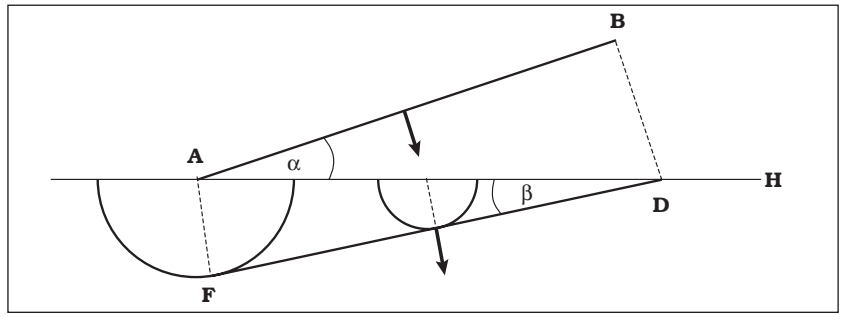
Huygens elve összefoglalva:
Egy hullámfelület minden pontjából elemi hullámok indulnak ki, és egy későbbi időpontban a hullámfelület ezeknek az elemi hullámoknak a burkoló felülete.

Ezzel az elvvel a hullámok egyenes vonalú terjedése jól magyarázható, hiszen gömb- vagy körhullámok esetén a hullámfelületek koncentrikus gömbök vagy körök, a hullám terjedési iránya pedig sugárirányú, vagyis egyenes. Síkhullámok esetén pedig a hullámfelületek párhuzamos síkok vagy egyenesek, a terjedési irány ezekre merőleges, vagyis szintén egyenes.

A visszaverődés és a törés törvénye megmagyarázható a Huygens-elvvel, törvényeik levezethetők belőle.



88. ábra. ***A visszaverődés törvényének levezetése a Huygens-elv alapján***
Érkezzen az AB hullámfelület a H határfelülethez. Szerkesszük meg a visszavert hullámfelületet azoknak az elemi hullámoknak a segítségével, amelyek akkor indulnak ki, amikor a hullámfelület egyes pontjai elérik a közeghatárt. Mire a B pontból a hullám a D pontba ér, az A pontból kiinduló elemi hullám már d sugarú lesz (hiszen feltehetjük, hogy a hullám ugyanabban a közegben ugyanakkora sebességgel terjed). Vegyük még egy pontját a hullámfelületnek, az egyszerűség kedvéért a felezőpontot. Ez a C pontban éri el a közeghatárt, és az innen kiinduló elemi hullám sugara feleakkora lesz, mint az A pontból indulóé, hiszen feleakkora idő áll rendelkezésére. Megrajzolható a burkoló felület, azaz a visszavert hullám: ez lesz a DE szakasz. Az ABD és AED háromszögek egybevágóságából következik, hogy az érkező és a visszavert hullámfelület ugyanakkora szöget zár be a közeghatárral, és ez igaz a nyilakkal jelölt terjedési irányokra is.



89. ábra. ***A törés törvényének levezetése a Huygens-elv alapján***

A Huygens-elv segítségével nemcsak levezethető a hullámtörés törvénye, de a törésmutató kapcsolatba hozható a két közegben mért terjedési sebességekkel is:

$$\frac{c_1}{c_2}=n$$

A törésnek ez a magyarázata viszont azt vonta maga után, hogy Huygensnek – ellentétben Descartes-tal és Newtonnal – azt kellett feltételeznie, hogy a fény sűrűbb közegben lassabban terjed. A hullám azért változtatja meg terjedési irányát, mert az új közegben megváltozik a sebessége. Ha csök-

ken a sebessége, akkor a beesési merőleges *felé* törik, ha nő, akkor a beesési merőleges*től* törik, vagyis ekkor a törési szög a nagyobb.

Huygens elmélete szerint a fény longitudinális hullám, tehát a részecskék rezgése a terjedési irány mentén történik. A hullámokra jellemző mennyiségek – a hullámhossz, rezgésszám – hiányoznak elméletéből. Ennek az a magyarázata, hogy szerinte a részecskék ütközései szabálytalan időközökben követik egymást, ezért a vízhullámok törésénél megfigyelt hullámhossz-változásról nem tudott számot adni. Ugyanezért az interferencia-jelenségek és színek magyarázatával is adós maradt.

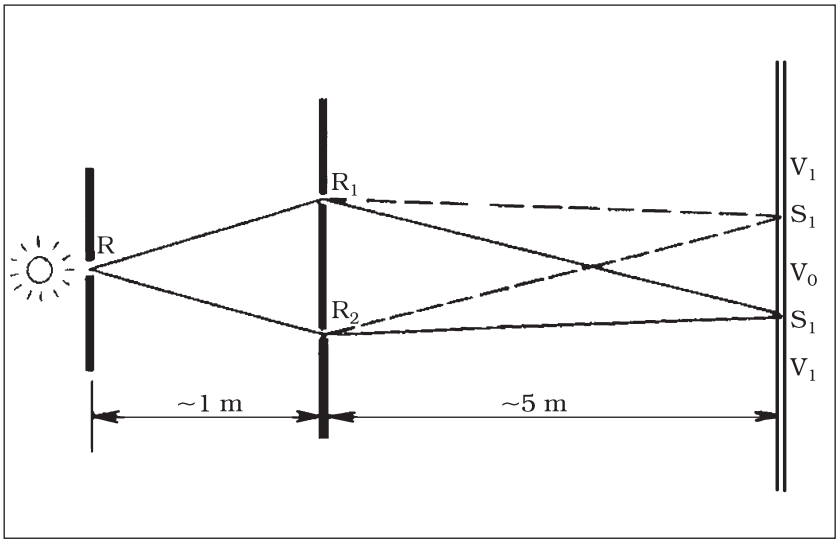
3.3 A XIX. század optikája

3.3.1 Interferenciakísérletek

A XVII. században a fénytani jelenségeket nem sikerült egy egységes elmélet kereteibe illeszteni. Newton részecske-elmélete számot tudott adni a színek létezéséről, a vékony, átlátszó rétegeken keletkező színes sávok kialakulásáról, de az elhajlást csak a korpuszkuláknak tulajdonított újabb tulajdonságok feltételezésével tudta volna magyarázni. Huygens hullámelméletéből éppen a színekkel kapcsolatos jelenségek hiányoztak, viszont le lehetett vezetni belőle a visszaverődés és a törés törvényeit. A XVIII. században visszaesésről beszélhetünk, mivel száz év múltán is mindkét elméletnek csak a leegyszerűsített alakja élt tovább.

A fény természetéről folytatott vita Young 1800-ban megjelent cikke hatására lángolt fel újra, amelyben a fénnyel kapcsolatban a hullámelmélet előnyeit hangsúlyozta a korpuszkulaelmélettel szemben. Angliában, ahol Newton és fizikája – beleértve az optikát is – abszolút tekintélynek örvendett, egyenesen szentségtörést emlegettek. Young csak úgy tudta kivédeni a támadásokat, hogy Newton Optikájából összegyűjtötte azokat a gondolatokat, amelyek a hullámelmélet irányába mutattak, például a korpuszkulák térbeli periodicitására vonatkozó elképzeléseket.

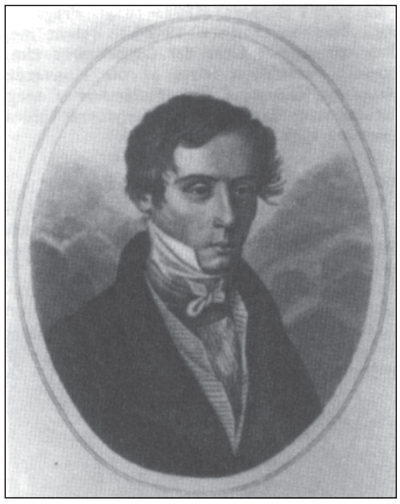
Young különösen az interferencia vizsgálatát tartotta fontosnak. Ő végezte az első tervszerű fényinterferencia-kísérletet (1802).





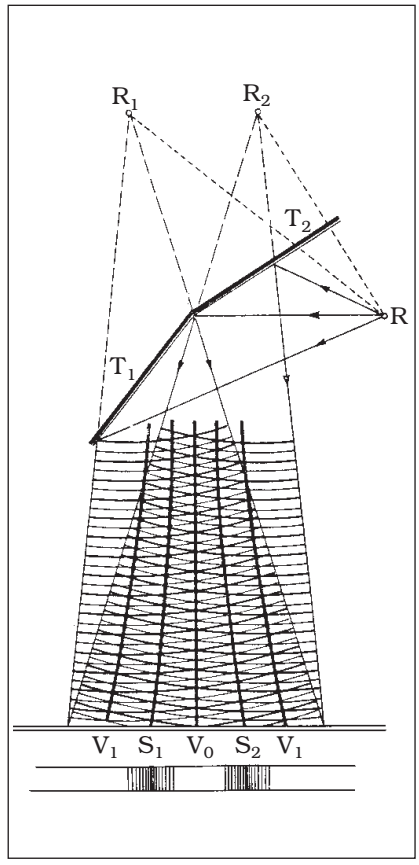
90. ábra. ***Thomas Young (1773–1829)***
Csodagyerek volt, foglalkozott festészettel, zenével, nyelvészettel. 1800-tól orvosként működött Londonban, és mellesleg egy ideig a fizika professzora is volt. Eredetileg a látásélességgel és a színlátással foglalkozott, majd a fény hullámtermészetével kapcsolatban folytatott kutatásokat. A régészet is számontartja a nevét: az ő felismerései is hozzájárultak a rosette-i kő megfejtéséhez.

91. ábra. ***Young kétréses fényinterferencia-kísérlete***
A fényforrás elé helyezett átlátszatlan akadályon egy keskeny rés található, amelyen átjutva a fény két újabb, szimmetrikus helyzetű résen halad át (méretük kb. 0,1 mm, távolságuk kb. 1 mm). A második akadály elé helyezett ernyőn a résekkel és egymással párhuzamos sötét és világos csíkok figyelhetők meg.



92. ábra. ***Jean Augustin Fresnel (1788–1827) francia útépítő mérnök***
Tudománnyal csak a szabad idejében foglalkozott, ennek ellenére a fény hullámtermészete mellett érvelő francia iskola egyik legjelentősebb képviselője lett. 1823-ban a Francia Akadémia, 1825-ben a Royal Society tagja lett. Ő írta le a hullámjelenségeket olyan matematikai formában, amely a fénytani jelenségekre is alkalmazható volt.

A kísérletben tapasztalt sötét és világos csíkokat Young úgy magyarázta, hogy azokat a fényhullámok interferenciája eredményezi: a sötét helyeken kioltják egymást, a világos helyeken pedig erősítik. A jelenségnek ezt a magyarázatát többen kétkedéssel fogadták, az összeállításban alkalmazott réseken fellépő elhajlásra hivatkozva. A Younggal együttműködő Fresnel 1816-ban állított elő fényinterferenciát tükrök segítségével oly módon, hogy az elhajlást ki tudta küszöbölni.



93. ábra. ***Fresnel kéttükrös interferencia-kísérlete***
A kísérleti berendezés kettős tükre két, egymással igen kis szöget (néhány ívpercet) bezáró üveglap volt, amelyek közös élük mentén pontosan illeszkedtek egymáshoz. A hátsó lapjuk be volt feketítve, hogy az erről való visszaverődés ne befolyásolja a jelenséget. Fényforrásként a tükrök közös élével párhuzamos, egyszínű fénnyel megvilágított keskeny rés szolgált (így lehetett biztosítani koherens fényhullámok előállítását). A megfelelő helyen elhelyezett ernyőn ugyanúgy megjelentek a sötét és világos csíkok, mint Young kísérletében. A megvilágított résnek mint fényforrásnak a két tükörről visszavert hullámai úgy tekinthetők, mintha a rés tükörképeiből indulnának ki. Ezért R_1 és R_2 középpontú körívekkel szemléltethetők: a vastagabb vonalak a hullámhegyeknek, a vékonyabb vonalak a hullámvölgyeknek felelnek meg. A mindkét hullám által átjárt tartományban interferencia alakul ki, teljesen hasonlóan a vízhullámoknál megfigyelt esethez (csak itt most nem síkhullámokról, hanem térbeli hullámokról van szó). A maximális erősítés helyeit a világos (V jelű), a maximális gyengítés helyeit (ahol nem lehet észlelni fényt, pedig mindkét „fényforrás" megvilágítja!) a sötét (S jelű) vastag vonalak mutatják.

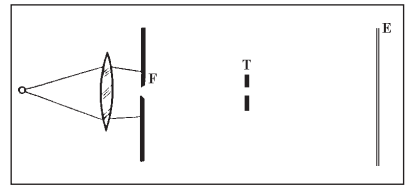
A Fresnel-kísérlet lehetővé tette a használt fény hullámhosszának meghatározását is. Az ernyőn észlelt középső világos csíkban az interferáló fénysugarak útkülönbsége 0, az ettől jobbra és balra elhelyezkedő első világos csíkokban pedig éppen a fény hullámhosszával egyenlő, éppen úgy, mint a vízhullámok esetében. Ezeknek a (R_1V_1 és R_2V_1) távolságoknak a mérésével mégsem lehet közvetlenül meghatározni a hullámhosszt, mert az olyan kicsi, hogy a távolságmérés pontosságán belül van. Ezt jól mutatja, hogy az ernyőt a tükröktől több méter távolságba kell elhelyezni ahhoz, hogy az interferenciacsíkok legalább 2-3 mm távolságban legyenek egymástól. Ezért a fényforrásként szolgáló rés, a tükrök, az ernyő egymástól mért távolságából és az első (V_1) világos csík középtől mért távolságának ismeretében geometriai számítással lehet megkapni a keresett hullámhosszt. Különböző színű fényekkel elvégezve a kísérletet, a világos csíkok különböző távolságban helyezkedtek el egymástól; így hullámhosszukra is másmás érték adódott. Vörös fényre pl. ez az érték $\lambda \approx 610$ nm, kékre pedig $\lambda \approx 490$ nm. Ezzel a színek létezése a hullámelméletbe is beilleszthetővé vált: a különböző színű fények hullámhosszukban és (azonos terjedési sebességet feltételezve) frekvenciájukban különböznek egymástól.

→ az elektromágneses színkép hullámhosszai XV.3.7.1–4

SZÍN ÉS HULLÁMHOSSZ

Ha a kísérletet fehér fénnyel végezzük el, akkor csak a középső világos csík lesz fehér, a többi színes. Középen ugyanis az útkülönbség mindig 0, itt tehát bármilyen hullámhosszú fényhullámok erősítik egymást, és így itt minden szín megtalálható. Az ernyő többi pontjában mindig más-más hullámhosszú fényre teljesül a kioltás feltétele, ezért onnan az a szín hiányozni fog, így a maradék színek keverékét észleljük. Természetesen ez fennáll a Young-kísérlet esetében is.

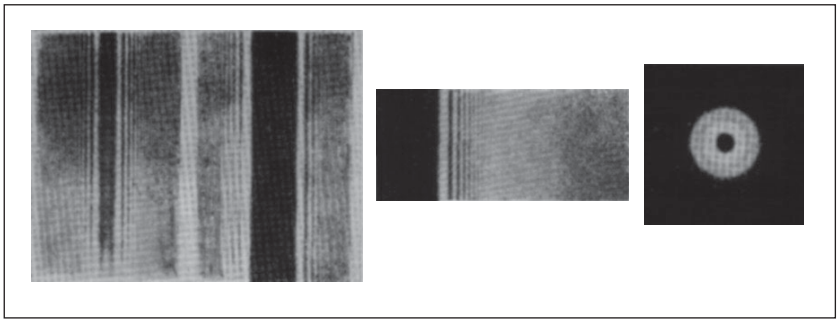
A fény hullámhosszát Young határozta meg először Newtonnak a Newton-gyűrűkre vonatkozó mérései alapján. Young ugyanis a sötét és világos gyűrűk létrejöttét a lencse alsó felületéről, ill. az üveglapról visszaverődő fénysugarak interferenciájával magyarázta. Eszerint az interferenciát a lencse és az üveglap között elhelyezkedő vékony levegőréteg teszi lehetővé. Hasonló interferenciajelenségek jöhetnek létre más vékony, átlátszó rétegeken is, pl. szappanhártyán, olajfolton vagy vékony üveglemezeken, természetesen ilyenkor az interferenciacsíkok nem körök, és nem is mindig szabályosak.



94. ábra. ***Fényelhajlás előállítása***
Az összeállításban a fényforrás szerepét az erősen megvilágított F rés tölti be. Az elhajlás a T tárgyon következik be, és az ernyőn megjelenő elhajlási kép milyensége ettől függ. Ha T egy hosszú, keskeny rés, akkor az ernyőn vele szemben világos csík jelenik meg, mellette mindkét oldalon sötét és világos, egyre elmosódottabb csíkok figyelhetők meg. Egy vékony huzal vagy hajszál elhajlási képe, árnyéka is sötét és világos csíkokból áll. Meglepő, de éppen az árnyék középső része világos. Ha a T egy kis körlap, akkor koncentrikus sötét és világos körök figyelhetők meg, világos középpel. (l. 95. ábra)

3.3.2 Fényelhajlás

Fényelhajlást igen egyszerűen megfigyelhetünk úgy, hogy vékony tűvel átlyukasztott fekete papíron át egy távolabbi kis izzólámpára nézünk; a lámpa körül kis színes gyűrűket látunk. Átlátszatlan ernyő szélének, pl. borotvapenge élének árnyékán sincs éles határ, ehelyett csíkok észlelhetők.



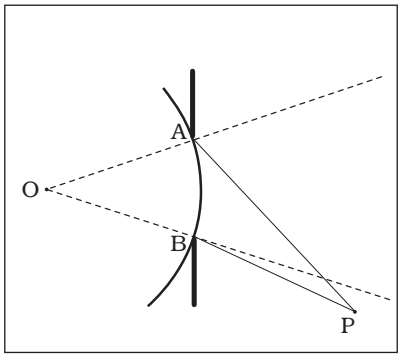
95. ábra. ***Fényelhajlás akadályokon***
a) hajszálon; b) borotvapenge élén; c) kis körlapon

Fresnel az elhajlási képekben észlelhető sötét csíkokat mint kioltásokat értelmezte. Ebből kiindulva, Young és saját eredményeire támaszkodva, Fresnel módosította a Huygens-elvet (1819). Megtartotta azt a gondolatot, hogy a hullámfelület minden pontja hullámforrásként viselkedik, és belőlük elemi hullámok indulnak ki, de elvetette a meglehetősen önkényes „burkolófelületet". Fresnel szerint az új hullámfelület az elemi hullámok interferenciájának eredménye. Az elemi hullámok mindig koherensek, hiszen ugyanabból a hullámfelületből indulnak, ennek pontjai pedig azonos fázisban vannak egymással. Ezzel a módosított – ma **Huygens–Fresnel-elv**nek nevezett – elképzeléssel már megmagyarázható az elhajlás is.

HUYGENS–FRESNEL-ELV

Az elhajlási képekben az árnyékok világos közepe a fény hullámtermészetének egyik legmeggyőzőbb bizonyítéka, hiszen ide korpuszkulák semmiképpen sem juthatnának el.

A Huygens–Fresnel-elvvel a törésnél bekövetkező hullámhosszváltozás is magyarázható: a hullám frekvenciája nem változik meg, csak a sebessége és a hullámhossza. Ez kísérletileg is könnyen igazolható. Ha a seké-



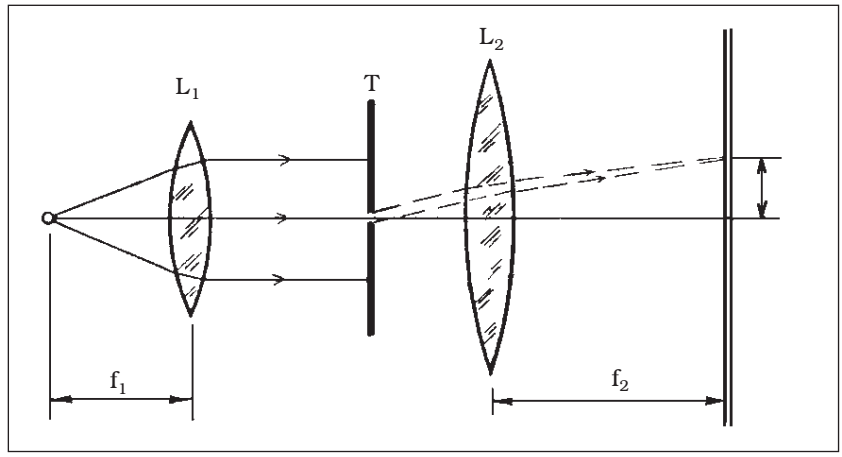
96. ábra. ***Az elhajlás magyarázata***
Az O pontból kiinduló hullám útjába az AB nyílással ellátott akadályt helyezzük. Az akadály mögött tetszőleges P pontban a rezgésállapotot úgy kapjuk meg, hogy az AB hullámfelület pontjaiból kiinduló elemi hullámok által a P pontban keltett rezgésállapotokat összegezzük. Ha a nyílás mérete kicsi a hullámhosszhoz képest, a P-be jutó elemi hullámok közötti útkülönbség kicsi a hullámhossz feléhez képest, és így az elemi hullámok erősítik egymást, bárhol is van a P pont: az árnyéktérben mindenhol észlelhetünk hullámot. Ha viszont a nyílás a hullámhosszal egyenlő, vagy annál nagyobb, akkor az útkülönbségek egyes helyeken elérhetik a hullámhossz felét, vagyis teljesülhet a kioltás feltétele. A részletes számítások pontosan alátámasztják a kísérleti eredményeket.



97. b) ábra. ***Joseph Fraunhofer (1787–1826) müncheni optikus,***
1823-tól a fizika professzora volt. Kiváló mechanikai és matematikai érzékkel bírt. Ő készített elsőként optikai rácsot 1821-ben. Ennek segítségével fedezte fel, hogy a Nap színképében fekete vonalak találhatók.

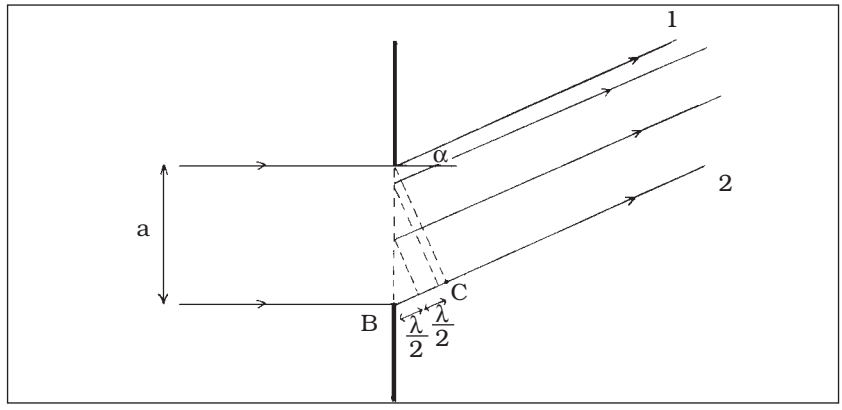
lyebb vízrétegben működik az ugyanolyan frekvenciájú hullámforrás, mint először a mélyebben, akkor ugyanolyan törési kép keletkezik, csak most a hullámok haladási iránya fordított. A fény színe, azaz frekvenciája sem változik fénytöréskor. Ez azt jelenti, hogy a két közegbeli sebességek aránya (azaz a törésmutató) egyben a két közegbeli hullámhosszak arányával is egyenlő.

A fényelhajlást Fraunhofer vizsgálta igen részletesen.



97. a) ábra. ***Fraunhofer elhajlási kísérlete***
Összeállításában a T elhajlító tárgy egy hosszú és keskeny, a rajz síkjára merőleges rés, amelyet az F megvilágított rés mint fényforrás egy gyűjtőlencse segítségével egyenletesen megvilágít párhuzamos és a rés síkjára merőleges sugarakkal. A második gyűjtőlencse arra szolgált, hogy éles elhajlási képet hozzon létre az ernyőn. Az, hogy egy adott irányban világos vagy sötét csík jelenik-e meg az ernyőn, a kísérlet alapján a Huygens-Fresnel elv alkalmazásával könnyen eldönthető.

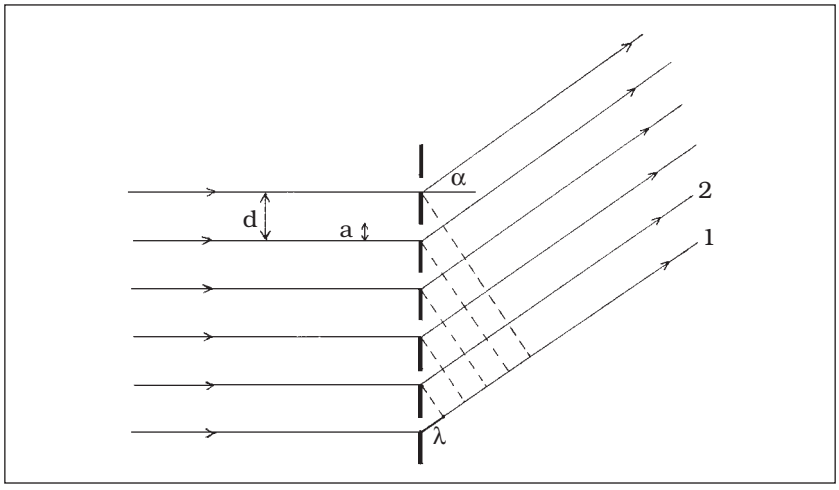
Fraunhofer igazi eredménye az volt, hogy megvizsgálta az elhajlást több rés együttes alkalmazásával is. Egyetlen rés helyett egy olyan üveglapot használt, amelyre igen vékony, párhuzamos vonalakat karcolt sűrűn egymás mellé (mm-enként 300 darabot). A karcolások helyén az üveg átlátszatlanná vált, a közöttük megmaradt átlátszó sávok töltötték be a rések szerepét. Ezt az eszközt nevezik **optikai rács**nak. Az ernyőn hasonló elhajlási kép jelent meg, mint egy résnél, de a világos csíkok sokkal élesebbek és fényesebbek voltak, és nagyobb távolságra helyezkedtek el egymástól.



98. ábra. ***A kioltási és erősítési helyek meghatározása***

OPTIKAI RÁCS

Az a szélességű rés minden pontjából azonos fázisú elemi hullámok indulnak ki minden irányban. Egy tetszőleges α irányú párhuzamos nyaláb két szélső sugara (1 és 2) között BC az útkülönbség. Az interferencia eredményének szempontjából a $\lambda/2$ távolság a döntő, ezért a nyalábot olyan zónákra kell felosztani, amelyek között ekkora az útkülönbség. Az ábrán szereplő a irány olyan, hogy két „teljes" és egy „maradék" zónára osztható a nyaláb. A két teljes zóna találkozáskor kioltja egymást (bennük minden sugárnak megvan a másikban a $\lambda/2$ útkülönbségű párja), és itt a maradék zóna hatása érvényesül: az ernyőn világos csík jelenik meg. Az α szög növelésével előbb-utóbb olyan helyzet áll elő, hogy a nyaláb éppen két teljes zónára osztható. Mivel itt nem lesz maradék zóna, ezért ebben az irányban az ernyőn sötét csík észlelhető. A középső világos csíktól távolodva azért lesznek egyre halványabbak a csíkok, mert a maradék zóna egyre keskenyebbé válik, és így fényszegényebb lesz. Az elhajlási képben a csíkok helyét jellemző a szöget a rés mérete és a fény hullámhossza egyértelműen meghatározza. Így ez a jelenség is alkalmas hullámhosszmérésre. A gyakorlatban a szöget nem mérik, annak kicsinysége miatt, hanem kiszámítják az ernyőnek a réstől mért és a csíkoknak a középső csíktól mért távolságából.



99. ábra. ***Elhajlás optikai rácson***

Az α irányban akkor lesz erősítés (azaz világos csík), ha a rések alsó éléről induló 1 és 2 fénysugár között a $\Delta s = d\sin\alpha$ útkülönbség éppen a fény hullámhosszával egyenlő. (A d távolságot – egy rés és egy karcolat együttes hosszát – nevezik rácsállandónak.) De ekkor minden rés alsó éléről induló fénysugárra is igaz, hogy az 1-hez képesti útkülönbsége a hullámhossz egész számú többszöröse, sőt, minden rés megfelelő pontjából – pl. a felezőpontokból – induló hasonló irányú fénysugárra is teljesül ez a feltétel. Ezért a világos csíkokat több résből érkező fénysugarak hozzák létre, ezért fényesebbek, mint egy rés esetén. Most nem a kioltás irányára kapunk pontos értéket, mint egy résnél, hanem a maximális erősítési helyekre: ezért vékonyabbak a világos csíkok. A maximális erősítés irányai a következők:

$$d\sin\alpha_k = k\lambda$$

A k egész szám azt mutatja, hogy középtől számítva hányadik erősítési helyről – világos csíkról – van szó.

RÁCSÁLLANDÓ

Rácson történő elhajlásnál is más-más hullámhosszú fény esetén máshol lesznek az erősítési helyek. A **rácsállandó** csökkentésével (egy rés és egy karcolat távolsága) ezt az eltérést növelni lehet, így az optikai ráccsal még nagyon kis hullámhossz-különbségek is kimutathatók. Egy fényforrás fényét fel lehet bontani vele a különböző hullámhosszú összetevőkre, azaz színképet lehet előállítani és elemezni lehet a fényforrás által kibocsátott fény összetételét. Ha a fényforrás fényét valamilyen gázon vagy átlátszó folyadékon átengedve vizsgáljuk a színképet, megállapítható, hogy a fényfor-

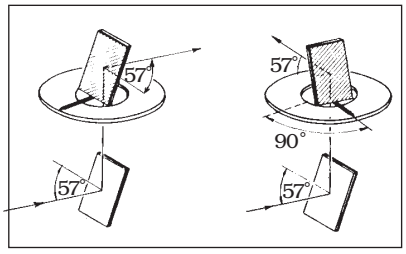
VONALAS SZÍNKÉP

→ a vonalas színkép értelmezése XXI.

FÉNYUDVAR

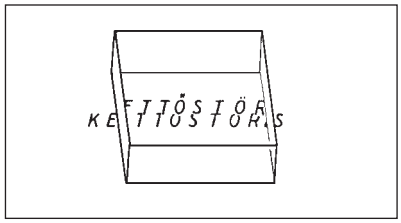
rás fényéből mely összetevők tűntek el, vagyis milyen hullámhosszú fényt nyelt el a vizsgált anyag: ezeknek a vonalaknak a helyén sötét csíkok lesznek. Ebből következtetni lehet az illető anyag összetételére. Erre az optikai rács sokkal alkalmasabb, mint a prizma. A magyar Jedlik Ányos már 1848-ban olyan osztógépet szerkesztett, amellyel az üveglapra 1200 karcolást lehetett ejteni mm-enként, de hamarosan ezt is túlszárnyalták.

Elhajlás nemcsak szabályos réseken és akadályokon jöhet létre, hanem rendezetlenül elhelyezkedő, kisméretű részecskéken is. Ezért láthatunk fátyolfelhős ég (vagy szennyezett légkör) esetén fényudvart a Hold, vagy ködös időben utcai lámpák körül.



100. ábra. ***Malus kísérlete***
Ha a második üveglap az elsővel párhuzamos, akkor szabályos visszaverődés történik. Ha azonban a második üveglapot az elsőről visszavert fénysugár mint tengely körül elforgatjuk, akkor a róla visszavert fénynyaláb fokozatosan elhalványul, majd az üveglapok merőleges állásánál teljesen eltűnik! Malus nevezte el a jelenséget polarizációnak, azaz sarkításnak. Brewster 1815-ben tapasztalati úton megállapította, hogy a jelenséghez szükséges szög a közegtől függ: a feltétel az, hogy a visszavert és a megtört fénysugár éppen merőleges legyen egymásra. Üveg esetében ez valóban 57 °-os szög esetében következik be.

← a forgatóképesség kémiai magyarázata XII.6.1



101. ábra. ***Kettős törés***
A mészpát kristályba belépő sugár kettéválik: az egyik nem változtatja meg az irányát, a másik a merőleges beesés ellenére igen. A jelenség magyarázatával Newton és Huygens is próbálkozott.

3.3.3 A fény polarizációja

Young cikkének hatására sokan kezdtek foglalkozni a különböző optikai jelenségek vizsgálatával. 1808-ban Malus észrevette, hogy egy üveglapról 57°-os szögben visszavert fénysugár egy második üveglapról visszaverődve különösen viselkedik: ha a második üveglap az elsőre merőleges, akkor „eltűnik" a róla visszavert fénysugár.

Young és Fresnel a jelenséget azzal magyarázta, hogy a fényhullámban zajló, a terjedési irányra merőleges többirányú rezgések közül csak bizonyos irányú marad meg az üveglapról történő visszaverődés után. Az első üveglap kiválaszt egy bizonyos rezgésirányt – azaz polarizálja a fényt – és a visszavert fényben már csak ez található meg. Ha ez a rezgésirány „megfelel" a második üveglapnak (vagyis az is ugyanezt az irányt választaná ki), akkor a fénysugár innen is visszaverődik. Ha nem, akkor nincs visszaverődés. Young és Fresnel eme jelenségben a fényhullám transzverzális jellegének bizonyítékát látták.

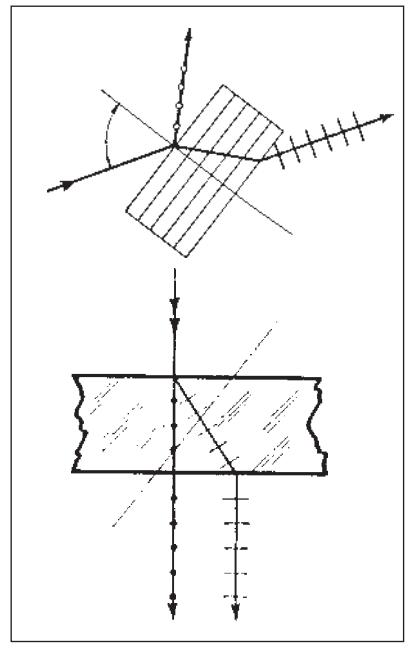
Ugyanezzel magyarázták az 1669 óta ismert kettős törés jelenségét is. Ha egy mészpát kristályon át nézünk egy tárgyat, akkor annak képét megkettőzve látjuk: az egyiket az eredeti irányban, a másikat a fénytörés Snellius–Descartes törvénye által meghatározott helyen.

Polarizátor lehet egy átlátszó közeg, de csak bizonyos beesési szög mellett érvényesül a hatás. A vastag üveglapon áthaladó megtört nyaláb is polarizálódik ugyan, de jelentősen csökken az erőssége. A mészpát kristályból bonyolult kettős prizmákat kell csiszolni, hogy a kétféle sugarat jól ketté lehessen választani és az egyiknek ne változzon meg az iránya. Az egyszerűbb és kényelmesebb polarizátorok készítését a század közepén annak felismerése tette lehetővé, hogy a kettős törés képességével más kristályos anyagok is rendelkeznek. Ezek közül néhány az egyik sugarat már viszonylag kis vastagság esetén is elnyeli, így egyetlen, irányváltozást nem szenvedett, polarizált sugár marad meg. Az ezekből készített egyszerű vékony lemezeket lehet polarizátorként (polárszűrőként) használni. Később kiderült, hogy a mesterségesen előállított nagy láncmolekulájú anyagok, ha molekuláikat melegen történő nyújtással rendezetté teszik, szintén kettős törőkké válnak (természetesen csak ha átlátszóak, pl. a poli-vinilalkohol). Megfelelő anyaggal történő festéssel elérhető, hogy az egyik sugarat el is nyeljék. A belőlük készült vékony réteget üveglapok közé szorítják, és így használják polárszűrőként. Minden polarizátorra jellemző, hogy a rajta áthaladó fényből melyik rezgési síkot választja ki. Ha két egymás után helyezett polarizátor rezgési síkja párhuzamos, akkor párhuzamos állású, ha egymásra merőleges, akkor keresztezett állású polarizátorokról beszélünk. Két, keresztezett állású polárszűrő után mindig sötétséget észlelünk, hiszen az elsőn való áthaladás után a fényben nem marad olyan rezgésirány, amit a második át tudna engedni.

A polarizált fénnyel Malus felfedezése után számos kísérletet végeztek a fizikusok. Vizsgálták a különböző anyagokon való áthaladását is. Arago fe-

dezte fel 1811-ben, hogy ha két keresztezett állású polarizátor közé kvarclemezt helyez, akkor a második után elhelyezett ernyő újra kivilágosodik. Ha a fényforrás egyszínű fényt bocsát ki, akkor a második polarizátort megfelelő szöggel elforgatva, az ernyő újra sötét lesz. Például ez a szög 1 mm vastag kvarclemez esetén vörös fénynél 15°, ibolyánál 51°. A jelenséget azzal lehet magyarázni, hogy a kvarc elforgatja – vastagságától és a fény színétől függő mértékben – a rajta áthaladó fény rezgéseinek irányát, ezért az már nem merőleges a második polarizátoréra: van azzal párhuzamos összetevője. Az elforgatás nagysága éppen akkora, mint amekkora szöggel el kell forgatni a második polarizátort ahhoz, hogy az megint ne engedje át a fényt. Ha fehér fényt ad a fényforrás, akkor az ernyőn színes megvilágítás jelentkezik.

Hasonló optikai forgatóképességgel nemcsak kristályos anyagok, egyes oldatok is rendelkeznek, például a cukoroldatok. Ezek forgatóképessége a töménységüktől függ. A legtöbb ilyen anyagnak a jobbra és balra forgató változata egyaránt létezik. A jelenség mélyebb oka kristályos anyagoknál a kristályszerkezetben, oldatoknál pedig a molekulák felépítésében rejlik.



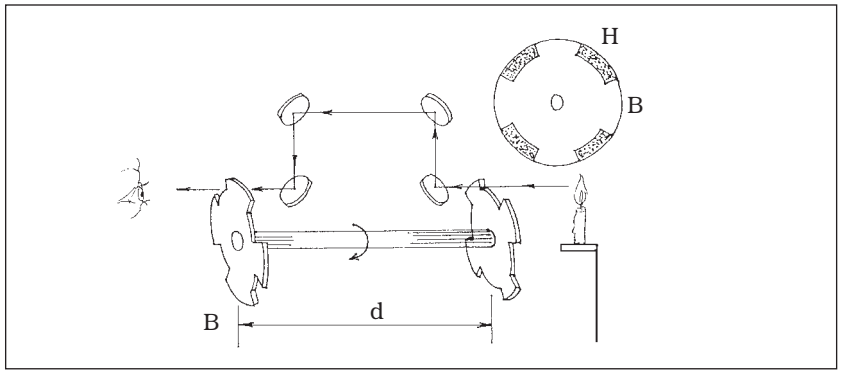
102. ábra. ***A polarizáció szemléltetése***
a) mészpát kristályban bekövetkező kettős törésnél
b) üveglapról történő visszaverődésnél, ill. vastag üveglapon való áthaladásnál

3.3.4 A fény terjedése különböző közegekben

Még a XIX. század első harmadában sem sikerült a fény sebességét földi körülmények között megmérni. Erre azért lett volna szükség, hogy el lehessen dönteni – kísérleti úton is – azt a kérdést, hogyan változik meg a fény sebessége különböző közegekben.

A problémát 1849-ben Fizeau francia fizikusnak sikerült megoldania egy igen szellemes kísérleti berendezéssel, amelynek elve ugyan egyszerű, ám gyakorlati megvalósítása annál bonyolultabb.

← a vitatott elméletek: XIV.3.2.1 (Newton) és 3.2.2 (Huygens)



103. ábra. ***Fizeau mérésének vázlata***
(A mérés menetének elvét hűen tükröző, de a valóságostól kissé eltérő rajz.)

Egy tengely végeire rögzített két fogaskerék úgy van beállítva, hogy az egyik fogai éppen a másik hézagait fedjék. Ha a tengely nem forog, akkor a megfigyelő nem látja a fényforrást. Ha a fogaskerekek elég gyorsan forognak, akkor elérhető, hogy mire a fogközön átjutó fénysugár a második kerékhez ér, addigra már annak is fogköze legyen a fénysugár útjában, így az akadálytalanul haladhat tovább, és a megfigyelő látni fogja a fényforrást. Hogy a fény ne érjen túl hamar egyik keréktől a másikig, alkalmasan elhelyezett tükrökkel meg kell hosszabbítani az útját. Fizeau 720 fogú fogaskereket használt, amit kb. 12 1/s fordulatszámmal forgatott. A legnagyobb problémát és egyben hibaforrást éppen a fordulatszám állandóságának biztosítása és pontos mérése okozta. Így kiszámítható, mennyi idő alatt kerül egy fog helyébe hézag. Ennyi idő alatt teszi meg a fény a szintén mérhető távolságot. Ez Fizeau kísérletében több, mint 8 km volt!

Fizeau berendezése segítségével a fény sebességére $3{,}14 \cdot 10^8$ m/s-os eredményt kapott.

Foucault 1862-ben gyorsan forgó síktükör segítségével mérte meg a fénysebességet. Egy rés képét állította elő ernyőn – megfelelő kísérleti berendezés segítségével

← a fénysebesség mérése csillagászati módszerrel XIV.3.1

– a tükör álló helyzetében. Ha a tükröt forgásba hozta, a rés képe elmozdult. Az elmozdulás nagyságából számította ki a fény sebességét. A tükröt egy légturbina forgatta 800 1/s fordulatszámmal, és ezt hangvilla segítségével mérték meg. A fény sebességére $2{,}98 \cdot 10^8$ m/s adódott.

A módszer egyik nagy előnye az volt, hogy a magas fordulatszám miatt mindössze néhány méteres fényútra volt szükség, ezért laboratóriumi körülmények között is el lehetett végezni a mérést. Másik, még nagyobb előnye pedig az, hogy alkalmas volt arra is, hogy folyadékokban is megmérjék a fény sebességét. Foucault sárga fénnyel végezte el a mérést vízben és szénkéregben, és mérései a hullámelmélet jóslatát támasztották alá: vízben a fény sebessége pl. 1,33-szor volt kisebb, mint levegőben, ez pedig éppen a víz törésmutatója. Ezzel – úgy látszott – a hullámelmélet javára dőlt el a vita.

A HULLÁMELMÉLET GYŐZELME?

REJTÉLYES TAPASZTALAT

Fizeau 1851-ben áramló vízben is megmérte a fény sebességét. A sebesség-összeadás Galilei-féle szabálya alapján azt várták, hogy ennek értéke $\frac{c}{n_{víz}} \pm v_{víz}$ lesz, aszerint, hogy a fény egy irányba vagy szembe halad-e a vízzel. Teljesen érthetetlen módon azonban a mérési eredményeket a $\frac{c}{n_{víz}} \pm v_{víz}\left(1 - \frac{1}{n_{víz}^2}\right)$ összefüggés adta meg helyesen. A rejtély megoldása egészen a XX. század első évtizedéig váratott magára.

→ Einstein magyarázata XXVIII.

Summa

A XVIII. század elejére az alapvető fénytani jelenségeket leírták és törvényszerűségeiket megállapították. A fény természetét kétféle elmélet magyarázta: a Newton nevével fémjelzett részecske-elmélet, ill. a Huygens által kidolgozott hullámelmélet. Az utóbbi a fényt mechanikai tulajdonságokkal rendelkező közegben, az éterben terjedő hullámnak tekintette. A két hipotézis közötti döntést az tette volna lehetővé, ha megmérik a fény terjedési sebességét különböző közegekben. Ez azonban csak a XIX. század közepén történt meg. Az eredmények a hullámelméletet támasztották alá: a fénytani jelenségeket ugyanazok a törvények írják le, mint a mechanikai hullámokét. A polarizáció a fény transzverzális voltát bizonyította, ezért az étert rugalmas és szilárd közegnek kellett feltételezni.

Kérdések, problémák

1. A mindennapi életben igen ritkán tapasztalunk fényelhajlást vagy interferenciát. Miért?

2. Milyen eszközökkel lehet a fehér fényt színeire bontani?

3. Egy színes fénynyaláb (pl. zöld) kétféle lehet: egyszínű (monokromatikus), vagy olyan, amelyben minden szín megtalálható, kivéve a zöld kiegészítő színét, a vöröset. Hogyan lehet eldönteni, hogy milyen nyalábról van szó?

4. A nagy német író és költő, J. W. Goethe is foglalkozott színelmélettel. Szerinte téves az az elképzelés, hogy a színek a különböző színű fénysugarak létezését jelentik. Ezt azzal támasztotta alá, hogy a különböző színű sugaraknak más és más lenne a törésmutatója, ezért a színes tárgyak egyes részeit nem látnánk egyformán élesen. Helyes-e ez az érvelés?

Fogantyú átkapcsolása hallatszott. Motor indult meg, hangja dühösen bőgve felszaladt, de újabb kapcsolással lefékezték, egyenletességre kényszerítették. A padló ütemesen remegett. A hosszúkás, függőleges piros lámpácska csendes fenyegetéssel nézett át a falról. Valahol villám sistergett. És a sötétségből lassan, teljesen, mint megvilágosodó ablak, kibukkant az ernyő halvány négyszöge, Behrens tanácsos előtte lovagolt suszterszékén, combját szétterpesztve, öklét combjára támasztva, tömpe orrával egészen közel hajolva az üveglaphoz, amely belátást nyújtott az emberi szervezet belsejébe.

– Látja, fiatalember? – kérdezte… Hans Castorp a válla fölé hajolt, de még egyszer fölemelte tekintetét arrafelé, ahol a sötétben Joachim szemét sejtette (bizonyosan most is szelíden, szomorúan nézett, mint akkor a vizsgálatnál), és megkérdezte:

– Megengeded?

– Hogyne, tessék csak – felelte Joachim nagylelkűen a sötétségből. És a padló rázkódása, a működő erők sistergése, robaja közepette Hans Castorp görnyedve kémlelt be a sápadt ablakon, kémlelte Joachim Ziemssen puszta csontvázát.

Thomas Mann: A varázshegy
Szőllősy Klára fordítása

Fogantyú átkapcsolása hallatszott. Motor indult meg, hangja dühösen bőgve felszaladt, de újabb kapcsolással lefékezték, egyenletességre kényszerítették. A padló ütemesen remegett. A hosszúkás, függőleges piros lámpácska csendes fenyegetéssel nézett át a falról. Valahol villám sistergett. És a sötétségből lassan, teljesen, mint megvilágosodó ablak, kibukkant az ernyő halvány négyszöge, Behrens tanácsos előtte lovagolt suszterszékén, combját szétterpesztve, öklét combjára támasztva, tömpe orrával egészen közel hajolva az üveglaphoz, amely belátást nyújtott az emberi szervezet belsejébe.

– Látja, fiatalember?- kérdezte… Hans Castorp a válla fölé hajolt, de még egyszer fölemelte tekintetét arrafelé, ahol a sötétben Joachim szemét sejtette (bizonyosan most is szelíden, szomorúan nézett, mint akkor a vizsgálatnál), és megkérdezte:

– Megengeded?

– Hogyne, tessék csak – felelte Joachim nagylelkűen a sötétségből. És a padló rázkódása, a működő erők sistergése, robaja közepette Hans Castorp görnyedve kémlelt be a sápadt ablakon, kémlelte Joachim Ziemssen puszta csontvázát.

Thomas Mann: A varázshegy
Szőllősy Klára fordítása

1. Az áramok keltette mágneses mező

1.1. Erővonalak

Faraday 1821-ben kezdett el foglalkozni az elektromosság és a mágnesség vizsgálatával. Azzal kezdte kutatásait, hogy úgy ismételte meg a korábban közzétett kísérleteket, hogy erővonalakkal szemléletessé tette a vezető körül létrejövő erőhatást. Számára azonban az erővonalak többet jelentettek. A térnek a vezető körül kialakult állapotát és vele együtt az erővonalakat éppolyan valóságosnak tekintette, mint magát a vezetőt vagy a benne áramló elektromosságot.

A mágneses mezőbe helyezett papírlapra szórt vasreszelék darabkái mágneses dipólusokká válnak, és láncokba rendeződve beállnak a mágneses tér irányába, éppúgy, mint az iránytű a Föld mágneses terének hatására. Ezek a vonalak csak a mező szerkezetéről adnak látványos képet, de az „erősségéről" nem.

A XV. fejezet címlapképe.
Egry József: Mólón (1941)
(Badacsony, Egry József Múzeum)

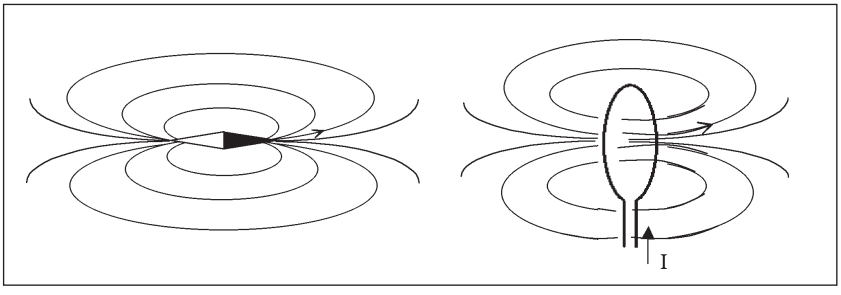
Egry József festményén a Balaton fényeit különös, kettős alak figyeli. A festő előtt az elmélyült szemlélődés és gondolkodás új világokat tár föl: a közvetlenül érzékelhető mögött egy láthatatlan, de éppolyan valóságos képet. Amit a művész látomásként, sejtésként jelenít meg, ahhoz a természettudomány műszeres vizsgálattal közelít, és eredményeit matematikai formába önti. Az elektrodinamika tárta föl, hogy a fény látható tartománya csak kicsiny szelete a teljes elektromágneses színképnek. A láthatatlan rezgések nemcsak körülvesznek, de mára alaposan át is alakították hétköznapjainkat.

1.2. A mágneses mező mennyiségi jellemzése

Az elektromos mezőben mérőeszközként használhatunk kis próbatöltést, mellyel be lehetett vezetni egy olyan mennyiséget, amely a mező erősségét adja meg és ezt kapcsolatba lehetett hozni az erővonalakkal is. A mágneses mező mérésére nem használható kis mágneses próbatöltés, mert mágneses monopólus nem létezik. Kénytelenek vagyunk tehát egy kis dipólust helyezni a mágneses mezőbe. Ennek két pólusára a mágneses tér egy-egy ellentétes irányú, azonos nagyságú erőt fejt ki, aminek hatására a dipólus nem elmozdul, hanem elfordul. Most tehát a tapasztalt kölcsönhatás nem erő, hanem forgatónyomaték lesz. Meg kell állapítani, hogy ennek nagysága mennyiben függ a mérendő mágneses mezőtől és mennyiben mérőeszközünktől.

← forgatónyomaték (Arkhimédész) IV.5.2

Ehhez azonban változtatni kell a kis dipólus jellemzőit, főként erősségét. Ez állandó mágnesek használatával nagyon körülményes, ezért kényelmesebb mérőeszközként áramátjárta vezetőt használni.



1. ábra. ***Egy kis mágnestű és egy áramátjárta vezetőhurok mágneses terének erővonalképe***

A két erővonalkép nagyon hasonló, ezért várható, hogy a vezetőkeret a mágneses mezőben ugyanúgy fog viselkedni, mint a középpontjába helyezett, síkjára merőleges tengelyű mágnestű. A mérőkeret jellemzői könnyen változtathatók, és egy kifeszített rugalmas szálra függesztve a rá ható forgatónyomaték is mérhető. Ez az eszköz a **magnetométer.**

MAGNETOMÉTER

A mérések szerint a mágneses mező egy adott pontjába helyezett keretre ható forgatónyomaték csak a benne folyó áram erősségétől és felületének nagyságától függ, és mindkettővel egyenesen arányos:

$$M \sim I_m A_m$$

A mérőkeretet ugyanazon a *helyen* különböző *helyzetekben* lehet elhelyezni, és ettől is függ a forgatónyomaték nagysága.

Megállapodás szerint a vizsgált mágneses tér jellemzésére – az adott helyen – a mérőkeretre ható *maximális* forgatónyomatékot használjuk. Ha a fenti két mennyiség egyenesen arányos, akkor hányadosuk állandó, és *csak* a mágneses mezőre jellemző az adott helyen. Ezt a mennyiséget használjuk a mágneses tér erősségének megadására. Neve **mágneses indukció**, jele **B**.

MÁGNESES INDUKCIÓ

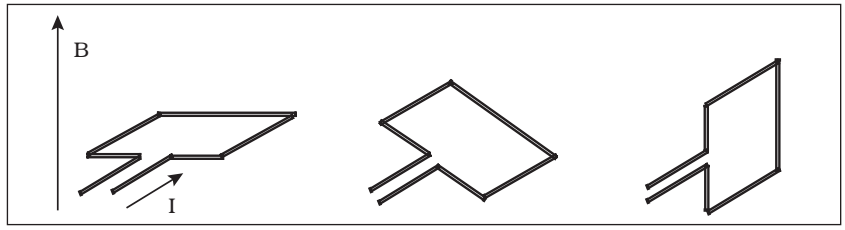
$$B = \frac{M_{max}}{I_m A_m}$$

Az indukció mértékegysége a tesla. $1\text{T} = 1\dfrac{\text{N}}{\text{Am}} = 1\dfrac{\text{Vs}}{\text{m}^2}$.

A mágneses indukció iránya a mérőkeret egyensúlyi, forgatónyomatékmentes helyzete alapján állapítható meg.



3. ábra. ***Wilhelm Eduard Weber (1804–1891), német fizikus***
Hallében volt egyetemi tanár. A fizikusok között egy akusztikai dolgozata révén lett ismert. Később a göttingeni egyetemen barátságot kötött Gauss-szal, a „matematika fejedelmével". Több éven át együtt tanulmányozták a mágnességet. Közös találmányuk az egyvezetékes távíró. Több, elektromos és mágneses hatáson alapuló műszert alkotott. Tudományos munkásságának egyik legjelentősebb része, hogy Gauss mágneses egységrendszerének mintájára megalkotta az első elektromos mértékrendszert.



2. ábra. ***A mérőkeretre ható forgatónyomaték különböző helyzetekben***
a) Forgatónyomaték-mentes helyzet
Az indukció iránya merőleges a keret síkjára, és irányítása a két lehetőség közül az, amelyikből visszanézve a keretben folyó áram iránya az óramutató járásával ellentétesnek látszik. Ha a mérőkeret helyébe egy kis iránytűt tennénk, annak északi pólusa mutatna ebbe az irányba. Ebben a helyzetben – az előző ábra erővonalképe alapján – a mérőkeret saját mágneses mezője egyirányú a vizsgált mágneses mezőével.
b) A mérőkeretre forgatónyomaték hat
Ha a mérőkeret szabadon elfordulhat egy vízszintes tengely körül, akkor az a) ábrán látható helyzetet foglalná el. A forgatónyomaték mérését – és így a mágneses indukció mérését – éppen az jelenti, hogy mekkora forgatónyomatékkal lehet megakadályozni az elfordulást..
c) Maximális forgatónyomatékú helyzet
Ilyenkor a mérőkeret síkja merőleges a mágneses indukció irányára. Ebben a helyzetben kell mérni a forgatónyomatékot B nagyságának megállapításához.

A mágneses indukciót a kis mágneses dipólusok által kirajzolt vonalakkal – amelyeket **indukcióvonalak**nak neveznek – ugyanúgy lehet kapcsolatba hozni, mint az elektromos mező esetében a térerősséget az erővonalakkal. Megállapodás szerint egységnyi felületen át merőlegesen annyi indukcióvonalat rajzolunk be, amennyi ott a mágneses indukció nagysága. Így kiszámítható tetszőleges felületen merőlegesen áthaladó indukcióvonalak száma:

$$\Phi = B \cdot A$$

MÁGNESES FLUXUS

A Φ mennyiség neve **mágneses fluxus**, mértékegysége 1 Vs, amit szokás webernek is nevezni. A fenti összefüggés ebben az alakjában természetesen csak akkor alkalmazható, ha a mágneses mező homogén, vagyis mindenhol ugyanolyan erősségű és irányú.

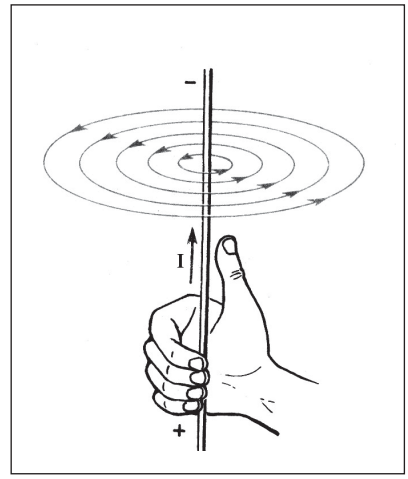
1.3. Különböző mágneses mezők

1.3.1. A mágneses mezők tulajdonságai

Faraday kísérleteiből kiderült, hogy az áramátjárta vezető körül kialakuló mágneses mező szerkezete, vagyis az indukcióvonalak alakja a vezető geometriai elrendezésétől függ.

Oersted hosszú, egyenes vezetőt használt az áram mágneses hatásának felfedezéséhez vezető kísérletében. Az észak-déli irányú vezetőre merőlegesen beálló iránytű azt jelezte, hogy a mágneses indukció mindenhol merőleges a vezetőre: az indukcióvonalak koncentrikus körök, amelyek középpontja a vezetőben van. Egy pontban a **B** mágneses indukcióvektor iránya az adott ponton átmenő indukcióvonal érintője. Az Ampère-féle „úszószabály" éppen ennek az irányát határozza meg. Ugyanezt fogalmazza meg a könnyebben alkalmazható „jobbkéz-szabály": *ha jobb kezünk kinyújtott hüvelykujját az áram irányába állítjuk, akkor begörbített ujjaink az áramot körülvevő indukcióvonalak irányába mutatnak.*

Magnetométerrel megmérhető, hogy a mágneses mező erőssége (a **B** nagysága) a vezetőben folyó áram erősségével egyenesen, a vezetőtől mért távolsággal pedig fordítottan arányos, ezért az indukcióvonalak a vezetőtől távolodva egyre nagyobb távolságban vannak egymástól.



4. ábra. ***Hosszú, egyenes vezető mágneses mezője és a jobbkéz-szabály alkalmazása***

Ha az egyenes vezetőből hurkot hajlítunk, az indukcióvonalak szinte „követik" a vezetőt. Éppen ilyen körvezetőt lehet használni a magnetométerben is. A körvezető középpontjában a mágneses indukció iránya éppen merőleges a körvezető síkjára. Iránya szintén a jobbkéz-szabállyal határozható meg, csak most begörbített ujjainkat a körvezetőben folyó áram irányába állítjuk; ekkor kinyújtott hüvelykujjunk **B** irányát mutatja.

JOBBKÉZ-SZABÁLY

Ha a vezetőből tekercset készítünk, akkor lényegében több olyan körvezetőt helyezünk egymás mellé, amelyekben egy irányban folyik az áram. Így a tekercs belsejében az indukcióvonalak közelítőleg párhuzamosak lesznek, azaz a mágneses mező homogénnek tekinthető. B iránya ebben az esetben is a jobbkéz-szabállyal állapítható meg. Magnetométerrel megmérhető, hogy a tekercs belsejében B nagysága a tekercs menetszámával és a benne folyó áram erősségével egyenesen, hosszával pedig fordítottan arányos.

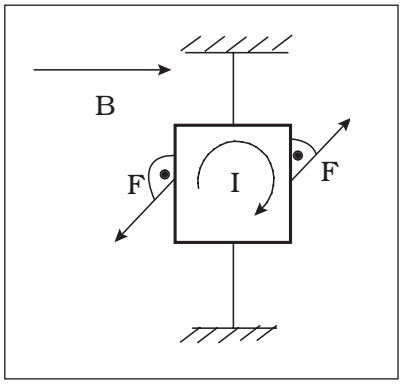
Tetszőleges alakú áramvezető mágneses terének indukcióját általában bonyolult meghatározni. Biot, Savart és Laplace francia fizikusok 1821-ben az addigi mérések alapján felismertek egy olyan törvényt, amely ezt matematikai úton teszi lehetővé. A törvény azt adja meg, hogy egy zárt áramkör kis Δl hosszúságú darabja tőle tetszőleges irányban és távolságban mekkora ΔB indukcióvektort hoz létre. Az adott pontban az indukció az összes ilyen kis szakasz keltette indukcióvektor vektori összege.

A tapasztalat és a számítások is azt mutatják, hogy az indukcióvonalak mindig **zárt, önmagukba visszatérő görbék**. Tehát a mágneses mezőnek **nincsenek forrásai**, vagyis nincsenek mágneses töltések, amelyekből indukcióvonalak indulnának ki vagy amelyekbe indukcióvonalak futnának be. Ugyanakkor az is megállapítható, hogy nincsenek olyan indukcióvonalak, amelyek ne áramot hurkolnának körbe, azaz minden indukcióvonalon belül folyik áram. Ezt a fizikusok később úgy fogalmazták meg, hogy az áramok keltette mágneses mező **örvényes**, és „B örvényeit az áramok keltik".

ÖRVÉNYES MÁGNESES MEZŐK

1.3.2. Vonzás és taszítás

Ha állandó mágneseket közelítünk egymáshoz, vonzást és taszítást, vagyis erőhatást érzünk. Ampère is az áramátjárta vezetők közötti erőhatást állapította meg. A magnetométer vezetőkeretére ható forgatónyomaték is a rá



5. ábra. ***Áramátjárta vezetőre ható erő mágneses mezőben***

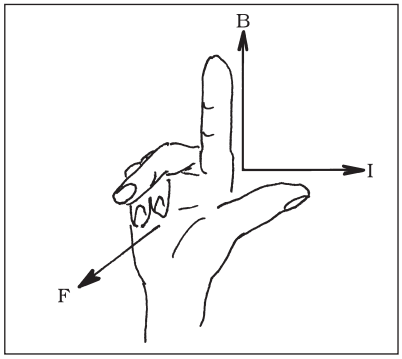
Legyen a vizsgált vezető a magnetométer mérőkerete, a mágneses tér pedig az egyszerűség kedvéért homogén (pl. egy áramátjárta tekercs belseje).

Ekkor a keret a függőleges tengely körül (az ábrán szereplő elrendezés esetében) balról jobbra fordul el, úgy, hogy saját mágneses mezője egyirányú legyen a külső mágneses mezővel.

A keret elfordulása a berajzolt erőpár hatására jöhet létre. Valójában a függőleges oldalak minden pontjára hat erő, a berajzolt erők ezeknek az eredői. Ha a vízszintes oldalakra hat is erő, ez a forgatóhatás szempontjából nem jön számításba, hiszen hatásvonala átmegy a forgástengelyen. Mekkorák ezek az erők? A mágneses indukció definíciója szerint

$$B = \frac{M_{max}}{IA}$$

Az erőpár forgatónyomatéka Fd, felülete ld (ahol l a keret függőleges, d a vízszintes oldalának hossza). Ezt beírva a fenti összefüggésbe és átrendezve, F-re a következő eredmény jön ki: $F = BIl$.

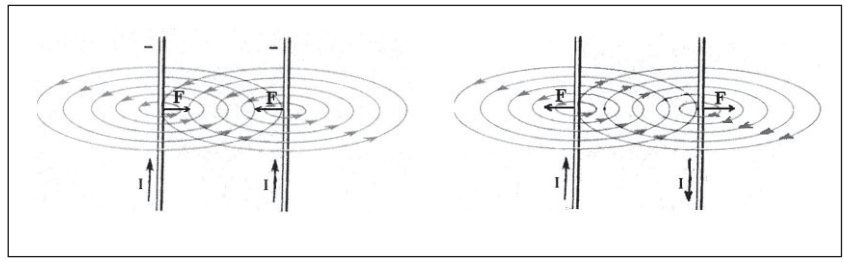


6. ábra. ***Az áramátjárta vezetőre ható erő irányának megállapítása***

ható erők következménye. Faraday nyomán úgy képzelhetjük, hogy az egyik mágnes vagy áramátjárta vezető az általa létesített mágneses tér közvetítésével hat a másikra. Ezért elég azt vizsgálni, hogy mi történik egy mágneses térbe helyezett áramátjárta vezetővel.

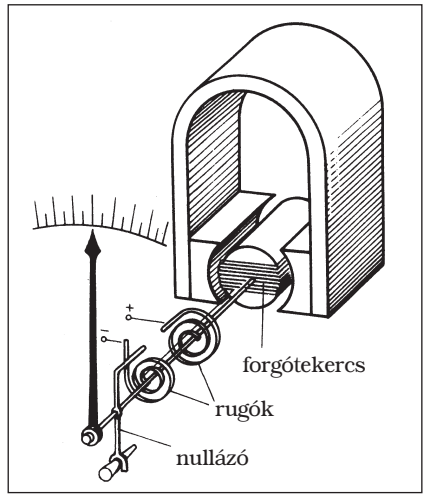
A számítások (és a mérések) szerint egy l hosszúságú, I erősségű árammal átjárt vezetőre B mágneses indukciójú mezőben $F = BIl$ erő hat, ha a vezető merőleges az indukcióra. Ez az erő mind az indukcióra, mind a vezetőre merőleges. A vezető hosszának csak az indukcióra merőleges vetülete számít.

Az erő irányát ismét egy jobbkéz-szabállyal lehet megállapítani.



7. ábra. ***Párhuzamos vezetők közötti erőhatás magyarázata***
a) egyirányú áramok esetén
b) ellentétes áramok esetén

Az egyik vezető helyén a másik vezető körüli mágneses mező indukciója a vezetőre éppen merőleges. A vonzó- vagy taszítóerő pedig mind a vezetőre, mind az erőt létrehozó mező indukciójára szintén merőleges. Ha a két vezetőt egymásra merőlegesen helyezzük el, akkor nincs erőhatás.



8. ábra. ***Árammérő műszer***

A mai árammérő műszerek legtöbbjében egy csavarrugóra erősített kis tekercs (ebbe vezetik a mérendő áramot) fordul el egy patkómágnes sarkai között. Ezek működése független a Föld mágneses terétől. Van olyan árammérő is, amelyben a kis tekercs egy másik tekercs belsejében fordulhat el. Mindkét tekercsbe a mérendő áramot vezetik.

Summa (1.)

1821-ben Oersted felfedezésével bebizonyította az elektromos és mágneses jelenségek kapcsolatát: az áramátjárta vezetők körül mágneses mező jön létre. Ennek a mezőnek az indukcióvonalai zárt görbék, amelyek a mezőt keltő áramokat hurkolják körbe. A mágneses mező erőssége a mágneses indukcióval jellemezhető. A mágneses mező szerkezete az áramátjárta vezető geometriai elrendezésétől függ, pl. egy tekercs belsejében homogén mágneses tér alakul ki. Az áram mágneses hatása lehetővé teszi az áramerősség mérését is.

2. Az elektromágneses indukció

2.1. Az elektromágneses indukció felfedezése

Faraday meg volt győződve arról, hogy a különböző jelenségek mögött ugyanaz a természeti erő működik, és így nem csak villamossággal lehet mágnességet létrehozni, hanem mágnességgel is lehet villamosságot előidézni. Csaknem tíz évi kísérletezés után, 1831-ben fedezte fel azt a jelenséget, amely Ampère figyelmét elkerülte.

← Ampère kísérletei XI.3.2.3

Tudomást szerzett Henry erős elektromágnesekkel végzett kísérleteiről. Szokása szerint ezeket is megismételte. Egy vasgyűrűre két, egymástól szigetelt huzalt tekercselt. Amikor az elsőben ki- vagy bekapcsolta az áramot, a másik huzal szabadon hagyott és egymás közelébe helyezett végei között szikra pattant át. Ha a szabadon hagyott végek közé egy galvanométert iktatott, akkor ez az összeállítás alkalmassá vált pontosabb mennyiségi összefüggések megállapítására is. Faraday azt a következtetést vonta le, hogy a hatást az áramkör mágneses állapotának *megváltozása* váltja ki, és hogy a másik áramkörben keletkező áram fordítottan arányos az áramkör ellenállásával. Más szóval: ugyanaz a mágneses hatásváltozás ugyanakkora *feszültséget* hoz létre.

Valójában Faraday célja az volt, hogy a mágneses erőt közvetlenül alakítsa át elektromos erővé, hogy egy állandó mágnes segítségével áramot generáljon. Néhány héttel az előzőekben leírt és általa voltaindukciónak nevezett (mai neve **nyugalmi indukció**) jelenség felfedezése után kísérletei eredménnyel jártak. Egy állandó mágnes pólusai között forgatott fémlemezben áram indukálódott. Most már valóban kijelenthette, hogy bebizonyította az Oersted által felfedezett jelenség fordítottját, azaz a mágneses erő elektromossá alakítását. További kísérletei pedig elvezették a dinamó felfedezéséhez, amellyel saját 1821-es felfedezésének megfordítottját hozta létre: a mechanikai erőt egy egyszerű gép elektromos erővé tudta alakítani.

NYUGALMI INDUKCIÓ

← Oersted fölfedezése XI.3.2.1
→ dinamó XV.2.4.1

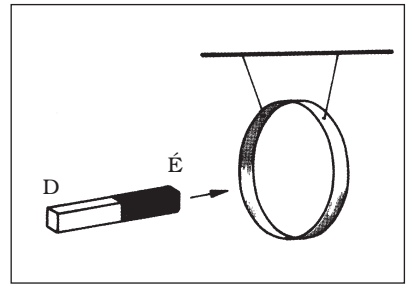
Faraday a felfedezett jelenség, az **elektromágneses indukció** törvényét így fogalmazta meg:

1. *Nyugvó, zárt vezetőben az indukált feszültség egyenesen arányos az erővonalak számának megváltozásával.*
2. *Mozgó vezető esetén egyenesen arányos az egységnyi idő alatt metszett erővonalak számával.*

Faraday a jelenség magyarázatát úgy képzelte el, hogy az egyik áramkör körül – ha abban áram folyik – kialakul az elektromágneses tér a maga indukcióvonalaival, a másik áramkör helyén is, függetlenül attól, hogy azt odahelyeztük-e vagy sem, és ennek a térnek a közvetítésével hat a másik áramkörre. Faraday magyarázata szerint a mágneses térnek van egy bizonyos elektrotonikus („készenléti") állapota, amelynek csak az időbeli változása hozza létre az észlelhető hatást, vagyis az indukált feszültséget. Egyik szemléletes hasonlata szerint ugyanúgy, ahogyan az elektromos áramlás létrehozza a mágneses hatást, a mágneses indukcióvonalak „áramlása" hozza létre az elektromos hatást. Faraday elképzelése teljesen eltért kortársaiétól, akik az elektromos és mágneses kölcsönhatásokat is – a newtoni gravitáció mintájára – távolhatásként, tehát mindenfajta közvetítő nélküliként képzelték el. Ampère például tudatosan így járt el, amikor az áramelemek egymásrahatásának matematikáját kidolgozta. Az indukált áram irányára vonatkozó tapasztalatokat 1834-ben Lenz foglalta össze egyetlen szabályba:

Az indukált áram mindig olyan irányú, hogy az őt létrehozó hatást „akadályozni igyekszik".

Lenz szabálya az energiamegmaradás törvényéből következik, annak speciális esete.



9. ábra. ***Lenz törvényének egyik megnyilvánulása***
Ha a felfüggesztett fémgyűrű felé közelítjük a rúdmágnest északi pólusával, akkor az indukált áram iránya a rúd felől nézve az óramutató járásával ellenkező irányú lesz, mert ekkor a „jobbkéz-szabály" értelmében a gyűrű mágneses tere a rúd felé mutat, tehát taszítani fogja. Ellenkező esetben ugyanis a tekercs a rudat vonzaná, és az indukció jelensége „önfenntartóvá" válna, vagyis a semmiből nyernénk energiát.

LENZ-TÖRVÉNY

← a „legkisebb kényszer elve" IX.3.3.6

← energiamegmaradás

2.2. Az indukció törvényei matematikai alakban

Bár Faraday soha egyetlen matematikai képletet sem használt, a *B* mágneses indukcióvektor segítségével a Faraday-féle megfogalmazás alapján felírhatjuk az elektromágneses indukció törvényeit matematikai alakban.

2.2.1. A nyugalmi indukció

Nyugvó, zárt vezető esetén az indukcióvonalszám attól függ, hogy a vezető mekkora felületet fog közre és milyen sűrűek az indukcióvonalak, vagyis milyen erős a mágneses mező. Az indukcióvonalak számának megváltozását az okozza, hogy a mágneses mező erősödésével (vagyis az őt létrehozó áram növekedésével) sűrűsödnek, vagy a mágneses mező gyengülésével (vagyis az őt létrehozó áram csökkenésével) ritkulnak az indukcióvonalak. A mező erősségét a mágneses indukcióvektorral adhatjuk meg. Így az indukcióvonalszámot kiszámíthatjuk a *B*-nek és a felület nagyságának (*A*) a szorzatából. A fluxus megváltozása tehát:

$$\Delta\Phi = A \cdot \Delta B$$

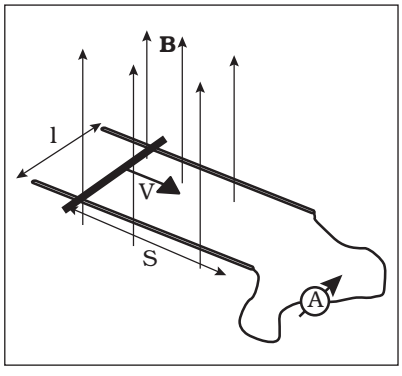
INDUKÁLT FESZÜLTSÉG

Az indukált feszültség nagysága azonban attól is függ, milyen *gyorsan* történik ez a változás. Minél kisebb idő alatt történik, annál nagyobb lesz a feszültség. Éppen ennek köszönhető, hogy a jelenséget a primér áramkör be-, ill. kikapcsolásakor észlelte először Faraday, hiszen ilyenkor nagyon gyorsan nő, ill. szűnik meg az áram és vele együtt a mágneses mező. Mindkét tényezőt figyelembe véve az indukált feszültség nagysága:

$$U_i \approx \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Az arányossági tényező a mértékrendszertől függ, a ma használatos SI-ben éppen 1. A Lenz-szabályt egy negatív előjellel vehetjük figyelembe. Így az összefüggés végső formájában a következő alakot ölti:

$$U_i \approx -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$



10. ábra. ***Fluxusváltozás a vezető mozgása közben***

Az ábrán látható elrendezésben pl. az *l* hosszúságú, *v* sebességű vezetődarab mozgásából adódóan a felület egyre csökken, időegységenként $\frac{\Delta A}{\Delta t}$-vel. A keletkező feszültség:

$$U_i = -\frac{B \cdot \Delta A}{\Delta t} = \frac{B \cdot s \cdot l}{\Delta t} = -B \cdot v \cdot l$$

2.2.2. A mozgási indukció

Ha a mozgó vezető egy zárt hurok része vagy az egész vezetőhurok mozog, az indukcióvonalszám változását az okozza, hogy megváltozik a közrefogott felület nagysága vagy elhelyezkedése az erővonalakhoz képest. Így változik a rajta merőlegesen átmenő erővonalak száma is, anélkül, hogy maga a mágneses mező változna.

Az indukált áram iránya olyan, hogy a mágneses mező a – most már áramátjárta – vezetőre olyan irányú erőt fejt ki, hogy az indukciót létrehozó hatást, vagyis a vezetődarab mozgását gátolja, azaz az elmozdulással ellentétes irányú erő lép fel. Ezt fejezi ki a negatív előjel.

A fluxusváltozás tehát nem más, mint a mozgó vezető által merőlegesen metszett indukcióvonalak száma. Ezért az indukcióvonalakkal párhuzamosan mozgó vezető végei között nem indukálódik feszültség, vagyis csak a sebességnek a mágneses indukcióra merőleges komponense számít.

2.3. Az önindukció

Az önindukció jelenségét Henry is felfedezte, de mivel nem publikálta eredményeit, Faradaynek tulajdonítjuk az elsőbbséget.

Ha egy tekercsben változó erősségű áram folyik, akkor a tekercs maga is benne van saját változó mágneses mezőjében, így benne is fellép az indukció jelensége, és ez igen érdekes hatásokat eredményez. Az áramkör zárásának pillanatában megindul az áram és kezd „felépülni" a tekercs mágneses tere, ez azonban igen gyors változást jelent, tehát meglehetősen nagy indukált feszültség keletkezik, amely – a Lenz-törvény értelmében – gátolni igyekszik a feszültségforrás által indított áram növekedését, tehát azzal ellentétes irányú lesz. Így az áramerősség csak késve tudja felvenni azt az értéket, amit a feszültségforrás erőssége és az áramkör ellenállása szab meg. Az áramkör megszakításakor viszont az áramerősség gyors csökkenése a tekercs mágneses mezőjének gyors gyengülését jelenti, tehát ekkor is fellép az önindukció jelensége, csak most az indukált feszültség olyan irányú lesz – ismét a Lenz-törvény miatt –, hogy az áram csökkenését gátolja, tehát az eredeti árammal egyirányú lesz. Így az áramerősség lassabban csökken nullára, vagyis ismét késik a feszültségforráshoz képest.

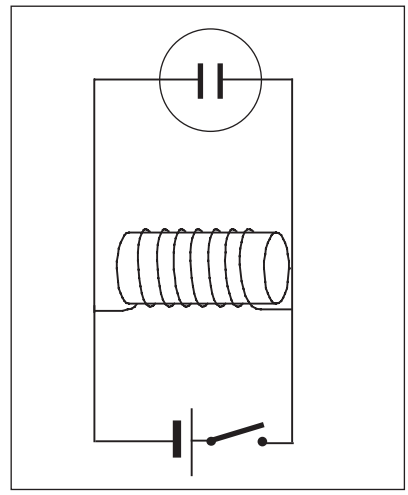
A tekercsben indukálódó feszültséget végső soron az áramerősség változása és a változás időtartama szabja meg, a többi tényező összefoglalható egyetlen, a tekercsre jellemző állandóban. Ezt az állandót **önindukciós együttható**nak nevezik (jele L). Nagysága attól függ, hogy mekkora a tekercs menetszáma, hossza, keresztmetszete, milyen az alakja és milyen anyag tölti ki a belsejét. Mértékegységét, némi kárpótlásul az elsőbbség elvitatásáért, az utókor Henryről nevezte el. Így a tekercsben indukálódó feszültség nagysága:

$$U_i = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

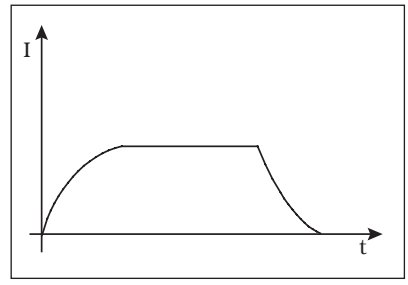
A jelenséget folyamatossá tehetjük, ha a tekercsbe folytonosan változó áramot vezetünk. Ekkor az áramerősség folytonos változása miatt a tekercs mágneses mezője is folytonosan változik, így állandóan lesz indukált feszültség is. Ennek nagysága és iránya is folyton változni fog aszerint, hogy a feszültségforrás feszültsége éppen nő vagy csökken és milyen gyorsan. Az áramkörben egy adott pillanatban folyó áram erőssége a két feszültség együttes hatásától függ és mindig késik a feszültségforráshoz képest, vagyis mindig késve veszi fel azt az értéket, amit akkor *csak* a feszültségforrás hatására fel kellene vennie. Ezt úgy is elképzelhetjük, mintha a tekercsnek lenne egy olyan ellenállása is, amit csak a váltakozó árammal szemben fejt ki, egyenárammal szemben nem. Ezt **induktív ellenállás**nak nevezik, megkülönböztetésül a csak egyenárammal szemben kifejtett „ohmos" ellenállástól.

Nem csak a tekercs, hanem a kondenzátor is másképpen viselkedik a váltakozó árammal szemben, mint az egyenárammal. Az egyenáramú áramkörben a kondenzátor megszakítást jelent, hiszen a lemezei között szigetelőanyag van. Miután feltöltődött a feszültségforrás feszültségére, az áram megszűnik, egyensúlyi helyzet áll be. A kondenzátor ellenállása tehát „végtelen" nagy. Váltakozó áramú áramkörben azonban – bár akadályozza a töltések mozgását, hiszen a feltöltődő kondenzátor gátolja az újabb töltések érkezését – nem jelent megszakítást, mert a töltésáramlás iránya periodikusan váltakozik. Ez az akadályozó hatás a kondenzátor váltakozó árammal szemben tanúsított ellenállása: a **kapacitív ellenállás**. A kondenzátor továbbá „sietteti" az áramerősséget a feszültségforrás feszültségéhez képest, hiszen feszültsége segíti a töltések „visszafordulását". Tehát a kondenzátor fázissietést okoz.

Mindez azt jelenti, hogy a váltakozó áramú áramkörök eredő ellenállását – az **impedanciát** – a fázisviszonyok figyelembevételével lehet csak kiszámítani.



11. ábra. ***Glimm-lámpás kísérlet***
A kapcsoló zárásakor, ill. nyitásakor a lámpa felvillan, annak ellenére, hogy a telep feszültsége kisebb, mint a lámpa működéséhez szükséges feszültség.



12. ábra. ***Az áramerősség a Glimm-lámpás kísérletben***

INDUKTÍV ELLENÁLLÁS

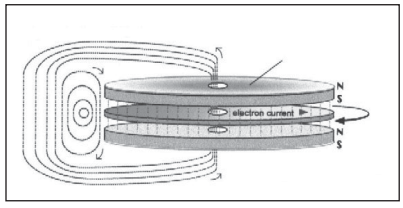
KAPACITÍV ELLENÁLLÁS

IMPEDANCIA

2.4. Az elektromágneses jelenségek gyakorlati alkalmazásai

2.4.1. A generátor és a dinamó

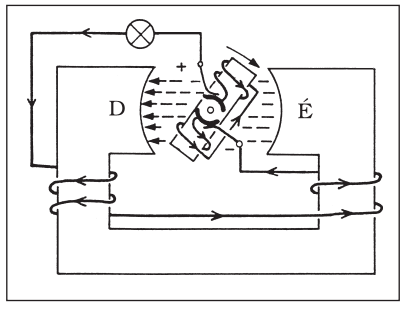
Faraday 1831-ben, indukciós kísérletei közben találta fel a generátort is: olyan eszközt alakított ki, amely segítségével a szoba egyik sarkában mozgatott mágnes mozgásba hozta a másik sarokban levő mágnest. Generátort alkotott – kezdetleges formában. Ezeket az eszközöket gyerekek számára tartott legendás hírű előadásain használta, amikor egyszerű szavakkal magyarázta a legújabb tudományos témákat. Anglia akkori miniszterelnöke, Gladstone is részt vett azon az előadáson, ahol Faraday bemutatta egyszerű generátorát, s az előadás után megkérdezte őt: „Mindez igen szórakoztató, de vajon hasznos is?" Faraday válasza: „Uram, lesz idő, amikor adót vethet ki ezekre." És valóban, Faraday megalapozta napjaink kiterjedt villamosenergia-iparát, bár nem volt célja az általa feltalált eszközök tökéletesítése, más problémák jobban izgatták. *„Inkább arra törekedtem, hogy olyan új jelenségeket és összefüggéseket derítsek fel, amelyek kapcsolatban állnak az elektromágneses indukcióval, és nem igyekeztem tökéletesíteni a már ismert áramforrásokat, biztos lévén benne, hogy azt a lehetőséget később teljes mértékben hasznosítani fogják."*



13. ábra. ***Faraday generátorának vázlatos rajza***
Miközben a forgó rézkorong „szeletei" elmetszik a mágneses erővonalakat, a korong szélétől áram folyik a tengely felé. A tengelyhez és a korong széléhez csatlakoztatott csúszóérintkezők segítségével az áram elvezethető, és az eszköz áramforrásként működik.

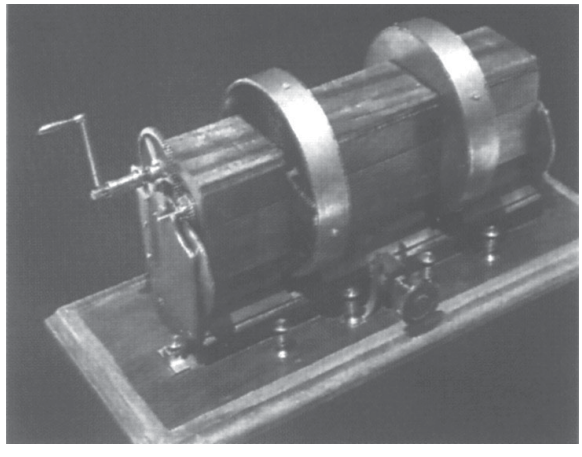
A **generátorok áramforrások**, **mechanikai energiát alakítanak át elektromos energiává**. A Faraday által alkalmazott fémkorong helyett később egy vezetőkeretet forgattak a mágneses mezőben. Az ebben indukálódó áram azonban a keret minden félfordulata után irányt váltott, ezért gondoskodni kellett egyirányúvá tételéről is.

A hatás fokozása érdekében egyetlen vezetőkeret helyett tekercset alkalmaztak, és állandó mágnesek helyett a mágneses mező létrehozására elektromágnest használtak. Ezt eleinte külső áramforrásról táplálták, így hozták létre a mágneses mezőt. Az öngerjesztés elve vagy másnéven dinamóelv felismerése után (Jedlik Ányos, 1861; Siemens, 1867) a külső áramforrás feleslegessé vált. *Az öngerjesztés elve*: az elektromágnes vasmagjában a földmágnesség és az előző gerjesztések miatt mindig marad annyi mágnesség, hogy a forgórész tekercsében gyenge feszültség, ill. áram indukálódjon. Ezt alkalmas irányban átvezetve az elektromágnes tekercsén is, annak mágneses mezője felerősödik, így nagyobb áram indukálódik s így tovább, amíg a hatás növekedésének lassulása miatt további növekedés már nem következik be. Az öngerjesztéssel működő, egyirányú áramot szolgáltató generátort nevezik dinamónak.



14. ábra. ***Az öngerjesztés elve – a dinamó***
„Mi történnék, ha netán jelentékeny villanyfolyam, mielőtt más célra használtatnék, a delejek körül elhelyezett tekercseken végigvezettetnék? Ha ez a delejek eredőjét öregbítené, akkor a villanyfolyam is erősíttetnék, miáltal a delejek erősebbeké tétetnének, ezek pedig ismét erősebb villanyfolyamot adhatnának, és így tovább."
Jedlik Ányos (1856)

Az egyenirányítást a forgó tekerccsel együtt forgó két félhenger és az ezeken csúszó szénkefék biztosítják.



15. ábra. ***Jedlik dinamója***
Jedlik Ányos a fenti elv alapján készítette dinamóját, „egysarki villamindítóját", melyben a dinamóelvet érvényesítve egyenáramot lehetett kapni. Dinamója gyenge áramot adott, ezért javítani akart rajta. Bár Siemens hasonló találmányát csak 1867-ben ismertette, mégis az ő dinamóját tekintik az elsőnek.



16. ábra. ***Jedlik Ányos (1800–1895)***
Matematika- és fizikatanári oklevelét a budapesti tudományegyetemen szerezte meg. 22 évesen doktorrá avatták. Fizikai folyóiratokat tanulmányozott, laboratóriumi kísérleteket végzett, sok készüléket maga állított össze. 1818-ban a pannonhalmi bencés kolostorba került papként, ahol egyetlen szenvedélyének, a fizikának hódolhatott. Legjobban az elektromosság foglalkoztatta: vízbontás, vezetőképesség, az elektromos áram hatásai stb. 1831-ben a pozsonyi akadémia fizika tanszékére nevezték ki. 1837-ben a pesti egyetem természettudományi tanszékére került tanárnak. Pedagógusként tudományos nyelvújítói tevékenységet is folytatott (ő alkotta meg többek között a dugattyú, vetület, osztógép, hanglebegés, hátrány stb. szavakat); kezdettől fogva magyarul adott elő. Összefoglaló fizika tankönyvet is írt. Elektromotorját („villamdelejes forgonyát") az intézmény jól felszerelt laboratóriumában készítette el. Finom optikai rácsot szerkesztett. Ő honosította meg a szódavízgyártást is Magyarországon. Feltalálta a dinamógépet, felfedezte a dinamó-elvet. (A dinamó feltalálójaként ismert Siemens hét évvel később ismertette találmányát a berlini tudományos akadémia előtt. Jedlik elsőbbségét a budapesti Pázmány Péter Tudományegyetem leltárában a 127. oldalon történt bejegyzés igazolja.) 1848-ban dékán lett, majd rektor. A szabadságharc alatt beállt nemzetőrnek, az egyetem értékes műszereit a pincébe menekítette. Életének utolsó éveit a győri rendházban töltötte.

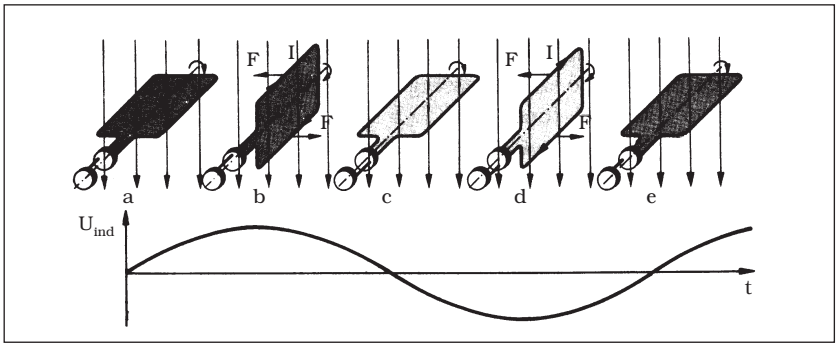
A generátor által létrehozott áram félfordulatonként irányt vált. Legegyszerűbb esetben az állandó (homogén) mágneses térben egyenletesen, az indukcióvonalakra merőleges tengely körül forgó zárt vezetőkeretben váltakozó feszültség indukálódik. Ez a feszültség a mozgási indukció következménye. Ha állandó mágneses térben egyenletesen forgatjuk a vezetőkeretet, akkor benne az indukált feszültség pillanatnyi értéke az elfordulási szög szinuszával egyenesen arányos, hiszen az indukcióvonalakat metsző oldalak sebességének B-re merőleges komponensét ez határozza meg.

$$U_{pill}=U_{max}\sin\omega t$$

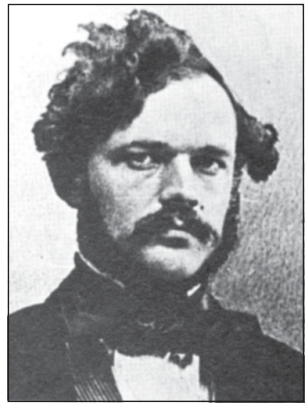
Ebből következően az áramerősség is szinuszos lefolyású:

$$I_{pill}=I_{max}\sin\omega t$$

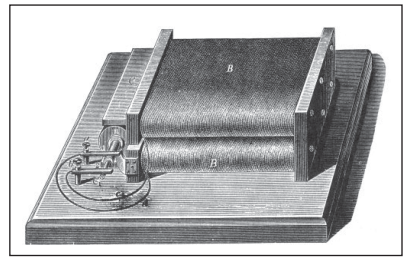
ahol ω a forgás szögsebessége.



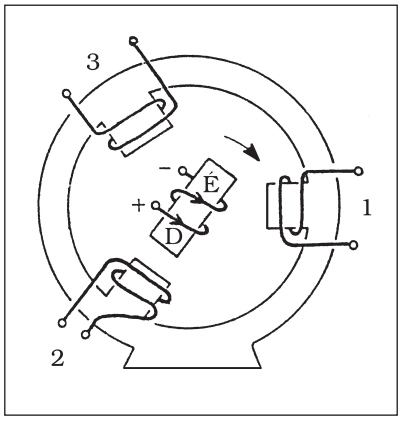
19. ábra. ***U(t)***
A grafikon fölött a forgó vezetőkeret síkjának helyzete látható a megfelelő időpillanatokban.



17. ábra. ***Werner von Siemens (1816–1892)***
Műszaki képesítését a berlini katonai tüzériskolában szerezte, egyetemi tanulmányokra anyagi helyzete miatt nem is gondolhatott. Több eszközt talált fel, ill. módosított. 1846-ban kifejlesztett egy óraműves önmegszakítóval felszerelt távíró-készüléket. 1867-ben felismerte a dinamó-elvet és annak gyakorlati jelentőségét is. Feltalálta a csőpostát, a tenger alatti kábelek szigetelését tökéletesítette.



18. ábra. ***Siemens dinamója***



20. ábra. ***Háromfázisú generátor***

Eleinte nem ismerték fel a váltakozó feszültség, ill. váltakozó áram előnyeit, ezért egyenirányították a generátor által szolgáltatott áramot. (Az így kapott áram nagysága nem volt állandó, csak az iránya nem változott.) A nagyobb teljesítményű generátorokban a mágneses mezőt létrehozó elektromágnes tekercseit forgatják, és az indukált feszültséget létrehozó tekercs áll. Erre a célra több tekercset is lehet alkalmazni. Ha ezekben azonos fázisban indukálódik a feszültség, akkor egyfázisú generátorról van szó. A tekercseket úgy kapcsolják össze, hogy a bennük indukált feszültségek összeadódnak, és ez jut a fogyasztóhoz.

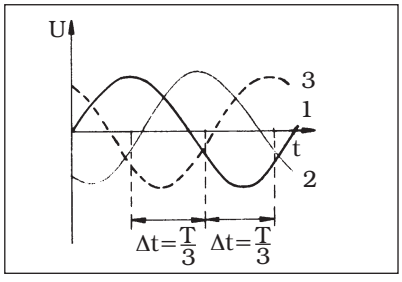
A tekercsek elhelyezhetők úgy is, hogy bennük nem azonos fázisban indukálódik a feszültség, vagyis pl. nem egyszerre maximális értékű. A háromfázisú generátorban úgy helyeznek el három tekercset, hogy a mágneses mezőt létrehozó tekercs forgatásakor mindegyiknek a két vége között egyenlő csúcsértékű, de egymástól páronként 120°-kal (azaz harmadperiódussal) különböző fázisú váltakozó feszültség indukálódik.

A váltakozó áram irányváltozásait az eddig megismert műszerek általában nem tudják követni. A váltakozó áram mérésére alkalmas eszközök az áramerősség (vagy a feszültség) egy bizonyos átlagértékét mutatják, amely attól függ, hogy az áram mely hatásán alapuló műszerrel mérik. A hőhatáson alapuló átlagos értéket **effektív érték**nek nevezzük. A váltakozó feszültség (áramerősség) effektív értékén egy olyan egyenáramnak a feszültségét (áramerősségét) értjük, amely ugyanazon ellenállású vezetőben egyenlő idő alatt ugyanakkora hőt termel. Az effektív és a csúcsértékek közötti kapcsolat a szinuszosan váltakozó áramok esetében (mérések, ill. számítások alapján):

$$I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$$

$$U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$$

EFFEKTÍV ÉRTÉKEK



21. ábra. ***A háromfázisú generátor által adott feszültség***
A feszültség-idő grafikonról is leolvasható, hogy az indukált feszültségek előjeles összege minden pillanatban zérus. A három tekercs egymástól független, így tetszés szerint lehet összekapcsolni őket. Általában egyik végüket összekötik és földelik, így ez a pont lesz a nullpotenciál. A tekercsek másik végei között kétféle feszültség kapható.

A váltakozó áram munkájának és teljesítményének kiszámításakor az effektív feszültségekkel, illetve áramerősségekkel kell számolni.

Az egyenáram és a váltakozó áram közötti eltérések:

Hatások	**Egyenáram**	**Váltakozó áram**
hőhatás	van	van
mágneses hatás	van – az iránytű kitér, a lágyvasat vonzza	van – de az iránytű általában nem tér ki (a gyors változásokat tehetetlensége miatt nem tudja követni), a lágyvasat vonzza
kémiai hatás	van	elenyésző (egyik félperiódus alatt létrejövő változást a másik visszafordítja)
élettani hatás	van	a frekvenciától függően sokkal súlyosabb, ill. nagy frekvenciánál nincs

2.4.2 Az elektromotor

A elektromotorok az **elektromos energia felhasználásával mechanikai munkát végeznek**, s az árammal átjárt vezetőkre való erőhatás elvén működnek. Tiszták, csendesek, nagy és kis teljesítményre egyaránt képesek. Energiájukat külső áramforrásból vagy kisméretű elemből, telepből nyerik. A motor ősének Arago modelljét tekinthetjük, amelyben a forgó permanens (állandó) mágnes terébe tett rézkorong forgásba jött.

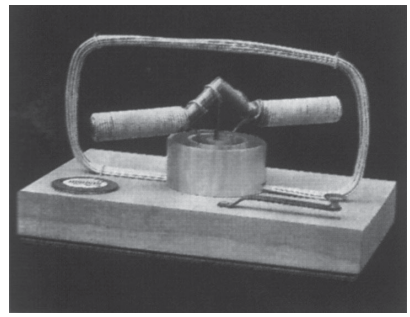
A motorok fordítva működnek, mint a generátorok. Az azonos áramnemre készült generátorok és motorok általában azonos felépítésűek, és legtöbbjük egyaránt használható motornak és generátornak. A legegyszerűbb villanymotornál egyenáram folyik a mágnes pólusai között forogni képes tekercsben. Egyenárammal működve alakítanak át elektromos energiát mechanikai energiává. A forgórészbe (rotorba) vezetett áram és az állórész (sztátor) mágneses mezejének kölcsönhatásaképp forgatónyomaték lép fel, ez az erőhatás tehát forgatja a tekercset, s ez hajtja meg a motor tengelyét. Ma már csak a háromfázisú váltakozó áramú gépeknek van nagyobb gyakorlati jelentőségük. Az elektromotorok hatásfoka nagy, kb 90%.

1879-ben Werner Siemens a gyakorlatban is alkalmazhatóvá tette a villanymotort. Gyárat alapított a villanymotorok és generátorok gyártására. Villamos mozdonyát a berlini ipari kiállításon mutatták be. 1881-ben Berlin-Lichterfelde között megindult a világ első villamos vasútja 20 km/h sebességgel. Az áramellátás kezdetben a sínről történt. 1891-ben már egyedi szerszámgépek működtek elektromotorral.

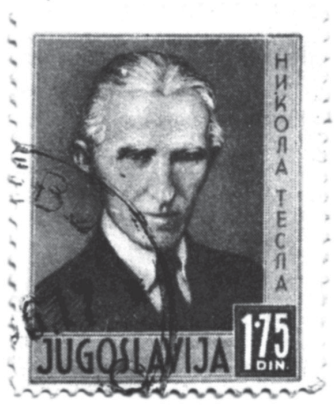
Nikola Tesla olyan motorokat mutatott be, amelyek csak egy dróttal voltak a hálózathoz kötve, a másik vezeték helyett a levegőben terjedt az energia. Tesla ekkor kezdte emlegetni, hogy olyan motorokat is lehet csinálni, melyekhez egyáltalán semmiféle drót nem kell, sőt a térben energia van, mindenki számára elérhető módon.

Így fogalmazta meg: *„Eljön az idő, mikor majd nem kell (nagyfrekvenciás váltóáram segítségével) továbbítani energiát. Egyáltalán nem lesz szükség energia szállítására. Néhány generáció múlva gépeinket olyan energia fogja hajtani, ami az univerzum minden pontjában rendelkezésre áll. Ez az ötlet egyáltalán nem új. Anteus gyönyörű legendájában már megtaláljuk, aki a földből kapta erejét. A térben mindenütt energia van. Statikus vagy kinetikus ez az energia? Ha statikus, akkor reményeink hiábavalóak, ha kinetikus, akkor – és ezt biztosan tudjuk – pusztán idő kérdése, hogy az ember mikor fogja megoldani, hogy gépeit a természet kerekeihez közvetlenül kapcsolja."*

Az 1893-ban Chicagóban rendezett hatalmas világkiállításon Tesla szinte ösz-szes váltóáramú találmánya szerepelt, sőt azt is bemutatták, hogy a váltóáram egyenárammá alakítható és kétfázisú, többfázisú motorok, dinamók sora működött a látogatók szeme láttára.



22. ábra. ***Jedlik Ányos „villamdelejes forgonya"***



23. ábra. ***Nikola Tesla (1856–1943)***
a horvátországi Smilja szülötte.
1875-ben a grazi Politechnikai Intézetben kezdett tanulni, ahol főként az elektromossággal foglalkozott, generátorokkal, motorokkal. Később Prágában tanult, de vizsgáiról hivatalos irat nem maradt fenn. 1881-ben Budapesten dolgozta ki két hónap alatt a váltóáramú motorok és generátorok egész családját és – az akkor már létező egyfázisú transzformátorok segítségével – az áram elosztásának módszerét is. New Yorkban lehetősége nyílt – Edison ellenében is – régi álma, a váltóáramú rendszer megvalósítására. 1889 után már főként a nagyfrekvenciás, nagyfeszültségű áramok kérdései foglalkoztatják. Nagy tragédia volt, hogy laboratóriuma porig égett, kísérleti jegyzetei, felszerelései mind elpusztultak. A század utolsó éveiben a rádiózás felé fordult, az elektromosság drót nélküli továbbításával foglalkozott. Rádióadó-tornyát pénz hiányában nem tudta befejezni, s az első világháborúban felrobbantották, nehogy a németek felhasználhassák. Tesla sohasem kapott méltó tudományos elismerést.

A ma már mindenütt megtalálható és nélkülözhetetlen motorok olyan sokféle célra és változatban készülnek, hogy gyártásuk külön tudományág.

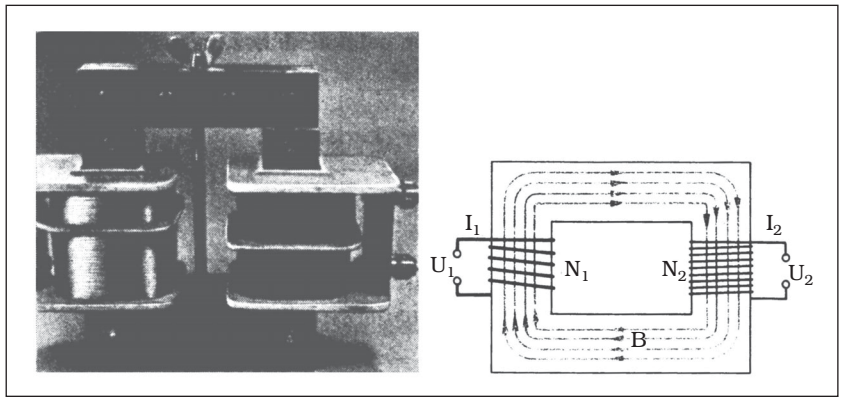
2.4.3. A transzformátor

A transzformátort Faraday találta fel 1831-ben, de az első gyakorlatban is használható berendezést csak fél évszázad múlva készítették el, döntő szerephez pedig a századfordulón jutott az elektromos energia szállításában és elosztásában.

TEKERCS ÉS VASMAG

A transzformátor alapvető részei: az átalakítandó váltakozó áramra (bemeneti áramra) kapcsolt primer tekercs, és a szekunder tekercs, amelyben váltakozó áram (kimeneti áram) indukálódik, továbbá a vastest (vasmag), amelyen a tekercsek vannak. A transzformátor a nyugalmi indukció elvén működik. Természetesen a primer és a szekunder tekercs közötti indukció kölcsönös: a primer tekercsben folyó váltakozó áram a szekunder tekercsben váltakozó feszültséget indukál, de a szekunder tekercs is létrehozza ugyanezt a hatást.

← nyugalmi indukció XV.2.2.1



24. ábra. ***Transzformátor képe és vázlatos rajza***

Kezdetben az áramforrás még nem volt váltakozó áramú, így a primer áramot állandóan nyitni és zárni kellett, hogy a nyugalmi indukcióhoz szükséges áramerősség-változás – és vele együtt a mágneses fluxus változása – létrejöjjön.

A transzformátorok diadala csak a váltakozó áramú áramforrások (generátorok) használatával kezdődhetett. A transzformátor tekercsei között fémes kapcsolat nincsen, az energiát induktív úton (induktív csatolás) adják át egymásnak. Az energiaátalakítás jó hatásfokának érdekében a két tekercset csaknem tökéletesen kell csatolni, ami azt jelenti, hogy a primer tekercs által közrezárt erővonalakat a szekunder tekercsnek is közre kell zárnia . Ezt úgy oldják meg, hogy a két tekercset ugyanazon zárt vasmagra tekercselik. A vasmag használata az indukcióvonalak számát kb. tízezerszeresére növeli. A zárt vasmag a vasban „tartja” az indukcióvonalakat. A nyugalmi indukció a vasmagban is fellép, ez pedig energiaveszteséget jelent. Ezért a benne indukálódó áramok csökkentésére a vasmagot nem egyetlen darabból, hanem egymástól szigetelt vaslemezek kötegéből készítik. A jó transzformátorok hatásfoka 90–98%. A primer oldalon felvett energia egy része így is a transzformátor belső energiáját növeli, így az melegszik. A nagyteljesítményű transzformátorokat a túlmelegedés ellen hűtik, pl. nagyon tiszta transzformátorolajjal, levegővel vagy vízzel.

← indukcióvonalak XV.1.2

→ hatásfok XX.

Azonos teljesítmény esetén nagy feszültség (tehát kisebb áramerősség) alkalmazásával a vezetékekben kisebb a hőveszteség, mint alacsonyabb feszültség esetén. Ezért nagy távolságokra nagy feszültségen juttatják el az elektromos energiát transzformátorok közbeiktatásával. Ideális transzformátornál az indukált feszültség nagysága egyenesen arányos a menetszám-

mal (N): $U_p/N_p = U_{sz}/N_{sz}$. A szekunder oldalon fogyasztóval terhelt transzformátor feszültsége néhány %-kal eltér ettől. A transzformátorok feszültségáttételét a menetszámok aránya határozza meg. Ha ez az áttétel 1:1, akkor a feszültség és az áram változatlanul transzformálódik át. Az így működő transzformátort leválasztó-transzformátornak nevezik, amelyek áramköri egységek leválasztására és áramütés elleni védelemre használhatók. Az áttétel arányában növekszik a feszültség, ez a „feltranszformálás", ellenkező esetben „letranszformálás" történik. A transzformátor teljesítménye változik, ha a szekunder tekercshez különböző ellenállású fogyasztókat kapcsolunk (kisebb fogyasztói ellenállásnál nagyobb az áramerősség, így a teljesítmény is). A tekercsek ki- és bemeneti teljesítménye egyenlő: Pp=Psz, mert az energia a feszültség transzformálásánál nem változik: ha a transzformátor növeli a feszültséget, akkor csökkenti az áramot és fordítva. Így a két áram fordítottan arányos a feszültséggel: $U_p \cdot I_p = U_{sz} \cdot I_{sz}$, vagyis az áramerősségek fordítottan arányosak a menetszámokkal: $I_{sz}/I_p = N_p/N_{sz}$.

LEVÁLASZTÓ TRANSZFORMÁTOR

← az áram élettani kutatásai XI.3.7

Nagyfeszültségű transzformátort alkalmaznak a belső égésű robbanómotorok gyújtószikráinak előállítására is.

2.4.4. Az elektromos hálózat

A villamos energiát el kell juttatni a fogyasztókhoz és az igények szerint „szét kell osztani". E feladatokat a villamosenergia-hálózatok oldják meg. Az erőművekben előállított áram feszültségét „feltranszformálják" több százezer voltra, s általában háromfázisú távvezetékrendszerrel szállítják a fogyasztókhoz. A nagy feszültség miatt jelentős távolságon is elektromos ív üthet át a levegőn keresztül. Ezért – biztonsági okokból – a távvezetéket magas oszlopokra függesztik fel, hosszú szigetelőtestek alkalmazásával. Az elosztó transzformátor néhány ezer voltra csökkenti az elosztandó feszültséget, amely közvetlenül továbbítható a nagyfeszültségű gépekkel felszerelt gyárakhoz és a nagy sebességű villamosvonatokhoz. A helyi áramelosztó transzformátorok feladata, hogy „letranszformálják" az áramot üzemi feszültségre.

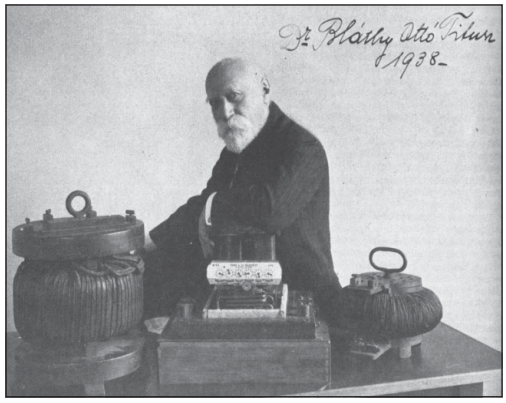
← kisülés XI.1.6

TÁVVEZETÉKEK

Az áramszolgáltatást századunk elején kis áramfejlesztő gépekre kapcsolt, rövid távolságú, egyenáramú hálózatokkal oldották meg. Fejlődést a váltakozó áram transzformálhatóságát felhasználva a villamos erőművek elterjedése hozott.

1882-ban Edison elgondolása alapján üzembe helyezték az első közvilágítási erőművet New Yorkban. Ugyanebben az évben építették be az első transzformátorokat az angliai világítási rendszerbe úgy, hogy a lámpákat

25. ábra. ***dr. Bláthy Ottó Titusz (1860–1939)***
A reáliskolát és a műegyetemet Bécsben végezte. Több, mint ötven át a Ganz-gyár villamos részlegében dolgozott, ahol Zipernowsky volt a vezető. Első sikere a „mágneses Ohm-törvény „ helyes alkalmazásának felismerése volt. Összefüggést állapított meg a mágneses tér és az azt létesítő ampermenetek között, amelynek segítségével átalakította az egyenáramú gépek mágneseinek alakját (rövidebb pólus, nagyobb áramerősség), s így a teljesítmény a sokszorosára nőtt. Ezután a váltakozó áramú elosztórendszer hiányosságait igyekezett kiküszöbölni. 1885-ben Ausztriában benyújtotta a zárt magvú transzformátor (az elnevezés is tőle származik) szabadalmát Dérivel és Zipernowskyval közösen. Megoldotta a váltakozó áramú generátorok párhuzamos kapcsolásának problémáját. A gyárban szabadalma szerint indukciós fogyasztásmérők gyártását kezdték meg 1889-től. Száznál is több szabadalma közül sokat több országban is elfogadtak. Híres volt káprázatos „fejszámoló" képességéről. Maga szerkesztette kerékpárjával több országot bejárt. A Magyar Autóklub alelnöke, híres kutyatenyésztő, keleti szőnyegek szakértője, csillagász és sakkozó is volt.



Déri Miksa (1854–1938)
a Ganz-gyár villamosmérnöke, és igazgatója volt. Zipernowskyval az öngerjesztésű váltakozó áramú generátort szerkesztette meg. Részt vett a zártmagvú transzformátor megalkotásában. Kompenzált egyenáramú gépet szerkesztett 1902-ben, később egyenáramú motort, egyenáramú turbódinamót. Több transzformátoruk a Magyar Elektrotechnikai Múzeumban megtekinthető.

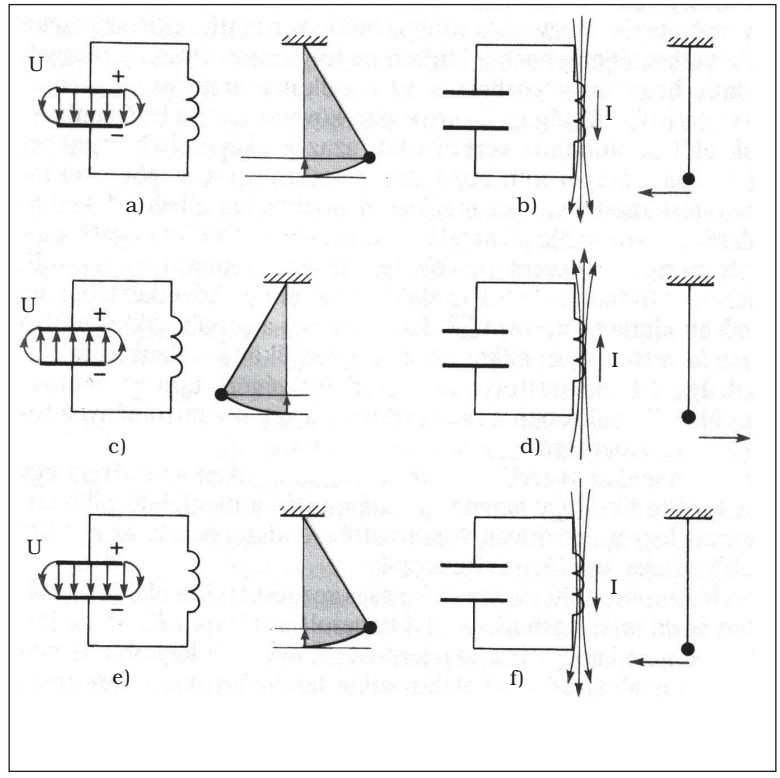
Zipernowsky Károly (1853–1942)
patikusként kezdte, majd gépészmérnökként 1878-ban a Ganz-gyárban kapott alkalmazást. Ő hívta meg Déri Miksát, az elektrotechnikával is foglalkozó folyammérnököt a gyárba. Itt készítette Magyarországon az első egyen- és váltakozóáramú dinamógépet 1883-ban. Az „Újítások a villamos elosztásban váltakozó áramú induktorok segítségével" és „Javítások indukciós készülékeken villamos áramok transzformálása céljára" című szabadalmak kidolgozója.

sorba kapcsolták a transzformátorra. Gaulard és Gibbs munkája iránt három magyar mérnök is érdeklődött: Bláthy Ottó, Déri Miksa és Zipernowsky Károly. Ők azután észrevették a soros kapcsolás hátrányait és helyette párhuzamos kapcsolást alkalmaztak. Rendszerüket 1885-ben Budapesten az „Országos Átalános Kiállításon" mutatták be. Nagyfeszültségű, 1350 V-os váltakozó áramú áramforrásról tápláltak 1067 darab Edison-féle kisfeszültségű izzólámpát, 75 darab transzformátor párhuzamos kapcsolásával. Világítási rendszerük szolgáltatta a fényt a kiállítás egész területén, jelezve az új energiaátvitel gyakorlati alkalmazásának lehetőségét. Hamarosan világszerte megkezdődött a transzformátorok tömeges gyártása.

2.4.5. A rezgőkör

Ha egy feltöltött kondenzátor lemezeit egy vezetővel összekötjük, akkor a kondenzátor kisül: a lemezeken felhalmozott ellentétes töltések azonnal semlegesítik egymást. Ha azonban ezt az összekötést egy tekercsen keresztül hozzuk létre, akkor a kisülés a tekercsben fellépő önindukció miatt egészen másképpen történik. A kondenzátorból és a tekercsből álló áramkört nevezik **zárt rezgőkör**nek.

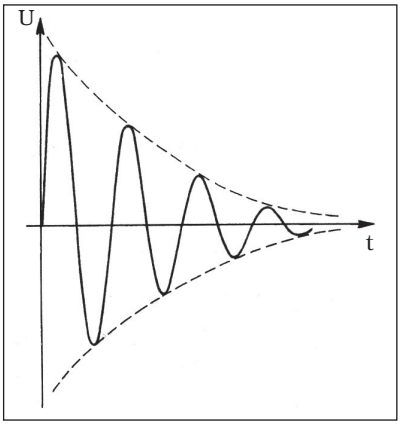
A rezgőkörben az önindukció hatása a növekvő töltésáramlást csökkenti, a csökkenő töltésáramlást pedig növeli. Ezért egyszeri kisülés he-



26. ábra. ***A rezgőkörben zajló rezgés***
A feltöltött kondenzátor lemezei között elektromos erőtér jön létre, lemezei között a kapacitásától függő feszültség alakul ki (a). Ha a tekerccsel összekötjük a két lemezt, akkor azonnal megindul a töltések áramlása, és a tekercs belsejében mágneses mező keletkezik. Mivel egyre több töltés áramlik az áramkörben, a mágneses mező egyre erősebb, tehát változik: a tekercsben fellép az önindukció. Az indukált feszültség – Lenz törvénye értelmében – gátolni igyekszik az áramerősség növekedését, ezért a kondenzátor feszültségéhez képest ellentétes lesz. Ezért a kondenzátor nem egy pillanat alatt sül ki, a tekercs késlelteti azt. Azonban az áramerősség növekedésének üteme egyre lassul, majd megáll, hiszen egy idő után már minden töltés úton van, ekkor a kondenzátor feszültsége 0, a tekercsen átfolyó áram és így mágneses mezőjének erőssége is maximális (b). Ebben a pillanatban a töltésekre semmilyen feszültség nem hat, de tehetetlenségük folytán tovább mozognak. Így a kondenzátor kezd újra feltöltődni, de ellenkező előjellel. Az áramerősség egyre csökken, ezért most is indukálódik feszültség, ám ez most a csökkenést igyekszik akadályozni, tehát „továbbhajtja" a töltéseket, mindaddig, amíg a kondenzátor teljesen feltöltődik. Ekkor feszültsége és lemezei között az elektromos erőtér erőssége újra maximális, de ellentétes irányú, az áramerősség és a mágneses mező erőssége a tekercsben 0 (c). Ekkor az egész folyamat újra elindul, ám ellenkező irányban: a kondenzátor kezd kisülni, csökken a feszültsége 0-ig, nő az áramerősség és a mágneses mező erőssége a maximumig, de mindkettő ellentétes irányú (d). A kondenzátor kezd újra feltöltődni, nő a feszültsége, egyre kevesebb töltés és egyre lassabban áramlik, majd az áramerősség és vele a mágneses mező erőssége 0, a kondenzátor feszültsége ismét maximális (e). Ezzel helyreállt az eredeti állapot, lezajlott egy elektromágneses rezgés. A rezgőkör rajzai mellett összehasonlításképpen egy inga lengése látható.

lyett **elektromágneses rezgések** zajlanak benne: az elektromos tér energiája alakul át periodikusan a mágneses tér energiájává és viszont, ezért a folyamat jól szemléltethető a mechanikai rezgésekkel, amelyek során a helyzeti és a mozgási energia között történik hasonló periodikus átalakulás. Az ábrasorozat bal oldalán látható inga ezt szemlélteti. Az inga szélső helyzetének az elektromos tér maximális erőssége, az egyensúlyi helyzeten való áthaladásának a mágneses tér maximális erőssége felel meg.

A folyamat mindaddig ismétlődik, amíg a rezgőkör energiája a veszteségek (a vezetékek ohmos ellenállásán keletkező hő) miatt el nem tűnik: a rezgés csillapodik, a kondenzátor egyre kisebb feszültségre töltődik fel. Ha a rezgőkör energiáját külső forrásból a megfelelő ütemben állandóan pótoljuk, akkor csillapítatlan elektromágneses rezgéseket tudunk létrehozni.

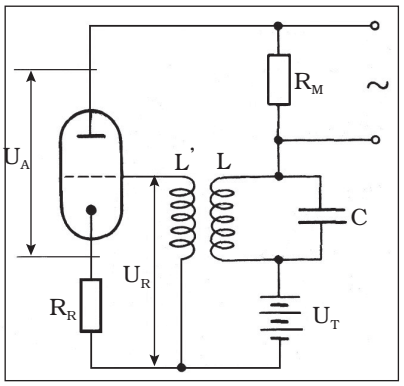


28. ábra. ***Csillapodó elektromágneses rezgések***
A grafikon a kondenzátor feszültségét ábrázolja az idő függvényében. A csillapítatlan rezgések amplitúdója állandó.

A kialakuló rezgések rezgésidejét a kondenzátor kapacitása *(C)* és a tekercs önindukciós együtthatója *(L)* határozza meg. Minél nagyobb az önindukciós együttható, a tekercs annál jobban lassítja a kisülést, annál nagyobb a rezgésidő. Ugyanez igaz a kapacitásra is: minél nagyobb, a kondenzátor annál kevésbé „érzi meg" a töltéseket, annál kisebb feszültséggel gátolja újabbak érkezését, és ezért tovább tarthat egy periódus. A pontos összefüggést a Thomson-formula adja meg:

$$T = 2\Pi\sqrt{LC}$$

A rezgőkörök nélkülözhetetlen részei minden rádióadónak és -vevőnek, és általában a híradástechnikai eszközöknek.



27. ábra. ***Csillapítatlan elektromágneses rezgések létrehozása trióda segítségével*** (Meissner-féle visszacsatolás)
A rezgőkör egy trióda anódáramkörébe van iktatva. Az anódáramkör zárásakor a rezgőkörben elektromágneses rezgések jönnek létre, amelyek a rácsáramkör tekercse nélkül hamarosan lecsillapodnának, és az anódkörben állandó nagyságú áram folyna. Az anódáramkör tekercsének áramingadozásai azonban a rácsáramkör tekercsében váltakozó feszültséget indukálnak. Ha a tekercseket alkalmasan választják meg, akkor a rácsáramkörben létrejövő feszültségingadozás az anódáramot a megfelelő ütemben éppen úgy vezérli, hogy csillapodás helyett a benne zajló rezgések felerősödnek egy bizonyos határig. Ezzel létrejött a csillapítatlan rezgés.

Summa (2.)

Nemcsak elektromossággal lehet mágnességet előállítani, hanem mágnességgel is létre lehet hozni elektromosságot (1831, Faraday). A változó mágneses mező elektromos mezőt indukál, az ebben elhelyezett zárt vezetőben ennek hatására áram folyik. A mágneses mezőben mozgó vezetőben is feszültség indukálódik, amelynek hatására zárt körben szintén áram folyik. A jelenség az elektromágneses indukció.

Ennek felhasználásával új feszültségforrások készíthetők. Ezek a dinamók, amelyek egyenáramot, és a generátorok, amelyek váltakozó áramot szolgáltatnak mechanikai energia felhasználásával. Az elektromágneses indukció alapján működik a transzformátor, amely a váltakozó feszültség nagyságának megváltoztatására alkalmas. Ezek az eszközök tették lehetővé az elektromos hálózat kiépítését az erőművektől a fogyasztókig.

Az elektromotor elektromos energiát alakít át mechanikaivá.

Számos híradástechnikai eszköz fontos alkatrésze a rezgőkör, amelyben a mágneses és az elektromos tér energiájának periodikus egymásba alakulása, azaz elektromágneses rezgés zajlik.

3. A Maxwell-elmélet

3.1. Az elektrotonikus állapot – matematikai absztrakció vagy fizikai valóság?



28. ábra. ***James Clerk Maxwell (1831–1879)***
25 éves korában már fizikaprofesszor volt Aberdeenben. 1865-ben visszavonult skóciai birtokára és csak a tudományosnak szentelte idejét. 1871-ben meghívták a Cavendish-laboratórium vezetőjének. Maxwell kezdetben a színérzékelés problémáival foglalkozott, később a kinetikus gázelmélettel. Diákkorában ismerkedett meg Faraday kísérleti eredményeivel. A nagy korkülönbség ellenére alkalmuk volt levelezés útján, majd személyesen is gondolatot cserélni. A XIX. század legnagyobb kísérleti és legnagyobb elméleti fizikusa kölcsönösen tisztelte és elismerte a másik munkásságát.

Maxwell ismerte Faraday művét az elektromágneses jelenségekkel kapcsolatos kísérleteiről és ezek alapján kialakított elméletéről. Célul tűzte ki, hogy Faraday eredményeit matematikai formába öntse és így elfogadhatóvá tegye az elméleti fizikusok számára is. Faraday elképzelése szerint a mágneses mező rendelkezik egy olyan sajátossággal – amit ő elektrotonikus, azaz „készenléti" állapotnak nevezett –, amelynek időbeli változása hozza létre az indukált feszültséget. Maxwell először egy olyan matematikai kifejezést keresett, amely alkalmas az elektrotonikus állapot leírására. Maxwell megállapította erről a mennyiségről, hogy ha egy zárt görbe mentén az értékeit a megfelelő módon pontról pontra összegezzük (ennek a matematikai eljárásnak a neve vonalmenti integrálás) és az időbeli változását vesszük, akkor éppen az indukált feszültséget kapjuk. Ha pedig ennek a mennyiségnek egy adott pontban tekintjük az időbeli változását, akkor az elektromos térerősséget adja meg az adott helyen. Vagyis az elsődleges hatás elektromos mező indukálódása, méghozzá olyan elektromos mezőé, amelyben egy zárt görbe mentén körbehaladva, a feszültség nem nulla! Ellentétben az elektrosztatikus mezővel, ennek a mezőnek az erővonalai zárt görbék, vagyis nincsenek forrásai, csak örvényei, amelyeket a mágneses mező megváltozása kelt. A szóhasználat nem véletlen: Maxwell maga is többször hivatkozott a folyadékok örvényes áramlásait leíró matematikai kifejezésekre és alkalmazott analógiákat e területről. Ugyanis az áramlások örvényességét, ill. annak változásából eredő hatásokat matematikailag hasonló alakú összefüggések írják le. Ez persze nem azt jelenti, hogy maga az elektromos tér „örvénylik", hanem azt, hogy ilyen a szerkezete. Ha egy kis, töltött részecske bekerül egy ilyen mezőbe, akkor úgy „érzi", mintha örvénybe került volna, és egy zárt görbe mentén fog mozogni.

A Maxwell által meghatározott matematikai kifejezés megfelelő alakja alkalmas arra is, hogy magának a mágneses mezőnek az örvényerősségét is megadja. Ez pedig nem más, mint a **B** mágneses indukció, hiszen a mágneses mező „örvényei" az indukcióvonalak, és ezek sűrűségét **B** nagysága adja meg. Ma ezt használják alapmennyiségként, a Maxwell-féle eredeti kifejezés ilymódon leszármaztatott mennyiség. A mágneses indukcióvektor előnye, hogy közvetlenül szemléletessé tehető az indukcióvonalak segítségével: a mágneses mező bármely pontjában iránya megegyezik az éppen ott átmenő indukcióvonal irányával. Ha pedig egy felület mentén helyről-helyre összegezzük az értékét, akkor a mágneses fluxust kapjuk, ami azonosítható a felületen átmenő erővonalak számával, ha úgy képzeljük, hogy egységnyi felületen át annyi erővonal megy át, amennyi ott a **B** nagysága.

ÖSSZEFOGLALÓ EGYENLETEK

Maxwell a fenti mennyiségek közötti összefüggéseket négy integrálegyenletben fogalmazta meg. Ezek tartalmazták az összes addigi kísérletileg tapasztalt jelenség mennyiségi leírását, illetve az addig levezetett összefüggéseket is, így pl. az Ampère-féle törvényt az áramok egymásra hatásáról és a Gauss-törvényt is. Maxwell ezzel elérte célját: Faraday elektromágneses térelméletét matematikai formába öntötte. Egyenletei azonban oly magas szintű matematikai absztrakciót jelentettek, hogy még az elméleti fizikusok is nehezen barátkoztak meg velük. Ugyanakkor kiújult a fizikusok körében a régi filozófiai vita is: vajon ezek az elvont matematikai mennyiségek puszta absztrakciók, technikai segédeszközök, amelyek segítenek rendszerezni a tapasztalati tényeket, vagy van valóságos fizikai tartalmuk is? Mi a kapcso-

← távolhatás? VI.8.4

← absztrakció I.2

lat fogalmaink és a tapasztalati tények között, amelyekre alkalmazzuk őket? Heinrich Hertz – akinek jelentős szerepe volt a Maxwell-elmélet elfogadtatásában – erről a kérdésről ezt írta:

„Belső látszatképeket vagy szimbólumokat készítünk magunknak a külső tárgyakról, méghozzá olyan módon, hogy a képek gondolatilag szükségszerű következményei ismét képei legyenek a leképzett tárgyak természetileg szükségszerű következményeinek. Hogy ez a követelés egyáltalán teljesíthető legyen, bizonyos megegyezéseknek kell fennállni a természet és az emberi szellem között. A tapasztalat azt mutatja, hogy a követelés teljesíthető, és hogy ilyen megegyezések ténylegesen fennállnak."

→ ugyanerről az alaklélektan XVI.3.3

Nem véletlen, hogy Hertznek ez a véleménye éppen a Maxwell-elmélettel kapcsolatos tevékenysége során alakult ki. Maxwell egyenleteiből ugyanis valami olyasmi is levezethető volt, ami fizikai értelmezését tekintve is meglepte a kortársakat.

→ tudományos elméletek érvényessége XIX.

3.2. Az eltolódási áram

AZ ELEKTROMÁGNESES MEZŐ

A Maxwell elmélete alapján az **elektromágneses mezőről** – egyszerűsítve – az alábbi kép rajzolódik ki: Az elektromos töltések körül elektromos mező alakul ki, amelynek forrásai a töltések, és erősségét az őt létrehozó töltések nagysága szabja meg. Ennek a mezőnek az erővonalai mindig pozitív töltésekből indulnak ki és negatív töltésekbe (vagy a végtelen távoli pontba) futnak be, azaz nem alkotnak zárt vonalakat: az elektrosztatikus mező örvénymentes. A *mozgó* elektromos töltések (áramok) maguk körül mágneses mezőt létesítenek, amely örvényes: erővonalai zárt görbék, amelyek a mezőt létrehozó áramot fogják közre. A mágneses mező tehát forrásmentes, vagyis nincsenek szétválasztható mágneses töltések, csak mágneses dipólusok léteznek. Ha a mágneses mező időben változik – változnak az örvényei -, akkor ezek az örvényváltozások maguk körül *elektromos* örvényeket keltenek. Tehát létrejön egy olyan elektromos mező, amelynek erővonalai zárt görbék, azaz szintén örvényes mező. Ennek hatására a töltések az erővonalak mentén körbehaladhatnak, vagyis megfelelő körülmények esetén áram folyhat „hagyományos" feszültségforrás nélkül.

← XV.1.3.1

Maxwell ezt a képet Faradaynek a szigetelőkkel kapcsolatos kísérletei alapján kiegészítette. Faraday megfigyelte, hogy bár a szigetelők nem árnyékolják le az elektromos hatást, de bennük az elektromos tér erőssége kisebb, mint vákuumban. Ezt azzal magyarázta, hogy a dielektrikumban az elektromos térerősség hatására a töltések semleges helyükből eltolódnak. Különösen jól megfigyelhető a jelenség, ha a szigetelőt egy kondenzátor lemezei közé helyezzük. Ennek hatására a kapacitása megnő, mivel – a térerősség csökkenése miatt – kisebb lesz a lemezek közötti feszültség. A térerősségcsökkenés arányát (vagy ami ugyanaz, a kapacitásnövekedés arányát) a dielektromos állandóval (ε) lehet figyelembe venni.

← XI.1.6; XI.4.2.3

„ELTOLÓDÁSI ÁRAM"

Maxwell Faraday elképzelése nyomán – továbbra is a kondenzátor példájánál maradva – feltételezte, hogy a töltések eltolódása és az ebből eredő „eltolódási áram" mindaddig tart, amíg az elektromos mező változik a kondenzátor lemezei között. Nem pusztán abban hasonlít a „valódi", vezetési áramra, hogy töltések elmozdulását jelenti, hanem abban is, hogy körülötte ugyanúgy létrejön a mágneses mező is! Maxwell annak alapján határozta meg az eltolódási áram nagyságát, hogy körülötte ugyanakkora erősségű mágneses mezőnek kell kialakulnia, mint a kondenzátor lemezeire (vagy lemezeiről) folyó „rendes" vezetési áram körül. Mivel az eltolódási áram addig létezik, amíg az elektromos mező változik, nem meglepő, hogy Maxwellnek ezt a kapcsolatot ugyanolyan alakú kifejezéssel sikerült meghatároznia, mint amilyen a mágneses indukcióvektor változása és az ennek

hatására indukálódó elektromos mező térerőssége között fennáll. Ennek a matematikai kifejezésnek a fizikai tartalmát úgy is lehet interpretálni, hogy a változó *elektromos* mező *mágneses* mezőt indukál. A meglepő az volt, hogy ezt a jelenséget – különösen, ha arra gondolunk, hogy Maxwell egyenlete szerint vákuumban is fenn kell állnia – semmiféle kísérleti megfigyelés vagy elméleti meggondolás nem támasztotta alá!

3.3. A Maxwell-egyenletből levonható következtetések – új távlatok, régi korlátok

A Maxwell-egyenleteknek vannak olyan megoldásai is, amelyek alakjukat tekintve teljesen megegyeznek a rugalmas közegben terjedő mechanikai hullámokat leíró egyenletekkel. Így merült fel az a gondolat, hogy léteznie kell elektromágneses hullámoknak, amelyekben az elektromos és a mágneses tér végzi a rezgéseit, az egyenletek alapján a terjedési irányra merőlegesen. Ezeknek a transzverzális hullámoknak a terjedési sebességére pontosan a fénysebesség adódott! Maga Maxwell 1864-ben – meglehetősen óvatosan – így fogalmazott:

ELEKTROMÁGNESES HULLÁMOK

← transzverzális hullámok XIV.2.3

„Ez a sebesség annyira közel esik a fény terjedési sebességéhez, hogy úgy tűnik, nyomós okunk van azt feltételezni, hogy a fény (beleértve a sugárzó hőt és más sugárzást, ha van ilyen) maga is egy, az elektromágneses törvények szerint az elektromágneses térben hullám alakjában tovaterjedő elektromágneses zavar."

← a fénysebesség mérése XIV.3.1 és 3.3.4

AZ OPTIKA ÉS AZ ELEKTRODINAMIKA TALÁLKOZÁSA

Ezzel összetalálkozott a fizika két, addig különálló ága: a régi hagyományokkal rendelkező optika és az alig néhány évtizedes elektrodinamika. Ha a fény valóban elektromágneses hullám, akkor a fénytan törvényeinek is levezethetőeknek kell lenniük a Maxwell-egyenletekből. Mivel az optika legtöbb jelensége azzal függ össze, hogyan viselkedik a fény két különböző közeg határfelületén, azt a problémát kellett megoldani, hogyan változnak az elektromágneses mezőt leíró mennyiségek az egyik közegből a másikba való átmenetkor. Ez Lorentznek sikerült 1875-ben, aki ilymódon az optika törvényeit levezette Maxwell egyenleteiből.

Adódtak azonban ellentmondások is. A Maxwell-elméletből a hullámok valamilyen közegbeli sebességére a $v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}}$ érték adódott. Fizeau és Foucault mérései nyomán ekkor már ismert volt, hogy a fény sebessége egy n törésmutatójú anyagban $v = \frac{c}{n}$. Így a közeg törésmutatója, valamint az elektromos és mágneses tulajdonságait jelentő állandók között az $n^2 = \varepsilon\mu$ összefüggésnek kellene fennállnia. Ez azonban pl. a vízre sem teljesül, ui. törésmutatója $n \approx 1{,}33$, dielektromos állandója $\varepsilon \approx 80$, mágneses permeabilitása $\mu \approx 1$. A problémát csak a század végén sikerült Lorentznek megoldania.

A szűkebb értelemben vett szakmai kérdéseken túl a fizikusoknak nehézséget okozott a mechanikában megszokott szemléletesség hiánya is. Ezt lord Kelvin így fogalmazta meg:

→ modellek érvényességi köre XIX.

„Én sohasem vagyok elégedett mindaddig, amíg csak nem tudok egy dologról mechanikai modellt készíteni. Ha sikerül egy ilyen modellt készítenem, akkor megértem azt. Amennyiben azonban nem tudok egy teljes értékű mechanikai modellt alkotni, nem is értem; és éppen ez az, ami miatt agyam nem veszi be az elektromágneses térelméletet… szeretném megérteni a fényt olyan jól, ahogy csak tudom, anélkül, hogy segítségül hívnék olyan dolgokat, amelyeket még kevésbé értek meg. Ez az, ami miatt ragaszkodom a kézzelfogható dinamikához: a dinamikában

tudok modellel dolgozni, de nem tudok az elektromágneses térelméletben."

Maga Maxwell is számos mechanikai modellt kidolgozott az elektromágneses jelenségek mechanikai magyarázatára. A megszokott mechanikai szemléletmód számára azonban még érthetetlenebb volt, hogy egy hullám közvetítő közeg nélkül is képes terjedni. Így vált elfogadottá az éter, amit sokan eddig is a fény hordozójának tartottak. Ezt a világmindenséget kitöltő, nagyon finom közeget azonban, amely a benne mozgó makroszkopikus testek, pl. az égitestek számára semmiféle akadályt nem jelent, az elektromágneses rezgések transzverzalitása miatt rugalmas, tehát szilárd (!) közegnek kellett tekinteni.

← az „éter" Arisztotelésznél III.9.1

→ relativitáselmélet XXVIII.

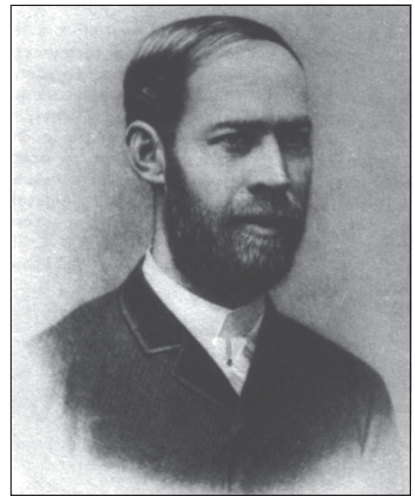
3.4. A kísérleti bizonyíték

Bármilyen elegáns is volt a Maxwell-elmélet és bármennyire használhatóak voltak is egyenletei a különböző elektromágneses és optikai jelenségek leírására, az igazi bizonyíték mégiscsak a kísérleti igazolás lett volna. A berlini Tudományos Akadémia 1879-ben pályázatot írt ki az eltolódási áram kísérleti igazolására. Ennek hatására kezdett el Heinrich Hertz ezzel a kérdéssel foglalkozni.

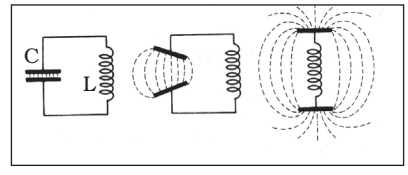
A problémát az okozta, hogy ha az eltolódási áramot pl. egy kondenzátor lemezei között akarjuk kimutatni, akkor kis lemeztávolság esetén nem tudjuk kiküszöbölni a vezetési áram mágneses hatását, nagy lemeztávolság esetén pedig a jelenség nagyon gyenge. Ezért biztatóbbnak tűnt az eltolódási áram létezéséből következő elektromágneses hullámok kimutatása.

Elektromágneses rezgéseket egy rezgőkörben viszonylag egyszerűen elő lehet állítani, de ebben az esetben a rezgés energiája a tekercs, ill. a kondenzátor belsejére koncentrálódik. Ha a rezgőkört „kinyitjuk" , akkor várható, hogy a keletkező hullámok – ha léteznek – távolabbra is eljutnak.

Hertz rezgéskeltőnek egy egyszerű drótdarabot használt, amelyet középen megszakított, és egy nagy váltakozó feszültséget előállító induktorhoz csatlakoztatott. Ennek hatására a drótban lévő töltések rezgésbe jöttek és a megszakításon szikrák ugráltak át. Ez volt a Hertz-féle oszcillátor. A hullámok kimutatására egy hasonló méretű megszakított drót szolgált, ez volt a rezonátor. Ehhez egy érzékeny árammérő műszert csatlakoztatott.

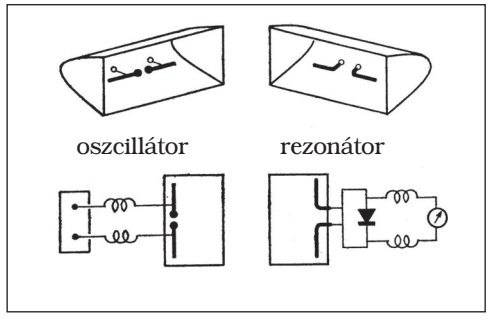


29. ábra. ***Heinrich Hertz (1857–1894) német fizikus***
Fiatalon Helmhotz asszisztense volt, később a karlsruhei, majd a bonni egyetem professzora. Legjelentősebb eredménye a Maxwell-elmélet kísérleti igazolása (1886) és elfogadtatása volt.



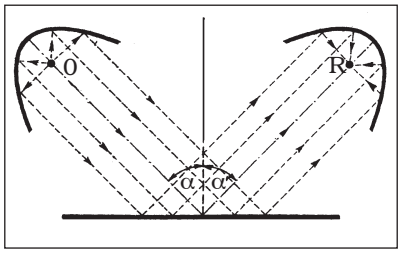
30. ábra. ***Nyitott rezgőkör (antenna)***
Az ábrákon a kondenzátor lemezei között kialakuló elektromos mező erővonalai láthatók a működő rezgőkör egyre nyitottabb állapotában. Az utolsó rajz ábrázolja az antennát (a kondenzátorlemezek el is hagyhatók). Ha helyes a Maxwell-elméletből levont következtetés, akkor a kialakuló változó elektromos mező változó mágneses mezőt indukál, ez újabb elektromos mezőt. Ez a periodikusan ismétlődő jelenség várhatóan az antennától távolabb is észlelhető.

31. ábra. ***Hertz oszcillátora és rezonátora***

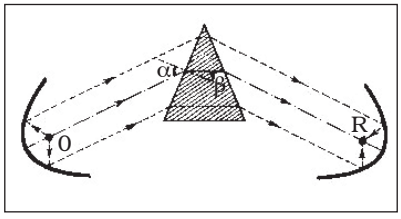


Az oszcillátorban keletkező rezgések – és így a feltételezett hullámok – frekvenciája csak az oszcillátor méreteitől függ. Ezért Hertz azt várta, hogy a hullám elektromos mezőjének hatására a rezonátorban lévő töltések is – a rezonancia révén, innen az elnevezés – rezgésbe jönnek és a megszakításon ott is szikrák fognak átugrálni. Hertz az oszcillátortól több méter távolságban egy fémlapot helyezett el és közte és az oszcillátor között „kereste" rezonátorával a hullámokat. Kitartó próbálkozásait (ez a távolságok és az oszcillátor méretének megfelelő beállítását jelentette) végül siker koronázta: azt találta, hogy bizonyos helyeken a rezonátor erősen jelez, míg más helyeken egyáltalán nem.

Ez azt jelentette, hogy az oszcillátor és a fémlap közötti térben elektromágneses állóhullámok alakultak ki, amelyeknek duzzadóhelyei, ill. cso-



31. ábra. ***Visszaverődés***
Ha az oszcillátor és a rezonátor közé fémlapot helyezünk, akkor a rezonátor nem jelez. Ha a fémlapot az ábrán látható módon helyezzük el, akkor a rezonátor csak az $\alpha' = \alpha$ irányban elhelyezve mutat hullámokat, ami azt jelenti, hogy a visszaverődési törvény érvényes.



32. ábra. ***Hertz kísérlete a törés vizsgálatára***
A törés törvényének igazolásához Hertz nagyméretű (több mázsás) szurokprizmákat használt. A különböző nagyságú beesési szögek és a hozzájuk tartozó törési szögek mérésével igazolódott, hogy a $\sin\alpha/\sin\beta = n$ mennyiség a beesési szögtől független érték, azaz a prizma anyagának a törésmutatója. A törés kimutatható nagyméretű paraffin lencsék vagy petróleummal telt üvegedények mint hengerlencsék segítségével is, amelyek fokuszálják a párhuzamos nyalábot.

← polarizáció XIV.3.3.3

mópontjai az előbb említett helyek. Két szomszédos csomópont távolsága éppen a hullámhossz fele. Hertz az így megmért értékből (kb. 60 cm volt) és az oszcillátor számítással meghatározott frekvenciájából a $c = f\lambda$ összefüggés alapján kiszámította a terjedési sebességet és a fénysebességet kapta!

A kísérlet a következőket igazolta:

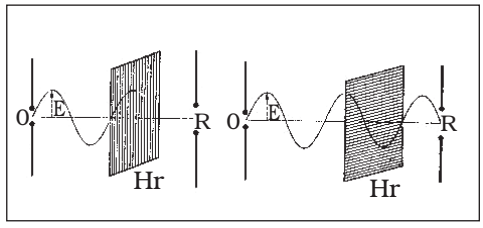
– az elektromágneses hullámok létezését, ezzel végleg megcáfolta a távolhatás elméletét;
– az elektromágneses hullámok fénysebességgel terjednek;
– ezek a hullámok képesek visszaverődésre és interferenciára, különben nem jöhettek volna létre állóhullámok;
– a hullámban az elektromos tér rezgései merőlegesek a terjedési irányra, mert a rezonátor csak ebben a helyzetben jelzett a duzzadóhelyeken is, vagyis transzverzális hullámról van szó.

Hertz közvetlenül is igazolni akarta a hullámjelenségek meglétét és azt, hogy ezekre ugyanazok a törvények érvényesek, mint a fényre. Be akarta bizonyítani azt is, hogy valóban fennáll a Maxwell-elméletből levezethető összefüggés az anyagi állandók (törésmutató, dielektromos állandó, mágneses permeabilitás) között.

Ezekhez a kísérletekhez az oszcillátort és a rezonátort egy parabolikus fémtükör fókuszvonalába helyezte, így egyrészt „párhuzamos nyalábot" lehetett előállítani, másrészt a rezonátor nemcsak állóhullámok kimutatására vált alkalmassá. A tükörről visszaverődő hullám ugyanis a gyújtóvonalba koncentrálódik és a hatására a rezonátorban keletkező áram jól kimutatható.

Módosított eszközeivel Hertz rendre kimutatta az elektromágneses hullámok visszaverődését, törését és polarizációját. Igazolta azt is, hogy törvényszerűségeik megegyeznek a megfelelő fénytani jelenségekével.

A törésmutató, továbbá ε és μ ismeretében Hertz igazolta, hogy az általa alkalmazott hullámok esetében, amelyeknek a hullámhossza az 1 m – 1 cm tartományba esett, az előző pontban említett, a Maxwell-elméletből következő $n^2 = \varepsilon\mu$ összefüggés jól teljesül.



33. ábra. ***Polarizáció***
Hertz az oszcillátor által kibocsátott hullámok polarizáltságát egy párhuzamos drótokból összeállított rács segítségével mutatta ki. Ha a rácsot úgy helyezte az oszcillátor és a rezonátor közé, hogy a drótok párhuzamosak voltak ezekkel, akkor a rezonátor nem jelzett; ekkor ugyanis a drótokkal párhuzamos elektromos térerősség bennük váltakozó áramokat keltett, emiatt a hullámok ugyanúgy visszaverődtek a rácsról, mint egy fémlapról. Ha ellenben a drótok merőlegesek voltak, akkor bennük nem jöhettek létre áramok, tehát a hullám áthaladt a rácson. Ha egy nem polarizált elektromágneses hullám útjába két ilyen, egymásra merőleges huzalozású rácsot helyezünk, akkor a második rács után nem észlelünk hullámot. A jelenség megegyezik azzal, mint amikor a fény útjába két keresztezett állású polárszűrőt teszünk.

Alkalmazható olyan rezonátor is, amelyik a hullámban terjedő mágneses mező változásaira érzékeny. Ez lehet egy gyűrű alakú vezető, amelyet szintén kis szikraközzel látunk el. Mivel ebben a nyugalmi indukció révén keletkezik az áram, akkor jelez, ha síkja a mágneses erővonalakra merőleges. A Hertz első kísérletében létrehozott állóhullámok esetében a mágneses rezonátor akkor jelzett, ha síkja egybeesett az oszcillátor és a terjedési irány által meghatározott síkkal, és azokon a helyeken, ahol az elektromos rezonátor nem jelzett. Ez azt jelentette, hogy a hullámban a mágneses mező rezgései is merőlegesek a terjedési irányra, de merőlegesek az elektromos mező rezgésirányára is; továbbá a két mező rezgései éppen ellentétes fázisúak.

Hertz kísérleteivel a Maxwell-elmélet fényes igazolást nyert. Ez volt az első eset a fizika történetében, hogy egy elmélet többet tartalmazott, mint azok a kísérleti tapasztalatok, amelyek alapján megalkották.

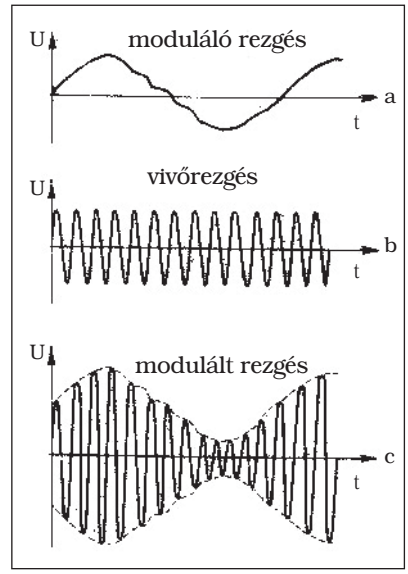
← püthagoreus számmisztika III.3 és a hangmagasság oka XIV.2.4.2

3.5. Gyakorlati alkalmazások

3.5.1 A rádióadó

A rádió őse a drótnélküli távíró vagy szikratávíró volt (Popov, 1895; Marconi, 1896). Ez azonban csak Morse-jeleket tudott továbbítani, hangot nem. A rádióadó alkalmas erre: Rezgőkörében nagyfrekvenciájú, csillapítatlan elektromágneses rezgéseket állítanak elő, ezeket a hangrezgéseknek megfelelően módosítják – modulálják –, majd a modulált rezgéseket antennával kisugározzák. A moduláció jelentheti a nagyfrekvenciás rezgés amplitúdójának, frekvenciájának vagy fázisának a „ráültetett" hangrezgés szerinti változtatását. A hosszú-, közép- és rövidhullámú adóknál általában az amplitúdómodulációt alkalmazzák.

A gyakorlatban a modulációt nem magában a rezgőkörben hajtják végre, hanem erősítő fokozatokat iktatnak közbe részben a teljesítmény növelése, részben a torzítások elkerülése miatt.



34. ábra.
a) a hangrezgésnek megfelelő feszültségingadozás (moduláló rezgés)
b) nagyfrekvenciás rezgés (vivőrezgés)
c) modulált rezgés
Ha pl. a vivőrezgés frekvenciája 540 kHz (ezen sugároz a Kossuth-adó), a hangrezgésé pedig 440 Hz (normál „a" hang), akkor a hangrezgés egy periódusára több, mint 1200 vivőrezgés jut!

3.5.2 A rádióvevő

Az adóállomások által kibocsátott hullámok a rádióvevő antennájában rezgéseket hoznak létre, amelyek közül vagy az antennának, vagy a hozzácsatolt rezgőkörnek a hangolásával választjuk ki azt, amelyik a venni kívánt állomástól származik. A rezgőkör hangolása a benne lévő kondenzátor kapacitásának változtatásával történhet ("forgókondenzátor"). Ha ezeket a modulált rezgéseket közvetlenül a fejhallgatóba vagy hangszóróba vezetnénk, az nem szólalna meg, mert a membrán tehetetlensége folytán a nagy frekvenciájú (és szimmetrikus) áramingadozásokat nem képes követni. Ezért demodulációt kell alkalmazni.

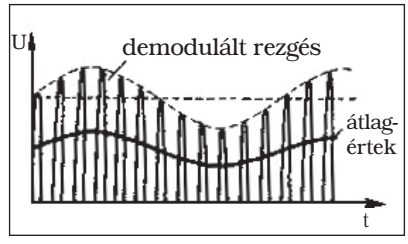
A legegyszerűbb esetben a vevő rezgőköréhez egy egyenirányító kristálydetektoron át csatlakozik a hangszóró. Az egyenirányított modulált rezgés már nem szimmetrikus, így a hangszóró membránja az ingadozások átlagértékének megfelelően fog mozogni, ez pedig éppen a hangrezgések frekvenciájának felel meg.

Az ilyen vevők, mivel minden energiájukat csak az antenna által felfogott hullámoktól nyerik, csak a közeli nagy adóállomások vételére alkalmasak.

