

# NÉMETH LÁSZLÓ

# NÉGY KÖNYV

## TARTALOM

A NÉGY KÖNYV-RŐL  
TUDOMÁNYTÖRTÉNETI MUNKÁK  
A KLASSZIKUS FIZIKA  
VEGYI IPAROK  
A VEGYTAN JEGYZETBŐL  
ANYAGISMERET  
ÉLETVEGYTAN  
AZ ÉLETTAN TÖRTÉNETE  
SZERVES VEGYTAN  
ANYAGHALMAZOK  
FIZIKAI KÉMIA  
A XVIII. SZÁZAD FIZIKÁJA  
A VEGYTAN TÖRTÉNETE  
BIOKÉMIA  
A MATEMATIKA KIALAKULÁSA  
A MATEMATIKA FEJLŐDÉSE A XIX. SZÁZADBAN  
TECHNOLÓGIA  
BEVEZETÉS A LATIN NYELVTANHOZ  
A FRANCIA NYELV  
LATIN SZAVAK A MAGYARBAN  
  
A KIADÓ JEGYZETE

## A NÉGY KÖNYV-RŐL

*Ismertetés a kiadó számára*

A négy könyv terve 1944 nyarán született meg, a mezőszilasi alsó temetőben, az akkori kiadómossal szőtt ábrándokban. 18 év múltán - 1962 júniusában - eljutottunk oda, hogy a Gondolat kiadóval megállapodtunk egyelőre két részének: a *Természetismeret*-nek és a *Matematika és alkalmazásai*-nak a megírására; mint bibliográfust (hogy úgy mondjam, tudományos kéz alá dolgozó) pedig a fiatalabb nemzedék egyik nagy általános tájékozottságú és külön tudománytörténeti készségségű tagját sikerült megnyernem munkatársul.

Az a gondolat, hogy az emberi műveltségen áttekintést szerezzek, s leglényegesebb elemeit egy összefoglaló munkában rögzítsem, most kerít harmadszor hatalmába. Első ízben a harmincas évek elején: amikor mint a „jelen történésze” (ez volt a sokat fölhányt Ortega-hatás) készültem neki az „egy agyban összeállt” *Új enciklopédia* megírásának. Hogy mi készült el belőle, tudják, akik a *Tanú*-t (a nagy munkának inkább csak felvonulási épületét) ismerik. A megpezdült mozgalom s az egyre nyomasztóbbá váló nemzeti élet akkor elvont ettől a munkától, melyhez ha az alapok (történeti érzék, természettudományos képzettség, nyelvtudás) meg is volt, hiányzott az anyagfelhajtó mozgékonyosság s az átrágás kellő szívóssága. Másodszor, vásárhelyi tanárságom alatt, már szerényebbre tűztem ki a célt: tulajdonképp csak egy nagy, olvasható tankönyvet akartam írni felnőtteknek, akik vagy nem jártak iskolát, vagy keveslik az ott tanultat. Mint kísérletező tanár ennek a tankönyvnek (*Négy könyvnek*) a fejezeteit mondtam el óráimon. Akkor irodalmi munkáim, pontosabban regényszerződésem szólitottak el tankönyvemtől, majd műhelyemből is, s tán valami rossz sejtelem, hogy óráimon máris messze túlmentem a középiskolás határokon, s ha könyvem meg is jelenik, abban a specialistákat szaporító korban „maximalista” túlzásnak minősítik. Most, a szerződés aláírásakor még szerényebb szerepet vállalok: nem mint enciklopédista, nem is mint tanár, csak mint egyszerű tanuló, mondjuk, előtanuló állok a tanulási lázba esett nemzet elé, hogy mielőtt lehunyánám szemem, azt, amit az emberi műveltségben legfontosabbnak látok, helyette s neki még egyszer áttanuljam.

De ha a szerep, melyet a könyv írásával vállaltam, mind igénytelenebbé vált is, a cél, amely a munka fölött lebeg, bár körülírta, még mindig igen (félek, hogy arcátlanul) magas. *Enciklopédiá*-mmal, mint a *Tanú*-val is: a műveltség egy-egy tárnájába szorult szakmunkást, ahogy ma mondják: szakbarbárt akartam az összefüggésekre s az egészre emlékeztetni; az elég joggal elmarasztalt XIX. századot egy hipotetikus XX.-kal orvosolni. A *Négy könyv* is több lett volna, mint szakérettségizők segédkönyve: egyfajta Noé-bárka is, mely a szívemnek oly kedves nyugati civilizáció ragyogását és változatait - a Minőséget - szerette volna az új szocialista Magyarországra átmenteni. Ma egy új iskola igénye az, ami diákká tesz, én szeretnék első őszfejú tanulója lenni annak az általános egyetemnek, amelynek elképzelésem szerint úgy kell egész oktatásunkat egy szinttel feljebb húzni, ahogy az általános iskola húzta a régi polgárik színvonalára, s ahogy újabban az általánosnak tervezett középiskola az érettségéire.

\*

Amikor a *Négy könyv* tervét annak idején fölvázoltam, azt hittem, az egyedül ésszerű áttekintést készítem; nem vettem észre, mennyire belerajzolódott ebbe az általánosságba is egyéni hajlamom. Ma már tudom ezt, s óvatosan úgy fogalmazom, hogy ami bennem megért, az az áttekintésnek elsősorban történeti módja, s bár az anyaga a többinek is ez lenne nagyjából, elképzelhető másféle rendezés. A természettudomány s technológia felől érkezőnek

például a föld színén folyó munkák áttekintése lenne a fontosabb, a politikus hajlamúnak a gazdaság s politikai-földrajzi kép mélyebb megértése; sőt egy történelemellenes csoportosítás is elképzelhető, amely a történelem „invariáns” elemeit: filozófia, matematika, költészet eredményeit emelné ki: Babits Mihály például, ha vállalkozik, erre vállalkozott volna. Amit úgy mondhatunk, hogy az általános egyetemnek is több fakultása lesz, s mi a történelminek próbáljuk egyelőre még csak vastraverzeit felhúzni.

Ennek a fakultásnak voltaképp csak egy tárgya van, a legszélesebb értelemben vett történelem, amint könyvünk is egyetlen történeti áttekintés; természetismerete s matematikája olyanféle fölnagyítás, amilyennel képzőművészeti albumokban szokták a kép egy-egy különösen szép vagy fontos részét látómezőnkbe ugratni. Ebben az esetben az újkor történetéből nagyítanánk ki (az ismereteket keletkezésükben nyújtva) két fontos részletet, míg a *Nyelvekről* szóló könyv e történelmi tanulmányhoz adná a művek eredetiben olvasásához szükséges nyelvi eszközöket. A nemzeti történelem, ha helyet kap, mint függelék csatlakozik a könyv második-harmadik részéhez; módszere az összehasonlítás: a világtörténet s természetesen művelődéstörténet háttére előtt rajzolná meg küzdelmeinek és sajátos eredményeinek történetét.

Az egyes könyvek szerkezetét így képzeltük el: egy-egy (körülbelül húszíves) kötetnek mintegy a fele lenne a simán, fönnakadás nélkül folyó esszé, ezt én írnám; a könyv végére három-négy ívnyi bibliográfia kerül, mely nemcsak az egyes fejezetek irodalmát sorolja fel, de az olvasót útbaigazító jellemzéseket is fűz hozzá; ezt munkatársam vállalta; a közbeeső öt-hat ív a főszöveget megvilágító jegyzeteknek, a leágazásokat ott megtakarító néhány oldalas esszéknek maradna, amelyeket vegyesen adnánk érdeklődésünk szerint. A könyveknek, amennyire ezt az előadás kívánja, s a hely engedi, képanyaga is lesz.

A könyvek írásával egy időben - bár erre egyelőre megállapodást nem kötök - olvasókönyvek összeállítását is megkezdénénk; úgyhogy az átnézett kútfőkből, irodalmi emlékekből, mai történeti munkákból ami a legszebb s legjellemzőbb, azon frissiben lefordítjuk, s idővel rendezzük. Nemcsak a *Történet* egészülne ki ilyen (nem túl részletes) olvasókönyvvel, de a *Természetismeret*, sőt a *Matematika* is: Galilei *Discorsi*-ának, az *Ember származása*-nak egy-egy részlete, vagy hogy ifjúságomban emlékezetest mondjak: Addison vérszegénység-leírása éppúgy helyet kaphatna benne, mint Descartes geometriájából néhány oldal, vagy akár a *Tentamen* egy-két részlete. Ha az összegyűjtött szemelvényeket egyszer kiadhatjuk: azt legcélszerűbb lesz kétnyelvű kiadvány formájában közzé adni, így mindjárt a *Nyelvekről* gyakorló könyvévé is válna, amint annak a gyakorlatai is erre a szövegre készítenek elő.

## TÖRTÉNET

*Történet*-ünk bevezetőjét azzal a több könyvben is megtalálható aprósággal kezdenénk, hogy Usher ír érsek a XVII. század derekán az *Ótestamentum* nemzedéktáblái alapján kiszámította, hogy Istennek i. e. 4004-ben kellett a világot megteremtenie. Az, hogy ez az adat még további száz esztendőn át komolyan tartotta magát, jó bizonyíték, hogy az *Ótestamentum*-ba is bekerült babilóni teremtéslegenda háromezer esztendőn át hogy belevette magát a gondolkodásba, s hogy a XVIII. század közepe óta milyen rohamos változáson kellett föld s élők történetének átesnie. Mihelyt egyszer égi s földi mechanika összekapcsolásával ég és föld közt a különbség megszűnt, természetes volt, hogy az új tudomány úttörői, majd Kant, Laplace a bolygók s a föld kialakulását mechanikai törvényekkel próbálták magyarázni. A geológia rájött, hogy a föld felszínét ugyanazok az erők alakították ki, amelyek ma is működnek rajta: ehhez pedig hosszú évezredekre, évmilliókra volt szükség. Az őslénytan felismerte, hogy a föld mélyében talált furcsa csontok nem a természet játéka, hanem régen élt s részben kihalt állatok maradványai; rekonstruálta ezeket az állatokat, s a geológusokkal összefogva egyre

gazdagabban rajzolta ki a földtörténeti korok állat- és növényvilágát. A származástán a fajok egymásból alakulását magyarázta meg, majd átlépte a tiltott küszöböt, s az ember állati eredetét is ki merte mondani. Azzal a félmilliónyi esztendővel pedig, amely az ember megjelenése s a nagy civilizációk kezdete közé nőtt: az őstörténet - ez a félig történet, félig természettudomány - igyekszik az ember történetét a paleontológiai mélységek felé megnyújtani.

A könyv első nagy fejezete az őstörténet mai állásáról adna áttekintést, a részleteket néhány olyan gondolat köré csoportosítva, amelyek az igazi írott emléken alapuló történetre is vehetnek világot. Egyik ilyen gondolat, hogy a történelem mozgása gyorsuló mozgás: a paleolit százezer éveinek a neolit tíz- vagy ötezer éve, a történelem egy-két ezer évének a természettudomány korának a száz éve felelnek meg. Akármerre halad az emberiség, útját az állati létből való kiemelkedés óta már az őstörténetben is észrevehető gyorsulással teszi. Mivel hajtja meg az ember a történetet? Elsősorban az iparával. Az őstörténet korszakait nem hiába nevezzük el egy-egy nagy ipari vívmányról, a kőcsiszolás vagy a kohászat fejlettségéről, már a paleolitban is a kőipar a fő hajtóerő, a neolitban ezekhez jön a kerámia, állattenyésztés, földművelés. A másik nagy gyorsító: a szervezés. A paleolitban is azok a kultúrák keltik fel tiszteletünket, amelyeket a nagy vadak vadászata nagyobb fokú szervezetekbe kényszerített, a neolit kultúrák is ott hajlanak át a sokkal több ember életét lehetővé tevő civilizációba, ahol a termelés községeket, falvakat szerveztet vele, majd egy magasabb fokon a városi életet, a mezőgazdaság s a városi iparok, adminisztráció szétválását, az osztálytagozódást s vele az osztályok harcát is lehetővé teszi.

A második fejezet az ismert nagy civilizációkkal foglalkozna, bevezetőben elmondva, hogy jutott el az egyre több régi civilizációt föltáró tudomány a huszadik században a civilizációk egybevetéséig. Mi az ipari, földrajzi, társadalmi feltétele annak, hogy civilizációk jöjjenek létre; hogy fejlődnek, hogy sugároznak át félcivilizációk formájában a környező barbárságra, vagy hogy torzulnak el, merednek meg magukra hagyva. Sorra mennének az ismert civilizációkon (egyiptomi, sumír, babilóni, Indus-völgyi, kínai, közép- és dél-amerikai) abban az időben, amikor ezek egymást vagy egyáltalán nem befolyásolták, vagy csak vívmányaik átadása révén. A fejezet utolsó része arról szólna, amikor e civilizációk az egyiptomi új birodalom korában kicsapnak földrajzi bölcsőjükből, s egy évezreden át a perzsa hódításig egyre nagyobb és állandóbb birodalmakat hoznak létre. Az emberiség a civilizációk korából a világbirodalmak korába lép, a gyors hellén s a viszonylag állandó római világbirodalom is ennek a bomló terjedő Birodalomnak egy-egy megtestesülése; amint velünk is egy, a régi civilizációkat egybeölelő állam- és osztályellentéteket lassan kiküszöbölő, a régi értelemben vett történelmet mintegy megállító (most már nem birodalom, hanem) szervezet felé tör, a természettudomány korában egyre nagyobb erővel, a X. században kis földre összeszorult nyugati civilizáció.

A következő két fejezet arról a két népről szólna, amely ezt a kiégett, a Közel-Keletről a mediterrán világra húzódó világbirodalmat erényeivel meglelkesítette, majd összetartotta. Már az őstörténeti részben, a spanyolországi sziklarajzoknál is elhangzott a figyelmeztetés, hogy a népek művészi kiválósága nem szolgai függvénye a civilizatorikus fejlettségi foknak; vannak tehetséges népek, amelyek ha nem is vághatnak a történelem elé, de az adott ponton magasabbra dobják fel magukat. A világtörténet legtehetségesebb népe a görög. A harmadik rész ennek a tehetségnek a kibomlását írta le, abban az alig hat-hétszáz éves szakban, amely az *Iliász* születése s Nagy Sándor háborúi közt eltelt. A görög tehetség jele: ő teremtette meg az első széles, az egész mediterrán világra kiterjedt civilizációt, melyet nem a hatalom abroncsai, hanem a magasabb műveltség, a nemzeti eredetiség tartott össze; a poliszok anarchiája így lesz (mint később a Nyugatnál) a sokoldalúság váltógazdasága. A görög zsenialitás másik nagy vonása, hogy amin gyorsan égő létével végiment, annak szimbolikus, szinte algebrai érvényt adott: nagy háborúi a trójaitól Sándor birodalomalapításáig, éppúgy a háborúk „arche-

típusai”, mint az egész folyamat, amivel az epikát, drámát, filozófiát, tudományt létrehozta, e szellemi területek viszonyát megszabta. A görögség hajtotta végre a történelemben a Minőség forradalmát, a nehézkes földi isteneknek azt a fölváltását, amelyről Hüperiön s a Gigászok mondája szól. Az ilyen nép azonban, amikor odajut, hogy más népeket kéne összetartania, csődöt mond, ahogy a költő is ritkán válik be mint vezér, adminisztrátor. Ezt adják meg a gazdát váró, vén civilizációknak a római erények. A negyedik fejezet ezeknek a megedződéséről, térhezjutásáról, majd lassú felőrlődéséről szól: a császárságot összetartó magányos (sztoikus vagy katona-) fegyelemig, amely alatt már folyik az államvezetésből kizárt népek vallásos és társadalmi erjedése. Egy ilyen birodalom összetartása a rabszolgatársadalom s egy kezdetleges technika korában arisztokrata módon ötszáz éven át is csoda volt. Az utolsó részt a Birodalom szétesésével s Róma utódai: Bizánc, az Izlám s a súlypontját észak felé vető Nyugat kialakulásával fejeznék be az első kötet.

Itt több okból is célszerű új könyvet kezdeni. Most kezdődik annak a civilizációnak a története, amely végül az egész világot egybe fogja; előbb a gyarmatosítás durvább „perzsa” módján, később, reméljük, az egyenrangú népek köztársaságaként. Épp azért, mert itt a mi történetünk kezdődik, lépteket is cserélünk: a következő két kort, a nagy középkort s a reneszánszt közelebbről, nagyobb méretekben nézzük. Végül ha Függelékünkbe odakerül a nemzeti történet, annak minden európai népnél itt van az eleje. Az új kötetet legjobb ott kezdeni, ahol Nagy Károly örökségét - a Nyugatot - a normann, szaracén, magyar hódítás a legszűkebbre nyomta össze. A legkisebb ő ebben a pillanatban a nagy civilizációk: az Izlám, hindu, kínai között, még szellemre is. Mi az, amivel elébb csak fenntartja magát, hogy aztán megkezdődjék az emelkedés és kiterjedés? Mint a görögöknél a dór vándorlás után, itt is szerencsésen forr össze régi civilizált réteg s új barbár elem, ókori hagyomány s friss szétpillantás. A „Keresztény Köztársaság”, mely a X. századtól egyre új népekre veti ki pályáját, olyasmit hoz létre, mint a hellén világ, de most még különbözőbb népek még heterogénebb sajátságai közt. Az európai civilizáció ereje mindig ez lesz, hogy a történelme által fölvetett témákat különböző alkotók rávetett fényében vizsgálhatta, s nem kövült bele egy-egy szemléletbe, megoldásba. De nemcsak a születő népek sokfélesége táplálja (sosem született egyszerre ennyiféle nép); a belső feszültség is, amely hűbéri társadalom s egyházi demokrácia, keresztény hit s feléledő görög műveltség, nemesi erkölcs s az újra támadó poliszok polgár erkölcsisége közt támad. A nagy középkor szakadatlan harc, hogy e sok széthúzás fölött az egységet, amely maga is kettősség, fenntartsa. Milyen sivár, komor ehhez képest a római császárok harca népeik összetartására, s milyen könnyű, egyszerű, kevesebb meghasonlást rejtő a görögségé. Amikor ez lehetetlenné válik, akkor kezdődik a reneszánsz: a maguk géniuszának a karjába omló európai népek nagy virágkora. A hatodik fejezet a középkor három-négy százada után erről a kétszáz évről szól. Hogy vált ki előbb Itália az Alpok fala mögött a déli, mediterrán lelkét visszaadó kísérletre (államocskáiban egy új Hellászt s fiók-Európát teremtve), mint fertőződik Flandria felől az Észak, mint hurcolódik szét VIII. Károly háborúja után az olasz ragály, s borulnak Izabella Spanyolországától Lengyelorszáig önfeledt virágzásba a népek, hogy azután a nagy alkati különbség, s szívek más-más istene meghozza Észak s Dél közt az egyházszakadást s Calvin Genfjében a polgári köztársaság előképét. Közben megkezdődik s halad előre Európa kiterjedése, most már nem a kereszt jele alatt, mint a reconquisták idejében, hanem kalózsászlók alatt felfedezők, kincskeresők hajóival. A világ térképét, melyet utoljára a Nagy civilizációkról szóló fejezetekben rajzoltunk föl, Marco Polo, Vasco da Gama és Kolumbus nyomán újra fölrajzoljuk, amint a térképészek is megtanulják most már fölrajzolni őket.

Ez a két nagy, a XVII. század vallásháborújáig húzódó fejezet a hozzátartozó nemzeti történettel alkotja *Történetünk* második kötetét. A nyolcadik fejezet - a Természettudomány kora - amiben még ma is élünk, megint mértékcsereit kíván, egymaga csaknem akkora lesz, mint a másik két kötet együttvéve. Ezt a kort úgy fogom fel, mint a nyugati civilizációból a Világ-

civilizációba vezető átmeneti kort, melynek hajtóereje a természettudomány; ennek a sugallatai és eredményei hatolnak be a szellem, társadalmi élet mind szélesebb mezőire, egyre nagyobb ellenkezéseket váltva ki a nyugati civilizáció körül, s benn magában is, melyeket egyre nehezebb s szebb is lesz dialektikusan szintézisre kényszeríteni. Maga a kötet folytatása annak a töredéknek, melyet 57-ben *Hogy tanítottam Vásárhelyt a történelmet* címen órákra osztottan, valójában az újkor történeteként kezdtem el. Tehát ez is a Természettudomány kora című fejezettel kezd, mely az új fizika kialakulását mondja el, s hatását más tudományokra, filozófiára, jogra, történetre. A Francia műhely az új tudománytól inspirált élet első laboratóriumát mutatja be, ahol a kartézianus vonalak a barokk örökséggel keveredve, de már utat törnek művészetben, szokásban s néhány polgárfi miniszteren át az adminisztrációban, gazdasági irányításban is. A XVIII. század nagy példateremtője, az egész újkor fejlődésnek mintegy a szíve: az Angol műhely. Az 1688-as forradalom utáni Angliában kapcsolja össze az angol praktikus gondolkodás a tudomány inspirációit az élettel; a polgári fejlődésben az egy évszázaddal Európa más népei elé ugrott ország a parlamentáris rendszertől a gépeken át a romantikus elvágásig s prousti sznobizmusig itt vet fel mindent, ami a XX. század derekáig az európai életre jellemző lesz. A francia enciklopédisták ezt a szigeti szellemet transzformálják - s ötvözik a XIV. Lajos-i hagyománnyal - mint Felvilágosodást a szárazföld számára. A negyedik fejezet: a Felvilágosodás Európában. Mint pubertás előtt álló gyerekeknél szokott, szép aranykort ígérő csönd áll be: ez az, amelyben II. József arról álmodhat, hogy polgárokka emelt jobbágyait tisztviselővé emelt nemeseivel valami parókás szocializmusba kezesítheti, s ez az, amelynek a fényét Mozart és Haydn műveivel őrizték meg számunkra is.

Ez a korai aranykor azonban csak boldog illúzió: nagyon sok minden maradt ki belőle. Igen szűk terület, aránylag elég kevés nép dolgozta ki a modelljét, s bár most már a polgárság is kezd polgárává lenni, a lakosság óriási többségéhez csak mint nyugtalanság ért le, s azok a démonok sem lelik a helyüket benne, melyeket a bűvészinás tudomány a technikával megidézett. A Három forradalom című fejezet arról szól, hogy törli meg a romantika (kezdetben mint a német lélek ellenhatása), az angol ipari forradalom s a legrosszabbul kormányzott, legmerészebben racionalista országban a francia forradalom ezt az aranykori csendét. A másik csend, amit a vihar lezajlása után a Szentszövetség hoz létre (s amelytől még egy Goethe is jót vár), nem bír ezekkel az erőkkel; mialatt az ipar lassan alakítani kezdi az életet, főlúzza városait, a másik két erő, a visszanyomott forradalom s a romantika, szövetséget köt egymással, s míg keleten nacionalizmusával új nemzeteket támaszt és alakít, nyugaton a társadalom mély átformálására készülődik. 1848 - az intellektuelek Nagyidája - után a romantika maga ellen fordul; ez a romantika önbírálatának a kora, most alakul ki a század főműfaja, a regény, erősödik a pozitivizmus, készül a *Kapital*, s csinál német és olasz egységet néhány realpolitikus.

1870-től csaknem egy fél századon át viszonylagos békét élvez a világ. A másik két történetcsináló erő mögül most már az érett kapitalizmus lép elő, az életet átgúró találmányaival, szervezetével, mint uralkodó. A nyugati civilizáció most fut szét technikai fölényével, s rajzolja fel a gyarmatosítás durva plajbászával a Világcivilizáció kereteit. Ugyanekkor benn és kinn félelmes ellenségeket támaszt. A szocializmus a proletariátusban az újkor fejlődést vivő polgárság „sírásóját” neveli; a művészet (mint a romantika a nemzeti lélek nevében az idegen felvilágosodás ellen) otthon fordul hidegebb tüntetésével, botrányaival, hol a nyugati civilizáció mélyeibe, hol a primitivizmus fele néző nosztalgiával, a technika teremtette világ s annak kérkedő tudományos világnézete ellen. Az oroszban itt van az első nagy irodalom, mely mint a Felvilágosodás ellen a német, az egész emberiség nevében s a Nyugat legjobb eszközeivel támad a Nyugat sugalmazása ellen. Végül a gyarmati vagy gyarmati sorsra szánt népek is kezdik megmutatni, hogy eltanult vagy újonnan csinált eszközeikkel más sorsért harcolnak, mint amit a gyarmatosítás szánt nekik. A japán-orosz háború a nagy jel, követi a

kínai forradalom, s az 1900. körüli években a dél-afrikai államokban, mint a hindu kisebbség ügyvédje, ott dolgozik már Gandhi: India jövője felszabadítója.

Az első világháborúnak, melyet a balkáni s az Osztrák-Magyar Monarchiában összekötött népek nacionalizmusa idézett fel, s a gyarmati felosztás világháborújának indult, legfontosabb eredménye: az európai szocializmus s az orosz ellenzéki hagyomány összekapcsolása, a bolsevik forradalom. Ugyanekkor a gyarmati népek szabadságharca is megindul, s a második világháború után, melyet a fasizmus (a politikailag leggyengébb európai országok otromba rögtönzése) robbant ki, már csak ez a három szereplő marad a föld színén: a versenyre szorított s egyre szorosabb tömbbe álló kapitalista államok, a szocializmust építő keleti tábor s a két példa közt habozó s a belső közvéleménnyel együtt mintegy zsúrit képező színes világ. A könyv anélkül, hogy az utolsó évek történetébe belemenne, az egész fejlődés szerencsés kimenetelét vázolja fel: a kiküszöbölt háborút a rendszerek s népek versenye pótolja, az egyre jobban informált s műveltebb közvélemény a jobb modell átvételére s ezen át az ellentmondások lecsiszolására kényszeríti vezetőit, a felemelkedett gyarmati államok sérelem-nacionalizmusuk legyőzve, gazdaságilag s műveltségben is egyenrangú tagjaivá válnak a szabad népek békésen versengő köztársaságának. Ez a szerencsés megoldás, amelyért küzdeni kell. Hogy hányféle a szerencsétlen - az atomhalál - , a könyv minden olvasójának éreznie kell.

## TERMÉSZETISMERET

A *Természetismeret*, mint mondtuk, történetkönyvünk újkori részének a „kinagyítás”-a. Ez azt jelenti, hogy a fizika, vegytan és biológia egyes részeit nagyjából abban a sorrendben mondja el, ahogy azok az újkor folyamán újjá-, vagy megszülettek. Nem tudománytörténetet ad annak kacskaringóival, útvesztőivel; a tudományágakat csoportosítja az újkori fejlődésben kijelölt történeti egymásután szerint. Ezt két körülmény teszi lehetővé: 1. Bár az újkor előtt is volt természettudomány, a XVII. század azt a legalapvetőbbön, a mozgások fizikáján kezdve az elemektől mintegy újra építi. 2. Az így fölhúzott épület maga is megőrizte a történeti sorrendet: a fizikát ma is a mechanikával kezdik, s az atomfizikával fejezik be; mi csak rajt hagytuk történeti kocsányainkon őket, fejlődésük feltételeit és körülményeit is belerajzolva pedagógiai célra preparált, történeti természetismeretünkbe.

Vásárhelyt ezt a természetismereti tárgyat építettem fel a legtökéletesebben, s minthogy többször is tanítottam, volt módom a részletek kicsiszolására, úgyhogy ragaszkodhatom az akkori tanmenethez, legfőleg, egyetemi szintre költözvén, a szempontokat és az anyagot bővíthetjük, s emelhetjük meg. Az első nagy fejezet, mint akkor, most is a klasszikus fizika kialakulásáról szólna, s ott kezdené, csak részletesebben, ahol az újkortörténet: földi és égi mechanika összekapcsolásával, innen hágná a klasszikus fizika XIX. századi betetőzéséig. A XVII. század új alapvetésével a mechanikát, új eszközeivel az optikai fénytant teszi tudománnyá, s felveti a fény természetének kérdését. A XVIII. század tökéletesíti a mérést; most kap formát a hőtan, akusztika és elektrosztatika. A XIX. század első harmada teremti meg az emberiség sorsára oly döntő elektrodinamikát; a század derekán mondják ki az energiamegmaradás elvét, koronázza be az egészet az elektromágneses fényelmélet s a kinematikus gázelmélet.

A következő fejezet visszalép jó félszázadot az időben, s Lavoisier-vel - a mérés bevonulásával a vegytanba - indítja el a vegytan történetét. Állandó súlyarányok, gázok, atomelmélet, sztöchiometria, analízis, elektrokémia, szerves vegytan: jelzi a fokokat s a főbb szakaszok kiválását a periódusos rendszer felállításáig, a klasszikus fizika lezárásával egy időben. Itt azonban egy lépéssel tovább megyünk, be a XX. századi tudomány világába: hogy fejti meg a periódusos rendszert az atomfizika, hogy lesz a vegytan az atomhéj (elemek és kötések) fizikájává, s határolódik el azon belül az atommag és az elemi részek fizikája. A harmadik

fejezet: ismerkedés az anyagokkal. Előbb a periódusos rendszeren s a legfontosabb szervetlen vegyületeken tekintünk végig, majd a minőségi és mennyiségi elemzés elvét adjuk elő; utána a szerves vegytan s a szerves analízis következik. Az első rész utolsó fejezete: a technológia. Az ipari forradalomnál kezdjük, milyen volt az ipar a XVIII. század végén; milyen ősi iparok (kohászat, kerámia stb.) s milyen újabb, a történeti időkben keletkezett iparok (papír-, puskapor-, porcelán-, cukorgyártás) örökét vette át a szén, kokszt, elektromos áram energiáját felhasználó, a vegytan fejlődésétől sarkallt s a tudománnyal egyre szorosabb szövetségre lépő modern technika.

Természetismeretünk második kötete az életről szól. Felépítésében azt használja ki, hogy a biológia egy-egy ágának a tudománnyá éréséhez a fizika, vegytan egy-egy részének kellett megszilárdulnia. A bonctant a reneszánsz művészet és kíváncsiság tette tudománnyá; a mikroszkóp a szövettani kutatást indította el (hogy a lencsék fénytörése s a szövetfestékek hiánya 150 évvel késleltesse a teljes kibontakozást); a mechanika kora a szív s izmok működését értette meg, Lavoisier a gázcsere, a szerves vegytan az emésztés, a fizikai-kémia a veseműködés élettanához lett kulcs; míg a modern biokémia, a szerves vegytannak a biológiába benyúló ága, az intermedier anyagcserébe, az izomműködés kémiájába s a mikrobiológiába világít be. (Ötödik fejezet.) Termékenyítő, új gondolatokat dobott a biológiába az idő felfedezése, melyről ismertetésünk elején volt szó. A geológiai érdeklődés az őslénytant vetette föl önálló tudományként, ebből nőtt ki a származástan, ennek egyik kérdésére vetett fényt az örökléstan; a fejlődés gondolata vitt értelmet az embriológiába, s adott alapot a rendszertan-nak. (Hatodik fejezet.) A hetedik fejezet - Az élet állati és növényi útja - azt mondja el, hogy jelöli ki a fejlődésről alkotott elképzelésünk az egyes növény- és állatfajok rendszertani helyét.

Az életről szóló kötet második fele: patológia s a belőle levezethető köz- és magánegészség-tan. Megint a történeti utat futjuk végig, ahogy az újkorra jellemző szépség, majd a gyarapodó élettani ismeretek, klinikum és kórbonctan szövetkezése a komolyabb orvostudomány fel-tételét megteremti; a tökéletesedő vizsgálati eszközök a diagnosztikát, a narkózis, a baktériu-mok felfedezése, a szerves vegytan kibontakozása pedig a gyógyászatot, főként a sebészetet emeli váratlan magasba. A történeti áttekintést (Nyolcadik fejezet) az egyes orvosi szakmák - etiológia, kórélettan, kórbonctan, belgyógyászati diagnosztika, belgyógyászat, sebészet - mai rövidre fogott képe követi. (Kilencedik fejezet.) A tizedik fejezet a gyógyításról szól: rövid gyógyszertan s néhány oldal a műtétan elemeiből. A Megelőzés című fejezet a közegészségügyi intézkedések történetét, eredményeit vázolja s azt az óriás munkát, amely a föld népeinek az egészségre szoktatásában vár a tudományra.

## MATEMATIKA ÉS ALKALMAZÁSAI

Ez a könyv (egyetlen kötet) a matematika szerepét szeretné megértetni az emberiség életében. Annak ellenére, hogy egy matematikán nyugvó civilizációban élünk, középiskolai oktatásunk itt bátortalanodik el a leginkább: azokat az ismereteket, amelyeket a négy gimnáziumi osztály-ban tanít, az emberiség a XVII. század elejére már megszerezte: mintha a fizikát Galileinél, a biológiát Harvey-nál hagynánk abba. Könyvünk ezt a hiányt pótolni igyekszik: a XX. század fizikáját, valamint az előző századokét is matematikai vértetében próbálja bemutatni. Tulaj-donképp ez a könyv is egy újkori felnagyítás; a könyv négy fejezete az újkori matematikát tárgyalja (s amennyire ilyen keretek közt lehet: gyakoroltatja is). Itt azonban szükség van egy bevezető részre, ez arról a matematikai anyagról készít történeti leltárt, amelyet a tudományos forradalom a XVII. században már készen talált.

A számolásra az élet nevelte rá az embert. Az első nagy civilizációban - Egyiptom, Babilon - a területmérés, a termés fölosztása, a naptár, az építkezés szorította rá a papokat, írnokokat, földmérőket, kereskedőket, hogy az alaplátásokat valahogy elvégezzék, s valamiféle mértant csináljanak maguknak. A matematika tudománnyá a görögök kezén lett azzal, hogy már nemcsak gyakorlati ügyességként forgatták, hanem az ész természetéből, bizonyos igen egyszerű tételekből kiindulva deduktíve vezették le. A görögök matematikája erősen mértani jellegű; a pythagoreusok megdöbbentő találkozásának az irracionális számmal része lehetett benne, hogy az összemérhetetlen számoktól a geometria mérhető mennyiségei felé húzódtak. Az alexandriai kor viszonylag fejlett matematikája több ponton az újkori fejlődést vetíti előre: az előző századokat summázó Euklidész az axiomatikus mértant, Apollóriosz kúpszeleteivel az analízist, Diophantos a határozatlan egyenleteket szóba öntő találós kérdéseivel az algebrát, Archimédész görbe vonalak, sík- és téridomok felület- és köbtartalom számításával az infinitezimális számítás. Egy átvezető fejezet, melyben az Izlám matematikájáról is szó lesz, elmondja, hogy jut le, milyen gyarapodással, a görög matematika a XV-XVI. század humanistáihoz. Ők teremtik meg a jelnyelv bevezetésével az algebrát, Regiomontanus a trigonometriát; a XVI. század végén, az új század fordulóján pedig a számolási ügyesség ugrik nagyot a tizedes törtek s a logaritmus bevezetésével.

Mint hogy könyvünk érettségizett embereknek készül, ez a bevezető rész inkább történeti szempontú ismétlés, az igazi, némi begyakorlást is kívánó anyag itt kezdődik. A XVII. század elején számos jel mutatja, hogy az emberiség olyan korhoz ért, melyben a fölserkent matematikai érzék, találékonyság nemcsak a matematikai tudományt, de az egész emberi gondolkodást egyik legcsodálatosabb vívmányával fogja gyarapítani. Mindig a matematika fellendülésének jele, mint a pythagoreusok korában vagy most Fermat, később Gauss esetében, ha a matematikusok a számmal mint a számolttól független valamivel kezdenek foglalkozni. Az analitikus mértan, Fermat és Descartes műve, eddig különjáró dolgok - algebra és mértan - összekapcsolására példa. Az, hogy még a szórakozást is (mint Pascal a kártyajátékot) matematikailag kezdik nézni, s a valószínűség-számítást húzzák ki a pakliból vagy a statisztikát az elhalálozási jegyzékekből: a matematikai képzelet éber járásának a jele. A század igazi nagy alkotása azonban a differenciál- és integrálszámítás, melyhez Newton a Galilei és Torricelli útján, Leibniz a Pascalén jut el. A függvény és a differenciálhányados fogalmára a fizika igénye szorítja rá a matematikai gondolkodást, hogy a XVIII. század a sorbaféjtéssel, differenciálegyenleteivel, a függvényfogalom kitisztázásával egyre önállóbb matematikai disciplinává tegye. Második fejezetünket az École Polytechnique-ből kinövő új geometriák - az ábrázoló és projektív - ismertetésével fejezzük be.

A harmadik rész: a differenciál- és integrálszámítás fizikai alkalmazásai; a klasszikus elméleti fizika tehát. Lagrange és Laplace még a XVIII. században fogalmazza át a kalkulussal a mechanikát; a XIX. század első felében Fourier a hő-, Hamilton a fénytant, Gauss a mágnesesség fizikáját dolgozza ki, míg az elektrodinamika s Maxwell egyenletei a század középső harmadában lesz az elméleti fizika hozzájárulása a klasszikus fizika betetőzéséhez.

A XIX. századra azonban nemcsak a fizika matematizálása a jellemző, hanem egyfajta szigorodás is. Az az ismeretelméleti szigor, melyre a természettudomány példája vitte a filozófiát, a Kant utáni időkben mintha visszacsapna a matematikára: felülvizsgálják az alapokat, melyekre az előző század merész rögtönzései épültek, s a nagyobb elvontságra edzett gondolkodás új eszközökkel gazdagítja, s új láthatár elé visz a revidált fogalmakon át. Miben nyilvánul meg ez a szigor? A fiatal Gauss *Arithmetiká*-ja föllendíti a számelméleti gondolkodást, a valós és komplex számok egyre pontosabban határozatnak meg, a differenciálszámítás előfeltételeit képező fogalmakat most vizsgálják meg szabatosabban, az euklidészi ötödik posztulátum kidobásával Bolyai és Lobacsevszkij a gondolható (definíciótól függő) tereket állítják az euklidészi helyébe, Riemann általánosítja a távolságmérést bármely térre, a dimenzió-fogalom

kiterjesztése megszabadítja a geometriát háromdimenziós korlátjától; Hilbert az axiomatikában teremt rendet. A mértan példájára az angol iskola az algebrában is, melynek nem volt Euklidésze, axiómákra vezeti vissza tételeit, s szorosabbra fogja a logika s algebra kapcsolatát; a XVI. század óta mind merészebben fejlődő absztrakciós készség a determinánsok s operátorok bevezetésével egy-egy jelölésben egész művelet sorokat ír elő; Hamilton a két számmal megadott komplex számok mintájára megcsinálja három számmal jelzett quaternióit, a vektorok ösét; a vektoralgebra, vektoranalízis pedig egyike lesz az új fizikában olyan fontos tenzorszámításhoz vezető utaknak.

A XX. század fizikája (mint a mechanika és elektrodinamika a XVIII. századi analízist) a XIX. századnak ezeket az új elvontabb eszközeit használja majd, amikor két legnagyobb alkotását, az Einstein-féle relativitást (főként az általánost) s a kvantumelméletet a hullámmechanikával matematikai alakba önti. A negyedik rész ezeknek az ismertetésével ér véget. A XX. század új matematikai ágait, mint matematikai logika, axiomatikus halmazelmélet, modern differenciálgeometria s algebra, a könyv kis esszéiben ismerteti munkatársam.

## NYELVEKRŐL

A *Négy könyv* közül a negyedik nem elhagyhatatlan része az egésznek: annak van szüksége rá, aki történeti olvasókönyveinket (az európai, történetcsináló népek emlékeit s a rájuk vonatkozó irodalmat) eredetiben akarja forgatni. A vásárhelyi évek alatt elég sok készült el belőle ahhoz, hogy akkori célját, módszerét pontosan rekonstruálhassam. Akkor bármily nagy volt bennem az oktatási derűlátás, ennél a kötetnél éreztem leginkább, inkább mint a matematikánál, hogy ez bizony meghaladja, ami középfokon elérhető. Most viszont épp ezért felelhet meg, különösebb igényfelcsavarás nélkül, egyetemünknek.

Az akkori könyv kifejezetten több nyelven olvasók részére készült, s elsősorban annak a szellemi erőpocséklásnak akarta elejét venni, melyet a több, rokonnyelven tanuló a szavak s részben a nyelvtan rögzítésében végez. Új nyelvnek úgy indul neki, hogy első kérdése: mit tudok már ezen a nyelven? A *Latin szavak a magyarban* például legalább ötszáz olyan magyar fülben is bennszongó szóval indítja el a tanulót, amellyel kereszténység, történelem, jog tudomány, művészet, politika „fertőzte” a magyart. Sokkal nagyobb ez a szótár, ahol egyik indogermán nyelvből lépünk a másikba: latinból franciába, franciából angolba. A francia nyelv tanulását (mint azt az évben latinból érettségiző tanyai tanulók francia kurzusán kipróbáltam) *A francia nyelv keletkezése* című fejezet vezette be, amely nagy vonásokban elmondta, hogy az ismert latin szavak, a vulgár-latinon át, milyen hangtani változások közben jutottak el a franciába, úgyhogy a diáknak végül is magának kellett latin szókincsét franciába átraknia. Az angol két bevezető fejezete: *Az angol nyelv keletkezése s Germán tövek az angolban*. Az agysejtgazdálkodást szolgálja az is, hogy eleinte szinte kizárólag törzsszavakat használunk, s később tanítjuk meg: az illető nyelv hogy képez belőlük új szavakat. A nyelv keletkezése már belevitt abba a nyelvi közegbe, amelyben a biológikum (vagy ahogy mondani szoktam: a szájtartás) éppúgy benne van, mint a kapott formákat átcsiszoló életstílus. A nyelvtanhoz már ezen a közegen - egy-egy nyelv jellemrajzán át - érkezőnk el. *A francia nyelv sajátosságai* című fejezet például egy ilyen egyszerű nyelvjellemrajz. De ahol magáról a nyelvtanról beszélünk, ez az alkattani szempont ott is beleszól az alakiba, már azzal is, hogy nem a részleteken, hanem az áttekintésen kezdjük (*Áttekintés az angol nyelvtanon, A görög nyelvtan körvonalai*). Ritkább nyelveknél, ahol nem az olvastatás, csak ízelítőadás a cél, nem is igen megyünk túl ezen a jellemzésen. Tizenöt éve szunnyadó füzetemben például meglepve bukkanok *A héber nyelv jellege* (sőt egy megkezdett *Héber szövegolvasás*) című fejezetre, melynek még a létét is elfeledtem, nemhogy az anyagát (úgyhogy most ebből tanulhatom, ha akarom a héber mássalhangzókat s a biblia nyelvének azokat a sajátosságait, amelyek

régi nyelvészeinket a magyarra emlékeztették). Az olvastatást szolgálja az olyan cikk, mint a *Latin költők olvasása*, amely azt magyarázza meg, hogy az illető nyelv írói (ez esetben a latin költők) nyelvtanuk milyen lehetőségeit használták ki (például a szavak szétdobhatóságát), hogy nyelvi meglepetéseket, tömör kifejezést vagy nagy fogalmi szabatoságot érjenek el. Olyan stilisztika ez, mely az egyéni bátorság ugrásait a nyelvtanban vagy még az alatt indokolja meg. Az olvasó gyakorlatoknak, sőt történeti olvasókönyvünknek is ezeket a „stilisztikákat” kell az egyes írók fordítása közben észlelt jelenségekkel kiegészíteni.

A könyv, bár célja az olvastatás, a beszéd tanításról sem mond le egészen. Sőt maguk a gyakorlatok (lányaim latintanításán okulva) kezdetben kizárólag magyarból törték az idegen felé az utat. Itt két fogást próbáltunk egyik vásárhelyi kollégámmal módszerként keresztülvinni: 1. A nyelvtant először magyarul építettük föl, s az eleinte csak igéből, majd alany-állítmányból álló mondatokat fokról fokra bővítettük tárggyal, határozóval, jelzővel, a határozók nemeiben már a latin megoldásokra is gondolva, aztán tértünk át a mellé- és alárendelő szerkezetekre. A magyar nyelvtan után jöttek ugyanezek a grádicsok, persze lassabban, körültekintőbben, latinul. Tulajdonképp kezdetől mondatant tanultunk magyarról latinra. 2. A másik fogást az a tapasztalat adta, hogy az ember, ha idegen nyelven beszél, elméje működését mintegy beszűkíti arra, amit ki is tud mondani. Ehhez pedig tudnia kell, hol a határ, amelyből nem tanácsos kimerészkednie. Tulajdonképp a legcélszerűbb lenne az idegen beszédet (mint pedagógiai utópiámban tettem) lefokozó, vagy ha úgy tetszik, behülyítő gyakorlatokkal kezdeni. („Egy suhanc ballagott az ösvényen”, hogy mondod ezt idegen nyelven? „Egy fiú ment lassan a kis úton”.) Pótolja ezt, ha minden nyelvben nagyjából ugyanazt a (nemzeti körülmények szerint bővített) kis enciklopédiát, ige- s melléknévkincset állítatjuk össze mondatainkban. Csak ha az idegen nyelv törzsszókinccse már birtokunkban van, s nyelvтанát így egy kissé betornásztuk, akkor térünk át az olvastatás széles kalandjára.