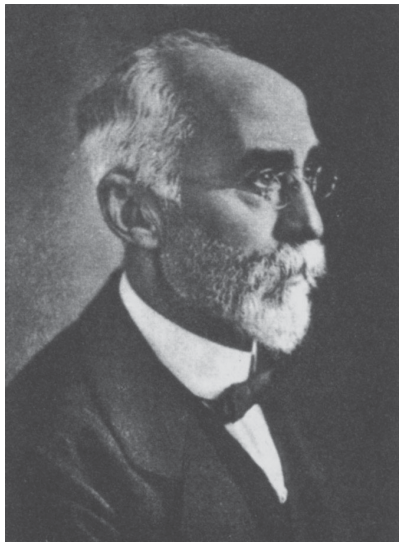
Az elektroncsöves (triódás) vevőben az antenna által vett modulált rezgések a trióda rácsáramkörének rezgőkörébe jutnak (ezt lehet hangolni), a rácsáramkör teszi aszimmetrikussá az anódáramkörben elhelyezett hangszóró számára. Mindkét típusú vevőben a hangszórót egy vele párhuzamosan kapcsolt kondenzátorral lehet csatlakoztatni a „maradék" nagyfrekvenciás rezgések leválasztására. Hangoláskor általában a rezgőkör forgókondenzátorának kapacitását változtatják, ezáltal teszik a rezgőkört a kívánt frekvenciájú rezgésre érzékennyé.

A modern készülékekben erősítőfokozatokat is építenek be és elektroncsövek helyett félvezetőkből készült diódákat és triódákat (tranzisztorokat) alkalmaznak.

← félvezetők XI.4.5.4
→ félvezetők XXII.



35. ábra. ***Az egyenirányított modulált rezgés***



47. ábra. ***Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928) holland fizikus***
A leideni egyetemen tanult fizikát és matematikát, 1878-tól ugyanott lett az elméleti fizika tanára. Atomi szintre alkalmazta a Maxwell-elméletet, ezáltal értelmezni lehetett pl. a fényelnyelési és -kibocsátási jelenségeket is. A kísérleti eredményekkel összhangban lévő magyarázatot adott arra is, miért változik meg a színképe a mágneses térbe helyezett atomoknak. Ezért az eredményéért kapott 1902-ben Zeemannal – a jelenség felfedezőjével – együtt Nobel-díjat. Széleskörű elméleti munkássága mellett ő készítette a Zuider-See kiszárításának tervét. A századforduló egyik legnépszerűbb és legnagyobb nemzetközi tekintélynek örvendő fizikusa volt.

3.6. A Lorentz-féle elektronelmélet

A Maxwell-elmélet makroszkopikus méretekben írja le az elektromágneses rezgések és az anyag kölcsönhatását. A különböző anyagok e szempontból lényeges tulajdonságait három állandóval jellemzi: a dielektromos állandóval, a mágneses permeabilitással és a vezetőképességgel. A különböző közegek optikai tulajdonságait, pl. a törésmutatót is ezekre az állandókra vezeti vissza. A Hertz-féle hullámokra az állandók közötti összefüggés jól teljesült, míg a fényre nem. Erről az eltérésről az elmélet nem tudott számot adni, mint ahogy arról sem, miért viselkedik másképpen ugyanaz a közeg a különböző frekvenciájú elektromágneses rezgésekkel való kölcsönhatásban – például miért bontja fel a prizma összetevőire a fehér fényt. A magyarázat abban rejlik, hogy a Maxwell-elmélet által használt három anyagállandó valójában nem állandó, hanem függ a frekvenciától: ezt viszont az anyag atomos szerkezetének figyelmen kívül hagyásával, makroszkopikus szinten nem lehetett megindokolni. Éppen ezért Lorentz a Maxwell-elméletet olyan értelemben fejlesztette tovább, hogy figyelembe vette az anyag szerkezetét is.

Lorentz elképzelése szerint az anyag elektromos töltéssel rendelkező részecskékből áll, amelyek rugalmasan vannak összekötve, vagy szabadon is elmozdulhatnak az anyagtól fajtájától függően. Ezek a részecskék hozzák létre az elektromágneses teret; az egyenletesen mozgó töltések a **statikus teret,** a gyorsuló töltések pedig az **elektromágneses hullámokat,** amelyeknek az anyagtól mentes **éter** a közvetítő közege. Egy „kívülről” érkező elektromágneses hullám és egy közeg kölcsönhatása abban áll, hogy az érkező hullám elektromágneses tere erőhatást gyakorol a közeg töltéseire, amelyeknek ennek hatására megváltozik a mozgásállapota, emiatt elektromágneses hullámokat keltenek. Ily módon az érkező hullámnak és ezeknek az elemi hullámoknak az eredőjét tapasztaljuk mint a kölcsönhatás eredményét. A Lorentz-elmélet tehát az egyes részecskékre alkalmazza a Maxwell-egyenleteket és nem a közeg egészére. Így a közegre jellemző anyagállandókat nem is használja, ezeket éppen az egyes részecskék viselkedésének bonyolult térbeli és időbeli átlagolásával, mikrofizikai jellemzőkből vezeti le. Ezzel a módszerrel sikerült Lorentznek megmagyaráznia azt a jelenséget, hogy ugyanaz az anyag másképpen viselkedik különböző frekvenciájú elektromágneses hullámokkal szemben (ezt a jelenséget nevezzük diszperziónak, azaz szórásnak). Ezzel megoldódott az a probléma, hogy miért nem teljesült minden esetben a Maxwell-elméletből következő összefüggés az anyagállandók között: a mágneses permeabilitást és a dielektromos állandót általában statikus terek (0 frekvencia) segítségével mérték, míg a törésmutatót fénnyel, vagyis nagyon nagy frekvenciájú elektromágneses hullámokkal. Tehát nem az elmélet volt rossz, hanem az összehasonlítás: nem összetartozó értékekkel számoltak.

Lorentz elméletében igen fontos szerepe van az elektromágneses tér által a töltésekre kifejtett erőnek, hiszen ez okozza mozgásállapotuk megváltozását, ami a hullámok kibocsátását eredményezi.

Egy q töltésű testre – így egy részecskére is – az $\mathbf{E}$ térerősségű elektromos mező

$$\mathbf{F} = q\,\mathbf{E}$$

erőt fejt ki.

Mi a helyzet a mágneses mezővel? Csak áramok, illetve mozgó töltések keltenek mágneses mezőt és csak mozgó töltések lépnek kölcsönhatásba vele. (Azt, hogy nem csak az áramok, hanem mechanikai úton mozgatott töltések is keltenek mágneses mezőt, már 1876-ban kísérletileg igazolták.) Ezért az áramátjárta vezetőre mágneses mezőben erő hat, amelynek nagysága, ha a vezető merőleges az erővonalakra, és a mező homogén:

$$F = BIl.$$

Ez az erő abból ered, hogy a vezetőben mozgó töltésekre külön-külön hat a mágneses mező és ezeknek az eredője a fenti erő. Képzeljük el mármost, hogy az „áramot” az jelenti, hogy egyetlen q töltésű részecske halad végig v sebességgel az l hosszúságú szakaszon! Ekkor az „áramerősségnek” a q töltés nagyságának és az l szakasz megtételéhez szükséges időnek a hányadosa felel meg. Ezt a q/t hányadost az I helyébe beírva, az alábbi összefüggést kapjuk:

$$F = B\frac{q}{t}l = Bq\frac{l}{t} = Bqv$$

Az erő iránya, éppen úgy, mint az áramátjárta vezető esetében, merőleges mind a mágneses indukció irányára, mind a sebességre. Ha a sebesség nem merőleges az indukció irányára, akkor természetesen csak az arra merőleges komponensével kell számolni.

Ha a sebesség merőleges a mágnesen indukcióra, akkor az erő is az lesz, így a részecske a mágneses mezőben körpályán mozog. Általános esetben a pályavonal egy spirál lesz.

HOGYAN MOZOG EGYETLEN ELEKTRON?

→ a kvantummechanika válasza XXI.

Miért nevezik Lorentz elméletét elektronelméletnek?

Már az elektrolízis Faraday által feltárt törvényeiből egyértelműen kiderült (bár maga Faraday óvatos volt), hogy a töltésnek létezik egy legkisebb, elemi egysége. Ennek – akkor még csak feltételezett – hordozóját nevezték el az 1870-es években elektronnak. A katódsugárcsővel végzett kísérletek alapján 1897-ben sikerült egyértelműen bebizonyítani, hogy a katódsugárzás nagyon kis tömegű, negatív töltésű részecskékből áll, amelyek töltése éppen akkora, mint a Faraday-féle törvények alapján jósolható érték. Tehát az elektron valóban létezik. Így az anyagot alkotó atomokat úgy lehetett elképzelni, mint pozitív töltésű ionok és hozzájuk képest nagyon kis tömegű negatív elektronok rendszerét, amit Lorentz elméletével – legalábbis az elektromágneses kölcsönhatás vonatkozásában – pontosan le lehetett írni. Valójában Lorentz elektronelmélete előbb született, mint az elektron létezésének kísérleti bizonyítéka.

← elektrolízis XI.4.5.2

← katódsugárcső-kísérlet XI.4.5.3

← Thomson „mazsolás puding”-modellje XI.4.5.3

3.7. Az elektromágneses színkép

A XIX. század elején háromféle sugárzást ismertek a kutatók: az infravöröst (hősugárzás), az ultraibolyát és természetesen a látható fényt. Lorentz bizonyította, hogy a fény éppúgy elektromágneses hullám, mint a Hertz által előállított és később rádióhullámoknak nevezett elektromágneses hullámok.

3.7.1 Az infravörös sugárzás

1801-ben Herschel felfedezte, hogy ha egy bekormozott hőmérőt végigvisz a Nap prizmával előállított színképén, akkor a hőmérő egyre magasabb hőmérsékletet mutat. Sőt, a vörös szín után, ahol már semmit sem látunk, tovább nő a hőmérséklet, és csak nagyobb távolságban csökken újra. Ezzel bizonyította az infravörös sugarak létezését, továbbá a hullámelmélet alapján azt is, hogy hullámhossza nagyobb, mint a vörös fényé. Az üvegprizmában történő törés azonban csak a vörös fénynél alig nagyobb hullámhosszú infravörös sugárzás hullámhosszának mérésére alkalmas, mert a többit az üveg elnyeli. Jobb eszköz a kvarcból vagy kősóból készült prizma, de az igazán alkalmas eszköz a Fraunhofer által ajánlott, párhuzamos finom huzalokból kifeszített optikai rács volt. Az eddig ismert leghosszabb hullámú infravörös sugárzás a higanylámpa fényében talált 420 μm-es. Így az infravörös tartomány terjedelme: $\lambda = 0{,}76\ \mu m – 420\ \mu m$.

← üvegházhatás VIII.2.4.1

→ üvegházhatású gázok termelése XXIX.

← optikai rács XI.3.3.2

3.7.2 Az ultraibolya sugárzás

Szintén 1801-ben mutatta ki Ritter, hogy az ezüstnitráttal bevont lemez nem csak látható fény hatására feketedik meg, hanem akkor is, ha a Nap színképének ibolya felőli végén túl helyezi el (természetesen úgy, hogy látható fény ne érje). Tehát az ultraibolya sugárzás is hasonló természetű, mint a fény és hullámhossza az ibolyáénál is kisebb. A hullámhossz mérésénél hasonló nehézségek adódtak, mint az infravörös sugárzásnál, mert a kb. 0,2 μm-nél kisebb hullámhosszú ibolyántúli hullámokat a legtöbb anyag, így a levegő is rövid úton elnyeli. Ezért a prizmát vákuumba kell helyezni és a sugárzás kimutatására is csak speciális fényképező lemezek használhatóak. Tovább növelhető a vizsgált tartomány olyan optikai rácsok használatával, amelyeken nem átmegy a sugárzás, hanem visszaverődik (reflexiós rács). Az ultraibolya tartomány terjedelme: $\lambda = 0{,}01\ \mu m - 0{,}38\ \mu m$, azaz több, mint 5 oktáv.

← ózonpajzs szerepe VIII.2.3

← a freon hatása XII.3.3.2

→ környezetszennyezés XXIX.

→ mutagén hatás XXIII.

A fotokémiai hatáson kívül az ultraibolya sugárzásnak számos más hatása is van, pl. egyes anyagok fluoreszkálnak tőle, de bőrünk is e sugárzásnak köszönhetően barnul.

← D-vitamin képződése XIII.4.1.2
→ XVIII.2.3.1

3.7.3 Rádióhullámok

Elektromos vagy inkább rádióhullámoknak azokat a hullámokat nevezik, amelyeket Hertz állított elő a Maxwell-törvények kísérleti igazolásához. Ilyen hullámokat – elvileg hasonlóan ahhoz, ahogyan Hertz is tette – elektromos rezgőkörökkel vagy oszcillátorokkal lehet kelteni. A létrehozott sugárzás frekvenciáját és így hullámhosszát is a rezgőkör adatai, ill. az oszcillátor méretei határozzák meg. A legrövidebb rádióhullámok hullámhossza kb. 0,1 mm, és hullámhossztartománya egészen a végtelenbe nyúlik. A 0 frekvenciájú hullámnak ilymódon a sztatikus elektromos, ill. mágneses tér, vagyis az egyenáram által létrehozott tér felel meg. A különböző hosszúságú rádióhullámok eltérő terjedési tulajdonságokat mutatnak. Eszerint a rádióhullámokat különböző tartományokra osztották:

← rezgőkör XV.2.4.5

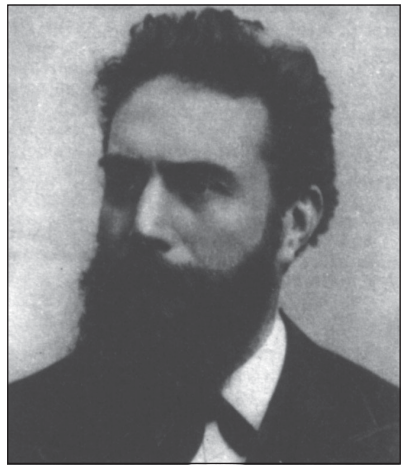
HULLÁMHOSSZ-TARTOMÁNYOK

hosszúhullámok	$\lambda < 1000$ m	$\nu < 300$ kHz
középhullámok	$\lambda \approx 1000$ m – 200 m	$\nu \approx 300$ kHz – 1,5 MHz
átmeneti hullámok	$\lambda \approx 200$ m – 100 m	$\nu \approx 1{,}5$ MHz – 3 MHz
rövidhullámok	$\lambda \approx 100$ m – 10 m	$\nu \approx 3$ MHz – 30 MHz
ultrarövid hullámok	$\lambda \approx 10$ m – 1 m	$\nu \approx 30$ MHz – 300 MHz
mikrohullámok	$\lambda < 0{,}3$ m	$\nu \approx 1000$ MHz (=1 GHz)

A hosszúhullámok nagyrészt felületi hullámként terjednek, tehát követik a Föld görbületét. Ezért ezekkel a hullámokkal átlagos teljesítményű rádióadókkal és -vevőkkel több ezer km is áthidalható. A középhullámok néhány száz km távolságig felületi hullámként is terjednek, de térhullámként (azaz egyenes vonalban) is. Ezek a hullámok az ionoszféráról visszaverődnek, ebben az esetben ez teszi lehetővé a nagyobb távolságra való eljutásukat. A rövidhullámok terjedésében csak a térhullámok játszanak jelentős szerepet, hasonlóan az ultrarövid hullámokhoz. Az utóbbiak viszont az ionoszférán áthatolnak, ezért a Földön nagyobb távolságra csak magas helyen elhelyezett antennával juttathatók el (pl. műholdakról). A mikrohullámok terjedése a fényéhez hasonló.

← ionszféra (=termoszféra) VIII.2.3

3.7.4 A röntgensugárzás



49. ábra. ***Wilhelm Conrad Röntgen (1845–1923)***
Gépészmérnöki diplomát szerzett a Zürichi Műszaki Egyetemen, de hamarosan fizikával kezdett foglalkozni. Különböző német egyetemek után nyugdíjba vonulásáig a Müncheni Egyetem professzora volt.

Mint annyi más fizikus a XIX. század utolsó harmadában, Röntgen is foglalkozott a katódsugárzás vizsgálatával. Véletlenül vette észre, hogy ahányszor a kisülési csövet bekapcsolja, a közelben elhelyezett fluoreszkáló só élénken világít, annak ellenére, hogy semmiféle látható fény és a katódsugarak sem érhették közvetlenül. Röntgen érdeme, hogy első megfigyelésétől számítva – 1895 novembere – igen kiterjedt vizsgálatsorozat eredményeképpen egy hónap alatt megállapította az ismeretlen, új sugárzás összes lényeges tulajdonságát.

→ a radioaktív sugárzás fölfedezése XXI.

← felhasználása a biológiában pl. XIII.5.2

→ felhasználása a kémiai szerkezetkutatásban XII.8.3.5

→ kozmikus sugárzás XXVIII.

Summa – a fizika a századfordulón

Az elektromos és mágneses jelenségekről szerzett ismereteket a Maxwell-elmélet foglalta egységes keretbe, és kapcsolta össze az optikával. A Maxwell-elmélet először megjósolta, majd Hertz kísérletileg igazolta az elektromágneses hullámok létezését, amelyeknek a fény egyik fajtája. Az elektromágneses hullámok azonos természetűek, ám frekvenciájukban és hullámhosszukban különböznek egymástól. Hordozójuk az éter. A fizika és kémia eredményei alapján a XIX. század végére az az elképzelés alakult ki, hogy az anyag negatív töltésű elektronokból és pozitív ionokból áll, és az elektromágneses hullámok az elektromos töltés révén tudnak kölcsönhatásba lépni az anyaggal.

Ajánlott irodalom

John D. Barrow: A fizika világképe, AKADÉMIAI KIADÓ, 1994
John Gribbin: A tudomány története, AKKORD, 2004
Füstös László–Huszár Miklós: Maxwell, GONDOLAT, 1968

Kérdések, problémák

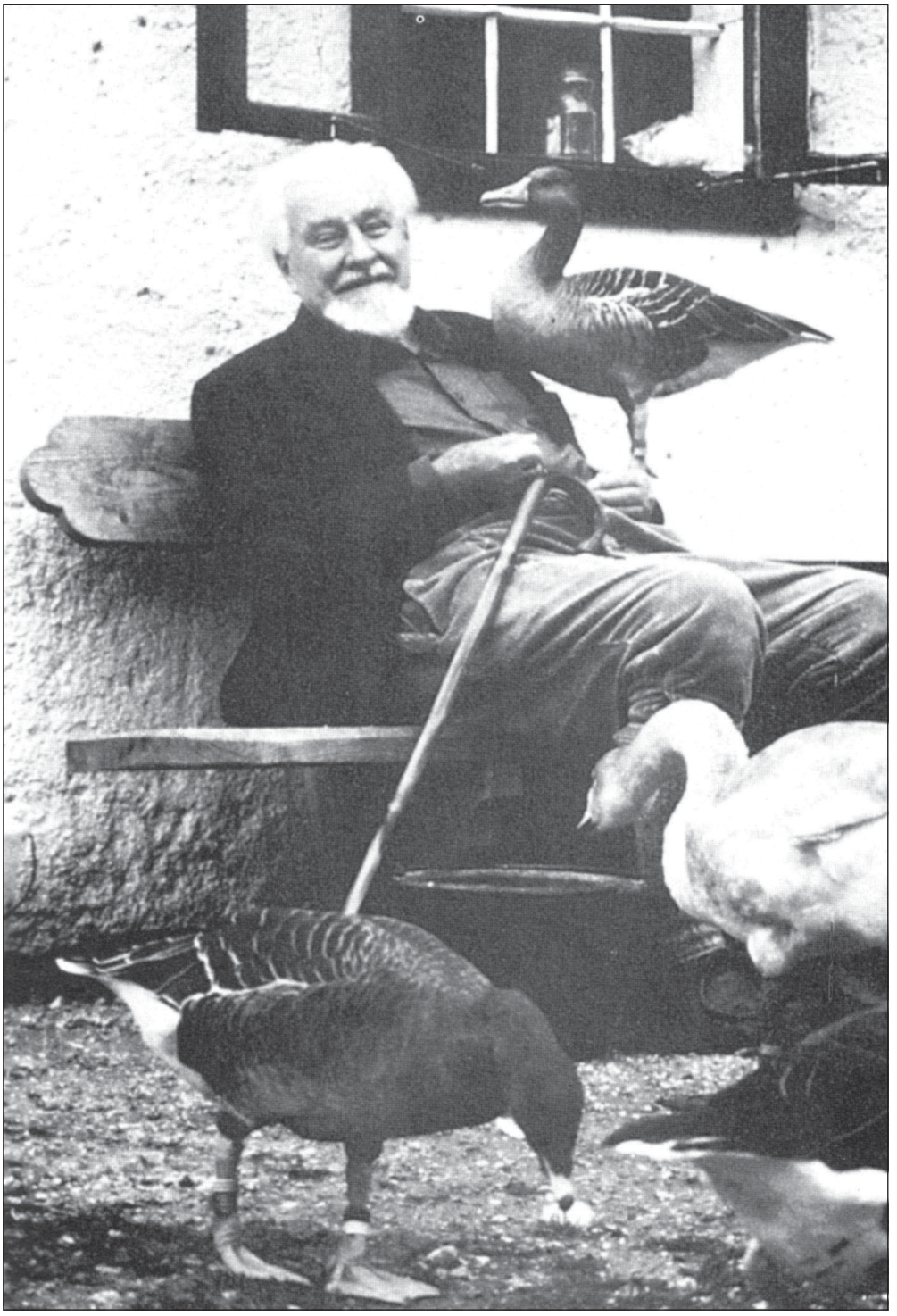
1. Magyarázza meg, hogy a Lenz-törvény miért az energiamegmaradás törvényének következménye!
2. Az áramátjárta vezetők vonzzák egymást. Nem okoz-e problémát a távvezetékek esetében?
3. A transzformátoházakból állandó zúgást hallani. Miért?
4. Mit változtatunk, amikor a rádió állomáskeresőjét forgatjuk?

5. Ha a TV-képcsőhöz egy mágnest közelítünk, a kép eltorzul. Miért?

6. Ma rengeteg olyan technikai eszközt használunk, amelyek a különböző elektromágneses hullámok felhasználásával működnek. Nevezzen meg néhányat! Az elektromágnese színkép melyik tartományát használják?

7. Miért vált elfogadottá az éter létezése, annak ellenére, hogy a Maxwell-elméletnek nem volt szüksége erre a feltevésre?

XVI. ÉSZ ÉS ÖSZTÖN (PSZICHOLÓGIA, ETOLÓGIA)



Csuang-ci egyszer Hui-civel a Hao gátján sétálgatott, s így szólt:
– Milyen vidáman ugrándoznak a vízből ezek a pisztrángok! Ez a halak boldogsága.
Hui-ci így felelt:
– Te nem vagy hal, honnan tudod tehát, mi a halak boldogsága?
Csuang-ci ezzel viszonozta:
– Te nem vagy én, honnan tudod tehát, hogy én nem tudhatom, mi a halak boldogsága?
Hui-ci azt felelte:
– Én nem vagyok te, ezért valóban nem tudhatok rólad mindent. De te valóban nem vagy hal, tehát bizonyos, hogy te sem tudod, mi a halak boldogsága.
Csuang-ci erre azt mondta:
– Kérlek, térjünk vissza az alaphoz. Te azt mondtad, honnan tudom én, mi a halak boldogsága. Tehát már tudtad, hogy én tudom, s ezért kérdezted meg tőlem. Nos, hát itt tudtam meg a Hao partján.

Csuang-ci: Az őszi áradás
(Tőkei Ferenc fordítása)

1. A kísérleti pszichológia

1.1 Útkeresés

„A pszichológia múltja hosszú, története rövid” – írta egy neves pszichológus. E mondással arra utalt, hogy a lélek természete ősidők óta foglalkoztatja az emberek fantáziáját, de *nem úgy*, ahogy a mai pszichológusokét. A lélektan az ókorban és a középkorban a **filozófia** és a **teológia** része volt. „Istent és a lelket kívánom megismerni!” – írta Augustinus (Beszélgetés önmagammal). A lélek megismerése tehát *eszköz* volt arra, hogy ezen át az ember Istennel kerüljön kapcsolatba. A lélek hibáinak – a bűnöknek – az ismerete pedig azért volt fontos, mert ezek választanak el Istentől.

Az önállósuló újkori filozófia Istenben egyre inkább valamilyen elvont igazságfogalmat látott, a „kapcsolatteremtést” pedig az igazság megismerésével azonosította. A lélek továbbra is eszköz maradt, de immár a megismerés eszköze. Hibáit sokan már nem bűnnek tartották, hanem tévedések forrásainak. A lélek sokféle feladata közül mind a racionalisták, mind az empirikusok a megismerőképességet tartották az igazán fontosnak, hiszen a filozófusokat-természettudósokat ennek eredménye, az *ismeret* érdekelte. Annak a kérdésnek az eldöntéséhez például, hogy mi a színek valódi természete, foglalkozni kellett azzal a kérdéssel is, hogy miképp döntsünk a színtévesztők, a glaukómában szenvedők és a „normál” látásúak eltérő érzetei között. Ez egyrészt fizikai – optikai – kérdés (mert a fény természete érdekel), másrészt filozófiai – ismeretelméleti – probléma (mert a tévedésektől való megszabadulás *módszere* érdekel). Kant filozófiája tette világossá, hogy az ismeretszerzés módja egyáltalán nem választható el a megismerőtől, egyrészt annak korlátai, másrészt pedig aktivitása miatt. A lélek nem passzív befogadó, mint egy viasztábla, hanem maga teremti világát, mint egy alkotóművész. „Hibáit” nem lehet egyszerűen kijavítani: számolni kell velük.

← Kant a megismerésről VII.5

Ez a szemléletváltozás adta a döntő lökést a lélektan önállósulásához. A mai értelemben vett **pszichológia** akkor született meg, amikor a lélek a megismerés *eszközéből* a megismerés *tárgyává* lépett elő. A lélek figyelme ebben az esetben tehát nem kifelé fordul, hanem befelé: önmagát kívánja megismerni. E megismerés eszközeként pedig alkalmazza mindazokat a módszereket, technikákat, melyek korábban a természettudományok más ágaiban már beváltak, mint például a tervszerű kísérletezés és a mérés. A modern pszichológia **kísérleti tudomány**. Születése a XIX. századhoz, Fechner és Wilhelm Wundt nevéhez köthető. 1896-ban megjelent könyvében Wundt a következő meghatározását adja a lélektannak:

A PSZICHOLÓGIA SZÜLETÉSE

„… nincs egyetlen természeti jelenség se, a mely megváltozott szempontból psychológiai vizsgálódás tárgya is ne lehetne. Egy kő, egy növény, egy hang, egy fénysugár, mint természeti jelenségek az ásvány-, növény-, állattan stb. tárgyai. De a mennyiben e természeti jelenségek képzeteket keltenek bennünk, egyúttal a lélektannak is tárgyai, mely e képzetek előállási módja felől számot igyekszik adni. (…) Ebből kitűnik, hogy e kifejezések: külső és benső tapasztalat, nem különböző tárgyakat, hanem különböző szempontokat jelölnek. (…) E szempontok azonban nagyon közel fekvőkké válnak azáltal, hogy minden tapasztalat közvetlenül két tényezőre oszlik: tartalomra, mely nekünk adatik és e tartalomnak általunk eszközölt felfogására. E tényezők közül az egyik (…) a természettudományi irányzat: ez a tapasztalat tárgyait az alanytól függetlennek gondolt mivoltukban tekinti. A másik a lélektani: ez a tapasztalat összes tartalmát az alanyhoz való vonatkozásaiban (…) vizsgálja.”

Wundt: A lélektan alapvonalai (1898) – Rácz Lajos ford.

→ inger és ingerületi állapot XVIII.3.1.2

← az érme két oldala (Spinoza) VII.3.3

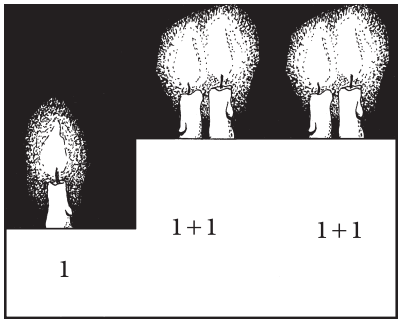
A XVI. fejezet címlapképe.
Konrad Lorenz libáival
Lorenz elmélyült figyelemmel és nagy szeretettel vizsgálta az állatok viselkedését. Ezért érezhette úgy, hogy a bölcs Salamon királyhoz hasonlóan képes megérteni az állatok beszédét.

1.2 Pszichológia a laboratóriumban

1.2.1 Az érzetek erőssége

ÖNMEGFIGYELÉS

Ha a lélektan nem a „külvilág” tárgyaival, hanem ezek belső képével, az érzetekkel (képzetekkel) foglalkozik, logikus feltevés, hogy ezen érzetekről csakis az a személy tudhat, *aki érzi* őket. Így aztán – vonja le a következtetést Wundt – e tudomány csakis **önmegfigyelésre** (introspekcióra) épülhet. A cél tehát: kísérleti úton (laboratóriumban) vizsgálni a fizikai hatások (például fényerősség) és a kísérleti személy érzetei (a fényérzet) közti összefüggést. Élményeiről az illető szóban is beszámolhat, vagy egy műszer – például elforgatható kar – segítségével közvetett úton jelezheti tapasztalatait. Pszichikai törvényszerűségeket úgy állapíthatunk meg, ha egy személlyel nagyon sok kísérletet végzünk el. Ezzel kiszűrhető a fáradságból, izgatottságból eredő véletlenszerű ingadozás, s a változatlanul maradó összefüggés, valamiféle „lelki állandó” kirajzolódik a szemünk előtt. A kísérletezést sok személyre hasonlóképpen kiterjesztve az ember általános lelki jellemzőit is felderíthetjük.



1. ábra. ***A Fechner-törvény szemléltetése***

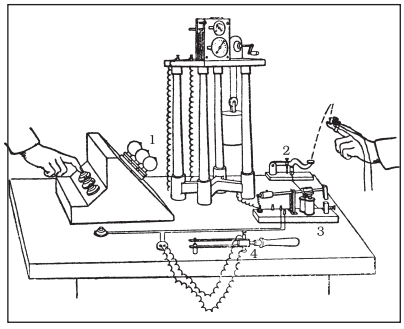
Ha egy égő gyertya mellé egy másikat állítunk, a fényerősség kétszeresére növekszik. Ahhoz azonban, hogy a fényérzet legyen kétszeres, 2^2, tehát négy gyertyát kell gyújtani.

Az egyik első számszerű pszichikai törvény megfogalmazása a német Theodor Fechner (1801-1887) nevéhez fűződik. Fechner mérései szerint „az átélt intenzitás a fizikai inger logaritmusával arányosan nő”, azaz például ahhoz, hogy a világosságot 2-szer, 3-szor, 4-szer nagyobbnak érzékeljük, 2^2-szer, 2^3-szor, 2^4-szer akkora fényerő szükséges.

Fechner-féle összefüggést a mai kísérleti eszközök segítségével már többször módosították. Megállapították például, hogy az összefüggés az inger minőségétől is függ: más a fény, a hang és a tapintásérzék esetén. Ezek a vizsgálatok később nagy lendületet adtak az érzékszervek működését vizsgáló idegélettani kutatómunkának.

1.2.2 A reakcióidők

A korabeli pszichológiai laboratóriumok másik kedvelt eljárása a **reakcióidők** mérése volt. A reakcióidő valamely inger és az arra adott válasz közt eltelt időtartam. Nagysága gyakorlati szempontból is fontos lehet. Nem mindegy például, hogy a buszvezetők reakcióideje hogyan változik egy nap vagy egy év során, hogyan befolyásolják különböző anyagok (koffein, alkohol, gyógyszerek vagy éppen az időjárási frontok).



2. ábra. ***Reakcióidő-mérésekhez szükséges eszközök egy 1930-as német pszichológia-könyvből***

1. Lámpák optikai ingerek számára
2. Reakciós billentyű
3. Elektromos kalapács hangingerek számára
4. Nyomásingerek adására szolgáló eszköz. Az asztalon igen pontos óra áll. A kísérleti személy ujján egy kis lámpát helyeztek el, ami megkönnyíti a reakciós mozgás fényképezését is.

Noha kezdetben úgy látszott, hogy e rendkívül pontos kísérletek inkább unalmasak lesznek, mint érdekesek, a módszer néha váratlan módon a lélek legsajátosabb működéseire is fényt vetett. Így például a fogalmi gondolkodásban: milyen kapcsolatban állnak egymással a konkrét és az elvontabb fogalmak (pl. kanári – madár – állat)? A kísérleti személyek feladata az volt, hogy a megfelelő gomb lenyomásával válaszoljanak olyanfajta kérdésekre, hogy „Állat-e a vörösbegy?”, „Madár-e a kanári?”, „Hal-e a cinke?”, Hal-e a hal?”. Az eredmények értékeléséhez feltételezték, hogy a fogalmak hierarchikus (alá- és fölérendelt) viszonyban állnak egymással. Jellemezzük két fogalom „távolságát” e rendszerben azon lépések számával, melyek ahhoz szükségesek, hogy az egyik fogalomtól a másikig eljussunk! Noha e modell primitívnek látszik, a tapasztalatok mégis azt mutatták, hogy használható. Kiderült, hogy a „távolság” minden egységének megtételéhez körülbelül 75 ezredmásodperc időre van szükség, tehát körülbelül ennyivel válaszolunk lassabban arra a kérdésre, hogy állat-e a cápa, mint arra, hogy hal-e a cápa. Két szint átlépése 150 ezredmásodpercet igényel és így tovább. Noha „bonyolultabb” esetekben (pl. „Úszik-e a vadkacsa?”) a

modell ebben az egyszerű formájában már nem működik, a reakcióidőmérés módszere mégiscsak alkalmas volt arra, hogy kísérletileg támasszon alá egy, az elme működését leíró elképzelést.

1.2.3 A memória működése

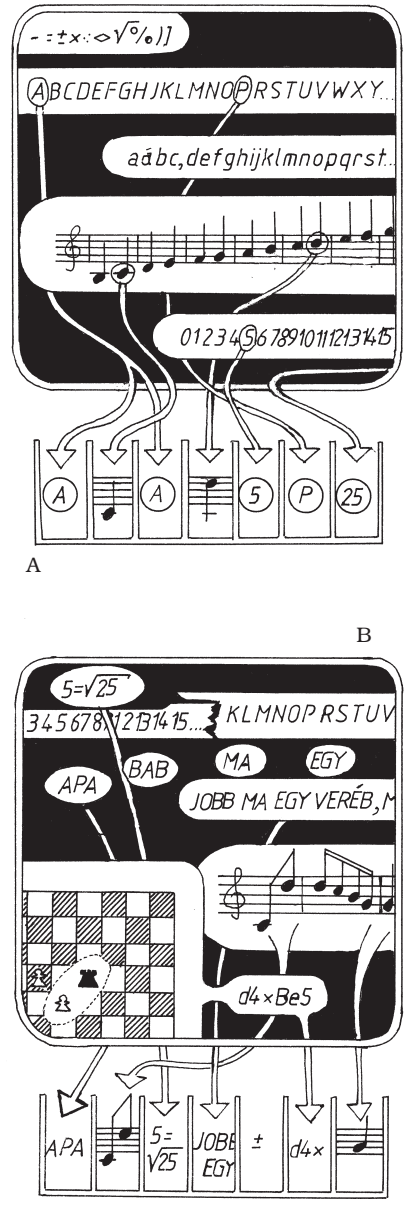
A lélektani laboratóriumokban sokat foglalkoztak a memória mérhetővé tételének kérdésével is. E kísérletekben azt vizsgálták, hogy szavakat vagy szótagokat milyen számban és mennyi ideig képes fölidézni az ember. Eredetileg rövid, értelmetlen szótagokat alkalmaztak (pl: zak, pir, kot) hogy a kísérleti személy lehetőleg ne tudjon köztük logikai összefüggést találni. Arra az eredményre jutottak, hogy rövid távon – néhány percig – kb. 7 (+-2) ilyen egységet tudunk biztonságosan felidézni. Az eredmény – érdekes módon – csaknem független volt attól, hogy a szótagokat milyen időközönként halljuk. Még különösebb, hogy a vizsgált egység lehet betű, szám, szótag, szó, sőt ismert mondás (pl. szállóige, idézet) is: a „bűvös hetes szám" mindezekre érvényes. Kimutatható, hogy ha a teljesítmény ennél jóval nagyobb – pl. 10-12 szó – akkor a kísérleti személy kapcsolatot tudott létesíteni 4-5 szó között, s ezeket már mint összetett egységeket (Locke szóhasználatával: összetett ideákat) jegyezte meg. Például a KARÁCSONY, PÉK, LIBA, RITMUS, FENYŐ, PÓK, FA, HIDEG, ALABÁSTROM, MELEG szavakból nem nehéz a KARÁCSONY-FENYŐ-FA fogalomhármast gondolati, a PÉK-PÓK párost hangzásbeli hasonlósága alapján, a HIDEG-MELEG szópárt pedig ellentétessége miatt összekapcsolni, s így a megjegyzendő elemek számát csökkenteni. A korlátozott kapacitású **rövid távú memóriától** e kísérletek alapján elkülöníthetjük a **tartós (hosszú távú) memóriát**, mely nagyszámú összetett képzet tárolására képes gyakran évekig (vagy akár egy életen át). A rövid távú memória a tartós emlékezetnek ezen készletéből is „válogathat". Az emberek közti gondolkodásbeli különbségek nem kis részben arra vezethetők vissza, hogy mennyire összetett elemekből (sémákból) áll a tartósmemória-készletük. A sakkmester és a kezdő sakkozó átlagosan ugyanannyi ideig gondolkodik egy-egy lépés között, a mester azonban jobbakat lép. Ő ugyanis nem egyes lépések, hanem bonyolult gondolati sémák között dönt (például arról, hogy a szicíliai vagy a királyindiai védelmet alkalmazza-e). A lehetőségek tehát értelmes egységekbe rendeződtek a fejében. Kísérletek szerint egy tényleges sakkjátszma állásának rövid tanulmányozása után a mester nagy biztonsággal újra fel tudja idézni az állást, a kezdő nem. Ha azonban a bábuk helyzetét véletlenszerűen (pl. dobókocka segítségével) határozták meg, teljesítményük nem különbözött lényegesen.

Már egyszerű kísérleti eredmények is arra utalnak, hogy a megjegyzés összetett folyamat: **rögzítésre, tárolásra és felidézésre** bontható.

Egyszerű kísérlet, mely a rögzítés és a felidézés közti különbséget bizonyítja.

A	F	K
B	T	E
H	O	M

Ha a négyzetben látható 9 betűt rövid ideg felmutatjuk egy kísérleti személynek, az többnyire nem tudja felsorolni az összeset. Azokra a kérdésekre viszont, hogy az egyes sorokban külön-külön milyen betűk voltak, általában helyes választ ad.



A

B

3. ábra. ***A tartós és a rövid távú memória „tartály-modellje"***

A tartály kapacitása véges (kb. 7 elem), a befogadott elemek minősége viszont eltérő lehet (betűk, szavak, képletek, évszámok, akár egész versek is). A sötét négyzet a tartós, a 7 rekeszes egység (R) a rövid távú memóriát jelképezi. Az A esetben elemi egységek (betűk, hangok), a B esetben összetett egységek (dallamok, összefüggések) kerülnek a memória „tartályba".

TAGOLTSÁG ÉS EMLÉKEZET

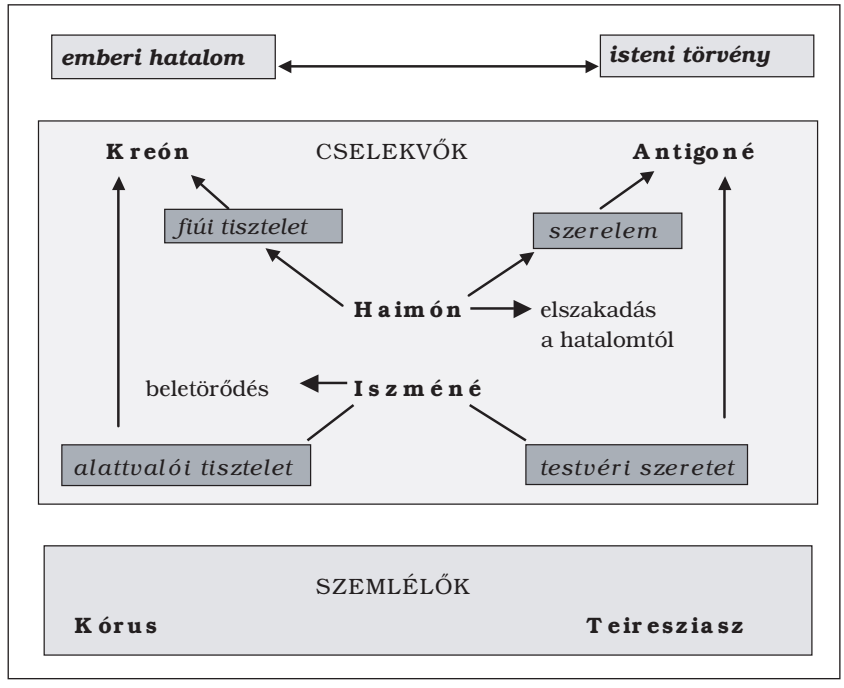
→ memória-modellek XVIII.3.5.1

Az emlékezőképesség fejlesztését szolgáló gyakorlatok (memotechnika) részben a rögzítés, részben a felidézés megkönnyítését szolgálják. Régi tapasztalat, hogy a **tagoltság** *könnyíti a megjegyzést*. A színdarabok első és utolsó jeleneteiben elhangzottakra mindenki jobban emlékszik, mint a darab közepére (Jost-elv). Következésképpen egy megfelelően tagolt szöveget (fejezetcímek, vastag betűk, aláhúzások, bekezdések) könnyebb megjegyezni, mint a tagolatlant, hiszen így a szövegen belül hozunk létre „kezdeteket és végeket". A jegyzetkészítés a lényegkiemelésen kívül szintén az erős tagolással segíti a megjegyzést (és megértést). A rögzítést és a felidézést egyaránt megkönnyíti a **helyhez kötés** módszere (az ókorban „szamárhídnak" csúfolták). Eszerint a megjegyezni kívánt fogalmakat a kívánt sorrendben egy jól ismert hely – például szobánk vagy kezünk – részeihez kötjük, s felidézés során a *kép alapján* jutnak eszünkbe a fogalmak. Ezzel a módszerrel egyes „emlékezőművészek" szinte hihetetlen teljesítményre képesek.

BLOKKDIAGRAM

→ gondolati sémák XVI.3.3

A folyamatok vagy történetek lényegét ábrázoló blokkdiagram szintén térben elrendezett rajz. E módszer ugyan elvontabb gondolkodást igényel, viszont a puszta felidézésen kívül az összefüggések megértését is elősegítheti. Egy-egy nyíl vagy szín egy tömör kulcsszóval egészen bonyolult gondolatsorok, sémák felidézésére képes.



4. ábra. ***Az Antigoné cselekményét és konfliktusait felidéző blokkdiagram***

1.2.4 A lélek „térképe" Wundt szerint

→ VII.4
← VII.5

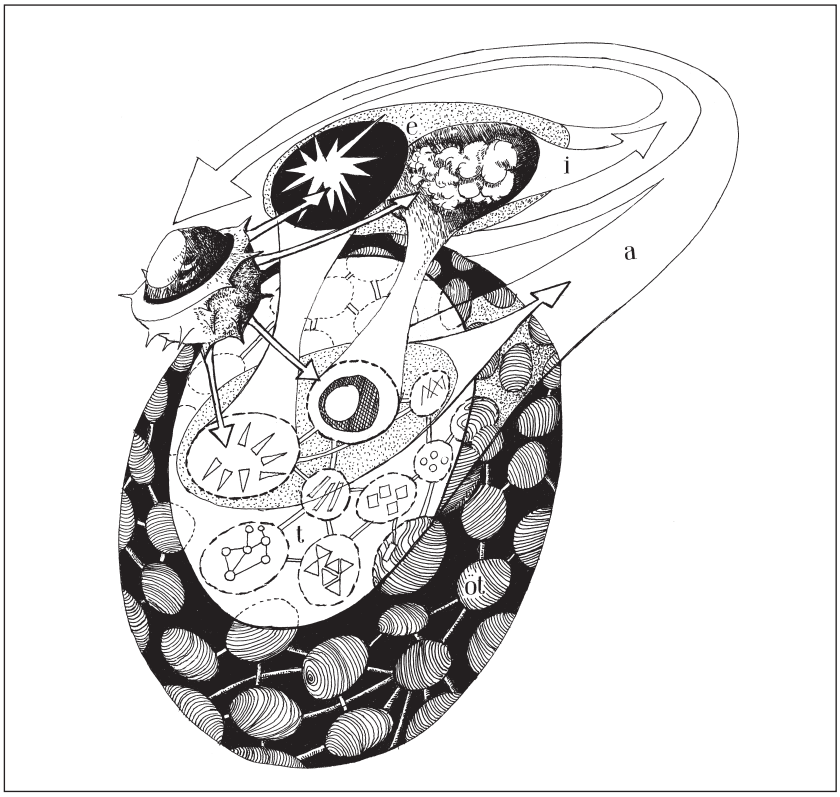
→ a látás folyamata XVIII.3.3.1–8

Wundt pszichológiája részben az angol **empiristák** (Locke, Hume) **asszociáció-tanára**, részben a német felvilágosodás hagyományaira (Kant) támaszkodik. Az asszociáció-elméletből azt vette át, hogy a legbonyolultabb képek és fogalmak is visszavezethetők elemi érzetekre (fénypontokra, hangokra stb.). Szembefordult viszont azzal az elképzeléssel, hogy az „ideák" (képzetek, érzelmek) merev és változtathatatlan egységek lennének, melyekből mozaikképként áll össze a bonyolultabb forma. „*A psychikai té-*

nyek események, nem pedig tárgyak, azok, mint minden esemény, időben folynak le, s a következő pillanatban már nem ugyanazok, a mik a megelőzőben voltak. Ebben az értelemben az akaratfolyamatok typikus, az összes lelki folyamatok felfogására nézve irányadó jelentőséggel bírnak" – írja (A lélektan alapvonalai). A lelki folyamatokat – Wundt szemléletmódja szerint – nem annyira mozaikösszerakáshoz, mint inkább egy elágazó folyóhoz hasonlíthatjuk, melyben az egyes érzetek és érzelmek kis patakok. Ezek forrása ugyan a „külvilág", folyásirányukat és sebességüket viszont már a „lelki táj" természete, elsősorban az indulatok és az akarat szabja meg.

Wundt leírása szerint az **elemi képzetek** (színek, hangok, szagok stb.) mellett mindig keletkeznek **elemi érzelmek** is: kellemetlen vagy vonzó, izgató vagy megnyugtató hatások stb. A vörös szín pl. önmagában is izgalmat „vált ki", pontosabban: *miközben* tapasztaljuk a vörös színt, *egyidejűleg* tapasztaljuk az izgalmi állapotot is. Az elemi érzelmek aztán szintén asszociálódhatnak egymáshoz és az érzetekhez is. A c, e, a hangok például külön-külön egyszerű érzelmeket, a c-e-a akkord meghallása viszont összetett érzelmet kelt. Wundt azonban figyelmeztet: az elemi érzelmek egyszerű összeadásából éppúgy nem lehet levezetni az összetett érzelmet, ahogyan egy vegyület tulajdonságait sem adhatjuk meg azzal, hogy fölsoroljuk az őt alkotó elemek tulajdonságait. Az összetett rendszer az összetétel során új tulajdonságokat nyer. A c, e, a hangok közül például önmagában egyik sem lehet disszonáns vagy konszonáns, együtt azonban már igen.

Az érzelmek – miként az érzetek is – változóak. Ha valakinek rálépnek a lábára, nemcsak fájdalomérzete, de kedélyállapota is viharos gyorsasággal változik meg. Zenehallgatás közben valósággal „hullámzanak az érzelmeink". Wundt a különösen feltűnő lefutású érzelmeket nevezi **indulatoknak**. Az indulatok jellemzője az is, hogy testi változások, izommozgások





5. ábra. ***a) Wilhelm Wundt (1832–1920), a kísérleti pszichológia első nagy alakja***
b) A lelki folyamatokat jelképező séma Wundt elmélete szerint
A külvilágot jelen esetben egy vadgesztenye képviseli. Ez egyszerre vált ki elemi képzeteket (pl. a tüskék alakja) és ehhez kapcsolódó érzelmeket – é – (pl. a szúrás okozta fájdalom, ijedtség). Az érzelmek keltette cél nélküli indulatoktól (i) meg kell különböztetni a tudatos mozzanatokat is tartalmazó és a kiváltó ingerre irányuló akaratot (a). A lelki tartalmaknak egy része tudatos (t), más részük éppen nincs kapcsolatban velük, ezek tudattalanok (öt).

formájában a külvilág számára is egyértelművé válnak (az illető elvörösödik vagy elsápad, elfintorodik, öklével az asztalra csap, szeme összeszűkül stb.) E testi változásoknak nyilván van **oka**, de valószínűleg nincs **célja**. Van azonban olyan indulat is, amely célszerű (vagy annak látszó) mozgást eredményez: olyat, mely visszahat saját létrehozó okára is. Ezeket az indulatokat nevezi Wundt **akarat**nak.

„Az olyan akaratfolyamatot, amely külső akaratcselekvénybe megy át, oly indulatként határozhatjuk meg, a mely (…) azzal a különös jelentőséggel bír, hogy külső hatásokat hoz létre, melyek magát az adott indulatot megszüntetik. (…) A táplálék megragadása az éhség csillapítására, az ellenségek ellen való küzdelem a bosszúszomj kielégítésére ilynemű őseredetei akaratfolyamatok." (Wundt).

Az akarat azonban nemcsak kifelé irányulhat, hanem azt is megszabja, hogy mely lelki folyamatok kapcsolódjanak össze, tehát egyfajta asszociációs rendezőerő is. A zsúfolt hangversenyterem számtalan zaja közül tévedhetetlen biztonsággal különítjük el a melódiát, a forgalmas utca sok fényfoltjából az ismerős arcot. Az érzetek közti aktív válogatást a **figyelem** végzi el, mely eszerint az akarat egy formája. A magyar nyelv találóan fogalmaz úgy, hogy az ember „figyelme valami felé fordul". Ilyenkor a lehetséges hatásoknak csak egy kis része válik érzetté, az, ami valami okból „érdekes" számunkra. Figyelmünket szándékosan is ráirányíthatjuk valamire, de automatikusan is fölkeltheti valami váratlan esemény, vagy szokatlan látvány. A hangverseny nézőterébe pottyanó labda hatására például önkéntelenül arra nézünk: szemgolyónk azonnal a labda pályáját próbálja követni.

A figyelem erőssége is, tárgya is pillanatról pillanatra változik. Wundt **tudatos**nak azokat a lelki tartalmakat nevezi, melyek egy időpillanatban valamiképpen kapcsolódnak egymással, **tudattalanok**nak pedig azokat, melyek kívül esnek e kapcsolatokon. A figyelem változékonysága miatt eszerint a tudatos (éppen tudott) és tudattalan lelki tartomány határa is állandóan változik. A figyelem mintegy fényszóróként pásztázza végig a lelki tájat: ahova rávilágít, ott tudatossá válnak képzeteink. Az „öntudatlan állapot" (ájulás, részben az alvás is) úgy magyarázható, hogy ilyenkor bizonyos tudattartalmak hozzáférhetetlenné válnak a figyelem számára, kiszakadnak a tudat kapcsolatrendszeréből. Azt azonban, hogy nem „tűnnek el", bizonyítja, hogy ébredés vagy eszmélés után többnyire újra fölidézhetővé válnak.

→ a pszichoanalízis a tudattalanról XVII.2–3

Summa (1)

A pszichológia a teológiából és a filozófiából vált ki, azáltal, hogy a lelket (psziché) tette tudományos vizsgálat tárgyává. Módszere kísérleti (XIX. sz. Fechner, Wundt).

A pszichológiai laboratóriumokban tanulmányozható például a fizikai ingerek és az érzetek közti összefüggés (Fechner-törvény), a reakcióidők, a memória kapacitása és terjedelme (rövid- és hosszú távú memória elkülönítése).

Wundt az emberi lélek működését a kísérleti tapasztalatok alapján az empiristák asszociáció-tanának és Kant filozófiájának megfelelően értelmezi. Fizikai hatások érzeteket és érzelmeket keltenek bennünk. Az elemi érzetek összetett érzetekké válnak (pl. a test képe), az elemi érzelmekből indulatok, illetve akarat keletkezik. Az akarat megnyilvánulhat létrehozó okát befolyásoló mozgásokban (pl. táplálkozás) vagy az érzékelés irányításában (figyelem). A figyelem által összekapcsolt érzethálózat a tudat, azok a lelki tartalmak, melyekre nem irányul a figyelem, tudattalanok.

Problémák, feladatok (1.)

1. Válasszunk ki egy tetszés szerinti, kevéssé tagolt szövegrészt (legalább fél oldalnyit), és kíséreljük meg különféle módszerekkel (aláhúzásokkal, bekezdésekre tördelésekkel, új fejezetek létrehozásával, magyarázó ábrákkal stb.) tagolttá tenni! Mutassuk meg néhány olyan ismerősünknek az egyik vagy a másik változatot, akik még nem találkoztak vele! Utána kérjük meg, hogy írják le, mely szavakra vagy kifejezésekre emlékeznek a szövegből! Értékeljük az eredményt!
   Milyen hibaforrások nehezítik az eredmények magyarázatát?

2. Sok ember csak teljes csöndben tud könyvből tanulni, mások viszont azt állítják, hogy a zene „javítja memóriájukat". Adható-e valamilyen egyszerű magyarázat erre?

3. Létezik-e olyan érzet, melyhez nem fűződik valamilyen érzelem? Hogyan lehetséges, hogy ugyanaz az érzet (pl. egy szín, egy forma) más-más emberből más-más érzelmi reakciót vált ki?
4. „és ott a park, a régi szerelmek lábnyoma, / a csókok íze számban hol méz, hol áfonya" – írja Radnóti (Nem tudhatom…)
   Adható-e magyarázat Wundt szellemében arra, hogy ugyanaz a jelenség (érzet) vagy annak emléke más-más pillanatban felidézve más-más érzelmet kelt ugyanabban az emberben?

5. Írjunk példákat arra, hogy az alábbi – egy-egy mondattal jellemzett – helyzetekben milyen érzelmek ébredhetnek, milyen válaszokat eredményezhet ez, ha indulatok, s milyet, ha akaratlagos cselekvés formájában nyilvánulnak meg?
   a) „Ideje lenne, hogy elmosogass!"
   b) A bíró szabálytalanság miatt tizenegyest ítél.
   c) „Te nemcsak a legokosabb lány vagy, hanem a legszebb is!"
   d) Az autó előtt hirtelen pirosra vált a közlekedési jelzőlámpa.
   e) Éjféli trombitaszó az utcán (felső c).

6. Hasonlítsunk össze – tartalmától függetlenül – egy érdekes és egy unalmas előadást! Milyen eszközökkel ébresztheti fel és tarthatja fenn a figyelmet a jó előadó? Mit jelent a ripacskodás, miben különbözik az értékes színészi teljesítménytől?

7. Miért könnyebb egy értelmes szöveget megtanulni, mint egy azonos hosszúságú értelmetlent?

8. Melyek azok az elemek Wundt elméletében, amelyek az asszociáció-tanból származnak, s melyek azok, amelyek Kant filozófiájához köthetők?

9. Wundt és követői laboratóriumában maguk a kísérletvezetők voltak a kísérleti alanyok, vagy valamelyik pszichológus barátjukat kérték meg erre a szerepre. Miért alakulhatott ki ez a furcsa szokás? Milyen módszertani hibaforrást rejt magában?

10. Ha valaki az asztalra csap, azt általában „dühkitörésnek" tekintik, és nem „célszerű akarati cselekvésnek". Egy holtpontra jutott politikai tárgyaláson azonban esetleg éppen ez a mozdulat jelenthet fordulópontot. Minek alapján nevezhetünk egyes viselkedéseket „célszerűeknek" (teleologikusnak), másokat pedig nem?

2. A behaviorizmus

2.1 Továbblendítő problémák

Wundtnak és követőinek „klasszikus” pszichológiájával szemben megfogalmazott kritikákból – nagyjából egy időben – három nagy pszichológiai áramlat fejlődött ki. Ezek közül kettő (az alaklélektan és a tudattalan pszichológiája) megegyezett abban, hogy kiindulópontként elfogadta Wundt meghatározását a pszichológia tárgyáról. A harmadik irányzat – a behaviorizmus – azonban radikálisan szembefordult ezzel.

→ alaklélektan XVII.3
→ mélylélektan XVIII.2–3

BEHAVIORIZMUS

Wundt elméletének alapjává az elemi érzetet, módszerévé az önmegfigyelést tette. A behavioristák szerint azonban az elméletalkotó tudós sohasem találkozik *közvetlenül* az érzetekkel, hanem csak ezek hatásaival: a kísérleti személy *elmondja*, mit érzett, vagy egy kar elforgatásával *jelzi* érzetei erősségét. Érzetek helyett tehát valójában **viselkedésekkel, cselekvésekkel** találkozunk. Különösen egyértelmű ez, ha olyan élőlényeket vizsgálunk, amelyek (vagy akik) nem képesek szavakba önteni érzéseiket: némákat, értelmi fogyatékosokat, kisgyermekeket vagy éppen állatokat. Mi történik az ő lelkükben? Van-e egyáltalán „lelke” például egy kutyának vagy egy éti csigának? A behavioristák szerint ezek tudományos módszerekkel vizsgálhatatlan és ezért eldönthetetlen kérdések. Minden esetben vizsgálható viszont a viselkedés: ezt kell tehát elemezni. Azok, akik ebből indultak ki, a tapasztalható viselkedést (angolul: behaviour) tekintették az *egyedüli* biztos kiindulópontnak. Innen az irányzat neve: **behaviorizmus**. (Magyarul – kissé erőltetetten: „viselkedéstan”). Két fő áramlata Oroszországban (a Szovjetunióban) és az USA-ban alakult ki.

→ a módszer kritikája (kognitív pszichológia) XVI.3.3; XIX.

→ etológia XVI.4

„Amikor behatóan tanulmányoztam az emésztőmirigyek működését, a mirigyek úgynevezett pszichikus ingerületeivel is foglalkoznom kellett. Amikor egyik munkatársammal ennek a ténynek behatóbb elemzésére törekedtem, oly módon, hogy eleinte a pszichológiai gondolkodásmód általánosan elfogadott sablonjára támaszkodva elképzeltem, vajon az állat mit gondol, mit érez a kísérlet közben – laboratóriumomban teljesen szokatlan eseménnyel találtam magam szemben. Nem tudtam közös nevezőre jutni munkatársaimmal, mindegyikük ragaszkodott a maga véleményéhez, egyikünk sem tudta a másikat kétségbevonhatatlan kísérletekkel meggyőzni. Ez a körülmény arra indított, hogy határozottan a tárgy pszichológiai megvitatása ellen foglaljak állást. Elhatároztam, hogy ezeket a jelenségeket is kizárólag objektív módon, külső oldalukról tanulmányozom, pontosan meghatározva, hogy adott pillanatban milyen inger éri az állatot és megfigyelve, hogy erre az ingerre válaszul az állat részéről milyen reakció következik be mozdulatok vagy (például az én kísérletem esetén) szekréció formájában.”

Pavlov: Előadások a nagyagy-féltekék működéséről
(Freisinger Ferenc ford.)

→ hasonló kérdések a filozófiában (fenomonológia) XIX.
és a kvantummechanikában XXI.

2.2 A reflex-fogalom átalakulása

A „reflex” szót Descartes vezette be a filozófiába. Ő a lélek *egészének* visszatükröző képességét (reflexióját) értette ezen. Mivel központját – miként a gondolkodását is – az agyba helyezte, a legegyszerűbb reakciót is – pl. a kéz

← a ‚reflexió’ Descartes szerint VII.3.1.3

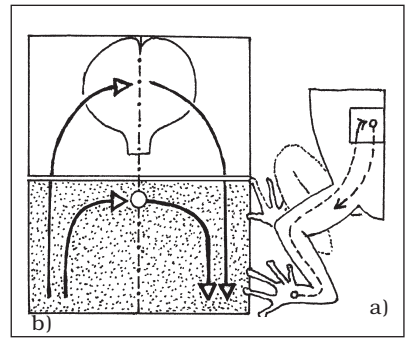
elrántását a lángtól – egy nagyon bonyolult rendszer válaszának tekintette. Noha ez az elmélet közel áll a mai idegélettan szemléletmódjához, a közvetlen továbblépést mégis megnehezítette. Elemezhetetlenül bonyolult volt. A természettudományok számára használható reflex-fogalom a descartesi elképzelés *egyszerűsítésével* jött létre. A kutatás két fő irányt követett. Az anatómusok és idegélettan-tudósok a reflexek „anyagi alapját" keresték: azokat a **pályákat, idegeket,** amelyeken keresztül az ingerület áramlik. A pszichológusok viszont a reflexek **hatásaira és ezek szerepére** voltak kíváncsiak.

→ az idegrendszer hierarchikus fölépítése XVIII.3.2

KÉT ÚT

REFLEX

Az anatómiai vizsgálatokról részletesebben a XVIII. fejezet szól. Itt csak azt emeljük ki, ami a pszichológia szempontjából is alapvető fontosságúvá vált. A XVIII-XIX. század során több kutató is felfigyelt arra – amit a háziasszonyok már régóta tudtak –, hogy a lefejezett csirke vagy ponty még sokáig mozog, s egy sor olyan reakciót mutat, ami az ép állatra is jellemző. Ebből arra következtettek, hogy a reflexiónak szintjei vannak: bizonyos válaszok teljesen automatikusan, az agy közreműködése nélkül is létrejönnek, mások nem. A cseh Gregor Prochaska (1749–1820) ennek alapján elkülönítette a tudatig eljutó és a tudattól függetlenül reflektálódó reakciókat. Előbbiek az agyból, utóbbiak a gerincvelőből vagy az idegdúcokból „verődnek vissza". Ezzel – legalábbis az utóbbi esetben – lehetővé vált, hogy a **reflex**et, mint *adott ingerre szükségszerűen bekövetkező, automatikus választ határozzák meg, mely idegsejtek meghatározott összeköttetési rendjén alapul*. Objektíven vizsgálható tehát. A reflexpályák (legalábbis elvben) mind nyomon követhetők, térbeli lefutásuk feltérképezhető.



6. ábra. ***a) A lefejezett béka – akárcsak a sértetlen – elrántja lábát a forró víztől.***
b) Prochaska elképzelése az idegrendszer felépítéséről vázlatosan
A világos rész az agyat, a pontozott a gerincvelőt jelképezi.

Az idegélettan törekvése tehát az volt, hogy a reflexeket igyekezzen „önmagukban", a „tudat zavaró hatása alól kivonva" vizsgálni. Valóban sikerült is mind több viselkedést így magyarázni. Ennek az analitikus szemléletmódnak a sikere hamarosan arra csábította a fiziológusokat, hogy a kutatás irányát merész módon megfordítsák: immár *magát a tudatot* kezdjék úgy elemezni, mint reflexek sajátos hálózatát. Ezt először az orosz Szecsenov értelmezte így, de legismertebbé Ivan Petrovics Pavlov vált. Pavlov meg volt győződve arról, hogy a tudat, a gondolkodás minden lépése leírható biológiai reflexként. Ha pedig ez így van, a pszichológia helyét végső soron átveszi majd az idegélettan.

INGER → VÁLASZ

Pavlov azonban jól tudta azt is, hogy e cél eléréséhez még messze nem áll rendelkezésre elegendő anatómiai tudás. *„Jelen időben természetesen nem is gondolhatunk arra, hogy a pszichikai jelenségeket a szó szoros értelmében mechanikusan képzeljük el. (…) Az igazi mechanikus magyarázat a természettudomány eszményképe marad, amely felé csak lassan közeledik (…)"* – írja Pavlov (Nyílt levél Janet professzorhoz). Pavlov tehát – látva a nehézségeket – a reflexeket többnyire nem anatómiai, hanem működésbeli kapcsolatoknak tekintette. A reflex szerinte ingerek és válaszreakciók közt fennálló vagy létrejövő összeköttetés. Objektív elemzése akkor is lehetséges, ha az alapját képező idegsejt-kapcsolatok módja (még) nem ismert. Adott ingerre *„az agyvelő bizonyos része természetesen működni kezd. Az agynak ezt a részét általánosan elfogadott terminológiával egyszerűen központnak nevezzük, anélkül azonban, hogy ezzel az elnevezéssel pontos anatómiai elkülönítettséget kötnénk össze"* – írja Pavlov (Előadások a nagyagy-féltekék működéséről.

← a „négy ok" (Arisztotelész) III.9.1.1

← a felvolágosodás irányzatai VII.6.2.1–2

KÖZPONTOK

Mi az, ami a reflexfogalomból átváltozásai közben végig megmaradt? Pavlov – nagyon tömören – három ilyen kritériumot fogalmaz meg:

„Mit tartalmaz a reflex fogalma?

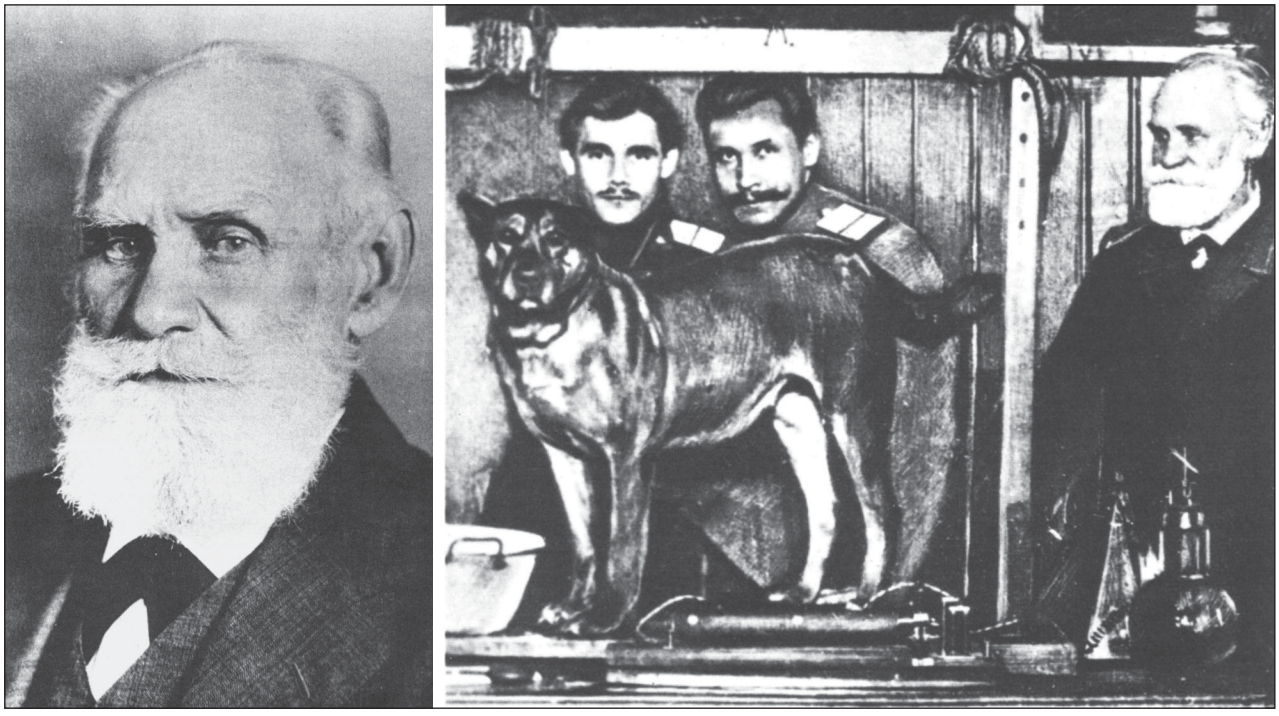
A reflexműködés elmélete a pontos tudományos kutatás három alapelvére támaszkodik, elsősorban a determinizmus elvére, vagyis minden adott hatáshoz valamilyen lökés, indíték, ok szükséges, másodszor az analízis és szintézis elvére, vagyis először az egésznek részekre, egységekre bontása, utána pedig az egységekből fokozatosan ismét az egész-

DETERMINIZMUS

ANALÍZIS ÉS SZINTÉZIS

← Descartes VII.3.1.2

nek a felépítésére és végül a szerkezetiség elvére, vagyis az erőhatásoknak térben határozott elhelyezkedésére, a dinamika összeegyeztetésére a szerkezettel." (Pavlov: A fiziológus válasza a pszichológusoknak)



7. ábra. ***a) Ivan Petrovics Pavlov (1849–1936) orosz fiziológus.***
Rjazanyban, papi családban született. A szentpétervári Kísérleti Orvostudományi Intézetben kezdte meg munkásságát a szívműködés és az emésztés élettanával kapcsolatban. Ez terelte figyelmét a feltétlen és feltételes reflexek felé, melyeket az általa kidolgozott kísérleti módszerrel kutatott. Eredményeit 1904-ben orvosi Nobel-díjjal ismerték el. Pavlov – részben nemzetközi tekintélyének köszönhetően – a hatalomátvétel időszakában és a szovjetkormány idején is zavartalanul folytathatta kutatásait. Jól ismerte a német, francia, angol és amerikai agykutatók és pszichológusok eredményeit (Sherrington, Köhler, Thorndike), részben velük vitatkozva, részben rájuk alapozva fejlesztette ki saját elméletét. Pavlov magát mindvégig fiziológusnak (idegélettan-kutatónak) tartotta, igyekezett kívül maradni a szűkebben vett pszichológiai vitákból. Munkássága ennek ellenére óriási hatást gyakorolt a lélektan fejlődésére is.
b) Pavlov egyik kísérleti kutyájával és munkatársaival
A kutyákat igyekezett csöndes, ingerszegény szobákban tartani, mozgásukat meggátolta, a kísérlet vezetőjét sem láthatták.

2.3 A feltételes reflex

← emésztés XIII.5.2

→ szabályozása (hormonok) XVIII.2.4.1

FELTÉTLEN ÉS FELTÉTELES REFLEX

Emésztőnedvekkel végzett kísérletei során Pavlov olyan kísérleti műtétet – ún. nyálsipolyt – fejlesztett ki, melynek segítségével mérni tudta a kutya által termelt nyál mennyiségét és minőségét. A jóízű táplálék (húspor) megízlelése minden esetben kiváltotta a nyáltermelést. Ennek magyarázatául Pavlov feltételezte, hogy a kutya agyában levő ízérző központ és nyálelválasztó központ között öröklött módon meglévő, rögzített pálya létezik, melynek kiépüléséhez nem szükséges tanulás. E kapcsolat megnyilvánulását **feltétlen reflexnek**, kiváltó ingerét pedig **feltétlen ingernek** nevezte el.

Pavlov azt is megfigyelte, hogy a kutya nyálelválasztása hamarosan már a táplálékot hozó ismert gondozó látványára is megindult. Az állat nyilván megtanulta, hogy a gondozó megjelenését hamarosan egy kellemes feltétlen inger (a táplálék) fogja követni. Pavlov híressé vált kísérletsorozatában mindig csengőszó után kapott enni a kutya, így a korábban – a nyálterme-

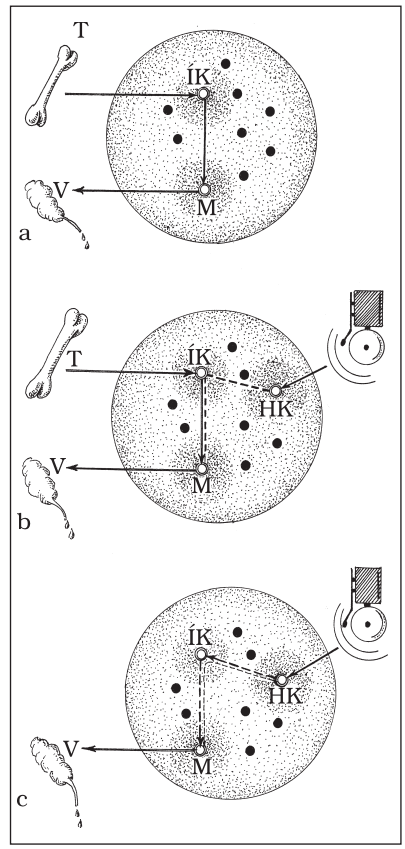
lés szempontjából – közömbös hanginger hamarosan önmagában is kiváltotta a nyálelválasztást. Pavlov magyarázata szerint kapcsolat épült ki a hallóközpont megfelelő területe és a nyálelválasztó központ között. Az ilyen tanult kapcsolatok megnyilvánulását **feltételes reflexnek**, kiváltó ingerét **feltételes ingernek** nevezték el. A tanulásnak ez a gyakori egyidejű ingertársításon alapuló módja a **kondicionálás** („a feltétel begyakoroltatása"). A kondicionálás társított ingere lehet egy-egy szó vagy mondat is, mely a megfelelő tárgy képével vagy egy helyzettel többszöri ismétlés után összekapcsolódik (pl. az anyanyelv tanulása során). Ilyenkor a feltételes reflexeknek már egész hálózata épül ki és kapcsolódik valamilyen egyszerű feltétlen reflexhez. A feltétlen reflex nem csupán kellemes, hanem kellemetlen hatású is lehet (pl. fájdalom hatására elrántjuk kezünket a lángtól) – az ezekhez kapcsolódó feltételes reflexek vagy gátlások bizonyos helyzetek elkerülését teszik lehetővé (pl. nem nyúlunk többet a lángba). Pavlov szerint még a legbonyolultabb tanulás is visszavezethető ilyen és ehhez hasonló feltételes reflexekre – állatokban, emberben egyaránt.

A feltételes reflex időleges kapcsolat. Ha a feltételes ingert több alkalommal nem követi „megerősítés" (a kutya a csengőszó után nem kap enni), akkor a válaszreakció gyorsan csökken, majd kialszik. A folyamatot a köznapi nyelvben „felejtés"-nek nevezik – e kifejezés azonban pontatlan, mert azt sugallja, hogy ilyenkor megszűnnek a korábban létrejött kapcsolatok. Pavlov azonban több kísérlettel igazolta, hogy ez nincs így. Egyrészt váratlan külső inger (pl. fütty) után – ha csökkent mértékben is – újra megjelenik az „elfelejtett" reflex, másrészt a részleges helyreállás némi pihenő után spontán is bekövetkezik. Pavlov ezért a feltételes reflexek kialvásának okát **aktív gátlásban** látta. A gátlás lehetetlenné teszi valamely létező kapcsolat megnyilvánulását, de nem szünteti meg magát a kapcsolatot. Ha magát a gátlást gátoljuk (pl. a váratlan füttyhanggal), akkor megjelenik az eredeti válasz („a gátlás feloldása").

Részlet Pavlov tanítványának jegyzőkönyvéből (Előadások a nagyagyféltekék működéséről)

Idő	Inger	Csepp nyál az állkapocs alatti mirigyből
2h 28	Távolból 1 percig mutatott húspor	16
40	Távolból 1 percig mutatott húspor	9
52	Távolból 1 percig mutatott húspor	7
3h 05	Távolból 1 percig mutatott húspor	5
18	Távolból 1 percig mutatott húspor	0
20	Gyenge sav öntése a szájba	3 perc múlva 0
31	Távolból 1 percig mutatott húspor	1
34	Húspor etetése (1 perc)	–
46	Távolból 1 percig mutatott húspor	10
47	Húspor etetése (1 perc)	-
4h 05	Távolból 1 percig mutatott húspor	9
15	Távolból 1 percig mutatott húspor	7
25	Távolból 1 percig mutatott húspor	4
35	Távolból 1 percig mutatott húspor	1
45	Távolból 1 percig mutatott húspor	0
51	Gyenge sav öntése a szájba	3 perc múlva 0
55	Távolból 1 percig mutatott húspor	7

E jelenségek magyarázataként Pavlov feltételezte, hogy ingerlés hatására az agy bizonyos területe izgalmi (ingerületi) állapotba kerül. Az izgalmi állapot ebből a gócpontból koncentrikus körökben, lassan gyengülve terjed szét, mint ahogy a vízbe dobott kő után fodrozódik a felszín. Ez a **szét-**



8. ábra. Sematikus rajz a feltétlen és a feltételes reflex működéséről Pavlov szerint

a) A feltétlen reflex a táplálék (T) révén ingerületbe került ízérző központ (ÍK) és a mozgató központ (M) közti kapcsolat megnyilvánulása. A válasz (V) ebben az esetben nyálelválasztás.
b) A társított ingerként megjelenő hanginger ingerületbe hozza a hangérző központot (HK). Ismételt együttes ingerlés esetén kapcsolat épül ki a központok között (szaggatott vonal).
c) A kiépült feltételes reflex bizonyítéka, hogy a korábbi társított inger önmagában is képes kiváltani a választ.

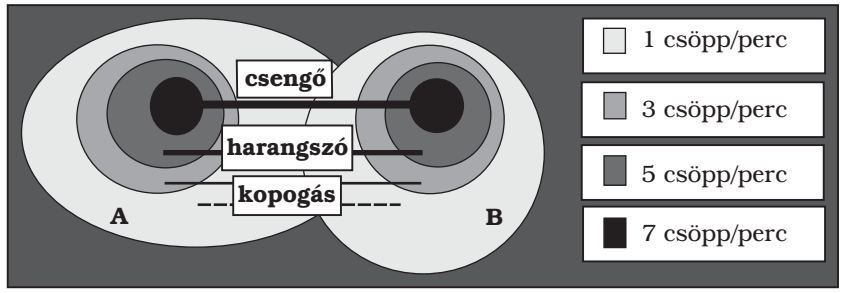
A fekete körök egyéb érző- és mozgatóközpontok, melyek az adott esetben nem lépnek működésbe, valójában azonban bonyolult hálózatot alkotnak.

SZÉTTERJEDÉS

→ a kapcsolat kialakulása az idegsejtek között XVIII.3.2.9; 3.5.1

terjedés (irradiáció). Ha két egyidejűleg (vagy közel egyidejűleg) keletkező izgalmi hullám körei érintkezésbe kerülnek, ideiglenes kapcsolat jön létre köztük, mely néhány ismétlés után egy feltételes reflex részévé válhat. Ha azonban többször elmarad a megerősítés, az izgalmi állapot ellentétébe: gátlásba fordul át, ami szintén szétterjed a gátlási központ körül. Az agy – ha működését valami módon láthatóvá tudnánk tenni – ennek megfelelően mint izgalmi és gátlási gócok szétterjedő majd visszahúzódó, folytonosan változó mozaikja tárulna a szemünk elé.

→ az agykéreg oszlopos szerkezete XVIII.3.3.7



9. ábra. ***Az inger-szétterjedés (irradiáció) jelensége Pavlov szerint szorosan összefügg az általánosítással.***
Az A ellipszis a társított hanginger-irradiációt, a B kör pedig a feltétlen reflex részét alkotó nyálelválasztó központot jelképezi.

ÁLTALÁNOSÍTÁS

← elvonatkoztatás I.2

Ezek az izgalmi és gátlási területek lehetnek ténylegesen az agy térben egymás mellett fekvő pontjai, de nem feltétlenül van így. A hasonlóságok és különbségek az *inger tulajdonságaira* vonatkoznak. Így például a csengőszóhoz jobban hasonlít a kolompé, mint egy harangé, a dobütés pedig még távolabb esik tőle. Ennek megfelelően egy csengőszóra kiépített feltételes reflex a kolomp és a harang hangjára is működésbe lép, noha csökkenő mértékben. Ezt a jelenséget **inger-általánosításnak** (generalizációnak) nevezte Pavlov. Az általánosítás – ebben az értelemben – azt jelenti, hogy hasonló ingerekre azonos típusú választ ad a szervezet.

MEGKÜLÖNBÖZTETÉS

→ hogyan dönthető el, hogy mit érzékel egy állat? XVIII.3.3

Ezzel ellentétes az **inger-megkülönböztetés** (differerenciáció) folyamata. Ha a csengőszóra kiépített reflex után kolompolunk és a kolompszóra adott választ nem erősítjük meg a feltétlen ingerrel (nem kap enni az állat), úgy a kolomp hangja hatástalanná válik, sőt: gátolni fogja a csengő-reflexet is. A csengő-reflexet újból megerősítve létrejön a megkülönböztetés: a két hangra eltérően fog reagálni az állat. Az inger-megkülönböztetés eszerint azt jelenti, hogy hasonló ingerekre eltérő választ ad a szervezet.

A GÁTLÁS IS ALKALMAZKODÁS

→ a gátlás és az elfojtás XVII.2

Pavlov elméletéből levonható fontos következtetés, hogy a gátlás is alkalmazkodás: ekkor azt tanulja meg az állat vagy ember, hogy mire **ne** reagáljon. A gátlás feloldásának lehetősége pedig azt is biztosítja, hogy az egyszer már kialakult és kioltott kapcsolat újból és gyorsan működésbe léphessen – ha mégis szükség lenne rá.

Könnyű belátni, hogy az élőlények számára mind az általánosítás, mind a megkülönböztetés képessége életfontosságú. A nyúl például mindenféle váratlan neszre, zörgésre hegyezni kezdi a fülét (általánosítás), reakciója viszont – különösen ha már tapasztalt jószág – nagyon különböző lesz aszerint, hogy egy rókát pillant meg, egy másik nyulat, avagy azt állapítja meg, hogy fúj a szél (megkülönböztetés).

2.4 Az amerikai behavioristák

Pavlov szemléletmódja és eredményei nagy hatást gyakoroltak az amerikai pszichológusokra. Az itt létrejövő irányzat (melyet a szó szorosabb értelmében behaviorizmusnak nevezhetünk) azonban még időlegesen sem volt hajlandó kibékülni a tudat wundti fogalmaival. Szembenállásukat élesen, radikális formában fejtették ki.

← XVI.1.2.4

„A pszichológia a behaviorista szemszögéből tekintve a természettudományok egyik tisztán objektív kísérleti ága, amelynek éppoly kevéssé van szüksége önmegfigyelésre, mint a kémia vagy a fizika tudományának. (…) A pszichológiai értelemben vett tudat nélkülözhető. Úgy is mondhatnánk, hogy visszatérünk a tudat nem-reflektív – nem önmagára eszmélő, naiv használatához. Ebben az értelemben a tudat olyan eszköznek vagy szerszámnak tekinthető, amellyel minden természettudós dolgozik.

← Wundt az önmegfigyelésről XVII.1.2.1

Hogy ezt a szerszámot megfelelően használják-e ma a tudósok, már a filozófia, és nem a pszichológia problémája. (…)

← Kant a megismerésről VII.5.

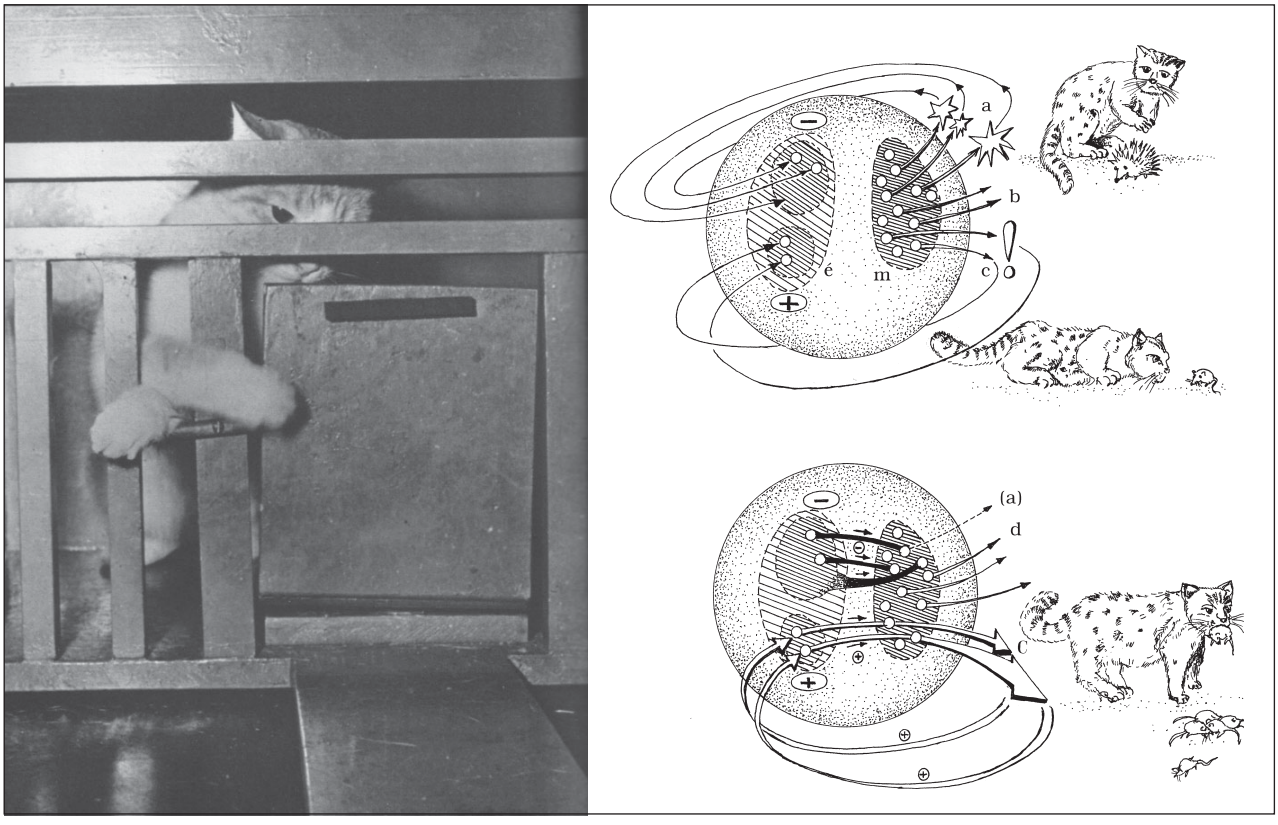
Azáltal, hogy a tudatállapotokat nem tekintjük többé a pszichológiai vizsgálódás megfelelő tárgyának, eltüntetjük a pszichológia és más tudományok között ma létező válaszfalat."

→ modern tudományfilozófia XIX.

John B. Watson: Hogyan látja a behaviorista a pszichológiát?
(Kulcsár Zsuzsanna ford.)

ELTÉRŐ MÓDSZEREK

Az amerikai behavioristák másként látták az élőlényeket, mint Pavlov, ezért kísérletei módszereik is eltértek. Pavlov lényegében átvette Descartes



10. ábra. ***Balra: A kísérleti doboz zárjának kinyitását tanuló macska***
Jobbra: A próba-szerencse (trial and error) tanulás sémája

A) a mozgatómező (m) egyes központjai (fehér körök) különféle magatartáselemeket váltanak ki. Ezek közül egyesek (pl. az „a") következménye az érzőmező (é) szomjúság-, éhség-, vagy fájdalomközpontjainak ingerülete lesz. (A „-" jel arra utal, hogy ezek mind kellemetlen hatások). Más magatartások (pl. a „b") közömbösek. Végül néhány elem (itt a „c") kedvező hatású, az érzőmező jóllakottság vagy más „jutalom" központjait ingerli.

B) A negatív hatásokat érzékelő központok gátolják az ezen hatást létrehozó központok működését (sötét nyilak), így ezek a mozgások megszűnnek vagy ritkábbá válnak. A pozitív hatású központok serkentő hatását a világos nyilak szemléltetik. Az állat eközben folyton próbálkozik új, még nem ismert hatású viselkedésekkel is (d).

← VII.3.1.3

← XVI.2.3

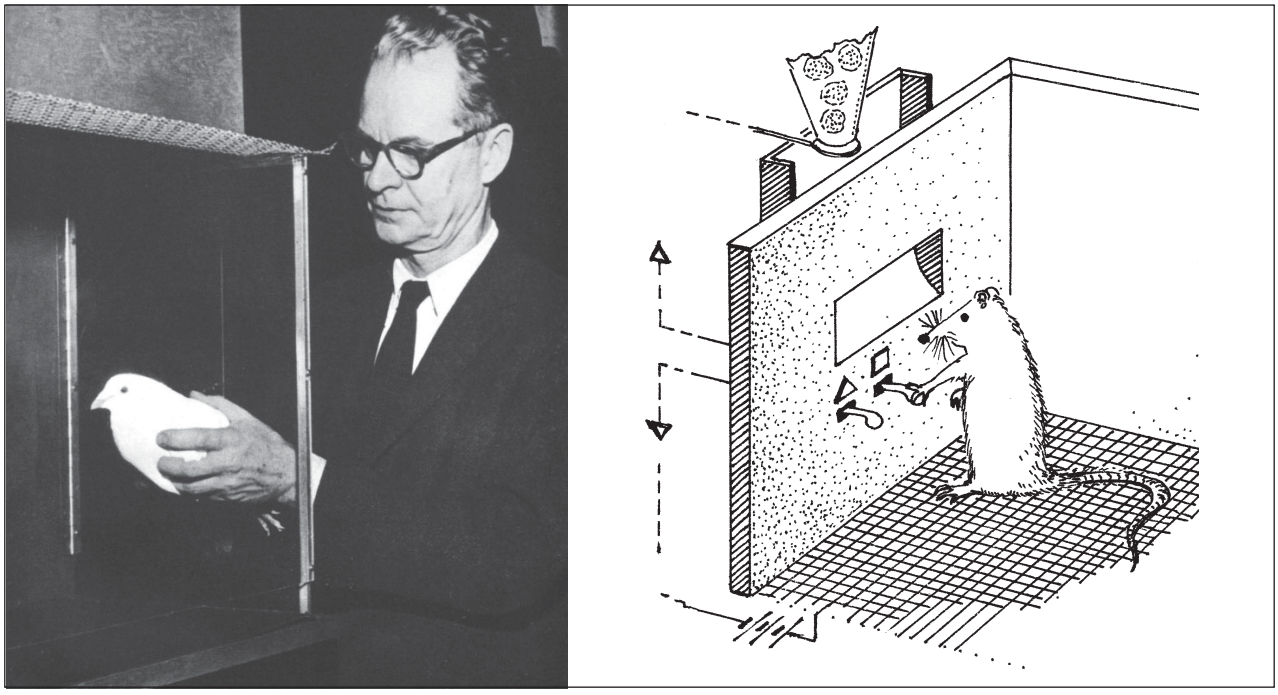
szemléletét, mely (legalábbis az állatok esetén) az élőlényt egyszerű „válaszolóautomatának” tekintette. Ezért aztán olyan körülményeket teremtett, amelyek a kísérleti állatok számára nem is nagyon tették lehetővé, hogy a nyálcsorgatáson kívül másfajta képességeiket is megmutassák. Az amerikai behavioristák ezzel szemben fontosnak tartották az élőlények „spontán aktivitását”, s kísérleteikben némileg teret is engedtek ennek. Az irányzat alapítója, Edward Thorndike (1874–1949). Thorndike éhes macskát zárt egy olyan ketrecbe, melynek ajtaját némi ügyeskedéssel ki lehetett nyitni. Miután véletlenszerű próbálkozások után ez egyszer csak sikerült, s a macska némi táplálékot kapott, Thorndike visszahelyezte a ketrecbe. Most már rövidebb idő alatt kijutott: megtanulta az ajtónyitás módját. Thorndike **próba-szerencse** módszernek nevezte a tanulásnak ezt a módját. (Az angol elnevezés: „**trial and error”** – „próba-hiba” még jobban kifejezi a lényegét). A próba-szerencse tanulás annyiban különbözik a pavlovi kondicionálástól, hogy ebben az esetben az állat spontán viselkedései („viselkedésrepertoárja”) közül *utólag* kap jutalmat egy vagy több. A továbbiakban ez a sikeresnek bizonyult viselkedés gyakoribbá, a többi ritkábbá válik. Ez a **hatás (effektus) törvénye.** Természetesen fordítva is igaz: ha egy viselkedésforma fájdalmat vagy kellemetlenséget okoz, azt a továbbiakban egyre ritkábban ismétli meg az állat (vagy ember). Míg a pavlovi kondicionálás során az élőlény válogat a környezet ingereiből, addig a próbaszerencse módszer esetén – képletesen szólva – a környezet „választ” az állat viselkedései közül.

PRÓBA-SZERENCSE TANULÁS

→ a szelekció az evolúcióbiológiában XXVII.

LABIRINTUS ÉS SKINNER-DOBOZ

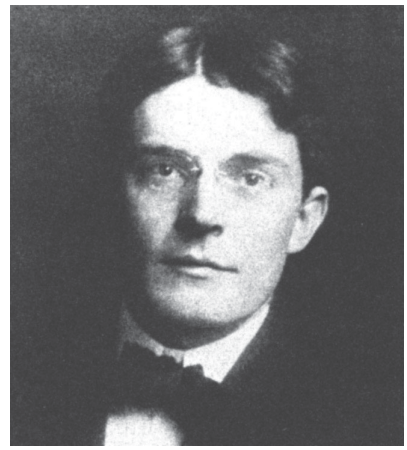
Az amerikai behavioristák gyakori kísérleti eszköze volt a labirintus és a pedálokkal felszerelt „Skinner-doboz” (nevét Frederic Skinnerről kapta). A labirintusban az állat tájékozódási képességét és memóriáját lehet mérni az átjutáshoz szükséges idő hosszával. A Skinner-dobozban a környezeti ingerektől teljesen elszigetelt állat (többnyire galamb vagy patkány) két



11. ábra. ***a) Frederic Skinner (1904–1990) galambot helyez egy kísérleti dobozba.***
Skinner az amerikai behaviorista pszichológia egyik legismertebb képviselője.
b) Skinner-doboz
A patkány két pedál lenyomása közt választhat, a „helyes válasz” táplálékot, a „helytelen” áramütést eredményez.

pedál lenyomása közül választhat, a kísérleti szituációtól függően az egyik lenyomása után jutalmat kap, a másik lenyomása közömbös vagy éppen káros (pl. gyenge áramütést eredményez). Az állat viselkedése – ha szükséges – eközben kamerával is nyomon követhető.

„A behaviorista érdeklődése az emberek iránt több, mint a megfigyelő érdeklődése – irányítani akarja az ember reakcióit, ahogy a fizika tudósa is ellenőrizni és manipulálni akarja a többi természeti jelenséget" – írja John B.Watson (Hogyan látja a behaviorista a pszichológiát?). Ilyen „manipuláció" például az oktatás-nevelés folyamata a szobatisztaságra szoktatástól egészen az egyetemi mérnökképzésig. A behavioristák legismertebb képviselője, Skinner szerint ez olyan folyamat, melyben a gyermek gyakorlatilag „tiszta lappal" indul, vagyis csak a tapasztalatok határozzák meg későbbi viselkedését. Olyan programot kell tehát készíteni, amely a „megfelelő", tehát a kitűzött irányba mutató reakciókat jutalmazza, a többit esetleg bünteti. E szemlélet eredményei a ma is kiterjedten alkalmazott tesztfeladatok, a számítógépes játékok mosolygó figurái vagy a reklámipar számos tudatosan alkalmazott fogása.



12. ábra. ***John Broadus Watson (1878–1958) amerikai behaviorista viselkedés-kutató,*** a behaviorizmus mozgalommá szervezője
(1913: Hogyan látja a behaviorista a pszichológiát?)
Szegény „vadnyugati" vidéki családból került Chicagóba. Filozófiát, orvostudományt és pszichológiát tanult. Hamarosan kizárólag állatkísérletekkel kezdett foglalkozni. Neve ismertté vált, megválasztották az amerikai Pszichológiai Társaság elnökének. 42 évesen elvált gazdag családból származó feleségétől, emiatt állását elvesztette és teljesen elszegényedett. Watson azonban feltalálta magát: üzletemberként a marketing-módszerek megalapozója lett, reklámszakember vált belőle. Hatalmas vagyonra tett szert. Maga jegyzi meg önéletírásában: ugyanolyan izgalmas lehet egy termék eladási görbéjének alakulását szemlélni az idő függvényében, mint egy állat pedálnyomásait.

2.5 A behaviorizmus buktatói

Létezhet-e lélek nélküli lélektan, *psziché* nélküli *pszichológia*? A behaviorizmus – az objektivitás nevében – igyekezett teljesen megszabadulni a szubjektívnek tekintett fogalmaktól. Kérdés azonban, hogy ebben az esetben miként magyarázható gondolat- és érzelemvilágunk, mindazt, amit *átélünk*? E kérdésre kétféle válasz adható. Az egyik tagadja a lelki élmények realitását, pontosabban azt állítja, hogy az érzelmek, indulatok nem ténylegesen ható tényezők, hanem csupán annak „kísérő jelenségei" („epifenoménjei"). Kardos Lajos hasonlatával élve: miközben valaki kinyit egy ajtót, árnyékot vet a földre és a kilincs is megcsikordulhat. E jelenségek *kísérik*, de nem *okozzák* az ajtónyitást. Hasonlóképpen a lelki jelenségek is **kísérő**, de nem **ható** tényezők. Mivel a tudomány feladata a ható okok vizsgálata, e mellék-tünetekkel nem kell foglalkoznia.

E „magyarázat" lényegében elismeri, hogy a szubjektív élmény – akár „kísérőjelenség", akár nem – olyan tényező, amivel a behaviorista pszichológus nem tud mit kezdeni. Ezért elterjedhet a lelki jelenségek okkult, áltudományos „magyarázata". E fordulatot maguk a behavioristák látták a legkevésbé szívesen. Hogy ne kényszerüljenek rá, megpróbálkoztak azzal, hogy a tudat, a gondolkodás jelenségeit is sajátos mozgásként, viselkedésként magyarázzák.

A GONDOLKODÁS IS MOZGÁS?

A patkány – próba-szerencse módszerrel – könnyen megtanul eligazodni egy labirintusban. Az elágazási pontokon azonban nem halad azonnal a megfelelő irányba, hanem gyakran befut az ellenkező járatba is, vagy csak oda-vissza szimatol, mielőtt a helyes útra térne. Jól megfigyelhető, hogy a tanulás során csökken az ilyen „felesleges kitérők" hossza és száma, de – legalább jelzésszerűen – végig megmaradnak. Az állat nem próbálja ki a maga teljességében, hogy melyik út vezet a célhoz (mint a tanulás kezdetén), hanem azt „csökevényes formában" teszi. A megfigyelőnek az a benyomása támad, hogy a patkány immár „belülről", „gondolatilag" játssza végig azt, amit korábban valóságosan megtett, s e kis mozdulatok a gondolati mozgásnak csak kísérőjelenségei. Utolsó lépésként fosszuk meg e belső folyamatot minden külső, hozzá kapcsolódó izommozgástól! A behavioristák szerint ez az, amit korábban „tudatnak" neveztek: **valamely viselkedésnek megfelelő idegi aktivitás, mely nem nyilvánul meg külső viselkedésben**. E ponton a behaviorizmus el is jutott érvényessége határához: ha ugyanis nincs viselkedés, nem tud mit tanulmányozni….

A „TÖPRENGŐ" PATKÁNY

Az ismeretelméleti buktatókon kívül a behavioristák kísérleti **módszer-**

A „TUDAT" A BEHAVIORISTÁK SZERINT

tana is sajátos csapdát rejt magában. Pavlov berendezése nagyon alkalmas a reflexek működésének felderítésére, de másra nem. Hasonlóképpen: a Skinner-dobozban jól tanulmányozható a próba-szerencse tanulás mechanizmusa, arra azonban már nem jó, hogy megtudjuk: hogyan viselkedne az állat természetes környezetében? Ez önmagában nem is okozott volna gondot, de a behavioristák kizárólagosságra törekedtek. Meg voltak győződve például arról, hogy *mindenféle* viselkedés reflex vagy reflex-sorozat, ami a kezdetben „üres" lényben a tapasztalatok révén rögzült. A locke-i „tabula rasa"-elv ezen tudományos köntösbe bújtatott újrafogalmazása azonban hamarosan tarthatatlanná vált. Hibáira egy, a pszichológiával rokon tudományág: az etológia eredményei világítottak rá.

AZ ÉRTELMEZÉS KORLÁTAI

← „tabula rasa" VII.4.1

→ XVI.4

Summa (2)

A behaviorizmus irányzata a szubjektív lelki élmények helyett egyedül a viselkedéssel kívánt foglalkozni.

A reflex – egy ingerre adott meghatározott és automatikus válaszreakció – fogalmát Pavlov tette közismertté. A feltétlen reflex örökletes, tanulással nem változtatható. A feltételes reflex egy korábban közömbös társított inger és egy feltétlen reflex többszöri egyidejű megnyilvánulásakor jelenik meg. A feltételes inger megerősítés nélküli ismétlésével a kiépült reflex gátlás alá kerül.

Az amerikai behavioristák – Watson, Skinner – az operáns tanulás (trial and error) módszerére alapozták pszichológiájukat. E típusban a véletlenszerűen megjelenő magatartáselemek közül utólag bizonyul egy vagy néhány sikeresnek, ezek gyakorisága fokozódik. A behaviorizmus pragmatikus pszichológia: eredményeit a gyakorlatban kívánja alkalmazni (reklámpszichológia, programozott oktatás, viselkedésterápia).

Kérdések, problémák (2)

1. Mivel magyarázható a behavioristák érdeklődése az állatok viselkedése iránt? Kevésbé érdekelte őket az ember, mint elődeiket?

2. Hasonlítsuk össze Oroszország (Szovjetunió) és az USA társadalmát a XX. század első felében! Milyen lehetőségei voltak az egyéni kezdeményezőkészségnek és az állami hatalomnak az egyik és a másik országban? Megnyilvánul-e ez a különbség a Pavlov-iskola és az amerikai behavioristák kísérleti módszerei között is? Tekinthetők-e ezek a tudósok a hatalmi rend kiszolgálóinak?

3. Sok, kutyákat vagy lovakat szerető ember számára természetes, hogy kedvencüknek „lelke van", „értik azt is, amire gazdájuk gondol" stb. Hogyan vélekedtek volna erről a középkor gondolkodói illetve Pavlov és Watson? Melyiküknek adhatunk igazat? Húzhatunk-e éles határt ebből a szempontból az emberek és az állatok közé?

5. Az egyszer már tudott, de elfelejtett verset másodszor általában gyorsabban tanuljuk meg. Hogyan magyarázható ez?

6. Egy diák, miután tanulmányozta Pavlov eredményeit, így érvel tanárának: „Sajnos a kérdéses képletet most nem tudom felidézni, de egy héttel ezelőtt még emlékeztem rá. Azóta azonban feltételes gátlás alá került, azaz „elfelejtettem". Mint tudjuk: a felejtés is tanulás. Megérdemlem tehát a jelest."
   a) Helyesen érvelt-e a diák?
   b) Vajon mit válaszolt a tanár?

7. Mi eredményez hatékonyabb tanulást a próba-szerencse módszer esetén: ha a helytelen viselkedést csak nem jutalmazza, vagy ha bünteti is a környezet (pl. a tanár)?

8. Gyűjtsünk példákat reklámokra, melyek a próba-szerencse elv alkalmazásával (látszólagos) döntési alternatívákat kínálnak fel! Miért manipuláció ez?

3. Az alaklélektan

3.1 Az Egész pszichológiája

Míg a behavioristák a Wundt-féle pszichológia szubjektivizmusát bírálták, addig az **alaklélektan (Gestalt-pszichológia)** hívei az asszociációs elképzelés *atomizmusában* látták az alapvető hibát. Miről ismerhető fel például egy dallam? – tette fel az ártatlannak tűnő kérdést 1890-ben Christian von Ehrenfels, az alaklélektani irányzat egyik alapítója.

ALAKLÉLEKTAN
← atomok III.6

„Világos, hogy egy dallam érzékeléséhez nem elég, hogy tudatunkban csupán az éppen fölcsendülő hangról van benyomás. A dallam felfogásának feltétele, hogy – hacsak nem az első hangról van szó – egyidejűleg legalább néhány előzőleg hallott hang benyomását megőrizzük emlékezetünkben. Hiszen máskülönben minden azonos hangra végződő dallamról ugyanaz a végső benyomásunk volna. Ebből az elgondolásból továbbhaladva csakhamar felismerhetjük, hogy egy például 12 hangból álló dallam felfogásához még az sem elég, ha a mindenkori 3 utolsó hangot emlékezetünkben tartjuk, hanem ehhez az egész hangsorról kell, hogy benyomásunk legyen. (…)"

← rövid távú memória XVI.1.2.3

→ komplex kérgi mezők VIIII.3.3.7–8 és 11

Christian von Ehrenfels: Az „alaki" tulajdonságokról.

Lehetetlen azonban, hogy memóriánkban csupán a (példánkban 12) *különálló hang* rögzüljön. Hiszen ebben az esetben nem ismerhetnénk fel ugyanezt más hangnemben énekelve, melyben akár az összes hang eltérhet az eredetitől. Hasonlóképpen: mi az, aminek alapján felismerjük barátunk arcát mosolyogva is, haragosan is, most is, 5 év múlva is?

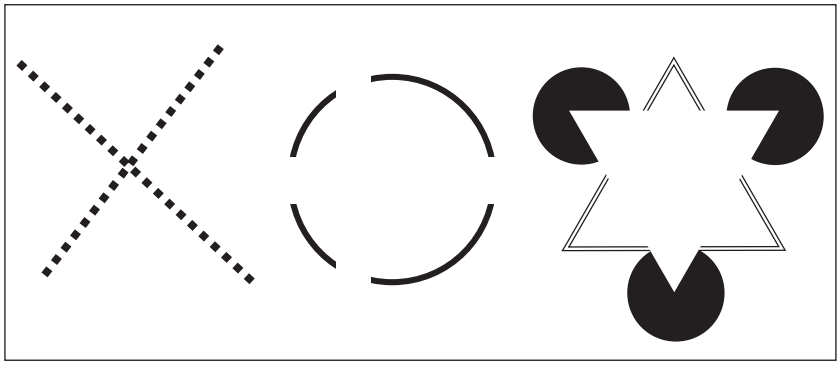
← „vagyunk is meg nem is" (Hérakleitosz) III.5

Az alakelmélet hívei szerint ezt az egyes elemektől független **alakminőség** vagy egyszerűbben **alak (Gestalt)** érzékelésének köszönhetjük. Az alak bármilyen összetett jelenség térbeli vagy időbeli szerkezete, struktúrája. Ilyen például egy arc egésze, egy dallam vagy egy akkord vagy akár egy paprikás csirke összetett ízélménye is. Nem részleteiből, atomjaiból építjük föl az egészet, hanem ellenkezőleg: *„a bonyolult komplexusokból nyert benyomások hol egyik, hol másik mozzanatát emeljük ki"*, amikor a részletekre irányítjuk a figyelmünket. Az alakok két fő jellemzője a **belső rend** és a **transzponálhatóság**. A belső rend azt jelenti, hogy az *egész (a Gestalt)* mintegy „törekszik arra", hogy részei olyan alakba rendeződjenek, amelyben határozott belső törvényszerűség uralkodik („Jó alak"). Ezt néhány egyszerű ábra szemléletesen mutatja:

‚GESTALT'

→ Jung az érzékelésről és az intuíciókról XVII.2.4.2

← a rossz és a „megfosztottság" (Angustinus) V.2.4



13. ábra. ***Példák a „jó alakra": az elemek formába rendezésének igényére***

a) „Jó folytatás": úgy látjuk, hogy két pontsor keresztezi egymást, holott erre nincs bizonyítékunk.
b) „Zártság": körré egészítjük ki a formát.
c) „Szubjektív kontúr": egy világos és egy sötét háromszöget látunk, holott a sötét „hiányos", a világos pedig „egyáltalán nem létezik".

BELSŐ REND

Az alakok **belső rendjének** felismerése biztosítja, hogy ki tudunk egészíteni hiányos történeteket („mi lehet a mese vége?"), részleteiből is ráismerünk egy arcra, el tudjuk különíteni barátunk beszédét egy terem háttérzajától stb.

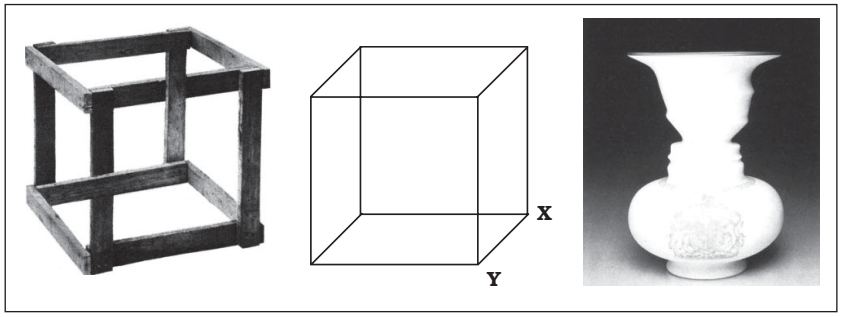
A **transzponálhatóság** (áthelyezhetőség) azt jelenti, hogy ugyanazt az alakot fölismerjük akkor is, ha egyes elemei megváltoztak és – esetleg – más környezetbe is kerültek. Jó példa erre a földrészek fölismerése különböző vetületű térképeken vagy a festett kép és az élő személy azonosítása.

← a vetületek torzítása IV.4.3; VIII.1

Különösen érdekesek azok a helyzetek, amelyekben az elemek többféle értelmes rendbe szerveződhetnek. Az ún. Necker-kockát például hol „homorúnak", hol „domborúnak" látjuk. („Átbillenő ábrák"). Bármilyen gyorsan váltson is szemléletünk, egyszerre csak egyféle módon tudjuk látni e képeket, és nagyon nehéz **nem** alakként, puszta vonalcsoportként szemlélni azt.

ÁTLIBBENŐ FORMÁK

← Escher grafikája az „örökmozgóról" VI.9., 48.ábra

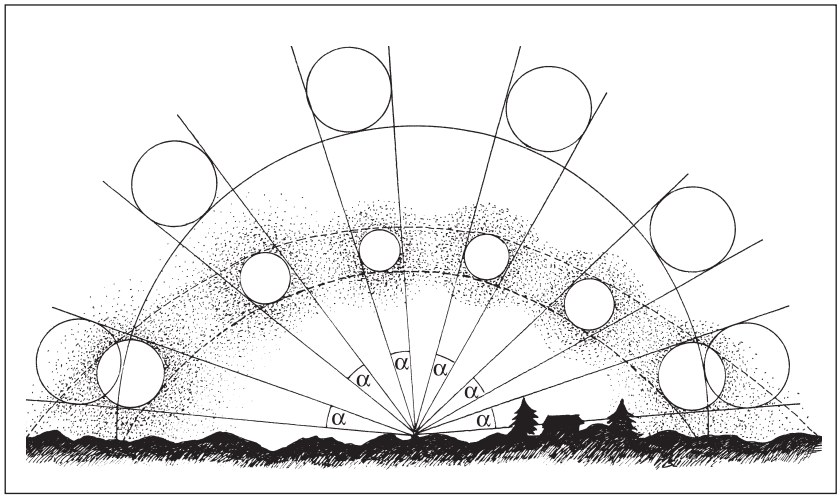


14. ábra. ***Középen: Necker-kocka.*** Eldöntendő, hogy az X vagy az Y csúcs van-e közelebb hozzánk.
Jobbra: Rubin serleg. A II. Erzsébet és Fülöp herceg ezüstlakodalmára készült serleg. Eldöntendő, hogy a serleget, vagy a királyi pár profilját látjuk-e. Az ilyen átbillenő ábráknál *egyszerre* mindig csak az egyik alakzatot észleljük.
Balra: „Elátkozott ketrec" – D. Cochran fotográfiája. Ez a valódi, fából ácsolt szerkezet csak ebből a szögből fényképezve csapja be térlátásunkat. Ha máshonnan nézzük, kiderül a csalás: a deszkákból két helyen is kifűrészeltek egy-egy darabot.

ÖNTUDATLAN ÉRTÉKELÉS

Az alaklátás a világ **öntudatlan értékelése**. Az értékelés szervezi az egyes érzékleteket értelmes egésszé. Vajon az értelemadó alakok csupán elménk szüleményei vagy a rajtunk kívüli valóság is ilyen? E Kant filozófiáját idéző kérdésre az alaklélektan hívei úgy feleltek, hogy értelmünk *keresi*

← VII.5



15. ábra. ***A Hold-illúzió (Schopenhauer magyarázata)***
A Hold mérete nagyobbnak látszik a horizont közelében, mint attól távolabb, noha a szög, ami alatt látszik, végig állandó. A jelenség oka valószínűleg az, hogy az „égbolt" alakját öntudatlanul nem gömbnek látjuk, ezért úgy véljük, hogy a Hold távolsága pályája befutása során változik.

a külvilág rendjével megegyező belső rendet – tehát mindkét világ rendezett, noha e két rend nem szükségképpen van teljes összhangban. Az eltérés azonban nem lehet túl nagy. Rövid életű az a nyúl, amelyik nem ismeri fel a rókát, mert agyában a bokor mögött feltűnő vöröses foltok nem „szerveződnek" a sompolygó róka fülévé és farkává. A **felismerés** képessége azonban magában rejti a **félreismerés** lehetőségét is. Az érzékelés legegyszerűbb szintjén ilyenek az **illúziók**.

→ Helmholtz a látás mechanizmusáról XVIII.3.3.8
→ látási illúziók XVIII.3.3.2

ILLÚZIÓK

Az alaklélektan nem állítja azt, hogy az alakok megváltoztathatatlanok. Ahogy szokásaink, úgy **látásmódunk is átalakulhat**. A perspektivikus rajzot például meg kell tanulnunk térbelinek látni. Ha egy afrikai busman vadásznak mutatnak egy antilopot ábrázoló fényképet, először nem ismeri fel rajta az antilopot (noha a valóságban sokkal „jobban lát", mint a kísérletet végző pszichológus). Részleteit azonban meg tudja nevezni, ha rámutatnak. „Ez egy szarv. Ez pata. Ez egy farok." Hosszabb-rövidebb idő után *hirtelen* ismeri föl az ábrázolt állatot – nem logikailag, hanem alaklátás révén.

RÁISMERÉS, MEGISMERÉS

← „Aha!"-élmény I.1; III.8.1.1

Vajon az ember gondolkodásmódjában mi az, ami valóban változtathatatlan, ösztönös (van-e ilyen?), s mi az, ami értelmünkkel átalakítható? E problémával részben az „irracionalizmus" filozófusai próbáltak megbirkózni, részben az etológia tudománya.

→ paradimmaváltások a tudományokban XIX.

→ XVI.4; XVII.1

3.2 Tanulás belátással

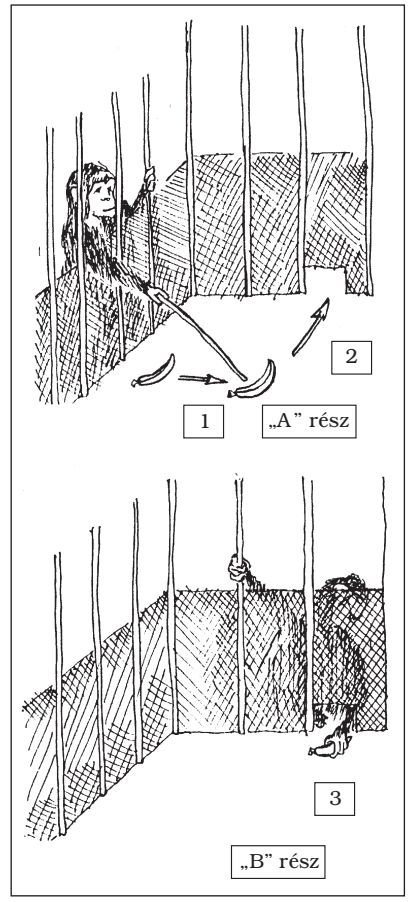
Az alaklélektan nemcsak az érzékelést, hanem a **viselkedés** bizonyos típusait is megmagyarázta. A leghíresebb kísérleteket e tárgyban Wolfgang Köhler német kutató végezte emberszabású majmok (csimpánzok) „közreműködésével". Köhler igyekezett olyan kísérleti helyzetet teremteni, melyben az állat az áhított célt nem érheti el egyszerű „próba-szerencse" módszerrel. A megoldáshoz ugyanis egy több elemből álló viselkedés vezet – de csak akkor, ha ezeket az elemeket a megfelelő sorrendben hajtja végre az állat. Annak esélye, hogy a helyes sorrendet *véletlenszerű* próbálgatások alapján találja el: gyakorlatilag nulla. Szükséges tehát, hogy a megoldandó feladat egészéről valamiféle áttekintése legyen, átlássa, „belássa" a problémát.

Elemi belátási feladatok az úgynevezett kerülőút-helyzetek. Egy példa Köhler könyvéből:

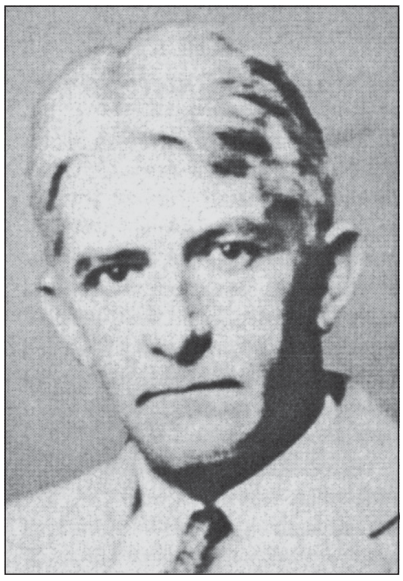
„Kívül a rácson, az állattal szemben ott a cél, de a vasrács alul sűrű hálóval van beborítva, úgy hogy az állat, ha felülről lenyúl, tud ugyan dolgozni a hosszú bottal, de hiába húzza egészen oda a céltárgyat, nem érheti el a háló miatt. Szultán fogja a botot, igen határozottan eltolja vele a céltárgyat oldalirányba egy olyan pontig, ahol a hálón alul egy lyuk van. A lyukon át kinyújtja a karját és fölveszi a földről a gyümölcsöt. (…)

A tényleges kísérleti helyzetben a céltárgyat 90 illetve 180°-os szögben el kell távolítania önmagától (ha 0°-kal cél-állat irányt jelöljük). A kísérlet első (A) része (odatolni a célt egy másik helyre, eltávolítva magától az állattól) önmagában nem folyhat le belátással, mert ez a cselekvés önmagában inkább káros, mint hasznos az állatnak. A B rész viszont (odamenni a másik ponthoz és megragadni a céltárgyat) ekkor még számításba sem jöhet.

Vajon feltételezhető-e, hogy a teljes cselekvési terv (AB) a belátással áttekintett helyzetből mintegy előugrik az állat (vagy ember) számára? Más magyarázatot ugyanis nem tudok elképzelni, ha egyszer a lefolyás kezdete külön még semmit sem tartalmaz a megoldásból, sőt egyenesen ellentétesnek látszik vele. (…) Az alakelméletben ismeretes, hogy



16. ábra. ***Csimpánz belátásos tanulásának sémája***



17. ábra. ***Wolfgang Köhler (1887–1967) német–amerikai pszichológus, az alaklélektan egyik alapítója.***
Híressé az első világháború alatt Teneriffe szigetén végzett kísérletei tették, melyekben emberszabású majmok problémamegoldó képességét vizsgálta. Összefoglaló munkájában (Gestalt psychology, 1929) az asszociáció-tan éles bírálata mellett megkísérelte összekapcsolni a Gestalt-pszichológiát a fizikával (mezőelmélet) filozófiával és matematikai modellezéssel.

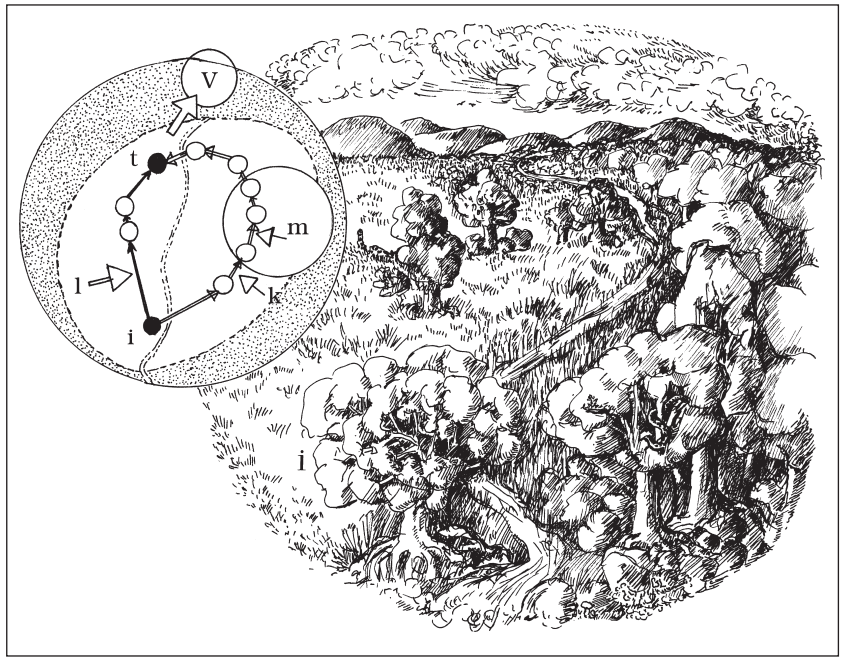
van olyan egész, amely „több, mint részeinek összege", sőt, jelen esetben egy olyan egészről van szó, amely bizonyos értelemben ellentétben van egyik részével – s ez különleges következmény."

W. Köhler: Vizsgálatok emberszabású majmokon

Az alaklélektan hívei szerint az ilyen és ehhez hasonló **belátásos tanulás** csak úgy magyarázható, ha feltételezzük, hogy az állat (vagy ember) az egész helyzetet egyetlen „alakként" látja. A lehetséges megoldásokat gondolatilag kipróbálja, értékeli, majd dönt. Ez pedig nem más, mint a **gondolkodás** folyamata. Az etológusok azóta bizonyították, hogy a belátás nem lehetséges előzetes próba-szerencse típusú kísérletezések nélkül – noha nem vezethető le azokból.



18. ábra. ***Csimpánz eszközhasználata***



19. ábra. ***A „belátás" sémája a szabad természetben***
Az „i" kiindulópontban a fán üldögélő majom a „t" táplálékot adó fa (mint cél) elérésére törekszik. Az elébe táruló látvány, valamint eddigi tapasztalatai alapján megalkotja magában a két lehetséges döntést tartalmazó „alakot" (a körben a világos terület). Az egyik út – a baloldali – rövid, de veszélyes: a nyílt terepen leopárdok (l) ólálkodnak. A jobboldali út hosszabb, de biztonságosabb: az erdőn át vezet. Itt is leselkednek azonban veszélyek: kígyók (k) illetve más majmok (m), melyek territóriumát metszi a tervezett útvonal.
A majom mindezeket mérlegelve dönt, s ennek megfelelő választ (V) ad: valamerre elindul.

3.3 Alaklátás és megismerés – a kognitív pszichológia kezdetei

KOGNITÍV TUDOMÁNYOK

Az 1960-as évektől kibontakozó **kognitív pszichológia** az alaklélektan eredményeire épít, de fő kérdése más. Míg az alaklélektan főleg az érzékelés és a viselkedés törvényszerűségeit kutatta, a kognitív pszichológiát a **megismerés és megértés módja** érdekli (cognosco *lat.* = megértek, fölismerek). Ennek az irányzatnak kiinduló föltevése az, hogy a megismerő ember (vagy állat) fejében gondolati sémák (modellek) sokasága működik. Ezek együttesen alkotják a világ „szellemi képviseletét" (mentális reprezentációját). Akár a külvilággal, akár saját gondolatainkkal foglalkozunk, elménkben nem egyszerűen fölhalmozódnak a tapasztalatok, hanem azonnal rendeződnek is. A sémák a „jó alak" fogalmának felelnek meg, de nem az érzékelést, hanem a gondolkodást irányítják, szervezik. A világról alkotott képünk tehát több mint tudásunk elemeinek összessége, mert azt is megmutatja, hogy hogyan kapcsoljuk össze ezeket az elemeket, és mit kezdjünk tudásunkkal. Így például két szám és a közéjük írt „+" jel együtt a számok összegét jelenti, a jó sakkjátékos nem vaktában lép, hanem a számára előnyös lépéskombinációk sokaságát csoportokba rendezi (megnyitási módok), az autóvezető tudja, hogy a lámpa pirosra váltása után a forgalom irányának megváltozására számíthat.

SÉMÁK, MODELLEK

→ tudományos pozitivizmus és annak kritikája XIX.

← a rövid távú memória jellemzői XVI.1.2.3

Hogyan kapcsolódik össze **érzékelésünk, gondolkodásunk és cselekvésünk**? Erre a kérdésre a klasszikus behaviorizmus nem adhatott választ, hiszen képviselői tagadták, vagy megismerhetetlen „fekete doboznak" tartották a lelki folyamatokat. Az alaklélektan és a kognitív irányzatok azonban fölnyitották ezt a képzeletbeli dobozt, és abban nem is egy, hanem legalább háromféle tudást különítettek el: a leíró, a képi és a készség jellegűt. A **leíró** (propozicionális) tudás egésze egyértelműen megadható egy véges kijelentéslista segítségével. Például fölsorolhatjuk a Naprendszer bolygóit, megadhatjuk születésünk helyét és idejét vagy a nyertes lottószámokat. A **képi tudás** az érzéklet vagy fölidézett világ formáira és érzetminőségeire vonatkozik, például egy emberi arcra vagy egy dallamra. A **készségek** viszont – mint például ha valaki tud kerékpározni vagy beszél magyarul – nem ismeretek véges halmazát jelenti, hanem azt, hogy hogyan bánjunk tetszőleges ismeretekkel (például hogyan ragozzunk bármely igét vagy főnevet). Sok vitát váltott ki, hogy létezik-e önálló, szavakba nem önthető képi tudás (s ha igen: vizsgálható-e egyáltalán). Amióta sikerült elkülöníteni néhány készségért és képességért felelős agyterületet, úgy látjuk, hogy az emberi elmében e háromféle tudás egyike sem vezethető vissza a másikra. Önállóak, de hasonló szerveződésűek: az egyes elemek mindegyikben magasabb egységekbe szerveződnek (alak, gondolati séma, mozgásmintázatok). Kapcsolatuk pedig normális esetben igen szoros: a gondolkodás gyakran képszerű (el*kép*zelésen alapul), a képlátás viszont bizonyosfajta tudatosság, előzetes elvárás nélkül lehetetlen (például csak akkor ismerhetünk föl egy tárgyat, ha tudjuk, mit keresünk).

A „TUDÁS" ELTÉRŐ FORMÁI

KÉSZSÉGEK

← mire alkalmas a logika és mire nem? III.11.1–2

→ agyi aszimmetriák XVIII.3.6

A **gondolkodás** a kognitív pszichológia szerint tudásunk rendezése, formálása. (Ekkor leíró vagy képi tudásunk elemei közt készségeink segítségével teremtünk kapcsolatot.) Ha ennek a folyamatnak minden lépése tudatos és ésszerű lenne, a gondolkodás jellegzetességei megegyeznének a logika szabályaival, erre akár egy gép is képes lehetne. (A mai kognitív irányzatok egyike éppen ezért lehetségesnek tartja a mesterséges intelligenciát, a számítógépeknek is gondolkodást tulajdonít.)

MI A GONDOLKODÁS?

→ látás és gondolkodás XVIII.3.2

→ a mesterséges intelligencia kérdése XXX.; XIX.

Valójában azonban, hasonlóan az alaklátáshoz, gondolati sémáink és készségeink nagy része is öröklött vagy gyermekkori emlékeken alapul, ezért ezek **többnyire nem tudatosulnak**, és készségeinkről is ritkán tudunk számot adni. Például helyesen beszélhetjük anyanyelvünket anélkül, hogy el tudnánk mondani a ragozás szabályait, azt is azonnal látjuk, ha

→ XVII.

→ kommunikáció XVII.3.3

barátunk zaklatott, bár ő nem szól semmit, és mi sem logikai úton jutunk erre a következtetésre. Sejtéseinket, öntudatlan meglátásainkat viszont utólag alátámaszthatjuk ésszerű érveléssel. Ha ez sikerül, viselkedésünket racionálisnak, gondolkodásunkat következetesnek, érzékelésünket normálisnak érezzük. Ha viszont gondolataink egymásnak ellentmondó eredményre vezetnek, feszültséget, **kognitív disszonanciát** élünk át, amit igyekszünk mielőbb megszüntetni.

RACIONALITÁS

→ felhasználása a meggyőzésben XVII.3.3.3

Alaklátásunk, gondolkodási sémáink hibás, torz eredményre is vezethetnek. A felvilágosodás hagyatéka az a hit, hogy az ésszerű érvelés, a ráció ereje elegendő ahhoz, hogy megszüntesse a tévedéseket. Az alaklélektan – s vele párhuzamosan a pszichoanalízis irányzata – azonban különös élességgel vetette fel, hogy a helyzet gyakran fordított. Az értelem erejét sokszor a hibás ítélet utólagos igazolására fordítjuk. Ez szólhat csak a külvilágnak (mentegetőzés, színlelés), de az illető sokszor önmagával is elhiteti, hogy helyesen cselekedett (önigazolás). Így magyarázható a **hiszékenység**, az **előítélet** vagy – súlyosabb esetben – a **rögeszme** keletkezése. Moliere Tartuffe-jében Orgon nem vak, de „vakká teszi" a hiszékenység és a félelem. Minden jelenséget úgy lát és úgy értelmez, hogy az Tartuffe ártatlanságát bizonyítsa. Amikor aztán „rádöbben a valóságra", egyszerre az összes addigi tapasztalatát másképpen látja, más gondolati sémába rendezi. Ugyanez a magyarázata annak, hogy minden előítélet önigazoló. Ha például valakinek az a meggyőződése, hogy „a nők nem képesek az elvont gondolkodásra", akkor személyes tapasztalatai közül nagy jelentőséget fog tulajdonítani mindazoknak, amelyek ezt alátámasztják, viszont hajlamos lesz észre sem venni azt, ami előítéletét gyengítené. Az előítéletek rugalmatlanná teszik, majd megbénítják a gondolkodást. Hasonlóan veszedelmes a másik végletes állapot, az **ítélőképesség hiánya.** Ebben az állapotban az ember elvet minden gondolati sémát, támpont nélkül marad, így képtelen lesz bármilyen következtetésre, gondolatmenetre.

← „Mi a felvilágosodás?" VII.6.2

→ az értelem az akarat szolgája? (Nietzsche) XVII.1.4–5

→ zavart gondolkodás XVII.3.2.2

HISZÉKENYSÉG, ELŐÍTÉLET

AZ ÍTÉLŐKÉPESSÉG HIÁNYA

Az alaklátás tehát kettős természetű: ez *mindenfajta megértés alapja*, ugyanakkor talán *minden tévedés forrása is*. Az előítéletektől mentes és árnyalt gondolkodás feltétele az, hogy sokféle alak, gondolati séma éljen a fejünkben, egyikről a másikra át tudjunk lépni, azaz tapasztalatainkat sokféleképpen tudjuk rendezni. Ennek segítségével választhatjuk ki a tényeknek is megfelelő, lehetőleg célszerű, pontos és méltányos értelmezést.

← „ködképek" (Bacon) VII.2

→ modern tudományfilozófia XIX.

3.4 Az alaklélektan problémái

GONDOLKODHATNAK-E AZ ÁLLATOK?

Az állati gondolkodás feltételezése sokakból erős ellenkezést váltott ki. A bírálók jórészt azt kifogásolták, hogy Köhler „emberi szintű" problémamegoldó képességet tételez fel egy állatról. Ráadásul kiderült, hogy egyszerű kerülőút-feladatokat az emberszabású majmokon kívül számos más állat is meg tud oldani, s nem is mindig a „legokosabbnak" tartottak a legügyesebbek. A mókus például könnyen megoldja azt, amit egy kutya csak sokára. Sőt, olyan, zseniálisnak éppen nem mondható állatok is, mint a légynyűvek, képesek kikerülni egy zsákutcából! E példákkal szembeni érv az, hogy a valódi „intelligens" belátás esetén a helyzet felmérése és a megoldás között határozott időbeli eltérés van. Hogy az állat vagy ember ezalatt ténylegesen a feladat megoldásán *gondolkodik*, az természetesen nehezen bizonyítható, de utalhatnak rá jelek. A majom például többször végigpásztázza szemével a kérdéses pontokat, fejét vakargatja, homlokát ráncolja stb. *anélkül, hogy eközben az elkövetkezendő mozgássor bármelyik elemét ténylegesen végrehajtaná.* Ugyanez a mókusról vagy a légynyűvekről nem mondható el.

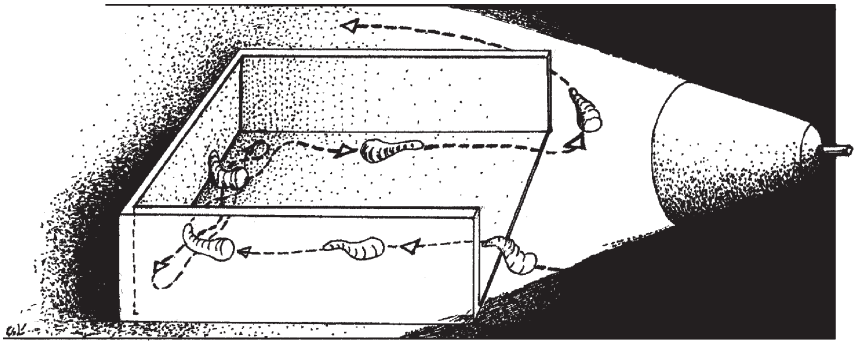
← reakcióidő-mérések tapasztalatai XVI.1.2.2–3

← teleologikus világkép (Arisztotelész) III.9.1.1

Az alaklélektan mindenesetre nyitva hagyta azt az alapvető kérdést, hogy vajon az „értelmes" (vagy annak látszó) viselkedések során az állatok

mennyire „vannak tisztában” cselekvésük céljával? Miként a behaviorizmusban rejlő néhány problémára, erre is a kibontakozó etológia kísérelte meg a válaszadást.

→ etológia XVI.4.



20. ábra. ***Légynyűvek „zsákutcában”***
A légynyűvek a természetben sötét helyen élnek, menekülnek a fény elől (negatív fototaxis). A kísérletben a doboz zárt végéhez érve meg kellett fordulniuk, és egy darabig a növekvő fényerősség irányában haladni ahhoz, hogy valóban sötét helyre érkezzenek.

Summa (3)

Az alaklélektan (Gestalt-pszichológia) központi fogalma az alak(minőség) (Ehrenfels). Ez memóriánk azon képessége, amivel egy összetett jelenség elemein kívül annak egészét is képes fölismerni. Az alak jellemzője a belső rend és a transzponálhatóság. A belső rend azt jelenti, hogy az *egész (a Gestalt)* mintegy „törekszik arra”, hogy részei olyan alakba rendeződjenek, amelyben határozott belső törvényszerűség uralkodik („Jó alak”). A transzponálhatóság (áthelyezhetőség) azt jelenti, hogy ugyanazt az alakot fölismerjük akkor is, ha egyes elemei megváltoztak és – esetleg – más környezetbe is kerültek.

Az alaklátás a világ öntudatlan értékelése. Az értékelés szervezi az egyes érzékleteket értelmes egésszé. Ez előfeltétele a megértésnek, de lehetőséget ad a tévedésre is (látási illúziók, önigazolás, rögeszmék).

Problémák, feladatok (3)

1. A Köhler-féle majom-kísérlet sok szempontból olyan, mintha egy amerikai behaviorista tervezte volna. Mi a hasonlóság és a különbség?

2. A kezdő sakkjátékos sokféle hibát elkövet, későbbiekben – néha motyogva – „kombinálni” kezd: „ha én ide lépek – akkor ő oda …” típusú monológokat folytat. Milyen típusú tanulási folyamatok ezek? Miért befolyásolhatja a tapasztalat a tanulás módját? (Vesd össze a rövid- és hosszú távú memória elméletével!)

3. *„Emlékezik, figyel és várakozik a lélek”* – írja Augustinus a Vallomásokban. Hasonlítsuk össze Augustinus időről és emlékezetről vallott felfogását az Ehrenfels által a dallamról írottakkal! Mi a hasonlóság és a különbség?

4. Hasonlítsuk össze az „alakminőség” fogalmát Platón ideáival! Vessük össze a fölismerés folyamatát a platóni anamnézissel! Tekinthető-e az alaklélektan a platóni idealizmus újrafogalmazásának?

5. Azonosak-e a Gestalt-elmélet „alakjai” Bacon „ködképeivel”?

6. A neves – és jó humorú – angol filozófus-matematikus Bertrand Russel egyik írásában különös „etológiai jelenségre” hívja fel a figyelmet. Az amerikai kutatók majmai mindig összevissza ugrándoznak a ketrecükben, majd egyszer csak véletlenül megtalálják a megoldást – a német kutatók majmai viszont először leülnek, töprengenek, s csak aztán cselekszenek.
Melyik két pszichológiai-etológiai irányzat szatirikus leírását ismerhetjük fel az idézetből? Mi Russel humorának forrása?

Irodalom:

- Alaklélektan,GONDOLAT 1974. *Válogatás Ehrenfels, Köhler, Wertheimer, Thorndike, Lewin, Bertalanffy, Lashley, Révész és mások írásaiból. Kardos László bevezető tanulmányával.*
- Behaviorizmus, GONDOLAT 1970. *Válogatás J.B. Watson, Tolman, Skinner, Lashley, Rubinstejn és mások írásaiból. Kardos Lajos bevezető tanulmányával.*
- Pavlov, Ivan Petrovics: Válogatott művei, AKADÉMIAI 1951
- Lorenz, Konrad: Válogatott tanulmányok, GONDOLAT 1977
- Pszichofiziológia, GONDOLAT 1972. *Benne Pavlov, Skinner, Freud, Lurija, Hydén írásai. Ádám György bevezető tanulmányával.*
- Wundt, Wilhelm: A lélektan alapvonalai, FRANKLIN 1898

- Arnheim, Rudolf: A vizuális élmény – Az alkotó képlátás pszichológiája ALDUS, 2004
- Bartlett, F.C.: Az emlékezés, GONDOLAT 1985
- Bernáth László – Révész György (szerk): A pszichológia alapjai, TERTIA 1995
- ✍ Fuchs, Waler R.: Az új tanulási módszerek, KÖZGAZDASÁGI 1971
- ✍ Gregory, R.L – Gombrich E.H: Illúzió a természetben és a művészetben, GONDOLAT *Tanulmányok a látvány érzékeléséről és értékeléséről.*
- Lénárd Ferenc: A lélektan útjai, AKADÉMIAI repr/ FRANKLIN (1947) 1989 *(pszichológiatörténet 1943-ig)*
- Lurija, A.R.: Válogatott tanulmányok – Kis könyv a nagy emlékezetről, GONDOLAT 1975
- Kugemann, Walter: Megtanulok tanulni, GONDOLAT 1981
- Piaget, J. – Fraisse, P. – Reuchlin, M.: A kísérleti pszichológia módszerei, AKADÉMAIAI 1973
- Pólya György: A gondolkodás iskolája, BIBLIOTHECA 1957
- Pléh Csaba: Pszichológiatörténet, GONDOLAT 1992. *Descartes-tól a modern pszichológiáig.*
- Pléh Csaba: Hagyomány és újítás a pszichológiában, BALASSI 1998
- Pléh Csaba: Bevezetés a megismeréstudományba, TYPOTEX 1998
- Schacter, D.: Az emlékezet hét bőre, HVG 2002

4. Az etológia

4.1 A kérdésfölvetés

Az élőlények viselkedését sokáig a középkori skolasztika gondolkodásmódja szerint vizsgálták a természetbúvárok. E szemlélet minden létezőt az értelmesen működő Világegészbe igyekezett beilleszteni. Eszerint a lepke *azért* porozza be a virágot, hogy az termést hozhasson, a termést *azért* aratjuk le, hogy megéljünk belőle, ekképp életünk és erőfeszítéseink is egy magasabb cél szolgálatában állnak. Az arisztotelészi „négy ok" közül tehát kiemelt jelentőséget tulajdonítottak a **cél-oknak** (telosz). Mivel pedig a célokat követendő viselkedési normák, erkölcsi parancsok formájában fogalmazták meg, az állatok viselkedését szintén erkölcsi szempontok alapján írták le. A „moralizáló etológia" az állati viselkedésben példázatokat: követendő vagy elítélendő mintákat állított az emberek elé. Nem csoda, hogy a bátor oroszlán, az alattomos kígyó, a hiú páva vagy a szelíd galamb gyakori szereplője volt a prédikációknak, példabeszédeknek is. Noha e szemléletmód ma már furcsának, sőt néha mulatságosnak tűnhet, a kor emberét mégis mélyen elgondolkoztathatta. A leírások egyrészt az állati viselkedés bámulatos sokféleségéről tudósítottak, másrészt – példázatként – arra figyelmeztették a hallgatót, hogy e sokféleség az *emberi* léleknek és viselkedésnek is sajátja. Ha az állatok emberi módon viselkednek, akkor megfordítva: az emberben is van valami állati. Az élővilág tehát – legalább részben – egységes, így azonos módszerekkel vizsgálható. E fölismerés később elősegítette az újkori viselkedéstudomány (etológia) gyors kiterjesztését.

← a négy ok III.9.1.1

← a világ rendje V.5.4

„MORALIZÁLÓ ETOLÓGIA"

← az emberi lélek szintjei Arisztotelész szerint III.10.2

→ humánetológia XVI.4.5.3

→ a szociobiológia kérdőjelei XXVII.

A moralizáló állattanra jó példa a svájci Gesner hatalmas monográfiája, magyar nyelven pedig Miskolczi Gáspár: Egy jeles Vad-Kert című könyve (1702).

A Páváról

Ez, aminthogy igen tollas, azonképpen felette igen ékes Madár is, melynek az Isten az ékességben minden egyéb madarak felett elsőséget engedett. De azonban igen gyönge testű is, nem is derekasan röpülhető. Ezt a Természetvizsgálók 5 nevezetes hibájáról írják le.

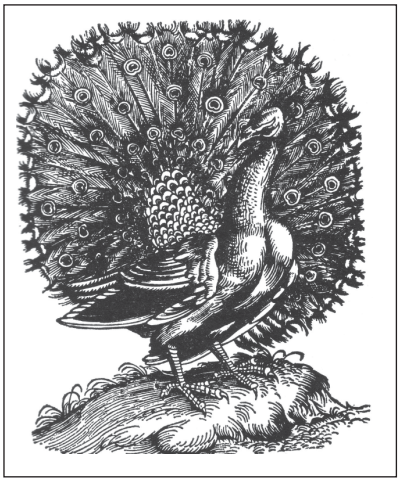
1./ Hogy igen ravasz 2./ Igen kevély 3/ Igen irégy 4/ Kártevő 5/ Felette igen buja és fajtalan madár (…)

A Páva felől a régiek azt szokták mondani, hogy három dísztelenség vagyon őbenne, úgymint az ő ördögi sikóltása, mellyel sokszor az egész szomszédságot megbántja, rút kígyóforma feje és pajkos módú, sömörgős lábai. (…)

Ezek azért kiváltképpen való tulajdonságai ennek a Madárnak, mely tulajdon kiábrázoló képe a fösvény Gazdagoknak, és azoknak, akik a természettől ékes termettel és szép ábrázattal megajándékoztattak.

Mert miképpenhogy ez a Madár a dicséretnek nagy kívánója, azonképpen a magoknak tetsző Gazdagok, ékes termetű férfiak, főképpen pedig az Asszonyi-állatok tellyes igyekezettel azt munkálódják, hogy ők az ő gazdagságokról vagy szépségekről mindenektől dícsértessenek. Miképpenhogy a páva néha önkénte is cifra farkát kiterjeszti és úgy mutogatja, azonképp az ollyaténok is ottan-ottan magoktól kifakadnak a magok dicséretekre …

Miskolczi Gáspár: Egy jeles Vad-Kert

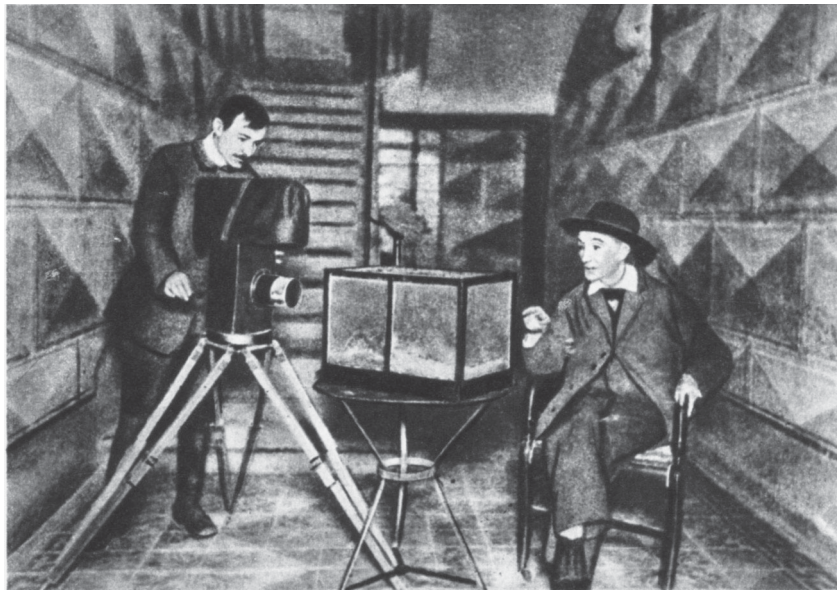


21. ábra. ***A Páva. Ábra Miskolczi Gáspár: Egy jeles Vad-Kert című munkájából***

VISELKEDÉS HATÓ OKAI

A mechanika korának természettudósai az állati viselkedésben is kezdtek mást látni, mint a középkor embere. A mozgásokban a *mechanizmust* keresték: a cél-ok helyett egyre inkább az (arisztotelészi) *anyagi illetve ható ok* felé fordult a figyelem. Az anyagi ok: az adott viselkedést lehetővé tevő csontok, izmok, idegek felépítése, ezek kapcsolatai. Ennek leírása az anatómia és élettan feladata. A ható okot, azaz a **viselkedés kiváltóit és lefolyásának menetét pedig a modern etológia kezdte vizsgálni**. Természetesen az etológusok sem zárták ki eleve azt, hogy egy állati vagy emberi viselkedésnek célja (is) lehet, ezt azonban feltevésnek tekintették: elemzés tárgyává tették. Mind az állati, mind az emberi viselkedés vizsgálata során objektivitásra törekedtek, igyekezvén kiküszöbölni a leírásokból az etikai szempontokat.

→ visszacsatolások a viselkedésben XVI.4.2.2–3



22. ábra. ***A kísérletes etológia kezdetei***
Jean Henri Fabre (1823–1915) francia entomológus (rovarkutató) fiával filmfelvételt készít terráriumban tartott rovarok viselkedéséről az 1900-as évek elején.

4.2 Az etológia kibontakozása

4.2.1 Az öröklött mozgásminták

MEGFIGYELÉS ÉS KÍSÉRLET

Valószínűleg kevés ember tanulmányozta olyan elmélyülten a rovarok életét, mint J. H. Fabre, francia tudós. Az igazi újdonságot azonban *kísérleti módszere* jelentette, mellyel az egyes viselkedések kiváltó okait tárta fel. Fabre mindig a rovar természetes, zavartalan viselkedéséből indult ki. Csak amikor ezt már pontosan ismerte, akkor változtatott valamit a természetes körülményeken, s figyelte ennek hatását a viselkedésre. Példaként idézzük fel egyik kísérletsorozatát, amit kőművesméhekkel (Chalicodoma) végzett. Ezek a rovarok kürtőszerű fészket építenek sárból és nyálukból, ezt megtöltik mézzel, majd belehelyeznek egy petét és lezárják az építményt. A kikelő lárva e mézből táplálkozik. Fabre arra volt kíváncsi, hogy az „anyai gondoskodás” e megnyilvánulása mennyire tudatos, tisztában van-e a méh cselekvése céljával. Kísérleti módszere egyszerű volt: kicserélte két kőművesméh fészkét.

MIT TUD EGY KŐMŰVESMÉH

(…) Íme egy kőművesméh, amelyik építeni kezd. Amint elrepül, elveszem félig kész fészkét, (…) s cserébe egy olyan fészket adok neki, amely,

MEGCSERÉLT FÉSZKEK

mint építmény, nemcsak hogy befejezett, de szinte tele van mézzel is. Elcsentem tulajdonosától, amelyik már nem halogathatta volna a pete belehelyezését. Vajon mit fog tenni a kőműves bőkezű adományom láttán, miután a gyűjtésnek és az építésnek fáradságát megtakarítottam számára? Kétségtelen, ott fogja hagyni a habarcsot, azért, hogy befejezze a magáét, lepetézzen és lezárja. – Tévedés, nagy tévedés! A mi logikánk logikátlan az állat számára. A rovar egy tudattalan, végzetes ösztönző erőnek engedelmeskedik. Nincs ítélőképessége, nem irányítja a ráció. (…) Leplezetlenül mutatom be a tényeket, nem mondok mást, mint a mi van, a döntést a méhekre bízom.

→ magatartásgenetika XXIII.

ÖSZTÖN: RÖGZÍTETT MOZGÁSSOR

Az a méh, amelyik épített, s amelyiknek felkínáltam a kész kamrát, egyáltalán nem mond le a habarcsrakásról érte. Ő kőművesmunkát végzett, s az ösztönző erőtől hajtva, mint valami lejtőn lefelé taszítva, tudattalan folytatta kőműveskedését, még ha munkája fölösleges, érdekeivel ellentétes is. (…)

A raktár rése fölött elhelyez egy gyűrű alakú habarcspárnát, aztán egy másikat, majd még egyet, végül annyit, hogy a sejt a szabályos magasság háromszorosára emelkedik.

A másik méh példája sem kevésbé meggyőző…

→ a gép, mint modell X.2; XVIII.1.1

J.H. Fabre: A megcserélt fészkek

A MAGATARTÁS ELEMEI

Ami érvényes egy olyan hosszú, bonyolult mozgássorozatra, mint a táplálékgyűjtés, ugyanaz igaz annak egyes mozzanataira is:

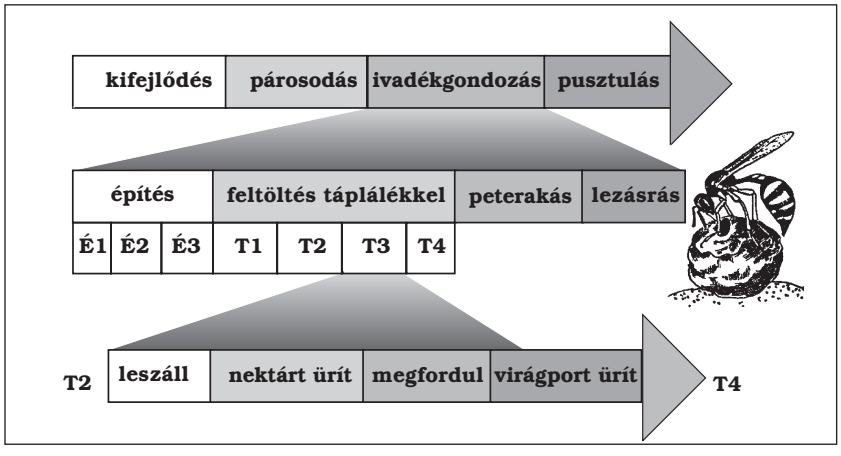
A gyűjtésből érkező méh két műveletet végez az elraktározáskor. Először a fejét dugja be a sejtbe, hogy mézgyomrát kiürítse, aztán eltávolodik, majd hátrálva tér vissza, hogy potrohát leseperve, virágpor-terhét lerázhassa. Amikor a rovar potrohával készül a sejtbe nyomulni, egy szalmaszállal gyengéden eltolom. A második szakaszt így megakadályoztam. Ekkor a méh elölről kezdi az egészet, vagyis bedugja a fejét a sejt aljába, jóllehet már nem volt mit kiöklendeznie, mert a mézgyomra üres volt. Ezt az első cselekvést követi a potroh betolása. E pillanatban újra félretérítem. Megismétlődik a rovar cselekvéssorozata, mindig először a fej bedugásával. Annyiszor ismétlődik meg, ahányszor a megfigyelő akarja. (…) Fejét hol teljesen benyomja, hol csak félig, hol csak egyszerűen egy fejhajtással jelzi a szándékát. Akár így van, akár úgy, ez a cselekedet teljesen értelmetlen, mivel a méz kiöklendezése befejezett mozzanat. A gépezet rugója ez, azé a gépezeté, amelynek hajtóműve addig nem indul meg, míg a működést beindító kerék nem kezd forogni.

→ modellezése XVI.4.4.2

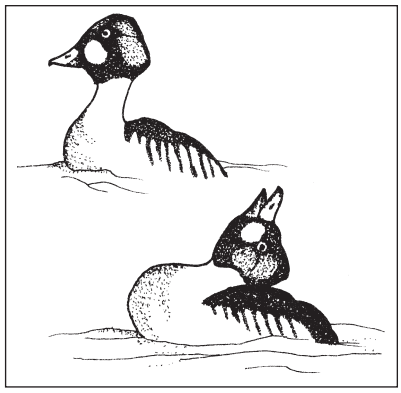
→ „vak akarat” (Schopenhauer) XVII.1.4

→ önző gén? (Dawkins) XXVII.

Fabre: A megcserélt fészkek (Puskás Attila ford.)



23. ábra. ***A kőművesméhek viselkedésének fázisai Fabre kísérletei alapján (séma)***
Fent: az életfolyamatok nagy szakaszai, lent: az ivadékgondozás egyes fázisainak sorrendje (a rövidítések ezen folyamatok kezdőbetűi). Legalul: a feltöltés egyes „fordulóinak” még részletesebb bontása. Mellette: fészkét építő kürtősdarázs



24. ábra. ***Kerceréce gácsér fejének hátravetése.*** A mozdulat az udvarlás része, időtartama 1,13–1,45 másodperc. Ha egy kerceréce gácsér ennél hosszabb vagy rövidebb ideig vetné hátra a fejét, az udvarlás sikertelen maradna, mert a tojó érdeklődése megszűnne.



25. ábra. ***Jean Henri Fabre (1823–1915) francia entomológus időskori képe.***
Az összehasonlító magatartáskutatás (etológia) egyik megteremtője. Változatos életútja során (kubikos, matematika-fizika szakos tanár, múzeumi preparátor) mindvégig a rovarok ösztönös magatartásai érdekelték. E témáról írt tízkötetes tanulmányát 1910-ben fejezte be. Írásai a tudományos értekezés és a szépirodalom szerencsés ötvözetei. (1910-ben irodalmi Nobel-díjra javasolták!) „Nem hiszem, hogy volna valaki, aki jobban csodálja az Ön kutatásait, mint én" – írta neki Charles Darwin egyik levelében. Fabre maga is nagyra becsülte Darwint, mint természetbúvárt, evolúciós elméletét azonban nem fogadta el, mivel megalapozatlannak tartotta. Fabre idegenkedését az átfogó elméletekkel szemben szerénységével magyarázhatjuk. Amikor felkérték, hogy dolgozza ki saját ösztön-elméletét, így válaszolt: „Mivel néhány homokszemet megmozgattam, ismerem-e az óceán mélységét?"

Fabre eredményei alapján a rovarokat joggal tekinthetjük úgy, mint parányi, előre programozott gépeket. Természetes viszonyok között viselkedésük célszerűnek tűnik, ez azonban csak a látszat. E mozgássorokat ugyanis nem képesek a környezet változásainak megfelelően módosítani. Egy-egy mozdulat *nem az áhított cél elérésének eszköze, hanem a meghatározott program végrehajtása*. Úgy is fogalmazhatunk, hogy az „áhított cél" éppen e mozgássorozat végrehajtása, függetlenül annak eredményétől. A XX. századi etológusok **öröklött mozgásmintáknak** nevezték el az ilyen és ehhez hasonló viselkedéseket. Az öröklött mozgásminták két legfőbb jellegzetessége Konrad Lorenz szerint a *veleszületett* jelleg és a *változatlanság*. A „veleszületett" kifejezés azt jelenti, hogy a viselkedést nem befolyásolja a tanulás vagy a felejtés, a „változatlanság" pedig azt, hogy elhanyagolhatók a különbségek egy fajon belül az egyes egyedek között, vagy ugyanazon egyed ismételt akciói közt. Ez különösen fontos az udvarlás, a násztánc során, hiszen ekkor (a párzásra való hajlandóságon kívül) azt is jelezni kell a másik egyednek, hogy udvarlója ugyanabba a fajba tartozik. Ezt pedig sokszor a testfelépítésnél is pontosabban mutatja a viselkedés.

4.2.2 Tájékozódás térben és időben

Az állatok ösztönös viselkedése sok olyan elemet tartalmaz, melyeknek iránya vagy erőssége a környezet függvénye. A kőművesméhnek például tájékozódnia kell ahhoz, hogy megtalálja a fészeképítéshez szükséges sarat vagy a nektárt adó virágokat, meg kell jegyeznie fészke helyét, hogy visszataláljon. A teljes viselkedést a környezettől függő és az attól független mozgássorok mozaikjaként képzelhetjük el.

A környezettől függő mozzanatok elkülönítése sokszor nem is egyszerű feladat. Példa rá az ásódarázs (Ammophila campestris) ivadékgondozó viselkedése, amit Tinbergen így ír le:

Ennek a fajnak a nősténye peterakás idején ás egy lyukat, megbénít, vagy megöl egy hernyót, a lyukhoz cipeli, majd, miután petéjét lerakta rá, elhelyezi a lyukban. Mikor ezzel elkészült, ás egy másik lyukat, melybe egy újabb hernyóra lerakott petét helyez el. Közben az első pete kikel, és a lárva elkezdi fogyasztani táplálékkészletét. A darázsanya figyelme ismét az első lyuk felé fordul, és odahord néhány újabb hernyót, majd ugyanezt cselekszi a második lyuknál. Harmadszor is visszatér az első lyukhoz, hogy odaszállítson egy hat-hét hernyóból álló utolsó adagot, ami után lezárja és örökre elhagyja a lyukat. Így dolgozik sorban két, sőt három lyukon, amelyek mindegyikében a lárva a fejlődés különböző stádiumában van. Baerends azt vizsgálta, hogy hogyan hordja a darázs minden egyes lyukhoz éppen a szükséges mennyiségű táplálékot. Azt látta, hogy a darázs minden reggel, vadászatra indulás előtt végigjárta az összes lyukat. Baerends megváltoztatta a lyukak tartalmát, majd utána megfigyelte a darázs viselkedését. Azt tapasztalta, hogy (1) a lyuk kifosztásával kényszeríteni tudta a darazsat, hogy a szokásosnál jóval több élelmet hozzon, és (2) a lyukba további lárvákat (hernyókat) helyezve elérte, hogy az állat a szokásosnál kevesebb táplálékot szállítson oda.

A kutató – Baerends – eddig csaknem pontosan megismételte Fabre eredeti kísérletsorozatát. Ő azonban észrevett valamit, ami Fabre figyelmét elkerülte:

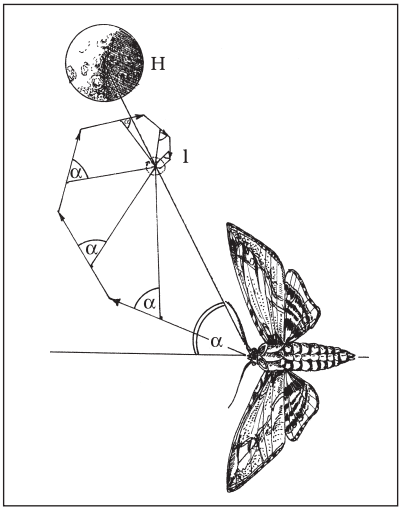
A változtatások azonban csak akkor befolyásolták a darazsat, ha a napi első látogatás előtt történtek. Semmilyen későbbi változtatásnak

nem volt a legcsekélyebb hatása sem. A darázs magatartását egész napra megszabta a lyuk első látogatáskor tapasztalt állapota.

Tinbergen: Az ösztönről (Gervai Judit ford.)

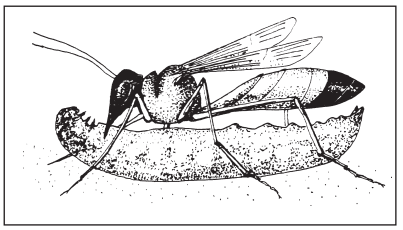
A környezettől függő mozgások közül egyeseket csak kivált, de nem irányít a környezeti inger (nasztiák). A mimóza levele például érintés hatására összezárul. Gyakoribb, hogy *az inger megszabja a mozgás irányát is*. E mozgásokat Lorenz javaslatára **taxisok**nak nevezik. Az ingerforrás szerint megkülönböztethetünk fény (foto)-, kémiai (kemo)-, gravitációs (geo)- stb. taxisokat. Megadható az is, hogy az állatot vonzza, vagy taszítja az adott inger (pozitív illetve negatív taxisok). A vízibolhák (apró rákok) például vonzódnak a fényhez, a dongólégy lárvái viszont menekülnek előle: előbbi pozitív, utóbbi negatív fototaxis. A planária nevű ragadozó laposféreg a zsákmány szaga felé kúszik, az egysejtű papucsállatkák viszont eltávolodnak a CO_2-buborék közeléből: előbbi pozitív, utóbbi negatív kemotaxis.

A legegyszerűbb taxisok iránytartását az biztosítja, ha a két érzékszerv azonos erősségű ingert kap. Szellemes kísérlettel igazolták, hogy ilyen pl. a vízibolhák fototaxisa vagy a planária kemotaxisa.

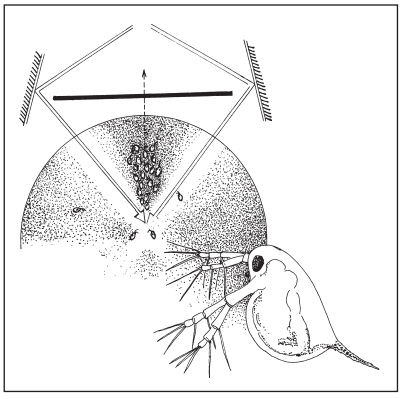


28. ábra. ***Éjszaka röpülő lepkék gyakran egy távoli fényforráshoz – a Holdhoz (H) – igazítják pályájukat.***
Közeli fényforrás (lámpa, l) mellett repülve a röppálya szöge (α) úgy marad állandó, ha a rovar spirálvonalban belerepül a fényforrásba.

Bonyolultabbak azok az iránytartó mozgások, melyek során az állat (pl. repülő rovar vagy vándorló madár) egyenes pályán marad. Kimutatták, hogy ilyenkor valamelyik távoli fényforrás – a Nap vagy a Hold – és a tervezett röppálya által bezárt szöget igyekszik állandóan tartani. Ez úgy valósulhat meg, hogy a két szembe jutó fény intenzitásának különbsége állandó marad. Ha egy közeli fényforrás – éjszaka égő lámpa – fénye a Holdnál erősebb hatást gyakorol, úgy az éjjeli lepke spirálvonalban belerepül – nem mintha a lámpa valamiféle „végzetes vonzerőt” gyakorolna rá, hanem mert a pálya és a fényforrás szöge így marad állandó.



26. ábra. ***Ásódarázs zsákmányával***



27. ábra. ***Kettőstükör-kísérlet vízibolhákkal***
Az állatok természetes körülmények között a fény felé úsznak. A kísérleti helyzetben azonban a sötét felezővonal felé haladnak, mert mozgásukat a két szembe jutó fény azonos erőssége szabja meg.

TAXISOK, NASZTIÁK

Summa (4.1–2)

Az etológia (magatartáskutatás) a XIX. században vált önálló tudománnyá (Fabre). Az állati (esetleg emberi) viselkedés kiváltó okait és lefolyásuk menetét tanulmányozza.

Az etológia vizsgálati módszerei: az állatok természetes környezetében végzett alapos megfigyelése, a természetes környezetben végzett kísérlet és a laboratóriumi vizsgálat. Ez utóbbi révén kapcsolódik a behaviorista pszichológiához, noha annak szemléletét csak részben teszi magáévá.

Minden élőlényre jellemzőek az öröklött mozgásminták: ezek veleszületettek és változatlanok, lefolyásuk az adott fajra jellemző. Az öröklött mozgás lefolyását a környezet kiválthatja (nasztiák) vagy irányíthatja is (taxisok).

Kérdések, problémák (4.1-2)

1. Vajon hogyan viselkedett Fabre kísérletében az a kőművesméh, amelyik a félig kész fészket kapta? Miért?

3. Az öröklött mozgási sémák többnyire csak az állat életének bizonyos szakaszában kezdenek el működni – pl. a madarak csak bizonyos életkorukban kezdenek el röpülni. Hogyan lehet eldönteni, hogy egy adott viselkedés tanulás eredménye-e vagy csak „beérik" a veleszületett képesség?

3. A háziméhek közül egyesek kitisztítják az elhalt lárvabölcsőket (ezek a „higiénikus" méhek), mások nem. Vajon tanulás eredménye-e a higiénikus viselkedés? Hogyan lehetne kísérletileg eldönteni? Elképzelhető-e, hogy egy öröklött mozgásmintázat két változata legyen jelen ugyanabban a fajban?

4. Befolyásolhatja-e egy éjszaka repülő lepke viselkedését a lámpa fénykörében az, hogy pályája eredetileg hány fokos szöget zárt be a Holddal?

5. Tekinthetők-e a taxis-mozgások egyszerű tanulásnak? Lehet-e ezt valami módon kísérletileg igazolni?

6. Tekinthetők-e a felsorolt taxisok cél által vezérelt (teleologikus) viselkedésnek? Ha igen: mi a céljuk?

7. Mi a hasonlóság és a különbség a behavioristák és az etológusok kutatási módszere között? Vessük össze például Fabre és J.B Watson gondolkodásmódját!

8. A növények gyökere többnyire függőlegesen lefelé, hajtása pedig fölfelé nő. Tekinthető-e ez a mozgás taxisnak? Ha igen: miféle? Eldönthető-e, hogy a gyökércsúcs a fénytől távolodik, vagy a gravitáció befolyásolja mozgását?

4.3 Nyílt és zárt programok

→ kulcsinger XVI.4.4.1

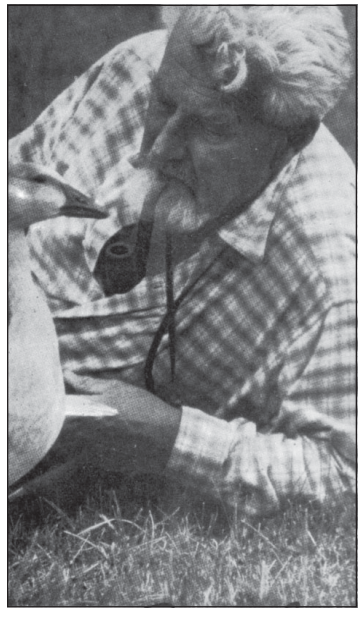
A TANULÁS KORLÁTAI

A köznapi nyelvben „ösztönösnek" mondott viselkedések elemzését két úton kezdte meg az etológia. Egyrészt azt kutatták, hogy mi válthatja ki vagy gátolhatja meg az adott viselkedést (e kérdéssel a következő fejezet foglalkozik). A másik kérdés az, hogy *mi az „ösztönös" és a tanult viselkedések viszonya*, miképpen határolják be vagy tágítják ki egymás lehetőségeit. Ez utóbbi területen a leghíresebb vizsgálatok Konrad Lorenz nevéhez fűződnek.

→ Lorenz a motivációról XVI.4.4.2

→ Lorenz az agresszióról XVI.4.5

→ a „civilizált ember bűnei" XXIX.



29. ábra. ***Konrad Lorenz (1903–1989) osztrák etológus nevelt libájával***

Fiatal kutatóként, orosz hadifogságban kezdett bele első átfogó munkájába. (Az „Orosz kéziratot" felszabdalt cementeszsákok papírjára írta egy barakkban, melynek belső falán a süvöltő széltől vízszintesen nőttek a jégcsapok.) A háború után a Max Planckról elnevezett magatartáskutató intézet igazgatója lett. Kiváló megfigyelőképessége és türelme az elméleti (filozófiai, etikai, pszichológiai) problémák iránti érdeklődéssel párosult. „Ez a munka megköveteli, hogy az ember meghitt és szoros kapcsolatban álljon az eleven állattal, másrészt azonban olyan emberfeletti türelmet igényel a megfigyelőtől, hogy az állat iránt érzett elméleti érdeklődés nem volna elegendő a kitartáshoz, ha nincs mellette a szeretet, amely nem csak megérezteti, hanem meg is láttatja vele a rokon vonásokat az ember és az állat viselkedésében."– írta legismertebb könyvében, a Salamon király gyűrűjében. Lorenz 1973-ban kapott Nobel-díjat etológiai vizsgálataiért. Sok műve magyarul is megjelent.

Lorenz megállapította, hogy a mozgásminták egy része a faj minden egyedében előfordul, és a tapasztalatoktól nagymértékben függetlennek látszik. Olyannyira igaz ez, hogy rendszertani bélyegként is felhasználhatók pl. az udvarlás mozdulatai. Ezen ún. **zárt programok** mellett azonban számos olyan viselkedésformát találtak, amelyek kisebb-nagyobb mértékben tanult elemeket is tartalmaznak: **nyílt programok**. Így például a magányosan felnevelt vörösbegy is énekel, noha jóval egyszerűbb dallamot, mintha módja lett volna tanulnia idősebb fajtársaitól. Ha a megfelelő időben magnószalagról lejátszanak neki különböző madárhangokat, tévedhetetlenül fölismeri köztük a vörösbegyét és kiegészíti vele „repertoárját".

ZÁRT ÉS NYÍLT PROGRAM
→ genetikai programok XXIII.

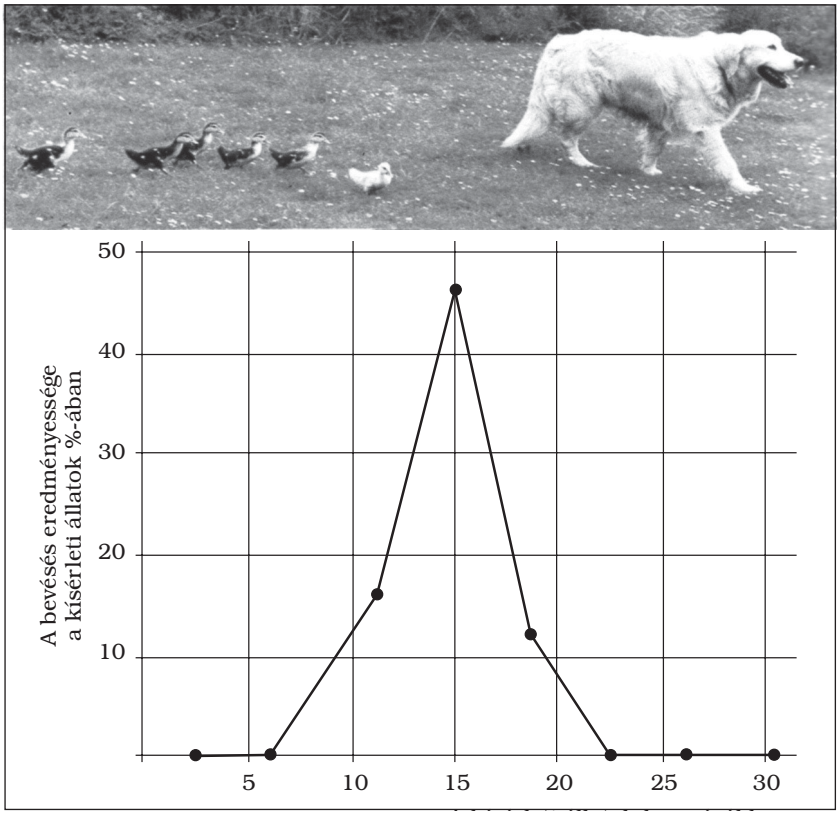
→ etológiai „törzsfa" XXVII.

A tanulás gyakran egy-egy *időszakhoz kötött*. Lorenz kislibákat és csókákat keltetett és nevelt föl elkülönítve fajtársaiktól. Ha a tojásból éppen kikelő liba hívó hangjára válaszolt, az elfogadta őt „pótmamának" és engedelmesen követte. A liba agyában tehát nincs ott eleve az anya, a fajtárs képe, hanem életének első napjában tanulja meg, hogy kihez tartozik. Ezt a meghatározott időhöz kötött tanulástípust **bevésésnek (imprinting)** nevezte el Lorenz. A bevésés – úgy látszik – kitörölhetetlen nyomokat hagy az állat emlékezetében. Az ember által fölnevelt csókák például ivaréretté válva nem fajtársaiknak, hanem az embernek fognak udvarolni – de a csókákra öröklötten jellemző módon! (E meglehetősen abszurd jelenet úgy zajlik le, hogy a szerelmes csóka a nászajándékként begyében hozott rovarpépet igyekszik a körüludvarolt ember szájába vagy fülébe tömködni.) Hasonlóképpen a teknősök társaságában felnevelt pávacsibe felnőtté válva a teknősöknek kezd udvarolni. Ha nem is ennyire élesen határolt keretek között, de a bevésésnek az ember fejlődése során is kimutatható szerepe van. Édesanyja hangját, szívverésének ritmusát például mindenki megtanulja már az anyaméhben – ez semmi mással nem helyettesíthető.

IMPRINTING

→ a személyiség kibontakozása XVII.2.5.2
→ a korai gyermekkor fontossága (Freud) XVII.2.2.3

→ magzati fejlődés XXIV.



30. ábra. ***a) Bevéső dés:*** a kiskacsák életük első óráiban ezzel a kutyával találkoztak, ezért a továbbiakban őt tekintik „anyjuknak".

b) A bevéső dés tartama és hatékonysága kiskacsákban. A függőleges tengelyen a bevéső dés eredményessége a kísérleti állatok %-ában

AZ ELKÜLÖNÍTÉS NEHÉZSÉGEI

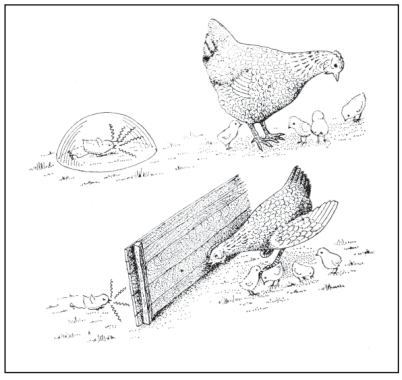
A zárt és nyílt programok elkülönítése nem mindig egyszerű. Sohasem lehet ugyanis kizárni, hogy a teljesen öröklöttnek látszó viselkedések kialakításában is közrejátszott valamilyen tapasztalat. Ha például fiatal patkányokat közvetlenül születésük után eltávolítunk az anyjuktól, akkor azok – a mesterséges táplálás dacára – hamarosan elpusztulnak. Mint kiderült, ennek az az oka, hogy az anya minden újszülöttet végignyalogat, s azok csak ennek hatására válnak képessé („tanulnak meg") a vizelésre – egyébként szétrepedne a húgyhólyagjuk.

→ magatartásgenetika XXIII.

Egyre több zártnak gondolt viselkedési programról derül ki, hogy valójában nyitott, **környezettől függő elemeket is tartalmaz**. Az állatot azonban többnyire csak természetes ingerek érik, így a tanulási folyamat a megfigyelő előtt rejtve marad. *„Nem a tulajdonságok öröklődnek* – vonja le a következtetést Lorenz – *hanem a tulajdonság lehetséges kialakulásának variációs tartományai".* Bár e tartomány szélessége változó, határai mindenképpen megszabják azt, hogy egy bizonyos faj *mikor és mit* képes megtanulni.

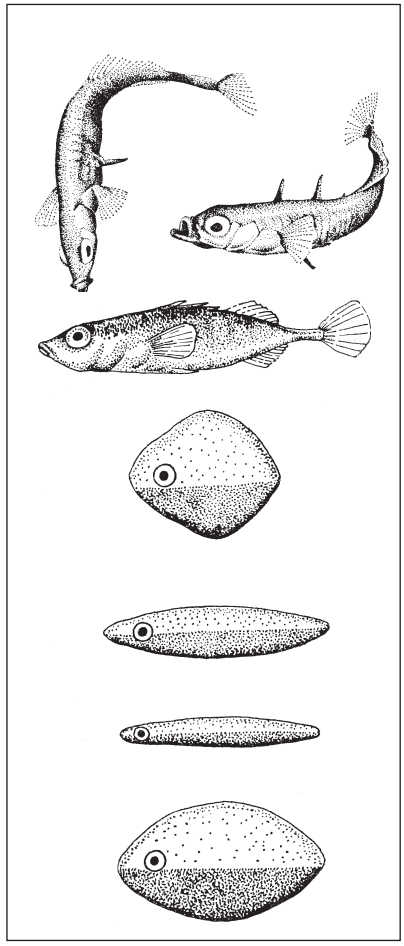
4.4 Kulcsinger és motiváció

4.4.1 A kulcsinger



31. ábra. ***A kotlós nem segít az üvegharanggal leborított csibének (fent) a deszkalap mögötti vészjelzésre viszont reagál (lent)***

KULCSINGER



32. ábra. ***a) Tüskéspikó hímek harca***
b) A Niko Tinbergen által használt tüskéspikó-makettek. (A sötéttel jelölt rész a valóságban vörös színű). Fent: élethű, de színtelen makett, lenn: elnagyolt, de a kulcsingert mutató makettek.

Pavlov kondicionálási módszerével ki lehet deríteni, hogy egy élőlény mit képes érzékelni, azt azonban nem, hogy az érzékelt világból mi az, ami *ténylegesen kiváltja* egy-egy öröklött mozgási séma megindulását. Ennek megállapítása másféle kísérleti úton vált lehetségessé. A kotlóstyúk például mindig megpróbál segíteni, ha csibéi bajba kerülnek. Ha a csibét üvegharanggal leborítják, a kotlós közömbösen megy el mellette, ha ellenben egy vékony deszkalappal választják el tőle, azonnal segítségére siet, noha a fal mögött nem láthatja. A kotlós segítő reakciója tehát a csibe hívó hangjára érzékeny, a látványra nem.

Niko Tinbergen holland etológus egyik kedvenc állata a tüskés pikó volt. E halfaj hímjeinek nászidőben élénk pirossá válik a hasa. Ekkor elfoglalnak egy területet (territóriumot), melyet más hímektől harciasan védenek, a nőstényeket viszont igyekeznek odacsalogatni. Tinbergen akváriumban tartott hím tüskéspikók mellé különféle makett-állatokat helyezett be, és figyelte a reakciót. Azt találta, hogy a teljesen élethű, de színtelen hasú makettek alig váltottak ki támadást, az elnagyolt, halra nem is emlékeztető formák viszont igen – ha erőteljes piros folt volt rajtuk. Ez a

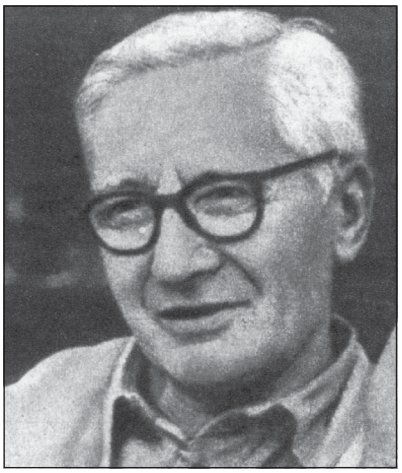
piros folt volt a **kulcsinger**. (Az elnevezés arra utal, hogy a kulcsinger csak egy bizonyos magatartássort vált ki, miként a kulcs is csak egy bizonyos zárba illik bele.) Az egyébként kitűnően látó tüskés pikó számára tehát nem egyformán fontos a külvilág minden részlete.



34. ábra. ***Szupernormális inger hatása***
A tapasztalatlan albatroszpár fészke mellé grapefruitot helyeztek a kutatók. Az albatroszpár nagy igyekezettel görgeti be fészkébe a hatalmas narancssárga gyümölcsöt.

Gyakran (főként az egyszerűbb állatok esetében) az érzékszerv működését is megszabja egy „belső szűrő". Így például a kecskebékák éppen azokban a frekvencia-tartományokban hallanak a legélesebben, amely a kuruttyolásukra jellemző. A tüskéspikó esetében ez a szűrő nem az érzékszervben, hanem valahol az idegrendszerben van.

A normálisnál erősebb – úgynevezett **szupernormális** – kulcsinger gyakran hatásosabb, mint a természetes. Így például a sirály a sajátjánál nagyobb tojást szívesebben görgeti be a fészkébe, mint a saját elgurult tojásait. A szupernormális ingerhatását használják ki a reklámok és azok a rajzfilmek, melyekben gömbölyű fejű és különösen nagy szemű állatkák a „pozitív hősök".

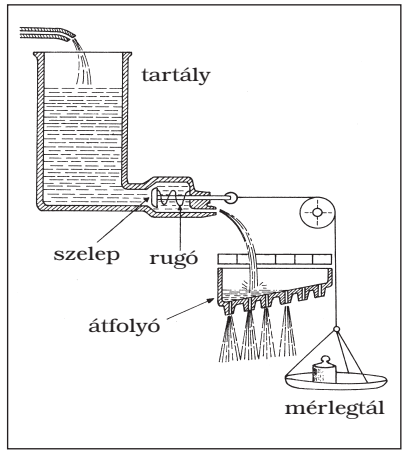


33. ábra. Niko Tinbergen (1907–1988) holland etológus
Leidenben, majd Oxfordban zoológus. Fő kutatási területe az ösztönös viselkedések vizsgálata. 1973-ban K. Lorenzcel és Karl von Frisch-sel együtt Nobeldíjat kapott. *Az ösztönről* című könyve magyarul is olvasható.

SZUPERNORMÁLIS INGER

4.4.2 A motiváció

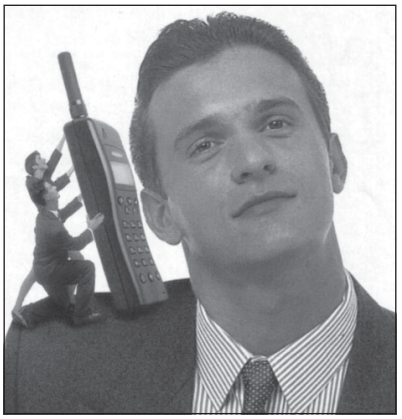
A tüskéspikó csak nászidőben mutatja jellegzetes területvédő és udvarló magatartását, s még azon belül is változó, hogy ugyanarra az ingerre, milyen erősségű választ ad. A kulcsingeren kívül tehát szükség van az állat megfelelő belső állapotára, **motivációjára** is. K. Lorenz kidolgozott egy modellt, amellyel e két tényező kapcsolatát kívánta szemléltetni. A motiváció („akcióspecifikus energia") mértékét Lorenz modelljében a tartályban emelkedő vízszint jelképezi, a kulcsingert pedig a nyitószerkezet serpenyőjére helyezhető súlyok. A modell jól szemlélteti azt a gyakori jelenséget, hogy a növekvő belső késztetés hatására csökken a szükséges kulcsinger erőssége. Ha az állat vagy ember nagyon éhes, a kevésbé jóízű ételt is megeszi. Tinbergen leírja, hogy izgatott tüskéspikója egy ízben az ablak előtt elhaladó piros tűzoltóautó hatására is támadóállást vett fel. Amennyiben a modell jó, az is következik belőle, hogy nagy belső késztetés (motiváció) esetén a természetes kulcsinger hiányában is megjelenhetnek az adott viselkedés egyes elemei. Ilyen ún. **vákuumaktivitást**, ha nem is gyakran, megfigyeltek már. A hím paradicsomhal pl. nászidőben teljesen üres akváriumban is bemutatja az udvarlás egy-egy mozdulatát.



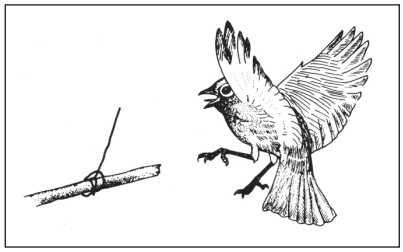
36. ábra. ***A motiváció és a kulcsinger hatását szemléltető Lorenz-féle modell***

MOTIVÁCIÓ

→ drive, érzelem: XVIII.3.4.3



35. ábra. Reklám
A reklámok gyakran élnek a szupernormális ingerek által kiváltott hatással, amit igyekeznek a reklámozni kívánt termékhez kapcsolni.



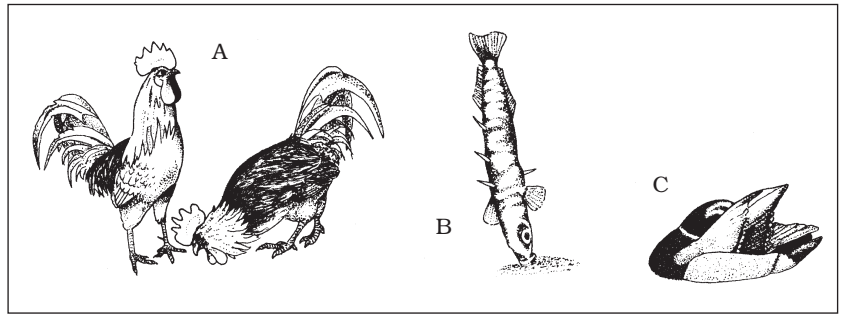
37. ábra. ***Vákuumaktivitás***
A hím vörösbegy a levegőben lebegve támadja azt a helyet, ahol előzőleg egy kitömött „vetélytárs" volt elhelyezve

HELYETTESÍTŐ AKTIVITÁS („PÓTCSELEKVÉS")

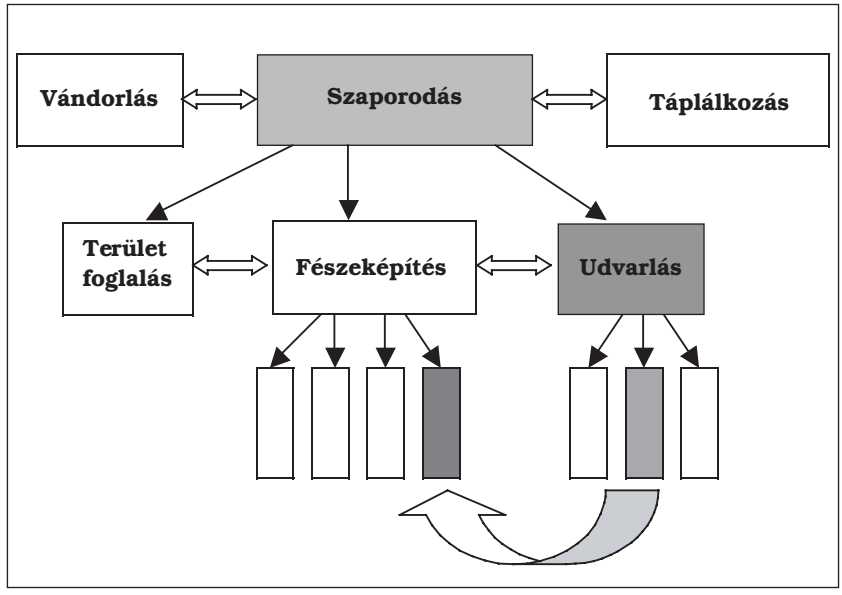
→ a lelki folyamatok dinamikája Freud szerint XVII.2.2.3

4.4.3 Döntési sémák

Az állatok és emberek általában egyszerre csak egyféle dolgot cselekednek, noha többféle motiváció működik bennük. Például ha éhes is, szomjas is: mit tegyen? A döntési szituációk jellemzésére Tinbergen olyan modellt dolgozott ki, melyben *az egyes magatartásminták kölcsönösen gátolják egymást*, így nincs mód keveredésükre. Modellje hierarchikus: a magasabb működések meghatározzák és ellenőrzik a hozzájuk tartozó alacsonyabb központok működését. Probléma csak akkor van, ha valami megakadályozza, hogy a legerősebb késztetésű folyamat végbemenjen. Az energia ilyenkor „átüt": néha csak pillanatokra megjelenik egy „oda nem illő" magatartáselem. A kakasok például a leghevesebb küzdelem közepén egyszerre kapirgálni és csipegetni kezdenek, aztán folytatják a harcot. A jelenség – a **helyettesítő aktivitás** vagy „pótcselekvés" – magyarázata Tinbergen szerint az, hogy a kétféle erős késztetés – a támadás és a menekülés – éppen kiegyenlíti, kioltja egymást, s így fölszabadul a gátlás alól egy harmadik viselkedésminta.



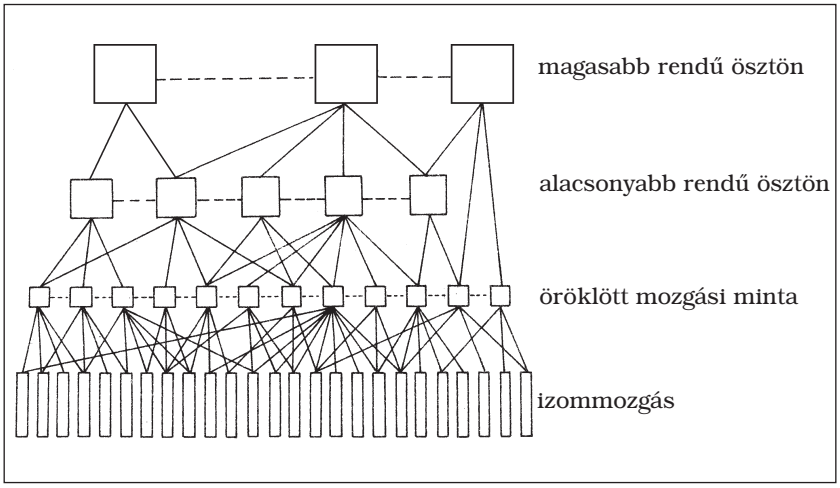
38. ábra. ***Helyettesítő cselekvések az állatvilágban:***
a) Küzdő kakasok a harc szünetében kapirgálnak b) támadó tüskés pikó az iszapot turkálja c) Küzdő tőkés réce gácsér tollászkodni kezd



39. ábra. ***Tinbergen eredeti döntési séma-modellje a tüskés pikók viselkedésére, egyszerűsítve***
A kettős nyilak a kölcsönös gátlást jelölik, az alsó nyíl egy helyettesítő cselekvés kialakulását mutatja: az adott helyzetben valami okból akadályozott udvarlási elem helyett a fészeképítés valamelyik mozdulatát hajtja végre az állat.

Tinbergen modelljét eredeti formájában ma már nem fogadják el, mert kiderült, hogy a sémák részben átfedőek, tehát ugyanazt a magatartáselemet többféle központ is működésbe hozhatja, illetve egy alárendelt központra több magasabban szervezett központ is hat. A modell módosításával ez is figyelembe vehető.

→ a mozgásvezérlés módja XVIII.3.4.1



→ a személyiség rétegei
Freud szerint XVII.2.2.4
Frankl szerint XVII.2.5.1
Jung szerint XVII.2.4

40. ábra. ***A módosított döntési séma – modell (Baerends)***

4.5 Agresszió, önzetlenség, erkölcs

4.5.1 A biológiai funkció

AGRESSZIÓ ÉS ÖNZETLENSÉG

Az állatok ösztönös viselkedései közül talán legfeltűnőbbek **agresszív** és **önzetlen** megnyilvánulásaik. Az etológus igyekszik e két kifejezésnek is elfogulatlan, emberi szempontoktól mentes értelmezést adni. Az **agresszió** célja általában a fajtárs elűzése vagy legyőzése, **önzetlennek** pedig olyan viselkedéseket neveznek, melyek a fajtársat segítik, anélkül, hogy ebből az önzetlen egyednek közvetlen haszna lenne. Ha a segítséget az utódok kapják, az önzetlen viselkedés: **ivadékgondozás**.

→ r- és K stratégiájú fajok XXVI.

Önzetlenség és agresszivitás közös jellemzője, hogy – a szó szorosabb értelmében – többnyire *csak fajtárssal szemben nyilvánul meg.* A macska például nem agresszív az egérrel szemben: vadászó mozdulatai egészen mások, mint amelyeket két kandúr küzdelme során láthatunk. Hasonlóképpen: ha két különböző fajú állat segíti egymást (ez az ún. szimbiózis) ez nagyon különbözik az önzetlenség (pl. az ivadékgondozás) mozgássorától.

→ populációk közti kölcsönhatások (ökológia) XXVI.

Lorenz e témakörben tett legérdekesebb megfigyelése az volt, hogy *az önzetlenség és az agresszivitás többnyire együtt jelenik meg*. Sok faj egyedei **közömbösek** egymás iránt: vízibolhák, vándorsáskák vagy pontyok közt nincs harc, de nem is segítenek bajbajutott társaiknak. Ezzel szemben a tüskés pikó vagy a széncinke, melyek gondozzák utódaikat, egyidejűleg igen agresszívek is a területükre tévedő idegenekkel szemben. A két viselkedés általában térben is, időben is határolt: nem akárhol és nem akármikor jelentkezik. Párban élő állatok esetén adott területet: **területiumot** védenek. Az agresszív viselkedés legerőteljesebb a területium középpontjában, a határok felé gyengül, azon túl pedig többnyire menekülésbe csap át. A legtöbb házőrző kutya a kerítésen belül „bátran” támad, az utcára kerülve azonban „gyáván” megfutamodik. Ugyanazon állat motivá-

→ anonim csoport XXVI.

TERRITÓRIUM

ciója a harcra tehát helytől függően más és más. Ugyanez igaz az időbeliségre is. Költési idő után, ősszel és télen a tüskés pikó is, a széncinke is szívesen verődik csapatokba: megszűnnek a territóriumok, s ezzel együtt a versengés. Tavasszal ismét szétválnak, s a hímek – több-kevesebb harc árán – felosztják egymás közt a költésre alkalmas területet.

→ időbeli ritmusok (aszpektus) XXVI.

ELLENTÉTEK EGYSÉGE

Az agressziónak és az önzetlenségnek tehát egymással összefüggő biológiai funkciója van. Csak a kettő *együtt* teszi lehetővé az ivadékok felnevelését. Ha a cinkepár nem etetné fiókáit, az éppúgy lehetetlenné tenné a költést, mint ha nem védenék territóriumukat, s így ott a túl sok fajtárs miatt táplálékhiány lépne fel. A területfoglalást és párzást megelőző harcoknak lehet még egy szerepük is: a fiatalabb, gyengébb egyedek (többnyire hímek) ezek során kiszorulhatnak az utódnevelésre alkalmas területről. Előttük két lehetőség áll: a következő költési időszakban újra próbálkozhatnak, vagy elvándorolhatnak. Mindkettő fontos: előbbi az adott élőhely folyamatos kihasználását, utóbbi pedig az új élőhelyek benépesítését teszi lehetővé a faj számára.

→ szelekció XXVII.

→ populációdinamika XXVI.

4.5.2 A rítusok

Lorenzre mély benyomást gyakorolt, hogy az olyan állatfajok egyedeinek küzdelmei, melyeknek veszedelmes fegyvereik vannak, szinte soha nem vezetnek a harcoló felek pusztulásához. Farkasok vagy kutyák párviadala során a vesztes fél „**behódoló pózt"** vesz föl: legsebezhetőbb pontját, a nyakát „kínálja föl" a győztesnek.

BEHÓDOLÓ PÓZ

„Az ember minden pillanatban várja, hogy az erősebbik harapni fog, hogy foga feltépi a legyőzött nyaki vénáját.

Csakhogy a győztes farkas vagy kutya ebben a helyzetben biztosan nem harap. Látni rajta, hogy voltaképpen szívesen harapna, de nem tud! Azt a kutyát vagy farkast, amely a fent vázolt módon ellensége elé tárja nyakát, soha nem éri komolyabb bántalom. A másik csak dühöng, morog, csattogtatja a fogát, sőt anélkül, hogy valósággal harapott volna, még a zsákmány halálra rázásának mozdulatát is elvégzi az üres levegőben. De az is igaz, hogy ez a furcsa gátlás csak addig áll fenn, amíg a vesztes „behódolási pózban" marad" – írja Lorenz a Salamon király gyűrűje című könyvében.

RITUALIZÁCIÓ

→ a szabálykövetés hatása az emberi evolúcióra XXIX.

← XVI.4.4.1

← ősi rítusok I.1–2.

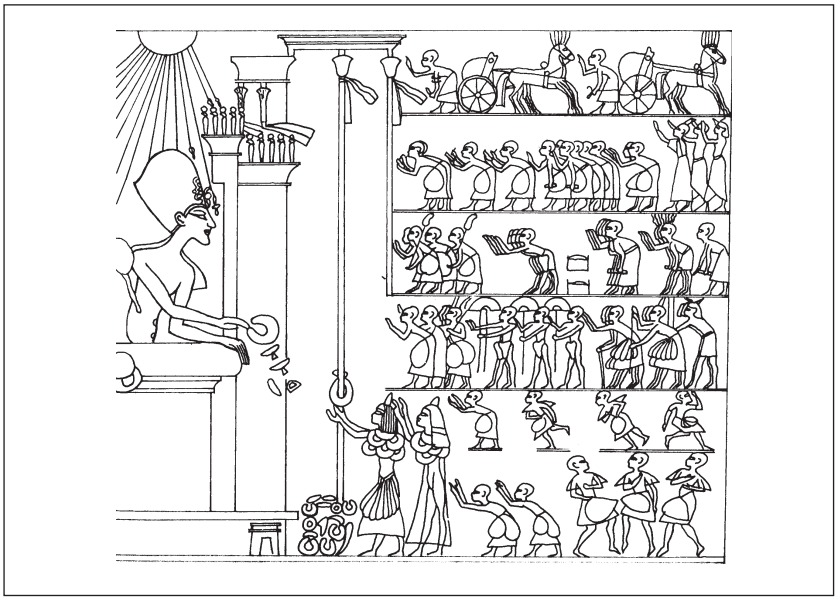
→ magyarázata XXII.

→ elfojtás (Freud) XVII.2.2

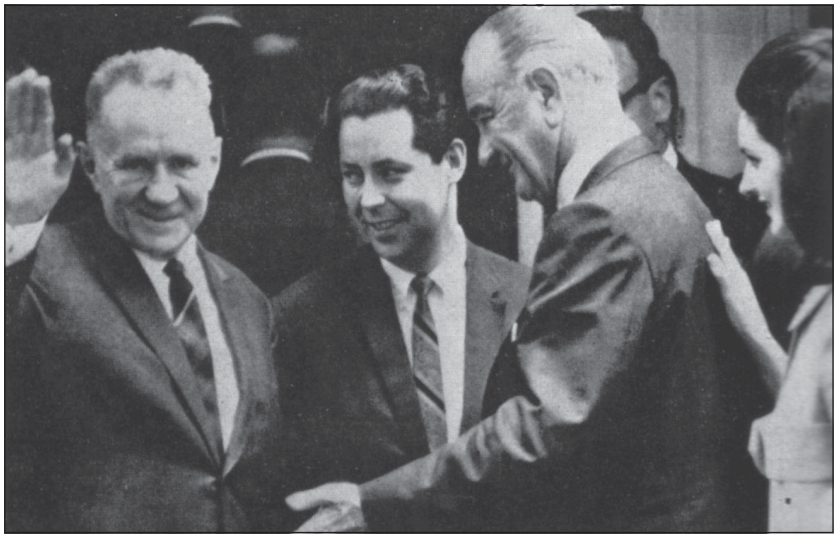
← XVI.4.4.2

Lorenz a középkor lovagi tornáihoz vagy a mai sportmérkőzésekhez hasonlítja e fajok hímjeinek küzdelmeit. Mindegyik szigorú szabályok szerint zajlik le, s céljuk nem az ellenfél megsemmisítése, hanem a győzelem (többnyire a territórium birtoklása). A „behódolási póz" – ami feltétlenül a szabályok közé tartozik – lényegében egy olyan kulcsinger, ami még nagyon erős motiváció esetén is meggátolja az ellenfél megsebzését vagy elpusztítását. Könnyen elképzelhető, milyen következményekkel járna, ha e küzdelmek véresen komolyra fordulnának. A problémát Lorenz így fogalmazta meg: *„… hogyan képes a rítus a lehetetlenre, hogyan képes a fajon belüli agressziót, mindenben, amivel a faj fennmaradását komolyan veszélyeztetné, meggátolni, úgy, hogy a faj fennmaradásához nélkülözhetetlen funkciókat egyáltalán nem károsítja?"* (Az agresszió). Az agresszivitásra késztető motiváció tehát nem csökkenthető büntetlenül (az előző fejezetben leírt okok miatt), a folyamat azonban nem okozhat komoly kárt a másiknak. A „behódolási póz" gátló hatása egymagában azért nem megfelelő megoldás, mert lehetetlenné teszi az agresszív mozgási mintázat lezajlását, az állatok tehát ezen a módon nem szabadulhatnak meg késztetéseiktől, nem „élhetik ki hajlamaikat". Ez pedig – a motiváció lorenzi modellje szerint – állandó és fokozódó további késztetést jelentene az agresszióra.

Lorenz – több más kutatóval: Tinbergennel, Julian Huxleyvel együtt – a **rituális magatartásban**, a rítusokban találja meg a kivezető utat. Rítuson olyan magatartást ért, amely *megváltoztatta eredeti biológiai funkcióját, s így jelzéssé vált a másik egyed számra*. A farkas vicsorítása például megmutatja a másiknak a fogsort, amivel jelzi a támadás lehetőségét, a harcoló sügérek vízhullám keltésével, a szarvasok bőgésükkel jelzik a másiknak erejüket és támadókedvüket. Maga a küzdelem – például a szarvasok viadala – hosszú és kimerítő, ám gyakorlatilag veszélytelen. A rituális összecsapásnak gyakori eleme a fenyegetően nagynak mutatott test (szőrzet felborzolása, halaknál a kopoltyúfedő kifeszítése), az erős hang (madárdal, morgás) és a riasztó színek (korallsügérek). Sok behódolási póz is rituálissá válhat. Valószínű, hogy az emberi főhajtás és a nyitott tenyérrel való üdvözlés („nincs nálam fegyver") is ilyenek.

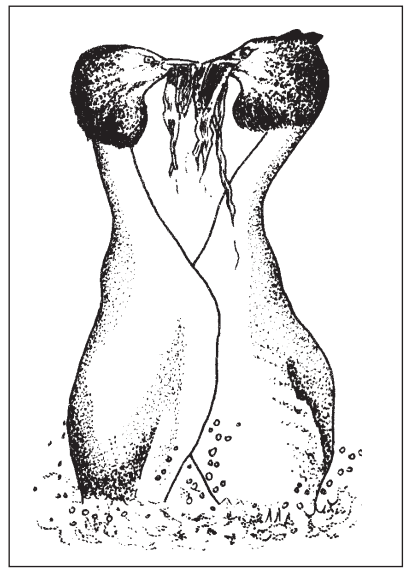


42. ábra. ***Hódolat a fáraó előtt.*** Egyiptomi falfestmény Ekhnaton fáraó korából. Az alakok nagyságán kívül a behódolási pózok is jelzik alárendelt helyzetüket.



43. ábra. ***Rituális jelzések az emberi kapcsolatokban***

Ezen az 1967-ben készült fotón Koszigin és Johnson, az akkor szemben álló két nagyhatalom – a Szovjetunió és az Egyesült Államok – vezetője találkozik. A fényképészek előtt a barátság, nyitottság és alárendeltség kölcsönös gesztusait mutatják.



41. ábra.
Az állatvilágban nemcsak a harcban, hanem az udvarlás során is sok rituális viselkedéssel találkozhatunk. A búbos vöcskök násztáncának egyik eleme a gyűjtött vízinövények kölcsönös „bemutatása".

→ kommunikáció és metakommunikáció XVII.3.3

A harcoknak ilyen rituális csatornába terelése csak olyan fajok számára létfontosságú, melyek fegyverei komolyan veszélyeztetnék a fajtárs életét. A „békés” galambok például nem ilyenek. A gyengébb fél egyszerűen elrepül. Ha azonban erre nincs lehetősége – például szűk ketrecbe zárják őket – a győztes fél valóságos „vérfürdőt” rendezhet, a gátlások teljes hiánya miatt. Lorenz leírja egyik balsikerű kísérletét, melynek során a párosítani kívánt galambokat egy hétvégére közös kalitkába zárt. Visszatértekor döbbenten látta, hogy a győztes galamb alaposan megtépázta a másikat, s nyugodtan üldögélt még élő ellenfele hasán.

← az emberi analógiák veszélye XVI.4.1

4.5.3 Az ember (humánetológia)

BIOLÓGIAI ÖRÖKSÉGÜNK

Az emberi viselkedést kutató **humánetológia** kulcskérdése az, hogy a magatartás mely elemei vezethetők vissza pusztán biológiai okokra, s melyek azok, amelyeket a társadalom, a kultúra örökségeként veszünk át. Mit tud kezdeni a társadalom a tisztán biológiai eredetű viselkedésekkel: felhasználására, átalakítására esetleg elfojtására törekszik-e? Hogyan éli meg az egyén ezt a bensőjében működő kettősséget? E ponton az etológia számos más tudománnyal – a szociológiával, a genetikával, a pszichológiával, a történettudománnyal, a teológiával – és valamennyi művészettel érintkezik. A kérdésekre adható különféle válaszokat részben e megközelítésmódok sokfélesége indokolja.

→ XVII.2.2.1–5; 3.4

→ XXIII.; XXVII.; XXIX.

AZ ÖRÖKLÖTT GÁTLÁSOK HIÁNYA?

Más, csoportban élő állatokhoz hasonlóan az ember társas életében is az önzetlenség és az agresszivitás megnyilvánulásai a legfontosabb viselkedési elemek. Lorenz etológiai modellje szerint az ember viselkedését – mint bármely más élőlényét is – sok öröklött késztetés, mozgásminta szabja meg. Ez a biológiai örökség azonban – úgy látszik – nem tartalmaz hatékony mechanizmusokat sem az agresszió gátlására, sem a segítőkészség kiváltására. Ennek talán az az oka, hogy eszközök nélkül, biológiai lényként az ember meglehetősen gyámoltalan lény, agresszivitása nem volt nagyon veszélyes, így nagyon erős gátlásra sem volt szükség. A **társadalom és a technika** azonban olyan **lehetőségeket** biztosított fajunknak (fegyverek, állam, társadalmi hierarchia), amelyek háborúk formájában véres összetűzéseket eredményeztek. A technikai eszközök fejlődése miatt egyre jobban csökkent a biológiai gátlások hatékonysága. A homéroszi idők párbajai során esetleg még megakadályozhatott egy halálos csapást az egyik fél megadást jelző viselkedése, a modern ágyúk és rakéták előtt azonban már teljesen hatástalan a leborulás (hiszen a támadó fél többnyire nem is láthatja azt, akit megöl). Szükség van arra, hogy kulturális-vallási fékek és rítusok enyhítsék az összetűzések erejét. Ezek az **erkölcsi szabályok** sokszor *analógok* az etológiai szabályozókkal, ezért is lehet *hasonló szavakat* használni jellemzésükre (pl. „játékszabály”, „behódolás”, „rítus”). Nagy különbség azonban, hogy míg az állatvilág rítusai öröklöttek, s így akarati úton megváltoztathatatlanok, addig az emberi viselkedés megváltoztatható, mert **szabad döntés az alapja**. Elhatározásunktól függ, hogy bizonyos szabályokat betartunk vagy sem. Az ember tehát – bizonyos mértékig – képes kilépni a biológiai keretek közül, azok nem kötik meg teljesen, de nem is védik immár.

← a „természetes ember” (Rousseau) XVII.1.3

→ Malthus elképzelése XXVII.

→ „kulturális evolúció” XXIX.

ERKÖLCSI SZABÁLYOK

Lorenz szerint azonban semmiféle erkölcsi szabály nem képes megváltoztatni az ember eredendő természetét, késztetéseit. Arra kell tehát törekedni, hogy ezeket megfelelő formában – például sportversenyeken – ki-ki levezethesse, sőt – kedvező esetben – környezete és saját javára fordítsa. Így az eredetileg agresszív indíttatású versengés olyan kívánatos formákat ölthet, mint a nemes becsvágy, a szorgalom, a célratörő ügyesség.

← a természeti népek rítusai I.1–2

← szabad döntés következményei V.3.2

→ Frankl szerint XVII.2.5.1

LEVEZETÉS, ÁTLÉNYEGÍTÉS

Lorenz elképzelését sok kritika érte. Ezek lényege, hogy az emberi viselkedés – még késztetések formájában sem – vezethető le „biológiai örök-

→ játék, sport XVII.3.4

ségünkből". Ellenkezőleg: mind a segítőkészség, mind az agresszivitás a **társadalom terméke**, és másféle szabályok vonatkoznak rájuk, mint az állatokéira.

Az **etika** és a **teológia** ugyanezeket a jelenségeket más nézőpontból vizsgálja. Arra kíváncsi, hogy ha az ember szabadon választhat különböző szabályok között, akkor miért indokolt mégis inkább az egyik, mint a másik mellett dönteni? (Mitől válik tehát egyik cselekedetünk jóvá, a másik rosszá?) A természettudomány (itt: az etológia) azt vizsgálja, hogy a szabad döntéseknek milyen biológiai korlátai vannak. A társadalomtudományokat és a teológiát viszont a döntések célja, iránya és értékelése foglalkoztatja.

Lorenz szerint a viselkedés nyílt és zárt programok mozaikja. Ezért valamit tanulni is csak öröklött módon lehet. Az időszakhoz kötött és tartós hatást kiváltó tanulás a bevésés (imprinting). A magatartási sémát ténylegesen kiváltó inger a kulcsinger (Tinbergen). A különösen erős hatású kulcsinger a szupernormális inger. A kulcsinger csak akkor hatásos, ha megfelelő erősségű a belső késztetés, a motiváció. Különösen erős motiváció vákuumaktivitást eredményezhet.

Tinbergen modellje szerint az egyes magatartásminták kölcsönösen gátolják egymást, így döntési helyzetben mindig csak az egyik valósul meg (amelyikre legerősebb a késztetés). Ha egy viselkedéssor valamelyik eleme nem hajtható végre, rövid időre megjelenhetnek más, gátolt mozgásminták elemei is (helyettesítő aktivitás, „pótcselekvés").

Az állatok fajtársaikkal szemben lehetnek agresszívek és önzetlenek. Előbbi a fajtárs legyőzését vagy elűzését, utóbbi a fajtárs segítését szolgálja. A tapasztalatok szerint a két viselkedés többnyire feltételezi egymást, biológiai funkciójuk az erőforrások felosztása, s így az ivadék zavartalan felnevelése (territórium-védelem, ivadékgondozás). Ragadozó és csoportban élő állatok esetén különösen fontos, hogy az agresszív viselkedés ne vezessen a vesztes pusztulásához (behódolási póz, ritualizáció).

Az ember viselkedésében is kimutathatók öröklött, pusztán biológiailag meghatározott elemek. Ezekkel a humánetológia foglalkozik. Az ember azonban társadalmi lény is, mert döntéseinek egy része a biológiai kötöttségektől szabad. Az erkölcs kategóriái (jó és rossz, helyes és helytelen) csak ezekre a viselkedésekre alkalmazhatók teljes joggal. A társadalom egyik feladata, hogy öröklött késztetéseinket felismerje, és azokat az egész közösség javára felhasználja.

ETIKAI NÉZŐPONT

← jó és rossz a keresztyén etikában V.2.4

→ „túl jón és rosszon" (Nietzsche) XVII.1.5

Kérdések, problémák (4. 3–5)

1. Sokak szerint vákuumaktivitás tulajdonképpen nem létezik, mert mindig van valami, ami az adott viselkedést kiváltja (a példában szereplő hím vörösbegy esetében az a drótvég, amihez korábban „vetélytársának" tollcsomóját rögzítették). Jogos-e ez a bírálat?

2. Az újszülött csecsemő sem teljesen „tanulatlan". Mi az, amit már az anyaméhben megtanulhat egy ember?

3. A motiváció lorenzi modellje egy öröklött mozgáskombináció első elemeinek megjelenését szemlélteti. Mint minden modell, ez is „sántít" valahol. Mi az, amiben *nem* felel meg a tapasztalatoknak?

4. Sok olyan állat is csoportba verődik, melynek egyedei egyébként közömbösek fajtársaikkal szemben (pl. sáskák, planktonrákok, heringek). Mi az oka az ilyen (úgynevezett anonim) csoportok fennmaradásának?

5. A széncinkék téli és nyári hangja jellegzetesen más. Mi a szerepe az egyiknek és a másiknak?

6. Mi az oka, hogy a farkasok legvadabb küzdelmeikben is ragaszkodnak a szabályokhoz? Lehetnének-e köztük „csalók"?

7. Hasonlítsuk össze a rítus eredeti (vallásos, néprajzi) jelentését és a Lorenz által leírt rituális viselkedést! Mi a hasonlóság, mi a különbség?

8. Gyűjtsünk példákat az emberi viselkedések közül rituális megadást jelző pózokra, fenyegető jelekre, a barátságos szándékot jelző mozdulatokra! Melyiknek sejthető eredeti biológiai szerepe?

9. Valóban levezeti-e egy sportmérkőzés (például ökölvívás, foci) az agresszív indulatokat, vagy ellenkezőleg: gerjeszti azokat? Mit mutat a tapasztalat?

10. Lorenz agresszióról írott könyvének eredeti címe: „Das sogenannte Böse" – „Az úgynevezett rossz (vagy gonosz)". Miért nem azonosítja Lorenz egyszerűen az agresszivitást a gonoszsággal? Miben tér el egymástól a hétköznapok szóhasználata és az „agresszió" biológiai fogalma?

Irodalom:

- ✍ Miskolczi Gáspár: Egy jeles Vad-kert (1702) MAGYAR HÍRMONDÓ / MAGVETŐ, 1983
- Fabre, Jean Henri: A skorpió öngyilkossága é.n.
- Fabre, Jean Henri: A rovarok környezete és viselkedése, KRITERION/ TÉKA Bukarest 1979
- Lorenz, Konrad: Salamon király gyűrűje, KATALIZÁTOR 1994
- Lorenz, Konrad: Az agresszió, KATALIZÁTOR Bp. 1994
- Lorenz, Konrad: Ember és kutya, GONDOLAT 1973, 1981
- Lorenz, Konrad: Válogatott tanulmányok, GONDOLAT 1977
- Lorenz, Konrad: Összehasonlító magatartás-kutatás, GONDOLAT 1985
- Lorenz, Konrad: Én itt vagyok – te hol vagy?, TOTEM 1999
- Lorenz, Konrad: A gondolat ösvényein – *szöveggyűjtemény*, TOTEM Bp. 1995
- ✍ Tinbergen, Niko: Az ösztönről, GONDOLAT 1976

- ✍ Attenborough, David: Az élet erőpróbái, PARK 1991
- ✍ Csányi Vilmos: Kis etológia, KOSSUTH 2002
- Csányi Vilmos: Van ott valaki? TYPOTEX, 2000
- Hankiss Elemér (szerk.): Az ember és az antilop – Beszélgetések Csányi Vilmossal, Fehér Mártával, Jelenits Istvánnal és Pléh Csabával HELIKON, 2001
- ✍ Morris, Desmond: A csupasz majom, EURÓPA 1989
- ✍ Slater, Peter J.B.: Bevezetés az etológiába, MEZŐGAZDASÁGI 1987
- ✍ Slater, Peter J.B.(szerk.):Az állatok viselkedése, HELIKON 1992

XVII. A TUDATTALAN BIRODALMA (MÉLYLÉLEKTAN ÉS FILOZÓFIA)



Ki vagy te?

Ha elvonatkoztatod magadat mindattól, amit lényednek ismersz: tulajdonképpeni lényed ott kezdődik.
Testedet, értelmedet, személyedet ne cseréld össze lényeddel, önmagaddal. Csak segédeszközöd, csak batyu, mely szükségleteid őrzője is, görnyesztő teher is.
Tested nem te vagy, hiszen csak anyag, mely folyton cserélődik: negyvenéves-korodban húszéves-kori testedből egyetlen parány sincsen. De érzelemvilágod és értelmed sem te vagy, hiszen még nem volt, mikor te már bölcsőből nézegettél. Ki vagy? a határtalan, mely fogantatásodkor a határok közt megjelent.
Ha elhatárolt személyedet tekinted önmagadnak, végezz copernicusi fordulatot: a határtalan teljességet tekintsd önmagadnak, személyedet pedig ideiglenes kötöttségnek, puszta tüneménynek, „nem én"-nek.
Ahol megszűnt az érzés, érzéketlenség, gondolat, gondolattalanság, változás, változatlanság; ahol azt hinnéd, hogy semmi sincsen: tulajdonképpeni lényed ott kezdődik.

Vetkőzés

Írmagját se tűrd magadban semmiféle érvényesülési szándéknak. Mert ahogy előbbre törtetsz az életben, úgy csúszol vissza önmagadban.
Ne törekedj a kiválóságra. Ez azonban nem jelenti azt, hogy képességeidet elhanyagold. Önmagadban akkor jutsz előbbre, ha képességeidet mennél teltebbé, összecsengőbbé teszed; mindegy, hogy képességeid mekkorák: fő, hogy a tőled telhető legjobbat formáld belőlük és általuk.
Képességeid a paripák, melyek a végső házig visznek; de a házba csak úgy tudsz belépni, ha fogatod kívülmarad. Minden képességnek mérete van; s a végső kapunk csak az fér be, ami mérhetetlen: a lélek maga.

Weöres Sándor: A teljesség felé (részletek)

1. Szabadság és lelkiismeret

1.1 A belső várkastély



1. ábra. ***Avilai Nagy Szent Teréz (1515–1582) karmelita rendi apáca, egyháztanító***
Frey Juan de la Miseria festménye

A reformáció századában, a tridenti zsinattal megújuló katolikus egyház tagjaként, a spanyol inkvizíció nyomasztó árnyékában élt. Közel két évtizedet töltött csalódott magányosságban, egy karmelita zárdában, ahol kiszolgáltatottan és megalázottan viselte hosszú betegségét. Nagy hatással volt rá Augustinus Vallomásai. Majdnem negyven éves, amikor egy látomás hatására megtért. Megújította rendjét, a karmelita életet az alapítók szelleméhez vezette vissza, követve például annak szigorát. Tágas világlátása, eleven szelleme, vidám kedélye, temperamentumos, harcos természete sok lelkes támogatót állított a kolostorépítő ügye mellé, de ellenfelei is bőven akadtak. Az inkvizíció őt is meghurcolta. Belső harmóniájának forrásáról így írt: „Semmitől ne félj, semmi meg ne rettentsen. Minden elmúlik. Egyedül Isten marad ugyanaz. Ha Isten a tiéd, semmi sem hiányzik: Isten egyedül elég!"

A XVII. fejezet címlapképe.
August Renoir: Az első lépés (1876, Párizs, magángyűjtemény)

Renoir festménye kivételes pontossággal és szépséggel jeleníti meg a szülői gondoskodást. Az anya közelsége biztonságot ad, de segíti is az elszakadást; a gyermek mozdulata a kötődést is, az önállóság igényét is jelzi. A XX. század pszichológiája írta le részletesen, hogy ez a kettősség az emberi személyiség kibontakozásának minden szakaszában ott munkál. Az ellentétes erők küzdelme lendületet ad, egyensúlyi helyzetbe juttat, majd újra és újra eltávolít onnan, hogy más egyensúlyokat keressen. Ezen erőknek többnyire csak a hatását érezzük, anélkül hogy tudomást vennénk róluk: lelki életünk nagy része a tudattalan birodalmában zajlik.

A XVI. század a kopernikuszi fordulat százada volt, amely az égi és földi világ egységes, azonos alapokon nyugvó fizikai leírása előtt nyitott kaput. Kolumbusz útja nyomán kitágult az európai népek földrajzi világképe. Megnőtt az ember által belátható külső világ, benne az ember arányaiban kisebb lett, a megismerés lehetőségei azonban egyre gazdagodtak. A század számos gondolkodója fordulatot és fölfedezést sürgetett az ember belső világának megismerésében is. Az ember belső világához vezető útkeresés ekkor Európában szinte kizárólag a keresztyén tanításhoz kapcsolódott. A reformáció a bibliai alapokhoz, a katolikus egyházon belül a lelkiséget megújítani kívánók a szent hagyományokhoz is igyekeztek visszatérni. Például a rendalapítók feledésbe merült szigorú reguláit próbálták a mindennapok gyakorlatába újra bevezetni, megélni.

← az égi és földi mechanika egysége VI.3–4

← „tágúló világ" VIII.1

← reformáció V.6

← szerzetesrendek V.1.4

A katolikus lelkiséget megújítani igyekvők közül a század egyik legnagyobb hatású gondolkodója Avilai Szent Teréz volt. Teréz az ágostoni hagyomány útján járt, az emberi lélek nála is a rejtőzködő Isten megismerésének egyik eszköze. Az ember lelkét egy hétlakásos várkastélyhoz hasonlította, melynek legbelsejében folynak Isten és ember között a legbizalmasabb beszélgetések. A várkastély egyes lakásai az Istenhez vezető út, vagyis a lelki tökéletesedés egyes állomásai. Lelki kalauzként elmagyarázza belső világunk részeit, elemezve bemutatja azok működéseit, szemléletes képeivel megeleveníti a lélek harcait. Tanít és nevel, úgy, hogy őszintén és alázattal vall kételyeiről is. Ő is egy az úton levők közül.

← Angustinus V.2–3

A BELSŐ VÁR

Avilai Teréz az emberre, mint egy ékszerre tekintett: a test a foglalat, mely hordozza a benne lakó gyémántot, a lelket. Sok baj forrását Teréz abban látta, hogy az emberek nem ismerik jól önmagukat, belső világukat.

← Descartes test és lélek kapcsolatáról VII.3.1

Például rossznak gondolják magukban azt, ami jó. A rossz önismeret lelki fájdalmak forrása lesz, ami melankóliához vezet és az egészség elvesztésével is járhat. *„…amint nem állíthatjuk meg az égitestek mozgását, s nem akadályozhatjuk meg, hogy azok továbbra is sietve haladjanak útjaikon: éppúgy nem tudjuk féken tartani a képzeletünket sem. Ahelyett, hogy ebbe belenyugodnánk, azonnal utána szalasztjuk összes lelki tehetségeinket (az értelmet és az akaratot).”* Amíg az értelem egy belső lelki lakásban tartózkodik, lehet, hogy *„képzeletünk a belső várkastélyon kívül ezernyi mérges fenevaddal küszködik …”* A fenevadak, vagyis a bűnök leküzdését, a lélek ápolását, az erények gyakorlását, a szellemi összeszedettség kifejlesztését türelmes, lassú és mindennapos egyéni feladatnak tartja. Amihez erő csak kívülről, a kegyelem révén, Istenből fakadhat. A helyes önismeret fejlesztése azt jelenti, hogy időről-időre ki kell lépnünk önmagunkból, Isten nagyságához, tisztaságához és alázatához kell mérni magunkat. *„… ha felváltva hol magunkkal, hol Istennel foglalkozunk, akaratunk és értelmünk megnemesedik és alkalmasabb lesz minden jóra.”*

→ az érzelmek zavarai XVII.3.1

→ test és lélek harmóniája, az egészség feltétele XVIII.5

LELKI VEZETÉS

→ a pszichológus szerepe
Freud szerint XVII.2.2.1
Jung szerint XVII.2.4.1

Szerencsés, ha hozzáértő ember segítséget nyújt ebben, különösen azok alkalmasak a lelki vezetésre, akik tisztában vannak a világi javak értékeivel, és már lemondtak azokról. A ókori rendalapítók szabályzatához való visszatérés a világi dolgok teljes elhagyását, a lelki elmélyülést és az Istennek való teljes odaadást írta elő. E lelki élet hátterét nagyon szigorú, a testi életet (is) korlátozó szabályok biztosították.

A világtól, a teremtett dolgoktól való elfordulás, az abszolútum felé fordulás és a teljes önátadás óriási veszélyt is rejt magában. A tiszta szemlélődés, az istenségnek önmagában való megragadása, az istenség titkának fürkészése elidegeníthet bennünket nemcsak az emberektől, de önmagunktól is. Erre figyelmeztet Teréz: *„Mi nem vagyunk angyalok, hanem testünk van. Oktalanság részünkről, ha, amíg e földön élünk és annyira e földhöz ragadt lények vagyunk, angyalok szerepét játszani. … nagyon is jólesik nekünk Krisztus Urunk barátsága. Benne ugyanis embert látunk, aki fárad és szenved, mint mi.”*

A LELKI ÉLET CÉLJA

→ az értelemre vonatkozó kérdés (Frankl) XVII.3.5.1

A lelki életnek célja van: akaratunkat tökéletes összhangba kell hoznunk Isten akaratával. Ennek helyes megvalósításának legbiztosabb jele, ha teljesítjük, ha a hétköznapokban gyakoroljuk a „felebaráti szeretet kötelmeit”.

1.2 A szív érvei (Pascal)

A XVII. században még javában folytak a hitviták, amikor az újkori filozófia megfogalmazta ismeretelméletét és a természettudományok is önálló, új utakon indultak el. Mindhárom terület kiemelkedő alakja Blaise Pascal, akinek természettudományos eredményeiből már ízelítőt adott az I. kötet. Pascal kortársa volt Descartes-nak és Locke-nak, azonban mindkettőjüktől eltérő úton indult el. A korszak egyik legkiválóbb matematikusaként pontosan ismerte a logikus gondolkodás, az értelem erejét – egyúttal azonban annak korlátait is. A kor nagy találmányai – a mikroszkóp, a távcső – kiterjesztették a látott világ határait a nagy és a kicsiny méretek irányában is. Pascal elgondolkodott azon a kérdésen, hogy **hol az ember helye** e tartományok között.

← Pascal a légnyomásról IX.2.1.2

← Descartes VII.3.1

← Locke a lelki jelenségről VII.4.1

← XIV.1.5–6

„Mert végre is mi az ember a természetben? Semmi a végtelenséghez, minden a semmihez viszonyítva, közép a semmi és a minden között. Végtelen messze van tőle, hogy felfogja a szélsőségeket, a dolgok végcélja és létele leküzdhetetlenül rejtve van számára egy áthatolhatatlan titokban, mert egyaránt képtelen meglátni a semmit, amelyből vétetett, és a végtelent, amelyben elmerül” – írja. (72.)

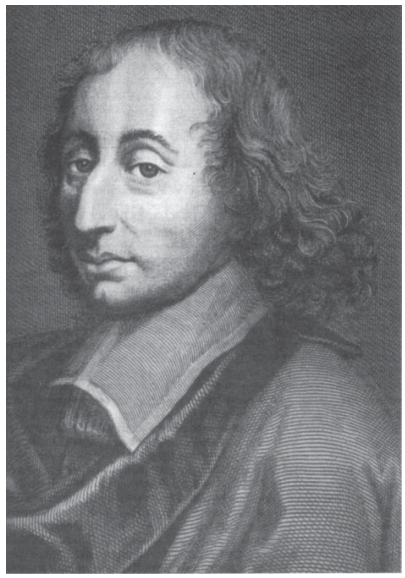
Pascal a megismerést elképzelhetetlennek tartotta a Descartes által leírt módon (analízis, majd szintézis útján), hiszen a világ egyetlen részét sem érthetjük meg az *összes többi* ismerete nélkül. Így – Pascal példáját idézve – a tűz természetének kiderítéséhez szükség van a levegő és az éghető anyagok ismeretére, ezek azonban megfejthetetlenek alkotórészeik ismerete nélkül, s így tovább, a végtelenségig. Lehetetlenség tehát egy vagy néhány okra visszavezetni például a fellobbanó tábortűz okát – felsorolásunk végtelenül hosszúra nyúlna, s mindvégig töredékes maradna. Egyszerre ok és okozat minden, semmi nem emelhető ki önmagában a nagy hálózatból. Együttes átlátásukra csak teremtőjük, Isten képes.

Mennyi olyan csillagot felfedeztek számunkra a távcsövek, amelyek korábban nem léteztek filozófusaink számára! Nyíltan gúnyolták a Szentírást a csillagok nagy száma miatt, mondván: „Mi tudjuk, hogy csak ezerhuszonkettő van."

A földön vannak mindenféle füvek, látjuk őket. – A holdról nem látnánk őket. – E füveken pelyhek, a pelyhek között pedig apró állatkák: de aztán tovább már semmi sincs. – Ó, elbizakodottak! – Az összetett dolgok elemekből állanak, az elemek azonban nem. – Ó, elbizakodott teremtések, micsoda elmés megállapítás. (…) (266).

Az ész legnagyobb cselekedete annak felismerése, hogy végtelen sok dolog van, amely meghaladja, csak gyengeségét bizonyítja, ha nem jut el e felismerésig. Ha már a természetes dolgok is meghaladják az észt, mit mondjunk a természetfelettiekről? (267)

Pascal: Gondolatok



2. ábra. ***Blaise Pascal (1623–1662) francia filozófus***

KORLÁTOZOTT RACIONALITÁS

Pascal tehát az ész, a **ráció korlátozott érvényességét** ismerte fel. Fontos eszköznek tartotta, de alkalmatlannak arra, hogy *önmagában* választ adjon minden kérdésünkre.

← „én vagyok" V.2.1

Pascal szemben állt nemcsak az ateizmussal, hanem a korban elterjedt deizmussal is. Ennek oka teológiai eredetű. Pascal hite **Isten személyességén** alapult. A Biblia istenképe szerinte nem egyeztethető össze az olyan világlátással, melyben Isten absztrakt fogalommá, például a „természettörvények összességévé" vagy az „első impulzusadóvá" válik. „*Nem tudok megbocsájtani Descartes-nak, legszívesebben egész filozófiájában meglett volna Isten nélkül, mégse tudta azonban elkerülni, hogy ne adasson vele egy pöccintést, mellyel mozgásba hozza a világot, de aztán nem tud mit kezdeni Istennel* " – írja Pascal (Gondolatok,77.) Pascal számára azonban a Biblia által közvetített hitigazságok megkérdőjelezhetetlen érzelmi és gondolati alapot jelentettek. Az isteni kinyilatkoztatásban pedig fontos szerep jut a **csodának,** ami Pascal szerint „*olyan okozat, mely meghaladja a felhasznált eszközök természetes hatóképességét*". (804) Ez másképp azt jelenti, hogy a csodákban van valami, amit nem tud megragadni a kor természettudománya, a descartes-i analízis. A Biblia csodáit ezért Pascal meg sem kísérelte „racionalizálni", azaz természettudományos magyarázatot találni rájuk (vagy éppen elvetni őket). Ellenkezőleg: éppen a csodák léte mutat rá gondolkodásunk, a racionális-természettudományos magyarázatok hiányosságaira, korlátaira. „*A szívnek is megvannak a maga érvei*" – hirdette. Istent pedig *a szív érzi, nem az ész.* (278.) A „szív" Pascal számára természetesen nem az anatómiai szervet jelenti, hanem az érzelmek és az intuíció (megérzés, sejtelem) jelképes központját. Ítéleteink biztos iránytűje tehát a ráció fölött áll (de azzal nem ellentétes), semmiképpen sem alacsonyrendű, állati jelenség, mint addig sokan hirdették. Forrása Isten mindenkire kisugárzó kegyelme, tehát mindenki önmagában találhatja meg.

← Spinoza istenképe VII.3.3
← a deizmus VII.6.2.1

→ Einstein véleménye XIX–XXI.

A CSODÁK REALITÁSA

← Voltaire a csodákról VII.6.2.2
← Angustinus ugyanerről V.2.3

→ a természettudomány korlátai és fejlődése (Kuhn) XIX.

→ intuíció (Jung) XVIII.2.4.2

Pascalt mind a filozófia, mind a természettudományok, mind pedig a teológia átélése-átgondolása arra késztette, hogy az értelem korlátozottságát vallja. Filozófiája az újkori **irracionalizmus** („ráció-felettiség") első nagy

← VII.1.1



3. ábra. ***Rousseau Bienne-ben (rézmetszet)***
Jean-Jacques Rousseau (1712–1778) francia filozófus, zeneszerző

Egy genfi órásmester gyermeke. Szülővárosából 1741-ben költözött Párizsba, ahol kottaírásból tartotta fenn magát, közben megismerkedett az enciklopédistákkal. Viselkedésével és gondolataival egyaránt megdöbbentette, szinte sokkolta kortársait. Egyszerű származású felesége öt gyermeket szült, valamennyit lelencházba adta. Első, nagy feltűnést keltő művét a dijoni akadémia által fölvetett témáról írta meg: „Hozzájárult-e a tudományok és művészetek újraéledése az erkölcsök megtisztulásához?" címen (1750). (Rousseau válasza: nem.) „Emile, avagy a nevelésről" című regénye megjelenése után a parlament elfogató parancsa elől Angliába menekült, ahol megismerkedett Hume-mal, aki pártfogásába vette. Rousseau politikai nézetei erősen hatottak a francia forradalom radikális képviselőire, például Robespierre-re, stílusa a kor irodalmára (például Goethe: Werther), természetimádata pedig a „természetrajzot" (botanikát, állattant, ásványtant) tette népszerűvé.

→ Freud a kultúráról XVII.2.2.5

„VISSZA A TERMÉSZETES ÁLLAPOTHOZ!"

hatású megjelenése. A mindennapi szóhasználatban „irracionálisnak" általában az „értelmetlen, ésszerűtlen" gondolatokat vagy tetteket nevezik. Az irracionalizmus filozófiájának hirdetői azonban nem tagadják az ész fontosságát, de vele egyenrangú, vagy éppen fölötte álló erőket is föltételeznek. Ezek alkotják *személyiségünk magvát*, így a lélek egészének is alkotórészei. Az irracionalizmus és a racionalizmus egy időben jelent meg, egymást erősítve bontakoztak ki, mint a teljesség megközelítésének két lehetséges módja.

1.3 A „természetes ember" (Rousseau)

Rousseau „Értekezés az emberi egyenlőtlenségről" (1755) című műve olyan kérdésekre keres választ, melyek a társadalomtudományokon és a teológián kívül a biológia és a pszichológia számára is alapvetők. Honnan ered a bennünk lakozó rossz, mi az emberiség eredendő bűne? Rousseau gondolatmenetének kiindulópontja teológiai természetű: **az ember eredendően jó**, mert Isten teremtette, s Isten nem teremthet rosszat. Ezt az állapotot ma már nem pillanthatjuk meg, hiszen önmagunkat is, közvetlen környezetünket is végérvényesen átformáltuk, megrontottuk. Mégis támpontot adhat az ember által még át nem alakított világ: a **természet** tanulmányozása. A természetes körülmények között élő ember talán még őrzi a teremtettségéből fakadó jó tulajdonságait.

A nagy földrajzi felfedezések után egyre több távoli táj vált ismertté, s a felvilágosodás gondolkodói szívesen szerepeltették ezek lakóit, a „vadembereket" műveikben. E regényhősöknek többnyire nem sok közük volt a valódi indiánokhoz vagy kannibálokhoz. Az írók azért gondolták ki őket, hogy legyen egy szereplő, aki bátran és előítéletektől mentesen fejtheti ki *a szerző* nézeteit (Voltaire) vagy bizonyíthatja az európai ember fölényét (Defoe: Robinson).

Rousseau számára azonban a „vadak" azért voltak fontosak, mert úgy vélte: bennük *a civilizált ember ősállapotát* fedezheti fel. A természetes ember („ősember") hasonlíthatott a ma élő „primitív" népek tagjaihoz, például az amerikai indiánokhoz. Magányosan vagy kis közösségekben élt, vadászott és gyűjtögetett, a másikkal alig érintkezett, nyelve főleg az érzelmeket kifejező hangokból állt. Ismeretlen volt az elnyomás, mindenfajta társadalmi egyenlőtlenség. A romlást a társadalom, a civilizáció megjelenése hozta magával. „*Bajaink nagy része a mi saját művünk, s majdnem mindet elkerülhettük volna, ha megőrizzük azt az egyszerű, egyforma és magányos életmódot, amit a természet rendelt számunkra. És minthogy a természet egészségesnek szánt bennünket, majdnem biztosra mondhatom, hogy az elmélkedés ellenkezik a természeti állapottal, a* **gondolkodó ember elfajzott állat**." (Rousseau: Értekezés – idézi Benedek I.)

A társas együttlét magántulajdonhoz, a magántulajdon szegények és gazdagok, elnyomók és elnyomottak megjelenéséhez vezetett. A háborúk, éhínségek, a gyorsan terjedő járványok, a testi-lelki gyötrelmek egész sora ered a civilizációból. Ezzel párhuzamosan, szükségszerű kísérőjelenségként fejlődött ki a technika, a beszéd, a jog, a tudományok és a vallások: az egész emberi **kultúra**. A gondolkodás a civilizált ember képessége, eszköze ahhoz, hogy a saját maga által okozott bajokat megpróbálja legalább mérsékelni (például a zsarnokságot a jog eszközeivel kordában tartani). Az eredeti állapotba ma már nem lehet visszatérni, föl lehet viszont ismerni a bennünk lakozó természetes embert. A sokszor kifigurázott „*vissza a természethez!*" rousseau-i jelmondatát tehát helyesebb így fordítani: „*vissza a természetes állapothoz*!" Csak úgy lehet eredményes bármiféle nevelés vagy társadalomjobbító szándék, ha célja ennek a bennünk lakozó természetes embernek, „jobbik énünknek" a felszínre hozása, megszólaltatása.

Rousseau szerint lelkiismeretünk azokból a képességekből ered, melyeket a „természetes ember” hozott magával. Ettől a félig-meddig állati lénytől pedig mi sem áll távolabb, mint az elvont gondolkodás. **Érzelmei** ragadják meg, így például a minden élőlényben közös szánalom. Ha megsegítünk egy bajba jutott embert vagy szenvedő állatot, akkor ezt többnyire nem értelmünk mérlegelése, hanem érzelmünk késztetése miatt tesszük. A „szív” és az „ész” érvei legalábbis egyenrangúak: az első természetes örökségünk, a másik kultúránk eredménye. A lelkiismeret Rousseau számára *az irracionális és a racionális világ párbeszéde*, összeegyeztetésük kísérlete. Ez csak úgy történhet, ha az értelem megismeri és szolgálja az érzelmeket, például formába öntve megszólaltatja azokat. E törekvés gyümölcse a Rousseau-ra és korára jellemző *szentimentális stílus*.

← humánetológia XVI.4.5.3

→ kulturális evolúció XXIX.

LELKIISMERET

← Kálvin szerint V.6.2

1.4 „A világ mint akarat és képzet”

1.4.1 Kelet hatása

Az ázsiai kultúrák az ókortól kezdve kapcsolatban álltak Európával: találmányaikkal és gondolataikkal is hatottak ránk. A kereskedők, felfedezők és misszionáriusok ugyanakkor a nyugati gondolkodásmódot terjesztették Indiában, Kínában, Japánban. A kölcsönhatás ellenére az európai és a nagy ázsiai kultúrák alapvetően külön úton fejlődtek. A XIX. századra azonban megváltozott a helyzet: miközben a természettudományok továbbra is az újkori Európa kutatási módszereit követték, sok filozófus, teológus, pszichológus és művész kezdett ismerkedni a Kelet szemléletmódjával, gondolataival. A sokszínű keleti gondolkodásmódból csak néhány olyan vonást emelünk ki, ami a XIX. századtól kezdve érdemben hatott az európai kultúrára is.

Az indiai **brahmanizmus**, az abból kialakuló **buddhizmus**, majd a buddhizmust kiszorító **hindu** vallás egy tőről fakad. Az i.e. I. évezred kezdetétől ismert brahmanizmus szent könyvei az Upanisádok. Ezek tanításának lényege, hogy a tapasztalható világ csak tökéletlen megjelenése a tiszta létnek, a világléleknek, amit Brahmának neveznek. Brahma tehát a „létezés gyökere”, alapja. Maguk az istenek is „benne laknak”, tehát a Világegész részei.

A tapasztalható világ jellemzője a keletkezés és pusztulás vég nélküli körforgása, amely egyben a szenvedés örökös forrása is. Az egyik élőlény szükségképpen elpusztítja a másikat, ezért az élet vágya az öröm mellett halált és szenvedést is okoz. A lét körforgásához kötődő ember emiatt soha nem lehet tökéletesen boldog. A körfogást a **lélekvándorlás** tanítása szemlélteti: a meghaltak lelkei új és új formákat öltve élednek fel ismét. Az emberi lélek azonban képes kilépni e körforgásból, ha kioltja magában az életakaratot, figyelmét az örök létező felé fordítja. Ebben az aszkézis, a test kínzása mellett meditációs gyakorlatok segítik (jóga). A meditációs gyakorlatok során lassanként a tapasztalatokhoz kötődő, azokat magyarázó tudat is kialszik, az egyéniség mintegy „felolvad a Világegészben”, eléri a **Nirvána** állapotát. Ekkor megszűnnek szenvedései.

Buddha tanítása is ezen a világszemléleten alapul, noha ő elvetette az aszkézist és az öngyilkosságot. Úgy vélte, megelégedett, örömteli életet élhetünk, ha gondolatainkban, vágyainkban már nem kötődünk saját életünkhöz, eljutottunk a megvilágosodáshoz.

A buddhista tanítás sok rokon vonást mutat az európai gondolkodás mitikus gyökereivel (Püthagorasz, Platón), a szerzetességgel (meditáció), és az európai filozófia hagyományaival is (elfordulás az érzéki tapasztalatoktól, a változatlan létező keresése). Ugyanakkor alapvető különbség, hogy

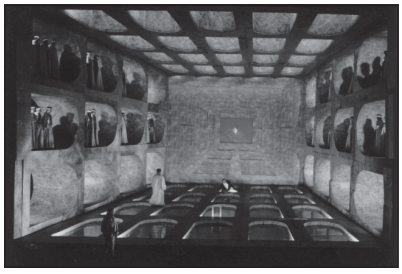


4. ábra. ***A tanító Gautama Buddha (kb. i.e. 557–477) szobra az V. századból (India)***

Buddha indiai fejedelmi nemzetségből származott, de az emberi szenvedés látványa annyira megdöbbentette, hogy elmenekült palotájából, otthagyva feleségét és gyermekeit, hogy aszkézis útján keresse a megoldást. Megvilágosodása után felhagyott az aszkézissel, szerzetesrendet alapított, mely vallássá terebélyesedett és rohamosan terjedt Indiában majd Ázsia más vidékein is. A buddhizmust mára Indiából nagyrészt kiszorította a hinduizmus, Délkelet-Ázsiában, Tibetben, Japánban, Kínában azonban ma is ez az uralkodó világszemlélet.



5. ábra. ***Paul Élie Ranson: Jézus és Buddha***
A francia festő képén két világszemlélet ütközik drámai erővel.



6. ábra. ***Jelenet Wagner: Parsifal című zenedrámájából***
(Götz Freidrich rendezésében, Bayreuth, 1982)

A mű főszereplője eredetileg a fiatal Buddha lett volna. Belőle lett végül Parsifal, aki tudását nem az értelemből, hanem a részvétből meríti („durch Mitleid wissend": „a részvét bölcse"), győzelmét pedig önnön akaratáról való teljes lemondás útján valósítja meg. Wagner zenedrámái nemcsak az európai művészetekre, hanem a filozófiára, sőt a pszichológiára is nagy hatást gyakoroltak.

← panteizmus VI.3.3
← Spinozáé VII.3.3

← Kant VII.5

az indiai gondolkodók Istent és a „Világegészt" azonosították, míg a zsidó-keresztyén felfogásban a Teremtő és a teremtett világ közt éles határvonal húzódik. A megismerés iránya is különböző: keleti felfogásban a belső világba hatol, külsőleg passzivitás jellemzi, a nyugati hagyományban inkább a külvilág felé forduló, aktív folyamat. E különbségekkel függ össze, hogy az emberi méltóságról és szabadságról is másként vélekednek.

„Az indiai vallásosság az isteni mivoltot úgy képzeli el, mint tiszta, szellemi létet. Ez az az óceán, amelybe az úszó ember fáradtan alá akar merülni. Jézus evangéliumának Istene élő, erkölcsi akarat, aki az én akaratomnak új, határozott irányt akar adni. Úszz bátran és igazán jól! – mondja nekem. Ne kérdezd, hova jutsz ezzel a végtelen óceánon. Az én akaratom, hogy úszz."

Albert Schweitzer: A keresztyénség és a világvallások

Az európai gondolkodás több irányzata a XVIII–XIX. században mind messzebb került saját eredetétől. A terjedő panteizmus Isten személyét szinte „feloldotta" a világban, ezzel elfedve a Teremtő és a teremtett világ közti különbséget. Az értelem korlátozottságát valló irracionális áramlatok az ész mellett vagy helyett az érzelmek, a vágy, az akarat elsőbbségét hirdették. A filozófia fokozódó érdeklődéssel fordult a megismerő személye felé, a „külső" világ helyett az azt értelmező személy került a középpontba. E változások hatására az európai világlátás fogékonnyá vált a keleti szemléletre is. Sokan úgy vélték, az Upanisádok vagy a buddhizmus választ adhat azokra a kérdésekre, amelyekkel a nyugati civilizáció nem tudott megbirkózni. Többen a két szemléletmód egyesítésével próbálkoztak. Így például Richard Wagner (1813-1883) a német romantika nagy alakja zenedrámáiban nemcsak a művészeti ágak egységét kívánta megteremteni („Gesamtkunstwerk" = „összművészeti alkotás"), hanem a germán mitológia, a keresztyénség és a buddhizmus sajátos ötvözetét is (Trisztán és Izolda, Parsifal). Wagner kortársa volt az a két német filozófus, akik hozzá hasonlóan az *akaratot* állították műveik középpontjába: Schopenhauer és Nietzsche.

1.4.2 A világakarat (Schopenhauer)

A XVIII. század végére eldőlt az empirizmus és a racionalizmus vitája. Kant bebizonyította: önmagában mindkettő egyoldalú, ezért az emberi tapasztalat mibenlétét és gazdagságát nem tudják leírni. Ugyanakkor az is kiderült, hogy a megismerés folyamatában az emberi elme nem a passzív, mechanikus befogadó szerepét tölti be, mint egy tükör vagy viasztábla, hanem nagyon is aktív szervezőerőként működik: a világról alkotott képünk megismerőképességünk tevékenységének eredménye.

A bizonyosság sem az empíria, sem a ráció útján nem érhető el. Kérdéses, hogy a világ és a megismerő egyén egyáltalán racionálisan megragadható törvények szerint működik-e. A bizonyosság keresése közben felmerült problémák helyébe egyre inkább az egyén és a vele szemben álló világ, a szubjektum és az objektum viszonyának kérdése kerül. Az egyik lehetséges megoldás az, ha a szubjektum belső világa felől, annak teljességéből kiindulva próbáljuk megközelíteni és magyarázni a világot. A XIX. század szerteágazó filozófiai irányzatai közül az egyik ilyen kísérlet Schopenhaueré.

Schopenhauer önmagát Kant egyetlen jogos örökösének tekintette, mint olyan gondolkodót, aki kijavította a kanti filozófia hibáit. Egyetértett azzal, hogy a világ az egyén számára csak mint képzet adott, azt azonban nem fogadta el, hogy az e képzetek mögött rejtőző „magábanvaló dolog"

megismerhetetlen lenne. Elég észrevennünk, hogy testünket kétféle módon tapasztalhatjuk meg: mint **tárgyat** – vagyis mint képzetet – és mint **akaratot**.

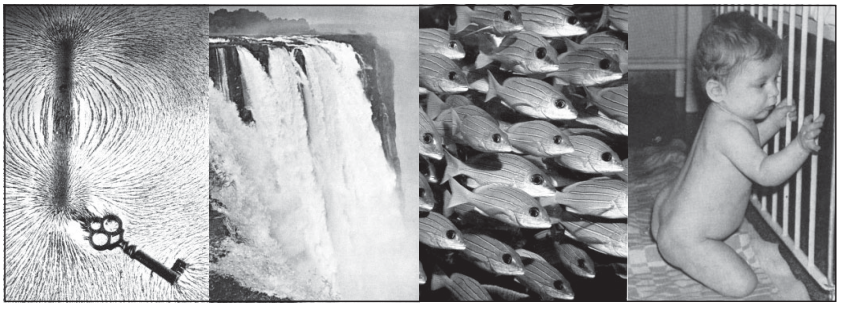
„A megismerés szubjektumának, amely a testtel való azonossága folytán individuumként lép fel, ez a test két egészen különböző módon van adva: egyszer mint képzet a megértő szemléletben, objektum az objektumok között, ezek törvényeinek alávetve, ugyanakkor azonban még egy egészen másik módon is, mégpedig mint az a mindenki számára közvetlenül ismert valami, amit az **akarat** *szó jelöl. (…) Az akarati aktus és a test akciója (…) nem ok-okozat viszonyban állnak egymással, hanem ez a kettő egy és ugyanaz, csak két merőben különböző módon van adva: egyszer egészen közvetlenül, és egyszer az értelem számára a szemléletben. A test akciója nem egyéb, mint az akarat objektivált, vagyis a szemléletbe bekerült aktusa.”*

Schopenhauer: A világ, mint akarat és képzet (18.§) –
Tandori Dezső fordítása

Tehát testi aktusaink **akaratunk** megnyilvánulásai, tárgyiasulásai. Akaratunkról ugyan gondolkodhatunk, de **maga az akarat nem tudatos**. Ezt az is bizonyítja, hogy – Schopenhauer szerint – az állatoknak, sőt a növényeknek is van akaratuk:

„Hanem hogy az akarat ott is hat, ahol nem vezérli megismerés, a legközelebbről látjuk az állatok ösztönén és művészi hajlamain. (…) Az egyéves madárnak semmi képzete nincs a tojásokról, amelyek számára fészket épít, a fiatal póknak a zsákmányról, melyhez hálóját szövi, sem a hangyalesőnek a hangyáról, melynek először ás kis vermet (…). Ha eljutunk egyszer annak belátásához, hogy a képzet, mint motívum nem szükségszerű és lényegi feltétele az akarat tevékenységének, akkor már az akarat tevékeny hatását könnyebben ismerjük fel olyan esetekben is, ahol ez kevésbé feltűnő, s így például majd a csiga házát ugyanoly kevéssé fogjuk valami tőle idegen, de ismerettől vezérelt akaratnak tulajdonítani, amiképpen a ház sem idegen akarat által jön létre, amelyet magunk építünk, hanem a miénk révén (…)

„Már csak az utolsó lépést kell megtennünk, kiterjeszteni szemléletmódunkat mindazon erőkre is, amelyek a természetben általános, változhatatlan erők szerint hatnak (…) Ha a roppant, feltarthatatlan kényszert látjuk, mellyel a vizek a mélyek felé törnek, az állhatatosságot, mellyel a mágnes mindegyre az Északi-sark pontja felé fordul, a vágyat, mellyel a vas hozzá repül, a hevességet, mellyel az elektromosság pólusai újraegyesülést akarnak, s amelyek, pontosan, mint az emberi kívánságok, az akadályok által csak fokozódnak (…) mindekképpen hát



8. ábra. ***A világakarat megnyilvánulásai Schopenhauer szerint***



7. ábra. ***Arthur Schopenhauer (1788–1860) német filozófus***

Danzigban (a mai Gdansk) született, gazdag kereskedőcsaládban. Apja sok nyelven beszélő, Voltaire és Rousseau eszméi iránt rajongó, állandóan utazó világpolgár volt. Túlérzékenységét, depresszióra való hajlamát, rossz hallását fia is örökölte tőle. 1793 után a család beutazta szinte egész Európát. A fiatal Schopenhauert Franciaországban csalódás éri: a forradalom nagy eszméinek megvalósulása helyett annak torzképét, az intézményesült rend uralmát látja: „*Tizenhetedik életévemben* – írja később – *minden tanult iskolai műveltség nélkül, úgy ragadott meg az élet nyomorúsága, mint Buddhát fiatal korában, amikor meglátta a betegséget, öregséget, szenvedést és a halált.*” Apja hirtelen halála után az egyre zárkózottabbá váló fiatalember abbahagyja kereskedelmi tanulmányait, Göttingenben természettudományos és orvosi stúdiumokat folytat, majd Berlinben teológiát és filozófiát hallgat. 1813 után Weimarban barátságot köt az idős Goethével, akinek megismeri és folytatni próbálja színelméletét. E kapcsolat eredménye a *Színekről és a látásról* szóló mű.

Főművét, *A világ, mint akarat és képzet*et Drezdában írta meg, ezután lényegében egész életében ezt kommentálta. 1820-tól a berlini egyetem tanára, de a diákok nem az ő előadásait látogatják, hanem az általa gyűlölt Hegelét. Miután házassági tervei is kudarcba fulladtak, Frankfurt am Mainban telepedett le, s vagyonának járadékából élve teljes magányba vonult.

A népszerűség csak az 1840-es évek vége felé köszöntött rá, valószínűleg a 48-as forradalmak utáni helyzet tette fogékonnyá a közönséget pesszimizmusa iránt. Hívei közé tartozott Richard Wagner, a fiatal Nietzsche és Thomas Mann is.

← indulat és akarat (Wundt) XVI.1.2.4

nem kíván tőlünk különösebb képzelőerő- feszítést, hogy akár ily nagy távolságról is felismerjük saját lényegünket, azt a bizonyosat, mely bennünk a megismerés fényénél követi céljait, itt viszont, a jelenségek leggyengébbjeiben, csak vakon, tompultan, egyoldalúan és változhatatlanul törekszik, jóllehet, mert mindenütt egy és ugyanaz – amiképpen a hajnal első pirkadása is a dél sugaraival közösen viseli az égi nap nevét –, itt is, mint ott, az akarat nevet kell hogy viselje (…)"

Schopenhauer: A világ, mint akarat és képzet (23.§) – Tandori Dezső fordítása

← van-e célja a rovaroknak? (Fabre) XVI.4.2.1

Joggal feltételezhetjük, hogy azonos a helyzet minden képzet esetében: a jelenségek nem mások, mint egy kozmikus ősakarat „tárgyiasulásai" (objektivációi). A világ végső lényege tehát az akarat: ez azonban vak, ösztönös, értelem és cél nélküli. Állandó törekvésében sohasem nyerhet kielégülést, hiszen nincs célja, és minden, amivel törekvése közben találkozik, ő maga. Így folytonos harcban áll önmagával, amelynek során létrejönnek tárgyiasulásai. A természet legalacsonyabb fokán **fizikai és kémiai erőkben** nyilvánul meg, az élővilágban pedig az életvágyban, az **ön- és fajfenntartási ösztönben**. Végül az ember esetében megjelenik az **ész**, mint az önmagában tompa **akarat eszköze**. Az ész számára az akarat eszmékben tárgyiasul, amelyeknek az ész önálló tárgyi létezést tulajdonít. Az eszmék a jelenségek örök és változatlan formái, de szemben a jelenségek sokféleségével, nem térben és időben léteznek és nincsenek alávetve az okság elvének sem.

„AZ ÉSZ AZ AKARAT ESZKÖZE"

← Buddha tanítása XVI.1.4.1

Mivel az akarat törekvése a kielégülés és a kiteljesedés felé eleve kudarcra van ítélve, minden élet szenvedés. Ez ellen küzdeni értelmetlen, hiszen bármilyen cél akarása még elérése esetén is legfeljebb rövid, átmeneti megnyugvást hozhat. *„Az élet nem arra való, hogy átélvezzük, hanem hogy átessünk rajta és befejezzük."* Ezért az egyik megoldás akaratunk minden megnyilvánulásának kioltása lehet, beleértve az életösztönt is, erre azonban csak „a szentek" képesek. A másik megoldás az eszmék szemlélete: ez a művészet, amely tiszta, érdek nélküli odaadásban lehetséges csak. Ez a zseni útja, aki képes erre az odaadásra és ebből megalkotni műveit. A művészetek között kiemelt helyet foglal el a zene, mert ez nem is az eszméknek, hanem magának az akaratnak az ábrázolása.

← a sztoikus filozófia IV.7.3

Az emberek közötti kapcsolatot az a belátás teremti meg, hogy minden lény egyetlen akaratból ered, így lényegüket tekintve azonosak, csak a jelenség szintjén különböznek egymástól. Más szenvedése az én szenvedésem is, ezért az erkölcs egyetlen alapja **a részvét** (németül Mit-leid, azaz „együtt-szenvedés").

RÉSZVÉT

→ az élet tisztelete XVII.1.6

1.5 Az „emberfeletti ember" (Nietzsche)

SCHOPENHAUER FILOZÓFIÁJÁNAK KRITIKÁJA

Wagner szuggesztív művészete és Schopenhauer szellemi bátorsága nagy hatást gyakorolt egy fiatal nyelvészprofesszor-filozófusra, Friedrich Nietzschére. Útjaik azonban hamarosan elváltak: Nietzsche szembefordult az idős Wagner vallásos útkeresésével és azzal a kultusszal, ami Wagnert körülvette. Schopenhauert ugyan élete végéig példaképének tartotta, de látta azt a veszélyt is, amit életszemlélete magában rejt. *„Az első veszély, melynek árnyékában Schopenhauer élt, az elmagányosodás volt. A második: a kételkedés az igazságban. E veszedelem minden gondolkodót nyomon követ, aki a Kant-féle filozófiából indult útjára, feltéve, hogy az illető erős és egész ember a szenvedésben és a vágyban…"* – írta a *Schopenhauer, mint nevelő* című művében. Az „erős és egész ember" ugyanis szabad. Aki szabad, nem elszenvedi, hanem teremti sorsát, életpályáját nem a külső körülmények, hanem akarata és belső meggyőződése szabja meg. Ezért szükség-

„ÜBERMENSCH" ÉS „CSORDAEMBER"

képpen összeütközésbe kerül a kényelmes többséggel, akik megszokás alapján élnek és gondolkodás nélkül elfogadják mindazt, amit környezetük helyesnek tart. A megszokást fenntartja és erősíti a tekintélytisztelet, ennek forrása pedig Nietzsche szerint a család, az egyház, az iskola és az állam. Nietzsche úgy vélte, hogy lelkiismeretünk pusztán az emberi tekintélyek tiszteletén alapul, ezért megtartásuk vagy elvetésük is csak elhatározás kérdése. *„Lelkiismeretünk tartalma mindaz, amit gyermekéveinkben rendszeresen és ok nélkül követeltek tőlünk olyan személyek, akiket tiszteltünk, és akiktől féltünk. A lelkiismeret váltja ki a kötelességérzetet (»ezt meg kell tennem, ezt pedig nem«), amely nem kérdi:* **miért** *kell megtennem? …– A tekintélyekbe vetett hit a lelkiismeret forrása: tehát nem Isten hangja az emberi bensőben, hanem néhány ember hangja az emberben.”*

(Emberi, túlságosan is emberi, Török Gábor fordítása).

Nietzsche azonban szenvedélyes igazságkereső volt, aki megvetette a megszokottat igaznak tartó „csordaembert”. Eszménye az **emberfeletti ember** vagy „emberebb ember” (németül: *Übermensch,* eredetileg Goethe Faustjából származó szó). Az *Übermensch* kitör a megszokás korlátai közül, a teljesebb igazság érdekében elveti a rész-igazságokat. Szembefordul a keresztyén vallással is, mert annak erkölcse – Nietzsche szerint – azt követeli az embertől, hogy ösztöneit irtsa ki vagy fojtsa el. Ezzel szemben az *Übermensch* rábízza magát ösztöneire, és alkotó módon él velük. Az ilyen ember magányosságának igazi oka az, hogy lázadásai során senkire nem számíthat – hiszen, ahogy Nietzsche fogalmazott, „Isten halott”-, útja folytonos elszakadás és visszatekintés, célja pedig ismeretlen.

„Az ember kötél, mely az állat és az emberebb ember között feszül – kötél örvény fölött.

Veszélyes átmenet, veszélyes útonlétel, veszélyes visszatekintés, veszélyes remegés és megállás.

Ami nagy az emberben az az, hogy híd, és nem cél: ami szeretetreméltó az emberben az az, hogy átmenet és letűnés.”

(Zarathustra. Fényes Samu fordítása)

Az emberi életfolyamatok hajtóereje, mint mindené a világon, Nietzsche szerint is az akarat. Ennek az akaratnak céljai vannak: a *hatalom akarása, az életérzés és életképesség fokozása*. Ez a cél azonban rejtve marad az emberek többsége előtt, hiszen a tudatosság is csak egyik eszköze az akaratnak. A gondolkodás az élő szervezetben zajló folyamatoknak pusztán kicsiny részjelensége: *„…csak most kezd földerengeni bennünk az igazság, hogy szellemi működésünk legnagyobb része anélkül zajlik le, hogy tudnánk, éreznénk.”*

Nietzsche gondolatmenetét az „örök visszatérés” eszméje zárta végzetes körré. Nietzsche szerint a világegyetem örök, s mivel kezdet és vég nélküli létében mindig ugyanazok az okok működnek, időnként szükségképp újra és újra azonos események ismétlődnek meg. Ismét tévednek, lázadnak és elbuknak ugyanazok az emberek. A „csordaembereket” ez a gondolat kétségbeeséssel tölti el, az *Übermensch* számára ez is erőt ad ahhoz, hogy elfogadja saját szabadságának és kíméletlenségének következményeit. Maga Nietzsche nem tudta elviselni saját filozófiájának lelki terhét: elborult elmével halt meg.

Nietzsche hatása az európai gondolkodásra sokrétű. Szellemi örökösei az emberi személyiséget egyedüli középpontba állító egzisztencialista filozófusok voltak, de éppúgy hivatkoztak rá a totális diktatúra (a nemzeti szocializmus) ideológusai is. Mint prózaíró megmutatta, hogy elvont filozófiai kérdésekről is lehet tömören, szellemesen és költői indulattal írni.



9. ábra. ***Friedrich Nietzsche (1844-1900) német filozófus édesanyjával***

A németországi Röckenben született, evangélikus lelkész fiaként. Bonnban és Lipcsében filológiát és teológiát tanult. Még meg sem szerezte a szükséges végzettséget, amikor kinevezték a bázeli egyetem professzorává. Itt ismerte meg Burckhardtot és Richard Wagnert, akik nagy hatást gyakoroltak rá. 1879-ben rossz egészségi állapota miatt kénytelen volt visszavonulni és ezután csak az írásnak szentelte életét. Művei az 1890-es években világhírűek lettek, azonban erről ő már nem szerzett tudomást: 1889-ben elméje végképp elborult. Haláláig édesanyja, később nővére ápolta. Nietzsche hatása szerteágazó; a legkülönbözőbb beállítottságú filozófusok és politikai irányzatok hivatkoznak rá, gondolatvilágából írók és zeneszerzők is merítettek.
Legismertebb magyarul is megjelent művei: A tragédia születése (1872), A vidám tudomány (1887), Im-így en szóla Zarathustra (1891), Túl jón és rosszon (1886).

← XVII.1.4.1

← determinizmus IV.7.2; VI.6.2; VII.3.3

→ XIX.

→ XVII.2.2–4.

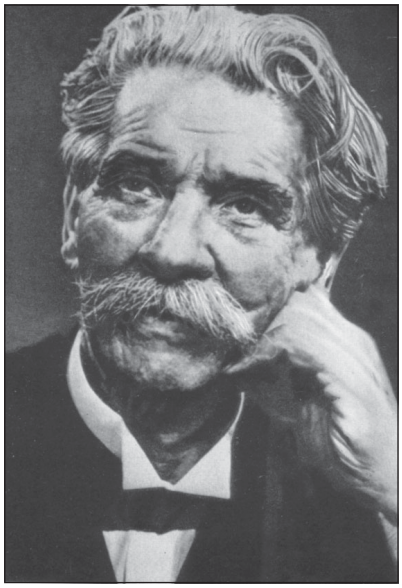
A pszichológia mélylélektani irányzatára pedig a lelki folyamatokat elemző, azokban ellentétes erőket látó, a tudattalan késztetéseket kutató szemlélete hatott.

1.6 „Az élet tisztelete” (Schweitzer)

→ ökológiai kölcsönhatások XXVI.
→ homeosztázis XVIII.1.3

Nietzshéhez hasonlóan a világhírű orgonajátékos és orvos Albert Schweitzer is az életakaratot állította filozófiájának középpontjába. Orvos-biológusként azonban jól látta, hogy az élőlények léte összefügg: nemcsak küzdenek, hanem segítik is egymást. Egy afrikai esőerdő vagy egy egészséges emberi szervezet kölcsönhatások bonyolult szövevénye, alkotórészeik csak *együtt* életképesek. Nietzsche „Übermensch”-e sem szakíthatja ki magát a többi ember és az élővilág egészének közösségéből.

Ezt a kölcsönösségen alapuló szemléletmódot Schweitzer összekapcsolta a keresztyén etika kölcsönösségi „aranyszabályával”: „Amit szeretnél, hogy veled cselekedjenek, azt cselekedd másokkal”. Etikájának alapelvét az „élet tiszteletének” nevezte.



10. ábra. ***Albert Schweitzer (1875–1965) német orvos, teológus, orgonaművész***
Evangélikus lelkész családjában nőtt fel, ötéves korában már zongorázásra, majd orgonajátékra tanította apja. Strasbourgban végezte gimnáziumi tanulmányait, majd ugyanitt tanult filozófiát és teológiát. Már teológiatanárként határozta el, hogy megszerzi az orvosi diplomát is. Rögtön ezután Afrikába utazott, ahol egy kis településen, Lambarenében kórházat alapított (1913). Az I. világháború alatt francia hadifogságba került, ám 1924-től újra Afrikában gyógyított, és ettől kezdve haláláig kisebb megszakításokkal Lambarénében élt. Világhírű orgonaművészként sokfelé megfordult, koncertjei jövedelméből és adományokból tartotta fenn a kórházát. A lepra és az álomkór elleni küzdelem közben írta tanulmányait Bach zenéjéről, a teológia és filozófia kérdéseiről. 1952-ben nyerte el a Nobel-békedíjat. Több írása magyarul is olvasható.

Az alapvető és tudatunkban minden pillanatban jelentkező tény: élet vagyok, amely élni akar, életek között, amelyek élni akarnak. Életakaratom titka, hogy kötelességemnek érzem: együttérzéssel viseltessem minden, előttem felbukkanó életakarattal szemben. A jóság lényege: életeket megtartani, életeket támogatni, életeket kiteljesedésre segíteni. A gonoszság lényege: életeket megsemmisíteni, életeknek kárt okozni, megakadályozni az életeket kifejlődésükben. (Az etika problémája…)

Az „élet tisztelete” az „élet” *egészének* segítését jelenti, tehát nemcsak az emberrel, hanem minden más élőlénnyel is közösséget vállal. Ez az elv nem ad receptet, előre gyártott megoldást minden helyzetre. Az egyén szükségszerűen konfliktushelyzetekbe kerül. Egyszerű a döntés, ha egy beteg ember és a kórokozók élete közt választhatunk. Bonyolultabb, ha erdőirtással nyerünk szántóföldet, klónozással genetikailag azonos élőlényeket vagy antibiotikumok tömeges bevetésével küzdünk egy betegség ellen. Hasonlóan nehéz megítélni az emberek vagy nemzetek közti konfliktusokat. Schweitzer azonban biztos volt abban, hogy elérhető egy olyan állapot, melyben a természet, a társadalom és benne az egyén összhangban, egymást kölcsönösen gazdagítva él. Ezt az állapotot racionális úton, tudatosan is keresni kell, hatékonnyá és teljessé azonban csak a részvét segítségével válik. A „részvét” Schweitzer életében tényleges *rész-vételt* is jelentett afrikai betegeinek életéből, nehézségeiből.

„A strasbourgi egyetem tanára, orgonista és író voltam. Mindennel felhagytam, hogy orvos legyek Egyenlítői Afrikában. Miért?

Misszionáriusok különböző írásaiból és szóbeli közléseiből tudomást szereztem az őserdei bennszülöttek testi gyötrelmeiről. Mennél többet gondolkoztam rajta, annál megfoghatatlanabbnak tűnt, hogy mi, európaiak, oly keveset törődünk a távoli földrészeken ránk háruló emberbaráti feladattal. Úgy éreztem, a gonosz gazdag emberről és a szegény Lázárról való példázat rólunk szól. A gazdag ember – mi vagyunk. Az orvostudomány fejlődése rendelkezésünkre bocsátotta a betegségek és a testi fájdalom gyógyításának ismereteit és eszközeit; és mi e gazdagság mérhetetlen előnyeit természetes dolognak tekintjük. A szegény Lázár – a színes bőrű ember. Ugyanúgy, sőt még jobban ismeri a betegséget és a fájdalmat, mint mi, de nem tudja leküzdeni. Mi úgy viselkedünk, mint a gonosz gazdag ember, akinek az ajtaja előtt ülő szegény emberrel szembeni közönye bűn volt, mert nem élte bele magát felebarátja helyzetébe, és nem hallgatott a szívére.”

(Az őserdő peremén, 1951)

Summa (1)

Az európai filozófiai áramlatok közül az empirizmus és a racionalizmus egyaránt intellektuális (gondolati-logikai) tevékenységnek látta az emberi megismerést. A másik fő irány, az irracionalizmus, azt hangsúlyozta, hogy szenvedélyeink, öntudatlan törekvéseink is részét alkotják életünknek, de gondolkodásunknak is. Az érzelem tehát nemcsak *tárgya* a tudománynak, de *része* is annak.

Ennek a látásmódnak Pascal volt az első nagyhatású hirdetője (Gondolatok). Érvelését részben *teológiai* indítékok vezették (Ábrahám Istene nem azonos a filozófusok Istenével), részben az *ismeretelmélet* korlátainak fölismerése (a végtelen világ és a véges értelem különbsége).

Rousseau számára az Isten által teremtett természet, és az ahhoz alkalmazkodó természetes ember jelentette a kiindulópontot: ezek eredendően jók. A romlást a civilizáció okozta, az ennek következtében megjelenő kultúra (nyelv, beszéd, gondolkodás, tudomány) csak a bajok enyhítésére alkalmas. A természetes ember öröksége az érzelem, a kultúráé az értelem, a kettő párbeszéde vezet a lelkiismerethez.

Schopenhauer fő művében a világ összes eseményét a vak, öntudatlan akarat megnyilvánulásának látta – a gondolkodás is csak ennek egyik eszköze. Az akarat Nietzsche filozófiájában is központi fontosságú, ő azonban határozott célt: életfenntartó erőt tulajdonít neki.

Albert Schweitzer a küzdelem helyett az élőlények egymásrautaltságát emelte ki, s nemcsak gondolkodóként, hanem orvosként és művészként is ennek gazdagításán, fenntartásán munkálkodott.

Kérdések, problémák (1)

1. Gyerekek által kedvelt játék a vég nélküli „miért?” kérdések sorozata. Hasonlít-e a gyermekek észjárása Pascaléhoz, a miértek végtelen sora Pascal végtelen-fogalmához?

2. Olvassunk el néhány csoda-leírást az Ó- és Újszövetségből! (Például: Mózes és a fáraó varázslói, átkelés a Vörös-tengeren, kenyérszaporítás, a kánai menyegző.) Magyarázhatók-e ezek racionális, „természettudományos” módon? Érdemes-e törekednünk az ilyen magyarázatra? Hogyan vélekedett volna erről a kérdésről Pascal és Voltaire?

3. Olvassuk el a bűnbeesés és a Paradicsomból való kiűzetés történetét a Bibliából! (Mózes I.3.) Vessük össze Rousseau elméletével a természetes ember megromlásáról! Tekinthető-e ez a bibliai történet újrafogalmazásának?

4. Hasonlítsuk össze Rousseau leírását a „vademberről” (Értekezés az egyenlőtlenségről, első fejezet) és a modern etológia megállapításait! Mi a hasonlóság és a különbség?

5. Kevés olyan önző és mások iránt érzéketlen ember élt, mint Schopenhauer. Vajon egy filozófia hitelességéhez szükség van-e arra, hogy megalkotója annak elvei szerint éljen?

6. Vessük össze Schopenhauer „akarat”-fogalmát az etológusok „ösztön”-évei és a „motiváció” lorenzi modelljével!

7. Hasonlítsuk össze Schopenhauer nézeteit Berkeleyével és Fabre-éval! Mi lehet a különbségek és a hasonlóságok oka?

8. A természeti folyamatokat Schopenhauer is – miként Arisztotelész – átlelkesíti, törekvést tulajdonít nekik. Mire alapozza érvelését a két filozófus? Mi a különbség?

9. Schopenhauer a descartes-i „Cogito, ergo sum”-ot egyszerűen fölcserélte a „Volo, ergo sum”-ra („Akarok, tehát vagyok”). Helyes-e ez a megállapítás? Nem lehetne bármilyen más igét behelyettesíteni a descartes-i mondásba? (Pl.: „Eszem, tehát vagyok”, „Játszom, tehát vagyok” – stb.)

10. Vajon abból a feltevésből, hogy a világot változhatatlan törvények uralják, szükségképpen következik-e a nietzschei örök körforgás? Hasonlítsuk össze ezt az elméletet ókori elődeivel, például Hérakleitosz vagy Thalész tanításával! Mi a különbség?

11. Igaza van-e abban Nietzschének, hogy a keresztyénség csak a lelkiekkel törődik, tehát test-ellenes? Hogyan vélekedhetett Nietzsche a Schopenhauer által megfogalmazott részvét (*Mitleid*) erejéről és értékéről?

Irodalom:

- Avilai Teréz: A tökéletesség útja. A belső várkastély, SZENT ISTVÁN TÁRSULAT 1979
- Pascal, Blaise: Gondolatok, GONDOLAT 1978. ⌘ *Tordai Zádor tanulmányával.*
- Pascal, Blaise: Írások a szerelem szenvedélyéről, a geometriai gondolkodásról és a kegyelemről – válogatott írások , OSIRIS 1999. ⌘ *Pavlovits Tamás tanulmányával*
- Rousseau, Jean-Jacques: Értekezések és filozófiai levelek, MAGYAR HELIKON 1978. *Értekezés a tudományokról és a művészetekről; Értekezés az egyenlőtlenség eredetéről. A társadalmi szerződésről; Levelek d'Alembert-nek, Voltaire-nek*
- Rousseau, Jean-Jacques: Emil vagy a nevelésről, TANKÖNYVKIADÓ 1978
- Schopenhauer, Arthur: A világ mint akarat és képzet, EURÓPA 1991
- Schopenhauer, Arthur: Szerelem, élet, halál / Életbölcsesség, GÖNCÖL , é.n.
- Nietzsche, Friedrich: Válogatott írásai, GONDOLAT 1984
- Nietzsche, Friedrich: Im-így szóla Zarathustra, VILÁGIRODALOM 1922 / GÖNCÖL
- Nietzsche, Friedrich: A tragédia születése, EURÓPA 1986
- Nietzsche, Friedrich: A vándor és árnyéka, GÖNCÖL 1990
- Wagner, Richard: Költészet és zene a jövő drámájában, ZENEMŰKIADÓ 1983
- Wagner, Richard: A Barna Könyv, GONDOLAT 1980
- Schweitzer, Albert, a gondolkodó, REF ZSINATI IRODA 1989
- Schweitzer, Albert: Életem és gondolataim, GONDOLAT 1981
- Benedek István: Rousseau, MAGVETŐ 1978
- Durant, Will: A gondolat hősei, GÖNCÖL
- Russel, Bertrand: A nyugati filozófia története, GÖNCÖL 1994
- Molnár Tamás: A pogány kísértés, KAIROSZ 2000
- Molnár Tamás: Századvégi mérleg, KAIROSZ 1999

2. A pszichoanalízis

2.1 A tudattalan felfedezése

2.1.1 Gyógyító erők

Ősidőktől máig él és hat az a szemléletmód, ami a betegségeket valamilyen ellenséges hatalom – szellem, démon – támadásaként magyarázza. Ilyenkor a beteg testben az egészséges lélek mellett egy másik is jelen van, s kettejük közt küzdelem folyik. A gyógyítás a démon kiűzésével oldható meg. Ezt az ördögűzésnek (exorcizmusnak) nevezett módszert többször is drámai erővel jeleníti meg a Biblia. *(pl.: Máté 9,32–34; Márk 5,1–21; 9,28–29)* A sikernek – a leírás szerint – általában két feltétele van: a gyógyító hatalma és a beteg hite. A gyógyulás e kettő kapcsolata. Az ördöngős betegek azonban nem ismerik föl saját állapotukat, ezért nem kaphatják meg a hit adományát sem, mert az tudatosságot föltételez. Az ő gyógyulásukat ezért inkább környezetük, rokonaik hite segíti, akik bíznak abban, hogy állapota jobbra fordulhat.

← mítosz és mágia I.3

HIT ÉS GYÓGYULÁS

→ Freud módszere XVII.2.2.1

Az európai orvoslás másik irányzata, amit tapasztalati-racionális módszernek nevezhetünk, Hippokratész nevéhez köthető. Az ő módszere továbbra is sok mitikus elemet őrzött (pl. a templomi alvás és az ott látott álmok elemzése). Alapvetően azonban a beteg és az egészséges szervezet állapota, az abban zajló életfolyamatok mechanizmusa érdekelte. Hippokratész arra törekedett, hogy minden betegséget „testi okokra" vezessen vissza. A „szent betegségről" írt munkájában például kifejtette, hogy az epilepszia – amit a mitikus hagyomány isteni megszállottságnak tartott – éppolyan betegség, mint a többi. Hippokratészt és követőit tehát – Arisztotelész szóhasználatával élve – nem annyira a cél és a forma, mint inkább az anyagi és a ható ok érdekelte.

← Hippokratész III.4

TAPASZTALATI MÓDSZER

← a négy ok III.9.1

Az európai orvoslásban ettől kezdve egymás mellett élt mindkét szemlélet és gyakorlat. Lassanként azonban munkamegosztás alakult ki köztük. Az egyetemek fakultásain tanított orvoslás többnyire olyan esetekkel foglalkozott, amelyekben a betegek elméje, gondolkodásmódja nem nagyon tért el a megszokottól, a betegségnek azonban határozott *testi* tünetei voltak (pl. sebesülések, kiütések, láz, daganat stb.). „Lelki betegségeknek" nevezték azokat, melyek semmilyen feltűnő **testi elváltozással nem jártak, a beteg elméjét, személyiségét azonban** gyakran ijesztő módon **átformálták**.

→ pszichoszomatikus tünetek XVIII.5.3

„LELKI BETEGSÉGEK"

→ neurózis és szichózis XVIII.

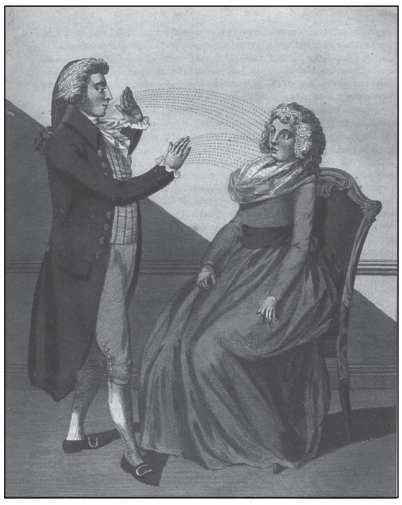
Az ilyen emberekkel koronként és vidékenként eltérő módon bánt a többség. Sokszor egyszerűen „bolondnak" nevezték, alamizsnát juttattak neki, és nem bántották. Ha mégis megkísérelték a gyógyítást, az a pap feladata volt, módszere pedig az ördögűzés időközben hagyománnyá váló gyakorlata. Ennek során imákkal, szent szövegek felolvasásával és testi hatásokkal is – pl. füstölők alkalmazásával – igyekeztek hatást gyakorolni. Ez sok esetben sikerült is, ekkor a beteg meggyógyult. A sikertelen ördögűzés azonban türelmetlenebb korokban – különösen az újkor kezdetén – gyakran tragikus véget ért: az „ördögtől megszállt" személyt boszorkánynak nevezték, megkínozták és elevenen megégették vagy eltemették.

→ a szuggesztió ereje XVII.2.1.2–2.2.1

2.1.2 Gyógyítás a felvilágosodás korában

A felvilágosodás korában megszűntek a boszorkányégetések, a lelki sérülteket immár őrültekházába zárták. Ezek az intézmények különleges börtönök voltak, ahol a veszélyesnek tartott betegeket láncon tartották. Philip

← elektromos és mágneses kölcsönhatások XI.1–2



11. ábra. ***Kezelés Mesmer doktor párizsi szalonjában***
Az egyéni kezelésről később áttért a csoportosra. A szoba közepén álló kádba „delejezett vizet" töltött, a vízből mozgatható vascsövek álltak ki, melyeket a gyógyulni vágyók beteg testrészeikhez illeszthettek. Mesmer körbejárt, és időnként megérintette őket pálcájával, hogy ezzel is erősítse a hatást. A háttérből halk Haydn- és Mozart-muzsika szólt. A kezeltek közül többen eksztatikus állapotba kerültek.

Franz Anton Mesmer (1734–1815) osztrák polihisztor, asztrológus, „csodadoktor".
A jezsuitáknál teológiát, majd jogot, filozófiát és orvoslást tanult. Doktori disszertációja asztrológiai témájú: „Az égitestek hatása a betegségekre". Bécsi szalonjában élénk társasági élet folyt: Gluck, Haydn és Mozart is járt ide. Igazi sikereit azonban Párizsban érte el. A Francia Tudományos Akadémia lesújtó véleménye, majd a forradalom elsöpörték tekintélyét is, vagyonát is. Magányosan, elfeledve halt meg Svájcban.

Pinel francia elmeorvos volt az első, aki a forradalom idején egy „őrültekházában" levetette a bilincseket a rabokról, és kinyilvánította, hogy a betegséget *nem büntetni, hanem gyógyítani kell*. Példáját több intézmény követte. E humánus intézkedések azonban nem oldották meg az alapproblémát: a betegségek nagy részével továbbra sem tudtak mit kezdeni.

Az ördögűzés mellett vagy helyett a tudós gyógyászok igyekeztek olyan módszert találni, amely összhangba hozható a kor természettudományos eredményeivel.

A XVIII. század egyik jellegzetes alakja, Franz Anton Mesmer (1734–1815) volt az első, aki a „lelki ráhatást" sajátos **erőként**, mágneses térként értelmezte. Mesmer művelt bécsi orvos és polihisztor volt, aki hallott a mágnes és a vas közt fellépő csodálatos vonzóerőről. Kíváncsi volt arra, hogy nem hat-e ez az élő szervezetekre is? Galvani híressé vált békacombkísérleteivel csaknem egy időben, 1775-ben mágnesezett vaslemezeket helyezett beteg testrészekre, és úgy találta, hogy azok szépen gyógyulnak. Egy másik kísérletében finom vasreszeléket nyeletett le a beteggel, majd erős mágneseket helyezett annak hasára és lábára. Úgy gondolta, „mesterséges mágneses dagályt" kelt a belső szervekben, s az talán gyógyítólag hat majd. A siker megdöbbentő módon nem is maradt el! Mesmer aztán rájött, hogy mágneses lemezek és porok nélkül, pusztán kézrátevéssel is tud gyógyítani. Leghíresebb esete egy 3 éves kora óta vak énekesnő látásának visszaadása volt. (A kapcsolatból nyomban vadregényes szerelem szövődött).

Hogyan magyarázhatók e jelenségek? Mesmer feltételezte, hogy a gyógyító mágneses erő termelője maga az élő szervezet. Ennek egyenlőtlen eloszlása a betegség oka, amit azonban egy másik személy mágneses tere helyrehozhat. Ő rájött arra, hogyan kell azt koncentrálni és másokra átirányítani – ebben áll az orvostudománya. Mesmer elképzelését széles körben terjesztette, többek között a francia Tudományos Akadémiához is írt egy beadványt, amelyben kérte, hogy vizsgálják meg eredményeit. A kiváló kutatókból álló bizottság (tagjai közt ott volt Benjamin Franklin és Antoine Lavoisier is) azonban csak annyit állapított meg, hogy Mesmer elméletének semmilyen tudományos alapja nincs: Mesmer elmélete legfeljebb spekuláció, ami a természettudomány módszereivel nem igazolható. A betegek közül ugyan tényleg sokan meggyógyulnak, ez azonban nem a mágnesességnek, hanem „csak" Mesmer doktor *szuggesztív egyéniségének* köszönhető.

Ezen „felvilágosult kitérő" után tehát a lelki gyógyítás visszatért kiindulópontjához: a lelki ráhatást (rapportot) többé nem fizikai egységekkel mérhető erőnek látták, hanem ismét lélek és lélek közti közvetlen kapcsolatnak, szuggesztiónak.

Summa (2.1)

A lelki zavarok mitikus magyarázata valamilyen szellem (démon) hatásának tulajdonította a bajt. Gyógykezelését ördögűzésnek nevezték. A siker feltétele a beteg gyógyulni akarása, a gyógyítóba vetett hite, és a gyógyító hatalma volt.

A felvilágosodás korában kezdték kezelendő betegségnek látni a lelki zavarokat.

Kísérlet történt a lelki ráhatás fizikai (mágneses) erőként történő magyarázatára is (Mesmer). A sikeres gyógyulásokról azonban kiderült, hogy szuggesztió, lelki ráhatás eredménye volt.

2.2 Freud elmélete

2.2.1 A pszichoanalízis születése

Mesmer bukása után az akaratátvitel problémája hosszabb időre eltűnt a tudományos érdeklődés homlokteréből. Legföljebb vásári mutatványosok szórakoztatták vele közönségüket. Csak a XIX. század második felétől élesztette föl ismét vizsgálatát a francia Jean Charcot (1825-1893), aki a párizsi Salpétriere-klinikán a hipnózis technikájának kidolgozásával szerzett hírnevet. Az úgynevezett relaxációs **hipnózis** sajátos tudatállapot, mely az alvás és az ébrenlét jellemzőit egyaránt mutatja. Előidézhető valamilyen hosszantartó ingerrel, például fényponttal, hangvilla folyamatos búgásával. A relaxációs hipnózisba került személy szemei lecsukódnak, tagjai merevvé válnak, és abban az állásban maradnak, melyet adnak neki. A külvilággal azonban nem veszíti el kapcsolatát: a kísérletet vezető személy szavait például érti, és utasításait végre is hajtja. (Amennyiben azok nem ellenkeznek erkölcsi felfogásával. Charcot például még hipnotikus állapotban sem tudta elérni, hogy a beteg hölgy *egészen a térdéig* emelje fel a szoknyáját, mert az a kor felfogása szerint illetlenség lett volna.) A hipnózis tehát a *szuggesztióra (*akaratátvitelre) *különösen alkalmas állapot*. Ezt használta ki Charcot – miként elődei is – a gyógyításra. Annak a nőnek például, aki képtelen volt gyermekét szoptatni (noha szerette volna) hipnotikus állapotban szuggerálta a tejtermelést – s az csakugyan meg is indult. Ezek a látványos kezelések nyilvánosak voltak és érdeklődő orvosok sokaságát vonzották Párizsba.

HIPNÓZIS
→ magyarázata XVIII.3.5.3

SZUGGESZTIÓ

Charcot kísérleteit figyelmesen tanulmányozta egy fiatal bécsi orvos: Sigmund Freud is. Arra gondolt, hogy talán az összes lelki zavar tudatos és tudattalan erők ütközéséből ered, s a hipnózis útján csak beleavatkozunk ebbe a küzdelembe. A szoptatni képtelen nő esetében például feltételezte, hogy a nő egyrészt *akart* szoptatni (tudatosan), másrészt azonban valami okból *irtózott is* ettől (öntudatlanul). Mivel az utóbbi hatás volt az erősebb, eredőként ez valósult meg. Az orvos egy újabb, külső hatással, a szuggesztióval fordította meg a folyamatot.

Freudot azonban nem elégítette ki ez a módszer. Elméleti szempontból azt kifogásolta, hogy a tudattalan törekvések okai továbbra is homályban maradtak (Pl.: *miért* irtózott a nő a szoptatástól?). Gyakorlati szempontból pedig azt, hogy a hipnotikus parancs erősítő hatása csak ideiglenes javulást hozott, mivel az okot nem szüntette meg. A beteget tehát újra és újra hipnotizálni kellett, és szuggerálni a kívánt hatást. Így aztán függőség alakult ki az orvos és a beteg között. Freud azonban a tüneti kezelés helyett valódi és tartós gyógyulást szeretett volna elérni. Úgy gondolta, hogy ez csak a beteg tudatának segítségével valósítható meg. A cél az, hogy *a beteg saját maga értse meg és dolgozza fel önnön problémáit*.

Freud meg volt győződve arról, hogy a **megértés tisztító és ezáltal gyógyító hatású is (katharzis).** Ebben segíthet az orvos, de csak akkor, ha a beteget partnernek tekinti, nem pedig vizsgálati tárgynak. Mi szerepe lehet e folyamatban a hipnózisnak? Nem maradhat a *beavatkozás eszköze* (hiszen az függőséget alakítana ki), de lehet a *vizsgálat módszere*. A tudat időleges korlátozásával bepillantást enged a tudattalan folyamatokba. Az orvos aztán így nyert tapasztalatait megosztja a beteggel (annak tudatos énjével), s együtt kísérlik meg annak értelmezését. Ha ez sikerült, ha valóban kapcsolat épült ki a beteg tudatos és tudattalan lelki folyamatai között, úgy az orvos szerepe véget is ér, hisz a másik ember már maga is tudja, hogy mi a problémája, így meg is tud birkózni azzal.

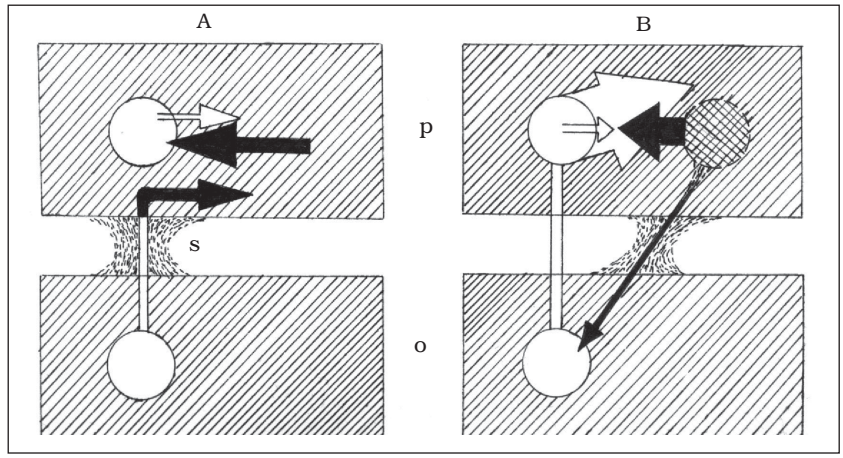


12. ábra. ***Nyilvános gyógykezelés a párizsi Salpétriere klinikán. Középen Charcot***
A gyógykezeléseken Charcot kísérleteket is végzett. Ezek közül különösen figyelemreméltó volt, hogy hipnózisban olyan utasítások is adhatók, amelyeket a hipnózis feloldása *után*, teljesen éber állapotban valósít meg a vizsgált személy. Charcot például azt mondta a hipnotizáltnak, hogy ébredés után tíz perccel menjen oda az ablakhoz, nézzen ki és nyisson esernyőt. Meghagyta azt is, hogy erre az utasításra ne emlékezzen. Minden eszerint történt: az illető, miután felébredt, beszélgetésbe kezdett a hallgatóság tagjaival, majd tíz perc után nyugtalan lett, az ablakhoz lépett, és – noha sütött a nap – esernyőt nyitott. Mikor megkérdezték, hogy miért tette ezt, maga is meglepődött, s igyekezett valamilyen racionális választ találni (pl. csak a nyitószerkezet működését vizsgálta meg). Viselkedése tehát hasonlított valamely kényszeres betegéhez.

← akarat és értelem (Schopenhauer) XVII.1.4.2

← lelki béke a sztoikusok szerint IV.7.3

← lelki vezetés XVII.1.1



13. ábra. Vázlat a szuggesztión alapuló gyógyítás (A) és a pszichoanalízis (B) módszerének különbségéről
Mind a két eljárás az orvos (o) és a kezelt páciens (p) közt zajlik le. A betegség oka mindkét esetben az, hogy a beteg tudattalan törekvései (fekete nyíl) erősebbek a tudatos késztetésnél (világos nyíl). Az A) esetben az orvos (hipnotizőr) szuggesztió (s) útján hat a tudattalan törekvés ellen.
B) A pszichoanalízisben az orvos legföljebb a betegség kiváltó okának felderítésére alkalmazza a hipnózist (vékony sötét nyíl). A gyógyítás a beteg és az orvos tudatos énje közti kapcsolatteremtés révén jön létre. A tudatosság erejét önnön tudattalan vágyainak ismerete növeli meg (vastag fehér nyíl).

PSZICHOANALÍZIS

← harmónia és egészség (Püthagorasz) III.3–4

→ az indikáció elve XXVI.

A lelki folyamatok elemzésének ezen módszerét, később az egész mozgalmat **pszichoanalízisnek** (lélekelemzésnek) nevezte Freud. A pszichoanalízis gyógymód, de nem csak az, átfogó elmélet is. Freud ugyanis feltételezte, hogy az egészséges és a kóros elmében lényegében *ugyanazok a folyamatok működnek*, a lelki betegség az egészséges állapot torzulása. Ebből következik, hogy az egészséges elme vizsgálatából a betegre, a betegéből pedig az egészségesre lehet következtetni. A személyiség felépítéséről és az abban működő hatóerőkről szóló freudi tanítás egy sor lelki (s esetleg testi) rendellenességet közös okra vezet vissza. Ezeket *tünetnek* tekinti, melyek a személyiség rétegeinek torzult, szokatlan kapcsolatából származnak.

→ a megküzdés módjai és az egészség XVIII.5.3.1

„Be kellett látnunk (…), hogy az idegbetegek ugyanazokon a dolgokon szenvedtek hajótörést, melyeket az egészségesek szerencsésen le tudtak győzni. Ez a belátás egyáltalán nem okozott csalódást. (…) Éppen úgy jártunk, mint a vegyészek: a végső termékek nagy minőségi különbözőségei visszavezettek ugyanazoknak a vegyülő elemeknek mennyiségi változásaira."

Freud: Önéletrajz (Ignotus és Kovács Vilma fordítása)

MI A SZUGGESZTIÓ FELTÉTELE?

← hit és gyógyulás XVII.2.1.1

→ krízisek (Erikson) XVII.2.5.2

Freud tapasztalatai szerint az elfojtások tudatosítása csak akkor gyógyító hatású (és akkor lehetséges egyáltalán), ha a beteg személyisége nem vesztette el érdeklődését a külvilág realitása iránt, tudatos énje látja a tüneteket, képes azokat elkülöníteni személyisége más részeitől – és *szenved* állapota miatt, szeretne megszabadulni belőle. Ha a betegnek ez a kifelé irányuló érdeklődése találkozik az orvoséval, létrejön a lelki ráhatás, a *szuggesztió előfeltétele*.

A személyiségükben sérült elmebetegeknél a hagyományos pszichoanalízis nem sok eredményt képes elérni, mert nem tud kapcsolatot kiépíteni a beteg és az orvos tudatos Énje.

Másféle, modern gyógymódok azonban – sokszor gyógyszeres kezeléssel is kombinálva – hatékony segítséget tudnak nyújtani az ilyen betegeknek és családjuknak is.

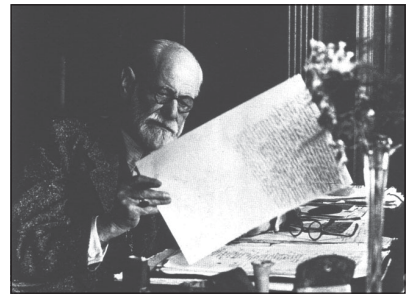
2.2.2 *A tudattalan megismerésének módszerei és problémái*

Freud hamarosan felhagyott a hipnózis alkalmazásával, ugyanis rájött, hogy sok más, „természetesebb" módszer is használható a tudattalan folyamatok felderítésére. Ilyen elsősorban az álmok, a nyelvbotlások, viccek, szabad asszociációk elemzése, megkísérelte azonban kiterjeszteni eljárását műalkotások (például szobrok) jelentésének kutatására is. E pillanatok vagy helyzetek közös jellemzője, hogy ilyenkor a tudattalan szabadabban nyilvánulhat meg, mint egyébként. Az egyenként esetleg jelentéktelennek látszó megfigyelésekből a pszichoanalitikus messzemenő következtetéseket vonhat le, melyeket a természettudományok elfogadott módszereivel aligha lehet bizonyítani – igaz cáfolni sem.

A tudatos és tudattalan ütközésének érdekes határterülete a **nyelvbotlások, elszólások** világa. Megfigyelhető, hogy a botlás gyakran két szó összevonásából keletkezik. Például: „Ha megengedi a kisasszony, szívesen *elkísértem*" (Az eredeti példában: Wenn Sie gestatten, Fraulein, möchte ich Sie gern *begleitdigen*). A keverékszóba az elkísérésen (*begleiten*) kívül belekeveredett a megsértés (*beleidigen*) is – ez utóbbi aligha tudatosan! Példa az elszólásra annak az országgyűlési elnöknek a köszöntője, aki az ülésszak megnyitóját így fejezte be: „Az ülésszakot ezennel *bezárom* – pardon, *megnyitom*!" Az elszólás néha elírássá változik, ki is nyomtathatják, mint például abban az állítólagos hazai esetben, amikor Sztálin elvtárs halálhírét mély *megrendeléssel* tudatták.

Ezekben a példákban az elkövetők nyilván tagadnák tudattalan szándékukat, hiszen annak beismerése kellemetlen vagy káros lenne számukra. Arra hivatkoznának, hogy fáradtak vagy izgatottak voltak, így a hiba véletlenül csúszott be. Freud azonban nem hitt a lélektani véletlenben (sem), pontosabban úgy tartotta, hogy mindazoknak a jelenségeknek, amelyek a viselkedésben mint értelmetlen vagy véletlenszerű kisiklások jelentkeznek, pontos oka van a tudattalanban. Az elszólás a tudattalan jéghegyének (egyik) csúcsa, csak kiindulópont ahhoz, hogy föltárhassuk láthatatlan alapját. A megfejthetőség kulcsa az, hogy a lélektani folyamatok **determináltak és funkcionálisak: mindegyiknek oka és szerepe van**.

„Minden további nélkül elismerjük az élettani hajlamosságnak könnyebb rosszullétben, vérkeringési zavarokban, kimerülési állapotokban rejlő hatását a nyelvbotlás keletkezésére, a mindennapos tapasztalat meggyőzheti Önöket erről. De mily keveset tudunk ezzel magyarázni! (…) A testi tényezőknek csak az az értékük, hogy megkönnyítik, elősegítik a nyelvbotlás sajátos lelki mechanizmusát. Erre a viszonyra egyszer egy hasonlatot használtam, és ezt most meg fogom ismételni, mert nem tudok jobbat helyette. Tegyék föl: sötét éjszaka sétálok valamely elhagyott helyen és egy útonálló megtámad, és elrabolja órámat és a pénztárcámat. Mivelhogy a rabló arcát nem láttam tisztán, panaszomat a legközelebbi rendőrállomáson a következő szavakkal adnám elő: A magányosság és a sötétség az imént megrabolt. A rendőrbiztos erre így válaszolhatna: Úgy látszik, Ön helytelenül szélsőséges mechanisztikus fölfogás híve. Állapítsuk meg inkább így a tényállást: A sötét-



14. ábra. ***Sigmund Freud (1856–1940) osztrák orvos, pszichológus***
Egy morvaországi kisvárosban, Freibergben született, zsidó kiskereskedő-családban. Politikusi álmai voltak, erre azonban a Monarchiában uralkodó többé-kevésbé rejtett antiszemitizmus miatt nem nyílt lehetősége. Bécsben orvosi pályára lép, kezdetben az idegélettan kiváló és alapos kutatójaként tűnik ki. 1885-től magántanár a Bécsi Egyetemen, közben megismeri Charcot és más francia pszichológusok eredményeit, ami megváltoztatja kutatásainak módszerét: a tudattalan folyamatok pszichológiájával kezd foglalkozni. Megállapításait kezdetben gúny és értetlenség fogadja, a század tízes éveitől kezdve azonban eljárását mind többen átveszik, kibontakozik a pszichoanalitikus mozgalom. Freudot sikerei csúcsán, 1939-ben kényszeríti Bécs elhagyására az Ausztriát megszálló Németország. Lakását feldúlják, könyveit elégetik. 1940-ben, londoni emigrációban hunyt el. Berggasse-i otthona és rendelője Bécsben ma múzeum.
Freud sok nagyközönségnek is szóló könyvet írt, ezek jó része magyarul is olvasható. Fontosabb munkái: Tanulmányok a hisztériáról (1895), Álomfejtés (1900), A mindennapi élet pszichopatológiája (1904), A vicc és viszonya a tudattalanhoz (1905), Totem és tabu (1912), Az Ősvalami és az Én (1917), Mózes (1939), A pszichoanalízis foglalata (1940).

NINCSENEK VÉLETLENEK

ség védelme alatt, kihasználva a hely elhagyatottságát egy ismeretlen rabló kifosztotta Önt. (…)

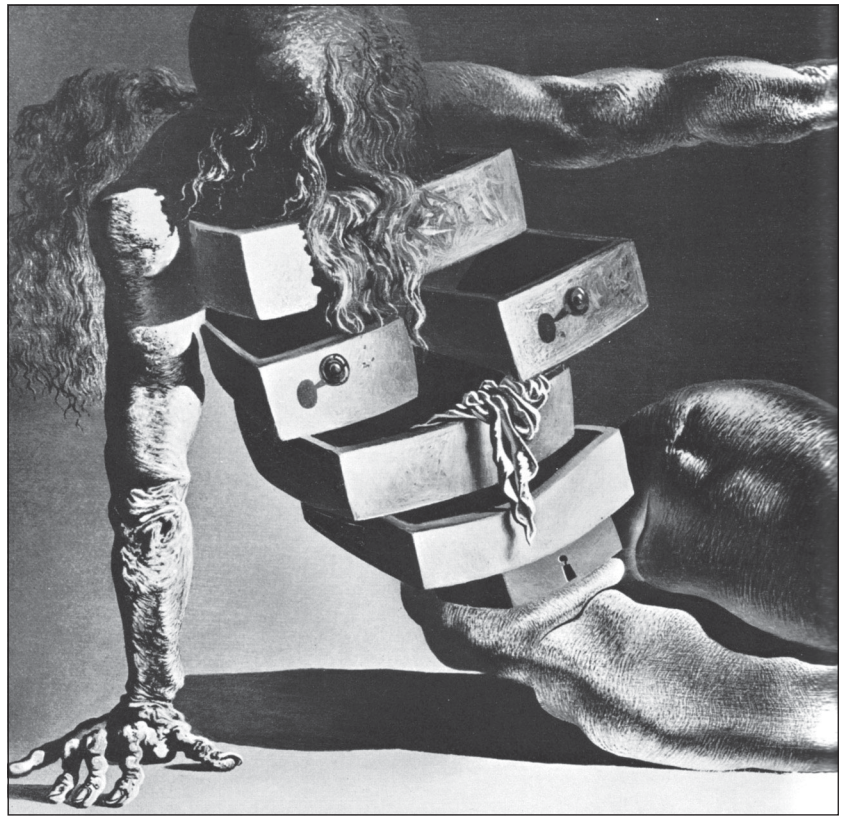
A pszichofiziológiai tényezők, izgalom, zavartság nyilvánvalóan nem nagyon visznek közelebb a megoldáshoz. Ezek csak beszédmódok, spanyolfalak, amelyek mögé föltétlenül be kell pillantanunk. Az a kérdés inkább, vajon **mi idézte elő az izgalmat**, *a figyelem sajátos elfordulását."*

Freud: Bevezetés a pszichoanalízisbe

← minden jelenségnek oka van (determinizmus) IV.7.2; VII.3.3

→ a véletlen szerepe a természeti folyamatokban XIX.; XXVI.; XXIX.

← mit nevezhetünk véletlennek? (Aquinói Tamás) V.5.4



15. ábra. ***Salvador Dalí: Akt fiókokkal (részlet)***

A szürrealizmus irányzata a tudattalan lelki folyamatok ábrázolását tűzte ki célul, így szorosan kapcsolódik a pszichoanalízishez.