Az eredeti útiterv ez volt: magyar-latin-francia-angol-orosz. 45-46-ban az orosz a német helyett még furcsa újításnak hatott, s én nem is politikai okokból választottam, hanem hogy a számunkra olyan fontos szláv nyelvek felé is nyissunk kaput. Ma a gyerekek az oroszsal kezdik a nyelvtanulást, és latint egyre kevesebben s rosszabbul tanulnak, én azonban történeti fakultásunkon megtartanám a sorrendet, bár itt az angol előtt vagy után a németet is beiktatnám. Kihagyva nem volt a régi tantervből sem, hisz a főútvonalról (mint az idézett fejezet-címek is mutatják) voltak leágazások; a görög, olasz, spanyol, német, lengyel, cseh, szerb, egy-két keleti nyelv, amelyekben nyelvjellemzésünkkel s egy kis szókinccsel adtuk volna át utasainkat a szaknyelvtanoknak.

A meglevő tanulmányok közt egy van (*Bevezetés a latin nyelvtanhoz*), amely az indogermán nyelvcsalád tagozódását történetileg mondja el. Most, egyetemi fokon nem ártana egy kisebb újkori „kinagyítással” kezdeni (*A nyelvészet története*), s egy nyelvfilozófiai eszme-futtatás után látni hozzá nyelvtanunknak.

1962

## TUDOMÁNYTÖRTÉNETI MUNKÁK

A tudomány történetéhez, mint életem sok más öröméhez, engem a tanári gyakorlat vezetett. Vásárhelyi tanárságom alatt kezdődött: tanár híján mindjárt az első évben rám bízta a „filozófiai propedeutika tantárgy” oktatását. Ez a tárgy azóta kiveszett a középiskolai tananyagból. Én negyven esztendeje tanultam, s nem sok örömöm telt benne. Nem is tudom, miféle elgondolás tűzte oda a középiskolai oktatás végére. Tán az, hogy az igazi filozófiára egy tizennyolc éves ifjú éretlen még, de egy lelketlen lélektan s a szillogizmusokkal vívó logika előkészítheti a magasabb stúdiumokra. Én a logikáért nem lelkesedtem: a gondolkozásnak csak a grammatikáját láttam benne, amelyhez inkább alkalmazkodnunk kell, ha gondolatunkat másokkal is el akarjuk fogadtatni, azt azonban nem hittem, hogy következtetéseivel valóban új eredményekhez lehessen jutni. A képzeletet, emlékezetet stb. definiálgató filozófiai lélektant, mint az orvosi lélektan ismerője, sőt alkalmazója, mélységesen megvettem. Hogy a kitűnő osztály s a magam számára is mulatságosabbá tegyem az órákat: az az ötletem jött, hogy a logikát születése pillanatában mutatom be, s törvényeit a *Phaidón* vagy az *Állam* bizonyításaiból vezetem le. Platón olvasása közben mindig gyönyörködtetett az új hit, amely akkoriban oly szörszálhasogatónak mégis az új vívmányok fényében ragyogó tornákba vitte a gondolkozókat: azt gondoltam, ezt a fényt adom át a tanítványaimnak, akikben mint fiatal emberekben sokkal nagyobb is a hajlam s a bizalom az efféle okoskodások iránt. S a fogás valóban bevált, inkább Platón, mint a logika jóvoltából, úgyhogy a második félévben a lélektant meg *Szent Ágoston vallomásai*-ból kezdtem tanítani, az indítóok itt Babits egy régi, belém rögzött mondata volt: hogy míg az ókor kultúrája inkább költői, logikus, a kereszténység inkább lélektani.

A második évben már engedélyem is volt rá, hogy a hagyományos filozófiatanítással szakítsak, s propedeutikaként filozófiatörténetet adtam elő, helyesebben: a metafizika, logika, majd etika megszületését előbb az ókorban, aztán újjászületését (a logika helyébe az ismeretelméletet s dialektikát véve) az újkorban. A *Phaidón*-ból oktatott propedeutikának azonban volt egy fontosabb következménye is: egyre nagyobb kedvem s bátorságom támadt a történelmet a rám bízott természettudományi tárgyakba is bevinni. Az első évben az egészségtan tanítását bízta rám, a következő évben, hogy a biológiai tárgyat magasabb szinten taníthassam, hozzávettem a vegytant is, s a kettőből alakult új tárgy (az angolok science-nek nevezik, s a sors végzése, hogy lányom épp ezt tanítja) első fele a vegytané lett, a második fele a biológiáé s az orvostudományé. A vegytant is igyekeztem magasabb szinten tanítani, mint az egyetemi oktatásban szokás: az általános vegytan tanításával kezdtem, mielőtt a szervetlen vagy szerves vegytanra áttértem volna, hogy a kevésbé ruganyos agyakba nehezen belebeszélhető egyenletfelállítás ott ne okozzon nehézséget. Ez azonban megint elég száraz fejezet, az Avogadro-törvény, úgy hiszem, a legtöbb középiskolát végzett embernek csak mint holmi lelkiismereti nyomás marad meg az emlékezetében. Itt próbáltam meg én a logikán okulva a Lavoisier-től Mengyelejevig vivő, rövidre vont vegytantörténet elmondásával könnyíteni meg a fejezetet: a fogalmiért küzdő vegytan tisztázását ismételve meg a hallgatók fejében. A második félévi anyagban (melyet a fővárosi polgárikban mi, iskolaorvosok elég magas szinten tanítottunk) megint számtalan alkalom volt a tudománytörténeti emlékek megelevenítésére. Kruif könyveiből már a polgáriban is gyakran olvastam föl, Semmelweiszel, a bacilusvadászokkal kapcsolatba hozva rövidebb részleteket; Szent-Györgyiék nemrég megjelent gyűjteményes könyve (*Az élet tudománya*) a fejlődéstan, genetika ilyenféle tanítására adott modern alapot. A harmadik évre az egész tárgy anyagát történetien rendeztem. Az általános vegytant pótló vegytantörténetben már a szervetlen anyag egy része is megjelent, a periódusos rendszer ismertetése, majd egy kis elemi analízisgyakorlat hozta a továbbiakat, a szerves vegytan

is elő volt készítve már, a gyártásokat egy technológia-történetben emeltem ki, s adtam összefüggő értelmet neki. A biológiai rész úgy volt még történetibb, hogy a fiziológia egyes fejezeteit a fizika és kémia állapotából vezettem le. A mechanika korában megértették az izom és szív működését, az oxidációt, a légzést, a szerves vegyten kezdetein az emésztést, a fizikai kémia fejlődésével a vizeletkiválasztást, a biokémiával az intermedier anyagcserét, az idegműködések titkát. A szövettan így függött a mikroszkóp, majd a lencsék s az anilinfestékek fölfedezésétől. A darwinizmus részjelensége a XIX. század elejei fölfedezéseknek. A kórtan és a gyógyítás, higiéné: a legerősebb alapot kívánó, legkésőbbi része a természettudomány. A negyedik évben azzal bővítettem ki, illetőleg kerekítettem le ezt a tananyagot, hogy egy fizikai bevezetőt szerkesztettem elé, ez is történelem volt persze: a klasszikus fizika története Galileitől Hertzig, annyi, amennyi ebből a vegyten és a biológia tanításához szükséges.

Ha ezt az évet végigtaníthatom, úgy hiszem, ez lett volna az első eset, hogy az egész természetismeret valaki egy évfolyamban, mint a természettudomány történetét adta volna elő. A pedagógusérzék megnyugtatására annyit még el kell mondanom erről a módszerről, hogy a „történeti” itt csak sorrend, az új és új tudományágak megjelenésében követtük nagyjából az időt, a kibontakozásuk feltételeit, első problémáit iparkodtam történetien megfogni, magában a fejlődés követésében messze előrenyomultunk, s az ismeret ma is érvényes alakjában rögzítettük. A klasszikus fizikát például lezáródásáig - hogy pontos dátumot mondjak, 1887-ig követtük, amikor az energia megmaradásának elve s az elektromágneses fényelmélet egy percre a befejezettség látszatát adják neki. Aztán visszamentünk egy századot: a vegyten kibontakozását, fizikává válását figyeltük meg, egész a periódusos rendszer magyarázatáig a Bohr-féle atomelméletben. A vegyi technológia során egy pillantást vetettünk a forradalom előtti vegyi iparokra, s aztán indultunk el a vegyi iparoktól, mint a kénsavgyártás, gázgyártás stb. a műanyagok felé. A fiziológia meg már éppen Harveytól kezdte nagy keresztöltését. Nem kuszáltuk össze tehát a történeti szemponttal az egyes tudományágak anyagát, csak tisztáztuk történeti helyüket, hogy nő az „egzakt” tudomány az addig ismeretlenebb halmazba, mi a régibb és újabb képződmény, s egyik hogyan lesz a másik feltétele. A problémák burjánzása: ez az, amit a történeti háttérrel éreztetni akartam, s ez adott, ha adott, a ma érvényes ismeretnek is valami történelmi szerkezetet.

\*

Hanem a segédeszközök! Nem a kísérleti anyagra gondolok. Az öreg református kollégiumban a vegytenban kitűnő szaktanárok követték egymást, akik közül az egyiknek a megérdemelten kijáró egyetemi intézetet pótolta a szertár. Anyagok, kísérleti eszköz nem annyi volt, mint amennyit egy középiskolai tárgy, hanem amennyit a tudóskodó tanár megkívánt. Én mint orvostanhallgató jártam kémiagyakorlatokra, de itt olyan kísérleteket volt módom megcsinálni, amilyeneket a professzor óráin sem láttam. Nemcsak titráltunk, s a jodometria elvét mutattuk be, de a szerves anyagok analíziséből is adtam ízelítőt, sőt emlékszem, D-vitamint is mutattunk ki - ma már magam sem tudom, hogyan.

A nehézség a könyvekben volt. Az „ismereteket” megtaláltam az összehordott egyetemi könyvekben, a kollégiumi könyvtár szakkönyveiben, de komoly tudománytörténeti munkák, amelyekből előadásom vázát kellett volna vennem, nem álltak rendelkezésemre, csak ismeretterjesztő könyvek. A technológiát például, amely számomra új tárgy volt, egy kitűnő német munkából tanulgattam, a vegyi iparok történetét viszont Sztrókay Kálmán (különben jól bevált) „népszerűsítő munkájából” hámoztam ki. A fizikából aránylag jó ilyen könyveket hordott össze a város, részben maguk a tanítványaim. Zemplén Jolán fizikatörténete, Mikola: *A fizika gondolatvilága*, Eddington könyve stb. Ezekre volt azonban a legkisebb szükségem. A biológia történetéről Raoul Francée-nak jelent meg jó áttekintése, akkoriban volt friss könyv a Szent-Györgyi-iskola kiadványa: *Az élet tudománya*, melyben fejlődéstanhoz, gene-

tikához kaptam hasznos adatokat, az orvosi felfedezésekre ott voltak Kruifnak már a polgári iskolában megismert könyvei, egy-két óra előtt a magam 34-ben írt orvostörténeti tanulmányából is tanulgattam, a legnagyobb hiány vegytantörténetben volt, itt szinte kizárólag a tankönyvekben elszórt anyag s Sztrókay mester vált a tanítómmá. Arra persze elég volt ez a kis könyvtár is, hogy az egyes ágak eredését a növe tudomány fáján megtaláljam, s a döntő kísérletekről, problémákról beszámoljak, azt meg nem tartottam olyan nagy hibának, ha a geológiai áttekintésemet a lexikonból vagy a *Műveltség Könyvtára*-nak a tízes években megjelent köteteiből szedtem, s a martinkemencéket ugyanezen sorozat idejétmúltá képein illusztráltam. De mit adtam volna akkor érte, ha igazi, megfelelő színvonalú művekhez jutok, olyanokhoz, mint az a nagy amerikai orvostörténeti munka, amelyre annak idején *Orvostörténet és szellemtudomány* című írásomban támaszkodtam.

Később, amikor a *Galilei*-t írtam, találkoztam már komolyabb tudománytörténeti munkákkal is. Akkor már Budapesten éltem, s nem kellett a kollégiumi könyvtárra s a városi értelmiség magánkönyvtáaira szorítkoznom. Akkoriban egyszer közel is álltam már hozzá, hogy vásárhelyi science-óráimat mégiscsak leírjam, az egyik kiadóban meg is volt a jó szándék, hogy fordítás helyett egy-két éven át azt csináltassa velem, de felsőbb kéz ezt a játékomat is elvette tőlem, úgyhogy a „tudománytörténet” egy sóvárgott tárgy maradt csak; arra jó, hogy a *Szörnyeteg*-ben történeti szemináriumban nem olvasott művekkel töltse meg az egyik polcot. Itt, a sajkódi magányban, a befagyott Balaton fölötti házban, amikor másnak már aligha használhatok vele, jutottam végre hozzá, hogy ebbe a szép szakmába beledolgozzam magam. Úgy vagyok ezzel, mint regényem hőse, Égető Lőrinc, aki öregkorában olvassa el Macaulay-t s a többi nagy angolt, miután egy életen át hivatkozott rájuk, igazodott és igazított hozzájuk mint élete mintáihoz. Jótékony könyvtárosok összeszedték nekem, ami a világ ilyenféle terméséből a katalógusaikba vetődik, s a könyvek dátumából azt látom, hogy odakinn is most kezd fölvirágozni az érdeklődés; a régebb kultúrhistoriai munkák után most tűnnek fel olyan tudománytörténeti művek, amelyek már a komolyabb történeti igényt is kielégítik, s nem egészen analfabétákat akarnak felvilágosítani.

Három könyvről szeretnék itt most beszámolni, melyek a leküldött munkák közül a legjobban kedvemre voltak: a három könyv típus is egyben, hogy lehet ennek az órási anyagnak neki-vágni. A három könyv közül a legnagyobbat markoló Johann Störig: *Kleine Weltgeschichte der Wissenschaften* című, közel nyolcszáz nagyoldalas könyve. Ez, mint a címe is mutatja, az egész tudománytörténetet akarja két könyvfedél közé fogni, nemcsak a természettudomány történetét, hanem a szellemtudományokét is: jog, történetírás, társadalmi tudományok, filológia, lélektan történetét, épp csak a filozófiát hagyta ki, amennyire lehetséges volt. Eleinte bizalmatlanul forgattam ezt a szerzőtől polihisztorságot követelő vállalkozást. A felosztását is elég gépiesnek éreztem: egy-egy kultúrkor, később Bacontól egy-egy század, s mindenikben elől a matematika, csillagászat és így tovább a jogtudományig, az újabban támadt szellemtudomány farkul nőtt az újabb századokban. De minél tovább olvasom, annál jobban meggyőződöm, hogy e könyv írója az, amit az 1800-as évek német szellemeiről mondott: igazi, jó értelemben vett Gelehrte, aki nemcsak azoknak a történeti és szakismereteknek van a birtokában, amelyek egy ilyenféle vállalkozáshoz kellene, de aránylag kis helyen igen jól vázol fel életpályákat, s az, hogy német, inkább csak a könyv arányeltolódásain érzik (például a német történeti iskola mellett a nyugati nagyon összezsugorodik), megvan benne az az érzék, amit e történeti iskola általában a németség nagy erényének tart: a beleérzés, a tudóshoz illő méltányosság. A másik könyv Mason *History of Science*-e, kisebb terjedelmű, de igazi angol ökonómiával megírt munka; vannak fejezetei, például a relativitásról szóló, ahol az ember bámulja, hogy tudott minden lényegest ilyen kis helyen (öt-hat oldal az egész) elmondani. Csak a természettudományok történetéről szól, s már ez is sokkal homogénebbé teszi, de a beosztásában is jóval elegánsabb, nem századokban, tudományokban halad, egy-egy fejezete

az egész tudománytörténet egy-egy lépcsője (evolúció, kvantummechanika stb.), amely ha egy-egy szakterületről jelentkezik is, az egészen végigszalad. Két irányban megy tovább, mint Störig. Störig a tudománytörténetet a görögöknél kezdi, előttük tudomány nem volt, csak feltételezés, s ezt egy rövid fejezetben foglalja össze. Mason részletesebben ír az indiai, kínai, közel-keleti civilizációk tudományáról. A jelen felé haladtában Störig a legizgatóbb ponton áll meg: a XX. század küszöbén, itt, tán túlozva, olyan bemetszést lát, amely mélyebb tán a Bacon körülé; Mason négy-öt fejezetben igen könnyedén túllép ezen az árkon, s elmondja, ami e század első felében a fizikában történt. A legkiválóbbnak a három közül Wolf könyvét tartom, mely terjedelemre a kettő közt van. Ez elhagyja a régibb tudományokat, ott kezdi, ahol a tudománytörténet igazán izgatóvá válik, könyve a XVI. és XVII. századról szól, de kilentized részében az utóbbiról, ez a század, melyet az újkor, de tán az egész emberiség történetében is a legnagyobbnak, legsorsdöntőbbnek tartok, s épp ezért, amiről e könyv szól: a tudomány kialakuló módszere s megszilárduló szervezete most válik minden szellemi tevékenység öntudatos vagy öntudatlan modelljévé, s a társadalmi szervezkedésnek is feltételévé s előképévé. Minthogy a tudománytörténet nagy eseménye e korban a mechanika megszületése, az égi s földi mechanika összekapcsolása, a lencse-feladta fénytani problémák, s az ezekből eredő biológiai felfedezések: Wolfnak elég tere van, hogy egy lépést nyugodtan, fölnagyítva hozzon elénk: itt érti meg az ember például igazán, milyen erőfeszítés van egy-egy olyan lépés mögött, mint amikor Kepler az ideális körpálya helyébe az iskolás fiúk által is megszokott ellipsziseit merte vagy volt kénytelen rakni. Wolf könyvének megvan már a XVIII. századi folytatása. Így menni végig, s így jutni el a XX. század derekáig: nemcsak tudománytörténet volna, de egész tudásunk történeti újratanulása.

\*

Hej, ha ezek a könyvek Vásárhelyen vannak a kezemben, gondoltam számtalanszor, e könyvek s más hasonlók forgatása közben. Ha ezt Newtonnal vagy Darwinnal kapcsolatban akkor elmondhatom! Az óráim bizonyára még színesebbek lettek volna, azon azonban, ami ott mint írói feladat kialakult bennem, gazdagabb s hitelesebb értesültség, ahogy utánagondolok, aligha változtatott volna.

Ezt a könyvek olvasása közben akkor láttam, ha a halk kifogásokat, melyek e kivételes élvezetet okozó könyvek olvasása közben jelentkeznek, összeállítom. Störig könyvében persze imponáló, hogy a természettudományokat és szellemtudományokat egy fedél alatt, megbízhatóan tudja előadni, úgy, hogy ha a Newtonról szóló részt olvasom, azt hiszem, természettudományi műveltségű ember beszél, ha a Hegelről s a német történeti iskoláról szólót, hogy egy Dilthey-tanítvány. De ez a gazdagság a könyvet mégis felemássá teszi, nehéz hol Arisztarkhoszról beszélni egy fejezetben, hol Tacitusról. Az újkori fejezetekben már több ok van az egy fedél alá hozásra: ha a XVII. század fölé az egyetemes matematika, a XIX. fölé az evolúció címet írja, az bizonyos fokig ráillik e korok szellemtudományára is; itt az egymás mellé állítás zavar, hisz hatásról, védekezésről s ellentámadásról van szó, s ebbe nemcsak a szellemtudományok vehetők bele, hanem az egész irodalom és zene, s elsősorban a filozófia.

Mason könyvét olvasva azt éreztem, ez is olyan, mint majd minden vegytan-, fizika- vagy matematikatörténet, amelyet olvastam, hogy csak a derekán válik izgatóvá, addig legföllebb érdekes. Störig az egyiptomi, hindu, babiloni, kínai tudományt, mint mondtuk már, egy rövid *A tudomány előzményei* című fejezetben vetette a voltaképpeni tudománytörténet elé. De majdnem egészen annyi joggal az egész görög, hellenisztikus, arab és középkori, sőt reneszánsz természettudományt is így lehetne az újkori elé vetni, egy talán bővebb bevezetőben. Mert ahogy a görög tudomány egy lényeges vonásban, az absztrakció nagyobb fokában különbözött az előző civilizációktól, az újkori tudománynak is van ilyen, egészen új kezdést jelentő vonása: az egész egy szűk területről, a fizika egy ágából indul el, ott dolgozza ki mód-

szerét, amellyel azután az addig szerzett ismereteket is újraszervezi, s az újak elvesztését, széthullását - mint a múltban annyiszor megtörtént - lehetetlenné teszi. Kezdetben csak ismeretek voltak, aztán már voltak tudományok is - de a tudomány, mint egy magát őrző, a kutatókon át tovább fejlődő organizmus, Kepler, Galilei és Descartes korában jelenik meg, s határozza meg ezentúl oly végzetesen az emberi nem életét.

Ha rajtam állna, én is ott vágnék neki a tudomány történetének, ahol Wolf, s körülbelül úgy is - a XVI. században inkább az érdeklődés erre fordulását írnám meg, az instauráció magas vágyát, a XVII. században a tudomány megszületését, s így tovább, a lányom tanulmányozta mezonokig. Az olyan könyvnél azonban, mint a Wolfé, más kérdések jelentkeznek. Kinek írja a könyvét a tudománytörténész? Azt hiszem, itt van az egész tudománytörténet-írás Achilles-sarka. A szakembernek lehet szaktudománytörténetet írni - matematikatörténetet, aminek valami értéke van, nem is igen lehet másilyet. Ugyanez vonatkozik például az elméleti fizika, a modern biokémia történetére is. Megelőző szakismeretek nélkül még egy igazán alaposabb vegytan-, sebészet-, biokémiatörténetet is bajos lenne követni. Egy ilyen szaktudománytörténetből azonban a legfontosabb hiányzik, ami a szakembert is legjobban érdekélheti: tudományának az elhelyezkedése az egész tudomány történetében, az ösztönzések, melyek létrehozzák, a serkentések, melyek belőle indultak ki. Az, hogy egy szakemberben tudománytörténeti érdeklődés támad, annak a jele, hogy művelt ember is, aki a múlt egész folyamatán belül akarja megérteni a maga hivatás adta helyét is. Érthető tehát, hogy a tudománytörténetek - még a Wolf-féle is - ehhez a művelt olvasóhoz fordulnak, aki egy-egy ágban tán képzett, de a tudomány egészében műveletlen, s nem a szakbarbárhoz, aki Wolf könyvét lapozva legföllebb nevet, hogy milyen körülményesen jutott el ez a Newton az integráláshoz, mely neki a kisujjában van.

A művelt olvasó számára írt tudománytörténeteknek azonban van egy nagy hibájuk: a lényegest igen sok esetben csak körülírni tudják. A természettudomány mégiscsak ott kezdődik, ahol a mozgások pályáját az idő függvényeként kezdik leírni: ha az írónak eleve le kell mondani arról, hogy egyenleteket, vagy épp differenciál-, integráljeleket írjon fel, akkor a semmitmondó körülírások végtelenébe merül, amire Störig *Matematika* című fejezetéből, főleg ahogy a jelenhez közeledünk, rengeteg példát lehetne felhozni. Mit mondhat az a relativitásról, aki a Lorentz-transzformáció képletét sem meri fölírni. (Mason meri, s mindjárt érthetőbb is a fejezet.) De mindez csak a legfeltűnőbb ott, ahol a matematikáról van szó - épp ilyen körülírásokhoz kell folyamodni, hogy az áramlásnál a Hertz-egyenletekről szó se essék; a vegytanból is legföllebb a benzolgyűrűk felírásáig jutunk, a legjobban még a fejlődéstan, orvostudomány jár: minél megalapozatlanabb valami, annál könnyebb beszélni róla. A tudománytörténet, ha a megfelelő előismereteket föl nem tételezheti, vagy maga közben meg nem tanítja, végül életrajzok és anekdoták egymást elnyomó szabályaira szakad, jó ha néhány nagy gondolat, mint evolúció, az olvasó fejében megmarad. S itt jön, amit már magamon tapasztalok. Akármilyen érdeklődéssel olvas az ember egy tudománytörténeti munkát, aránylag bosszantóan kevés, ami a fejében utána igazán megmarad. Ismeretet annak, aki az ismeret birtokában van, nem ad; annak, akinek nincs, még kevésbé; az ilyen anekdotikus részleteket is az ember többé-kevésbé hallotta már, örül, hogy az agy kacatjai közt helyére teszik, sajnálja, hogy nem tizenhat éves: akkor az ilyen sokkal mélyebb nyomot hagy az ember elméjében.

Mi adódik össze ezekből az ellentmondásokból egy pedagógus fejében? Először is, a tudománytörténetet nem érdemes olvasni: tanulni kell... Én mint öreg diák például azt tűztem ki, hogy azt, ami Störig könyvében van - ez áll a Lehrbuchhoz legközelebb -, tudjam is. Mint-hogy könyvtári könyv, naponta egy-két órát kivonatolom, s kikérdezem magam a jegyzetektől. Így persze sok olyat kiírok, ami kicsit másképp rég ott van a fejemben, de legalább lesz egy szakma, amelynek a „tárgyi részét” nagyjából legalább tudom, mint valaki az élettant vagy a belgyógyászatot. Persze, ha már csak tanulni érdemes a tudománytörténetet, akkor

annak egészen másféle könyv kellene, mint a Störigé. Olyan, amely a történettel együtt a felfedezettet is megtanítja, legalább annyira, amennyire az jelentőségük átértéséhez szükséges. S itt dobja fel emlékezetem azt a természetismeretkönyvet, amelyet vásárhelyi óráim alapján már akkoriban meg akartam írni, s évek múlva is annyira nyomta a lelkemet, hogy egy kiadót sikerült is megíratására rábeszélnem, s amit fordítás helyett mégsem csinálhattam.

Ez a könyv az újkori természettudomány történetéről szólna, de úgy, hogy keletkezésük helyén mindjárt az egyes tudományágak anyagát meg is tanítaná: történet és természetismeret egyszerre. Az újkori természettudomány lehetővé teszi ezt a tárgyalásmódot, mert maga is alulról, a mechanika felől nő fel a lélektan felé, mindig új területekre vive be módszerét. De hisz már elmondtam felépítését. Így csak egyet teszek hozzá, hogy a tervem szerint ez a természetismereti könyv két másik könyvvel lett volna szoros kapcsolatban: egy világtörténettel, melynek szinte kinagyított darabja, aztán egy matematikakönyvvel, amely szintén történetileg mondaná el, hogy alakul és mit jelent a matematika az emberi szellem történetében, s amely részben előzménye volna a természetismereti könyvnek, a XVII-XVIII. századi függvénytan fejezetei párhuzamosan futnának vele, a vége fele pedig a fizika problémáit is átvinné. Olyanféle viszonyban volnának, mint a nyelvekről szóló negyedik könyv a történeti tárgyhoz csatolt olvasókönyvvel. S ha nem is az egész természettudomány tankönyve lenne, de mindazé, ami történet- és világnézet-formáló benne.

\*

A vásárhelyi vegytan- és biológiaórákból a vége fele egy másik könyv terve is kezdett kihajítani, nemcsak ezé a természetismereti tárgyé, s ezt is a tudománytörténettel való foglalkozásnak köszönhetem. Ha a természet és a szellemtudományok történetének egybefogása Störig könyvét kissé lexikonszerűvé teszi is: egy olyan munka, amely arról szólna, hogy a természettudomány hatásával és visszahatásával hogy befolyásolta szellem és élet más területeit, egész civilizációnkról is mondana valamit. E könyv, persze, csak ott kezdődhetne, ahol Wolf könyve is: az új fizika születése előtt. Azelőtt a tudomány nem jutott ilyen jelentőséghez. Szerényen az élet margóján dolgozott: annak, hogy a művészetre, történetírásra hatása lett volna, nem sok jelét látjuk; a technikának megvoltak a maga szakismeretei, ezeknek azonban igen kevés közül volt a tudományhoz. A görögöknél a tudomány az alexandriai kor elején virult ki, amikor a görögség nagy szellemi virágzása már lefolyt; a tudomány már Arisztotelésznél is e gyors, egyik területről a másikra csapó alkotókedv utolsó formáját jelentette. Az iszlámban az ősi költői kedv s az új világirodalom táplálta tudományos érdeklődés egymás mellett voltak: Omár Khájám egyszerre volt költő s matematikus; a tudományuk azonban enciklopédikusabb volt, semhogy az életet s szellemet olyan mérvben alakíthatta volna, mint az újkori. Dante *Commediá*-jába, mint annyi minden, a filozófia is beleépült, a természettudományi ismeret azonban csak a csillagászzal van képviselve benne. Az újkori természettudomány viszont jóformán első lépéseit tette meg, s már az egész szellemi életen kiüt a hatása.

E hatás jellegét tekintve az újkort három részre lehetne felosztani: az első Galileitől, Descartes-tól a XVIII. század hatvanas-hetvenes éveig terjed. Ami ebben a korban az embereket megbűvöli: az új, eddig nem ismert tisztaságú (mondhatnám, sterilitású), egész másfajta ismereteket ígérő módszer, nem épp az, amelyről Descartes írt, hanem amely a tudomány új felfedezéseit hozta: az elemi jelenségek szigetelése, gondosabb vizsgálata, belső rögzítése, az elemzés útján nyerhető törvények új birodalma. A hatás a legközvetlenebb a filozófiában - nemcsak azért, mert a filozófusok vagy természettudósok is vagy olyan emberek, akik a természettudomány iránt érdeklődnek, fordítva lehetne mondani: azért tudták a kor nagy problémáit filozófiailag rögzíteni, mert ismerték a serkentést s a fenyegetést, amely az új módszerben rejlik. A serkentés: a szabatoság volt, a *more geometrico* gondolkodás, melyet Spinoza még az etikában is áhított; a fenyegetés: a determinizmus; hogyan mentsük meg a lélek függetlenségének, felelősségének a hitét az olyan világban, amelyet a mechanika bonyo-

lult géppé szeretne tenni. De érdekes megfigyelni, mint talál utat az új módszer egy olyan barokk udvarba is, mint a XIV. Lajosé, melyben még a pompavágy, a dicsőségvágy, a felekezeti türelmetlenség uralkodik: a descartes-i koordináták a versailles-i kertben a jelképei ennek... Az egész francia irodalom a szabatoság ígérését árasztja, kedvenc eljárása, az elemzés, a portréban remekel. A XIV. Lajos nagy miniszterei, akiknek első sikereit köszönheti, nemcsak támogatói voltak a tudománynak, de érzik rajtuk, hogy az életet is tudós módon kezdik kézbe venni. Az újkori tudomány legeredményesebb műhelye, a Royal Society, s azok közt, akik az 1688-i forradalom eszmevilágát s új embertípusát kialakítják, nemcsak szoros kapcsolat van, mint Locke esetében: párhuzamosság is... Az új szellem a whigek kereskedelmi érdeklődésével párosulva új szellemi tudományágot hív létre, melyben a számok is szerepet kapnak, mint a statisztika, meteorológia, közgazdaságtan, s a kételkedő tudományos szellem létrehozza önmaga filozófiai korlátait, az ismeretelméletet.

A második korszak kezdetét egy nagy visszahatás jelzi. Az új mechanikai módszer az élet más területeire átcsapva a felvilágosodás világnézetében első példáját adja annak a szimplifikációnak, amelyet Burckhardt egy századdal később olyan rettenetesnek érez: a gondolkozásból bizonyos elemek kiesnek, ami a jogosnál biztosabbá, optimistábbá, a képet a valóságosnál egyszerűbbé s lelketlenebbé is teszi. Mi maradt ki ebből a friss mechanikai műveltségéből? Herder szerint az idő, a történeti változatok hatalmas bősége, melyet ez hajlandó volt sommásan, babonaként elintézni; a költők szerint az élet bősége, a görögségben, a német középkorban kikristályosodó vagy tomboló erők. A kihagyott, számba nem vett idő az, amivel a történeti iskola s a hegeli filozófia a természettudomány fölé igyekszik kerülni. Azonban épp az ellenmondás is a függés bizonyítéka. Kant, aki élete első felében természettudós is volt, a metafizikát a természettudományok mintájára akarja megcsinálni, s mindazok a kísérletek, Vicótól egészen Diltheyig, amelyek a történettudománynak alapot akarnak adni, Grundlegungjaikban épp azzal bizonyítják függésüket a természettudománytól, hogy valamiből, ami inkább tudás, mint tudomány, mindenáron tudományt akarnak csinálni. Macaulay-nak nem volt olyan fontos, hogy milyen alapon ír történelmet, mint Rankének, Droysennek.

A művészetben ez a romantikus ellenmondás még termékenyebb volt, mint a tudományokban: a próza alól felbugyogott a líra, a jelenbe beleszólt a görögség, gótika, nép. De ami igazán megerősödött közben, az a természettudomány sugalmazta nagy műfaj, a regény, mely Stendhalban először a fölülkerült tudós módszerével fordult az önmagából is ismert romantikus zűrzavar fölé.

A természettudomány pedig közben tovább építette, s az energiamegmaradás elvével s az elektromágneses fényelmélettel betetőzte fizikai rendszerét - nemcsak az iparral szövetkezett az egész mindenütt, hanem súlypontját a biológiára tette át, s ő maga iktatta be érdeklődés-körébe az időt a származástanban, embriológiában, hogy az a fejlődés gondolatában tán még nagyobb erővel csapjon végig a filozófián, szellemtudományon, s az egész emberi gondolkodáson, mint Voltaire korában a mechanikából áradó varázs.

A harmadik szakasz a múlt század utolsó évtizedeibe nyúlik vissza, s megint az újabb, még rettenetesebb szimplifikátorok ellen folyik, akik a fejlődés csúcsairól néznek szét minden korlátoltságukban, s egyre jobban birtokukba veszik az életet. Az új művészet Baudelaire óta egy nagy lázadás a múlt század második felében kialakult biztonság ellen, a történettudomány s filozófia válságtudományt fejlesztett ki, a halottnak hitt vallásos érzés nagy szellemekben követeli jogát, a lélektan a megőrzött s lázongó évezredekről beszél. Az embernek, bár egyre közelebb jön, nem kell ez a világ, amely a múlt század hatvanas éveinek a világképéből szinte szillogizmusszerűen következik. Az egész nyugati műveltség egy nagy tüntetés. A természettudomány azonban ebben a lázadásban is megőrzi fölényét. Legősibb, legmegalapozottabbnak hitt részén, a fizikában maga kezdi a newtoni alapokat felszaggatni, s bár nyugalmat adni nem tud többé, ő hozza most is a legbiztosabb eszközökkel a legnagyobb eredményeket. Míg a

lázadás művészi-szellemtudományi része fölött ott a kérdőjel: nem egy civilizáció halálát látjuk-e, az új természettudomány eszközei s eredményei bizonnal továbbvándorolnak abba az új otthonba is, amelyet a német romantikusok vándorló Weltgeistje épp korunkban épít majd magának.

\*

A kép így állt előttem: a XVII. század elején a Nyugat népei is túl voltak szellemük nagy virágkorán, erejük fölét gyilkos vallásháborúkban tobzódták el, megérték rá, mint a görögök az alexandriai korban, hogy a legjobbak a tudomány szerényebb, határozottabb feladatainak adják magukat. De vagy a reneszánsz szellem maradványai voltak frissebbek, a szabad népek közti munkamegosztás egészségesebb, vagy jobb helyen, szerencsésebb módszerrel láttak hozzá az építkezéshez: a tudomány alig néhány évtized alatt olyan alapokat kapott, olyan eredményeket ért el, hogy az építkezést most már nem lehetett sem abbahagyni, sem eltüntetni, s a nagy siker, mely Galilei és Newton közt új falakat s tetőgerendákat adott a világnak: mozgásba hozta a szellemet, s lassan a gyakorlatot, amely most új, nem próbált irányba vágva abba az oxigéndús levegőbe került, amit a föltáró ismeretlen teremt az öreg körül. Így lett a természettudomány a férfikorán túljutott fausti civilizáció (a vég mutatja meg: isten vagy ördög adta) elixírje.

Ma már nem vagyok olyan biztos, hogy ez a kép helyes-e, s nem túlozza-e abban, ami történt s történik velünk, a természettudomány szerepét. Az kétségtelen, hogy az új fizika előtt ott jár az a csalódás, belefásulás is, amely a vallásvitáktól a skolasztika s asztrológia-féle áltudományoktól lassan elfordítja az érdeklődést. De ott van az igazi eredményeket adó tudás után való szenvedélyes vágy is, amely Bacon tollára csordul ki az ő *Instauratio Magná*-jában. Filozófiával foglalkozó emberek többször lehurrogtak, amikor megmondtam, hogy én Bacont a világ egyik legnagyobb gondolkozójának tartom: azt, amit a gondolkozás csapdájáról (idolumairól) mondott, mint a logikát pótló, valódi gondolkodásra nevelés első csiráit mindig felolvastattam a tanítványaimmal - az pedig, hogy az új természettudományból szinte még azt sem ismerve, ami megvolt már, annak olyan hatalmas programot adott, mely még a Royal Society gyakorló tudósait is lelkesítette, arra vall, hogy még fokozottabb mértékben volt meg benne az, ami az újkor nagy gondolkozóira: Descartes-ra, Locke-ra, Leibnizre, Kant-ra, Hegelre, Marxra egyaránt jellemző, hogy egy új, lappangó szellemi szituációt, melyben nemzedékek fognak vívódni, előre kimondott. Az *Instauratio*-nak így utólag azt a címet is adhatnánk: „A tudomány megidézése”.

Az új tudományt azonban nemcsak ilyen programok idézték, a levegőben volt a problémák olyanféle kezelése, mint amilyenre Galilei példát adott. Ebből a szempontból szinte jelképes a tény, hogy Galileinek az apja nemcsak zenekedvelő ember, de zeneelmélet-író is. Ha az ember a természettudomány ormáról, amelyet Newton nevével jelölhetünk, arra a másik oromra néz, amelyet szintén a XVII. század végére, a két Corelli, majd Händel, Bach elért, a két teljesítmény közt sok párhuzamosságot találunk: mindegyik feltétele a mesteremberi zsenialitás, amely ott új műszereket, itt új hangszereket állított elő, s mindegyik nagy teoretikus kísérletezők munkáját summázta anélkül, hogy az új zenét annyira is a természettudomány függvényének tekinthetnénk, mint az új filozófiát, közgazdaságtant, irodalmat. Sőt, a zenében, mely olasz s német földön virult fel, sokkal tovább s frissebben élt a barokk, amit az új természettudományos szellem már kikezdett, ugyanakkor azonban benne is folyik az a probléma-kezelés, amely - gondoljunk csak a dūr-moll hangsorok kialakulására - a természettudomány nagy eredményeit adja. Ugyanezt mondhatnánk a Regiomontanus kora óta állandóan fokozódó matematikai erjedésre, amely mintha csak az eszközöket akarta volna a tudománynak időre szolgáltatni. Vagyis nemcsak az érdeklődés arra fordulása idézte meg a tudományt, de az agyak legkülönbözőbb területein folyó átállítása is.

E fordulatnak egyik jele az ipar növekedése is. A reneszánsz pompájával az iparok egész sorát emelte a művészet rangjára; a háború, hajózás, kohászat új feladatokkal nagyobb problémák felé terelte annak a kornak az alapiparait. De az ipar becsülete akkorát nő, hogy lassan a könyvíró emberek érdeklődése is feléje fordul. Amikorra Vasari megírja könyvét a festőmesterségről, már elkészült Agricola könyve is a csehországi bányászatról és kohászatról. Galilei az *Aranymérleg* s a *Discorsi* példáinak nagy részét a velencei arzenálból, a ballisztikából veszi. A lencsecsiszolók adják az életét meghatározó műszer, a teleszkóp ötletét is. Kezdetben a hajósoknak akar a földrajzi hosszúság meghatározására műszert szerkeszteni. A Royal Society mögött is ott látjuk a whig-London ébredő érdeklődését. Később, az ipari forradalom korában - pedig akkor már másfélszáz éves - egészen meglepő, a tudomány szerepe mennyire másodlagos. A szövőipar gépeit, melyek a forradalmat elindították, a szükséglet s néhány munkás adta a szövőiparnak; a gőzgépet is a bányák igénye, s egy mechanikus szívóssága tette tudományos játékból életformáló valósággá. A vegyi tudomány eredményeit csak az 1800-as évektől kezdi az ipar, ahol szükség van rá, komolyan felhasználni. Ettől fogva lesz szorosabb a kapcsolat ipar s tudomány közt, s lehet vitatkozni, hogy az ipar (s az új, nagy ipar: a háború) szükségletei serkentik-e jobban a tudományt, vagy a tudomány felfedezései szattyongatják-e az ipart. A helyzet továbbra is az, hogy a tudomány alkotásai játékszerek maradnak, ha a technika nem realizálná őket, amint hogy a dinamó vagy atomreaktorok esetében látjuk: a találmányoknak be kell várnuk, amíg az ipar hozzájuk nő, technikusaival magához rántja őket.

De az érdeklődés fordulásai s az ipar diktandója mögött van még egy nagyobb Árnyc is, amely ezeket is hajtja. Machiavelli, aki az új tudományos gondolkodásnak egyik merész előfutára: Itália megszervezéséhez dolgozta ki politikai fizikáját. Ami Borgia Caesarnak nem sikerült: sikerült Richelieu-nek. Ugyanaz a kor, amely az ipari tudományt létrehozta, a nagy szervezések kora. Különösen feltűnő ez Cromwellnél, akit „ideológiája” messze vetett a természettudomány szellemétől, de addig példátlan tudósa volt a szervezésnek: nemcsak a hadsereget, Skóciát, Angliát, Írországot fogta egy szervezetbe, de az angol világbirodalom is alatta kezd organikussá válni, s ha tovább él, ki tudja, nem szervezi-e meg az egész protestáns világot is. Nagy Péternél vagy a Hohenzollerneknél egész világosan látjuk, mint függ össze a szervezés láza az iparpártolással s azon túl a tudomány iránti jóindulattal. A reakció persze reverzibilis, s egyre hevesebben folyik mindkét irányban: a birodalmak szervezéséhez ipar kell, az iparhoz tudomány, a tudomány viszont félelmes sugallatokat ad az iparnak, s az soha nem hallott eszközöket ad a szervezésnek az emberek összefogására. Így állhat elő a tudománytörténet nagy paradoxona, hogy a természettudomány, mely önmagában oly szép, mint egy hatalmas imádság, az emberiség leigázásának válhat eszközévé.

1958

# A KLASSZIKUS FIZIKA

## A MECHANIKA KEZDETEI

A középkori ember, legalábbis a legjobb, a földön is a túlvilágra készült. A reneszánsz ember fölfedezte magát, és maga körül a természetet. De ez a fölfedezés nagyon is mohó volt. Egyszerre akarta kitépni a természet egész titkát, átölelni egész terjedelmét. A művészetben ez a mohóság bámulatos eredményekkel járt - azóta sem éltek ilyen sokoldalú ezermesterek a földön. A tudomány azonban lassú, módszeres haladást kíván - a tudósnak le kell mondania a részletekért az egésztől. Aki a „nagy titkot”, a bölcsék követét keresi, csillagjósává, alkimistává, mágussá lesz. Sosem virágzott úgy az áltudomány, mint a XV., XVI. században. A házkutatók ördögidéző bűvszavakat találtak, Mátyás király horoszkópot csináltatott, mielőtt valamihez hozzáfogott. Goethe Faustja ennek a századnak a hőse. Az ember minden kulcsot végigpróbál - a varázslatot is -, hogy a természet zárait fölnyissa. S a sok cifra, hamis kulcs közt ott lesz az egyszerű, igazi is.

A változás a csillagokban kezdődött. Hajósok már századok óta gondoltak arra, hogy nyugat felé is el lehet jutni keletre. Kolumbusz, azt hitték, el is jutott. A lapos Föld - A Világ-óceán szigete - gömbölyű lett, s minden támasz nélkül állt az ürességben. De ha a Föld támasz nélkül áll, a csillagoknak sem kell kristályburákon mozogniuk. A világ szabadon lebegő égitestekből áll, melyeket tán épp mozgásuk tart fönn a térben. A csillaggá lett Föld elvesztette szilárdságát, kidobódott a világűrbe, s Kopernikusz, a lengyel csillagász a világ közepéből egyszerű bolygóvá tette a Nap többi bolygói közt. Órjási változás volt ez: a Föld, amely maga volt eddig a világ, világocska lett a tér végtelenségében. Kopernikusz azonban elég óvatosan, sok limlommal elborítva mondta ki ezt - Giordano Brunót, a filozófust égették meg érte, aki elsőül részegedett meg ettől a gondolattól.

Kopernikusz örökségét Kepler fejlesztette tovább. Kepler esete példa rá, hogy bontakozik ki egy igazi tudomány a XVI. század áltudományaiból. Kepler is csillagjósáslásból élt, s a matematika volt a legerősebb oldala. Amikor Tycho Brahé, Rudolf császár csillagásza maga mellé hívta, félt, hogy mint rossz szemű, számokba vesző ember, meg tudja-e állni majd mint csillagász a helyét. De épp ez volt a nagyszerű, hogy egy matematikus lett csillagász. A holland Jansen ekkoriban készíti el az első messzelátót. Kepler is összeállítja a magáét. A csillagok megnőnek, a Hold árkai fölnyílnak - de történik ennél fontosabb is: Kepler kimondhatatlan vesződségek árán kihámozza az akkor ismert hat bolygó mozgástörvényeit. Három törvénye ez volt: 1. A bolygók nem körpályán mozognak, mint eleinte hitte, hanem ellipszisen, amelynek egyik gyújtópontjában a Nap áll. 2. A gyújtópontokból a bolygókhoz húzott sugár egyenlő idő alatt egyenlő területet ír le. (OAB egyenlő OCD-vel, ami csak úgy lehetséges, ha az AB ív hosszabb, mint a CD ív. Vagyis a gyújtópontokhoz közel a bolygók gyorsabban mozognak.) 3. Különböző bolygók keringési idejének a négyzetei úgy aránylanak, mint a hozzájuk tartozó nagytengelyeknek a köbe. Vagyis ha egy bolygótengely kétszer olyan hosszú volna, mint a másik, akkor keringési idejét a következő egyenletből lehetne kiszámítani:

$$t^2:1 = 8:1 \quad \text{azaz} \quad t = (8)^{1/2} \approx 2,7.$$

Azaz a távolabbi bolygók lassabban keringenek, mint a közeliéek.

Mi volt az úttörő Kepler törvényeiben? Hogy a csillagok mozgását és a matematikát összekapcsolta: mozgásegyenleteket állított föl. S ezeknek az egyenleteknek törvényerejük volt. Ha ismerte a csillag helyzetét, kiszámíthatta, hol lesz az egy bizonyos idő múlva. Emberek sorsát

nem lehetett megjósolni a csillagok helyzetéből, de a csillagokét igen. A cifra kulcsok a világ magyarázatát ígérték, a bűvös kulcs azonban ez volt: a természet jelenségeinek matematikai leírása.

*A földi mechanika.* - Kepler elküldte a könyvét egy pisai olasznak, aki akkoriban a pádovai egyetemnek volt tanára. Galilei magáévá tette Kepler nézeteit. Messzelátója is volt már. Képzeljük el a bíborosokat, akik először néztek ki ezen a szerszámon át az űrbe. Galilei pompás értekezésben, párbeszédekben is bizonyította Kopernikusz és Kepler igazát, a Föld forgását. Ezek a párbeszédok okozták a vesztét. Az öreg tudós az inkvizíció rabja lett, s csak akkor engedték el, amikor tanításait visszavonta. Amit tán jól is tett: a Föld mozgott már a pápa beleegyezése nélkül is - s neki még annyi elintéznivalója lett volna a világban.

Az emberek emlékezete s a történelem Galileinek a pörét jegyezte meg - az ő érdeme azonban egészen más volt. Ha Kepler az ég mozgásait írta le, ő a Föld mozgásainak a leírására adott példát. Már igen fiatalon - jóval Kepler előtt - foglalkoztatta a szabadesés. Szülővárosában kitűnő műszere volt a szabadesés tanulmányozására: a ferde torony. Galilei ezen mutatta ki, hogy a szabadesés gyorsasága nem függ a tárgyak nehézségétől. A toll csak azért esik lassabban, mert a levegő felhajtó ereje<sup>1</sup> akadályozza. (Mi ezt légüres térben leejtett testekkel mutatjuk be.) Galilei ezt olyan testekkel mutatta be, melyeknek a súlya különböző volt, de mind elég nehezek voltak ahhoz, hogy a levegő felhajtóereje esésüket ne akadályozza. Azt is látta, hogy esés közben a test sebessége egyre nő, s szeretne volna megtudni, van-e valami törvényszerűség ebben a növekedésben. De órája még nem volt - s a dobozból kifolyó homok rossz volt idő mérésére. Hogy lassítsa meg a szabadesést? Azt tételezte föl, hogy a lejtőn guruló test is olyasformán mozog, mint a szabadon eső, csak a sebessége más. S itt már meg tudta állapítani, hogy a megtett út az idő négyzetével arányos: egy test a második perc végére négyszer annyi utat tesz meg, mint az első alatt. Ezt a kísérletét mi is elismételhetjük, ha lejtőbe négy vályút faragunk. A második négyszer, a harmadik kilencszer, a negyedik tizenhatszor olyan hosszú, mint az első. Gurítsunk le golyókat bennük - a koppanások szabályos időközben ismétlődnek egymás után.

Később az ingamozgás is foglalkoztatta, s ő mutatta ki, hogy az inga lengésideje a fonál hosszának a négyzetgyökével arányos - négyszer olyan hosszú ingának kétszer annyi idő kell a lengés megtételére. Órakészítésre is gondolt - de ezt a feladatot csak a holland Huygens oldotta meg.

Galileinek azonban van nagyobb érdeme is annál, hogy ezeket a kísérleteket a szabadesés, lejtő, illetve ingamozgás természetéről elvégezte. Ezeknek a kísérleteknek a nagy részét fiatalon hajtotta végre, a tudomány azonban, amelyet megteremtett velük, csak később bontakozott ki benne. Az ő problémája ez volt: hogy lehet leírni a mozgásokat. Ehhez egy olyan mozgást vett föl, amelyet a természetben senki sem látott: az egyenes vonalú egyenletes mozgást. A természet mozgásai vagy lassulnak, vagy gyorsulnak - Galilei azonban azt tételezte föl, hogy a magukra hagyott testek, ha semmiféle hatás sem érne őket, egyenes vonalban mozognának tovább, mindig ugyanazzal a sebességgel. A földön azért nem mozognak így, mert a súrlódás vagy a közeg (levegő, víz) ellenállása lefékezi őket. A második lépése az volt, hogy annak, ami a testek mozgását megváltoztatja, nevet adott. Az erő addig az állati erőt jelentette; - most lett mindannak a neve, ami a testek sebességét meg tudja változtatni. A szabadesést például egy erőnek kell előidézni, hisz az eső test sebessége folyton nagyobb lesz. Ha a sebesség az időegység alatt megtett út, a gyorsulás az időegység alatt megtett sebességváltozás. Az olyan mozgásnál, amelynek a sebessége állandó, az utat elosztjuk az idővel, s

---

<sup>1</sup> közegellenállás (a szerk.)

megkapjuk a sebességet:  $v = s/t$ . Amelyik mozgásnak a sebessége nem állandó, az változó. De vannak olyan mozgások, amelyeknek a gyorsulásuk állandó. Ezek az egyenletesen változó mozgások: - ilyen a szabadesés is. Vagyis a szabadesésnél a sebesség minden másodperc végén ugyanannyit változik. Ha az első másodperc végén  $g$ ,<sup>2</sup> akkor a második másodperc végén  $2g$ , a harmadik végén  $3g$  stb. Azaz  $v = gt$ . Az utat úgy számíthatjuk ki, hogy  $s = g \cdot t^2 / 2$ . Ezt mutatta a kísérlet. De ki is számíthatjuk. A sebesség az első másodperc elején zérus, a végén  $10 \text{ m/sec}$ , akkor az átlagos sebesség  $5$ , vagyis egy másodperc alatt  $5$  métert tett meg. A következő másodperc átlagsebessége  $15$ , a második másodperc végéig megtett út tehát  $20 \text{ m}$  ( $10 \cdot 2^2 / 2$ ); a harmadik végéig  $45 \text{ m}$  ( $10 \cdot 3^2 / 2$ ). A lejtőesés is egyenletesen gyorsuló mozgás. De itt a gyorsulás kisebb, a lejtő szögének szinuszától függ:  $a = g \cdot \sin(\alpha)$ . Ha a lejtő vízszintes,  $\sin(0^\circ) = 0$ ; ha a lejtő merőleges,  $\sin(90^\circ) = 1$ ,  $a = g$ . Az első esetben nincs gyorsulás, az utóbbiban azonos a föld nehézségével.

Az erőt azonban nemcsak a gyorsulás jellemzi, hanem a tömeg is, amit mozgásba hoz. Nagyobb tömegű testet nagyobb erő hoz ugyanolyan gyorsulásba. Az erő nagyságát tehát tömeg és gyorsulás szorzatával mérjük. Egy test súlya is erő: nagysága a nehézségi gyorsulásnak és a test tömegének a szorzatával egyenlő. Minthogy a nehézségi gyorsulás minden testre ugyanaz, a tömeget a testek súlyával is megmérhetjük. Az erőnek azonban nagyságán kívül iránya is van. Nem mindegy, hogy két ló egymás mellett húz-e, vagy a kocsit két végébe fogva. Az olyan mennyiségeket, amelyeknek nemcsak nagyságuk, hanem irányuk is van, épp a vektorokhoz hasonlítjuk, azokat vektoroknak nevezzük. Mi történik, ha egy testre két különböző irányú erő hat? Galilei már ezzel a kérdéssel is foglalkozott. Ha egy testet egy toronyablakból vízszintesen kihajítunk, arra két vektor fog hatni: az egyik igyekszik vízszintes irányba vinni, s kezdeti sebességét megtartani, a másik a föld nehézségi ereje, amely  $g$  gyorsulással viszi a föld felé. A kő pályáját könnyű megszerkeszteni. Az eső test görbéje egyre meredekebb lesz, a hajítás mindjobban hasonlít a szabadeséshez. De meg lehet szerkeszteni az új helyzetet akkor is, ha az erők nem merőlegesek egymásra, a paralelogramma-tétellel. A két erő nagyságát fölmérjük - az egyik a paralelogramma egyik oldala, a másik a másik - s az átló lesz az összetevő erők eredője.

Erőket nemcsak összetenni, szétbontani is lehet. Ilyen például a lejtőn esés vagy az ingamozgás is. A lejtőn a nehézségi erő merőlegesen hat, de a lejtő két komponensre bontja szét. Az egyik a lejtő mentén hat, s ez érvényesül, a másik pedig merőleges lesz a lejtőre, s megsemmisül. Az ingánál is a fonál akadályozza a nehézségi erő érvényesülését. Itt is a nehézségi erő két vektorra bomlik. Egyik a szál irányába hat, és megsemmisül,<sup>3</sup> a másik az ingát a nyugalmi helyzete felé viszi.

Az erő görögül dinamist jelent. Galilei az erőtan - dinamika - legfontosabb alapelveit egymaga rakta le. Most már csak a bonyolultabb esetek kibogozása volt hátra. Ebben segítette meg Huygens kitűnő matematikaérzéke. Az ő nevét főként fényelmélete őrizte meg; ebben ő győzött Newtonnal szemben. De Huygens egy hatalmas lépést tett a dinamikában. Ő csinálta az első ingát, eközben ő dolgozta ki az ingamozgás fizikáját, a körmozgást és a centrifugális erőt. Galilei az inga eszményi esetével, az úgynevezett matematikai ingával foglalkozott: ennél egy kis golyó függ fonálon. Egy lengés ideje ilyenkor:  $T = \pi(l/g)^{1/2}$ . Huygens a fizikai ingát vette szemügyre - ez egy fix ponton megerősített test. A függő fonálon, ha kitérítjük, fizikai inga. A helyzet itt sokkal bonyolultabb, mint a matematikai ingánál, hisz itt tulajdonképpen minden parányi rész egy külön kis inga, s annak mindnek más és más a hosszúsága. Huygens megtalálta a módját, hogy ezeket az ingákat összegezze, s bevezette az

<sup>2</sup> nehézségi gyorsulás (a szerk.)

<sup>3</sup> a fonál húzóereje semlegesíti a hatását (a szerk.)

inga redukált hosszát - ez az a hosszúság, amelyet  $l$  gyanánt használhatunk, miközben a matematikai inga képlete a fizikai ingára is érvényes lesz. A lengésidő képletében a gyökjel alatt ott van a  $g$ , a nehézségi gyorsulás is. Ha ismerjük a lengésidőt  $s$  az inga redukált hosszát: meghatározhatjuk ezt is. De mi derült ki? Hogy a földgyorsulás a Föld különböző helyein más és más. Az új ingaóra az egyenlítőn napi két percet sietett - azaz lengésideje valamiképp ott kevesebb. Az ingaóra föltalálója azonban a körmozgással is foglalkozott, s ezt is meg tudta magyarázni. A Föld minden része egyenletes körmozgásban van a Föld tengelye körül. De miféle mozgás ez az egyenletes körmozgás? Hisz ha egy testet magára hagyunk, az nem körpályán, hanem egyenes pályán mozog tovább. Ha körön mozog, valami erőnek kell hatni rá, van tehát a kör központja felé ható gyorsulás is. Ezt az erőt nevezzük centripetális erőnek. A centripetális erő nagysága függ a kör sugarától - az egyenlítőn a legnagyobb, a sarkon a legkisebb. A testekre tehát nemcsak a Föld középpontja felé ható erő hat, hanem egy másik is, s a kettőt össze kell adnunk, hogy a valódi földnehézséget megkaphassuk. Minél nagyobb a centrifugális erő, annál többet ront le a Föld nehézség hatásából, tehát annál kisebb lesz a  $g$  gyorsulás.<sup>4</sup> Tengelyen forgó abroncsokat a centrifugális erő széthúzza, ugyanez történt a földdel is, a két végén belapult.

*Az égi és földi mechanika egyesítése.* - Amit Huygens a kör mozgásairól megállapított, annak Newton vonta le következményeit az égre. Newton a XVII. század betetőzője. Ő teremti meg Leibnizcel egyidőben a differenciálszámítást, a fényre vonatkozó elméletei példaszemek. A legnagyobb tette mégis az, hogy az égi és földi mozgások tanát összekapcsolta, s ezzel egy törvényt fogta az egész természetet. A bolygók görbe pályákon mozognak. Görbe pályán csak akkor mozoghat egy test, ha erő hat rá. Miféle erő hat az égitestekre? Newton agya végezte el a villanást: ugyanaz, ami a Föld fele húzza a testeket. Nem a földvonzás, hanem általában a tömegvonzás. A bolygókat a Nap vonzza: - más csillagokat más tömegek. Minden tömeg hat minden tömegegre. Ennek az erőnek a mértékét is megállapította. Arányos a két egymásra ható test tömegével, és fordítva a távolságuk négyzetével. Ez a tömegvonzás minden tömeg közt hat. Nemcsak a Föld vonzza a követ - a kő is a Földet: csak néha nem érezzük, mert a tömeg kicsiny, vagy a távolság nagy.

## A FIZIKA KIBONTAKOZÁSA

Galilei kísérletei megmozgatták a tudós elméket. Az emberek észrevették, hogy a zár fordul - ez a kulcs nyit. A mechanika a maga sámfájára húzza az egész gondolkodásukat. A század legnagyobb gondolkodói - Descartes, Pascal, a német Leibniz - matematikusok is. Descartes mechanikai és fénytani problémákkal is foglalkozik, és koordinátarendszere mutatja új módszerét, Pascal nevét a fizika tanulói a Pascal-háromszögről s Pascal elvéből ismerik. Spinoza *Erkölcstan*-át *more geometrico* - azaz egy mértankönyv példájára - írja, axiómákból vezetve le a tételeket. Az ember lelki életét mechanikailag írja le: erópárok kötik le egymást - csak hogy paralelogrammákat nem rajzol, hogy kiszámítsa eredőjüket. Az orvostudomány a szervezetet mechanikai szerkezetnek látja, egy angol filozófus, Hobbes pedig már a lelket is. Ha a mechanika ennyire elbűvölte az egész gondolkodást, elképzelhető, hogy uralkodott a fizika más területein.

---

<sup>4</sup> A centrifugális erő a centripetális erővel egyforma nagyságú, de ellenkező irányú, sugár irányba kifelé mutat. A Föld középpontja felé húzó erőből le kell vonnunk a Föld forgása miatt fellépő centripetális erőt, hogy a földfelszínhez viszonyított nehézséget megkapjuk. (a szerk.)

A tizenhetedik század két izgató örökséget kapott: az egyik a horror vacui volt, a másik a lencsék sajátságai. Ma természetesnek tartjuk, hogy a világ főként semmiből áll: a nagy ürességben itt-ott egy napnyi anyag. A régiek azonban azt hitték, hogy a természet irtózik az ürességtől - ahol üresség támad, oda ő betol valamit. Erre most már bizonyítékuk is volt: a szívókutak. A szívókút dugattyúját fölhúzzuk, a fölfele nyíló szelepen át víz tódul be az ürességbe; ezt a vizet nyomjuk ki egy másik szelepen a kút csövébe. A vizet az akkoriak szerint a horror vacui hajtja föl. Galilei azt tapasztalta, hogyha a cső tíz méternél hosszabb, a horror nem elég a víz fölhajtására. A légüres tér problémáját tanítványára, Torricellire hagyta. Galilei tanítványai nem voltak olyan nagy elméletiek, mint ő, de szerettek kísérletezni. Torricelli híres kísérletében higanyal telt csövet nyitott végével egy higanyos tálacskába fordította. A higany nem folyt ki belőle, hanem 76 cm magasan megállt. Miért nem folyt ki? Mert valami egyensúlyt tartott vele - megakadályozta, hogy kifolyjon. Ez a valami csak a tálacsákára nehezedő levegőoszlop súlya lehetett. A kísérletnek két eredménye volt - megmérte a levegőoszlop súlyát (1 cm<sup>2</sup> 760 mm magas higanyoszlop súlya 1 kiló), s bebizonyította, hogy van vákuum - hisz ott volt a zárt csőben, a visszacsúszott higanyoszlop felett. Érdekes lett volna ebbe a zárt térbe élőlényeket bevinni. Ez azonban nem sikerült neki. A légüres teret Guericke, a magdeburgi polgármester tette könnyen kezelhetővé. Mi is utánozhatjuk a kísérleteit. Szivattyújával ő egy rézdozból szívatta ki a levegőt. A doboz falát nyomta a levegő, a rézdozot beszakította, végre egy üvegharang alatt csinált légüres teret; a behelyezett állatok elpusztultak, a harang nem adott hangot - tehát bebizonyította, hogy a hanghoz is levegő kell. Leghíresebbek a féltékéi lettek: két félgömb közül kiszívatta a levegőt, s négy pár ló sem volt képes a gömböket széjjelhúzni.

Toricelli higanyoszlopa hol magasabban állt, hol alacsonyabban. Ebből arra következtettek, hogy a levegő súlya, a légnyomás sem állandó. Pascal felküldte a sógorát a havasokba: ott lényegesen alacsonyabb volt.<sup>5</sup> A Torricelli-készülékből így lett légnyomásmérő szerv - barométer. A mai barométerek is vagy Torricelli barométeréhez hasonlítanak (higanyosak), vagy Guericke dobozához - a doboz falára nehezedő nyomást teszik át mutatóra. A barométer megmutatta azt is, hogy a szél - a levegő áramlása - a nagyobb nyomású helyről az alacsonyabbra megy. A görögök széllistenéből így lett nyomáskülönbség.

Pascalnak érdeme, hogy ami a feltűnőbb anyagon, a levegőn nyilvánvalóvá lett, azt a csendesebben, a vízben is tanulmányozni kezdte. A vízoszlopnak is van súlya, s mint a levegőoszlop a higanyt, a vízoszlop is nyomja vele a víz fenekét. Az egy négyzetcentiméterre eső víznyomás - vagy hidrosztatikai nyomás - függ a folyadékoszlop magasságától, attól, hogy hányszor nehezebb a víznél (sűrűség), s a fenék nagyságától. De független az edény alakjától: akár öblös az, akár egyenes, hasonló nyomás hat a víz belsejében minden részecskére. Egy vízrész azonban csak akkor lehet nyugalomban, ha a ráható erők megsemmisítik egymást - a hidrosztatikai erővel szemben egy ugyanolyan nagyságú hidrosztatikai felhajtóerőnek kell dolgozni. Érzik ezt a vízbe merülő testek is: a felhajtóerő ellene dolgozik a súlyuknak. Arkhimédész régi törvénye szerint: annyival csökkenti a súlyukat, amennyi az általuk kiszorított víz súlya. Ezt a súlyvesztést mérni is lehet: ha a mérleg egyik karjára akasztott 1 liternyi vasdarabot vízbe merítjük, a mérleg másik feléről egy kilót levehetünk. Pascal most azt nézte, mi történik, ha a víz felszínére még külön nyomás hat. A nyomás ilyenkor egyenletesen terjed szét az egész folyadékban. Ha egy közlekedőedény vékonyabb, 20 cm<sup>2</sup>-es ágába 1 kg súlyt teszünk, az 1 cm<sup>2</sup>-re eső nyomás 1/20 kg, azaz 5 dkg lesz. Ugyanekkora nyomás hat a víz minden centiméterére, s a másik közlekedőág dugattyújára is. Ha ennek 100 cm<sup>2</sup> a területe,

---

<sup>5</sup> a légnyomás (a szerk.)

akkor összesen 5 kg. Azaz [...] <sup>6</sup> 5 kg súllyal tart egyensúlyt, az annál kevesebbet pedig fölemeli. A hidraulikus sajtó épp így emeli fel kis nyomással a nagy súlyokat.

Áramlások - szelek - a vízben is vannak: a folyadékok is a magasabb nyomású helyről az alacsonyabb nyomású felé áramlanak. Az ember testében így áramlik a vér - a szívből a test különböző részeibe.

Az áramlásnak különös faja, amely két folyadék összeöntésénél jön létre. Ez a diffúzió addig tart, amíg a folyadékok vagy gázok ki nem egyenlítődnek. Sóoldatok is tarthatnak fenn áramlást, ha egy félig átteresztő hártya választja el őket oldószerüktől. Félig átteresztő hártya az olyan, amely a vizet áttereszt, az oldatot azonban nem. A víz és a sóoldat ki akar egyenlítődni, de minthogy a só nem mehet a víz felé, a víz szivárog a sóba. Az a nyomás, ami a vizet a só felé hajtja, az ozmózisnyomás. Mértéke az az erő, amely a sóoldat fölé helyezve az áramlást megállítja. Az effektus az élettanban lesz fontos. A sejtek áramlását a diffúzió és az ozmózisnyomás kerengetik.

Állandónak azt az áramot mondjuk, amelyen egy másodpercben mindig ugyanannyi részecske megy át. Ha az áram állandó, s a cső szűkül - azaz egyszerre kevesebb részecske mehet át -, akkor azoknak gyorsabban kell átmenniük. Keskeny csövekben a folyadék sebessége nő - nyomása a falakra viszont csökken.

Most már a testek halmazállapotát is erőnek tartották. A gázok közt ez az összetartó erő csekély. A gázok éppen ezért összenyomhatók. Boyle, a kor legjobb kémikusa, meg is mérte, hogy mennyire. Kísérletét megfordította: nem a levegővel nyomta a higanyt, hanem a higanyoszloppal nyomta össze a levegőt. Azt találta, hogy kétszer akkora nyomáson a levegő térfogata felényi. Azaz nyomás és térfogat fordítva arányos. A cseppfolyós testek részecskéi közt már nagyobb a kohézió - összenyomni alig-alig lehet őket. A nehézségi erő azonban addig gördíti őket, amíg a felületük merőleges nem lesz rá. Az edények fala és a folyadék közt is van tapadás. Ha ez nagyobb a szélső részeket befele húzó kohéziónál, a folyadék széle az edényre homorú lesz - ha a kohézió nagyobb (higany), domború. Igen keskeny csövekben (kapillárisokban) a víz egész felületére hat a tapadás, s a vizet magasan a víz vízszintje fölé szívja. Így szivárog föl házuk falában a víz. A szilárd testek közt a kohézió még erősebb. Nekik már alakjuk is van. A nehézségi erő minden részükre hat. Ha ezeket az erőket összeadjuk, végül egyetlen pontot kapunk. Ennek a támadópontját nevezzük súlypontnak. A test úgy viselkedik, mintha egész tömege ebben az egyetlen pontban volna összesítve - s a földgyorsulás ott támadna rája. Ha a súlypont egy test függőleges tengelyében a megtámasztás alatt van, az egyensúly biztos - ha oldalt s magasabban, bizonytalan -, ha fölötte: egészen rossz (keljfeljancsi). Ha a test alakját meg akarjuk változtatni, az ellenáll neki. Ezt az ellenállást nevezzük rugalmasságnak. A rugalmasság határa az az erő, amely a testen már tartós alakváltozást hoz létre.

*A lencsék tanulsága.* - A holland Jansen épp 1600-ban állította elő az első messzelátót. A messzelátó és testvére, a mikroszkóp, egyszerre nyitották meg az ember előtt a kicsinyt és a nagyot. Az esőcseppben élőlények ezrei nyüzsögtek - s a látható csillagokon túl millió új csillagoknak. Ez a két találmány felhívta a tudósok figyelmét a fényre; a mozgások mellett a fénytani kísérletek izgatták legjobban ennek a kornak tudósait. Az emberiségnek volt már néhány találmánya, mely a fény természetéről elmondott valamit. Megvolt a camera obscura - a mai fényképezőgép sötétkamrája. Ez a fény egyenesvonalú terjedését bizonyította. Az elülső nyíláson belépő fénynyaláb a tárgy fordított képét írta a hátsó falra. Voltak tükreik; a rómaiak fémtükrei után kristálytükrök: ezen a fény visszaverődését lehetett tanulmányozni. A fény-

---

<sup>6</sup> 1 kg most (a szerk.)

visszaverődés legfontosabb szabálya, hogy a beeső és visszavert sugár  $s$  a beesési pontban emelt merőleges egy síkban van,  $s$  a beesési szög, melyet a beeső sugár és a merőleges zár be, ugyanakkora, mint a visszaverődés szöge.

A legjobban azonban a lencsék izgatták az embereket. Lencséket tán Roger Bacon csiszolt először a tizenharmadik században. A tizenhetedik században olyan népszerű mesterség volt, hogy Spinoza is ezt választotta kenyérkereső foglalkozásul. A lencsék [...] a fényt megtörik. Fénytörés akkor jön létre, ha a fénysugár egyik anyagból a másikba ér. [...] A fénytörés szabályát Descartes állította föl: a beesési szög szinusza osztva a törési szög szinuszával két anyagra mindig ugyanaz a szám. Levegőre és vízre  $\frac{4}{3}$ .

A lencséket vagy domborúra szokták csiszolni, vagy homorúra. (Vannak aztán sík-domború, sík-homorú lencsék is.) A lencsére eső sugarak egy pontban - a gyújtópontban - verődnek össze. Ez a gyújtópont valóban: gyújt - a Nap összetérített sugarai, ha a lencse gyújtópontjába tesszük, felgyújtják a papírt. Ezt a gyújtópontot a lencse első gyújtópontjának is mondjuk. Ha egy méterre van a lencsétől, az egydioptriás, ha félre, kettő, ha 20 cm-re, öt dioptriás. A lencse második gyújtópontjából jövő sugarak a lencse másik oldalán párhuzamosan futnak tovább. A domború lencsénél  $F_1$  túl van a lencsén, a homorúnál a lencse és a szem közt; - az  $F_2$  megfordítva. Egy tárgy képét úgy kell megszerkeszteni, hogy megszerkesztjük a párhuzamos fénysugár útját  $F_1$ -en át, és az  $F_2$ -n átmenő sugár párhuzamosra törik. Ha a kép a lencsén túl keletkezik, valóságosnak mondjuk, ha a lencsén innen, virtuálisnak. A szerkesztésekből azt látjuk, hogy a kép jellege változik aszerint, hogy a tárgy a kétszeres gyújtótávolságon belül, a kétszeres és egyszeres gyújtótávolság közt és a gyújtóponton belül van-e. Domború lencsénél a kétszeres gyújtótávolságon kívüli tárgy kicsinyített, valódi, fordított képe keletkezik, a kétszeres és egyszeres gyújtótávolság közt nagyított, valódi, fordított, míg a gyújtótávolságon belül virtuális, nagyított, egyenes. Szórólencsék képe mindig virtuális.

Az egyszerű nagyító: egy lencse, amelynek a gyújtótávolságán belül helyezték el a tárgyat. Ilyenkor nagyított, virtuális kép keletkezik. A messzelátó és a mikroszkóp összetett nagyítók. A tárgylencse által készített képet a szemlencse még egyszer megnagyítja. A messzelátónál a tárgy a kétszeres gyújtótávolságon kívül van: a tárgylencse tehát kicsinyített, reális képet készít róla - ezt nagyítja föl a szem lencséje. A mikroszkópnál a tárgy is a gyújtótávolságon belül van. Virtuális, nagyított képet készít; ezt a nagyítást sokszorozza meg a tárgylencse nagyítása. Ha a mikroszkópunkba tett tárgylencsén 40x áll, a szemlencsén 15 - a nagyítás 600-szoros lesz.

A lencsékkel ha ekkora nagyítást értek el, a képet elmosódottá tette a lencsék színszórása. A színszórás mindnyájan ismerjük az égről - a szivárvány a napfény színszórása. Ha a fény útjába üveget helyezünk, az is szétszórja a fényt - a mögé tett ernyőn egymásután jönnek a vörös, sárga, zöld, kék és ibolya. A színszórás nem volt nehéz megmagyarázni. A nap sugárzása nyilván sokféle fényből áll, s annak mindnek más a törésszöge. A vörös törik meg a legkevésbé, az ibolya a legjobban. Ha a széttört fény mögé egy másik lencsét teszünk, a fényt megint összetéríthetjük. Lencsékkel is meg lehet ezt tenni: - ugyanolyan szórólencse megszünteti a domború színszórását, de ezzel a törés is eltűnik: a sugár eredeti útján megy tovább. Newton még azt hitte, hogy ezen nem lehet változtatni: a színszórás határt szab a nagyításnak. Száz évvel később derült ki, hogy ha a szórólencse erősebb törésű anyagból készült, a színszórás eltűnhet, s a törés egy része megmaradhat. Az így készült akromatikus lencsék tették lehetővé a szövetant.

A fénynek még egy új sajátosságát fedezték föl ebben a században: a sebességét. Hogy a hang aránylag lassan terjed, egy másodperc alatt 330 m-t tesz meg: ezt észrevették, s meg is mérték a sebességét. A fénysebesség azonban másodpercenként 300 ezer kilométer - ez azt jelenti, hogy hétszer kerülhetné meg egy másodperc alatt a Földet. Hogy a fény terjedéséhez is idő

kell, azt Olaf Römer dán csillagász vette észre az Uranus<sup>7</sup> holdjain. A Jupiter holdja 1000 mp-cel később lépett ki a Jupiter árnyékából, mint kellett volna. Mi lehetett ennek a késésnek az oka? Csak az, hogy a Jupiter most messzebb volt a Földtől - mégpedig épp 300 millió kilométerrel. Az 1000 mp nem a Holdnak kellett, hanem a fénynek, hogy ezt az utat megtehesse.

Visszaverődés, törés, színszórás, fénysebesség: ezt a négy dolgot kellett megmagyarázni annak, aki meg akarta fejteni: mi is az a fény. Huygens a fényről szóló értekezésében azt mondta, hogy hullámmozgás, úgy mint a hang. Egyik rész a másiknak adja tovább a rezgést - a rezgés terjed, de a részecskék egy helyben maradnak. Rezgésekhez azonban közeg kell - Huygens egy új közeg létét vetette föl, az éterét, amin a fény úgy terjed, mint a hang a levegőben. Így már elég jól meg tudta magyarázni a fény tulajdonságait.

Ő a mozgás embere volt, s a fényben is mozgást látott. Newton számára azonban állt a világ, s a fényt is súlytalan anyagfélének fogta föl. A világító test apró, súlytalan fényanyagot lök ki: ez törik, válik szét a színszórásnál, s ez pattan vissza labdaként a tükrök felületéről. A tüne-ményt, amely vitájukat eldönthette volna, ismerték már. Keskeny olajrétegen sötét és világos gyűrűk keletkeznek. Newton foglalkozott ezekkel a gyűrűkkel, de magyarázatukat - az interferencia - csak száz év múlva fedezték föl. Addig Newton tekintélyéé volt a szó. Aztán meg az anyag is annyival jobban érthető, szemléletesebb, mint azok a hullámok...

*A hő mérése.* - A XVII. század hallatlan eredményei után a tudomány fejlődése meglassúdott. Az örökség órási volt: rendezni kellett. A nagy úttörő matematikusok bonyolult számításaiból most csinálták meg azt a matematikát, amelyet az iskolában tanulunk. Linné most rendezi a reneszánsz óta leírt növények s állatok neméit. A fizikában ez a rendezés: mérés - azt jelenti, hogy a fizikusok megtanulnak mérni. A század egyik legnagyobb teljesítménye a mérőegységek - a centiméter, gramm és secundum - rögzítése.

Furcsa elgondolni, hogy háromszáz évvel ezelőtt nem lehetett még reggel a hőmérőre nézni. Miféle orvosok voltak azok, akik a beteg lázát sem mérhették meg? A hőmérő gondolata rögtön felmerült, mihelyt a fizika a jelenségeket számokkal kezdte leírni. Galilei már foglalkozott a hőmérő tervével. Már ő is a testek hő okozta kiterjedését akarta erre fölhasználni. A testek melegben kiterjednek. Vasgolyó melegen nem megy át azon a gyűrűn, amelyen hidegen átmegy. A víz, higany melegítve magasabbra emelkedik egy hajszálcsőben. A legfeltűnőbb a levegő hő okozta kiterjedése volt. Galilei tanítványai is csináltak ilyen léghőmérőfélet. Zárt csőbe bezárt levegő a higanyt maga előtt tolja. Ilyenféle hőmérő nagy hidegben ma is van, csak ma nem higanyt,<sup>8</sup> hanem hidrogént zárunk a Torricelli-térbe. Később a borszeszt, majd Fahrenheit a higanyt zárta a csőbe. Ezt a csövet azonban fok beosztással kellett ellátni. A beosztáshoz olyan anyagok kellettek, amelyeknek a hőmérséklete állandó. Fahrenheit egy hűtőkeveréket készített - ennél hidegebbet ő nem tudott előállítani. Ahol a beállított higany megállt, ott volt a 0°.<sup>9</sup> Az olvadó jég hőmérséklete sem változik, amíg egészen el nem olvad. Ez volt a 32°, az emberi test hőmérsékletét 96°-nak nevezte. A víz az ő hőmérőjén 212°-on forrt. E négy hőmérsékletből később a víz olvadáspontja és forráspontja maradt meg. Réaumur 80, Celsius 100°-ra osztotta a kettő közt a távolságot.

De a hőnek nemcsak a „hőmérsékletét” lehet mérni, hanem a mennyiségét is. A XVIII. század Newton hatására a hőt is valami súlytalan anyagnak képzelte el. Amikor egy test fölmelegszik, ebből az anyagból folyik belé. Hogy mennyi, azt fejezi ki a hőmennyiség. A hőmennyi-

---

<sup>7</sup> Jupiter (a szerk.)

<sup>8</sup> levegőt (a szerk.)

<sup>9</sup> Itt és a továbbiakban Németh László mindig a Celsius-fokot jelöli °-kal (a szerk.)

ség és hőmérséklet egész különböző dolog. Egy liter víz felforralásához aránylag nem sok meleg kell - ahhoz hogy az óceánt csak egy fokkal fölmelegítsük, elképzelhetetlen sok. A melegmennyiséget épp ezzel is kezdték jellemezni: hogy mit mennyire tud fölmelegíteni. Azt a melegmennyiséget, amely egy liter vizet egy fokkal föl tud melegíteni, nevezzük kilokalóriának. A grammkalória egy grammot melegít fel ugyanennyire. Más anyagoknak a fölmelegítéséhez ennél több vagy kevesebb meleg kell: a higanyéhoz több, a hidrogénéhez kevesebb. A testek fajhője az a szám, amely megmutatja, hogy kilogrammjuk egy fokkal való melegítéséhez hány kalória meleg kell. Egy test hőmennyiségét úgy mérjük meg, hogy vízbe tesszük, s megnézzük, mennyivel melegíti föl a vizet. Ha 5 kg vizet két fokkal melegítette fel, tíz kilokalóriát adott át neki. Ha a víz tömege 10 kg volt, akkor 20 kcal-t adott át. Most még azt kell megnéznünk, hogy közben mennyivel szállt alá az ő hőmérséklete - mert hisz a fajhő azt mutatja, hogy egy gramm anyag egy foknyi hőmérséklet változáskor mennyi kalóriát vesz. Mondjuk, hogy az anyag öt fokkal hűlt le. A fajhője ekkor 0,4.<sup>10</sup> Azokat a készülékeket, amelyekkel ezt a mérést célszerűen lehet végrehajtani, kalorimétereknek nevezik.

Az olvadó jég és a forró víz hőmérséklete - noha meleget vesznek föl - nem változik. A meleg nyilván arra kell, hogy halmazállapotukat megváltoztassa. Kalorimétereinkkel ezt a melegmennyiséget is megmérhetjük. 1 kg jég megolvasztásához 80 kcal, 1 kg víz felforralásához 1 kcal kell. Az olvadás és forrás tehát hőt von el, a fagyás és lecsapódás pedig hőt szolgáltat. Ezzel a hővel fűtjük a gőzfűtéses házainkat.

A folyékony és szilárd állapot közt az átmenet ezzel tisztázva is volt. Nem ilyen egyszerű a cseppfolyós és gáznemű állapot közt az átmenet. Hisz a cseppfolyós testek közönséges hőmérsékleten is párolognak. Aztán a forráspontjuk is változik aszerint, hogy mekkora nyomás nehezedik rájuk: magas hegyeken a víz már 80°-on is forrhat, nagy nyomás alatt pedig még 200°-on sem. Azt sem tudták, mi a gőz és a gáz közt a különbség. Elképzelhetjük, mennyi kibogozni való volt itt - hisz Galilei korában még azt hitték, hogy a párolgó víz gőze levegővé válik. Lassan aztán rájöttek, hogy párolgás és forrás közt mi a különbség. A forrás feltétele az, hogy a folyadékban keletkező gázbuborékok nyomása nagyobb a levegőénél. Ha a nyomás kicsiny: a folyadék előbb forr, ha nagy, később. A víz nagy nyomásnál kétszáz fok fölé is hevíthető. De van egy hőmérséklet, amelyen túl, akármekkora is a nyomás, csak gáznemű lehet. Addig tehát nyomással le lehet csapni, azontúl nyomással nem, csak hűtéssel. Ez a kritikus hőfok. A víz kritikus hőfoka 343°.

Kritikus hőfokon túl a test: gáz, az alatt gőz. A párolgás a forrástól abban különbözik, hogy csak a folyadék felszínén folyik: de ez is hőt von el (lehülés izzadásnál), s ez is függ a fölötte levő gőzök nyomásától: páradús telített levegőben nem tudunk izzadni. Meleg levegő több párát vehet föl, hideg kevesebbet: a lehülés ezért csapja ki a léghőből is a párákat (eső). A nedvesség a levegő páratartalma. Ha a levegő nedvesség 0,7, azon azt értjük, hogy  $\frac{7}{10}$ -szer annyi nedvesség van benne, mint ha párával telítve volna.

Nagy nyomással a testek szilárdulását siettetni lehet. A folyadékban föloldott sók viszont késleltetik a fagyást. [...] A fagyáspont csökkenéséből következtetni lehet az oldott anyag mennyiségére.

A testeket a kohézió tartja össze. A hó azonban lerontja valahogy ezt az erőt. A forró víz részei nem tapadnak többé össze, hanem szabadon táncolnak a levegőben. [...] Már a XVIII. században is voltak olyan kutatók, akik azt gondolták, hogy erőt csak erő szakíthat el - a hónek is valami erőfélének kell lenni, s a gázok kiterjedésében ez az erő feszeng tovább. Az anyagi [elmélet] azonban megint egyszerűbb volt, s Boyle mozgási hőelméletének megint

---

<sup>10</sup> kcal/kg (a szerk.)

várnia kellett, mint Huygens hullámainak. Egy másik területen azonban mégis sikerült a mechanikai és hőtani ismeretek összekapcsolása. Nemcsak a hőmérsékletet mérték a testek hő okozta kiterjedésével, hanem magát a kiterjedést is hőmérővel, hossz- vagy térfogat-egységekkel. A szilárd testek hő okozta megnyúlása az a hosszúság, amellyel egy hosszegység megnyúlik, ha egy fokkal fölmelegszik. Hasonló mértékeket találtak a folyadékok kiterjedésére is. A legérdekesebb a gázok kiterjedése volt. Feltűnő volt, hogy állandó nyomásnál a különféle gázok mind egyformán viselkednek: hő hatására térfogatuk ugyanolyan arányban nőtt.  $1^\circ$  hőemelkedésnél egy liter gáz térfogata  $1/273$ -ad részével nőtt meg. Azaz ha  $v_0$  volt az eredeti térfogat, s  $v_t$  a fölmelegítés utáni, akkor  $v_t = v_0 + (T/273^\circ)v_0$ . Ez Gay-Lussac törvénye. Gay-Lussac törvényéből az következik, hogy ha egy test hőmérsékletét  $273^\circ$ -kal csökkentjük, akkor a testnek nem lehetne sem nyomása, sem kiterjedése:  $v_t = v_0(1 - 273/273) = 0$ . Ezt másképp úgy is mondják, hogy  $-273^\circ$ -nál kisebb hőmérséklet nincs: ez az abszolút nullfok.

A gázok, illetőleg a gőz hő okozta kiterjedését használta föl a XVIII. század legnevezetesebb találmánya. A gőzt már rég kihasználták különféle műveletekre: Heron, az ókor ezermestere templomkaput nyitattott ki az oltár tüzevel gőz közvetítésével. Dugattyút is mozgattak már gázokkal, például puskaport robbantottak föl a dugattyú üregében. A gőzgép ott kezdődik, ahol gőzzel emelték fel a dugattyút. Ilyen volt a Newcomen-féle gép. Egy szelepen gőz ment a dugattyúba, fölemelte - aztán vizet fecskendeztek a dugattyúba, az lehűtötte a gőzt, s a légnyomás a dugattyút visszanyomta a légritka térbe. Ezt a gépet bányákban szivattyúzásra használták. Potter, egy munkásfiú találta ki a sűrítőt - a gőzt egy szelepen vízbe pufogtatta. A Newcomen-gépből Watt, a glasgow-i egyetem műszerésze csinált gőzgépet: ő már nem légnyomásra bízta a dugattyú lenyomását, hanem a dugattyú fölét is gőzt eresztett. Ezzel meg is voltak a modern gőzgép részei: a gőzfejlesztő kazán, a dugattyú, a sűrítő és a gőzelosztó.

*Elektromosság.* - Mágnesük már a középkor végén is volt a hajósoknak. Az iránytű anyaga, a mágnesvas érthető módon foglalkoztatta az embereket. Mi lehet az oka, hogy a mágnes északra mutat? Tán valami mágneshegyek vannak a sarkok közelében. Gilbert, Shakespeare kortársa mondta ki, hogy a Föld maga is egy mágnes, s úgy vonzza az iránytűket, mint a nagy patkó a vasreszeléket. A Földünk is ilyenformán hat az iránytűkre. Azt is látták, hogy az iránytű elhajlik az északi iránytól. [...] A vízszintes tengelyen lefele is mozoghat. Ezt nevezték inklinációnak. A mágnes észak felé eső része taszította a másik mágnes északi végét, a déli a délit - az ellenkező végek viszont vonzották egymást. A XVIII. század a mágnességre is Newton törvényét alkalmazta, s a vonzerőt is megmérte. Newton képlete jött ki itt is: a vonzerő arányos a tömegek mennyiségével s fordítva arányos a távolság négyzetével. Azt azonban nem tudták, hogy mágneses anyag hogy van a mágnesben: akárhány részre törték a mágneset, mindig volt északi és déli vége. Tehát a mágnes legkisebb részének is mágnesnek kell lennie. S e kis mágnesek vektorai adódnak össze a nagy mágnes két végén. Az úgynevezett pólusok - mint a súlypont - a mágneses erő támadáspontjai.