AZ ÁLOM, MINT VÁGYTELJESÍTÉS

→ XVIII.3.5.3

Míg az elszólásokban csak egy-egy pillanatra szabadul fel a tudattalan a tudat ellenőrzése alól, addig **álmainkban** hosszabban és gazdagon bomlik ki küzdelmük. Ezért Freud szerint a tudattalan megismerésének az álomelemzés a „királyi útja" („via regia"). Bizonyítható, hogy az alvás bizonyos szakaszaiban *mindenki* álmodik (ha ekkor ébresztjük fel, mindenki álmlátásról számol be). Mivel életünk egyharmadát átalusszuk, bizonyára fontos funkciója van e folyamatnak. Freud szerint az álom funkciója a tudattalan késztetéseink levezetése, **rejtett vágyteljesítés**. Ez az állítás sokszor nem is szorul bővebb bizonyításra, például azon gyermek esetében, aki napközben nem kapott meg egy cukorkát, éjszaka pedig valóságos cukorhegyek jelennek meg előtte. Álmaink nagy része azonban zűrzavaros vagy éppen nyomasztó képek kavargása. Ezért az álmodó előtt hihetetlen, hogy éppen a vágyait jelenítenék meg. Vágyainkat azonban – figyelmeztet Freud – korántsem érezzük mindig kellemesnek, hiszen sokukról *megtanultuk*, hogy erkölcstelenek, bűnösek. A tudat ellenőrzése álmainkban lazul, de nem szűnik meg. Ha megakadályozni nem is tudja vágyaink kitörését, ahhoz elég ereje van, hogy formájukat démonivá torzítsa, közvetlen jelentésüket elrejtse. Ez a folyamat – Freud elnevezésével élve – az *álomcenzúra*,

← a lelkiismeret forrása Nietzsche szerint XVIII.1.5

„ÁLOMCENZÚRA"

eredménye pedig a megnyilvánuló (manifeszt) álom. Ezért – minden más lelki folyamathoz hasonlóan – az álmok is értelmezésre szorulnak.

A pszichoanalízis módszerével szemben már a kezdeti időktől két komoly ellenvetés merült föl. Az egyik ismeretelméleti jellegű. Miből derül ki, hogy a pszichoanalízis sikeres volt? Nyilván a gyógyulásból. De mire következtethetünk abból, ha a beteg a kezelés ellenére sem gyógyul meg (amint az gyakran előfordul)? Freud szerint pusztán abból, hogy a beteg nem fogadja el a diagnózist, még nem következik, hogy az orvos megállapítása valóban hibás volt. Sőt: a beteg tudatos énjének ellenállása eleve várható, hiszen a betegség éppen annak a következménye, hogy nem akarja elfogadni saját tudattalan vágyait. Így aztán a pszichoanalízis esetleges hibái nem bizonyíthatók, sőt, maga **az elmélet sem cáfolható**. Ez azonban azt jelenti, hogy **nem is igazolható**, azaz – a szó szoros értelmében – nem is *tudományos* elmélet. Ráadásul az elemzett esetek jó része beteg, zavart viselkedésű emberekre vonatkozik, ezért eleve kétséges, hogy kiterjeszthető-e a „normális" viselkedés magyarázatára is. E problémákkal maga Freud is tisztában volt, a saját klinikai tapasztalatában szerzett számtalan példa nyomán azonban nem kételkedett elmélete magyarázó erejében és érvényességében.

Az orvos a hosszú kezelés során szükségképpen közeli kapcsolatba kerül a páciensssel, aki egy idő után érzelmileg is kötődni kezd hozzá, gyakran szeretné megtalálni benne barátját vagy szerelmét. Freud azt tapasztalta, hogy ez a kötődés szükségszerű (függetlenül a beteg korától és nemétől), sőt a sikeres kezelésnek feltétele is. Ugyanakkor a függőség gátolná a probléma tartós megoldását, így az analitikusnak *a valóságban* nem szabad elfogadnia e felkínált kapcsolatokat. Hogy az emlékképek fölelevenítését lehetővé tegye, Freud bevezette azt a pozíciót, melyben a fekvő beteg nem láthatja orvosát. Ha azonban az irreális érzelmek kialakulásának a veszélye nagy, inkább a hagyományos beszélgetésekre emlékeztető helyzetet veszik fel a pszichoanalitikusok. Ugyancsak a távolságtartás célját szolgálja – a pszichiáterek megélhetésén kívül – a kezelésért fizetendő honorárium is.



16. ábra. ***A klasszikus pszichoanalitikus helyzet egy karikatúrán: Freud elemzi Freudot***
A karikaturista Charles Flackman szerint az óvintézkedések ellenére Freud elvárásai jelennek meg az elemzés eredményeképpen.

2.2.3 A lelki folyamatok dinamikája

Freud sok eset elemzése és hosszú töprengés után – élete vége felé – két alapösztönben találta meg a sokféle tudattalan késztetés közös gyökerét. Ezek: az **erósz (szerelem) és a destrukciós ösztön (rombolásvágy).** E két „alapösztön" sokkal inkább metafora, mint biológiailag körülírható fogalom.

ALAPÖSZTÖNÖK?

← gyűlölet és szeretet (Empedoklész) III.2; 5.2

Az **erósz** *arra törekszik, hogy mind nagyobb egységeket hozzon létre és őrizzen is meg, célja tehát a kötés, a kapcsolat. A másik ösztön célja éppen ellenkezőleg az, hogy a kapcsolatokat felbontsa, tehát, hogy a dolgokat tönkretegye. A destrukciós ösztönről azt gondolhatjuk, hogy legvégső célja az élőnek szervetlen állapotba való átvezetése. Ezért* **halálösztönnek** *is nevezzük. (…) A biológiai működésekben ez a két alapösztön egymás ellen vagy egymással kombinálódva fejt ki hatást.*

← keletkezés és pusztulás az atomelméletben III.6

(…) Az élet határait elhagyva pedig, két alapösztönünk analógiájára, a vonzásnak és taszításnak a szervetlen világban uralkodó ellentétpárjához juthatunk el.

← vonzás és taszítás XI.

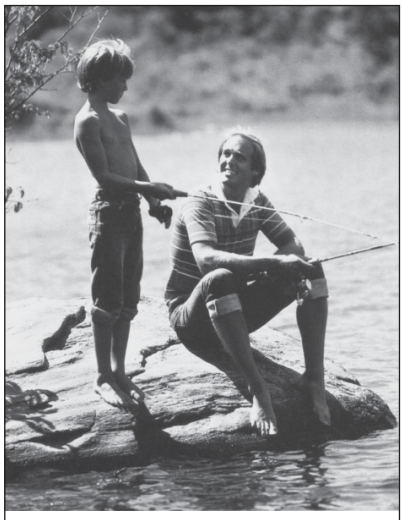
Freud: A pszichoanalízis foglalata

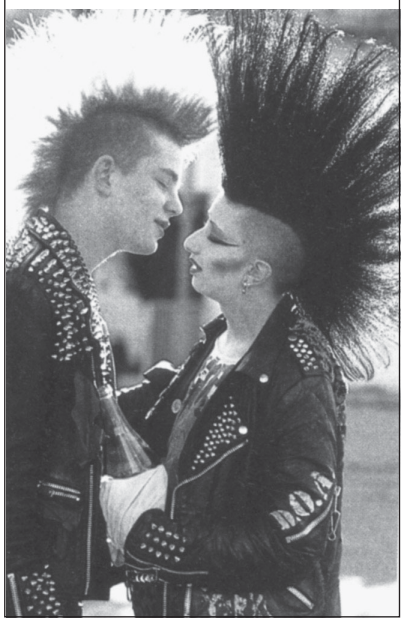
Mindkét alapösztön meghatározott mennyiségű **lelki energiával** rendelkezik, ezek „levezetése", vagyis tevékenységgé alakítása mindenféle életműködés pszichikai hajtóereje. Míg az állatvilágban eléggé kötött ezen energiák levezetésének módja, addig az ember számtalan utat, kerülő pályát alakított ki számukra. A lelki energiák kerülő úton való levezetése hétköznapi jelen-

LELKI ENERGIA

← zárt és nyílt programok XVI.4.3

← helyettesítő aktivitás XVI.4.4.3





17. ábra. ***a) Közös horgászat***
A szülők utánzása, követése a gyermekkor természetes igénye. Az ekkor szerzett élmények kitörölhetetlen nyomot hagynak bennünk.
b) Lázadó viselet
Ez a különös hajviseletű pár külsőségeiben is hangsúlyozza a szülőktől való függetlenségét. Az elszakadás azonban – bár néha ilyen feltűnő – csak részleges, hiszen gyermekkori kötődéseink, emlékeink irányítása alatt áll.

ség, legfeltűnőbb módon a „pótcselekvésekben" nyilvánul meg. A sértett beosztott például az ajtófélfába rúg főnöke *helyett,* a szerelmében csalódott hölgy sütemények elfogyasztásával *vigasztalódik*. Szeretetünk és gyűlöletünk energiája adott, tárgya azonban megváltoztatható, áthelyezhető. Ezen áthelyezések közül a legjelentősebb az, amikor önmagunkról a külvilág valamely tárgyára vagy személyére visszük át szeretetünket vagy gyűlöletünket (indulatáttétel). A csecsemő csak önmagát szereti (nárcizmus), a fölnőtt ember hozzátartozóit, hivatását, szülőföldjét, a virágokat, egyes ünnepeket is. Hasonlóképpen a gyűlölet irányulhat önmagunk ellen is (önvád, kétségek), de kivetíthetjük azt másokba is (idegen népek gyűlölete, rossz szomszédság, féltékenység, előítéletek). Miért lehetséges ez? Nyilván másokban is fölfedeztünk – vagy szeretnénk fölfedezni! – valamit, ami *önmagunkban* szeretetreméltónak vagy éppen gyűlöletesnek látszott. Ez a **kivetítés (projekció)** belső tulajdonságaink és elvárásaink átruházása a külvilág valamely személyére, esetleg tárgyára. Így a szerelmes sokszor szinte isteníti választottját, a pozitívumok nagy részét azonban saját elvárásai alapján ő maga vetíti ki a szeretett személyre. Ezért él át szerelme elmúltával keserű csalódást.

A tudattalan folyamatok *kibontakozását* elemezve Freud arra az eredményre jutott, hogy ezek többsége kapcsolatban áll a **szexuális késztetéssel**. Másrészt kiderült, hogy a rég elfeledettnek hitt (és a tudat számára el is feledett) **kisgyermekkori élmények** az egész élet számára meghatározó jelentőségűek.

A kisgyermekkori szexualitás legfontosabb – egész életre kiható – jelensége Freud szerint az **Ödipusz-komplexus** (komplexuson valamely összetartozó tünetcsoportot ért). Freud Ödipusz király ókori tragédiájában találta meg ezen helyzet irodalmi megfogalmazását, innen a név. A komplexus a kisgyermek és a két szülő kapcsolatából bontakozik ki. A szülők a maguk testi valójában ebben az időszakban még szinte az egész külvilágot képviselik, a gyermek minden vágya csak segítségükkel valósulhat meg, de a külvilág kényszerei is rajtuk keresztül érvényesülnek. A (fiú)gyermek szeretné megtartani magának anyja *minden* szeretetét és gondoskodását, ez azonban egyre kevésbé lehetséges. Legfőbb vetélytársát hamarosan apjában találja meg, ezért ellenséges indulatait rá irányítja. Korai lázadása gyengesége és tudatlansága miatt szükségképpen sikertelen marad, fölismeri viszont, hogy a siker feltétele, ha képes hasonlóvá válni hatalmasnak, erősnek látott apjához. Ez az *azonosulási vágy* adja a következő szakaszban a külvilág megismerésére és testének fejlesztésére irányuló törekvésének energiáját. Ami korábban külső kényszer volt, az most belső erővé válik. Ebben a lappangási szakaszban tökéletesen elfelejti kisgyermekkori kudarcélményeit, s ha fejlődése sikeres volt, serdülőkorában testben-lélekben megerősödve ismételheti meg lázadását. Ennek feladata már az önálló életre készülés: megtartja ugyan kötődését a családhoz is, de vonzalmának tárgyát immár a családon kívül találja meg. (A lányokban is hasonló folyamat zajlik le). Freud szerint ez a jelenség magyarázza meg, hogy legtöbb tárgyhoz és személyhez **ellentmondásos (ambivalens) kapcsolat** fűz minket: szeretetünk mögött rejtett ellenkezés lappang, ellenséges indulatainkat sokszor titkolt vonzalom színezi. Az Ödipusz-komplexus Freud szerint minden ember életének része, tehát általában nem vezet lelki töréshez, sőt a lelki érés és a társadalomba való beilleszkedés feltétele. Ha azonban a folyamat valahol megreked, torzul, szükségessé válhat okainak feltárása, a gyógyító erejű tudatosítás.

2.2.4 A személyiség rétegei

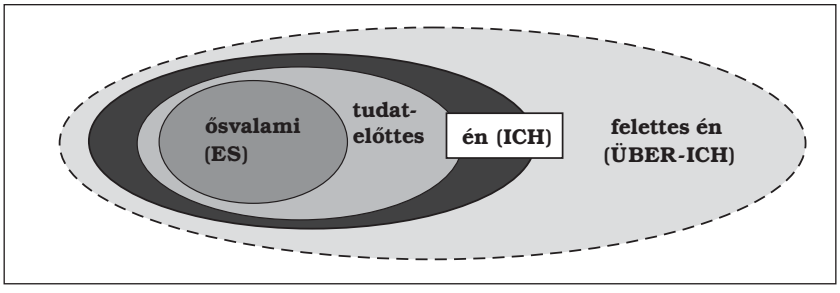
AZ „ŐSVALAMI" ÉS AZ „ÉN"

A személyiség alapját Freud szerint azok az ösztönös késztetések jelentik, melyeknek alanyát **Es**-nek nevezi (a németben a semleges nemű „ő", az angolban „id"). Legszerencsésebb magyar fordítása – Kosztolányi Dezső leleménye – az **ősvalami**, de elterjedt az **ösztön-én** kifejezés is. Az ösztönök kielégülésre törnek, ez azonban a külvilág ellenállása miatt sokszor nem sikerül. A szaporodó konfliktusok hatására különül el az Es egy részéből az **én** (Ego, Ich). Mi az én szerepe?

„Uralkodik az akaratlagos mozgások fölött. Feladata az önfenntartás. Kifelé úgy tesz ennek eleget, hogy megismerkedik az ingerekkel, tapasztalatokat tárol róluk (az emlékezetben), a túl erős ingereket elkerüli (menekléssel), a mérsékelteket befogadja (alkalmazkodással), és végül megtanulja, hogy a külvilágot célirányosan átalakítsa a saját használatára (aktivitást fejt ki). Befelé pedig harcot folytat az ösztön-én (az Es) ellen, átveszi az uralmat az ösztönigények fölött: eldönti: engedélyezhető-e a kielégülésük, vagy el kell ezt halasztani jobb időkre, amikor a külső körülmények kedvezőek, vagy pedig legjobb lesz teljesen elnyomni rezdüléseiket. Tevékenységét a benne jelenlévő vagy a kívülről befogadott ingerek feszültségei vezérlik."

Freud: A pszichoanalízis foglalata (I.) V. Binét Ágnes fordítása

Az én tehát közvetít az ősvalami és a külvilág, a felettes én és az ösztönök között, s mint ilyen a **tudatosság** hordozója, alanya. Időről-időre azonban meglazítja kapcsolatait a külvilággal (alvás). A tudatosság csupán egy vékony, állandóan változó „réteg" a személyiség „felszínén". Az én a tudattalanból (mely az „Es" megmaradó része) egyes részeket magába fogadhat és utána ismét tudattalanná tehet. Ezek azok az ismeretek, melyeket szükség esetén bármikor fel tudunk idézni (például: lakcímünk, ismerősünk arcvonásai, azon városok nevei, ahol jártunk stb.) Freud **tudatelőttesnek** (Vorbewusst) nevezi a tudatnak ezen „előszobáját". A tulajdonképpeni tudattalan lelki tartalmak azonban pusztán akaratlagosan nem tudatosíthatók: aktív **elfojtás** száműzte őket az énből, hiszen megnyilvánulásuk kínos vagy veszélyes lenne. Hatásuk azonban kerülő úton is érvényesül – éppen ez az oka a lelki zavarok sokféleségének. Végül a társadalmi elvárások hatására – amit jórészt a szülők közvetítettek – kialakul a személyiség legfelső rétege is: a **felettes én (Über-Ich).** Ez a lelkiismeret: az erkölcsi normák és szabályok belső hordozója.



18. ábra. ***A személyiség rétegei vázlatosan, Freud alapján***

19. ábra. ***A személyiség rétegeinek kialakulása Freud nyomán***

A) A külső világ (k) elvárásai (e) és tiltásai (t) nem mindenben esnek egybe a **belső világ (b), az Es** törekvéseivel.

B) Ha az elvárások és a törekvések egybeesnek, tehetségként értékeljük, és ez az egyén számára sikert (s) jelent. Ellenkező esetben konfliktus alakul ki (sötét terület). A formálódó személyiségnek kezdenek kialakulni azon területei (sávozott), melyekben az alany végig tudatában van ön-azonosságának (pl. *én* győztem a játékban, sajnos *én* törtem be az ablakot stb.)

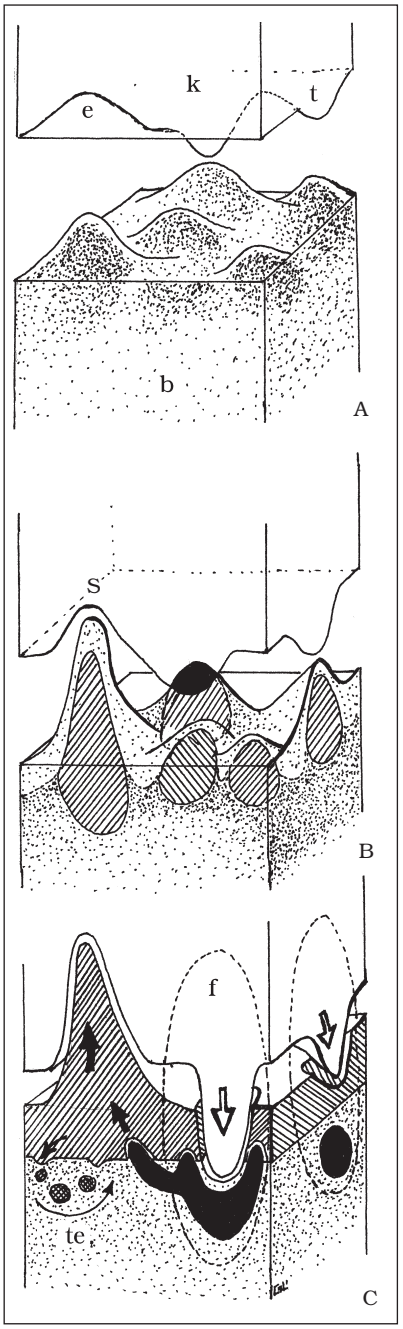
C) A megoldatlan konfliktusok elfojtott lelki tartalmakká válnak (sötét területek), melyek az egységessé váló **tudatos énbe (Ich, sávozott terület)** nem épülnek be, az illető „elfeledkezik róluk". Hatásuk azonban érvényesül, például úgy, hogy más – megengedett – tevékenységeket gerjeszt (indulatáttétel, sötét nyilak). Az elfojtott ismeretek egy része nem konfliktusok miatt „tűnik el", hanem azért, mert nincs rá szükségünk. Ezek a tudatelőttesből (t.e) visszahívhatók.
A **felettes én (Über-Ich) (f)** a külső kényszerek, elfojtások és a tudatosság bonyolult kapcsolata (szaggatott vonalakkal határolt területek).

→ a homeosztázis fogalma XVIII.1.3

← Descartes „angyala" VII.3.1.3

→ „flight or fight" (Cannon) XVIII.3.2.8

→ a személyiségről Jung: XVII.2.4
Frankl: XVII.2.5.1



→ sikeres megküzdés XVIII.5.3.1

„Az énnek valamely cselekedetét akkor tekintjük kifogástalannak, ha egyidejűleg tesz eleget az ösztön-én, a felettes én és a valóság követelményeinek, vagyis ha ezeknek az igényeit össze tudja békíteni egymással” – fogalmaz Freud. (A pszichoanalízis foglalata , I.)

2.2.5 Kultúra, erkölcs, vallás – Freud szerint

AZ ELMÉLET KITERJESZTÉSE

Freud élete vége felé több művében tett kísérletet arra, hogy a pszichoanalízis során nyert tapasztalatait és elméletét kiterjessze az egyénekről az **embercsoportok** vizsgálatára. Így jutott el a kultúra, az erkölcs, a filozófia és a vallás újszerű értelmezéséhez. Freud szemléletmódja mindvégig megmaradt orvosinak: a szellem ezen jelenségeit, mint *pszichológiai tüneteket* vizsgálta. Nem alkalmazhatta azonban a betegek klinikai vizsgálata során bevált módszereket. Eljárása *analógiákon* alapult. Feltételezte, hogy ahol az egyén és a csoport viselkedése hasonló, ott az okok is hasonlók vagy éppen azonosak. Az analógián alapuló következtetéseket aztán megkísérelte néprajzi, mitológiai, irodalmi, nyelvészeti adatokkal, elméletek-

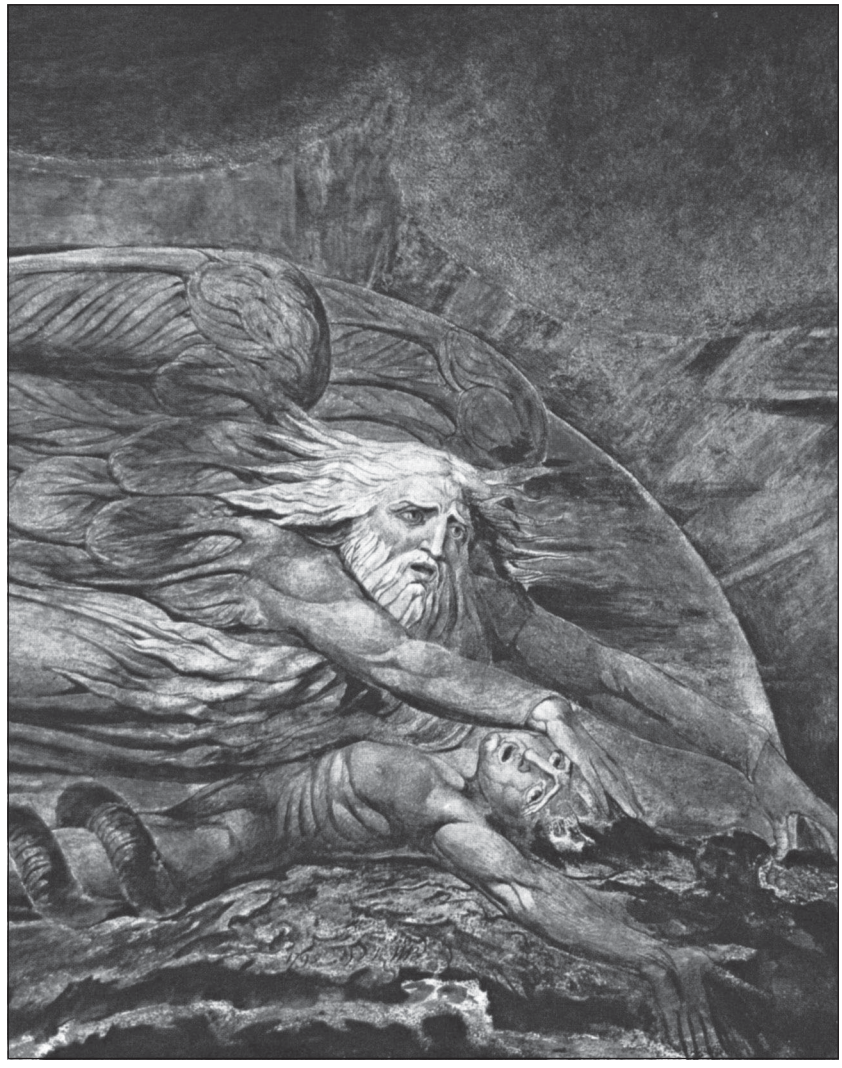
← analógiák alkalmazása az asztrológiában II.1.3; V.7.3

← teremtés a mítoszokban I.1.2; II.1.2.1

← Genezis V.2.2

→ az antropikus elv kérdése XIX–XXX.

← felvilágosodás és materializmus VII.6.2.2



20. ábra. ***W. Blake: Isten megteremti Ádámot (részlet)***
Freud visszájára fordította a zsidó-keresztyén tanítást: szerinte az ember teremtette Istent saját képére és hasonlatosságára.

kel is alátámasztani. Fontosabb ilyen tárgyú munkái: *Totem és tabu, Mózes és az egyistenhit, Egy illúzió jövője, Rossz közérzet a kultúrában*. Ezek az írások Freud saját közlése szerint nem alkotják szerves részét a pszichoanalízis tanának, inkább a szerző személyes nézeteit, spekulációit tartalmazzák. Sok elképzelését cáfolta is azóta a néprajz, a szociológia vagy a történettudomány. Hatásuk ennek ellenére széles körű: éppen ezek révén sikerült a pszichoanalízisnek befolyásolnia a mai polgári gondolkodást.

→ viták a néprajzban XVII.2.3.1

Freud **kultúrának** az emberek sajátos együttélési módját, s az erről vallott nézeteket nevezi. Feltevése szerint azzal, hogy az emberek a hatékony együttműködés érdekében csoportokba verődtek, szükségképp korlátozták is ösztönös vágyaik kiélését. Az elfojtott vágyak kerülő úton törekedtek a kielégülésre. A szabadság elvesztéséért cserébe megteremtették a szabadság *illúzióját*: a kultúrát. Ennek legfontosabb területei: a vallás, a művészetek, a filozófia.

← Rousseau a kultúráról XVII.1.3

KOLLEKTÍV KOMPLEXUS?

← XVII.2.2.3

A (zsidó-keresztyén) **vallás** személyes Isten-képét Freud kollektív Ödipusz-komplexus eredményének tartja:

(Az apából és az anyából álló) szülői tekintély őrizte a gyönge, gyámoltalan (…) gyermeket. Amikor felnő az ember, nagyobb erők birtokában érzi magát, de jobban ismeri az élet veszélyeit is, és joggal következtet arra, hogy alapjában véve ugyanolyan gyámoltalan és védtelen, mint gyermekkorában, hogy a világgal szemben még mindig gyermek. Most sem akar hát lemondani a gyermekként élvezett védelemről. Már rég felismerte azonban azt is, hogy szűk határok közé korlátozódik apja hatalma is, hogy nem minden kiválósággal felruházott lény. Ezért nyúl vissza a gyermekkorban túlértékelt apa emlékképéhez, istenséggé magasztosítja föl, s a jelenbe és a realitásba ülteti át."

Freud: A lélekelemzés legújabb eredményei (id: Nyíri T.)

→ gondolati absztrakció I.2

Isten Freud értelmezése szerint a valóságos apa képére teremtett *illúzió*, ábrándkép, mely korlátozott támaszt nyújt a cselekvésben, ugyanakkor azonban függőségben tartja a személyiséget, meghosszabbítja gyermekkorát, megakadályozza, hogy szembenézzen a valósággal. A nagykorúvá vált ember szabadon dönt, a szabadság feltétele viszont a teljes szellemi függetlenség, amit Freud szerint csak az ateizmus adhat meg. A vallásos életre jellemző megváltoztathatatlan rítusok, mint amilyen például az áldozat bemutatása, a *kényszeres cselekvésekre emlékeztették* Freudot. Feltette, hogy a hívők az áldozatba vetítik ki önnön bűnös vágyaikat („bűnbakképzés") és így próbálnak megszabadulni azoktól – sikertelenül (hiszen a bűnös vágyak mindig újratermelődnek). E vágyak forrása pedig Freud szerint a (titkolt) lázadás Isten hatalma ellen, miként a kisgyermek is megpróbál kitörni atyja fennhatósága alól.

→ illúziók az érzékelésben XVIII.3.3.1–2

ATEIZMUS

← rítusok I.1–2

← agresszió és ritualizáció (Lorenz) XVI.4.5

Freud szerint a vallással együtt **erkölcsi érzékünk**, a „jó" és a „rossz" tudása is az itt leírt módon rögzült belénk. A jót nem azért kell tennünk, mert ésszerű, hanem mert felettes énünk ezt diktálja. Az erkölcsi parancsok gyökere az egyéni életben éppúgy, mint a társadalomében az elfojtások, tiltások (tabuk) rendszere (például a paradicsomi almafáról való evés tilalma, a Tízparancsolat). Ezek nem indokolhatók racionálisan. Veszélyes tévedés azonban – figyelmeztet Freud – valamilyen parancsot *pusztán azért* tartani isteni eredetűnek, mert nem ismerjük az okát. Aki a felettes én diktatúráját azonosítja az isteni hatalommal, az voltaképpen eszközzé teszi Istent: a társadalmi erőviszonyok fenntartásának lelki eszközévé („a vallás a nép ópiuma"). A „helyes viselkedés" e felfogás szerint nem lenne más, mint az öntudatlanul belénk rögzült elvárások, a kötelesség kritikátlan teljesítése. Ez azért veszélyes, mert megfosztja az egyént a döntés felelősségétől és lehetőségétől. Kötelesség címén embertelen tettekre is erkölcsi felmentést adhat, a személyiséget kiszolgáltatottá, gépszerűvé teszi. („Parancsra tettem" – hajtogatta sok háborús bűnös).

MIÉRT TESSZÜK A JÓT?

← Nietzsche ugyanerről XVII.1.5
→ Frankl kritikája XVII.2.5.1

→ Kálvin a keresztyén szabadságról V.6.1

A valláséhoz hasonló vigasztaló, pót-kielégülést nyújtó szerepe van Freud szemében a **művészetnek** is, ami azonban *„csaknem mindig ártalmatlan és jótékony hatású, hiszen maga sem kíván más lenni, mint illúzió"*-írja. A **filozófia** ugyan nem áll ellentétben a tudománnyal, de *„ragaszkodik ahhoz az illúzióhoz, hogy hézag nélküli, összefüggő világképet tud megszerkeszteni. (…) Módszertanilag*

MINDEN ILLÚZIÓ?

abban téved, hogy logikai tevékenységünk értékét a megismerést illetően túlbecsüli." (A lélekelemzés legújabb eredményei.) Az igazsághoz Freud szerint egyetlen út vezet: a **tudomány**, ezen belül is a pszichológia. Végeredményben a társadalmi feszültségek gyógymódját is ugyanabban látja, mint az egyénét: lelki hatóerőink megismerésében, tudatosításában.

ELLENÉRVEK

A Freud kultúra-elméletével szemben fölvethető fontosabb **ellenérvek** – Nyíri Tamás gondolatmenetét követve – a következők.

a) A pszichoanalízis szokásos módszerével szemben ezek az elemzések nem párbeszédek, hanem **egyoldalúak**: valójában Freud materialista és ateista világlátását mutatják be, nem pedig a vallásos emberek hitét.

← a négy ok (Arisztotelész) III.9.1

b) Freud magyarázatai csak az **okra** vonatkoznak, arra, hogy a lelkiismeret, erkölcs, vallás hogyan alakult ki a múltban vagy hogyan bontakoznak ki az egyén élete során. Nem szólnak azonban a **célról**, jövőről, arról a várakozásról és törekvésről, ami e lelki jelenségek fontos sajátossága.

→ lelki cél XVII.1; 2.5.1

c) Amennyiben Freud kritikája szerint a kultúra minden jelensége illúzió, fölvethető, hogy nem illúzió-e maga a freudi kritika is? A vizsgáló orvos, pszichológus is része annak a társadalomnak, melyet bírál, nem emelkedhet ki belőle, **nem szemlélheti kívülről**.

← „hiszek, hogy érthessek" (Anzelm) V.5.3.1

d) Ezzel függ össze, hogy maga a tudomány – mint a kultúra része – nem illúzió-e vajon? Freud ezt az ellenvetést a tudomány **hasznosságára, eredményességére** való hivatkozással hárította el. A hívő ember azonban ugyanez mondhatja el hitéről, a művész a művészetéről, a filozófus önnön rendszeréről is.

Summa (2.2)

A hipnózis tudományos vizsgálata (Charcot) arra indította Freudot, hogy az emberi pszichét tudatos és tudattalan tartalmak olyan együttesének tekintse, melyben a tudattalan egy része hozzáférhetetlen a tudatos én számára (elfojtás). Ez egy olyan folyamat eredménye, mely minden emberben végbemegy (meghatározó a gyermekkor), de meg is akadhat, vagy tévútra vezethet: ekkor alakulnak ki a lelki zavarok, betegségek. A gyógyítás módja a tudatosítás (pszichoanalízis).

Az elfojtott emlékek és törekvések kerülő utakon nyilvánulnak meg: elszólások, elfelejtések, álmok formájában vagy betegségként (neurózis). Mindezen folyamatok determináltak és funkcionálisak: okuk és szerepük van. Ez teszi lehetővé megfejtésüket, gyógyításukat is. Az (elfojtott) törekvések két forrása a szerelem (erósz) és a halál-ösztön (rombolásvágy). Mindkettő meghatározott lelki energiával rendelkezik (libidó), az egyén ezen energiák levezetésének módjait keresi a társadalomban. Ha a közvetlen megvalósítás nem lehetséges, az elfojtás mellett megjelenik a kivetítés (projekció) is. Ennek során az egyén saját lelki tartalmait öntudatlanul a külvilág valamely részébe (személybe, tárgyba, népcsoportba, eszmébe) helyezi át. Freud szerint ez az alapja a kultúra, a vallás, a művészet sokféle megnyilvánulásának is (szublimáció-elmélet).

A személyiség rétegei Freud szerint: ősvalami (tudattalan), tudatelőttes (fölidézhető, de éppen nem tudatos), én (tudatos), felettes én (a környezet elvárásaiból és az öntudatlan késztetésekből alakul ki).

Kérdések, problémák (3.1–2)

1. Vessük össze Freud és Wundt nézeteit a tudatosról és a tudattalanról! Mi a hasonlóság és mi a fő különbség?

2. Azonos-e Freud én-je (Ich) Descartes ego-jával (Cogito, ergo sum)?

3. Olvassuk el Catullus „Odi et amo" („Gyűlölök és szeretek") című epigrammáját! Milyen választ adott volna Freud Catullus kérdésére? Vajon elfogadta volna-e Catullus ezt a magyarázatot?

4. Olvassuk el Kosztolányi Dezső Kulcs című novelláját! Mi az, ami a főszereplő kisfiú számára lelki megrázkódtatást okoz? Miért éppen Kulcs a novella címe?

5. Olvassuk el a házasságtörő nőről szóló példázatot a Bibliából (János 8,1-11)! Mi volt a farizeusok bevallott célja, s mi ki nem mondott indítékuk? Miben hasonlít Jézus döntése a pszichoanalízis módszerére?

6. Milyen lélektani jelenségek, fogalmak segítségével magyarázhatók az alábbi verssorok?

   Nem más a költészet maga,
   mint álmaink hű magyarázata
   Wagner: A nürnbergi mesterdalnokok

   Rebi lelke nem vón kár:
   De, mint varjú, visszajár.
   Hess, madár!
   Arany János: Vörös Rébék

Irodalom:

- Freud, Sigmund: Önéletrajzi írások, CSERÉPFALVI 1940, repr. 1989
- Freud, Sigmund: Bevezetés a pszichoanalízisbe, GONDOLAT 1986
- Freud, Sigmund: Esszék, GONDOLAT 1982, *A vicc és viszonya a tudattalanhoz; Leonardo da Vinci egy gyermekkori emléke, Rossz közérzet a kultúrában; A pszichoanalízis foglalata*
- Freud, Sigmund: Totem és tabu, GÖNCÖL én.
- Freud, Sigmund: Mózes / Michelangelo Mózese, EURÓPA / MÉRLEG 1987
- Freud, Sigmund: A mindennapi élet pszichopatológiája, CSERÉPFALVI 1904, 1991
- Sulloway, J. Frank: Freud, a lélek biológusa, GONDOLAT 1978
- Benedek István: A gyógyítás gyógyítása, GONDOLAT 1978
- Nyíri Tamás: Mélylélektan és ateizmus, HERDER 1993
- Jean-Paul Sartre: Freud, MAGVETŐ 1987
- Wells, Harry K.: Pavlov és Freud, KOSSUTH 1968
- Lafenauer Károly: Előadások az idegélet világából, M. KIR. TERMTUD. TÁRS. 1899
- Wolf, Hanna: Jézus, a pszichoterapeuta, EGYHÁZFÓRUM, Bp., 1995



22. ábra. ***Ausztrál bennszülöttek totemisztikus szertartása Fotó Róheim Géza (1891–1953) magyar etnográfus, pszichológus Rókeim Géza könyvéből (A csurunga népe)***

Budapesten született, gazdag polgári család egyetlen gyermekeként. A Fasori Evangélikus Gimnáziumban érettségizett, majd földrajz szakon végezte el a tudományegyetemet, miközben jogbölcseletet, filozófiát, pszichológiát, angol és finnugor nyelvészetet tanult, néprajzot pedig külföldi egyetemeken (Berlin, Lipcse) hallgatott. 1917-től a Nemzeti Múzeum néprajzi részlegének tagjaként elsősorban a magyar népszokásokkal foglalkozott (1925: Magyar néphit és népszokások). 1928-31 között Marie Bonaparte hercegnő – Freud híve – jóvoltából feleségével együtt Szomáliában, Ausztráliában, Új-Guineában és az amerikai navaho indiánok körében kutatott (A csurunga népe, 1932). Gazdag gyűjteményét a Nemzeti (később Néprajzi) Múzeumra hagyta, maga a fasizmus elől 1938-ban az USA-ba emigrált, itt is halt meg.

← a „természetes ember” mítosza (Rousseau) XVII.1.3

2.3 A lélekelemzés irányzatai

2.3.1 Az eredet keresése: néprajz

A pszichoanalízis mozgalommá szélesedésében nagy szerep jutott Freud magyar követőinek. Közülük Ferenczi Sándor, Bálint Mihály és Róheim Géza váltak a legismertebbekké.



21. ábra. ***Freud pszichoanalitikusok körében***
Freud mellett ül Ferenczi Sándor, aki sokat tett a pszichoanalitikus mozgalom megszervezéséért, és Freud szűk baráti köréhez tartozott.

Róheim Géza (1891–1953) megkísérelte a freudi gondolatokat ma élő természeti népek mítoszainak, szokásainak magyarázatára alkalmazni. Ezzel ugyan már maga Freud is próbálkozott, Róheim – és társai, például a lengyel Malinowski – azonban a terepen végzett közvetlen megfigyeléseikre, gyűjtéseikre támaszkodhattak. Az **összehasonlító néprajz (etnográfia)** kezdetei így szorosan összefüggenek a mélylélektan eredményeivel.

„Ha mármost, hivatkozva évtizedek gyakorlati és elméleti eredményeire, a pszichoanalízisnek a pszichéről vallott felfogását elfogadjuk, megpróbálhatjuk az eredeti eljárás megfordítását, és azokat a megismeréseket, amelyekhez azáltal jutottunk, hogy a „cenzúra” és az „elfojtás” fogalmát a társadalmi és politikai életből átvittük az egyéni lelki életre, most viszont használjuk arra, hogy az emberi csoportok lényegét jobban megértsük. Ilyen eljárásnál látszólag a circulus vitiosus (ördögi kör) veszedelme fenyeget minket. Jelentékenyen enyhíti azonban ezt a veszedelmet, ha nem azokra a társadalmakra terjesztjük ki kutatásainkat, melyekből Freud ma már végleg igazolt elméletének megfogalmazásakor kiindulhatott. Az európai államok szolgáltatták mintáját a pszichéről vallott felfogásának, és ez a felfogás frappánsan világítja meg a primitív népek társadalmi életét.”

Róheim Géza: Psziché és társadalom (Imago, 1926)

Róheim úgy értelmezte eredményeit, hogy a Freud által leírt folyamatok (elfojtás, kivetítés, Ödipusz-komplexus) a törzsi társadalmakban még tisztábban nyilvánulnak meg, mint az európai kultúrában.

Így például az ausztráliai arunták a beavatási szertartás során *„megmondják a felavatott ifjúnak, hogy azt a sajátságos búgó hangot, amely oly gyakran rémítette őt ifjabb éveiben, nem Twanyirika (szellem, istenség) okozza, hogy ilyen szellem, aki bemegy a fiúk testébe, vagy esetleg elnyeli és feltámasztja őket, egyáltalán nem létezik. Megmutatják neki a hangot valójában okozó búgófát (churinga) és azt mondják neki, hogy ettől hamarabb begyógyulnak a sebei (a körülmetélés okozta sebek). Jól vigyázzon a búgófára, mert ha elvész, megölik őt*

magát, anyját és nővéreit, és nagyon vigyázzon, hogy anyja vagy nővérei meg ne lássák a búgófát." (Róheim Géza: Psziché és társadalom).

A törzsi szokásokban megjelenő tiltások (tabuk) tehát összefüggenek a társadalmi megosztottsággal (például férfiak és nők különbsége) és az életkorral (a beavatási szertartás, mint a titkos tudás megszerzése). Kiemelt jelentőségük van a szexuális jelképeknek, melyek nemcsak a szaporodás, hanem a hatalmi rend szimbólumai is, így alapvetők a törzs fennmaradása szempontjából.

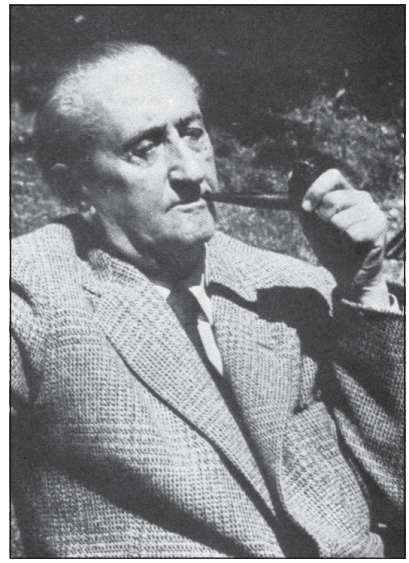
← a totem átváltozásai I.2.1

Más néprajzkutatók – például a lengyel Malinowski – éppen Róheimmel ellentétes eredményre jutottak: szerintük Freud polgári társadalmakat leíró elmélete egyáltalán nem alkalmazható a természeti népekre, ahol minden törzsre más, sajátos szokásrend alakult ki. A két ellentétes nézet vitája ma sem zárult le.

← hogyan látnak ők minket? (Jung) XVII.2.4.3

2.3.2 Választott sors (Szondi)

Sajátos utat követett Szondi Lipót (1893–1986), aki nem is csatlakozott a pszichoanalitikusokhoz. Szondit az érdekelte, hogy mi az oka az egyéni lélektani különbségeknek, s az egyénnek **mennyire meghatározott az életútja, sorsa (sorsanalízis).** „*A* **sorselemzés** *célja: kikutatni az egyes ember sorsában azt a tervet, amely életét születéstől a halálig globális egésszé formálja*" – írja. Freud két alapösztöne helyett nyolc ösztönpárt feltételezett, és úgy gondolta, hogy mértékük és kombinációik genetikailag meghatározottak. Az emberi életút minden fontosabb eseményét (pályaválasztás, párválasztás, sőt: betegség- és halálnem „választás") ezek az ösztönök irányítják, többnyire öntudatlanul. Nem véletlen például, hogy valaki gyomorfekélyben vagy kóros elhízásban betegszik-e meg, de – Szondi szerint – még az sem, hogy körülnéz-e, mielőtt lelépne a járdáról a forgalmas úttestre. Sejtésének bizonyítására számtalan családot vizsgált meg abból a szempontból, hogy bizonyos testi-lelki betegségek örökölhetők-e vagy sem. Emellett az öntudatlan késztetések, gén-vonzalmak vizsgálatára ma is használt, arcképekből álló sorozatot, Szondi-tesztet állított össze. Szondi nem tagadta az egyéni akarat, a szabad döntés lehetőségét. Látásmódja szerint életünk állandó küzdelem, hogy a genetikailag előre programozott sorsnak megfelelő, de mégis elfogadható választásokat végezzünk. Ma is vitatott elmélete a pszichológia és a genetika (családfa-kutatás) közt próbált meg kapcsolatot teremteni.



23. ábra. ***Szondi Lipót (1893–1986) magyar orvos, pszichológus***
Nyitrán született egy szegény zsidó cipész tizenkettedik gyerekeként. Apja érdeklődését a zsidó szent könyvek (Talmud) olvasása és magyarázata kötötte le, életmódja a fiatal Szondira is nagy hatást gyakorolt. Ötéves korában Pestre költöztek, itt orvostanhallgató lett, majd a belső elválasztású mirigyek szakértője (endokrinológus). A Gyógypedagógiai Főiskola laboratóriumában 1936-tól végzett nagyszámú mérése, családfakutatása ébresztette fel érdeklődését a sors, mint lélektanilag megszabott út iránt. 1944-ben családjával együtt a bergen-belseni táborba vitték a németek, bántódásuk azonban nem esett. A háború után Zürichben telepedett le, és önálló „Sorsanalitikai Intézetet" hozott létre.

2.3.3 A hatalomvágy (Adler)

Az osztrák Alfred Adler (1870–1937) kezdetben Freud bécsi köréhez tartozott, később azonban szétváltak útjaik. Míg Freud a lelki jelenségek *okaira* (az arisztotelészi *ható okokra*) volt kíváncsi, addig Adler számára a folyamatok *célja* a döntő. „*Az ember lelki életét tehát cél határozza meg. Senki sem gondolkozhat, érezhet, akarhat, még csak nem is álmodhat anélkül, hogy annak tárgyát egy előtte lebegő cél meg ne határozná, ne tételezné, meg ne szorítaná és ne irányítaná*" – írja Adler az *Emberismeret* című könyvében. Az egyén arra törekszik, hogy a közösséggel elfogadtassa magát, célja a minél kedvezőbb helyzet (pozíció) elérése. Miként Freud, Adler is döntő jelentőséget tulajdonít a gyermekkornak. Adler számára azonban nem a szexualitás és a rombolásvágy kettőssége, hanem a **hatalomvágy, az érvényesülés akarása** a lényeges. A gyermek fogyatékosnak, alárendeltnek érzi magát a „fölnőttek társadalmával" szemben. Hogyan reagál erre a helyzetre? Az orvosi képzettségű Adler élettani analógia alapján magyarázza a történteket:

← a magas vérnyomás hatása X.4.3.5

„Bizonyított tény, hogy fejlődési hiány vagy betegség következtében gyenge életfontosságú szervek, amennyiben életképesek, gyengeségükre erőkifejtésüknek hatalmas fokozásával felelnek. Így a vérkeringést fenyegető nehézségek esetén a szív fokozott erővel dolgozik, az erőt az egész szervezettől veszi kölcsön, miközben megnövekszik, és oly nagyságot ér el, mely terjedelmesebb a normálisan működő szívénél. Kicsinységének, gyengeségének, fogyatékosságérzésének nyomása alatt hasonlóképpen kísérli meg a „lelki szerv", hogy fokozott erőfeszítéssel legyen ezen erőfeszítésein úrrá, és kiküszöbölje azokat.

← egészség, szépség és arány (Püthagorasz) III.3–4.

Ha a fogyatékosságérzés különösen nyomasztó, fennáll az a veszély, hogy a gyermek attól való félelmében, hogy eljövendő életében a rövidebbet húzza, nem elégszik meg magával a kiegyenlítéssel, és túllő a célon (túlkompenzáció). A hatalomra törés és fölényre törekvés túlságosan kiéleződik és betegessé fokozódik. (…) Később olyan jelenségek csatlakoznak ehhez, melyek az emberi társadalom szociális szervezetének értelmében már ellenségeskedést jelentenek. Ilyen a kérkedés, gőg és mások mindenáron való legyőzésére irányuló törekvés, mely oly módon is megnyilvánulhat, hogy az ember egyáltalán nem törekszik magasabbra, hanem megelégszik azzal, ha a másik süllyed."

Adler: Emberismeret (Kulcsár István fordítása)

TÚLKOMPENZÁCIÓ

KISEBBRENDŰSÉGI ÉRZÉS ÉS HATALOMVÁGY

Mivel mindenkinek van olyan szerve, képessége, mely a szokásosnál kevésbé fejlett – illetve **ő annak látja** – ezért az ebből fakadó kisebbrendűségi érzés (komplexus) is általános. Ez vezet öntudatlan „túlkompenzációhoz", például a mindenttudás érzéséhez. („Én mindent jobban tudok.") Amikor aztán ez ütközik a realitásokkal, indulatos reakció, szélsőséges esetben lelki torzulás a válasz. Így például a kistermetű fiúk sokszor azért szeretnének hadvezérek, politikusok lenni, hogy pozíciójuk ellensúlyozza testi fogyatékosságukat. Mániává fokozódó beteges kisebbrendűségi érzés művészi erejű megjelenítése Kosztolányi Dezső regénye: *Néró, a véres költő*.

→ a tökéletlenség elfogadása (Jung) XVII.2.4.2

NEVELÉS

Adler nagy szerepet szán a **nevelésnek**. Sikeres nevelés során a növendék elsősorban saját képességeivel, lelki alkatával ismerkedik meg (önnevelés). Ha ez sikerül, sem többre, sem kevesebbre nem tartja magát, mint amilyen valójában. Ezért nem alakul ki benne kisebbrendűségi érzés és kompenzációja, a hatalomvágy sem. A nevelés segíthet abban, hogy a hatalomvágy egészséges versenyben önmagunk felemelését szolgálja. Freud és Adler tanítása tehát hasonlít abban, hogy az önismeret, a tudatosság mindkettőjük szerint boldogabb, kiegyensúlyozottabb élethez vezet.

Summa (2.3)

A pszichoanalízis továbbfejlesztésében magyar származású pszichológusok is fontos szerepet játszottak. Ferenczi Sándor szervezte meg a pszichoanalitikus mozgalmat.

Róheim Géza a néprajz területén kísérelte meg a freudi elmélet alkalmazását (összehasonlító etnográfia). Szondi Lipót az egyéni sors alakulását kísérte nyomon (sorsanalízis), azt kutatva, hogy fontos választásaink során mi irányítja tetteinket. Arra a következtetésre jutott, hogy a vonzalmak, kívánságok öröklöttek, s így determináltak. Ez adja meg a konkrét választások keretét is.

Alfred Adler pszichológiájában a szexualitás helyett az érvényesülés, a hatalom akarására helyezte a fő hangsúlyt. Véleménye szerint öntudatlan reakcióink jórészt elfojtott kisebbrendűségi komplexusok kiegyenlítéseként (kompenzálásaként) jönnek létre. A lelki folyamatokat teleologikusnak (célra irányulónak) tartotta.

2.4 A tudattalan kitágítása (Jung)

2.4.1 A személyes tudattalan

Carl Gustav Jung (1875-1961) svájci elmegyógyász orvos alkotta meg Freud mellett a másik nagy, összefüggő mélylélektani rendszert. A tudattalan feltérképezéséhez Freudtól függetlenül, a szó-asszociációs módszerrel látott hozzá (1904). Ezt az eljárást eredetileg a Wundt-féle iskola hívei vezették be az asszociációs képesség vizsgálatára, Jung azonban egészen más célból elevenítette fel.

← asszociációk az empirizmusban (Locke) VII.4.1

← Wundt módszere XVI.1.2

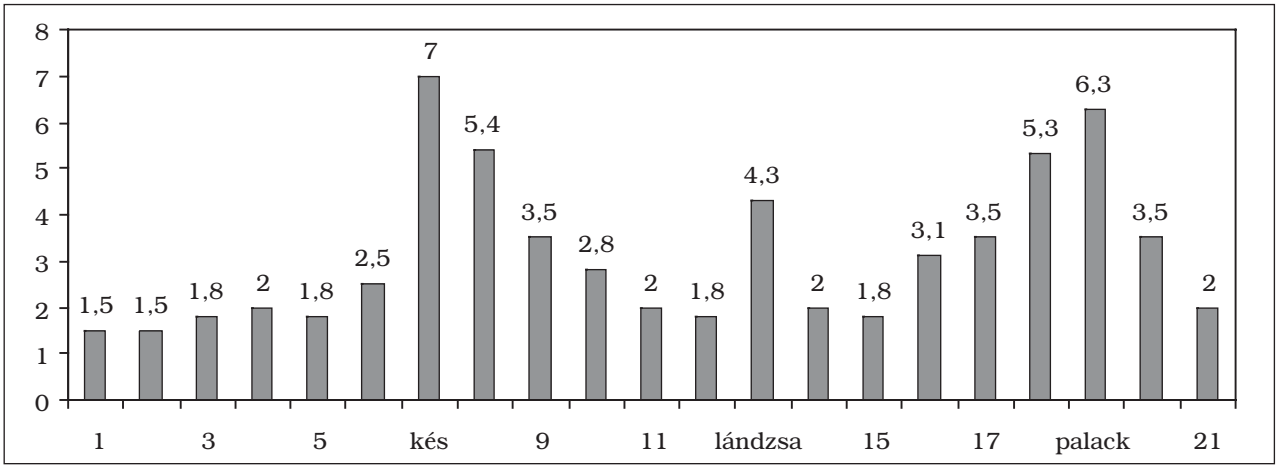
„A vizsgálatot (…) egy százszavas lista elmondásával végezzük. Arra utasítjuk a vizsgált személyt, hogy miután meghallotta és megértette az ingerszót, a lehető leggyorsabban mondja ki az első szót, ami eszébe jut. (…) Stopperórával mérünk minden egyes reakcióidőt. Miután a száz szó végére értünk, egy másik vizsgálatot is elvégzünk. Megismételjük az ingerszavakat és a vizsgált személynek reprodukálnia kell előző válaszait. Bizonyos helyeken hibázik, a reprodukció bizonytalan vagy téves lesz. Ezek a hibák fontosak.

← a „jelentéktelen hibák” jelentése (Freud) XVII.2.2.2

(…) Kérdezzünk olyan egyszerű szót, amelyre egy gyerek is tud reagálni, s kiderül, hogy egy magas intelligenciájú ember nem tud. Miért? Ez a szó eltalálta azt, amit én komplexusnak nevezek, ami különleges, talán fájdalmas érzelmi színezetű pszichés tartalmak konglomerátuma. Általában rejtett, nem belátható. Mint egy lövedék, átüti a persona vékony rétegét s behatol az árnyékrétegbe. Például ha valakinek pénzkomplexusa van, telibe találja, ha azt mondjuk neki: **venni, fizetni**, *vagy* **pénz**, *s reakcióiban zavar keletkezik.”*

KOMPLEXUSOK

C.G. Jung: Analitikus pszichológia (Vizi János fordítása)



24. ábra. ***Részlet egy Jung által elvégzett szó-asszociációs teszt értékeléséből.***
A vízszintes tengelyen az ingerszavak sorszáma, a függőleges tengelyen a reakcióidő. Kiírtuk azokat a szavakat, melyekre a személy különösen hosszú reakcióidővel válaszolt.
A 35 éves normális fiatalember önként jelentkezett a vizsgálatra. A vizsgálat után Jung így szólt: *„Én nem tudtam, hogy önnek ilyen kínos élménye volt.” Rámmeredt és azt mondta: „Nem értem, miről beszél”. Azt mondtam: „Tudja, amikor részegen az a kínos esete volt, amikor valakibe beledöfte a kését.” Azt kérdezte: „Honnan tudja?” Aztán bevallotta az egészet. Tisztes családból származott, egyszerű, de rendes emberek közül. Külföldön volt, amikor részegen verekedésbe keveredett, kést rántott, valakit megszúrt, egy év börtönt kapott. Ezt mindig titkolta, soha nem említette, mert árnyékot vetett volna rá. A városban, ahol lakott, semmit sem tudtak erről, én vagyok az egyetlen, aki véletlenül rábukkantam.”* (Részlet az Analitikus pszichológia c. könyvből.)

Jung a szexualitás vagy a hatalomvágy mellett számos más okot is látott arra, hogy tudattalan lelki „konglomerátumok", komplexusok alakuljanak ki (ilyen például a pénzimádat vagy a 24. ábra példájában elemzett „kínos eset"). Szóhasználatában a **persona vagy szerepszemélyiség** (eredetileg: színjátékokban viselt maszk, *lat.*) nem azonos a freudi „én"-nel, noha fennáll a veszély, hogy egymásba olvadnak. „*A persona – némi túlzással – tulajdonképpen nem mi vagyunk, hanem amiről magunk és mások azt gondolják, hogy mi vagyunk az.*"

PERSONA

AZ ÁLMOK ÚJ ÉRTELMEZÉSE

A szó-asszociációs tesztek mellett Jung is nagyra tartotta az **álmok** értelmezést, mint a tudattalan megközelítésének módszerét. Érdeklődése azonban másra irányult, mint Freudé vagy Adleré.

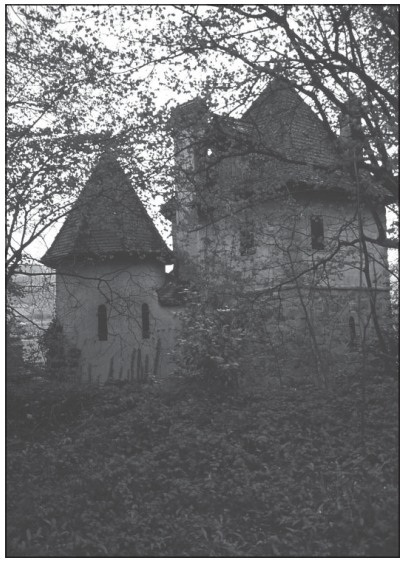
← XVII.2.2.2

„Soha nem tudtam igazat adni Freudnak abban, hogy az álom afféle „homlokzat", amely arra való, hogy a már tudott, ám a tudat előtt úgyszólván rosszindulatúan eltitkolt jelentést elrejtse. Szerintem az álmok olyanok, mint a természet, amelyben nem lakozik csalási szándék, hanem inkább megvall valamit, ahogy éppen tudja – mint a rügyeit bontogató fa (…)."

(Jung: Emlékek, álmok, gondolatok)



25. ábra. ***Carl Gustav Jung (1875–1961) svájci elmegyógyász, pszichológus***
Az észak-svájci Theswill faluban született, református lelkész családban (kilenc közeli rokona volt lelkész). Egyformán vonzották a humán tudományok és a természet, végül is az orvosi pálya mellett döntött. Egyetemi tanulmányai alatt azonban elmélyülten foglalkozott Kant, Schopenhauer és Nietzsche filozófiájával, Goethe Faustjával is. Zürichben lett pszichiáter, ahol megismerkedett Freud eredményeivel, majd magával Freuddal is (1907). Barátságukat a nézeteik közt fellépő mind világosabb különbség árnyékolta be, végül kapcsolatuk megszakadt (1912). Ettől kezdve önálló pszichológiai irányzat vezető alakja lett, s mind többet foglalkozott az álomképekben megjelenő szimbólumok eredetével, a középkori misztikus és a keleti gondolkodók értelmezésével. Az 1920-as években utazásai során közvetlenül is megismerkedett a természeti népek és a keleti kultúrák gondolkodás- és életmódjával (Észak-Afrika, Új-Mexikó, Kenya, Uganda, 1938: India). Nem riadt vissza az olyan jelenségek vizsgálatától sem, mint az alkímia, az UFO-k és a telepátia lélektana.
Művei közül egyre több magyarul is olvasható.



26. ábra. ***Jung saját kezűleg épített háza a Zürichi-tó partján.***
A lakótorony szintjei az emberi lélek rétegeit jelképezik.

Az álmok – Jung szerint – más nyelven szólnak mint tudatunk, jelentésük ezért nem is fordítható le pontosan a racionalitás nyelvére. Összefüggenek ugyan a külső eseményekkel, eredetük azonban belső. Egy másik, mélyebb személyiség, **árnyékszemélyiség** *üzenetei, figyelmeztetései, kiegyenlítő törekvései*. Így például, ha egy ember olyan feladatot vállal el, melyet tudatos énje (a persona) vonzónak talál, valójában azonban meghaladja képességeit, olyan álmot láthat, melyben magas hegycsúcsra kapaszkodik, megszédül, s a mélybe zuhan. Ez árnyékszemélyiségének figyelmeztetése, visszajelzése. Ha az intő jelre nem figyel oda, más tünetek is jelentkezhetnek, például tényleges tériszony, „hegyibetegség", vagy még súlyosabb tünetek. Ezek tragédiához is vezethetnek (pl. szívinfarktus, öngyilkosság), azonban nyomtalanul eltűnnek, mihelyt az illető felhagy a személyiségének nem megfelelő életmóddal. A tudattalan tehát Jung szerint nem annyira „lelki szemétláda", hanem inkább a „lelki mérleg" láthatatlan serpenyője, amely igyekszik egyensúlyt teremteni, s csak ha ez nem sikerül, jelennek meg a betegesnek mondott tünetek.

AZ ÁRNYÉKSZEMÉLYISÉG FIGYELMEZTETÉSEI

→ a fájdalom, mint a homeosztázis „őre" XVIII.5.3.3

→ pszichoszomatikus betegségek XVIII.5.3

EGYENSÚLYTEREMTÉSI KÍSÉRLETEK

2.4.2 A lélektani típusok

Jung tapasztalatai alapján az emberi psziché kétféle módon viszonyulhat a külvilághoz. „Az **introvertált** *(*befelé irányuló) *embert reflexív természete arra készteti, hogy mindent alaposan meggondoljon, mielőtt cselekszik. (…) Félénksége, bizalmatlansága habozóvá teszi minden dologban, tehát állandó nehézségei vannak a világhoz való alkalmazkodásban. Az* **extravertált (***kifelé irányuló) *ember viszont pozitív viszonyban áll a dolgokkal, azok szinte vonzzák őt. Minden új, ismeretlen helyzet csábítja, s ha azt reméli, hogy valami ismeretlent tapasztalhat, szinte fejest ugrik bele. Rendesen előbb cselekszik, és csak aztán gondolja át.(…) Az első esetben (introverzió) nyilvánvalóan az alany, a másodikban (extraverzió) a tárgy a döntő*." (Jung: Bevezetés a tudattalan pszichológiájába) Az intovertált személyiség lelki energiája (libidó) **önmagára irányul**, az extravertálté a **külvilág tárgyaiba vetül ki.** Az introvertált személy igyekszik kibújni a külvilág kötöttségei közül (pl. hidegen hagyja a tanulás, a pénz vagy a szerelem), ugyanakkor könnyen lesz saját önzésének foglya. Az extravertált nem keveri össze a realitást önnön vágyaival, így megszabadul tévedéseitől, ugyanakkor függővé válik a külvilágtól (például az üzletember pszichéje vagyoni helyzetének függvényévé válik). Jung Freud és Adler pszichológiájának különbségét abban látta, hogy eltérő lélektani típusúak lévén másként látták a világot. Freud mint extravertált személyiség, a külvilágtól való függőséget hangsúlyozta, az introvertált Adler pedig az egyén törekvései szempontjából értelmezte ugyanazon eseményeket. Nem állítható tehát, hogy bármelyiküknek is „igaza volna", csak az, hogy az igazság más-más oldalát pillantották meg – lelki alkatuknak megfelelően.

INTRO- ÉS EXTRAVERTÁLT SZEMÉLYISÉGEK

→ a két agyfélteke eltérő szerepe XVIII.3.6

A LELKI ENERGIA IRÁNYA

→ függőség (drogok) XVIII.3.1.6

← „tükör által homályosan" (Paulus) V.2.1

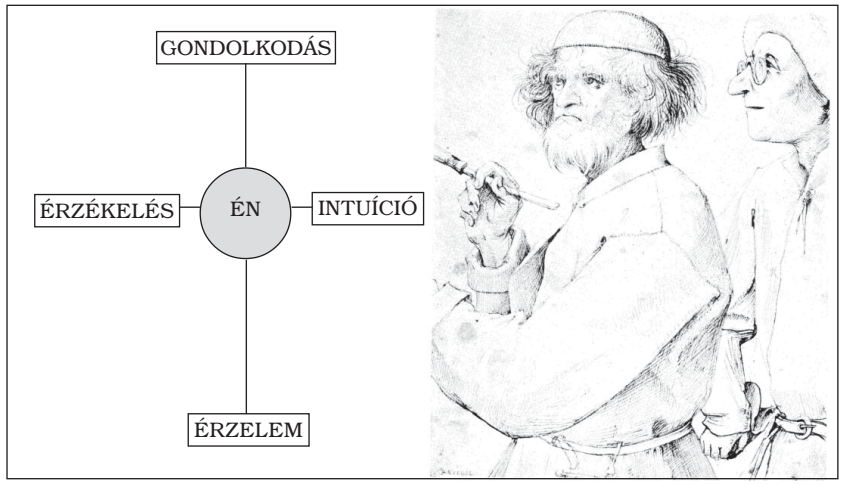
Akár extra-, akár introvertált a személyiség, énjének több funkciója (képessége) van, melyek lehetővé teszik, hogy a külső világgal kapcsolatot teremtsen. Az **érzékelés**: a tények tudatosítása. Azt mutatja meg az énnek, hogy *van* valami, de nem mondja meg, hogy *mi* az a valami. A **gondolkodás** azt mondja meg valamiről, hogy *mi* is az tulajdonképpen, nevet ad neki, besorolja a fogalmak közé. Az **érzés (érzelem)** a dolgok *értékéről* informál, például arról, hogy elfogadható-e, kellemes-e számunkra vagy sem. Általában indulatokkal (emóciókkal) is együtt jár, bár Jung szerint ez nem szükségszerű (az értékelés tehát lehet indulatmentes is, ha tudatunk kontrollja végig megmarad). A negyedik képesség, az **intuíció** (sejtés, előérzet) Jung szerint az események várható jövőbeli lefolyásáról tudósít, tehát a „mi lesz?" kérdésre válaszol. „*Olyan funkció ez, amit normálisan nem használunk, ha szokványos életet élünk négy fal között, és rutinmunkát*

ÉRZÉKELÉS, GONDOLKODÁS

ÉRZELEM, INTUÍCIÓ

← az Egész érzékelése (alaklélektan) XVI.3.3

végzünk. De a tőzsdén, vagy Közép-Afrikában jobban támaszkodunk előérzeteinkre, mint bármi másra. Nem számíthatjuk ki például, hogy a bozót szélén vajon szembetaláljuk-e magunkat egy tigrissel vagy egy rinocérosszal, de támad egy megérzésünk, ami talán az életünket menti meg." (Jung: Az analitikus pszichológia) A négy funkció két párba állítva két tengely végpontjaiként rajzolható fel:



27. ábra. ***id. Brueghel: A festő és a műértő***
Intuíció és érzékelés művészi ábrázolása

A „LELKI MÉRLEG" MŰKÖDÉSE

← Descartes: „Gondolkodom, tehát vagyok" VII.3.1

← Schopenhauer. az értelem az ösztön eszköze XVII.1.4

Az én (ego) meghatározott mennyiségű **lelki energiával, akaraterővel** rendelkezik. Egyéni és kulturális különbségek döntik el, hogy ez az energia milyen irányba áramlik. A gondolkodó típus esetében az áramlás iránya általában a gondolkodás. Ebben az esetben kifinomul a fogalomalkotás képessége, s csökevényes marad az érzelem. *„Ez abból a tényből következik, hogy amikor gondolkozunk, ki kell zárnunk az érzéseinket, ugyanúgy, amikor érzünk, ki kell zárnunk a gondolkozást. Ha gondolkozunk, el kell szakadnunk érzéseinktől, érzelmi értékeinktől, mert azok zavarják össze leginkább gondolatainkat. (…) Egy személy egy időben nem lehet ebből a két ellentétes szempontból egyformán tökéletes." (Analitikus pszichológia)*

Ugyanez az egymást kizáró viszony az érzékelés és az intuíció közt. *„Ha megvizsgálunk egy embert, aki erősen érzékszervi funkcióját működte-*



28. ábra. ***a) Jelenet Ingmar Bergman egyik filmjéből (A bábok életéből)***
Robert Aztorn töpreng.
b) Ingmar Bergman és filmjének operatőre, Sven Nykvist filmforgatás közben. Átélés, töprengés, érzékelés

ti, azt látjuk, hogy szemtengelyei konvergálnak, és egy pontban metszik egymást. Ha az intuitív emberek szemeit tanulmányozzuk, azt látjuk, hogy csak egy pillantást vetnek a dolgokra, nem nézik meg alaposabban. Figyelmük szóródik a tárgyakon, mert egészében vizsgálják azokat, a sok látott dolog közül kiragadnak egy pontot látóterük perifériáján, és ez a megérzés." (u.o.)

→ éleslátás XVIII.3.3.5

EGYENSÚLYTEREMTÉS

A nem használt funkciók azonban nem tűnnek el, hanem a tudattalanba süllyednek és az ott kialakuló árnyékszemélyiség részévé válnak. Az árnyékszemélyiség valóban árnyékként kíséri a külvilág számára megnyilvánuló „*personát*". Egyensúlyteremtő szerepe – szerencsétlen esetben – csak torz módon, lelki zavarok, betegségek formájában jöhet létre. Ilyenkor az árnyékszemélyiség mintegy hatalmába keríti a tudatos ént és irányíthatatlanná válik. Az az érző típusú ember például, aki nem szokta meg az elvont gondolkodást, könnyen válhat primitív kényszeres gondolatok, rögeszmék rabjává, gondolatai megmásíthatatlanok. Az okos tudós gyakran érzelmeinek áldozata lesz. A környezetét pontosan érzékelő hivatalnokban váratlan vonzás ébredhet szokatlan kalandok iránt, az ismeretlen helyzetben aztán elveszettnek érzi magát, hiszen nem támaszkodhat csökevényes intuícióira. A kitűnő intuíciójú kutató pedig hétköznapi helyzetekben válik – néha mulatságos módon – figyelmetlenné (például nem veszi észre, hogy különböző színű cipőket vett fel). Hiányosságát esetleg kínos pedantériával, áthághatatlan napirenddel próbálja kompenzálni.

→ rögeszme XVII.3.3.2
→ érzelmi zavarok XVII.3.1.2

← túlkompenzálás (Adler) XVII.2.3.3

A TÖKÉLETLENSÉG ÉRTÉKE

Jung meglátása szerint senki nem lehet minden funkciójában tökéletes (csak Isten), de ez nem is baj, hiszen a tudattalan hullámai éppen a fejletlen lélekrészeinken keresztül érintkeznek velünk, lelkünk „sötét" feléről csak így szerezhetünk tudomást. Betegségekhez inkább az vezet, hogy ha a *környezet elvárásai* csak egy vagy néhány funkciót méltányolnak, minden mást értéktelennek, vagy éppen betegesnek neveznek. A mai Európában például könnyebben érvényesül az extravertált gondolkodó típus, mint az introvertált intuitív, ami egyoldalú világlátáshoz és – az árnyékszemélyiségben – kielégítetlen másféle igényekhez vezet. Ráadásul – a felvilágosodás kritikai szellemének megfelelően – az európai ember többnyire elzárja azt az utat, amin keresztül az árnyékszemélyiség még mélyebb rétegekkel érintkezhetne, s abból gazdagodhatna. Ez az út Jung szerint a *mítoszok* világa, a legmélyebb réteg pedig, ahová elvezet: a kollektív tudattalan.

← biokémiai egymásrautaltság (vitaminok) XIII.4.1.2

→ ökológiai kapcsolatok, szimbiózis XXVI.

← mitikus gondolkodás I.1–2

2.4.3 A kollektív tudattalan

SZEMÉLYES ÉS KOLLEKTÍV TUDATTALAN

Jung számára a tudattalan két részre bontható. Az egyik – keskenyebb – réteg a **személyes tudattalan**, mely az egyén élete során nyert benyomásokat dolgozza fel. A másik – felmérhetetlen mélységű – réteg a **kollektív tudattalan**, mely a *faj múltjának* emlékképeit, késztetéseit hordozza. Ez független az egyéni tapasztalatoktól, minden emberben közös, soha nem volt tudatos, és teljességgel nem is tehető azzá. Nem fogalmak, hanem képek és megérzések (intuíciók) útján szól hozzánk. Álmainkban sokszor jelennek meg olyan elemek, jelenetek, melyek mondákból, népmesékből, mágikus rajzokból, alkimista leírásokból ismerősek lehetnek. Ezek az **archetípusok (ősképek)** olyan tudattalan „kristályosodási pontok", melyek meghatározzák gondolataink formáját és érzelmi erejét, önmagukban azonban racionálisan kifejezhetetlenek. Ilyen archetípus például a lélek teljességét szimbolizáló kör, kerék vagy indiai mandala, a transzcendenciát, az ősökkel való kapcsolatot megmutató fa, vulkán (az istenek mitikus lakhelye), a sárkány, gyík vagy kígyó formájában megjelenő káosz, mellyel a hősnek meg kell küzdenie.

→ mi örökölhető genetikailag? XXIII.

ARCHETÍPUSOK

← káosz és kozmosz I.1–2; II.2–3; V.2.2

← a lélek, mint „szárnyas fogat” (Platon) III.8.1.3.

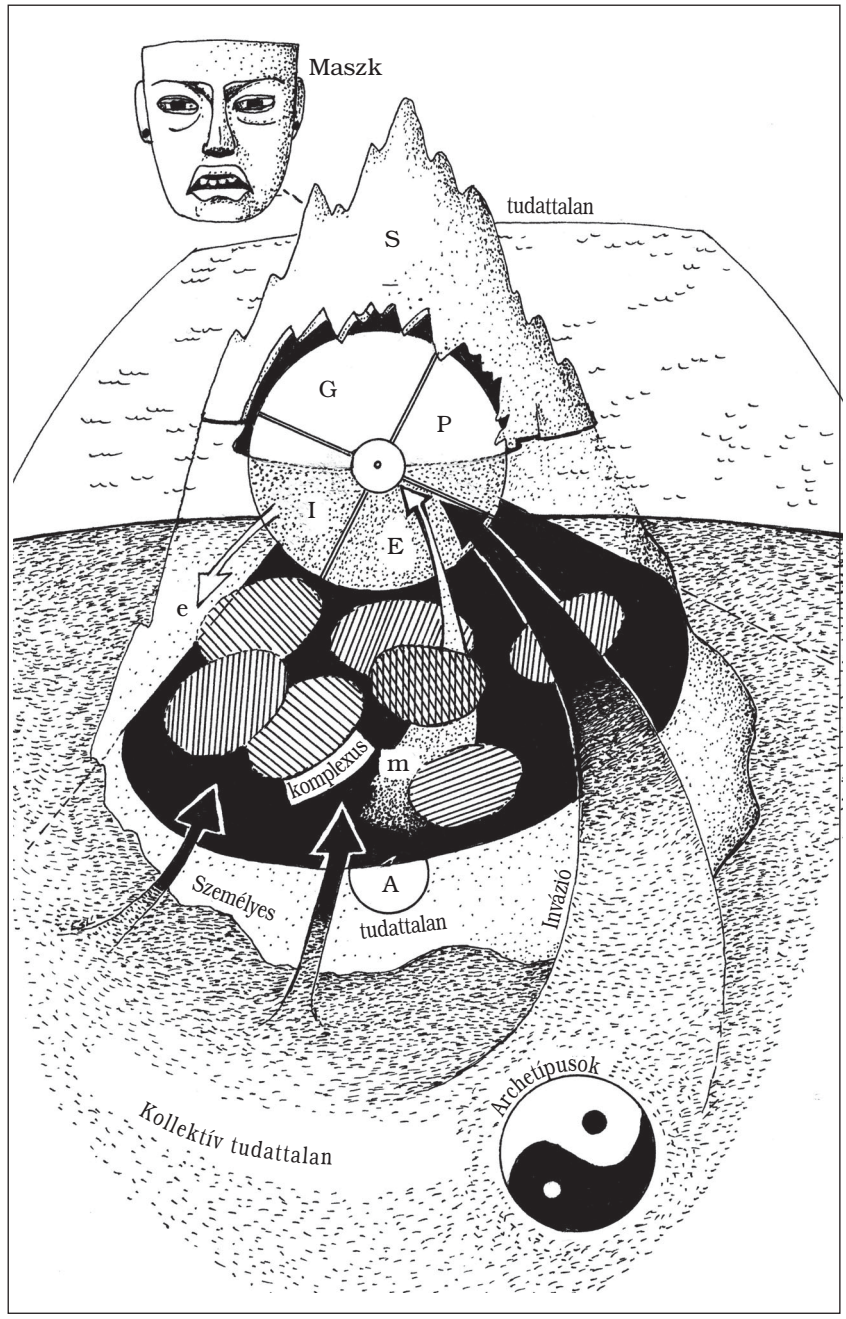
← a lelki működésének hierarchiája (Arisztotelész) III.10.2.1

← idő, lélek és emlékezet (Augustinus) V.3.3

← test és lélek „kölcsönhatása” (Descartes) VII.3.1.3

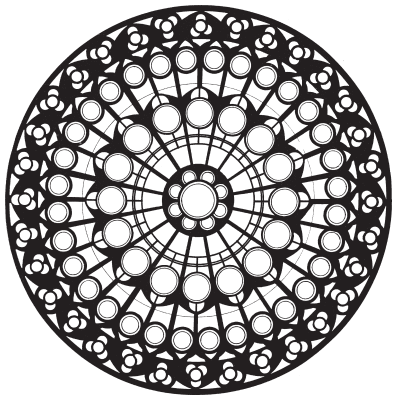
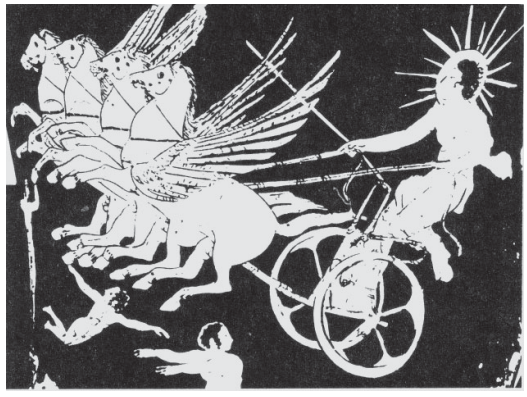
← Wundt „térképe” az emberi lélekről XVI.1.2.4

→ az archetípusok Frankl szerint XVII.2.5.1



29. ábra. ***A személyes és a kollektív tudattalan Jung szerint***

A kollektív tudattalan Jung szerint úgy viszonylik az egyénihez, mint az óceán a benne úszó jéghegy vízbe merült részéhez. A tudatos én a jéghegy vízből kiemelkedő csúcsa. Központját az ábrán kör jelzi, funkciói: gondolkodás(G), érzelem (É), érzékelés vagy percepció (P), intuíció (I). Az énnek a külvilág felé fordított felszíne, „maszkja” a szerepszemélyiség (S) vagy persona. A tudatos énből elfojtás (e) révén emlékek süllyednek a tudattalanba, memória (emlékezés) (m) révén pedig kiemelkednek onnét. A nehezebben felszínre hozható tartalmak komplexusokat alkotnak. Á= az árnyékszemélyiség. Az invázió az archetípusok váratlan megjelenése a tudatos énben, például költői ihlet, megérzés, látomás, „jelentős álom” formájában.


30. ábra. A mandala vagy teljességszimbólum különböző megjelenési formái Jung nyomán
a) A párizsi Notre Dame rózsaablakának mintázata
b) Helios a Napszekéren. Görög festmény alapján.
c) Fotó egy állítólagos ufóról (1975, Svájc).

TOVÁBBÉLŐ ARCHETÍPUSOK
← V.7.3; II.1.3

Ezeket a mitikus szimbólumokat a racionális, természettudományos gondolkodás sem képes eltüntetni, változatos formában dolgozza fel újra és újra. Az alkímia és az asztrológia például – a hellenizmus és a késő középkor gondolatvilágának két pillére – Jung értelmezésében a mitikus ősképek továbbélési formái. Ma pedig – más köntösben – például az ufójelenségekben térnek vissza. Jungot már Freud is többször bírálta amiatt, hogy (természet)tudomány helyett babonaságokkal, okkult jelenségekkel foglalkozik (mint például a telepátia azaz akarat- és gondolatátvitel, reinkarnáció, alkímia, vagy az ufók). Jung azonban mindig a lélektan sajátos szempontjából elemzi e jelenségeket. Akár vannak ufók, akár nincsenek, a *bennük való hit* figyelemreméltó *tény*, mely magyarázatot igényel.

→ tudományos forradalmak (Kuhn) XIX.

→ „földönkívüliek” XXIX.

ELTÉRŐ VILÁGLÁTÁSOK

Jung lélektanának fontos támaszát jelentik a **természeti népek** körében végzett megfigyelései. Szemben Freuddal és követőivel (például Róheimmel) Jung nem az elfojtás Európában megismert mechanizmusait kívánta náluk is megtalálni. Éppen fordítva: arra volt kíváncsi, mi az, ami *bennük sajátos*, a polgári Európa kultúrájától gyökeresen eltérő. Következő lépésként pedig azt kutatta, hogy *bennünk* hol és hogyan nyilvánulnak meg ezek a látszólag idegen hatások. A pueblo indián törzsfőnök például így világította meg számára saját világlátását:

„– Nézd csak – mondta Ohvie Biano –, milyen förtelmesek a fehérek. Vékony az ajkuk, az orruk hegyes, az arcuk torz és ráncok barázdálják, a szemük pillantása merev, örökké keresnek valamit. Mit keresnek? A fehérek örökké akarnak valamit, örökké nyugtalanok és nyughatatlanok. Nem tudjuk, mit akarnak. Nem értjük őket. Úgy véljük, bolondok.

Megkérdeztem, miért gondolja, hogy a fehérek bolondok.

– Azt állítják, hogy a fejükkel gondolkoznak – válaszolta.

– Természetesen. Miért, te hol gondolkozol? – kérdeztem.

– Mi itt gondolkozunk – felelte, és a szívére mutatott.

Hosszan eltűnődtem. Úgy éreztem, most először rajzolta meg nekem valaki a fehér ember valódi képét.”

(Emlékek, álmok, gondolatok)

→ a „mélyökológia” a nyugati civilizáció jövőjéről XXVI–XXIX.

EGYSÉG A SOKFÉLESÉGBEN

Jung tehát alapvető különbséget látott a polgári-európai, a keleti és a természeti népek gondolkodása közt, mégis azonosságot, minden emberre

érvényes összefüggéseket próbált találni. Itt is alkalmazta a lélektani típusok tanát.

← A. Schweitzer hasonlata XVII.1.4.1

„A nyugati ember szemében elviselhetetlenül értelmetlen egy pusztán statikus világ, mindenképpen szüksége van olyan feltételezésre, hogy a világnak célja és értelme van. A keleti embernek nincs szüksége ilyen feltételezésre, mert ő ezt testesíti meg. Amaz ki akarja teljesíteni a világ értelmét, emez pedig arra törekszik, hogy az emberben teljesítse ki az értelmet, és közben lehántja magáról a világot és a létet (Buddha).

← „Mikrokozmosz és Makrokozmosz” IV.6.1; V.7.4

Én mindkettőnek igazat adnék. A nyugati ember, úgy látszik, erősen extravertált, a keleti erősen introvertált. Az első kivetíti az értelmet és a tárgyakban véli föllelni, utóbbi önmagában érzi. De az értelem kívül is, belül is egyaránt ott van.”

(Emlékek, álmok, gondolatok)

JUNG HATÁSA

Jung gondolatai – a természettudományos nyelven nemegyszer túlmutató megfogalmazásuk miatt – inkább a művészetekre és a filozófiára hatottak. Közel áll hozzá a magyar Hamvas Béla filozófiája és Weöres Sándor költészete.

Summa (2.4)

Carl Gustav Jung a szó-asszociációs tesztek révén jutott el a tudattalan fogalmához (az öntudatlanul kellemetlen asszociációkat keltő szavak után megnő a reakcióidő). Feltevése szerint – a Freud és Adler által leírt mechanizmusok mellett – sok más okból is keletkezhetnek öntudatlan komplexusok. Ezek az árnyékszemélyiség részét alkotják, mely az én (ego) által kifejlesztett tulajdonságok ellenkezőit hordozza, és a lelki egyensúly fenntartásának eszköze.

Az én funkciói: az érzékelés (van-e valami?), a gondolkodás (mi az a valami?), az érzelem vagy érzés (mi az értéke?) és az intuíció (mi a múltja és jövője?). Ezek fejlettsége, aránya minden emberben más (lélektani típusok). A teljes személyiség lelki energiája irányulhat a külvilág felé (extravertált típus) vagy önmagába (introvertált típus).

A lelki zavarok nagy részét ezen arányok torzulása okozza, mely a környezet egyoldalú elvárásaiból (a polgári Európában főként: az intuíció, a mitikus gondolkodás elsorvasztásából, az extraverzió kizárólagosságából) ered.

A tudattalan két része: a személyes és a kollektív. Utóbbi az emberiség egészére jellemző, öröklött képeket, tapasztalatokat, késztetéseket hordozza (archetípusok, ősképek). A kollektív tudattalanról álmainkon kívül az összehasonlító néprajz, mitológia, művészettörténet tanulmányozása révén alkothatunk hozzávetőleges fogalmakat. Lényege azonban a racionális gondolkodás számára megragadhatatlan.

Vitakérdések, problémák (2.3-4)

1. Hogyan vélekedhetett Freud, Adler és Jung a velünk született eszmék descartes-i elméletéről? Elfogadhatták-e Locke „tabula rasa”-elméletét?

2. Vessük össze Szondi sors-felfogását a sztoikusokéval és Epikuroszéval! Mi a fő különbség?

3. Miért nem tudhatják a arunta törzs ifjai és nőtagjai a búgófa titkát? Milyen következményekkel járna, ha ezt valaki közölné velük? A válaszhoz fontoljuk meg, milyen hatást gyakorolt a modern ipari társadalom a halászvadász népek életére, gondolkodásmódjára!

4. Melyek voltak eddigi életünk – általunk legfontosabbnak tartott – választásai, döntéshelyzetei? Meg tudjuk-e fogalmazni, minek alapján döntöttünk? Befolyásolt-e olyan vonzalom, érdeklődés, amit érzünk, de nem tudjuk az okát?

5. Az ismert mondás szerint „a házasságok az égben köttetnek", s amíg ez meg nem történik, „keressük az igazit". Vajon mitől „igazi" az igazi? Vajon a hasonlóságok vagy éppen az ellentétek vonzzák egymást két emberben?

6. Olvassuk el Platón: A lakoma című dialógusából a nemek keletkezésére vonatkozó (Arisztophanésztől származó) mítoszt! (189c–191e) Hogyan fogalmazhatnánk meg mai nyelven Platón üzenetét?

7. Lehet-e a szexualitás a másik ember felett megszerzett hatalom eszköze? Hatalmában tarthat-e valaki egy másik embert szeretete révén?

8. Tekinthetjük-e az introvertált személyiséget egyszerűen önzőnek? Mi a különbség a két fogalom között?

9. Milyen lélektani típust jelenítenek meg az alábbi személyek, jelenetek?
   a) Én nem tudom, mért élek, mondogatva:
      „Ez a teendő!" – bár ok, akarat,
      Erő, eszköz, mind kész, hogy megtegyem.
      Shakespeare: Hamlet (IV. felv. Arany János fordítása)
   b) „Sors, nyiss nekem tért, hadd tehessek az emberiségért valamit!" (Petőfi)
   c) „Az élet titkai közel állnak már a föllepezéshez"
      Madách: Az ember tragédiája, Falanszter jelenet

2.5 A személyiség

2.5.1 Az értelemre irányuló kérdés (Frankl)

A mélylélektan legtöbb művelője arra törekedett, hogy az emberi személyiséget részeire bontsa. E részeket előbb külön-külön, majd kölcsönhatásaikat is figyelembe véve elemezték.

Ez a módszer oda vezetett, hogy az emberi lélekben szinte megszemélyesített, önálló és önhatalmú létezőket különítettek el (például ösztön-én, árnyékszemélyiség). Az értelem erejével történő elemző gyógyítás célja az volt, hogy a részekre szedett embert ösztöneiből újra fölépítse. Freud ezt a gyógyítást a hollandok tengerrel vívott harcához hasonlította: ahol eddig víz volt, ott termőföld legyen; vagyis ahol eddig az ösztön-én volt, ott a tudatos én uralkodjék. A XX. század második felében a lélektan művelői részben új problémákkal találták szembe magukat: a lelki, sőt gyakran a testi zavarok jelentős része is a **céltalanság, az értelmetlenség** érzéséből táplálkozott. *„Az embernek, szemben az állattal, nem mondják meg ösztönei, mit kell tegyen, s a mai embernek szemben a tegnapival már nem mondják meg a hagyományok, mit köteles tenni. Nos, nem tudva, mi az, amit tennie kell, úgy tűnik, azt sem tudja igazán, mit akar. S így már azt akarja, amit mások is – Konformizmus! Vagy csak olyat tesz, amit mások akarnak, tőle akarnak – totalitarizmus!* Mi szervezi egységes egésszé az emberi személyiséget? Valójában ki hozza döntéseinket? Milyen cél megvalósításának irányába mutatnak törekvéseink? Ezekre a kérdésre kereste a választ Viktor Frankl, a „harmadik bécsi iskolának" elnevezett **logoterápia** létrehozója is. (Az első bécsi iskola Freudé, a második Adleré volt). Az értelmező elemzés a lélekgyógyítás eszköze maradt továbbra is, ám a gyógyítás célja a logoterápiában nem abban áll, hogy az egyéni élet indítékait, ható okait boncolgassa, hanem hogy segítse az egyént, abban, hogy rátaláljon életének értelmére és céljára. A tudattalan birodalma nem megszüntetésre, „lecsapolásra" vár, hanem termékeny erejével az értelemre (görög logosz = értelem) irányuló emberi lét kiteljesítését segíti.

← XVII.2.2.4; 2.4.3

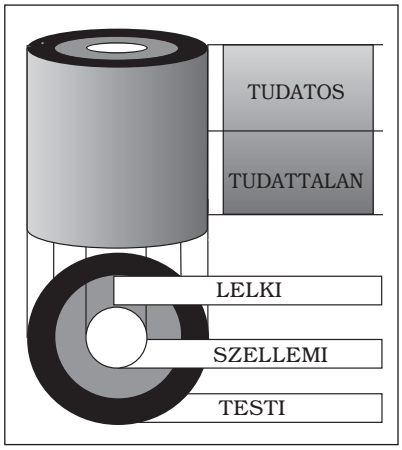
← az analízis célja Descartes szerint VII.3.1.1

ÉRTELEMVESZTÉS

→ kulturális evolúció XXIX.

LOGOTERÁPIA

← a négy ok III.9.1

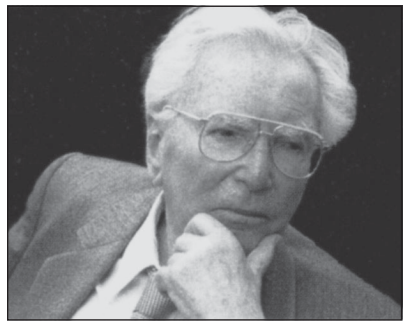


32. ábra. ***A személyiség rétegei Frankl szerint***
A henger az emberi teljességet jelképezi, a pszichológia és a biológia (idegélettan) ennek csak egyes vetületeit tudja vizsgálni. Bővebb magyarázat a szövegben.

„… ha egy kutyának megmutatok valamit, ujjal rámutatok valamire, a kutya nem abba az irányba pislant, melyet az ujjam mutat, hanem magára az ujjamra. Ha mérges, az ujjam felé kap. Az iránymutatás jelzőfunkciója számára ismeretlen, ez az ő világában érthetetlen.

No és az ember? Az ő világából nézve ugyanúgy képtelen azokat a jelzéseket értelmezni, amelyek az ő világán túlról érkeznek, képtelen megérteni azt az értelmet, amelyre a szenvedés utalni hivatott, képtelen felfogni az ujj iránymutatását, amely neki szól: ő is az ujj felé kap – perlekedik a sorssal."

Frankl: A pszichoterápia antropológiai alapjai (1975) – Molnár Mária ford.



31. ábra. ***Viktor Emil Frankl (1905–1997) osztrák ideggyógyász és pszichológus***
A második világháború idején három évig élt koncentrációs táborokban, ahol közvetlen tapasztalatokat szerzett nemcsak az emberi szenvedésről, hanem az értelem keresésének megtartó erejéről is.

Frankl 1946 és 70 között a Bécsi Egyetemen, majd a Kaliforniai Egyetemen tanított. Itt alapította logoterápiai tanszékét is. Több könyve magyarul is olvasható.

TEST, LÉLEK, SZELLEM

Frankl az emberi személyiséget föltáró, elemző módszerében, a tárgyilagosságra törekvésben és az álomanalízis alkalmazásában is a freudi hagyományokat követte, ám a személyiség rétegeit és azok működéseit új, a *cél által meghatározott* összefüggésekbe helyezte. Az emberi személyiség három rétege – **a testi, a lelki és a szellemi – egységet alkot,** és az egység szervező ereje a szellemi réteg. A döntő különbség Frankl szerint nem a tudatos és a tudattalan határán van, hanem a szellemi és a lelki folyamatok között. A testi-lelki folyamatok elemezhetők, de maga az elemző és értékelő lélekrész nem elemezhető és értékelhető.

→ az emberi mozgások és érzelmek kapcsolata XVIII.3.4

Frankl a tudattalanban az ösztön-én mellett egy szellemi réteget is föltételezett. Ez a szellemi én a tudattalan mélyén, és a tudatos énben is a döntéshozó. „Álomőrként" ébreszti fel például az alvó anyát, ha gyermeke nyugtalanul alszik, ám ugyanakkor a sokkal hangosabb utcai zajokat egyszerűen tudomásul sem veszi. Hipnózis közben sem mond csődöt, ez a szellemi létező fölébreszti a kísérleti személyt, ha annak szükségét látja. (A szellemi én csak narkózissal hallgattatható el egy bizonyos fokon túl.) A mélylélektan korábban csak a tudattalan ösztön-én pszichológiája volt, és nem a tudattalan pszichológiája. Frankl a tudattalannak nemcsak tartalmát, de eredetét és szerepét is másban látta. Frankl szerint az archetípusok nem bennünk szunnyadó, előre megformált ősképek (mint Jungnál), amelyek velünk születnek, hanem kultúránk hagyományai, amelyekbe mi születünk bele. Freud szerint az Es-be életünk során kerülnek elfojtásaink, melyek ösztönkésztetéseink révén meghatározzák döntéseinket. Frankl szerint a tudattalan személyiségünk magja szabad döntéseink egyik forrása. Hatását világosan érezzük és tudatosíthatjuk is. Ilyenek például a lelkiismereti döntések, a szerelem, a művészi alkotás és a vallási meggyőződés. Tudományos elemzés Frankl felfogása szerint csak a már létező világra vonatkozhat. A lelkiismereti döntés viszont a *még nem létezőről* szól, arról dönt, hogy *mi legyen* majd. (Utólag ez is elemezhető, de a döntés pillanatában még nem.) Ehhez hasonlóan a szerelem egy másik személyben rejlő értékeket, lehetőségeket mutatja meg, tehát nem elemzés eredménye, inkább a jövőre irányuló bizalom. A szerelmi választás akkor igazi, ha nem az ösztönén diktál, hajt a másik felé, hanem a szellemi *én* hoz döntést egy *te* mellett. A művészetek forrása is a tudat által maradéktalanul soha fel nem deríthető homályban marad. Az erőltetett önmegfigyelés az alkotás akadályozója

← XVII.2.4.3
← I.1–2

← a döntés felelőssége V.2.4
← „emlékezik, figyel és várakozik a lélek" (Augustinus) V.3.3

lehet. Egy hegedűs, aki mindig nagyon tudatos technikával akart játszani, a pszichoterápiás kezelés nyomán akkor gyógyult meg, mikor visszanyerte a tudattalan iránti bizalmát.

BIZALOM A TUDATTALAN IRÁNT

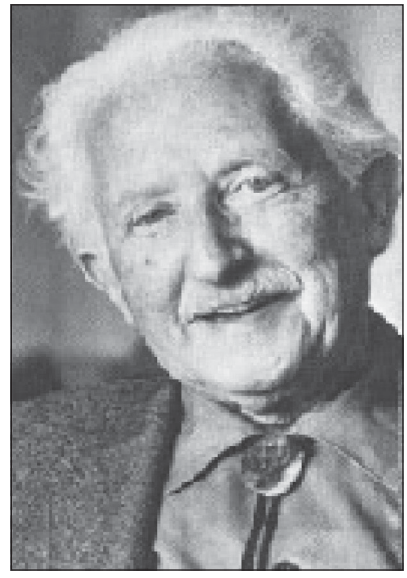
Frankl szerint a vallás is személyes elkötelezettséget jelent, ez a dolgok végső értelmét elfogadó döntés. Az emberi döntések a szabadságon és a felelősségen alapulnak. Ha elfogadjuk, hogy valóban vannak szabad döntéseink – ahogy tapasztalataink és érzéseink jelzik – akkor ezeket nem determinálhatják sem genetikai, sem családi, sem más társadalmi erők. A szabadság abban áll, hogy minden élethelyzetben van választási lehetőségünk. A szabadság azonban nem pusztán negatív – *valamitől* való szabadság –, pozitív tartalma azt fejezi ki, hogy valamely személy vagy eszme *mellett* szabadon dönthetünk. Ebben az esetben viszont vállalnunk kell döntéseink következményeit is, a szabadság és a felelősség tehát föltételezi egymást.

SZABADSÁG ÉS FELELŐSSÉG

NEGATÍV ÉS POZITÍV SZABADSÁG

2.5.2 A személyiség kibontakozása

Erik Erikson pszichoanalitikus képzést kapott, ám az emberi személyiségről alkotott elképzelése sok szempontból különbözik Freudétól. Freud úgy vélte, hogy a személyiség kialakulásában meghatározó az első néhány életév. Erikson amellett érvelt, hogy a személyiség a születéstől a halálig alakul, fejlődik, és egyik szakasz sem kitüntetett fontosságú a többihez képest (életciklus-szemlélet). Ennek a fejlődésnek Erikson szerint az **identitáskeresés** a fő hajtóereje. Az ember életkoronként más-más módon, de mindvégig arra a kérdésre keresi a választ: „ki vagyok én?”. Ezt azonban csak társas környezetünk jelzéseiből, sok küzdelem árán érthetjük meg. Az énazonosság (identitás) átéléséhez kríziseken át vezet az út. **Krízisen** Erikson az élet kritikus szakaszát érti, amelyekben az ember előtt nyitva áll a lehetőség, hogy magasabb szintre lépjen vagy visszafejlődjön. Minden krízis két ellentétes lehetőséget kínál. Ezek közül az egészséges személyiség a „jó” (előrelendítő) megoldást választja, de bizonyos mértékig át kell élnie annak ellentétét is. A bizalom például minden emberi kapcsolat alapja, de aki nem ismerte meg a bizalmatlanságot *is*, az kiszolgáltatottá, védtelenné válik. Az egyes szakaszokon való sikeres túljutás ezért nem „végleges megoldást” kínál, inkább gazdagodást, kiteljesedést. Az elért eredmények személyiségünk részévé válnak, így bizakodóbban nézhetünk a következő krízis elébe.



33. ábra. ***Erik Erikson (1902–1994) dán származású amerikai pszichológus***

IDENTITÁSKERESÉS EGY ÉLETEN ÁT

KI VAGYOK ÉN?

A **csecsemőkor** legfontosabb élménye az „*ősbizalom*”: annak bizonyossága, hogy alapvető szükségleteit kielégítik, mindig számíthat szüleire. Aki ezt megkapja, azt szülei rövid időre magára is hagyhatják (krízis), hiszen megtanulta, bízhat abban, hogy vissza is fognak térni. Ezen az „ősbizalmon” alapul minden későbbi társas kapcsolatunk és reményünk, azaz tartós hitünk abban, hogy vágyaink előbb-utóbb teljesülhetnek. Ha a folyamat ezen a ponton sérül, teljes magábazárkózottság (autizmus) lesz a következménye. A csecsemőkor önazonosságát Erikson így fogalmazza meg: *„Az vagyok, amiben reménykedem, bízom, és amilyen reményt nyújtok.”*

A **kisgyermekkor** fő törekvése az *autonómia*: az önálló cselekvés, a saját test fölötti kontroll (szobatisztaság, járás). A kisgyerek fölfedező útra indul közvetlen környezetében, formálódik akarata, világosan elkülöníti magát a külvilágtól. A krízist az jelenti, hogy sok próbálkozását meggátolják, tehát autonómiáját korlátozzák. Ha a kisgyerek tapasztalja a korlátozások következetességét és elfogadja, hogy ez szeretetből, saját érdekében történik, személyisége gazdagodik, ha csak a korlátokat látja, bizonytalanná, kiszámíthatatlanná válik. E korszak jelmondata: *„Az vagyok, amit szabadon akarhatok.”*

← a „stressz az élet sója” (Selye) XVIII.3.2.8–9

A **gyermekkor (óvodáskor)** a *fantázia* kibontakozásának korszaka. A játék során bármilyen szerepet kipróbálhatunk, képzeletünkben bármivé és bárkivé átváltozhatunk. *„Az vagyok, aminek el tudom képzelni magam."* A játékszabályok azonban kötöttséggel is járnak, ezeket akkor is be kell tartani, ha nem éppen én vagyok a nyertes (krízis). Hasonlóképpen el kell fogadnom a „felnőttvilág" érthetetlen játékszabályait is, noha azok sokszor fárasztóak (gyerekkori lázadás időszaka). A játékszabályok sikertelen alkalmazása bűntudathoz, a játék mellőzése unalomérzéshez, bezárkózáshoz vezethet. A krízis sikeres földolgozása viszont azt eredményezi, hogy mások szempontjait is figyelembe tudjuk venni, más helyzetébe is bele tudjuk élni magunkat.

→ játék XVII.3.4.2

← Freud a lázadásról XVII.2.2.3–4

← együttérzés XVII.1.3–4–6

A **(kis)iskoláskor** a *képességek és a realitásérzék* kifejlesztésének ideje. Ennek egyik fő terepe az iskola. Eredménye annak megtapasztalása, hogy sokféle feladatot meg tudok oldani, méghozzá úgy, hogy azzal környezetem (szüleim, tanáraim, osztálytársaim) is elégedett. Ez sokféle szerep egyidejű tanulását és sokféle képesség használatát igényli. *„Az vagyok, amit működtetni tudok."* Krízishelyzetet teremt, hogy nem minden képességem kiváló, mások ebben-abban jobbak nálam. A tartós, feloldatlan stressz kisebbrendűségi érzéshez, a küzdelem föladásához, a sikeres válasz helyes önértékeléshez vezet.

→ megküzdési stratégiák XVIII.5.3.1

A **serdülőkor** a nemi érés időszakával veszi kezdetét. Ez nemcsak testi, hanem lelki megrázkódtatásokkal is jár. Fő feladata, hogy a sokféle „részidentitást" (szerepet) összetartsa és *egyedivé, személyessé* ötvözze. *„Ki vagyok?"* – a kérdésre olyan választ kell találnia, melyhez segítséget kaphat, de „receptet", előírást nem. Gyakran szélsőséges érzelmi hullámzás jellemzi ezt a kort. Fő veszélye a célvesztés, ami értelmetlen sodródáshoz, tartós feszültségekhez és a feszültségoldás elfogadhatatlan módjaihoz vezethet (romboló agresszivitás, kémiai feszültségoldók használata). A sikeres megoldás eredménye a *hűség*: ragaszkodás önmagunk és mások megtalált identitásához – akkor is, ha világosan látjuk, hogy sem mi, sem mások nem vagyunk tökéletesek. Ez vezet a feladatokkal való (újbóli, de immár belső) azonosuláshoz, a célként kitűzött társadalmi szerepek elfogadásához.

→ hormonális változások XXIV.

→ XVII.3.1.2

→ XVIII.3.1.6

← XVII.2.4.2

A **felnőttkor** első szakaszának feladata az *intimitás* (meghittség) megteremtése. Ez társkeresést, és társunkkal együtt a *közös identitás* kialakítását jelenti. Az intimitás magába foglalja a szexualitást is, ám annál többet jelent: a másik személyének elfogadását, ugyanakkor közös célok és értékek követését is. Ilyen kapcsolat csak két kiforrott identitású személy között jöhet létre (ha magunk sem tudjuk, kik vagyunk, másokkal sem tudunk osztozni). A kudarc magányhoz vezet. Az intimitás a család létének alapja, de intim kapcsolat más közösségben is létrejöhet. *„Azok vagyunk, akit (amit) szeretünk."*

→ XXIV.

Az érett **felnőttkor** feladata az *alkotás*, azaz – tág értelemben – olyasvalaminek a létrehozása, ami túlél bennünket. Egyik lehetősége a gyermek utáni vágy és a gyermeknevelés, de ide tartozik fizikai tárgyak létrehozása (pl. művészi alkotás) is, sőt Erikson szerint minden olyan tevékenység, amely tágabb környezetünk jövőjét pozitív irányban befolyásolja. Krízist az értékvesztés jelent (ha magunk sem vagyunk biztosak abban, jó úton járunk-e) és a kudarc elleni merev védekezés (szerepmerevség, szűk látókörűség), ami testi-lelki betegségeket is okozhat. *„Azok vagyunk, amit megvalósítottunk magunkból"* – szól a felnőttkor jelmondata.

→ alkotás XVII.3.4.4

Az **időskor** a számadás és a letisztulás ideje. Erénye a *bölcsesség*, azaz a lényeglátás. Feladata a fiatalabb generáció segítése abban, hogy ne vesszenek el fölhalmozott tudásuk részleteiben, megtalálják azt, ami maradandó. Krízist a kétségbeesés, reményvesztés jelent: az az érzés, hogy életünk értelmetlen, hatástalan volt. Ennek ellenpólusa a kiteljesedés (én-integritás): személyiségünk maradandó magjának fölismerése-megélése. *„Azok vagyunk, ami megmarad belőlünk."*

→ öregedés XXIII.; XXIV.

Erik Erikson személyiségfejlődési modellje

Korszak	**A krízis lényege**	**Eredménye**	**A megoldatlan krízis következménye**
Újszülöttkor	Bizalom – a bizalom hiánya	Bizalmon alapuló kölcsönös kapcsolat, az erre való képesség. A személyiség magja, a hit alapja.	Autisztikus magány, önmagába zárkózás
Kisgyermekkor	Önállóság (autonómia) – bizonytalanság	Kiszakadás az ősi egységből, önmagam és a külvilág elkülönítése.	Bizonytalanság
Gyermekkor	Kezdeményezőkészség – bűntudat	Szerepjátékok. Szabálytanulás, fantázia és realitásérzék kialakulása.	Unalom, kisebbrendűség
Serdülőkor	Készségek – kisebbrendűség	Szerepek (nemi, társadalmi), készségek tanulása, a külvilág eredményes formálása. A saját képességek lehetőségeinek, korlátainak fölmérése.	Céltalanság érzése, elfordulás a feladatoktól, sodródás („borderline” személyiségzavar). Mesterséges szorongásoldók (drog) használata.
Felnőttkor	Önazonosság – identitászavar	Szerepek vállalása és célszerű váltása (családban, munkahelyen). Hosszú távú célok érdekében áldozatvállalás. Megbízhatóság és másokba vetett bizalom. Önátadás és önbecsülés egysége.	Szerepmerevség (bezárkózás). Önvád. Tekintélyzavar és értékvesztés. Szexuális zavar, érzelmi elszürkülés.
Időskor	Felelősség a fiatalabbakért – stagnálás	A személyiség kiteljesedése (integritás). Lényeglátás, egyszerűsödés.	Reményvesztés.

Summa (2.5)

Frankl az emberi életnek nem a ható- okait, mint inkább a cél-okait kutatta.

Az emberi személyiség szervező ereje a szellemi réteg, mely szabad döntéseinkért felelős. A lelki zavarok jelentős része az értelmetlenség érzéséből táplálkozik, a logoterápia feladata, hogy segítse a beteget céljainak, feladatának megtalálásában és követésében.

Erikson a személyiség kibontakozásának fő erejét az önazonosság (identitás) keresésében és kiteljesítésében látta. Az életkorok határait új krízisek jelzik, az egyes korok feladatai és eredményei egymásra épülnek.

Irodalom:

- Jung, Carl Gustav: Emlékek, álmok, gondolatok, EURÓPA 1987
- Jung, Carl Gustav: A lélektani típusok, EURÓPA/MÉRLEG 1988
- Jung, Carl Gustav: Válasz Jób könyvére, AKADÉMIAI 1992
- Jung, Carl Gustav: Az ember és szimbólumai, GÖNCÖL 1993
- Jung, Carl Gustav: Titokzatos jelek az égbolton, KOSSUTH 1993
- Jung, Carl Gustav: Aión, AKADÉMIAI 1993
- Jung, Carl Gustav: Az analitikus pszichológia, GÖNCÖL 1987
- Jung, Carl Gustav: Bevezetés a tudattalan pszichológiájába, EURÓPA 1990
- Jung, Carl Gustav: Föld és lélek / Az archaikus ember, KOSSUTH 1993

- Gyökössy Endre: Magunkról magunknak, REFORMÁTUS ZSINATI IRODA 1989
- Gyökössy Endre: Életápolás, KÁLVIN 1993
- Vekerdy Tamás: A színészi hatás eszközei – Zeami mester művei szerint, GONDOLAT 1988

- Adler, Alfred: Emberismeret, GÖNCÖL, 1990
- Adler, Alfred: Életünk értelme, KOSSUTH 1996
- Róheim Géza: A bűvös tükör – válogatott tanulmányok, MAGVETŐ 1984
- Róheim Géza: Magyar néphit és népszokások, UNIVERSUM REPR. 1925/ én.
- Solymossy Sándor : A „vasorrú bába" és mitikus rokonai, AKADÉMIAI 1991
- Szondi Lipót: Ember és sors, KOSSUTH 1996
- Szondi Lipót: Káin, a törvényszegő/ Mózes, a törvényalkotó, GONDOLAT 1987
- Frankl, Viktor: Az ember az értelemre irányuló kérdéssel szemben, KÖTET 1996
- Frankl, Viktor: Orvosi lélekgondozás, UR 1997
- Frankl, Viktor: Az ember az értelemre irányuló kérdéssel szemben, KÖTET 1996
- Frankl, Viktor: A tudattalan Isten, EUROADVICE 2002
- Erikson, Erik: Az ifjú Luther, GONDOLAT 1991

- Lukas, Elisabeth: Spirituális lélektan – Az értelmes élet forrásai, ÚJ EMBER 2002
- Harmat Pál: Freud, Ferenczi és a magyarországi pszichoanalízis, BETHLEN GÁBOR 1994
- Noszlopi László: Sorselemzés és kísérleti ösztöndiagnosztika, AKADÉMIAI 1989
- Fromm, Erich: A szeretet művészete, HELIKON 1985
- Fromm, Erich: Birtokolni vagy létezni? AKADÉMIAI 1994
- Fromm, Erich: Pszichoanalízis és vallás, AKADÉMIAI 1995
- Fromm, Erich – Suzuki, Teitaro: Zen-buddhizmus és pszichoanalízis, HELIKON 1989
- Dr. Székács István: Pszichoanalízis és természettudomány, PÁRBESZÉD 1991

3. A mindennapi élet pszichológiája

3.1 Érzelmek

3.1.1 Érzelem és hangulat

Érzelmekként érzeteink és gondolataink *öntudatlan értékelését* éljük meg, elsősorban úgy, hogy azt előnyösnek, „jónak", vagy hátrányosnak, „rossznak" találjuk. Öntudatlan és tudatos értékelés (az érzelem és az etikai megítélés) egybeeshet, de korántsem mindig. Gyakran fordul elő, hogy tudatos énünk hasznosnak, előnyösnek vagy megnyerőnek talál egy ajánlatot, tárgyat vagy személyt, eközben mégis „rossz érzésünk támad": ilyenkor érzelmünk tiltakozik ellene. Minden egyes tárgyhoz, személyhez vagy szituációhoz más-más érzelem fűz minket, így érzelmi életünk hullámzása szükségképp kíséri a körülöttünk és bennünk zajló eseményeket. Az egyes érzelmek azonban nem teljesen függetlenek egymástól: van valamiféle eredőjük, összhangjuk is, amit **hangulat**nak nevezünk. A hangulat következménye, de oka is az egyes érzelmeknek. A jókedvű ember mindent „rózsaszín szemüvegen át lát", azaz a szokásosnál pozitívabbnak értékel, aki ellenben kedvetlen, „bal lábbal kelt fel", az sokkal könnyebben veszi észre a jelenségek árnyoldalait, hibáit. A hangulat is változik, hullámzása azonban lassabban, kisebb kilengésekkel követi az „érzelmek viharait". Mind az érzelmeket, mind a hangulatot alapvetően befolyásolja az egyén testi állapota is (betegségek, nemi ciklus).

→ idegélettani háttere XVIII.3.4.3

← a „belső vár" XVII.1.1

← a „szív érvei" (Pascal) XVII.1.2

ÉRZELEM ÉS HANGULAT

Egyéntől függ, hogy az érzelmek illetve hangulatok milyen tartományban és milyen gyorsasággal változnak. Ennek megfelelően beszélhetünk **kiegyensúlyozott**, **érzékeny** illetve **indulatos** emberről. Az viszont az adott közösség és kultúra jellemzője, hogy az érzelmek **kifejezésének** milyen fokát tartja kívánatosnak vagy megengedhetőnek. Hétköznapi körülmények között egy észak-európai vagy amerikai indián férfi számára követelmény, hogy elfojtsa érzelmeit: nem normális, sőt szinte botrányos, ha az utcán sírva fakad, ráordít valakire vagy éppen szerelmet vall neki. Ugyanezek a jelenetek mediterrán országokban jóval kisebb megütközést váltanak ki. Többnyire visszatetszést kelt az ellenkező véglet is: ha az elfojtás túl jól sikerül. Az ilyen „fapofa" a környezete számára igazi rejtély, mert nem derül ki, hogy „valójában" (tehát érzelmileg) hogyan viszonyul mindahhoz, amit mond vagy tesz.

AZ ÉRZELMEK KIFEJEZÉSE

→ a kommunikáció és metakommunikáció XVII.3.3.1

3.1.2 Az érzelmek zavarai

Gyakori érzelmi rendellenesség a **kitörés, az indulat**. A szokásos érzelmektől robbanásszerű, kontrollálhatatlan jellege különbözteti meg. Gyakran szinte „minden ok nélkül" veszti el önuralmát egy látszólag nyugodt ember. Annak, aki hosszú időn át követte nyomon, hogy miképpen halmozódtak föl benne az apró feszültségek, nem meglepő a kitörés, másokban azonban „megmagyarázhatatlansága" miatt döbbenetet kelthet.

INDULATKITÖRÉS

← különbsége az akarattól (Wundt) XVI.1.2.4

A félelem önmagában nem kóros állapot, ha látjuk az okát. Aki ilyen okot nem tud megnevezni, tehát „indokolatlanul retteg", az **szorong**. A szorongás könnyen vezethet valamilyen fóbiához vagy kényszeresség hez, hiszen a beteg – ha valódi indokot nem talál – elképzel valamit, ami ellen aztán lehet „védekezni". A szorongás és a félelem egyaránt észrevehető abból, hogy áldozata a vészreakció (stressz) jeleit mutatja: vérnyomása és pulzusa magas, pupillája kitágul, légzése szapora stb. E tünetek rögzülése nemcsak lelki gyötrelmeket, hanem testi betegségeket is okozhat (pl. gyomorfekély).

SZORONGÁS, FÓBIA

→ stressz XVIII.3.2.8

← XIII.5.4

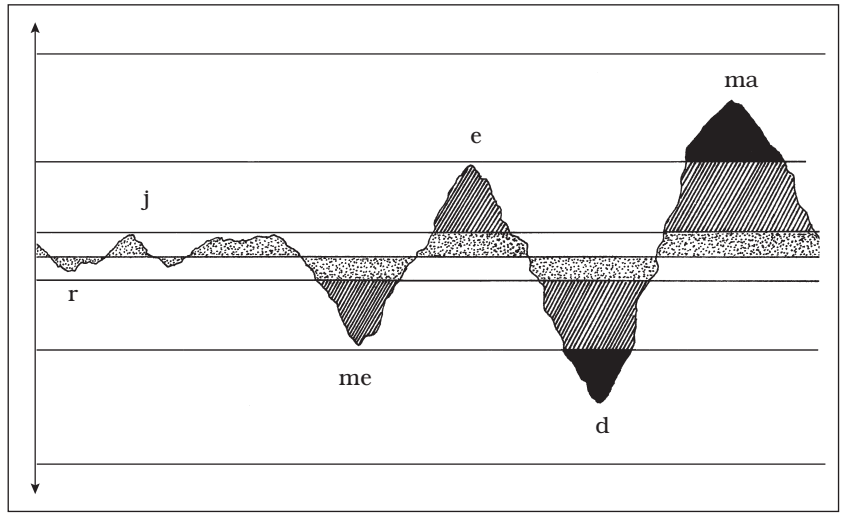


34. ábra. ***Melankolikus és euforikus állapot művészi ábrázolása. Balra Albrecht Dürer: Melancholia, jobbra Rude: a párizsi Diadalív (részlet)***

MELANKÓLIA

A hangulat zavarai közül gyakori a melankólia és az eufória. Aki **melankolikus** („lehangolt") állapotba kerül, az tartósan mindent negatívan értékel, munkáját és öltözetét elhanyagolja, reakciói lassúak, étvágytalan. Másodlagosan feleslegesség-érzés és önvád is jelentkezhet (alkalmasint jogosan, például munkái elhanyagolása miatt). A melankolikus ember mások lelkesedését is ellenszenvvel fogadja, humora – ha van – keserű, gúnyos. Keserűsége azonban soha nem az érdektelenségből fakad, ezért megjegyzései találóak, mély értelműek lehetnek. A melankólia súlyos, már egyértelműen beteges fokon mint **depresszió** jelentkezik. A depresszió azzal a veszéllyel fenyeget, hogy a beteg teljesen elveszíti a kapcsolatot környezetével. Orvosi kezelésre szorul.

DEPRESSZIÓ
← XVIII.3.1.6



35. ábra. ***Normális és abnormális érzelmi hullámzások***
r = rosszkedv; j = jókedv;
me = melankólia; e = eufória;
d = depresszió; ma = mánia
A sötéttel jelölt területek rendellenes, orvosi kezelést igénylő állapotok.

EUFÓRIA

A melankólia ellentéte, az **eufória** („felhangoltság”). Aki ilyen állapotba kerül, azt minden érdekli, mindenbe beleszól, sokat tréfál, nem kíméli a tekintélyt, mindent könnyűnek és megoldhatónak vél. Úgy érzi, képességei megsokszorozódtak. Ez néha így is van, gyakoribb azonban, hogy a munka, amibe kezd, felületes lesz, sőt félbemarad, hiszen az érdeklődés gyors változása, a kitartás hiánya ilyen esetben lehetetlenné teszi az elmélyülést. Az eufóriát többnyire elfogadja a környezet, sőt örülnek is a „jókedvnek”.

MÁNIA

Felfokozott változata, a **mánia** azonban már riadalmat kelt. A mániás betegre jellemzők a gondolatszökellések. Ezek olyan gyorsaságú és váratlanságú asszociációk, amelyeket környezete nem képes követni, a beteg pedig nem tudja mederbe terelni. Hullámzó hangulati életű emberekben a le- és felhangoltság ciklikusan váltakozhat. E hullámzás *kóros erősségű* megjelenését **mániás depressziósnak** nevezik.

→ zavart gondolkodás XVII.3.3.2

← VII.4.1

APÁTIA

Mind a melankóliára, mind az eufóriára jellemző, hogy intenzív kapcsolatot jelent a környezettel (noha ellenkező előjellel). Nem így a **közönyös (apatikus)** ember, aki racionális viselkedését tekintve akár példamutató lehet (pontos hivatalnok, jó tanuló), érzelmileg azonban „sivár”. Ez megnehezíti, hogy megértse, átélje mások szempontjait, sőt a sajátjáét is. Nehezen talál társas, személyes kapcsolatot, ami tovább fokozza közönyét. Időleges apátia természetes módon követ súlyos betegségeket, tartós közönyhöz monoton, egyoldalú érzelmi hatások vezethetnek (például ha a gyereket – szinte bármit tesz – állandóan korholják). A közönyös ember – saját bevallása szerint – nem érzi kellemetlennek saját helyzetét, sőt nem is érti, hogy egyáltalán „mi bajuk van vele”. Titkon azonban nagyon is szenvedhet állapota miatt, és csak arra vár, hogy valaki – érdeklődésével, szeretetével – áttörje az apátia falait.

← szerep és árnyékszemélyiség (Jung) XVII.2.4.1

Vitakérdések, problémák (3.1)

1. A sztoikus filozófusok az érzelemmentesség (apatheia) állapotára törekedtek, de hasonló a célja egy buddhista szerzetesnek is. Vajon azonos-e ez az állapot a fejezetben leírt apátiával?

2. Milyen érzelmi állapotokat tükröznek az alábbi versek ill. versrészletek? (A válaszadás előtt olvassuk el az egész művet!) Keressünk más példákat is!
   a) „A bánat egy nagy óceán…”
      Petőfi
   b) „Ott essek el én a harc mezején…”
      Petőfi: Egy gondolat bánt engemet
   c) „Röpül a nehéz kő…”
      Arany: Toldi

3. „Minden csak hiábavalóság!” – olvashatjuk a Bibliában, a Prédikátor Salamon könyvében. A könyv figyelmes elolvasása után vitassuk meg: vajon melankolikus, esetleg apatikus hangulat (öntudatlan értékelés) vagy racionális érvelés vezette-e a szerzőt? Vajon egyetlen ihletett napon írta könyvét, vagy hosszú ideig érlelte, alakította?

4. Idézzünk fel olyan eseteket – drámákból, versekből – melyekben a tényleges érzelem és a kifelé mutatott különbözött! Mi volt az oka illetve célja e különbségnek? Tudatában volt-e a szereplő annak, hogy nem a valódi érzelmeit mutatja? Szenvedett-e ettől a kettősségtől vagy örömét lelte benne? Például:
   a) Szöghaját is megsimítja
      nehogy azt higyjék: *megbomlott*.
      (Arany János: Ágnes asszony)
   b) *Elmira*
      Ön nem vágyódhatik, tudom, földi dologra.
      Tartuffe
      Ne higgye, nincs az én szívem kőből faragva.
      (Moliere: Tartuffe)

c) Tűrte Miklós, tűrt, ameddig tűrhette
Azzal álla bosszút, hogy csak föl sem vette.
(Arany János: Toldi, I. ének)

5. „Őrült beszéd, de van benne rendszer" (Shakespeare: Hamlet). Keressünk a drámából olyan gondolatszökelléseket, amelyek meglepték, megijesztették Hamlet környezetét! Látjuk-e mi (olvasók) a gondolatokat összefűző kötelékeket?

6. A művészek gyakran a kórosat, betegeset jelenítették meg alkotásaikban. Vajon írás közben maguk a szerzők is beteges állapotban voltak? Mit mondhatunk arról a művészről, aki a betegeset, torzat úgy állítja be, mint ami természetes?

7. Elemezzük a Schopenhauer által leírt Hold-illúziót (lásd a XVI.3.1.fejezetben). Az érzékszerv, a tudatos értelem vagy az öntudatlan érzékelés hibája okozza ezt a tévedést? Miért fogadja el az ember, hogy ez a jelenség illúzió (tehát érzékelései *zavar*) s nem a valóság pontos képe?

8. Tág értelemben az álom vagy az éber fantáziálás is hallucináció. Mi az, amiben eltér a hallucináció rendellenes formáitól?

3.2 Gondolkodás és intelligencia

3.2.1 A gondolatmenet

BELÁTÁS

← tanulás belátással XVI.3.2

← intuíció XVII.2.4.2

← bizonyítás a logikában III.11.3–4

Gondolkodásnak a **belátás folyamatát** nevezzük. Ilyenkor – valamely feladat előtt állva – úgy kapcsolódnak össze képzeteink és fogalmaink, hogy lehetővé tegyék a feladat megoldását, a célszerű cselekvést. Még a legelvontabb gondolatmenet (például egy matematikai levezetés) is számtalan **irracionális (intuitív) mozzanatot** tartalmaz – olyan folyamatokat tehát, amelyeket maga a gondolkodó sem tud magyarázni, egyszerűen felhasználja őket. Így például a matematikus *előbb megsejti*, hogy mi lesz a megoldás, *aztán bizonyítja*, hogy úgy van-e vagy sem, a biológus ránéz egy ismeretlen növényre, és *úgy véli*, hogy az egy bizonyos családba tartozik, *aztán* előveszi a határozókönyvet, és ellenőrzi, hogy vélekedése helyes volt-e. Ezen intuitív mozzanatok (fölismerések, sejtések) ellenére az *egész gondolatmenetet* lehet racionális, ha a végeredmény ésszerű világunkba illeszthető, „logikus". Erre az **utólagos racionalizálásra** szolgál mindenfajta érvelés, igazolás, bizonyítás. Ha ezek eredményét maga a személy és a vele érintkező közösség is elfogadja, a gondolatot épnek, a személyt normálisnak („értelmes"-nek) tartjuk.

LOGIKAI EGYSÉG

Az értelmes gondolatmenet fő jellemzője a **logikai egység, összetartás (kohézió).** Ez megnyilvánul az egymást követő mondatok között (lineáris kohézió) és a gondolatmenet egészén belül is (utalások, keretes szerkezet – globális kohézió).

3.2.2 Zavart gondolkodás

RÖGESZME

← kialakulása Locke szerint VII.4.1

A gondolkodás zavarai közül gyakori a **tévelyötlet, rögeszme**. Ez többnyire egy *hibásan megállapított oksági összefüggés*, melytől aztán kitalálója már ellenkező tapasztalatok ellenére sem tud megszabadulni. Így például egy egyetemista lány az utcán sétálva arra gondolt, hogy talán képes belelátni mások szándékaiba. Ki is próbálta: néhányan, akikről feltételezte, hogy be akarnak lépni egy üzletbe, csakugyan ezt tették. Ez olyan hatást gyakorolt rá, hogy az ellentétes eredményekről szinte nem is vett tudomást, önnön képességébe vetett hitét már nem tudták megrendíteni.

ÜLDÖZÉSI MÁNIA

Az **üldözési mániában** szenvedő attól tart, hogy üldözik, követik őt, ezért gyakran hátrafordul, s noha meggyőződik róla, hogy ez nincs így, félelme nem csökken. Máskor esetleges tapasztalatainak túlzott és célzatos jelentőséget tulajdonít. Például ha bárhol összenevetnek a környezetében, azonnal azt hiszi, hogy rajta gúnyolódtak. Arany János balladájában, a Vörös Rébékben a menekülő Pörge Dani minden varjúban az őt üldöző ellenséget látja, noha (feltehetőleg) jól tudja, hogy inkább a pandúroktól kellene tartania:

← kivetítés (projekció) XVII.2.2.3

…
Varju mind kiséri: „kár!…
Fennakadsz te, szép betyár!”
„Hess, madár!”

FÓBIÁK

A **fóbia (iszony)**: „indokolatlan” irtózás. Gyakori a tériszony: valaki nem mer lemenni egy lépcsőn, ha mellette mélység tátong és nincs korlát. Ellentéte a bezártságtól való irtózás (klausztrofóbia). Ezekkel a gyakori fóbiákkal jól együtt lehet élni, a személy maga is, környezete is elfogadja őket, legföljebb bizonyos foglalkozások és kalandok maradnak ki az életéből. Ezenkívül se szeri se száma a különböző fóbiáknak: van aki a pókoktól, más a madártolltól, a csikorgó hangtól, esetleg az üveg érintésétől irtózik.

KÉNYSZERCSELEKVÉS

Hasonlítanak ehhez a **kényszeres** jelenségek. Az ilyen viselkedés egyfajta mágia, amellyel a beteg igyekszik megvédeni önmagát vagy másokat olyan szörnyűségektől, amelyek saját fantáziájából erednek. A kényszeres jelenségek főként abból vehetők észre, hogy valaki rendszeresen, szinte automatikusan „értelmetlenül” cselekszik (kényszercselekvés). Ha például az a kényszerképzet gyötri, hogy egyszer valami kárt fog tenni (egyébként szeretett) családjában valami hegyes tárggyal, akkor ez ellen úgy „védekezik”, hogy minden kést, ollót mindig elrejt, ruhákba csomagol, s ezt állandóan ellenőrzi. A kényszeres gondolkodás sémája egy feltételes ítélet („ha nem csinálom ezt és ezt, akkor ez és ez fog történni”), melynek valótlanságát gyakran az illető is látja („ez csak afféle babona”), mégsem tud tőle megszabadulni.

← ambivalens érzelmek (Freud) XVII.2.2.1

← logikailag III.11.3.5

← mai babonák I.3.2

3.2.3 Az intelligencia

ÉRZELMI ÉS GONDOLKODÁSI INTELLIGENCIA

Az új helyzetekhez való sikeres alkalmazkodás, célravezető viselkedés és gondolkodás képességét általános értelemben intelligenciának nevezik. Ma több fajtájáról beszélnek, az **érzelmi intelligencia** mellett legfontosabb a gondolkodási műveletek sikeressége, a **gondolkodási intelligencia** („értelmesség”). Fontossága miatt sok módszert dolgoztak ki mérhetővé tételére. Leggyakrabban az *intelligencia-hányadost* (intelligencia-quotiens, IQ) használják. (A kifejezés azonban megtévesztő, mert ma már nem hányadosként adják meg). Az ezt mérő intelligenciatesztek mindig egy **adott közösség átlagértékéhez viszonyítanak**, ezt tekintik 100-nak, maga a teszt pedig arról nyújt tájékoztatást, hogy a vizsgált személy reakciói mennyire térnek el ettől a „normától”. Más közösségekben, más életkörülmények között azonban más viselkedések a sikeresek, más a norma, ezért egy IQ teszt csak azokban a közösségekben jelent megbízható összehasonlítási alapot, melyek kultúrája, életmódja közel azonos.

IQ

→ statisztikai megközelítés XIX–XX.

A tapasztalatok szerint az intelligencia-hányados értéke semmilyen összefüggésben nem áll az illető erkölcsiségével. Alacsony intelligenciahányadosú emberek lehetnek jó barátok, szeretetreméltó társak, magas IQ-júak pedig „zseniális” gazemberek. Ha erkölcsi értékkülönbség nincs is köztük, a világban való gyakorlati tájékozódó képességük erősen eltér a különböző IQ-jú embereknek. Ezért – nagy különbség esetén – indokolt, hogy iskolákban, is más módszerrel foglalkozzanak velük.

IQ	elnevezés	jellemzői
130 fölött	igen okos	az átlagot jóval meghaladó problémamegoldó képesség
130-84	átlagos	(az emberek több mint kétharmada tartozik ide)
84-68	–	az átlagosnál gyengébb
67-52	debilis	az általános iskolai tananyag egy részét sikerrel elsajátíthatja konkrét helyzetekben jó ítélőképesség
51-20	imbecillis	gyógypedagógiai vezetésre szorul; önálló életvezetésre képtelen. Védett környezetben egyszerű munkát végezhet
20 alatt	idiotizmus	a gondolkodás csak konkrét ingerekhez és szükségletekhez kötődik; folyamatos ápolásra szorul

3.3 Kommunikáció

3.3.1 Emberi és állati kommunikáció



36. ábra. ***Ember és orangután arckifejezései***
Ezek a jelek egyetemesek: mindenki meg tudja fejteni a mosoly jelentését.

A **kommunikáció** (communicatio *lat.* = közlés) a személyek közötti információcsere rendszere és tartalma. Bármilyen is a kommunikáció, szükség van hozzá egy jeleket adó „feladóra" és egy azokat felfogni képes „címzettre". (Tágabb értelemben a „belső monológ", a töprengés is felfogható úgy, mintha két személy beszélgetne).

Az etológia és a pszichológia megmutatta, hogy a jelek egy része genetikailag rögzített, öröklött mozgáskombináció. (Például a mosoly mimikája vagy a nemtetszés kifejezése összehúzott szemmel.) Más részük tanult, de alkalmazásuk gyakran nem tudatos (gesztusok, kéz- és lábtartás).

A tudatos információátadás eszközei közül (rajz, dallam, mozdulat, nyelv) az **írás és a beszéd** azért játszik különösen fontos szerepet, mert segítségükkel nagymértékben pontosítható, elvonttá tehető az üzenet. A nem tudatos közlés jelentősége azonban megmaradt, így az emberi kommunikáció szükségszerűen *kétszintű folyamat*. Az akaratlagos, szándékos kommunikációt mindig akaratlan, ezt minősítő **metakommunikáció** kíséri. A metakommunikáció sajátosságai hasonlítanak sok társas állatfaj jelzéseihez, ezért az üzenetküldő ember és az állat összevetése segítséget ad az emberi kommunikáció e két szintjének megismeréséhez is.

Az üzenetküldő állat mindig éppen *aktuális állapotáról* ad jelzést. (Pl. kutya vicsorítása: „dühös vagyok".) Az ember arról *is* képes beszélni, ami közvetlenül (már) nem érinti. Ilyenkor objektív módon ír le egy állapotot – akár saját, korábbi állapotát is. (Pl.: „Tegnap dühös voltam – de mára megnyugodtam." vagy: „Két éve ilyenkor a lőcsei főispán nagyon dühös volt.") Az állat csak bizonyos számú lehetséges közlendőt képes átadni jelzéseivel. Az emberi nyelv segítségével ellenben kevés és véges számú alapelemből (fonémából) tetszőleges bonyolultságú kombinációkat tudunk összerakni (szavak, mondatok, gondolatmenetek). Az állati kommunikáció többnyire *analóg*: az inger intenzitásának növekedése erősödő jelzést vált ki (például a kutya fenyegető vicsorítása, morgása, ugatása, hörgése). Az emberi nyelv *absztrakt* módon jelzi ezeket a fokozatokat (például a *langyos, meleg, forró, tüzes* stb. jelzőkkel, vagy egy számsorral.) Elvontsága, pontosíthatósága, tartalmi gazdagsága miatt a nyelv képes valamennyire „elszakadni" attól, aki a szavakat mondja vagy írja. Képesek vagyunk mást *gondolni*, mint amit *érzünk*. Beszédünk többnyire gondolatainkat fejezi ki, a kommunikáció más csatornái inkább érzéseinket, intuíciónkat. A beszélőt akkor érezzük **őszintének**, ha szavai és a magatartás-üzenetei összhangban vannak, erősítik egymást (kongruensek). „Ami a szívemen, a számon!"- tartja a mondás a szókimondó emberről.

Élőlény	Magatartással kifejezhető üzenetek száma
guppi (hal)	15
szájköltő sügér	21
veréb	15
sirály	28
görény	25
rhesus majom	37
ember	150-200

← biológiai funkciók a társas viselkedésben XVI.4.5.1

→ ökológiai szerepük XXVI.

→ öröklődésük (magatartásgenetika) XXIII.

→ vélhető evolúciójuk XXVII.

3.3.2 Metakommunikáció

A beszélt nyelv viszonylagos függetlensége azonban azt is lehetővé teszi, hogy a beszéd üzenete elszakadjon a beszélő belső állapotától, mintegy elrejtse azt. A „leplezés" gyakran az **udvariasság** jele (pl: „Viszontlátásra!" – köszönés annak a személynek, akit „*valójában*" – érzelmeink szerint – egyáltalán nem kívánunk viszontlátni). Aki **szándékosan csal**, saját haszna vagy félelme miatt állít olyasmit, amiről tudja (és érzi is), hogy hazugság. Az is lehetséges azonban, hogy a személy tudatos énje nincs tisztában ezzel az ellentmondással. Tudatos kommunikáció és metakommunikáció tehát *egymásnak ellentmondó* üzeneteket is küldhet. Például egy repülőút megkezdése előtt valaki bizonygathatja azt, hogy teljesen nyugodt, hiszen a közlekedésnek ez a legkevésbé veszélyes módja. Ha eközben zsebkendőjét gyűrögeti és arcán időnként rángások futnak végig, akkor – metakommunikatív úton – mégiscsak jelzi félelmét.

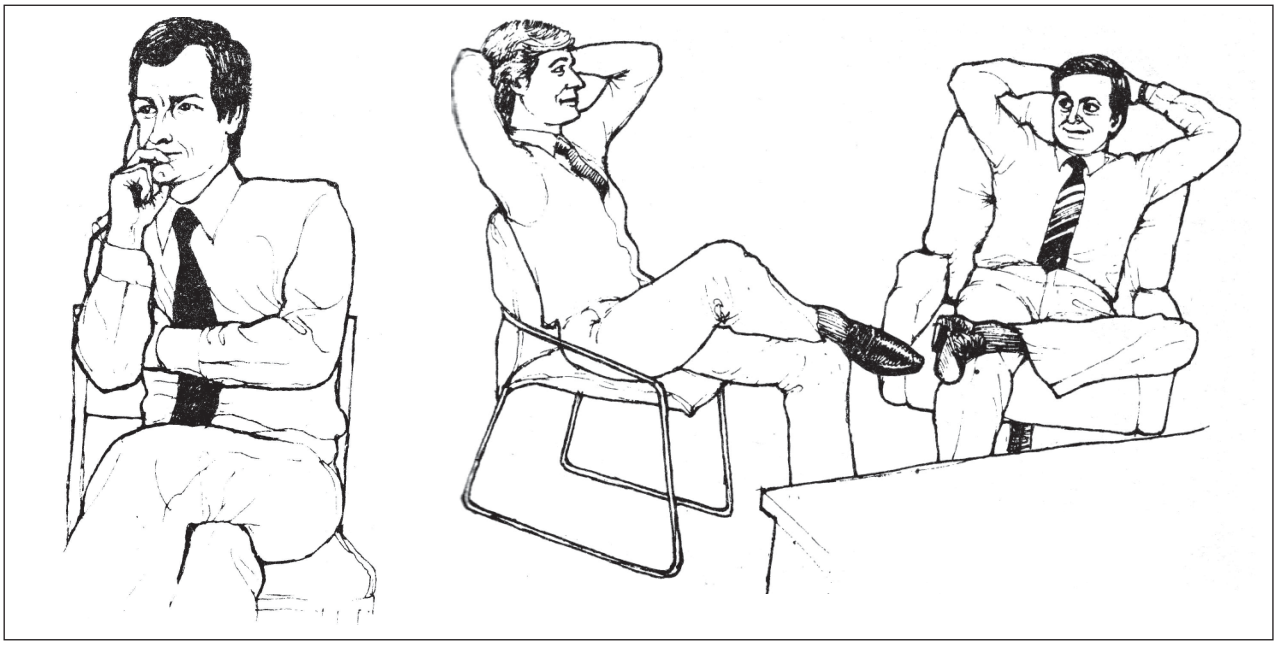
UDVARIASSÁG ÉS CSALÁS

← ritualizált viselkedések XVI.4.5.3

A metakommunikáció részei:

– a test mozgásai („testbeszéd", pantomimika)
– a szavak hangsúlyozása
– a „metanyelv", azaz olyan szavak, mondatok választása, melyek közvet-

„TESTBESZÉD"



37. ábra. ***Néhány testbeszéd-jelzés (Pease nyomán)***

a) Ez a férfi elutasító, kritikus érzésekkel hallgatja a beszélőt

b) „Nekem is van annyi sütnivalóm, mint neked" – egyik fél sem fogadja el a másik szellemi vezetését. Az ilyen kapcsolatból származhat ugyan együttműködés, de a két fél közben vetélkedni fog egymással.

len jelentése mögött rejtetten bújik meg a valódi mondanivaló. (Például frázisok, közhelyek, utalások alkalmazása, mint „kitérő válasz”.)

Vizsgálatok szerint a szemtől szembeni beszélgetések 60-80%-át a „testbeszéd” alkotja, a fennmaradó 20-40% szóbeli (verbális), de ennek hatása is alapvetően függ a metakommunikáció minősítő jelzéseitől. A „testbeszéd” olyan mozdulatok, gesztusok csoportja, melyek az érzelmekről árulkodnak. Így például a keresztben összefont kar védekező, elutasító állapotot jelez, a nyitott tenyér őszinteséget, a haj simogatása, ajak megnedvesítése érdeklődést, vonzalmat.

← a behavioristák a beszédről XVI.2.4–5

TANULT METAKOMMUNIKÁCIÓ

E jelek azonban csak összességükben alkotnak egységes üzenetet. Valaki például azért is keresztbe fonhatja a karját, mert fázik. Az üzenet „címzettje” ilyenkor a többi jelzésből (például mimikából, lábtartásból) érti meg, hogy a másik ember nem ellenséges vagy elutasító vele szemben (persze az is segít, hogy a „címzett” maga is érzi a hideget).

Bizonyos szakmákban, ahol nagyon fontos a másik fél meggyőzése, tanítják, tudatossá teszik a metakommunikációt (pl. politikusok, ügynökök). Ehhez járul, hogy a mesterséges kommunikációs csatornák – főként a TV – szándékosan emelhetnek ki olyan jeleket, melyek meggyőzővé vagy éppen ellenszenvessé tehetik a szereplőt (például nem mindegy, hogy a jobb vagy a baloldalról mutatják az arcát). A „tudatos metakommunikáció” ezért könnyen válhat a **manipuláció** eszközévé. A valóságban azonban igen nehéz néhánynál több gesztust tudatosan irányítani, ezért – ha a szándék nem őszinte – a jelzések egymásnak ellentmondóvá válnak. A figyelmes szemlélőnek ilyenkor kellemetlen érzése támad, és – maga sem tudja, miért – kétkedni kezd a másik szavaiban.

→ a két félteke eltérő működése XVIII.3.6

MANIPULÁCIÓ

← meggyőzés, legyőzés és érvelés a görögöknél III.1; 7.1–2

3.3.3 Meggyőzés, reklám, propaganda

REKLÁM

A **reklám** olyan jel, ami egy termék vagy szolgáltatás iránti igényt igyekszik felkelteni. Céhtáblák, címerek ugyan készültek már a középkorban is, de a reklámozás csak a XX. században vált általánossá. Ennek fő oka, hogy folyamatosan sok, egymástól alig különböző termék jelenik meg, melyek iránt eredetileg többnyire alig van kereslet. A feladat: ismertté és kívánatossá tenni az árut. A reklám mindig tartalmaz néhány, a termékre vonatkozó *információt* is (pl. hozzáférhetőség), ez azonban önmagában még nem tenné hatásossá. Meglepőnek, szuggesztívnek, motivációnak kell lennie. A meglepetés keltésére általában bármilyen *váratlan inger* alkalmas. Így például a csengők, szignálok, plakátokon a feltűnő színes foltok vagy éppen a nagy üres felületek mind megragadják a figyelmet. A szuggesztivitás kiváltható például személyes megszólítással, olyan megfogalmazással, melyben a fogyasztó magára ismer. Különösen szuggesztívek a *képi szimbólumok*. Gyakran szerepelnek öröklött mozgáskombinációkat kiváltó *szupernormális ingerek* (hatalmas fagylaltgombócok vagy női keblek). A szuggesztivitást erősíti a reklám *gyakori ismétlése* is: ez a bevéséshez hasonló öntudatlan tanulási folyamatot indít meg (azokban is, akinek egyébként a termék és az egész eljárás ellenszenves). Mindezek az eszközök azt a célt szolgálják, hogy a terméket öntudatlan asszociáció révén valamilyen *valóban életfontosságú* szükséglethez társítsák. Ilyenek: az evés, ivás, szaporodás, tájékozódás, anyai gondoskodás, a közösséghez tartozás vagy az önmegvalósítás igénye. A terméket és szimbólumot úgy választják meg, hogy a szemlélő számára oszthatatlan egységet képezzen. Azt kell sugallnia, hogy kizárólag *ez* a termék jöhet számításba valamely alapszükséglet kielégítésénél (például egy sörösüveg hideg oldalán lecsurgó cseppek). A célzott viselkedés az a *tudattalan következtetés*, hogy: ha szomjúság, akkor ….. (a saját termék).

→ a váratlan inger élettani hatása XVIII.3.5.2

← XVI.4.4.1

← XVI.2.3

← VII.4.1

← XVII.2.5.1–2

PROPAGANDA

A **propaganda** (a latin propagare = terjeszteni szóból) a tömeges befolyásolás eszköze, egy nézet terjesztése abból a célból, hogy a befogadók tegyék magukévá, „önként”, mintha mindig is ezt vallották volna. Hatása sok szempontból emlékeztet a rekláméra. A reklám azonban mindig valamely *árut* kíván értékesíteni, a propaganda által kínált termék viszont többnyire egy *eszme vagy nézet*, ami közvetlenül nem váltható át pénzre. (Például: „Szavazz a Sörivó Pártra!”, vagy „Az egészség a legfontosabb – ne dohányozz!”) Míg a reklám gyakran nem igényel semmilyen tudatosságot, addig a propaganda – már csak elvontsága miatt is – mindig megfontolást igényel. Noha e megfontolás gyakran felszínes, mindenképpen igényli a megcélzott személyek aktív részvételét, válaszát.

← indulat és akarat XVI.1.2.4

MEGGYŐZÉS

A **meggyőzés** minden propaganda legfontosabb lépése. Kit és miről lehet meggyőzni? A kognitív (megértést kutató) pszichológia egyik megállapítása az, hogy gondolkodni, megérteni fárasztó, „kognitív energiát” igényel. Ezzel a speciális energiával éppúgy takarékoskodik az ember, mint fizikai energiakészleteivel. Legegyszerűbb tehát arról meggyőzni valakit, ami könnyen beilleszthető gondolati sémái közé, amivel „már amúgy is egyetért”. Feltehetően könnyebb például olyan embert megnyerni a „zöld” mozgalmak hívének, aki közvetlen környezetében érzékeli a szennyezés hatásait (levegő, hulladéklerakás), sőt már tett is valamit ez ellen (például részt vett egy faültetési akcióban). Ha azután a mozgalom aktív tagjává vagy szimpatizánsává válik, úgy ez egy sor további reakcióját is meghatározza: ezután elfogad vagy helyesel olyan lépéseket is, amelyek ellen korábban tiltakozott volna (például egy parkon át vezető út lezárását az autóforgalom elől). Ha több, egymásnak ellentmondó tudattartalom egyszerre van jelen valakinek a tudatában, akkor **értelmi (kognitív) disszonanciát** él át. Így, ha az előző példában szereplő ember autós, és a parkon át vezető út sokkal rövidebb, mint a kerülő, akkor a lezárás hatására döntési kényszerbe kerül. Elfogadva a „zöldek” érveit, kereshet más megoldást (például a tömegközlekedést) vagy követelheti a városi kerékpárút-hálózat fejlesztését. Fogékonnyá válik egy sor érvre: támogatni fogja az autóforgalom korlátozását, a fedett kerékpártárolók létesítését, az autópályák építése helyett a vasút-

← kongitív tudományok XVI.3.3 és XIX.
← „lelki energia” (Freud) XVII.2.2.3

KONGITÍV DISSZONANCIA

← az alaklélektan megállapításai XVI.3.1–3



38. ábra. a) Reklám. Megfigyelhető a reklámkészítés néhány alapelve: figyelemfelkeltés (szupernormális inger), szuggesztivitás, alapvető szükségletekhez való rejtett kapcsolás. A felhasznált szükséglet itt a nyugalom, a biztonságérzet (párna, a bal kéz és a láb tartása) és a rangsorban elfoglalt előkelő hely, hatalom (öltözék, a jobb kéz tartása, a telefont tartó apró alakok).
b) Uitz Béla. *Vörös katonák előre! (1919)* Propaganda célú plakát.

← skolasztikus érvelés V.5.1–3

hálózat fejlesztését stb. Ha ellenben továbbra is az autózás mellett dönt, akkor olyan érveket fog elfogadni, amelyek az autóforgalom korlátozását az egyéni szabadságjogok korlátozásának tartják, a városi kerékpározást veszélyesnek és időpocsékolónak, a vasúthálózatot korszerűtlennek és drágának (tehát visszafejlesztendőnek) stb.

← a szofisták módszerei III.7.1

A propaganda általában nem a tényeket hamisítja meg (bár ez is előfordul), hanem kognitív disszonanciát hoz létre (figyelemfelkeltő kérdés), majd a lehetséges döntések közül az egyiket úgy tünteti fel, mint az egyedül ésszerűt. Így például a vasúthálózat jövőjéről rendezett vitán ugyanazt a tényt – drága és korszerűtlen – az egyik fél a fejlesztés, a másik a visszafejlesztés mellett használhatja fel érvként.

3.4 Életpályák

3.4.1 Pályaválasztás

MESTERSÉG, HIVATÁS

Az ősi társadalmakban a család helyzete, szükségletei szabták meg, hogy kire milyen feladat hárult. A tagolt társadalom és az árutermelés hozta létre a mai értelemben vett szakmákat, **mesterség**eket. Az azonban, hogy kiből mi lesz, továbbra is főleg a családi hagyományoktól függött: a vagyonnal és tudással együtt a mesterség is apáról fiúra szállt. Később a család

← V.6.2

szerepét a céh érdekvédelmi-szakmai testülete vette át (a mesterség szó is innen ered). A reformáció korában emelték ki először a hivatás szerepét. A **hivatás** szó bibliai eredetű, arra utal, hogy az isteni elhívást meghallva a próféták vagy apostolok elhagyták megszokott tevékenységüket, sokszor családi környezetüket is, hogy teljesítsék Isten üzenetének hirdetését. (Jónás, Péter). A hívó szó közvetlenül a lélekben is megszólalhatott (Paulus).

← szekularizáció V.6.3

Az újkor gondolkodásmódja az egyházi *hivatás* szó értelmét Luther nyomán szekularizálta: *minden emberre* és sokféle „hétköznapi foglalkozásra" is kiterjesztette (pl. művész, bíró, tanár, orvos). Ez jelzi, hogy a hagyo-

← „Ki vagyok én?" (Erikson) XVII.2.5.2

mányok megőrzése helyett immár a „belső hívást", azaz az egyéni képességek kibontakoztatását tekintették célnak. E szemléletmód szerint kinekkinek egyéni, csak rá jellemző tehetsége van. A tehetség kamatoztatása tehát nemcsak gyakorlati szempontból hasznos, hanem lelki szükségletként, sőt belső parancsként is felfogható. (Példabeszéd a tálentumokról: Máté 25,14-30; 1Kor 12,4-11)

PÁLYAVÁLASZTÁS

A **pályaválasztás** során ezeket a belső késztetéseket és képességeket kell összhangba hozni a külső lehetőségekkel. A lehetőségek köre főként a társadalom berendezkedésétől függ, így ezzel az (egyéni) pszichológia nem foglalkozik. Feladata az egyén azon képességeinek és késztetéseinek (motivációinak) feltárása, melyek adott körülmények között kamatoztathatóak.

← XVII.2.4.2

A lélektani típusok (Jung) alapján kiválaszthatók olyan elvárások, melyek a személyes irányultsággal jól összeegyeztethetők. Így az extravertált személyiség lehet döntéshozó-parancsoló (pl. edző, buszvezető) vagy segítő (pl. ápoló); az intovertált tárgyra irányuló, alakító (pl. műszaki tervező) vagy önmagára irányuló (pl. távfutó). Más pályát érdemes választani az uralkodó módon intuitív, mint az érzékelő, mást az érző, mint a gondolkodó személyiségnek stb.

→ színtévesztés XVIII.3.3.6 és XXIII.

Az önismeret megóvhat néhány tévedéstől is. Az *alkalmassági vizsgák* részben ilyen szűrőként működnek: színtévesztő nem lehet vasutas, dadogó tanár, vértől iszonyodó ember sebész. Az öntudatlan késztetések nehezebben ismerhetők fel. Sokan választanak pályát szülői vagy tanári késztetésre, ami nem feltétlenül illeszkedik jól saját képességükhöz. Az eredmény: kínlódva, kedvetlenül végzett munka, vagy váratlan irányváltás. Gya-

← XVII.2.2.3

kori a kisebbrendűségi komplexus kompenzációjaként választott pálya is,

amit az illető esetleg kedvvel és ügyesen végez, környezetének azonban nem feltétlenül használ vele. A képességek felmérésének és összemérésének sokféle lehetősége közül a játékot, a sportot, az iskolai tanulást és a művészi alkotást emeljük ki.

3.4.2 Játék és sport

Az ember életének jóval nagyobb részét tölti **tanulással**, mint más élőlények. Csak ez teszi lehetővé, hogy
– alkalmazkodjon a gyorsan változó társadalmi környezethez,
– szándéka szerint befolyásolhassa, alakíthassa ezt a környezetet (kreativitás),
– érdek nélkül kíváncsiskodhasson.

Mindhárom cél egyszerre irányul a külvilág és önmaga felé is, tehát egyszerre vezet a külső tények és a belső képességek feltárásához. A tanulás elterjedt és kellemes módja a **játék**. A gyermekek ébrenlétük nagy részét ezzel töltik, de a felnőttek életében is fontos szerepe van.

A játék célját egyes szerzők a **begyakorlásban** látják. Ők azt tételezik fel, hogy a játék ösztönös viselkedésprogram, ami arra szolgál, hogy a mozgás tanult elemei összecsiszolódjanak (például ragadozó emlősök kölykeinek ugrásai és harapás-gyakorlatai, gyerek játéka labdával, homokozólapáttal, saját testével).