A mágneses jelenségekre sok tekintetben hasonlítottak az elektromos tünetmények. Hisz itt is, ott is magához ránt vagy taszít valamit valami. Az elektromosságot már a görögök is ismerték: az elektron szó borostyánt jelent. A dörzsölt borostyánkő magához ránt apróbb papírszeleteket. A mechanika százada azonban elhanyagolta az elektromosságot - csak a XVIII. század kapott rá a légszivattyúk után az elektromos gépekre, sűrítőkre. Az elektromosságot kezdetben kézzel fejlesztik: üveget vagy gyantát dörzsölnek. Gray veszi észre, hogy a kétféle elektromosság különbözik egymástól: mint a mágnesnél, az egynemű elektromosságok taszítják egymást, a különneműek pedig vonzzák. Ha a bodzabél golyókat elektromossággal töltjük meg, elhúzódnak egymástól, vagy összebújnak. A hajunk is azért áll az égnek, ha elektromos, mert az egyforma töltésű hajszálak taszítják egymást. Az elektromosság fejlesztésére külön dörzsölőgépeket készítenek. Üvegkorongot dörzsöltek amalgámzott bőrrel: az üveg elektromossága az egyik gömbbe, a bőrre a másikba került; ha a két gömb elég közel volt

egymáshoz, szikra csapott ki, akárcsak viharban a föld és a felhők közt. Nagy haladás volt, hogy az elektromosságot, mint a befőttest, el is tudták tenni. Erre valók a sűrítők. A sűrítőt véletlen fedezték fel: szögön akartak áramot vezetni egy vizespalackba, s erős ütés figyelmeztetett a kisülésre. Ez volt a legelemibb formája a leideni palacknak. A szöveget és a vizet abban már egy sztaniolemez helyettesítette, a külső „fegyverzet” egy másik sztaniolemez lett. Minden sűrítő szigetelők által elválasztott vezetőlemezekből áll. Egyik fegyverzetnek adjuk a töltést, a másikat összekötjük a földdel. Az ilyen sűrítőkben sokkal több elektromosságot lehet fölhalmozni, mint különben. Egy másik nagy feltűnést keltő fölfedezése volt a kornak Franklin villámhárítója. Az amerikai szabadságharc hőse nagyon sokat foglalkozott az elektromossággal. Akkor már tudták, hogy az elektromosság a vezető felületén helyezkedik el. Csúcsoknál nagy a felület - annyi lehet az elektromosság, hogy a levegő részecskéit mozgásba hozza. Ő gondolt arra, hogy ilyen csúccsal a felhők elektromosságát is lehet vezetni. Sárkányt bocsátott föl - a sárkányon szög volt, a zsinóron kulcs. Amikor a sárkány átnedvesedett, a kulcsból szikrákat lehetett kicsalni. Így vezetik le a villámhárítók a légkör elektromosságát - esetleg a szikrát - a földbe.

A kísérletek és a szerszámok megvoltak: most már csak meg kellett magyarázni valahogyan őket. Természetesen az elektromosságot is valami súlytalan folyadéknak tekintették. Kétféle folyadék volt: pozitív és negatív. A nem elektromos testben a kettő össze van keveredve. A dörzsölésnél a kettő szétválik, a pozitív az üvegre kerül, a negatív a bőrre - vagy a negatív a gyantára, s a másik a selyemre. Az elektromossággal töltött test (éppúgy, mint a gravitáció) hat a körülötte lévő térre. Ez a hatás a vezető feszültsége.

Ha a vezetőt közömbös testhez közelítjük, az abban megosztja az elektromosságot: a különemű a vezető felé eső felén helyezkedik el, az ellenkező nemű a másik felén. A bodzabél golyót azért húzza a vezető, mert a közelebbi részekre a vonzóerő nagyobb, mint a taszító a távolabbiakra. Ha az ellenkező elektromosságot ujjunk érintésével levezetjük, a vonzás erősebb lesz. Egy vezető feszültsége arányos az elektromos töltésével. Ha több elektromosságot viszünk rá, a feszültség is nő. A töltés ( $Q$ ) =  $C$ -szer feszültség ( $V$ ). Ez a  $C$  a vezető alakjától függ, kapacitásnak mondjuk.

Ha egy test kapacitása nagy, sok töltés fér el benne, s csinál ugyanakkora feszültséget. A sűrítők olyan készülékek, amelyeknek a kapacitása nagy. A leideni palacknak az elektromos befogadóképessége nagyobb azért, hogy az egyik fegyverzetre bevitt elektromosság a másikon megosztást végez. A földeléssel az ellentett elektromosságot levezetjük; az ellenkező nemű pedig a szigetelőkön át egymást kötve tartja.

A töltés és a feszültség mérésére is volt már eszköz. Egy üvegpalackba rézrudat vezettek: a rézrud két végén két aranyfűst lemez volt. Ha elektromosságot viszünk a rézrud végén lévő gömbre, a két lemez, egyneműek lévén, szétugrik. Ez a készülék az elektroszkóp. A szétugrás annál nagyobb, minél nagyobb a feszültség. Most már csak skálát kell a lemezek mögé tennünk, hogy az elektroszkópból elektrométer legyen.

Az elektromosság anyagi elmélete közelebb járt a valósághoz, mint a fényé, vagy a hőé; - az elektromosság valóban valami anyagféle. Atomjai, az elektronok nem is egészen súlytalanok. Az nem igaz csak, hogy kétféle van belőlük. A pozitív elektromosság úgy keletkezik, hogy elektronokat vonunk el a testből, a negatív, hogy elektronokat juttatunk hozzá. Érdekes, hogy Franklin gondolt erre. Az ő egyfolyadékos elmélete azonban nehézkes volt - s az emberek annál állapodtak meg, amelyet könnyebb volt elhinniük.

*Áramló elektromosság.* - Az elektromosság áramlott eddig is: az egyik elektroszkópból a másikba lehetett vezetni, a villámhárító drótjain lement a földbe; - ha az elektromosságot fejlesztő gép két gömbjét összekötötték, azok közt is áramlás volt. Azt nem lehetett biztosítani, hogy állandóan áramoljék. Áramhoz - láttuk a folyadékoknál - feszültségkülönbség kell. Nem

volt olyan készülék, amely egy drót két végén állandóan biztosított volna feszültségkülönbséget. Nem voltak elemek. Az első elem egy békacomb volt, amelyet egy Galvani nevű olasz orvos a múlt század végén egy rézdróttal egy vaskeretre függesztett föl. A békacomb meg-rándult: áram ment át rajta. De miféle elektromosság? Galvani azt hitte, az, amit az élő szervezet termel. Az emberek ekkoriban sokat foglalkoztak delejzéssel: még gyógyítottak is vele. Galvani azt hitte, ez a delejesség ébredt föl a békacombban. Volta mondta ki, hogy réz és vas merült a békaszövet nedvébe, tehát egy sóoldatba. Ha két fémot bizonyos oldatokba merítünk, áram keletkezik. Ő cinket és rezet tett kénsavba, és a lapok kiálló végét összekötötte dróttal. A drótban áram keringett, jeléül, hogy a két fém közt feszültségkülönbség jött létre. Ma már tudjuk, hogy jön létre ez a különbség. Egyes fémekről, ha oldatba merítjük, elektronok vándorolnak az oldatba (ilyen a cink): a másikká rávándorolnak az elektronok (ilyen a réz). Ha több elemet kapcsolunk össze, ez a feszültségkülönbség még nő. A feszültséget Volta tiszteletére voltokban mérjük. Ilyen elem feszültsége több volt is meglehet.

A galvánelemek csakhamar kimerültek. Az áram úgy alakította át a lemezeket, hogy ellentétes áram képződött. Ezt a jelenséget hívják polarizációnak. Az akkumulátorok olyan elemek, amelyekben ezt a polarizációs áramot értékesítik. Használható áramot<sup>11</sup> csak a század második felében készítettek. Ezeknél a szulfátlemezek merültek híg kénsavba. Ha áramot bocsátunk át rajta, az ólom-szulfát lemezből ólomhiperoxid, a másikkól színólom lesz, s ez a két lemez, amelyet mindig újra lehet tölteni, adja az áramot.

Az elektromosság most már ki volt csalva a rejtekéből. Itt volt elemeinkben, megtölthettük vele dróttjainkat, megnézhattuk, mit csinál maga körül azzal, amin átmegy. A XIX. századi technikára semmi sem volt olyan hatással, mint az áram hatásainak a felismerése s kiaknázása. Először a vegyi hatást vették észre: az áram elbontotta a vizet, a sók és savak oldatait. Azt mondták: elemzett a vegyész helyett. Az áram fölmelegítette a vezetőt: hő is fejlődött benne. Minél erősebb volt az áram, minél nagyobb a vezető ellenállása, annál inkább. Ha nagy volt az ellenállás, el is égett. Ez a tapasztalat gyűjtötte ki egy fél század múlva az első villanylámpákat, ahol a drótszál már nem éghetett el, csak izzott. A legnagyobb következményekkel mégis az áram mágneses hatása járt. Oersted dán fizikus vette észre, hogy az áram körül mágneses tér keletkezik, ebben a mágnes kitér. Ampère megfordította a kísérletet: egy tekercset, azaz vezetőt vitt mágnes közelébe, s azt látta, hogy a mágnes a vezetőt elmozdítja. Ő állapította meg a mágnes kitérésének a szabályait is. Ha arccal a vezető felé az áram irányába úszunk, a mágnes északi vége bal kezünk irányába tér ki. Az áram a vezetőt is mágnessé teszi.

Ha az áramot megszakítják, elveszti mágnességét. Erre alapozva oldotta meg Morse a telegrafálás rég vajúdó problémáját. A morzegépnél kopogtató távirászt áramot kapcsol és nyit; - az áram egy lapot ránt magához, s ezzel azt az áramkört kapcsolja és nyitja, amely mellett a vevő ül. Az ő írókészüléke ezeket a nyitásokat és zárásokat jegyzi.

A nagy felfedezések sorára azonban Faraday tette föl a koszorút. Ő fedezte fel, hogy mágnessel is lehet áramot létrehozni. Ha mágnes sarkai közt vezetőt mozgatunk, abban áram keletkezik. Ez az „indukált” áram. Ma ez az áram kering az összes nagyvárosok dróthálóiban. A generátorok mozgással áramot fejlesztenek, a motorok pedig az áramot alakítják vissza mechanikai mozgássá.

Az elméletnek itt is volt rendezni valója. Az áramlást ismerte már a mechanika is; hisz a víz úgy áramlik a csőben, mint az áram a vezetőben. A nyomáskülönbséget itt feszültségkülönbségnek hívjuk - az áramnak azonban nem a sebessége, hanem az erőssége érdekel. Az áram

---

<sup>11</sup> akkumulátort (a szerk.)

erejét a vezető keresztmetszetén egy másodperc alatt átmenő elektromosság mennyiségével mérjük. Mikor tud sok elektromosság átmenni? Ha a feszültségkülönbség nagy, s ha a vezető nem akadályozza az átmenetet. Az intenzitás a feszültséggel egyenesen, az ellenállással fordítva arányos:  $I = V/R$ . Az ellenállás éppúgy mint a kapacitás a dróttól függ. Minél hosszabb, annál nagyobb, minél vastagabb, annál kisebb. Függ azonkívül a vezető fajtától:  $R = \rho l/q$ , ahol  $\rho$  a vezető fajlagos ellenállása,  $l$  a hossza,  $q$  a keresztmetszete. Az áramerősség (intenzitás, egysége az amper), ellenállás voltak az új fogalmak. Az áram hőhatása (Joule-féle hatása) az áram intenzitásával és ellenállásával arányos:  $Q = I^2 \cdot R$ . A mágneses hatása arányos az áram erősségével, s fordítva arányos a vezető és mágnes távolságának a négyzetével. Az indukciót Faraday magyarázta meg igen szemléletesen. Ő gyakorlati ember, könyvkötő: mint tudós is irtózott minden elvont, kézzel nem fogható dologtól. Nem hitt a gravitáció-féle távolható erőkben sem. Az áram sem így hat: átalakítja maga körül a teret. Ha egy aranypapírt vezetővel döfünk át, a vasreszelék körvonalakban rendeződik. Ezek a vonalak ott vannak az áram körül a térben. Az áram is, a mágnes is erővonalakat kelt. Valahányszor az erővonalak és a vezetőnek illetőleg a mágnesnek a viszonya megváltozik: áram vagy mozgás keletkezik. Ez történik, ha a tekercset forgatjuk; ez, ha a mágnest. A drótnak ezt az elmozdulását használta föl az áramerősség mérésére is. Áramtekercs belsejében mágnes van fölfüggesztve: a vezető kitérése arányos az áram erősségével. Ez a készülék a legegyszerűbb galvanométer. Az ellenállást Wheatstone-híddal mérik - ebben ismert drótdarabok ellenállását hasonlítják össze az ismeretlennel.

## A KLASSZIKUS FIZIKA BETETŐZÉSE

*Az energia megmaradásának az elve* - Az emberek mindig meg voltak győződve arról, hogy a változásokban van valami, ami megmarad. A természetvallások egy része épp a világ összerejét hiszi állandónak. Amikor a mechanika ezeknek az erőknek a matematikai leírásához hozzálátott, rögtön fölmerült a gondolat, hogy az erők összjátékában van valami változatlan. A változás egy egyenlethez hasonlít: az egyenlet két oldalán különböző számok vannak, de a bal oldalon végül mégiscsak ugyanaz van, mint a jobb oldalon. Descartes szerint ez a változatlan a mozgásmennyiség volt: tömeg és sebesség szorzata; - mint az ütközésnél, a nagyobb tömeg kisebb sebességgel fut tovább. De Descartes nézete nem volt helyes. A megmaradó leírásához egy új fogalom kellett, a fogalom azonban ebben az esetben is később jött, mint a felismerés. Két századon át az emberek jóformán csak mechanikai erőket mértek. Most azonban itt volt a hő, az elektromos és a vegyi jelenségek is mérhetőkké váltak. S kiderült, hogy a különféle jelenségek közt átjárás van. A gőzgép hőből mozgást csinált; - ha ágyúcsövet víz alatt fűtők, a víz felforrt. Az elektromos áram hőt termelt és mozgást hozott létre. Csak valami mértékegység hiányzott, ami megmutassa, hogy ami az egyikből elvész, azt másutt megkapjuk közben - tehát éppen annak a mértéke, ami a változásban nem változik.

Ennek a „közös nevezőnek” a kimondását elősegítette a francia forradalom vívmánya, a mértékek egyesítése. Az új cm századrésze lett a platinarúdnak, amely a Föld délkörének volt negyvenmilliomoda. 1 liter 4<sup>o</sup>-os víz súlyának ezredrésze lett a gramm, s a harmadik egység, a secundum, az óra háromezerhatszázad része. De nemcsak ezek az alapegységek állandósultak, hanem azok az egységek is, amelyek belőlük épültek föl. A sebesség az egy másodperc alatt megtett út, tehát út (cm) osztva másodperccel (sec): a sebesség egysége cm/sec. A gyorsulás a sebesség változása egy másodperc alatt. Most már a sebességet (cm/sec) kell a sec-mal elosztani: cm/sec<sup>2</sup>. Az erő az tömegszer gyorsulás, tehát g·cm/sec<sup>2</sup>. Egysége az az erő, amely egy grammnyi tömegnek egységnyi gyorsulást ad. Így építették fel az elektromos töltés, a feszültség, az áramerősség, ellenállás egységeit. Ezek között az új egységek között elég későn tűnik föl egy újféle egység: a munkáé. Pedig ez volt a legközönségesebb egység:

hisz az élet nem erőnkét nézi, hanem amit végzünk vele. Mindegy, hogy mennyi idő alatt, könnyen vagy nehezen viszem föl az emeletre: a lényeges, hogy legyőzzem a koffer nehézségi erejét, s feljussak vele oda. Ez a példa megmutatja, hogy a mechanikában mi a munka: az erőnek és az útnak a szorzata. Egysége az a munka, amit egy din erő végez egy cm úton:  $\text{g}\cdot\text{cm}^2/\text{sec}^2$ . Ezt nevezik erg-nek. Egy erg azonban olyan kicsiny, hogy ennek a tízmillió-szorosát szoktuk venni: ezt hívjuk joule-nak. Ha még azt is meg akarjuk mondani, kiadós volt-e a munka, megnézzük, mennyi idő alatt végezték, azaz mennyit végeztek egy időegység alatt. Egységnyi, ha egy másodperc alatt egy ennyi munkát végzünk. Az egy joule-nak megfelelő munkasiker a watt.

A munka már közelebb járt ahhoz a valamihez, ami a különféle fizikai dolgokban közös. Hisz a mozgó test, a hő, az áram - mind munkát végez, vagy munkát végezhet, ha alkalmat adunk neki rá. Ez a „hat-het” rag: ez volt a leglényegesebb. Mert ami megmarad, nemcsak az, ami valóban munkát végez - hanem ami állapotánál fogva munkát végezhet. Ezt egy mechanikai példán értjük meg legjobban. Ha egy test esik, egy másiknak ütközik, s azt maga előtt tolja: munkát végez rajta. Azért teheti, mert tömege és sebessége van. De munkavégzőképessége akkor is van, ha nem ütközik semmibe, sőt akkor is, ha fölfele dobjuk. Ilyenkor munkavégzőképességének mértéke az a munka, amit a föld végezne, ha magához rántaná. Az erő itt a test súlya s az út a test magassága: a test munkavégző-képessége  $m\cdot g\cdot h$ . Ma a kétféle munkavégzőképességet mozgási és helyzeti (potenciális) energiának nevezzük. Akkoriban azonban még különféle szavakkal írták körül. Azt azonban már tudták, hogy a két mennyiség összege állandó. Ha 1 kg test 40 m magasban van, helyzeti energiája 40 mkgs; ha 2 sec alatt 20 m-t esik, a helyzeti energiája már csak 20 mkgs, a sebessége ugyanakkor 20 m/sec,  $E_{\text{mozg}} = \frac{1}{2}m\cdot v^2 = 20$  mkgs, tehát 20 mkgs kinetikai energiát is szerzett.

Ezt a számítást, a megfelelő szó nélkül már rég elvégezték. Mayer Róbert volt az első, aki ugyanezt a számítást a hő és a mechanikai munka közt abból a célból végezte el, hogy a megsejtett nagy természettörvényt bebizonyítsa. Mayer Róbert nem volt fizikus, hanem orvos. S egy gondolatvillanással jött rá, amit már a vadak is éreztek... A trópusokon a gyűjtőeres vér pirosabb; erről ötlött eszébe, hogy hő és munka közt kapcsolatnak kell lennie. Igen egyszerű kísérlettel bizonyította be, hogy mi a mennyiségi kapcsolat. Fajhőnek nevezzük azt a meleget, amely a test 1 kg-ját 1°-kal fölmelegíti. Ő egy gáz fajhőjét határozta meg kétféleképpen: állandó térfogaton, s úgy, hogy a gáz egy dugattyút fölemelve kiterjedhetett. Az utóbbi esetben több meleg kellett, mert a gáz ki is terjedt közben, s a dugattyút föltolta. Mi végezte azt a munkát, amibe a dugattyú föltolása került? A két fajhő különbsége. Az ő számításai még pontatlanok voltak. Joule egy év múlva lapátokkal hajtott vízben egy csigára akasztott súlyt, s közben a víz fölmelegedését mérte. Az ő mérése már pontos volt: 1 kcal fölmelegedés 427 mkgs munkának felelt meg. Ezt nevezzük ma a termodinamika első főtételének. Az energia szót arra, ami hő volt s utána mozgás lett, s megmaradt: először Clausius használta. Ő állapította meg azt is, hogy a természetben kétféle folyamat van: olyan, amelynek a lefolyása valószínű és mindig bekövetkezhet - ilyen a munka átalakulása hővé. A másiknak különös feltételei vannak: ilyen a hő átalakulása munkává. A gőzgép csak akkor termelhet munkát, ha közben melegebb állapotból hidegebbe mehet át, ha energiája egy részét a testek fölmelegítésére elfecsérel.

*Elektromágneses hullámok.* - A XVIII. században Newton fényelmélete is megbukott. Egy sokoldalú világfi buktatta meg, aki amellet, hogy nagyszerű fizikus volt, még az egyiptomi hieroglifákat is megfejtette. Ez a Young a hanghullámok mintájára képzelte el a fényt. A hangtanról Chladni akkor már megírta négykötetes művét. Tudták, hogy kétféle hanghullám van: levegőben longitudinálisan, a hang irányában terjed a hullám, húrokban transzverzálisan, a hang irányára merőlegesen. Az első esetben a levegő részei úgy viselkednek, mint egymás mögött álló golyók - a lökés végigterjed rajtuk, de ők helyben maradnak - a transzverzális

mozgásnál mint kis rugók, melyek oldalt kitérnek: a távolabbi valamivel mögötte van a hangforráshoz közelebb levőnek. A hanghullám úgy keletkezik, hogy a hangforrás bizonyos számú rezgést bocsát ki: az „a” hang másodpercenként 435-öt. Minthogy a 435 rezgés közül az első a másodperc végén 330 m-nyire lesz, az utolsó pedig a hangforrásnál, egy hullám hossza csak  $\frac{330}{435}$  lehet. Ha a rezgésszám nő, a hullámok rövidebbek, ha kevesebb, hosszabbak. Az ember a 16-20 000 rezgésszámú hangokat hallja meg. Az ezen túliakat, az ultrahangokat már csak az állati szervezet érzi. A kis rezgésszámú, hosszú hullámú hangot mélynek, a nagy rezgésszámú, rövidet magasnak halljuk. A hangvillák olyan fémrudak, amelyek megpendítve bizonyos hullámhosszú hangot adnak ki. Ha más hang megy el mellettük: meg se rezzennek - de a saját hangjuknak a rezgését átveszik, maguk is fölbúgnak. Ez a szép jelenség a rezonancia. Két hang találkozhat is egymással, például úgy, hogy egy kétágú csövön szétválasztjuk, s aztán megint összetérintjük őket. Ha úgy találkoznak, hogy hullámdomb kerül össze hullámdombbal, s völgy völgygel (egyenlő fázisban), akkor erősítik egymást, különböző fázisú hullámok ellenben lerontják. Ha egy húr egyik végét megpendítjük: a hullám végigfut a húron, s visszatér. Az oda- s visszafutó hullámok is összeadódnak: egyes pontokban nem rezeg a húr, másokban annál jobban: ezt nevezik állóhullámnak. Annak a tapasztalatnak is megvolt a magyarázata, hogy a közeledő vonat füttye magasabbnak, a távolodó mélyebbnek hangzik. A közeledő hangforrásból fülünkbe ér annyi rezgés, amennyit a hangforrás kiadna, ha állna, s még az is, ami csak azért éri el fülünket, mert a vonat közeledett.

Young a hang tulajdonságait átvitte a fényre: a hang magasságának a fény színe felelt meg. A vörös szín hosszabb és kisebb rezgésszámú, a lila rövidebb és nagyobb rezgésszámú hullám. A Nap fénye azért törik színekre, mert különböző hullámhosszú fények keveréke. Newton színes gyűrűit is ő magyarázta meg az interferenciával - a különféle lencsén megtört sugarak hol erősítették, hol gyengítették egymást. Az interferenciát kísérletileg Fresnel tükröi mutatták be. Két, szögben egymáshoz hajló tükröre egy kis résen fényt vetített. A tükrök egy ernyőre vetették a fényt, s ott találkoztak. A fénysugarak egy forrásból jöttek, de útkülönbség volt köztük - hol erősítették egymást, hol gyengítették. Ha a napfényt vetítette, színes csíkok támadtak; ha vöröset: feketék s világosak. A fényrezonanciát Fraunhofer magyarázta meg. Azt már rég tudták, hogy különféle elemek megfestik a lángot - a kálium lilára, a nátrium sárgára, a stroncium vörösre. Ha ezt a színes lángot prizmán széttörték, a teljes színeknek csak egy részét kapták, a csíkokból a színek nagy része hiányzott. Fraunhofer vette észre, hogy a Nap színekében viszont fekete csíkok vannak (Fraunhofer-vonalak). Ezt azzal magyarázta, hogy a Nap körében olyan anyagok vannak, amelyek elnyelik a napfény egy részét. Melyeket? Amelyeket maguk is ki tudnak bocsátani. A nátriumnak vagy a káliumnak olyan egy paránya, mint egy fény-hangvilla: elnyeli azt a fényt, s kibocsátja.

Azt is rég tudták már, hogy a szivárványnak vannak a vörösön és ibolyán „túli” színei is - csak azokra vakok vagyunk. Csak oda kellett tenni a prizma mögé, s kiderült, hogy a vörös fény melegebb, mint a kék. A melegség azonban a vörösön túl még növekedett. Fényérzékeny anyagok viszont az ibolyán túl éreztek „színeket” - a fényképezőgépek le is veszi őket. A színek tehát nyúlt már balra is, jobbra is. A hangtanban egy hang oktávja kétszer akkora rezgésszámú s hullámhossza fele akkora, mint magáé a hangé. A zongorán hat oktávot lehet megszólaltatni. A látható színek körülbelül egy oktávot tesznek ki; a vörös hullámhossza  $\sim 0,8 \cdot 10^{-4}$  mm, az ibolyáé  $0,4 \cdot 10^{-4}$ . Ez a rövid skála az ultravörös és ultraibolya sugarakkal most egyszerre 6 oktávra nőtt. Két új felfedezés azonban alig húsz év alatt körülbelül 120 oktávra terjesztette. S nemcsak a skála nőtt meg: az is kiderült, hogy mi is hát a fény.

Az elektromos töltés elektromos teret, az áram erre erősebb mágneses teret létesít. Hogy létesülnek ezek a terek? Ha indukcióval megváltozik a térerősség, a legtávolibb pontban is megváltozik. Kérdés, hogyan? Rögtön, távolba hatóan, úgy mint Newton gravitációja, vagy idő kell a változás terjedéséhez, mint a hangnak és a fénynek? Faraday az utóbbiról volt

meggyőződve, de a terjedés oly gyors, hogy nem tudta kimutatni. Egy skót matematikus - Maxwell - kiszámította. Összeegyeztette, amit a térerősségről tudott - híres egyenleteiből az jött ki, hogy az elektromos és mágneses térerősség a fény sebességével terjed. Azaz a fény is elektromágneses hullám lehet. Az elmélet ebben az esetben előtte járt a kísérletnek: Hertz német fizikus előállította ezeket a hullámokat. A fény sebessége 300 000 km/sec, egy fényhullám hossza nincs egymilliomod mm. A fény tehát 300 milliószor millió rezgést lök ki másodpercenként. Ha Maxwell elmélete igaz, ennyiszor kellett a fényerősségnek változnia. Maxwell<sup>12</sup> ilyen sűrű változást nem tudott csinálni. De másodpercenként 500 milliószor meg tudta az áramerősséget változtatni - azaz tudott 60 cm-es hullámokat csinálni. Sűrítőbe a belső és külső lemezbe drótot kapcsolt, s a drótot egy helyen megszakította: szikrakört létesített. Ha a sűrítőbe nagy feszültségű áramot kapcsolt, ettől a két fegyverzet ellentétes elektromosságot kapott, s a szikraközben szikra csapott ki. De a szikra igen rövid áram, s az áram önindukciót - ellenkező irányú áramot - gerjeszt a sűrítőben. A szikrát szikra követi - az indukciós áramot újabb áram: 500 milliószor egy másodperc alatt. A keletkezett elektromágneses hullámokat rezonanciával mutatta ki. Egy másik szikrakört csinált, amelynek a rezgésszáma ugyanez volt. Abban is szikra csapott ki. A hullámmal a fény minden tulajdonságát ki lehetett mutatni: fémlapról visszaverődött, megtört, polarizált volt (tehát tranzverzális), állóhullámok képződtek rajt 30 cm-es csomópontokkal. Hertz elméleti fizikus volt - találmánya is csak mint bizonyíték érdekelte. Marconi gondolt rá, hogy telegrafálni lehet vele: ami Morse készülékében az áram, az lesz itt az elektromágneses hullám, ami a jeladó, az az antenna. A dróttalan távíró és a telefon összekapcsolása a rádió. A telefontól mágneses lemezre beszélünk rá, s ezzel a beszéddel változtatjuk az áram erősségét. A hallgatóban ez az áramingadozás megint egy lemezt mozgat, s az adja ugyanazt a hangot. A hang hullámával itt az elektromágneses hullámokat módosítjuk - s ezekből a modulált hullámokból állítjuk elő a hangot a vevőben.

Az elektromágneses hullámok 2000-től 20 méterig terjedtek - de vannak több kilométeres és 0,1 mm-es rádió-hullámok is. Ezek azonban még mindig százszoros hosszabbak a fényhullámoknál. A másik felfedezés a billentyűk túlsó végén jött: a röntgensugarak milliószor rövidebbek. A hertzhullámokat előszólitották a természetből; - a röntgensugarakra véletlenül bukkantak rá a Crookes-féle csövek révén. Ezek a csövek arra szolgáltak, hogy az áram hatását gázokban vizsgálják. A csövekben egy áramkörnek pozitív (anód) és negatív (katód) sarka van beforrasztva. A Geissler-csővekben, amelyekben a gáz nyomása 40 hgmm, tehát egyhuszad atmoszféra, különféle színes sugárzások támadnak. A Crookes-csővekben a gáznyomás már csak 0,1 hgmm; itt egy sötét sugárzás vonul a katódtól az anód felé. Ez a sugárzás egyenesen terjed (ha tárgyat állítunk elé, árnyékot vet), s a mágnes kitéríti. Ha a katódon lyukat csináltak, az derül ki, hogy az anód felől is jön egy sugárzás, amely, minthogy ott katódsugár már nincs, vizsgálhatóvá válik. A mágnes ezt is kitéríti, de ellenkező módon, a katódsugárzás negatív, ez pozitív. A katódsugárban egy-egy töltéshez kevés anyag tartozik, az anódsugárban több. A fizikusok úgy mondták, hogy a katódsugár elektronokból, az anódsugár pedig atommagokból<sup>13</sup> áll. A fizikusok ezt a kétféle sugarat tanulmányozták. A röntgensugárzás onnan indult ki, ahol a katódsugár az üvegfalat érte. Az üveg itt kékes színben fluoreszkált - s a fényképező lemez megmutatta, hogy a fluoreszkáló részről sugárzás indult ki. Ezt a sugárzást a mágnes nem térítette ki - tehát nincs töltése. Visszaverhető, megtörhető, kristályokban interferenciát is lehet létrehozni vele, éppúgy, mint a fényel. A hullámhossza változik, a kemény hullámoké  $10^{-11}$  cm, a lágyaké  $10^{-6}$  cm. Néhány év múlva Becquerel francia tudós becsomagolt lemezeken észlelte ezt a sugárzást, s így vette észre, hogy az urán

---

<sup>12</sup> Hertz (a szerk.)

<sup>13</sup> pontosabban: ionokból (a szerk.)

is bocsát ki sugarat. A Curie-házaspár előállította az uránból a rádiumot. A rádium is háromféle sugarat bocsát ki: az alfa az anód-, a béta a katódsugárnak felel meg - a gamma pedig kisebb hullámhosszú röntgensugár. A különféle sugárzásoknak megmérték az energiáját is - minél rövidebb a hullámhossz, annál több energiát szállítanak. Ezt érzi a testünk is. A rádióhullámok közül csak az egészen rövidnek okoznak lázt; a kvarclámpa ultraibolya sugara ellen már kék szemüveget veszünk föl; az első röntgenológusok, akik még nem hordtak ólomköpenyt, rákban pusztultak el, a rádium sugaraival pedig beteg, rákos szövetet roncsoltak el. A leghosszabb rádiósugaraktól a rádiumsugárzásig s azontúl a világúrból jövő kozmikus sugarakig így egy összefüggő elektromágneses hullámskálát kapunk. A klasszikus fizika másik betetőzése ez. A sugárzások a hullámelmélettel éppolyan egységesekké váltak, mint ahogy az energia megmaradásának az elve a részletekből felépült építmény fölött nagyszerű áttekintést adott.

## A KLASSZIKUS FIZIKA ÉS AZ IPAR

Az emberek a fizikai törvényeket kihasználták előbb, mint ismerték volna őket. Gépeik is előbb voltak, mint mechanikájuk. Milyen nagyszerű mechanikai találmány például egy kocsi-kerék: lecsökkenti a súrlódást. Hát a különböző kutak. A régi háborúkat különféle gépekkel vitták - az első kupolát mechanikai tapasztalataik alapján építették. Ezek az ősi gépek mind mechanikai természetűek: a gőzzel és az elektromossággal játszottak, de nem aknázták ki. Az új mechanika első dolga volt, hogy ezeket az ősi gépeket erőivel most már elemezze. A gépek arra valók, hogy a terhet kisebb erővel vagy kényelmesebben győzhessük le. Gépekkel munkát nem takarítunk meg, mert ha kisebb is az erő, hosszabb a megtett út. A gépeknél a számítás tehát mindig arra vonatkozott, mikor van az erő és a teher egyensúlyban. Még egy kicsit több erő: s a teher le van győzve. Meredeken vinni föl egy testet nagyobb erőt kíván, mint lejtőn vinni föl. Az egyik esetben a teher  $m \cdot g$  súlyát kell legyőzni, a másik esetben a nála kisebb  $m \cdot g \cdot \sin(x)$ -t, ahol  $x$  a lejtő szöge. De munkát azért nem takarítunk meg: a lejtőn ugyanis hosszabb lesz az út.

A lejtő már gép: a gépek egyik fajtája ebből vezethető le. Ha lejtőt egy hengerre tekerünk fel: csavart kapunk; ha két lejtőt teszünk össze, éket. A gépek másik fajtájára a mérleg lehet a példa. A mérleg megtámasztási pontja körül forog egy rúd, amely egy pontban van alátámasztva. A teher az a tárgy, amit mérek - az erő a súly. Mindkettő forgató mozgást akar létrehozni; egyensúly akkor jön létre, ha az erő és karja (távolsága a megtámasztástól) egyenlő a teher és karjának a szorzatával. Ha a mérleg két szára egyforma, a karok egyenlők: a súly ugyanakkora, mint a teher. A tízedes mérlegnél a teher karja tízszer kisebb, súlya tehát tízszer nagyobb lehet. Az olló is kétkarú emelő: minél hosszabb az olló szára, s minél közelebb van az anyag az alátámasztásához, annál nagyobb erőt győzhetünk le kisebb fáradtsággal. A hengerkeréknél közös tengelyen kisebb s nagyobb kerék van. Itt az erő karja a nagy kerék kerülete, a teheré a kicsié. Az álló csigánál a teher és az erő karja egyenlők - a mozgónál a megtámasztást a kötél szolgáltatja; itt az erő karja kétszer akkora, mint a teheré.

A mechanika az eddigi gépek működési elvét tudatosította, s ezzel az új, bonyolultabb gépcsináló kedvet föllendítette. Ez a szerepe a gépek forradalmában.

A XVIII. századtól aztán a fizika is kezdi ontani - egyre bővebben - a maga gépi találmányait. Ahhoz, hogy egy új felfedezésből a technika vívmánya legyen, idő kell: - általában egy fél század. A használható villanylámpa 70 évvel követte az áram fölfedezését, s harminccal az első laboratóriumban csinált villanylámpát; - a mágneses hatást ötven évvel követték Siemens dinamói - az elektromágneset negyvennel Bell telefonja. S Hertz hullámait ugyanennyivel a rádió. Az atomfizika fejlődése azt mutatja, hogy ezt az időt ma sem igen tudjuk elspórolni. Érthető hát,

hogy a fizika kezdetén még nagyobb késések mutatkoztak az iparban. A fizika először a maga gépeit készítette el: az idő mérésére az órát, aztán a hőmérőt, a kalorimétert, barométert, mikroszkópot, a messzelátót. S csak amikor a játékműhelye kész, akkor kezdik a haladást az ipar műhelyei észrevenni. A mechanikai erők mellett most új erő jelentkezik: a kőszénből előcsalt, s munkává alakított hő. Watt<sup>14</sup> gépét a bányákba 1711-ben vezetik be, a Hudson folyón 1803-ban indul el az első gőzhajó, Stephenson vonatja 1827-ben cáfolja meg a jóslatot, hogy akkora sebességet a bennülők nem fognak kibírni. A század közepe még a gépekkel van elfoglalva - nálunk a hetvenes évek a vasúti panamák kora. Az elektromosság a század elején még mindig játékszer, s Morse távírója sem árulja el: milyen átalakulást fog a század második felében okozni. A villanyvilágítást, villanyközlekedést, az elektromos áram munkáját a nagy generátorok tették lehetővé, a váltóáram. Ez a technika harmadik korszaka. Az elektromágneses hullámok kihasználását, a rádiót stb. e század első fele érte meg - hogy az első atombombával megint egy új korszakba lépünk.

A technika újabb fejlődésében még egy jellemző dolgot figyelhetünk meg. A technika nemcsak új és új fizikai energiaforrásokat fedez föl - egyre jobban átszűrődik a vegytannal. A mechanika és gőzgépek korszaka még csak az öntési eljárások tökéletesedését kívánta meg. Az áram fölhasználásához már szigetelő anyagok, nemesgázok, huzalok stb. kellettek. A benzinmotorok és a repülés már a fizika és vegytan közös gyermekei: kőolajból nyert üzemanyagok és könnyűfémek kohászata nélkül a légáramlások törvényeit nem használhatnák ki. Az új atomkorszakban pedig a fizika és vegytan találmányai között talán már megkülönböztetést sem lehet tenni.

1947

---

<sup>14</sup> Newcomen (a szerk.)

## VEGYI IPAROK

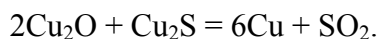
Vegyiparok voltak már sok évezreddel a tudományos vegytan megszületése előtt. Az emberek vegyészkedtek - főztek, festettek, öntöttek, öntvényeztek -, mielőtt azt, amit csináltak, megértették volna. Nemcsak a tudományos vegytan született lángban - sokkal előbb az emberi kultúra is. A történet előtti kort épp az egyik vegyiparnak, a kohászatnak a fejlettsége alapján nevezték el. A kőkorszak emberének nem volt kohászata; a rézkorszaké a színrézt használta föl: a bronzkorban már tudott rézt és ónt öntvényezni. A vaskorszak azokat a népeket dobta magasba, amelyek a vasat vas-oxidjaiból a szénrel ki tudták választani. Itáliát az itálioták, Görögországot a dórok vassal igázták le. Az archeológus másik kedves ipara, az agyagipar is vegyipar: a korsók máza, festése, égetése - elsüllyedt népek vegyészeti tapasztalatairól beszél. Vegyipar útján erjesztéssel jutottak ünnepeik italához, a borhoz, a különféle sörfajtákhoz, erjesztett tejhez, pálmaléhez is. Hogy aki szeszt választ, jellemet is választ: a sörivő németek, a borivó franciák példázhatják. De a fő iparok mellett ott volt már a legrégebb időben a szövetek festése, a bőrök kikészítése, a szappanfőzés. A középkor nagy technikai forradalmi Európában: a papírkészítés, a puskaforrasztás, majd az üveg és a porcelán előállítás. Keleti népek a papírt már réges-rég ismerték. Marco Polo papírpénzt látott Kublaj kán országában; nálunk azonban csak a XIV. században szorítja ki a pergament. A puskaforrasztásnak is voltak elődei a görögöknél; az üveg Egyiptomban és Bizáncban volt ismerős; nálunk azonban csak a XVII. században váltják föl a fémkupákat a kristályedények. A kínaiak porcelánját csak a XVIII. században fedezi föl az európaiak számára kínjában is Böttger, a szász király megszorult aranycsinálója. Az utolsó nagy vegyipar a tudományos vegytan beleszólása előtt a cukorgyártás a répből. Erre Napóleon kontinentális zárlata kényszerítette rá a nádcukortól elzárt európaiakat. Azóta a fejlődő vegytan s a vegyiparok szoros kapcsolatban vannak. A régi tapasztalati eljárások tudatosabbá és tökéletesebbé váltak, s az ősi iparok mellett újak jelentek meg. A technikának a vegytan az igazi hajtóereje. Még az olyan tisztán fizikainak tetsző iparoknak is, mint a benzinmotor-iparok, a vegytan az anyja: a kőolajfinomítás adta neki a benzint, a kaucsukfeldolgozó ipar a gumit, az elektrolitikus kohászat a könnyűfémeket. A legérdekesebb tanulmányok egyike megfigyelni, mint nyomul be lassan a XVIII. század vegyészeteinek laboratóriumi játéka a technika gyorsan növekvő szervezetébe, s hogy változtatja meg egy század alatt ember és anyag viszonyát. Míg előbb a természet anyagait használta föl a maga céljaira, most maga teremti meg a céljaihoz legmegfelelőbb anyagot.

## ŐSI IPAROK

*A kohászat* - ma 98%-ban a vas előállításával foglalkozik, úgyhogy joggal osztják föl vas- és fémkohászatra. A vas használható ércei az oxidok (mágnés vasérc). Szulfidját, a piritet csak azóta érdemes felhasználni, mióta a kénsavgyártás előbb oxiddá alakítja át. A vasoxidból a vasat redukcióval állítjuk elő. A folyamat végeredménye  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{C} = 4\text{Fe} + 3\text{CO}_2$ . A régi vasolvasztókban faszénre rétegezték a vasércet, felhevítették, s a kemence alján csorgott le az öntöttvas és az acél. Azóta a néhány méter magas olvasztók hatalmas tornyokká, nagyolvasztókká nőttek; faszén helyett kokszot használnak, s a kokszon alulról forró levegőt fújnak át. Az alsó rétegekben széndioxid keletkezik; följebb ez szénmonoxidra redukálódik ( $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$ ), és ez ragadja el a vasérc oxigénjét. A lecsurgó vas hosszú úton érintkezik a kokszal, és sokkal több szenet vesz föl. Így keletkezik a 3-4% tartalmú nyersvas. A nyersvasból öntött vas vagy acél úgy lesz, hogy a szenet kiégetik belőle. Ez volt Siemens találmánya: ő tudott a vason először forró levegőt átfúvatni. A Bessemer-kemencék óriási kiborítható körték - alulról préselik át rajtuk a levegőt; a martinkemencékben nagy területen terítik szét és lövik

forró gázlánggal a vasat. A lefolyó nyersacélt tuskókba dermesztik, s úgy dolgozzák föl acéllá. A nagyolvasztók mellékterméke a salak, ezt lebocsátják; a másik a torokgáz, amelyet a levegő előmelegítésére használnak. Ahol kevés a koks és sok a villanyáram - ott az előmelegítés villannyal történik.

A vas módjára redukálják oxidjából az ónt, ólmot és a cinket. Minthogy az ólom és a cink ércei szulfidok, azokat előbb pörkölik, azaz oxiddá alakítják át. Amint láttuk, ezek könnyen olvadó fémek - a pörkölésük sem jelent olyan nehézséget, mint a vasé. A réz és a nikkelt is szulfidokban fordul elő, ezeket is pörkölni kell előbb - de nem teljesen, csak félig, úgy hogy a réz-oxid ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) és rézszulfid egymást redukálják:



Teljesen új utat nyitott a fémkohászatban Davy, amikor a nátronlúgból a nátriumot elektrolyzissal állította elő. Elektrolyzissal állítják elő az új technika legfontosabb fémét, a könnyű alumíniumot. Oxidját kriolitban oldják föl (ezzel olvadáspontja  $2000^\circ$ -ról  $1000^\circ$ -ra száll), s a tiszta alumíniumot a katódon fogják föl. Az anód néhány szénrúd, a katód a kád egész fenéke. Hasonlóan nyerik a magnéziumot.

Higanykohászatot mi is üztünk kémcsövünkben. A cinóbert csak hevíteni kell, s elillan belőle a higany.

A nemesfémek színállapotban fordulnak elő. Az aranykohászatot régebben a víz végezte el; az mosta ki elsődleges kőzetükből - az ember már csak a kimosott aranyat mosta. Ma a kőzeteket zúzzák apróra, s higanyal amalgámozzák ki, vagy nátrium-cianiddal vonják ki a „zagy”-ból. Az ezüstöt meg főként az ólomtartalmú érceiből állítják elő.

*Az agyagiparok (kerámia).* - Az agyag vízzel gyúrható föld. Ha Isten agyagból gyúrta Ádámot - most már a belelehelt isteni lélek gyúrja tovább az agyagot. A téglától a porcelánig minden agyagáru ennek a gyúrókedvnek a terméke. Az agyag a földpáttartalmú kőzetekből támad, ha víz és szénsav elmálasztja őket. A földpát az egyik kovasavnak ( $\text{H}_4\text{Si}_3\text{O}_8$ ) a kálium alumínium sója:  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ . Ez vízzel és szénsavval bonyolult alumíniumoxidot, kovaföldet és hamuzsirt tartalmazó anyaggá bomlik. Azt az anyagot, amely keletkezése helyén maradt, kaolinnak hívjuk. A keletkezése helyéről elsodort agyag többnyire szennyeződik, kiégetéssel a vasoxidtól vörössé válik - ezekből készülnek a téglák, cserepek, fazekas áruk. Az agyagáruk tömegében az alábbi táblázat igazíthat el.

	<i>mázatlan</i>	<i>vörös máz</i>	<i>fehér és máz</i>
tömött	klinker metlachil kerámia	kőanyag-áruk	porcelán
likacsos	tégla, cserép, terrakotta, ha tűzálló: samott	fazekasáruk	kőedény (fajansz) majolika

Az agyag gyúrhatósága attól függ, hogy az agyag inkább kristályos vagy kolloidikus. A jól gyúrható anyag kolloidáló [kolloidikus szerkezetű]. A kristályosat sovány anyagokkal (pl. samott) kell soványítani, mert földolgozásnál tapad, zsugorodik és reped. Alig van két egyforma agyag - s agyagáru.

Az agyagáruk anyagát nedvesítéssel készítik elő; a finomabbakból őrlőmalomban iszapot készítenek. Az agyagáru alakítás ősi szerszáma a fazekaskorong. Gyárakban préselik vagy öntik az agyagot. Égetés előtt az agyagárut kiszárítják, [majd] a kemencék égető terében 900-1500°-ig hevítik. A kemencék alakja sokféle, a porcelánárut alagút-kemencékben, kis kocsikra rakva görgetik fokról fokra tovább. A máz kovasavból és fém-oxidból álló üvegfajta, vagy az agyagtárgy égetésekor keletkezik a rákent kvarc-oxidpépből, vagy előre elkészítik: az üveget iszappá őrlik, s a máziszapot ráfújják vagy ráöntik a tárgyra. Színes akkor lesz a máz, ha oxidokat keverünk belé. A vas-oxid barnára fest, a kobalt kékre, a réz zöldre, a mangán barnára, az antimon-oxid sárgára. Az agyagiparban használt festékek is fémoxidok. Vagy máz alatt festünk velük - akkor bírniuk kell az égetést -, vagy máz fölött.

*Az üveg.* - Az üveg alkáli - kalcium-szilikát, de tartalmaz más fém-oxidokat is. Az alkálit szóda vagy hamuzsír, a kalciumot pedig márványliszt alakjában keverjük a kvarchoz (SiO<sub>2</sub>). Keveréküket 1400°-ra fűtött kemencékben megolvasztják - s olyan hőfokra hűtik, amin már az üvegfúvók is fölhasználhatják. A palackokat fújják vagy préselik; a csöveket, táblákat húzógéppel húzzák: a tükör minden oldalon megcsiszolt táblaüveg. A ragyogó színű üvegek vagy sok ólom-oxidot tartalmaznak, mint az ólomüveg, vagy sok meszet, mint a cseh üveg. A bóroxid és az alumínium tűzállóvá tesz. A nagy fénytörésű flintüveg ólomban gazdag, a kis fénytörésű koronaüveg báriumban.

*Erjedéss iparok.* - A keményítő cukormolekulákból áll; egy molekula cukor [glükóz] szesszé és szén-dioxiddá bontható ( $C_6H_{12}O_6 = 2C_2H_5OH + 2CO_2$ ). De elbomolhat két molekula tejsavvá is ( $C_6H_{12}O_6 = 2HC_3CHOHCOOH$ ) - ez történik a tej megsavanyodásánál - továbbá vajsavvá ( $C_6H_{12}O_6 = C_3H_7COOH + 2CO_2 + 2H_2$ ), szén-dioxiddá és hidrogénné. Ezek a bomlások azonban maguktól nem mennek végbe - erjesztők kellene hozzá. Az erjesztők vegyész-kedő fehérjék, amelyek egy-egy meghatározott vegyi munkát laboratóriumi pontossággal elvégeznek. Vagy a növények testében lépnek föl, mint a keményítőt bontó diasztáz a gabona-csírában; vagy apró, mikroszkopikus lények, gombák, baktériumok testének van ilyen hatása. A szeszgyártásnál, ecetgyártásnál van szerepük.

Keményítőt nyerünk szeszt a sör- és a pálinkagyártásnál. A vegyi folyamatnak két részből kell állnia: előbb a keményítőt bontjuk el cukorrá, aztán a cukrot szesszé. A sört beavatott árpából készítik. A kicsírázó árpában a diasztáz cukorrá bontja a keményítőt. Hogy az így nyert zöld maláta el ne rohadjon, megszalják. Az aszalástól függ a sör színe. A megdarált malátát cefrévé főzik - s ehhez adják a komló virágát, amely kesernyész ízt ad a sörnek, s fertőtleníti. A sörlében ekkor még csak cukor van: most adjuk hozzá az élesztőpépet, amely a cukrot szesszé bontja. Két hét múlva a sör lefejthető a seprőről, s két-öt hónapos utóerjedésre 0°-os pincékben hordózzák. A sör szesztartalma 5-7%. A szeszgyártásnál burgonyát, kukoricát, gabonát használunk. A keményítőt először ki kell szabadítani a sejtekből. Nagy nyomás alatt gőzölik; a keményítő ilyenkor feloldódik, a sejtfal pedig fölreped. A keményítőt zöld árpamalátával cukrosítják - majd a cefrét élesztővel szesszé erjesztik. Ha cukortartalmú anyagból főzzük a szeszt, a malátázás elmarad. A cefréből nyert szesz sok vizet tartalmaz, ezért ezt le kell párolni. Ilyenkor előbb az alacsony forráspontú szesz illan el, s csak később a víz. Az első lepárlásnál még csak 30%-os szeszt nyernek, az ötödiknél már 86%-ost. A pálinkát többnyire ipari szeszből készítik, illatosító anyagokkal. Az igazi pálinkák azonban gyümölcsök erjesztése és párlása útján nyert szesz italok. A rum a cukornád szesz leve, a konyak a boré, a whisky a gabonapálinkaé.

A megtört szőlő levét, a mustot, a levegőben mindig ott levő élesztőgombák erjesztik el. A zajos erjedés néhány nap alatt lezajlik, a hordót föltölthetjük, egy hónap múlva bezárhatjuk. A tisztuló borból az élesztősejtek, borkőkristályok mint seprő ülepednek le. A bort erről karácsony táján szokás lefejtetni. A bor éréséhez levegő kell, ezt megkapja fejtésnél, vagy a hordó

dongáin át; a hordót a kénezés tartja tisztán; a derítőanyagok (vízhólyag, zselatin, csersav, kaolin) a borban lebegő anyagokat csapják le. A pezsgőhöz cukrot és erjesztőt adnak - a seprőt a tótágast állított palackok szájánál ülepítik, s kinyitásával lövelik ki. Aztán újra lezárják. Az utóerjedésnél még elég szénsav keletkezik, hogy a dugót kivágja.

A *papírgyártás* és cukorgyártás tulajdonképp nem vegyi ipar. A papírgyártásnál a rongyokban vagy a fában levő cellulózt rostokra bontják, enyvezik, pépet készítenek belőle, szitával egy lapnyit kiemelnek, és megszáritják. A cukorgyártásnál a répa a vegyész, az készíti 20%-os nádcukrot; a gyár csak fölszeleteli, szembe áramló vízzel a szeletekből kioldja, tisztítás után bepárolja, majd finomítja. Kémiai eljárás mindkét esetben csak a szennyezés lecsapása és eltávolítása. A hulladékrongyot mésztejben főzik - ez mindent fölold, lecsap, elszappanosít; csak a cellulóz marad meg fehér pépként. A szétforgácsolt fenyőfából vagy nátronlúggal, vagy mésztejbe vezetett kéndioxiddal (szulfites eljárás) tisztítjuk. A cukorlét előbb 85°-ra hevítik, hogy a fehérjék kicsapódjanak, aztán ehhez 2-3 % oltott meszet adnak - lecsapóul. A fölösleges meszet szén-dioxiddal csapjuk ki.

## A VEGYTAN BEVONULÁSA AZ IPARBA

A technika gépesítése a textiliparban kezdődik. Itt használják föl először a XVIII. század végén az új tudomány, a vegytan tanulságait. Vászonn fehérítésére előbb kénsavat, aztán klórt, majd klórral kezelt égetett meszet, a klórmeszet (CaOCl) használják. A hamuzsíról készült hamulúg helyett - amelyért egész erdőket irtottak ki - szódát állítanak elő. A mesterséges szóda megolcsóbbítja a szappanfőzést és üveggyártást is. A szódagyártás mellékterméke a klór, a kénsavgyártás [vas-oxidot] a kohászat használja föl. Így lesz a kénsav és a szódagyártás kulcsiparává a zsendülő vegyiparnak. A kénsavat kezdetben kén és salétrom elégetése útján állítják elő. A kén ólomkamrákban kéndioxiddá ég el, s a salétromból nitrogén-dioxid gőzök szállnak fel. Ha a kén-dioxid gőzöket vezetnénk a vízbe, kénessav keletkezne ( $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_3$ ): mivel azonban a nitrogén-dioxid gőzök oxidálják az  $\text{SO}_2$ -t  $\text{SO}_3$ -má, ez vízbe vezetve kénsavat ad ( $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4$ ). Az  $\text{NO}_2$  helyett később platinataplót használtak katalizátorul. A katalizátorok olyan anyagok, melyek a vegyi folyamatokat siettetni tudják. Platinatapló jelenlétében a kén-dioxidot az áramló levegő oxigénje  $\text{SO}_3$ -má oxidálja. Eleinte kénrudakat használtak a kénsavgyártáshoz; de amikor a szicíliai kénbányákból az ellátás nehézkessé vált, piritből vonták ki a kén, úgy, hogy a  $\text{FeS}_2$ -t elpörkölték:  $\text{FeS}_2 + 1/2 \text{O}_2 = \text{FeO} + \text{S}_2$ .  $[4\text{FeS}_2 + 11 \text{O}_2 = 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2]$ . A vasoxidot aztán tovább adhatták a vasgyártáshoz.

A szódát a legbővebb nátriumsóból, a konyhasóból kellett előállítani. Már Glauber tudta, hogy a konyhasóból kénsavval leöntve keserűs,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  és sósav keletkezik. A sósavat mi is így állítottuk elő. Leblanc állította föl az első szódagyártást, amelyben a glaubersót mészkővel és szénrel hevítve szódává alakították át:  $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3 + 2\text{C} = \text{CaS} + \text{Na}_2\text{CO}_3 + 2\text{CO}_2$ . A szódagyártás a szóda árát egytizedére szállította, a világ üveg- és szappanfogyasztását megsokszorozta. A sósavat elbontva szalmiáksót állítottak elő, a csontokból enyvet vontak ki, vagy elemeire bontva klórt, klórmeszet. A tizenkilencedik század közepén a szódagyártásra Solvay új eljárásra jött rá. Ha konyhasóoldatot ammóniákkal és széndioxiddal telítünk szódabikarbóna keletkezik:  $\text{NaCl} + \text{CO}_2 + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{NaHCO}_3 + \text{NH}_4\text{Cl}$ . A szódabikarbóna hevítve szódává válik:  $2\text{NaHCO}_3 = \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ . A szódagyártásnak ez a módja csak akkor lehetett jövedelmező, amikor ammóniákat olcsón tudtak előállítani.

A másik nagy fölfedezés, amelyiknek sok vegyi ipar köszönheti eredetét - a kőszén kőszesítése volt. A kőszén nem tiszta szén, hidrogént, nitrogént, oxigént, sőt kén is tartalmaz. Ahol tiszta szénre volt szükség, mint a vaskohászatban, ott faszenet használtak. A XIX.

század elején a kőszénből is tudtak már tiszta szenet csinálni: ez volt a koksiz. Ha izzó kokszon szén-dioxidot vagy vizet vezettek át, két kitűnő tüzelőgázt nyertek: a generátorgázt és a vízgázt ( $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$ ;  $\text{H}_2\text{O} + \text{C} = \text{CO} + \text{H}_2$ ). Levegőben elzárt kamrákban  $1000^\circ$ -ra kellett a kőszént hevíteni. Az ilyenkor elillanó gázt: a világítógázt Londonban már a húszas években világításra használták: a gáz bevezetése volt odáig a legnagyobb ipari vállalkozás. Kokszon és világítógázon kívül azonban keletkezik még egy gyanús fekete anyag is: a kátrány. A kokszt felhasználta a vasgyártás, a világítógáz a század közepére fényessé tette a nagyvárosok éjszakáit; a kátránnyal azonban nem tudtak mit kezdeni. Fokozatosan desztilláltak ki belőle azt a sok vegyületet, amelyek közül néhányat: a benzolt, analint, naftalint, antracént a gyűrűs szénláncoknál már mi is megismertünk. A festék- és gyógyszeripar - s vele a szintetikus ipar több száz vegyülete - ebből a gyanús, fekete anyagból nőtt ki.

## A KAPITALIZMUS KORÁNAK VEGYI IPARA

A XIX. század fordulója két gyermeket nevelt föl: a romantikát és a kapitalizmust. A század első fele a romantikáé volt; a század derekára már meg is csömörlöttek tőle. Az emberek tudományosabbakká lesznek - érdeklődésük az árnyékban növő másik gyermek felé fordult. A XIX. század második fele a kapitalista vállalkozások kora. A fejlődő vegytan ebben a korszakban három iparcsoport fellendítésével alakítja át az életet.

Az elsőt nitrogéniparnak lehetne nevezni. A nitrogén ott hullámszik körülöttünk a levegőben; - de közönyös istenként nem avatkozott az életünkbe; - belélegeztük és visszafújtuk, de előállítani semmit sem tudtunk belőle. A legfontosabb nitrogénvegyület a vegyész számára ekkor a salétrom; a salétromot pedig a puszkaporgyártás használta föl. A puszkapor egy rész kénből, egy rész faszénből és tíz rész salétromból állt. A XIX. század derekára azonban az ipar nitrogénéhsége megnőtt. A glicerin salétromos észtere, a nitroglicerin: az  $\text{NO}_2$  gyök robbantó hatására hívta fel a hadimérnökök figyelmét. A nitroglicerinnel átitatott infuzoria-föld lesz Nobel dinamitja. A salétromsavval kezelt cellulóz (a papírgyártás anyaga) a nitro-cellulóz. A nitroglicerinnel föloldott gyapotból (cellulóz) készül a füst nélküli puszkapor. Az azóta kitalált sokféle robbanóanyag is alapanyaga a salétromsav.

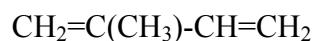
De nemcsak az élet pusztításához kell a salétromsav - nitrogént kell adnunk a földnek is, hogy a növényt fölnevelje. A múlt század közepén Liebig figyelte meg, hogy a különféle nitrogén-, foszfor-, káliumtartalmú ásványi anyagok hogy hatnak a növények fejlődésére. Ő gondolt először arra, hogy a földnek vissza kell adni, amit a növények elvesznek tőle. Különösen fontos ez azóta, hogy az élelmiszereket nem falun fogyasztják el, s a növényi nitrogén az állati ürülékkel nem kerül vissza többé a földbe. A műtrágyaipar Németországban alakult ki, amelynek sovány földjén a lakosság száma a század folyamán megsokszorozódott. A műtrágyák közül megint a nitrogéntartalmú műtrágya a legfontosabb. De salétrom kellett az új celluloidiparhoz - a huszadik század eleje óta a filmhez is. Ennyi salétrom nem termelt Chile bányáiban. Meg kellett találni a módját, hogy a levegő hullámszó nitrogénbányáit is kiaknázzák.

A levegő nitrogénjéhez könnyű volt hozzáférni, mihelyt a levegőt cseppfolyósítani tudták. A  $-200^\circ$ -ra lehűtött levegő már folyós. Ebből a nitrogént, oxigént, a nemesgázokat úgy desztillálják ki, mint a kőolajból a különböző forrponú szénhidrogéneket:  $-192^\circ$ -nál [ $-195,8^\circ\text{C}$ ] illan el a nitrogén,  $-183^\circ$ -on az oxigén, közben a nemesgázok. A tiszta nitrogénből most már csak nitrogén-oxidot kell kapni - hisz az vízbe vezetve: salétromsav. Az oxidálást két részletben hajtják végre. Hatalmas acélcsővekben, vaskatalizátor jelenlétében, 200 [atmoszféra] légköri nyomáson egyesítik a nitrogént a hidrogénnel. A keletkezett ammóniákat megint lehűtik, s tartályokba gyűjtik - aztán elégetik. Platinaszitán sok levegővel keverve hajtják át;

600°-on az ammóniák nitrogén-oxiddá alakul - vízbe vezetve ebből lesz a salétromsav. A levegő bányászása: a tudományos vegytan egyik legnagyobb eredménye.

A múlt század ötvenes éveiben kezdték a mexikói kőolajkutak párlatát, a petróleumot világitásra használni. Az ember azt hinné, a petróleumvilágítás megelőzte a gázvilágítást - de ez nem így volt; száz évvel utána jött. A kőolaj, mint mondtuk már [a vegytan részben], szénhidrogének keveréke. A kőolajforrások mellett feltörő földgáz is szénhidrogén: metán és etán. A kőolajban levő szénhidrogéneknek más és más a forráspontjuk. A 150° alatt illanó benzin, nagyobb forrási hőmérsékletű lakkbenzin, a ligroin, a 230-300° közt illanó petróleum, végül a legnagyobb forráspontú paraffin - mind a kőolajból nyerhető. Régebben a kőolaj legértékesebb terméke a petróleum volt. A villanyvilágítás és az autó felfedezése fordított a dolgon: most már a benzin és a kenőolaj az értékesebb, és a petróleumra van kevesebb szükség. A benzin tulajdonképp folyós szén: nem kell szénnel vizet gőzölögtetni - a benzin maga gőzöl, robban és lök. Minthogy különféle szénhidrogénekből áll: ott is, ahol nincs olaj, de van szén, elő lehet állítani szénből és hidrogénből. Megfelelő katalizátorok jelenlétében óriási bádogszekrényekben 230°-ra hevítve generátor- és vízgázból kőolaj fejlődik.

Az autóiipar másik fontos termékét, a gumit kaucsukból kapjuk. A kaucsuk a kaucsukfa váladéka. A kaucsukban izoprén molekulák:



kapcsolódnak össze láncszerűen. Vízhatlan köpenyeket, radírgumit, csöveket csináltak belőle. A múlt század harmincas éveiben fedezték föl, hogy ha az izoprénbe ként visznek be, azaz vulkanizálják, a kaucsuk elveszti nyúlóságát. A kőolaj a benzint, a gumiipar a gumibroncsokat, az elektrokémia a könnyűfémeket adta - a föld és a levegő életét átalakító robbanómotor-iparnak.

Az első kátrányszínt az anilinból csinálták nátronlúggal a múlt század ötvenes éveiben. Ezután a kátrány gyűrűs vegyületeiből színeket állítanak elő. Az anilinból kapták a fukszint és a metilbolyát. Ősrégi festék volt az alizarin, a pirosító buzér anyaga - a régi francia katonáknak ettől volt piros a bugyogójuk. Ezt az antracénből mesterségesen is előállították. Az antracén dioxivegyülete az antrakinon - annak származéka az alizarin.

Keményebb dió volt az indigó előállítás. A kiinduló vegyület itt az orto-amino-benzoosav. Több közbenső terméken átjutottak az indoxilhoz. Az indigó két indoxil molekulából áll.

A római bíborszegélyű tógák bíbora az indigó bróm származéka. De hogy mégse a természeté, hanem a vegytané legyen az utolsó szó, a német Farbenindustrie ezeknél a természetes festékeknél is ragyogóbb festékeket állított elő: ezek az indantrének. Az „ind” az indigóra, az antrén az antracénra emlékeztet. Az első ilyen festéket 1901-ben állították elő - két amino-antrakinon molekula összeforrasztásából. Ez az indantrokinon.

Az, hogy egy vegyület színes-e, attól függ, fordul-e benne elő kromofor csoport. Ilyen az NO<sub>2</sub> gyök, az N=N (azofestékek), a CH=CH, vagy a CO gyök, ha többszörösen fordul elő. De nem minden színes vegyület fest; ahhoz még olyan auxokróm csoportok is kellenek, amelyek savassá vagy bázisossá teszik - mert csak így tud oldódni, és más bázisokkal, savakkal vegyületet képezve a festett anyaghoz hozzátapadni. Ilyenek az NH<sub>2</sub>, OH, SO<sub>3</sub>H és a COOH gyökök.

A sebészet nagy fellendülését az altató- és fertőtlenítőszeres tették lehetővé. Az étert Mortimer angol fogorvos alkalmazta először altatásra 1846-ban. Ugyanabban az évben Semmelweis már klóros vízzel mosatta medikusai kezét. Az étert a kloroform követte - a klórt a benzol fertőtlenítőszeres: a karbolsav (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH), a krezol (C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>CH<sub>3</sub>OH). A kátránykémia a gyógyszergyárak leleményét is megszázsorozta. Szinte százezernyi új gyógyszert állítottak

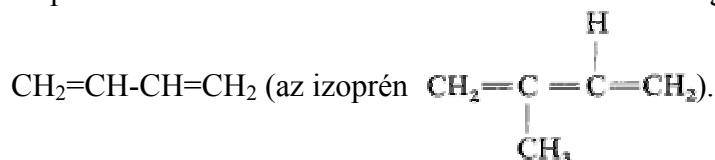
elő. Különösen négy területen folyt a nagy munka: új lázcsillapítókat, altatókat állítottak elő; tisztázták a növényi mérgek (alkaloidák) - a kinin összetételét; olyan belső fertőtlenítőszerket kerestek, amelyek a kórokozókat elpusztítják, a szervezetet nemi betegségek ellen védik (vérbaj ellen a szalvarzán, coccusok ellen a deseptyl). Az utóbbi két évtized nagy eredménye: a vitaminok és hormonok képletének a tisztázása és szintetikus előállításuk volt. Ezekről az anyagokról a gyógyszeres részben lesz szó.

## A MŰANYAGOK KORA

Az első műanyagok - a celluloidok - a múlt század hetvenes éveiben tűntek föl; - előbb Amerikában, aztán Európában. A nitrocellulóz sokféle oldószerben oldódik: az így nyert oldatok gyúrhatók - fésűt, műkövet lehet gyártani belőlük. A celluloid feltalálója nitrocellulóz helyett salétromos savval kezelt papirost használt, s ezt kámmforral gyúrta össze. Ebből a szaruszerű anyagból tudjuk mi mindent lehet készíteni: - megölte a természetes szarut. A szarufésűk azóta celluloidból vannak.

Az alkohol és az aceton keverékében feloldott nitrocellulózból már a múlt század nyolcvanas éveiben húztak fonalat és csináltak műselymet. De ez nagyon nyúlékony volt. A műselyemgyártás csak az első világháború után forrt ki. A cellulózból viszkózt készítettek. A cellulózt nátriumlúgban áztatják - az alkalicellulózt fölaprítják s néhány napig érlelik. Forgó dobban levő alkalicellulózra szénkéneget [szén-diszulfidot] vezetnek. A xantogenát vegyületre a  $\begin{matrix} \text{O} \\ \diagup \\ \text{NaS} \end{matrix} \text{CS}$  gyök a jellemző. A szilárd tömeget aztán megint lúgban ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) oldják föl. Ez sűrű, olajos, barna viszkóz. Ha egy fonófej finom nyílásain kénsavba préselik át, s rögtön teker-cselik: műselyem lesz belőle; ha vékony, hosszú lemezekké nyújtják, celofán. A műgyapjú is viszkózból készül; csak most két centiméteres darabkákra vágják, s ebből fonják a műgyapjú fonalat. Műszövetet tejből és üvegből is lehet csinálni.

Mínthogy a kaucsuk izoprén molekulákból áll, természetesen csináltak műgumit izoprénből. Jobban bevált a butadiénből készült műgumi: a buna. A butadién összetétele



Ő maga is gázból állítható elő; acetilénből. Így lesz a karbid fényes gázából gumi. Ismert műanyag a bakelit is. Sav, lúg nem marja szét - keményebb a réznél, s a víznél alig nehezebb. A fenoplasztok közé tartozik. Feno, mert fenolból nyerik; - plaszt, mert gyúrható. Az aminoszoplasztok sajtolható porok. Átlátszó műanyag a törhetetlen üveg.

A műanyagok függetlenítik az embert az élő természettől. Ha cellulózból is lehet gyapjút csinálni, minek a birka; - ha van buna, minek a kaucsukültetvény. A müzsír, műcukor előbb-utóbb fölveszi a versenyt a természettől. A szerves anyagok néhány elemből (H, O, C) épülnek föl - az ember igen könnyen eljuthat oda, hogy ezekből építi föl házat, szövi ruháját s készíti ételét nagy részét. A földművelést, állattenyésztést, erdőtermelést elnyelik a műanyag gyárai...

1947

## A VEGYTAN JEGYZETBŐL

A vegytanból akkor lesz komoly tudomány, amikor a vegyész a kezébe veszi a mérleget. Megalapítója - Lavoisier - az égés titkát fejté meg. Lavoisier adóbérlő volt a francia forradalom előtti évtizedekben, s nagy jövedelmét tudományos kísérletekre fordította. Adóbérlői múltja a vérpadra vitte; az égést megmagyarázó kísérleteit ezer és ezer iskolában ismétlik meg.

Lavoisier-ig azt hitték, hogy az égő test olyan, mint az olajjal átitatott mécsbél: amíg ég, valami eltávozik belőle. Az égésnek ezt az „anyagát” nevezték flogisztonnak. Ha ez így volna, az égő anyag vesztené súlyából. Lavoisier megmérte az égéstermékeket, azok súlyukban gyarapodtak. A hevített higany gőzeit fölfogta s lecsapta: nehezebbek voltak, mint a higany. Honnét vették ezt a súlytöbbletet? Nyilván a levegőből. Egy angol tudós akkor már észrevette, hogy egerek, ha üvegbúra alatt tartják őket, elhasználják a levegő egyik alkotórészét s megfulladnak. A visszamaradt gázban semmiféle állat sem tud lélegezni. Azaz a levegő egyik része táplálja az égést (ezt nevezték, minthogy „savképző”: oxigénnek), a másik nem táplálja (ezt nevezték el, minthogy salétromból is nyerhető, nitrogénnek). Lavoisier felismerte, hogy az égő anyagok ugyanazt a gázt vonják el a levegőből, amit az egerek. Amiből két dolog derül ki: az egyik, hogy az égés egyesülés a levegő oxigénjével; a másik, hogy az egerek is égő testek, a lélegzés is oxidáció.

Mi Lavoisier kísérletét egy U-alakú csőben, az Ilosvai-készülékben utánozhatjuk. A cső két szárában víz áll; az egyik zárt szárban a víz fölött foszfort lehet elégetni. A foszfor elhasználja a levegő oxigénjét; az elhasznált levegő helyébe víz nyomul. A víz emelkedéséről az oxigén mennyiségét is leolvashatjuk: egyötöde a levegő mennyiségének. Azokat az anyagokat, amelyeket vegyi úton tovább bontani nem lehet, már Lavoisier előtt is elemeknek nevezték. A levegő két elem keveréke. A keverék szó azt jelenti, hogy az oxigén és nitrogén a levegőben függetlenek egymástól, az egyiket elvonhatjuk anélkül, hogy a másik törődne vele. Abban a fehér füstben, amit a foszfor égésénél kapunk: foszfor és oxigén már nem ilyen függetlenek, őket már csak vegyi beavatkozás árán lehet szétválasztani. Vegyületek.

Hogy mi a különbség keverék és vegyület között, jól láthatjuk, ha kén és vasat keverünk össze; a vas kiemelhető a keverékből mágnessel, a kén kioldható szénkénnel, vízbe öntve a kénvirág úszik, a vas lesüllyed. A vas és kén keveréket alkot. Ha azonban a vasat és a kénport meggyújtjuk: sem szénkénnel, sem mágnessel, sem vízzel szét nem választhatjuk őket. A vas és a kén vegyületet alkottak.

### AZ ATOMELMÉLET

Egészen pontosan azonban megint csak a mérleg mondta meg, hogy mi a különbség keverék és vegyület közt. A keverékben az alkotórészek aránya változhat. 1 g kénhez tehetünk 2 g vagy 1 g vasat, az vas-kén keverék marad. Ha a levegő oxigénjének a felét elszívjuk, az még mindig levegő lesz, csak rossz. A vasszulfidban azonban a két elem aránya mindig 55:32, vagyis egy g vasra 32/55 kén fog esni. Vegyületekben az alkotórészek súlyaránya állandó (állandó súlyarányok törvénye); ha az egyik anyagból többet adunk, az fölhasználatlan marad.

Megtörténhetik, hogy két elemnek nem egy, hanem két vegyülete is van egymással. A kénnek például a vasszulfidon kívül van egy vasdiszulfid nevű vegyülete. Mit mutat ilyenkor a mérleg? A két elem súlyaránya: 55:64, vagyis egy gramm vasra 64/55 gramm kén esik. Ami épp kétszerese a 32/55-nek. A szén, ha tökéletesen elég, széndioxid keletkezik belőle. Ebben a

szén és az oxigén súlyaránya 12:32, vagyis egy g szénre 32/12 g oxigén esik; viszont ha betömjük a kályha csövét, s a szén nem kap elég levegőt, széngáz keletkezik; ebben a két elem aránya 12:16, vagyis egy g szénre feleannyi: 16/12 g oxigén esik. Ha ként égetünk, a keletkező kén-dioxidban 32 g kénre 32 g oxigén esik, de ha a kapott kén-dioxid-gázt platinataplón vezetjük át, s ott több oxigént vesz föl, 32 g kénre 48 g oxigén fog jutni. 32 úgy aránylik a 48-hoz, mint 2 a 3-hoz. Azaz ha két elemnek több vegyülete van, az egyik elemnek a másik elem egy grammjára eső mennyiségei úgy aránylanak, mint az egyszerű egész számok. (Többszörös súlyarányok törvénye.)

Az állandó és többszörös súlyarányok törvényét Dalton magyarázta meg abban az évben, amelyben Napóleon Elba szigetéről visszatért. Az ő magyarázata hihetetlenül egyszerű. Minden elem kis építőkockákból, atomokból van fölépítve. Az atom szót már a görög filozófusok is használták; Lucretius költeményében is szó van róluk. A nevük görögül oszthatatlant jelent. Dalton visszahozta az atomokat a kémiába. Az állandó súlyarány az atomok súlyának az aránya. Hogy a szénatom milyen nehéz, azt ő még nem tudta; de azt tudta, hogy súlya úgy aránylik az oxigénatoméhoz, mint 12 a 16-hoz. Azaz a szénmonoxid úgy jön létre, hogy egy atom szén és egy atom oxigén egy szénmonoxid-paránnyá, molekulává egyesül. Akárhány molekula is van a szobánkban levő széngázban, a szén és az oxigén aránya abban mindig 12:16 lesz. A szén-dioxid viszont úgy jön létre, hogy egy szénatom két oxigénatommal egyesül, Világos, hogy ebben a két elem súlyaránya mindig 12:32.

Az atomelméletben kezdetben senki sem hitt. Hiszen mi sem tudjuk elképzelni, hogy az anyag ne legyen a végtelenségig osztható. Akármilyen kis szénkockát képzelek el, azt képzeletemben még mindig ketté tudom vágni. Az ész azonban sok mindent nem tud elképzelni, amit a természet végül is bebizonyít. Az az igazi tudós, aki eszét megalázva a természet pártjára mer állni. Az atomelmélet a vegytan zűrzavarában egy-két évtized alatt rendet teremtett. Most kezdik el (Berzelius javaslatára) az elemeket kezdőbetűikkel jelölni. A szén (carbonium) jele C, az oxigéné O, a hidrogéné H, a kéné (sulfur) S, a vasé (ferrum) Fe, a foszforé P. A vegyületek „képletében” nemcsak azt tüntetjük fel, hogy egy-egy molekulájuk milyen atomokból áll, hanem azt is, hogy hányból. A víz képlete  $H_2O$ ; azaz egy molekulája két H és egy O atomból áll. A szénmonoxid: CO; a szén-dioxid:  $CO_2$ ; a vas-szulfid; FeS; a vas-diszulfid:  $FeS_2$ ; a kén-dioxid:  $SO_2$ ; a kén-trioxid:  $SO_3$ ; a konyhasó, amely egy atom Na (nátriumból) és Cl (klórból) áll: NaCl. A képlet tehát nemcsak azt fejezi ki, hogy egy vegyületnek melyek az alkotórészei, azt is, hogy milyen súlyarányban vannak együtt benne. A legkönnyebb elem a H. Ha ennek az „atomsúlyát” egynek vesszük, a többi elem atomsúlya azt fejezi ki, hogy egy atomok hányszor nehezebb a hidrogénatomnál. A szénatom súlya 12, az oxigéné 16, a nátriumé 23, a kéné 32, a klóré 35, a vasé 55. Az NaCl-ben a nátrium és a klór súlyaránya tehát 23:35 (vagyis egy g Na-ra 23/35 klór esik). A NaCl molekulásúlya pedig (vagyis az a szám, amely megmutatja, hogy egy molekulája hányszor nehezebb egy hidrogénatomnál)  $23+35=58$ . Ha a molekulásúly mellé odatesszük a grammot: az az illető vegyület gramm-molekulásúly mennyisége. Ennek az úgynevezett normáloldatok készítésénél lesz jelentősége.

Az állandó súlyarányok törvénye egyformán érvényes szilárd, cseppfolyós és gáznemű anyagokra. A gázoknál ehhez egy másik meglepő törvényszerűség társul. H és Cl sósavvá, 1:35 súlyarányban egyesül, a sósav molekulásúlya pedig 36. De nemcsak a súlyukat, hanem a térfogatukat is megmérjük: egy liter H egy liter Cl gázzal ad majd két liter sósavgázt. Ugyanígy két liter H egy liter O-nel ad két liter vízgőzt; 3 liter H 1 liter N-nel 2 liter ammóniágot, 2 liter C 1 liter O-nel 2 liter  $CO_2$ -t. Vagyis vegyülő gázok térfogatai úgy aránylanak, mint az egész számok. (Gay-Lussac törvénye.)

Ez igen váratlan fölfedezés, mert pl. 55 gramm vas és 32 gramm kén s a belőlük képződő 87 gramm vasszulfid térfogata közt ilyen egyszerű összefüggést nem lehet fölfedezni. Ez nyilván a gázok szerkezetével függ össze; részeik nem kötik egymást, hanem szabadon kiterjednek. Gondoltak arra, hogy talán az atomok, illetőleg a belőlük képződött molekulák száma egyforma a különböző gázok 1 literében. Akkor azonban 1 liter H-ből s 1 liter Cl-ből 1 liter HCl-nek kellene képződnie. Ez azonban nincs így, mert a vegyülő H meg Cl és a képződött HCl térfogatai úgy aránylanak, mint 1:2. A rejtélyt az olasz Avogadro oldotta meg. A gázelemek nem atomokból, hanem molekulákból állnak, minden molekula két atomból. Ha 1 liter H-ban van X molekula, az atomok száma 2X. Ugyanígy 1 liter Cl-ban is 2X az atomok száma. De 1 HCl molekulához csak 1 H és egy Cl atom kell, úgyhogy 2XH és 2XCl 2XHCl molekulát, vagyis 2 liter sósavgázt ad. Ugyanígy 2 liter H és 1 liter O 2 liter vízgőzt, s 3 liter H és 1 liter N 2 liter ammóniát. Minthogy ugyanabban a térfogatban ugyanannyi molekula van, a gázok egyenlő térfogatainak a súlya úgy aránylik, mint molekulasúlyuk. Megfordítva, molekulasúlynyi gázok térfogata egyenlő. 1 gramm-molekula H (2 g), O (32 g), HCl (36 g) térfogata mindig 22 liter. Ezt nevezik Avogadro-számmak.

Az általános vegytan légkényesebb részén mentünk át. Az alapokhoz még két fogalomra van szükségünk. A sósav képlete: HCl, a vízgőzé H<sub>2</sub>O, az ammóniáé NH<sub>3</sub>, a metáné CH<sub>4</sub>, A Cl egy, az O két, az N három, a C négy hidrogénatomot tud megkötni. Azt, hogy egy elem vegyületeiben hány hidrogénatomot köt meg vagy hányat helyettesít, az illető elem vegyértékének mondjuk. A HCl-ben a Na (nátrium) pl. 1 H-t tud helyettesíteni (NaCl). A Ca (calcium) a H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-be (kénsavba) belépve kettőt (CaSO<sub>4</sub>). Az egyik egy-, a másik két vegyértékű fém. A sósavban egy rész H-ra: 35 Cl, a vízben: 16/2 O, az ammóniában: 14/3 N esik. Egy elemnek az egy súlyrész H-re eső mennyiségét az ő egyenértéksúlyának nevezzük. Az egyenértéksúlyt megkapjuk, ha az atomsúlyt elosztjuk a vegyértékkel. A Ca atomsúlya 40, vegyértéke 2, egyenértéksúlya 20.

## ELEKTROLÍZIS

A XVIII. század még csak a nyugvó elektromosságot ismerte, a XIX. század elején állította elő Volta az ő telepeit, amelyekkel már állandó áramot lehetett termelni. Mihelyt volt áramuk, a fizikusok csakhamar fölfedezték az áram hatásait: az áram a vezetőben hőt fejleszt, a mágneset kitéríti. Néhány év elég volt, hogy az áram hő- és mágneses hatását képletbe fogják. Átvezették persze az áramot oldatokon is. S ekkor furcsa dolgot láttak, a vezető drót anyagát az áram nem változtatta meg, a vezető folyadékokat (elektrolitokat) azonban elbontotta. (Elektrolízis.) Elbontja a vizet is H-re és O-ra, ha előbb egy kicsit megsavanyítjuk. U-alakú vízbontó készülékünkben a belépő áram sarka (az anód) fölött az O, a kilépő sarok fölött (a katódon) a H gyöngyözik föl. Avogadro törvénye értelmében 2 térfogat H és 1 térfogat O. Fontosabb ennél, hogy az áram a savakat, lúgokat és sókat is szétszedte, megelemezte a vegyészek számára. A nátronlúgról pl. akkor még azt hitték, hogy elem. Milyen meglepetés volt, mikor az elektrolizáló készülék negatív sarkán a katódon egy addig nem ismert élénk fém vált ki: a Na. Egész sorát állították elő így az elemeknek: a Ca, Li (lítium), Be (berillium), Mg (magnézium), Al (alumínium) mind az elektrolizáló készülékben született meg az emberi nem javára.

Most már világosan látták savak, lúgok és sók közt is a különbséget. A savakból a katódon H, az anódon az úgynevezett savmaradék vált ki (pl. a sósavban a Cl). A lúgokból a katódon egy fém, az anódon az OH (úgynevezett hidroxilgyök). A sókból a katódon egy fém, az anódon a savmaradék. A H-t és a fémekeket ma kationnak, a savmaradékot anionnak nevezzük. Minthogy a negatív sarok felé a pozitív, a pozitív sarok felé pedig a negatív elektromosság tart: a kation pozitív, az anion negatív töltésű. Az elektrolízist az ionizáció elméletével magyarázták meg.

Az NaCl a vízben nem molekulákban van, hanem pozitív töltésű Na atomok és negatív töltésű Cl atomok alakjában. Ezek a pozitív, ill. negatív töltésű atomok az ionok. Az áram ezeket természetesen a katód, ill. az anód felé löki és sodorja.

Mint ahogy a savak, lúgok és sók a legfontosabb vegyületek, jó lesz már most tájékozódni köztük. Minden sav képlete H-nel kezdődik, de vannak savak, amelyekben a H-nen kívül egy elem van: F (fluor), Cl, Br (bróm) vagy J (jód). Mint ahogy ezek halogén (sóból származó) elemek, a belőlük képzett savakat is halogén savaknak hívjuk (HF, fluorsav, HCl, sósav, HBr, brómsav és HI, jódsav). A savak másik részében a névadó elemeken kívül O is van. Ezek az oxisavak. A kénsavban (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) például két atom H után a névadó elem, a kén, majd az oxigén következik. Sok oxisav van, de nagyon fontos, hogy a H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> = szén-sav, HNO<sub>3</sub> = salétromsav, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = kénsav és H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> = ortofoszforsav képletét álmunkból fölverve is tudjuk. A lúgok fémből és OH gyökből állnak. Az OH gyök egy vegyértékű, egykarú, tehát az egy vegyértékű fémek egyet, a két vegyértékűek kettőt kötnek meg belőle. A legfontosabb lúgok: NaOH (nátronlúg), KOH (kálilúg) és Ca(OH)<sub>2</sub>; az égetett mész leöntése után kapott mésztej. A sókat a kation fémről és az anion savmaradékról nevezzük el. Ha a savmaradék Cl, a só klorid; ha kénsav: szulfát; ha salétromsav: nitrát; ha szén-sav: karbonát; ha foszforsav: foszfát. Ez elé mondjuk a fém nevét. A Na legfontosabb sói például: a NaCl (nátrium-klorid, a konyhasó), Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (nátrium-karbonát: szóda), NaNO<sub>3</sub> (nátrium-nitrát: salétrom), NaSO<sub>4</sub> (nátrium-szulfát: glaubersó), Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (nátrium-foszfát: trisó).

Az elektrolízisnél is végeztek méréseket a fizikusok. Faraday, a könyvkötőinasból lett nagy angol fizikus megmérte a kivált ionok mennyiségét. Egyrészt különböző erősségű áramot vezetett át ugyanazon az oldaton, másrészt ugyanolyan erősségű áramot különböző oldatokon. Az első esetben kivált ionok mennyisége az áram erejével volt arányos, a kétamperes áram a konyhasóból kétszer annyi Na-t választott ki, mint az egyamperes. A második esetben a kivált ionok mennyisége úgy aránylott, mint kémiai egyenértéksúlyuk. Amelyik áram a HCl-ből 1 g H-t választ ki, az NaNO<sub>3</sub>-ból 23 g nátriumot, a Ca(OH)<sub>2</sub>-ből 20 g Ca-t (atomsúly 40, vegyérték 2) fog kiválasztani.

## A SZERVES VEGYTAN LEVÁLÁSA

Lavoisier fölfedezései a XVIII. század végére esnek, az atomelmélet és Faraday törvényei 1830-ra teremtenek némi rendet a kémia zűrzavarában. Ugyanekkor Wöhler német vegyész egy nagy babonát dönt meg, mely a szerves vegytan varázspalotájának volt kapuőre. Az elintézés valóban mesebeli; melegíteni kellett egy sót, az ammóniumcianátot. S mi lett belőle? Carbamid, huyagyany. A huyagyanyról addig azt hitték, hogy mint a többi szerves vegyületet, csak az élő szervezet tudja előállítani. Most előállították laboratóriumban. S az első után jött a többi. Ma 300 000 szerves vegyületet tartanak számon a vegyészek. Ennek nagy részét mesterségesen, szintetikusán is elő tudják állítani (a legtöbb nem is volt meg, amíg ők nem állították elő), más részüknek, az óriásmolekulájú anyagoknak pedig legalább a szerkezetébe van bepillantásuk.

Kiderült, hogy a szerves vegyületek valamennyien a szén vegyületei. Hogy lehet az, hogy ennek az egy elemnek ötször annyi vegyülete van, mint amennyi az ismert szénmentes vegyületek összes száma, holott a szén jóformán csak a H-nel, O-nel, N-nel, S-nel képez vegyületet? Hogy épülhetett ki az elemeknek ebből a kis köréből a vegyületeknek olyan hatalmas világa? A magyarázatot Kekulé adta meg, most száz éve. A szén négy vegyértékű elem, tehát sok karja van; sok atomot tud megfogni, elsősorban azonban más szénatomokat. A szénatom az egyetlen elem, amely hosszú, 40, sőt 60 tagú szénláncokba vagy 6, 10, 14 tagú gyűrűkbe, gyűrűsorokba tud összefogódzni. Így is osztályozzuk a szénvegyületeket: nyílt szénláncú és

zárt szénláncú (gyűrűs) szénvegyületek. A nyílt szénláncú vegyületek közül az első a metán; egy szénatom, s annak mind a négy karjába egy-egy hidrogénatom csimpaszkodik. Ha két szénatom egy karjával összekapaszkodott, már csak három szabad karja marad mindeniknek:  $\text{CH}_3\text{-CH}_3$ . Az etán képlete tehát  $\text{C}_2\text{H}_6$ . Három szénatom láncában a középsőnek már csak két szabad karja marad a H számára:  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_3 = \text{C}_3\text{H}_8$ , ez a cseppfolyós vegyület a propán. A bután képlete:  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ , a pentáné  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ , a hexáné  $\text{C}_6\text{H}_{14}$ . A huszonötödik tagnál a C mellé 25-öt, a H mellé ennek a kétszeresét + 2-öt, tehát 52-t írunk,  $\text{C}_{25}\text{H}_{52}$ . Ezek a magasabb szénhidrogének a 15 tagtól mind szilárdak. A kőolaj, amelyért annyi harc folyik, s a mellette föltörő földgáz szénhidrogéneket tartalmaz.