Más elméletek szerint a megterhelő helyzetek során felgyülemlő **feszültség levezetésére** szolgál a játék (katharzis-elméletek). A levezetés lehetséges útja, ha egy átélt helyzetet újra felelevenítenek és úgy fejezik be hogy „jó vége legyen", azaz a meg nem valósult vágyak teljesüljenek. A játszó személyek egy másik, öntörvényű világba lépnek, ahol végbemehet, ami a „valós világban" nem (de a fordítottja is igaz: a játék sok mindent tilt, amit a „valóság" nem). Ez az elmélet szorosan kapcsolódik a pszichoanalízis eredményeihez és Lorenz ritualizáció-agresszió hipotéziséhez.

A kognitív elméletek a játékban **információkeresést** látnak. A kíváncsi viselkedés maga is egyfajta játék: öntudatlan szabályok szerinti kísérletezés a környezet tárgyaival (játékbabák szétszedése, galambok kergetése).

Sok játékban – különösen a társas játékokban – feltehetően ezen indítékok *mindegyike* szerepel.



39. ábra. ***a) Játszó oroszlánkölykök b) Gyerekek kártyajátéka***

← XVII.2.5.2

← XVI.4.5.3

← XVI.3.3.3 és XIX.

A nem hivatásszerű (amatőr) **sport** és a játék között sokszor nem húzható éles határ. A sport majdnem mindig versenyszerű, célja az ellenfél legyőzése. (Akkor is, ha az személyesen nincs jelen, de eredménye – például egy rúdugrási világcsúcs – révén küzdelemre sarkall.) A magányos vagy társas játékok szabályai mindig kötöttek, de sokszor titkosak: csak a beavatott személy vagy közösség számára ismertek. A sport játékszabályai viszont mindig nyilvánosak, így a versenyben (elvben) mindenki azonos eséllyel indulhat. A játék tehát gyakran *kirekesztő*, a sport mindig *befogadó* jellegű. A játék lehet rendszertelen, bárhol megszakítható, általában nem igényel komoly előkészületet. Az eredményes sport előfeltétele a *rendszeres és tudatos edzés*, a versenyek velejárója a stressz – részben a feladat miatt, részben amiatt, hogy az esetleges vereséget is el kell viselni. Ez utóbbi különösen az élsportolókra ró nagy pszichikai terhet, akiktől nagyobb közösség várja el, hogy az adott helyen és időben csúcsteljesítményt nyújtsanak. Hivatásszerű (profi) sportolók számára a sport pénzforrás is, ami tovább növeli a szakadékot az eredeti játék és a versenysport között.

SPORT

← rituális küzdelem az állatvilágban XVI.4.5.2 és 4.3

KIREKESZTÉS ÉS BEFOGADÁS

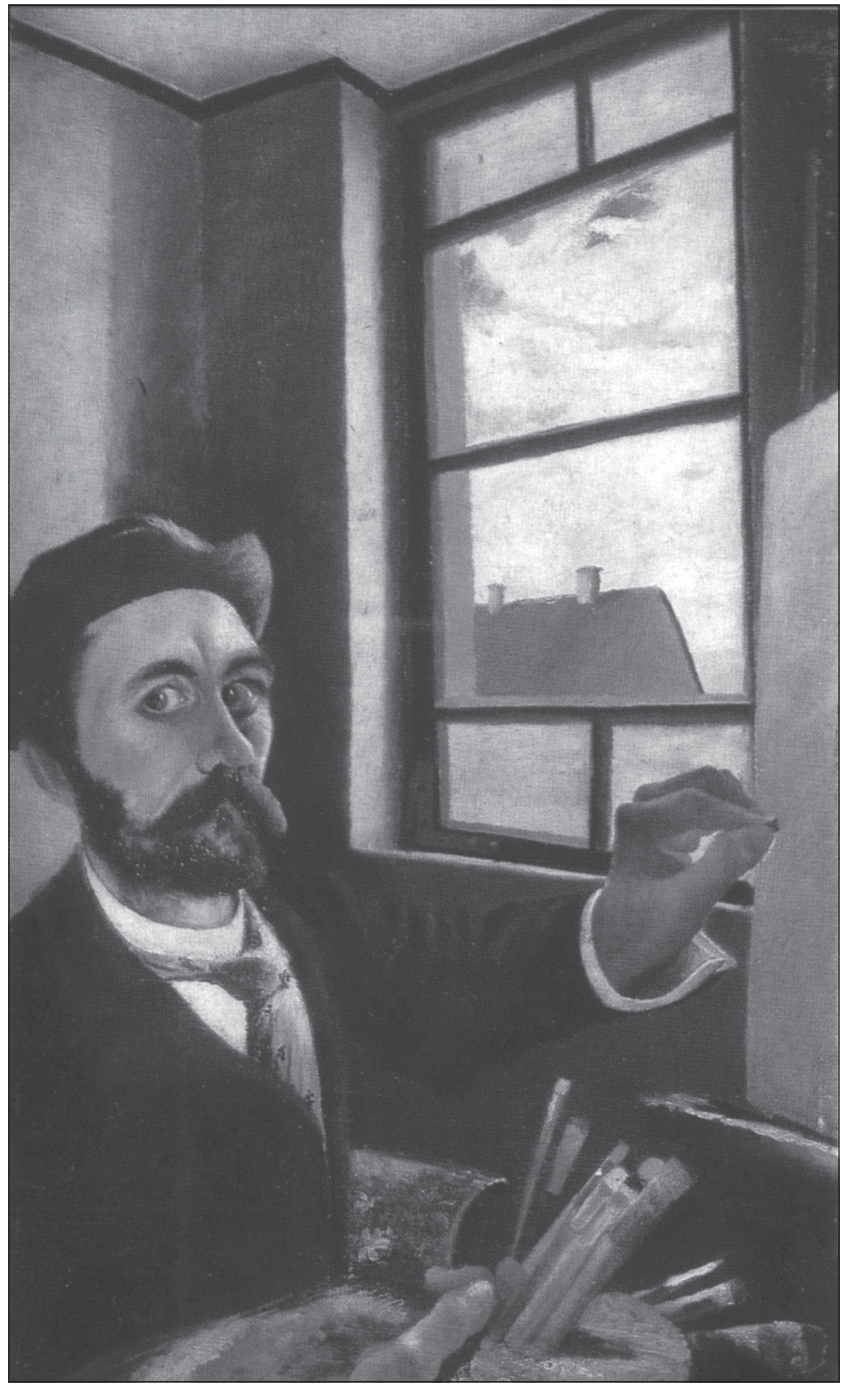
→ stressz XVIII.3.2.8

→ az ember, mint szabálykövető lény XXVII.; XXIX.

3.4.3 Az iskola

ISKOLA

Az **iskola** a tanulás intézményessé vált kerete. Az ókorban és a középkorban egy többé-kevésbé szűk réteg kiváltsága volt. A polgári társadalom tette lehetővé – és egyben kötelezővé – mindenki számára az általános képzést. A legtöbb országban törvény szabja meg az iskolaköteles kort, és azt, hogy *mikor mit* kell megtanulni. A játék és a sport önkéntes jellegével



40. ábra. ***Csontváry Kosztka Tivadar: Önarckép***

„Hajnalban nap-nap után a lángoló Kárpátokat figyelem, s egy délután csendesen bóbiskoló tinós szekéren akadt meg a szemem. Egy kifejezhetetlen mozdulat kezembe adta a rajzónt, és egy vén papírra kezdtem rajzolni a motívumot. A principálisom láthatatlanul hátul sompolyog, a rajz elkészültével hátamra ütött. Mit csinál, hisz maga festőnek született. Meglepődve álltunk, egymásra néztünk s csak akkor tudtam és eszméltem, amikor magam is az eredményt láttam, hogy valami különös esemény történt, amely kifejezhetetlen boldog érzésben nyilvánult meg. A rajzot oldalzsebembe tettem, s e perctől a világ legboldogabb embere lettem. Principálisom távozásával kiléptem az utcára, a rajzot elővettem tanulmányozásra: s ahogy a rajzban gyönyörködtem, egy háromszögletű kis fekete magot pillantok meg a bal kezemben, mely figyelmemet lekötötte. E lekötöttségben a fejem fölött hátulról hallom: Te leszel a világ legnagyobb napút (plein air) festője, nagyobb Raffaelnél. A legnagyobb szó után következő szót nem értettem meg, kértem az ismétlést, de az nem ismétlődött meg. A kinyilatkoztatás az egy szón kívül értelmes magyar nyelven szólott, rendkívül komoly hangsúlyozással, mely arról győzött meg, hogy bizonyos magasabb hatalommal vagy akaraterővel állok összeköttetésben, talán a világteremtő hatalommal, azzal a pozitívummal, amit mi sorsnak, láthatatlan mesternek, talán Istennek nevezünk, avagy a természet erejének vélünk, ami egyre megy, mert tisztában voltam azzal, hogy elképzelhetetlen és kifejezhetetlen felelősség hárul rám, amikor egy olyan helyre jelölt ki a sors, amelyre én magamat késznek, gyakorlottnak nem találtam.”

Csontváry Kosztka Tivadar: Önéletrajz

szemben éppen ez a *kényszer* teszi sokak számára kellemetlen hellyé az iskolát.

Az iskola – a társadalom szempontjából – az elvárások közvetítésének intézménye. Az egyén szempontjából egyrészt arra ad módot, hogy ki-ki felszínre hozza, begyakorolja a minden emberben *közös képességeket* (általános képzés, „általános műveltség"), másrészt pedig arra, hogy ki-ki megismerje és fejlessze a *csak rá jellemző adottságokat* (specializálódás, fakultatív képzés). E két terület nagysága, viszonya iskolatípusonként és koronként is erősen változó. Egy iskolán belül is eltérhet a tanár és a diák, a diák és a család vagy a diák és osztálytársai megítélése ugyanazon témakör vagy készség szükségességéről. (Például az énekórák fontossága, az osztályterem tisztántartásának feladata, viselet stb.) Ezek az elkerülhetetlen konfliktusok okozzák a legtöbb iskolán belüli feszültséget, egyben lehetőséget is arra, hogy az egyén megtanuljon alkalmazkodni a közösség elvárásaihoz. A feszültségek megoldásának másik útja az, hogy maga a közösség alakul át a változó igények hatására. Az iskola ennek lehetőségeit is, korlátait is megmutatja (például egy osztálykirándulás útvonalának megbeszélése, javaslatok az iskola házirendjére).

KÖZÖS MŰVELTSÉG

KÉNYSZER ÉS LEHETŐSÉG

→ megküzdés stratégiái XVIII.5.3.1

3.4.4 Alkotás és befogadás

A művész alkotásával önálló világot, mikrokozmoszt teremt. E világnak saját törvényei vannak, ebből a szempontból a művészi **alkotás és befogadás hasonlít a** hallucináció folyamatához. A hallucináló személy azonban csak *megéli*, míg a művész *meg is alkotja* saját harmadik világát: zenét ír, szobrot farag stb. A művészetben mindenki számára érzékelhető és elemezhető valósággá válik az, ami enélkül csupán „képzelődés" lenne. A műalkotások belső rendjük, kompozíciójuk miatt mindig beilleszkednek az értelem világának rendjébe is. Csontváry Kosztka Tivadar életútja jó példája annak, hogy egy hallás-hallucináció (kívülről szemlélve) miként válhat kinyilatkoztatás-erejű bizonyossággá (belülről megélve), s a megalkotott képek miként vernek hidat e két szemléletmód között.

ALKOTÁS ÉS BEFOGADÁS

→ hallucináció XVIII.3.3.2

← alaklélektan XVI.3

Kérdések, problémák

1. Kinek az érvelése meggyőzőbb: aki logikailag kifogástalanul érvel, de gesztusai ellentmondásosak, vagy aki hebeg-habog, de őszintének látszik? Miért?

2. „A beszéd a gondolatok elleplezésének eszköze" – mondta Talleyrand. Igaza volt-e?

3. „A jó bornak nem kell cégér" – tartja az egyik mondás. „A jó bornak is kell a cégér" – így a másik. Melyiknek van igaza?

4. Miben különbözik egymástól a tudományos vita, az ókori Athénban alkalmazott érvelés, a skolasztikus disputa és az újkori propaganda? Milyen szerepe van e kapcsolatokban az értelemnek és az érzelemnek, tisztázottak-e e kiindulási alapok (premisszák), kétségbe vonhatók-e ezek? Egyenrangú felek állnak-e egymással szemben, azonos ismeretek birtokában?

5. Elemezzük az alábbi szövegeket a kognitív disszonancia elmélete alapján! Melyik nevezhető reklámnak, melyik propagandának, melyik az, ami nem nevezhető egyiknek sem? Mi a célja az érvelőknek? Melyik meggyőző, melyik nem? Miért?
   a) Ön dönt: iszik vagy vezet!
   b) Befektetés vagy biztonság? Családja nyugalma érdekében mindkettőt kínálja az „Aranyhörcsög" befektetési jegy!
   c) „Hegyi levegő" cigaretta.

A megszűrt füst.
Semmi mást. *(A dohányzás káros az egészségre)*

d) A füstadó törvénytelen! Ezt akartad, Magyarország?!
Magyar Populáris Szövetség

e) Rabok legyünk vagy szabadok?
Ez a kérdés, válasszatok! –
A magyarok istenére
Esküszünk,
Esküszünk, hogy rabok tovább
Nem leszünk!
Petőfi Sándor: Nemzeti dal

f) Most már vesszen értem
Minden jog; úgy benne vagyok a vérben,
Olyan messze, hogy átgázolni és
Visszafordulni egyformán nehéz;
S tervek sürgetnek, agyam csupa láz:
Gyors cselekvés kell, nem gondolkodás.
Shakespeare: Macbeth (3. felvonás, 4. szín)
Szabó Lőrinc fordítása

6. „A legfontosabb dolog az életben a pálya megválasztása: a véletlen dönt efelől. A szokás teszi a kőművest, a katonát, a tetőfedőt" – írja Pascal (Gondolatok). Vajon hogyan vélekedett Pascal a hivatásról, mit értett ebben a mondatban „véletlenen"?

7. Olvassuk el a Bibliából Jónás próféta könyvét! Miért próbál menekülni a neki szánt feladat elől? Vajon puszta szerep, kényszer számára a prófétálás vagy saját lelke (is) erre készteti?

8. Olvassuk el a tálentumokról szóló példabeszédet (Máté, 25.)! Mit jelképeznek a tálentumok? Miért vették el attól a szolgától a pénzt, akinek a legkevesebb jutott? Azt jelenti-e ez, hogy a gyengébb képességű embernek nem is érdemes tanulni, többre törekedni?

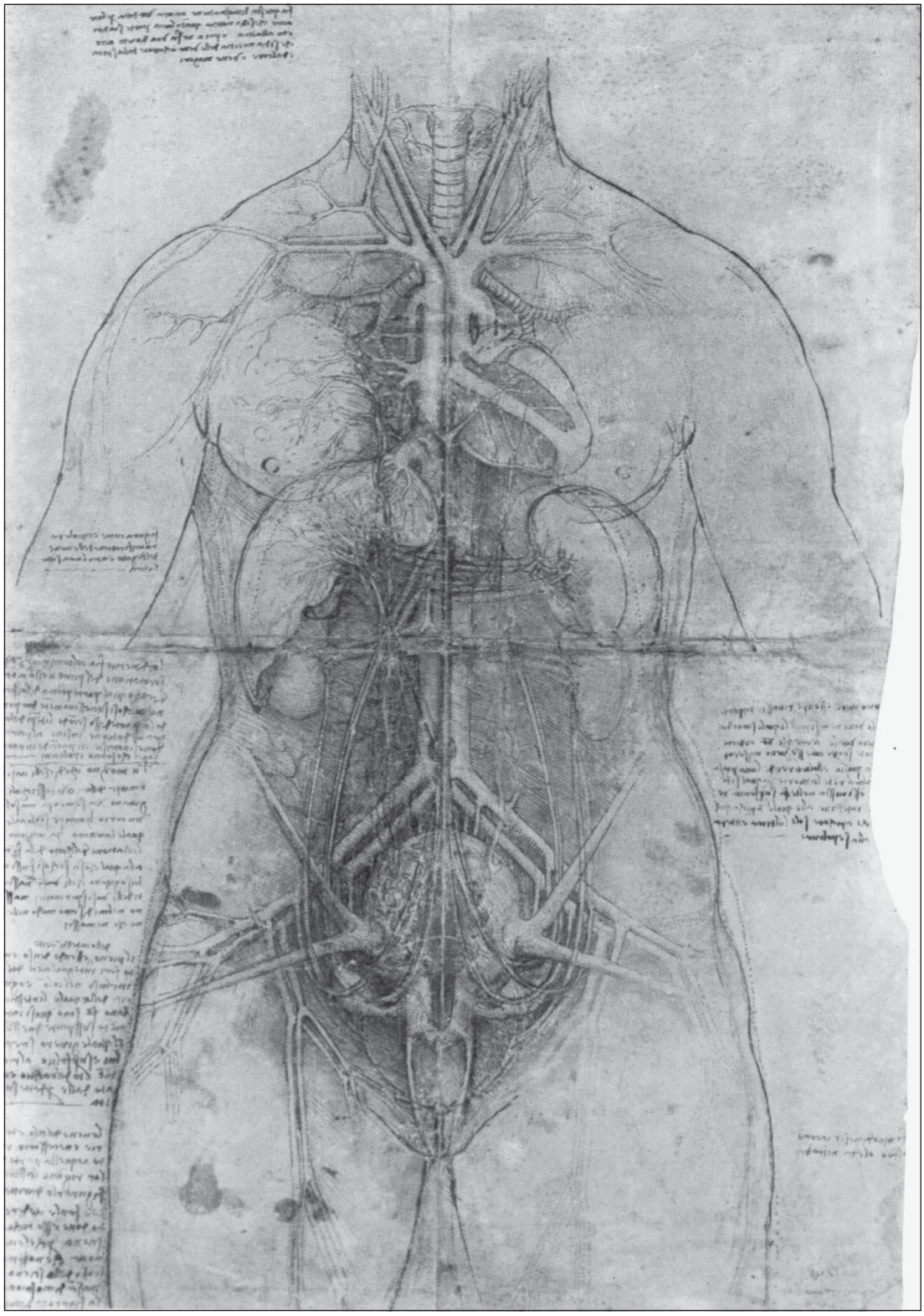
Irodalom:

⌘ Aronson, Eliot: A társas lény, KÖZGAZDASÁGI ÉS JOGI, 2001
⌘ Aronson, Eliot (társszerző) : A rábeszélőgép, AB OVO 1996
⌘ Bettelheim, Bruno: A mese bűvölete és a bontakozó gyermeki lélek, GONDOLAT 1985
⌘ Buda Béla: Empátia ….. a beleélés lélektana, EGO SCHOOL 1993
⌘ Huizinga, Jan : Homo ludens (Játékos ember), UNIVERSUM repr. 1990 (1944)
⌘ Laing, R.D.: Beszélgetések gyerekekkel, HELIKON 1988
⌘ Pease, Alan: Testbeszéd, PARK 1990
⌘ Pease, Alan: Szó-beszéd – a társalgás művészete, PARK 1990
⌘ Rákosiné Ács Klára: Vallanak a betűk, MAGVETŐ 1985
⌘ Jelenits István – Tomcsányi Teodóra (szerk.): Egymás közt egymásért, HÍD 1990
⌘ Földényi F. László: Melankólia, KALLIGRAM 2003
⌘ A lélek és az értelem ABC-je, READERS DIGEST 1992
⌘ Benedek István: Ideges emberek, GONDOLAT 1981

≈ Csontváry Kosztka Tivadar: Önéletrajz (in: Csontváry-emlékkönyv), CORVINA 1976
≈ Babits Mihály: A gólyakalifa, SZÉPIRODALMI 1981
≈ Művészetpszichológia – szöveggyűjtemény, GONDOLAT 1983

⌘ Horváth György: Az értelem mérése, TANKÖNYVKIADÓ 1991
⌘ Ranschburg Jenő: Az érzelem és a jellem lélektanából, OKKER 1999
⌘ Vallejo-Nágera, J. Antonio: Szemtől-szembe a depresszióval, HÁTTÉR 1999

XVIII. A SZERVEZET



„Képzeljük el mármost, mondjuk, hogy a vérben él egy férgecske, amelynek megvan a látóképessége a vér, a nyirok stb. részecskéinek megkülönböztetésére, s van esze annak megfigyelésre, hogy egy részecske, ha összeütközik egy másikkal, visszaugrik, vagy átadja mozgásának egy részét a másiknak stb. Ez a férgecske úgy élne ebben a vérben, ahogyan mi a világegyetemnek ebben a részében élünk: a vérnek minden egyes részecskéjét mint egészet tekintené, nem pedig mint részt, s nem tudhatná, hogyan szabályozza a vér általános természete valamennyi részt, s a részek viszont (…) hogyan kényszerülnek egymáshoz alkalmazkodni."

Barruch Spinoza levele a nemes és tudós férfiúnak,
Henricus Oldenburg úrnak (1665)
(Szemere Samu fordítása)

„Valamikor réges-régen, amikor az ember teste még, nem úgy, mint manapság, nem forrott eggyé, hanem valamennyi testrésznek megvolt a saját véleménye, a maga szava, méltatlankodni kezdett valahány, hogy övé a gond, a munka és a fáradság, amivel mindent megszerez a gyomornak, az pedig ott középen mit sem tesz, csak élvezi a gyönyörqségeket, amiket a többi nyújt neki. Összeesküdtek hát, hogy a kéz nem viszi az ételt a szájhoz, a száj nem fogadja el, amit adnak neki, a fogak pedig nem rágják meg. Haragjukban éhséggel akarván megzabolázni a gyomrot, azzal együtt az egész testet teljes sorvadásra juttatták a tagok. Ekkor értették csak meg, hogy a gyomor sem jelentéktelen szolgálatot teljesít, és legalább annyira táplálja a többi tagot, mint amennyire őt táplálják, visszaadván a test valamennyi részének azt, amiből élünk, erősödünk, és egyaránt osztja el az ereken keresztül a megemésztett étel termékét, a vért."

Ekként vont párhuzamot (Agrippa) a a test belső lázadása és az atyák ellen föltámadott népharag között, s ezzel megváltoztatta az emberek hangulatát.

Livius: Ab urbe condita I. könyv 32.
Kiss Ferencné fordítása

A XVIII. fejezet címlapképe. ***Leonardo da Vinci: Emberi test*** Royal Library, Windsor (1508/9)

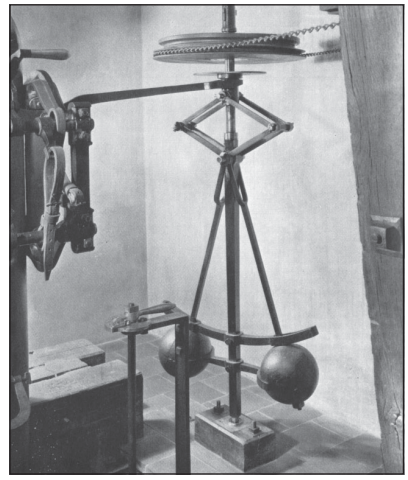
„Bemutatnám neked a mikrokozmoszt, ugyanabban a rendben, ahogyan előttem Ptolemaiosz is tette Kozmográfiájában. A testrészeket úgy osztom majd fel, ahogyan ő osztotta tartományokra az egészet, és a részek feladataival is minden tekintetben meg foglak ismertetni." – írta Leonardo naplójába tervezett anatómia könyvéről, melynek csak vázlatai készültek el. E rajzok anatómiai pontosságukkal messze megelőzték korukat, ám a mai szemlélőt inkább belső rendjük, harmóniájuk ragadja meg. Amit Leonardo mikrokozmosznak – a Kozmoszt tükröző kicsiny teljességnek – nevezett, azt a modern biológia a homeosztázis fogalmával írja le. Valójában a homeosztázist fenntartó rendszerek – a hormonális, az idegi és az immunrendszer – teszik szervezetünket elkülönült egésszé, mikrokozmosszá. Testi-lelki egészségünk föltétele e homeosztázis fönnmaradása, a Mikro- és a Makrokozmosz harmóniája.

1. Szabályozás és vezérlés

1.1 A gép, mint modell

Descartes és Lamettrie, az élőlények mechanikai modelljének megfogalmazói gépezetekhez hasonlították a szervezetet. A XVII–XVIII. század kutatóinak figyelmét elsősorban az a felismerés kötötte le, hogy az élőlény és a gép egyaránt engedelmeskedik a mechanika törvényeinek. A XIX–XX. századra azonban kiderült, hogy a mechanikai modell önmagában nem elegendő az életműködések magyarázatához.

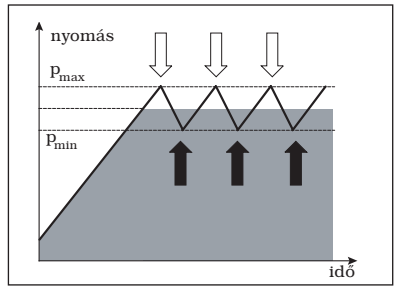
A gépezetek akkor válhattak *ismét* az élőlények modelljeivé, amikor felismerték működésük **általános elveit**. A gép *szerkezete* és az élőlény *szervezete* hasonlítanak egymásra, de nem külsőleg (mint a bábu az emberre), hanem néhány alapvető működési elvben. A szerveződés és működés általános érvényű elveit a XX. században egy új tudományág: a **kibernetika** fogalmazta meg.



1. ábra. ***Centrifugális szabályozó***
Nem Watt találta fel, de ő alkalmazta elsőként gőzgépén a fordulatszám szabályozására 1785-ben. Ha a géptengely gyorsabban forgott, a súlyzópár szétnyílt, és kevesebb gőzt engedett a munkahengerbe.

1.1.1 Szabályozott folyamatok

Sok gép folyamatos működtetésének feltétele, hogy néhány fizikai jellemzőjük ne haladjon meg egy felső határértéket, de ne is süllyedjen egy alsó határérték alá. Ha például egy kazánban a gőznyomás túl kicsi, nem működik a szerkezet, ha viszont túl nagy, felrobban. Leleményes mérnökök többféle gőznyomás szabályozót is kitaláltak: ezek mindegyike két – beállítható – határérték közötti sávban tartja a nyomás értékét.



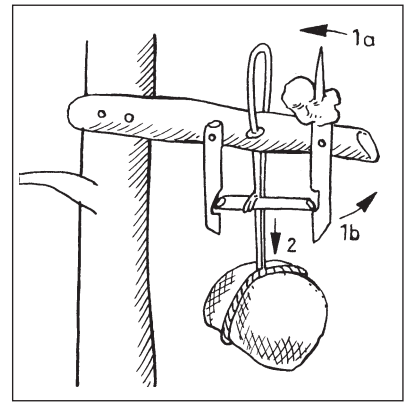
2. ábra
A „kukta” fazékban a szelep súlya szabja meg, hogy milyen túlnyomás alakulhat ki a fazék belsejében. A grafikon a nyomásértékek változását mutatja folyamatos melegítés hatására. A fekete nyilak a szelep zárulását, a fehér nyilak nyitását jelzik. A p_{max} a kialakuló legnagyobb, a p_{min} a legkisebb nyomásérték. A szürke háttér az átlagos nyomást jelzi.

1.1.2 Az automaták

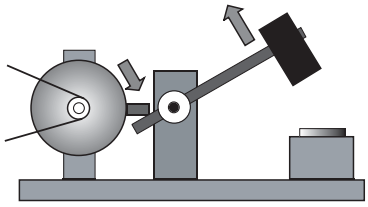
A gépezetek egy része egy kiinduló állapotból meghatározott lépéseken át valamilyen végállapotba jut. Ha ezt a rendeltetésszerű mozgássort alkotójának távollétében is megteszi, a szerkezetet **automatának** nevezik (*automatosz* = önműködő, önmagától mozgó). Az automata a rá jellemző mozgássort egy benne rögzített program alapján hajtja végre, ennek megtervezése a gép **programozása**. A program **vezérli**, azaz egy kezdőállapotból meghatározott lépéseken át egy végállapotba viszi a szerkezetet.

Egyszerű automatákat ősidők óta készít az ember. Ilyen például az ábrán látható nyesthurok.

A botos nyestcsapda „programozása” igen egyszerű: a mozgássor végrehajtása után újra a kezdő állapotba kell hozni ahhoz, hogy működjön.

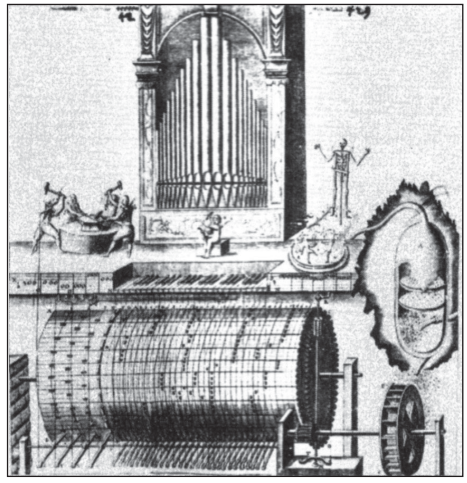


3. ábra. ***Egyszerű automata: botos kioldós nyesthurok Erdélyből***
Az **energiaforrás** ebben az esetben a felfüggesztett kő helyzeti energiája, a **kiváltó inger** (trigger) a nyest által megrántott csalétek, ami először a pöcök elmozdulását (1a–1b), majd a kő lezuhanását (2) eredményezi.



4. ábra. ***A bütyköstengely működésének vázlata***
A bütyköstengely csak annyit tud, hogy „igen” vagy „nem”. Ahol van bütyök, ott „igen”, ahol nincs ott „nem” parancsot ad az eszköznek. Az „igen”-re felemelkedik a kalapács (egy meghatározott magasságig), majd onnét visszaesik, a „nem”-re eredeti helyén marad. Egy egyenletesen forgó tengelyen megfelelően elhelyezett több bütyök képes több kalapácsot is, vagy más szakaszosan fel-le mozgó szerszámot működtetni. Pl. a vízikerékkel meghajtott bütyköstengely olajütőket tud felemelni és elejteni, amellyel olajos magvakból az olaj kinyerhető. A bütykök elhelyezésétől függ, hogy milyen sorrendben emelgeti a kalapácsokat.

Bonyolultabb mozgások vezérléséhez a kerék feltalálása vezetett. A kerék előnye, hogy segítségével a szakaszos mozgások egyenletes körmozgássá alakíthatók (mint például a varrógép vagy a fazekaskorong esetén), de fordítva is igaz: a forgó tengely szakaszos mozgásokat vezérelhet. Ilyen az ún. **bütyköstengely.** Az ókori Vitruvius által leírt úthosszúság-mérő (hodométer) lényege egy, a kocsi tengelyére szerelt kiemelkedés („bütyök”), amely minden fordulatkor beleakad egy fogaskerékbe, s azt egy egységgel továbbmozdítja.

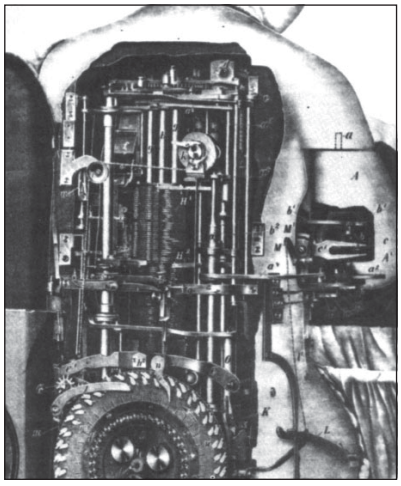


5. ábra. ***Programozható vezérlődobbal működtetett automatikus orgona Athanasius Kircher jezsuita szerzetes 1650-ben megjelent könyvéből.***
Ha a henger egyenletesen forog, az egyes hangok megszólalása közti idő beállítható a bütykök közötti távolsággal. A palást más-más körén elhelyezkedő bütykök más és más hangmagasságú harangokat szólaltatnak meg. Ha a bütykök kivehetők és más helyre telepíthetők, akkor a dallam is változtatható. A dallam tempója a henger forgásának lassításával, illetve gyorsításával módosítható. Vagyis ez a gépi zene programozható.

← a helyi idő mérése VIII.1.3.1

A mechanikus kerekes órák, melyeket templomtornyokban helyeztek el, már a XIV. századtól fennmaradtak (Milánó, Beavuois, Cluny, Salisbury). Mutatójuk nem volt, harangütésekkel, később harangjátékkal jelezték az órák múlását. A harangjáték gépesítéséhez *igen-nem* utasítások sorozatát kell végrehajtani. Ehhez a bütyköstengely adta ötletet fejlesztették tovább, amely abból állt, hogy egy henger palástjára helyezték a bütyköket, amelyek áttételesen a dallam meghatározta harangokat kongatták meg. A bütyköstengely *vezérlődobbá* alakult át.

A XVII–XVIII. században nagyon sok automatát szerkesztettek. „Dobbal” vagy ahhoz hasonló szerkezettel vezérelték például szökőkutak, toronyórák, játékok működését. Ilyen elvű szerkezetek ma a robbanómotorok, kakukkos órák, vagy egyes játékok.



7. ábra. **Az íróautomata kinyitott hátlapja** mögött láthatóvá válik a mozgásokat vezérlő bonyolult szerkezet.



6. ábra. ***A tisztán automataként működő „androidok” példája Jacquet Droz zongorázóautomatája (1774).***
Az automata bábu többféle dallamot tudott „lejátszani”. Egy másik Droz-bábu, az íróautomata 40 betűig terjedő szöveget illetve 4 rajzot (kutya, Ámor, XVI. Lajos és Maria Antoinette profilja) volt képes rajzolni 40 cserélhető profilkorong segítségével.

A XVII–XVIII. század gépszerkesztői már képesek voltak olyan szerkezeteket alkotni, melyek automatikusan működtek és programozhatóak voltak (mozgáselemeik sorrendje változtatható volt). Az automaták belső szerkezetükből következően véges számú lépésen át egy kezdőállapotból egy végállapotba jutnak.

1.2 A kibernetikai modell

A **kibernetika** elnevezése *Norbert Wiener* amerikai kutatótól származik. A szó a görög *kübernétész*ből ered, ami kormányost jelent. A találó elnevezés arra utal, hogy a kormányosoknak egyszerre kétféle feladatot kell megoldaniuk: **vezérelni**, azaz egyik kikötőből a másikba juttatni a hajót – ezalatt pedig **szabályozni**, azaz minden pillanatban biztosítani a stabilitását. Wiener automatikusan vezérelt bonyolult rendszerek logikai szerkezetével foglalkozott az 1940-es években. Eközben ismerte fel, hogy a vezérlés és szabályozás törvényszerűségei általános érvényűek: alkalmazhatók gépezetre, élőlényre, de jól leírhatók segítségével gazdasági és társadalmi folyamatok is.

Wiener meghatározása szerint a kibernetika a **vezérlés és hírközlés tudománya**.

Wiener kibernetikai modelljében elvonatkoztatott a gépek a sajátosságaitól. A működés jellemzőit olyan blokksémákkal ábrázolta, melyek a vezérlés ill. szabályozás általánosan érvényes lépéseit mutatják meg.

A vezérelt jellemzőt (a példában a hajó útirányát) a vezérlő szerv egy adott vezérlő jel szerint állítja be az előre megadott értékre (például a térképen megjelölt útvonal szerint kormányozza a hajót). A vezérlő rendszernek képesnek kell lennie a *jel észlelésére* (a példában a térképen kijelölt útvonal követésére), *a jel* továbbítására (a kormányszerkezet működtetésére) *és beavatkozó szervre* (működőképes kormánylapátra).

> Rendszerint úgy gondoljuk, hogy egy üzenetet emberi lény küld emberi lénynek. Pedig nem feltétlenül van mindig így. Ha lustaságomban, ahelyett, hogy felkelnék az ágyból reggel, megnyomok egy gombot, és ezzel bekapcsolom a fűtést, becsukom az ablakot, és megindítom az elektromos fűtést a kávéfőző alatt, akkor üzenetet küldök ezeknek a készülékeknek. Ha viszont a villamos tojásfőző néhány perc múlva sípolni kezd, akkor ő küld nekem üzenetet. Ha a termosztát (hőfokszabályozó) mutatja, hogy a szoba túl meleg, és kikapcsolja az olajégőt, akkor mondhatjuk, hogy az üzenet az olajégő szabályozásának egy módszere. Más szavakkal, a szabályozás nem más, mint üzenetküldés, amely megváltoztatja a vevő magatartását.
>
> Az üzenetek, különösen az effektív (hatékony) szabályozási üzenetek tanulmányozása képezi a kibernetika tudományát, amelyet egy régebbi könyvemben kereszteltem így. A név a pilóta vagy kormányzó munkáját jelenti (…), a kormányos görög nevének latin alakja.
>
> Norbert Wiener: Mi a kibernetika?

Ha pusztán ennyi történik, akkor a vezérlő szerv nem kap értesítést arról, hogy a vezérelt jellemző milyen mértékben közelíti meg a beállított értéket (a példában: hogy a hajó valóban a terv szerinti útvonalon halad-e).

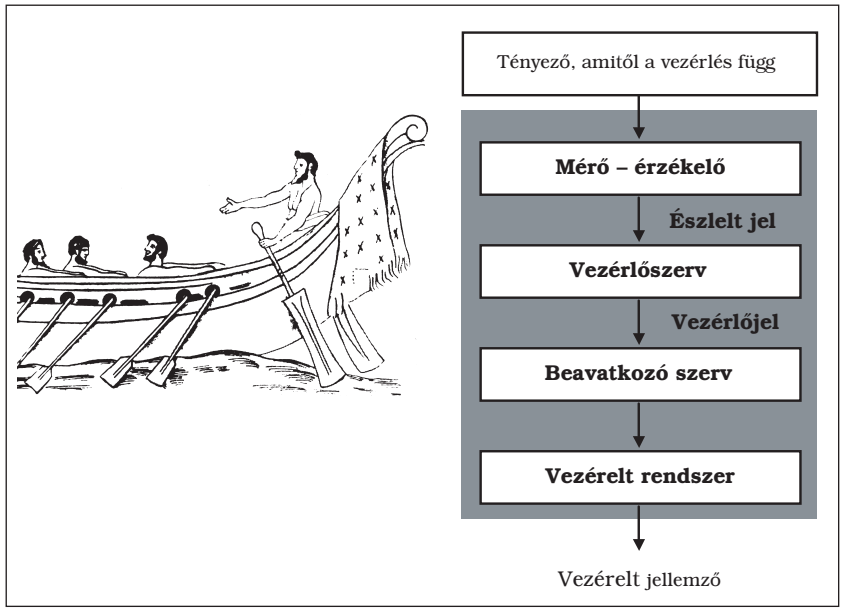
Summa (1.1)



8. ábra. ***Norbert Wiener (1896–1964) amerikai születésű matematikus, a kibernetika „atyja”***
Fiatal matematikusként számítógépeket szerkesztett. A vezérelt mozgások természetével drámai körülmények között kezdett foglalkozni. A második világháborúban az angolokra nehezedő német légifölény miatt légvédelmi célzóberendezések megvalósításán kellett dolgoznia. Wiener fölismerte, hogy a találat csak akkor lehet sikeres, ha a sikertelen találat után felmérve az eltérést, majd ezzel kiigazítva az újabb célzást a lövedék közelebb juthat célpontjához. Ha a mérésből nyert újabb eltérés kisebb az előbbi értéknél, akkor az eljárást így folytatva, egyre csökkenő eltérésekkel a célpont elérhetővé válik.
Wiener szerint ugyanígy megy végbe bármilyen általunk végzett, célra irányított mozgás, csupán mindez tudattalanul történik. Eredményeit a Kibernetika c. művében fogalmazta meg általános érvénnyel (1948).

→ információ és entrópia XX.

← Az első tengerhajózási térképek V.7.1.2

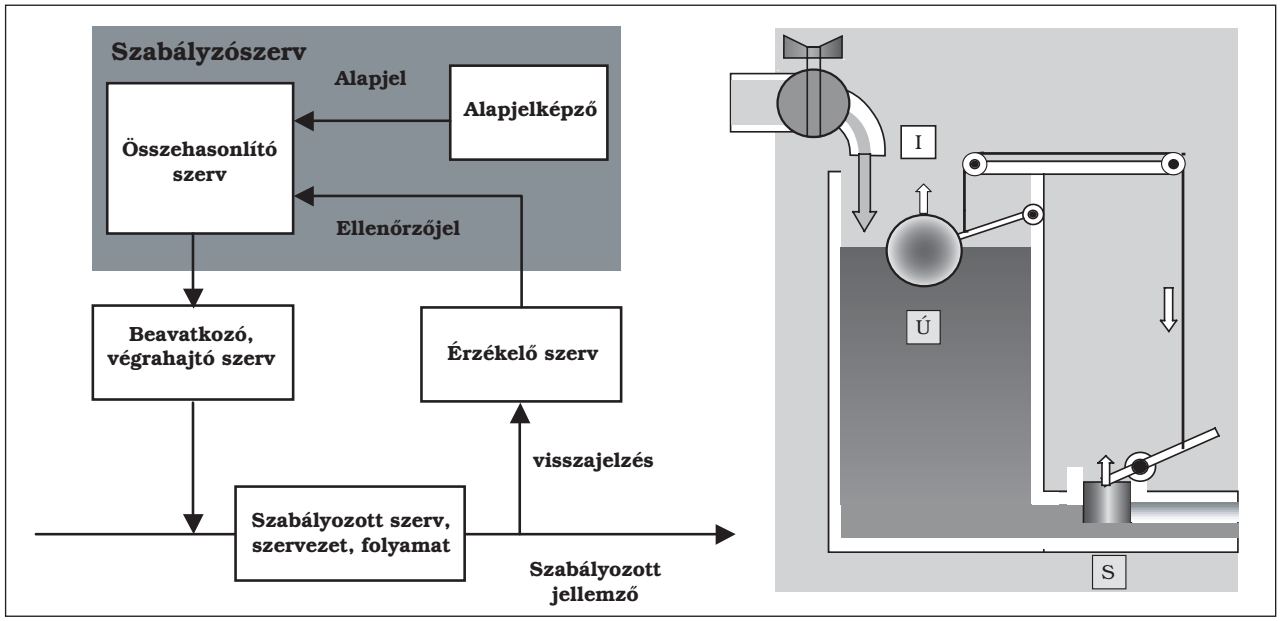


9. ábra. ***A vezérelt folyamat***

10. ábra.
a) A szabályozókör elvi vázlata
b) Mellette: Közel állandó vízszintet eredményező mechanikus szerkezet vázlata
Az „I” vízcsapból beáramló víz hatására megemelkedik a vízszint, az megemeli az „Ú” úszót, ami áttételeken keresztül megemeli az „S” szelepet, így a fölösleges víz kiáramolhat. A csökkenő vízszint zárja a szelepet.
A tartályban a vízszint szűk tartományon belül ingadozik.

Ha azonban az *elvárt* és *megvalósult* értékek közötti különbségről a vezérlőhöz (a kormányoshoz) visszajelzés érkezik, akkor a rendszerben **visszacsatolás** valósul meg. A visszacsatolás lehetőséget nyújt annak az ellenőrzésére, hogy a vezérlés milyen pontosan megy végbe. Ezáltal meghatározható a cél és a célra irányuló tevékenység eredménye közötti eltérés, mérhető a tevékenység eredményessége.

Ha a várt érték és a megvalósult (visszajelzett) érték közötti eltéréssel *növekszik* a vezérlő jel értéke, akkor a **visszacsatolás pozitív**. A pozitív visszacsatolás a következő lépésben többnyire az eredmény még nagyobb fokú eltérését váltja ki. (Hogy ez valóban így történik-e, az a környezetből érkező esetleges *zavaró jelek* értékétől is függ.) Ha az észlelt eltérés értéké-



vel a megfelelő irányban *csökken* a vezérlő jel értéke, akkor a következő lépésben az eltérés is csökkenni fog. A vezérlő jel ilyen kiigazítását **negatív visszacsatolásnak** nevezzük. A **többszörös** (sok lépésben lezajló) **negatív visszacsatolás** eredményeként a cél elérhetővé válik. Az eltérés egyre jobban megközelíti a nullát. Wiener a jelenséget egy rugó csillapított rezgéseinek egymást követő ciklusaihoz hasonlította. Az irányítási rendszer ilyen működését **szabályozásnak** nevezzük.

NEGATÍV VISSZACSATOLÁS

SZABÁLYOZÁS

A szabályozás feladata az, hogy valamely folyamat szabályozott jellemzőjét a célként kitűzött értékre hozza, és ezen érték közelében tartsa. A szabályozás ismétlődő kétirányú irányítási műveletek összessége, melyekben mindig szerepet játszik a negatív visszacsatolás.

→ Gaia-elmélet XXVI.

1.3 A homeosztázis

1.3.1 A belső környezet

A XIX. század közepére az élőlények descartes-i „válaszolóautomata-modelljét" a kibontakozó etológia és pszichológia éppúgy kérdésessé tették, mint az élettan és a biokémia eredményei. Az analízis sikerei nem feledtethetik, hogy egy élőlényt csak úgy érthetünk meg, ha tudjuk azt is, mitől válik egyedivé, *hogyan szerveződik egésszé*? A biológusok figyelme ezért a következő kérdések felé irányult:

← VII.3.1 Descartes

1. Milyen kölcsönhatások útján alakítják a sejtek, szövetek, szervek egymás működését?
2. Hogyan tartják fenn az élőlények **„belső világukat"** kölcsönhatásban a **„külvilággal"** ?
3. Hogyan őrzi meg a „belső világ" egységét és egyediségét?

KÜLSŐ ÉS BELSŐ VILÁG



„Lappangó életet él a petesejt, a növényi mag vagy a betokozódott egysejtű. Az élőlények másik csoportja az oszcilláló élet jelenségét mutatja. Élénk anyagcseréje van, mozog, szaporodik, de egész élete a környezet vak szeszélyétől függ. A hőmérséklet, a fény, vagy a környezet sóösszetételének változása már pusztulással fenyegeti. Az élőlények harmadik csoportja szembeszegül a környezet vak erőivel. Szabad és független életet él. (…) A belső környezet állandósága a szabad és független élet feltétele."

Bernard (idézi: Kertai)

11. ábra. ***Claude Bernard*** (1813–1878) francia orvos idegélettani vizsgálat végzése közben (festmény).
Bernard a „belső környezet" elvének megfogalmazásával mutatott irányt az élettani kutatásoknak.



12. ábra. ***Walter Cannon*** (1871–1945) amerikai idegélettan-kutató, a homeosztázis elvének megfogalmazója

„Azok a koordinált élettani folyamatok, amelyek a szervezet egyensúlyát biztosítják, olyan bonyolultak és annyira az élőlényekre jellemzők (…), hogy jelölésükre külön fogalmat, a homeosztázist javasoltam. (…) A szó egy állapotot jelöl – egy állapotot, mely egyszerre a változékonyság és a relatív állandóság."

Cannon (idézi: Kertai)

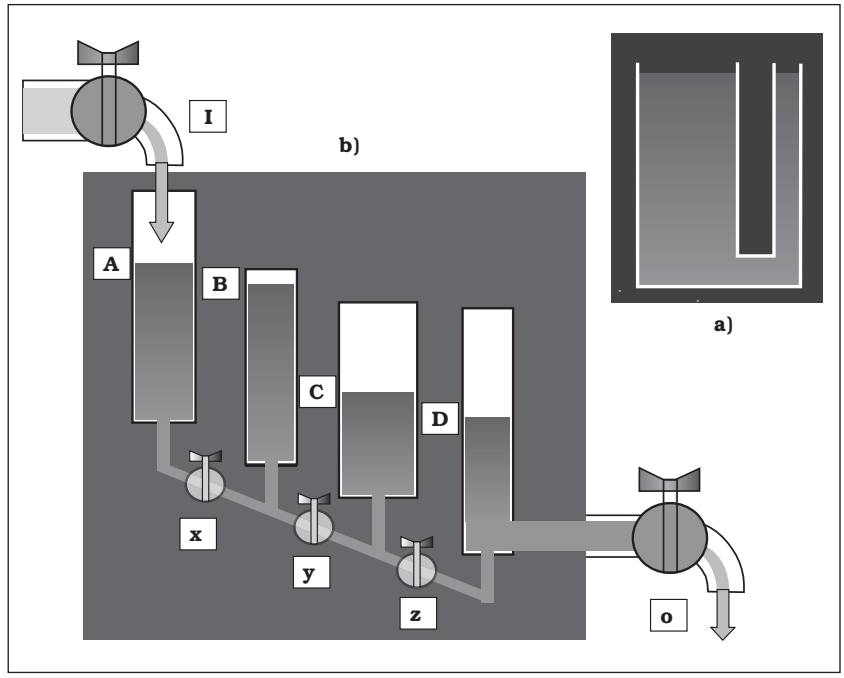
E kérdések első megfogalmazása az élettan területén Claude Bernard érdeme. Bernard szerint a (soksejtű) élőlény legtöbb sejtjét nem a külső környezet (milieu exterieur), hanem egy sajátos **belső környezet** (milieu interieur) veszi körül. Az élőlény arra törekszik, hogy ezt a belső környezetet saját igényei szerint alakítsa. A külső környezet megszabja ugyan ennek határait és lehetőségeit, az azonban már a szervezettől függ, hogy hogyan él e lehetőségekkel. Bernard ennek alapján az élet három formáját különítette el:

Bernard gondolatát az amerikai Walter Cannon (1871–1945) fejlesztette tovább, amikor bevezette a **homeosztázis** fogalmát (a görög homeosz = hasonló és sztázisz = állapot, állás szavakból).

1.3.2 Állandóság nyílt rendszerekben

A homeosztázis – Cannon megfogalmazásában – **egyensúly**. Ez az egyensúly azonban egy olyan *nyílt rendszerben*, amilyen egy élőlény, nem jelenthet statikus, mozdulatlan állapotot, de még dinamikus egyensúlyi helyzetet sem. Jobban leírja a XIII. fejezetben bemutatott „malomkerék"-modell. Ha több olyan folyamatot vizsgálunk, melyeket anyag- és energiaáramlás köt össze, akkor is kialakulhat olyan helyzet, melyben a koncentrációk nem változnak. Ez a **stacionárius állapot**.

Stacionárius állapot változó beáramlás mellett is megvalósítható, ha az egyes reakciók sebességét ehhez alkalmazkodva változtatja a rendszer. Ez a kibernetikából megismert **szabályozás** sajátos esete. Ha például a szervezetbe a táplálékkal vagy folyadékok útján túl sok sav (oxónium-ion) került, úgy tartható fenn a vér pH-jának állandósága, hogy a fölösleg kiürül a vizelettel vagy légzés útján. Az állandóság helyett azonban ekkor helyesebb *korlátozott ingadozásokról* beszélni, hiszen a szabályozás szükségképpen késve követi a változásokat.



13. ábra. ***Egyensúlyi állapotok hidrodinamikai modelljei***
a) Zárt rendszer b) Nyílt rendszer. Az A, B, C, D vízszintek az egyes anyagok koncentrációit jellemzik, I a beáramló, O a kiáramló anyagmennyiség, x, y és z az átvezető csapok, melyek az egyes reakciókat katalizáló enzimeknek felelnek meg. Ha a vízszintek állandóak, a rendszer stacionárius állapotban van.

1.3.3 Stabilitás és változékonyság – a homeosztázis új értelmezése

A stacionárius állapot olyan kibernetikai *modell*, mely sok szempontból hasonlít egy élőlény „nyugalmi helyzetére", de nem azonos a homeosztázissal. A XX. század végére sok mérési adat gyűlt össze az ember vérnyomásáról, szívműködéséről, testhőmérsékletéről és más jellemzőiről. Az adatok azt mutatták, hogy ezek valóban egy alsó és fölső határérték között ingadoznak, ám e sávon belül egyikre sem az állandóság, hanem *a változékonyság jellemző*. A szívritmus például egészséges emberben is folyton változik (éppen az utal súlyos zavarra, ha teljesen egyenletessé válik). A homeosztázis modern fogalmának az állandóság mellett erre a változékonyságra is választ kell adnia.

A jelenség magyarázatát az élőlények *szervezett bonyolultságában* kereshetjük. A modellként szolgáló berendezések feladata mindig csak egy-egy jellemző szabályozása volt (például a gőznyomásé vagy a vízszinté). Az élőlények – különösen a soksejtű, összetett szervezetek – azonban sok életműködést végeznek egyszerre, s ezek egymásra is hatnak. Az életműködések fenntartása energiaigényes. Ha kedvezőtlen külső körülmények között is arra törekedne a szervezet, hogy belső környezetének *minden* jellemzőjét állandóan a legkedvezőbb szinten tartsa, akkor szükségtelenül sok energiát pazarolna el. Belső tartalékai hamarosan kimerülnének és elpusztulna. **A valóságos élőlény úgy változtatja életműködéseit, hogy ezzel saját szervezetének tartós fennmaradását szolgálja**. Télen például sok emlős „téli álmot" alszik, ilyenkor testhőmérsékletük csökken, energiafogyasztásuk kicsi, ezért megélnek zsírtartalékaikból. Nyáron viszont, amikor van elegendő táplálék, testhőmérsékletük valóban közel állandó. E példa azt is megmutatja, hogy a homeosztázis az élőlény és az élőhely közös jellemzője. Megértéséhez, magyarázatához ismernünk kell az adott élőlény és a környezet tulajdonságait is.

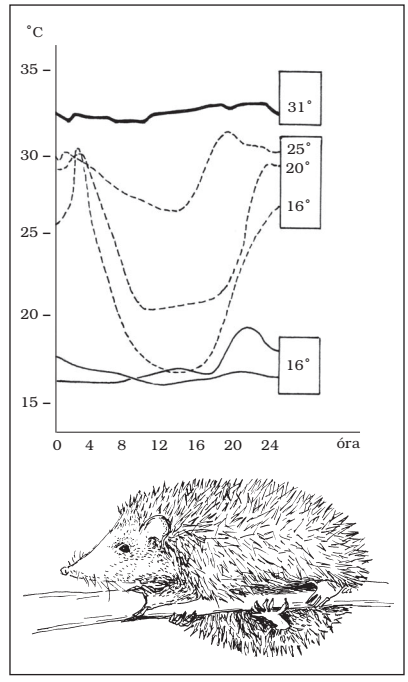
A homeosztázisnak – fontossági sorrendben – az alábbi feladatokat kell ellátnia:

- az élőlény egységének megőrzése (létfenntartás),
- a készenlét az esetleges reagálásra (reakciókészség),
- gazdaságos forrásfelhasználás (takarékosság),
- a szervek optimális működése (hatékonyság).

A fontossági sorrend azt jelenti, hogy magasabb szempontok előnyt élveznek, a kevésbé fontosak rovására is érvényesülnek. Valamely életműködés jellemzőinek állandó, optimális értéke ilyen körülmények között inkább kivétel, mint szabály.

A homeosztázis fogalmát tovább bonyolítja, hogy az eddigi gondolatmenet nem vette figyelembe az állat élete során belső program szerint lezajló változásokat. E változások lehetnek ciklikusak (költöző madarak szervezete ősz elején) vagy egyirányúak (lepke hernyójának bebábozódása). Irányításuk **vezérlés** útján megy végbe. A szervezet tehát élete során kettős feladat előtt áll: egyrészt állandóan, másodpercről másodpercre reagálnia kell a külvilág hatásaira (szabályozás), másrészt saját, belső programja alapján változnia is kell (vezérlés). A homeosztázis eszerint – tág értelemben – a szabályozás és a vezérlés harmonikus illeszkedése a környezethez. Ennek eszközeiről szólnak a következő fejezetek.

A szervezet: egységes egész.
A szervezet szabadságának biológiai feltétele az, hogy belső környezetét (milieu interieur) ellenőrzése alatt tartsa (Bernard). A homeosztázis (Cannon) az élő szervezet épségének és önazonosságának tartós megőrzése változó körülmények között is. Ez szabályozás és vezérlés révén, a mindenkori környezettel összhangban valósul meg.



14. ábra. ***A madagaszkári tanrek (erszényes emlős)*** nagy melegben egész nap aktív (felső görbe), alacsonyabb külső hőmérsékleten hosszabb-rövidebb nappali nyugalmi állapotba kerül (középső görbék), tartósan 16 °C alatt pedig mély téli álomba merül (alsó görbék). Homeosztázisát eközben mindvégig fenntartja, noha testhőmérséklete erősen változik.
A grafikonok a testhőmérsékletet, a jobboldalon bekeretezett számok a környezet átlaghőmérsékletét mutatják. A vízszintes tengelyen a napszakok órákban.

Summa (1.3)

Kérdések, problémák (1)

1. A „kukta” fazékban a szelep súlya szabja meg a túlnyomás lehetséges maximumát. Befolyásolható-e az is, hogy mekkora legyen a nyomás *ingadozása* a fazék belsejében?

2. Vizsgáljuk meg az alábbi folyamatokat aszerint, hogy megvalósul-e bennük visszacsatolás, ha igen: egyszeres vagy ismétlődő, negatív vagy pozitív?
   a) kőművesméh fészeképítésének fázisai (XVI. fejezet)
   b) a Hold keringése a Föld körül (VI. fejezet)
   c) az ásódarázs viselkedése Baerends kísérletében (XVI. fejezet)
   d) vízibolhák mozgása a fény irányába (XVI. fejezet)
   e) operáns típusú tanulás (közben a sikeres viselkedéselemek gyakorisága)

3. Elképzelhető-e hogy az élettelen természetre – például a bolygók mozgására vagy meteorológiai jelenségekre - is alkalmazzuk a kibernetikai modellt? Lehet-e ilyen esetben szabályozott vagy vezérelt folyamatról beszélni?

4. Ma már mesterszintű sakkozóprogramokat készítenek a programozók. Képzeljük el, hogy Kempelen Farkas sakkozóautomatájának pontos mását egy ilyen programmal működtetik. Eldönthető-e valami módon, hogy a zárt szerkezet belsejében ember ül vagy gépezet vezérli?

5. Mi a hasonlóság és a különbség a Vitruvius-féle hodométer és Watt gőzgépe között?

6. Vessük össze a harangjáték-programot (5.ábra) a Watt-féle gőzgép gőznyomás szabályozójának működésével (1. ábra)! Mi a célja (funkciója) az egyiknek és a másiknak? Mitől függ a készülék állapota?

7. Gyűjtsünk példákat a mindennapi életből arra, hogy szakaszos mozgásból egyenletes (folyamatos) keletkezik és fordítva!

8. Az 5. ábra variálható bütykösdobja emlékeztet egy dallam kottájára. Mi a hasonlóság alapja? Tekinthető-e egy lekottázott dallam a bütykösdob modelljének?

Irodalom

- Neumann János: A számológép és az agy, GONDOLAT, 1964
- Wiener, Norbert: Válogatott tanulmányok, GONDOLAT, 1974
- Wiener, Norbert: Matematikus vagyok, GONDOLAT, 1968

- Ashby, W. Ross: Bevezetés a kibernetikába, AKADÉMIAI, 1972
- Bárdos György: Pszichovegetatív kölcsönhatások, SCOLAR, 2003
- Csaba György (szerk): A biológiai szabályozás, MEDICINA, 1978
- Endrei Walter: A programozás eredete, AKADÉMIAI, 1992
- Jursa, Oskar: Kibernetika, MŰSZAKI, 1978
- Magyar László András: A műember története, AKADÉMIAI, 1992
- Mletzko, Ingrid és H. Gerald: A biológiai óra, GONDOLAT, 1984
- Nemes Tihamér: Kibernetikai gépek, AKADÉMIAI, 1962
- Raths, Paul: Az állatok téli álma, Gondolat, 1975
- Tarján Rezső: Kibernetika, Gondolat, 1964

2. A hormonális rendszer

2.1 A hormonok

Cannon homeosztázis-elve nemcsak a külső és belső világ határozott elkülönítését foglalja magába, hanem az egyed belső folyamatainak szervezettségét is. Ez utóbbi funkciója kétféle lehet: vagy **fenntartani igyekszik egy állapotot** (szabályozás), vagy a szervezetet egy **másik állapotba kívánja vinni** (vezérlés). Soksejtű szervezetben ehhez információt kell eljuttatni egyik sejttől a másikig. Néhány sejtből álló lényekben ez közvetlen érintkezés útján valósul meg, bonyolultabb szervezetekben azonban információközvetítő molekulákra: **hormonokra** van szükség.

← XVIII.1.3.3

HORMONOK

A hormonok lehetnek helyi hatásúak – ekkor csak a környező sejtekre hatnak – de testnedvek útján eljuthatnak a szervezet távoli pontjaiba is. Egy bizonyos hormonra azonban csak a sejtek meghatározott csoportja érzékeny: ezek felszínén a hormonnak megfelelő szerkezetű felfogó készülék (receptor molekula) van. Ezeket a sejteket nevezik *célsejteknek* (melyek lehetnek egy célszerv részei). Gyakori (de nem szükségszerű), hogy a termelő sejtek is önálló szerv részei legyenek: ezek a *belső elválasztású (endokrin) mirigyek*. A belső elválasztású mirigyek a külső elválasztásúaktól (pl. verejtékmirigy, emésztőmirigyek) felépítésükben is eltérnek: nincs kivezető csövük, hiszen váladékuk közvetlenül a testnedvbe kerül.

← receptor molekulák működése XIII.4.2.3

← külső belső elválasztás és kiválasztás: XIII.8.1

A **hormon** kifejezést 1902-ben használta először Bayliss és Starling. Az elnevezés (hormao: serkentek, lat.) onnan ered, hogy az először felfedezett hormonok mind valamilyen anyagcsere-folyamatot gyorsítottak, serkentettek. Mai ismereteink szerint sok hormon ezzel ellentétes: gátló hatású, és sok olyan is van, amelyik bonyolultabb működésű: egyes anyagcsere-folyamatokat serkent, másokat gátol.

GÁTLÓ VAGY SERKENTŐ HATÁS

2.2 Hormonok az élővilágban

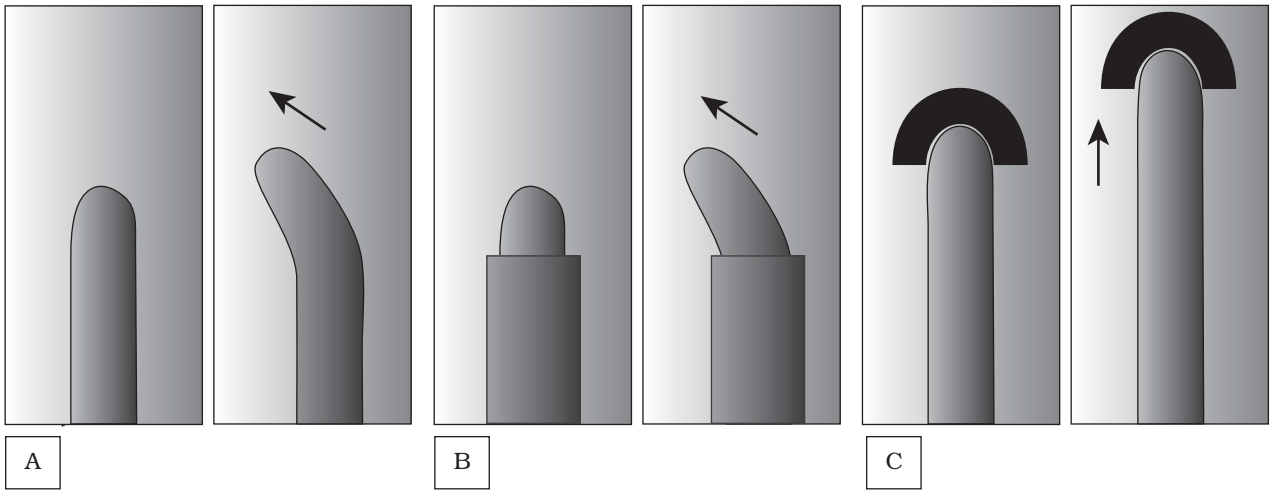
2.2.1 Növényi hormonok

Azt, hogy a növények növekedését testnedveikben áramló anyagok szabályozzák, egy kísérletsorozatának eredményéből már Charles Darwin is sejtette (1880). Darwin köles csíranövényke csúcsát átlátszatlan papírral burkolta be, amely ezek után a féloldalas megvilágítás hatására sem fordult a fény felé. Darwin arra következtetett, hogy a növekedést valami módon a hajtáscsúcs irányítja. A magyar botanikus, Paál Árpád úgy módosította a kísérletet (1919), hogy a levágott hajtáscsúcsot féloldalasan helyezte vissza: ekkor megvilágítás nélkül is létrejött a görbülés az érintkezési felülettel ellenkező irányba. A csúcsban tehát valamilyen növekedést serkentő anyag termelődik, ami a testnedv útján szivárog egyre lejjebb. A hormonhatású anyagot – **az auxint** – hamarosan sikerült is azonosítani. Sok jelenséget egységesen lehet magyarázni, ha föltesszük, hogy az auxin a hajtáscsúcsban eredendően egyenletesen termelődik, de a sok fény (napraforgó), vagy akár a mechanikai érintés is (futóbab) elbontja. Az így létrejövő egyenetlen eloszlás a növekedést is egyenlőtlenné teszi.

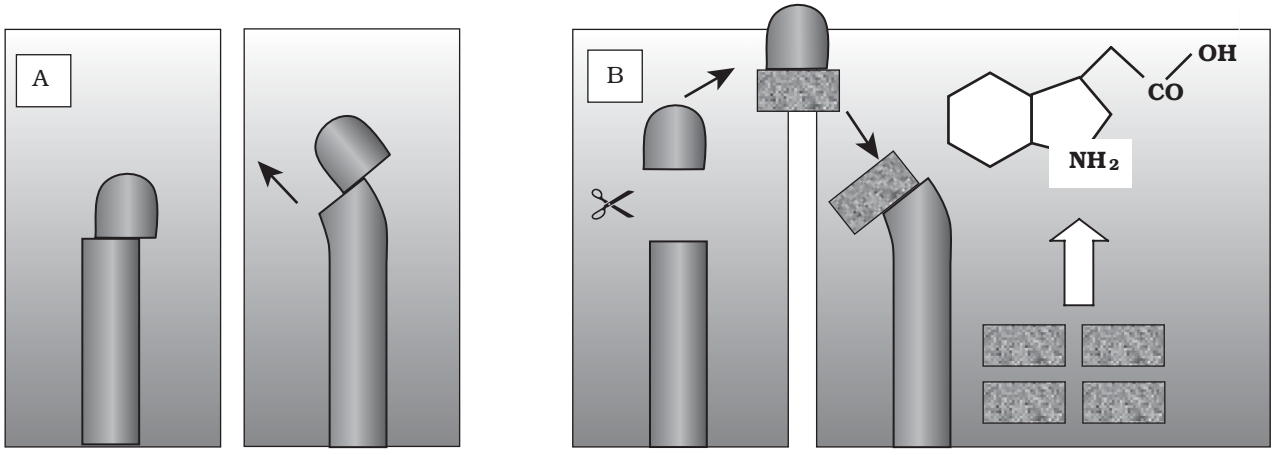
→ evolúciós elmélete XXVII.

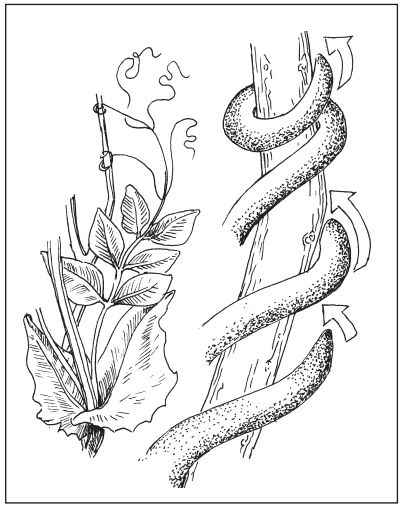
AUXIN

Az auxinokon kívül sok más növényi hormont is felfedeztek (gibberellinek, abszcizinsav, etiléngáz).



15. ábra. ***Darwin kísérleteinek vázlata***
A) A féloldalasan megvilágított csíranövény a fény felé hajlik. B) A növényre húzott kartonhenger nem gátolja az elhajlást, ha a csúcs szabadon marad. C) A csíranövény hajtáscsúcsára helyezett sötét „süveg" gátolja az elhajlást és gyorsabb növekedést vált ki.





16. ábra.
A) ***Paál Árpád kísérlete***
A csíranövény levágott csúcsára féloldalasan ráhelyezett hajtáscsúcs egyenletes megvilágítás mellett, vagy akár teljes sötétségben is elhajlást okoz.
B) Went holland kutató kocsonyás korongra (agar-agarra) helyezte a levágott hajtáscsúcsokat, ebbe szivárgott át a növekedési hormon. A kocsonyás korong a Paál Árpád kísérlethez hasonló elhajlást okozott, s belőle sikerült elkülöníteni a növények növekedési hormonját, az auxint (jobbra fent).

17. ábra. ***Futóbab növekedése***
Ha a kezdetben véletlenszerűen, tekeregve mozgó kacs szilárd felülethez ér, az érintés helyén elbomlik az auxin (sötét pontok), ezért az érintéssel ellentétes oldal nő gyorsabban. A kacs ennek következtében rátekeredik a támasztékra és rögzíti a növényt.

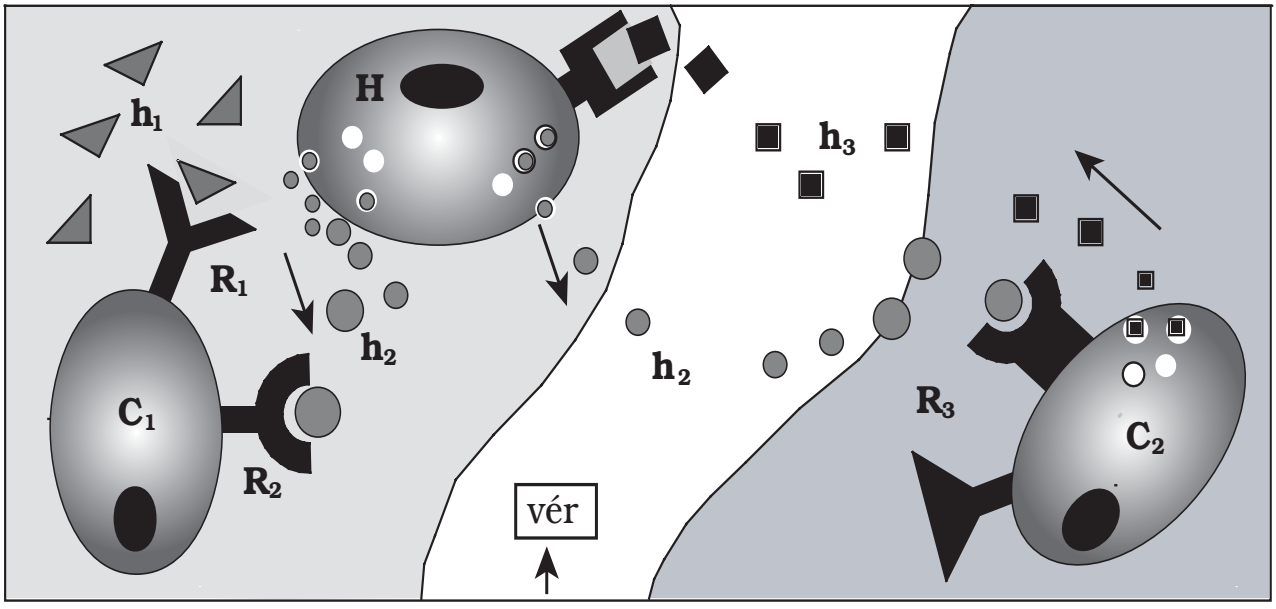
2.2.2 Állati hormonok és feromonok

Az állatvilágban hormonok sorát fedezték föl, melyek többek közt a fejlődés ütemét, az átváltozásokat, a nemi aktivitást szabályozzák. Így például a lepkék hernyóinak vedléseit és a bebábozódás idejét két, ellentétes hatású hormon aránya szabja meg. Egyikük (a juvenil) mesterséges bejuttatása gátolja a bábozódást és hosszú ideig növekvő óriás hernyót eredményez, a másik éppen ellenkező hatású. Hormonok vezérlik a kétéltűek átalakulását is.

→ tiroxin hatása az ebihalakra XVIII.2.4.3

Hasonlít a hormonokhoz a **feromonok** („táv-hormonok") hatása, melyek *az egyedek közti* információáramlás közvetítői. Ilyen illékony anyagokkal csalogatják a nőstény lepkék a hímeket, riadóztatják a megtámadott termeszkatonák társaikat, de feromon-nyomok segítik a hangyákat is a hazavezető út megtalálásában. Az emlős feromonok főként a nemi működésekre hatnak.

FEROMONOK



18. ábra. ***Az állati szervezeten belüli hormonális információtovábbítás sémája***
Ugyanazon célsejtre (C_1) többféle hormon (h_1 és h_2) is hathat, ha felszínén többféle receptor van ezek érzékelésére (R_1 és R_2). Ugyanaz a hormon (h_2) többféle célsejtre eltérő módon is hathat, ha a célsejteken (C_1 és C_2) eltérő hatású receptor molekulák vannak (R_2 és R_3). A célsejtek lehetnek a hormontermelő sejt (H) közelében (ekkor a hormont a szövetnedv juttatja el) vagy távol tőle (ekkor a vér- vagy nyirokkeringés szállítja). A célsejt tájékoztathatja is állapotáról a kibocsátó sejtet, ekkor maga is hormontermelő sejtté válik (h_3 molekulák).

Summa (2.1–2)

A hormonok a soksejtű szervezetek információközvetítő molekulái. Hatásuk lehet helyi, de érintheti a szervezet távoli pontjait is. A hormonok olyan célsejtekre hatnak, melyek felszínén a megfelelő receptor molekula (jelfogó készülék) van.

A növényi hormonok a növekedést, osztódást, virágzást és termésérlelést befolyásolják.

Az állatvilágban feltűnő hatásúak az átváltozással és teljes átalakulással fejlődő fajok életszakaszait megszabó hormonok.

Kérdések, problémák

1. Mi magyarázza Darwin csíranövény-kísérletében azt, hogy a „süveges” példányok magasabbra nőttek, mint köpennyel körülvettek? Mi a biológiai szerepe annak a jelenségnek, hogy fényszegény környezetben magasabbra nőnek a növények, mint jól megvilágított helyen?

2. Trópusi gyümölcsök – például a banán – úgy szállíthatók nagyobb távolságra, ha még éretlenül szedik le. Forgalmazás előtt aztán etiléngázt (etént) vezetnek a rakodótérbe, ami meggyorsítja az érést. Milyen érv szól amellett, hogy az etilént is hormonnak nevezzük? Mi szól ez ellen?

3. Az enzimek és a hormonok egy része is gyorsít egy-egy anyagcsere-folyamatot. Mi a különbség a kettő között? Lehet-e hormonnak enzimhatása?

4. Darwin csíranövény-kísérleteinek eredménye kétféleképpen is magyarázható. Az egyik elmélet szerint a hajtáscsúcs megvilágított oldalán a fény hatására eleve kevesebb auxin termelődik, a másik elképzelés szerint viszont a keletkezés egyenletes, de fény hatására meggyorsul a kész molekulák bomlása. Lehet-e kísérleti úton dönteni a két magyarázat között?

5. Vizsgáljuk meg a hormonális információátadást bemutató ábrát. Feltételezve, hogy a h_1 hormon serkentő hatású, hogyan valósulhat meg a kibernetikai fejezetben leírt negatív visszacsatolás? Milyen biológiai szerepe lehet egy ilyen szabályozókörnek?

2.3 Szabályozás hormonok útján

2.3.1 A kalcium-koncentráció szabályozása

→ pajzsmirigyműködés XVIII.

A légcső egy részét borító pajzsmirigy funkcióját sokáig nem is sejtették. Mirigyes állományának megnagyobbodása (a golyva) régen gyakori jelenség volt, gyakran kísérelték meg műtéti úton eltávolítani a „felesleget”. E műtétek általában sikerültek, néha azonban tragikusan végződtek: a beteg súlyos izomgörcsöket kapott. Alapos vizsgálat után 4 rizsszemnyi csomót találtak a pajzsmirigy állományába ágyazva: kiderült, hogy ezek működésükben egységes szervet alkotnak, amit **mellékpajzsmirigy**nek neveztek el. Az első műtétek akkor sikerültek, ha a mellékpajzsmirigynek legalább egy részét meghagyták (ilyenkor a megmaradt szervrészletek lassan megnagyobbodtak, és átvették az eltávolítottak szerepét is). Teljes eltávolítását nem éli túl a szervezet, hormonja, a **parathormon** tehát életfontosságú.

MELLÉKPAJZSMIRIGY

PARATHORMON

← az izomműködés biokémiájaXIII.9

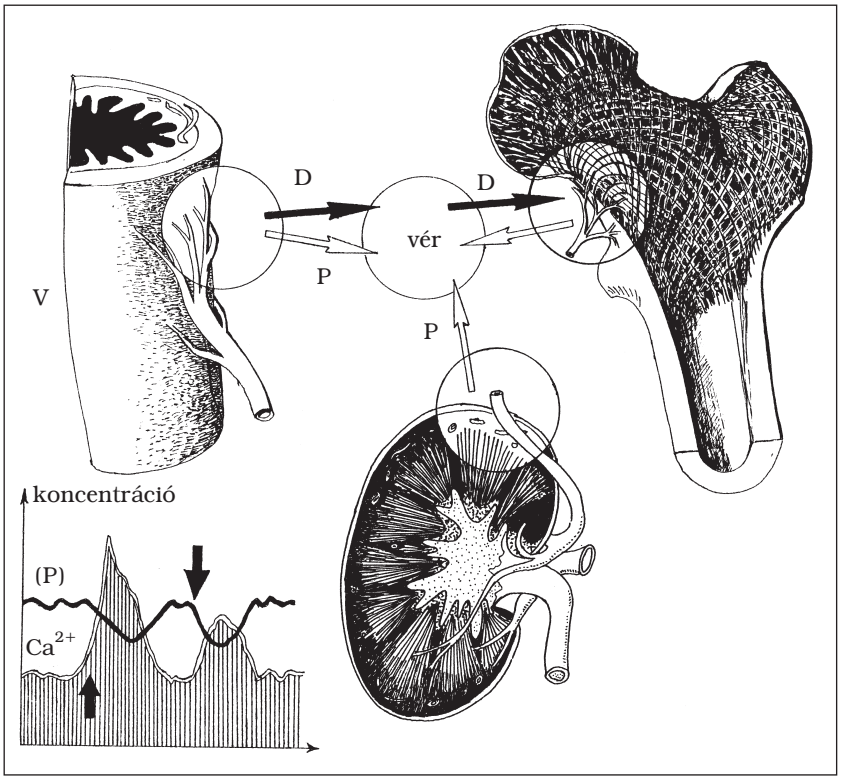
A mellékpajzsmirigy eltávolítása után fellépő izomgörcsöt gyorsan megszünteti egy Ca^{2+}-injekció. Ebből egyrészt arra következtettek, hogy az izmok ingerlékenysége Ca^{2+} hiányában kórosan fokozódik, másrészt arra, hogy a parathormon a szervezet kalcium-anyagcseréjét szabályozza. Azon ritka esetben, amikor túltermelődik (a mellékpajzsmirigy daganatos burjánzása következtében) valóban nő a vér Ca^{2+}-koncentrációja. A parathormon három folyamatot is befolyásol: a Ca^{2+}-felszívódást a bélcsatornából, a Ca^{2+}-visszaszívást a vesén át, és a Ca^{2+} csontokból való kilépését. Hatására a vérbe jutnak a Ca^{2+} ionok. Ez a funkció a csontok normális fejlődése szempontjából is fontos: a növekedés során ugyanis folyamatosan lebomlanak és újjáépülnek a csontgerendák az erővonalak mentén. Ennek szükséges részlépése a fölöslegessé vált gerendákat alkotó csontszövet lebontása, sótartalmuk vérbe juttatása.

← a csont szerkezete X.2.3.1

← negatív visszacsatolás XVIII.1.2
← vitaminok XIII.4.1.2

A parathormon termelését mai tudásunk szerint kizárólag a vér Ca^{2+}-koncentrációja szabályozza, negatív visszacsatolás útján. Magát a Ca-anyagcserét azonban a parathormonon kívül több más anyag is befolyásolja. Ilyen például a **D-vitamin**, amely a középbélből való felszívódását és a csontokba rakódását is gyorsítja. Funkciója tehát a csontépülés fokozása, így hatása részben egyező, részben ellentétes a parathormonéval.

D-VITAMIN



← felszívódás XIII.5.3

← a vér összetétele XIII.7.1

← visszaszívás XIII.8.3.2

← véralvadás XII.7.3

19. ábra. ***A kalcium-anyagcserét szabályozó hormonok hatásai***
A D-vitamin (D, fekete nyíl) előmozdítja a kalciumionoknak a vékonybélből (V) való felszívását és a csontokba épülését. A parathormon (P, világos nyilak) a felszívást, a vese nefronjaiból való visszaszívást és a csontokból a vérbe juttatást egyaránt segíti. A grafikonon a parathormon (P) és a vér Ca^{2+}-ion koncentrációját tüntettük föl. A nyíllal jelzett első időpontban kalciumtartalmú injekciót kapott az állat, a második nyíllal jelzett időpontban parathormont.

2.3.2 A cukor-anyagcsere szabályozása

CUKORBETEGSÉG

A **cukorbetegséget (diabetes)** az ókorban is ismerték. Tüneteit (magas vércukorszint, cukorürítés, a vér savasodása, fokozott vízvesztés és súlyos esetben föllépő kómás, eszméletlen állapot) szigorú diétával igyekeztek elkerülni, de nem tudták orvosolni. Az első eredmény a múlt század végén született, amikor két kutató az emésztés folyamatának tanulmányozásakor eltávolította a kísérleti kutya hasnyálmirigyét. Meglepő módon nemcsak az emésztésben következtek be zavarok, hanem a cukorbetegség jellegzetes tünetei is felléptek. Arra gyanakodtak, hogy a hasnyálmirigynek kétféle funkciója van: egyrészt külső elválasztású emésztőmirigy, másrészt a vércukorszintet szabályozó hormont termel. Mikroszkópos vizsgálattal a német Langerhans a hasnyálmirigy állományába ágyazott, de attól elütő, szigetszerű sejtcsoportokat talált (*Langerhans-szigetek*). A század húszas éveiben aztán sikerült e sejtcsoportból első ízben hatásos szert elkülöníteni, mely megszüntette a cukorbetegség legsúlyosabb tüneteit. A hormont a sziget latin neve után (insula) **inzulin**nak nevezték el (F. Grant Banting a fölfedezésért 1923-ban kapott Nobel-díjat), s 1926-ban már tiszta, kristályos formában is előállították. 1963 óta mesterségesen is elő tudják állítani, így a hatásos gyógyszer tömegesen is hozzáférhető.

← diéta (ókor) III.4

← emésztés XIII.5.2

INZULIN

← szerkezetének vizsgálata XII.8.3.3

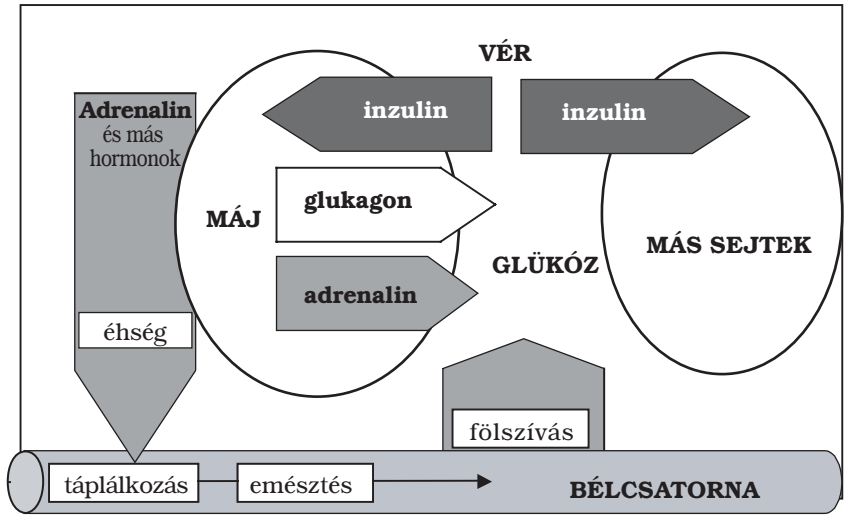
AZ INZULIN HATÁSA

Ha egészséges szervezet vérébe inzulint adagolunk, fokozódik a glükóz felszívódása a vérből a sejtekbe, ugyanakkor a májban is gyarapodni kezd a glükogénkészlet. Mindkét folyamat a **vér glükóz-koncentrációjának csökkenését** eredményezi. Ugyanakkor megfigyelhető az is, hogy az injekció beadását követően nem sokkal csökkenni kezd a hasnyálmirigy saját inzulin-termelése, minek következtében a fenti folyamatok lelassulnak, s a vércukorszint lassan újra közelíteni kezd az eredeti értékhez. A hasnyálmirigy Langerhans-szigetei tehát érzékelik a vércukorszint csökkenését, s arra hormontermelésük csökkentésével válaszolnak (negatív visszacsatolás). A folyamat azonban ezen a módon még nem lenne elég gyors. 1923-ban a Langerhans-szigetekből elkülönítettek egy másik hormont is, melyet **glukagonnak** neveztek el. A glukagon a máj glükogénkészletét lebontó enzim aktivitását serkenti, ezáltal **vércukorszintet növelő** hatású. Fokozott termelődését a vércukorszint csökkenése váltja ki. A fenti kísérletben tehát a külső inzulinadagolás után lecsökkenő vércukorszint visszaállítását nem csupán a saját inzulintermelés csökkentése, hanem a glukagontermelés fokozása is előmozdította. A normális szervezetben a két hormon működése egy irányba hat. A glukagon anyagot nyújt az inzulinnak, hogy az kifejthesse hatását: lehetővé teszi, hogy a máj glikogénjéből keletkező glükózt az a szervezet sejtjei (főként az idegsejtek) fölvegyék, és energiát nyerjenek belőle.

← szabályozás XVIII.1.2

GLUKAGON: ELLENTÉTES HATÁS ÉS EGYÜTTMŰKÖDÉS

→ idegsejtek működése XVIII.3.1.2



20. ábra. ***A cukor-anyagcsere szabályozásában részt vevő néhány fontosabb hormon***

← a máj működése XIII.6.2
← stressz XVIII.3.2.8
← glükóz oxidációja XIII.3.2
← vegetatív központok XVIII.3.2.5–6
← szénhidrátok emésztése XIII.5.2.2

A cukorbetegség tüneteiből arra következtethetünk, hogy az inzulin nemcsak a glükóz sejtekbe juttatásához, hanem az energianyerés teljes folyamatához is szükséges. Hiányában a sejtek – a magas vércukorszint ellenére – éheznek, energiaigényüket egyéb anyagok – pl. zsírok – részleges lebontásával próbálják fedezni. Ezek kóros lebomlási termékei (aceton, szerves savak) megjelennek a vérben, és annak kémhatását savasra változtatják. Kezelés hiányában a vér savasodása végzetessé válik.

← erjedés XIII.3.1
← XII.4.3

A cukorbetegség két típusa közül a fiatalkori vagy **1. típusú** ered az inzulinhiányból. Viszonylag ritka, gyors lefolyású, súlyos betegség, mely csak inzulinadagolással kezelhető. Az inzulintermelés csökkenésének valószínűleg nem egyetlen kiváltó oka van. A hajlam öröklődik, de hogy kifejlődik-e maga a betegség, az életmódtól, testi-lelki megrázkódtatásoktól, esetleges vírusfertőzéstől is függ. Föltételezhető, hogy ha olyan vírus tá-

→ örökletes betegségek XXIII.
→ egészség és betegség XVIII.5

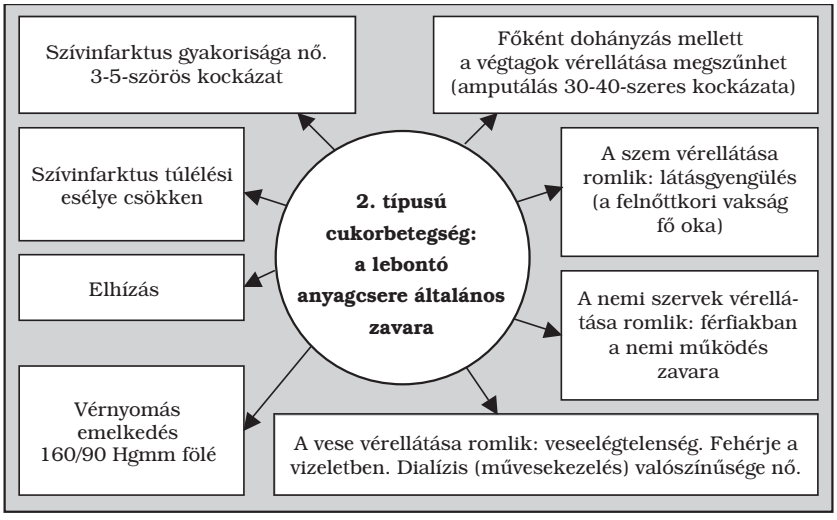
madja meg a szervezetet, melynek antigén-fehérjéi hasonlítanak a hasnyálmirigy szigetek felszíni fehérjéire, akkor a megtévesztett immunrendszer maga pusztítja el saját hormontermelő sejtjeit (autoimmun reakció).

→ autoimmun betegség XVIII.4.2.5

A cukorbetegség másik típusa – **a 2. típusú diabetes** – lassabban kifejlődő kór, mely főként a városlakók körében terjed gyorsan. Eredetileg csak időskorban jelent meg, ma már 20 éves kor alatt is előfordul. A telített zsírokban és szénhidrátokban gazdag, túlzott mennyiségű táplálkozás, a mozgásszegény életmód segíti kialakulását. Ebben a betegségtípusban az inzulintermelés – ha csökkent mértékben is – megmarad, ám a hormon hatékonysága csökken. Tünetei enyhébbek, mint az 1. típusú változaté, de szerteágazó anyagcserezavart okoznak, ezért hosszú idő alatt sokféle súlyos következménnyel járhatnak. Jellemző okai miatt ez a betegség tipikus **civilizációs ártalom.** Legfontosabb teendő a megelőzés: a testi-lelki kiegyensúlyozottság, ha pedig a tünetek már megjelentek, a diéta és az életmódváltás.

CIVILIZÁCIÓS ÁRTALMAK

→ pszichoszomatikus betegségek XVIII.5.1



21. ábra. ***A 2. típusú cukorbetegség, mint a lebontó anyagcsere általános zavara***

← a keringési rendszer betegségei X.4.3.5

← a vese működése XIII.8.3

← a légzőrendszer betegségei X.3.3

← a retina XIV.1.9

Summa (2.3)

A hormonok: anyagcserét szabályozó vagy vezérlő anyagok.

A mellékpajzsmirigyek által termelt parathormon a vér Ca^{2+}-koncentrációját három úton emeli: fokozza a csontok $CaCO_3$-tartalmának lebomlását, növeli a Ca^{2+}-k felszívását a bélcsatornából és csökkenti a vizeletbe kerülő Ca^{2+} mennyiségét. Hiányában a fokozott izomingerlékenység miatt izomgörcsök lépnek fel, túltermelődése – többek közt – csontritkuláshoz vezet. A parathormon hatásával részben ellentétes, csontfelépülés fokozó anyag a D-vitamin. Napfény hatására a bőrben keletkezik, vagy a táplálékkal kell fölvenni.

Az inzulin a hasnyálmirigy Langerhans-szigeteiben termelődik. A cukor sejtekbe jutását, oxidálását és glikogénné épülését egyaránt előmozdítja, ezért a vércukorszintet csökkenti. Az ugyanitt termelődő glukagon részben ellentétes hatású: a máj glükogénkészletének lebontását serkenti, így emeli a vércukorszintet. Az inzulintermelés hiánya vagy a lebontó anyagcsere szabályozásának más zavara okozza a cukorbetegséget.

2.4 Vezérlő szerepű emberi hormonok

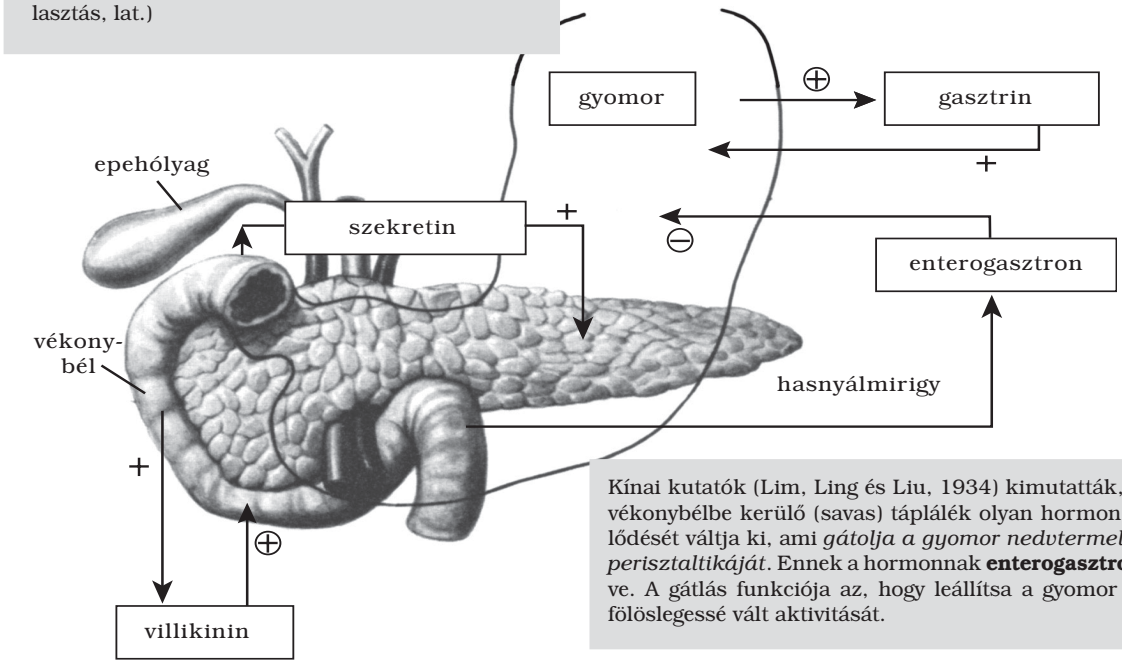
2.4.1 Az emésztés irányítása

← az emésztés lépései XIII.5.2

Egy olyan bonyolult, soklépcsős folyamat, amilyen egy kiadós ebéd megemésztése, megköveteli, hogy a bélcsatorna teljes hosszában összerendezett reakciók menjenek végbe. Hormonok sorát fedezték föl, melyek a folyamatot irányítják. Ezek közül a bélhormonok közül mutat be néhányat a 22. ábra.

Életetéses kísérletei során Pavlov felfigyelt arra, hogy a gyomorba helyezett táplálék néhány perc után elindította a gyomornedv kiválasztását, még bolygóideg-metszett állatokban is. Magyarázata az, hogy a gyomorba került táplálék a gyomorfalból olyan anyag termelődését váltja ki, ami serkenti a gyomornedv-kiválasztást. Az angol Edkins kutyákból sikeresen ki is vonta ezt az anyagot, s ha ezt egy másik kutya vérébe fecskendezte, úgy abban táplálék hiányában is gyomornedv-termelés indult meg. Ezzel bizonyították, hogy a gyomorfalból hormon kerül a véráramba, ami serkenti a mirigysejtek működését. Az anyagot **gasztrin**nak (gyomor-hormonnak) nevezték el (gaster: gyomor, lat.).

Bayliss és Starling 1902-ben megfigyelték, hogy a vékonybélbe savtartalmú oldatot fecskendezve, valami akkor is megindítja a hasnyálmirigy nedvtermelését, ha a bolygóideget előzőleg átvágták. Az új hormont **szekretinnek** nevezték el. (Secretio: kiválasztás, lat.)



Kínai kutatók (Lim, Ling és Liu, 1934) kimutatták, hogy a vékonybélbe kerülő (savas) táplálék olyan hormon termelődését váltja ki, ami *gátolja a gyomor nedvtermelését és perisztaltikáját*. Ennek a hormonnak **enterogasztron** a neve. A gátlás funkciója az, hogy leállítsa a gyomor immár fölöslegessé vált aktivitását.

22. ábra. ***Az emésztés folyamatát vezérlő hormonok***

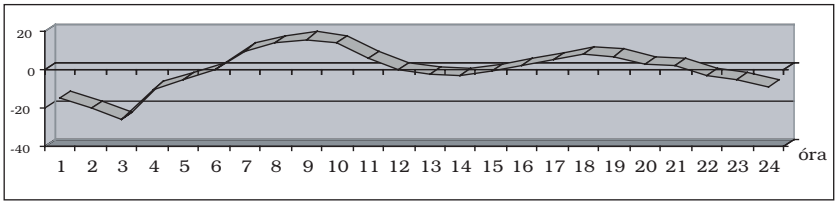
Magyar kutatók (Kokas Eszter és Ludány György) jöttek rá arra, hogy a bélbolyhok mozgását egy hormon idézi elő. Kísérletükben két altatott kutya vérkeringését összekapcsolták, így közös keringési rendszert hoztak létre. Ha ezután az egyik kutya vékonybelébe enyhén savas táplálékmasszát juttattak, úgy az a másik kutya bélbolyhait is fokozott aktivitásra serkentette. Fel kellett tehát szabadulnia egy anyagnak, ami a bélbolyhok aktivitását fokozza. Ezt **„bolyhokat serkentőnek" (villikininnek)** nevezték el.

2.4.2 Ciklikus folyamatok

A hormonok egy része napszaktól vagy évszaktól függő mennyiségben termelődik. Ez az élőlények ciklikus, időről időre visszatérő állapotaival párhuzamosan zajlik le.

Az emberi szervezetben például napi, hónaptól és évszaktól függő ritmusok váltják egymást. A napi aktivitás szintje szorosan összefügg a mellékvese noradreanalin termelésével, és szinte minden szerv aktivitását befolyásolja. A nemi működések ciklikus vezérlése az agyalapi mirigy nemi hormonjainak irányítása alatt áll.

Az évszakos aktivitásra példa a téli álom (rágcsálók, medve), mely mindig a pajzsmirigy tiroxintermelésének csökkenésével jár együtt. Hasonlóképpen az állatok szexuális aktivitása (pl. szarvasbőgés) is összefügg a vérükben ekkor emelkedő hím nemi hormonok szintjével. A ciklusok több, egymást gátló vagy serkentő hormon összjátékának eredményeképpen zárulnak és kezdődnek újra.



ÉVSZAKOS, HAVI, NAPI RITMUSOK

→ életciklusok hormonális szabályozása XXIV.

23. ábra. ***Az ember napi aktivitása és a vér noradrenalin szintje szorosan összefügg***
A függőleges tengelyen a noradreanalin koncentráció (a 6 órai értéket 0 szintnek tekintve), a vízszintes tengelyen a nap órái. A mellékvese a reggeli órákban termeli a legtöbb noradrenalint, a legélénkebb az agyműködés a délelőtti órákban, kora délután az emésztéssel egyidejűleg mélypont következik, majd kb. este 9 óráig újabb emelkedés. Az éjszakai órák igen alacsony noradrealin szintje alvás, pihenés igényt jelez. A szellemi és testi munka tervezésekor ajánlatos figyelembe venni ezt a természetes ritmust.

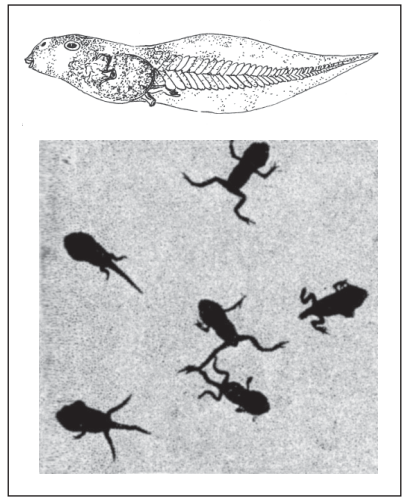
2.4.3 Egyirányú folyamatok

A biológiai ciklusok, és az olyan rövid távú állapotváltozások, mint amelyek az emésztés során zajlanak, az egyén életében *rendszeresen ismétlődő* folyamatok. A szervezetben azonban eközben egyirányú, *visszafordíthatatlan változások is végbemennek*. Ilyen a növekedés, a fejlődés, az öregedés. Ezek vezérlése szintén hormonokkal függ össze.

A **pajzsmirigy** szerepére állatkísérletek hívták fel a figyelmet a múlt század végén. A XX. század húszas éveiben sikerült tisztán elkülöníteni a pajzsmirigy (egyik) hormonját: a **tiroxint**, mely módosított, jódtartalmú aminosav. Hatását elemezve kiderült, hogy a szervezet tartalékainak felhasználását, oxidációját segíti elő, a mitokondriumok aktivitását fokozza.

A pajzsmirigy-rendellenességek tünetei az embereknél is előfordulnak. A középkorban egyes vidékeken (pl. néhány svájci faluban), ahol kevés jódot tartalmazott a táplálék, tiroxinhiány lépett fel. Eredményeként törpe növésű, szellemileg visszamaradott emberek fejlődtek (kretének). Ezzel ellentétben, a pajzsmirigy-túlműködés esetén (Basedow-kór) rendkívül élénk, ideges, dülledt szemű, állandóan evő és mégis sovány a beteg. A túlműködés a pajzsmirigy hormontermelő állományának, a hiányos működés pedig kötőszövetes (hormont nem termelő) állományának megnagyobbodását okozza.

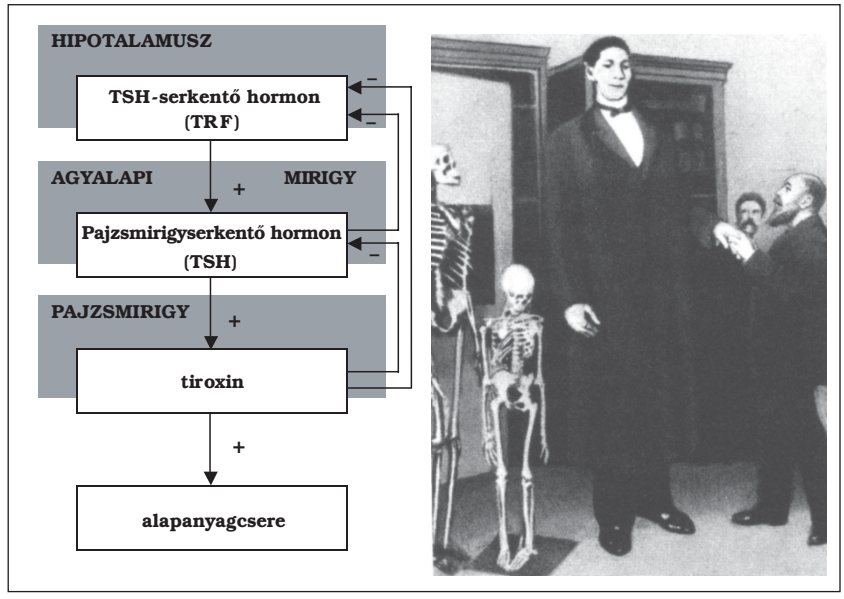
Jódhiányos területeken a konyhasóba kevert igen kevés jóddal teljesen megszüntették a tüneteket. A kialakult betegségen azonban már nem lehetett javítani. A növekedéshez, és az idegrendszer normális fejlődéséhez fiatal korban elengedhetetlen az intenzív anyagcsere, amit a tiroxin tart fenn. Olyan élőlényekben, melyekben az agyalapi mirigy vagy a hipotalamusz sérült, normális pajzsmirigy esetén is fellépnek a hiánytünetek. Ezeken az agyterületeken tehát pajzsmirigyserkentő hormonok (is) termelődnek. Elő is állították őket: az agyalapi mirigyből a **pajzsmirigyserkentő hormont** (TSH= *t*hyreoidea *s*timuláló *h*ormon), a hipotalamuszból pedig a TRH-t



24. ábra. ***Tiroxin hatása ebihalak átalakulására***
Megfigyelések szerint a pajzsmirigyirtott *fiatal állatok* fejlődése visszamaradt. Ha ebihalakon végezték el a műtétet, nem alakultak át kifejlett állattá, ha viszont pajzsmirigykivonatot kaptak, egészen apró békákká változtak. *Kifejlett állatokat* a pajzsmirigy-elégtelenség lassúvá, közönyössé tesz, testhőmérsékletük és vércukorszintjük csökken, étvágytalanná válnak. A túladagolás ellenkező hatású.
Fent egy óriáslárva, melynek pajzsmirigyét kioperálták. Lent pajzsmirigykivonattal kezelt ebihalak, melyek apró békaporontyokká alakultak.

(**t**hyreoidea **r**eleasing **h**ormon), amit magyarul a *„pajzsmirigyserkentő hormont serkentő hormon”* néven nevezhetnénk. Mindkettő (túl)termelődését gátolja maga a tiroxin, így a negatív visszacsatolás miatt az anyagcsere nem válik túl intenzívvé. A hipotalamusznak azonban van saját aktivitása is, ezenkívül más hormonok és idegi hatások is serkenthetik vagy gátolhatják TRH-termelését. Így aztán az anyagcsere intenzitása, s ezzel összefüggésben a növekedés üteme sem egyenletes.

→ stressz XVIII.3.2.8



25. ábra. ***A pajzsmirigy működésének irányítása. A + jelek serkentő, a – jelek gátló hatást jelölnek.***

26. ábra. **Machnow, az óriásnövésű fiatalember (238 cm).** Mellette egy magas patagón és egy alacsony busman csontváza áll. Az óriásnövés többnyire a növekedési hormon szokatlanul magas koncentrációjával függ össze.

NÖVEKEDÉSI HORMON

Az anyagcsere fokozása önmagában még nem vezetne növekedéshez. Éppen ellenkezőleg: eltékozolná a szervezet tartalékkészleteit. Szükséges tehát, hogy egy másik hormon ellensúlyozza ezt a hatást, a lebontás helyett a felépítő folyamatokat serkentse. Ilyen az agyalapi mirigyben termelődő **növekedési hormon** (STH = **s**zoma**t**otrop **h**ormon), mely főleg a fehérje-fölépítést (izom- és csontképződés) mozdítja elő. Túltermelődése esetén óriásnövés, hiányában arányos törpeség alakul ki. Az ilyen törpék szellemileg épek, gyakran nagyon értelmesek.

2.4.4 Az agyalapi mirigy (hipofízis)

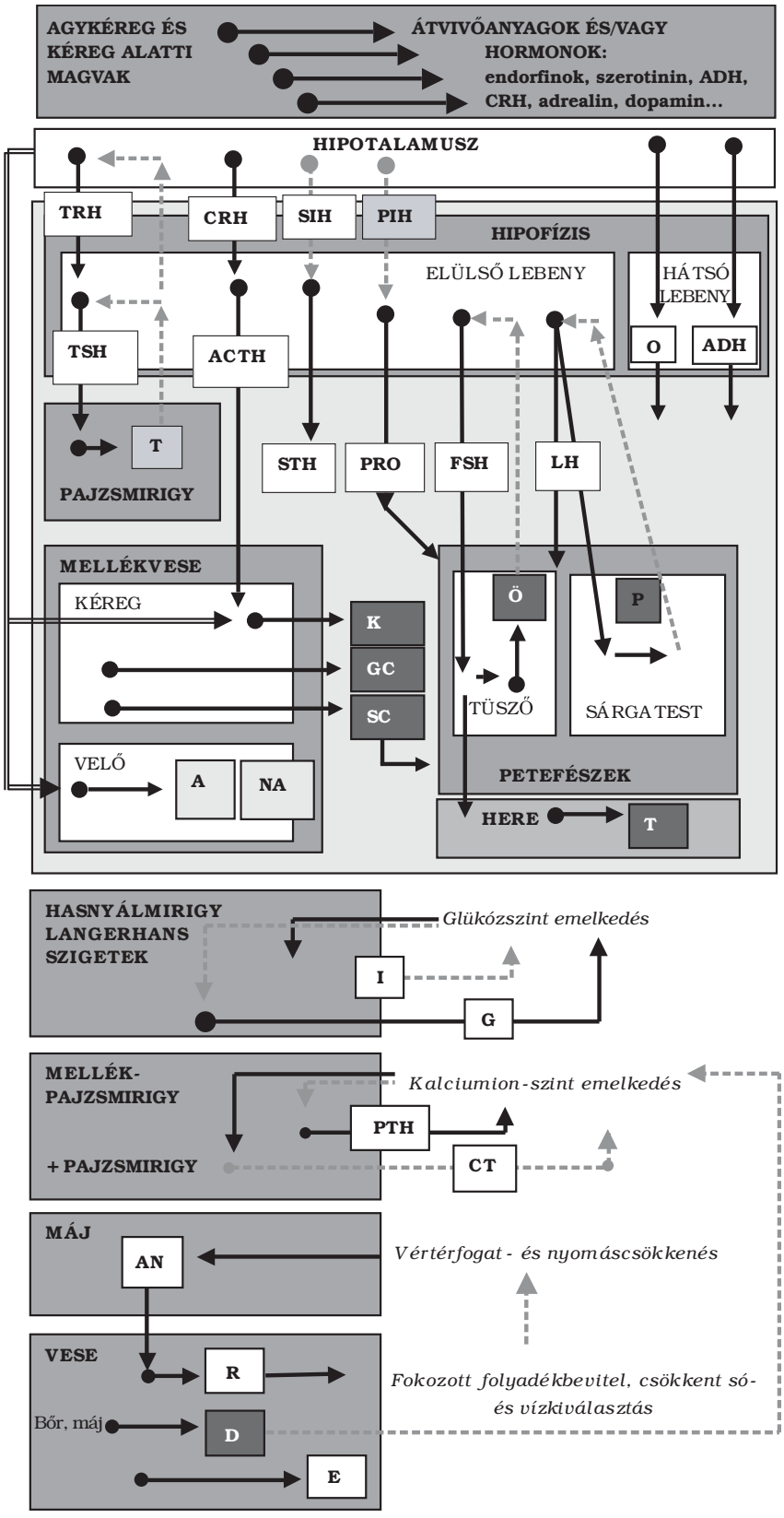
AGYALAPI MIRIGY

A hormontermelő belső elválasztású mirigyek közül az **agyalapi mirigy** nemcsak azért kivételes, mert sokféle hormont termel, hanem azért is, mert ezek egyike sem közvetlenül hat a szervezet sejtjeire, hanem *más belső elválasztású mirigyek működését hangolja össze*. (Sokáig úgy gondolták, hogy a növekedési hormon közvetlenül a sejtekre hat, újabb eredmények szerint azonban ez is egy májban termelődő hormonon keresztül fejti ki hatását.) Két lebenye közül az elülső a valódi hormontermelő szerv, a hátsó tárolja, és a szükségnek megfelelően kibocsátja azokat az anyagokat, melyek a hipotalamuszból vándoroltak oda. A hipotalamusszal való szoros kapcsolata miatt az agyalapi mirigy az idegi és a hormonális rendszer egyik összehangolója is.

a hipotalamusz szerepe:
→ stressz XVIII.3.2.9
→ hatása az immunrendszerre XVIII.5.3.2

Az agyalapi mirigy és a mellékvese kapcsolatát a 3.4.8 fejezet tárgyalja, a szervi működések hormonális szabályozását pedig a XXIV. fejezet (Életcikusok) mutatja be.

→ szervi működésekre: XXIV.



Néhány hormon termelődési helye, hatása és szabályozása az emberi szervezetben

Rövidítések jelentése:

TRH: TSH serkentő h.,
TSH: pajzsmirigyserkentő h.,
T: tiroxin és trijód-tirozin,
CRH: ACTH serkentő hormon,
ACTH: mellékvesekéreg-serkentő h.,
SIH: STH gátló hormon,
STH: növekedési h.,
PIH (=dopamin): prolaktin gátló h.,
PRO: prolaktin = tejelválasztást serkentő h.,
O: oxitocin,
ADH: vazporesszin = vízvisszaszívást fokozó h.,
FSH: tüszőserkentő h.,
Ö (=ösztrogének): tüszőhormon,
LH (=luteinizáló h.): sárgatest serkentő h.,
P =(progeszteron): sárgatest h.,
T: tesztoszteron,
A: adrenalin, NA: noradrenalin,
K: kortizol,
GC (=glükokortikoidok): cukoranyagcserét szab. h.,
SC : szexuális hatású kéreg h.,
I: inzulin,
G: glukagon,
PTH: parathormon,
CT: calcitonin,
AN: angiotenzin,
R:renin,
D: D-hormon (=D-vitamin),
E: eritropoetin

A folyamatos nyilak serkentő, a szaggatottak gátló hatást jelölnek.
Sötét hátterű jelzi a szteránvázas vegyületeket, világos alapon sötét betű a módosított aminosavakat, fekete betű a peptideket és glükoproteideket.

Az ábrán látható hormonok közül elsősorban a nemi működésekre hatnak az FSH, LH, Ö, PRL, P, T és az SC jelűek – részletes leírásukat lásd a III. kötetben, a XXIV. fejezetben.
A renin (R) és az angiotenzin (AN) a vese víz és sóvisszaszívását fokozza.
Az eritropoetin (E) a vérképzést fokozó hatású hormon.

Summa (2.4)

A bélcsatorna perisztaltikus mozgását és az egyes emésztőmirigyek működését idegi és hormonális úton hangolja össze a szervezet (Pavlov).

A szervezet ciklikusan is kerülhet hasonló állapotba (napi ritmus, nemi ciklus, téli álom).

Az egyirányú folyamatok közül a növekedés-differenciálódásra a pajzsmirigy hormonja, a tiroxin, és az agyalapi mirigyé, a növekedési hormon (STH) összjátéka hat serkentően. A tiroxin az anyagcsere intenzitását (lebontó folyamatokat) mozdítja elő, az STH a fehérjefelépítést.

Kérdések, problémák (2)

1. A szövetek által termelt szén-dioxid és az izmok által előállított tejsav egyaránt fokozza a légzést és a keringés intenzitását. Tekinthetők-e ezek hormonoknak?

2. Vajon azért indul meg a szarvasbőgés, mert a bikák vérében megemelkedik a tesztoszteron (hím nemi hormon) szintje, vagy fordítva: azért emelkedik meg a tesztoszteron-szint, mert bőg a szarvas? Eldönthető-e ez a kérdés kísérletileg vagy megfigyelés útján?

3. Az alábbi táblázat négy kísérleti állat vérének TRH, TSH és tiroxin-koncentrációját, valamint anyagcseréjük intenzitását (oxigénfogyasztását) mutatja. (100%: a kontroll állatok anyagcsere-intenzitása). Melyik állattal mi történhetett?

	1. állatcsoport	**2. állatcsoport**	**3. állatcsoport**	**4. állatcsoport**
plazma – TRH	64%	60%	220%	191%
plazma – TSH	195%	52%	187%	180%
plazma – tiroxin	172%	210%	163%	61%
alapanyagcsere	158%	145%	149%	64%

(Szeberényi nyomán)

4. A szakácsművészet (gasztronómia) egyik ősi módszere, hogy a főétel előtt (mely általában húst tartalmaz) valamely étvágygerjesztő előételt (aperitifet) szolgálnak fel. Mi az élettani alapja ennek az eljárásnak?

5. Mi a funkciója a szekretin termelődésének? Miért nem közömbös számára a vékonybélbe kerülő anyag kémhatása?

6. Hogyan változna meg egy olyan állat emésztése, amelynek bolygóidege sérült? Mi a következménye, ha mindenfajta idegi kapcsolat megszűnik a központi idegrendszer és a bélcsatorna között?

Irodalom:

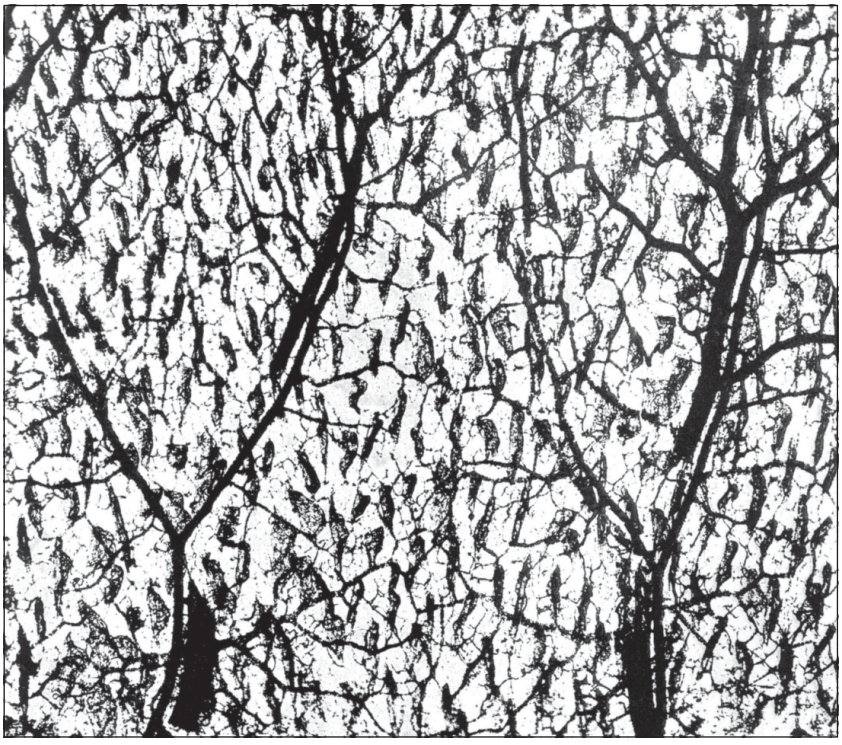
- A csodálatos emberi test, READERS DIGEST, 2001 / 1996 Stuttgart
- Bánki M. Csaba: Az agy évtizedében, BIOGRÁF, 1994
- Dr Csaba György (szerk): A biológiai szabályozás, MEDICINA, 1978
- Jacob–Jager–Ohmann: Botanikai kompendium, NATURA, 1985
- Kertai Pál: Korunk biológiája, GONDOLAT, 1973
- Mletzko, Ingrid és Horst: A biológiai óra, GONDOLAT, 1984
- Obál Ferenc (szerk): Az emberi test I–II., GONDOLAT 1986
- Raths, Paul: Az állatok téli álma, GONDOLAT, 1975
- Tangl Harald: A hormon és az ember, FRANKLIN, 1937

3. Az idegrendszer

3.1 Az idegsejt

3.1.1 Fölépítésük

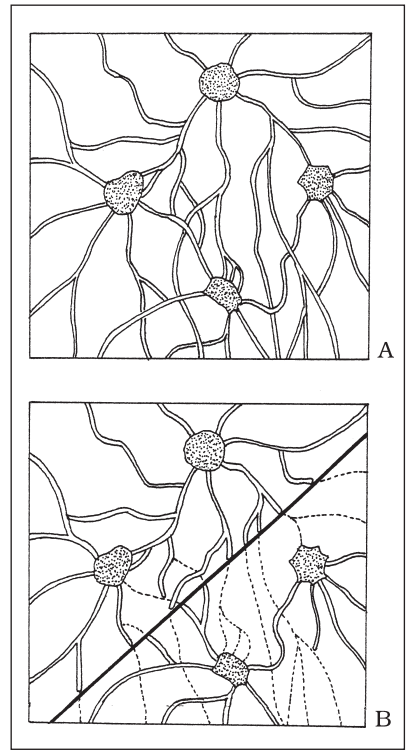
Miközben az állatélettan és etológia kutatói az elemi *magatartás*egységeket (főleg a reflexeket) vizsgálták, az anatómusok igyekeztek megtalálni ezek *szerkezeti megfelelőit*. Azt a sejtést, hogy – más szövetekhez hasonlóan – az idegrendszer is sejtekből épül fel, a rendkívül hosszú, elágazó nyúlványok miatt nehéz volt igazolni.



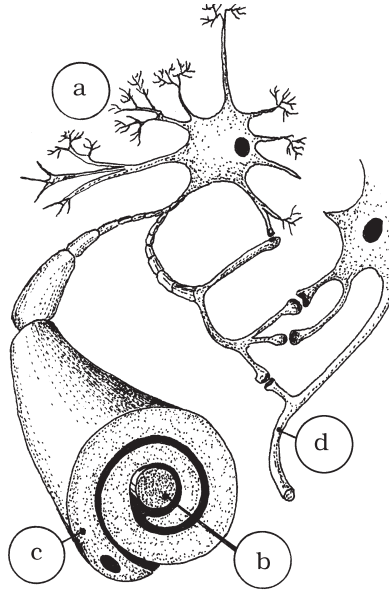
28. ábra. ***Golgi-féle festéssel láthatóvá tett idegsejt-hálózat*** patkány vékonybelének falából. F. W. Fawcett felvétele (Harvard M. School)

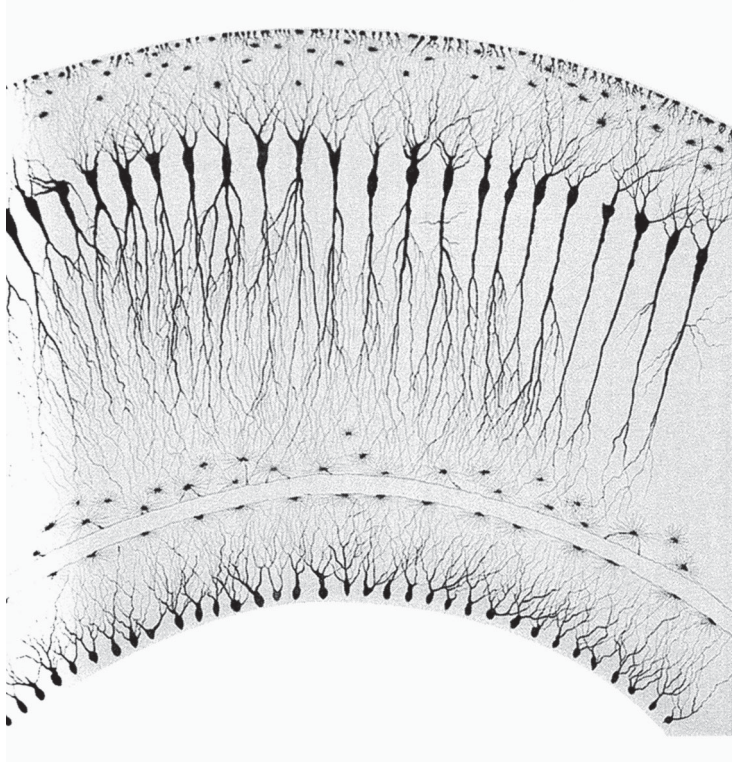
Az idegrendszer sejtes felépítését a spanyol Ramón y Cajal (1852–1934) és a magyar Lenhossék Mihály bizonyította – felhasználva ehhez Golgi festési módszerét is. Az igazi áttörést azonban az elektronmikroszkóp felfedezése és alkalmazása hozta (1954). Ennek segítségével igazolták, hogy az idegrendszerben az egyes idegsejteket igen keskeny rések választják el egymástól.

Az idegsejtek hosszú nyúlványait – az axonokat – sok esetben vastag, réteges felépítésű burok, **velőshüvely** borítja. Ezt a kísérő, úgynevezett Schwann-sejtek hozzák létre (az idegrendszer ún. környéki részében, az agy- és gerincvelőn kívül), úgy, hogy föltekeredne rájuk. A velőshüvely a Schwann-sejtek határain rövid szakaszokon megszűnik, ezeket befűződéseknek nevezik. A befűződésekben tehát az axon membránja közvetlenül érintkezik a környezetével.



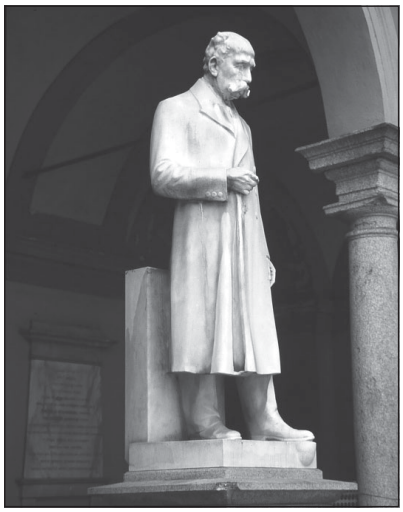
27. ábra. ***a) Idegsejtek és nyúlványaik kapcsolatának egyszerű kimutatása***
Az olasz Camillo Golgi (1843–1926), olyan festési eljárást dolgozott ki, amely az idegsejteket szelektív módon tette láthatóvá. Golgi úgy gondolta, hogy az egész idegrendszer egyetlen összefüggő hálózat, ám később több megfigyelés ellentmondott ennek. Ha például egy nyúlványt átmetszettek, úgy a metszés egyik oldalán fekvő rész elhalt, a másik ellenben regenerálódott. Nyilván ez utóbbi maradt összeköttetésben a nyúlványokat növesztő és tápláló sejttesttel.
A: A sértetlen rendszer B: Az átmetszés hatása





29. ábra. (jobbra) ***Idegsejtek rajza Camillo Golgi 1903-ban megjelent művéből***
Golgi ezüst-nitrát oldattal kezelte a metszeteket, az idegsejtek nyúlványaira kiváló finom ezüstréteg csodálatos pontosságú, fekete rajzolatként jelent meg. A képen az agykéreg egy részlete, a hippocampus látható.

30. ábra. (balra) ***Idegsejt vázlatos rajza***
A sejttestből számos – általában rövid – nyúlvány, dendrit (a) és egy – többnyire hosszabb – axon (b) indul ki. Az axont gyakran a Shwann-féle sejtekből (c) képződő velőshüvely védi és szigeteli. Az axonok egy része vékonyabb és velőshüvely nélküli – mint a rajzon a „d" jelű – ezekben jóval lassabban terjed az ingerületi állapot.



29/b ábra. ***Camillo Golgi (1844–1926) olasz biológus szobra a Paviai Egyetem udvarán.***

Sok párhuzamosan futó axon kötegét nevezik **pályának**, ha a központi idegrendszeren belül halad, **idegnek**, ha kilép más szövetek közé. Idegsejtek sejttestjeinek csoportosulása a központi idegrendszerben **mag**, másutt: **dúc**. Az idegsejteket a velőshüvelyt képző sejteken kívül más sejtek is kísérik. Ezek összefoglaló neve a központi idegrendszerben: **glia**. (glia = ragasztó, gör.) A gliasejtek szerepéről még keveset tudnak. Felteszik, hogy az idegsejtek tápanyag- és energiaellátásában vesznek részt, de sok más funkciót is tulajdonítanak nekik.

3.1.2 Elemi idegműködések

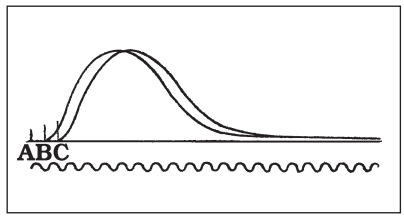
Az idegrendszer működéséről szóló *mechanikus elképzeléseket* („harangkötél-modell") valószínűleg Descartes is csak hasonlatnak szánta. Mindenesetre az a nézete, hogy a mozgató idegekben valamiféle igen könnyű folyadék (spiritus animalis, „életszellem") áramlik, arra ösztönözte a kutatókat, hogy ezen áramlás anyagi mibenlétét tisztázzák.

Galvani híres békacomb-kísérletei után úgy vélte, hogy az agyból minden szervhez, így az izmokhoz is *elektromosság* áramlik. A „spiritus animalis" helyére ezzel egy mérhető fizikai mennyiség került. Galvani sze-

rint az idegek nagyjából úgy vezetik az elektromosságot, mint a *fémhuzalok*. Amennyiben ez így van, hasonlóan gyors bennük az áram terjedési sebessége is (ha egyáltalán mérhető, hogy „milyen gyors a gondolat”…) Érthető feltűnést keltett egy fiatal német katonaorvos, Hermann Helmholtz (1821–1894) kísérlete. Helmholtz egyszerű módon *megmérte* az ingerületet kísérő elektromos hullám terjedési sebességét az idegben. Eredményül azt kapta, hogy az elektromos hullám 1-120 m/s-al halad, tehát *meg sem közelíti az elektromos áram sebességét*. A sebesség a rostok átmérőjén kívül attól is függ, hogy védi-e velőshüvely az axonokat. A vastag (20 μm átmérőjű) velőshüvelyes rostok vezetnek a leggyorsabban, a vékony, velőshüvely nélküliek a leglassabban. Az idegek tehát nem kábel módján továbbítják az „állati elektromosságot”.

Néhány idegrost átmérője (d) és vezetési sebessége (v) (a vastagon szedettek velőshüvelyű rostok!)

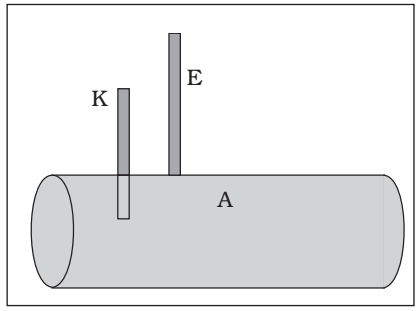
idegrost (m/s)	**d (μm)**	**v (m/s)**
medúza	0,5	6–12
csótány óriásaxon	7	50
lábasfejű (Loligo) óriásaxon	25	640
ember Aα-rost (vázizmokhoz)	100	15
ember Aβ-rost (érintés, nyomás)	50	8
ember Aγ-rost (izomorsóhoz)	20	5
ember A δ-rost (hőérzés, fájdalom – bőrből)	15	3
ember B-rost (szimpatikus dúcokhoz)	7	3
ember C-rost (belső szervekhez)	1	0,5



31. ábra. Helmholtz kísérletének vázlata
A két felső görbe a békaizom két rángását mutatja.
A béka izmához vezető ideg két különböző pontját (B és C) ingerelte, és figyelte, hogy az összehúzódás milyen késéssel következik be. A két lappangási idő közti különbség (AC – AB) megfelel annak az időtartamnak, amely alatt az ingerület az ingerelt ideg két pontja közötti távolságot befutotta. Az alsó hullámvonal az idő jelzésére szolgál. 1 hullámhossz 0,01 másodpercnek felel meg.

A finomabb mechanizmus feltárását a mikroelektródok kifejlesztése tette lehetővé. Ezek elektrolittal töltött igen vékony üvegcsőben (kapillárisban) végződnek, amivel lehetséges a sejtek felszíne és belső tere közti feszültség mérése anélkül, hogy komolyabb kárt tennénk a sejtben. Mikroelektródok segítségével mutatták ki, hogy a nyugalomban levő idegsejt külső és belső tere között állandó, átlagosan –70 mV nagyságú feszültség mérhető. A negatív előjel arra utal, hogy a belső tér mindig negatívabb a külső membrán-felszínhez képest. Ez a **nyugalmi potenciál** (pontosabban: potenciál*különbség*) az egész sejttestre jellemző. Ingerlés hatására azonban értéke megváltozik – jelezve azt, hogy a sejt **ingerületi állapotba** került. (Az ingerületi állapotban az egész sejt anyagcseréje megváltozik, aminek csak egyik, jól mérhető jele a membrán potenciálváltozása). A vizsgálatok azt mutatták, hogy erre minden sejt képes (például mirigy- és izomsejtek is), *az ingerlékenység tehát nem az idegrendszer kizárólagos sajátossága*. Az viszont már igen, hogy az ingerületi állapot következtében a potenciálváltozás az idegsejtek felszínén *tovaterjed*, és más idegsejtek számára *jelentést hordozó üzenetté válik*.

32. ábra. ***Alan Hodgkin (1914–) angol biológus mikroszkópja mellett***
J. Huxleyval együtt kidolgozta az idegsejtekben és izmokban lezajló elektromos változások észlelésére alkalmas berendezéseket.



NYUGALMI POTENCIÁLL

← elektródák XI.4.1



33. ábra. ***Mikorelektródákkal végzett mérés vázlata***
Az axon (A) belső terébe vezető oldattal töltött vékony üvegkapillárist (K) vezetnek, a másik elektróda (E) a felszíni membránnal érintkezik. A mV-os nagyságrendű potenciálkülönbséget erősítővel növelik meg és az oszcilloszkóp képernyőjén teszik láthatóvá.

Néhány anyag koncentrációja a sejten kívül és belül (mol/dm³)

Anyag	Sejten belüli koncentráció	Sejten kívüli koncentráció	Arány kívül / belül
Na^+	0,01	0,13	13
K^+	0,13	0,002	0,15
Ca^{2+}	0,000001	0,003	3000
Cl^-	0,007	0,1	14,3
HCO_3^-	0,01	0,028	2,8
fehérje (mg%)	150	1,8	0,012
kémhatás (pH)	6,9–7,0	7,0–7,5	–

A NYUGALMI POTENCIÁL JELLEMZŐI

← ozmózis IX.4.2.4

← miktokondrium XIII.3.3.3

← transzportfolyamatok XIII.4.2.1

K^+/Na^+-PUMPA

← stacioner állapot XVIII.1.3.2

Mi tartja fenn a nyugalmi potenciált? Finom kémiai elemzés kimutatta, hogy a sejt külső és belső terének *ion-összetétele eltérő*. A kationok és anionok összes töltése szabja meg a feszültséget. Az eltérő megoszlást részben az okozza, hogy a sejtben keletkező fehérjék többnyire negatív eredő töltést hordoznak, s mivel a féligáteresztő hártyán nem jutnak ki, pusztán jelenlétükkel töltés-egyenlőtlenséget okoznak. A nyugalmi potenciál azonban nem vezethető vissza egyedül erre a jelenségre. Megfigyelték, hogy ha cianid-ionokkal mérgezték a sejt energiatermelő rendszerét, azonnal Na^+-ionok áramlottak be, csökkentve ezáltal a nyugalmi potenciálkülönbséget. Ebből arra következtettek, hogy a **nyugalmi állapot fenntartásához energiára van szükség** (aktív transzport). Az aktív transzport hiányában megszűnik a sejt ingerelhetősége. Pontos mérésekkel kimutatták, hogy testünk teljes nyugalmi energiaszükségletének 15-20%-a ezen egyenlőtlen ioneloszlás fenntartásához szükséges. Érdekes jelenség, hogy a Na^+-ionokat kijuttató fehérje-„pumpa" hatékonysága akkor is lecsökken, ha a sejt környezetéből kivonjuk a K^+-ionokat. Ebből arra következtethetünk, hogy a Na^+-ionok kipumpálása és a K^+-ionok bejuttatása *kapcsolt folyamat:* mindkettőt ugyanaz a berendezés végzi. Ez a **K^+/Na^+ pumpa**. Abból, hogy a K^+/Na^+-pumpát folyamatosan kell működtetni, az következik, hogy a K^+-ionok kiáramlása és a Na^+-ionok beáramlása is folyamatos: az állandó koncentráció akkor áll be, amikor az ellentétes irányú reakciók azonos sebességűvé válnak. Ekkor tehát a Na-ionok beáramlása és a Na-pumpa által létrehozott áramlás azonos nagyságú, és ugyanez igaz a K-ionokra is. A sejt egy olyan lyukas falú hajóhoz hasonlítható, melyből állandóan szivattyúzzák a beáramló vizet, így nem süllyed el.

HIPO- ÉS HIPERPOLARIZÁCIÓ

→ serkentés és gátlás: XVIII.3.1.3–4

A sejt a nyugalmi potenciál értékét az ionáteresztő csatornák számának változtatásával módosítani képes. Ha olyan csatornák nyílnak, melyeken át a nyugalmi értéknél több Na^+-ion (vagy más kation) áramolhat be (vagy anion ki), úgy a *potenciálkülönbség csökken*, a sejt **hipopolarizálódik.** Ha ellenben a Cl^--ionok (vagy más anionok) számára válik átjárhatóbbá a membrán (vagy kationokat enged ki), úgy a *potenciálkülönbség fokozódik*: ez a **hiperpolarizáció**.

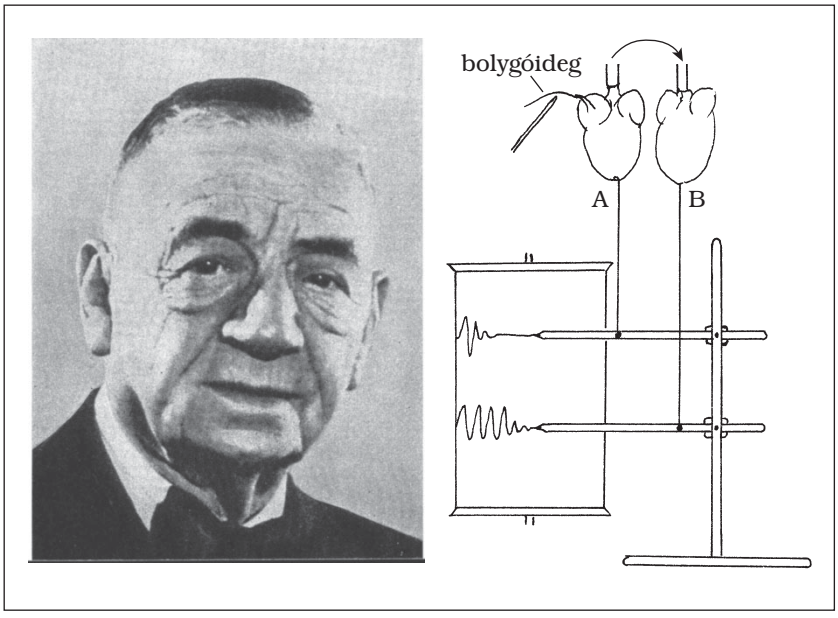
3.1.3 A szinapszis

ELEKTROMOS ÉS KÉMIAI SZINAPSZIS

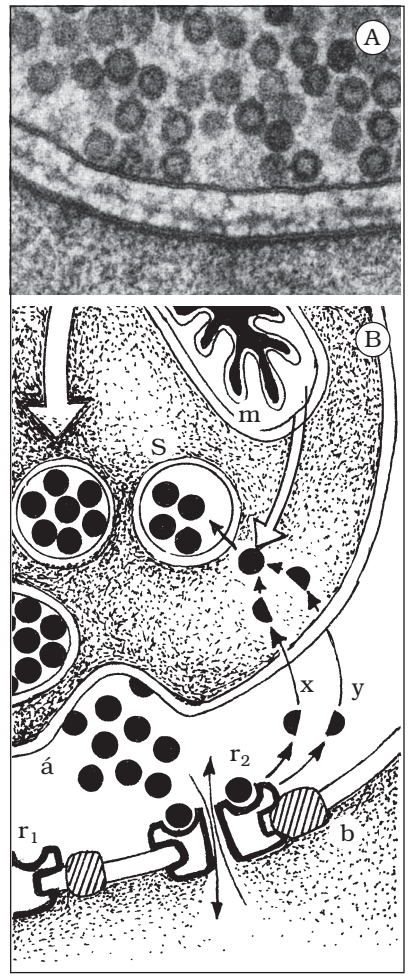
Az idegsejteket egymástól vagy más sejtektől elválasztó keskeny tér a szinaptikus rés, a kapcsolódás a szinapszis. Két típusa közül az egyikben – az **elektromos szinapszisban** – olyan kicsiny a távolság (2-3 nm), hogy a kis ionok késleltetés nélkül „ugranak át" a következő sejtre. Gyakoribb azonban, hogy az elektromos hullám „megtorpan", késik, sőt, sokszor nem is terjed tovább. Ezek a szélesebb (20-30 nm-es) rések a **kémiai szinapszisok részei**. Míg az elektromos szinapszisokon át mindkét irányban to-

vaterjedhet a potenciálváltozás, addig a kémiai szinapszisok a tapasztalatok szerint csak az egyik irányba átjárhatók. Ennek alapján megkülönböztethetünk szinapszis előtti (preszinaptikus) membránt (itt végződik az elektromos hullámot küldő idegsejt axonja) és szinapszis utáni (posztszinaptikus) membránt: ez a „fogadó" sejthez tartozik. A két oldal nemcsak működésében, hanem sokszor mikroszkópi képében is *aszimmetrikus*. A szinapszis előtti idegvégződésben nagyszámú, apró, folyadékkal teli gömb – *szinaptikus hólyag* – figyelhető meg. Néha az is látható, hogy a hólyagok fala felszakad, és tartalmuk a résbe ürül. A szinapszis utáni sejtrészletben nincsenek hólyagok, van viszont egy jellegzetes membránterület, mely vegyületek megkötésére alkalmas fehérjékben, *receptorokban* gazdag.

A tapasztalatokat magyarázó elmélet szerint a szinaptikus hólyagok **ingerületátvivő anyagot** (transzmittert) tartalmaznak. Az ingerületi hullám hatására a hólyagok a réshez vándorolnak, tartalmukat kiürítik, az átvivőanyag molekulái diffúzióval átjutnak a résen, kötődnek a szinapszis-utáni membrán receptoraihoz, melyek ennek hatására megváltoztatják a fogadó sejt nyugalmi potenciálját. E folyamatok időigénye miatt lép fel az (ezredmásodperces nagyságrendű) szinaptikus késés.



35. ábra. a) ***Otto Loewi (1873–1961) osztrák származású amerikai biológus***
Főként a vese, a szív, a hormonok és az idegrendszer kapcsolatait vizsgálta. Munkásságáért H. Dale-lel megosztva 1936-ban orvosi Nobel-díjat kapott.
b) ***Loewi kísérletének vázlata***
Loewi „túlélő" békaszíveket vizsgált. (Ezek az elpusztított állatból kiemelve megfelelő körülmények között még órákig egyenletesen dobognak.) Föltűnt neki, hogy ha a békaszívbe egy acetil-kolin nevű anyagot juttat, az erősen lassítja a szívműködést. Ugyanez történik akkor is, ha a szívhez vezető bolygóideget ingerli. Talán a bolygóideg axonjának végződésében is acetil-kolin szabadul fel? Ennek bizonyítására Loewi két túlélő békaszívet készített elő, s mindegyikbe nyitott üvegcsövet (kanült) kötött. Először az „A" szívhez vezető bolygóideget ingerelte, míg annak működése le nem állt. Utána az „A" szív kanüljében összegyűlt folyadékot átöntötte a „B" szív kanüljébe. Ennek eredményeképpen ez a szív is leállt, anélkül, hogy a hozzá vezető bolygóideget ingerelte volna. Loewi arra következtetett, hogy a bolygóideg ingerlésére az „A" szívben olyan anyag szabadult fel, mely a másik szívben is a bolygóideg hatását hozta létre. Az anyagot később azonosították, s az csakugyan az acetil-kolin volt.



34. ábra. ***Kémiai szinapszis elektronmikroszkópos képe (A) és magyarázó rajza (B)***
Az elektronmikroszkópos kép fölső részén jól láthatók az átvivőanyaggal telt szinaptikus hólyagok, alatta a szinaptikus rés, majd lent a szinapszis utáni (posztszinaptikus) sejt hártyája.
S = szinaptikus hólyag, á = átvivőanyag (pl. acetilkolin),
r_1 = receptor-molekula zárt ioncsatornával, r_2 = receptromolekula nyitott ioncsatornával, x és y= az elbomlott átvivőanyag molekula részletei (itt: acetil- és kolincsoportok), b = acetil-kolin bontó enzim, m = mitokondrium
Újabb vizsgálatok kimutatták, hogy receptorfehérjék a szinapszis előtti sejt membránjában is vannak. Ezek gátló hatásúak és a sejt túlzott aktivitását gátolják.

→ agyi hormonok XVIII.3.1.7

Ezt az elméletet Otto Loewi kísérlete (1921) támasztotta alá (lásd a 35. ábrán). Loewi felfedezése óta egymás után ismerik fel az átvivőanyagokat, ma már több mint hatvanféléről tudnak. Általában kis molekulák: módosított aminosavak vagy néhány aminosavból álló peptidek. Legtöbbjüket az agyszövetből állították elő.

SERKENTŐ ÉS GÁTLÓ SZINAPSZISOK

Az átvivőanyagok hatása a szinapszis utáni sejtre kétféle lehet: vagy depolarizációt, vagy hiperpolarizációt okoz. (Az előbbiek Na^+- vagy Ca^{2+}- az utóbbiak K^+- vagy Cl^--csatornákat nyitnak.) A hipopolarizációt okozó szinapszist **serkentőnek**, az ellenkező hatásút **gátlónak** nevezik. Az, hogy egy adott szinapszis serkentő-e vagy gátló, az átvivő anyag minőségén kívül a fogadó sejt receptoraitól is függ. Így például az adrenalin (mely nemcsak hormon, hanem átvivőanyag is) többnyire serkent, az acetilkolin viszont néhol gátol, néhol serkent. (A szívműködést például gátolja, a vázizom-összehúzódást viszont serkenti). A különbséget a szív- és a vázizom eltérő hatású receptorai magyarázzák. Egyazon idegsejt más-más szinapszisa ezért más-más hatású lehet, hiszen ezt a fogadó sejt membránja határozza meg.

← adrenalin, mint hormon XVIII.2.3.2

→ stressz 3.2.8

3.1.4 „Minden vagy semmi”

Az elemi idegműködések és a szinapszisok működésének megismerése után lehetővé vált az egyes idegsejtek *információfeldolgozó és döntéshozó* képességének megértése.

VÁLTOZÁSOK A SEJTTEST FELSZÍNÉN

A mikroelektródák segítségével sikerült letapogatni a sejt felszínét, és így megállapítani, hogy egy-egy szinapszis hatása meddig és milyen mértékben terjed ki. A mérések azt igazolták, hogy a *sejttesten vagy a dendriteken* a hatás az ingerlés helyén a legerősebb, attól távolodva térben és időben folyamatosan csökken, „lecseng”. Ez egyaránt igaz a serkentő és a gátló szinapszisokra: előbbi esetben a hipopolarizáció, utóbbiban a hiperpolarizáció terjed tova. A változás mértéke mindkét esetben arányos az ingerlés erősségével (analóg). A folyamat során a membrán ionokkal szembeni átjárhatósága változik meg („csatornák nyílnak vagy záródnak a felszínén”), s a továbbiakban már ez váltja ki körkörösen – de fokozatosan csökkenő számban – új és új csatornák megnyílását. Az ingerlés megszűnése után rövid ideig (néhány ms-ig) ingerelhetetlen a pont (refrakter stádium). Ez az időszak szükséges a nyugalmi potenciál helyreállításához.

← membrán átjárhatósága XIII.4.2.1

Mi történik akkor, ha ugyanazon idegsejt-testet egyidejűleg két vagy több hatás ér? A mérések szerint a hatáserősségek minden egyes ponton *összeadódhatnak* (miként a fizikai hullámok, bár azokhoz nincs közük). Így tehát a gátló szinapszisok együttesen erősebb gátlást, a serkentő szinapszisok pedig erősebb serkentést eredményezhetnek, mint külön-külön, ha viszont serkentő- és gátló szinapszisok hatnak egyidejűleg, úgy azok gyengítik egymás hatását.

← hullám-interferencia XIV.2.3.3

A sejttest pontjai között kiemelt jelentősége van az axon eredési helyének, az axondombnak. Ha a hatások eredője itt elér egy hipopolarizációs *küszöbértéket* (például –30 mV-ot), akkor az axonon gyengítetlenül terjedő változás indul meg, ha viszont ezen érték alatt marad, akkor az axonon nem történik semmi változás. Ez az idegsejtek **„minden vagy semmi” törvénye** (Adrian, 1912).

„MINDEN VAGY SEMMI” CSÚCSPOTENCIÁL-HULLÁM SOROZAT

Az axonon végigfutó változás - a **csúcspotenciálhullám-sorozat** jellegzetes csúcsai azt jelzik, hogy ilyenkor a töltésviszonyok megfordulnak: rövid időre a sejt belseje nyer (kb. +40 mV) pozitív töltést a környezethez képest. Ezt a sajátos hatást a Na^+- és K^+- csatornák egymás után történő nyitásával, zárásával éri el az axon membránja.

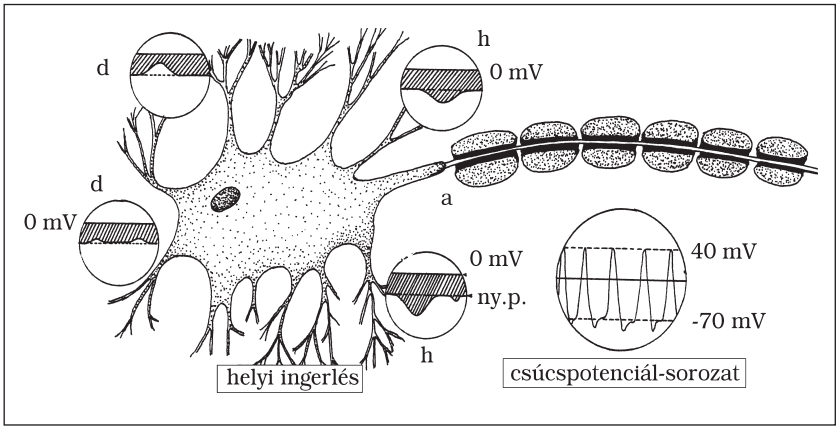
A csúcspotenciálhullám-sorozat több szempontból különbözik a helyi polaritásváltozásoktól:

a) *Gyengítetlen*: kitéréseinek mértéke nem csökken, miközben térben és időben továbbhalad.
b) Mindig *sorozatban jelentkezik*: „egy csúcspotenciál-hullám nem csúcspotenciál-hullám".
c) *Kitérésének mértéke nem függ sem az inger erősségétől* (pl. simogatás, ütés), *sem minőségétől* (pl. fény, hő, rezgés).
d) Befűződésről befűződésre *ugrásszerűen terjed*, összességében sokkal gyorsabban, mint a sejttesten terjedő hatások.

→ az ingerre jellemző pályák XVIII.3.3.3

← a terjedés sebessége XVIII.3.1.2

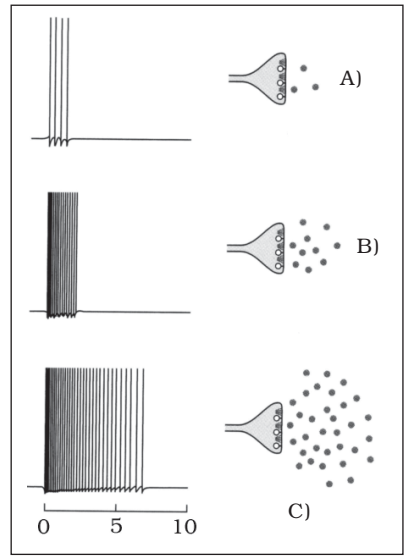
← hullámok amplitúdója és frekvenciája XIV.2.3



36. ábra. ***Helyi ingerlés hatása és a csúcspotenciál-sorozat***
A körökben az idegsejt adott pontjairól elvezethető potenciálkülönbségek időbeli lefutását ábrázoltuk. A folyamatos vízszintes vonal jelöli a 0 mV-ot, nyp.: nyugalmi potenciál.
A helyi ingerlések hatására kétféle válasz jöhet létre: hiperpolarizáció (h) a gátló és hipopolarizáció vagy másként depolarizáció (d) a serkentő szinapszisok körül. Ezek a hatások összeadódnak és ha eredőjük az axon eredési pontján (a) elér egy küszöbértéket, akkor az axonon csúcspotencálhullám-sorozat fut végig.

Fölmerült a kérdés, hogy ha a csúcspotenciál-hullámok nagysága nem függ sem az inger erősségétől, sem minőségétől – akkor mi hordozza ezeket a fontos információkat? Ha az axon egyetlen pontján mérjük – és egy oszcilloszkóp ernyőjén meg is jelenítjük – a csúcspotenciálhullám-sorozat frekvenciáját, úgy ez arányos lesz az alkalmazott inger erősségével. Az inger erősségét tehát **frekvencia-kódban** továbbítja az idegsejt. Az axonvégződésen felszabaduló átvivőanyagok mennyiségét is ez szabja meg.