Most nézzünk néhány példát a behelyettesítésre. Ha a metánon ( $\text{CH}_4$ ) 3 H-t Cl-ral helyettesítünk, kapjuk a  $\text{CHCl}_3$ -t. Ez a híres altatószer: a kloroform. Ha 3 J-ot viszünk be, a jodoform nevű sebhintőport: a  $\text{CHJ}_3$ -at kapjuk. Ha az etánba ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) egy klórt viszünk be, itt van a kis gyors műtétek bódítója, a fogorvosok fagyasztója, a  $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$ , a klóretil. De vihetünk a H helyébe OH gyököt is. Az így kapott vegyületek a különféle alkoholok. A metánból vezethetjük le a metilalkoholt, a faszeszt ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ), az etánból az etilalkoholt vagy borszeszt. Tudjuk, hogy az ecetet háznál borból, gyárban alkoholból szokás készíteni. A szeszt ilyenkor levegőtől átjárt ecetágyon vezetik át. Az alkohol ezen oxidálódik. Az O előbb két H-t ragad ki belőle:  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} - \text{H}_2 = \text{C}_2\text{H}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$ . Ez az acetaldehid, amelyet így szokás írni:  $\text{CH}_3\text{COH}$ . Tovább oxidálva egy O bemegy a COH (aldehid) gyökbe, s lesz belőle ecetsav:  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . Az aldehidekre a COH gyök, a savakra COOH gyök a jellemző. A formaldehid képlete pl. HCOH (a lysoform nevű fertőtlenítőszer hatóanyaga); a vajsavé:  $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$ .

A gyűrűs szénvegyületek közt a legegyszerűbb a benzol. Ebben hat szénatom kapcsolódik össze gyűrűben. A C négy karja közül kettő a két szomszéd C atomot fogja, egyen H atom csügg, az atomok negyedik karja befelé irányul, s a gyűrű tömörségét fokozza. A benzol képlete:  $\text{C}_6\text{H}_6$ . Ha két gyűrű forr össze, tíz szénatomon nyolc H atom fog csüggenni. Ez az ismert molyellenes szer: a naftalin. Három gyűrűből áll a tintásüveg címkéjéről ismert antracén:  $\text{C}_{14}\text{H}_{10}$ . A benzolba is vihetünk be egy vagy több OH gyököt, biggyeszthetünk rá aldehid és savgyököket, azokat kapcsolatba hozhatjuk megint más szerves vegyületekkel. Így állították elő a festék- és gyógyszergyárak a múlt század közepe óta az anyagok ezreit. A benzolra egy savgyököt függesztünk, kapjuk a benzoésavat:  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ . Ha még egy OH gyököt is beléviszünk, itt van a szalicil:  $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})\text{COOH}$ . Ha ez és az esetsav összekapcsolódnak, víz lép ki, s megkapjuk a híres lázcsillapítót, az aszpirint.

## A PERIÓDUSOS RENDSZER

A XVIII. század derekán a ma ismert könnyű elemek közül jóformán egyet sem ismertek. Ha atomsúlyuk rendjében írjuk fel őket, az első húszból összesen négynek volt neve. Lavoisier korában ismerték még az O-t, N-t, valamivel később a F-t és Cl-t. Az elektrolízisnek köszönhető a Li, Na, K, Be, Mg, Ca és az Al fölfedezése. A század közepén Bunsen, akiről gázlángunk a nevét kapta, és Kirchoff a színeképelemzéssel fedezik föl a Cs-ot (cézium) és Rb-ot (rubídium).

Színeképet mindenki látott: a szivárvány a nap színeképe. De nemcsak esőcseppeken - üvegprizmán is megtörik a napsugár, a hosszabb hullámú vörös sugarak jobban, az ibolyák kevésbé. A nap színeképe teljes, a vörösön, sárgán, zöldön át az ibolyáig minden megvan benne. De ha Na vagy K vegyületeket tartunk a lángba, azoknak a színeképük nem lesz teljes. A Na sárga, a K ibolya sávokból áll (szakadozott színekép). Ezek a részleges színeképek kizárólag arra az atomra jellemzők, amely kibocsátja őket. Új sávokból álló színekép új elem jele. Különös kék sávjairól így lettek figyelmesek a Cs-ra, piros sávjairól a Rb-ra. Volt olyan

elem, amelynek a létre először a csillagok színképe figyelmeztetett, aztán találták meg a földön is.

1860 táján ismerték már az első húsz elem közül a következőket: H, Li, Be, B (bór), C, N, O, F, Na, Mg, Al, Si (szilícium), P, S, Cl, K, Ca. Már csak rendezgetni kellett őket, hogy a legmeglepőbb szabályosságot ketten is észrevegység. A periódusos rendszer jó példa rá, hogy ha egy tudományos fölfedezésre megért az idő, akkor az fölfedezteteti magát. Mengyelejev orosz és Meyer német tudós egy időben jöttek rá, hogy ha a 9. elemet a 2. alá írjuk, a 10.-et a 3., a 11.-et a 4. alá, az egymás alá írt elemek rokontermészetűek.

H, Li, Be, B, C, N, O, F  
Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl  
K

Folytatódik ez még a harmadik sorban is, hisz a kálium alkáli fém, mint a nátrium, s a kalcium alkáli földfém, mint a magnézium. Mengyelejevék nem érték be természetesen két sorral: besorozták oszlopaikba valamennyi elemet. Ha egy elem nem illett a maga oszlopába, de beillett a következőbe: üres helyet hagytak, s azt mondták, az oda illő elem nincs még fölfedezve. S valóban rendre fölfedezték, táblázatuk így telt ki lassan a mi periódusos táblázatunkká (periódus = szakasz).

Ennek a táblázatnak a főtulajdonságai a következők: 1. Ha a B-től a W (wolfram)-ig egyenes vonalat húzunk, balra esnek a fémek, jobbra a nemfémek, a vonaltól legtávolabb a legerősebb fémek és nemfémek, a vonalhoz közelebb a bizonytalanabbak. 2. A vonaltól jobbra levőknek van H vegyületük, a balra levőknek nincs. Oxidja mind a kettőnek van, de a nemfémek oxidja vízzel savat ad ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{CO}_3$ ), a balra levőké lúgot [ $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$ ]. 3. Az első oszlopban levő elemek egy vegyértékűek, a másodikban levők két, a harmadikban levők három, a negyedikben levők négy vegyértékűek. Innen a vegyérték (legalábbis H-nel szemben) csökken: a N csoport elemei 3, az O csoport elemei 2, a halogének 1 vegyértékűek. ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , HF.) 4. A páratlan oszlopok elemei a természetben általában ritkábban, a páros oszlopok elemei sűrűbben fordulnak elő. Több mészevegység van, mint konyhasó, több szilícium, mint alumínium, több O és S, mint P vagy Cl.

A kilencvenes években Ramsay angol fizikus a levegőből még öt gázt állított elő; ezeknek az összes mennyisége a levegő egy százaléka. Mért nem vették észre eddig őket? Mert ezek a gázok nem képeznek vegyületet, nincs vegyértékük; ezért nevezik őket nemesgázoknak. A periódusos rendszer szép igazolása volt, hogy ezek a gázok - a Ne (neon), Kr (kripton), Ar (argon), Xe (xenon) - a halogének mögé, egy új nyolcadik oszlopba kerültek.

## A PERIÓDUSOS RENDSZER MAGYARÁZATA (ATOMFIZIKA)

A periódusos rendszer azt, aki először hall róla, elképeszti bámulatos törvényszerűségeivel. A tudósokat inkább szabálytalanságai foglalkoztatták. Bizonyos elemeket, mint például a vas, kobalt (Co), mangán (Mn) vagy a platina (Pt), ozmium (Os), indium (Ir) nem lehetett a hét oszlopba besorolni, ők a gögös nemesgázok közé kerültek, emigrációba. Aztán az egy oszlopba sorolt elemek sem alkottak egységes családot. Az első oszlop elemei közül a Li, Na, K, Rb, Cs közeli rokonok; a réz (Cu), ezüst (Ag), arany (Au) egymásközt rokonok ugyan, de az előbbiekkal, az alkáli fémekkel nem. A második oszlopban a Be, Mg, Ca, Ba (bárium), Sr (stroncium) egy család, a cink (Zn) és a kadmium (Cd) másik. A halogének is ugyanazon sajátságok lépcsőfokai, a közéjük szorult króm (Cr) azonban másfajta elem. Hogy ez mért van így: azt csak akkor fejtették meg, amikor egy új tudomány, az atomfizika a periódusos rendszer talányát is megoldotta. A világosság a természettudományba többnyire oldalról jön, egy másik munkaterület eredményei világítanak a rejtélyei előtt elakadtra.

A századfordulón Becquerel vette észre, hogy az uránérc sugárzást bocsát ki. Ez a sugár (éppúgy, mint az akkoriban fölfedezett Röntgensugár) a fényképező lemezen nyomot hagy. Pierre Curie és a felesége az uránérből új, nagy atomsúlyú elemet állítottak elő: a rádiumot. Ebből az elemből háromféle sugárzás tör elő. Az első pozitív töltésű, He atomokból áll, a mágnes ezt erősen téríti ki (alfa-sugárzás), a másikat a mágnes ellenkező irányba téríti, tehát ennek is van anyaga s ellenkező, negatív töltése, de a tömege  $1/6500$  része a He atoménak. Ezt a negatív töltésű anyagpárt már ismerték a fizikusok; ez volt az elektron; a beta-sugárzás tehát elektronsugárzás. A harmadik fajta sugárt, éppúgy, mint a fényt, a mágnes nem téríti ki; ennek tehát sem anyaga, sem töltése; az elektromágneses hullámok csoportjába tartozik, amelyek közt leghosszabb a rádióhullám, aztán jön a hő-, ultravörös, fény-, ultraibolya, majd a röntgensugárzás s a rádium sugárzásán túl a kozmikus sugárzás.

Honnan röpködnek ki az alfasugarak, a He atomjai, honnan a betasugárzások sok milliónyi elektronja? Nem jöhetnek máshonnan, csak magából a rádiumatomból. Az atom tehát nem a-tom, vagyis oszthatatlan, hanem még neki is vannak alkatrészei: elektronok és nagyobb pozitív töltésű részek. Hogy az atomok igen sok ürességből és kevés anyagból állnak, azt fémlapok „bombázása” is valószínűvé tette. A vaslemezre lőtt alfasugár (He atom) a vaslemez túlsó oldalán változás nélkül folytatta az útját. Ha a vas tömör volna, ez nem történhetett volna meg. A He atomok úgy mentek át a tömörnek hitt vasatomon, mint egy üstökös a naprendszer bolygói közt, csak kivételesen ütköztek össze velük. Az atomot így is gondolták el most már: egy kis naprendszernek, középpontjában a pozitív töltésű atommag, körülötte a keringő elektronok. Rutherford H atomjában egy elektron kering a sokkal nagyobb tömegű pozitív töltésű mag, a proton körül.

Rutherford atommodelljét Bohr tökéletesítette. Az ő „naprendszerében” is elektronok keringenek a hozzájuk képest óriási mag körül; a magban annyi proton van, ahány elektron száguld körülötte. A pozitív és negatív elektromosság így leköti egymást, az atom kifelé semleges. Minden atomban annyi elektron és annyi proton van, ahányadik a periódusos rendszerben. A He a második, tehát 2 elektronja van, a Ca huszadik, tehát húsz. Ezek az elektronok azonban nem mind férnek el egy gömbfelületen (egy héjon). A belső héj már két elektronnal telítve van (H, He). A második héjon nyolc elektron fér el. Ha csak egy van rajt, kapjuk a Li-t, ha kettő, a Be-t, ha hét, a F-t, ha teli van, a neont. A következő elektron számára már csak a harmadik héjon van hely (ez az atom a Na). A harmadik héjon 18 atom fér el, a negyediken 32, de már a 8. után is új héj kezdődhet. A táblázat megmutatja, melyik atomban hogy oszlanak meg az elektronok.

Megértjük most már, mi határozza meg a vegyértéket. A külső héjon levő elektronok száma. Ha a külső héj teli van (nemes gázok), az elem nem vegyül, nincs vegyérték. Ha a külső helyen szabad helyek vannak, oda egy másik elem elektronjai bekapcsolódhatnak. A Na egyetlen külső elektronja így illeszkedik be a Cl hét szabad elektronja közé. A Ca két külső elektronjának viszont csak két klóratomon van elég üres hely, ez tehát két klóratommal alkotja a  $\text{CaCl}_2$ -t. Az első oszlop elemei így egy vegyértékűek (a külső pályán egy elektronjuk kering), a második oszlop elemei két vegyértékűek (a külső pályán két elektron), a harmadik oszlop elemei három, a negyedik oszlop elemei négy vegyértékűek (három, négy elektron). Az ötödik oszlop lehet öt vegyértékű, de lehet három is; ilyenkor azt vesszük figyelembe, hány hiányzik a 8-hoz; a hatodik lehet hat vegyértékű, de többnyire kettő, a Cl lehet 7, de majd minden vegyületében egy értékű, mert hisz egy üres hely van a külső héjon.

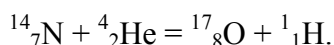
Hasonlítsuk össze az elemek rendszámát s atomsúlyát. Az első elemek atomsúlya kétszerese a rendszámnak, a későbbieké nagyobb. Ha az atommag csak protonokból állna, rendszám és atomsúly ugyanaz volna. A 20. elemiben 20 elektron, tehát 20 proton is van; azaz hússzor olyan nehéznek kellene lennie, mint a H atomnak. De 40-szer olyan nehéz. Tehát még vala-

minek kell benne lennie; ez a neutron. A neutron tömege akkora, mint a protoné, de nincs töltése. Az atomsúlyt tehát a neutronok és protonok számának az összege adja. A K atomsúlya 39, rendszáma 19, magja eszerint 19 protonból és 20 neutronból áll. Előfordulhat, hogy két elemben a protonok száma azonos, neutronjaik száma azonban különböző. Van pl. olyan Li, amelyben a 3 proton mellett 3 neutron van, s van, amelyikben 4. A két elem csaknem teljesen azonos, atomsúlyuk azonban különbözik. Az ilyen elemeket nevezik izotópoknak. A H-nak is van olyan fajtája, melyben neutron is van, sőt olyan is, amelyben kettő. Ezeknek az atomsúlyuk 2, illetőleg 3. A „nehésvíz” 2 atomsúlyú H atomokat tartalmaz. Molekulasúlya tehát nem 18, hanem 20.

Mivel magyarázza meg az atomfizika a periódusos rendszer szabálytalanságait? A periódusok voltaképpen a héjak férőhelyei. A második periódus 8 elemből áll, a harmadik 18-ból. Ez tehát a nátriumtól a 28. elemig, a nikkelig tart, s a periódusos rendszerben két sort ad, az elsőben 8 elem van, a másodikban 7 + a vas csoport (Fe, Co, Ni) három eleme. A periódus 9-ik eleme (az új sorban az első) azért egy vegyértékű, mert mielőtt a régi héj megtelt volna, új héj kezdődött; s azért különbözik a Na-tól és K-tól, mert azok telt héj után kezdenek új héjt, a Cu, Ag pedig nem.

### ATOM-ÁTALAKÍTÁSOK

Ha egy atom magjába protonokat vagy neutronokat vagy elektronokat sikerül belőni, új atomokat kapunk. Vagyis az elemek mégiscsak átalakíthatók egymásba (így lesz néha „igazuk” azoknak, akiknek nem volt igazuk). Atomot először Rutherford alakított át. N-t bombázott ködkamrában alfasugárral, azaz He-mal. A ködkamrában az atomok útjai lefényképezhetőek. Rutherford azt tapasztalta, hogy a legtöbb alfarészecske változatlanul siklott át a N atomok közt, ahol azonban egy-egy beléje ütközött, az ütközés után egy más atom cikázott tovább. Ma már könnyű megmagyarázni s atomfizikai egyenletbe foglalni, mi történt. A N rendszáma (elektronszám): 7. Atomsúlya: 14. Ezt így jelöljük  $^{14}_7\text{N}$ ; a hélium rendszáma 2, atomsúlya 4, tehát  $^4_2\text{He}$ . Az ütközésnél az újfajta atomon kívül még proton is szabadul fel. A proton rendszáma és atomsúlya is 1. Az új atom csak  $7+2-1=8$  rendszámú és  $14+4-1=17$  atomsúlyú lehet: az oxigén egyik izotópja.



Bombázásra fölhasználtak protonokat is; még alkalmasabbak voltak a neutronok, ezeknek nincs töltésük, s így az egynemű atommag nem taszítja őket. A bombázások után keletkezett elem sokszor nem állandó, hanem mint a nagy, bonyolult atomok (a rádium például) sugárakat bocsát ki. Ezt a jelenséget nevezik mesterséges radioaktivitásnak.

1947

## ANYAGISMERET

A vegytan történetében harminc elemet és körülbelül negyven vegyületet említettünk meg. De elem kilencvenkettő van, azok közül legalább ötven fontos, a három-négyezer vegyületből pedig legalább 150-et illik közelebbről, vegyész módjára ismernünk. Ezek az elemek és vegyületek részben nem fémek, mások, főként a sók, fémek vegyületei; az élet anyagairól pedig tudjuk, hogy szénvegyületek.

Az elemeket és vegyületeket tulajdonságaikkal írjuk le. Ezek a tulajdonságok - mint folyós, kemény, meleg, fémes, kristályos, zöld, záptojás szagú - szemünk, tapintásunk, orrunk tapasztalatai. Ahogy a lélektan mondja: érzetek nevei. Mielőtt a három csoport leírásában használnók őket, nézzük meg, hogy a fizikusnak és a vegyésznek, a fizikai-kémia tudósának mit jelentenek.

### AZ ANYAGOK SAJÁTOSSÁGAI

*Halmazállapot.* - Egy anyagról elsősorban azt szoktuk megmondani, hogy szobahőmérsékleten szilárd, cseppfolyós vagy gáznemű. Bizonyos hőmérsékleten minden anyag lehet szilárd és cseppfolyós is. A vas kb. 1500°-on cseppfolyós, 3250°-on gőz lesz. A levegő -193°-on cseppfolyós, még lejjebb szilárd. A testek halmazállapota molekuláik elrendeződéséről ad felvilágosítást. A gázok molekulái egymástól csaknem függetlenül végzik mozgásukat. Csak külső erők - külső nyomás állja az útjukat. A cseppfolyós testek molekulái nem hagyhatják el egymást - kiterjedésük igen kicsiny, de nincsenek egymás mellé rögzítve, elgördülnek egymáson. Az edény falát nyomják, de alakját felveszik. A szilárd testek közt vannak olyanok, amelyeket túlhűtött oldatoknak lehet tekinteni. Ha olvadt ként öntünk vízbe, a kénmolekulák úgy ahogy voltak, cseppfolyós hempergőzésükben merednek meg. Ha szénkéneget oldott kénről párologtatjuk el a szénkéneget, a kénmolekulának idejük van hogy szabályos kristályokba rendeződjenek. A kristály egy elhelyezkedési terv: tengelyei azt mutatják, hogy melyik irányban milyen mértékben nő. A vegyületek kristályai közt vannak olyanok, amelyekben nem molekula rakódik molekula mellé, hanem mint az oldatokban, pozitív és negatív töltésű ionok. A só (NaCl) ismert kockácskáiban például  $\text{Na}^+$  és  $\text{Cl}^-$  ionok ülnek a csomópontokban: minden nátriumot hat klór-, és minden klórt hat nátriumion vesz körül. Más rácsoknak tetraéder vagy oktaéder alakjuk is lehet. A szerves vegytan nagy molekulájú anyagai többnyire nem kristályosak, de lehűtött oldatoknak sem tekinthetők. Az ő szerkezetüket molekulájuk belső szerkezete szabja meg. A keményítőben a cukormolekulák például gömbszerűen illenek össze, a cellulózban láncszerűen. A kaucsuk is azért nyúlik, mert az izoprén nevű anyag hosszú láncából áll. Bizonyos körülmények közt a nagy molekulájú anyagok is kikristályosíthatók. Ez az első lépés szerkezetük megállapításához. A kristályok rendezettsége röntgennel stb. sokkal könnyebben tanulmányozható.

*A hőfok.* - A testek hőfoka a mozgási (kinetikus) hőelmélet szerint a molekulák mozgásától függ. Ha egy test hőfokát növeljük, a molekulák apró mozgása hevesebb lesz, s szinte elrúgják magukat egymástól. Gázoknál ez azt jelenti, hogy a gázok hevítve még jobban kiterjednek, ha pedig fal, edény akadályozza a mozgásukat, azt nagyobb erővel nyomják. Ha a gáz hőmérsékletét 1°-kal hevítjük, térfogata  $\frac{1}{273}$ -ad részével nő meg, ha pedig nincs mód a kiterjedésre, nyomása nő meg ennyivel. Ez a 273 nevezetes szám. Mert hisz ha egy gáz térfogata zérus fokon egy liter, akkor -1 fokon  $\frac{1}{273}$  literrel kevesebb, -100 fokon  $\frac{100}{273}$  literrel kevesebb, -273 fokon pedig  $\frac{273}{273}$  literrel kevesebb.  $\frac{273}{273}$  azonban 1; eszerint -273°-on az 1 liter gázból semmi sem maradna. Természetesen ilyen alacsony hőmérsékleten a gáz már nem lesz gáz - és a fenti törvény nem igaz - de -273° alá semmit nem lehet hűteni. Azért hívják ezt abszolút zérus foknak.

Ha a cseppfolyós testeket hevítjük, molekuláik tánca is egyre hevesebb, felszínükön egyesek kivágódnak a szabadba: így keletkeznek a gőzök. Ha a gőzök nem távozhatnak el - pl. fedővel fődjük le a lábost -, egy idő múlva a gőz akadályozza a gőzölgést, a gőz telített lesz. Magasabb hőfokon több, alacsonyabb hőfokon kevesebb molekula telíti a gőzt. Van egy hőfok aztán, amelyen a cseppfolyós állapot tarthatatlanná válik - a molekulák kapcsolatai fölbomlanak, a folyadékból gáz lesz. Az a hőfok, amin ez bekövetkezik, a folyadék forráspontja.<sup>15</sup>

Amíg az átalakulás be nem fejeződik, a folyadék hőfoka nem változik. A melegmennyiség mind a kohézió szétroncsolására kell. A melegmennyiséget kalóriával mérjük. Egy kilokalória 1 liter [kilogramm] víz hőmérsékletét emeli fel egy fokkal, egy grammkalória 1/1000 literét [kilogrammát]. Hogy a 100°-os víz 100°-os gőz legyen, 510 kalória szükséges grammonként. Ugyanígyen változáson mennek át a szilárd testek az olvadáspontjukon. Náluk az olvadási hő a szilárd vázkapcsolatok széttúzására kell. A víz olvadási hője jóval kisebb, mint a forralási hője: 80 cal. Egy anyag fajhője azt mutatja meg, hogy hány kalória hő emeli fel grammonként egy fokkal a hőmérsékletét. Egy kiló víz hőmérsékletét 1 kilokalória emeli 14,5°-ról 15,5°-ra, a fajhője tehát 1 kalória.

A vegyi folyamatok molekulák és molekulák közt folynak le. Az új molekulák mozgása is más lesz. A vegyi folyamatok tehát vagy hőt vonnak el, vagy hőt termelnek. Az előzőket hívjuk exotermás, az utóbbiakat endotermás<sup>16</sup> folyamatoknak.

*Elegyek* [hiányzik a kéziratból]

## NEMFÉMEK

Nemfémek közé számít a hidrogén is, bár vegyületeiben kation. Nemfémek a halogén elemek, a fluor, a klór, a bróm és a jód. A fluor könnyű, színtelen gáz, a klór nehezebb, zöld színű (klóros zöld) a bróm már folyadék és barna, a jód sötétlila és szilárd. A fluor a legmohóbban vegyülő elem, a jód a legkevésbé mohó. A négy elem szép példája annak, hogy változik egy családon belül a fajsúllyal együtt a halmazállapot, szín, és vegyi affinitás. A hatodik oszlop<sup>17</sup> elemei közt legfontosabb az oxigén (O): gáz és a kén (S): szilárd; csak megemlítjük még a szelént és a tellurt, amely már közelebb áll a fémekhez.

Az ötödik csoport csupa erős kötésű anyagot tartalmaz. A nitrogén (N) a levegőben ugyan közömbösséget mutat, de vegyületeiben robban, mérgez. A foszfornak (P) különösen a sárga alakja mérges. Sok gyufagyári munkást tett tönkre, amíg helyette a dobozon a vörös foszfort nem alkalmazták. Az arzén (As) szürke, mérges anyag. De gyógyszerek még a bróm-wolfram vonalon túl eső fémek is ennek a csoportnak: a bizmut (Bi) és az antimon (Sb). A negyedik csoportban már az első tag, a szén is szilárd, sőt fémes fényű. Ez a szerves élet alapja, a kőzetek legfontosabb anyaga. Nemfém - hisz savat képez - még a bór (B) is, amelyet mi a bóraxból ismerünk.

A nemfémek legfontosabb vegyületei a hidrogénnel képzettek. Ezen nincs mit csodálkozni, hisz a hidrogén fém jellegű. Különösebb, hogy az oxigénnel is van majdnem mindegyiknek vegyülete - minél közelebb érkezünk a bór-wolfram vonalhoz, annál fontosabb. Ezek az

---

<sup>15</sup> A forráspont definíciója nem ez, hanem: az a hőmérséklet, ahol a folyadék gőznyomása megegyezik a külső nyomással. (a szerk.)

<sup>16</sup> a két elnevezést ma fordítva használják (a szerk.)

<sup>17</sup> Itt a szerző a periódusos rendszer oszlopairól beszél. (a szerk.)

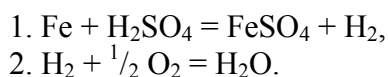
oxigénvegyületek vízzel savat adnak. Kénvegyülete csak a szénnek van. Táblázatunkban csak a legfontosabb vegyületeket tüntetjük fel.<sup>18</sup>

A klórnak van oxisava is [...] A  $\text{H}_2\text{O}_2$  azok közé az anyagok közé tartozik, amelyek könnyen leadják oxigénüket s ezzel fertőtlenítenek. A kénnek oxigénvegyülete van. Ha ként égetünk el, hordót kénezünk: kén-dioxid ( $\text{SO}_2$ ) keletkezik. Ezt platinataplón kell átvezetni, hogy még egy oxigént fölvegyen. Az ilyen anyagok, amelyeknek pusztá jelenléte egy vegyi folyamatot siettet, a katalizátorok. A kénsav a kén-trioxid ( $\text{SO}_3$ ) sava. A kénsavgyártás titka: a kén-dioxidot kén-trioxiddá alakítani. A kontakt eljárásnál a platinataplót használják föl erre, az ólomkamrás eljárásnál a nitrogén-dioxidot ( $\text{NO}_2$ ), amely könnyen veszíti el egyik oxigénjét.

A nitrogénnek, látjuk, több oxigénvegyülete van, s így a vegyértéke is változik: a nitrogén-monoxidban ( $\text{NO}$ ) két, a nitrogén-dioxidban ( $\text{NO}_2$ ) négy, a nitrogén-pentoxidban ( $\text{N}_2\text{O}_5$ ) öt vegyértékű. Az arzénhidrogén ( $\text{AsH}_3$ ) leplezi le az arzénnal gyilkolókat (pl. a tiszazugi asszonyok). Ha hidrogénfejlesztőbe arzénes hullarészt teszünk, abból  $\text{AsH}_3$  fejlődik; ez hűtőben szétesik arzénra és hidrogénra - az arzén mint fekete tükör válik ki a hűtőbe tett porcelánlapon.

*A legfontosabb kísérletek nemfémekkel.* - Ahhoz, hogy ezeket a kísérleteket megcsinálhassuk, jóformán semmiféle felszerelés nem kell. Elég hozzájuk egy tucat kémcső, valami, amibe beleállítjuk őket, egy durván átszűrt hajlított üvegcső, amin a gázt kivezethetjük s meggyújthatjuk - üvegcsésze helyett egy pohár is megteszi, szarukanál helyett közönséges kanál. A hőt megadja a borszeszlámpa. A reagensek közül legfontosabb a sósav, a kénsav, a nátronlúg; legyen azonkívül egy füzetke lakmuszpapírunk, s néhány fapálcikánk. Az itt leírt kísérletekhez kell még vasreszelék (jó a cink, alumínium), klorát, szénrúd, kénvirág, barnakő ( $\text{MnO}_2$ , mangán-dioxid), konyhasó - márvány-, mészkő- vagy krétadarab, égetett mész.

*Hidrogénfejlesztés.* - Vasreszelékre kénsavat öntünk. A kémcső fölpezseg. Bedugjuk gyorsan az üvegcsöves dugót; a kiáramló gáz meggyújtható. Ha az égő láng fölé üres poharakat tartunk, az a vízcepppektől megharmatosodik.



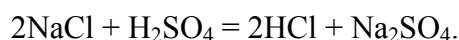
A hidrogént a vízből is ki tudja szorítani a nátrium, kálium, kalcium - a meleg vízből a magnézium, a savakból az alumínium, vas, cink; - savakból sem a réz. Az ún. elektromotoros [elektrodpotenciál] sorban tehát a vas és a réz között áll.

*Klórfejlesztés.* - Barnakőhöz sósavat adunk. Jó, ha a barnakőben konyhasó is van. Fojtó szagú gáz keletkezik. A dugón át vízbe vezetjük: ott fölbugyog. Egy részét a víz elnyeli - klóros víz keletkezik. Ez volt történetileg is az első fertőtlenítőszer: Semmelweis ezzel fertőtlenítette a medikusai kezét.



A mangán a barnakőben négy vegyértékű (két oxigént köt meg), a mangánkloridban ( $\text{MnCl}_2$ ) két vegyértékű. Ez a vegyértékcseré teszi lehetővé, hogy a két klóratom fölszabaduljon - különben a mangán azt a két klórt is megkötné.

*Sósavgáz.* - A sósavat a kénsav kihajtja a konyhasóból. Öntsünk a konyhasóra kémcsövünkben sósavat és melegítsük:  $\text{HCl}$  gáz száll föl - pohárban bugyogtatva, a víz savanyú, a kék lakmuszt megvörösíti.



---

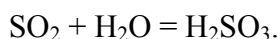
<sup>18</sup> A táblázatokat a szerző elkezdte, de nem csinálta meg. (a szerk.)

*Jód.* - Jódkristályokat teszünk kémcsőbe. Hevítve gyönyörű ibolyaszínű gőzök szállnak föl belőle. A jód gáznemű lesz, mielőtt cseppfolyósodna. Ezt nevezik szublimálásnak. Ha elég sok jódnak van s nem elég óvatosan melegítjük, nem lesz az egész jódból gáz, egy része 114 fokon cseppfolyósodik. Ha jódot alkoholban oldunk, jódtinktúrát csinálunk. A tinktúrák alkoholos oldatok.

*Oxigén.* - Oxigén fejleszthető az ún. oxidálószerkekből - ezek könnyen adnak le oxigént. Mint-hogy a fejlődő oxigén roncsol is, ez a baktériumokat elpusztítja; ezek nagy része ( $H_2O_2$ ,  $KClO_3$ ,  $KMnO_4$ ) fertőtlenítőszer - a másik része (salétrom) az égést táplálja, s robbantásra használható. A puskaporban pl. salétrom égeti el a szént és a ként, s a keletkező szén-dioxid és kén-dioxid röpti ki a golyót. Tegyük egy kémcsőbe klorátot, és hevítsük. A fejlődő oxigént egy égő s lassan elszenesedő fapálcával mutathatjuk ki. Ha egy ilyen üres kémcsőbe dugunk be, ott elalszik - a mi kémcsővünkben már azután is, hogy elszenesedett (nem szabad türelmetlenné lenni!) fölizzik. Ugyanezt tehetjük meg hipermangán ismert jegeceivel vagy salétrommal. Ha több oxigént akarunk fejleszteni, barnakőport is keverünk hozzá, s egy retortában hevítjük, az oxigént pedig vízre borított üveghengerben fogjuk föl. Az oxigénben minden anyag jobban ég: megpróbálhatjuk ezt kénnel, foszforral, mangán szalaggal, nátriummal. Hengerből az oxigén nem illan el, tehát nehezebb a levegőnél.

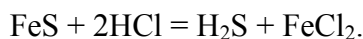
*Kén.* - Ha nagyobb darabka kénrudat kémcsőben hevítünk, az előbb híg - sárgás, könnyen folyó lesz ( $110^\circ$ ),<sup>19</sup> aztán megsűrűsödik, nem is önthető ki a kémcsőből ( $200^\circ$ ),<sup>20</sup> majd megint meghígul, végül  $400^\circ$ -on<sup>21</sup> gőzölni kezd, s mint finom kénpor (kénvirág) száll le a kémcső hidegebb falára. Ha az olvadt ként vízbe öntjük, ott sárga kavicsá dermed (amorf kén). Vízben nem oldódik a kén, szeszben rosszul, a nehéz szagú, mérges szénkénegekben igen jól. Szénkénegek oldatából a szénkénegek, főleg ha óraüvegre öntjük, gyorsan elillan, s a kén rombos kristályokban marad vissza. A szénkénegek csínján kell bánni, mert mérges és gyúlékony. Égő láng ne legyen az asztalon, amikor ezzel dolgozunk. A szénkénegek kémcsőt dugjuk be, az elpárologtatást végezzük két ablak közt.

*Kén-dioxid.* - Ha kénhez elég levegő jut - fémkanálban vagy nyitott porceláncsészében hevítjük -, kék lánggra lobban, s szúrós gázzá, kén-dioxiddá ég el. A kén-dioxidot vízbe vezetve a víz a lakmuszt megpirosítja.

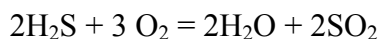


A kén-dioxid, éppúgy, mint a  $H_2SO_3$ , fertőtlenítőszer. A boroshordókat evvel fertőtlenítik. Kén-dioxidba helyezett virág elszíntelenedik.

*Kénhidrogén.* - Savakból a vas kiszorítja a hidrogént:  $2HCl + Fe = FeCl_2 + H_2$ . Ha savhoz nem vasat, hanem vas-szulfidot adunk, záptojásszagú kénhidrogén-gáz fejlődik:



A kénhidrogén dugós üvegcsővünk végén meggyújtható, s a lángnak már nem kénhidrogén, hanem kén-dioxid szaga van.



---

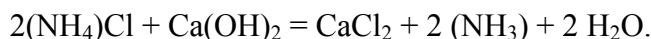
<sup>19</sup>  $120^\circ C$  (a szerk.)

<sup>20</sup>  $187^\circ C$  (a szerk.)

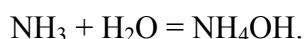
<sup>21</sup>  $444^\circ C$  (a szerk.)

A kénhidrogénes kémcső tartalmát a kísérlet elvégzése után öntsük ki, mert mérges. Szerves anyagok bomlásánál is kénhidrogén keletkezik. Ezért záptojásszagú a kénhidrogén, helyesebben kénhidrogénszagú a záptojás - ezért betegszenek meg kénhidrogénmérgezésben a csatornatisztító munkások. A kénhidrogént a víz elnyeli.

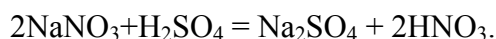
*Ammóniák.* - Ammóniákgázt szalmiákból lehet fejleszteni. A szalmiák az ammóniumgyök kloridja; hevítve, mint a jód, szublimál. Ha lúgot adunk hozzá, ammóniákgáz fejlődik.



A cserebomlásban tulajdonképp  $(\text{NH}_3)\text{OH}$ -nak kellene képződnie, de az mindjárt elbomlik ammóniákra és vízre. Az ammóniák szaga a trágyadombra emlékeztet - azon az alapon, amin a kénhidrogén záptojásra. Vízben az ammóniák mint lúgos hatású szalmiákszesz oldódik.

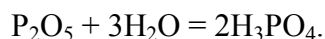


*Salétromsav.* - Salétromsavat úgy állíthatunk elő, ha sójából egy erős savval, pl. kénsavval [melegítve] kiűzzük:



Ha a keletkezett gőzöket vízbe vezetjük, az savanyú lesz. A salétromsav erős oxidálószer. Ha tömör salétromsavat csöppentünk rá, a foszfor magától meggyúl.

*Foszfor.* - Az Ilosvay-készülékben végzett kísérletet megismételhetjük kémcsőben is. A foszfor hevítve füstalakú foszfor-pontoxidá ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) ég el. Ha vizet öntünk a kémcsőbe, ortofoszforsavat kapunk.

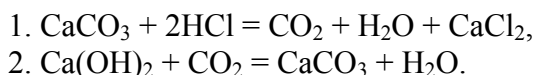


Ha viszont csak egy molekula vízzel egyesül, metafoszforsav keletkezik:



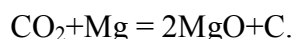
*Szén.* - Kristályos alakjai a gyémánt és a ceruzában levő grafit. Amorf alakja a faszén, a kocsz és a csontszén - a hasmenéseinkből ismert orvosi szén. A kőszén nem tisztán szén. Ha levegőtől elzárva hevítjük, hidrogén-, nitrogén- és oxigéntartalmú vegyületeket nyerünk belőle. Ezt csinálják a gázgyártásnál: a kőszénből világítógáz, kátrány és víz száll el, és a tiszta szén mint kocsz marad vissza. Tiszta szenet régen faégetéssel kaptak. Mi is faszenet égetünk, ha égő fapálcikánkat egy kémcsőbe dugjuk. Minthogy ott nincs elég levegő, az égés megszűnik, s a pálca elszenesedik. A csontszén kitűnő szűrőanyag. Tegyük tölcsérbe szűrőpapírt, s keverjük össze vörösbort csontszénnel. A vörösbort fehéren szűrődik át a tölcséren. A bélben a gázokat szedi így magába a gyógyszer.

*Szén-dioxid.* - Szén-dioxidot a legkényelmesebb mészkőből fejleszteni. Ha sósavat öntünk rá, a mészkő fölpezseg. Ugyanígy minden karbonát (szóda, hamuzsír). Ha a keletkezett gázt mésvíz fölé vezetjük, az megzavarodik - a zavarodást a kiváló mészkarbonát okozza.



A szén-dioxid az égést nem táplálja. Ha a szén-dioxidgázt egy pohárba vezetjük, égő pálcával megvizsgálhatjuk, milyen magasan áll benne. Ahol a szén-dioxid kezdődik, a pálca ott elalszik. Ezért mennek be mustospincékbe is égő gyertyával: inkább a gyertya aludjon el, mint az ember. A szén-dioxid nehezebb a levegőnél. Egyik pohárból a másikba önthető. Ez nagyon mulatságos művelet - hisz önteni csak vizet szoktunk -, de az égő pálca meggyőz róla, hogy a gázt valóban átöntöttük. Ha egy ilyen pohárba égő magnéziumszalagot mártunk, az ott

csodálatos mód tovább ég - a pohár falán levő szén szemek megmagyarázzák, hogy miért: a szén-dioxidot a magnézium elnyeli.<sup>22</sup>



A vízbe vezetett szén-dioxid, mint a kén-dioxid is, a vizet savanyúvá teszi. Gyöngé sav keletkezik:  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{CO}_3$ .

## A FÉMEK VEGYÜLETEI

A fémeknek nincs hidrogénvegyületük,<sup>23</sup> annál gyakoribb az oxidjuk, szulfidjuk. A legfontosabb fémek a természetben is oxidjaikban, szulfidjaikban fordulnak elő. Oxid a mágnesvaskő, szulfid a pirit, a szfalerit, galenit.

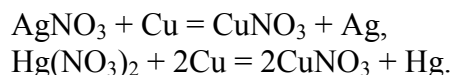
A fémek oxidjai adják vízzel a lúgokat, savval képzett vegyületeik a sók. A legfontosabb sók: a kloridok, karbonátok, szulfátok, nitrátok, foszfátok. A következő táblázatban az első sorban fölírjuk a nátrium számos vegyületét (ezek többnyire fontosak is); alább már csak azokat írjuk föl, amelyeknek a mindennapi életben is van nevük, nemcsak a vegytanban. A szódabikarbóna képlete  $\text{NaHCO}_3$ . Itt a nátrium a  $\text{H}_2\text{CO}_3$  hidrogénjei közül csak az egyiket helyettesítette. Az ilyen só savanyú só. A timsóban két kation fém van. A kálium vegyértéke egy, az alumíniumé három, az összesen négy, tehát két  $\text{SO}_4$  gyököt köt meg: a timsó összetett só.

A mangán és a króm fémes anyagok; a vas készítésében vassal ötvényezik őket<sup>24</sup> - a bróm-wolfram vonaltól azonban jobbra esnek, s ez azon is látszik, hogy savakat képeznek. A mangánsav képlete  $\text{HMnO}_4$  (hipermangánsav), a krómsavé  $\text{H}_2\text{CrO}_7$  (pirokrómsav), káliumsójuk a kálium-permanganát és a kálium-dikromát.

## A LEGFONTOSABB KÍSÉRLETEK FÉMEKKEL

A fémekkel végezhető kísérletekről könnyen áttekintést lehet szerezni. A kísérletek egy része kationjaik erősségére, más részük kén iránti vonzódásukra, a harmadik oldódásukra, gyulladásukra, a negyedik lángreakciójukra vonatkozik.

*A kationok erőssége.* - Mondtuk már, hogy a nátrium, kálium, kalcium a vizet is elbontja:  $\text{Na} + \text{H}_2\text{O} = \text{NaOH} + \frac{1}{2} \text{H}_2$ . Az első kettő, ha vízre dobjuk, ide-oda szaladgál rajt, s meggyullad.<sup>25</sup> A nátrium sárga, a kálium gyönyörű lila lánggal ég el. A mangán csak akkor bontja el a vizet, ha melegítjük: ilyenkor apró buborékokat látunk a kémcsőbe dobott mangándarabkák fölött. A táblázatunk többi fémé csak savból (esetleg lúgból) űzi ki a hidrogént. Az alumínium igen hevesen mindkettőből, utánuk a cink, vas következik, az ón már tohonya, az ólomra a savaknak már nincs hatásuk, a rézre, higanyra, ezüstre annyi sem. Hogy a réz mégis erősebb kation az utóbbiaknál, akkor látjuk, ha ezüst- vagy higanyvegyület oldatába rézfor-gácsot dobunk, Ilyenkor ezüst illetve higany válik ki rajta:



---

<sup>22</sup> redukálja (a szerk.)

<sup>23</sup> van, csak ritka (a szerk.)

<sup>24</sup> az acél készítésénél a vasat ezekkel a fémekkel ötvözik (a szerk.)

<sup>25</sup> pontosabban: a vízzel olyan hevesen reagál, hogy a fejlődő hidrogén ég (a szerk.)

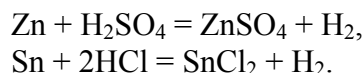
Természetesen ugyanígy kiválasztható az ezüst és a higany még az ónnal vagy a cinkkel is.

*Szulfidokat* - egyszerű összeadás (szintézis) útján nyerünk. Csak hevíteni kell kénvirággal a fémeket. A leghevesebben természetesen a nátrium és kálium egyesül vele. A cink is meggyullad, és kék lánggal egyesül. A vas és kén egyesülését már láttuk. De ólom-szulfidot, illetve rézszulfidot is könnyű kapnunk: néhány ólomlemez vagy rézforgácsot teszünk megolvadt kénbe. Az ezüstpénzre cseppentett olvadt kén is fekete ezüst-szulfidnyomot hagy.

A fémek közül először olvadnak meg a nátrium, kálium, kalcium (levegőtől elzárva kell hevíteni, mert meggyulladnak); 300° körül van az ólom olvadáspontja, magasabban az óné. A cinket borszeszlángunkkal csak akkor sikerül megolvasztani, ha levegőt fúvunk a lángba. A többi fém olvadáspontja 1000 fok fölött van. Laboratóriumunkban könnyen meggyújthatjuk az alkáli fémeket, de sikerülhet a cink meggyújtása is.

*Kristályvíz.* - A vegyületek, miközben kikristályosodnak, vízmolekulákat is rántanak magukkal s zárnak be kristályukba. Egy molekula rézgálic például öt molekula vizet köt meg, a gipsz tízet, a timsó tizenkettőt. Ezt így jelöljük:  $\text{CuSO}_4 \cdot 5(\text{H}_2\text{O})$ . Ezt a kristályvizet ki is lehet hevítéssel a kristályból hajtani. Ha rézgálickristályt hevítünk, az fehér anyaggá esik szét, s a kémcső hideg részén vízpára csapódik le. A súlyvesztéséből ki is számíthatjuk, mennyi víz szállt el. Ha kiégetett rézgálicből oldatot csinálunk, abból újra  $\text{CuSO}_4$ -t<sup>26</sup> lehet kikristályosítani. A legszebb kristályokat úgy kapjuk, ha a párolócsészénken egy fapálcát vetünk át, s arról cérnaszálat lógatunk a rézgálicoldatba. A kristályok a cérnán rakódnak ki. Különösen gyorsan kristályosodik ki a gipsz. Fogorvosok részben kiégetett gipszport kevernek össze vízzel, s ezzel készítenek a beteg szájáról lenyomatot. A gipsz a vízzel megkristályosodik, s fölveszi a fogak alakját. Rendesen színes gipszet használnak, hogy aztán azt a technikusi fehér gipsszel öntse ki - a színes részt levakarva. A töréseknél használt gipszpólya is égetett gipsszel van beszórva. Vízbe mártva, s a beteg tagra csavarva rögzítópáncéllá merevedik. Gipszlenyomatot mi is csinálhatunk, de a fémtárgyakat célszerű előbb olajjal bekenni.

Kristályosítással állíthatunk elő egy csomó sót, ha a fémeket a megfelelő savba beledobjuk, s a hidrogén feloldódása, eltávozása után bepároljuk.



Az utóbbi esetben tömény sósavat kell használni, s melegíteni.

*Lángfestés.* - Mondtuk, hogy minden fématom bizonyos hullámhosszú sugarakat bocsát ki. Ezen alapszik a lángfestés. Fémek sóiból csak egy szemernyit kell platinatűvel a lángba tartani, s a fématom elárulja magát. Ha a sugarai a mi szemünk oktávjába esnek, színt látunk. A nátrium sárga, a kálium ibolya, a kalcium sárgászöld, a réz világos kékeszöld. A lángfestés az alkáli fémek kimutatásánál fontos: minőségi elemzésnél is ezzel mutatjuk ki őket.

A fémekre vonatkozó fontosabb kísérleteink csaknem mind benne vannak ebben a négy csoportban. Ha sárga ólomoxidot hevítünk, vörös miniumot,  $\text{Pb}_3\text{O}_4$ -et kapunk, (Lazán kell a kémcsőben tartani, hogy elég oxigén férjen hozzá.) A  $\text{HgS}$  hevítésekor higanygolyócskák rakódnak le a kémcső falára. Borszeszlángnál ez csak akkor sikerül, ha száraz szódát keverünk hozzá. Kenjünk be ezüstnitrátoldattal egy papírlapot, s tegyük ki a napra: az írás megfeketedik, mert ezüst vált ki. Ezen alapszik a fényképezés.

---

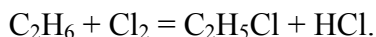
<sup>26</sup>  $\text{CuSO}_4 \cdot 5(\text{H}_2\text{O})$  (a szerk.)

## SZÉNVEGYÜLETEK

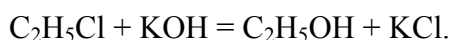
*Nyílt szénláncú vegyületek.* - A nyílt láncú szénvegyületek a szénhidrogénekből vezethetők le. A szénhidrogének általános képlete  $C_nH_{2n+2}$ .

De vannak olyan szénhidrogének is, amelyekben két szénatom két karral köti egymást, s így két hidrogénnel kevesebb van benne. Ezeket telítetleneknek nevezzük. Ilyen az etilén:  $CH_2-CH_2$  és az acetilén:  $CH-CH$ . A telítetlen szénhidrogénekben két vagy négy hidrogénnel kevesebb van, mint a telítettekben. Könnyen vesznek föl klórt vagy hidrogént.

A szénhidrogének vegyileg közömbös anyagok. De klórral kezelve a halogének felveszik őket magukba.<sup>27</sup> Így keletkeznek halogénszármazékaik:

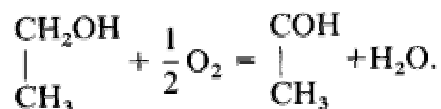


Ebből lúggal állíthatók elő az alkoholok. Az alkohol a lúg bázis OH gyökét veszi el.



A propil-alkoholnál az OH gyök lehet a szélső szénatomokon, de lehet a középsőn is. A két vegyület képlete egyforma, szerkezeti képletük azonban különböző. Ezt a jelenséget nevezzük izomeriának. A primer propil-alkohol képlete  $CH_3-CH_2-CH_2(OH)$ . A szekunder propil-alkoholé  $CH_3-CH(OH)-CH_3$ . A primer és szekunder alkoholok izomérek.

Az alkoholok vegyi vonzódása sokkal nagyobb, mint a szénhidrogénéké. Oxidálhatók, és más alkoholokkal vagy savakkal is könnyen egyesülnek. Ha mérsékelten oxidáljuk őket, az aldehideket és ketonokat kapjuk. Az aldehidek a primer, a ketonok a szekunder alkoholokból vezethetők le. Az oxigén ilyenkor két hidrogént ránt el a molekula sebezhető részéről, így lesz a borszeszből acetaldehid.



A propil-alkoholból a kitűnő vegyi oldószer, s a cukorbeteg halálának oka, az acetone képezhető:



Ha az aldehideket erősebben oxidáljuk, akkor az aldehidgyök még egy oxigént vesz föl magába, és savgyökké válik. Így lesz az ecetsav gyártásánál a borszeszből ecetsav:



A sorozat negyedik tagja a vajsav,  $C_3H_7COOH$ , tizenötödik tagja a palmitin, tizenhatodik a margarin, tizenhetedik a sztearinsav. A sztearinsavnak megfelelő telítetlen sav az olajsav.

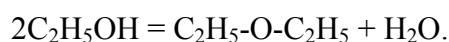
A savak mint alkoholok lehetnek többértékűek is. A sóskasav<sup>28</sup> például két savgyökből áll:  $COOH-COOH$ . Az oxisavak alkoholgyököt és savgyököt is tartalmaznak. A tejsav képlete például  $CH_3-CHOH-COOH$ , a borkősavé  $COOH-CHOH-CHOH-COOH$ . A szerves savaknak is vannak sóik. Az ecetsav ólomsója a borogatásnál használt ólomacetát  $(CH_3COO)_2Pb$ , rézsója a grünspan nevű zöld festék, alumíniumsóját is jól ismerik az ápolónők, ez a Baro-

<sup>27</sup> a szénhidrogének felveszik a halogénelemeket (a szerk.)

<sup>28</sup> oxálsav (a szerk.)

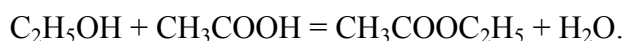
oldat. A borkősav káliumsója a hánytató borkő. A nagy szénsavak<sup>29</sup> nátrium- és káliumsói a szappanok. Szappanfőzésnél a lúg arra kell, hogy alkálit vigyen a zsírsav savgyökébe.

Vízlevonó szerek jelenlétében egyik alkohol a másikkal étert ad. Így keletkezik két molekula alkoholból kénsav jelenlétében víz kilépése mellett a kitűnő altatószer, az etiléter:



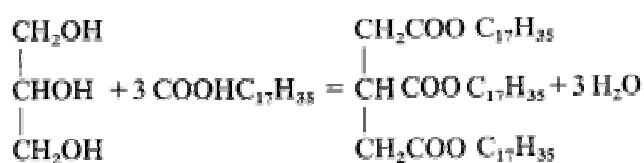
A vizet a kénsav veszi föl.

Ha az alkoholokat savval hozzuk össze, víz lép ki, s észterek keletkeznek. Így keletkezik az ecetsavból és alkoholból a rumaroma, az etilacetát:

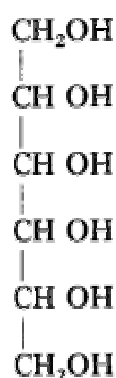


Az észterek nevezetes vegyületek: a sorozat alacsony tagjainak az észterei a különféle jó illatú gyümölcsaromák, magasabb tagjai közé tartoznak a glicerin zsírsavas észterei, a zsírok.

*Nagy molekulájú anyagok.* - A szerves élet legfontosabb anyagai mind a nyílt szénláncú vegyületekből vezethetők le. A zsírok glicerinnek zsírsavészterei:



A cukrok a hat szénatomot tartalmazó hexán  $\text{C}_6\text{H}_{14}$  származékai. A hexánból levezethető hat vegyértékű alkohol képlete:



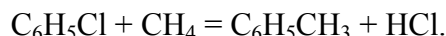
Ha ezt enyhén oxidáljuk s egyik szénatomjáról elvonunk két hidrogént - alkohol-aldehidet ill. ketont: hexózt kapunk. Az egyik a szőlőcukor, a másik a gyümölcs-cukor. Tapasztalati képlete mindegyiknek  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ . Ha két molekula hexóz összetapad, a monoszaharidából diszaharida lesz. Ilyen diszaharida a nád- vagy répacukor, a maláta és a tejcukor. A keményítő és a növények falában lévő cellulóz sok cukormolekulát tartalmaz. A keményítőben gömbszerűen, a cellulózban láncszerűen kapcsolódnak a cukormolekulák, két hexóz közt egy-egy oxigénatom van. A keményítő és a cellulóz már nem is édes - a keményítő könnyen lebontható édes anyagokká, a cellulóz nem.

A szervezet legnagyobb molekulájú anyagai a fehérjék. Fehérjéket laboratórium-ban nem tudunk előállítani, de ismerjük a fehérjék építőköveit, az aminosavakat. Huszonnyolc féle aminosav ismeretes, s egy fehérjemolekulában körülbelül háromszáz kapcsolódik össze. Az aminosav tartalmaz savgyököt és aminogyököt. A fehérje aminosav az ammóniák származékának tekinthető: egyik hidrogénje helyébe egy sav lép be. A legegyszerűbb aminosav az aminoecetsav:  $\text{CH}_2\text{COOH}(\text{NH}_2)$ . Megértjük már, mért van a talajnak nitrogénre szüksége, s mért olyan fontos része a trágyának az ammóniák.

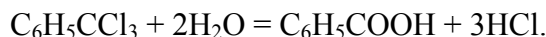
*Zárt szénláncú vegyületek.* - A szerves vegytan anyagainak a nagy része a zárt szénláncú vegyületek közé tartozik. A vegyész leleménye ezeket fejlesztheti a legszabadabban tovább. Már kiinduló anyagaik, a benzol, naftalin, antracén, fenantrén sem olyan közönyösek, mint a szénhidrogének: hidrogénjeik könnyen kicserélhetőek. Halogénsavak klórt, a salétromsav  $\text{NO}_2$  gyököt, a kénsav  $\text{SO}_3\text{H}$  gyököt vihet beléjük. Így jutunk a benzolkloridhoz ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$ ), a szulfo- ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{SO}_3\text{H}$ ) és a nitrobenzolhoz ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$ ), s ha az utóbbit hidrogénnel redukáljuk,

<sup>29</sup> nagy szénatomszámú savak (a szerk.)

az analinhoz ( $C_6H_5NH_2$ ). A kloridok lúggal kezelve itt is hidroxidok:<sup>30</sup> ezek a fenolok [ $C_6H_5(OH)$ ]. A kloridokba bevihetünk a klór helyébe nyílt szénláncú hidrogéneket (metil, etil, propil):

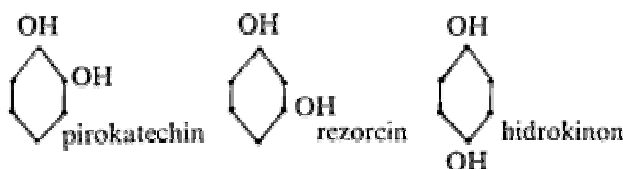


Így jutunk a különféle benzol szénhidrogénekhez. Metilbenzol=toluol, etilbenzol=xilol, propilbenzol=cimol. Ezekbe megint bevihetünk klórt (pl.  $C_6H_5CCl_3$ ): - ha ezt vízzel főzzük, a benzooesavat kapjuk:



A szulfo-, nitro-, klór-benzoésav mind a vegyületek új családjának az atyjai.

De egy benzolgyűrűn nemcsak egy hidrogént lehet kicserélni, hanem többet is. Ha kettőt cserélünk ki, nem mindegy, hogy melyik kettőt. Két OH gyök a benzolon háromféle módon helyezkedhet el. Vagy szomszédos szénatomon vannak (orto helyzet), vagy van köztük egy szénatom (meta mód) vagy szemben vannak egymással (para). Mind a három más vegyület.



Ha hármat függesztünk rá, a pirogallol, oxihidrokinon,<sup>31</sup> floroglucin vegyületeket kapjuk.

A benzol dimetil vegyületének, a xilolnak is van orto, meta, para alakja. Vannak tri- és diszulfósavak, vagy olyan savak, amelyekben egy OH és egy COOH gyök is van (szalicil). A galluszsav három OH gyököt tartalmaz,  $NH_2$  és OH gyök van a fényképészetben és gyógyszerben oly fontos paraaminofenolon. Ezeket a vegyületeket a vegyész a hidrogén behelyettesítésével megint továbbfejlesztheti. De úgy ahogy a benzolból - a kétgyűrűs naftalinból s a háromgyűrűs antracénből is - levezethetők ezek az alakok. Vannak öt szénatomos gyűrűk is stb.

Mi az alakok felsorolása helyett néhány bonyolultabb anyagot mutatunk be. Az antifebrin nevű lázcsillapító képlete  $C_6H_5NHCOCH_3$ . A kiinduló anyag itt a benzol volt; ennek aminoszármazéka az anilin:  $C_6H_5NH_2$ . Ha erre víz kilépése mellett ecetsav ( $CH_3COOH$ ) hat, kapjuk az acetanilidet. Ez az antiferbin.

A deseptyl képlete  $C_6H_4(NH_2)(SO_2NH_2)$  paramin<sup>32</sup> - benzol-szulfamid. A sor itt ez: benzol, aminobenzol (anilin), para-amino-szulfósav (szulfamilsav) - ennek az  $NH_2$ -származéka a nagyszerű gyógyszer.

*A fontosabb szerves anyagok kimutatása.* - A szerves anyagok általában nem elektrolitok, s nem lehet úgy vadászni rájuk, mint a szervetlen anyagok kationjaira és anionjaira. Itt a fontosabb anyagokat meg kell tanulnunk kikutatnunk. Ezek az anyagok: a kloroform, jodoform, faszesz, borszesz, glicerin, formaldehid, acetaldehid, hangyasav, ecetsav, zsírsavak, cukrok, keményítő, fehérje, karbamid - a zárt szénláncúak közül a fenol, benzolsav, szalicilsav, csersav, húgysav - azután jó ha ismerjük az alkaloidák közös reakcióit.

<sup>30</sup> hidroxibenzolok (a szerk.)

<sup>31</sup> hidroxilhidrokinonnak hívják ma (a szerk.)

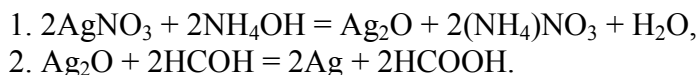
<sup>32</sup> p-amino

A nyílt szénláncú vegyületek kimutatása azon alapszik, hogy vagy tovább oxidáljuk, vagy észtereket képzünk belőlük, amíg csak feltűnő szagú vegyületek nem képződnek. A gyűrűs vegyületek vaskloriddal ( $\text{FeCl}_3$ ), a húgysav tömény salétromsavval adnak feltűnő színeződést. A halogénszármazékoknál a lúg alkalmazása után a szerves vegytanból ismert ezüstnitrát - ( $\text{AgNO}_3$ ) próbát alkalmazzuk.

Az alkaloidokat aldehidekké oxidáljuk, az aldehideket friss ezüst-oxidokkal savakká (amikor színezüst válik ki), a savak és ecetsav sóihoz tömény kénsav jelenlétében alkoholt adunk - akkor feltűnő szagú észter keletkezik -, a zsírsavakból szappant főzünk, a szőlőcukorral, amely oxigénelvonószert, a friss  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ -t  $\text{CuOH}$ -vá redukáljuk, a diszaharidákat monoszaharidákká bontjuk, a keményítőnek van jellemző reakciója - a jódpróba -, de hosszas bontással ebből is csinálhatunk cukrot; a fehérjét kolloidoldatukból savval csaphatjuk ki, mert a sav az elektromos viszonyokat megzavarja. Néhány anyagnál már elég, ha hevítjük. A karbamidból ilyenkor ammóniák ( $\text{NH}_3$ ) illan el, a borostyánkősavnak karamellszaga van; a hevített glicerinhez vízelvonó szert ( $\text{KHSO}_4$ ) kell adni, hogy éles akroleinszagot kapjunk; az alkaloidáknak égett bőr szaguk van. A kloroform nem elektrolit (nincs benne klórion) az ezüst-nitrát nem csapja le. De ha nátronlúggal ( $\text{NaOH}$ ) főzzük, elbomlik:  $\text{CHCl}_3 + 2\text{NaOH} = \text{HCOONa} + \text{NaCl} + 2\text{HCl}$ . Ha a lúgos oldatot salétromsavval megsavanyítjuk, az ezüst-klorid ( $\text{AgCl}$ ) kicsapható.

A metil-alkoholba izzó rézdrót hálót teszünk: a rézoxid a faszest oxidálja:  $\text{CH}_3\text{OH} + \text{CuO} = \text{HCOH} + \text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$ . Ugyanezt a próbát megtehetjük a borszesszel is [...] <sup>33</sup> Észtereket is fejleszthetünk mindkét alkoholból, ha nátrium-acetátot adunk hozzá, s ahhoz tömény kénsavat csepegtetünk. A metil-acetát rumszagú, az etilacetát illatos.

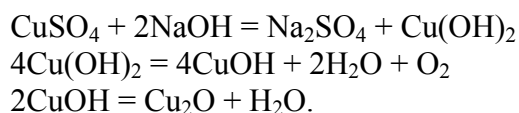
Ha ezüst-nitráthoz híg szalmiákszeszt ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) csöpögtetünk, amíg a keletkezett ezüst-oxid ( $\text{Ag}_2\text{O}_2$ ) csapadék még feloldódik, s ehhez az oldathoz  $\text{HCOH}$ -t adunk, a formaldehyd az  $\text{Ag}_2\text{O}$  ezüst-oxidot színezüstité redukálja:



Ugyanez a kísérlet az acetaldehiddel is elvégezhető.

Ha a faggyút meleg vízbe dobva (palmitin, sztearinsav) nátronlúggal főzzük, szappanoldatot kapunk. Ha az így kapott szappanhoz sósavat adunk, a zsírsav megint fölszabadul. Ha a szappanoldathoz réz-szulfát ( $\text{CuSO}_4$ ) vagy magnézium-szulfát ( $\text{MgSO}_4$ ) oldatot adunk, a réz-ill. magnéziumszappan is kicsapódik. Ezért nem oldódik meszes vízben a szappan.

Az oxálsavból a meszes víz a réz <sup>34</sup> oxalátját csapja ki. Ezt történik az emberi szervezetben is sósavas hatására. A cukrok, aldehidek lévén, redukálnak. Ezt mutatja ki a híres Trommer-próba. Cukoroldathoz nátronlúgot adunk, aztán cseppenként réz-szulfátoldatot. Némi csapadék képződik, amely rázogatásra újra feloldódik. Az utolsó cseppnél, amely már nem oldódik fel, hevítve az oldatot a kék  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  oldatból sárga  $\text{Cu}(\text{OH})$  lesz; ez még tovább hevítve  $\text{Cu}_2\text{O}$ -vá alakul:



Ezt a próbát többnyire Fehling-oldatokkal szokás elvégezni. A Fehling I réz-szulfátot, a Fehling II nátronlúgot tartalmaz. Ha mindkettőből ugyanannyit veszünk, és melegítjük, majd

---

<sup>33</sup> szúrós szagú formaldehyd, illetve acetaldehyd keletkezik (a szerk.)

<sup>34</sup> mész (calcium) (a szerk.)

cukoroldatot rétegezünk fölé, a barna gyűrű most reagens és a cukoroldat hatására támad. A nádcukrot és a keményítőt előbb el kell bontani sósavval főzve, hogy a próbát adja. A keményítőt sokkal egyszerűbb híg jóddal hozzáöntésével kimutatni: az élénk kék szín már sok tejhamisítót leplezett le.

Kitűnő kémlelőszer a ferriklorid ( $\text{FeCl}_3$ ). A fenolt ibolya, a benzolsavat világosbarna, a cseresavat kék csapadék alakjában csapja le. Egy morzsa hígsvavhoz néhány csepp tömör salétromsavat cseppentünk és bepárolgatjuk: sárga csapadékot kapunk. Ez ammóniától bíborvörös lesz, nátronlúgtól pedig kékbe csap át.

A fehérjék oldataiból kicsaphatók tömör salétromsavval, szulfoszalicilsavval, megsavanyítás után ferrociankálium oldattal. A Trommer-próba fehérjéknél ibolyaszint ad.

## MINŐSÉGI ELEMZÉS

A kezdő vegyész legnagyobb mulatsága: odaadnak elé egy elektrolitot, mondja meg, mi a kationja és mi az anionja. Egyszerű nyomozómunka ez, mégis elégtétellel tölt el, s ízelítőt ad a nagy vegyészek munkájából. Hogy leplezzük le az egyes ionokat? Úgy, hogy lecsapjuk őket oldatukból. Vannak olyan ionok, amelyeknek a kloridjai is lecsaphatók, másoknak csak a szulfidjai, megint háromnak csak a karbonátja. Az ionok legnagyobb része szulfid alakjában választható le, 3 karbonát alakjában, a magnézium, nátrium, kálium sem így, sem úgy. Egyes szulfidok leválasztása kénhidrogénes vízzel is megy, másoké csak ammóniumszulfiddal történik. A kénhidrogént savanyított, az ammóniumszulfidot ( $\text{NH}_4\text{S}$ ) közömbös oldatban kell alkalmazni. A kén-sulfiddal leválasztható kationok száma 11, az ammóniummal leválaszthatóké 8.

Tizenegy még mindig igen nagy csoport, szerencsére könnyű újabb csoportokra osztani. A csapadék a hét elsőnél ammóniumszulfid oldatában feloldódik, a négy utolsónál nem. Az első csoport hét eleme közt ott van az ezüst, higany, ólom (a hidrogénnál gyengébb kationok): ezt a három kationt a sósav is lecsapja. A szokásos felosztás most már ez:

I. csoport savanyú oldatban  $\text{H}_2\text{S}$ -re csapódik,  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ -ben nem oldódik

a) csoport  $\text{HCl}$ -lel van csapadéka

b) csoport  $\text{HCl}$ -lel nincs csapadéka:  $\text{Hg}^+$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Bi}$ ,  $\text{Cd}$

II. csoport  $\text{H}_2\text{S}$ -el csapódik, meleg  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ -ben oldódik:  $\text{As}$ ,  $\text{Sb}$ ,  $\text{Sn}^+$ ,  $\text{Sn}^{++}$

III. csoport semleges közegben  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ -vel csapadék:  $\text{Fe}^+$ ,  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{In}$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Co}$

IV. csoport  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ -mal csapadék:  $\text{Ca}$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{Ba}$

V. csoport:  $\text{Mg}$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ,  $(\text{NH}_4)$ ,  $\text{H}$

Az ötödik csoportba az alkáli fémek tartoznak, a negyedikbe az alkáli földfémek. A harmadik csoport tagjai a H előtt levő kationok, azonkívül a vassal rokon króm és mangán. Az első és második csoport még gyengébb kationok s fémek és nemfémek határára eső elemek, mint az arzén, antimon, bizmut. Az elemzést legjobb sósavval ( $\text{HCl}$ ) kezdeni - ha csapadék mutatkozik, az első csoporttal van dolgunk. Ha nincs csapadék, az a néhány csepp sósav jó lesz a kénhidrogén elé savanyításnak. [...] Ha a kénhidrogén csapadékot ad, megnézzük, oldódik-e a csapadék ammóniumszulfidban. Ezen dől el, hogy I vagy II osztályú-e a kation. Ha a kénhidrogén nem adott csapadékot, tiszta anyaghoz ammóniumszulfidot adunk. Ha van csapadék, harmadik osztály, ha nincs, negyedik. Ezt egy új próbán az ammóniumkarbonát [ $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ] döntheti el. Ha a csoportot meghatároztuk, a kationt vesszük üzöbe. Néha már a színe is felvilágosítást ad - legtöbbször azonban további reakciókat kell végeznünk az elkülönítésre. Mi itt csak az eljárás elvét ismertetjük, a mellékelt táblázat alapján a legtöbbször mégis sikerülni fog az analízis.

Az anionok kimutatása még egyszerűbb. Ezeknek a reakcióknak egy részét már ismerjük is. A sósav a karbonátokból szén-dioxidot, a szulfidokból kénhidrogént, a szulfitokból ( $K_2SO_3$ ) kén-dioxidot szabadít ki. Ezeket - az első osztály anionjait - szagukról felismerhetjük. A szulfátok, foszfátok, borátok báriumkloriddal ( $BaCl_2$ ) ha ezüst, ólom vagy higany a kation, báriumnitráttal [ $Ba(NO_3)_2$ ] vízben oldhatatlan bárium-szulfát, -foszfát, -borát csapadékot adnak. A klór, bróm, jód ezüst-nitráttal ad csapadékot, mely salétromsavban nem oldódik. A negyedik csoportba itt is azok az anionok tartoznak, amelyeknek közös kémszerük nincs. Az OH-t lakmusszal,  $ClO_3$ -t hevítéssel ( $O_2$  fejlődik) az acetátot kénsavas főzéssel (ecetsav szabadul föl) mutatjuk ki. A nitrátokhoz tömör kénsavat adunk, s vasgálicoldatot folytatunk óvatosan bele: a kettő hatására barna gyűrű támad.

## MENNYISÉGI ELEMZÉS

*Kvantitatív analízis.* - A vegyi reakcióban részt vevő anyagok súlyaránya szigorúan megszabott. Ha nátronlúgot sósavval közömbösítik, abból, hogy mennyi sósavat használtam föl, tudom, hogy mennyi nátronlúgot közömbösítettem vele. 40 g NaOH-t 36 g HCl közömbösít: ha tehát pl. 57 g HCl-t használtam el, akkor a NaOH mennyisége  $x:57 = 40:36$ , vagyis  $x = 57 \cdot 40 / 36 = 63,6$  g. A reakcióban részt vevő anyagok súlyarányának azt az állandóságát használja fel a mennyiségi elemzés.

A mennyiségi analízishez szükség van egy olyan ismert koncentrációjú oldatra, amelyik a vizsgálandó anyag oldatával gyors, határozott reakcióba lép, továbbá egy olyan anyagra, amely a reakció befejezését szembeűnően jelzi (indikátor). Az elemzésre úgynevezett normál oldatokat használunk. A normál oldat egy litere az elemző anyag grammegyenértéksúlynyi mennyiségét tartalmazza. Egy liter normál NaOH oldat például 40 grammot, egy liter normál  $Ca(OH)_2$  oldat  $57/2 = 28,5$  g anyagot (mivel a kalcium két vegyértékű). A 10%-os<sup>35</sup> normál oldat ennek a tizedrészét, az 1%-os<sup>36</sup> normál oldat a századát. Ahány  $cm^3$  folyik ki egy normál NaOH oldatból a burettából, annyiszor 40 mg folyt ki, - s az annyiszor 36 mg sósavat kötött meg. Pl.  $13\ cm^3$  NaOH 468 mg sósavnak felel meg.

Az indikátoroldat a reakció végét rendszeren élénk színváltozással jelzi. Ha a reakció közömbösítés, rendszeren olyan indikátort használunk, amely savanyú közegben más színű, mint lúgosban. (A metilénsárga lúgosban sárga, savanyúban vörös, a fenolftalein savanyúban színtelen, lúgosban vörös.) A reakció befejezését itt a szín átcsapása jelzi. Néha magának az elemző oldatnak a színe változik meg: ilyenkor külön indikátorra nincs szükség (például jodometriánál a jód színtelen ionná alakul). Az indikátorból csak néhány cseppet adunk a vizsgálandó oldathoz.

A reakció, amellyel a mennyiségi elemzést végezzük, lehet 1. közömbösítés (savat lúggal, lúgot savval titráljuk), 2. oxidáció vagy redukció. A permanganometriában kálium-permanganát ( $KMnO_4$ ) normál oldatával oxidálunk, a jodometriában a redukáló anyaghoz jódoldatot adunk, oxidáléhoz káliumjodid oldatot. 3. Kicsapás. Ilyenkor a csapadék súlyát mérjük meg. A csapadékot titrálásban leggyakrabban használt anyag az ezüst-nitrát (argentometria).

1947

---

<sup>35</sup> 0,1 n (a szerk.)

<sup>36</sup> 0,01k n (a szerk.)

# ÉLETVEGYTAN

## NÖVÉNYI ANYAGCSERE

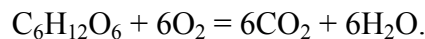
A növény legcsodálatosabb tulajdonsága, hogy levegőből cukrot tud csinálni. Az élők világa a levelek cukorgyáraiból él. A folyamatot már ismerjük: szén-dioxidból és vízből formaldehid és oxigén keletkezik, hat molekula formaldehid pedig cukorra „polimerizálódik”.



Magától persze a szén-dioxidból és vízből sosem lesz sem formaldehid, sem cukor - ezt a kémiai csínyt még a vegyész sem tudja elvégezni: ehhez a növényzöld kell és napfény. A növényzöld vagy klorofill a vörös vérfesték, a hemoglobin rokona: csak míg ott vas van a bonyolult molekula közepén, itt a vas helyén magnézium van. A cukorkészítés energiafogyasztó folyamat: ezt az energiát szolgáltatják a napfény vörös hullámai.

Az egyszerű cukrok, ha sok halmozódik föl a levélben belőlük, diszaharidákká alakulnak. Két glukózból így keletkezik a maltóz - s egy gyümölcs- és szőlőcukorból a nádcukor. A diszaharidákból épülnek föl a különféle poliszaharidák: a keményítőben csomóban, a cellulózban fonálszerűen helyezkednek el. Poliszaharida a növények faanyaga, a lignin is.

Mi lesz a cukrok további sorsa a növényekben? Vagy elégnek-már ott a levélben, vagy más sejtekben; elraktározódhatnak, mint tartalékanyagok a gumókban, tőkékben, magvakban - vagy pedig átalakulnak más szerves anyagokká - fehérjékké és zsírokká. A cukrok elégését könnyű egy egyenletben föltüntetni:



De ez az egyenlet csak a folyamat elejét és végét mutatja; a cukor sok közbenső anyagon át lesz szén-dioxiddá és vízzé. Eközben energia szabadul föl - s ezt használják a növények föl élettevékenységeikre. Az az energia, amit a nap szénhidrátjaikba beleépít - a szénhidrátok égése közben a növény üzemi energiája lesz. Az asszimiláció oxigént termel, és széndioxidot fogyaszt - az égés, légzés oxigént fogyaszt, és széndioxidot termel. Ha az asszimiláció a nagyobb, az oxigén szaporodik, ha a légzés, a szén-dioxid. Így ellenőrizhető az oxigén-széndioxid termelésük arányával a növények anyagcseréje.

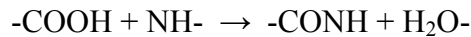
*Fehérjék.* - A cukrok szénből, oxigénből és hidrogénből állnak: - a fehérjék építőköveiben, az aminosavakban nitrogén is van, sőt kén és foszfor is lehet. Ezeket az elemeket a növény nem a levegőből - a talajból kapja. Gyökerei a nitrogént nitrátok, a ként és foszfort szulfátok és foszfátok alakjában szívják föl. Az aminosavak nitrogénmentes része a cukrokból keletkezik, a nitrogéntartalmú  $\text{NH}_2$  gyök a nitrátok  $\text{NO}_3$  gyökéből, ami a növényben ammóniává redukálódott. Ha egy cukormolekula kettéhasad, tudjuk, tejsav keletkezik. A tejsav oxipropionsav ( $\text{CH}_2\text{OHCH}_2\text{COOH}$ ). Ha ebbe még egy  $\text{NH}_2$  gyök is belép, megkapjuk az amino oxipropionsavat. A cukrok más bomlástermékeiből más aminosavakat kapunk. Eddig 28 aminosavat tartanak számon. Vannak köztük nyílt és zárt szénláncúak, a zárt szénláncúak közt homo- és heterociklikusok.

*Nyílt szénláncúak* az ecetsavból az amino-ecetsav vagy glikokoll:  $\text{CH}_2(\text{NH}_2)\text{COOH}$ , a propionsavból az aminopropionsav vagy alanin:  $\text{CH}_3\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$ , az oxipropionsavból a szerin ha az OH gyökben az O helyén S van, cisztein a hat szénatomú savból, ha egy  $\text{NH}_2$  lép belé, a leuncin, ha kettő, a lizin.

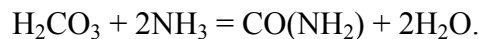
### Zárt szénláncúak

Monociklikusok:	a fenilalanin tirozin	benzolgyűrű + alanin benzolgyűrű + szerin
Heterociklikus:	triptofán histidin	indol + alanin imidazol + alanin

A fehérjékben hús-, de legalább tízféle aminosav kapcsolódik össze, összesen legalább ötvenből áll egy molekula. Mintha húsféle vasúti kocsiból egy ötven vagonnyi vonatot állítanánk össze. A kapcsolat mindig az amino és a savgyökök közt jön létre:



A növények nemcsak nagy vegyészek, de nagy elraktározók is: szeretik függetleníteni magukat a pillanattól, hogy fehérjét készíthessenek. Nemcsak cukrot raktároznak el, de ammóniát is. Az ammóniaelraktározó anyaguk a huyagy (karbamid). Itt a szénsavban lép be két ammónia:



De jó ammóniaraktározó a borostyánkősav ( $\text{COOH}\cdot\text{CH}_2\cdot\text{CH}_2\cdot\text{COOH}$ ) egyik származéka, az aszparaginsav [ $\text{COOH}\cdot\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$ ] is. Ha új fehérjét kell képezni, az aszparaginsavból ammónia szakad le - az ammónia a savakkal aminosavat ad, ebből fehérje lesz. Ugyanúgy hasadhat le a karbamidból.



**Zsírok.** - A növényi zsírok glicerintől és zsírsavból állnak. A glicerint a cukor égésekor keletkezik, mint közbűsű termék. Nehezebb megmagyarázni a hosszú, 15-17 szénatomú zsírsavak keletkezését a hat szénatomú cukorból. A kiinduló anyag itt, úgy látszik, az acetaldehid ( $\text{COH}\cdot\text{CH}_3$ ). Két acetaldehidből egy négy szénatomú vajsav keletkezik ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ ), s ebből megint két szénatommal hosszabb és hosszabb savak. A növényi zsírok (olajok) savai rendszeren telítetlenek: azaz kettős kötésük van - azért cseppfolyósak. Az olyan zsírt, amelyben a glicerinthez csak két zsírsav és egy foszforsav kapcsolódik: foszfatidáknak nevezzük. A foszforsavhoz még egy nitrogéntartalmú vegyület is kapcsolódik - a foszfatida a lecitin. A viaszok (például méhviasz) egy értékű, nagy molekulájú alkoholok (például  $\text{C}_{30}\text{H}_{61}\text{OH}$ ) zsírsavas észterei. A zsírszerű szterinek a zsíroktól teljesen elütő szerkezetű vegyületek. Vázuk három benzolból és egy ötös gyűrűből áll. Az epe koleszterinjén kívül fontos vitaminok és hormonok tartoznak közéjük.

**A növényi anyagcsere végtermékei.** - A növények a szénhidrátokon, fehérjéken, zsírokon kívül számtalan más anyagot is készítenek. Ezeket vagy fölhasználják még anyagcseréjükben, vagy kiválasztják. Az ilyen végtermékeknek is lehet még rendeltetése: méregnek a védelem; szíradó, illatos anyagok a rovar odacsábítása.

A cukrok hat szénatomja könnyen záródhat benzolgyűrűvé - a cukrokból származnak a növények sokféle, aromás vegyületei: a fenolok, benzolsav, szalicilsav, csersav, benzaldehid stb. Cukorszármazék a C vitamin is, amely négy hidrogénnel tartalmaz kevesebbet a cukornál:  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ . Ha egy cukormolekula más nem-cukormolekulával lép kapcsolatba: glikozidák keletkeznek. Cián + cukor = a keserű mandulából ismert amigdalin; glikozida a szívgyógy-

szer, a digitalis, aztán a növények indikatorszerű festékei, az antociánok - melyek, mint a lakmusz, lúgra vörösek és savra kékek.

A fehérje-anyagcsere cukorbomlással jár. Ilyenkor keletkeznek a növények kétértékű izadó savai: a sósavasav ( $\text{COOH}\cdot\text{COOH}$ ), borostyánkősav ( $\text{COOH}\cdot\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ ), borkősav ( $\text{COOH}\cdot\text{CH}_2\text{OH}\cdot\text{CH}_2\text{OH}\cdot\text{COOH}$ ), almasav ( $\text{COOH}\cdot\text{CH}_2\text{OH}\cdot\text{CH}_2\text{COOH}$ ) s a három értékű citromsav. Ha az aminosavak karboxilgyöke - mint  $\text{CO}_2$  - lehasad, az aminosavat kapjuk, a szerinből [ $\text{CH}_2\text{OH}\cdot\text{CH}_2(\text{NH}_2)\text{COOH}$ ] a kolamint ( $\text{CH}_2\text{OH}\cdot\text{CH}_2\text{NH}_2$ ). A kolamin trimetilszármazéka a kolin - a lecitin alkotórésze és az izomösszehúzó kiváltója. Ha egy izmot az idege felől inger ér, az idegvégkészségben ecetsavas kolin keletkezik. Aminosavakból fonódnak a növények híres mérgei is: az alkaloidok. A nikotin, kinin, kokain, atropin heterociklikus gyűrűket tartalmaznak. Ezeknek a gyűrűknek a nitrogénje az aminosavak gyűrűbe kunkorodása útján kerül. Ha a lizin  $\text{COOH}$  csoportja s egyik  $\text{NH}_3$  gyöke leszakad, a megmaradó öt szén és egy nitrogén egy piridinyűrűvé zárul. Karbamidsavból keletkeznek egy három szénatomos vegyület közbeiktatásával (metilglikollal) a purintestek. Ezeknek metilszármazékai a koffein, theofillin, theobromin - oxigénszármazéka a húgysav. Purintestek vannak a magfehérjékben.<sup>37</sup>

Emlékszünk még a vegytantéchnológiából a kaucsuk építőkövére, az izoprénre. Az izoprénből nemcsak kaucsuk épülhet föl, ebből van a sárgarépa, a tök festőanyaga, a karotin is. A karotinban 40 szénatom van. Hús a sorba kapcsolt négy izoprénből, 12 az izoprénsort lezáró két benzolgyűrűből, 8 az azon lógó metilgyökökből. A karotin az állati testben a közepén kettészakad, s lesz A-vitamin.

Izoprénszármazék az éteres olajok egy része is. Közülük mindenki ismeri a fenyő terpentinjét. A terpentin egy illó részből (a terpenből) s gyantából áll. A gyanták összetétele még nem eléggé ismert. Terpen van nyílt és zárt szénláncú. A nyílt szénláncúak izoprénszerű részekből vannak összetéve. A zárt szénláncúak kiinduló anyaga a parametil benzol - a cimol. Egy-egy benzolgyűrű - rajta egy metil- s vele szemben egy propilgyök. Ha a benzolgyűrűn a befelé irányuló vegyértékek is hidrogént vesznek föl (a  $\text{C}_6\text{H}_6$ -ból  $\text{C}_6\text{H}_{12}$  lesz), akkor mentán keletkezik. A cimol oxiszármazéka a timol, a mentáné a mentol. A kámforban az egyik szélen OH van: a propilgyök a gyűrű belsejébe kerül.

## AZ ÁLLATI ANYAGCSERE

Az állatok nem tudnak a levegőből cukrot csinálni - sőt az aminosavak nagy részét sem tudják maguk összeállítani. Az élet építőköveit ők a növényektől vagy máshonnan veszik el. Innen erednek jellemző sajátosságaik: míg az alkotó növény csendben, egy helyben élhet - a rabló állatnak mozognia kell. A növények szervezetében azonban többnyire nem cukrot, hanem keményítőt, nem aminosavat, hanem fehérjét, nem zsírsavat és glicerint, hanem olajat találnak. Ezeket úgy, ahogy megeszik, nem használhatják föl. A vérbe fecskendezett növényi vagy állati keményítő és fehérje nem táplálék, hanem mérge. Az ártatlan tej, ha a vérbe adjuk, lázat csinál. Az állatnak tehát el kell bontani az idegen fehérjét, zsírt, keményítőt - cukorrá, aminosavvá, zsírsavakká. Ez történik az emésztőcsatornában. Aztán újra össze kell raknia - az ember vagy az állat receptje szerint; ez történik a felszívódás után a szervezetben.

Az emésztőcsatorna voltaképpen egy alagút - a külvilág fűrja át a testünket benne; az alagútban kis laboratóriumok nyílnak, melyek a csendesesen előre hömpölygő táplálékba a maguk kotyvalékát, az emésztőnedveket beleöntik. A három pár nyálmirigy a nyált, a hasnyálmirigy

---

<sup>37</sup> Azóta ismeretes, hogy a purintestek nem a magfehérjék, hanem a nukleinsavak (RNS, DNS) alkotórészei. (a szerk.)

a hasnyált, a máj az epét, a bélfal a bélnedvet. Ezeknek az emésztőnedveknek a hatóanyaga egy-egy enzim. Az enzimek vegyészkedő fehérjék: mint a kulcs, két részből állnak: az egyik beleillik a lebontandó anyagba (koenzim), a másik rész a fehérje; ez az apoenzim szolgál nyélül a kulcshoz. A növényeknek vannak építő enzimjeik is - az emésztőnedvek enzimjei azonban mind hasítanak. A nyál ptialinja - mint a diasztáz - a keményítőt bontja előbb malátává - de maltóz is van benne, mert ha nyált keményítővel hagyunk állni, egy idő múlva adja a Trommer-próbát. A gyomor legfontosabb erjesztője a pepszin. Ez egy proteínáz: ami azt jelenti, hogy a fehérjéket (proteineket) erjeszti kisebb aminosav-növedékekké: peptonokká. A pepszin csak savanyú közegben ( $p_H = 2$  körül) hat; a gyomormirigyek ezért választanak el a pepszinnel együtt sósavat is.

A hasnyálmirigy tripszinje: peptonáz (a peptonokat bontja aminosavakká); van a hasnyáiban maltóz, invertáz (nádcukrot egyszerű cukorra bontja) és zsírbontó erjesztő lipáz is. Az epe zöld színét festékeinek köszönheti: ezek a hemoglobin vérfesték festékrészből képződnek, s a bélben vizeletfestékké (urobilin) alakulnak át. A vér, epe és vizelet festékei tehát egymás rokonai. Az emésztés szempontjából az epe legfontosabb alkotórészei az epesavak: ezek viszik oldatba a nehezen oldódó zsírsavakat. Az epében is van egy ilyen nehezen oldódó zsírféle: a koleszterin; ha az epe pang, ez ki is válik belőle epekő képében. A bélnedvet sokáig nem tartották emésztőnedvnek, mert a fehérje és keményítő változatlan marad benne. De csak azért, mert a bélnedv a bontás befejező részére képes - az utolsó összetapadt aminosavak peptidkötését bontja föl, a diszaharidákat (invertáz), s van benne lipáz is. A vékonybélben az emésztés befejeződik - a három főanyag építőkövei a bélbolyhokon át az állat vérébe szívódnak. Az emésztőnedvek mennyisége napi három liter - ezt a rengeteg vizet a vastagbél veszi vissza. A bélsár büze a savgyöküket elvesztő aminosavaktól (aminoktól) van. A triptofán aminja az indol, ennek etilszármazéka a szkatol. Bűzösek - de nagy hígításban izgató illatszerek. A vérbe fölszívódva mérgek lennének - azért a máj kénsavval párosítja őket; ezek az éterkénsavak a vizelettel ürülnek ki.