Az eddigiek alapján minden egyes idegsejtet olyan egységnek láthatunk, amely összegezheti az őt ért hatásokat, s ennek alapján dől el: továbbítja-e az információt vagy sem. A valós helyzet azonban még bonyolultabb. Az olyan *spontán aktivitású* sejtek, mint amilyenek például a szívben a szinuszcsomót alkotják, befolyásolhatók ugyan a leírt módon (például a bolygóidegen keresztül) de ettől függetlenül önállóan is rendszeres ingerületi hullámokat indítanak el. Hasonló spontán aktivitás figyelhető meg a bélfal idegsejtjeiben, de valószínűleg ez az alapja minden ciklikus, belső ritmust mutató jelenségnek is (például alvás-ébrenlét). A spontán aktivitás úgy magyarázható, hogy az idegsejtekben zajló anyagcsere-folyamatok – minden külső változástól függetlenül – ciklikusan csökkentik és növelik a küszöbpotenciál értékét. Ezáltal hol könnyebbé, hol nehezebbé teszik a „kisülést". Amennyiben a küszöbpotenciál eléri a nyugalmi potenciál értékét, úgy külső inger nélkül is csúcspotenciálhullám-sorozat indul meg: „spontán" kisülés keletkezik. Mindezek alapján jogosan beszélhetünk – az emberi viselkedés hasonlatosságára – az **egyes idegsejtek saját aktivitásáról és „döntéséről"** is.



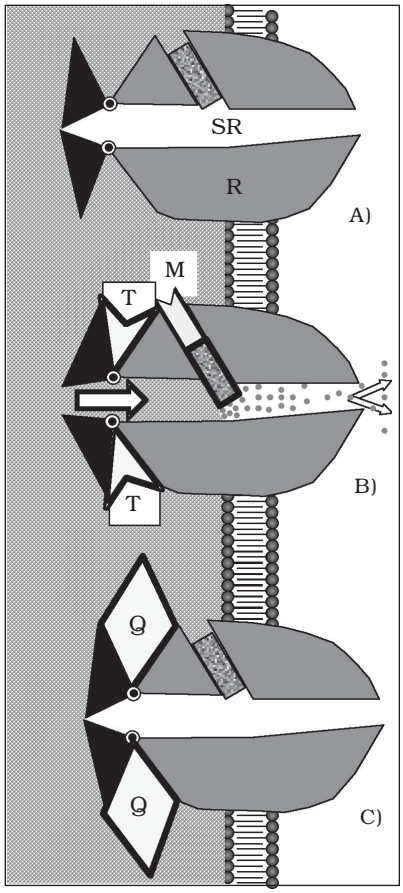
37. ábra. ***Egyetlen neuron kisülési frekvenciája és a szinapszisból fölszabaduló átvivő anyag mennyisége***

A) 3 másodpercig tartó gyenge inger hatása
B) 3 másodpercig tartó erősebb inger hatása
C) 6 másodpercig tartó erősebb inger hatása

A vízszintes tengelyen az idő, másodpercekben.
A függőleges kitérések a membránpotenciálok változásait mutatják mV-ban (–80 mV-tól +20 mV-ig).

3.1.5 Az „elemi” idegműködés zavarai

Az idegi információtovábbítás legérzékenyebb és legbonyolultabb pontjai a szinapszisok. Számos méreg, élénkítőszer, kábítószer, altató és nyugtató ezek működésére hat. A beavatkozás szinte minden **elvben fölmerülő** jelenségére találtak már példát a **gyakorlatban** is. (Fordítva azonban nem igaz: sok gyakorlatban használt szer hatásmechanizmusát nem ismerjük.)



38. ábra. ***Néhány példa a receptorok működésére***

A) A receptromolekula (R) és a hozzá kapcsolódó segédreceptor (SR) nyugalomban.

B) Az átvivőanyag (transzmittermolekula) (T) a receptorokhoz kötődik, ezzel megnyitja a Cl^--ion csatornát. Ugyanekkor azonban egy, a segédreceptorhoz kötődő módosító anyag (M) gátolja a beáramlást.

C) Bizonyos mérgek (Q) tartósan az átvivő anyag helyére kötődnek , így a receptort a változásokkal szemben „érzéketlenné” teszik.

a) *Receptorblokkolók*. A szinapszis utáni membrán receptoraihoz erősen és tartósan kötődnek, nem engedve oda a természetes átvivőanyagokat. Ideg-izom szinapszisban ilyenkor lehetetlenné válik az izom összehúzódása és/vagy elernyedése. Így hat a dél-amerikai indiánok kedvelt nyílmérge, a kuráre, mely a légzőizmok bénulása miatt okoz fulladásos halált. Más esetekben a blokkolás jótékony hatású is lehet. Például akkor, ha az agy valamely részében túltermelődik egy átvivőanyag, s ennek hatását próbáljuk mesterségesen csillapítani.

b) *Lebontásgátlók*. A normális ingerületátadás feltétele nemcsak az, hogy az átvivőanyag a szükséges ideig ingerelje a szinapszis-utáni membránt, hanem az is, hogy utána *tüstént elbomoljon és így hatástalanná váljon*. Az egészséges szervezetben ezt bontóenzimek végzik, s a maradványok többnyire visszakerülnek a kibocsátó sejtbe, ahol azt újra fölépítik hatékony molekulává. E körforgást bizonyos anyagok úgy szakítják meg, hogy a bontó enzimek működését gátolják, így mind több és több átvivőanyag ingerli tartósan a szinapszis utáni membránt. A hatás attól függ, hogy mi a kérdéses szinapszis funkciója. Ha ideg-izom kapcsolat, akkor a fokozódó ingerlés mind erősebb összehúzódást vált ki, ami a légzőizmok görcse miatt fulladásos halálhoz vezet. Ezeket az anyagokat *ideggázoknak* nevezik, és harci anyagként aggasztó mennyiségben halmozták föl egyes országok. Ugyanígy hatnak a **szerves foszfor tartalmú növényvédőszerek** is, melyeket ma is kiterjedten alkalmaznak.

Más esetekben – ha a fokozódó ingerlés a központi idegrendszerben egy másik idegsejt(csoport)ra hat – az eredmény az érzelmek, indulatok hirtelen megváltozása lehet. Így például az úgynevezett MAO-gátlók (amelyek a szerotonin, noradrenalin és néhány más átvivőanyag lebontását végző M(ono)A(mino)O(xidáz)-enzimet hatástalanítják) eufórikus állapotot idéznek elő, ezért hatásosan oldják a depressziót, gyógyszerként is használatosak.

c) *Receptormódosítók*. Elképzelhető – s bizonyított is – hogy egy-egy receptormolekula nemcsak egy, hanem *több anyagot is képes megkötni,* ezek egyike lehet a tényleges átvivőanyag, a többi pedig az ennek hatékonyságát befolyásoló molekula. Ezek az úgynevezett „segédreceptorok” és az ezeknek megfelelő „segédátvivő anyagok” növelhetik is, csökkenthetik is az átvivőanyag hatékonyságát. Bizonyos agyi gátlósejtek működése például szorongást, félelmet oldó hatású, az olyan szer, mely ezt a hatást fokozza, nyugtatóként alkalmazható. Ismertek szorongást fokozó szerek is.

3.1.6 Kábítószerek (drogok)

Sok vegyületről feltételezhető, hogy hasonló szerkezetük miatt a természetes átvivők receptoraihoz képesek kötődni, ott azonban nem a megszokott módon hatnak. Feltételezhető, hogy sok **alkaloida, drog, hallucinációkeltő anyag** működése magyarázható így. Azok a lelki élmények, melyek a kokain, hasis, meszkalin (gombamérg) vagy LSD (lizergsav-dietil-amid) fogyasztása vagy belégzése során támadnak gyakran a tárgyak torzult érzékelésére vagy az önértékelés megszűnésére vezethetők vissza. Például az illető úgy érzi, hogy repülni tud, és kilép az emeleti ablakon. Gyakoribb azonban a cselekvésképtelen, bódult állapot. Ha az élmény kellemes, a drog fogyasztója mind többször, s mind nagyobb adagban él vele, mert a szer hatékonysága csökken. Ennek élettani magyarázata valószínűleg az, hogy a drog az idegsejt-receptorok számát is, szerkezetét is tartósan megváltoztatja. Ez a jelenség **függőséget** *(*dependenciát) idéz(het) elő, mert a kábítószer-adagolás *hirtelen megszüntetése* ekkor már súlyos testi-lelki

FÜGGŐSÉG

következményekkel jár, akár halálhoz is vezethet (megvonási tünetek). Az újabb adagok megszerzésének kényszere a döntési lehetőségek fogyatkozásához, az egyén belső szabadságának fokozódó szűküléséhez vezet.



39. ábra. ***Gulácsy Lajos : Fellázadt játékszerek / 1916 (részlet)***
Néhány művész megkísérelte ábrázolni drog hatására átélt vagy elképzelt élményeit. A fellázadt játékszerek világa inkább nyomasztó, mint csábító, mégis nehéz kilépni belőle.

← alkaloidák XII.8.1

← illúzió és hallucináció XVIII.3.3.2

← a homeosztázis, mint a szabadság feltétele, XVIII.1.3

← szabad döntés (Frankl) XVII.2.5.1

← normális és zavart elmeállapot XVII.2.1

→ megküzdési stratégiák XVIII.5.3.2

A csapdát **pszichológiai okok** zárják szorosra. A fogyasztás vonzerejét fokozza a drogos csoport, a *közösség élménye*. A magát elveszettnek, elhagyottnak érző ember hatalmas lelki tehertől szabadul meg, amikor megszűnnek határai, s úgy érzi, feltétel nélkül befogadják. Eközben többnyire mindinkább elszakad azoktól a közösségektől – családtól, iskolától, barátoktól – melyek valódi segítséget adhatnának. Aki ebbe a helyzetbe kerül,

PSZICHIKAI FÜGGŐSÉG

csak a kábítószerben lelhet *időleges* szabadulást abból a helyzetből, amibe – mindinkább *véglegesen* – ugyanez a szer juttatja. Erős elhatározás, szakszerű kezelés és befogadó közösség segítségével azonban *lehetséges a gyógyulás*!

DROG

Kábítószernek (drognak) azokat az anyagokat tekintik, amelyeknek használata **tartósan szűkíti az egyén döntési szabadságát és ezzel komolyan veszélyezteti a környezet realitásaihoz való alkalmazkodást is.** Számos egészségromboló és függőségben tartó anyagot – alkoholt, a dohányt és a kávé alkaloidáit – azért nem sorolnak közéjük, mert az egyén alkalmazkodó- és döntésképességét (legalábbis rövid távon) nem csökkentik. (Emellett busás állami bevételt jelentenek…) A kábítószernek nevezett anyagok veszélyessége szerenként és egyénenként is nagyon változó: a függőség néha hosszú időn át sem alakul ki (LSD), néha már az első-második adag végzetes (heroin). Egészségromboló és bűnözést gerjesztő hatása miatt ma Magyarországon *minden kábítószer előállítása és terjesztése büntetendő cselekmény*. A kábítószer-fogyasztó *szenvedélybeteg*, akit, mint minden más beteget lehet – és kell is – gyógyítani. Az országszerte működő drog-ambulanciákon az orvosi titoktartás megőrzésével tudnak segíteni az áldozatokon. A tüneteket időben észlelve és cselekedve életet menthetünk.

← XII.4.3.1

→ endofirnok XVIII.3.1.7

A ma – illegális – forgalomba kerülő kábítószerek hatásuk szerint az alábbi három csoportba sorolhatók:

– nyugtatók – bódítók (ópium, morfium, heroin)
– izgatók (kokain)
– hallucinogének (LSD).

← XII.3.5.4

E „valódi" kábítószerek mellett Magyarországon elterjedt a „pótszerek" használata is. Ilyen az altató és nyugtató gyógyszerek alkohollal együtt fogyasztása és a „szipózás (szipuzás)". Utóbbi szerves oldószerek (toluol, benzol, xilol) hosszú ideig tartó szándékos belégzését jelenti. Ezek a módszerek éppoly veszélyesek, mint a „valódi" drogok, mert a mérgezés tartósan károsítja az idegrendszert és a májat.

3.1.7 Hormonok és idegsejtek

← XVIII.2.4.4

A hormonális rendszer kutatói régóta tudják, hogy az agy – a hipotalamusz-hipofízis rendszeren keresztül – hatást tud gyakorolni a hormonális rendszerre. Azt azonban csak az utóbbi évtizedekben ismerték fel, hogy e hatás kölcsönös: az idegi és hormonális rendszer *egységet alkot (neuroendokrin rendszer).* Az idegrendszerre ható hormonok közül néhány a „valódi" belső elválasztású mirigyekben termelődik, például a mellékvesekéreg anyagai (kortizol), és a hipotalamuszra vagy más környező agyterületekre hat. A „testi" hormonok nagy része azonban nem juthat be az agyba, mert a központi idegrendszer határán van egy hatékony szűrő („vér-agy gát"), ami megakadályozza, hogy a nagymolekulák beszivárogjanak. (A hipotalamusz határán, úgy látszik „lyukas ez a gát", vagy áteresztő kapuk vannak rajta.) Ennek ellenére sok, a szervezet más részéből ismert hormont mutattak ki az agyból! Úgy látszik, e hormonokat *maguk az agyidegsejtek termelik, s más agyterületekre hatnak vele.*

NEUROENDOKRIN RENDSZER

„VÉR-AGY GÁT"

AGYI HORMONOK

A jelenségre a drogok, alkaloidák hatásának vizsgálata hívta fel a figyelmet. Kaliforniai kutatók mutatták ki, hogy a morfinnak, az egyik legrégebben ismert kábítószernek saját receptorai vannak az agyban. (R. Guillemin és A. Schally, Nobel díj 1977-ben.) Mi lehet e receptorok szerepe az egészséges szervezetben? Hiszen az nem termel morfint! A kutatók azonban találtak húsznál is több, az agy által előállított anyagot, amelyek e receptorokhoz kötődtek, és ott a morfinhoz hasonló hatásokat – álmosságot, bódulatot, fájdalommentességet, hányingert – váltottak ki. Ezeket **endorfinok**nak (*end*ogén m*orfin* = belső eredetű morfin) nevezték el. Az agy tehát

ENDORFINOK

képes saját maga csökkenteni a fájdalomérzést, mint azt tapasztalhatjuk, mikor sportversenyek közben a versenyzők egészen komoly sérülések fájdalmát sem „veszik észre”. Az endorfinok biztosan nagyon hatékony fájdalomcsillapító gyógyszerek lehetnének – ha át tudnának jutni a vér-agy gáton.

→ kapu-elmélet XVIII.5.3.3

Izgalmas kérdés, hogy az emberek miért nem válnak „endorfinistává”, miért nem szoknak hozzá e „belső kábítószerhez”. Úgy látszik, az endorfinmolekulák nagyon rövid életűek, így nincs idő a hozzászokás kifejlődéséhez. Ezenkívül csak akkor termelődnek, ha az élőlény magatartásával valamilyen sikert ért el a külvilágban. Az endorfin-„jutalom” tehát nem a külvilágtól való elszigetelődéshez vezet, hanem éppen ellenkezőleg: az alkalmazkodáshoz segíti hozzá az egyént.

← operáns tanulás XVI.1.2.4

Az endorfinok mellett sok más hormonhatású anyag receptorát találták meg az agyban. Ezek *együttes* hatása, „összhangzata” adja azt a kémiai üzenetet, ami megszabja az egyes szinapszisok érzékenységét. Az idegsejt „minden vagy semmi” törvényének engedelmeskedő válasza tehát három tényező eredőjeként jön létre:

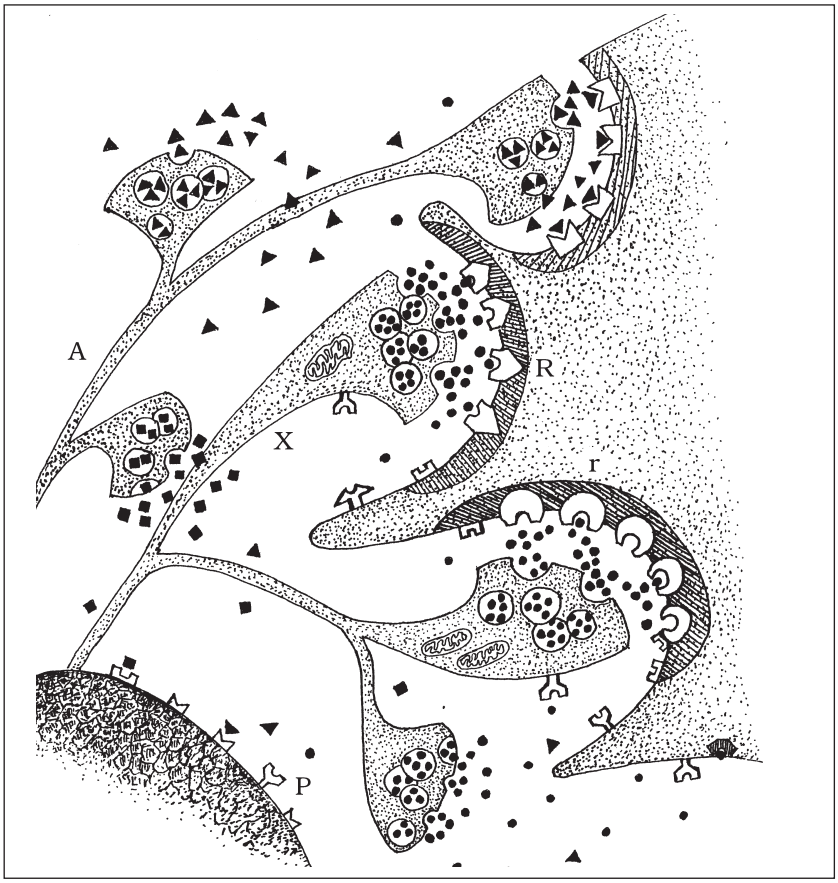
→ stressz idején XVII.3.2.9

– *a szinapszisokban felszabaduló átvivőanyagok mennyisége, minősége (serkentés, gátlás),*
– *a kötődő hormonok külső módosító hatása (pl. endorfinok),*
– *a sejt saját belső folyamatai által meghatározott állapota (ritmusok).*

← belső (biológiai) ritmusok XVIII.3.1.4; 3.2.4

Ez a bonyolultság célszerűtlennek tűnhet, hiszen az összhangot bármelyik tényező módosulása sértheti, ugyanakkor a szervezetnek éppen ezáltal van lehetősége arra is, hogy egyik hatást a másikkal bizonyos mértékig kivédje, módosítsa. A módosító hatás származhat kívülről bevitt szertől

← „test és lélek kölcsönhatása” (Descartes) VII.3.1.3



← az „érem két oldala” (Spinoza) VII.3.3

40. ábra. ***Átvivőanyagok, hormonok és receptorok viszonya***
Egyetlen idegsejt – például az ábrán az „*A*” jelű – többféle átvivőanyagot is termelhet (háromszögek és négyzetek).
Egy átvivőanyag (például az „X” jelű sejt által termelt, fekete körrel jelölt) többféle hatást is gyakorolhat, aszerint, hogy milyen receptorhoz kötődik. (Az ábrán R és r.)
Ugyanaz az anyag lehet átvivőanyag is egy szinapszisban és hormon (neuroszekrétum) is (fekete körök). Ha hormon, úgy annak a célszervben megfelelő receptora is van (P).



41. ábra. ***Idegrost végződések izomban***
Az izmok számtalan rostból állnak, és minden roston végződik szinapszis. Egy izomrosthoz csak egy mozgatóidegsejt tartozik, de egyetlen idegsejt – mint a képen is – sok izomrostot elláthat.

Mindig csak az izomrostok egy része húzódik össze, más részük nyugalomban marad. Az izmok ezen „készenléti feszességét" nevezik **tónusnak**. A tónus fokozódása eredményezi az összehúzódást, csökkenése pedig az elernyedést. Az izomtónus teljesen csak kómás (ájult) állapotban szűnik meg.

← az izomtúnus szerepe X.4.3

← az izomműködés biokémiája XIII.9

(gyógyszer, kábítószer) – de egy másik idegsejt(csoporttól) is (pl. endorfinok). A fájdalmat gyógyszer is, szuggesztió is csökkentheti: mindkettő ugyanazokra a receptorokra (is) hat. Test és lélek *az egyes idegsejtek számára* „azonos nyelven szól": molekulák formájában. A különbség ezen a szinten talán csak annyi, hogy az idegrendszer évezredek óta bevált vegyületeket termel, az ember pedig többé-kevésbé vaktában bevitt anyagokkal próbálkozik.

3.1.8 Az ideg-izom kapcsolat

Szinapszisok nemcsak idegsejtek közt vannak, hanem idegsejt és végrehajtó szerv (mirigy vagy izomrost) közt is. A szinapszis utáni membrán ilyenkor nem idegsejt membránja, de éppenúgy potenciálváltozásra képes, s ha az elér egy küszöbértéket, akciós potenciálsorozat fut végig a roston. Normális esetben ennek hatására húzódik össze az izomrost (bár ugyanez a hatás közvetlen kémiai vagy elektromos ingerlésre is létrejöhet). Az elektronmikroszkópos megfigyelések szerint az izommembrántól bonyolult csatornarendszer vezet az izomfonalakig (miofibrillumokig), s hipopolarizáció hatására ezekből Ca^{2+}-ionok áramlanak az aktomiozin fehérjékhez, ami összehúzódást vált ki.

Summa (3.1)

Az idegrendszer építőelemei az idegsejtek (neuronok). Nyúlványaik segítségével (dendrit, axon) érintkeznek egymással és a szomszédos sejtekkel (Golgi, Cajal).

Az idegsejtek funkciója: információk feldolgozása és – esetenként – továbbítása. Ennek előfeltétele az állandó energiabefektetéssel fenntartott nyugalmi potenciál: a sejt belső terének kb. 70 mV-os negatív töltése a külső térhez képest (Huxley, Hodgkin). A nyugalmi potenciált aktív transzportfolyamat: a K^+/Na^+ pumpa működtetésével éri el a sejt. Minden hatás, mely növeli a töltéskülönbséget (hiperpolarizáció) gátló, minden olyan, amelyik azt csökkenti (hipopolarizáció) serkentő. A hiper- és hipopolarizációt okozó hatások az axon eredési helyén összegeződhetnek, s ha egy küszöbértéket elérnek, az axonon gyengítetlenül tovaterjedő csúcspotenciálhullám-sorozat indul meg. E küszöbérték alatt nincs hatás: „minden vagy semmi" törvénye (Adrian).

Az idegsejtek információtovábbító érintkezési pontjai a szinapszisok, felépítésük alapján elektromosak vagy kémiaiak, funkciójuk szerint serkentők vagy gátlók. Kémiai szinapszisokban az ingerület-átadás mindig egyirányú és késedelmet szenved. A szinapszisban átvivőanyagok (transzmitterek) továbbítják az információt, amit a szinapszis utáni sejt membránján receptormolekulák fognak fel. A szinapszis funkciója e kettőtől függ.

Az idegsejt belső anyagcsere-folyamatai változtatni képesek a nyugalmi potenciált is: spontán aktivitás.

A szinapszisban zajló folyamatokat sok anyag befolyásolhatja. Ezek egy részét maga a szervezet termeli: hormonok. Más részük kívülről bekerült anyag: gyógyszer, méreg, kábítószer stb. Ezek vagy a receptorokat fedik le (blokkolók), vagy az átvivőanyag-lebontást gátolják, vagy a receptorok érzékenységét változtatják, vagy a természetes átvivőanyagokat helyettesítik. A kábítószerek mindig gátolják a külvilághoz való alkalmazkodást, gyakran okoznak függőséget és egészségkárosodást.

Kérdések, problémák (3.1)

1. A „nyugalmi potenciál” elnevezés két okból is megtévesztő. Miért? Lehetne-e hosszabb, de pontosabb kifejezést találni helyette?

2. Nevezhető-e dinamikus egyensúlyi helyzetnek a sejtmembrán két oldalán nyugalomban fennálló egyenlőtlen ioneloszlás? Kialakulhat-e dinamikus egyensúly egy sejt és környezete között?

3. Mi az, amiben sántít a nyugalmi potenciál „lyukas hajó”-modellje?

4. Képes-e egy sejt a nyugalmi potenciál értékét a K^+/Na^+ pumpa hatékonyságának változtatásával módosítani? Milyen nehézségeket okozna ez?

5. Mi az, amiben hasonlít a potenciálhullám-összeadódás mechanizmusa a hullám-interferenciához és miben tér el attól?

6. Egy axonban a csúcspotenciál-hullám kialakulása után kb. 5 ms-os nyugalmi periódus (refrakter stádium) lép fel. Ezt figyelembe véve hány ingerületi hullám haladhat végig másodpercenként legerősebb ingerlés esetén ezen a roston?

7. Az elektromos szinapszis gyorsabb potenciálhullám vezetést tesz lehetővé és kevésbé sérülékeny, mint a kémiai. Miért? Mi az oka, hogy a szinapszisok nagy része mégis kémiai típusú?

8. Néhány régebbi típusú altató és nyugtatószer közvetlenül nyitott kloridionok számára átjárható csatornákat bizonyos idegsejtek hártyáján, így okozott gátlást. Miért veszélyesebbek az ilyen nyugtató anyagok, mint azok, amelyek a receptorok segédreceptoraira hatnak?

9. Hallucinogén anyagokat (pl. „bolondgomba”-meszkalint) ősidők óta fogyasztottak a varázslók, táltosok, jósok (pl. delphoi jósda). Eltért-e e drogok (társadalmi, lelki) szerepe a mai kábítószerekétől? Mi lehet az oka, hogy az ókori népek létét, egészségét nem fenyegette a maihoz hasonló kábítószer-járvány?

10. *Csodálkozol a kokainistán – s nem érted?*
Gondolkozzál az okain is tán – s megérted!
Mire figyelmeztet Kosztolányi Dezső e kétsorosa? A kokain függőséget okozó biológiai hatására - vagy arra a társadalomra, ami ide vezet? Vajon milyen választ adna e kérdésre egy valódi kokainista?

11. A múlt században és a század elején számos művész (művészi ambíciójú ember) megpróbálkozott azzal, hogy kábítószer hatása alatt nyert élményeit örökítse meg festményben vagy zenében. Vajon növeli-e a művészi kifejezőerőt, az alkotóképességet a drogok használata?

12. Egy frappáns mondás szerint: *A hormonális rendszer: folyékony idegrendszer, az idegrendszer viszont: csöveken át adagolt hormon*. (Idézi: Bánki M. Csaba). Mi e mondás értelme? Mi az, amiben kissé pontosítandó?

13. Vessük össze a kábítószerek hatását a XVII.2. fejezetben leírt lelki zavarokkal! Találunk-e azonos tüneteket? Vajon elő lehetne-e idézni „mesterségesen” (drogokkal) az Ágnes asszonyéval vagy V. Lászlóéval azonos lelkiállapotokat?

14. Megerősítik-e, vagy inkább gyengítik a modern idegélettan eredményei Descartes elképzelését test és lélek kettősségéről és kapcsolatáról?

15. Hogyan kapcsolhatjuk össze az „endorfin-jutalom” elméletét a skinneri típusú operáns tanulással? Tervezzünk kísérletet a hipotézis igazolására!

3.2 A szerveződés módjai

3.2.1 Idegrendszer-típusok az állatvilágban

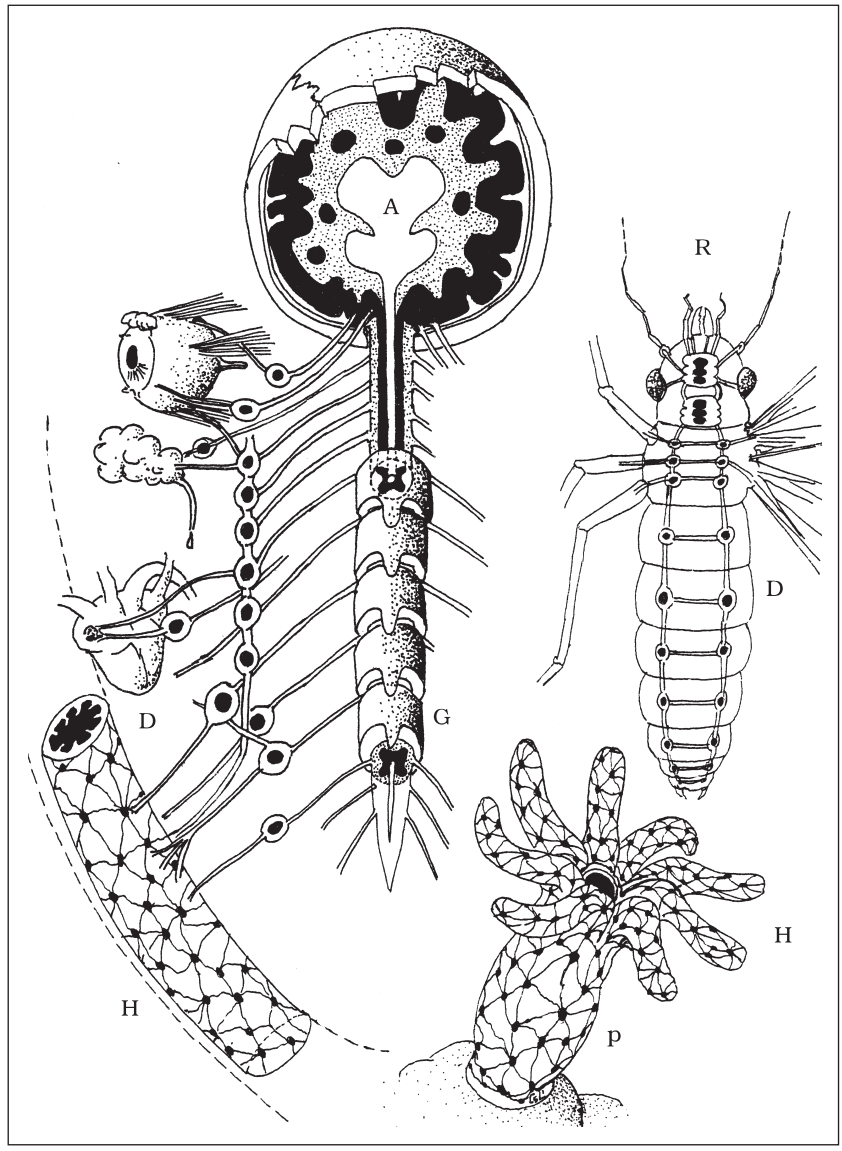
DIFFÚZ IDEGRENDSZER

Noha a növények is érzékelik a külvilág változásait és reagálnak is rá, idegrendszerük csak az állatoknak van. Az idegsejtek három fő kapcsolódási típusa a hálózatos, a dúc-, és a csőidegrendszer.

Kizárólag **hálózatos (diffúz) idegrendszere** van a csalánozóknak (medúzák, hidraállatok). E rendszerben az idegsejtek valóban szinte egyenletesen behálózzák az egész testet, egyenrangúak, bennük az ingerületi állapot minden irányban terjedhet. Az állat a külső ingerekre (például szúrásra) az egész testével válaszol, úgy, hogy a válaszreakció mértéke az ingerlés helyétől távolodva egyre csökken. Ehhez hasonló szerveződés jellemzi az emberi bélcsatorna idegsejthálózatát is.

← csalánozók X.5.3.2

← perisztaltika XIII.5.2.1



42. ábra. ***Idegrendszer-típusok az állatvilágban és az emberben***
Hálózatos (H) idegrendszer a csalánozók közé tartozó polipoké (p), de hasonló felépítésű a bélcsatorna beidegzése is (noha ez utóbbi az egyirányú perisztaltika miatt bonyolultabb).

A rovarok (R) dúcidegrendszeréhez (D) hasonló dúcok találhatók az ember környéki idegrendszerében.

Csőidegrendszer-típusú agy (A) és gerincvelő (G) alkotják az ember központi idegrendszerét.
Ezen belül sötét színnel jelöltük az idegsejt-testek alkotta szürkeállományt, pontozott a fehérállomány, s jelöltük az agykamrákat és a gerincvelői csatornát is.

DÚCIDEGRENDSZER

A **dúcidegrendszer** jellemzője, hogy az azonos testtájhoz tartozó idegsejtek sejttestjei dúcokba tömörülnek, a dúcokat pedig idegek kapcsolják össze. Ilyen a férgek, az ízeltlábúak és a puhatestűek teljes idegrendszere, de az emberi szervezetben is számtalan, zsigeri szerveket beidegző dúc található. E megoldás előnye az, hogy adott ingerre kizárólag a neki megfelelő választ adja a szervezet egy része (például egy izom vagy izomcsoport). Ez lehetővé teszi a testtájak részleges autonómiáját (ízeltlábúak szelvényei) éppúgy, mint a dúcok közti munkamegosztást (például agydúc – szelvénydúcok közt a rovarokban). Ha szükséges, több közeli dúc össze is olvadhat, s így hatalmas idegsejt-csoportosulások jöhetnek létre (a rovarok agydúca és garat alatti dúca például három-három dúcpárból olvadt össze).

← X.5.3.4–5

CSŐIDEGRENDSZER

A **csőidegrendszer** elnevezés arra utal, hogy ennek sejtjei egy, az embrió felületéről lefűződő, egységes velőcsőből alakulnak ki az embrionális élet során. A cső belsejében húzódó üregből keletkezik a *gerincvelői üreg és az agykamrák*, maga a cső pedig két részre tagolódik: az egységes, csőszerű **gerincvelőre** és a bonyolultabb szerkezetű **agyvelőre**. Mind a gerincvelőt, mind az agyvelőt burkok borítják és csontok védik: a gerincvelőt a csigolyák alkotta gerincoszlop, az agyvelőt a koponyacsontok. A gerincesek **központi idegrendszere** szorosan együttműködik a dúcokból, idegekből és hálózatos elemekből álló **környéki idegrendszerrel**. Emberben az idegsejtek túlnyomó többsége (több mint 90%-a) a központi idegrendszer része.

← gerincesek X.5.3.6

KÖZPONTI ÉS KÖRNYÉKI IDEGRENDSZER

3.2.2 A gerincvelő

A gerincvelő a csigolyatest és a csigolyanyúlványok által határolt csigolyalyukakban, a gerinccsatornában húzódik végig a koponyától az ágyéki csigolyákig. A gerinccsatorna alsóbb részén csak az ágyéki szakaszból kilépő idegek fonata halad végig. Kívülről zsákszerűen veszi körül a háromrétegű gerincvelői burok. Felépítésre jellemző a központi **szürke- és** az azt határoló **fehérállomány**, a központi csatorna (benne a gerincvelői folyadékkal), a gerincvelőbe be- és abból kilépő gerincvelői ideg **hátsó és elülső gyökere**. A két gyökér nem sokkal a gerincvelő elhagyása után egyesül, így alkotják a gerincvelői ideget.

SZÜRKE- ÉS FEHÉRÁLLOMÁNY

A gerincvelő működésére az irányította rá a kutatók érdeklődését, hogy számos reflexes folyamat olyan állatokban is végbemegy, melyekben az agyvelő és a gerincvelő összeköttetése megszakadt, nem válthatók ki viszont akkor, ha a megfelelő gerincvelői idegeket átvágták. E reflexeket létrehozó idegsejtek tehát a gerincvelőben találhatók. A gerincvelői reflexek vizsgálatát már a hellenizmus korában megkezdték (alexandriai orvosi iskola), az újkorban pedig XVIII–XIX. századi angol orvosok folytatták. Így például Whytt megállapította, hogy lefejezett békákon is kiváltható a láb védekező reflexe (1751). Charles Bell (1774–1842) edinbourgh-i orvos észrevette, hogy a gerincvelői ideg hátsó és mellső gyökere eltérő működésű idegrostokat tartalmaz: a hátsó gyökérben futnak az érzékszervekből eredő **érző**, a mellső gyökérben pedig az izmokhoz vezető **mozgató** rostok.

← a reflex fogalom kialakulása XVI.2.2

← Galérosz fölismerései IV.6.2

ÉRZŐ- ÉS MOZGATÓ ROSTOK

„A gerincvelő idegeinek gyökereit szabaddá téve a hátsó ideggyökököket , amelyek a gerincvelő hátsó részéből erednek, át tudtam vágni anélkül, hogy az állat hátizmai rángógörcsöket kaptak volna, ám ha a kés hegyével a mellső ideggyökhöz értem, a hátizmok azonnal görcsben rándultak össze."

Charles Bell: Az agy anatómiájának új eszméje, 1811

ETIKAI AGGÁLYOK

(Az ilyen irányú kutatásokat sajátos etikai probléma nehezítette: a kísérleti állatok szenvednek az élveboncolás (viviszekció) közben. *„Egy-egy kísérleti nyúl szenvedésének látványa sokszor évekre elvette a kedvem*

a további vizsgálatoktól" – írta Bell. Tudta azonban, hogy az így szerzett tapasztalatok az orvostudomány eszköztárát gazdagítják majd az emberi szenvedések enyhítésében. A kísérleti állatokat mindenesetre igyekezett elkábítani a vizsgálat előtt.)

Bellnek és követőinek vizsgálatai nyomán a következő kép rajzolódott ki a gerincvelői reflexek anatómiai alapjairól:

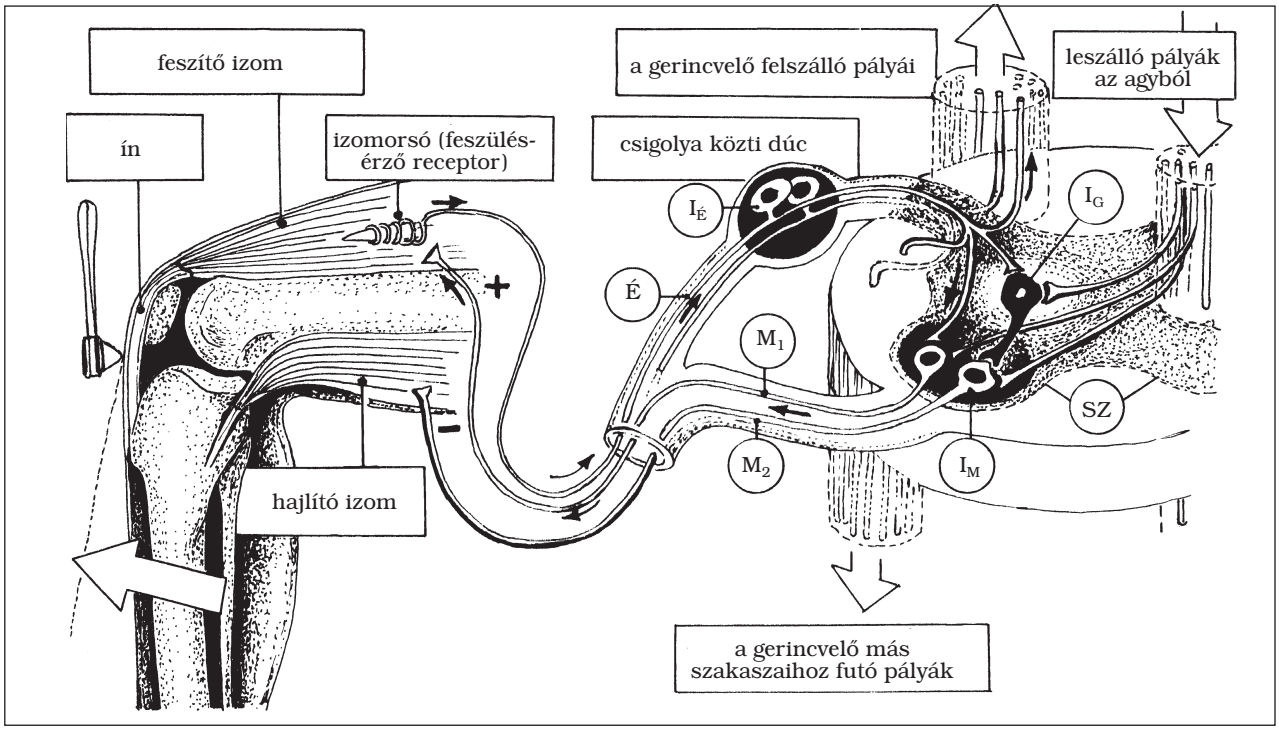
REFLEXÍV, REFLEXKÖR

a) **Kétneuronos** reflexív. Ilyen például a térdreflex. Ha kisebb ütést mérnek a térdkalács alatti ínra, az meghúzódik, megnyújtja a hozzá kapcsolódó izmot. Ez ingerként hat az izomrostok között elhelyezkedő mechanikai receptorra: az izomorsóra. Az ingerület tovaterjedő csúcspotenciálhullám-sorozatot indít meg az „érző" idegsejtben. Ennek sejtteste a gerincvelőn kívül, a csigolyaközti dúcban található, maga az érzőrost pedig a gerincvelőbe érve elágazik. Egyik ága a fehérállomány felszálló pályáján halad tovább – ez „értesíti az agyat" a történtekről - másik ága szinapszist alkot egy mozgató idegsejttel (a szürkeállományban). A mozgató sejt rostja a combfeszítő izomnál végződik, és azt összehúzódásra serkenti: a láb kirúg. Ennek sikeres végrehajtásához azonban szükség van az ellentétes hatású (hajlító) izom elernyesztésére is. Ez utóbbi művelet egy gátló hatású közbeiktatott idegsejt (interneuron) közvetítésével valósul meg.

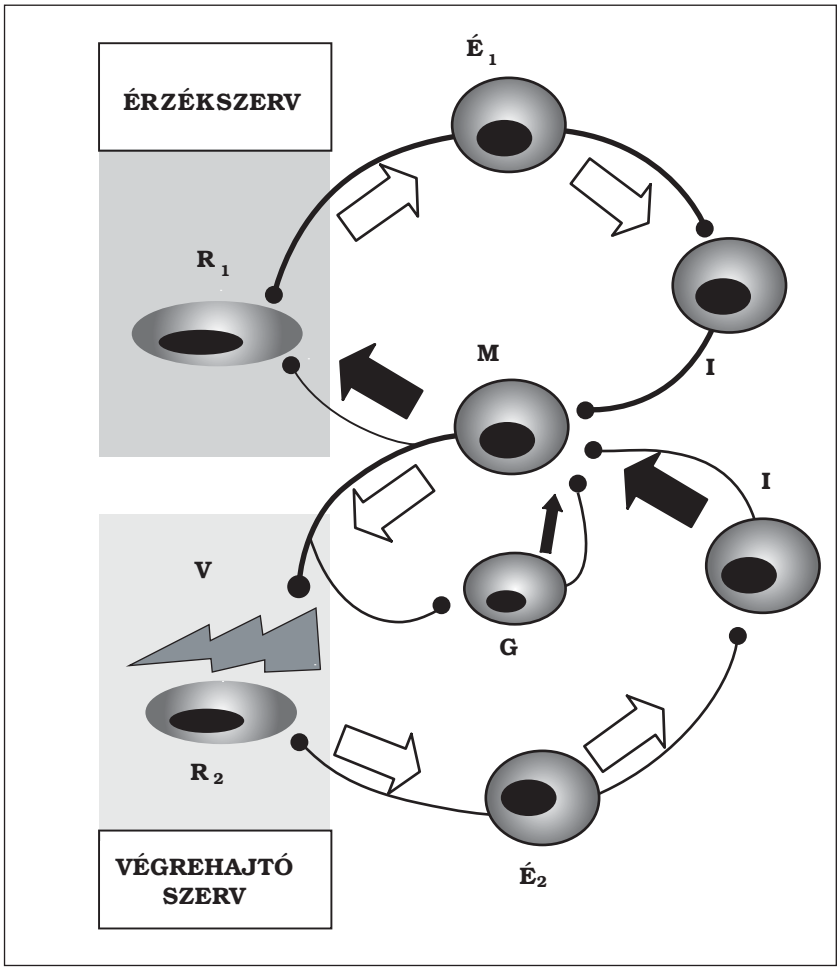
← hajlítás és feszítő izmok X.2.2

b) **Három- vagy többneuronos** reflexívek. Gyakori, hogy a feszítő és a hajlító izom beidegzése a gerincvelő két különböző szelvényéből ered. Ekkor a különbséget át kell hidalni, amit egy vagy több, a szürkeállományban elhelyezkedő **közbeiktatott idegsejt (interneuron)** végez. Az is gyakori, hogy a mozgató idegsejt nem közvetlenül a célszervet ingerli, hanem egy azt beidegző dúcot.

c) A **reflexkör**. Fontos, hogy a reflexválasz csak a szükséges mértékű legyen, az adott izom például ne feszüljön túl. Ezért a mozgató idegsejtnek értesülnie kell arról a hatásról, amit az ingerület kiváltott. A lehetséges legegyszerűbb visszacsatolás, reflexkör vázlatát az ábra mutatja. A szervezetben sok, ennél bonyolultabb mechanizmust tártak fel.



43. ábra. ***Gerincvelői szomatikus reflexben részt vevő idegsejtek***
$I_É$ = érző idegsejt, É = érző rost; I_M = mozgató idegsejt, M_1 = a feszítő izomhoz futó mozgató rost, M_2 = a hajlító izomhoz futó mozgató rost I_G = gátló interneuron; sz= szürkeállomány. Az egyszerűsített ábrán nem jeleztük, hogy a hajlító- és feszítőizmokat többnyire nem ugyanaz a gerincvelői szelvény idegzi be.



44. ábra. ***Reflexkörök elvi felépítése***
A világos nyilak a serkentő, a sötét nyilak a gátló hatásokat mutatják.
A receptorból (R_1) az érző idegsejtekből ($É_1$), interneuronokból (I), mozgató idegsejtekből (M) és végrehajtó szervből (V) álló reflexívet vastagított vonalak jelzik.
A központi idegrendszer képes közvetlenül befolyásolni a receptorok érzékenységét, vagy az érzékszerv más részeire hatni (felső kör).
A mozgató idegsejt erőteljes aktivitása egy gátlósejt (G, Renshaw-féle sejt) közbeiktatásával gátolja saját túlműködését (alsó kis kör). Emellett a végrehajtó szervben elhelyezkedő receptorok (R_2) is visszajelzést küldenek, és végső soron gátolják a mozgató idegsejt túlzott aktivitását (alsó nagy kör).

← negatív visszacsatolás XVIII.1.2

d) Az **agy leszálló pályái**: összegeződés a mozgató neuronon. Az agy nemcsak értesül a gerincvelőben történtekről, hanem az ún. leszálló pályák révén módosítani is képes azt. Egy interneuron vagy egy mozgató idegsejt felületén nemcsak az érző neuron(ok), hanem az agy különböző részeiről érkező mozgató pályák is szinapszisokat alkotnak. Elképzelhető, hogy a gerincvelői reflex a megérintett tárgytól való eltávolodást váltaná ki (például mert az forró), az agyból érkező parancs azonban gátolja ezt és a tárgy megragadását írja elő (például mert az egy életmentő kapaszkodó a szakadék peremén). A serkentő és a gátló hatások összegeződése szabja meg az eredményt: a tényleges mozgást.

← mozgáselemek összehangolása XVIII.3.4

← XVIII.3.1.4

3.2.3 Az agy felépítése

Az agyvelő részei közül az **agytörzs** a gerincvelő folytatása. A gerincvelőtől eltérően benne a szürke- és fehérállomány nem egy-egy egységes térrészt alkot, hanem az idegsejt-testek sok apró magot vagy laza hálózatot hoznak létre. Ezek közt futnak a fel- és leszálló pályák, melyek gyakran leágazásokat küldenek egy-egy maghoz. Az agytörzs legalsó, gerincvelővel érintkező része a *nyúltagy (nyúltvelő)*, fölötte a *híd*, legfelső szakasza pedig a *középagy*. Az agytörzsből – a gerincvelőhöz hasonlóan – idegek lépnek ki, ezeket

AGYTÖRZS

NYÚLTAGY, HÍD KÖZÉPAGY

agyidegeknek nevezik és III–XII-ig számozzák. (Az I. és a II. agyideg nem az agytörzsből lép ki).

KISAGY

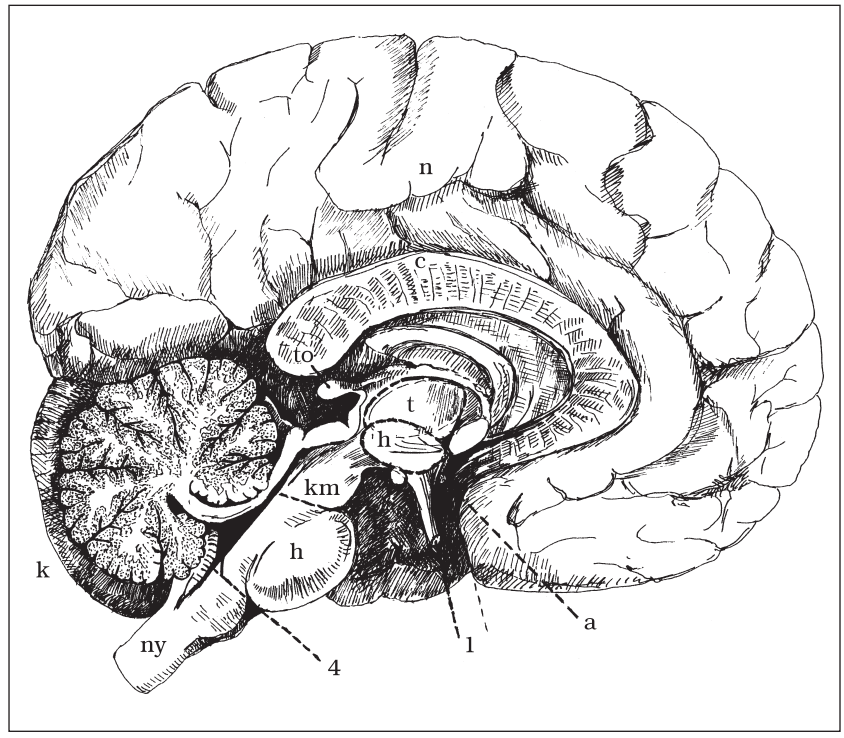
A **kisagy** a koponyaüreg alján helyezkedik el. Főleg a hídhoz kapcsolódik, s rajta át a le- és felszálló pályákkal is kapcsolatot tart.

KÖZTIAGY

Az agytörzs fölött található a **köztiagy.** Egyik része a *talamusz*, ahol az összes felszálló pálya átkapcsolódik (szinapszist alkot). Az érző pályák utolsó neuronjai innen indulnak a nagyagy felé. Alatta fekszik a *hipotalamusz* és függeléke: az *agyalapi mirigy*.

NAGYAGY

A két féltekére oszló **nagyagyat** – többek közt – a *kérgestest* rostkötege kapcsolja össze. Felszínének egységes szürkeállománya a 2-4 mm vastag agykéreg, de sok kéreg alatti magot is tartalmaz. Érző, mozgató, és asszociációs (agyterületeket összekapcsoló) működést végző idegsejtek alkotják.



45. ábra. ***Az agy részei***
k: kisagy, n: nagyagy,
ny: nyúltvelő, h: híd,
km: középagyi magvak,
h: hipotalamusz*, t: talamusz*
l: látóideg, a: agyalapi mirigy,
to: tobozmirigy, c: kérgestest,
4: negyedik agykamra

A *-al jelölt részek nem az ábrázolt metszési síkban fekszenek!

Az egész agyat kívülről a kemény agyhártya védi, a lágy hártyák között pedig az agyi-gerincvelői folyadék áramlik.

3.2.4 A szervek autonómiája

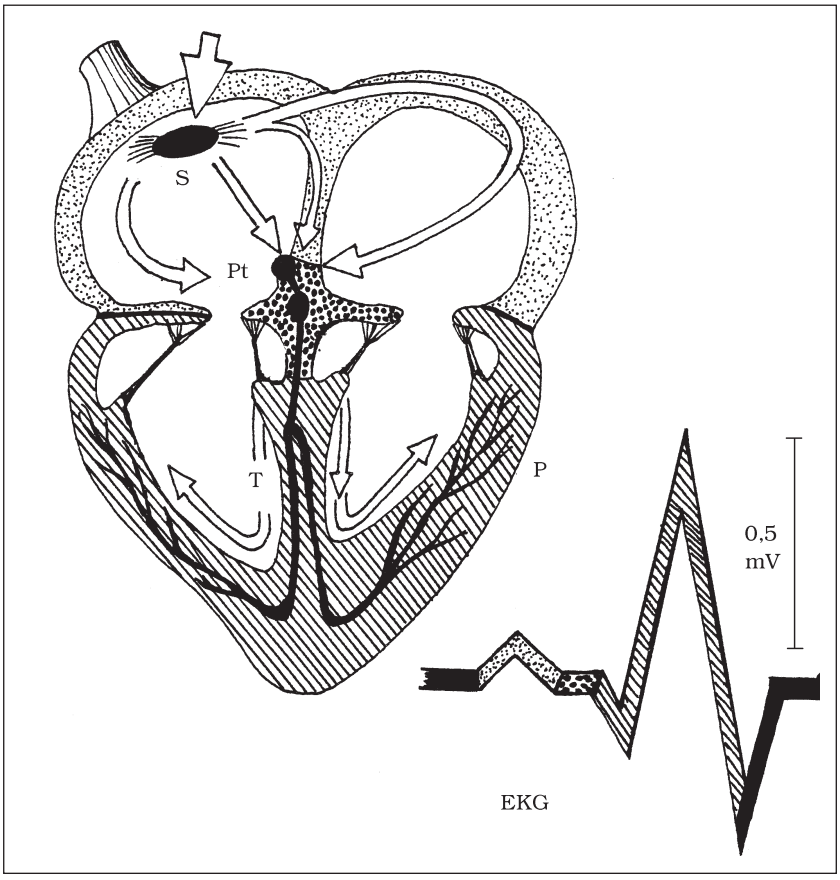
← Loewi kísérlete XVIII.3.1.3

SZINUSZCSOMÓ

← XVIII.3.1.4

← szívműködés: X.4.3.1

Bizonyos szervek – amint azt Galénosz is leírta – önálló, autonóm működésre (is) képesek. Például a szervezetből kivett szív – megfelelő körülmények között – tovább dobog. Szükséges tehát, hogy valami módon önmagát működtesse, **önálló ingerképző- és ingerületvezető rendszere** legyen. A szív esetében ennek központját a jobb pitvar és a felső véna találkozási pontjában fekvő szinuszcsomóban találták meg. A szinuszcsomó sejtjei összehúzódásra nem képesek, viszont (emberben) nyugalomban kb. 72-szer ingerületi hullámot indítanak el, mely a pitvarok izomzatában minden irányban kiterjed, és a szívizomrostokat összehúzódásra készteti. Az ingerületi hullám a pitvar-kamra határvonalon csak egy ponton, a pitvar-kamrai csomón keresztül juthat át. Mivel itt lassan terjed, a kamrák összehúzódása csak némi késéssel követi a pitvarokét. A kamrák izomzatába vezető ingerülettovábbító rostokat az ábra mutatja.



46. ábra. ***A szív ingerületkeltő- és vezető rendszere, mellette az EKG-hullám jellegzetes részei***
S: szinuszcsomó, Pt: pitvar-kamrai csomó,
T: Tawara-szálak, P: Purkinje-rostok

A vékony nyilak az ingerületi állapot terjedését mutatják a pitvar majd a kamra izomzatában. A vastag fehér nyíl jelzi, hogy a szinuszcsomó működésére a szervezet serkentő és gátló módon is képes hatni.

Az EKG (elektrokardiogram) görbe egyes szakaszainak jelölése mutatja, hogy a szív mely részének működése okozza azt.

A szíven végigfutó ingerületi hullám elektromos aktivitása megfelelő erősítéssel érzékelhető, mérhető. A módszert a XX. század elején vezették be (Einthoven, 1903, Nobel-díj: 1924) és **elektrokardiográfiának** (EKG) nevezték el. Az EKG-hullámok elemzéséből következtetni lehet egyes szívbetegségekre, például a szívinfarktusra is, ezért jelentősége a gyógyászatban nagy.

EKG

A szív ingerületképző rendszerének gyakori hibája a **szívritmuszavar**. Ilyenkor a szinuszcsomó (vagy a pitvar-kamrai csomó) néha „kihagy" vagy éppen egy-egy nem megfelelő időpontban indított összehúzódással (extraszisztoléval) okoz zavart. Súlyos esetben mesterséges úton, beépített szívritmus-szabályozóval (pacemakerrel) pótolni lehet a szinuszcsomó működését.

SZÍVRITMUSZAVAR

3.2.5 A vegetatív idegrendszer

Régóta ismert, hogy a testünkben lezajló folyamatok egy részét képesek vagyunk akaratlagosan, tudatosan irányítani, más részét nem. Filozófiai és pszichológiai megközelítések alapján a lelki működést részekre bontották, s azokat hierarchikusan egymás alá- és fölérendeltnek képzelték el. (Például Descartes: tudatos értelem – automatikus test, Freud: tudatos Én, öntudatlan Es.) Ez a szemléletmód hatott az idegélettanra is: keresték ugyanezen jelenségek biológiai, élettani megfelelőit.

← Arisztotelésznél III.10.1

← Descartes VII.3.1.3
← Freud XVII.2.2.4
← Frankl XVII.2.5.1

A francia Bichat 1800-ban az akaratunktól független folyamatokat **vegetatív**nak (lat. növényszerű), az attól függőt pedig animálisnak (lat.: állatszerű) nevezte el. Az első kifejezést máig használják, az animális helyett

VEGETATÍV ÉS SZOMATIKUS

azonban – meglehetősen logikátlanul – a **szomatikus** elnevezés vált elfogadottá (*szóma* = test, gör.). A szomatikus idegrostok a vázizmokat és az érzékszerveket, a vegetatívok a zsigereket és mirigyeket idegzik be. A határok azonban nem élesek. Légzését vagy szemmozgását például – bizonyos határok között – mindenki képes akaratlagosan befolyásolni, bélműködését nem. (Részben ez is megtanulható azonban, de az európai kultúrában nem gyakorlat.) Ugyancsak bizonytalan a *hatás* és az *irányítás* közti határvonal. *Hatni* ugyanis szinte bármire tudunk – noha többnyire nem tanulunk meg élni ezzel a lehetőséggel. Jelentős, ám nem sokkal pontosabb a másik különbségtevés sem. Eszerint a vegetatív idegrendszer a szervezet *belső összhangját, homeosztázisát* teremti meg, a szomatikus pedig a *külvilághoz való alkalmazkodást* segíti elő. Azonban valójában semmi nem független a külvilágtól – a belső összhang sem. Ráadásul a külvilág hatásai sem függetlenek belső környezetünktől.

← homeosztázis XVIII.1.3.3

ANATÓMIAI KÜLÖNBSÉGEK

A kétféle idegrendszer elkülönítést az tette lehetővé, hogy feltételezték: a működésbeli eltérés **anatómiai különbségre** vezethető vissza. Ennek alapján megkeresték azokat a szerveket, melyek valamely dúccal állnak összeköttetésben. Szorosabb (anatómiai) értelemben ezek működtetését nevezhetjük vegetatív funkciónak. A „túlélő szervek" (szív, bélcsatorna) önálló mozgásai azt bizonyítják, hogy ez a dúcrendszer *részleges autonómiát* élvez, tehát valóban akaratunktól függetlenül is képes működni. (Egyes szerzők ezért autonóm idegrendszernek nevezik a vegetatív helyett.) Ha azonban egy állat dúcrendszerét megfosztják a központi idegrendszerrel való összeköttetésétől (átvágják a gerincvelői és agyidegeket) az hamarosan halálhoz vezet. Szükséges tehát, hogy a központi idegrendszer (egy része) *összehangolja a vegetatív dúcok működését*. Ehhez olyan sejtek vagy sejtcsoportok szükségesek, amelyek közvetlen összeköttetésben állnak a vegetatív dúcokkal (szinapszist alkotnak velük). Ezeket a sejtcsoportokat nevezték el **vegetatív központoknak**. A kutatók előtt ekkor az a feladat állt, hogy a vegetatív központokat elkülönítsék a központi idegrendszer többi részétől. E célból a kísérleti állatok agyát különböző helyeken kiirtották vagy apró elektromos impulzusokkal ingerelték. A hatás elmaradásából illetve az erőteljes válaszreakcióból meg tudták állapítani, hogy milyen működés központját „találták el". Néha sérült emberek tüneteiből is következtetni lehetett ugyanerre. Úgy találták, hogy vegetatív központok a gerincvelőben, az agytörzsben és a hipotalamuszban, sőt a nagyagyban is vannak. Tágabb értelemben **a vegetatív központok és a velük kapcsolatban levő dúcrendszer egységét** nevezik **vegetatív idegrendszernek.**

← XVIII.3.2.4

VEGETATÍV KÖZPONTOK

3.2.6 Vegetatív szabályozó működések

SZOMJÚSÁG

A hipotalamusz egy sejtcsoportjának ingerlése mértéktelen, fölösleges ivást váltott ki az állatból. Ezt **„szomjúság-központnak"** nevezték el. Kiirtása vagy elhalása esetén az állat akár szomjan is veszhet a vízzel telt edény előtt. A szomjúság-központ természetes körülmények között a rajta átfolyó vér ozmotikus koncentrációját érzékeli, s ha az megnő, folyadék-kereső magatartásra ösztökéli a jószágot. Ezzel párhuzamosan hormonális úton is befolyásolja a szervezetet: az agyalapi mirigy hátsó lebenyét fokozott ADH ürítésre serkenti, ami növeli a vízvisszaszívást a vesében és csökkenti a verejtékezést is. E folyamatok gátolják a vízvesztést.

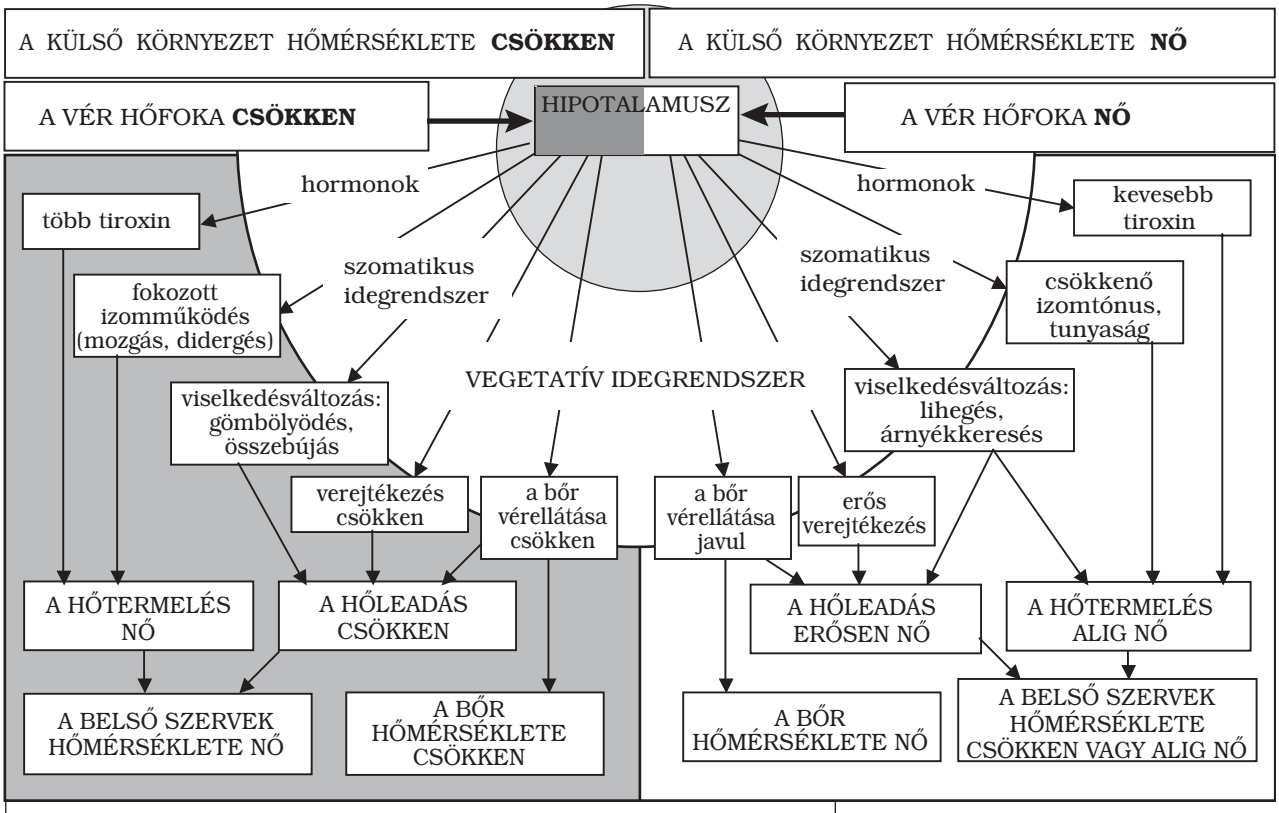
← ozmózis IX.4.2.4

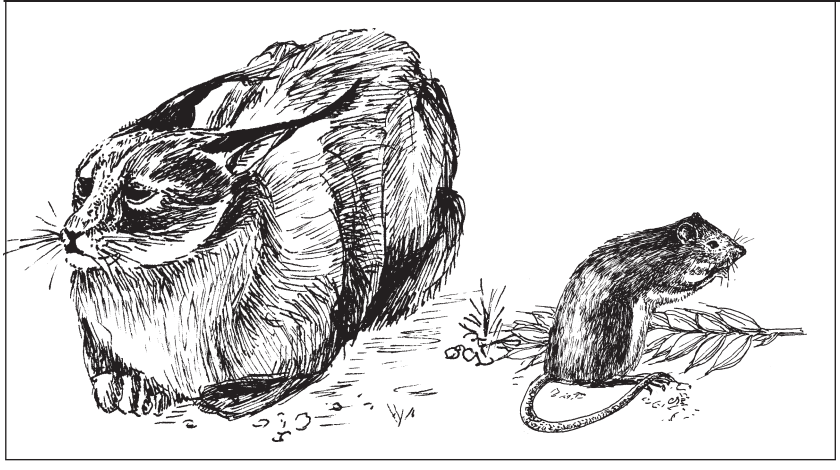
← veseműködés: XIII.8.3.2

ÉHSÉG

Ugyancsak a hipotalamuszban fekszik az (egyik) **„táplálkozási központ"**, s nem messze tőle a **jóllakottság**é. Az éhségérzet a vér tápanyagkoncentrációjának csökkenésével arányos, de befolyásolja az üres bélcsatorna mozgása (gyomor korgása) és sok más tényező is.

A nyúltvelőben található egy sejtcsoport, melynek ingerlése a vérerek





47. ábra. ***A testhőmérséklet szabályozásának kibernetikai modellje emlősökben***

Alatta balra: Sivatagi hiúz a kora hajnali órákban. A hosszú fülek nappal a hőleadást szolgálják, a hajnali hidegben azonban az állat lesimítja füleit, bundáját fölborzolja és összegömbölyödik. A test hőleadása így csekély, miközben a hőtermelés fokozott.

Mellette: mosakodó törpeegér. A rágcsálók mosakodása nem csak a tisztálkodást szolgálja. A bundán eloszlatott nyál párolgása hűti a testet, így a nagy melegben a hőleadás megnő.

izmait fokozott összehúzódásra serkenti, s így a **vérnyomást növeli** („nyomásnövelő központ"), egy másik sejtcsoport éppen ellenkező hatású. A két „központ" kölcsönösen gátló szinapszisokkal kapcsolódik egymáshoz, egyúttal információt kapnak a vérnyomás értékéről is. Nem közvetlenül a rajtuk átfolyó vér nyomását érzékelik azonban, hanem egyes verőerek falának feszülését. Ha a vérnyomás – bármi okból – nő, ezen erek receptorai ingerületi állapotba kerülnek, amit egy agyideg (a bolygóideg) érző rostjai továbbítanak a nyomáscsökkentő „központhoz". Amennyiben ez a hatás elég erős, a nyomáscsökkentő központ ingerülete átterjed a növelő központra, és gátolja azt. A folyamat eredményeként a bolygóideg mozgató rostjain a szívműködés erősségének csökkentésére és a vérerek elernyesztésére vonatkozó parancs fut végig a szívhez ill. az erek-

VÉRNYOMÁS

← vérnyomás oka, változása: X.4.3

→ öningerlő körök kapcsolata (ki- és belégzés) XVIII.3.5.1 (88. ábra)

hez. A vérnyomás csökkenésekor ellenkező folyamat biztosítja a szükséges mértékig való növelést.

A hipotalamuszban található **testhőmérséklet-központ** működését emlős állatokban a 47. ábra mutatja.

← testhőfok-szabályozás és életmód kapcsolata X.5.3.6

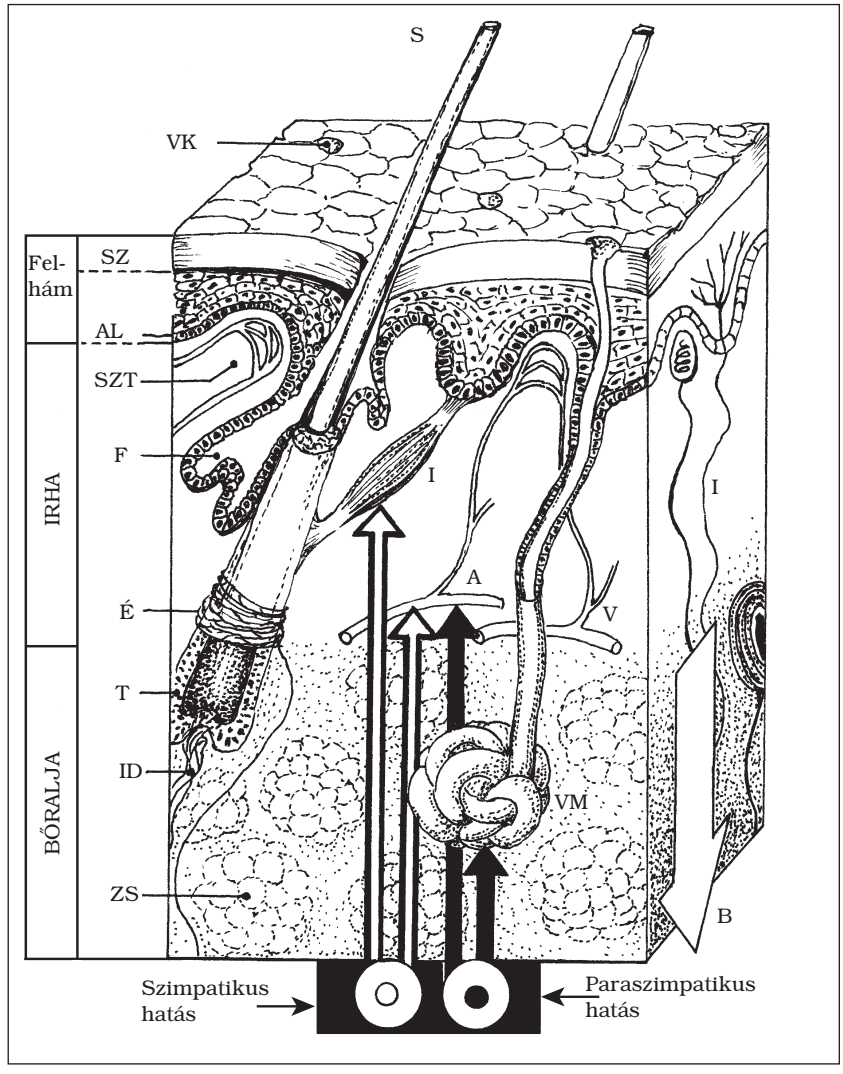
3.2.7 Egy sok funkciójú szerv: a bőr

VÉDŐ FUNKCIÓ

A **bőr** szervezetünk külső burkát alkotja, összeköti és elhatárolja testünket a külső világtól. Minderre úgy képes, hogy kifelé is és befelé is szüntelenül „figyel és válaszol". Működésének tekintélyes része homeosztázisunk megőrzésének szolgálatában áll, a vegetatív működések végrehajtó szerveinek egyike. Véd a kiszáradástól, a sugárzástól, a mechanikai és immunológiai hatásoktól, fontos szerepet játszik a hőszabályozásban, a kiválasz-

← homeosztázis XVIII.1.3.3

← D-vitamin XIII.4.1.2; XVIII.2.3.1



48. ábra. ***Emberi bőr fölépítése és működése***

A = artéria; V= véna; S= szőrszál; VM = verejtékmirigy; VK= verejtékmirigy kivezető nyílása; SZ = szaruréteg, AL = a hám alaprétege; SZT = az irha szemölcsteste hajszálerekkel; F = faggyúmirigy; I = szőrmeresztő izom; É = érzőideg végződések a szőrtüszőn; T= szőrtüsző; ID = idegek; ZS = zsírpárnácskák

A *felhám* (több rétegű elszarusodó laphám), a legvékonyabb réteg. Bőrfestéket (melanin) termelő sejteket tartalmaz, alsó rétegéből folyamatos osztódással hozza létre új sejtjeit, melyek elhalva a felszíni külső rétegekbe elérve a szaruréteg létrehozásában vesznek részt. A felhám függeléke a szőr és a köröm.

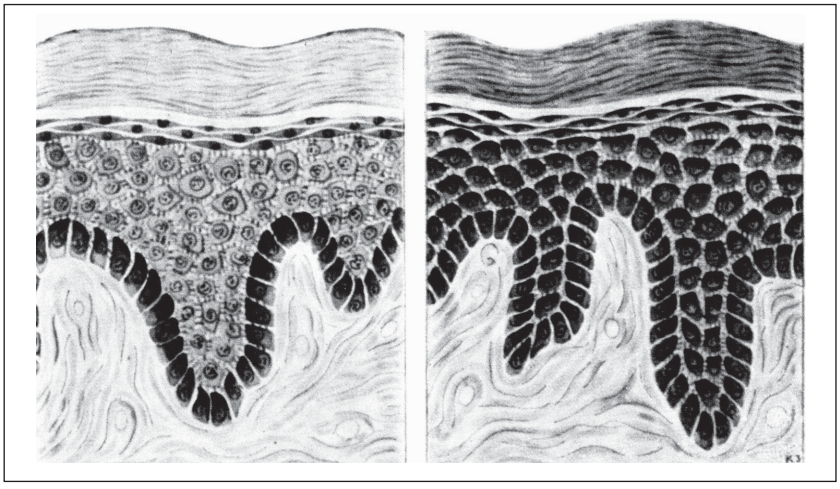
Az *irha* (kötőszövet) domborzatos nagy felületű felszínén – szemölcsteseken – érintkezik a felhámmal. Erekben, idegvégződésekben gazdag, táplálja a felhámot is.

A *bőralja* (nagyrészt zsírszövet) legömbölyíti a csontváz szögletes formáit és befedi az izomrendszert. Egyénenként és testtájanként vastagsága és szerkezete is változik. A bőralja zsírszövete nemcsak tartalék tápanyag, de fontos hőszigetelő réteg is.

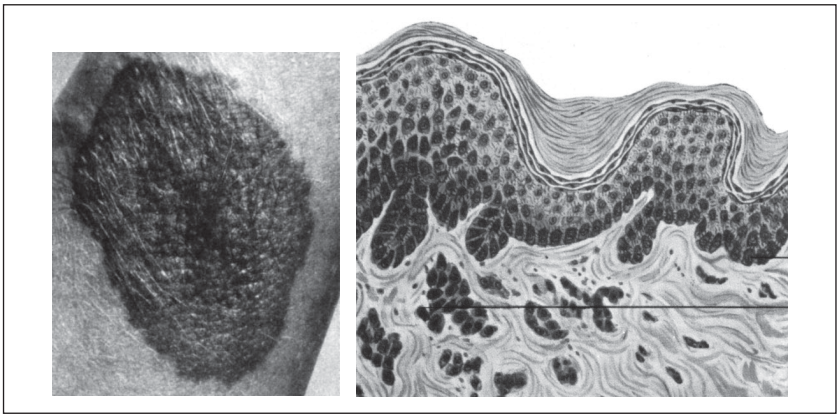
A fehér nyilak a szimpatikus hatásokat (érszűkítés, izommeresztés), a fekete nyilak a paraszimpatikus hatásokat (verejtékezés, értágítás melegben) jelzik. Jobb oldalon B betűvel jeleztük a bőrérzékelést (nyomás-, meleg, hideg, fájdalomérzékelés).

tásban (verejtékmirigyek), a vitamintermelésben (D-vitamin), a kommunikációban (elpirulás – sápadás), és az érzékelésben (nyomásra, melegre, hidegre érzékeny receptorok és csupasz idegvégződések). A bőrfelszín kellő nedvességtartását a verejtékmirigyek is segítik, de szerepük van a hőszabályozásban és káros anyagok ürítésében is. Dús érhálózat veszi körül az irha aljáig lenyúló gombolyaghoz hasonlító mirigysejtjeiket. Váladékuk enyhén savanyú kémhatású, híg, sókat is tartalmazó oldat.

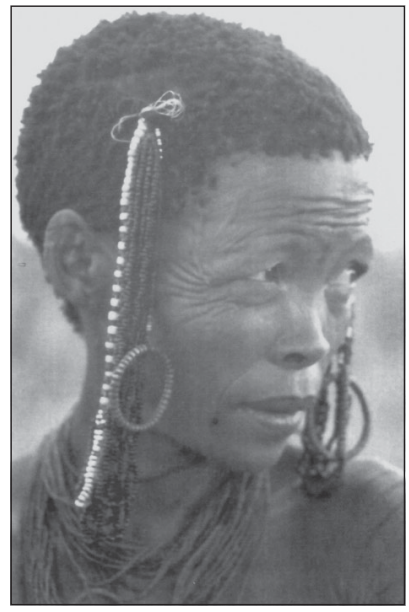
A bőrben lévő faggyúmirigyek a szőrtüszőbe juttatják váladékukat, majd onnan egy simaizom nyaláb a bőrfelszínre. A szaruréteggel együtt e zsírréteg egyrészt megakadályozza a szervezet belső vízkészletének elpárolgását, másrészt vízhatlanná is teszi bőrünket (egy bizonyos határig), ha testünk vizes közegbe kerül. Serdülés idején zsírtermelése hormonális hatásra fokozódik, a faggyúmirigy járatai eltömődhetnek, megnagyobbodhatnak (mitesszer). Gennyes pattanássá (akne) a mirigy akkor fejlődik, ha baktériumok fölszaporodnak a tüszőben és begyullad. Gyógyuláskor halvány sebhely jelzi a történtek helyét.



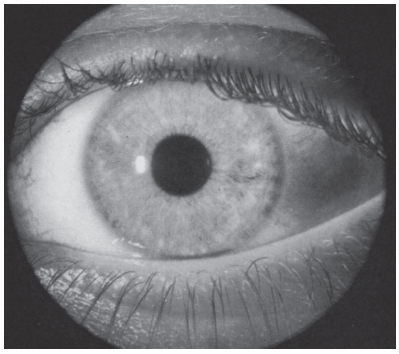
50. ábra. ***Fehér bőrű ember (balra) és néger (jobbra) bőrének hámrétege.*** Előbbiben csak a hámréteg alsó sejtsora (az alapréteg) tartalmaz barna festékanyagot, az utóbbiban a hám minden rétege, sőt az irha is. A festékanyag (pigmentáció) jelentős védelmet nyújt az ultraibolya sugárzás ellen, ezért minél világosabb bőrű valaki, annál jobban kell óvnia bőrét a közvetlen nyári napsütéstől. A „fehér ember" bőrének szarurétege halvány szürkés színű, bőrünk sápadt, rózsaszínű vagy piros árnyalatát az irha érhálózatának áttűnése okozza. E hajszálerek vérellátottsága idegállapotunktól, testünk hőtermelésének és -leadásának viszonyaitól is függ.

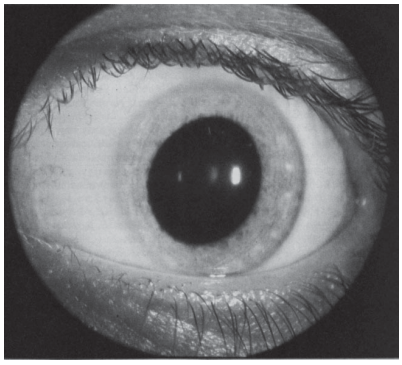


51. ábra. ***Anyajegy***
Az anyajegy a bőr festékképződést mutató területe. Baloldalt egy kiterjedt anyajegy képe a karon, jobboldalt az anyajegy fölépítése szövettani metszeten. Nemcsak a hámrétegben szaporodott meg a festékanyag, hanem az irhában is pigmentsejt-fészkek láthatók. Az anyajegy ebben a formájában – még ha nagy is – nem jelent veszélyt, de ha nőni kezd vagy kisebesedik azonnal orvoshoz kell fordulni, mert előfordulhat, hogy rákos góccá válik.



49. ábra. ***Egy élet története az arcon***
Dél-afrikai koiszan nő a Kalahári sivatagból (J. Diamond fényképe)
A ráncok a bőr víz- és kollagéntartalmának csökkenését jelzik. Öregedés során keletkezésük természetes, a hajszolt életmód, a sok alkohol, a kialvatlanság vagy az erős napsütés azonban gyorsítja kialakulásukat. A ráncok lefutása mutatja a leggyakoribb arckifejezést, arcunk ezért élettörténetünkről és jellemünkről is sokat elárul. A szemzug környéki szarkalábak a sok mosoly, a szájszögletből induló ránc a sok keserűség emlékét őrzi.





52. ábra. ***Pupilla tágulása szimpatikus hatásra (lent) és szűkülése paraszimpatikus hatásra (fent)***

3.2.8 Stressz és nyugalom

A vegetatív idegrendszer anatómiájának alapos vizsgálata különös eredményre vezetett. Kiderült, hogy csaknem minden szerv **kettős beidegzésű**: két különböző dúcból vezetnek hozzá mozgató idegsejtek. A dúcok közül az egyik a szervek falában, vagy közvetlen közelében fekszik, a másik viszont egy, a gerincvelővel párhuzamosan futó dúclánc része. E dúcok ingerlése egymással ellentétes hatásúnak bizonyult: az egyik serkentő, mozgósító, a másik megnyugtató, felhalmozó folyamatokat indított be. Előbbieket **szimpatikus**, utóbbiakat **paraszimpatikus** rendszernek nevezték el. Jól elkülönültek az eltérő dúcokhoz tartozó vegetatív központok is: a szimpatikus dúclánc a gerincvelő háti-ágyéki szakaszával áll összeköttetésben, a paraszimpatikus dúcok pedig az agyidegekkel vagy a gerincvelő keresztcsonti részével. Loewi kísérlete óta tudták, hogy a szívműködést gátló (nyugtató) paraszimpatikus idegvégződés átvivőanyaga az acetil-kolin. A további vizsgálatok kiderítették, hogy ez minden paraszimpatikus idegsejtre igaz, a szimpatikus rendszerben viszont egyöntetűen egy másik anyag: a noradrenalin az átvivő molekula. Ezzel megtalálták a működésbeli különbség kémiai összetevőjét is.

A szimpatikus és paraszimpatikus idegrendszer eltérő hatásai

szimpatikus hatás	**szerv**	**paraszimpatikus hatás**
perctérfogat nő	szív	perctérfogat csökken
tágulnak	vázizom-erek	–
tágulnak	hörgőcskék	szűkülnek
perisztaltika lassul	bélcsatorna	perisztaltika gyorsul
tágul	pupilla	szűkül
disszimilációt gyorsít	anyagcsere	asszimilációt gyorsít

VÉSZREAKCIÓ

← döntési sémák XVI.4.4.3

→ stressz és egészség XVIII.5.3

Az amerikai Cannon tárta föl a **vészreakció** jelenségének élettani okát. Váratlan helyzetben, gyors és ártalmas ingerek hatására (amilyen például a támadás, az oxigénhiány, vagy az egyensúlyvesztés) a szimpatikus hormon- és idegrendszer kezd fokozott működésbe, ami az egész szervezetet fölkészíti a küzdelemre vagy a menekülésre. (Cannon szavaival: „*flight or fight*”, „repülj el vagy küzdj meg”.) A vészreakció az élőlény éberségét, gyorsaságát növeli, például a vért a belekből az izmokba és az agyba irányítja. Ennek ára ugyan az emésztés időleges gátlása, ám a raktárakból addig is biztosítva van a tápanyagellátás. A szimpatikus reakcióban különleges szerepet kap egy belső elválasztású mirigy, a **mellékvese**. A mellékvesék a két vese csúcsát borítják be, két, élesen elkülönülő állomány: a kéreg és a velő építi fel őket. Szemben a többi szervvel, a mellékvese (és a vérerek többsége) csak szimpatikus rostokat kap. Cannon megfigyelte, hogy a *velőállomány* közvetlenül az őt beidegző szimpatikus idegek hatására kezdi termelni két hormonját: az **adrenalint és a noradrenalint**. (*ren* = vese, lat. *ad* + *renalin* = „vese-melletti”) E két hasonló anyag már korábbról ismert volt, mint a szimpatikus idegrendszer ingerületátvivő anyaga. Csakhogy míg az átvivőanyagok csak a szinapszis keskeny résében hatnak, addig a mellékvese-kéreg által termelt hormonok eljutnak a szervezet minden részébe, és ott hasonló tüneteket váltanak ki. A szimpatikus válasz tehát két részből áll: egy közvetlen, gyors hatásból, ami a vegetatív idegrendszer hatása, és egy lassúbb, de tartósabb izgalomból, ami a mellékvese-hormonok műve.

MELLÉKVESE

ADRENALIN

← neuroendokrin rendszer XVIII.3.1.7

STRESSZ

← stresszfehérjék XII.8.3.7

Cannon magyar tanítványa, Selye János dolgozta ki a **stressz** (angolul: **stress**) elméletét. Selye **stresszor**nak (stressor) nevezett el minden olyan hatást (pl. váratlan zajok, gyenge áramütések, izgalmas események, túlzsúfoltság), amely a szervezetet kimozdítja nyugalmi helyzetéből. A szervezet erre adott válasza a stressz vagy stresszválasz. Selye megfigyelte, hogy

ha a stressz tartós, betegségek lépnek föl és a mellékvese kéregállománya megnő. Ebből arra következtetett, hogy a stresszválaszban a mellékvese kéreg hormonjai is részt vesznek. A kéregből sokféle hormont kimutattak. Ezek kémiai szempontból hasonlóak (szteránvázas vegyületek), funkciójuk szerint egy részük a nemi működésekre hat (szexuál-szteroidok), más részük a só- és vízforgalomra (mineralo-kortikoidok), harmadik csoportjuk pedig az anyagcserére (glüko-kortikoidok). Utóbbiak közül ismertebb a **kortizol** (*cortex* = kéreg, lat.). A kéregállomány működését hormonális úton képes serkenteni az agyalapi mirigy (az ACTH: adreno-corticotrop-hormon, azaz: mellékvesekéreg-serkentő hormon segítségével).

Selye észrevette, hogy más a rövid ideig tartó és elhárítható stressz hatása, mint a tartós és befolyásolhatatlan ártalmaké. Előfordulhat – az emberi társadalmakban ez gyakori eset – hogy a küzdelem nem segít, a menekülés nem lehetséges, a stresszorral tartósan együtt kell élni. Tartós stressz esetén Selye a válasz három szakaszát írta le. Az **első fázis** azonos a Cannon által leírt **vészreakcióval**. A stresszor szűnni nem akaró támadása következtében lép föl a második fázis, az **alkalmazkodásé**. A vészreakció tünetei megszűnnek, a szervezet „hozzászokik" a stresszorhoz. A nyugalom azonban csak látszólagos. Az adrenalintermelés ugyan visszaesik, de a mellékvesekéreg hormonok kiválasztása fokozódik, ami egész sor tünetet, úgynevezett alkalmazkodási betegségeket idéz elő. Ilyen például a magas vérnyomás, az immunrendszer gyengülése, a gyomorfekély, a szívizom-elhalás. Selye ezeket a tüneteket mesterségesen, mellékvesekéreg hormonok adagolásával is elő tudta idézni patkányokban. Az alkalmazkodás fázisában tehát a szervezet súlyos árat fizet a fennmaradásért. Tartalékai kimerülnek, ami elvezet az utolsó fázishoz, a **kimerüléshez,** végső soron a halálhoz.

Életünk során a stresszorok nem kerülhetők ki, teljesen stresszmentes lét ezért nem lehetséges. De nem is célszerű erre törekedni, hiszen az ilyen élet elveszítené minden érdekességét, izgalmát és egyediségét. Az viszont lehetséges és szükséges is – tanácsolja Selye –, hogy megszüntessük a tartós, feloldatlan, vagy gyakran, egyoldalúan ismétlődő stresszhelyzeteket. Ennek rövid távon legegyszerűbb módja a stresszsor kerülése, de célravezetőbb a feszültség tudatos és aktív feloldása. (Egy nehéz feladat elől megfutamodhatunk, de meg is oldhatjuk azt.) Bármilyen megoldás előfeltétele az okok megértése. *„Ha felismertük a stresszsort, magunk is eltávolíthatjuk, vagy javíthatunk a védelem és a meghódolás arányain, helyrebillentve az egyensúlyt"* – írja Selye Életünk és a stressz című könyvében. A fölismeréshez és a helyes válaszhoz gyakran külső segítség is szükséges. Ennek oka, hogy mind testi, mind lelki védelmi reakcióink *„beszorulhatnak egy szűk járatba, például úgy, hogy mindig ugyanazt az eltúlzott hormonális visszahatást hozzák létre, akár megkívánja az adott helyzet, akár nem"*. (Életünk és a stressz.) Lelki téren ehhez hasonló hibás beidegződések az előítéletek, az érzelmi egyoldalúság (például a döntésképtelenséget leplező folytonos gúnyolódás), szélsőséges esetben a kényszerbetegségek, a függőség kialakulása. A segítséget gyakran egy új, váratlan stressz adja, amely kizökkenti a szervezetet a rossz kerékvágásból. Selye így magyarázza sok ősi és újabb eljárás meglepő sikerét (ráolvasó-varázslók, érvágás, hidegvíz-kúra, magas láz, de akár egy őszinte beszélgetés, vagy egy befogadó közösség élménye is). Máskor, éppen ellenkezőleg a tartós nyugalom (hosszú alvás) ad lehetőséget a beteg szervezetnek, hogy új válaszokat találjon a régi kihívásokra – azaz meggyógyuljon.



53. ábra. ***Selye János (1907–1982) magyar származású kanadai biológus.***
A stresszelmélet kidolgozója. Könyvei Stressz distressz nélkül, Életünk és a stressz, In vivo) nemcsak az elméletéhez vezető útról, hanem a tudományos kutatás általános módszereiről is képet adnak.

„Vajon Amerikát az ősidőktől itt élő indiánok fedezték-e fel, vagy a tizedik század viking hajósai, vagy pedig Kolumbusz Kristóf, aki 1492-ben érkezett partjaihoz? Folytatódik-e napjainkban is a felfedezés azok által, akik új olajkutakat fúrnak s az urániumszűz lelőhelyeit tárják fel a föld méhében? …

Az egyetlen fontos különbség az indiánok, a vikingek és Kolumbusz között az, hogy csak Kolumbusznak sikerült az amerikai szárazföldet a többi kontinenssel összekapcsolnia. Nem az a lényeges, hogy valamit elsőnek lássunk meg, hanem az, hogy szilárd kapcsolatot teremtsünk az előzőleg megismert és az addig ismeretlen között. Ez a tudományos felfedezés ábécéje.

… Felfedezni nem annyit tesz, mint meglátni, hanem olyan világosan megmutatni valamit, hogy ezután már sokan láthassák, és örökké látható maradjon."

Selye: The stress of life
– Életünk és a stressz

3.2.9 Az érzelmek iskolája

A stresszhelyzetet – egyéntől függően – nagyon különböző lelkiállapot kíséri. Ebben kulcsszerepet tulajdonítanak az ilyenkor jelentős mennyiségben termelődő hipotalamuszhormonnak, a CRH-nak (mellékvesekéreg-serkentő

← XVIII.2.4.4 összefoglaló ábrája

hormont serkentő hormon). Ennek az anyagnak egyik szerepe az, hogy közvetett úton – az ACTH serkentése révén – előmozdítsa a mellékvesekéreg működését. Ez az anyag azonban nemcsak a mellékvesére hat, receptorait az *agyon belül is* számos helyen felfedezték. Így kimutatható,

← endofirnok XVIII.3.1.7

hogy növeli az endorfintermelést, ezáltal fájdalommentes, *euforikus állapotot* idézhet elő (például versenyek során!). Az agy egy másik részén (az úgynevezett kék magban) noradrenalin-termelést vált ki, ami viszont szorongást, *félelmet keltő hatású*. Ha ez kerül túlsúlyba, az állat vagy ember

→XVIII.5.3.2

megretten, akár cselekvőképtelenné is válhat (patkányok megdermedési reakciója áramütés után, emberben például a vizsgadrukk bénító hatása). Kedvező esetben az endorfinok és a noradrenalin együttes hatása a lényt a stressz elkerülésére, leküzdésére ösztönzi. Ennek sikerességét növeli az

→ memória XVIII.3.5.1

is, hogy a CRH-val egyidejűleg ADH-t is termel a hipotalamusz. Az ADH az agyon belül *memóriafokozó* hatású, ami – tapasztalt egyedekben – egy sor már bevált cselekvési séma, tanult elem fölelevenítését teszi lehetővé (a mérsékelt „lámpaláz" hatására néha az illető számára is váratlan, jó eredmény születik). Ma már az ADH-n kívül több más hormon memóriaserkentő hatását is kimutatták.

← az érzelmek zavarai XVII.3.1.2

A stressz vizsgálata során feltűnt, hogy ugyanaz a hatás egyesekből levertséget, depresszót vált ki, másoknak viszont fokozza aktivitását. Vajon öröklött, alkati különbség ez vagy az egyéni élet különbségeire vezethető

← imprintig (Lorenz) XVI.4.3

vissza?

← Freud a gyermekkori élményekről XVII.2.2.3



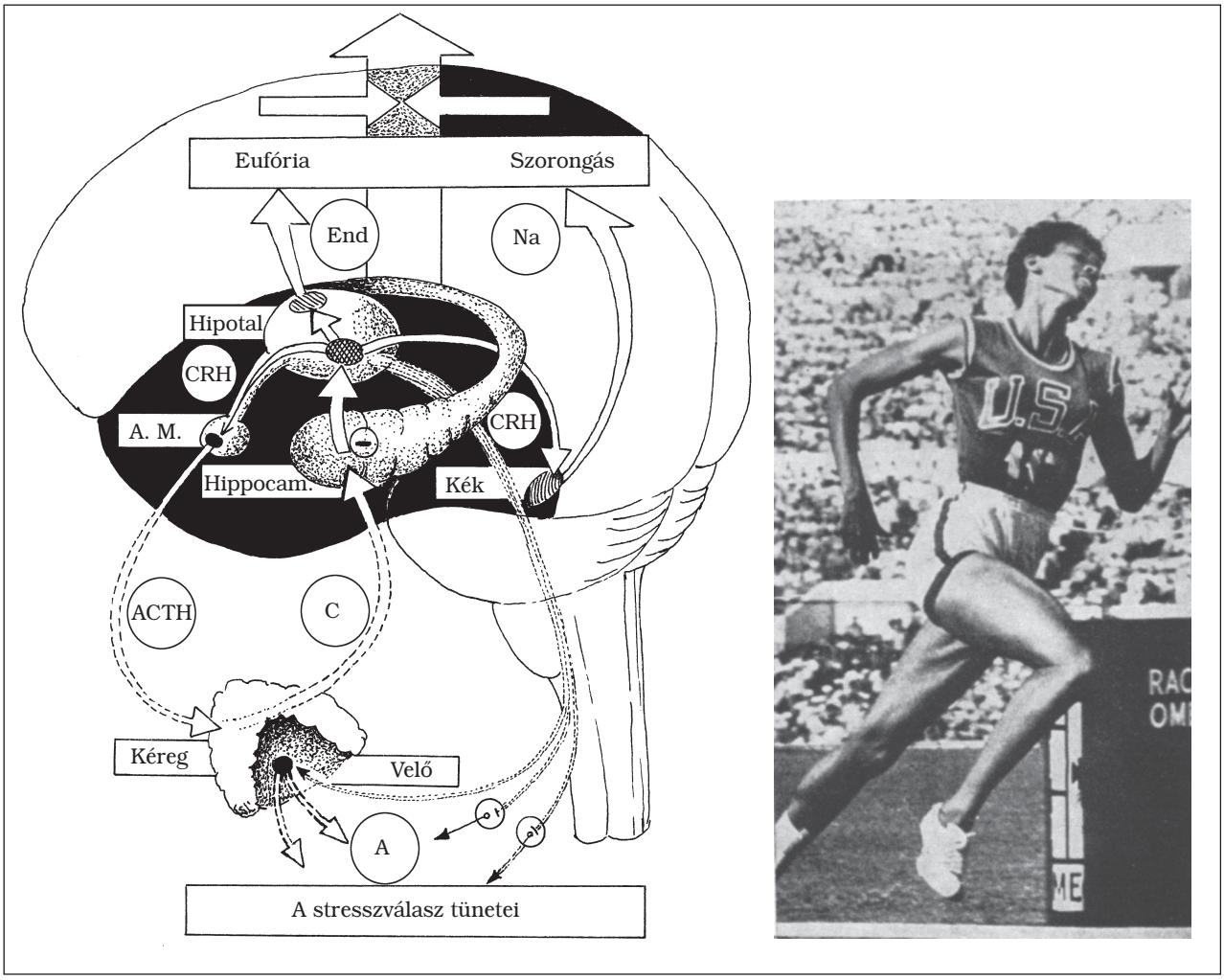
54. ábra. ***Szőrös „műanyához" menekülő megriadt kölyökmajom***
Anyjuktól elkülönítve nevelt újszülött majmokban vizsgálták a hormonok szintjét. E szerencsétlen állatokon – a kitűnő táplálás ellenére – a stresszhatás összes látható tünete jelentkezett, ezzel párhuzamosan megnőtt az agyi CRH és kéreghormon (kortizol) szintjük. Félénkek, búskomorak, étvágytalanok, betegesek lettek, memóriájuk gyengébb, érdeklődésük csekélyebb lett, mint testvéreiké. Hiába találkozhattak hat hónapos koruk után szüleikkel és testvéreikkel – állapotuk ekkor már nem javult. Az egész életre szóló különbségek tehát életük korai hónapjaiban alakultak ki, feltehetően a tartósan magas CRH és/vagy kortizolszint hatására (is).

A kutatók fölfedeztek egy olyan agyterületet (tudományos neve: hippocampus), melyben az idegsejtek felszínén sok kortizol-receptor található. Ez az agyterület erőteljesen gátolja a CRH-termelést, megszüntetve ilymódon a stresszállapotot. A gátló hatás azonban attól is függ, hogy mennyi receptor van az idegsejtek felszínén. A fiatal állatot érő folyamatos, nagyon enyhe stressz – amilyen például a nyalogatás, egyik helyről a másikra hurcolás – emeli e receptorok számát, így a természetes családi környezetben nevelt állatka a későbbiekben az erős stresszt is jól viseli. A fiatal korban tartósan magas kortizolszint azonban elpusztítja ezen receptorok jó részét, a szabályozókör sérül, a későbbiekben az enyhe stresszhatás is hosszú és aránytalanul erős szorongást fog kiváltani.

A maga módján tehát az idegélettan is megerősítette Freud teóriájának egyes elemeit és Lorenz bevésődéssel kapcsolatos megfigyeléseit. Fejlettebb idegrendszerű fajokban a korai gyermekkorban szerzett tapasztalatok meghatározóak és tartósak a felnőtt életében is.



55. ábra. ***Kölykét vivő anyatigris***
A fiatal állatok nyalogatása, hurcolása, a testvérek játékos verekedése olyan enyhe stresszhatások, melyek elengedhetetlenek a későbbi nyugodt, szorongásmentes élethez.



56. ábra. ***A hormonális rendszer és idegrendszer együttműködése stresszhelyzetben (a limbikus rendszer és kapcsolatai)***
Az agyban látható a hippocampus (Hippocam.) a hozzá vezető szaglóideggel, az agytörzsi magvak (sötét alapon), ezek egyike noradrenalint (NA), másika pedig endorfinokat (End) termel. A hipotalamusz (Hipotal.) hormonjával a CRH-val (mellékvesekéreg-serkentő hormont serkentő hormon) mindkét magra hat, a CRH-termelést viszont gátolja a hippocampus. A CRH az agyalapi mirigyre (AM) is hat, ott kiváltja a mellékvesekéreg-serkentő hormon (ACTH) termelését, ami viszont a mellékvesekéreg hormonokra – különösen a kortizolra (C) hat serkentően. Ezzel egyidejűleg a szimpatikus idegrendszer útján a mellékvesevelő is fokozott adrenalin (A) és noradrenalin termelésbe kezd. A kortizol átjut a vér/agy gáton és aktiválja a hippocampus receptorait, de ha tartósan és hosszan hat, el is pusztíthatja azokat. További magyarázat a szövegben!

Mellette: Wilma Rudolph amerikai atléta az 1960-as római olimpián. Az elérendő cél egységbe szervezi a stresszválasz eltérő hatású elemeit.
Az amerikai atlétanő egy huszonkét gyermekes család huszadik gyermekeként született a Tennessee állambeli Betlehemben, két kilogrammal. Négyéves korában bal lábára megbénult, az orvosok közölték: soha nem tud majd járni. A család végül azt a tanácsot kapta, hogy próbálkozzanak a bénult láb masszírozásával. Testvérei egymást váltották az ágyánál. Tizenkét éves korában váratlanul járni kezdett. Csodálatos fölépülését nagyszerű sportpályafutás követte: 1956-ban tagja az amerikai olimpiai bronzérmes csapatnak, az 1960-as római olimpián pedig három aranyérmet szerzett. Hazatérve sokat tett azért, hogy a hátrányos helyzetű gyermekek a sport segítségével lehetőséget kapjanak a kiemelkedésre.

Summa (3.2)

KAPCSOLÓDÁSI PONTOK

Az idegsejtek kapcsolódásának jellegzetes típusai: a hálózatos (diffúz), a dúc- és a csőidegrendszer. Hálózatos idegrendszer jellemző a csalánozókra és az emberi bélcsatorna falára, dúcrendszere van a férgeknek és ízeltlábúaknak, dúcok alkotják az emberi környéki idegrendszer egy részét is. Csőidegrendszer a gerincesek központi idegrendszere (gerincvelő és agyvelő).

GERINCVELŐ

A gerincvelő szürkeállományát sejttestek, fehérállományát a le- és felszálló pályák alkotják. A gerincvelői reflexek érző neuronjának sejttestje a csigolyaközti dúcban, mozgató idegsejtje pedig a szürkeállomány mellső szarvában található. A mozgató idegsejt ingerületi állapotát vagy közvetlenül egy végrehajtó sejtnek adja át, vagy egy köztes idegsejt (interneuron) segítségével teszi ezt. Egyúttal információ jut el az agyi központokba is (felszálló pálya), melyeknek módjukban áll befolyásolni a választ (leszálló pályák gátló vagy serkentő hatása). A reflexív mozgató rostja vagy közvetlenül a vázizmon végződik (szomatikus reflex) vagy egy, a zsigert, mirigyet ellátó dúcot ingerel (vegetatív reflex).

VEGETATÍV IDEGRENDSZER

A vegetatív idegrendszert a dúcok és az azok működését közvetlenül összehangoló központi idegrendszer-területek (vegetatív központok) alkotják. Két részből áll. A szervezet tartalékait mozgósító szimpatikus idegrostok a gerincvelő háti-ágyéki szakaszából, a tartalékoló, nyugalmi paraszimpatikusak pedig az agytörzsből és a keresztcsonti gerincvelőből lépnek ki. A legtöbb szerv kettős beidegzésű.

STRESSZ

A szervezetet érő stressz (nyugalmat zavaró hatás) a szimpatikus idegrendszer izgalmán kívül a mellékvese fokozott hormontermelését is kiváltja. (Kéreg: főleg kortizol, velő: adrenalin és noradrenalin.) Ez részben hormonális hatásra (hipotalamusz: CRH – agyalapi mirigy: ACTH), részben közvetlen idegi hatásra indul meg (velőállomány).

A stressz jellegzetes pszichikai hatásai: szorongás, fájdalomoldás, bizonyos memóriafajták fokozódása. A fokozott stressz-választ negatív visszacsatolás révén az agy állítja le. A gátló hatás a receptor számtól is függ, ami pedig az egyéni élet során szerzett tapasztalatok függvénye.

Problémák, feladatok (3.2)

1. Vessük össze Galénosznak a bolygóideg hatását vizsgáló kísérletét (lásd az IV. fejezetben) a mai idegélettani eredményekkel! Mi az, ami módszereikben azonos volt, s mi az, ami nem állt Galénosz rendelkezésére?

2. a) Ha ikertestvérek egymástól távol nevelkednek, érzékenységük, stressz-tűrésük is különböző lesz.
   b) A „vérmérséklet” – például depresszióra való hajlam –, gyakran nemzedékeken át megmarad egy családon belül.
   Mire lehet következtetni e két tényből? Ellentmondnak-e egymásnak?

3. A mellékvesevelő a szimpatikus idegrendszer átvivőanyagának megfelelő hormont termel (adrenalin, noradrenalin). Ugyanakkor nem vegetatív dúc közbeiktatásával, hanem közvetlenül hatnak rá a gerincvelő mozgató neuronjai. Ha föltételezzük a hormonális és az idegrendszer közös eredetét, hogyan hozható összhangba e két tény?

4. „Toldi György veresebb lőn a főzött ráknál …”
   Milyen testi tüneteket váltott ki a Toldi nyolcadik énekében Toldi Györgyből a király döntése? Milyen hormonális és idegi változások mehettek végbe szervezetében?

3.3 Az érzékelés

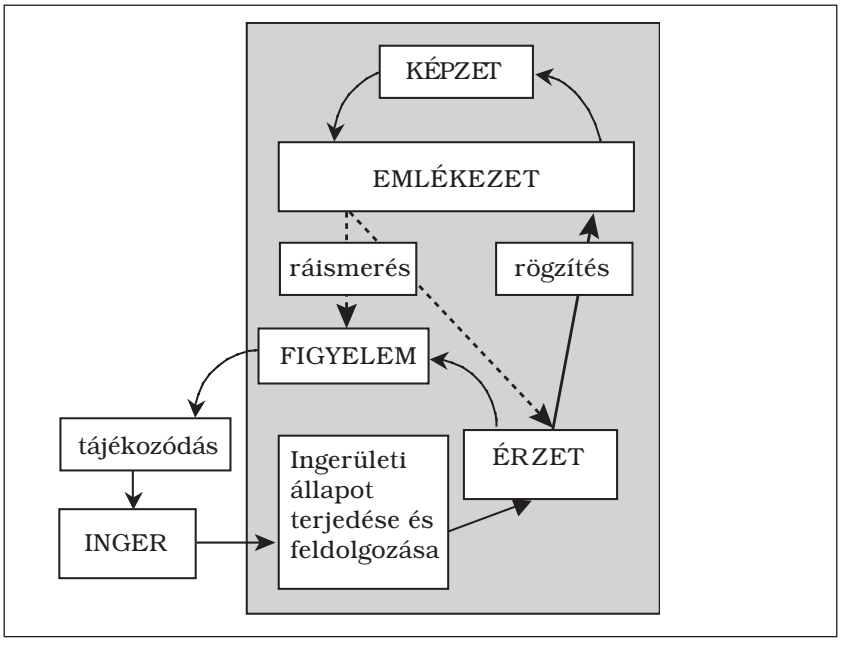
3.3.1 Érzéklet és valóság

ÉRZÉKLET

A külvilág és belső világunk között az érzékelés teremt kapcsolatot. Az érzékelt világ nem fedheti le a külvilág egészét, már csak azért sem, mert érzékszerveink teljesítőképessége korlátozott. A töredékesen érzékelt világ elemei az **érzékletek:** hangok, ízek, fények, érintések. Ezeket egyidejűleg érezzük, értelmezzük és értékeljük: a fontosakra figyelmet fordítunk, a zavarókat igyekszünk kiküszöbölni, a kellemeseket újra fölidézni. Elménk e válogató-értékelő folyamatban formálja belső világunkat egységes egésszé. Az emberek belső világa – eltérő céljaik, értékeik és érzelmeik miatt – sokféle, mindenkié más. A sokféleség ellenére mégis joggal beszélhetünk egészséges, helyes és zavart érzékelésről. A helyes érzékelés a **külső és belső világ közti összhangot szolgálja**, a zavart érzékelésben ez az **összhang sérül** vagy felborul.

← operáns tanulás XVI.2.4

← homeosztázis XVIII.1.3



← Platón viasztábla-modellje III.10.2.3

← Locke az érzékekről VII.4.1

← Kant a megismerésről VII.5.3

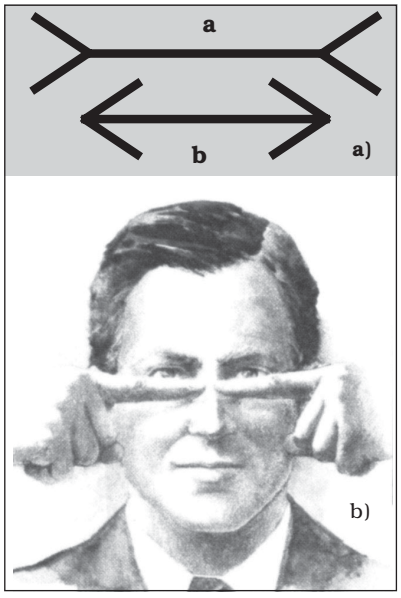
← Wundt és a lélek térképe XVI.1.2.4

57. ábra. ***Az érzékelés általános sémája***
Az inger mindig valamilyen fizikai-kémiai hatás, mely érkezhet a külvilágból (például levegőrezgés), de keltheti saját testünk is (például izomfeszülés). Az érzetek – például egy „a" hang élménye – irányítják figyelmünket (tájékozódás) és rögzülnek emlékezetünkben.
Az emlékezet segítségével az inger nélkül is fölidézhetjük az érzetek halvány mását. Ezek a képzetek. Nem olyan élénkek és erőteljesek, mint a közvetlen érzékletek, de segítenek fölismerni azt, hogy valójában mit érzékelünk.

3.3.2 Érzékcsalódások

ILLÚZIÓ ÉS HALLUCINÁCIÓ

Az érzékcsalódás során valami „új", „oda nem való" keletkezik az érzékelési folyamatban, olyasmi tehát, ami a „való világban" nincs jelen. Általában nem az érzékszerv működése hiányos vagy hibás, hanem az érzékelő sze-



58. ábra. Ellenőrizhető illúziók
a) Az a és a b szakasz hossza valójában egyenlő.
b) A „lebegő kolbász" illúzió.
Emeljük két mutatóujjunkat körülbelül 15-20 cm-re szemünk elé. Az ujjhegyek körülbelül 1 cm távolságból mutassanak egymásra. Anélkül hogy másfele néznénk, összpontosítsunk egy távoli tárgyra, majd figyeljük, mi történik.

mélyiség ad hozzá ehhez valamit, amit aztán ő maga úgy érzékel, mintha az a külvilágból származna. Zavart érzékelését sokszor maga a személy is észreveszi: ha például hirtelen felállás után színes karikák táncolnak a szeme előtt, ebből nem a karikák külvilágbeli létére következtet, hanem saját vérnyomásának ingadozására.

Az érzékcsalódások két fő típusa az illúzió és a hallucináció. **Illúziónak** az olyan érzékelést nevezik, amelyik felhasználja ugyan a környezet információit, de mégsem felel meg az *aktuális* környezeti tárgyaknak. Arany János V. László című balladájában például hallás-illúzió keríti hatalmába a rettegő királyt:

„Miért zúg a tömeg?
Kívánja *esküme*t?"
„A nép, uram király
Csendes, mint a halál,
Csupán a *menny* dörög."

Az illúziók tévedései nem a semmiből lépnek elő, hanem az adott személy tapasztalataiból. (Az Arany-versben például a László király esküjét követelő tömeg hangjának *korábbi aktuális* tapasztalatából). A látási, hallási és tapintási illúziók sokasága ismert, ezek azonban általában mégsem okoznak komolyabb zavart, mert az illető tudatában van annak, hogy tévesen észlel, s így – amint teheti – ellenőrzi érzékelését és helyreállítja az összhangot (pl: „megcsípi magát, hogy nem álmodik-e"). Ugyanaz az illúzió hasonló helyzetben sokakban felléphet, ezért viszonylag könnyű beleélni magunkat az illúzió „áldozatának" helyzetébe, s így megérteni őt.

Az illúzióval szemben a **hallucináció** nem vezethető vissza az aktuális környezet tárgyi világára, ezért az élmények egészében idegenszerű, irányíthatatlan, és elnyomhatatlan jelenségként lépnek fel. A hallucináció személyes jelenség: magyarázni ugyan lehet, másnak átélni azonban aligha. A hallucináló személy önmagát is, de környezetét is válaszút elé állítja azáltal, hogy a hallucinálás tényét nem ismeri el, hanem *külső valóságnak* tartja. Viselkedése ezen meggyőződése miatt gyakran „botrányos". Hallucináció például Arany János Ágnes asszony című balladájában a kimoshatatlan vérfolt látványa.

3.3.3 Az adekvát inger

Mind a külvilág, mind saját testünk állapota az érzékelés révén jelenik meg számunkra. Az érzékszervek olyan kapukhoz hasonlíthatók, melyeken át a teljes fizikai környezet meghatározott tartományaival léphetünk kapcsolatba. E folyamat kiindulópontjai az érzékszervben található **receptorsejtek** és mindazok a segédkészülékek, melyek a receptorsejtek zavartalan és pontos működését lehetővé teszik.

RECEPTORSEJTEK

Miképpen válik az *inger* (például nyomás) *érzetté*? Kant „kopernikuszi fordulatát" – miszerint az érzékszervek minősége szabja meg az érzetet – a német Johannes Müller fordította le az idegélettan nyelvére. Müller szerint az egyes érzékletek (látás, hallás, tapintás…) azért függnek az érzékszerv természetétől (s nem a külvilágtól), mert az érzékszerv sajátos, csak **rá jellemző pályán** juttatja célba az információt a központi szervhez.

← megismerőképességünk VII.5.3

← a „külvilág asszimilációja" (Arisztotelész) III.10.2.1

„Ha módunkban állna a látóideget a hallókéreghez, a hallóideget pedig a látókéreghez kapcsolni, akkor minden bizonnyal látnánk a mennydörgést és hallanánk a villámlást" – fogalmazta meg a neves német idegkutató, Du Bois Reymond ezt a nézetet.

„Már gyakran hasonlították a az idegszálakat a távírászati huzalokhoz, melyek valamely országon átvonulnak, s valóban, e hasonlatosság nagy fokban alkalmas hatásuknak egyik szembeszökő és fontos sajátosságát felderíteni. A távírászati hálózatban ugyanis mindenütt egyenlők a réz- vagy vashuzalok, melyek mind ugyanazon nemű mozgást, t.i. villamáramot terjesztenek tova, mindamellett az egyes állomásokon a legkülönbözőbb hatásokat eredményezhetik, a segédkészülékek szerint, melyekkel összekötvék. Majd harang kondul meg, majd jeladó, majd író készülék tétetik mozgásba, majd pedig vegybontások szolgálnak a távirat jelzéseire. (…) Így tehát a távírászati huzalok és az idegek igen feltűnő példákként szolgálnak azon tétel megvilágosítására, miszerint egyenlő okok, különböző feltételek alatt, különböző hatásokat eredményezhetnek."

H. Helmholtz: Az újabb haladások a látás elméletében (1874)
Jendrassik Jenő fordítása

← a csúcspotenciálhullám-sorozat XVIII.3.1.4

ADEKVÁT INGER

Az érzékszervek más-más fizikai-kémiai hatásra a legérzékenyebbek – ezt **adekvát**, azaz az „érzékszervnek megfelelő" ingernek nevezik (adaequat = megfelelő). Ennek alapján különítjük el az *érzékelő egységeket*:

- **optikai (foto)**
- **hő – (termo)**
- **mechanikai (tapintó, halló és egyensúly-, feszítésérző)**
- **kémiai (szagló és ízérző)**

receptorokról beszélhetünk. Bár vannak **fájdalomérző** pályák is, a fájdalmat általában nem szokták önálló érzetminőségnek tekinteni. Egyes élőlények képesek érzékelni a mágneses teret (vándormadarak) és az elektromos teret is (elektromos rája). Előfordulhat, hogy a receptorsejt nem adekvát inger hatására kerül ingerületbe, az eredmény azonban ekkor is a rá jellemző érzetminőség lesz. (Például ütés, azaz mechanikai erő hatására a fül csenghet, a szem „csillagokat láthat").

→ Kapu-elmélet XVIII.5.3.3

← XI.1.4 és 2.3

Minden érzékszervet jellemezhetünk teljesítőképességének határaival. Ilyen jellemzők:

- az *ingerküszöb*: a leggyengébb hatás, ami már érzékletet vált ki,
- a *fájdalomküszöb*: az az ingererősség, ami már fájdalomérzést vált ki,
- az *érzékelési tartomány*: valamilyen fizikai jellemző (de nem az erősség) két szélső értéke, melyek között egyáltalán lehetséges az érzékelés (pl. a fény hullámhossza),
- a *felbontóképesség*: két, egymáshoz legjobban hasonlító ingerfajta különbsége, melyet érzékszervünk még különállóként érzékel (pl. színárnyalat).

← hallás XIV.2.4.2
← a fény látható tartománya XV.3.7

Néhány gerinces szemének felbontóképessége (szögpercekben) az éleslátás helyén

majom, ember	1	vándorsólyom	0,4
macska	5,5	gyík	11,5
patkány	20	levelibéka	6,9
denevér	180–360	cselle (halfaj)	10,8

← Tycho Brahe megfigyelései és Kepler számításai VI.2.2

← hogyan látja egy rovar a világot? XIV.1.10

Az alábbiakban az érzékelés folyamatát a látás, a hallás és az egyensúly-érzés példáján mutatjuk be.

3.3.4 A látvány mozgófilm-modellje

← lencsetörvény XIV.1.4

A szem optikájának vizsgálatával bebizonyosodott, hogy az ideghártyára (retinára) a látótér kicsinyített, fordított állású képe vetül, ezért feltételezték, hogy az idegrendszer *ezt* a képet továbbítja és dolgozza fel. Hogy a látásérzet nem a szemben keletkezik, azt olyan agysérülések bizonyították, melyek teljes vagy részleges vakságot okoztak, noha magát a szemet sértetlenül hagyták.

LÁTÓPÁLYA

A kutatás két irányban indult meg. Az *anatómusok* föltárták a szemgolyókat elhagyó látóidegrostok további útját, a **látópályát**. Az *élettani* vizsgálatok pedig arra kerestek választ, hogy az agy különböző területeinek ingerlése milyen látásérzeteket vált ki, vagy fordítva: a sérülés milyen kiesést okoz. Problémát jelentett, hogy az állatok nem tudnak beszámolni arról, hogy mit érzékelnek, az emberen végzett kísérleteket pedig szigorú etikai normák korlátozzák. A (tanulékony) állatokban azonban a pavlovi feltételes reflex mindig kiépíthető arra az ingerre, amit az állat valóban érzékel.

← feltételes reflex XVI.2

Ha például arra vagyunk kíváncsiak, hogy a kutya lát-e egy bizonyos színt, elegendő egy ilyen színű lámpafényt alkalmazni társított ingerként, s figyelni, hogy kiépül-e a feltételes reflex. De emberen is végezhetők beavatkozások, gyógyító céllal. Ha agyműtétek során ébren van a beteg, *beszámolhat* arról, hogy bizonyos agyterületek érintése milyen érzékletet vált ki benne.

LÁTÓKÉREG

Egy japán katonaorvos, Inouye arra a következtetésre jutott, hogy a látótér meghatározott részeinek az agykéreg nyakszirt lebenyében szintén **lokalizált**, azaz határozott nagyságú képviselete van. Ezt a területet (elsődleges) **látókéregnek** nevezték el. A retinán keletkező kép eszerint – erős torzítással ugyan – de pontról pontra vetül a nyakszirtlebeny agykérgére.

A látóidegek a szemet elhagyva átkereszteződnek, úgy, hogy a két szem azonos oldali látóteréből érkező információk (emberben) a látópálya azonos térfelére kerüljenek. Ezt az anatómiai megfigyelést a XX. században élettani vizsgálatokkal is alátámasztották. Ha a szemből kivezető látóidegekhez mikroelektródákat illesztünk, azok jelzik a csúcspotenciálhullám-sorozat átfutását. A látótér egyes pontjait fényfelvillanásokkal ingerelve így nyomon követhető az információ útja (kiváltott potenciálhullám módszere).

← XVIII.3.3

TALAMUSZ

A látópálya egyik első állomása a **talamusz** (azon belül az ún. oldalsó térdestest). A mikroelektródás vizsgálatok itt az ingerületi hullám kb. 0,5 ms-os késését mutatták. Ebből az következik, hogy itt szinaptikus késés lép fel: a látóideg sejtjei átkapcsolódnak. A látókéregbe már a talamusz idegsejtjei viszik az információt. Ugyancsak a kiváltott potenciálok módszerével derítették ki, hogy a talamuszban (akárcsak a látókéregben) a retina ingerületi mintázata pontról pontra vetül: minden területének megvan itt a maga „képviselete". A látókérgétől megfosztott állat legföljebb fényfelvillanásokat észlel, a tárgyakat nem tudja felismerni. Ennek ellenére a talamusz fontos szerepet játszik az információk feldolgozásában, de ez nem válik érzetté, sem tudatossá.

← negatív visszacsatolás XVIII.1.2

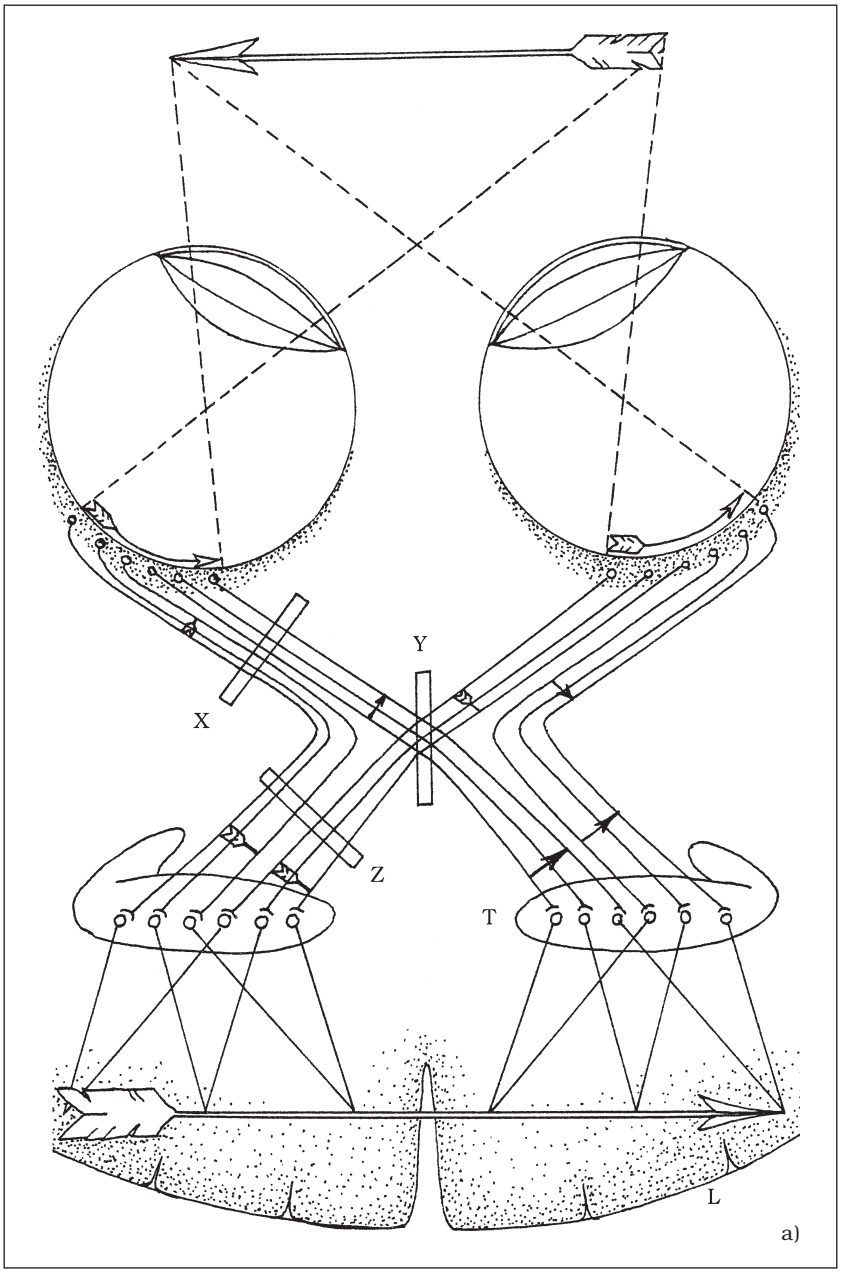
A látópálya azonban nemcsak a kéregbe vezet. Néhány elágazó rostja egy olyan (középagyi) magba fut, mely a szem **pupillaszűkítő izmát** idegzi be. A túl erős fény tehát öntudatlanul, reflexes úton csökkenti a pupilla átmérőjét. Hasonló reflexes folyamatok szabályozzák a **lencse domborulatát** és a **szemhéj zárását** is. E mechanizmusok azt biztosítják, hogy a retina sárgafoltjára éles és megfelelő fényerősségű kép vetüljön. A szem azonban jóval többre képes ennél. A szemgolyó mindig úgy mozdul el, hogy az éleslátás helyére a látótér „legérdekesebb" része kerüljön. Ennek kiválasztása többnyire öntudatlan, de lehet tudatos is. Ha például valami mozgó tárgy tűnik fel látóterünk szélén, önkéntelenül is „odakapjuk tekintetünket", azaz képét élesre állítva megpróbáljuk azonosítani. Amikor pedig alaposan *szemügyre veszünk* valamit, bizonyos mértékig tudatosan irányítjuk tekintetünket. Akár szándékos, akár öntudatlan azonban az indí-

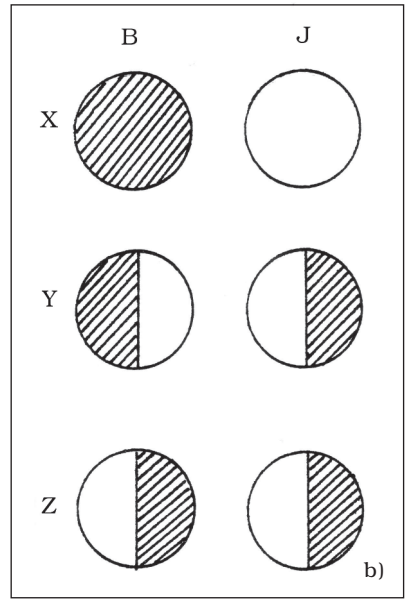
← reflexkör XVIII.3.2.2

LÁTÁSI REFLEX

← a sárgafolt szerkezete XVIII.3.3.5

← Euklidész látósugár-elmélete IV.2.2





59. ábra. a) ***A látópálya érző rostjai*** A Nobel-díjas spanyol idegkutató, Ramon y Cajal rajza alapján (1899). Cajal ekkor még nem ismerhette pontosan a látókéreg helyét, a két látóideg lefutását azonban pontosan ábrázolja. T = talamusz, L=látókéreg.

b) ***Látótér-kiesések a látópálya sérülései esetén*** Az x, y és z helyen jelölt sérülések az ábrán jelzett látótérkiesésekhez vezetnek (sávozott területek).

ték, a végrehajtást, a szemgolyók pontos és összehangolt irányítását az agytörzsi magvak egy csoportjára „bízza" a szervezet. Ezek a magvak közvetlenül a látópályából (a hálózatos állományon át) vagy az agykéreg homloklebenyében fekvő mozgatóközpontból kaphatnak ingerületet (utóbbi pedig szoros összeköttetésben áll a látókéreggel). Úgy látszik, hogy a szemmozgások pontos – tizedmásodpercre és tizedmilliméterre beállított – irányításában a kisagy is részt vesz. A bonyolult rendszer ráadásul összeköttetésben áll az agytörzsi egyensúlyérző központokkal is. Erre ugyancsak szükség lehet, hiszen például egy mozgó tárgy követéséhez, felismeréséhez sokszor nem elég a szemgolyó helyzetének állítása: a fej, sőt az egész törzs is arra fordulhat (vagy éppen elhajolhat előle). A kapcsolatokat vázlatosan a 60. ábra mutatja be.

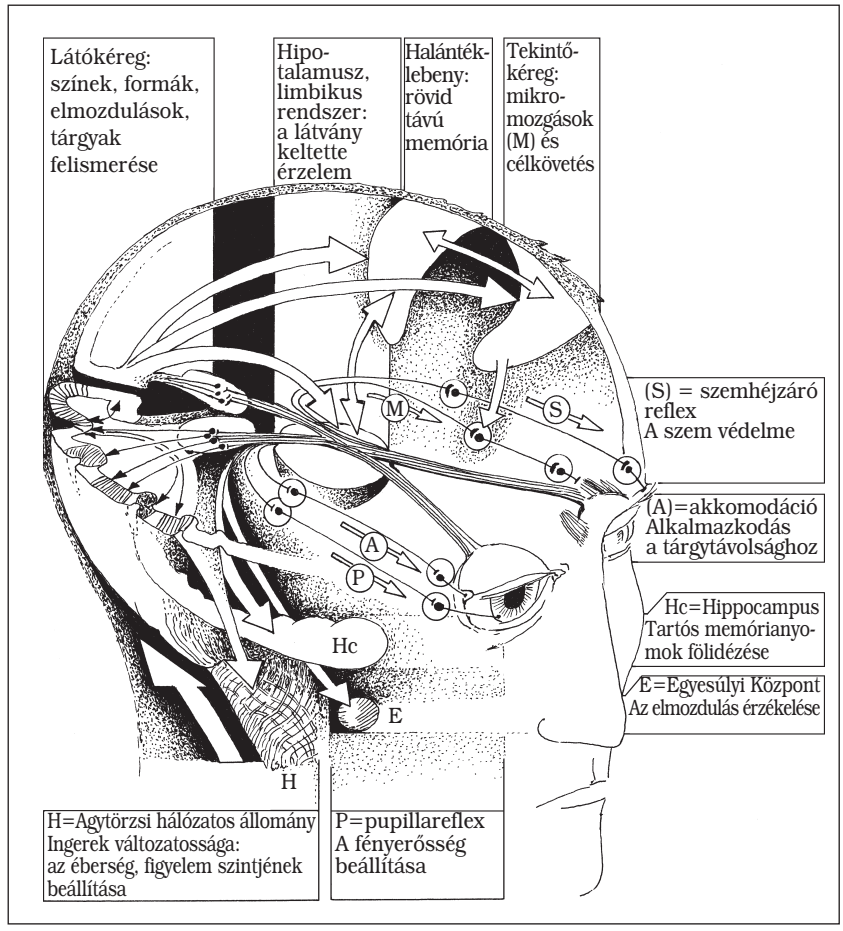
→ a mozgás koordinációja XVIII.3.4

→ egyensúlyérzés XVIII.3.3.12

→ a hálózatos állomány szerepe XVIII.3.5.2

→ egyensúly XVIII.3.3.12

← rövid és hosszú távú memória XVI.3.5.1



60. ábra. ***A látás folyamatában résztvevő néhány agyterület és folyamat***

← Kant VII.5

← alaklélektan XVI.3

A látópálya kapcsolatainak felderítése megerősítette azt a – filozófusok és pszichológusok által már régóta fölismert – tényt, hogy az érzékelés nem a külvilág passzív „befogadása", hanem visszacsatolások és központi vezérlés révén irányított folyamat. Az érzékszervek helyzetének és érzékenységének változtatásával az élőlény – bizonyos mértékig – maga szabja meg azt az érzetet, mely a külvilágot vagy saját testét jelenti számára.

Summa (3.3.1–4)

A külvilág fizikai hatásai (az ingerek) az érzékszervek receptorsejtjeiben váltanak ki ingerületi folyamatot. Az „érzékszervnek megfelelő" – adekvát – ingernek a legalacsonyabb az ingerküszöbe az adott receptorban. Az adekvát inger típusai szerint optikai (foto), hő (termo), mechanikai (tapintó, halló és egyensúlyérző stb.) és kémiai (szagló és ízérző stb.) receptorokról beszélhetünk.

A látópálya felderítése anatómiai módszerekkel, kiváltott potenciálhullámok módszerével és a látótérkiesések számbavételével történt (Inouye). A két szemet elhagyó látópálya rostjai főemlősökben részben átkereszteződnek, többek közt a talamuszban átkapcsolódnak, majd a nyakszirtlebenyben levő látókéregben érnek véget.

A látópálya elágazásai olyan középagyi magvakba (is) vezetnek, melyek a pupillaszűkítő izmokat, a szemlencse domborulatát és a szemhéj zárását irányítják. E szabályozó és vezérlő hatású magok részben azt biztosítják, hogy a retina sárgafoltjára mindig éles és megfelelő fényerősségű kép vetüljön, részben pedig védik a szemet.

A szemgolyók mozgásának pontos irányításában az agykérgi „tekintőkéreg" és a finom összehangoltságot biztosító kisagy is részt vesz, befolyásolva az agytörzsi irányítást.

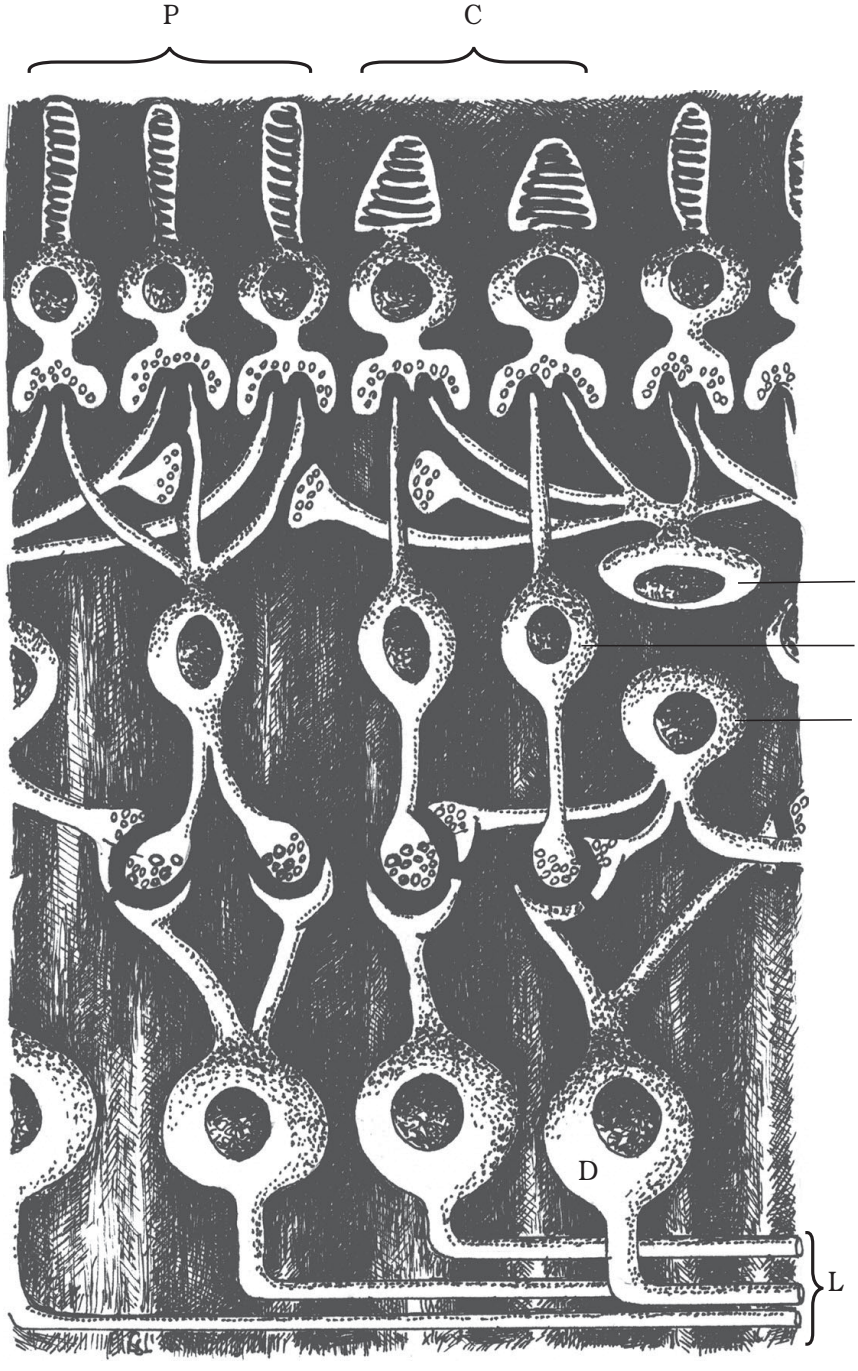
3.3.5 A retina

Az ideghártyára – mint a fényképezőgép filmjére – a külvilág kicsinyített képe vetül. Azt a feltevést azonban, hogy maga a retina a filmhez hasonlóan működne, az élettani vizsgálatok mind egyértelműbben *cáfolták*.

← XIV.1.7

A mikroszkópos felvételek alapján a retinán belül több sejtréteget különítettek el. A fényérzékeny receptorok – a zömök **csapok** és a vékony **pálcikák** – *kétnyúlványú idegsejteknek* adják át az ingerületi állapotot, ezek

CSAPOK ÉS PÁLCIKÁK



← receptorsejtek XVIII.3.3.3

← gerincvelői reflexív XVIII.3.2.2

← a szinapszis működése VIII.3.1.3

61. ábra. ***A retina felépítése***

A nyíl a fény irányát jelzi.
P= pálcika C= csap,
V= vízszintes (horizontális) sejt, K= kétnyúlványú (bipoláris) sejt, D= dúcsejt,
A= amakrin (összekötő) sejt,
L= látóideg (részlete).

Kis körök jelzik a szinaptikus hólyagokat, vastag vonalak a szinapszis utáni membránszakszt.

pedig a *dúcsejtek*kel állnak összeköttetésben. A dúcsejtek axonjai alkotják a látóideget. Mind a mikroszkópi, mind az élettani vizsgálatok azt mutatták, hogy az információáramlás a retinában *összetartó* (konvergens): egy receptor csak egy dúcsejttel áll összeköttetésben, ugyanazon dúcsejthez viszont sok receptor tartozhat. Az egy dúcsejthez tartozó receptorok összességét **receptív** (érzékelési) **mezőnek** nevezik. A csapok és pálcikák azonban mégsem függetlenek egymástól, mert sokszorosan elágazó *vízszintes sejtek* kapcsolódnak hozzájuk illetve a kétnyúlványú idegsejtekhez. Ugyancsak nem függetlenek egymástól a kétnyúlványú neuronok és a dúcsejtek sem: ezeket az összekötő (amakrin) sejtek nyúlványai kapcsolják össze. A sejtrétegek – érdekes módon – úgy helyezkednek el, hogy a fénynek az összes rétegen át kell hatolnia ahhoz, hogy a receptorokig eljusson.

RECEPTÍV MEZŐ

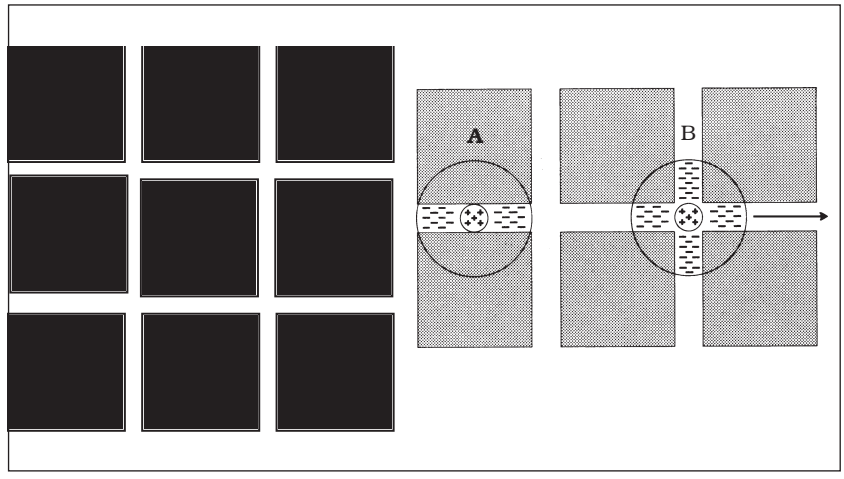
A RETINA VIZSGÁLATA

A retina működésének vizsgálata (is) a kiváltott potenciálhullámok módszerével történt. A vizsgálatok arra az eredményre vezettek, hogy a dúcsejtek működésük alapján több csoportba oszthatók. Egy részük csak akkor kerül ingerületi állapotba, ha a hozzá tartozó receptív mezőben fény gyullad fel (ezek a „be" vagy „on" sejtek), mások csak akkor, ha kihuny a fény (ezek a „ki" vagy „off" sejtek). E különös viselkedés oka az, hogy a receptív mezők kör alakúak, s egy „be"-sejt csak akkor kerül ingerületbe, ha a *receptív mező közepét* éri fény. Amennyiben a környező területet is fény éri, az csökkenti, vagy teljesen meg is szünteti a választ. A „ki"-sejtek éppen fordítva működnek. A középre eső fény gátlást, a kerületi sávba eső pedig „be"-reakciót vált ki. E kétféle működés eredményeképpen a retina érzékenyebb a megvilágítás különbségeire, mint egy fényképlemez, ezenkívül – akár „be" akár „ki" sejtekről van is szó – a hatás csak rövid ideig tart.

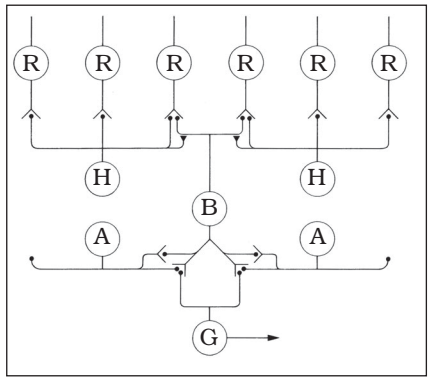
KONTRASZTOK

← kontraszt-hatás az alaklélektanban XVI.3

Mindkét dúcsejt-típus a kontrasztokra, pontosabban a **kontraszt-változásokra** reagál tehát. Úgy látszik, képtelenek vagyunk nagy, egyenletesen megvilágított felületeket észlelni, és – ami talán még meglepőbb – szemünk nem a mozdulatlan képre, hanem csak annak *megváltozására* reagál. Az ábra bemutat egy olyan kapcsolási mechanizmust, ami megfelel ezeknek a tapasztalatoknak. Biztos, hogy a vízszintes és az összekötő (amakrin) sejteknek lényeges szerepük van a térbeli és időbeli kontraszthatás létrehozásában.



62. ábra. ***Az úgynevezett Hermann-rács és magyarázata***
A fehér rácspontokon homályos sötét foltokat látunk, holott azok „nincsenek ott". A látási illúzió a ki- és be-mezők kölcsönhatásával magyarázható. Két sötét sáv közti fehér csík határozottan fehérnek is látszik, mivel a középső „be" sejteket semmi nem gátolja (A). A rácsvonalak találkozásában azonban fönt is, lent is világos területek vannak, melyek gátló hatása csökkenti a kereszteződési pont fényességét. Így a rácspontok – a vonalakhoz képest – sötétebbnek tűnnek (B).



63. ábra. ***Egy kétéltű retinájának kapcsolási vázlata***
A receptorsejtekből (R) a kétnyúlványú idegsejteken át (= bipoláris neuron, B) a dúcsejtekre (= ganglionsejt, G) halad az ingerület. A bejutó fény hatására ingerületbe kerülnek a vízszintes sejtek is (= horizontális sejt, H). Ezek azonban a kétnyúlványú sejtek aktivitását gátolják, így – szórt fény esetén - akár meg is szüntethetik a választ. Ha ellenben csak a B-t körülvevő néhány receptor kerül ingerületbe, az akadálytalanul működésbe hozhatja B-t.
Az összekötő sejteket (=amakrin sejt, A) a kétnyúlványú idegsejtek aktivitása hozza ingerületbe, s ugyanarra a sejtre (is) visszahatnak. Amennyiben ez a visszacsatolás negatív (gátló szinapszis), úgy az A sejt rövid időn belül leállítja az ingerületátadást. Ez a – még nem bizonyított – mechanizmus magyarázná azt, hogy a fény ki- és bekapcsolása jóval hatékonyabb inger, mint a folyamatos megvilágítás.

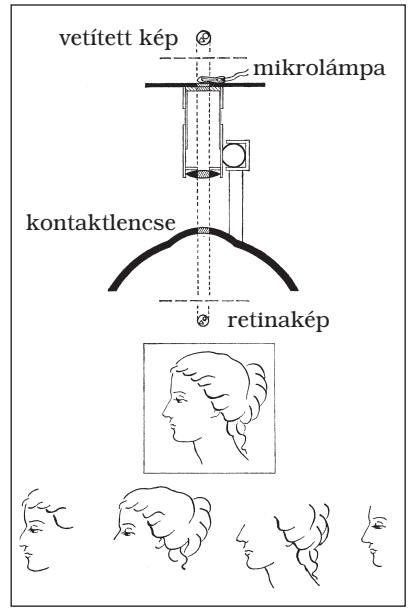
Hogyan lehetséges mindezek ellenére mégis, hogy egy mozdulatlan tájat vagy szobát élesen és folyamatosan látunk? Csakis úgy, hogy szemgolyónk állandó mozgásban van, s eközben szinte „letapogatja" a szemügyre vett tárgyat! Ezen mikromozgások szerepét kísérleti úton is igazolták.

Az, hogy *egy adott pillanatban* sohasem a teljes látótérben látunk, egyszerű kísérlettel igazolható. A szemet elhagyó látóideg helye, a vakfolt nem tartalmaz receptorsejteket. Ami tehát éppen erre a területre esik, az nem vehető észre, helyette a környezetét „látjuk".



65. ábra. ***Látótérkiesés a vakfolt miatt***
Tartsuk szemünk elé az ábrát! Bal szemünket behunyva a jobbal állandóan figyeljük a keresztet, anélkül, hogy szemgolyónk elmozdulna! Közben mozgassuk az ábrát a szem felé, majd attól távolodó irányba. Bizonyos távolságnál a kör képe eltűnik – képe ekkor vetül éppen a jobb szemünk vakfoltjára.

A látás élessége – a szem *felbontóképessége* – a fentiek szerint összefügg a receptív mezők szélességével. Két fénypontot akkor tudunk különállóként érzékelni, ha köztük gátlási mező van – ami legalább egy receptornyi szélességű. Ilyen hely egy van a szemben: a **sárgafolt.** Ezen a kb. 5 mm^2-es területen kizárólag csapok találhatók, méghozzá úgy, hogy mindegyik saját kétnyúlványú idegsejthez és dúcsejthez kapcsolódik. Mivel egy csap átmérője 3 mm, két legközelebbi fénypont távolsága 4 mm, ami kb. 1 szögperc szögtávolságnak felel meg. (Az eredmény érdekes egyezést mutat Euk-

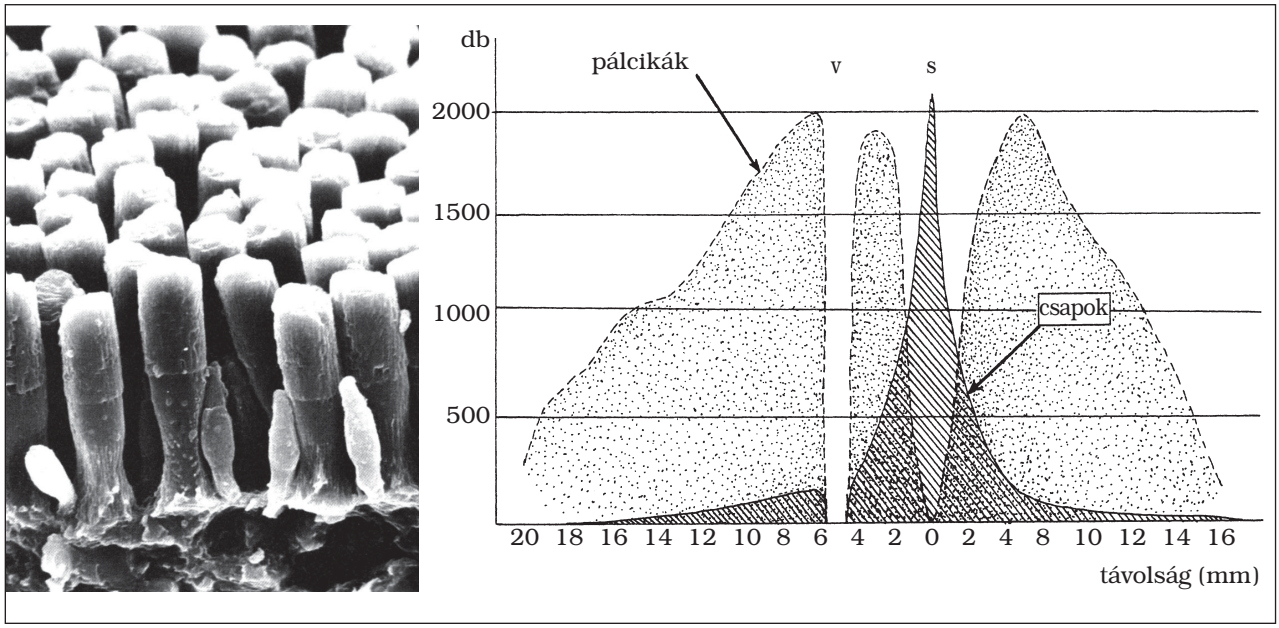


64. ábra. ***A mikromozgások szerepének bizonyítása egy kanadai kutató, Pritchard kísérletében.***
Pritchard a szemgolyóval együtt mozgó kontaktlencsére szerelt egy parányi vetítőkészüléket. Így a vetített kép a retinának mindig azonos területére esett. A kísérletben résztvevők szeme előtt néhány másodperc múlva elmosódott a kezdetben éles ábra - a továbbiakban legföljebb egy-két részletét tudták felismerni. A jelenség magyarázata az, hogy a készülék lehetetlenné tette az arc képének „letapogatását", ami a normális képlátás feltétele.

SÁRGAFOLT

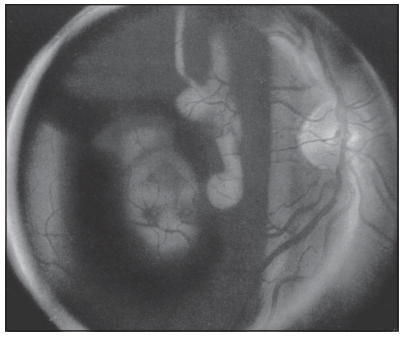
← a látásélesség Ptolemaiosz szerint IV.3

leidész ókori számításaival.) A sárgafolt az éleslátás helye. Innen a szélek fele haladva fokozatosan csökken a csapok száma, s nő a receptív mezők nagysága. Ezzel csökken ugyan a látásélesség, de nő a mozgásérzékenység. Ez pedig általában elég ahhoz, hogy – ha szükséges – a kérdéses tárgy képét azonnal a sárgafoltra irányítsa a szervezet.



66. ábra.
a) A csapok és pálcikák száma a szemben - egy, a sárgafolton és vakfolton áthaladó vonal mentén
s= sárgafolt, v = vakfolt
b) Csapok és pálcikák pásztázó elektronmikroszkópos felvételen
2000-szeres nagyítású kép a tigrisszalamandra ideghártyájáról (S. Mittman és M. Maglio felvétele, Kaliforniai Egyetem). A pálcikasejtek henger alakúak, a csapsejtek kisebbek és kúp formájúak.

3.3.6 A színlátás



67. ábra. ***A szem retinájára vetülő fordított állású kép.***
Lennart Nilsson különleges fotóján jól látszik a vakfolt, és az érhártyát behálózó vérerek körvonala is

A formákon kívül a színek is fontos információt jelentenek a külvilágról (például jelzik, hogy egy gyümölcs érett-e vagy sem). A rovarok, a lábasfejűek és a gerincesek képesek a színek látására, világuk tehát gazdagabb, mint a többi állaté.

Alapvető optikai vizsgálataival már Newton tisztázta, hogy bizonyos tiszta színű (monokromatikus) fényeket egyesítve fehéret kapunk. (Ha ugyanezeket a színeket egy korongra festjük, s azt gyorsan forgatjuk a szemünk előtt, szürkének látjuk). Ezeket **kiegészítő (komplementer) színeknek** nevezik (például kékeszöld és vörös, narancs és kék). A kiegészítő színek jelentették a kiindulópontot egy angol fizikusnak, Thomas Youngnak (1773-1829) ahhoz, hogy megalkossa a látás **háromszín-elméletét.** Munkája azonban feledésbe merült, s csak a XIX. század második felében fedezte fel és dolgozta ki Helmholtz. A háromszín-elméletet ezért Young–Helmholtz-elméletnek is szokták nevezni.

Helmholtz abból indult ki, hogy ha megkeressük az összes kiegészítő színpárt, azokat ábrázolva egy olyan háromszöghöz hasonlító alakzatot kapunk, melynek belsejében egyetlen pont felel meg a fehér fénynek. Ebben a **színháromszögben** a színek kombinációjából minden keverékszín-árnya-

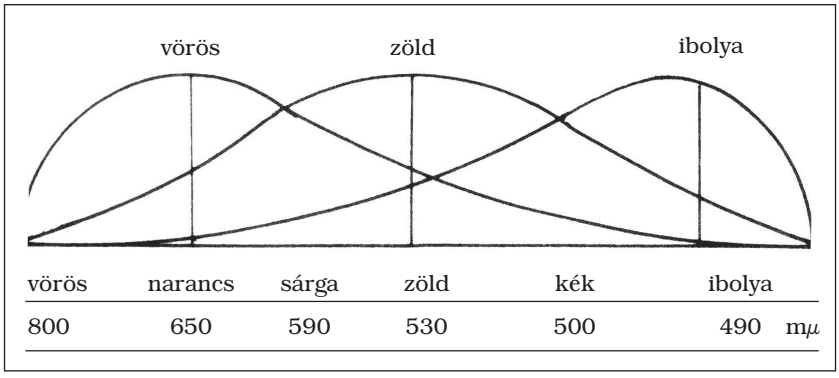
lat előállítható. Mivel a háromszög csúcsain a vörös, zöld és ibolyakék színek vannak, ezeket nevezhetjük alapszíneknek. Young és Helmholtz feltételezte, hogy e három alapszínnek három különböző fényérző receptor felel meg a szemben, s a keverékszíneket ezekből állítja össze a későbbiekben az agy. Ez a sejtés közvetett úton bizonyítható is.

← „fizikai" színek XV.3.7; XIV.3.3

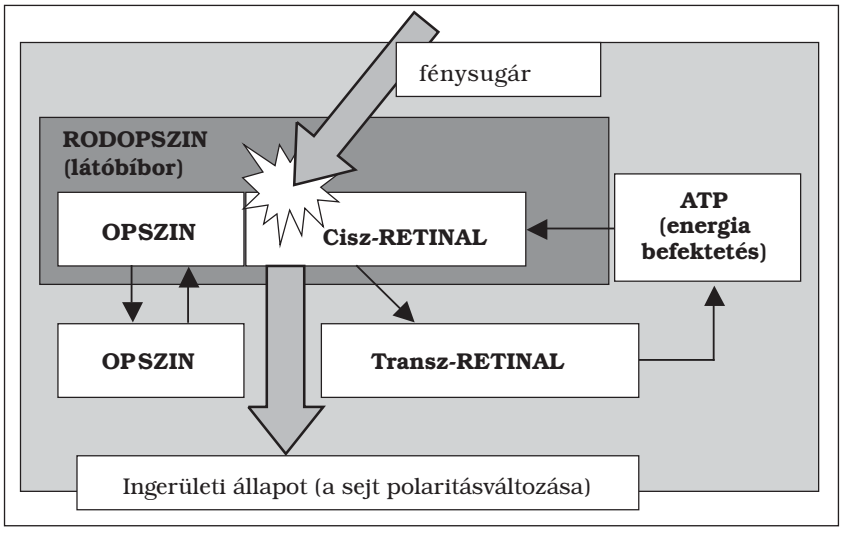
HÁROMSZÍN-ELMÉLET

Minden receptor fáradékony: tartós, erős ingerlés után bizonyos idő szükséges számukra, hogy helyreálljon érzékenységük. Ha például a verőfényes napsütésből sötét szobába lépünk, egy ideig semmit sem látunk. Helmholtz arra gondolt, hogy a színlátó receptorok – ha vannak – különkülön is kifáraszthatók. A tapasztalatok igazolták sejtését. Ha hosszú ideig nézünk vörös fénybe, ezzel ingereljük és kifárasztjuk a vörös receptorokat. Ezután hirtelen semleges felületre nézve rövid ideig a tárgy kékeszöld **utóképét** látjuk. (Például a szürke papírlap kékeszöldnek tűnik). Az egyidejű és egymást követő színkontrasztok sokfélesége – melyeket Goethe oly be-

UTÓKÉP



68. ábra. ***Az egyes csapok és a pálcikák színérzékenysége***



69. ábra. ***A pálcikák belsejében lezajló fotokémiai reakció vázlata***
A receptorokban fény hatására végbemenő (fotokémiai) reakció térszerkezet-változást (cisz-transz átalakulást) idéz elő a pálcikák látóbíbor-anyagának (a rodopszinnak) egyik alkotórészében, a retinalban. Ennek hatására a látóbíbor szétválik, ami helyi ingerületet és azt követően potenciálváltozást idéz elő. Ahhoz, hogy a receptor ismét működőképes legyen, újra egyesíteni kell a két alkotórészt (a retinált és az opszint). Ennek időigénye okozza a „fáradás" jelenségét. A színérzékeny csapokban más színanyagok (opszinok) szerepelnek, de a folyamat lényege hasonló.

hatóan tanulmányozott – ezzel meglelte magyarázatát, s így megnyugtató módon lezárult Newton és Goethe vitája a színek természetéről. Mindkettőjüknek igaza volt: Newton a színek fizikáját fejtette meg *(mit látunk?)*, Goethe viszont a látás élettanát alapozta meg kísérleteivel *(hogyan látunk?)*. Látszólagos ellentétüket Helmholtz ötvözte egységes elméletté.

NEWTON ÉS GOETHE VITÁJA – HELMHOLTZ MEGOLDÁSA

A háromszín-elméletet – módosított formában – a XX. század kutatásai is megerősítették. Igen finom mikroelektródákkal kimutatták, hogy a macska

SZÍN- ÉS FÉNYLÁTÁS

retinájában valóban háromféle csap (illetve ehhez kapcsolódó dúcsejt) található, s ezek színérzékenységi maximuma éppen a vörös, zöld illetve ibolyáskék tartományban van. A sötét – világos látáshoz nem szükségesek a színérzékeny csapok, hanem az a csaknem egész látható tartományra érzékeny pálcikák működésének eredménye, ezért szürkületi homályban még látunk, de a színeket már nem érzékeljük. Kimutatható, hogy a pálcikák már 1 fénykvantum (foton) hatására ingerületbe jönnek, a csapoknak ehhez 5-7 foton szükséges. A színlátáshoz ezért elengedhetetlen bizonyos fényerősség.

← vitaminok XIII.4.1.2

A látóbíbor részét alkotó anyagot (a retinalt) egy vitaminból, az A-vitaminból állítja elő a szervezet. A-vitamin hiányos táplálkozás esetén ezért előfordul, hogy a látóbíbor retinal-alkotórésze megfogyatkozik. Ilyenkor szürkületi vakság („farkasvakság") lép fel. A csapok működészavara a színlátást károsítja. A teljes színvakság nagyon ritka, gyakoribb, hogy az egyik receptortípus kiesése miatt részleges színvakság vagy színtévesztés áll elő.

SZÜRKÜLETI VAKSÁG

→ öröklődése XXIII.

Summa (3.3.5–6)

A szem ideghártyájában – a retinában – kétféle receptorsejt: csap és pálcika található. A receptorokból kétnyúlványú idegsejtek, majd dúcsejtek (ganglionsejtek) veszik át az ingerületet. Az információ útja összetartó (konvergens): egy dúcsejthez általában több receptor tartozik (receptív mező). A látóideget a dúcsejtek axonjai alkotják. A vízszintes és az összekötő (amakrin) sejtek összeköttetést teremtenek az egyes receptív mezők között.

A receptív mezők egy része a központjában található receptorok ingerlésére, más részük éppen az ingerlés megszűnésére hozza ingerületi állapotba a dúcsejtet (be- és ki- mezők). A retina ezért a kontrasztváltozásokra érzékeny, ami a szemgolyók állandó finom mozgását teszi szükségessé (Pritchard kísérlete). A látás élessége a receptív mezők szélességével fordítottan arányos. Legnagyobb a sárgafoltban, ahol csak csapok vannak, s mindegyik önálló receptív mezőt képvisel (3 mm).

A színlátás háromszín-elmélete szerint (Young és Helmholtz) a vörös, zöld és ibolya: alapszín. Az összetett színeket három, különböző hullámhossz-érzékenységű csap segítségével rakja össze a szervezet.

A fénylátás ingerületét a fény hatására elbomló látóbíbor kelti a pálcikákban, más színanyagoké a csapokban keletkezik. Ezen fotokémiai reakciók zavarai vezetnek farkasvaksághoz (szürkületi vakság) vagy színtévesztéshez (vörös-zöld színtévesztés).

3.3.7 A formák felismerése

A látás folyamatának „mozgófilm-modellje" sok problémát megoldatlanul hagyott.

a) A „vetítés" a külvilág passzív leképezését jelentené, márpedig a szemek mozgásának központi irányítása ellentmond ennek, a retina működése pedig egyenesen lehetetlenné teszi a kameraszerű működést.

b) A „vetítés"-modell feltételezne valamiféle „belső nézőt", „aki" fölfogná, értelmezné ezt a belső képet. (Például a szögletekből és foltokból összerakná az „asztal" képét.) Eltekintve attól, hogy miképpen mehetne végbe ez a folyamat, a kérdést nem oldja meg, csak elodázza: most már e feltételezett belső megfigyelőben lezajló jelenségeket kellene értelmezni. Esetleg abban is van egy másik, még kisebb megfigyelő, s így tovább, a végtelenségig? E feltételezés abszurditását először az alaklélektan képviselői fogalmazták meg. Elképzelésük szerint a formák felismerése csak

← egyszerű vagy összetett a „lélek"? (Arisztotelész) III.

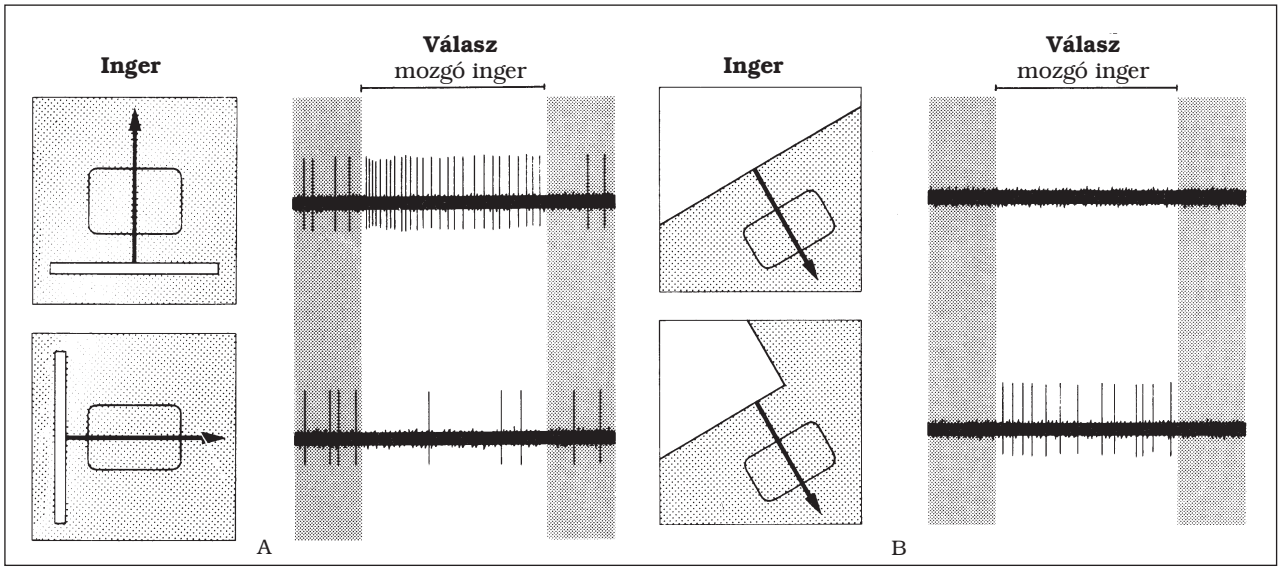
← „homonculus" VII.3.2.1

← Gestalt XVI.3

úgy lehetséges, hogy az elemi érzékletek (pl. fénypontok) mellett *egyidejűleg* összetettek is keletkeznek – a „belső néző" tehát nem különálló létező, hanem az agy része, funkciója.

KOMPLEX ÉS HIPERKOMPLEX SEJTEK

A XX. század kísérleti technikája sok szempontból igazolta ezt a feltevést. Két amerikai kutató érzékeny elektródákkal közvetlenül az agykérgi látómező aktivitását próbálta letapogatni különböző fényingerek hatására. A kísérletek azt igazolták, hogy a macska vagy majom bizonyos agysejtjei csak adott irányú megvilágítás (fénycsík) hatására jöttek ingerületbe. Ezeket irányérzékelőknek nevezték el. Más, bonyolultabb működésű (komplex) sejtek csak egy adott irányban elmozduló vonal hatására jöttek ingerületbe. Egy harmadik sejtféleség (hiperkomplex sejt) pedig elmozduló derékszögű formákra érzékeny.



70. ábra. ***Komplex és hiperkomplex sejtek a látókéregben***
A) Ez a komplex sejt a receptív mezőben mozgó vízszintes fehér vonalra reagál
B) Ez a hiperkomplex sejt érzéketlen a folyamatos vonalra, erős választ ad viszont akkor, ha az él derékszögben hajlik meg.

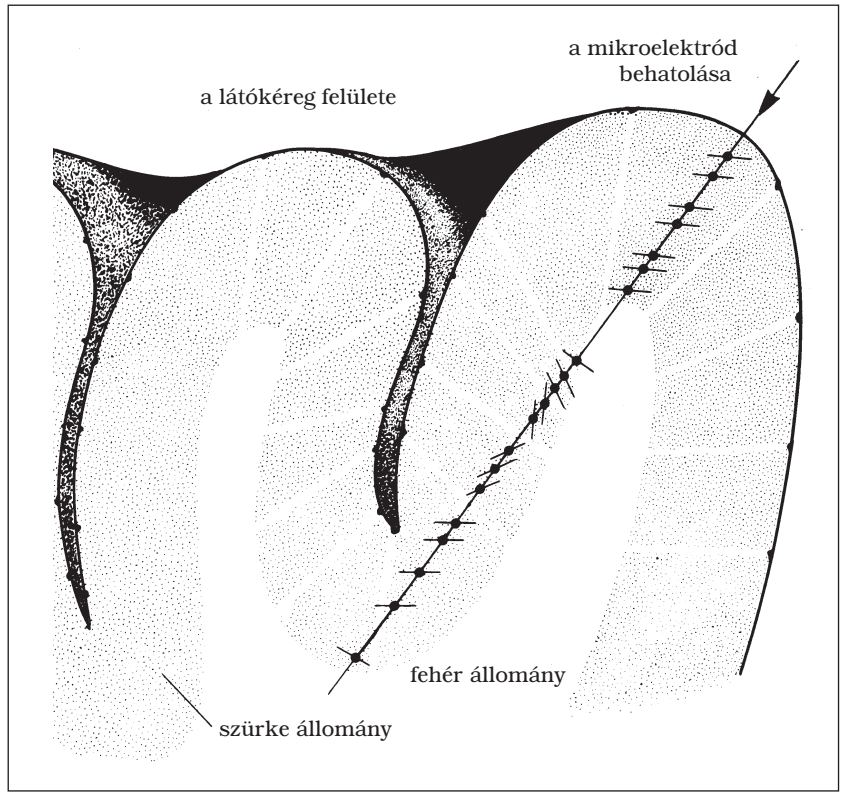
OSZLOPOS SZERKEZET

A különböző irányokra érzékeny sejtek nem véletlenszerűen szóródnak szét az agyban. Ha a kutatóknak sikerült a mikroelektródot pontosan merőlegesen beszúrni a kéregbe, akkor csupa olyan idegsejtet találtak el (egyszerűt, komplexet, hiperkomplexet), amelyek azonos irányra érzékenyek. Fél milliméterrel odébb már csupa más irányra érzékeny sejtet találtak. Az ilyen, azonos irányra beállított sejtek csoportját **oszlop**nak nevezték el. A látókéreg tehát irányérzékeny oszlopok mozaikja. Ha ezek működésük idején világítani tudnának, akkor – Sherrington hasonlatával – egy villódzó fényű éjszakai nagyvárosra emlékeztetnének. Ezt a feltevést emberen végzett kísérletek is alátámasztották. Egy kutató, akinek az volt a szándéka, hogy vakoknak látási élményt adjon, a látókéregbe beépített elektródák segítségével parányi elektromos impulzusokat adott egy-egy oszlopnak. A páciensek élénk, sokszor határozott irányba megnyúlt fényfoltokról számoltak be.

TÁRGYFELISMERÉS

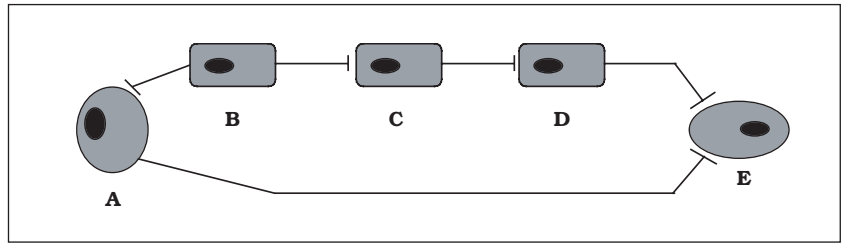
A látómezőben elmozduló tárgyak felismeréséhez azonban még ennél is sokkal bonyolultabb mechanizmust kell föltételeznünk. Hiszen egy bizonyos térbeli forma a perspektíva szabályainak megfelelően számtalan különböző vetület formájában jelenik meg a retinán – s a látókéregben is. Mégis pontosan tudjuk, hogy *ugyanarról* a pipáról van szó, tehát azonosítjuk a tárgyat. (A szem állandó mozgása következtében ugyanezt a kérdést veti fel az álló tárgyak azonosítása is.)

← mikroelektróda XVIII.3.1.2



71. ábra. ***A látókéreg oszlopos szerkezete***
A vonal a mikroelektród behatolásának irányát mutatja. Minden olyan ponton, ahol egyetlen sejtet talált el az elektród, jelöltük az ingernek a sejt számára leghatásosabb irányát. Minden egyes kérgi oszlopban a neuronok azonos irányra érzékenyek.

A tárgyfelismerés aligha képzelhető el a rövid távú memória működése nélkül. A mozgás-észlelés bonyolult folyamatában a kérgen és a retinán kívül valószínűleg a talamusz is aktívan részt vesz, részben talán olyan egyszerű mechanizmusok segítségével (is), amit a 72. ábra mutat. A kutatások mai állása azt mutatja, hogy az agykéregnek csaknem a fele valamilyen módon kapcsolatban áll a látási felismeréssel, a látvány „értelmezésével".



72. ábra. ***Szinaptikus késésen alapuló egyszerű összehasonlító memóriamechanizmus***
Az E idegsejt kétféle jelet kap A-tól: egyet közvetlenül, egyet pedig a B, C, D neuronok közbeiktatásával. Minthogy a szinaptikus késések sokkal nagyobbak, mint az axon vezetési ideje, a BCD út kb. háromszor annyi időt igényel, mint az AE. Tehát E-t két szinapszis tájékoztatja az A állapotáról: egy az aktuális, egy pedig a néhány ms-al korábbi állapotot tükrözi. E-nek így módja nyílik az összehasonlításra.

3.3.8 A látvány, mint öntudatlan következtetés

← logikai következtetés III.11.4

Az egyes tárgyak felismerésénél is bonyolultabb feladat a térbeli tájékozódás. Elsőként Hermann Helmholtz fejtette ki, hogy a látás *öntudatlan következtetés*, mely az érzékletekből és a tapasztalatokból indul ki, és indukció útján halad.

Azonban oly következtetések ezek, melyeknél a hasonnemű előzetes észleleteket magunk előtt öntudatosan föl nem soroljuk és meg sem vizsgáljuk, mennyiben jogosultak együttesen azok a következtetés megállapítására. (…) Úgy látszik nekem, hogy a különbség a logikusok következtetései és az (érzékelés közt) (…) főleg abban áll, hogy ama előbbi következtetések szavakban kifejezhetők, ez utóbbiak nem, minthogy náluk a szavak helyébe csak érzések és az érzések emlékképei lépnek.

H. Helmholtz: Az újabb haladások a látás elméletében (1874)

Az érzékelés tehát nem(csak) kiindulópontja a logikának – mint az empiristák vélték – hanem maga is egyfajta logika következményeként jön létre. E jelenség akkor válik feltűnővé, ha a következtetés téves lesz – például a távolság és a nagyság hibás becslése során.

← empirizmus VII.4

← perspektíva VI.3.2

Milyen „premisszákból" következtet a szervezet a tárgyak nagyságára és távolságára?

← premisszák III.11

a) Kis távolságra (néhány méterig) fontos jelzés a *sugárizmok feszülése*. Minél közelebbre nézünk, annál nagyobb a lencse domborulata, annál feszesebbek a sugárizmok.

← a szem optikája XIV.1.8

b) Távolabbra nézéskor (körülbelül húsz méterig) a két szemgolyó *tengelyének helyzete* is fontos információ. Közelebbi tárgy éles látása esetén a két szem tengelye nagyobb szöget zár be. Nagy távolságokon ez a szögkülönbség elhanyagolhatóvá válik.

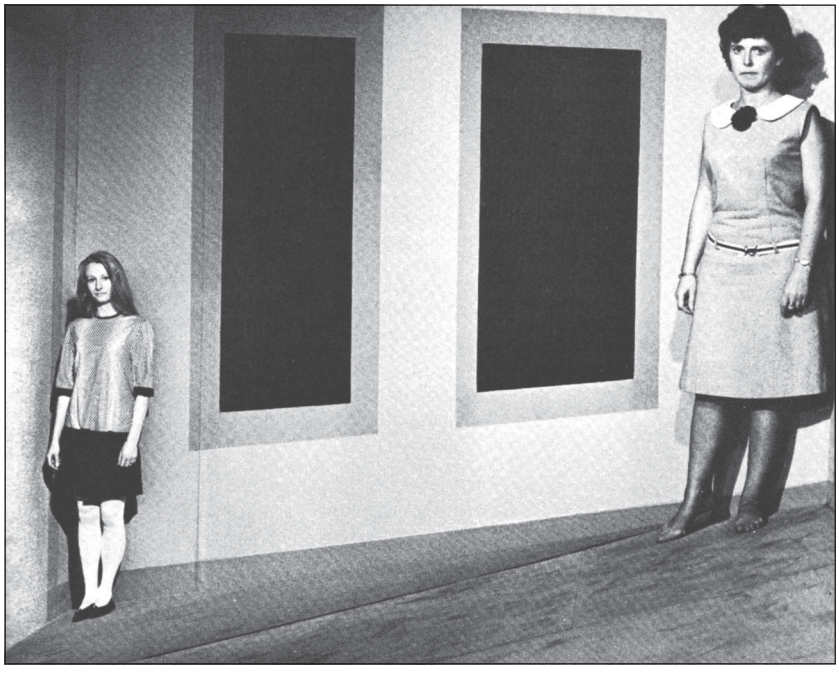
c) Fél szemmel is jól tájékozódunk a térben, ha vannak ismert nagyságú tárgyak, melyekhez viszonyíthatunk (emberek, utak, épületek stb.). Ilyen támpont a *perspektivikus rövidülés* is, mely a méretcsökkenést folyamatosan, jól követhető fokozatokon át tárja elénk. (Például az előttünk álló út szélességét fokozatosan csökkenőnek látjuk, de mivel feltételezzük, hogy a tényleges szélesség végig azonos, a méret csökkenéséből a távolságra következtetünk.)

← perspektíva és koordinátarendszer VI.3.2

d) *Takarás*: a közelebbi tárgy nyilván takarja a távolabbit.

e) Színek és a *körvonal élessége*: a levegő, különösen, ha párás, kékes távlatot és bizonytalanabb körvonalat ad a távolabbi testeknek.

PERSPEKTÍVA – ILLÚZIÓ



73. ábra. ***Perspektíva-illúzió***
Ez a különös alakú, úgynevezett Ames-szoba nagyjából derékszögűnek látszik, ezért támad az a különös érzésünk, hogy a jobboldali ember jóval nagyobb. A valóságban a szoba baloldali sarka sokkal távolabb van, a tévedést tehát a szoba alakjáról alkotott öntudatlan föltételezés okozza.

← Hold-illúzió (Schopenhauer) XVI.3.3

SZÍNAZONOSSÁG

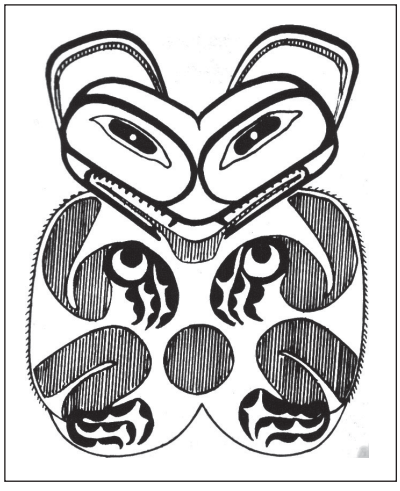
A fenti szempontok többnyire egyszerre, egymást erősítve hatnak, de általában kielégítő a térérzékelésünk akkor is, ha némelyik hiányzik (pl. nincs takarás vagy kristálytiszta a levegő). Különleges körülmények között az egyes információk egymásnak ellentmondó következtetésekre vezethetnek – ilyenkor éljük át a perspektíva-illúziót.

Hasonló kérdést vet föl a *színazonosság* fölismerése is. Ugyanaz a tárgy más-más fényben (pl. hajnalban – alkonyatkor, napfényben – árnyékban) más-más hullámhosszú fényt ver vissza, mégis többnyire azonos színűnek látjuk. *„Fehér papír teljes holdvilágnál sötétebb, mint fekete bársony napvilágnál, mégsem késünk soha sem elismerni, hogy a papír fehér, a bársony fekete”* – írja Helmholtz. E jelenség sem magyarázható másként, mint hogy a látókéreg nem önmagában vizsgálja a tárgy színét, hanem azt **összeveti a környező tárgyakkal**, s ebből öntudatlan következtetésekre jut. Így például ha egy fehér falú házra az előtte álló fa árnyéka vetül, a lomb által beárnyékolt falfelületről enyhén zöldes fény jut szemünkbe. A falat mégis *mindenütt* fehérnek látjuk, mert arra következtetünk, hogy a zöld szín oka nem maga a fal, hanem a rávetülő zöldes fény. Az érzékelt szín tehát ugyanúgy bonyolult feldolgozó-értelmező művelet végeredményeként áll elő, mint a térbeli forma.

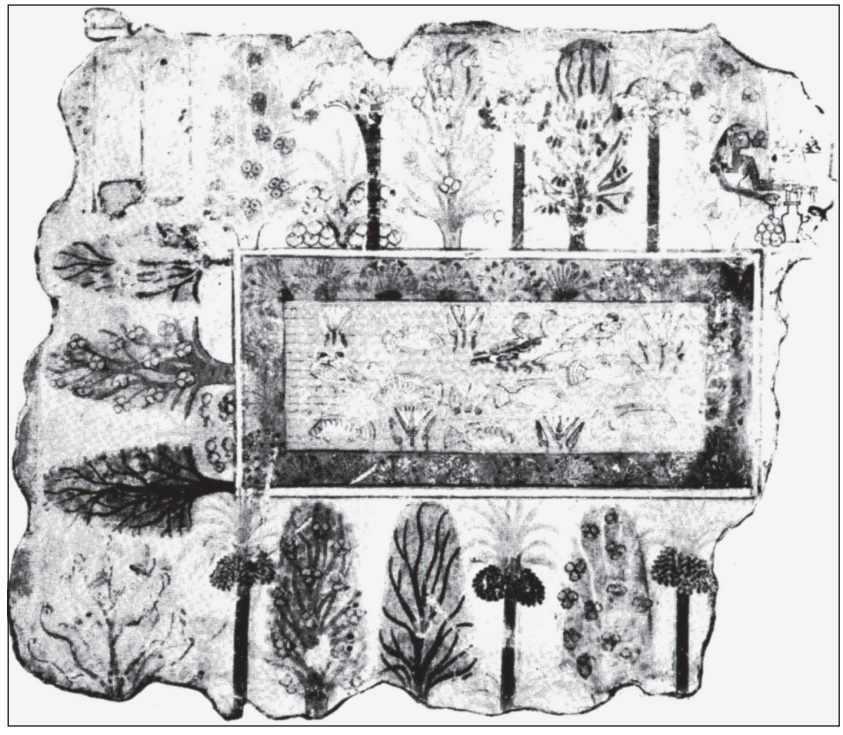
← szintvonalas ábrázolás VIII.1.5

A művészetekben és a tudományokban különös jelentőségű a háromdimenziós tér ábrázolása kétdimenziós síkban (térképkészítés, festészet, műszaki rajz, hologram). Az *ábrázolás* lényegében modellkészítés. Azt jelenti, hogy a tapasztalt világ elvonatkoztatott, szükségképp torz és hiányos mását alkotjuk meg. A kulturális hagyományoktól, technikai lehetőségektől és a konkrét céloktól függ, hogy az ábrázolás melyik módját választjuk.

Az itáliai és a német reneszánsz festők mesteri tökélyre fokozták a perspektíva alkalmazását, amivel máig ható lendületet, szemléleti alapot adtak



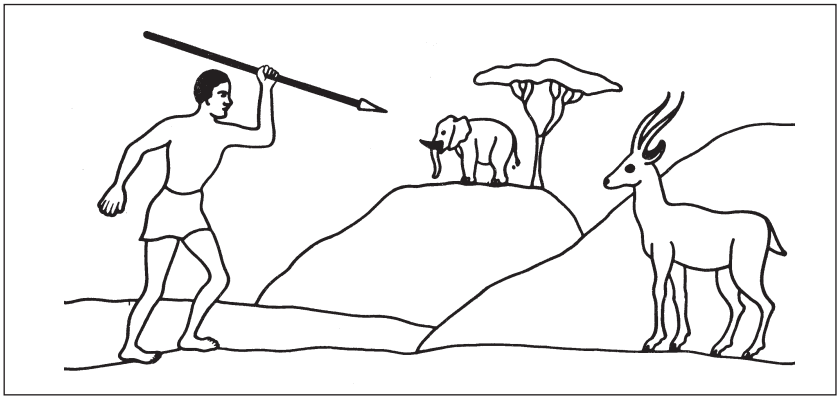
74. ábra. ***Medve. Észak-amerikai haida törzsbeli ábrázolás***
Halász-vadász népek vagy kisgyerekek rajzai a tárgy „kiterített” képét mutatják, vagy olyan alakzatot, amely a tárgy körüljárása során tárul a szemünk elé.



75. ábra. ***Tó állatokkal és emberekkel. – Egyiptomi freskó egy thébai sírból i.e. 1400 körül***
Az ókori egyiptomiak jellegzetes nézőpontok kombinációjaként érzékeltették a teret.

a tudományoknak. Az ábrázolás célja azonban nem feltétlenül tér-illúzió keltése: egy Mercator-vetületű térkép vagy egy épület vetületi rajza például nem törekszik erre.

A térlátás kultúrafüggő. Az európai felnőtt ember többnyire a perspektivikus látásmódot szokta meg, ezért a haida medveábrázolást síkbelinek látja, s csak értelmével következtet annak eredetére. Az afrikai bennszülött viszont bizonytalankodik, hogy az ábrán látható vadászhoz az elefánt vagy a gazella van-e közelebb? Számára ugyanis nincsenek kulturális hagyományai a síkban való tér-ábrázolásnak.

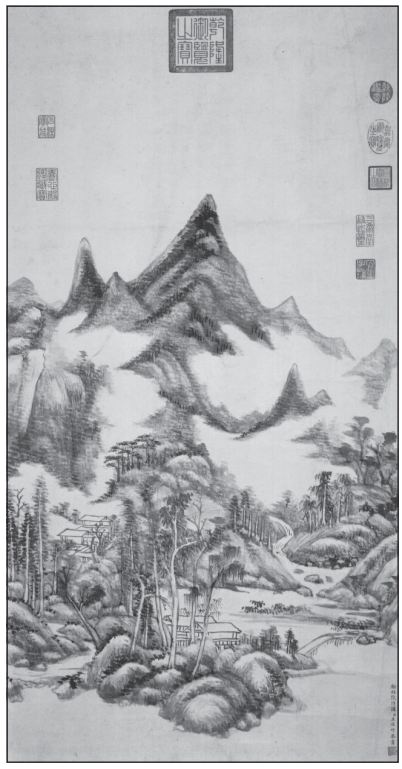


76. ábra. ***Melyik van közelebb a vadászhoz: az elefánt vagy az antilop?*** Két mozzanat utal a képi mélységre, az ismerős méret és az átfedés.

A látókéreg nem egyszerűen „vetítőernyő" - itt megy végbe az információk feldolgozása, értékelése. Szerkezetére jellemzőek a felszínre merőleges oszlopok, melyek bizonyos irányú elmozdulásokra érzékenyek. Egy oszlopon belül egyszerű és összetettebb alakzat felismerésére képes sejtek is vannak.

A retinán elmozduló alakok azonosításához, követéséhez folyamatosan működő, rövid távú memória szükséges.

A látás egész folyamata, ezen belül különösen a térbeli tájékozódás: öntudatlan következtetés (Helmholtz elmélete). A távolság becsléséhez támpontot nyújt a két szemtengely által bezárt szög, a lencseizmok feszülése, a korábbról ismert tárgyakkal való összehasonlítás, a perspektivikus rövidülés, a takarás, a körvonalak élessége és a szín is. A síklapon (két dimenzióban) keltett térérzet olyan tanult illúzió, amely az adott társadalom kultúrájától is erősen függ.



77. ábra. ***Wang-Jüan-Csi (1642–1715): Tavaszi tájkép***
A kínai festők mesterien éltek a levegő párásságát és a nagyság-összevetést érzékeltető technikával, anélkül, hogy európai értelemben vett perspektívát alkalmaztak volna.

Summa (3.3.7–8)

Kérdések, problémák

1. A 3.3.3 fejezetben az egyes fajok látásélessége (szemük felbontóképessége) igen eltérő. Mi lehet e különbségek oka? Hogyan függ össze az érzékszervek minősége az állat életmódjával?

2. Ókori eredetű az érzékelés látósugár-elmélete (Platón). Mi az, amiben ez az elképzelés találkozik az idegélettan mai eredményeivel?

3. Maga az érzékelés sohasem lehet téves, csak az érzékletek értékelése - hirdették az empirista filozófusok (pl. Locke). Megerősítik-e ezt a látás élettanának mai eredményei vagy cáfolják?

4. A látóideg igen gyenge elektromos ingerlése vagy a hallucinogén kábítószerek igen kis adagja is fényérzeteket kelthet. Tekinthető-e ennek alapján az elektromosság vagy a drog a szem adekvát ingerének?

5. Figyeljük meg egy akváriumi hal – például sügér – szemét táplálkozás közben! Mi lehet a szemmozgások szerepe?

6. Ellentétben áll-e Helmholtznak a látvány „öntudatlan következtetéséről" szóló elmélete az alaklélektan föltevésével?

7. „Hiszem, ha látom!" – szokták mondogatni. Miért nem inkább: „Hiszem, ha tapinthatom!"? Nyújthat-e egyik fajta érzékelés nagyobb bizonyosságot, mint a másik?

8. Vessük össze a Hermann-rács (62. ábra) látás-illúzióját a perspektivikus illúzióval (73. ábra)! Hasonlítsuk össze ezeket a hallucinogén kábítószerek, illetve az elmebetegségek következtében föllépő illúziókkal! Mi a tévedések oka az egyes esetekben? Mi a közös e tünetekben, ami miatt mindegyiket „illúziónak" nevezhetjük?

9. Vessük össze a 75. és 76. képeken látható egyiptomi és kínai festményt! Vajon ezek a művészek nem *tudtak* vagy nem *akartak* „szabályos" perspektivikus rövidülésű képet komponálni? Miért? Eldönthető-e ma ez a kérdés?

10. Miért játszott kiemelkedő szerepet a perspektivikus tér-ábrázolás az európai tudományok történetében?

3.3.9 A hallószervek anatómiája

ÁLLATOK HALLÁSA

A hallás a közeg bizonyos rezgéseinek érzékelése. Akár víz ez, akár levegő, tárgyaknak ütközve hullámok és örvények keletkeznek benne, melyek értékes információkat adnak a környező testek helyzetéről és elmozdulásáról.

A legtöbb állat, mely hall, hangadásra is képes (madarak, békák, sáskák, kabócák, egyes halak). A hang segítheti a nemek egymásra találását, a területvédelmet, fenntarthatja a társas kapcsolatokat, különösen éjszakai állatoknál, vagy olyan fajok esetében, melyek rejtőzködő életmódot élnek (őserdők, nádasok mélye). Az ember hangadása, a beszéd érzelmek és elvont logikai tartalom kifejezésére egyaránt alkalmas eszköz, így gondolkodás aligha képzelhető el nélküle.

← a gége működése X.3.3.2

AZ EMBERI FÜL

Az ember a hallószerve három, jól elkülöníthető anatómiai egységre tagolható. A **külső fül** a fülkagylóból és a hallójáratból áll. Feladata a hangrezgések irányítása és a dobhártya védelme. A **középfül** határát jelentő dobhártya átveszi ezeket a rezgéseket és a középfül hallócsontocskáinak rezgéseivé alakítja át. Ezek – a kalapács, az üllő és a kengyel – részben *erősítik*, részben *szabályozhatóvá teszik* a rezgések mértékét. Túlságosan erős hangok esetén mind a dobhártyát kifeszítő izom, mind az üllőnyúlvány parányi izma megfeszül, ami csökkenti a rezgések amplitúdóját. Hála e mechanizmusnak, az érzékeny receptorok igen széles tartományban – 0-tól 100-110 dB-ig – képesek érzékelni a hangerősséget. A rezgéseket – különösen a magasabb, 2000 Hz fölötti tartományban – befolyásolják a koponya csontjai által keltett hanghullámok is. A középfül levegővel telt, zárt üreg, mely a fülkürt (Eustach-kürt) révén érintkezik a garattal. Ennek fala azonban általában zárt, csak nyelés, ásítás során nyílik ki. A középfül és külvilág közötti esetleges nyomáskülönbség ilyenkor kiegyenlítődik. Az utolsó hallócsontocska, a kengyel talpa a halántékcsont **ovális ablakát** borító rugalmas hártyához kapcsolódik, ezt hozza rezgésbe. Az ovális ablak mögött kezdődik a **belső fül**, ez a folyadékkal telt bonyolult üregrendszer, mely a hangokat és a fej helyzetét is képes érzékelni. A hallás a **csigá**nak nevezett spirálisan fölcsavarodott folyadéktérben, a helyzetérzékelés pedig a **félkörös ívjáratok** (labirintusszerv), a **tömlőcskék** és **zsákocskák** segítségével történik. Mivel a folyadék gyakorlatilag összenyomhatatlan, a belső fülben csak úgy jöhet létre hullám-

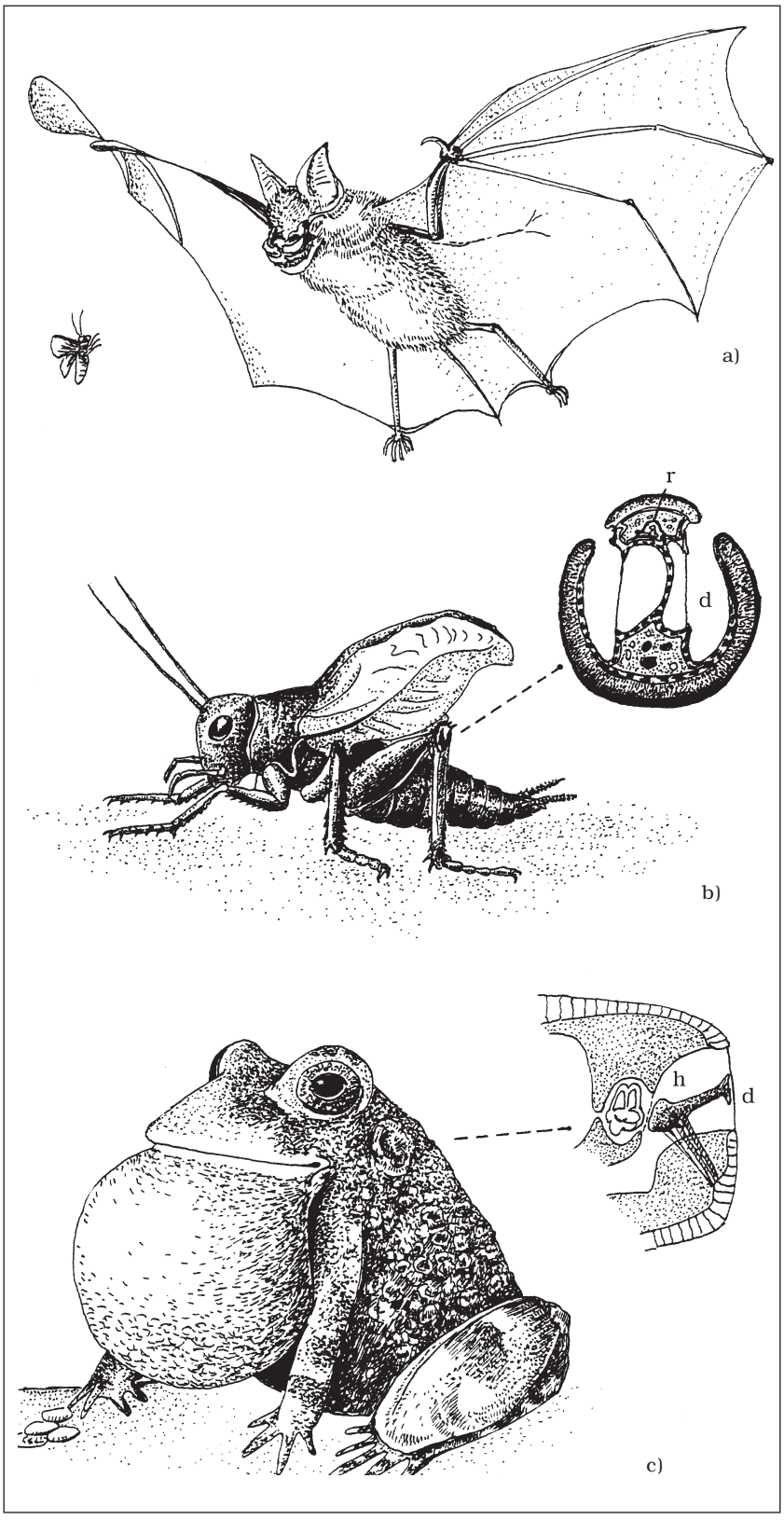
← reflexkör XVIII.3.2.2

← hangerősség XIV.2.4.2

→ a hallócsontok evolúciója XXVII.

BELSŐ FÜL

← IX.4.2



78. ábra. ***Néhány állatfaj hangadása és hallószervének felépítése***

a) **Nagy patkósorrú denevér vadászat közben.** A denevérek 20000 Hz fölötti – emberi fül számára nem hallható – ultrahangokat bocsátanak ki, s azok visszaverődése alapján a sötétben is jól tájékozódnak. Mint a legtöbb gerinces, a denevér is mozgatni képes fülkagylóját, amivel a hangok irányát pontosan beméri.

b) **Tücsök ciripelése és lábízületében elhelyezkedő „dobhártyája" (d) valamint receptorsejtjei (r)**

c) **Kuruttyoló varangy.** A hímek hatalmasra felfújható hanghólyagja erősítő rezonátorként szolgál. Megfigyelhető a kerek dobhártya (d), mely kétéltűekben közvetlenül a testfelszínen található, a külső fül tehát itt hiányzik. Mellette közép- és belső fül kapcsolata. Kétéltűekben egyetlen hallócsont (h) van.

mozgás, ha egy másik rugalmas hártya lehetővé teszi a kitéréseket. Ez az ovális ablaktól nem messze található kerek ablakot borító hártya. Maga a csiga három részre, járatra különül el: az ovális ablak által keltett lökéshullám a felső járaton fut végig a csiga csúcsáig, ott megfordul, és az alsó járaton a **kerek ablakig** halad végig, abban is rezgéseket keltve. Mivel a középső járatot rugalmas hártyák választják el a felsőtől és az alsótól, a rezgések átterjedhetnek ennek folyadékterére, s megrezgetik magukat a hártyákat is.

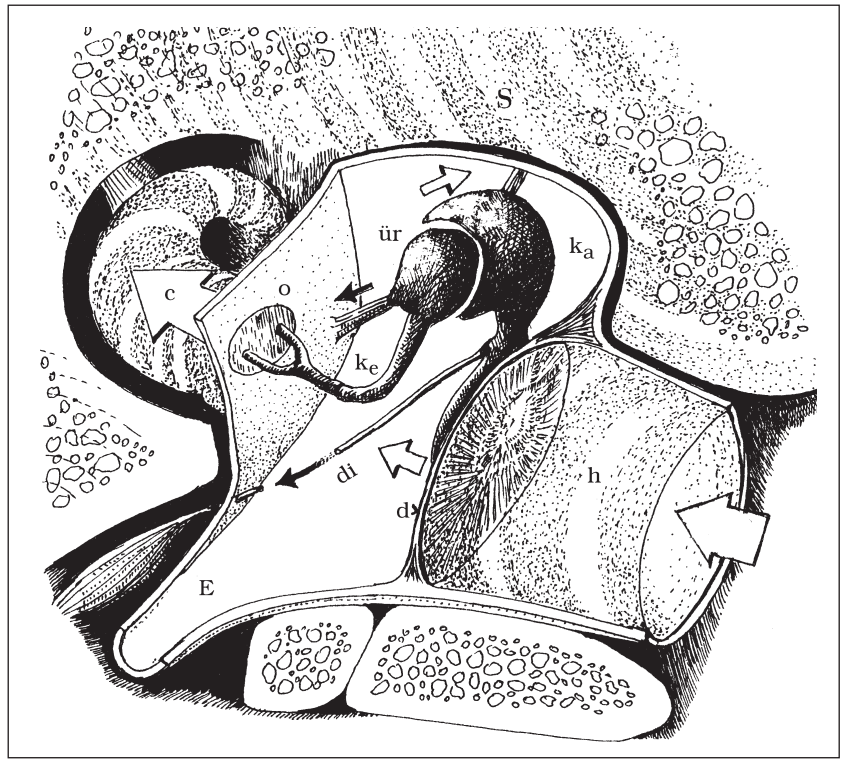
← hullámok folyadékokban XIV.2.3

← agyidegek XVIII.3.2.3

A csigát és a labirintusszervet elhagyó idegek egyesülve az agyba mint egységes halló- és egyensúlyozó ideg vezetnek (VIII. agyideg).

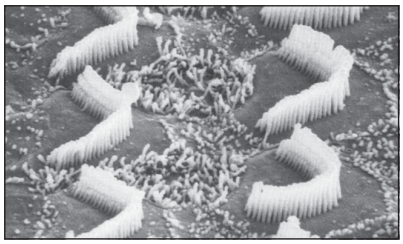
3.3.10 A belső fül

Mivel a külső- és középfülbe nem vezet érzőideg, ezért a múlt század közepén már világos volt, hogy a hallás receptorait a belső fülben kell keresni. A magyarázatot a mikroszkópos megfigyelések és az elméleti fizikai megfontolások összekapcsolása hozta meg.



79. ábra. ***A hallócsontocskák és a hozzájuk kapcsolódó izmok hatása vázlatosan.***
A középfülben a fehér nyilak a hallócsontok elmozdulásait érzékeltetik (a nyilak vastagsága a kifejtett erővel illetve nyomással arányos). A fekete nyilak a feszítő izmok hatását mutatják.

o = ovális ablak, c = csiga,
ür = üllőfeszítő rostok,
d= dobhártya,
di = dobhártyafeszítő izom,
h = hallójárat,
s = sziklacsont, benne a csontvezetéssel terjedő hullámok,
E = Eustach-kürt
Ka = kalapács
Ke = kengyel
ü = üllő



80. ábra. ***Szőrsejtek pásztázó elektronmikroszkóppal készített képe a belső fülből***

Az olasz Alphonse Corti báró 1851-ben elsőként írta le a később róla elnevezett **Corti-szervet**, emelyben az érző sejtek találhatók. A Corti-szerv a belső fül három járata közül a középsőben, egy olyan rugalmas hártyán (az alaphártyán) ül, mely a csigán áthaladó hullámok hatására könnyen rezgésbe jön. Maga a Corti-szerv különböző hosszúságú szőrsejtekből, támasztósejtekből s az ezek fölé boruló finom, hajlékony fedőlemezből áll. A receptorok a szőrsejtek, melyek akkor kerülnek ingerületbe, amikor a fedőlemezhez érnek.

Arra a kérdésre, hogy a belső fülnek milyen elemző munkát kell elvégeznie, elsőként Hermann Helmholtz adott magyarázatot **rezonanciaelméletével** (1857). Helmholtz gondolatmenete a következő: a külvilág számta-

lan hangforrása külön-külön mind sajátos, és rá jellemző rezgést bocsát ki. Ezek az egyidejűleg keletkező hullámok azonban a légtérben interferálnak, összeadódnak, így a fülhöz már egyetlen, nagyon bonyolult rezgésmintázat érkezik. Ebből csak akkor lesz számunkra értelmezhető hang, ha az összetett hullámokat ismét szét tudjuk bontani alkotóikra, azaz *azonosítani tudjuk a hangforrásokat*. Erre egy olyan műszer (pl. zongora) alkalmas, mely minden részében más hullámhosszú hangra rezonál. Ha ezen a szerkezeten összetett hanghullám halad át, úgy annak összetevői a saját hullámhosszukra jellemző helyen keltenek rezgést, az elemi hullámokat tehát egy rezonanciamintázat jeleníti meg. Helmholtz tudta, hogy a csiga szélessége az alapjától a csúcsáig folyamatosan csökken. Feltételezte, hogy az alaphártya a rezonáló felület. A csigát egy olyan zongorával modellezhetjük, melyben több ezer különböző hosszúságú húr van (durván annyi, ahány hangmagasságot képesek vagyunk megkülönböztetni). Ezen modellzongorának csak azok a húrjai fognak megrezdülni, melyek a hullám valamelyik összetevőjére rezonálnak. Itt kileng az alaphártya, a szőrsejteket a fedőlemezhez nyomja, ingerület keletkezik. Helmholtz rezonanciaelmélete szerint tehát a *hangok analízisét maga a belső fül végzi el, tisztán fizikai mechanizmus segítségével*. A keletkező ingerületeket a hallóideg szigorúan külön-külön szállítja, így az agynak nem marad más feladata, mint hogy ezeket azonosítsa, s utána összerakja belőlük a külvilág hangzó térképét.

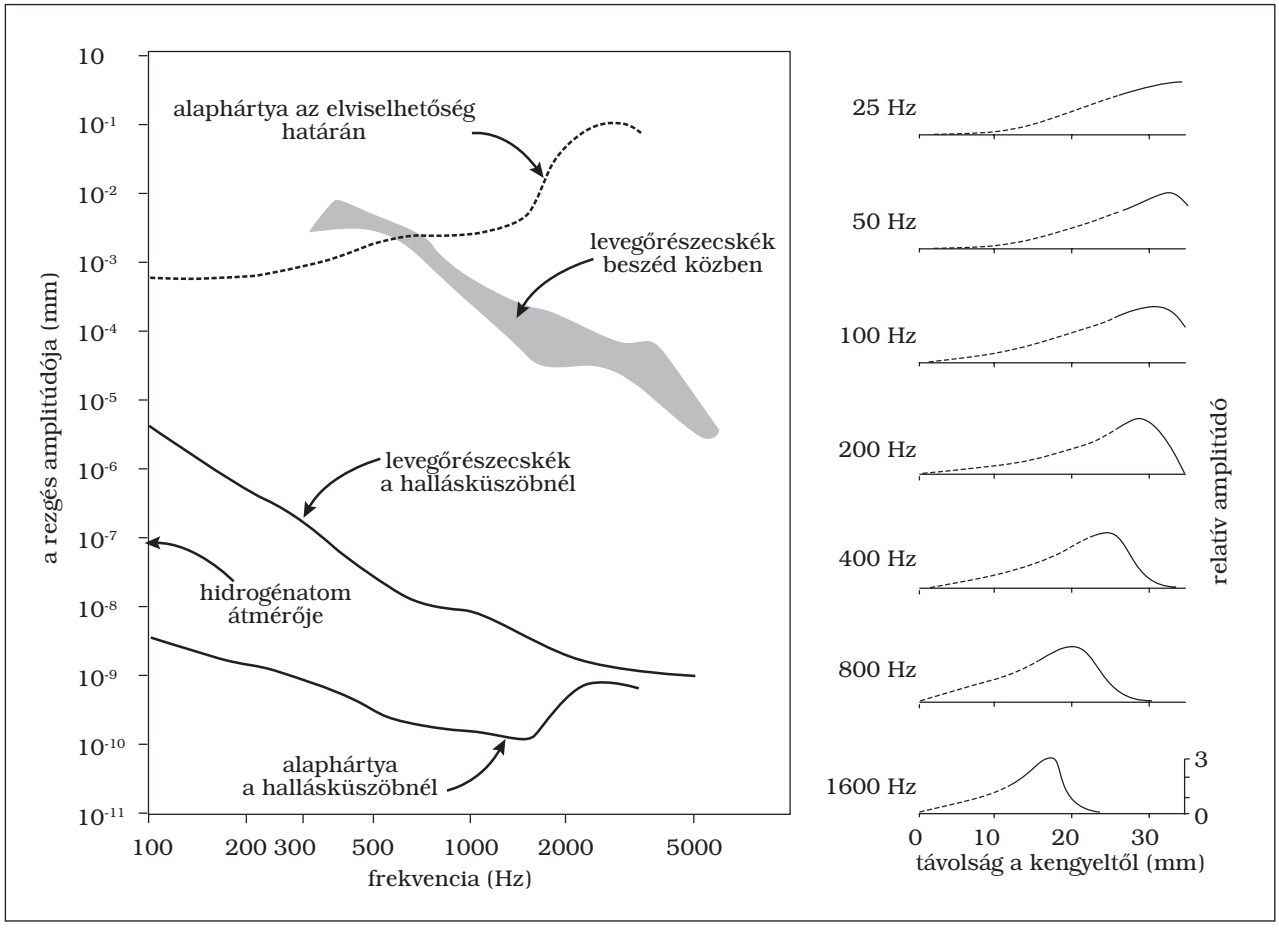
A BELSŐ FÜL MŰKÖDÉSE

← hullámok összetétele (Fourier) XIV.2.2.3

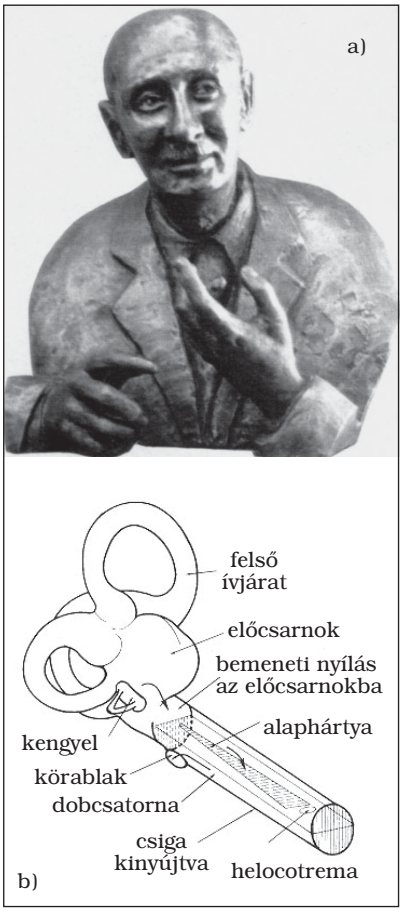
← rezonancia XIV.2.4; 2.2.4

← analízis VII.3.1.2

„HANGZÓ TÉRKÉP"



81. ábra.



82. ábra. a) ***Békésy György (1899–1972) magyar biofizikus szoborportréja (Békésy Miklós alkotása) a budapesti Békésy György Postaforgalmi Szakközépiskolában***
Diplomatacsaládban született, gyermekéveit és iskoláis éveit Németországban, Törökországban és Svájcban töltötte. Fizikai doktorátusát 1923-ban szerezte meg a budapesti Tudományegyetemen, ahol ezt követően csaknem 25 éven át tanított. Közben a budapesti posta távbeszélő laboratóriumában a hang átviteli lehetőségeit kutatta. Így került kapcsolatba a biológiával. A belső fülben végbemenő folyamatokról szóló első cikke 1928-ban jelent meg. 1947-től Stockholmban, majd több amerikai egyetemen kutatott. A hallás mechanizmusát felderítő kísérleteiért 1961-ben kapott Nobel-díjat.
b) ***A belső fül fölépítése*** Békésy György szerint. A csigát a rajzon a jobb áttekinthetőség kedvéért kiegyenesítve ábrázolta.

Helmholtz elméletét közel száz évig elfogadták, mivel mind a hallócsontocskák, mind a belső fül működésének tényleges vizsgálata igen bonyolult műszereket és kifinomult technikát igényel – s ezek akkor még nem álltak rendelkezésre.

A magyar Békésy György (1899–1972) volt az első, akinek sikerült a hallócsontokat és a belső fület működés közben vizsgálnia. Először ötszörös nagyítású „műfület" (makettet) készített, majd az ezen tapasztalt jelenségeket próbálta megkeresni a valódi fülben is. A mérés nehézségét jelzi, hogy a kengyel talpa rezgés közben még az 50 nm-es amplitúdót sem éri el, ami a legjobb mikroszkópban sem látható. Békésy speciális réslámpával (stroboszkóppal) dolgozott, a belső fülben pedig úgy keltett rezgéseket, hogy egy parányi (0,01 mm-es) vasgolyócskát elektromágnessel mozgatott benne. Megfigyelései annyiban igazolták Helmholtz elméletét, hogy az alaphártya csakugyan frekvenciától függő helyen jön rezgésbe, a kiváltó ok azonban sokkal bonyolultabb a rezonanciánál, az ovális ablakról leváló örvények is szerepet játszanak benne.

A hallásról szóló leginkább gondolatébresztő könyv számomra Helmholtz *műve, a „Die Lehre von den Tonempfindungen" volt, amelyet 1863-ban adtak ki. Noha néhány részletét nem erősítették meg, a mai műszeres mérések alapvető elképzelései megőrizték értéküket. Helmholtz módszere, ahogy a fiziológiát és a pszichológiát fizikai kifejezésként tekintette, ma éppoly friss, mint a megírás idején. A hallászkutatásban azonban Helmholtz nagyszerű indítását stagnálás követte, az egyetemek majdnem 100 éven át ugyanazt tanították. Az akusztika teljes területe nagyon keveset fejlődött a fizika más területeinek óriási előrehaladásával összehasonlítva.*

(…)

Visszatekintve, azt hiszem, nem túl nehéz megérteni a hallás fiziológiájának lassú fejlődését. Az 1. ábra az ordinátatengely mentén a levegőrészecskék és az alaphártya rezgési amplitúdóját ábrázolja az emberi belső fülben olyan hangokra, amelyek éppen hallhatóak az abszcisszán jelölt frekvenciáknál. (Az alapmembrán rezgési amplitúdóit ábrázoltuk, mert a hallóidegek ezen a membránon elhelyezkedő sejtekben végződnek; tehát a hallóideg stimulálásáért várhatóan ennek rezgései a felelősek.) Mint látják, a rezgési amplitúdók rendkívül kicsik. 3000 Hz-nél képesek vagyunk meghallani olyan rezgést, amelynek amplitúdója 100-szor kisebb, mint egy elektronpálya átmérője a hidrogénatomban. Még olyan magas hangnyomásokra is, amelyek a fülben elviselhetetlen fájdalmakat okoznak, magasabb frekvenciákon a rezgési amplitúdók viszonylag kicsik. A legutóbbi időkig nem voltak módszerek ilyen kis amplitúdók mérésére, noha e mérések adják a leglényegesebb adatokat, amelyeken akusztikai kutatások egyáltalán elkezdhetők. Ezen a nehézségen csak erősítő feltalálásával lehetett túllépni.

(Részlet Békésy Györgynek a Nobel-díj átadásakor elmondott előadásából)

3.3.11 A hallópálya

A látópályához hasonlóan a hallópályát is a halláskiesésekből és a kiváltott potenciálhullámok módszerével térképezték fel. Négyszeri agytörzsi átkapcsolódás után ér a hallópálya a talamuszba. Innen indul ki az utolsó – ötödik – idegsejt, mely a halántéklebenyben található **hallókéregbe** vezet. A rostok egy része átkereszteződik, más része nem, így mindkét agyfélteke mindkét fülből kap információt.

A hangforrás **irányának** fölismerése az agytörzs feladata. Egyik alapja az, hogy a távolságkülönbség miatt a két fülbe kis *időbeli eltéréssel* érkezik ugyanaz a hanghullám. Az időkülönbségből – öntudatlanul – az irányra is, a távolságra is következtethetünk. Ugyancsak lényeges *a koponya árnyékoló hatása*, mely a magasabb frekvenciákon válik döntővé. (500 Hz-es rezgésszámánál például a közelebbi fülbe 6 dB-lel jut erősebb hang, mint az ellentétes oldaliba, 5000 Hz-nél a fej árnyékolása már eléri a 25 dB

értéket.) Az irányérzékelés képessége az emberben meglehetősen pontatlan néhány emlőshöz képest (denevérek, pockok), melyek a fülkagyló aktív mozgatásával „lokátorszerűen” is képesek bemérni a zajforrást.

IRÁNYÉRZÉKELÉS

A vizsgálatok szerint a hallópályában végig megmarad a *frekvenciák szerinti elkülönülés*. Olyan macskák, melyek talamusza ép volt, s csak a hallópályájuk ötödik idegsejtje sérült, a hangmagasságokat még meg tudták különböztetni, a hangforrás felismerésére azonban képtelenek voltak. Úgy látszik, hogy az agykéreg ennél bonyolultabb feladatokat lát el.

A HANGMAGASSÁG ÉRZÉKELÉSE

A hallókéreg – hasonlóan a látóhoz – oszlopos felépítésű. Egy-egy oszlop összes sejtje azonos frekvenciát érzékel. A működő oszlopokat itt is gátolt állapotúak veszik körül. Egyes „komplex” sejtek hangközökre, mások a frekvencia növekedésére (felfelé skálázásra) vagy csökkenésére mutatnak elektromos aktivitást.

← az alaklélektan az érzékelésről XVI.3

3.3.12 A helyzetérzés

A legtöbb élőlénynek nem közömbös, hogy a gravitációs térben milyen a helyzete, tehát hol van „fent” és hol van „lent”. Ennek észlelésére szolgálnak a *statikus* helyzetérzők, melyek legegyszerűbb változatát, a „függőón”-szervet medúzákban találjuk meg.

Gerincesek – így az ember – szervezetében ehhez hasonló érzékszervet a belső fül két üregében: **a tömlőcskében és a zsákocskában** találtak. A kocsonyás anyagba ágyazott receptorok érzékszőreit egy apró $CaCO_3$-kristály ingerli, attól függően, hogy a függőlegestől merre és milyen mértékben tért el a test. A fej és a törzs elfordulását ezenkívül az izmok feszülése is jelzi, a beléjük ágyazott **izomorsók útján**. E két mechanizmus teszi lehetővé, hogy behunyt szemmel is pontosan tudjuk: melyik testrészünk hol van.

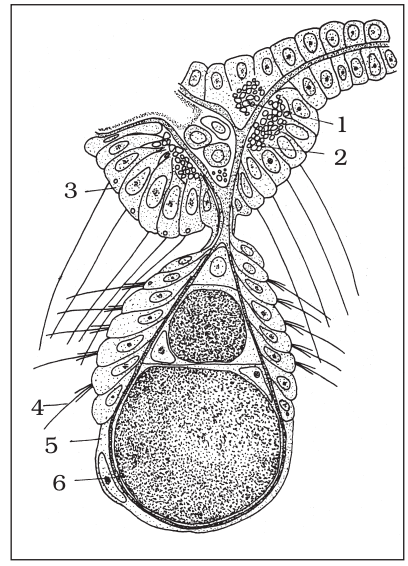
TÖMLŐCSKE, ZSÁKOCSKA, IZOMORSÓ

Bonyolultabb feladat a *mozgások* érzékelése. Ha a megfigyelő mozgása egyenletes – például vonaton utazik – Newton törvényei értelmében semmilyen fizikai kísérlettel nem állapíthatja meg, hogy a környezete mozog-e, vagy ő. Érzékszervei sem találhatnak ilyen támpontot, egyedül a látvány öntudatlan elemzése révén vonhatja le azt a következtetést, hogy valószínűleg a vonat mozog és nem a táj. Ehhez azonban szükséges információ a saját mozgásról vagy annak hiányáról. Így is van: az érzéklet feldolgozó rendszer kap egy „másolatot” a mozgató parancsokról is. A nagy osztrák fizikus-filozófus, Ernst Mach (1838–1906), aki behatóan tanulmányozta a helyzetérzés fizikáját és biológiáját, így ír erről:

„Ha fejünket tetszés szerint forgatjuk, a nélkül, hogy közben valamely optikai tárgyat szándékosan szemügyre vennénk, a tárgyak nyugalomban maradnak. Egy másik megfigyelő pedig egyidejűleg azt észlelheti, hogy szemeink, mint súrlódás nélküli, tehetetlen tömegek, nem vesznek részt a forgó mozgásban. (…) Hídon állunk és szemléljük az alatta elfolyó vizet. Ekkor rendes körülmények között azt érezzük, hogy mi nyugalomban vagyunk, a víz pedig mozog. Ha azonban hosszabb ideig nézzük a vizet, ennek – mint ismeretes – majdnem mindig az a hatása, hogy egyszerre a híd a megfigyelővel és az egész környezettel együtt a vízzel ellentétes irányú látszólagos mozgásba jő, míg a víz a nyugalom képét ölti föl. (…)

Ha egy vonaton levő gyermeket figyelünk meg, azt látjuk, hogy szemei, rángatózó mozgással, majdnem szakadatlanul követik a külső tárgyakat, melyek neki mozgásban levőnek látszanak.. Ugyanilyen érzései vannak a felnőttnek is, ha minden kényszer nélkül átengedi magát benyomásainak.”

Ernst Mach: Az érzetek elemzése 1885.



83. ábra. ***Medúza „függőón-szerve” vízszintes helyzetben.***
A finom fonálon függő szervben $CaCO_3$-kristályka (sztatolith, 6) súlya biztosítja a függőleges állást. Körülötte érzékszőrök (3,4), elvezető idegek (1,2). és tartósejt (5).

Ha az állat oldalirányban megbillen, az érzékszőrök ingerületbe jönnek, s az állat harangjának összehúzásával helyreállítja az egyensúlyi helyzetet.

← gyorsulás VI.7.2

Más a helyzet, ha a megfigyelő gyorsul, különösen, ha körkörösen gyorsuló (változó sebességű) mozgást végez. Ekkor már megvan a fizikai alapja a mozgásérzékelésnek, s általában szükség is van rá, hiszen az egyensúly elvesztésével fenyeget. A *dinamikus helyzetérző* szerv a belső fül labirintus szervében van. Ennek félkörös ívjárataiban – a tér három dimenziójának megfelelően – mozgásba lendül a folyadék, ami ingerli a benne levő érzékszőrőket. A labirintusszerv huzamosabb ingerlése után fellépő szédülés valószínűleg azzal függ össze, hogy a gyors változások feldolgozása elakad, s a szervezet időlegesen nem találja a „mozdulatlan koordinátákat". Hasonló érzést kelthet a látvány is, ami azt bizonyítja, hogy az egyensúlyi központ nemcsak irányítja a szemmozgásokat, hanem fordítva: a szemből jövő információkat is felhasználja.

← tehetetlenség VI.7.2

← XVIII.3.3.4

EGYENSÚLYI KÖZPONT

Az **egyensúlyi „központ"** helyét keresve a VIII. agyideg labirintusszervből és a tömlőcskéből és zsákocskából érkező rostokat követték nyomon egy középagyban elhelyezkedő magcsoportig. Ezen agytörzsi központ(ok) nemcsak az érzékelésben, hanem a mozgató működésben is alapvető fontosságúak. Szükséges ugyanis, hogy bármely apró mozdulattal (például a fej elfordításával) párhuzamosan úgy állítsa be az összes többi izom helyzetét, hogy az egész test megtartsa egyensúlyát.

← gerincvelői reflexek XVIII.3.2.2

A LABIRINTUSTERV MŰKÖDÉSE

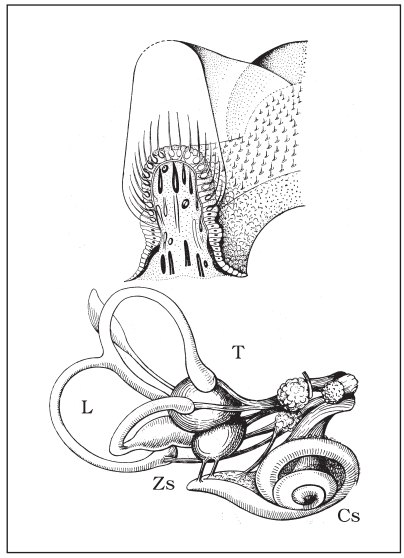


84. ábra. a) ***Bárány Róbert (1876–1936) magyar származású osztrák orvos, a helyzetérző szerv működésének felderítője***

A bécsi egyetemen végezte orvosi tanulmányait, majd a magyar Politzer Ádám fülklinikáján kezdett dolgozni. Itt figyelte meg, hogy hidegvizes fülöblítéskor egyik betege szédülésre panaszkodott, s eközben szemgolyói a szédülő emberekre jellemző módon rezegtek. Testmeleg vízöblítéskor a beteg nem tapasztalt szédülést, meleg víznél ismét föllépett a jelenség, de a szemgolyók ellenkező irányba rezegtek. Bárány fölismerte a jelenség okát: a félkörös ívjáratokban 37 °C-os folyadék van, mely hőmérséklet-változásra áramlásba kezd, és az áramlás az, ami kiváltja az ingerületet. Aszerint, hogy hűtjük, vagy fűtjük a folyadékot, az áramlás iránya más lesz, mintha ellenkező irányba forgatnánk valakit. Ez szabja meg a szemrezgések irányát is. Bárány e reakciót felhasználta gyulladások vagy daganatok helyzetének kimutatására is, amivel sok ember életét mentette meg. Az első világháborúban hadiorvosként Przemysl várában dolgozott, orosz hadifogságba esett. Miközben egy közép-ázsiai orosz fogolytáborban a maláriával küzdött, 1915-ben neki ítélték az orvosi Nobel-díjat. Ezt csak hosszas diplomáciai huzavona után vehette át Stockholmban. Élete második felét az uppsalai (svéd) fülklinikán töltötte, mely vezetése alatt a hallással és egyensúlyérzéssel kapcsolatos kutatások egyik központja lett.

← a víz hőmérséklete és sűrűsége VIII.3.2

← érzékcsalódás (illúzió) XVIII.3.3.2



b) ***A belső fül egyensúlyérző szervének felépítése***

Fent: a kocsonyás állományba ágyazott szőrsejtek, melyek a félkörös ívjáratban megmozduló folyadék hatására jönnek ingerületbe. Lent: a félkörös ívjáratok (labirintusszerv, L), tövében a kiöblösödő tömlőcskével (T) és zsákocskával (Zs), alattuk pedig a hallószerv része, a csiga (Cs).

Summa (3.3.9–12)

HALLÁS

A hallás a közeg bizonyos rezgéseinek érzékelése, a legtöbb élőlényben összekapcsolódik a hangadás képességével. Az emberi fülben a külső fül irányítja a hanghullámokat a középfülhöz. A dobhártyáról a középfül erősítő-intenzitásszabályozó szerepű hallócsontocskái továbbítják a rezgést (kalapács-üllő-kengyel), de fontos a koponyacsontok hangvezetése is. A belső fül folyadéktere az ovális és a kerek ablak rugalmas hártyái segítségével veszi át a csontok rezgését. A benne fekvő Corti-szerv szőrsejtjei (a receptorok) akkor kerülnek ingerületbe, ha hozzáérnek a fedőlemezhez. A frekvenciaelemzés magyarázatául szolgált Helmholtz rezonanciaelmélete, mely szerint a frekvenciától függő helyen bekövetkező rezonancia hozza létre az érintkezést. A rezonancia-elméletet a pontos megfigyelések alapján módosítani kellett (Békésy György).

A hallópálya – négyszeri átkapcsolódás után – a halántéklebenyi hallókéregben végződik. A kéreg feladata a hangközök, sorok és irányok felismerése. Ez utóbbiban a két fülbe érkező ugyanazon hang közti idő- és intenzitáskülönbség ad támpontot.

HELYZETÉRZÉS

Az élőlények térben elfoglalt helyzetét a statikus, gyorsulását a dinamikus helyzetérző szervek (is) jelzik. Statikus helyzetérzők az emberben a belső fül tömlőcskéje és zsákocskája, melyekben – a fej helyzetétől függően – $CaCO_3$ kristályka ingerli a receptorsejteket. A gyorsuló mozgást a belső fül labirintusszerve (félkörös ívjáratok) jelzi, melyben folyadékáramlás indul meg a gyorsulás hatására.

Az agytörzsi egyensúlyi központok nemcsak a belső fülből, hanem a szemből, az izmokból (izom- és ínorsókból) és más agyterületkről is kapnak ingerületet. Mozgató rostjaik befolyásolják a szemmozgásokat és az egyensúly szempontjából lényeges összes izom állapotát.

Problémák, feladatok (3.3.9–12)

1. Saját hangunkat még a legjobb magnófelvételen is idegennek érezzük, másokét nem. Miből eredhet a különbség?

2. Az emberi belső fül csigájában az alaphártya 0,08-1,498 mm szélességű. Létrehozhatna-e itt rezonanciát a hallható hang? A rezonáló húr hossza a kérdéses hullámhossz 1/4-e (itt a legnagyobb a kitérés). A legkisebb hallható frekvencia 16 Hz, a legnagyobb kb. 20.000 Hz. A hang terjedési sebessége 334 m/s. Milyen frekvenciájú hangokra rezonálna ténylegesen az alaphártya?

3. Kis hangnyomás esetén a dobhártya hatásos felülete 55 mm^2, míg a kengyel talpáé 3,2 mm^2. Hányszoros nyomásfokozást biztosít ez? A hallócsontocskák közül a kalapács nyelének és az üllő hosszú nyúlványának (melyhez a kengyel kapcsolódik) hossza úgy aránylik egymáshoz, mint 1:1,3. Hogyan befolyásolja ez az ovális ablakra nehezedő nyomást? A dobhártya vagy az üllőnyúlvány rezgésének amplitúdója a nagyobb?

4. Európai ember fél hang eltérést jól érzékel és tisztán ki is tud énekelni, ennél kisebb – pl. negyedhangnyi – frekvencia-eltérést többnyire csak „hamisnak” hallunk. Ázsiában gyakran hallják is és ki is éneklik a negyedhangokat. Mire következtethetünk a különbségből?

5. Csöndes erdőben közvetlen közelben dördülő puskalövés akár időleges süketséget is okozhat (az ijedtségen kívül). Ugyanez a lövés egy zajos diszkóban jóval kisebb károsodást kelt. Mi lehet a különbség oka?

6. Mi az oka annak, hogy a fej árnyékoló hatása az irányérzékelésben magas frekvenciájú hangoknál válik erőteljessé?

3.4 Mozgás és érzelem

3.4.1. Az elhatározástól a mozdulatig

A gerincvelői és agytörzsi reflexek felderítése bizonyította, hogy ezek a mozgások egy sor nagyon bonyolult viselkedésnek is *elemei*. A járás, a testtartási reflexek, a szemgolyó automatikus mozgásai részei például egy táncnak, maga a tánc azonban több ezek összességénél: tudatos mozgásirányító központot feltételez. Ha a homloklebeny hátsó területe sérül, az akaratlagos mozgások lehetetlenné válnak. Ebből arra következettek, hogy az agykéreg ezen részében található a keresett mozgatóközpont. Az agyvérzések (szélütés, gutaütés) gyakran csak az egyik agyfélteke működését bénítják meg. Ilyenkor egyik testfél harántcsíkolt izmai bénulnak, mégpedig mindig az agyvérzéssel ellentétes oldalon. A homloklebenyből induló mozgatópálya rostjai tehát átkereszteződnek. Az átkereszteződés helyét a nyúltvelőben található

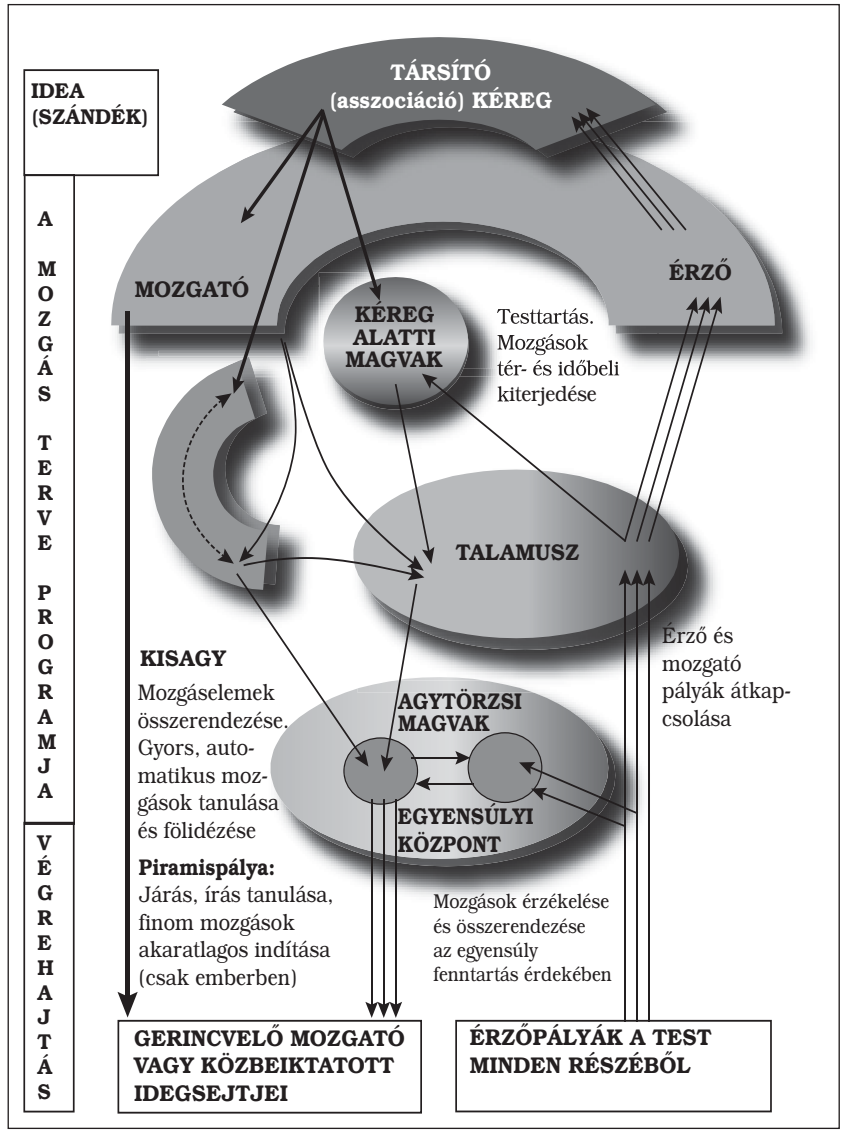
AKARATLAGOS MOZGÁSOK

← Descartes elképzelése VII.3.1.3

PIRAMISPÁLYA

← a gerincvelő fölépítése XVIII.3.2.2

← a látópálya kapcsolatai XVIII.3.3.4



85. ábra. ***A mozgatópályák és fontosabb kapcsolataik emberben.***
Az ábra jelöli az érzőpályákat is, melyek folyamatosan befolyásolják, módosítják a mozgásokat. Az „érző-mozgató kéreg" elnevezés arra utal, hogy e területek nem különülnek el élesen: érzékelés során a mozgatókéregben is mérhető aktivitás. Az ábra nem részletezi a kisagy eltérő feladatú részeit, a látási reflexek pályáit, és az érző és mozgató pályák átkereszteződését.

piramis formájú területen találták meg, innen a pálya neve: **piramispálya**. A piramispálya idegrostjai a gerincvelő mozgató vagy köztes idegsejtjein végződnek. Ezzel közvetlenül irányítani vagy gátolni tudjuk egyes mozdulatainkat. A piramispálya emberben és olyan főemlősökben alakult ki, melyek ujjaikat finom mozgásokra használják (precíziós fogás, jelzések, írás).

← mikroelektróda XVIII.3.1.2

Meglepően új eredményre vezettek a mikroelektródás vizsgálatok. Korábban a mozgatómezőt tartották a legfelsőbb mozgásirányító központnak, ahonnan a mozgássor megtervezése indul. Valóban, a kérgi mozgatómezőben már 0,8 másodperccel a mozgás megkezdése előtt elektromos aktivitás mérhető. A kéreg úgynevezett asszociációs (kapcsolatteremtő) részének aktivitása azonban még a mozgatókéregét is megelőzi. Az elhatározás – a „mozgás ideája" – tehát előbb születik meg agyunkban, mint a végrehajtásra vonatkozó utasítás. Az agykéreg asszociációs területei viszont összeköttetésben állnak a talamusszal és az érzőmezőkkel is, ezért azonnal értesülnek arról, hogy milyen következményekkel járt az előző mozdulat. Ez teszi lehetővé, hogy ha szükséges, a másodperc tört része alatt módosíthassuk cselekvési tervünket. Az idegrendszer érző- és mozgatópályái tehát körré zárulnak. E kör (pontosabban: több kör) egésze végzi a mozgások vezérlését és szabályozását, a kör egésze a „mozgásirányító központ".

HOL SZÜLETIK AZ ELHATÁROZÁS?

← reflexkörök XVIII.3.2.2

KÖRKÖRÖS SZERVEZŐDÉS

Ugyanez a körkörös szerveződés ad magyarázatot arra, hogy némely mozgást szándékosnak (akaratunktól függőnek) élünk meg, másokat kényszerűnek. Bizonyították, hogy a homloklebeny mozgatómezőjéből már a mozgást megelőzően kisüléshullám indul az érzőmezők felé, ami feltehetően a mozdulat tervezett eredményéről ad tájékoztatást. (Például a favágó eltervezi, hogy a fejsze éle hova fog sújtani.) A szándékolt eredmény és a tapasztalat összevetése teszi lehetővé, hogy a cselekvő úgy érezze: ő személyesen cselekedett (én-tudat). Ha ez a kapcsolat megszakad – sérülés miatt, vagy bizonyos idegi betegségekben – az illető úgy érzékeli, hogy kezét valaki más mozgatja vagy az „magától mozog" (idegenkéz-hatás). Ingerszegény környezetben vagy drogok hatására is sérülhet a mozgásszabályozó kör működése. Ekkor az érzőmező tévesen jelez, például azt, hogy bizonyos mozgások már megtörténtek. A kialakuló mozgási hallucináció az érzékelésben, a mozgásban és az éntudatban is súlyos zavart okozhat.

← az akaratszabadság kérdése
Kálvinnál V.6.2
Aquinói Tamásnál V.5.3.2
Spinózánál VII.3.3
Freudnál XVII.2.2
Franklnál XVII.2.5.1

← drogok hatása XVIII.3.1.6

← hallucináció XVIII.3.3.2

3.4.2 A mozgáselemek összehangolása

A piramispálya nem az egyedüli mozgatópálya. Meglepő módon sok emlősállat – például a macska – mozgásában alig okoz zavart a kérgi mozgatómező sérülése. Hasonló esetben még emberben is megmaradnak olyan egyszerű mozgások, mint a testtartás és a mimika. Az anatómiai vizsgálatok is azt mutatták, hogy a gerincvelő mozgató sejtjein sokkal több agyi eredetű leszálló rost végződik, mint ahány a kérgi mozgatómezőből kilép. Az agy tehát a piramispályán kívül is kapcsolatot tart a gerincvelővel. E pályákat régebben „extrapiramidálisnak" (piramispályán kívülinek) nevezték, ma már ritkábban használják a kifejezést, mert kiderült, hogy sokféle, eltérő feladatú pályát foglal magába. Közös jellemzőjük, hogy sokszoros átkapcsolások révén befolyásolják egymás hatását, ezáltal képesek sokféle mozgás összehangolására. A kéreg alatti magvak, a kisagy, a talamusz és az agytörzs egyes magjai is részt vesznek e folyamatban. Fő feladatuk az egyensúly fenntartása és az automatikus (begyakorolt) mozgási sémák összerendezése. Nélkülük lehetetlen volna a piramispálya működése is, hiszen a szándékos mozgás minden eleme sok izom öntudatlan együttműködését igényli (egyensúlyfenntartás, szemmel tartás, célkövetés).

PIRAMISPÁLYÁN KÍVÜLI PÁLYÁK

← egyensúlyi központ XVIII.3.3.12

A mozgást szervező pályák fontosságára néhány betegség is fölhívja a figyelmet. Így az egyik magcsoport átvivőanyagának (a dopaminnak) túltermelése akaratlan rángásokat (vitustáncot) okoz, ellentétes esetben a merev mozdulatokat folyamatos, ellenállhatatlan reszketés kíséri (Parkinson-kór).

VITUSTÁNC, PARKINSON-KÓR

← tünetei a fehérjék szintjén XII.8.3.7

3.4.3 A mozgások kiváltói: érzelem, késztetés

KÉSZTETÉS

Az élők aktív mozgásainak egyik feltétele valamilyen **belső késztetés (drive)** – például éhség –, ami érzelmek (emóciók) megjelenésével is együtt jár. Másik feltétele valamilyen **külső inger –** például a táplálék megpillantása - mely szintén érzelmeket vált ki. A késztetések és érzelmek **tudatosulhatnak**, ekkor a tudat is befolyásolja azokat (például legyőzhetjük félelmünket vagy megfékezhetjük haragunkat). A három hatás eredője, a **motiváció** „belső elkötelezettség" valamilyen válaszra (például éhes ragadozóban a zsákmány megpillantásakor a zsákmányszerzésre). A válasz nem csak mozgási, emellett (néha ehelyett) zsigeri is: a szívritmus fokozódása, a bőr pirulása stb. Érzelmi reakcióinkat mindig zsigeri válaszok kísérik, ezek pedig – késztetéseket, érzelmeket keltve – visszahatnak viselkedésünkre.

← kulcsinger és motiváció XVI.4.4

← vészreakció XVIII.3.2.8

E kapcsolatok anatómiai és élettani háttérét kutatva az amerikai Cannon az 1920-as években kimutatta, hogy a talamusz és a hipotalamusz is szerepet kap az érzékletek „érzelmi színezetének" kialakításában. A hipotalamusz hátsó területének roncsolása a kísérleti állatokat közönyössé, apatikussá tette. Más kutatók apró elektródákat építettek be majmok különféle kéreg alatti területeibe, s azokat elektromos impulzusokkal ingerelték. Ezzel nemcsak egyedi érzelmi reakciókat tudtak kiváltani (például dührohamot, rettegést, aluszékonyságot), hanem az állat csoporton belüli helyzetét is megváltoztathatták. A kísérletek értékelése után kirajzolódott, hogy az érzelmi reakciókért egy sor kéreg alatti mag vagy mélyen fekvő kéregrészlet felelős (hipotalamusz, hippokampusz, amygdala-mag, övtekervény). Ezeket összefoglalóan **limbikus rendszernek** nevezték el. (Limbus = szegély lat. limbikus = valaminek, itt a nagyagynak a szegélyén fekvő). A limbikus rendszer szoros összeköttetésben áll (részben azonos) a vegetatív központokkal, így a zsigerekből érkező öntudatlan információk erősen befolyásolják.

← az érzelmek hullámzása XVI.4.5

→ társas viselkedések XXVII.

LIMBIKUS RENDSZER

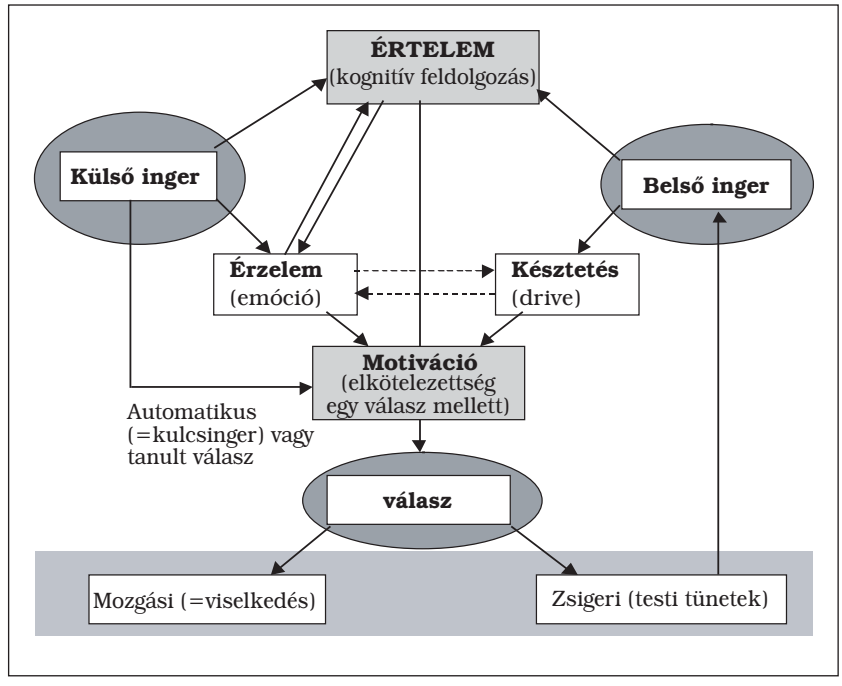
← vegetatív központok XVIII.3.2.5

Cannon vizsgálatai óta kiderült, hogy emberben az érzelmek nemcsak *hatnak* az agykéregre, hanem részben *ott is keletkeznek*. Ez nem is meglepő, hiszen például szokatlan, veszedelmes helyzetbe kerülve csak akkor

→ a megküzdés lehetséges módjai XVIII.5.3.2

← Arisztotelész magyarázata III.10.2.3

← Descartes „angyala" VII.3.1.3



86. ábra. ***Érzelem, késztetés és értelem kapcsolata***

élhetünk át félelmet és örömöt, ha egyáltalán fölismertük a problémát és fölmértük viselkedésünk kockázatát. Új fölismerés az is, hogy a két agyfélteke szerepe az emberben eltérő. Bal féltekéjükön a homloklebenyen sérült betegek például gyakran katasztrofálisnak látják helyzetüket és kilátástalannak érzik jövőjüket, ha viszont hasonló sérülés a jobb homloklebenyt éri, indokolatlanul vidámak, esetleg tréfálkoznak is súlyos balesetükön.

ÉRTELEM ÉS ÉRZELEM

→ agyi aszimmetriák XVIII.3.6

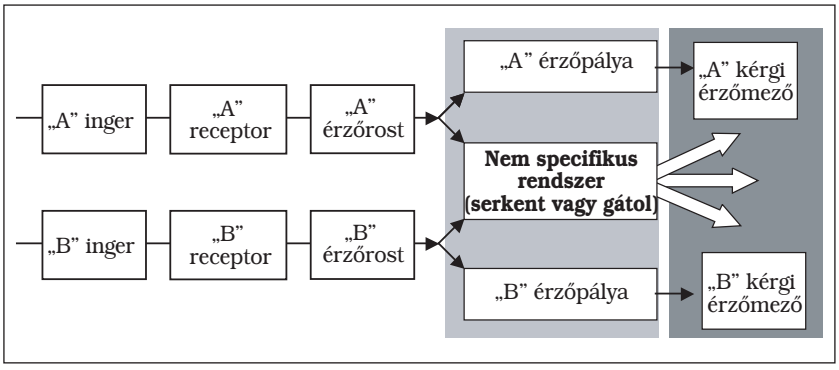
A limbikus rendszer aktiválhatja vagy gátolhatja az agykérget. A **kettős út elmélete** szerint (MacLean) a külvilágból és a zsigeri szervekből érkező információk feldolgozása két párhuzamos úton megy végbe. A kéregbe vezető érzőpályák érzékszervtől függőek (specifikusak). A kéreg alatti limbikus rendszerbe futók viszont nem specifikusak: érzékszervtől függetlenül terjednek szét. A kérgi és kéreg alatti mozgatóközpontokra mindkét terület hat, s a mozgás eredményéről is mindkét terület értesül. Így mind az értelem, mind az érzelem állandó körfolyamatban, egymást is befolyásolva alakítják ki a viselkedést.

KETTŐS ÚT

→ a hálózatos állomány szerepe XVIII.3.5.2

← ráció és érzelem (Pascal) XVII.1.2

← az „Én" funkciói (Jung) XVII.2.4.2



87. ábra. ***A kettős út***
A sötét háttér az agykérget, a világosabb négyzet a kéreg alatti területeket jelzi. Bővebb magyarázat a szövegben.

Summa (3.4)

A mozgások agyi irányítása az asszociációs kéregből indul, a piramispálya útján közvetlenül, és a mozgásokat összerendező másféle pályák segítségével közvetetten történik.

A kéreg aktivitását a kéreg alatti *limbikus rendszer* is befolyásolja. A kéreg érzetekként, míg a limbikus rendszer érzelmek, késztetések formájában dolgozza fel a szervezet külső és belső ingereit (kettős út elmélete). Mindkettő értesül az általa kiváltott mozgások hatásairól, így működésük egy körfolyamat részévé válik.

3.5 Emlékezet és figyelem

3.5.1 Memória-modellek

Az emlékezetet (memóriát) korábban egységesnek gondolták, azonban a pszichofizikai laboratóriumokban sikerült elemezni, rövid- és hosszútávú memóriára bontani. A pszichoanalízis feltárta, hogy a hosszú távon rögzült emléknyomok egy része nehezen idézhető a tudatba, noha folyamatosan hat (elfojtás). Pavlov kísérletei bizonyították, hogy a gátlás mindenfajta trauma nélkül, pusztán a feltételes inger megerősítés nélkül hagyásával is bekövetkezik, noha a tanult ismeret eközben nem „vész el". E kísérletek eredményeként a memóriát egyre inkább „sokrekeszes", több szinten létező jelenségnek kezdték látni, olyasfajta szekrénynek, melynek sok fiókja van,

← a memória kísérleti vizsgálata XVI.1.2.3

← XVII.2.2.4

SOKFÉLE MEMÓRIA

különböző befogadóképességűek, s nem egyformán könnyen nyílók. Az idegélettan és anatómia olyan idegi szerkezeteket keres, melyek működése jól egyezik ezekkel a tapasztalatokkal.

A rövid- és hosszútávú memória elkülönítése után valószínűnek látszott, hogy a rögzítés módja e két esetben különbözik. A rövid távú memóriába került ismereteket – a szó szorosabb értelmében – nem is kell rögzíteni, csupán a felhasználás idejére ébren tartani. Ezt az elképzelést támasztotta alá az agysérülések után fellépő emlékezetvesztés is. Ilyen esetben (az ún. retrográd amnézia során) a sérült csak a balesetet *közvetlenül megelőző* emléknyomokat felejti el. Közismert az is, hogy sokan – különösen idősebb emberek – tökéletesen elfelejthetik, hogy egy perccel ezelőtt mit mondtak, ugyanakkor kitűnően emlékeznek egy-egy ötven évvel ezelőtti esemény minden részletére.

EMLÉKEZETKIESÉS

ÖNINGERLŐ KÖRÖK

A **rövid távú memória** tárolására alkalmasak lehetnek az *öningerlő idegsejt-körök*. Ilyeneket már 1920-ban leírtak, s hamarosan azt is kimutatták, hogy a kör bármelyik neuronjának ingerlése olyan körkörös ingerületi hullámot gerjeszt, amely – minden további külső megerősítés nélkül – hosszabb időn át fennmarad. Több öningerlő kör közel egyidejű ingerlésekor hathatnak egymásra, fokozva a hullám tartósságát.

← szinaptikus késésen alapuló modell XVIII.3.3.7

TARTÓS MEMÓRIA

A **tartós (hosszú távú) memória** rögzítése tartós szerkezeti változással jár. Így tartja ezt már az első magyarázó modell – Platón pecsétnyomóhasonlata – is. Ma a rögzítés két lehetősége szerepel a modellek között: a *kémiai tárolásé* és a *szinapszis-átrendeződésé*. A kémiai tárolás elképzelése szerint az emléknyomokat valamilyen sajátos szerkezetű vegyület formájában raktározza a szervezet.

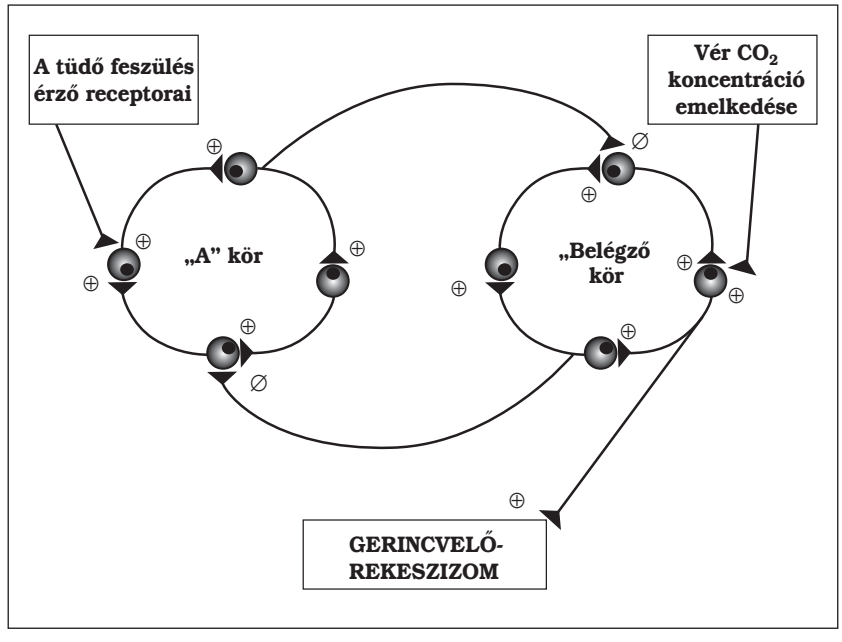
← III.10.2.3

MEMÓRIA-MOLEKULÁK?

A legnagyobb visszhangot McConnell planária-kísérletei keltették. McConnell ezekben a laposférgekben egyszerű feltételes reflexet épített ki: ha a jószág fényfelvillanás után bizonyos mozdulatot végzett (például jobbra fordult) elkerülte az áramütést. Ha ezután az „okos” planáriákat kettévágta, és hagyta, hogy a két rész regenerálódjon (a planáriák híresek regenerálódó képességükről!), akkor az új egyedek is birtokában maradtak a tanult reflexnek. Mivel a planáriák ragadozók, McConnellnek bizarr ötlete támadt: apróra vágott „okos” planáriákat megetetett tanulatlan példányokkal, mire azok is „okosak” lettek. A kísérlet eredménye szenzációt keltett, sokan próbálták megismételni, változó sikerrel. Ugyanez mondható

← XVI.2.3

← peptidek XII.8.2–3

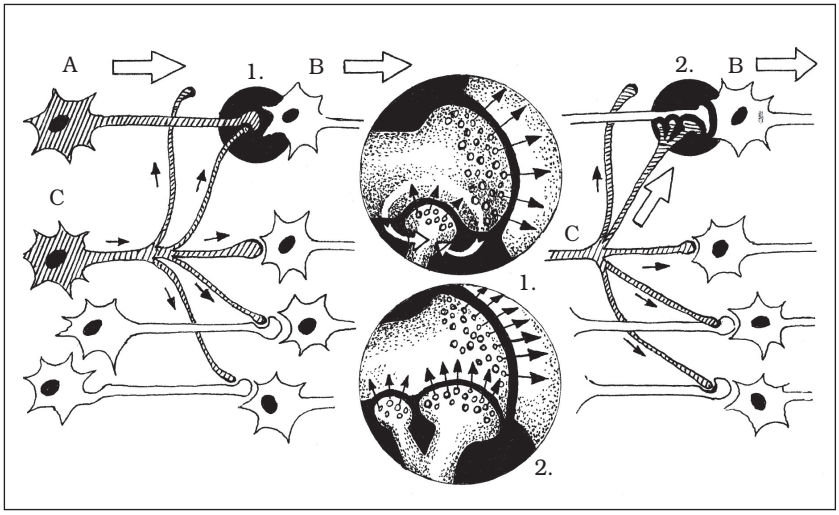


88. ábra. ***Két öningerlő kör egymást kölcsönösen gátló kapcsolata.***
A + jel a serkentő, a Ø jel a gátló szinapszisokat jelöli Ilyen működés jellemző például a ki- és belégző központokra (egyszerre nem jöhetnek ingerületbe), de a rövid távú asszociációk, gátlások is szerveződhetnek így.

el azokról a próbálkozásokról, melynek során tisztított RNS-molekulák vagy peptidek befecskendezésével értek el hasonló hatást. A tanulás eredményessége gyakran javult ugyan, de ez inkább egy általános serkentő hatás volt, s nem információátadás. Ma több hormont ismerünk, melyeknek – más funkcióik mellett – természetes hatásuk a memóriafokozás. Ilyenek például a stressz-hormonok (CRH, noradrenalin) vagy a vazopresszin (ADH). Ezek sem képesek azonban konkrét ismeret „átadására".

→ RNS: XXIII.

← hatásuk stresszhelyzetben XVIII.3.2.8



89. ábra. ***A feltételes reflexek kialakulásának lehetséges magyarázata***
Baloldalt: a feltétlen reflexet alkotó „A" és „B" jelű idegsejtek közti szinapszis (1. kör) biztosítja, hogy megfelelő erősségű inger esetén mindig megjelenik a válasz. A „C" jelű idegsejt nyúlványai több ponton – így az 1. pontban is – kapcsolódnak a szinapszis előtti idegsejtek membránjához.
Ha az „A" és a „C" idegsejt *egyszerre jön ingerületbe (sávozott sejtek)*, az „A" sejt végződéséből olyan vegyületek szabadulnak föl, melyek növelik a két sejt közti szinapszis érintkezési felületét, esetleg új szinapszisokat is létrehoznak (fehér nyilak).
Néhány ingerlés után az új kapcsolatok (2. kör) már elég erősek ahhoz, hogy a „C" sejt ingerülete akár egymaga is választ váltson ki a „B" sejtből. Ezzel kialakult a feltételes reflex.

SZINAPTIKUS MODELL

A tartós memória rögzítésének *szinaptikus modellje* szerint a szinapszisok száma, nagysága és elrendeződése változik: függ az idegsejt korábbi állapotától. Az idegsejtek tehát korábbi állapotaik függvényében képesek változtatni kapcsolatrendszerüket, „huzalozásukat". Egy szinapszison gyakran átfutó ingerületi hullám például növelheti a szinapszis felszínét (ez ugyanazon hatásra érzékenyebbé teszi az idegsejtet) vagy fordítva: csökkentheti azt (ez magyarázhatja például az ingermegszokás jelenségét). Amennyiben több idegsejt alkot változó érzékenységű szinapszisokat egyetlen sejten, úgy a sejtből kimenő jel sokféleképpen befolyásolható. Ilyen **idegsejt-hálózatok** matematikai-számítógépes modelljei sok hasonlóságot mutatnak a tapasztalt viselkedéssel. Tulajdonképpen *a teljes hálózat tanul* próba-szerencse módszerrel, mindaddig, míg a sikeres kombináció ki nem alakul. A képet bonyolítja, hogy az ingerületi folyamat valószínűleg befolyásolja a szinapszis utáni sejt receptormolekuláinak számát, esetleg minőségét is. Ha így van, a szinaptikus és a kémiai tárolás modellje nem kizárja, hanem kiegészíti egymást.

→ mesterséges intelligencia? XIX

← operáns tanulás és belátás XVI.2.4

3.5.2 Ébrenlét, alvás, figyelem

Már Pavlov megfigyelte, hogy a feltételesreflex-kísérletek nem mindig jártak sikerrel. Ha gyakran alkalmazták ugyanazt az ingert, az állat válaszreakció helyett *elaludt*. Pavlov magyarázata szerint a gátlás sajátos esete: **ingermegszokás** (habituáció) lépett fel. Ezt bármilyen közömbös, monoton inger előidézheti, és az egész állatvilágban elterjedt, egyszerű tanulási módnak tekinthető. (Így például egy asztallap folyamatos kopogtatásával „le lehet szoktatni" a rajta mászó csigát arról, hogy behúzza a „szarvát".) Ha egyéb ingerhatás nem éri az állatot, akkor – Pavlov magyarázata szerint – a gátlás kiterjed az agykéreg más területeire is. Az alvás eszerint *kiterjedt gátlás az agykéregben*.

INGERMEGSZOKÁS



90. ábra. ***Lenhossék József (1818–1888) magyar orvos***
Híres orvosdinasztia tagja. Édesapja, Lenhossék Mihály (1773–1840) a himlőoltás magyarországi bevezetője, Széchenyi István barátja és orvosa volt, aki 1830-ban megindította az első magyar nyelvű orvosi szaklapot, az Orvosi Tárat. Lenhossék József Kolozsvárott, majd Pesten, az Orvosi Karon tanított, fölismerte és leírta az agytörzsi hálózatos állományt. Nevéhez fűződik a pesti orvosi kar Anatómiai Múzeumának megalapítása. Pompás idegpreparátumaival több nemzetközi díjat nyert. A Bach-korszakban megintették, mert előadásait rendszeresen magyar nyelven tartotta.

Fia, Lenhossék Mihály (1863–1937) szintén híres orvosprofesszor volt, lánya pedig Szent-Györgyi Miklóshoz, Szent-Györgyi Albert édesapjához ment feleségül.

Pavlov sejtését a későbbi vizsgálatok részben igazolták, részben módosították. Egyszerű (és durva) módszer a kísérleti állat összes érzőidegének átmetszése. Az így „kezelt” állat állandóan alszik, csak táplálkozásra és szükségletei kielégítésére ébred fel. Hasonló volt a hatás, ha a középagy és a nagyagy között szüntették meg a kapcsolatot (Bremer, 1939), míg ha a metszés lejjebb, a gerincvelő-nyúltagy határon történt, az állat éber maradt. A két utolsó kísérletből Bremer azt a következtetést vonta le, hogy az agykéreg éberségéért felelős központ valahol a két metszés között, az agytörzsben található.

A gyanú hamarosan arra az egész agytörzsön végighúzódó szövevényes idegsejt-csoportosulásra terelődött, amit még 1855-ben írt le a magyar Lenhossék József, s amit **hálózatos állománynak** (formatio reticularis) neveztek el. Alapos vizsgálatok után kiderült, hogy a hálózatos állományba minden érzőpálya felől futnak idegrostok, maga az állomány pedig az agynak szinte minden részével kapcsolatban áll (Ramon y Cajal). A hálózatos állomány megfelelő részének roncsolásával állandó, mély alvást lehetett előidézni, még akkor is, ha az érzőpályák egyébként épek voltak. Fordítva: még az összes érzőidegétől megfosztott állat is éberré vált, ha hálózatos állományának ezen területét elektromosan ingerelték.

Finom elektródákkal sikerült pontról pontra „letapogatni” az alvó és az éber állat agykérgét. Azt tapasztalták, hogy a kérgi oszlopok éber állapotban egymástól eltérő állapotban vannak, „önállóan működnek” (deszinkronizáltak). Az alvó állat agykérgében viszont sok szomszédos oszlop **egyidejűleg azonos állapotban van**: kierjedt a **szinkronizáció**. Akármi is az alvás szerepe, az nem egyszerűen a gátlással, hanem az idegsejtek szinkron működésével függ össze.

A kísérleti eredményeket legegyszerűbben a **kettős út** – előző fejezetben leírt – hipotézisével lehetett magyarázni. Az érzőinformációk eszerint haladnak a maguk specifikus pályáján, emellett pedig hatnak a hálózatos állományra és a limbikus rendszer (más) részeire is. Ha az inger – bármely érzékszervből jöjjön is – közömbös és monoton, úgy a hálózatos állomány felszálló rendszerén keresztül az egész agykéregre gátló hatást fejt ki. Ha ellenben bármelyik érzékszervből váratlan, „érdekes” információ érkezik, a halózatos állomány az egész agykéreg éber, figyelmi állapotát fokozza, függetlenül attól, hogy mi volt maga az inger.

Az itt leírt mechanizmus nem magyarázza az álom periodikus jellegét. Ehhez fel kell tételeznünk egy ritmikusan működő „alvás-központot”, ami – az eddigi kísérleti eredmények szerint – szintén az agytörzsben van, talán a hálózatos állomány részeként. A váratlan ingerek, az élénkítőszerek vagy az akaratlagos figyelem-összpontosítás képesek ugyan a fent leírt módon befolyásolni az alvás-ébrenlét ciklus határait, ám csak egy bizonyos határig.

3.5.3 Az alvás és az álom élettana

ALVÁS, ÁLOM

Életünk 1/3-át átalusszuk. Mi történik eközben, mi az alvás funkciója? Erre sokféle elmélet született, de egyértelműen bizonyítani eddig egyiket sem sikerült. Az álom fontosságáról szóló freudi-jungi tanítást sokan azért vonták kétségbe, mert – saját tapasztalatuk, és sokak elmondása szerint is – sohasem álmodnak. Az élettani megfigyelések azonban – legalább egy szempontból – alátámasztották Freud elméletét: mindenki álmodik, noha nem mindenki emlékszik rá. Milyen eszközök állnak az idegélettan rendelkezésére?

← Az álomról Freud XVII.2.2
Jung XVII.2.4

a) **Testmozgások** megfigyelése. Alvó embert vagy állatot (pl. kutyát) szemlélve feltűnő, hogy izmai néha teljesen petyhüdtek, máskor viszont feszesek, és érdekes, összerendezetlen mozgásokat végeznek.

← izomtónus XIII.9.4

b) **A szemmozgások** megfigyelése. Viszonylag későn fedezték fel (vagy tulajdonítottak neki jelentőséget), hogy a lehunyt szemhéj alatt a szemgolyó az alvás bizonyos szakaszaiban erősen mozog. (Aserinsky és Kleitmann, 1953). Ha ebben a periódusban ébresztették fel a személyt, még akkor is álomképekről számolt be, ha egyébként „sohasem álmodik". Ezt a szakaszt gyors szemmozgásos szakasznak, rövidítve REM-fázisnak nevezik (az angol *„rapid eye movements"* gyors szemmozgást jelent). Másik elnevezése a „paradox alvás", ami arra a furcsaságra utal, hogy álomlátás idején a gyors szemmozgásokkal egyidejűleg az izomtónus szinte teljesen megszűnik.

PARADOX ALVÁS, REM

c) **Vegetatív jelek** (vérnyomás, pulzus, légzés) vizsgálata, mérése.

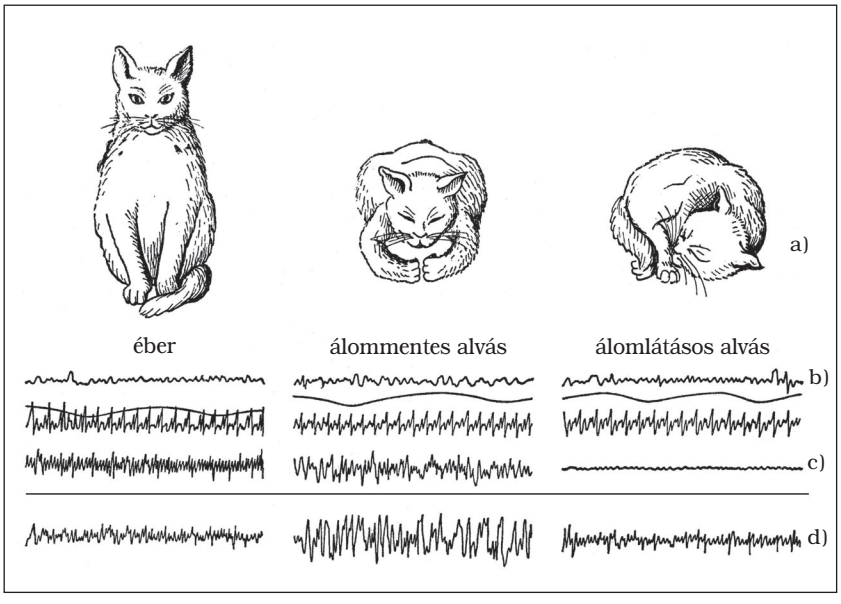
d) **Az elektroenkefalogram (EEG)** megfigyelése. Ez nagyobb agyterület (idegsejt-csoport) összesített elektromos aktivitását jelenti, ami a fejbőrön keresztül is mérhető. Nem ad ugyan információt az egyes sejtek működéséről, jól jellemzi azonban a vizsgált terület éberségi szintjét. Különbségeket fedezhetünk fel nemcsak az alvó és éber agykéreg EEG-je, hanem az alvás egyes szakaszaira jellemző képek között is. Ennek alapján az alvás különböző mélységű szakaszait különíthetjük el, s ebből csak egyik az álomlátásos fázis.

EEG

Az EEG segítségével szinte letapogatható az alvó agyvelő. Így derült ki, hogy – súlyos, kómás állapotot kivéve – a kéregben még a legmélyebb álom idején is vannak aktív, „virrasztó" területek. Ennek meglepő következményei lehetnek. Gyakorlott lovaskatonák például lovaglás közben is tudtak aludni, a mozgatóközpont éber volt, míg körülötte kiterjedt a gátlás.

Valószínűleg e „virrasztó pontok" fenntartása jelenti a hipnózis idegélettani alapját is. Az elmélet szerint ilyenkor egy ellenőrzött éber góc alakul ki (például a hallóközpontban), amin keresztül a hipnotizálást végző személy kapcsolatban maradhat az alannyal – e góc körül pedig gátolt területek idéznek elő az alváshoz hasonló állapotot.

← hipnózis alkalmazása XVII.2.2



91. ábra. ***A szemmozgások*** *(a),* ***az EKG*** *(b),* ***az izomtónus*** *(c)* ***és az EEG*** *(d)* ***a macska három állapotában, Jouvet könyvéből.***

Summa (3.5)

Az emlékezet (memória) összetett képesség. A rövid távú memória valószínűleg öningerlő neuron-körök aktivitásán alapul. A tartós memória szinaptikus szerkezeti és funkcionális változást is eredményez: molekuláris szinten és/vagy a szinapszisok átrendeződése révén. A molekuláris hipotézisből annyi bizonyos, hogy egyes hormonok képesek növelni vagy csökkenteni a tanulás hatékonyságát. A szinaptikus átrendeződés a szinapszisok számának, felületük nagyságának és helyzetüknek a változását jelenti, egy vagy több idegsejt felszínén (neuronhálózatok). A szinapszis működésváltozása pedig az átvitel fokozódását vagy csökkenését jelentheti.

A figyelem, ébrenlét és alvás a kéreg aktivált és nem aktivált területeinek nagyságától függ (Pavlov), ezt viszont az agytörzsben elhelyezkedő hálózatos állomány szabja meg. Ébresztő hatású minden váratlan inger, altatóak a monoton, közömbös ingerek (kettős út). Az alvás/ébrenlét ciklusát belső biológiai óra szabja meg, amit a külső ingerek csupán módosítani képesek.

Alvás során a gyors szemmozgások szakaszában álmodunk. Az alvás egyes szakaszaira jellemzőek a test és a szemgolyó mozgásai, az EEG hullámalakja.

3.6 Agyi aszimmetriák

JOBB- ÉS BALKEZESSÉG

Az emberi agy két féltekéből áll, ezeket a kérgestest több millió idegrostja kapcsolja össze. Bár a két félteke nagysága és fölépítése hasonló, több jel utalt arra, hogy működésük eltérő lehet. Föltűnő jelenség a jobbkezesség: az emberek többsége ügyesebben használja jobb kezét, mint a balt. Mivel a rostok átkereszteződnek, azt sejtették, hogy a „domináns” (uralkodó) félteke az emberek többségében a bal oldali lehet. (Az elnevezés megmaradt, ám azóta kiderült, hogy a domináns félteke a balkezes emberek többségében is a baloldali, ezen a téren tehát nincs jellegzetes különbség.)

SPERRY KÍSÉRLETE

A féltekék különbségéről az első meggyőző eredményeket Sperry kaliforniai kutató hozta nyilvánosságra. Sperry olyan betegeket vizsgált, akiknél súlyos epilepsziás rohamok megelőzésére átvágták a kérgestestet, így megszűnt a kapcsolat a két félteke között. Az ilyen emberek reakcióiban normális körülmények között semmi rendkívülit nem tapasztalhatunk. Sperry azonban kísérleti berendezést állított össze, melyben elkülönítette a jobb- és a baloldali testfelet érő ingereket, például a jobb és bal látóteret.

A „DOMINÁNS FÉLTEKE”

Ilyen körülmények között váratlan különbségeket tapasztalt: a kísérleti személy például csak akkor tudta *megnevezni* a látóterébe kerülő almát, ha annak képe a domináns (bal) agyféltekébe került. A „beszédközpont” tehát (többnyire) a bal féltekében van, s mivel a beszéd és írás az ember legfontosabb jellemzője, ezért nevezte el Sperry dominánsnak. A kísérleti személy ugyanakkor kizárólag a jobb félteke irányításával jól azonosította a tárgy tapintható tulajdonságait (gömbölyű, sima), és el is különítette más (például hegyes) tárgyaktól. Sperry módszerét követve, idegélettani és biokémiai módszerekkel kiegészítve azóta sok más különbséget találtak a két félteke működése között. Ezeket a táblázat foglalja össze.

A jobb és bal félteke működése ugyan némileg más emlősökben és madarakban is eltér, de korántsem olyan mértékben, mint az emberben. Ez a tény arra utal, hogy a sajátosan emberi gondolkodás, érzelem és viselkedés összefügg a féltekék közti működésmegosztással. Az agyi aszimmetria fölfedezése után már nem állítható, hogy személyiségünk magja, az „én” az agy egyetlen pontján – például a tobozmirigyben – fészkelne. Az idegélettan eredményei megerősítették a pszichológusok nézeteit: személyiségünk összetett és dinamikus egész. Sokoldalúságát többek közt két féltekénk kölcsönhatása, szembenállása és együttműködése magyarázza.

← Descartes vélekedése VII.3.1

← a személyiség fejlődése (Erikson) XVII.2.5.2

DOMINÁNS FÉLTEKE (többnyire: a BAL)	**ALÁRENDELT FÉLTEKE** (többnyire: a JOBB)	
Analitikus (részletekre érzékeny)	**Globális** (a teljes érzet egységére figyel)	
Különbségekre fogékony	**Hasonlóságokra** érzékeny	
Egymást követő lépéseket figyel meg	**Egyidejű** eseményeket észlel	
Elvont (absztrakt)	**Képi** (konkrét)	← absztrakció I.2
Az éleslátással áll kapcsolatban (sárgafolt)	A perifériás látással függ össze (pálcikák)	
Közelítő viselkedést kísérő érzelmek idején aktív (jutalom elérése, agresszió)	**Gátló vagy menekülő viselkedések** idején aktív (szorongás, félelem)	← a retina szerkezete XVIII.3.3.5
„GO" rendszer (tárgyra irányul)	**„STOP" rendszer** (tárgyhoz nem kötődő)	
Főként **szimpatikus** hatás: rövid stresszre aktív megküzdéssel válaszol	Főként **paraszimpatikus** hatás: tartós stresszre passzív megküzdéssel válaszol	← a vegetatív idegrendszer XVIII.3.2.5
Főként **dopamin** átvivőanyag	**Noradrenalin, szerotonin, ACTH, kortizol** átvivőanyagok	← átvivőanyagok XVIII.3.1.3
Beszéd és írás fő területe	Csak képírást ismer föl	← az írás típusai I.2.3
Finom mozgások irányítása	**Durva mozgások** irányítása	
Zenei **elemzés** (kottaolvasás)	Zenei **élmény**	
Számolás	Matematikai sejtések	
Álomlátásos (REM) alvás	**Nem álomlátásos** alvás	
Magasabb fájdalomküszöb	Alacsonyabb fájdalomküszöb	→ Kapu-elmélet XVIII.5.3.3
Külvilág felé forduló (extravertált) viselkedés	**Befelé forduló** (introvertált) viselkedés	← személyiségtípusok (Jung) XVII.2.4

(Summa 3.1–6)

Összefoglalás

Az idegsejtek lehetséges kapcsolatainak sokféle módját az alábbi sémákkal szemléltethetjük.

a) **Divergencia (széttartás):** egyetlen idegsejt sok másiknak küldhet információt. Például a gerincvelői interneuron az azonos oldali mozgatóneuronnak, az ellenkező oldali mozgatóneuronnak, a középagyi magvaknak, az agykéreg sejtjeinek.

b) **Konvergencia (összetartás):** egyetlen idegsejtre sok más idegsejt hathat. Például a gerincvelői mozgatóneuronra az azonos oldali interneuron, az ellenkező oldali interneuron, a piramispálya sejtje.

c) **Párhuzamos bemenet:** ugyanazt az információt a központi idegrendszer egyszerre, párhuzamosan, más-más módokon dolgozza fel. Például a fájdalomingert gerincvelői reflex szintjén, a halózatos állományban mint aktiváló hatást, a limbikus rendszerben mint emóciókeltőt, és az agykéreg szintjén, mint tudatosult fájdalmat.

d) Autonóm szintek: ugyanazon információ különböző szintű feldolgozásai (pl. értelem-érzelem) ellentétes reakcióra vezethetnek. Az egyik képes lehet elnyomni (gátolni) a másikat. Másrészt az információ nem feltétlenül jut el mindenhová, a magasabb szintet gyakran tehermentesítik az alacsonyabbak (öntudatlan reakciók).

e) **Körkörösség**: jelenti azt, hogy az idegsejt által kibocsátott jel előbb-utóbb visszahat a kibocsátó sejtre. A kör záródhat a szervezeten belül (pl. öningerlő körök, reflexkör) vagy a szervezeten kívül (valamely viselkedés hatásának megtapasztalása).

Kérdések, problémák (3. 5–6)

1. Kis izgalom, enyhe „lámpaláz” általában segíti a megjegyzést is, a fölidézést is. Mi e jelenség oka?

2. Hasonlítsuk össze Descartes elképzelését az értelem és akarat működéséről (VII. fejezet) a mozgásirányítás mai elméleteivel!
   Leírható-e az idegélettan mai fogalmaival az a harc, amit Descartes angyala (az értelem) és a test vív egymással? Mi a különbség a két megközelítés között?

3. Egyes halász-vadász néptörzsek hite szerint a megevett állat tulajdonságai (például az oroszlán bátorsága) átszáll a fogyasztóra. Hihető-e ez? Elképzelhető-e, hogy a megevett élőlény tapasztalatai, emlékei is átjussanak?

4. Ha a vazopresszin vagy a CRH fokozza a memóriát, nem lenne-e célszerű ezeket az anyagokat vizsgák előtt vagy tanulás közben fogyasztani?

5. Milyen hasonlóságokat mutat az alvás-ébrenlét és a kilégzés-belégzés szabályozása?

6. Unalmas órán egy enyhe csípés megakadályozhatja az elalvást. Zakatoló vonaton bóbiskoló utas az állomáson hirtelen felébred. Mi a magyarázata e jelenségeknek? Gyűjtsünk hasonló példákat!

Irodalom:

- Helmholtz, Hermann: Válogatott tanulmányok, M.KIRÁLYI TERMÉSZETTUDOMÁNYI TÁRSULAT, 1874
- Mach, Ernst: Az érzetek elemzése, FRANKLIN, é.n.
- Pavlov, Ivan Pavlovics: Összes művei I–V., AKADÉMIAI, 1958
- Selye János: Álomtól a felfedezésig- Egy tudós vallomásai, AKADÉMIAI, 1967
- Selye János: Életünk és a stressz, Akadémiai, 1978
- Selye János:In vivo – a szupramolekuláris biológia védelmében, AKADÉMIAI, 1973

- Ádám György: A megismerés csapdái, MAGVETŐ, GYORSULÓ IDŐ 1987
- Ádám György: Érzékelés, tudat, emlékezés, GONDOLAT, 1969
- Bánki M. Csaba: Az agy évtizedében, BIOGRÁF, 1994
- Buda Béla –Kopp Mária (szerk.): Magatartástudományok MEDICINA, 2001
- Calvin, William: A gondolkodó agy – Az intelligencia fejlődéstörténete KULTURTRADE, 1997
- Changeaux, Jean-Pierre: Agyunk által világosan, TYPOTEX, 2000
- Csaba György (szerk): A biológiai szabályozás, MEDICINA, 1978
- Draaisma, Douwe: Metaforamasina – Az emlékezet egyik lehetséges története TYPOTEX, 2002
- Gregory, R. L. – Gombrich, E. H.: Illúzió a természetben és a művészetben, GONDOLAT, 1982
- Jouvet, Michael: Alvás és álom, TYPOTEX, 2001
- Julesz Béla: Dialógusok az észlelésről, TYPOTEX, 2000
- Dr Katona Ferenc: Az agy felfedezése, GONDOLAT 1969
- Kertai Pál: Korunk biológiája, GONDOLAT, 1973
- Kovács László: Békésy György, az orvosi Nobel-díjas kísérleti fizikus, SAVARIA UNIVERSITY PRESS, Szombathely 1999
- Koestler, Arthur: Szellem a gépben, EURÓPA, 2000
- Ivanov, Szergej: Az emlékezet labirintusa, MÓRA, 1977
- Obál Ferenc (szerk): Az emberi test I–II., GONDOLAT, 1986
- Rose, Steven: A tudatos agy, GONDOLAT, 1983
- Penrose, Roger: A császár új elméje (Számítógépek, gondolkodás és a fizika törvényei), AKADÉMIAI, 1993
- Pinker, Steven: A nyelvi ösztön – Hogyan hozza létre az elme a nyelvet? TYPOTEX, 1999
- Pinker, Steven: Hogyan működik az elme?, TYPOTEX, 2002
- Schacter, Daniel: Emlékeink nyomában – Az agy az elme és a múlt, HÁTTÉR, 1998
- Dr. Vígh Béla: A jóga és az idegrendszer, GONDOLAT, 1985
- Dr Weininger Antal: Az idő partján – Jófga és személyiség, TANKÖNYVKIADÓ, 1986
- Schneider, Leo: Hogyan érzékelünk?, MÓRA, 1976

4. Az immunitás

4.1 Harc a kórokozókkal

4.1.1 A járványok

Ősi tapasztalat, hogy a betegségek közül némelyek *időszakosan* térnek vissza, és az adott helyen *tömegesen* szedik áldozataikat. Ezek a **járványok**.

A járványok hírére a városok kapuit bezárták mindazok előtt, akik fertőzött vidékről érkeztek. A kikötőkbe befutó hajókat elkülönített helyen várakoztatták, általában negyven napig. Karanténnak nevezték ezt az intézkedést (olaszul quaranta = 40). E módszerek ugyan nem sok sikerrel jártak, túlélők azonban mindig voltak. A tapasztalat a figyelmes embereket megtanította arra, hogy aki egyszer már átesett a betegségen, az hosszú időre – gyakran egész életére – *védett (immunis) maradt* a kórral szemben. Az **immunitás** (eredetileg adó- v. szolgálatmentesség, kívülállás, lat.) a szervezet védettsége egy adott betegséggel szemben.

Már az ókorban is ismert volt, hogy a védettség ügyes beavatkozással, kisebb kockázattal megszerezhető. Perzsiában például (a XI. században) a fürdőkben a szolgák a fürdőzők bőrén ejtett karcolásba dörzsölték a himlőpörkök porát, ami a beteg emberek bőréről származott. A „beoltott" személyek – szerencsés esetben – néhány nap múlva enyhe lefolyású betegségen estek át, és ezzel védetté váltak. Ez azonban nagyon kockázatos eljárás volt.

Az állattartó népek régi tapasztalata, hogy a pásztorokra, istállószolgákra könnyen „átragadhat" a szarvasmarhák egyik betegsége, a tehénhimlő. Ez emberre nem veszélyes, viszont védettséget adott a fekete himlővel szemben is. Egy vidéki angol orvos, Eduard Jenner (1749–1823) hosszú ideig gyűjtötte e népi megfigyeléseket, majd 1796 májusában kísérletre szánta el magát. Egy megbetegedett béreslány himlőhólyagjából vett nyiroknedvvel beoltott (megfertőzött) egy nyolcéves, egészséges kisfiút. A gyerek enyhe lefolyású betegségen esett át. Hat héttel ezután következett a döntő kísérlet. Ezúttal Jenner fekete himlőből vett pörkkel fertőzte meg a gyereket, aki egészséges maradt. A kísérletet néhány hónappal később megismételték, s ez egyértelműen igazolta, hogy a tehénhimlő átoltása az emberi himlővel szemben is tartós védettséget jelent. Az új eljárást később *vakcinálás*nak nevezték el (*vacca* olaszul tehenet jelent). Ezzel a **megelőzés (prevenció)** ellenőrzött, elfogadott orvosi gyakorlattá vált. Azt azonban, hogy eközben ténylegesen mi is történik, sem Jenner, sem kortársai nem tudták.

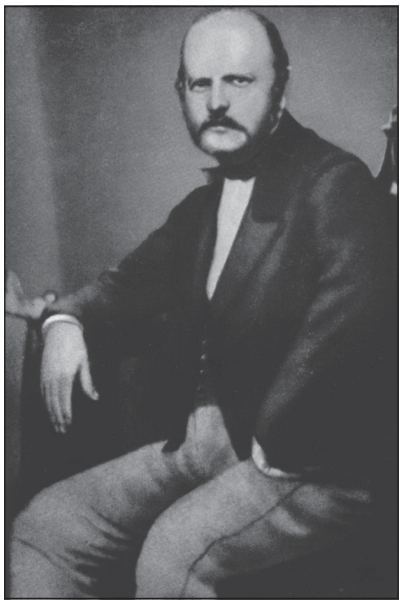
A módszer lassan egész Európában és Észak-Amerikában elterjedt. Magyarországon már a XIX. század elejétől alkalmazták, és 1876-ban törvénnyel tették kötelezővé ezt az oltást.



92. ábra. ***Orvosi öltözet pestisjárvány idején a XVII. században***
Az ókori és középkori járványok közül a legtöbb áldozatot a **pestis** szedte. A VII–XIV. században – becslések szerint – a lakosságnak legalább a felét ölte meg Európában. A járvány különösen a zsúfolt városokban terjedt gyorsan. Sokfelé máglyákat gyújtottak, mert úgy vélték: a mérgezett levegő terjeszti a bajt. (Ebből gyakorta tűzvész támadt, tovább fokozva a pánikot.) Voltak, akik mágikus cselekedetekkel védekeztek, mások a böjtben bíztak. Az orvosok különleges maskarákkal és az abban elhelyezett gyógynövény kivonatokkal igyekeztek elkerülni a fertőzést.

4.1.2 Az anyák megmentője: Semmelweis

A betegségek egy része nem járványszerűen terjedt, hanem változó hevességgel, de látszólag véletlenszerűen szedte áldozatait. Voltak **helyhez kötött (endemikus)** fertőzések is: ezek például egy-egy városban, kórházban, vagy akár annak egy emeletén jelentek meg, de onnan nem terjedtek tovább. Ilyen volt a rettegett gyermekágyi láz is, mely a szülés után támadta meg az anyákat, és általában halállal végződött. A XVIII. század végétől a kórházakban, szülészeteken már rendszeres kimutatásokat készítettek a



93. ábra. ***Semmelweis Ignác (1818–1865) magyar orvos, az „anyák megmentője”***
A bécsi szülészeti klinikán, tragikus körülmények között ismerte fel a gyermekágyi láz kórokát. Féltékeny felettesei egyértelmű eredményei ellenére nem fogadták el elméletét. Bécsből Pestre, a Rókus Kórházba került, ahol bevezetett módszerével a legalacsonyabb európai halálozási átlagot érte el. Semmelweis sokáig úgy vélte, az idő majd meghozza módszere elterjedését. Később több, egyre elkeseredettebb hangú tanulmányban és nyílt levélben követelte az orvostársadalomtól a „bomló anyagoktól mentes” (mai szóval: steril) körülmények megteremtését a kórházakban. A közönyös vagy éppen ellenséges fogadtatás miatt elméje elborult és egy bécsi gyógyintézetben halt meg. Halála után néhány évtizeddel már mindenütt átvették módszerét. Semmelweisnek ma szobra és emlékszobája látható Budapesten. Nevét a budapesti Semmelweis Orvostudományi Egyetem (SOTE) őrzi.

halálesetekről. Egy fiatal magyar orvos, Semmelweis Ignác a bécsi klinika adatait elemezve megdöbbentő eredményt kapott: a gyermekágyi láz gyakorisága éppen a magas szintű orvosi képzés bevezetésével egyidejűleg nőtt sokszorosára. Amikor a férfi orvosok vezette I. osztályt és a (jóval alacsonyabb képzettségű) „bábaasszonyok” vezette női II. osztályt elkülönítették, az I. osztályon közel háromszor magasabb lett a halálozási arány. Semmelweis felfedezését tekintélyes bécsi orvosok úgy magyarázták, hogy a férfi orvosok durvább keze vagy a szülő nők „megsértett szeméremérzete” lehet a különbség oka. A „hivatalos álláspont” ekkoriban az volt, hogy a betegséget sugárzások, kipárolgások (miazmák), helyi tényezők (pl. a szoba fala) vagy más hasonló hatások együttesen okozzák. Semmelweis azonban tudta, és bizonyította is, hogy ezek a feltételezett hatások nem térnek el a két szülészeti osztályon. Mivel csak az I. osztályon dolgozó orvostanhallgatók boncoltak, a bábanövendékek nem, az ok csak az orvosok keze lehet, akik a hullákról valamiféle „bomló anyagot” vittek át az egészséges nők szervezetébe. Semmelweis hosszas kísérletezés után egy erős oxidálószert, a klórmeszet találta alkalmasnak a fertőtlenítésre. Miután bevezették a vizsgálatok előtti alapos klórmeszes mosakodást, a halandóság hirtelen csökkent.

A bécsi szülőház adatai 1784-től – Semmelweis adatai alapján

Halandóság	I. szülészeti osztály	II. szülészeti osztály	Átlag
1784–1813 (Egységes szülőház, boncolás nincs)	–	–	1,25%
1813–1823 (Egységes szülőház, bevezetik a boncolást)	–	–	5,30%
1823–1831 (Két osztályra különül, mindegyiken férfi és női hallgatók, csak az orvosok boncolnak)	6,56%	5,58%	6,07%
1831–1837 (Két osztály, az I. kizárólag az orvosoké, a II. a bábáké. Csak az orvosok boncolnak)	9,92%	3,38%	6,65%
1837–1849 (Mint korábban, de mindkét osztályon kötelező a klórmeszes mosakodás)	3,57%	3,06%	3,31%

Semmelweist joggal nevezik az „anyák megmentőjének”. Felfedezése nyomán mindenfajta műtéti beavatkozás előfeltétele lett a „bemosakodás” és az eszközök fertőtlenítése is (asepsis, magyarul „fertőzésmentes módszer”). Kutatási módszere – **sok („kísérleti” és kontroll) eset statisztikai összevetése** és a különbségek magyarázata – ma is a tudományos kutatás bevált módja.

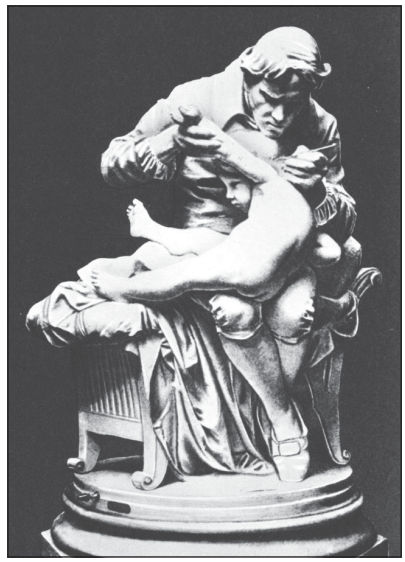
Semmelweis pontosan azonosította a fertőzés forrását és megtalálta a megelőzés módját is. Jennerhez hasonlóan azonban ő sem tudta a választ arra, hogy pontosan mi és hogyan okozza a fertőzést.

→ adatok statisztikai elemzése Mendel XXIII.
Hardy és Weinberg XXVII.

4.1.3 Pasteur és kora

A XIX. század derekán a járványos betegségek eredetét a *miazma*-elmélettel magyarázták. Eszerint a trágyadombok és rothadó anyagok mérgező kipárolgása (a miazma) okozza a kórt, amit a szelek terjesztenek. Ahogy az ősnemzés tanát, úgy ezt az elméletet is a mikroorganizmusok hatásának bizonyításával sikerült megcáfolnia Louis Pasteur-nek.

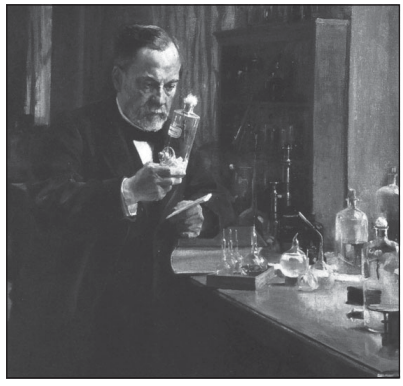
Mikroorganizmusokat (baktériumokat, állati egysejtűeket stb.) már 1677-ben megpillantott mikroszkópjában a holland Antonij van Leeuwenhoek (1632-1723), de jelentőségüket nem ismerte fel. Pasteur volt az első (1857-ben), akinek sikerült kimutatnia, hogy a tej megsavanyodását, a must borrá erjedését, sőt a bor megecetesedését is mikroszkopikus élőlények okozzák. Ezek a parányi lények mindig kimutathatóak voltak, ha az adott folyamat végbement, ám sohasem ment végbe, ha hiányoztak az oldatból. Forralással a mikroorganizmusok teljesen elpusztíthatók, de a bor is élvezhetetlenné válik. Már Pasteur előtt felismerte és alkalmazta a „pasztörizálást" Magyarországon Preysz Móric: 55 °C-os hőkezeléssel és a felesleges levegőnek a palackból való kizárásával tartósította a borokat. Pasteur a magyarázatot is megadta: ezen a hőfokon a bor értékes aromaanyagai még nem bomlanak el, de a baktériumok többsége már elpusztul illetve legyengül. Ezért menekültek meg a nemes italok a romlástól. A módszert az élelmiszeriparban ma is széles körben alkalmazzák.



94. ábra. ***Jenner vakcinál***
A módszer lassan egész Európában és Észak-Amerikában elterjedt. Magyarországon már a XIX. század elejétől alkalmazták, és 1876-ban törvénnyel tették kötelezővé ezt az oltást.

„Amikor azt látjuk, hogy a bor és a sör mélységes változásokon mennek át, mert mikroszkopikus élőlényeknek nyújtottak menedéket, akkor óhatatlanul felmerül bennünk a gondolat, hogy néha emberekben és állatokban is hasonló jelenségekkel találkozhatunk."

Pasteur (id: A tudomány csodálatos világa, 181. o)



95. ábra. ***Louis Pasteur (1822–1895) francia vegyész és biológus***
1847–57 között kristálytani és optikai vizsgálatokkal kezdte tudományos pályafutását, 1857-ben sikerült kimutatnia, hogy az erjedést baktériumok okozzák. A franciák úgy tartják, Pasteur háromszor mentette meg hazájukat: először 1865-ben amikor felfedezte a sör és a bor „betegségének" okát, másodszor 1868-ban amikor a selyemhernyót pusztító járvány ellen találta meg a gyógymódot, megmentve ezáltal a francia selyemipart. Harmadszor 1881-ben, amikor állattenyésztőknek nyújtott óriási segítséget azzal, hogy a több százezres elhullást okozó lépfene ellen megtalálta a megfelelő vakcinát. Részt vett az ősnemzéstan végleges megdöntésében. 1868-ban szélütést kapott, amitől élete hátralevő részére baloldala lebénult, attól kezdve asszisztenseivel végeztette kísérleteit, felesége jegyezte le tanulmányait, ám mikroszkopizálni ezután is kitűnően tudott, amiben rendkívüli rövidlátása segítette. 1885-ben a veszettség elleni vakcina feltalálása után óriási szervező munkába kezdett, hogy a veszettség elleni szer minden rászoruló számára elérhető legyen. 1888-ban a bőkezű adományok lehetővé tették számára egy magánlaboratórium és kórház felállítását, melynek 1895-ben bekövetkezett haláláig igazgatója volt. Itt, a párizsi Pasteur Intézetben temették el.

1876 után kezdett Pasteur az állati betegségeket okozó mikrobák kutatásába. A baromfivészt (baromfikolerát) okozó baktériumot más kutatók már azonosították, de a gyógymódot Pasteur találta meg. Ehhez az első lépést az jelentette, hogy rájött a betegség terjedési módjára. Az állatok bélcsatornájában nagy tömegű baktériumot talált, a beteg állatok ürüléké-

BAKTÉRIUMTENYÉSZET

nek egyetlen cseppje is halálos fertőzést okozott. Ezért a csirkeólak kénsavas fertőtlenítését rendelte el. Ezzel párhuzamosan – sok próbálgatás után – olyan tápoldatot (tyúkhúslevest) készített, amelyben a fertőzött állatok véréből vett baktériumok szaporodni kezdtek. E tenyészetet újabb és újabb táplevesbe oltva az megőrizte fertőzőképességét (virulenciáját).

AKTÍV IMMUNIZÁLÁS

1879 nyarán a szünidő alatt Pasteur és munkatársai a vizsgálatokat időlegesen leállították, a kémcsöveket termosztátban hagyták. 3 hét elteltével próbaképpen ezekkel oltották be a tyúkokat. Másnap reggel a négy tetem helyett vidáman kapirgáló tyúkokat találtak a ketrecben. Mitől gyengülhettek le a baktériumok? Elő lehet-e idézni szándékosan is ezt a gyengítést? Sok hónapos kísérletezés után Pasteur arra az eredményre jutott, hogy a tenyészetek fertőzőképessége azért csökkent, mert a kémcsövek vattadugóján keresztül a levegővel érintkeztek. Mivel ezek anaerob baktériumok, az oxigén számukra mérgező. Az ily módon legyengített baktériumokkal beoltott baromfiak nemcsak hogy nem pusztultak el, de az „életerős" baktériumokkal szemben is ellenállóa k lettek.

VESZETTSÉG

Pasteur a kutyáról, rókáról emberre is átterjedő és rendszerint halálos kimenetelű betegséget, a *veszettséget* is kutatta. Mivel e kór a központi idegrendszert támadja meg, Pasteur kutyák és nyulak agyszövetét használta táptalajként. Két hétig száraz levegőn tartott agyszövetből készített vakcina egészséges állatokra már veszélytelen volt, ugyanakkor immunitást biztosított veszettséggel szemben. 1885 júliusában Pasteurt ulmi laboratóriumában három elzászi paraszt, és egy 9 éves kisfiú keresett föl, akit egy veszett kutya mart meg, így a biztos halál várt rá. Ismerték Pasteur állatokon végzett kísérleteit, ezért fordultak hozzá: mentse meg a gyermek éle-

→ a vírusok fölépítése és szaporodása XXIII.



97. ábra. ***Lépfene baktériumok mikroszkópos képe***
Koch orvosként hivatalból ellenőrizte a lépfene járvány pusztítását. Laboratóriumi vizsgálataiból tudta, hogy a lépfene baktériumai hőérzékenyek: a testhőmérsékletnél alacsonyabb vagy magasabb hőfokon elpusztulnak. Miként lehetséges mégis, hogy még a legkeményebb hideg teleket is átvészelik a talajban és tavasszal újult erővel képesek támadni? Egy alkalommal a pálcikák belsejében ellipszoid alakú testek képződését figyelte meg. A kis „képleteket" (bakteriospórákat) elkülönítve azt tapasztalta, hogy kedvező körülmények között a tokok felpattannak, és újra baktérium fonalakat hoznak létre. Az „újjászületett" baktériumok fertőzőképességéről már rutin gyorsasággal győződött meg.



96. ábra. ***Robert Koch (1843–1910) német bakteriológus munka közben az új-guineai maláriaexpedícióban (Bíró Lajos felvétele)***
Egy porosz kisvárosban, Wollsteinben körzeti orvosként dolgozott Pasteur nagy német vetélytársa. Hihetetlen precizitással és gyakran a szükség szülte leleménnyel végezte kísérleteit. Koch nagy jelentőséget tulajdonított az egyes baktériumtörzsek tiszta (más baktériumtól mentes) tenyésztésének, erre dolgozta ki a Petri-csészében a tömör sterilizálható zselatin táptalajt és az egyes baktérium kolóniákat jól elkülönítő festési technikákat. 1882-ben ezekkel a módszerekkel sikerült megtalálnia és azonosítania a kor egyik legfélelmetesebb betegségének: a tüdőbajnak a baktériumát, később Egyiptomban és Indiában tanulmányozta a kolerát és az indiai pestist, a maláriát és az afrikai álomkórt. Felfedezései e betegségek legyőzésének első komoly lépését jelentették.

tét! Orvoskollégái biztatására a vakcina beadása mellett döntött: a kisfiú bőre alá fecskendezett egy olyan szuszpenziót, amit egy 3 héttel korábban veszettségben elhullt nyúl agyából vont ki. Az első, sikeresen alkalmazott veszettség elleni védőoltásról Pasteur még ez év őszén beszámolt a Francia Tudományos Akadémia ülésén. Pár évvel később, 1890-ben a módszert – továbbfejlesztve – Hőgyes Endre honosította meg Magyarországon.

Pasteur tudományos módszerének újdonsága abban állt, hogy *magukat a fertőző betegségeket okozó mikroorganizmusokat használta fel* a betegségek elleni harcban. Az oltóanyag olyan folyamatokat indított el a fertőzött élőlény szervezetében, aminek eredményeként az egy későbbi fertőzés során is immunitást mutatott az adott kórokozóval szemben. Ezt a védettséget **aktív immunitásnak** nevezték el

Pasteur kortársa, a német Robert Koch ismerte fel a baktériumok túlélését biztosító **bakteriospórákat.** Ezek az ellenálló sejtformák teszik lehetővé, hogy a baktériumok átvészeljék a számukra kedvezőtlen időszakot – például a fagyokat, vagy az olyan enyhe beavatkozást, mint a pasztörizálás. A teljes sterilizáláshoz – ami a spórák elpusztítását is jelenti – sokkal erélyesebb kezelésre, például égetésre van szükség. Ezért Koch az állattartóknak, mészárosoknak szigorúan előírta, hogy a fertőzött állatok tetemét el kell égetni.

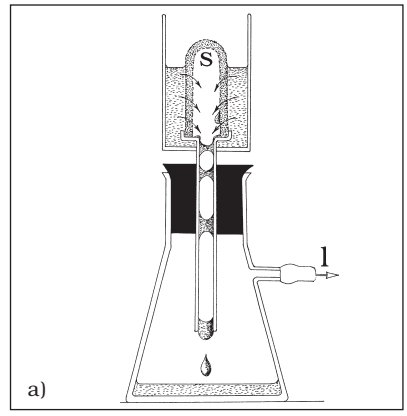
4.1.4 Baktériumok és vírusok

Noha Pasteur kidolgozta a veszettség elleni védőoltást, a kórokozót nem sikerült megtalálnia. Biztos volt abban, hogy a veszettséget is valamilyen szervezet okozza. de ez – ahogy ő mondta – alighanem valamilyen *ultramikroszkópos lény*, vagyis túlságosan kicsiny ahhoz, hogy a fénymikroszkópban látni lehessen. Egy holland botanikus alkalmazott először olyan máztalan porcelánból készült szűrőt, melynek nyílásai olyan parányiak, hogy a 2-3 mmes testek, tehát a baktériumok is fennakadnak rajta. Ha ilyen porcelánszűrőn baktériumok vagy más egysejtűek tenyészetét szívjuk át, a szűrlet nem fertőz, steril. (Ezt a szűrőgyertyát ma is gyakran használják vérszérum sterilizálására, mivel az hőkezelés hatására tönkremenne.)

Ezzel a kis berendezéssel egy orosz kutató, Dimitrij Ivanovszkij (1892-ben) egy növényi betegséget, a dohány mozaik-foltosságát vizsgálta. A beteg levelekből kipréselt nedvet átszűrte a porcelánon, ám a kapott folyadék fertőző maradt. Ez igazolta volna Pasteur sejtését az *ultramikroszkópos lényekről*, ám a kapott nedv semmilyen táptalajon nem tenyészett. Ivanovszkij ebből arra következtetett, hogy a betegséget egy mérgező *folyadék*, latinul **vírus** okozza. Nem gondolt arra, hogy a méreganyag csak egyszer hat, nem terjed levélről levélre, mint a dohánymozaik-betegség.

1935-ben W. E. Stanley amerikai biokémikus a dohánymozaik-vírust fizikai-kémiai módszerekkel (pl. ultracentrifugával). különítette el három évi munkájának eredményeként a fertőzött levelek présnedvéből apró, tű alakú kristályokat sikerült nyernie. Néhány kristályt feloldva, újra fertőzőképes oldatot nyert. Stanley felfedezése élénk vitát váltott ki. Pasteur általánosan elfogadott elmélete szerint fertőző betegséget csak élőlény okozhat. A dohánymozaik-vírus eszerint élőlény, ám ha élő, hogyan lehet kristályos formában, üvegedényben, táplálék nélkül, tetszés szerinti ideig „eltartani"? Ha nem élő, hogyan képes megsokszorozni önmagát?

A választ részben az időközben kifejlesztett elektronmikroszkóp, részben a tenyésztési tapasztalatok adták. Az elektronmikroszkóp nagyítása már láthatóvá tette az egyes vírusrészecskéket is. Mindig élő sejtek felszínén pillantották meg őket. A tenyésztési tapasztalatok szerint pedig minden vírus csak élő „táptalajon" – például szövettenyészetben, embrióban – szaporítható. A vírusok tehát nem élőlények, mert nem mutatnak életjelenségeket, s az élő gazdasejtben is csak *szaporíttatják* magukat.





98. ábra. a) ***A baktériumszűrő működésének elve***
A felső edényből a baktériumokat tartalmazó oldat a porcelánszűrőn (S) szűrődik át, s az alsó lombikba már steril folyadék jut. Az áramlást légszivattyúval (l) gyorsítják.
b) ***Dimitrij Ivanovszkij*** orosz mikrobiológus, a vírusok egyik első kimutatója és elnevezője



99. ábra. ***Vírusrészecskék (fágok) egy élő baktériumsejt felszínén – elektronmikroszkópos kép***

Néhány fertőző betegség és kórokozóik

betegség	kórokozó	köztesgazda, fertőzés módja	a kórokozó felfedezője	védekezés	megjegyzés
malária (váltóláz)	Plasmodium lázállatka (eukarióta)	Anopheles maláriaszúnyog	Laveran 1880	kinin: R. Koch (szúnyoglárva-irtás)	150 millió fertőzött
álomkór	Trypanosoma ostoros (eukarióta)	Glossina cecelégy	R. Koch D. Bruce, 1903	cecelégy irtása	50 millió veszélyeztetett
bilharzia (egyiptomi vérvizelés)	Schisostoma vérmétely (laposféreg)	Bulinos vízicsiga	Th. Bilharz 1852	köztesgazda irtása higiéné	78 millió fertőzött 5-600 millió veszélyeztetett
trichomoniasis (hüvelygyulladás)	Trichomonas vaginalis eukarióta egysejtű	– nemi érintkezés	Donné 1837	higiéné	Mo-n 30%-os fertőzöttség
pestis	Yersinia pestis baktérium	bolha cseppfertőzés	Yersin és Kitasato 1896	penicillin	ma: Afrika, Közép-Ázsia
tüdőgümőkór (TBC)	Mycobacterium tuberculosis (bacilus)	cseppfertőzés légutakon	R. Koch 1882	BCG védőoltás (kötelező)	újra terjed
diftéria (torokgyík)	baktérium	cseppfertőzés légutakon	Löffler 1884	Di-Per-Te oltás	
tetanusz (merevgörcs)	Clostridium tetani baktérium	– sérülés során szennyeződésből	A. Nicolaier 1884	Di-Per-Te oltás	
szamárköhögés (pertuszisz)	baktérium	cseppfertőzés légutakon	Bordet és Gengou 1906	Di-Per-Te Mo-n kötelező	
kolera	baktérium (vibrio)	szennyezett víz	R. Koch 1883	higiéné	
vérbaj (szifilisz)	Treponema pallidum baktérium	– nemi érintkezés	F. Schandinn E. Hoffmann 1905	Ehrlich és Hata Salvarsan 1910	évi 20 millió fertőzés
kiütéses tífusz	Rickettsia prowazekii (apró baktérium)	ruhatetű	H.T Ricketts S. Prowazek 1903	tetűirtás	háborúk! Afrika, D-Amerika
veszettség	vírus	fertőzött kutya, róka harapása	Remlinger és Riffot Bey 1903	Pasteur, 1885 védőoltás, állatirtás	
fekete himlő	vírus	cseppfertőzés légutakon	Casagrandi 1908	Jenner 1796	Jelenleg csak laboratóriumban
vírusos agyhártyagyulladás (kullancsen-cephalitis)	vírus	kullancs	Zilber 1939	védőoltás kullancscsípés elkerülése	
AIDS	vírus (HIV)	nemi érintkezés fertőzött tű	Montagnier 1983 Gallo 1984	jelenleg csak megelőzés	42 millió feltételezett fertőzött (2002)
gyomorfekély	Helicobacter pylori (baktérium)	?	Marshall 1983	Antibiotikum, életmódváltás	a tartós stressz is kockázati tényező
méhnyakrák	Papilloma vírus	nemi érintkezés	Wile és Kingery 1919	promiszkuitás kerülése, óvszer	több más ráktípusról is kimutatták a vírusos eredetet

Summa (4.1)

Az immunrendszer feladata a szervezet önazonosságának fenntartása, védelme. Jellemzői: fajlagosság (specifitás): a védettség csak bizonyos betegségekkel szemben épül ki; memória: a védettség bizonyos ideig tart.

A fertőzések elleni védelem egyik legfontosabb módszere a higiénia (Semmelweis).

Az aktív immunizálás történhet a kórokozóhoz hasonló, de enyhe lefolyású betegséget okozó mikroorganizmussal (vakcinálás, Jenner), vagy gyengített kórokozókkal (Pasteur).

A kórokozók lehetnek mikroszkopikus élőlények (baktériumok, gombák) vagy náluk kisebb, élettelen makromolekulákból álló testek: vírusok, melyek csak élő sejt segítségével képesek szaporodni.

Kérdések (4.1)

1. Az ókor egyik rettegett fertőző betegsége volt a lepra (poklosság). Olvassuk el, hogy a Bibliában Mózes könyvei milyen rendszabályokkal igyekeztek elkerülni a fertőzést és mit írtak elő az (igen ritka) gyógyulások esetén? Miben emlékeztet ez az eljárás a későbbi karanténra?

2. Miért segített a karantén bevezetése a járványok megelőzésében? Használják-e ma ezt a módszert?

3. Milyen valós megfigyelésen alapult a miazma elmélet? Mit nem tudhattak a „benne hívők”?

4. Miért nem alkalmazták azonnal és széles körben Semmelweis módszerét kortársai?

5. Miért volt hatásos ugyanaz a módszer (Pasteur eljárása) baktérium- és vírus okozta betegség legyőzésében is?

4.2 A védekező szervezet

4.2.1 Sejtes és humorális immunválasz

FALÓSEJTEK

Ilja Mecsnyikov (1845–1916) dolgozta ki a **sejtes immunitás elméletét**. Mecsnyikov mikroszkópjával tengeri csillagok lárvájának áttetsző testében a vándorsejtek mozgását vizsgálta. Ezek állábaik segítségével az idegen betolakodókat körülfolyják és saját testük belsejébe zárva megemésztik azokat (endocitózis). Ezért nevezte el őket falósejteknek (fagocitáknak). Később a legkülönbözőbb állatfajok – rovarlárvák, békák, nyulak, ember – szervezetében is azonosítottak ehhez hasonló falósejteket. Mecsnyikov az immunitás titkát e falósejtek működésében látta. Elmélete szerint tehát az immunválasz **sejthez kötött: celluláris**.

← endocitózis XIII.4.2; 5.1

SEJTHEZ KÖTÖTT IMMUNITÁS

Ez idő tájt Németország és Magyarország tudósai ugyanerre a kérdésre más módszerekkel keresték a választ. Fodor József (1843–1901) bizonyította először, hogy a sejtmentes vérnek (vérsavónak) baktériumölő hatása van. Ebből arra következtetett, hogy a védettséget nem a sejtek okozzák, hanem a testnedvben oldott anyagok. Az ilyen típusú védettséget **nedvhez kötött, humorális** (*humor* = testnedv lat.) immunitásnak nevezik.

HUMORÁLIS IMMUNITÁS

A fiatalon elhunyt Fodor munkásságát német kutatók folytatták. A XIX. század második felében Koch tanítványai a gyerekek között óriási járványokat okozó diftéria (népies nevén: torokgyík) kórokozóját azonosították. Fény derült arra, hogy a tünetekért nem maga a baktérium, hanem az

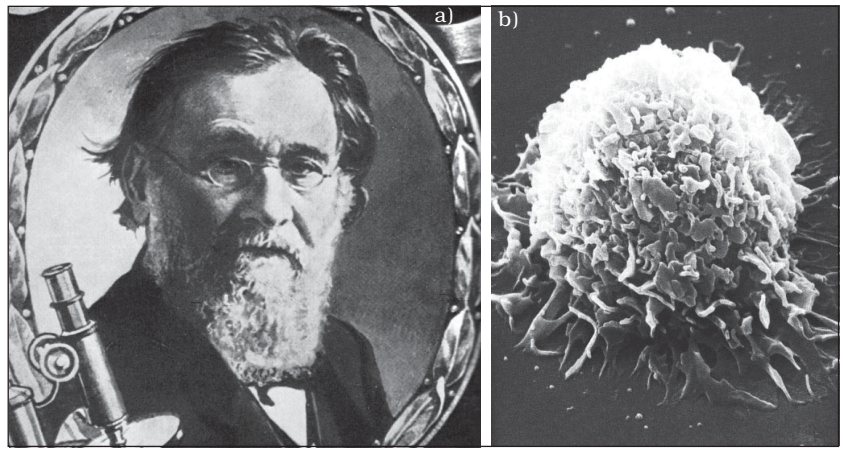
→ öregedés XXIV.



101. ábra. ***Emil von Behring (1854–1917) német bakteriológus, a passzív immunitás egyik felfedezője.***
A baktériumkutatás módszereit mesterétől, Kochtól tanulta meg. A diftéria (torokgyík) elleni szérum előállításáért 1901-ben Nobel-díjat kapott.

← vérplazma XIII.7.1

← nyirokkeringés XIII.6.3



100. ábra. a) ***Ilja (Elia) Mecsnyikov (1845–1916) orosz bakteriológus, a sejtes immunitás fölfedezője***
Az oroszországi Harkovban, majd Németországban tanult. Hazatérve az Odesszai Egyetemen kezdett tanítani. A II. Sándor cár meggyilkolása utáni zavargások és pogromok elől a szicíliai Messinába menekült, ahol magánlaboratóriumában figyelte meg először a fagociták működését (1883), és erre építve a gyulladások elméletét. Ennek elismeréseként 1908-ban Ehrlichhel együtt orvosi Nobel-díjat kapott. Mecsnyikovot 1888-ban Párizsba hívta Pasteur, 1905-től a Pasteur Intézet igazgatóhelyetteseként működött. Élete második felében főként az öregség mibenléte, az élet meghosszabbíthatóságának problémája foglalkoztatta.

b) ***Mai elektronmikroszkópos felvétel egy falósejtről (makrofágról)*** 9000-szeres nagyítás, S.G. Quan felvétele.



102. ábra. ***Karikatúra Behring korából***
Behring a legyengített kórokozóval beoltott lovak vérsavójából nyerte a szérumot. A karikaturista így képzelte a jövő „orvosi rendelőjét".

DIFTÉRIA (TOROKGYÍK)

általa termelt erős méreg (toxin) a felelős. Ekkor kapcsolódott be a kutatásokba Emil Behring (1854–1917). A diftériával szemben immunis tengerimalacokból vett vérből elkülönítette a sejtmentes részt – a vérplazmát – és

ezt halálos adagú diftériabaktérium-tenyészettel elegyítette. Az így kapott oldatot egészséges tengerimalacok szervezetébe juttatta, melyek így sikeresen túlélték a fertőzést. Behring kísérletét úgy értelmezte, hogy az immunis állatok vérében ellenanyag (antitoxin), található, amely közömbösítette a baktériumok által termelt mérget. Később az élőlény által termelt sokféle immunhatású fehérjét összefoglaló néven **antitestnek** nevezték el**.** A klinikai próba után nagyobb méretű állatokat – lovakat, szarvasmarhákat – fogtak be a gyógysavó termelésére, ezért a gyógyítás széles körűvé válhatott. Az így kialakított védettséget **passzív immunitásnak** nevezték el, hiszen a beteg szervezet gyógyulását egy másik élőlény által termelt ellenanyag segítette.

ANTITESTEK

PASSZÍV IMMUNITÁS

Behring eredményei – látszólag – cáfolták Mecsnyikov elméletét. A sejtes immunitás hívei azonban igazolták, hogy az antitesteket is sejtek termelik. Másrészt kimutatták (Wright, 1923), hogy a vérplazma ellenanyagai serkentik a falósejteket a baktériumok bekebelezésére. A baktériumok teljes megsemmisítése, a maradványok „eltakarítása" végső soron a falósejtek feladata.

A nagy viták eredményeképpen kiderült, hogy a sejtes és a humorális immunválasz *nem kizárja, hanem föltételezi egymást*. Ennek elismeréseképpen – a sejtes válasz elméletéért Mecsnyikov, a humorális válasz kidolgozásáért Paul Ehrlich – 1908-ban együtt vették át az orvosi Nobeldíjat.

A KÉT RENDSZER EGYÜTTMŰKÖDÉSE

→ a folyamat részletei XVIII.4.2.4

4.2.2 Vércsoportok

A XX. század elején az orvostudomány egyre több egysejtű, baktérium és vírus által okozott fertőző betegséggel szemben vette fel sikeresen a harcot. A sokféle idegen „betolakodó" és az emberi szervezet velük szemben kifejtett védekező reakcióit tanulmányozva lassan néhány általános alapelv rajzolódott ki a kutatók előtt. Így például az, hogy az immunválaszt kiváltó antigének és a szervezet ellenük termelt antitestjei **specifikusak**, vagyis meghatározott antigén ellen termelt antitest csak *meghatározott* antigénre reagál, s teljesen közömbös *más* antigénekkel szemben. Az immunfolyamatok mélyebb megértéséhez az orvostudomány egy – látszólag – távoli területe nyújtott segítséget. Ezek a **szervátültetések** (transzplantációk) voltak.

SPECIFIKUS IMMUNVÁLASZ

A szervátültetések különös esete a **vérátömlesztés** (transzfúzió), mert az „átültetett" idegen élő anyag ez esetben folyékony. A XVII. században francia orvosok bárányvér átömlesztésével szerették volna megmenteni egy erősen kivérzett fiatalember életét. A próbálkozás következtében az átömlesztett vérsejtek kicsapódtak, ami a beteg halálát csak siettette. A Francia Tudományos Akadémia később be is tiltotta az efféle kísérleteket.

VÉRÁTÖMLESZTÉSEK

Egy fiatal bécsi orvos, Karl Landsteiner (1868–1943) és munkatársai a századfordulón sok ember véréből mintát vettek és azokat szétválasztották plazmára és vörösvértestekre. Majd tárgylemezen különböző egyénekből származó vérplazmát és vörösvértesteket elegyítették egymással. Azt tapasztalták, hogy egyes keverékekben a vörösvértestek összetapadtak, míg másokban ez nem következett be. Megfigyeléseiket úgy értelmezték, hogy a vörösvértestek membrán felszínén antigének, a plazmában oldva antitestek találhatók. Ha az összekerülő antigének és antitestek összeférhetetlenek, közöttük immunreakció zajlik le, amit a tárgylemezen összecsapódott vörösvértestek tanúsítanak. Az emberek vérét négy nagy csoportba sorolták be aszerint, hogy vörösvértestjeik milyen jelet, antigént hordoztak. Landsteiner a tárgylemezen megfigyelt reakciók alapján azt a szabályt állította fel, hogy a *vérplazmában* normális körülmények között *sosem található olyan antitest*, ellenanyag, *amely a saját vörösvértesteken levő*

← XIII.7.1

ANTIGÉN–ANTITEST REAKCIÓ

AZ AB0 VÉRCSOPORTRENDSZER

antigén ellen reakcióba tudna lépni. Az így felismert első vércsoportrendszer az **AB0** elnevezést kapta.

Landsteiner felismerésében rejlő lehetőséget az orvosi gyakorlatban először az első világháború idején hadi kórházakban használták fel. A vérátömlesztések során ezután már mindig szem előtt tartották azt a szabályt, hogy a véradó (donor) vérében ne legyen olyan típusú antigén, amellyel a befogadó (akceptor) vérében levő antitestek harcba tudnak szállni. Így vált a 0 vércsoport „általános adóvá", hiszen benne nincs antigén, ami immunreakciót indítana be és az AB vércsoport „általános kapóvá", hiszen belőle az antitestek hiányoznak, amik az immunválaszt adnák. A mai gyógyászati gyakorlatban azonban *mindenki a saját vércsoportja szerint kap vért* műtétek, vagy sérülések esetén.

RH FAKTOR

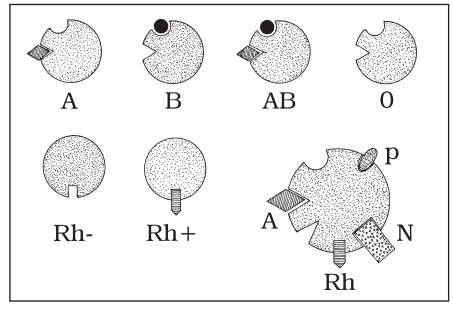
Landsteiner és Wiener 1940-ben a Rhesus macacus majom vérfehérjéiben újabb vércsoport típusra bukkant. Ennek különlegessége az, hogy az emberek vérében is megtalálható, ám nem mindenkiben. Későbbi felmérések alapján tudjuk, hogy az európai emberek kb. 85%-a e vizsgálatra nézve pozitív. Ezt a vércsoportot a Rhesus majom „tiszteletére" **Rh faktornak** nevezték el. Vérátömlesztéseknél szabály, hogy Rh– vércsoportú egyén Rh+ vért nem kaphat. Ez az összeférhetetlenség terhesség idején is felléphet, ha az Rh– anya méhében Rh+ vércsoportú magzat fejlődik. Ugyanis a magzat vörösvértestjei a születéskor az anya szervezetébe jutnak és ott Rh-ellenanyag képződését indítják be, melyek bejutva a második magzat keringésébe, mennyiségüktől függően vérszegénységet, szervkárosodást okozhatnak, születés után pedig a szétesett vörösvértestek újszülöttkori sárgasághoz vezetnek. E súlyos ártalom ellen többféle védekezés is létezik. Egyrészt az újszülöttön vérátömlesztést hajtanak végre (Rh-ellenanyag mentes vért kap), másrészt az anya testébe olyan anti-Rh-fehérjét juttatnak, amivel már a következő magzat életét védik. Ezáltal a magzati eredetű Rh+ vörösvértestek nem tudnak immunizáló hatást kifejteni az anya szervezetére.

→ a vércsoportok öröklése XXIII.

→ magzati keringés XXIV.



104. ábra. ***Karl Landsteiner (1868–1943) osztrák orvos, a vércsoportok felfedezője***
1901-ben tette közzé egy dolgozatban vérrel kapcsolatos vizsgálatainak eredményét, ám ennek gyakorlati jelentőségét akkor még senki nem ismerte fel. Landsteiner 1929-től amerikai állampolgár, Levine-nel együtt felfedezik az MN vércsoportrendszert, majd 1940-ben Wienerrel együtt az Rh-faktort. Munkásságáért 1930-ban orvosi Nobel-díjat kapott.



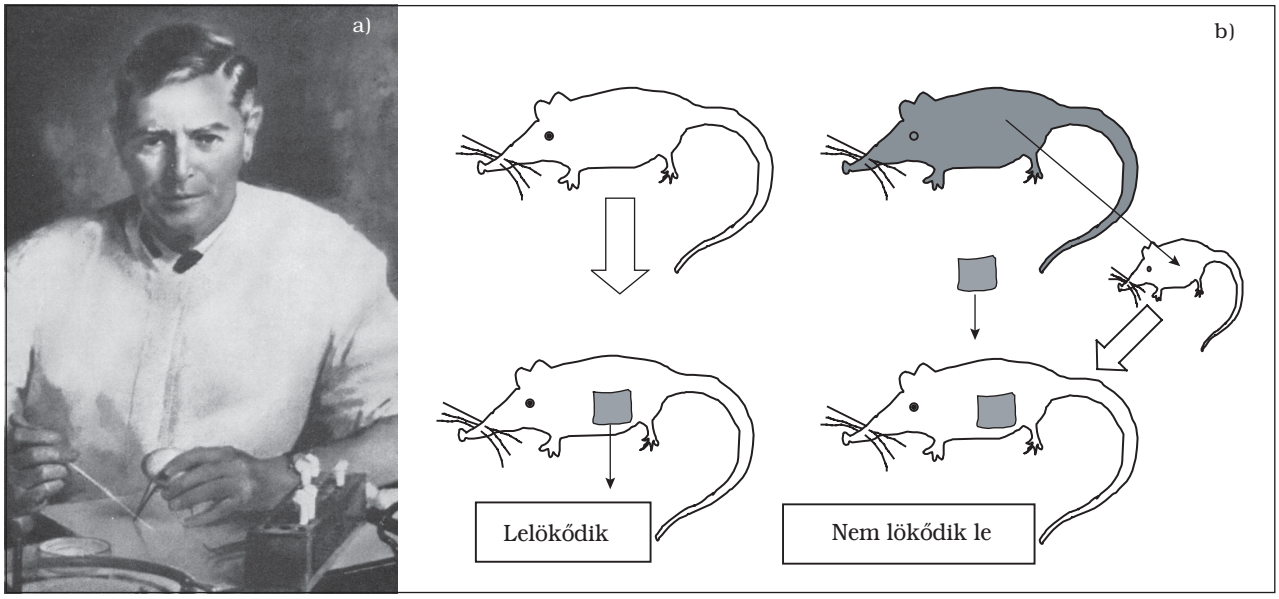
103. ábra. ***Az ABO és az Rh vércsoportrendszer***
A körök vörös vértesteket jelképeznek.
„A" vércsoportú az az egyén, akinek a vörösvértestjén „A" típusú antigén (egy összetett fehérje) van, plazmájában anti-B fehérje. A „B" vércsoportúak „B" antigént hordoznak sejtfelszínükön, vérplazmájukban pedig anti-A antitestet. Az „AB" vércsoport akkor alakul ki, ha mindkét antigén jelen van, ekkor a vérplazmában nem találhatók sem anti-A, sem anti-B antitestek. „0" vércsoportúaknál a helyzet éppen fordított, antigének nem, ám *anti-A* és *anti-B* fehérje is van a plazmában.
Az Rh+ vércsoportú emberek vörösvértestjeinek felszínén Rh+ antigén van. Az Rh– vércsoportú emberek vérplazmájában veleszületetten nincs anti-Rh antitest.
Valójában ennél sokkal több antigén hatású vércsoport fehérje létezik. Ennek illusztrálására a jobb sarokban látható egy A, Rh+, N, P vércsoportú vértest.

4.2.3 Szervátültetések

Feljegyzések tanúsága szerint az i.e. X. században indiai mágusok már sikeresen ültettek át sérült fül, orr és az ajkak bőrének megújítására ugyanazon beteg testének más helyéről nyert bőrdarabkákat. 1926-ban szenzációt keltett az a hír, hogy egyik kutyából egy másikba vesét sikerült átültetni. Ám azt már elhallgatták az újságok, hogy a kutya a műtét utáni hamarosan kimúlt. A vizsgálatok azt mutatták, hogy az átültetett vesékbe –

bár működésbe léptek –, egyre több fehérvérsejt (limfocita) áramlott, gyulladás lépett fel és pár nap alatt a vesék gennyes kötőszöveti rostokkal beszőtt zsákká alakultak. Úgy tűnt, mintha sejtbarrikád alakult volna ki az idegen testből származó szerv körül.

→ gyulladás XVIII.4.2.4



105. ábra. a) ***Frank Macfarlaine Burnet*** (1899-1985) ausztrál mikrobiológus, aki az immunrendszer tanulásának úgynevezett klónszelekciós modelljét kidolgozta. Peter Medawarral együtt első ízben vizsgálta kísérletileg a szervátültetések során föllépő immunválaszt.

b) ***Medawar és Burnet különböző fajtájú egereken végzett transzplantációs kísérletei***
Ha az egyik egértörzs tagjainak bőrdarabkáját átültették egy másik törzshöz tartozó egér tagjainak sebfelületére, az ott egy ideig megtapadt, ám 10-20 nap múlva elhalt és lelökődött. Ha ugyanezen az egéren ugyanezt a bőrátültetést másodszor is megkísérelték, az már 6 nap múlva lelökődött. Ha az ily módon immunizált egér nyirokcsomóiból vett szuszpenziót kezeletlen egerek testébe juttatták, azokról a beültetett bőrdarabka szintén 6 nap után lökődött le. E kísérletből egyértelműen kiderült, hogy a „bőrdarabka-ellenes" antitestek a nyirokcsomó sejtjeiből származnak. Hogyan lehetne ezek mennyiségét vagy hatását csökkenteni? Medawar fekete egérembriók szövetéből kivonatot készített és egynapos fehér egeret kezelt vele. Azt tapasztalta, hogy ez a fehér egér felnőtt korában elfogadja a fekete egér szöveteit, szerveit.
A kutatók ennek alapján arra a következtetésre jutottak, hogy az embrió ill. az újszülött kísérleti állat immunanyag képzésére még képtelen. Még nem alakult ki, nem rögzült benne a saját – idegen fehérjék megkülönböztetési képessége. Vagyis immunrendszerünk születésünk után egy darabig még tanul, ekkor véső dik be memóriájába: mi a saját és mi az idegen ill. ez a program ekkor zárul le. Ezért nem termelt az egynapos egér antitestet, és ezért fogadta el későbbi élete során sajátnak a fekete egérből való sejteket.

A T-SEJTEK EREDETE

A tapasztalatok mélyebb összefüggéseinek feltárását részben a **csecsemőmirigy (thymus)** működésének és szerepének tisztázása jelentette az 1960-as években. A csecsemőmirigy e késői kutatását többek között az is magyarázza, hogy ez a szerv felnőttkorra elsorvad, zsírszövettel helyettesítődik, műtéti eltávolítása semmilyen zavarhoz nem vezet, különösen nem az immunrendszerében. Ám ha újszülött egerekből távolítják el, akkor a kis jószágok növekedésben elmaradnak, állandó bőrgyulladásban, hasmenésben szenvednek és fertőzésekkel szemben fokozottan érzékenyek lesznek. Az ilyen egerek vérében, nyirokcsomóiban és lépében alig található limfocita, az idegen szövetek belőlük nem lökődnek ki. Ugyanakkor antitest-termelő képességük – legalább részben – megmarad. Azokat az immunsejteket, melyeknek létrejöttéhez a csecsemőmirigy (thymus) elengedhetetlen, **T-sejteknek** nevezték el.

Egy másik csoport kutatói kikelt kis csibékből a kloáka felett található nyirokszervet, az ún. Fabricius-féle mirigyet (Bursa Fabricii-t) távolították

el és vizsgálták a fellépő hiánytüneteket. A csibék elvesztették antitest-termelő képességüket, ám érdekes módon szervezetük 12 nap elteltével kilökte a beültetett idegen bőrdarabot. Emlősökben ez a mirigy hiányzik, ám feladatát más nyirokszervek (csontvelő, a bél melletti nyirokcsomók, lép) pótolják. Az e szervek által termelt sejteket **B-sejteknek** nevezték el (Bursa Fabricii kezdőbetűje alapján).

B-SEJTEK

E vizsgálatok alapján a kutatók jó okkal feltételezték azt, hogy a Mecsnyikov által leírt sejtes immunválasz résztvevői (legalábbis részben) a T-sejtek, az Ehrlich által felfedezett testnedvhez kötődő immunitásé pedig a B-sejtek. Az egyik rendszer központja a csecsemőmirigy, a másiké (madarakban) a Fabricius-mirigy. Ezek az irtásos kísérletek megerősítették azt a korábbi gyanút, hogy e két rendszer csak együtt képes hatékonyan működni.

Az immunitás feladata sokrétűbb, mint azt korábban gondolták. A XIX. században fő funkciójának azt látták, hogy legyőzze a kívülről érkező parazitákat, az antigéneket, falósejtekkel ill. antitestekkel őrködjön a szervezet egészsége fölött. A XX. században az antigén fogalma kibővült. A szervátültetéseknél tapasztalt immunreakciók arra figyelmeztették a kutatókat, hogy *nem csak* a parazitákkal szemben viselkedik ellenségesen a szervezet, hanem számára *minden idegen, ami nem saját*. Ehhez az elvhez az immunrendszer mindig hű marad, még akkor is ha például egy csontvelőátültetés a beteg életét szolgálná. Immunrendszerünk fő feladata, hogy őrizze a szervezet épségét (integritását) és egyediségét (individualitását) vagyis **egészségét.**

ANTIGÉN

← óriásmolekulák egyedisége: fehérjék XII.8.3; XXIII; XXVII

← homeosztázis XVIII.1.3

4.2.4 Az immunrendszer sejtjei és molekulái

Szervezetünk épségének és egyediségének őrzését több, részben egymástól függetlenül működő rendszer végzi.

E védelem első, *nem immunsejtekből* álló vonala a bőr és a nyálkahártyák. Rajtuk keresztül – a tüdő, a bélrendszer, a húgyutak és az ivarszervek felületein át vírusok, baktériumok, egysejtűek, gombák és toxikus anyagok is bejuthatnak a szervezetbe. A szorosan záródó és egészséges fedőhámsejtek, a mirigysejtek által kiválasztott váladékok és a csillós hámsejtek állandó csapkodása ezek távoltartását biztosítja.

← hámszövet X.1.3.3

← légzőrendszer X.3.3.2

Ha mégis sikerült az idegen elemeknek behatolniuk *a szervezet belsejébe* (szövetek közé vagy a nedvkeringésbe), ott már immunsejtek várják őket. Az immunválaszok első lépése az idegenek, *antigének felismerése*, elkülönítése a saját sejtektől. Minden egyes sejtünk membránfelszínén találhatók speciális fehérje molekulák, e jelek (markerek) a szervezet adott sejttípusában az egyedre jellemzően mindig egyformák. Embrionális korban találkoztak az immunsejtekkel és így megismert és békésen elfogadott molekulák lettek. (Számuk sejtenként különböző lehet, például az ember vörösvértest felszínén kb. 30-féle vércsoport-antigént számoltak meg ez ideig, közülük kettő az AB0 és az Rh vércsoportok kialakításáért felelős.) A szervezet egy molekulát vagy az azt hordozó sejtet csak akkor tekinti ellenségnek (antigénnek), ha az embrionális korban nem „mutatkozott be" az immunrendszer sejtjeinek, vagyis nem hordoz magán elfogadott ismertető jelet.

← jelfelismerés XIII.4.2.3

A TANULÓ IMMUNRENDSZER

Ha az antigének bekerültek a szövetközti térbe vagy a nedvkeringésbe: a falósejtek áldozataivá válhatnak, melyek vagy helyhez kötötten (nyirokcsomókban), vagy állandó áramlásban „járőrözve" kapják el és semmisítik meg az idegen sejteket. De található a nedvkeringésünkben olyan enzimrendszer is, amelyeket éppen a megjelenő baktériumok aktiválnak, és azok sejtfalát feloldják. A szervezet ilyen típusú immunvédekezése gyors reakcióra képes, pár napig tart, a betolakodók között *nem tesz minőségi kü-*

← nyirokkeringés XIII.6.3

lönbséget, ezért a kórokozóval történt találkozás nem hagy nyomot, „emléket" bennük. Éppen ezért, a sejtekkel és testnedvekkel zajló védekezésnek ezt a típusát **nem-specifikus immunválasznak** nevezzük.

NEM-SPECIFIKUS IMMUNVÁLASZ: GYULLADÁS

Ilyen immunválasz figyelhető meg például a bőrfelszín sérülése esetén (pl. tüske törik bele). A véralvadás mellett pirosodás, duzzanat (ödéma), fájdalom és a sérült felszín melegedése észlelhető. Ezek a (felszínes) **gyulladás** tünetei. E tüneteket részben maga a szervezet okozza, azáltal, hogy igyekszik „helyhez kötni" a bekerült kórokozókat. Ebben fontos szerepet játszik a sérült sejtekből felszabaduló *hisztamin*, ami a vérerek falának átjárhatóságát növeli és ezáltal a szövetnedv felszaporodását idézi elő. A hisztamin eközben a odavonzza a falósejteket, melyek bekebelezik a kórokozókat, ám közben gyakran maguk is elpusztulnak. Az elhalt sérült szövetdarabok, kórokozók és falósejtek maradványai alkotják a képződő **genny**et. A gennyes seb alatt a kötőszöveti sejtek osztódni kezdenek, így pótolják az elpusztult szövetet. Később a bőr felszínén heg emlékeztet az eseményre.

← fagocitózis XIII.4.2

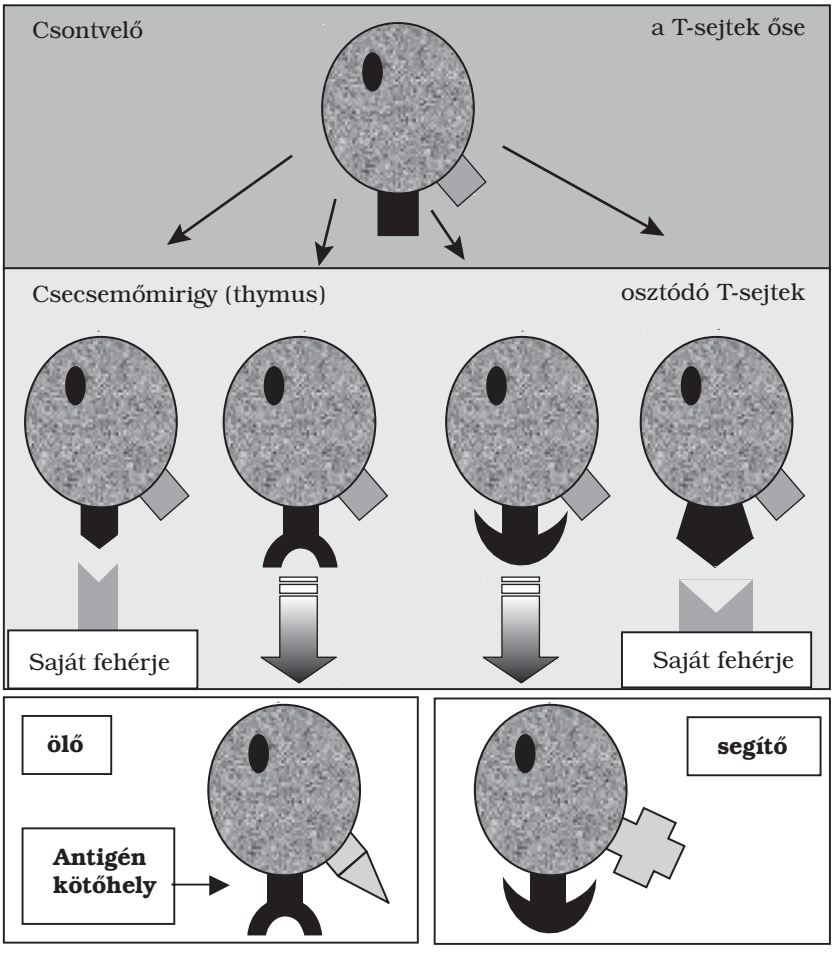
GENNY

Van szervezetünknek egy ennél jóval hatékonyabban működő rendszere is, melynek reakcióját **specifikus immunválasznak** hívják. Jellemzői a *nagyfokú fajlagosság (specificitás)*, a fertőzés és az arra adott válasz között 1-3 napos *késési* (*latencia) idő*, valamint az *emlékezőképesség*, vagyis ha újra bekerül a kórokozó, a szervezet gyorsan és eredményesen győzi le azt. A járványos megbetegedések ellen védőoltásokkal küzdő orvostudomány e rendszer működését serkentette vagy éppen pótolta. Tapasztalatai-

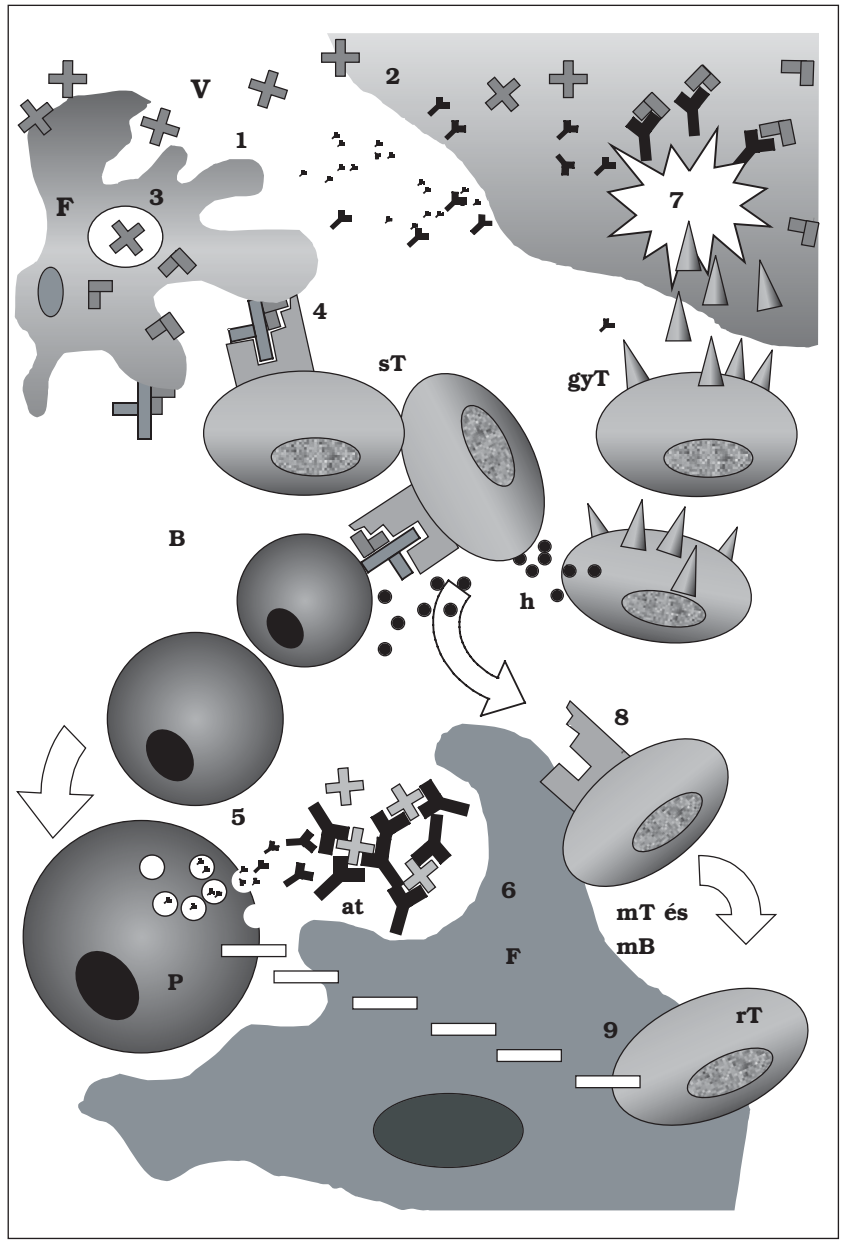
SPECIFIKUS VÁLASZ

KÉSÉS, MEMÓRIA

→ klónok XXIII.



106. ábra. ***A T-sejtek érésének klónszelekciós elképzelése***
Fönt: a csontvelőben képződő őssejtek a csecsemőmirigyből (thymusba) kerülnek.
Középen: itt sokféle, klönböző antigénkötűhelyekkel rendelkező T-sejttípus keletkezik. A thymus „bemutatja" a szervezet saját fehérjéit ezeknek a sejteknek. Ha valamely kötőhelyhez illeszkedik az egyik fehérje, az illető sejt elpusztul vagy tartósan gátlás alá kerül. Így csak azok a sejtek, illetve sejtvonalak (klónok) válogatódnak ki, melyek idegen fehérjére (antigénre) érzékenyek.
Lent: a fennmaradó sejtekből alakulnak ki az ölő (citotoxikus) és a segítő (helper) T-sejtek. Ezek nemcsak antigén-kötőhelyeikben, hanem más felszíni fehérjéikben is eltérnek, így más-más feladatot láthatnak el.



107. ábra. ***A specifikus immunválasz lépései***

A cseppfertőzés útján terjedő – például kanyaró – **vírus (V)** a véráramba kerül (1), így jut el a szervezet sejtjeihez amiket megfertőz (2). Egy **falósejt (F**) bekebelezi (3), feldolgozza, majd darabjait kiülteti membránjára a sajátot jelentő fehérje mellé. Ott ismeri fel (4) a **segítő T-sejt (sT)**, mely ezúton aktiválódik. Közvetítő hormonszerű molekulák **(h)** által olyan **B-sejteket (B)** aktivál, akik már szintén találkoztak ezzel a kórokozóval és hasonló módon jártak el vele, mint a falósejtek. Az immunreakció beindítását tehát egy kettős kulcs-zár mechanizmus biztosítja. A B-immunsejtek receptoraiba a még szabad antigének éppen beleillenek (egyik kulcs), a T-sejtek receptoraiba pedig a megfertőzött sejtek membránjára kiültetett antigének (a másik kulcs). Ezután kezdődik meg az aktivált B-sejtek átalakulása **plazmasejtté (P),** vagyis a specifikus antitest (immunglobulin) termelés (5). Az **antitestek (at)** feladata, hogy az antigénekhez kötődve megjelöljék, illetve összekapcsolják, kicsapják azokat. Ezután kezdődhet csak meg azok elpusztítása – például a falósejtek által (6). A **citotoxikus vagy más néven gyilkos T-sejtek (gyT)** elsősorban a már megfertőzött sejteket támadják meg, úgy, hogy feloldják vagy kilyukasztják annak hártyáját. Az antitestek szinte „céltáblaként" tapadnak az ilyen beteg sejtek felszíni fehérjéihez, jelezve a T sejteknek, hogy mi az elpusztítandó cél (7). Az aktivált B-sejtek és T-sejtek egy része másik fejlődési utat követ, **memóriasejtekké** (mB, mT) alakul (8). Ezek kis mennyiségben a fertőzés után is kimutathatók a vérből. Ők őrzik az antitestek termelésének képességét. Az **elnyomó T-sejtek** (rT) az immunreakció leállításáért felelnek. Valamivel a folyamat beindulása után leállítják a segítő sejteket, mintegy megakadályozzák ezzel a feleslegesen nagy mennyiségű plazmasejt kialakulását (9).

kat e század második felétől tudjuk sejtes és molekuláris szinten is értelmezni, magyarázni.

A celluláris és humorális immunválaszért felelős sejtek közös eredetűek. A vér többi sejtes alkotójához hasonlóan embrionális korban a vörös csontvelőben keletkeznek Egy részük a véráram útján a csecsemőmirigybe kerül, ahol tovább fejlődik és tanul, majd innen a nyirokcsomókba jut. Belőlük lesznek a celluláris immunválaszért felelős T-sejtek. Másik részük a lépbe a mandulákba és a bél környéki nyirokcsomókba jut, ezek a humorális immunválaszt adó B-sejtek.

← XIII.7.1

← XIII.6.3

A B-sejtek megfelelő inger hatására megnagyobbodnak és aktív fehérjeszintézisbe, antitest termelésbe kezdenek, méghozzá olyan típusúba, amilyen antigént a membrán a felszínén hordoz. Az *antitestek, az ún. immun-*

IMMUNGLOBULINOK

globulinok, roppant *változékony szerkezetűek* és szinte korlátlanul *sokféle* típusban képesek kialakulni, minden egyes betolakodó antigénre *specifikusan*. Hatásuk elsősorban az, hogy az idegen anyagot vagy sejtet „megbélyegezzék", mint elpusztítandót a falósejtek számára. A T-sejtek közvetlenül veszik fel a harcot, mégpedig elsősorban a megtámadott sejtek elpusztításával.

BETEGSÉG: „VERSENYFUTÁS" A KÓROKOZÓKKAL

Amíg az immunrendszer kellő alapossággal és specifikusan felkészül a pusztításra, a vírusok közben szaporodnak és fertőznek. A fertőzött szervezet ekkor, a lappangás után (10-14 nap) már mutatja a betegség tüneteit: felső légúti hurut, láz, bőrkiütés és a felszaporodott nyiroksejtek miatt a nyirokcsomók megduzzadnak. Ha a szervezet képes a szaporodó kórokozóknak megfelelő mennyiségű antitestet előállítani, akkor van esély a gyógyulásra.

A GYÓGYULÁS ESÉLYEI

Az orvosi beavatkozás passzív immunizálással vagy kemoterápiával segíthet. Ám ha például a beteg alultáplált vagy vitaminhiány miatt a szervezete már eleve legyengült állapotban volt, vagy a higiénés viszonyok rosszak, a túlélés esélyei egyre kisebbek. Ha a felgyógyult szervezet később újra találkozik a már egyszer legyőzött kórokozóval, nagyon valószínű, hogy az újabb fertőzést immunrendszere gyorsan és hatékonyan tudja majd legyőzni, mivel a memóriasejtek plazmasejtté alakulva *azonnal* megkezdik az antitestek termelését. Ha a beteg csak más élők által termelt antitesttel tudta legyőzni a kórt, akkor ez a hosszú távú immunitás elmarad, mert nem képződtek memóriasejtek.

4.2.5 Az immunrendszer betegségei

AUTOIMMUN-REAKCIÓ

Az immunrendszer igen jó önkontrollja ellenére mégis előfordulhat (az esetek kb. 5%-a), hogy a saját sejtek, szövetek ellen indul harc. Ez az **autoimmun-reakció.** A hiba oka lehet az immunrendszerben, amit egy beépült vírus idézhet elő, de az is előfordulhat, hogy a saját sejtek jellege változik meg, például a szívizomsejtek infarktus után. Krónikus lefolyású lehet a szemlencse ellen indított immunreakció, ha az megsérül. Ugyanis az embrionális fejlődés során fehérjéivel az immunsejtek nem találkoztak.

← infarktus X.4.3.5

ALLERGIA

Az immunrendszer felesleges reakciói számos esetben mennyiségi túlvezérlést, azaz túl heves reakciót jelentenek. Lehet, hogy kisebb mértékű antitest-termelés is elegendő lenne, vagy maga az antigén veszélytelen, így a reakció fölösleges. A haszontalan immunreakció tüneteket vált ki és ezáltal betegséget okoz. Ez az **allergia,** vagy túlérzékenység. A kiváltó többékevésbé veszélytelen anyagok – az *allergének* –, számtalan típusát ismerjük: növényi pollen, állati szőr, táplálék, ártalmatlan vírusok, gombák, egysejtűek, ízeltlábúak, por. Allergia csakis ott és akkor alakul ki, ahol és amikor az antigén jelen van az immunreakcióra jellemző tünetekkel, és általában határfelületeken: bőrön, orr- és szájnyálkahártyán, légutakban. A B-sejtek által termelt antitestek (az ún. immunglobulin E) pl. szénanáthában az orrnyálkahártya megduzzadását, fokozott nyálkatermelést, gyulladást és tüsszentési ingert vált ki, azzal a céllal, hogy a pollent eltávolítsák a szervezetből. E betegségek gyógyítása jelenleg nem lehetséges, legfeljebb tüneti kezelésük. Például anti-hisztamin tartalmú gyógyszerekkel. Ezek megakadályozzák a sejt felszínén a hisztamin molekulák bekötődését, ami a gyulladásért, a vérerek kitágulásáért és azok áteresztőképességének megnövekedésért felelős. A túlérzékenységgel kapcsolatos megbetegedések a legkutatottabbak napjainkban az orvosi immunológiában.

← asztma X.3.3.2

← hisztamin: XVIII.4.2.4

IMMUNHIÁNY. AIDS

A túlérzékenységnél is veszélyesebb az immunrendszer csökkent működése: az **immunelégtelenség vagy immunhiány**. Ennek sajátos esete „korunk pestise", az **AIDS**. Az AIDS mozaikszó: Acquired Immune Deficiency Syndrome = Szerzett Immunhiány Tünetegyüttes. A kórképet 1981-ben írták le, s 3 évvel később azonosították a kórokozót, amit HIV-nek:

→ a vírusfertőzés lépései XXIII.

Human Immunelégtelenség Vírusnak neveztek el. Gazdasejtjei főként a segítő T-sejtek. A beépült vírus sokáig lappang, másodlagos fertőzés aktiválja. Ekkor robbanásszerűen szaporodni kezd és a sejtet elhagyó új vírusrészek szinte „szitává lyuggatják" a T-sejt hártyáját. A T-sejtek megfogyatkozása miatt az AIDS-fertőzöttek olyan betegségekkel szemben is védtelenné válnak, mint amilyen pl. az influenza. A HIV igen érzékeny, így terjedése csak néhány úton lehetséges: szexuális érintkezés, fertőzött injekcióstűk és nem ellenőrzött vérkészítmények útján. Mivel a méhlepényen átjut, anya is átadhatja magzatának.

→ méhlepény XXIV.

Summa (4.2)

Az immunitás kialakításában részt vesznek sejtes elemek (Mecsnyikov: falósejtek, sejtes immunitás), és az általuk termelt antitestek is (Fodor, Behring: humorális válasz).

Az immunválasz nem-specifikus (gyulladás, gennyképződés) vagy fajlagos (specifikus). Ekkor egy bizonyos idegen nagymolekulát (antigént) ismer fel a szervezet. Antigének lehetnek pl. a vértestek felszínén (Landsteiner: AB0 és Rh vércsoportrendszerek), de minden más szövet vagy szerv felszínén is (szöveti összeférhetetlenség, szervátültetések problémája). A „saját" megtanulása főként a csecsemőmirigy feladata.

A specifikus immunválasz a sejtes (T-rendszer) és a humorális (B-rendszer) immunreakciók összehangolt sorozata. A falósejtek által megtámadott idegen test antigénjei megindítják a módosult B-sejtek (plazmasejtek) antitest-termelését. Az antitestek által megjelölt antigén-hordozók áldozatul esnek a T-sejtek és a makrofágok támadásának. Más T- és B-sejtek a reakciók összehangolását (segítő T), csillapítását (elnyomó T) és az antigén megjegyzését (memóriasejtek) végzik.

Az immunrendszer fontosabb betegségei: a túlérzékenység (allergia), a saját sejtek elleni támadás (autoimmun reakció), az immunelégtelenség. Ennek egyik esete a működéskiesést okozó HIV-vírus (AIDS).

Kérdések, problémák (4.2)

1. A vérátömlesztések gyakorlatában mindenki csak a vele megegyező vércsoportú vért kaphat. Még az „általános kapó" AB vércsoportúaknak sem adnak pl. A-s vért, mert az is - enyhe - immunválaszt vált ki. Mi az oka ennek a jelenségnek?

2. Híg tojásfehérjeoldat a gyomorban könnyen megemésztődik. Ha ugyanez az oldat közvetlenül a vérbe jut, heves immunválaszt vált ki. Mi a különbség oka?

3. Hasonlítsuk össze az immunrendszer (magzati) tanulási folyamatát a pszichológiában és etológiában leírt tanulástípusokkal! Melyikhez milyen szempontból hasonlít az immunrendszer tanulása?

4. A magzat immunrendszere sokkal védtelenebb a felnőtténél. Miért? Mi az oka, hogy ennek ellenére általában elkerüli a fertőzéseket?

5. Sok szülő a gyerekeket igyekszik „steril" környezetben tartani, hogy megóvja mindenféle fertőzéstől. Ha ez a módszer „túl jól" sikerül, a gyermek sokkal érzékenyebb lesz a betegségekkel szemben, mint társai. Miért?

6. Rendszeresen előforduló járványos betegségekben (pl. influenza) gyakran egymást követő években is újra és újra megbetegedhet valaki. Hogyan egyeztethető össze ez a megfigyelés az immunmemóriával?

7. Az AIDS vírusa csak a T-sejteket teszi tönkre. Miért károsodik ezzel együtt a B-sejtek működése is?

Irodalom:

- Lechevalier, H. A. - Solotorovskí, Morris: A mikrobiológia három évszázada, *Lister, Pasteur, Koch,Löffler, Mecsnyikov, Yersin, Behring, Calmette és Guérin, Beijernick, Ricketts, Bruce, Ehrlich, Chain és Florey, Lederberg, Jacob közleményeiből* GONDOLAT, 1971
- Mecsnyikov, Ilja: Optimista világnézet, RÉVAI, 1919
- Mecsnyikov, Ilja: Az emberi természet, ATHAENEUM, 1913
- Semmelweis Ignác: Összegyűjtött munkái, MOKT, 1906
- Semmelweis Ignác: A gyermekágyi lázról, KÖNYVÉRTÉKESÍTŐ, 1987

- A gyógyító értelem / Minerva nagy képes enciklopédia, MINERVA, 1972
- Baenkler, Hans-Wolf: Bűvös-lenyűgöző immunológia, ÚJ GONDOLATOK, GmBH 1994
- Benedek István: Semmelweis és kora, GONDOLAT, 1967
- Benedek István: A gyógyítás gyógyítása – orvostörténeti tanulmányok, GONDOLAT, 1978
- Diamond, Jared: Háborúk, járványok, technikák – A társadalmak fátumai, TYPOTEX, 2000
- Ewald, Paul W.: Járványok kora – Fertőzés okozza a rákot, a szívbetegséget és más halálos kórokat? VINCE, 2002
- Halász Zoltán: Így élt Pasteur, MÓRA 1976
- Kellner Dániel: A Nobel-díjas orvosok élete és munkássága, SZATHMÁRYNÉ é.n., *Benne Behring, Ehrlich, Mecsnyikov, Landsteiner, Laveran életrajza.*
- Kruif, Paul de: Bacillusvadászok
- Meadows, Jack (szerk): A tudomány csodálatos világa (Pasteur), HELIKON, 1990
- Oldstone, Michael: Vírusvadászok, TYPOTEX, 2002
- Petrov, Rem: Védett vagyok! – Beszélgetés az új immunológiáról, MIR Moszkva – NATURA Bp., 1976
- Petur László: A wollsteini „fizikus” *Robert Koch élete*, MÓRA, 1970
- Schneider, Leo: Életünk és a mikrobák, MÓRA, 1974
- Temesvári Erzsébet–Raffai Irén: Amit az allergiáról tudni kell, KOSSUTH, 1987
- Száva István: Egyedül a halál ellen *Semmelweis életrajzi regénye,* MÓRA

5. Egészség – betegség

5.1 Sokszálú egészség – soktényezős kórok



108. ábra. ***Szigetközi gazda.*** Meződy Ö István fotója
A testileg-lelkileg egészséges ember önmagával is, a külvilággal is harmóniában él.

← XIII.4.1.2

ÖRÖKLÖTT RENDELLENESSÉG

→ XXIII.

HAJLAM

← XVIII.2.3.2
← X.4.3.5
← XVII.2.2

A testi-lelki egészséget az ókortól kezdve összhangként, harmóniaként, a betegséget pedig ennek megbomlásaként határozták meg. Arra a kérdésre, hogy mi és hogyan bonthatja meg ezt az összhangot – vagyis mi a betegségek oka – az ókortól kezdve sokféle válasz született, s ma is sokféle – részben szemben álló – elmélet és gyógyítási gyakorlat létezik.

A középkorban elterjedt **„miazma-elmélet”** szerint sok betegséget egészségtelen kigőzölgések, „miazmák” okoznak. (A kifejezés a görög *miainein – szennyezni* igéből származik.) Eszerint elsősorban a lakóhely, annak talaja, levegője, vize lehet egészséges vagy egészségtelen. Tény, hogy sok betegség *helyhez kötött (szakszóval: endemikus)*. Ennek okát a mai természettudomány abban látja, hogy ezeken a helyeken adottak a feltételek bizonyos kórokozók elszaporodásához – például a mocsarak kedveznek a maláriaszúnyog, s ezzel a malária elterjedésének. Lehet a háttérben más helyi hatás is, például fokozott radioaktív sugárzás, szennyezett városi levegő vagy jódhiányos ivóvíz.

A betegségek **mikroba-elmélete** Pasteur nevéhez köthető. Eszerint az egyes betegségeknek jellemző kórokozóik vannak. Ezek az élősködők lehetnek férgek, baktériumok vagy élettelen vírusrészecskék. Az egészséges szervezet immunrendszere segítségével féken tartja e betolakodókat. Ha mégis túlzottan elszaporodnak, jellegzetes tünetegyütteseket okoznak: a mindennapok szóhasználatában ezt nevezzük betegségnek. A mikroba-elmélet alapján a gyógykezelés módja a kórokozók elpusztítása vagy visszaszorítása. Ez az elmélet nagyon sikeres volt, ám a betegségek egy részére (például a vitaminhiány okozta tünetekre) nem adott magyarázatot, és azt is válasz nélkül hagyta, hogy ugyanaz a hatás miért okoz egyesekben enyhe lefolyású, másokban esetleg végzetes megbetegedést.

A betegségek **biokémiai magyarázata** szerint az egészséget a szervezet zavartalan anyagcseréje jelenti, betegséget pedig az olyan hatások okozzák, melyek ezt az anyagcserét gátolják, hibás útra terelik vagy megszüntetik. Ez a magyarázat érvényes a mérgezésekre, hiánybetegségekre, de a fertőző betegségekre is, hiszen végső soron azok is az anyagcsere tönkretételével hatnak. A biokémiai magyarázat hátránya, hogy sokféle eltérő mélységű okot azonos szintre szállít, ami nehezíti a helyes gyógymód megtalálását. A mérgezést például okozhatja alkoholizmus (melynek pszichológiai és társadalmi oka van), de ellenőrizetlen táplálék fogyasztása is. A hatás azonos (például a májsejtek pusztulása), a teendő azonban más.

Bizonyos ritka betegségekről régen tudták, hogy egy-egy családon belül halmozottan fordul elő, ezek **öröklődő** rendellenességek. (Ilyen például a vérzékenység vagy a színtévesztés.) Az öröklött tulajdonságok szabják meg a szervezet igényeit, lehetőségeit, korlátait. A környezettől is függ, hogy egy öröklött tulajdonság okoz-e rendellenességet, s ha igen, milyen súlyosat. Sok emberből hiányzik például a tejcukrot lebontó enzim, ők a tejtől hasmenést kapnak, de ha nem fogyasztanak tejet, semmilyen tünet nem jelentkezik. Az öröklött hibák többsége **hajlam**: a betegség megjelenésének kockázatát növeli, de nem feltétlenül váltja ki. Hajlamként öröklődik például a cukorbetegség, a szívinfarktus, az epilepszia vagy a korai kopaszodás.

Elsőként Freud hívta föl a figyelmet arra, hogy sok betegségnek lelki háttere van. Az elfojtott lelki tartalmak nemcsak viselkedésbeli zavart okozhatnak (neurózisok), hanem testi tüneteket is kiválthatnak. Ezek az úgyne-

vezett **pszichoszomatikus betegségek**, ide sorolják például a gyomorfekélyt, a magas vérnyomást, a szívritmuszavart, a szívinfarktust. A stresszelmélet (Selye) kísérleti bizonyítékokkal is szolgált arra, hogy a tartós és föloldatlan stressz kiterjedt károkat okoz, többek közt gátolja az immunrendszer működését, így kaputnyit a fertőző betegségek előtt is. Ez az elmélet összekapcsolja a testi és lelki egészség fogalmát, és megmutatja, hogy sok – vagy talán valamennyi – rendellenesség gyökere kettős.

PSZICHOSZOMATIKUS BETEGSÉG

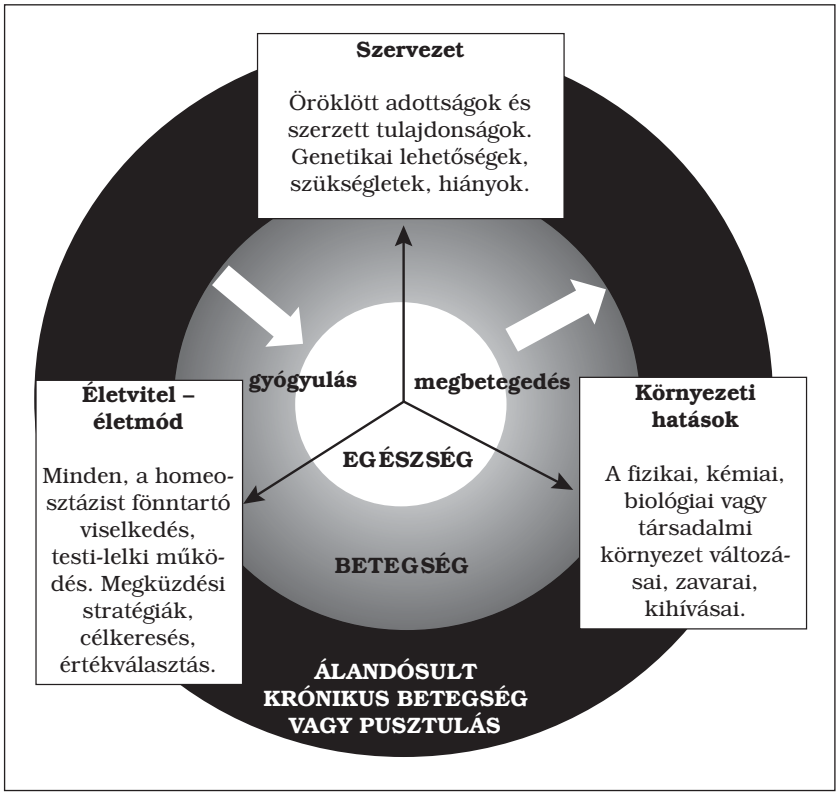
← XVIII.3.2.8

← test-lélek probléma a filozófiában VII.3

Az egészség modern fogalma a **homeosztázis** gondolatához köthető. Cannon alapján az egészség a tartósan normális tartományban maradó homeosztázis. Betegséghez vezet minden olyan hatás, mely a homeosztázist a normális tartományból kimozdítja, a homeosztázis megszűnése pedig az élőlény pusztulásával jár. Ez az elgondolás egyesíti a korábbi elképzeléseket. A homeosztázis a szervezet igényei, életműködései és környezete közti összhang. Ezt az összhangot egyidejűleg egy vagy több hatás is megbonthatja és a helyreállítás is több úton történik. Ezért a betegségek zöme **soktényezős (multikauzális),** tehát az okok közül egy vagy néhány kiemelkedően fontos.

← XVIII.1.3

SOKTÉNYEZŐS BETEGSÉG



→ genetikai rendellenességek XXIII.

← környezeti ártalmak:
• nehézfémionok XI.4.7; XII.9.3
• kőolajszármazékok XII.3.2.2
• sejtmérgek XIII.3.2–3

→ környezeti károk XXII.; XXVI.

→ megküzdési stratégiák XVIII.5.3.1

109. ábra. ***Az ember egészségét fönntartó és az azt veszélyeztető hatások***

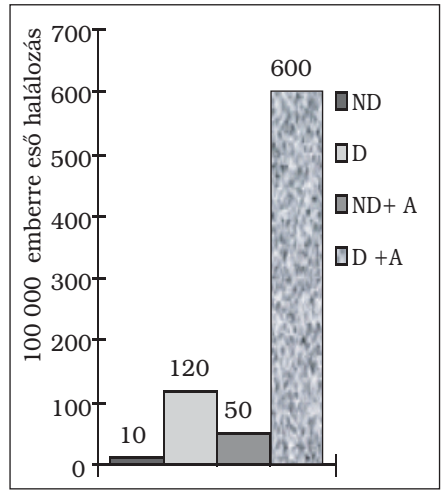
5.2 Kockázat és betegség

Mivel a homeosztázis fölbomlását mindig több tényező kölcsönhatása okozza, minden megbetegedésnek több kiváltója, oka lehet. Ezek a hatások külön-külön esetleg csak fokozzák a betegség kialakulásának valószínűségét, ezért ezeket **kockázati tényezőknek** (rizikófaktoroknak) nevezik. A kockázati tényező lehet belső (öröklött hajlam) vagy külső (környezeti ha-

KOCKÁZATI TÉNYEZŐK

tás, életmód). Az egyes tényezők hatása sokszor nem összeadódik, tehát az összesített valószínűség nem a külön-külön vett valószínűségek összege, hanem esetleg azok sokszorosa. Ez a tény a kockázati tényezők kölcsönhatására utal. Bonyolítja a helyzetet, hogy a hatások időben is halmozódhatnak: a betegség néha hónapokkal, sőt évekkel később jelenik meg. Az ilyen **késleltetett hatások** ugyanolyan veszedelmesek, mint a közvetlenek, noha fölismerésük és bizonyításuk jóval nehezebb. Példa rá az azbeszt, a dohányfüst vagy a tartós stressz következménye.

KÉSLELTETETT HATÁS
→ daganatok XXIII.
→ mutációk XXIII.



110. ábra. ***Példa a kockázati tényezők kölcsönhatására***
Az azbeszt természetes szilikátásványok összefoglaló neve, melyek közös tulajdonsága, hogy hajlékony, hosszú szálakra bonthatók, s e szálak lúgokkal és tűzzel szemben ellenállóak. Az azbesztet ezért kiterjedten használták/ják fék- és tengelykapcsoló-betétekben, tetőanyagokban (Eternit), tűzvédelmi textíliákban. Az ezekből a levegőbe, majd belégzés útján a tüdőbe kerülő azbesztszálak a szervezetből nem tudnak kiürülni a belélegzett porhoz hasonlóan, hanem a tüdőhólyagokban lerakódnak. A kialakuló bőr- és tüdőrák a behatást követően gyakran csak 20-30 évvel később jelentkezett, kialakulása után viszont többnyire egy éven belül halálhoz vezetett. Az alábbi grafikon a dohányzás és az azbeszt hatását mutatja a tüdőrák gyakoriságára. (1978, NSZK). D = dohányzók, ND = nemdohányzók, A = azbeszttel foglalkozók.

← a tüdő védekező mechanizmusai X.3

AZ INFARKTUS KOCKÁZATA

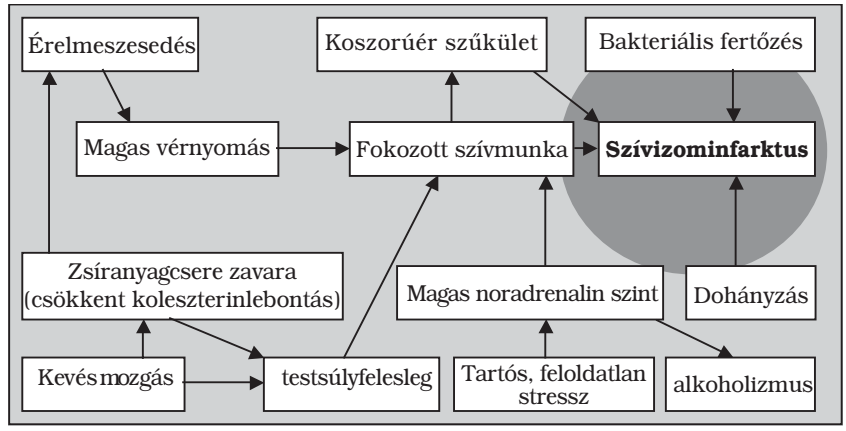
A szívizominfarktus kockázati tényezői – példa a soktényezős betegségkeletkezési módra

← infarktus X.4.3.5

← a vérnyomás szabályozása XVIII.3.2.6

← stressz XVIII.3.2.8

← függőség kialakulása XVIII.3.1.6



111. ábra. ***Kockázati tényezők bonyolult hálózata vezet korunk leggyakoribb betegségéhez, a szívizominfarktushoz.***
A zsíranyagcsere zavara *öröklött tényező* (a fölvett koleszterint a veszélyeztetett szervezet csak lassan képes lebontani, így az fölhalmozódik a vérben, és érelmeszesedést okoz). A *helytelen életmód* fokozza ezt a hatást, de a testsúlyfelesleg (elhízás) önmagában is terheli a szívet, a tartós, föloldatlan stressz pedig hormonális úton (is) vérnyomás emelkedést okoz. Több kutató úgy véli, hogy a háttérben *baktériumfertőzés* is állhat: a kórokozók által képzett hegek (plakkok) az érfalakba épülve szűkítik azt, így növelik az érelzáródás valószínűségét.

5.3 Test és lélek „kölcsönhatása”

5.3.1 Megküzdési stratégiák: az egészség tanult elemei

Az ember fennmaradása részben biológiai, részben társadalmi környezetétől függ. Az összhang érdekében mindkettőhöz alkalmazkodnunk kell, de mindkettőt alakíthatjuk is. Az alkalmazkodás és alakítás módszereit, stratégiáit összefoglalóan **megküzdésnek** (coping) nevezik. A megküzdés módjai részben öröklöttek, részben tanultak. Az **aktív** megküzdés elsősorban a külvilág átalakítására irányul, a **passzív** főként belső átrendeződéshez vezet. Mindkét típus szolgálhatja a homeosztázist – s ezzel a fennmaradást, de vezethet hibás válaszhoz, betegséghez, pusztuláshoz is. Így például vészhelyzetben előnyös lehet a menekülés (aktív válasz) de a mozdulatlanná dermedés is (passzív válasz). Emberben különös jelentősége van a tanult viselkedésnek. A megküzdés módjainak átadásában a családnak, iskolának és más kisebb közösségeknek van döntő szerepe. Kiegyensúlyozott családban – életkoronként más-más módon – mind az aktív, mind a passzív stratégiának számtalan formáját megismerjük. Minden olyan viselkedés, melynek segítségével érvényesíthetjük kívánságainkat, azt az élményt adja, hogy környezetünk alakítható, formálható. A tiltások viszont képességeink és lehetőségeink korlátosságára figyelmeztetnek, a magunkról alkotott kép változtatására késztetnek, és az alkalmazkodás sokféle módját mutatják meg.

A MEGKÜZDÉS FORMÁI

← tanult viselkedések XVI.2–3; XVII.2.5
← intro- és extravertált személyiségek (Jung) XVII.2.4.2

A passzív megküzdés kóros formái közül a **tanult tehetetlenség** állatkísérletekkel tanulmányozható, emberben pedig az ahhoz nagyon hasonló **depresszió** tünetei ismertek. Közös jellegzetességük, hogy a tehetetlenné váló állat vagy ember nem lát összefüggést saját cselekedetei és a környezet változásai között, más szóval kontrollálhatatlannak, befolyásolhatatlannak ítéli meg a folyamatokat. Olyan emberekben alakul ki, akiket tartósan megfosztanak minden önálló kezdeményezés lehetőségétől, vagy ha bármit tesznek, azt negatívan értékelik. Az ennek hatására kialakuló tehetetlen állapot sokáig fennmaradhat, és az ilyen emberek (vagy állatok) már akkor sem fognak kezdeményezni, ha egy új helyzetben reális esélyük lenne a sikerre. Ez a tanult viselkedésbeli „zsákutca” tartós stresszt okoz, ami számos testi-lelki betegség kockázati tényezője lehet. Ha aztán valóban bekövetkezik a betegség, annak tünetei tovább fokozzák a kóros állapotot, s az öngerjesztő kör végzetessé is válhat (például rákos gócok terjedése).

TANULT TEHETETLENSÉG

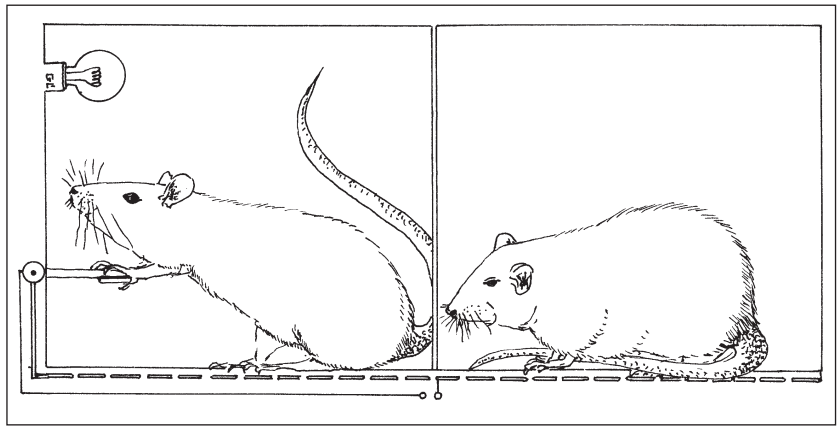
DEPRESSZIÓ

← az érzelmek zavarai XVII.3.1.2

← pozitív visszacsatolás XVIII.1.2

A tanult tehetetlenség (állatok) és a depresszió (ember) összehasonlítása

Szempontok	**tanult tehetetlenség (állatok)**	**depresszió (ember)**
Jellemző viselkedés	passzivitás	éasszivitás
Tanuláskészség	csekély	Értelmetlennek tartja
Agresszivitás	megszűnt	gyakran önmaga ellen irányul
Táplálkozás	súlyvesztés, étvágytalanság	étvágytalanság
Kialakulásának oka	A negatív hatás és az arra adott válasz következménye közti függetlenség.	Az a képzet, hogy a válaszreakció értelmetlen, mert nem befolyásol semmit.



112. ábra. ***Tanult tehetetlenség kiváltása patkányokban***
A két patkányt a válaszfallal elválasztott ketrec két rekeszébe helyezik. A ketrecek padlója közös áramkörre van kapcsolva, ezen át időnként kellemetlen áramütés éri az állatokat. A baloldali rekeszben levő patkány azonban egy billentyű megfelelő időben való lenyomásával leállíthatja az áramütést, azaz megtanulhatja befolyásolni, kontrollálni a folyamatot. Noha a két állatot ugyanannyi áramütés érte, a kontrollt megtanuló állat szervezetében nem tapasztaltak lényeges változást, tehetetlenségre kárhoztatott társa viszont elveszítette kezdeményezőkészségét, a tartós stressz minden következményét mutatta, s a boncolás után agyában is jellemző elváltozásokat találtak.

← Pavlov és Skinner kísérleti módszere XVI.2.2. és 4.

← az értelemre irányuló kérdés (Frankl) XVII.2.5.1

A depresszió – okának ismeretében – nemcsak gyógyszeres úton gyógyítható. Éppilyen fontos, hogy a beteg lássa cselekedetei értelmét és fölismerje, hogy szabad döntéseivel befolyásolhatja az elkövetkezendő eseményeket.

← az „Én” szerepe (Freud): XVII.2.2.3

Az aktív megküzdés szerencsés esetben megfelel a külvilág realitásának, és – alkalmazkodással, küzdelemmel vagy a környezet átalakításával – összhangot teremt a belső képességek és a külső elvárások között. A viselkedéses válasz azonban gyakran nem hasznos, a „megoldás” ekkor a környezet számára elfogadhatatlan. Így a **deviáns viselkedésben** a választott cselekvés a saját vagy mások testi-lelki egészségét sérti (rombolás, agresszív viselkedés, mások megalázása, öngyilkosság). A **lelki betegségek** és a **függőséghez vezető** szokások (alkoholizmus, drogok) gyökere közös: a beteg ilyenkor igyekszik megakadályozni, hogy személye a valós elvárásokkal ütközzön.

DEVIANCIA

← drogok XVIII.3.1.6

A **neurózisok** („idegbajok”) olyan kórképek, melyekben az egyén ugyanabban a „valódi világban” él, mint „normális” társai, de képtelen azt hatékonyan befolyásolni (kényszercselekvések, fóbiák). A **pszichózisokban** („elmebajok”) a beteg más módon tájékozódik a világban, más jelentőséget tulajdonít egy-egy eseménynek, mint az indokolt. Szélsőséges esetben az egész „normális világ” megszűnik előtte, ehelyett olyan világot épít fel magának, melyet rajta kívül senki nem fogad el valóságnak. A két típus között az átmenetek széles skálája húzódik.

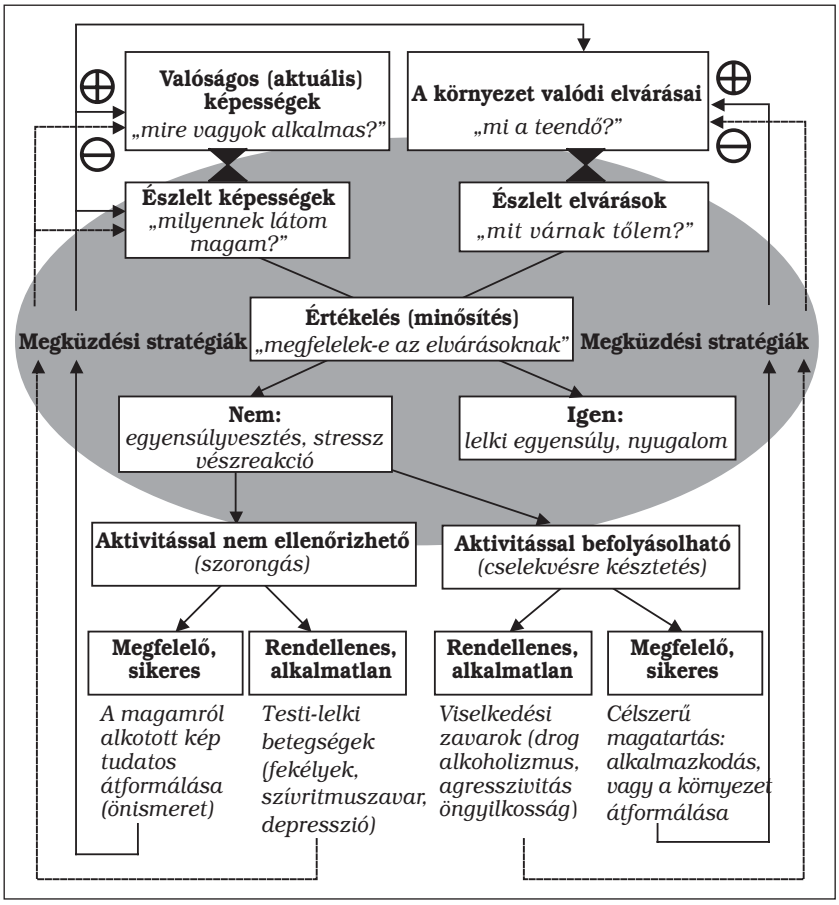
NEURÓZIS ÉS PSZICHÓZIS

← koherens és zavart gondolatmenet XVII.3.2

A gyógyítás a reális világba való visszavezetés útján lehetséges, amint azt a mélylélektan irányzatai mutatják.

5.3.2 Idegek, hormonok, immunitás

Régi megfigyelés, hogy az emberek betegségekre való hajlama lelkiállapotuktól is függ. Ez arra utal, hogy az **idegrendszer és az immunrendszer kapcsolatban áll egymással**. A föltevést Pavlov tanítványai kísérletileg is



113. ábra. ***Az emberi magatartás és a környezet összefüggéseinek modellje.***
(Kopp Mária nyomán, egyszerűsítve)

igazolták, amikor kutyákban sikerült feltételes reflexként immunválaszt kiváltani. Ezzel egy időben német kutatók kimutatták, hogy az adrenalin hormon vagy olyan összetett érzelmek, mint a düh vagy a fokozott öröm a fehérvérsejtek számának emelkedését okozza.

REFLEXES IMMUNVÁLASZ
← feltételes reflex XVI.2.3

A XX. század végén kimutatták, hogy a nyiroksejtek felszínén hormonokra és idegi átvivőanyagokra érzékeny receptorok is vannak. Az idegrendszer tehát mindkét úton – közvetlenül és hormonok közvetítésével is – képes befolyásolni az immunrendszer működését. A hatás kölcsönös. Ha immunreakciót kiváltó anyagot juttatnak a szervezetbe, mikroelektródákkal már a bejuttatás órájában kimutatható a hipotalamusz sejtjeinek megváltozott aktivitása. E megváltozott aktivitás mindaddig tart (akár 20 napig is), amíg az immunválasz végleg meg nem szűnik. Az agyi impulzusmintázatok változása tehát híven követi az immunrendszer történéseit. A két nagy rendszer közti „beszélgetés” közvetítői feltehetően azok a hormonszerű anyagok, melyekkel az immunsejtek egymással is kommunikálnak. De az aktivált immunsejtek maguk is képesek „valódi” hormonokat termelni, melyekkel részben közvetlen környezetükre, részben más belső elválasztású mirigyekre hatnak (ACTH, TSH, CRH). A csecsemőmirigy (thymus) például serkenti a pajzsmirigy, a mellékvese és a nemi szervek hormontermelését, újszülött állatokban pusztulása jelentős (50-80%-os) tiroxinszint csökkenést okoz. E tapasztalatok gyakorlati szempontból azért voltak fontosak, mert megmutatták, hogy testi egészségünket hogyan, milyen mechanizmusok révén befolyásolja a lelkiállapot. Az enyhe és ellenőrzött ideig tartó stressz – amilyen például a rendszeres testmozgás – immun-

← jelfelismerés: XIII.4.2.3

KÖLCSÖNÖS FÜGGÉS

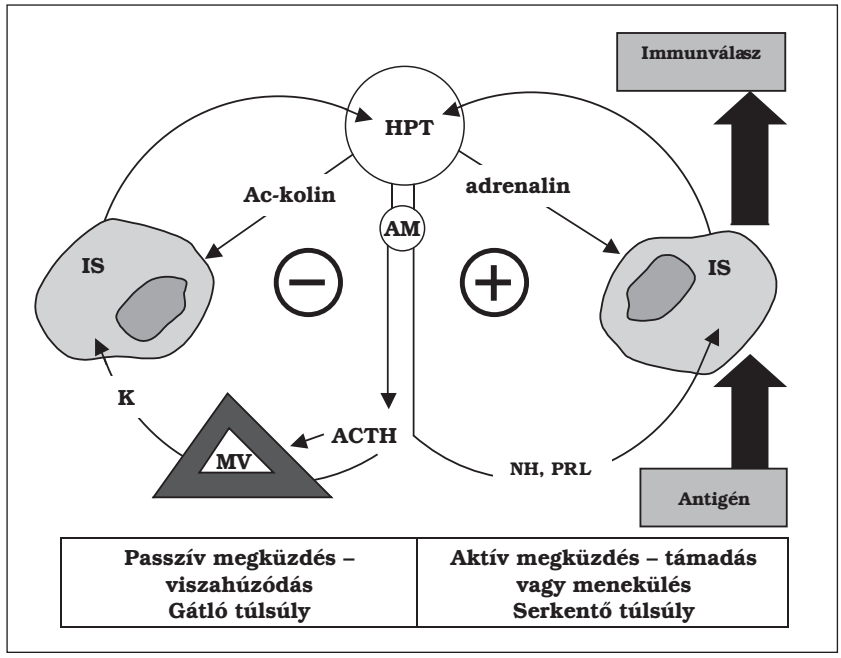
← stressz XVIII.3.2.8

← immunválasz XVIII.4.2.4

← hormonhatások XVIII.2.4

rendszert serkentő, a hosszú és föloldatlan szorongás inkább gátló hatású. A gátlásnak ugyan lehet pozitív hatása is – vészhelyzetben leállítja a túlzott immunválaszt – hosszú távon azonban komoly kockázati tényező. Az tehát, hogy a megküzdés milyen módjait sajátítja el a gyermek fejlődése során, immunrendszerének működésén keresztül is befolyásolja egészségét.

← Erikson személyiségfejlődési modellje XVII.2.5.2



← szimpatikus és paraszimpatikus hatások XVIII.3.2.5

← Selye stresszértelmezése XVIII.3.2.8

114. ábra. ***Az idegi-hormonális és az immunrendszer kapcsolatai***
A + jel a serkentő, a – jel a gátló hatást mutatja. Magyarázat a szövegben.
HPT = hipotalamusz; AM = agyalapi mirigy; MV = mellékvese, IS = az immunrendszer sejtjei
Ac–kolin = acetil-kolin; K = kortizol (mellékvesekéreg-hormonok); ACTH = mellékvesekéreg-serkentő hormon; NH = növekedési hormon; PRL = prolaktin (tejelválasztási hormon)

5.3.3 A homeosztázis őre: a fájdalom

A FÁJDALOM = VÉSZJELZÉS?

Fájdalmat sokféle okból érezhetünk. Kiválthatja sérülés, immunreakció (gyulladás), éhezés, oxigénhiány (fulladás, érgörcs), de – tág értelemben – olyan lelki állapotok is, mint a szorongás vagy a gyász. E hatásokban közös, hogy a testi-lelki homeosztázis tartós fenntartását veszélyeztetik, ennek alapján a fájdalmat úgy határozhatjuk meg, mint vészjelzést, azaz különösen erős késztetést a rendellenes állapot megszüntetésére. Ha a fájdalom kiváltó *oka* megszűnik – például a seb begyógyul – szerencsés esetben a *tünet*, a fájdalom is elmúlik.

← Arisztotelész az érzelmekről III.10.2

Ez az egyszerű magyarázat azonban több okból is hiányos. Egyrészt sok veszedelmes folyamat nem vagy csak sokára okoz fájdalmat, másrészt néha jelentéktelen sérülést is súlyos fájdalomként élünk meg. Az érzet minősége erősen függ annak értékelésétől is. Egy olyan sérülésre, amit valaki játék közben meg sem érez, jajveszékeléssel reagál, ha büntetésként kapja. A kellemetlen érzet néha önállósul és minden látható ok nélkül fennmarad (ennek szélsőséges esete a „fantomfájdalom”, amikor valaki amputált vég-

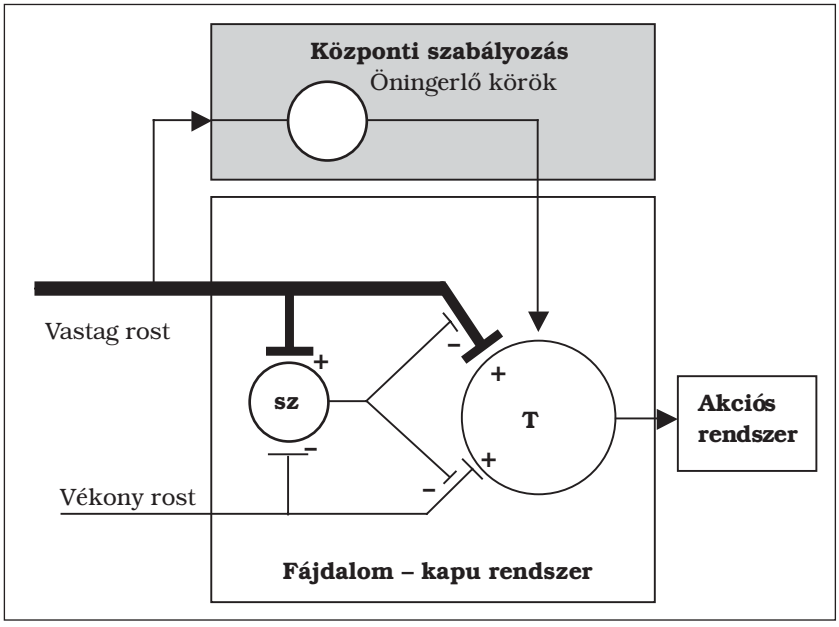
← endofinok XVIII.3.2.9

tagja helyén érez fájdalmat). Magyarázatra szorul a kisugárzás jelensége is: ekkor a beteg szervtől távoli területeken is megjelenik a fájdalomérzet (például szívbetegség esetén a bal vállban és karban). Végül meg kell érteni azt is, hogy a pihentetés néha csökkenti a fájdalmat (például ízületi rándulás után), néha viszont éppen az erőteljes ingerlés hoz enyhülést (izomtorna, masszírozás fejfájáskor). A helyes magyarázat elvezet a fájdalomcsillapítás hatékony módszereihez is.

A fájdalom magyarázatára két alapvetően eltérő elmélet született. Az egyik nézet, az **emóció-elmélet** Arisztotelészre vezethető vissza, aki a fájdalmat **érzelemnek**, az örömmel ellentétes emóciónak tartotta. Mivel szinte minden érzetet kísér érzelem, s néha fájdalom is, Arisztotelész késői követői úgy vélték, hogy a fájdalom különösen erős negatív érzelem, melynek eszerint nincs külön érzőpályája, de van valamiféle központja az agyban. Ezt az elképzelést már a XVIII. században is bírálták, arra hivatkozva, hogy érzelmeink változékonyak, fájdalomérzetünk viszont – különösen, ha a kiváltó fizikai inger erős – független vélekedésünktől.

Más elképzelések, a fájdalom **pálya-elméletei** olyan receptorokat és idegpályákat kerestek, melyek sajátosan a fájdalomérzet létrejöttéért és továbbításáért felelősek. Az emóció és a pálya-elméletek erényeit 1965-ben egyesítette a **fájdalom kapu-elmélete**, melynek megalkotása a kanadai R. Melzack és Wall érdeme. Eszerint a fájdalomérzet kialakulását – a fájdalom „kapu” nyitását – több hatás eredője szabja meg. A vékony rostok a csupasz idegvégződésekből erednek, a vastag rostok különféle tapintó receptorokból indulnak ki. E kétféle rost egymás hatását befolyásolja, a vastag rostok gátolják, a vékonyak serkentik a fájdalomérzet kialakulását.

A fájdalomérzetet a központi szabályozás is hatékonyan módosíthatja, serkentő vagy gátló módon. Mivel a központi idegrendszerben öningerlő idegsejt-körök is vannak, elképzelhető, hogy ezek önmagukban is kivált-



116. ábra. ***A fájdalom kapuszabályozási elméletének vázlata.*** Fájdalmat akkor észlelünk, ha a T jelű továbbító sejt működésbe hozza az „akciós rendszert” (ez a fájdalommal kapcsolatos testi-lelki válaszok gyűjtőneve). A választ azonban befolyásolja az „sz” jelű szabályozó sejtek működése és a központi szabályozás is. A modell megalkotója, Melzack a gerincvelő hátsó szarvában sejtette a fájdalom-kaput, ma inkább úgy gondolják, hogy magasabban, az agytörzsben kell keresnünk.



115. ábra. ***Descartes elméletének eredeti (1664-ben keletkezett) illusztrációja a fájdalompályáról.*** Akár a többi érzőműködésnél, Descartes itt is saját érzőrendszert föltételezett, mely az égető inger (A) hatására a lábfej érző receptorától (B) a gerincvelői idegeken (c-c) keresztül egyenesen az agyba vezet, s ott kiváltja a megfelelő reflex-választ. A folyamatról ugyan értesül az értelmet képviselő tobozmirigy (F) is, ám ez legföljebb „tudomásul veszi” a fájdalom létrejöttét, s ha szükséges, módosítja a választ.

A fájdalompályák újabb elképzelése

Max von Frey német orvos 1894/95-ben hozta nyilvánosságra a specifikus fájdalompályákról szóló elméletét. Eszerint a fájdalmat azon csupasz idegvégződések ingerlése okozza, melyek minden szerv falában föllelhetők, és főként a szöveti sérülésekre érzékenyek. Von Frey elméletét azonban csak részben erősítették meg a tények. Igaz ugyan, hogy csupasz végződések léteznek és ingerelhetőek, de a keletkező érzet nem csak fájdalom lehet (hanem például hidegérzet is). Másrészt a nagyszámú egyéb bőrreceptor ingerülete mind befolyásolja azt, hogy végül is érzünk-e fájdalmat, vagy sem.

FÁJDALOM-KAPU

hatják, vagy fenntarthatják a fájdalomérzetet, a külső inger elmúlta után is. Ha a központi hatás gátló (a kaput „zárja"), az első, éles fájdalom csökken, sőt meg is szűnhet. Részben ez magyarázhatja az erős mechanikus ingerlés (masszázs) fájdalomcsillapító hatását.

KISUGÁRZÁS

Bármely továbbító sejthez befutó rostok nemcsak minőségükben térnek el egymástól, hanem a szervezet több, távoli területéről is eredhetnek. Ezzel magyarázható, hogy egy-egy szerv fájdalma „kisugárzik": nemcsak ott (vagy éppen nem ott) érezzük, ahol a kiváltó ok létrehozta, hanem ott (is), ahonnan a továbbító sejt a többi bemenetet kapja.

A fájdalom csillapítására akkor is szükség van, ha az „csak" tünetként jelentkezett – természetesen a kiváltó ok megkeresése és megszüntetése mellett. Néha azonban a fájdalomcsillapítással magát a bajt is megszüntethetjük – ha annak oka a fájdalomérző rendszer hibás működése volt.

A FÁJDALOMCSILLAPÍTÁS MÓDJAI

A **gyógyszeres** fájdalomcsillapítás a szinapszisok működését módosítja. A mellékhatásokon kívül veszélyt jelent az esetleg kialakuló gyógyszerfüggőség. A **mechanikai ingerlés** a legősibb gyógymód - ide tartozik a gyógytorna, a masszázs, a hideg- és meleg fürdők, valamint a kínai eredetű akupunktúra is. E módszerek egyrészt azt használják ki, hogy a változatos ingerek a vastag rostok útján képesek zárni a „fájdalom-kaput". Másrészt azokra a – még ma is csak részben föltárt – kapcsolatokra építenek, melyek a test távoli területeit kötik össze. Egy részük házilag is sikerrel alkalmazható, más módszerek komoly szaktudást igényelnek.

AKUPUNKTÚRA

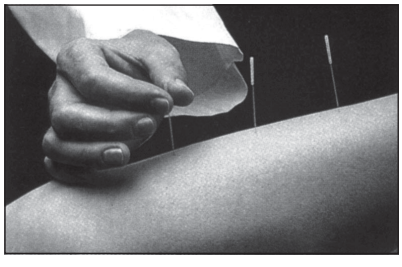


117. ábra. a) ***Kínai rajz, mely az akupunktúrás tűk beszúrására javasolt helyeket mutatja.***

Az akupunktúra ősi kínai taoista tanításon alapul. Eszerint testünk szerveit csatornák („meridiánok") kötik össze, melyeken át körkörösen áramlik az életenergia (kínaiul: „csi"). Ha az áramlás valahol megakad, betegség, fájdalom keletkezik. Az orvos a tűk segítségével megnyithatja a blokkolt csatornát, amivel nemcsak a fájdalmat csökkentheti, hanem az egészséget is helyreállítja.

Az akupunktúrát ma már nemcsak Kínában, hanem európai kultúrájú országokban is használják, noha az idegélettan eredményeit és a meridiánok kínai tanítását még nem sikerült egyeztetni.

Akupunktúrát a gyakorlatban keringési rendellenességek, hátfájás, fülzúgás, ízületi gyulladások kezelésére használnak, Kínában komoly műtéteket végeznek a segítségével egyéb érzéstelenítés nélkül.



b) ***Akupunktúrás tűk mai alkalmazása.***
A tűk folyamatosan ingerlik a kiválasztott pontokat, ezt a hatást néha a tűk forgatásával vagy gyenge elektromos árammal fokozzák.

A fájdalomérzet tudatos koncentrációval is befolyásolható, vegetatív működéseink szabályozása tanulható (jóga, biológiai visszacsatolás). Valamilyen cél érdekében sokan önként vállalnak örömmel, de néha fájdalommal is járó cselekvést (küzdősportok, hegymászás, természeti népek beavatási

szertartásai). Akár betegségről, akár cselekvésről van szó, a történteket másképpen éli meg az, aki csak elszenvedi, mint az, aki ismeri okát és értelmét.

Summa (5)

Az egészség: a szervezet és a környezet tartós összhangja, a betegség ennek megbomlása. Az összhangot a kibernetikai modell a homeosztázis mechanizmusaival magyarázza.

Betegséget okozhat a szervezet öröklött vagy szerzett zavara, környezeti hatás vagy helytelen életmód. Ezek mindegyike kockázati tényező, csak együttes hatásuk ad helyes magyarázatot (sokténye-zős modell). A kockázati tényezők hatása néha csak hosszabb idő után jelentkezik.

Az idegi-hormonális és az immunrendszer egymást kölcsönösen befolyásolva, tájékoztatva tartja fenn a homeosztázist. A viselkedés tanult elemei – így a problémákkal való megküzdés módjai – ezért befolyásolják egészségi állapotunkat is.

A homeosztázis „őre” a fájdalom, mely részben érzet, részben emóció. Kialakulását több tényező kölcsönhatásának tartják, mely központi úton is befolyásolható (kapu-elmélet). Megszüntetésének legjobb módja a kiváltó okok ismerete és megszüntetése. Fájdalomcsillapítók lehetnek kémiai, mechanikai és lelki hatások, s ezek kölcsönhatása is.

Kérdések, problémák

1. Vessük össze az egészség és a betegség Hippokratésztól származó leírását (III. fejezet) a középkori és újkori elméletekkel! Melyik és milyen szempontból hasonlít az ókori leíráshoz?

2. Vesse össze Szondi Lipót sorsanalízisét (XVII. fejezet) a pszichoszomatikus betegségekről leírtakkal! Alátámasztják-e a modern immunológia és idegélettan eredményei Szondi sejtését? Valóban „választjuk-e” betegségeinket?

3. Semmelweis előtt az orvosok különféle „kigőzölgésekkel” és a „nők megsértett szerméremérzetével” próbálták magyarázni a gyermekágyi lázat. Miért nem tartható ez az elképzelés helyes magyarázatnak – még a pszichoszomatikus betegségek fölismerése után sem?

4. A tartós stressz egyaránt vezethet súlyos (idült) alkoholizmushoz és szívinfarktushoz. A két következmény azonban ritkán jelenik meg *együtt*. A megküzdés stratégiáit ábrázoló rajz elemzése segítségével fogalmazza meg ennek okát!

5. A rizikófaktorok jellemzőinek ismeretében indokolja, miért nehéz egy egészségkárosító anyagot forgalmazó cég jogi felelősségének megállapítása egy-egy konkrét betegség vagy haláleset után!

6. Hosszú ideig ülő munkát végző embereknél gyakori panasz a nyak- és vállizmok letapadása, s ennek következtében hát- és fejfájás. Mivel ilyenkor a legkisebb mozdulat is fájdalommal jár, a beteg igyekszik mozdulatlanul maradni. Magyarázza meg a fájdalom kapu-modellje segítségével, hogy a pihentetés ebben az esetben miért súlyosbítja tovább a bajt! Hogyan kombinálhatók ilyenkor a gyógyszeres és testmozgáson alapuló fájdalomcsillapító módszerek?

7. Pavlov egyik híressé vált kísérletsorozatában a kutyák mancsát fájdalmas ingernek tette ki, majd rendszeresen ezt követően kaptak enni. A kutyák eleinte megriadtak és igyekeztek elhúzódni a kellemetlen ingertől, később azonban farkcsóválással és nyálcsorgatással reagáltak. Milyen következtetés vonható le e kísérlet eredményéből? Mi volt a feltétlen és mi a társított inger?

8. Pavlov tanítványai az immunrendszer működésének kondicionálását a következőképpen végezték:
   a) szaharóz (édes ízű anyag) adása: nyálelválasztás
   b) (mérgező és immunreakciót kiváltó anyag): félelem és immunválasz
   c) szaharóz + (mérgező és immunreakciót kiváltó anyag): félelem és immunválasz
   A c) kísérlet többszöri ismétlése után a szaharóz íze önmagában is félelmet és immunválaszt váltott ki.
   Mit tanult meg ebben a kísérletben az állat, s mi az, amire öröklötten reagált? Elkülöníthető-e ebben a kísérletben a feltétlen és a társított inger?

Irodalom

⌘ ✍ A fájdalomcsillapítás enciklopédiája, READERS DIGEST, 2002
⌘ Buda Béla–Kopp Mária (szerk): Magatartástudományok, MEDICINA, 2001
⌘ Buda Béla: Szenvedélyeink, SUB ROSA
⌘ Bárdos György: Pszichovegetatív kölcsönhatások, SCOLAR, 2003
⌘ ✍ Életmód-egészség /Természet Világa II. különszáma 2003
⌘ Dr Józsa László: Akupunktúra és moxibusztió – gyógymód vagy mágia? MEDICINA, 1986
⌘ Melzack, Ronald: A fájdalom rejtélye, GONDOLAT, 1977
⌘ ✍ Tompa Anna: Lázadó sejtek, GONDOLAT, 1985
⌘ ✍ Vigh Béla: A jóga és az idegrendszer, GONDOLAT, 1985
⌘ Végh Ilona: Ép estben ép lélek – segédanyag az egészségneveléshez NTK, 1998

Idegen eredetű szavak és jelentésük/ II.

Nem szerepelnek az egyes vegyületek hagyományos nevei, a latin-görög számnevekből képzett hivatalos vegyületnevek és azok a kifejezések, melyek eredetét már az I. kötetben megadtuk.
Rövidítések:
l. = latin; g. = görög; ar.= arab; n.=német; fr.= francia; ang. = angol eredetű szó
fiz. = fizikai; fil. = filozófiai; kém. = kémiai; mat. = matematikai; pszich. = pszichológiai; bio.= biológiai szakkifejezés

A

ADSZORPCIÓ *adsorbere l. = hozzákötődni*
- Kötődés valamely anyag felszínén. (kém.)

ADDÍCIÓ *additio l. = hozzáadás*
- Telítetlen vagy aromás vegyületekben a π-kötések fölszakadásával járó egyesülés.

ADDIKCIÓ *addictio l. = odaítélés, ragaszkodás*
- Valamely izgalmi állapotot kiváltó anyaghoz (pl. droghoz) vagy helyzethez való ragaszkodás és kényszeres viselkedés.

ADEKVÁT INGER *adaequat l. = megfelelő, egyező, „neki megfelelő”*
- Olyan inger, melyre legalacsonyabb az adott receptor ingerküszöbe.

AEROB *aer l. = levegő*
- Légköri oxigént igénylő szervezet vagy folyamat.

AGRESSZIÓ *agressus l. – fr. = támadó, sértő*
- Fajtárs ellen irányuló viselkedés. (bio.)

AKKUMULÁTOR *accumulare l. = feltölteni, felhalmozni*
- Kémiai energiát elektromos energiává alakító készülék, melyben a folyamat elektromos energiával (részben) megfordítható („feltölthető”).

ALKALOIDA *alkalium ar. = lúg, hamu*
- Lúgos kémhatású, nitrogéntartalmú növényekből kivont erős biológiai hatású anyag.

ALKOHOL *al kohlu, ar. = finom gőz, szellem*
- Szerves vegyületcsoport, melyben egy vagy több szénatomhoz hidroxilcsoport kapcsolódik. (kém.)

ALDEHID *al*kohol *dehyd*rogentatus *ar.-lat.*
- Szerves vegyületcsoport, melyben egy vagy több láncvégi szénatomhoz oxocsoport kapcsolódik (kém.)

AMALGÁM *málagma* ar. *g. = megpuhulás*
- Higanyötvözet. (kém.)

AMFOTER *amfóteros* (αμφοτερος) *g. = mindkettő*
- Savas és bázikus csoportot is tartalmazó vegyület. (kém.)

AMPLITÚDÓ *amplitudo l. = nagyság, terjedelem*
- Hullámok legnagyobb kitérése. (fiz.)

ANÓD *an+odosz g. = „anion útja”*
- Az elektronfölvétel helye, pozitív töltésű elektród, mely az anionokat vonzza. (kém. fiz.)

ANION *iénai* (ιεναι) *g. = menni, haladni*
- Negatív töltésű ion (kém. fiz.) (mely elektromos térben a pozitív pólus felé mozdul el).

APOLÁROS *a + pólosz* (πολοσ) *g. = polus l. = tengely, sarok(pont)*
- Mágneses pólust nem tartalmazó (molekula).

ARCHETÍPUS *arche l. = arkhé* (αρχη) *g. = kezdet*
- „Őskép”, tanulástól és kultúrától független ősi képi szimbólum Jung elméletében.

ASSZIMILÁCIÓ *similis l. = hasonló*
- 1. „Áthasonítás”, folyamat, melyben a külvilág anyagai a szervezetre jellemző anyagokká válnak. (bio.)
  2. Hasonulás egy hanghoz. (nyelvtan)
  3. Beolvasztás egy népbe vagy nyelvbe (történelem).

AUTOTRÓF *auto* (αυτο) *g. = saját + trofein = táplálni*
- Olyan élőlény, mely testének szerves anyagait képes szervetlen kiinduló anyagokból előállítani. (bio.)

B

BEHAVIORIZMUS *behaviour ang. = viselkedés, magatartás*
- Pszichológiai irányzat, mely csak a tapasztalható emberi vagy állati viselkedéssel foglalkozik.

D

DEKLINÁCIÓ *klinein* (κλινειν) *g. = elhajlani, declinatio l. = elhajlás*
- 1. Ragozás (nyelvt.)
  2. A mágneses és földrajzi észak-dél irány közé zárt szög.

DENATURÁCIÓ *natura l. = természet*
- Eredeti, természetes tulajdonságától való megfosztás. Kém. fehérjék enzimaktivitásának, biológiai funkciójának elvesztése.

DEPRESSZIÓ *depressio l. = lenyomás*
- 1. Pangás, (gazdasági) válság.
  2. Tartós lehangoltsággal járó lelki betegség. (pszich.)

DETERGENS *detergere l. = letörölni*
- Két eltérő polaritású folyadék közti felületi feszültséget csökkentő szer.

DESZTILLÁCIÓ *destillare l. = lecsöpögni*
- Folyadék gőzzé alakítása, majd a gőz lehűtésével tisztább folyadék lecsöpögése.

DELOKALIZÁLT *locus l. = hely*
- Helyhez nem kötött. (kém.)

DIFFÚZ *diffusio l. = szétfolyás, elterjedés*
- 1. Szórt (fény). (fiz.)
  2. ~ idegrendszer: olyan idegrendszer, melyben nincs központ. (bio.)

DIFFRAKCIÓ *dis+ fractus l. = szét/meg tört*
- Elhajlás (fényé, hangé) (fiz.)

DIÉTA *dies l. = nap, dieta l. = gyűlés(re kitűzött nap)*
- 1. Országgyűlés (történelmi)
  2. Tudatos étrend (bio.)

DISZPERGÁL *dispergere l. = szétoszlatni*
- Szétszór, apró részekre oszlat. (kém.)

DISSZOCIÁCIÓ *dissociatio l. = szétbomlás, szétválás*
- Bomlás. (kém.)

DISSZIMILÁCIÓ *similis l. = hasonló*
- Lebontó folyamat, melyben a szervezet molekulái elvesztik a szervezetre jellemző sajátságaikat.

DISSZONANCIA *dissonantia l. = egyenetlenség, rossz hangzás*
- Zavar, az összhang hiánya.

DINAMÓ *dünamisz (*δυναμις*) g. = hatás, erő*

E

EFFEKTUS *effectus l. = eredmény*
- Hatás, eredmény.

EKVIPOTENCIÁLIS *aequus l. = egyenlő + potenciális*
- Azonos potenciálú.

ELEKTROKARDIOGRAM (EKG) *elektro + kardía (*καρδια*) g. = szív + gram*
- A szívműködés elektromos aktivitását rögzítő görbe.

ELEKTROLIT *elektro + lütosz (*ελυτος*) g. = oldható*
- Olyan oldat vagy olvadék, amelyben mozgó ionok vezetik az elektromos áramot.

ELEKTRÓD *élektro g.+ odos = az elektromosság útja*
- Fémes vezető, mely áramkörben az elektrolittal vagy gázzal érintkezik. (Elektróda, ha a körülvevő közegét is beleértjük.)

ELEKTROLÍZIS *élektro + lüszisz (*λυσις*) g. = bontás, (meg)oldás*
- Áram hatására végbemenő oxidációs-redukciós kémiai folyamat. (Eredetileg: „bontás”.)

ELEKTROFORÉZIS *élektro + forein (*φορειν*) g. = hordozni, vinni*
- Elektromos töltésű molekulák mozgása elektromos térben.

ELEKTRON *élektron (*ελεκτρον*) g. = „kikapart” = borostyánkő*
- Elemi negatív töltést hordozó részecske.

EMBÓLIA *embolé (*εμβολη*) g.= betoldás, beszúrás, szoros*
- Érelzáródás.

EMULZIÓ *emulsion fr.-l. = kifejni (tejet)*
- Két egymásban nem oldódó folyadék finoman eloszlatott keveréke.

ENANTIOMER *enantíosz (*εναντιος*) g. = szemközti, ellentétes*
- Optikai aktivitást mutató, királis vegyületpár egyik tagja.

ENDOCITÓZIS *endo g.= bent + kűtosz (*κυτοσ*) g. = edény, üreges test*
- Nagyobb (nem oldott) részecskék bejuttatása a sejtbe (a vakuólumba) a sejthártya lefűződése útján.

ENDOPLAZMATIKUS RETIKULUM *endo= belül + reticulum l. = rácsozat*
- Eukarióta sejtek sejten belüli üregrendszere.

ÉTER *aithér (*αιθηρ*) g. = aether l. = könnyű anyag, éter*
- 1. A világűrt kitöltő anyag Arisztotelész rendszerében. (fil.)
  2. A fény vákuumbeli terjedésének vélt közege a XIX–XX. századi fizikában. (fiz.)
  3. Étercsoportot tartalmazó szerves vegyület. (kém.)

ÉSZTER *Essig n. = ecetsav + aether l.*
- Savból és alkoholból vízkilépéssel létrejövő vegyület. (kém.)

ESSZENCIÁLIS *essentia l. = lényeg (esse = lenni)*
- 1. Valaminek a lényegét adó tulajdonság. (fil.)
  2. Életfontosságú vegyület, amit a szervezet saját maga nem tud előállítani. (bio.)

ETOLÓGIA *éthosz (*ετηος*) + logosz g. = erkölcs, szokás + tan*
- Viselkedés v. magatartástudomány. (bio.).

EXOCITÓZIS *exo g.= kint + kűtosz (*κυτος*) g. = edény, üreges test*
- Nagyobb (nem oldott) részecskék kijuttatása a sejtből a vakuólum és a sejthártya összeolvadása útján.

EXTRAVERTÁLT *extra l. = kívül + verto l. = fordulok*
- A külvilág felé forduló lelki alkat.

EUFÓRIA *eu g. = jó + forein g. = mozgatni*
- Lelkesült, mindent pozitív színben föltüntető állapot.

F

FEROMON *ferre l. = vinni + omósz (*ομος*) g. = közös*
- Egyedek közti kémiai kommunikációt szolgáló anyag. (bio.)

FIBRIN *fibra l. = vékony szál*
- A véralvadásban részt vevő hálóképző fehérje. (bio.)

FIBRILLÁRIS *fibrilla l. = szálacska*
- Megnyúlt, rostszerű térszerkezetű (molekula). (kém.)

FLUXUS *fluxus l. = áramlás*
- Az erőtér egy meghatározott felületegységén átmenő erővonalak száma. (fiz.)

FRAKCIONÁLT DESZTILLÁCIÓ *fractio* l.= *töredék + destillare*
- Folyadékelegy alkotóinak fizikai szétválasztása forráspontkülönbségük alapján. (kém.)

FREKVENCIA *frequentia l. = gyakoriság, sűrűség*
• Rezgések időegységenként mért sűrűsége.
FÓBIA *fobein (φοβειν) g. = ijeszteni*
• Indokolatlan rettegés (pszich.).
FÓKUSZ *focus l. = tűhely*
• Gyújtópont (fiz).
FOTOTRÓF *fotósz (φοτοσ) g. = fénnyel + trofosz (τροφοσ) = táplálkozó*
• Olyan élőlény, mely képes a fényenergiát testének fölépítésére fölhasználni, kémiai energiává alakítani. (Azonos jelentésű a *fotoszintetizáló* szóval). (bio.)

G

GÉL *gelatine f. = kocsonya*
• Szilárd – folyékony nagy belső felületű kolloid rendszer.
GENERÁTOR *generator l.–ang. = nemző, létrehozó*
• Áramfejlesztő gép.
GESTALT *Gestalt n. = alak, forma*
• A testekre és jelenségekre mint egészre jellemző tulajdonságok.
GLAUKÓMA *glaukosz g. = színes, ragyogó*
• A csarnokvíz rendellenes felszaporodása, a szem keringési zavara, mely néha torz látást (színes gyűrűket) okoz.
GLOBULÁRIS *globulus l. = gömböcske*
• „Gömbszerű", tömör térkitöltésű (fehérje).
GRAVITÁCIÓ *gravitas l. = súly, teher*
• Az általános tömegvonzás, nagyságát a gravitációs erő adja meg.

H

HALLUCINÁCIÓ *hallucinatio l. = félrebeszélés*
• Érzékelési zavar, a tapasztaltak öntudatlanul hibás értékelése.
HARMÓNIA *harmonia l.,= (αρμονια)g. = összhang*
• Összhang, kiegyensúlyozottság, az ezt eredményező arányok.
HÉLIX *helikė (ηελικε) g = kanyarulat, csigavonal*
• Térszerkezet, a láncszerű molekula egy henger palástján futó csavarmenet vonalát követi.
HETEROTRÓF *heterosz g. = más(sal) + trofosz (τροφοσ) = táplálkozó*
• Olyan élőlény, mely saját szerves anyagait csak szerves anyagból képes fölépíteni. (S ezáltal más élőlényekre utalt.)
HERBICID *herba l. = fű, levél, tea + occidere l. = megölni*
• Növényekre ható méreg.
HIPOPOLARIZÁCIÓ *hipo = alatt + polaris l.*
• A sejthártya két oldala közti polaritáskülönbség csökkenése. (biol.)
HIPERPOLARIZÁCIÓ *hiper = fölött + polaris l.*
• A sejthártya két oldala közti polaritáskülönbség növekedése. (biol.)
HIDROLÍZIS *hüdor (υδωρ)+ lüszisz (λυσισ) g. = bontás, (meg)oldás*
• Kémiai bomlás víz hatására.
HIPNÓZIS *hüpnosz (υπνο) g.-fr. = álom*
• Álomhoz hasonló tudatállapot, melyben a személy fenntartja a kapcsolatot környezetével.
HOMEOSZTÁZIS *homeosz = hasonló és sztázisz = állapot, állás*
• Az önazonosság fönntartása változó külső körülmények között.
HORMON *hormon (ορμων) g. = serkentő*
• Szabályozó szerepű, testnedvben keringő vegyület.
HUMORÁLIS *humor l. = (test)nedv*
• A vérplazmához kötött (immunválasz) (bio.)

I

IDEA *idea g. = alak, forma*
• 1. A valóságosan létező, teljes (Platón)
2. A valóság tükröződése tudatunkban (materialisták).
3. Gondolat, képzet, terv (köznyelvi)
ILLÚZIÓ *illusio l. = képzelgés, irónia*
• Megtévesztő érzet, érzékcsalódás.
IMPRINTING *in+comprimere l. = nyomni , print a. = nyomtat*
• Csak adott időszakban lehetséges, tartós hatású tanulás, bevésődés.
IMMUNITÁS *immunitas l. = adó v. szolgálatmentesség, kívülállás*
• A szervezet biokémiai önazonosságát megőrző állapot, védettség valamely antigénnel szemben.
IMMUNOGÉN (=ANTIGÉN) *immunitas + genao g. = létrehozok*
INFARKTUS *in + farcere l. = eltömni, elzárni (t.i eret)*
• Szövetelhalás oxigén- és tápanyaghiányban (bio.)
INDIKÁTOR *indicare l = jelezni; indicator = jelző*
• 1. Kémiai állapotot vagy állapotváltozást színével jelző anyag. (kém.) 2. Bármely élőlény vagy csoport, amely egy környezeti tényező hatását mutatja, jelzi. (bio.)
INFLUENCIA *influentia l. = befolyásolás, áradás*
INKLINÁCIÓ *klinein (κλινειν) g = elhajlani*
• Az iránytű függőleges irányú helyi eltérése az északdéli földrajzi iránytól.
INTERFERENCIA *inter l. = között, kölcsönös + ferre l. = vinni*
• Elemi hullámok összeadódásából keletkező tartós mintázat.
INTERNEURON *inter l. = közti, neuron l. = idegsejt*
• Olyan idegsejt, mely csak másí idegsejtekkel érintkezik, azokkal alkot szinapszist.
INTROVERTÁLT *intro l. = be + verto l. = fordulok*
• Befelé forduló lelki alkat.
IZO-*iszosz (ισος) g. = egyenlő, azonos*
• Izo-vonalak: azonos tulajdonságú pontokat összekötő vonalak a tematikus térképeken.
IZOMEREK *iszosz (ισος) g. = egyenlő, azonos + merosz (μερος)g. = rész*
• Azonos összegképletű, de eltérő szerkezetű vegyületek.

K

KATÓD *kat+odosz g = „kation útja”*
- Az elektronleadás helye, negatív töltésű elektród, mely a kationokat vonzza (kém, fiz.)

KATION *iénai (ιεναι) g. = menni, haladni*
- Pozitív töltésű ion (kém, fiz.) (mely elektromos térben a negatív pólus felé mozdul el).

KARANTÉN *quaranta ol. = 40*
- Tartós (eredetileg 40 napos) elzárás, elkülönítés.

KASZKÁD *cascade ang. = vízesés*
- Folyamatsor, melyben minden következő tag erősíti az előző hatását.

KEMOTRÓF *kemo + trofosz (τροφος) = táplálkozó*
- Olyan élőlény, mely csak vegyületekben (kémiai kötésben) rejlő energiát tud testének fölépítésére fölhasználni, kémiai energiává alakítani. (bio.)

KIBERNETIKA *kübernétész (κυβερνητς) g. = kormányos*
- Rendszerek szabályozásával és vezérlésével foglalkozó tudomány.

KLOROPLASZTISZ *klorósz (κλορος) = zöldessárga + plasztisz (πλατις) g. = test*
- Zöld színtest.

KOAGULÁCIÓ *coagulatio l. = megalvadás, összemenés*
- Kolloid oldat részeinek összetapadása, kicsapódása.

KOENZIM *co (együtt) + en+ dzümé (ζυμη) g.= élesztő, kovász*
- Enzimekhez ideiglenesen kapcsolódó szállítómolekula.

KOGNITÍV *cognoscol. = megértek, fölismerek*
- Tudással, megértéssel, belátással kapcsolatos (pszich.).

KOLLOID *kolla (κολλα) g.= enyv*
- Két (vagy több)fázisú rendszer, melyben a szétoszlatott részek átmérője 1-500 nm közt van. (kém, fiz.)

KONDENZÁCIÓ *condensatio l. = sűrűsödés, sűrítés*
- 1.Gőzök cseppfolyósodása, kicsapódása. (fizkém).
  2. két szerves molekula összekapcsolódása kis molekulájú melléktermék kiválásával (szerv. kém.)

KONDENZÁTOR *condensatio l. = sűrűsödés, sűrítés*
- Elektromos töltések összegyűjtésére alkalmas eszköz.

KONSTITÚCIÓ *constitutio l. = rendezettség, alkotmány*
- 1. Alkotmány
  2. Szerkezet, kapcsolódási rend (molekuláé) (kém.)

KONFIGURÁCIÓ *con + figurare l. = képezni*
- Térszerkezet (kém.).

KORRÓZIÓ *corrodere l. = megrágni*
- Fémtárgyak oxidatív pusztulása.

KRAKKOLÁS *to crack* ang.= törni
- Molekulák hőbontása, tördelése.

KIRÁLIS *kheir (χειρ) g. = kéz*
- Olyan szerves molekula, mely nem hozható fedésbe tükörképi párjával.

KROMATOGRÁFIA *kromatosz = színes + grafein g. =rajzolni*
- Molekulaelegy összetevőinek azonosítási és szétválasztási eljárása, mely az egyes molekulák eltérő adszorpciós képességén alapul.

KRÍZIS *krinein (κρινειν) g. = elválasztani; krísszisz (κρισς) = megkülönböztetés, szétválasztás, döntés, ítélet*
- Válságos helyzet, egy folyamat fordulópontja.

L

LONGITUDINÁLIS *longitudo l. = hosszúság*
- Olyan hullám, melyben a pontok rezgése és a hullám terjedése egy egyenesbe esik.

M

MÁNIA *manía (μανα) g. = őrület*
- Felfokozott aktivitással járó pszichikai betegség.

MANIPULÁL *manipulare l. = kezelni*
- Valakit annak hozzájárulása és tudomása nélkül befolyásol, irányít.

METAKOMMUNIKÁCIÓ *meta g.= túli, utána + communicatio l. = kapcsolattartás*
- Testbeszéd, kommunikáció testtartással, mimikával.

MIAZMA *miainein – szennyezni*
- Fertőző betegségek vélt oka, kigőzölgés.

MICELLA *cella l. = (kis) szoba*
- Detergensmolekulák halmaza eltérő polaritású közegben.

MIKROSZKÓP *mikro = kicsi + szkopein (σκοπειν) g. = nézni*
- Erős nagyítású képet adó (általában) összetett lencserendszert tartalmazó eszköz.

MITOKONDRIUM *mítosz (μιτος) g.=fonal + khondrosz (χονδρος) = szemcse*
- ATP-t termelő sejtszervecske eukarióta sejtekben.

N

NEURÓZIS *neuron (νευρον) g. = húr, rost, ideg(sejt)*
- Az idegrendszer betegsége (pszich.).

O

OZMÓZIS *oszmosz (ωσμο) g. = nyomás, lökés*
- Kismolekulájú anyag diffúziója féligáteresztő hártyán át.

P

PANTEIZMUS *pan + theosz (θεος) g. = általános + isten*
- A világ egészét az istenséggel azonosító vagy a világ minden részében istent látó filozófiai irányzat.

PARASZIMPATIKUS *para = mellett + szimpatikus g.*
- A szimpatikus idegrendszer kiegészítője, a belső szervek tartalékait megőrző rendszer.

PERSONA *persona l. = maszk, álarc, szerep*
- A „szerepszemélyiség” Jung felfogása szerint.

pH *pondus Hidrogenii g.-l. = hidrogén súly*
- Oldat kémhatását mutató szám.

PEPTID, POLIPEPTID *peptósz (πεπτς) g. = főtt; poli = sok*
- Egy, ill. sok peptidkötést tartalmazó vegyület (egyszerű fehérje).

PEPSZIN *péfisz (πηφις) g. = ételkészítés*
- A gyomornedv fehérjebontó enzimje.

POLIMERIZÁCIÓ *poli + merosz (μερος) g. = sok rész*
- Óriásmolekula keletkezése sok azonos egységből (monomerből) melléktermék keletkezése nélkül.

POLARIZÁCIÓ *pólosz (πολος) g. = polus; l. = tengely, sarok(pont)*
- 1. Ellentétes szélsőségek megerősödése.

PROJEKCIÓ *projicere l. = eldobni, kiűzni, kinyújtani*
- Kivetítés: saját elképzeléseink, hibáink másoknak tulajdonítása. (pszich.)

PROPAGANDA *propagare l. = terjeszteni*
- Eszmék, elméletek módszeres, tömeges terjesztése, hirdetése.

PRION *protein only*, ang. = *csak fehérje* (mozaikszó)
- Csak fehérjéből álló fertőző molekula. (bio. kém.)

PROTON *próteiosz (πρωτειος) g. = első, elsőrendű, eredeti*
- Pozitív töltésű elemi részecske.

PROTEIN *próteiosz (πρωτειος) g. = első, elsőrendű, eredeti*
- Fehérje.

PSZICHÓZIS *pszükhé (ψυχη) g. = lélek*
- Lelki betegség.

PSZICHOSZOMATIKUS *pszükhé (ψυχη) g. = lélek + szóma (σωμα)g. = test*
- Lelki okokkal magyarázható testi elváltozás, test és lélek kölcsönhatásán alapuló jelenség.

PUPILLA *pupilla = babácska, l.*
- A szivárványhártya által határolt rés a szemben (melyben a szemlélő saját kicsinyített képét, a „pupillát” láthatja).

R

REFLEX *reflexio l. = visszafordítás, visszaverés*
- A szervezet öntudatlan vagy tanult válasza valamely ingerre.

REFLEKTOR *reflexio l. = visszafordítás, visszaverés*
- Fényszóró, melyben egy homorú tükör közel párhuzamos fénynyalábot állít elő.

REKLÁM *re+ clamare l. = kiáltani*

RITUALIZÁCIÓ *ritus l. = vallási eredetű szokás*
- Eredetileg más célú viselkedések funkcióváltása, jelzéssé alakulása K. Lorenz szerint. (bio.)

S, SZ

SPECIFIKUS *species l. = faj, fajta*
- Fajlagos, sajátos.

STACIONÁRIUS *statio l. = állás, hely*
- Nyílt rendszer időben állandó állapota.

STRESS *stress ang. = feszültség, nyomás*
- A szervezet izgalmi állapota.

SZARKOMÉRA *szarksz (σαρς) g. = hús, test + merosz = rész*

Az izomfonalak elemi egysége.

SZAPROFÁG *szaprósz (σαπρος) g. = korhadt + fageo = eszem*
- Korhadékbontó, élettelen szerves anyaggal táplálkozó.

SZELEKTÍV *selectio l. = válogatás*
- Válogató.

SZMOG *smoke ang. = füst + fog ang. = köd összevonásából (1911)*
- Emberi hatásra létrejövő határértéket meghaladó mértékű légszennyezés.

SZIMPATIKUS IDEGRENDSZER *szünpatheia (συνπαθεια) g.= együtt szenvedés, együttérzés*
- A vegetatív idegrendszer izgalmi állapotban aktiválódó része.

SZINAPSZIS *szünapszisz (συναψις) g. = kapcsolat, egyesülés*
- Idegsejt kapcsolódása más sejthez.

SZOMATIKUS REFLEX *szóma (σωμα) g. = test*
- Akaratunktól függő, vázizomhoz futó rostok alkotják.

SZUBSZITÚCIÓ *substitutio l. = helyettesítés*
- Valamely hidrogénatom cseréje más atommal vagy atomcsoporttal.

SZUBSZTRÁT *substratum l. = alátett (dolog), alap*
- Katalizátorhoz kötődő, átalakítandó anyag.

SZUPERNORMÁLIS *super = fölött, túl*
- A szokottnál, természetesnél erőteljesebb (inger). (pszich. bio.)

T

TAXIS *taxisz (ταχις) g = hely, helyzet, rendezés*
- Az inger irányától függő helyváltoztató mozgás. (bio.)

TENZID *tensio l. = feszítés, feszültség*
- Felületi feszültséget csökkentő anyag.

TRANSZVERZÁLIS *transversus l. = keresztirányú, átlós*
- Keresztirányú: olyan hullám, melyben a pontok a hullám terjedésére merőlegesen rezegnek.

TRANSZPONÁLÁS *transponere l. =áthelyezni*
- 1. Zeneművet más hangnembe tesz.
  2. Valamely alakot (Gestalt) úgy módosít, hogy eközben a forma egészének jellegzetességei megmaradnak.

TRANSZMITTER *transmissio l. = átadás, átküldés*
- Ingerületátvivő anyag a szinapszisban.

V

VAKCINÁLÁS *vacca ol. = tehén*
- Aktív immunizálás a szervezetbe juttatott legyengített kórokozóval/antigénnel.

VEGETATÍV IDEGRENDSZER *vegetativ l. = „növényszerű” (=autonóm)*

• Az idegrendszer zsigeri szervek szabályozását végző része.

VIS VITALIS, VITALIZMUS *vis vitalis l. = életerő*

• A XIX. században föltételezett erő, mely csak az élő szervezetben működne. = Az ezt hirdető irányzat.

VÍRUS *virus l. = méreg*

• Fehérjét és nukleinsavat tartalmazó, élő sejt által önmagát szaporíttatni képes molekulacsoport. (bio. kém.)

VÁKUUMAKTIVITÁS *vacuum l. = üresség*

• Kulcsinger hiányában is megjelenő öröklött viselkedés vagy annak néhány eleme.

Felhasznált képek jegyzéke

Ádám György: Érzékelés, tudat, emlékezés GONDOLAT 1969. XVIII. 64., 84., 91.
A lélek és az értelem ABC-je READERS DIGEST 1992. XVI. 14., 30. XVII. 17., 49. XVIII. 58.
Alexay Zoltán: Szigetköz – ember és táj GONDOLAT, 1982. XVIII. 108.
Az energia MŰSZAKI, XI. 8., 15., 29.

Balázs Lóránd: A kémia története I–II. NEMZETI TANKÖNYVKIADÓ, 1996. XII.10., 30., 61., 66.
Benedek István: A tudás útja GONDOLAT, 1976. XVIII. 11., 95., 104.
Benedek István: Semmelweis és kora GONDOLAT, XVIII. 93.
Bergman, Ingmar: Képek EURÓPA, 1992. XVII. 28.
Bíró Endre: A modern biokémia alapkérdései GONDOLAT, 1962.
Borec, Tomas: Jó napot, Ampére úr! MÓRA, 1980. XI. 1.

Csermely Péter: Stresszfehérjék VINCE, 2001. XII. 113.
Csányi Vilmos: Sejtbiológia GONDOLAT 1976. XIII. 52.
Csontváry Kosztka Tivadar: Önéletrajz (in: Csontváry-emlékkönyv) CORVINA 1976.
Czógler Alajos: A fizika története életrajzokban MKTTT, 1882. XI. 4., 22., 23.

Diamond, Jared: Háborúk, járványok, technikák TYPOTEX, 2000. XVIII. 49.
Dragon Veins of the LANDSCAPE NATIONAL PALACE MUSEUM Taipei XVIII. 77.

Egry József Emlékmúzeum katalógusa VESZPRÉM MEGYEI MÚZEUMI IGAZGATÓSÁG 1973. XIV. és XV. címlapképek
Elődi Pál: A fehérjék titkai nyomában GONDOLAT, 1972. XII. 99.,100. XIII. 43.
Endrei Walter: A programozás eredete AKADÉMIAI, 1992. XVIII. 3., 5.
Erdey-Grúz Tibor (szerk.): A kémia és vívmányai I–II. MKTTT, 1940. XI. 48., 50., 68.

Fuchs, Waler R.: Az új tanulási módszerek KÖZGAZDASÁGI, 1971 XVI.7.,10.,11.,18.
Frankl, Viktor: Az ember az értelemre irányuló kérdéssel szemben KÖTET 1996. XVII. 31.

Gérard, Max: Dali… Draeger Editeur 1974. XVII. 15.
Gregory, R.L–Gombrich E.H: Illúzió a természetben és a művészetben GONDOLAT, XVIII. 63., 70.,71., 73., 74., 75., 76.
Gulillemin, Amédéé: Mágnesség és elektromosság MKTTt, 1885. XI. 3., 7., 52b., 55., 67.

Halifman, I.: Csetirokilije korszari GYETSZKAJA LITERATURA, Moszkva, 1978. XVI. 22., 25., 33.
Hotershall, David: History of Psychology Temple UNIVERSITY PRESS Philadelphia 1984. XVI. 5a., 7a., 13.

Jung, Carl Gustav: Titokzatos jelek az égbolton KOSSUTH 1993 XVII. 25., 30.
Jursa, Oskar: Kibernetika MŰSZAKI, 1978. XVIII. 6., 7., 12.

Dr. Katona Ferenc: Az agy felfedezése GONDOLAT 1969. XVIII. 31.
Kepes György: The new Landscape in Art and Science Cambridge, 1956 / A világ új képe CORVINA, 1979. XVIII. 28., 41.
Kovács László: Békésy György, az orvosi Nobel-díjas kísérleti fizikus SAVARIA Szombathely 1999. XVIII. 81., 82.
Shirley Quan: Makrofág fotója in: Tudomány, 1988. 09. XVIII. 100b.
Kajtár Márton: Változatok négy elemre GONDOLAT, 1984. XII. 70.,103.,105.,106.
Kertai Pál: Korunk biológiája GONDOLAT, 1973 XII/94., 97., 101; XIII. 13., 14., 54. XVIII. 12., 33., 35., 53., 100., 105.,
Kendall, Jack: Davy élete GONDOLAT, 1967
Kisbán Gyula: Welcome to Zooland! MOGÜRT é.n. XVII. 36.
Kugemann, Walter: Megtanulok tanulni GONDOLAT 1981 XVI. 7., 10., 11., 18.

Lénárd Ferenc: A lélektan útjai FRANKLIN, 1947 XVI.2.
Lorenz, Konrad: Salamon király gyűrűje KATALIZÁTOR, 1994. XVI. 29.
Lorenz, Konrad: Válogatott tanulmányok GONDOLAT, 1977.
Lorenz, Konrad: Én itt vagyok – te hol vagy? TOTEM, 1999.
Lovas Béla: Mikroszkóp-mikrokozmosz GONDOLAT XIII. 31., 50.

Melzack, Ronald: A fájdalom rejtélye GONDOLAT, 1977, XVIII. 115., 117.
Meadows, Jack (szerk): A tudomány csodálatos világa HELIKON, 1990 XI. 39., 41., 51., 52a., XVII. 11., 12., 14., 16., 21.

Mittman et Maglio M.: Pálcikák és csapok a retinában in: TUDOMÁNY 1987. 06. XVIII. 66.b
Minerva Képes Enciklopédia I–IV. KOSSUTH, 1973. XVIII. 94., 96., 101., 102.

Németh Pál: Az írás és olvasás felelőssége MUNDUS, 1998. XVII. 2., 7.
Nilsson, Lennart: Eine reise in das Innere unseres Körpers TASCHENBUCH, 1992. XIII. 23., 24., 46. XVIII. 92.,100b.

Obál Ferenc (szerk): Az emberi test I–II. GONDOLAT 1986. XIII. 35., 39., 49b., XVIII. 26., 50., 51.

Pease, Alan: Testbeszéd PARK, 1990 XVII. 37.
Pető – Szabadváry: A kémia nagy pillanatai MÓRA, 1980. XII. 26.
Paturi, Felix (szerk): A technika krónikája OFFICINA NOVA, 1991

Raths, Paul: Az állatok téli álma GONDOLAT, 1975.

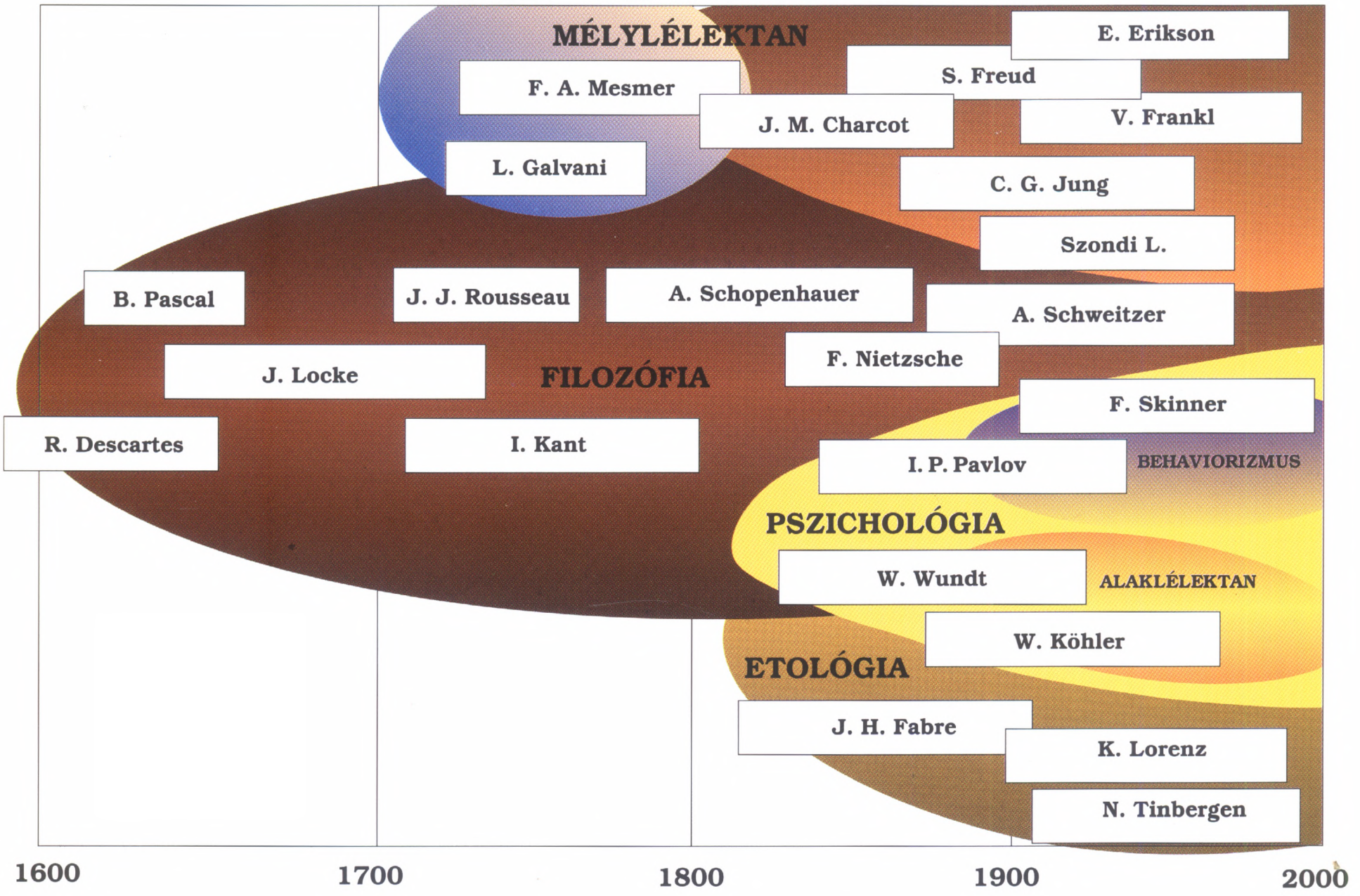
Schneider, Leo: Életünk és a mikrobák MÓRA, 1974. XVIII. 98., 99.
Schneider, Leo: Hogyan érzékelünk? MÓRA, 1976. XVIII. 67.
Schweitzer, Albert, a gondolkodó REF ZSINATI IRODA, 1989. XVII. 10.
Simonyi Károly: A fizika kultúrtörténete GONDOLAT, 1981. XI. 31., XV. 28., 29., 47., 49.
Slater, Peter J. B.: Bevezetés az etológiába MEZŐGAZDASÁGI, 1987. XVI. 24., 37., 38., 41.
Slater, Peter J. B. (szerk.): Az állatok viselkedése HELIKON, 1992. XVI. 34.
Szurovy Géza: A kőolaj regénye HÍRLAPKIADÓ, 1993. XII. 21.

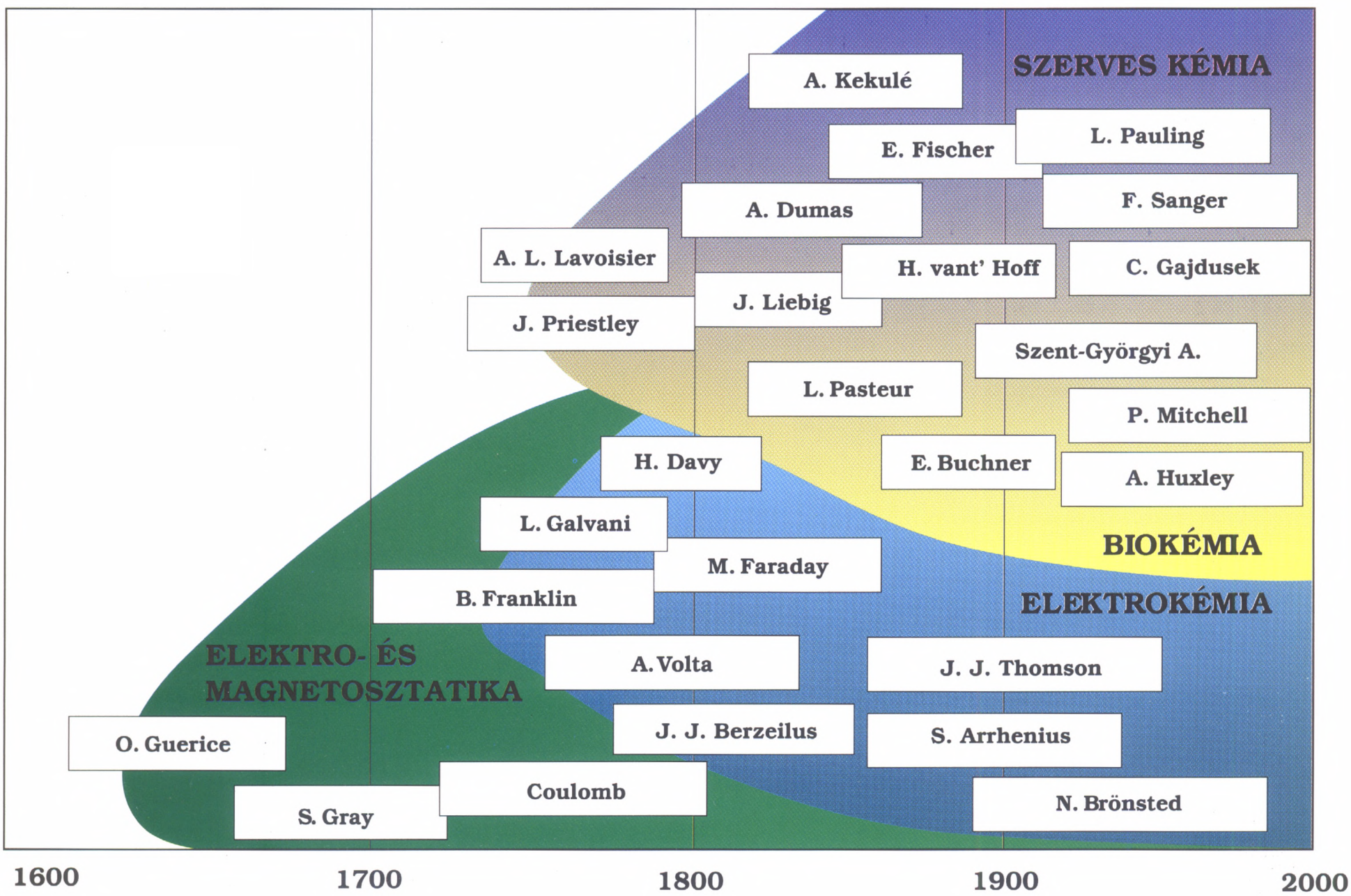
Thorne, M.–Henley, T.: A pszichológia története GLORIA, 2000. XVI. 17., XVII. 9.
Tinbergen, Niko: Az ösztönről GONDOLAT, 1976. XVI. 31., 32.

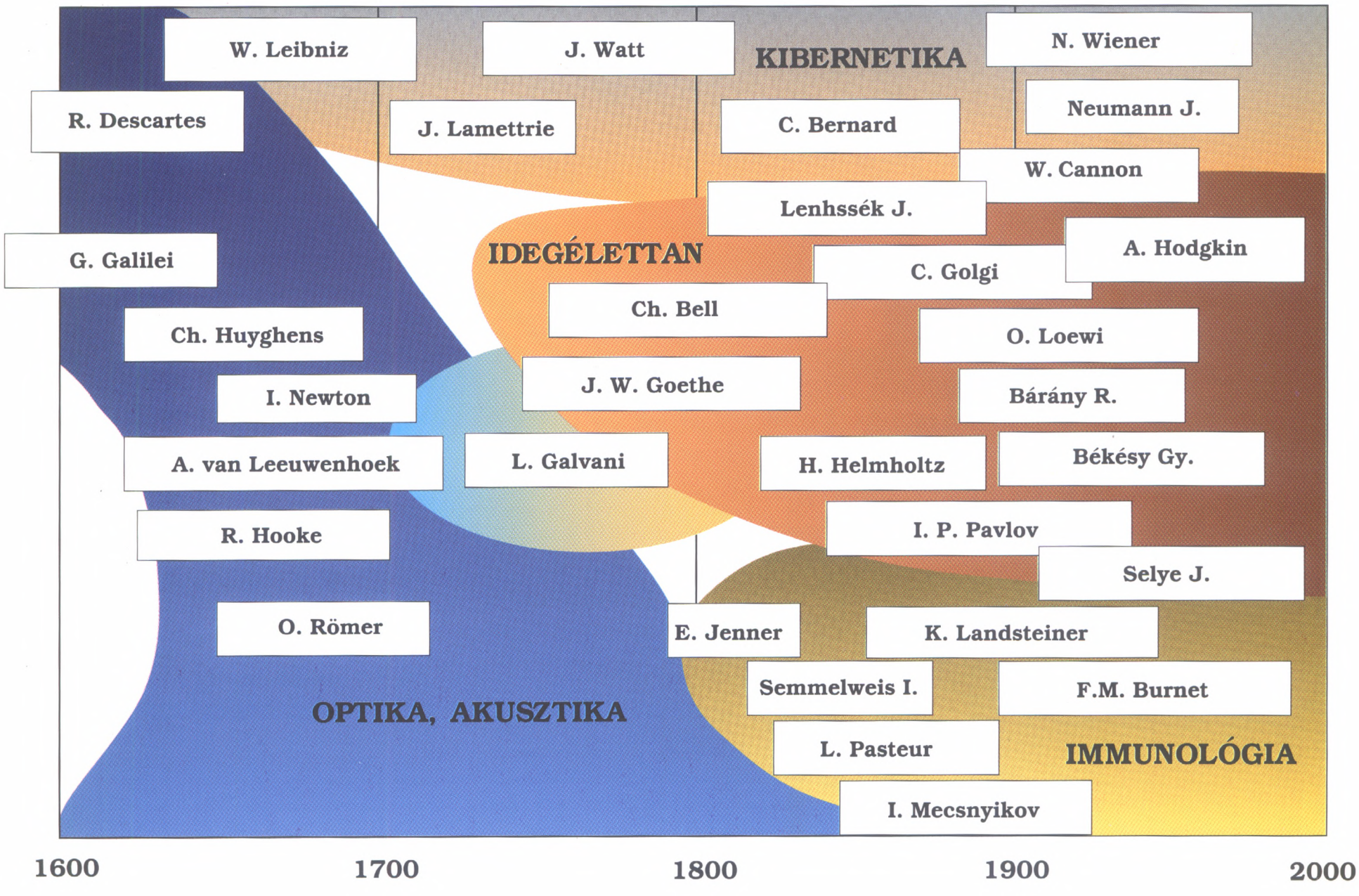
Dr. Vígh Béla: A jóga és az idegrendszer GONDOLAT, 1985. XVIII. 117. b.

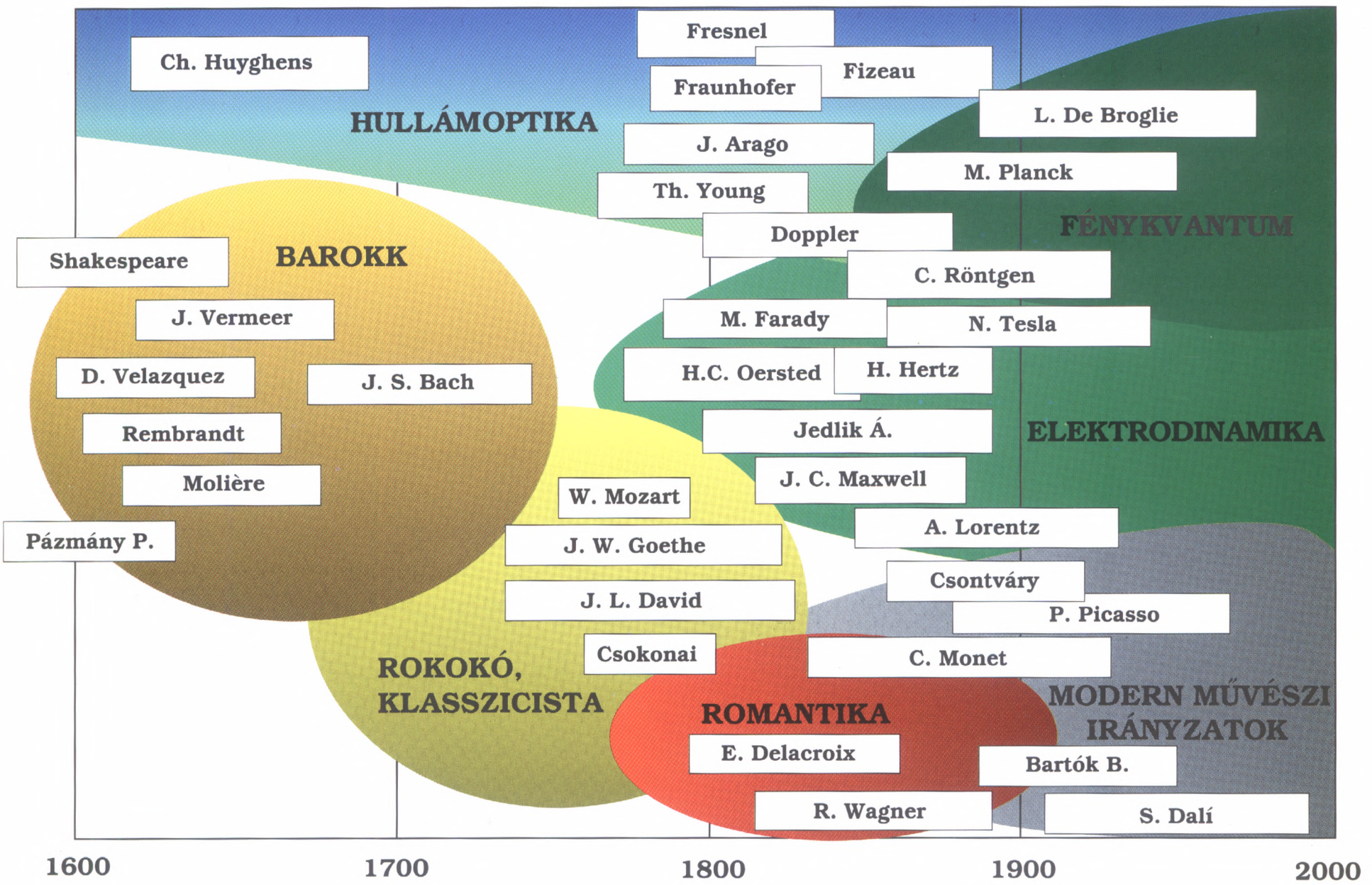
Wagner, Wolfgang (szerk.:) Parsifal PROGRAMHEFTE DER BAYREUTHER FESTSPIELE 1982. XVII. 5., 6.
Wiener, Norbert: Matematikus vagyok GONDOLAT, 1968. XVIII. 8.

Nyomdai előkészítés: Todas és Társa Kft.
Nyomta és kötötte: Kinizsi Nyomda, Debrecen
Felelős vezető: Bördős János


MÉLYLÉLEKTAN
E. Erikson
S. Freud
F. A. Mesmer
J. M. Charcot
V. Frankl
L. Galvani
C. G. Jung
Szondi L.
B. Pascal
J. J. Rousseau
A. Schopenhauer
A. Schweitzer
F. Nietzsche
J. Locke
FILOZÓFIA
F. Skinner
R. Descartes
I. Kant
I. P. Pavlov
BEHAVIORIZMUS
PSZICHOLÓGIA
W. Wundt
ALAKLÉLEKTAN
W. Köhler
ETOLÓGIA
J. H. Fabre
K. Lorenz
N. Tinbergen
1600
1700
1800
1900
2000


SZERVES KÉMIA
A. Kekulé
L. Pauling
E. Fischer
F. Sanger
A. Dumas
A. L. Lavoisier
H. vant' Hoff
C. Gajdusek
J. Liebig
J. Priestley
Szent-Györgyi A.
L. Pasteur
P. Mitchell
H. Davy
E. Buchner
A. Huxley
L. Galvani
BIOKÉMIA
M. Faraday
B. Franklin
ELEKTROKÉMIA
ELEKTRO- ÉS
MAGNETOSZTATIKA
A. Volta
J. J. Thomson
J. J. Berzeilus
S. Arrhenius
O. Guerice
Coulomb
S. Gray
N. Brönsted
1600
1700
1800
1900
2000


W. Leibniz
J. Watt
KIBERNETIKA
N. Wiener
R. Descartes
J. Lamettrie
C. Bernard
Neumann J.
W. Cannon
Lenhssék J.
G. Galilei
IDEGÉLETTAN
A. Hodgkin
C. Golgi
Ch. Bell
Ch. Huyghens
O. Loewi
J. W. Goethe
I. Newton
Bárány R.
A. van Leeuwenhoek
L. Galvani
H. Helmholtz
Békésy Gy.
I. P. Pavlov
R. Hooke
Selye J.
O. Römer
E. Jenner
K. Landsteiner
Semmelweis I.
F.M. Burnet
OPTIKA, AKUSZTIKA
L. Pasteur
IMMUNOLÓGIA
I. Mecsnyikov
1600
1700
1800
1900
2000


Fresnel
Ch. Huyghens
Fizeau
Fraunhofer
L. De Broglie
HULLÁMOPTIKA
J. Arago
M. Planck
Th. Young
Doppler
FÉNYKVANTUM
Shakespeare
BAROKK
C. Röntgen
J. Vermeer
M. Farady
N. Tesla
D. Velazquez
J. S. Bach
H.C. Oersted
H. Hertz
Rembrandt
Jedlik Á.
ELEKTRODINAMIKA
Molière
J. C. Maxwell
W. Mozart
Pázmány P.
A. Lorentz
J. W. Goethe
Csontváry
J. L. David
P. Picasso
Csokonai
C. Monet
ROKOKÓ,
KLASSZICISTA
ROMANTIKA
MODERN MŰVÉSZI
IRÁNYZATOK
E. Delacroix
Bartók B.
R. Wagner
S. Dalí
1600
1700
1800
1900
2000

„Tudatosan nem foglalkoztam az idegimpulzusok áttételének kérdésével. Mindig rejtély marad számomra, miért éppen én voltam kiszemelve arra, hogy ezt a fontos élettani problémát megoldjam.

1921 húsvét éjszakáján fölébredtem, meggyújtottam a villanyt, és egy apró papírszeletkére néhány jegyzetet firkáltam. Azután újra álomba merültem. Reggel hat óra tájban úgy tűnt, hogy az éjszaka folyamán valami fontosat írtam le, azonban képtelen voltam megfejteni az irkafirkát. Ez a vasárnap tudományos életem legkétségbeejtőbb napja volt. A következő éjszaka három órakor fölébredtem, és visszaemlékeztem, hogy mi volt az írásban. Ezúttal nem vállaltam semmi kockázatot: azonnal felkeltem, a laboratóriumba mentem és elvégeztem a kísérletet...

Hajnali öt órára az idegingerület kémiai transzmissziója meggyőzően bebizonyosodott."

Otto Loewi

A kísérletező ember írói a tanítás mellett hosszú ideje részt vesznek a pedagógiai fejlesztő munkában is. E könyv és korábban megjelent társa (*Források*, Nemzeti Tankönyvkiadó) részei egy sorozatnak, mely 25 év munkájának eredményeképpen lát napvilágot. Szerzői minden fejezet taníthatóságát kipróbálták a gyakorlatban is. A *Források* elnyerte a Magyar Tudományos Akadémia oklevelét.

A sorozat egésze lefedi a fizika, a kémia, a biológia és a természetföldrajz középiskolai érettségi vizsgakövetelményeinek egészét és a fontosabb filozófiai és pszichológiai témaköröket is. A diszciplínák világosan elkülönülnek benne, így alkalmas az egyes tantárgyak önálló tanulására/tanítására is. Fő újdonsága azonban az, hogy gazdag utalásrendszerével megmutatja a természettudományos tárgyak közötti kapcsolatokat, felismerésük történetét, a kutatás módszereit, s mindezt az európai műveltség egészébe illeszti.

A szerzők példaképei, szellemi iránymutatói: Németh László, Simonyi Károly, Thomas Kuhn és Paul Feyerabend.

ISBN 963 9642 03 7

9 789639 642034

KAIROSZ

Ár: 7900 Ft