*Intermediér anyagcsere.* - A szervezet a felszívódott építőköveket vagy elégeti, vagy beépíti és elraktározza. Az aminosavak úgy égnek el, hogy ammónia hasad le belőlük; aztán a savgyök is. Az ammóniát a szénsav veszi föl, s lesz karbamid belőle. A karbamid két molekula  $NH_3$ -t tartalmaz: mindkettő a vizelettel ürül ki. A  $COOH$  gyökből  $CO_2$  lesz - s a tüdőn leheljük ki. A sejtmag purintesteket is tartalmaz - a purin a vizeletben mint húgysav ürül ki. A köszvény: a húgysav lerakódása az ízületekben.

A cukrok is vagy elégnek, vagy keményítővé lesznek. A cukrok égése: minden izommunka ára. Az izmok olyan gépek, amelyek a vegyi energiát alakítják át munkává. Ez az égés azonban részletekben történik. A cukrokból sok különböző terméken át tejsav lesz: ehhez nem kell oxigén. A tejsav aztán oxigénnel - megint sok fokozaton át - vízzé és szén-dioxiddá ég el. Régebben azt hitték, hogy a szén elégeése adja az energiát - de a bomlás voltaképp úgy megy végbe, hogy különböző erjesztők hidrogént és oxigént<sup>38</sup> szabadítanak fel ehhez az égéshez. A cukrokat állati keményítő (glikogén) alakjában a máj halmozza fel. Ehhez azonban inzulinra van szüksége. Az inzulint a hasnyálmirigy kivezetőcső nélküli szigetei (innen: inzulin) öntik a vérbe. Ha a szigetek rosszul működnek: a máj nem tud cukrot fölhalmozni, s a táplálékul fölvevett cukor kiürül a vizelettel.

A zsírok a szervezetben úgy égnek el, hogy a hosszú lánc utolsó két tagja, mint ecetsav, leszakad; - a visszamaradt rész pedig savvá oxidálódik. Így mindig két-két taggal rövidebb zsírsav keletkezik. Ha ez a bomlás a vajsavnál ( $C_3H_7COOH$ ) elakad: a vizeletben acetecetsav, a

---

<sup>38</sup> az állati szervezet energiatermelése a kívülről felvett oxigén redukciójával történik (a szerk.)

karboxil gyökét elvesztett vajsav mint aceton ( $\text{CH}_3\text{CO}\cdot\text{CH}_3$ ) jelenik meg. A cukorbetegéknél az acetonzivelés a véget szokta jelenteni. Az el nem égetett zsír vagy a sejtekbe épül be, vagy mint tartalékszír a bőr alatti kötőszövetekbe kerül.

A szervezet fehérjei vagy egyszerű fehérjék, mint a vízben oldható albuminok és a sókban oldható globulinok, vagy más nem fehérje rész kapcsolódik hozzájuk (mint a hemoglobinfesték, a nyál mucinjában cukor). A szárusodott bőr fehérjeje, a keratin sok ciszteint (ként) tartalmaz - a csontok és porcok fehérjeje a kollagént (innen: kolloid), az enyvet szolgáltatja. Az enyven nincs meg minden szükséges aminosav, ezért nem lehet táplálék.

A három fő tápanyag anyagcséréje közt az állatoknál is megvan a kapcsolat: a fehérjéből lehet cukor, a cukorból aminosav; a zsírból is lehet cukor, s a cukorból zsír. Hogy zsír és fehérje közt van-e átjárás: nem biztos. Az aminosavak és cukrok közt viszont könnyű megtalálni. Ha az alanin (aminopropionsav) ammóniát veszít: tejsav lesz belőle - s a tejsav megfelelő körülmények közt cukorrá alakulhat. Ugyanígy a cukor is takaríthat meg aminosavat, fehérjét: ha a bomlásterméke ammóniát vesz fel. A cukrok és a zsírok közt is lehet átmenet, mint a növényeknél: a gyümölcscukor glicerinné hasad - a hosszú zsírsavláncok az acetaldehidből épülnek fel. Így egyik tápanyag pótszerűen szolgálhat a másik éhségében. Az étvágytalan, lázas ember: fehérjét éget, a bőr-zsír az izmokban lehet üzemanyag.

Az anyagcsere végtermékei a vizelettel ürülnek ki. A vizeletnek már ismerjük az összetételét. Az  $\text{NH}_3$  mint karbamid (napi 30 g) és kreatin (1 g), a purin mint húgysav (1 g) ürül. Nagyobb izommunka után megszorodik a tejsav; van azonkívül oxálsav és éterkénsav benne. Szervetlen alkatrészei: a foszfor globulinok mint foszfát, a cisztein kénje mint szulfát ürül ki. Közülük a legtöbb a vér konyhasója (napi 15 g). A nátriumon kívül kalcium és magnézium is van benne.

## A VÉR

A vegyi laboratóriumokban vannak olyan szekrények, melyek maguk szabályozzák a hőmérsékletüket. Ezeket a szekrényeket azért szerelik fel, hogy bizonyos vegyi folyamatok számára a legkívánatosabb hőmérsékletet biztosítsák. Az emberi szervezet is ilyen állandó hőmérsékletű szekrény - benne nemcsak a hőmérsékletnek, hanem sok más dolognak is (kation-anionmennyiség, cukor-, nitrogéntartalom) meglehetősen állandónak kell lenniük. Ezt az állandóságot a vér biztosítja. Kinn fagy vagy kánikula van: a magasabb rendű állatok vére őrzi a maga  $37^\circ$ -át; a táplálékunkban sok vagy kevés só, sok vagy kevés cukor, fehérje volt - a vér cukor-, víztartalma nagyjából egyforma marad. A vérnek legjellemzőbb sajátja ez az állandóság. Megóvása, mint láttuk, elég költséges berendezést kíván; ez a berendezés keríti el a külvilágtól a belvilágot (a milieu intérieur); s ez szabja meg s őrzi a világ örvénylő kémia-jában az ember kémiai egyéniségét.

Ha a vért ülepedni hagyjuk: felül helyezkedik el a sárgás savó, alul a vérsejtekből álló vörös vérlepeny. A savónak vannak működő részei: ezeknek ott a savóban van a helyük s hivatásuk. Ilyenek a vérfehérjék, a vér sói és az ellenanyagok; aztán vannak olyan anyagok benne, amelyeket a vér csak szállít: ilyenek a nitrogéntartalmú aminosavak, huyany, kreatin; a zsírok és a vércukor. A vérben körülbelül 7% a fehérje: albumin kétszer annyi van, mint globulin. A kettő aránya az orvost érdekelhetette, mert az ellenanyagok többnyire globulinok. A fehérjék a vér víztartalmát szabályozzák. Ha vér helyett sóoldatot eresztünk át az állat egyik végtagján, az felduzzad. Az a víz, amit a fehérjék tartottak vissza, az erek hártáján a szövetekbe lép. A vér fehérjei közé tartozik a fibrinogén. Ha a vér megalvad, ez csapódik ki mint fibrin. A fibrinháló magával rántja a vérsejteket: ez a gubanc a vérrög. A fibrinogénből csak a trombin hatására lesz fibrin. De trombin csak az erek sérülésénél keletkezik.

A vér sóinak sem változhat meg büntetlenül a mennyisége. A vörösvérsejteket olyan hártóanyagok borítják, amelyek a vizet átengedik, az ionokat nem. Ha a savóban több ion van, mint a sejtben - a víz a vér felé fog áramlani. A sejt zsugorodik; ha a savó hígabb, a sejt szívja föl a vizet: föl-puffad s szétpukkad. A vérerekbe ezért nem lehet desztillált vizet vagy sűrű sóoldatot önteni. A vér sóösszetételének egy 0,9 %-os konyhasóoldat felel meg (fiziológiás oldat); jobban utánozza a vér összetételét a Ringer-oldat, amelyben kalcium-, kálium-, hidrogén- és karbonátionok is vannak. A savó transzportanyagai közül a legkisebb a nitrogén mennyisége: 25-30 mg 100 cm<sup>3</sup>-ben. Ez a vesegyógyászat féltelmes maradék nitrogénje. Ha ez fölszaporodik, a vesebeteg görcsöket kap, majd mély bódulatba esik és elpusztul. A zsírok mennyisége 100 cm<sup>3</sup> vérben 1 g-nál is több lehet; a vér, főként étkezés után, egész zavaros lehet tőle. A vércukor 100 cm<sup>3</sup> vérben 6-12 mg; - a cukorbetegnél több, inzulinszedés után jóval kevesebb. Az utóbbi még nagyobb baj lehet, mint a cukros vérűség.

A védőanyagok olyan enzimek,<sup>39</sup> amelyeket a vérbe került nagy molekulájú idegen anyagok ellen termel a szervezet. Ezek vagy a fehérjét csapják le (precipitinek) vagy a baktériumok mérgeit közömbösítik (antitoxinok), vagy magukat a baktériumokat csapják ki s oldják fel (agglutininek, lizinek). A betegségeknek ezek az immunanyagok megszaporodnak. A diftériát kiállt állat vére teli van antitoxinnal - ezért az ilyent orvoságul vagy megelőzőszerül is lehet használni diftériánál. A tífuszos vér nagy hígításban is kicsapja a tífuszbacilusokat - ezen alapszik a kimutatása. Az agglutininek a vörös vörösvérsejteket is összetapasztják és feloldják, ha azokban van egy nekik megfelelő agglutinogén. Agglutinin és agglutinogén is kétféle van: nevezzük az első kettőt alfnak és bétának, a kétféle agglutinogént A-nak és B-nek. Akinek a vérében alfa agglutinin van, annak a vörösvérsejtjeiben nem lehet A, mert hisz akkor a tulajdon vörösvérsejtjeit is kicsapná. Tehát négy eset képzelhető el: a 0 csoport tagjainak a sejtjeiben nincs agglutinogén, de van alfa és béta agglutinin - az A csoport tagja A-t és bétát, a B B-t és alfát, az AB A-t és B-t tartalmaz alfa és béta nélkül. A meghatározás úgy történik, hogy tárgylemezre két csepp vért teszünk; az egyikhez A típusú egyén savóját (tehát bétát), a másikhoz B savóját (tehát alfát) cseppentünk. Ha egyik sem oldódik föl, a 0 csoporthoz, ha a B-s, az A-hoz, ha az A-s, a B-hez, ha mindkettő, az AB csoporthoz tartozik. A vérmeghatározás nélkül nem szabad vérártalmatlanságot végezünk; mert különben az adó vére föloldhatja a kapó vörösvérsejtjeit.

A vér köbmilliméterenként ötmillió vörös vörösvérsejtet, hétezer fehér vörösvérsejtet s 400 ezer vörösvérsejtet tartalmaz. Hogy lehet egy köbmilliméter élű kockában ötmillió vörösvérsejtet megszámolni? A hígító pipettába 1-ig vért, aztán 100-ig hígító folyadékot szívunk föl, s jól össze-rázzuk. Ezt a vért egy kamra 0,1 mm magas vályújába eresztjük. Ezen finom beosztás van  $\frac{1}{5}$  és  $\frac{1}{20}$  mm élű kis négyzetekkel. Egy ilyen négyzet alapja  $\frac{1}{400}$  mm<sup>2</sup>, a vér magassága  $\frac{1}{10}$  mm lévén, köbtartalma  $\frac{1}{4000}$ . Ha egy-egy négyzetet megszámolunk, s azokban átlag 12 vörösvérsejtet találunk, akkor 1 mm<sup>3</sup>-ben 4000-szer ennyinek, 48 000-nek kell lennie. De a vért százszorosra hígítottuk, az eredetiben tehát 4 millió 800 ezer volt. A fehér vörösvérsejteket csak úgy lehet megszámolni, ha a vöröseket egy oldattal elpusztítjuk.

A vörösvérsejt magjukat elvesztették - 60 %-ban hemoglobinnal állnak. A hemoglobin igen könnyen köt meg oxigént, s ha oxigénben szegényebb helyhez ér, könnyen adja le azt. A tüdőben sok az oxigén, a szövetekben kevés: így szállítja a vér csilléként az oxigént a szövetekbe. A szén-monoxid (CO) a hemoglobinnal felbonthatatlan vegyületet képez: ezért hal meg a gázmérgezett belső fulladásban. A szén-dioxid kétharmad részét a savó, egyharmad részét a vörösvérsejt köti meg. A savóban a széndioxid kis része mint gáz van oldva, a nagyobb része hidrokarbonát (NaHCO<sub>3</sub>, KHCO<sub>3</sub>). A szénsav a szövetekben nagyobb, s a tüdőben kisebb. A

---

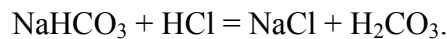
<sup>39</sup> ezek nem enzimek, hanem fehérjék (a szerk.)

nitrogén elenyésző mennyiségben mint gáz oldódik. A fehér vérszöveteket vegyi vonzás viszi minden idegen anyag (például baktériumok) felé - s arra való, hogy azokat bekebelezzék.

A vérlemezeknek a vérárvadásnál van szerepük. A vörös vérszövetek óriási száma is arra mutat, hogy egy állandó folyamat - a szövetégés táplálása - kívánja meg folytonos száguldásukat. Bizonyos betegségeknel a vörös vérszövetek ülepedése meggyorsul. Ha a vérárvadás gátlására a vérszöveteket 1:5 arányban citrátoldattal hígtjük s pipettába tesszük, megfigyelhetjük a vérszövetek süllyedés-sebességét. Férfiaknál 2-6, nőknél 3-10, betegeknel több.

*A vér állandósága.* - A vér állandó összetételét többféle berendezés biztosítja. Enyhe lúgos jellegét maga a vér örzi meg puffer anyagaival: s ezzel a nitrogén állandóságát. A vért a tüdőtől, bélcsőtől, vese tubusaitól elválasztó határhártyák egyes anyagok felszívódását akadályozzák, más anyagokat viszont (például nitrogén, illóolajok) ha mégis bekerült a szervezetbe, a vese siet kiválasztani. A vércukor tartalmát a hasnyálmirigy és a mellékvese váladékai: az inzulin és az adrenalin szabályozzák. Arra, hogy a vér hőmérséklete ne változhassék, az agytörzsben levő hőszabályozó központ gondoskodik. Az utolsó ötven év élettanáknak nagy vívmánya, hogy az egymás fölé helyezett kémiai és idegberendezésekbe bepillantott.

A vér enyhén lúgos,  $pH$ -ja 7,5. Kémhatása, ha magára hagynák, savi irányba tolódna el. Az izmokban keletkező tejsav, szénsav és húgysav ellensúlyozzák. Ezeket a savakat azonban a vese és a tüdő gyorsan kiválasztja s magában a vérben is vannak olyan puffer anyagok, amelyek a savakat ellensúlyozzák. Ezek közül a puffer anyagok közül a legfontosabbak a bikarbonátok, a nátrium- és kálium bikarbonát. Tegyük fel, hogy sósav kerül a vérbe - az a nátriumbikarbonáttal reakcióba lép:



Vagyis az erős sav helyett egy gyenge sav keletkezik. De csökkenti a szénsav disszocióját is - az ionizált hidrogén és  $HCO_3$  ionos szorzata elosztva a  $H_2CO_3$  molekulákkal: ugyanazt a számot adja.

Érdekes megfigyelni, hogy biztosítja a vér állandóságát a vese munkája. A vese nem is más, mint a vérnek egy koncentrációsabályozója. Épségét úgy is szokták vizsgálni, hogy az anyagcserét vízzel, sóval vagy huyganyal terhelik meg; az ép vese a megfelelő vizelet elválasztásával egykettőre helyreállítja a vér összetételét. A vese az érgomolyokban, emlékszünk, szűrletet készít - 150 litert egy nap. A szűrletbe a vérszövetek és a fehérjék kivételével a vér minden alkatrésze átmegy. A vesezatornákban ez a szűrlet besűrösödik. A vizelet és a cukrot a szervezet visszaveszi, a karbamidot pedig kiválasztja. A konyhasót hol visszaveszi, hol a szűrletben hagyja - aszerint, hogy a vérben több vagy kevesebb-e éppen a konyhasó. Ha a vérben túl sok a cukor, akkor a cukor is a szűrletben marad: így jön létre a cukorvizelet.

A hormonokat a belső elválasztásos mirigyek öntik a vérbe. A legfontosabb belső elválasztásos mirigy az agyalapi mirigy (hipofízis), a nyakon a pajzsmirigy és a két pár mellékpajzsmirigy, a hasnyálmirigy hámszigetei; a vesék föltt a mellékvesék; aztán a hím és női ivarmirigyek, a herék és a petefészkek. Váladékaik részben az anyagcserét, részben a szervezet kifejlődését irányítják. A vérnek főként a cukor-, kalcium-, foszfát- és víztartalmára vannak hatással. A cukrot az inzulin mint glikogént raktározza föl a májban - de ha a vérben kevés a cukor, a mellékvese adrenalint választ ki - s ez kinyitja a máj cukros kamráját. Befolyása van a cukoranyagcserére a hipofízis elülső részének. A mellékvese kiirtásakor a kalcium és a foszfátok mennyisége a vérben alászáll - görcsök lépnek fel (tetánia); ha a mellékpajzsmirigyek túlzottan működnek, a vérben több lesz a mész - s a szervezet mészraktárai, a csontok elmésztelenednek. A hipofízis hátsó lebenye egy olyan hormont termel, amely a veséből sűrű, tömény vizeletet választ ki. Ha ez a hormon hiányzik: a beteg tíz-tizenöt liter vizeletet is

üríthet naponta. A mellékvesekéreg megbetegedése (például bronzkórnál) többek közt a vér besűrűsödésére, bikarbon hiányra vezet.

A vér legfőbb hatósága az agytörzs, az agynak a nyúltagy, nagyagy és kisagy közti része. Itt vannak azok a központok, amelyek életfolyamatainkat a tudat részvétele nélkül is irányítják. Az agytörzset a vérkeringéssel, bélel, vesével az autonóm idegrendszer kapcsolja össze. Az autonóm idegrendszernek két része van: a paraszimpatikus idegrendszer, amely az agy alapjáról és a keresztcsont tájáról indul ki - s a szimpatikus idegrendszer, amelynek dúcai a csigolyák két oldalán, a mellkasban és a hasüregben helyezkednek el. Szerveink a szimpatikustól és a paraszimpatikustól is kapnak ingereket. Ha állat mellkasát megnyitjuk, s a szívhez vivő paraszimpatikusát ingereljük árammal, a szív egyre lassabban s kiadósabban ver, végre görcsben megáll. Ha a szimpatikus idegét izgatjuk: a szívverés mind gyorsabbá és felületesebbé lesz. A beleket a szimpatikus gyorsabbá teszi, a paraszimpatikus megállítja; a hörgőket a szimpatikus kitágítja, a paraszimpatikus szűkíti; az ereket a paraszimpatikus tágítja, a szimpatikus szűkíti. A szimpatikus esetén az adrenalin izgat, a paraszimpatikusnál a kolin.

Az agyközpontok olyan idegsejtcsoportok, amelyek a vér valamelyik sajátságára érzékenyek: a légzőközpont a szén-dioxid, a cukorközpont a cukor, a vízközpont a víz tartalmára, a hőszabályozó a hőmérsékletére. Ha a légzőközpont azt érzi, hogy a vérben kevés a szén-dioxid, a légzőizmokkal kiadósabb mozgást végeztet, s a szívet is (futásnál) gyorsabb munkára sarkallja. A cukorközpont cukorhiánynál a mellékvesét mozgatja meg, s adrenalin löket vele a vérbe. A vízközpont a hipofízis hátsó lebenyére hat, s sűrűbb vizeletet választat el a vesékkel. A hőszabályozó központ, ha a vér hűlni kezd, összehúzza a bőr ereit - fokozza az égést, didergés, lúdbőrözés útján is meleget termel. Ha a vér meleg, az erek kitágulnak, az anyagcsere csökken; az ember verejtékkel is hőt veszíthet.

A vérnek az önszabályozó rendszeréhez számíthatjuk azokat a folyamatokat, amelyekkel a külvilág ellen védi magát. Hisz a belső integritás épségét védi sérülésnél az alvadás, baktériumok ellen a fehérvérsejtekkel és az ellenanyagokkal is - hogy a tudattalan életfolyamatokról ne beszéljen az ember. Kitűnő példa arra, hogy a biológia - az összefüggések együttlátásának a tudománya.

1947

# AZ ÉLETTAN TÖRTÉNETE

## AZ ÉLŐK LEÍRÁSA

A természettudomány többemeletes épület: alapja a matematika, földszintje a fizika - s vegytan, biológia és lélektan a rákövetkező emelet. Emeletet nem lehet a levegőbe építeni. A vegytan mint tudomány akkor épülhetett ki, amikor a fizika már volt: a vegyészek észrevették, hogy a természettudósoknak mérni kell - az elektromos áram fölbontotta elektrolitjeiket. A biológia komoly tudománnyá még később lett - tulajdonképpen csak most lett azzá, hisz a vegytan most nő fel igazán az életfolyamatokig. A lélektan alatt viszont még ma sincsenek megbízható falak.

Az emberek azonban sosem riadtak vissza attól, hogy a levegőbe építsenek. Az emberek vegyészkedtek Lavoisier előtt is, s a fertőző betegségekről voltak elképzeléseik, mielőtt a baktériumokat ismerték volna - amint a lélekről is tudnak beszélni anélkül, hogy tudnák, hogy a leggyakrabban használt szavaik: mint képzelet, fogalom, akarat - igazán mit jelentenek. Az ásványok, növények, állatok itt vannak; az ember nézegeti s tünődik rajtuk - megalkotja leíró tudományait, elméleteket költ természetükről - a tudomány testén és álmán dolgozik; - amíg egy nap aztán a lélek is belép - az alulról nő, igazi tudomány felől.

Az újkori biológiának is először a leíró része - a tantárgyainkban még ott csökevényesedő természetrajza alakult ki. A tizenhatodik század mohó, kíváncsi embere leírt mindent, ami elé került: a bányász az ásványokat, az orvos a gyógyfüveket, egyesek az állatokat. A látottakba a hallottakat is belekeverte; a hajósok meséi, élő szörnyek helyet kaptak a megfigyelés állatkertjeiben. Még a teológusok is fűvészkedtek ebben az időben: Debrecenben ebben az időben plántálja be Méliusz Juhász Péter Csokonai és Fazekas kedves tudományát: a botanikát. Ennek az alakokat gyűjtő kornak a legnagyobb vívmánya: a bonctan megteremtése. Vesalius csak ötven évet élt, mint katonarvos hányódott szülőföldjétől Rómaig s Madridig, sőt a Szentföldre; nappal gyógyított, éjjel boncolt; - de amikor 1564-ben meghalt, egy kész tudományt hagyott az utókorra. Háromszáz metszetén: az emberi test pontos leírása. A medikus ma is az ő könyvét forgatja - ha nem is az eredetit, de lényegileg.

Annál tovább vajúdott a mikroszkóppal dolgozó bonctan: a sejtek és a szövetek tudománya. Az első mikroszkópot a XVI. század utolsó éveiben készítették Hollandiában. A hollandok most lettek a tengeren nagyhatalommá - s most fedezték föl az esőcseppben lévő óceánokat. Egy új fizikai eszköz mindig nevel magának tudósokat. Leeuwenhoek, aki először látott ázalékállatot, ondót, hajszáleres vérsejtet, portás volt Delftben; Swammerdam, a sejtek fölfedezője, borkereskedő, aki a Királyi Társaság tagjaival, Newton kortársaival állt levelezésben. Itt használták először a „sejt” (cella) szót. A parafa olyan volt a mikroszkóp alatt, mint valami kolostor, melyben cella van cella mellett. Egy másik olasz mikroszkópnéző, Malpighi nevét a bőr festékrétege őrizte meg - a diákagyak számára. Ahhoz azonban, hogy a sejttan és szövettan megszülessen, a mikroszkópnak is jobbnak kellett lennie - meg annak is, amit néz, a készítménynek. A lencsék színszórásait csak a tizennyolcadik század végén küszöbölték ki; a szövet festésére meg csak a tizenkilencedik század kezdi használni az anilin festéket. Kétháromezerszeres nagyításhoz s vékony, jól festett metszetek fölé aztán már csak oda kellett ülni, s fölszedni minden állatot, megnézni minden szervet. Ebből a német szorgalom tudományt szokott csinálni. A régi lencsenézők a növényi sejtek falát látták; a mostani a protoplazma, majd még beljebb, a sejtmag felé fordul. Schleiden kimondja, hogy az állati test is sejtekből áll, s új sejt csak más sejtből támadhat. Megfigyelik a sejtek oszlását is: előbb a sejtmagból válik ki két gomolyag - a gomolyag apró részekre, kromoszómákra szakad -, a kromoszómák kétfelé hasadnak, s a sejt két sarka felé vándorolnak. A sejtek aszerint, hogy milyen feladat vár rájuk, különféle szövetekbe csoportosulnak. A hámsejteknek, mint a cserepeknek fedniük kell - tehát szorosan illeszkednek egymáshoz. Az izmok is hosszú sejtekből,

rostokból állnak, melyek összehúzódáskor megrövidülnek. Az idegek sejtjei kis nyúlványokkal érintkeznek egymással, amelyek az érzést hozzák, vagy a mozgató ingert viszik. Van aztán még egy negyedik fajta szövet is: ebből van a bőr irhája, egyes izmok pólyája, a csontok, a porcok. Ezekre az a jellemző, hogy sejtjeik közt valami támasztó állomány van - ha rostok: kötőszövetnek hívjuk, ha mész: csontnak, ha hialin: porcnak, ha pedig savó: akkor vérnek. A tökéletesedő mikroszkóp és a finomabb festési eljárások sorozatosan egész szerkezeteket metszenek föl. Az ép szervezet után jön a beteg, az ember után az állat, a növény - százezer és százezer növényfaj. Amikorra a munka így-úgy befejeződne, azt hinnénk; - itt az elektronmikroszkóp, amely azt jelenti, az egészséget újra kell kezdeni, de most már nem a sejtek, hanem a molekulák nagyságrendjében.

## AZ ÉLETMŰKÖDÉSEK

Az anatómia és a szövettan: az élet formáját leltározza; a tulajdonképpeni élettan, a fiziológia mélyebbre néz: a működéseket akarja megérteni. De megérteni csak azt tudjuk, amit valami ismertre tudunk visszavezetni - az élettani jelenségeket fizikai és vegytani jelenségekre. Amikor a fizikából és a vegytanból csak a mechanika volt meg - az emberi szervezetet is valami mechanikai szerkezetnek képelték. Meg is értették belőle, ami valóban az. Az izmokat például; ahogy a hullán kikészítjük s megrántjuk őket, valóban gépek. A békaizom, a biceps, ott ered a felkaron s inával az orsócsontján tapad. A két csont közt ott van tokjában a könyökízület. Ha az izom megrövidül, az eredés és tapadás közelebb kerül: a kar behajlik. Hogy hajlít, vagy feszít, vagy forgat-e, csak elhelyezésétől függ. A test háromszáz izma minden mozdulatot megmagyaráz. Ugyanilyen világos az ízületek szerepe: porcok csontvégek alakjáról rögtön látni, hogy csuklószerűen előre-hátra mozognak-e, vagy szabadon körbe.

A mechanika kora magyarázta meg a szervezet legzseniálisabb mechanizmusát, a vérkeringést is. Vérkeringés - csak Harvey óta ismert. De rá még gúnyként alkalmazták a keringető, cirkulátor szót. Az emberek sem azt nem tudták, hogy az artériákban vér van - hisz halottban üresek -, sem azt, hogy az ütőerek a gyűjtőerekkel a hajszálereken át kapcsolatban vannak. De az a század, amely annyi nyomó-szívó szivattyút csinált, végre is átlátta, hogy a szív is ilyesmi: a kamrák összehúzódásukkal az erekbe lökik a vért - a jobb kamra a tüdő verőérbe, a bal a főverőérbe -, amikor meg elernyednek, a pitvar nyomja át a vért. A vér a jobb kamrából a tüdőbe, onnét a bal pitvarba jut (kis vérkör), aztán a bal kamrából a szervezeten át vissza a jobb szívfélte (nagy vérkör). A billentyűk is úgy működnek, mint a szelepek. A kamrák és nagy erek határan lévő artériás billentyűket a szisztolés vérhullám kinyitja; ugyanekkor a pitvarkamra határon levő vénás billentyűket meg becsukja. A diasztole alatt az artériás billentyűt csukja be az erekbe visszahulló vér, s a vénásakat nyitja ki az összehúzódó pitvar vérhullám. Így éri el a szív - néhány egyszerű redővel, hogy a vér mindig csak előre folyhasson. Folyadékok a mechanika tanítása szerint magasabb nyomású helyről alacsonyabbra folynak. A szívben nagy a nyomás (amióta barométer ill. manométer van: mérni is tudjuk): egy negyed atmoszféra, 200 hg.mm; az erekben már csak 120, a kiserekben 15, a vénákban még kisebb - a bal pitvarnak pedig már nem nyomása, hanem szívása van.

Más életműködések magyarázatára már nem futotta a mechanika. A belélegzésre és kilélegzésre ott van a szívólabdák példája. Belélegzésnél a rekeszizom belapul; a bordaközi izmok, mint a roletta szalag a rolettát, fölemelik a bordákat. A hirtelen kitágult mellkas a levegőt beszívja; ez a belélegzés aztán rugalmasságánál fogva visszaesik eredeti helyzetébe s a levegőt kinyomja (kilélegzés). Arra azonban, hogy miért kell ezt a szívást percenként tizenhatszor elvégezni: a mechanikában már nem volt magyarázat; maga a lélegzés vegyész után kiáltott. A vegytan Lavoisier-val vonult be az élettanba. A lélegző ember oxigént fogyaszt és széndioxidot termel. Benne is ég tehát valami - nyilván a táplálék; ahhoz persze egy újabb másfél század kellett: kinyomozni, hogy mi hogyan. Az emésztés megértése sokkal fejlettebb tudást

kívánt, mint a légzésé. Az emésztőcsatornában, szájban, gyomorban, bélben - bonyolult szerves anyagok, fehérjék, keményítő, zsírok bomlanak el alkotórészeikre: aminosavakra, zsírsavra, glicerinre. A csatornába nyíló mirigyek: nyál, gyomor, hasnyál, bélmirigyek - erjesztőket választanak el s ezek olyasformán szedik szét a nagy táplálékmolekulákat, mint a sörgyártásnál a diasztázé az árpakeményítőt. Az emésztést a biológus csak akkor érthette meg, amikor a vegyész a különféle erjedéseket. A lebontott anyagok a bél bolyhain át a vérbe jutnak - hogy itt mi lesz velük, hogy égnék el vagy hogy épülnek sejtfehérjévé vagy tartalék zsír és szénhidráttá - ahhoz még fejlettebb életvegytani ismeretek kellettek.

Az első szerves anyag, amelyet kémcsőben is előállítottak, a vizelet anyaga, a huyany, karbamid volt. A vizelet elemzése kimutatta, hogy a vizeletben szerves anyagok s klórtartalmú szervetlen anyagok vannak. Nyilvánvaló, hogy ezek az égés hamui - s a vese a rostély, amelyen ezek kihullanak. A vesekéreg metszetében ott láthatók az érgomolyok s az azokat körülvevő tokok. A gomolyokban vér volt, a tokokból eredő csatornácskákban már vizelet. De hogy, hogy különbözhet a szűrlet annyira, a vizeletnek a vértől annyira eltérő összetétele hogy alakul ki - azt már csak a mi századunk értette meg.

Az idegrendszer működése még lassabban lepleződik le. A tökéletesedő szövettani készítmények megmutatták, hogy az idegrendszer neuronokból épül föl. A gerincagy boncolása közben az is kiderült, hogy a gerincagy hátsó sejtjeibe érző neuronok futnak be; az elsőkből mozgatók indulnak ki. Az orvosok rég ismerték a reflexeket: egy érzéki inger (a térd megütése, a szembe vetített fény) önkéntelen mozgást vált ki. Már régen tanulmányozták ezeket a reflexeket - Galvani épp egy ilyen reflex-békán fedezte föl az elektromos áramot. A szövettan megmutatta, hogy egy-egy ilyen reflex pályája, a reflexív: egy érző, egy összekapcsoló és egy mozgató neuronból áll. Érzés - kapcsolás - cselekvés: nagyjából ez a gondolkodás is. Valószínűvé vált, hogy sokkal bonyolultabb módon az agyban is az történik, ami a gerincagyban. 1870 táján jöttek rá, hogy az agykéreg közepe olyasmi, mint egy zongorabillentyűsor, amelyen minden izomnak, mozgásnak megvan a billentyűje. A billentyű lenyomására - az agykéreg izgatására - megszólal a hang, létrejön a hozzátartozó mozdulat. De az agykéregnek nemcsak mozgató mezői vannak, itt válnak tudatossá a szemből, fülből, bőrből jövő ingerületek. A látás központja a tarkó táján van, a hallásé a halántékon, a bőrérzéseké (hő, fájdalom, tapintás) a mozgató központ mögött, a szaglás észlelése az agykéregnek az agy alapjára hajló részén. Ha egy-egy ilyen központ tönkremegy - az érzékszerv leadja a jeleket, a reflexek is létrejönnek - a tudatba azonban nem jut föl. „Lelki vakságnál” a szem lát, a szemreflexek is megvannak, az ember ki is kerüli a szeme felé közelítő tárgyat - de azt, hogy mit került ki: azt nem tudja meg. A mozgató és érző zónák közelében más agykéregterületeket fedeztek föl; - mintha a mozgató és érzés emlékképeit őriznék. Az agy igen nagy része - homlokleány - azonban még mindig ismeretlen Afrika maradt. Ezeket a részeket a magasabb társítás - fogalomalkotás mezőinek tekintették. Az idegéletnek így kialakult egy durva vázlata legalább. Ha a szomszédom megcsíp és én elugrom - körülbelül ez történik bennem: a csípésingerből a bőrömben fájdalomingerület lesz; ezt egy neuron fölviszi a gerincagyig, a második a fájdalomérző központig. A csípésérzet különféle emlékképeket ébreszt föl; - a gondolkodás eredménye: egy mozdulat lesz, melyet a mozgató központból kiinduló két neuron visz le a végrehajtó szervig: az izomig.

Elképzeltető, hogy ez a vázlat hány kérdést tesz föl; mi az inger: vegyi, vagy elektromos áramféle - hogy hozza mozgásba az izmot -, mi a feltétele, hogy egyik neuronról a másikra átugorjon. S a még nehezebb kérdések: az ingerületnek ebből az eloszlásából hogy lesz az, amit a lélektan képzetnek, fogalomnak, akaratnak nevez. Ilyenkor mindig nagy útja nyílik a spekulációnak - a tudomány útja azonban felfedezéseken át vezet. A felfedezések pedig nem a lélek - inkább lefele: az ösztönélet irányába estek. A gerincagy, a kisagy, s a nagy; - mint egy világosabb, a tudat fényével átvilágított idegrendszer borulnak rá egy belsőbb, homályosabb idegrendszerre, amelynek az a dolga, hogy zsigereink működését automatikusan kormányoz-

za. Úgy is hívják ezt az idegrendszert, hogy autonóm idegrendszer: az ő központja, „agya” - a nagy- és gerincagy közé eső agytörzsben s a fölött a hipotalamuszban van; idegei pedig nem a csontvázizmokat, hanem a zsigerek sima izmait és nyálkahártyáját idegzik be. Mintha egy ember-féreg volna beágyazva a tudatosabb emberbe: míg a fönti ember a világot nézi, ez az anyagcserénk felé göngyölődve az elemi életfolyamatokat intézi. S érdekes, hogy ennek a féreg-idegrendszernek a fölfedezése nemcsak a zsigerek önszabályozását értette meg, de lélektani következményei is vannak. Az ént - mely Kant idejében olyan elvont magasban lebegett - ez az idegrendszer horgonyozta le szervezetünkbe. Az agy folyamatai ezen át érnek le a test mélyébe: szorongássá, lúdbórré - s a test állapota ezen át nyúl föl a gondolkozásba. Az érzelmek jelei - a gondolkodás energiahullámzását követő érreakciók; a hangulat - a szervezet vegytana - szól föl a zsigeri idegrendszeren át az agy munkájába.

A húszas évekre a fiziológia durva áttekintése (ha a lélektant kivesszük belőle) elkészült. De ez a fiziológia csak úgy viszonylik a most alakulóhoz, mint az anatómia a szövettanhoz. A vegyi és fizikai folyamatok durva nagy körvonalait ismertük, a részletek - a biofizikára várva - csak most bontakoznak ki. Az élettannak ezen új, biokémiai szakánál tán az első eset, amikor egy magyar iskola - a Szent-Györgyié - a kutatók első vonalában jár. Ezt a biokémiai szakot a hormonok és vitaminok fölfedezésétől lehetne számítani. A szervezetben voltak fehér foltok - amelynek a hivatásáról semmit sem tudtak. A koponya alapján a hipofízis, a nyakon a pajzsmirigy, a mellkasban a csecsemőmirigy, a mellékvese - aztán a hasnyálmirigybe beékelt kivezetőcső nélküli sejtek - a here közti sejtjei. Ezek közül a pajzsmirigy volt legjobban szem előtt. Daganata, a golyva, sok nyakat csúfított el. A sebészet tökéletesedésével megpróbálták kioperálni. A műtét sikerült, de a beteg bágyadt lett, elhülyült, s csakhamar meghalt. Most eszméltek rá, hogy ezeknek a mirigyeknek ha kivezetőcsövük nincs is, hivatásuk van - kivezetőcsövük épp azért nincs, mert váladékuk - a hormonok - a vérbe szívódik fel. Hormonoknak nevezték ezeket a váladékokat a görög horneo - buzdító - igéről. S valóban serkentők ezek: vagy a kifejlődést serkentik - a hipofízis elülső lebenye az egész szervezetét, a csontokét; a here a nemi jellegét; vagy az anyag égését: pl. a mellékvese kérge a cukorét. Ha egyik vagy másik elpusztul, vagy a kifejlődés akad el, vagy anyagcserezavarába pusztul bele a szervezet. Egy évtizeden át a belső elválasztásos betegségek lettek az orvosok kedvencei. Az akromegáliás daganatok, melynél a csontvégek nőnek; a düledtszemű Basedow-kórosok, akiknél a pajzsmirigy túlzottan működik - s a hülye kretének, akiknek a golyvájuk kevés - visszamaradnak, lusták. A cukorbetegnél a hasnyálmirigy szigetei működnek rosszul; a here és petefészek kiirtása a nemi jelleg elvesztésével jár - ez az, amit az állattenyésztők és a háremtulajdonosok rég kihasználtak.

De nemcsak a mi mirigyek termelnek ilyen hormonokat - a táplálékunkkal is kerülnek belénk nélkülözhetetlen anyagok: a vitaminok. Naponta legföljebb egy-két mg-ot fogyasztunk - de ha ez hiányzik, éppolyan hiánybetegség lép föl, mint hormonhiánykor. Az első ilyen hiánybetegség a beri-beri volt. A Fülöp-szigeteken ha finomabb, hántolt rizst adtak a raboknak: súlyos idegbajt kaptak. Eijkman holland orvos mutatta ki, hogy ezt olyan emberek kapták, akiket kizárólag hántolt rizsen tartottak. Hántolt rizstől a galambok is megbetegedtek - a rizs korpájától viszont meggyógyultak. Később magát a vitamint is sikerült előállítania. Nagy felfedezés volt ez! Ekkoriban azt hitték, hogy az efféle betegségeket mind baktériumok okozzák, és hogy a táplálék értéke az elégsénél képződött hőtől függ. A vitaminok nem adnak kalóriát - mégis meghalunk nélkülük. Egymás után fedezték fel: az A vitamin hiánya farkasvakságot, szemszáradást okoz, a D vitamin hiánya angolkórt, a C vitaminé vérszegénységet, skorbutot. A vitaminokat azért nevezték el betűvel,

[A kézirat itt megszakad]

1947

## SZERVES VEGYTAN

A XVIII. század végén - amikor a vegytan a fizikához hasonló komoly tudománnyá kezdett válni - a vegyészek s nem vegyészek számos eljárást ismertek, amellyel a növények s állatok testében keletkező anyagokat - többé-kevésbé kivonhatták. Az olaj ütésének, zsírok kifőzésének, keményítő, sikkér kivonásának megvoltak az ősi eljárásai. A cukrot vízzel vonták ki a cukornádból - aztán [...] s kikristályosították. A keményítő- s cukortartalmú anyagokból szeszt erjesztettek. A gyógyfüvek kivonatait desztillálás után besűrítették. Ismerték már az éter előállítását is: az alkoholt kénsavval kezelték. Levelekből, cserjékből, gyökerekből festő anyagokat állítottak elő. Cukor oxidációja révén kapták az oxálsavat. A növények kivonataként: más növényi savakat. Mindezeknek az anyagoknak ismerték az előállítását, s ismerték a hasznát. A vegytan más részein elért eredmények, az összetett súlyarányok törvénye s az atomelmélet - azonban másféle ismeretekre sarkallta a szerves anyagok kutatásában is a vegyészeket. Az 1820-as évek elejétől itt is az anyagnak a szerkezetébe, a különböző anyagok összekötő törvényszerűségeibe próbáltak betekinteni - s minthogy itt bonyolultabb viszonyok fogadták őket: a találékonyosságukat is jobban össze kellett szedni, mint az aránylag egyszerűbb „szervetlen” vegyületek: sók, savak, lúgok természetének a kihámozásában. Annak a négy évtizednyi munkának a története, mely a szerves vegytan törvényeit feltárta - ha minden kacsaringójában tér, hely és nyomok össze- s kibancolóadásában követnénk - egy tudományos detektívregény-féle kerülne ki a kezünkből.

A nyomozás kezdeti foka: a szerves vegyületeket alkotó elemek megfogása volt. Ez nem kívánt olyan bonyolult rendszert, analízis eljárásokat, mint a szervetlenben az ionok befogása volt. A szerves vegyületek mind ugyanabból a három-négy elemből épültek fel: a szénen, hidrogénen, oxigénen nitrogénen kívül legföllebb kén s foszfor volt még bennük. Már Lavoisier rájött, hogy ezeket az elemeket oxidálni kell - s az oxidáció termékeit fölfogni. Higanyra borított üvegkancsóba oxigént vezetett, abban égette el a nap hevével a bevitt szerves anyagokat. Az így keletkezett szén-dioxid és víz mennyiségéből számította ki a hidrogén és szén arányt. Az utódok - Gay-Lussac, Liebig -, az a néhány ember, aki vegyészettel foglalkozott - az edényt, az oxidálószert, a felfogás és elnyelés módját tökéletesítették. Liebig a széndioxidot nátronlúgba vezette - Dumas a nitrogén meghatározását dolgozta ki - [eljárása, lényegesen javítva máig viseli] Kjeldahl nevét, aki koncentrált kénsavval alakította át a szervetlen nitrogént ammónium-hidrogén-szulfáttá  $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$  - az orvostanhallgatók ma is tudják.

Amikor az atomelmélet a vegyészek kezébe kezdett menni - a vegyülő szén, hidrogén, nitrogén arányából a molekulába szerveződő atomok számát, tehát kapcsolataik képletét is igyekeztek megállapítani. Itt nehézséget okozott, hogy az egyes elemek - főként a szénnek az oxigénre illetőleg a hidrogénre vonatkoztatott atomsúlya sem voltak még biztosak. Gyémántot és kARBONT kellett elégetni, hogy megállapítsák - a szén-monoxidban száz gramm oxigénre minden esetben hetvenöt gramm szén esik (azaz ha az oxigén atomsúlya 16, a széné 12 lesz). A legfontosabb vegyületek összetételét, tapasztalati képletét az egymást korrigáló parázs, de eredményes vita formájában lassan mégis ki tudták elemezni - ekkor jött a figyelmeztetés, hogy a szerves vegytanban ez milyen kevés. Gay-Lussac fiatal német tanítványa, Liebig 1824-ben közölte a fulminsavas ezüst sójának a tapasztalati képletét. Stockholmban - Berzelius hazájában - dolgozó Woehler pedig a cianidsavas ezüstét.<sup>40</sup> Az oxigén, hidrogén, nitrogén, ezüst aránya mindkettőben pontosan ugyanaz volt - tulajdonságaik mégis egészen

---

<sup>40</sup> Ag-O-N=C Ag-O-C≡N ezüst-fulminát, ezüst-cianát (a szerk.)

mások. Liebig kétségbe vonta Woehler eredményét. A következő évek azonban több ilyen - egyforma tapasztalati képletű, s eltérő tulajdonságú - szerves vegyületet állítanak egymás mellé. Gay-Lussac Elemeiben a seprőből készült borkősav kikristályosodáskor egy olyan savat csapott le, amelynek a szerkezete - eltérő, [...] <sup>41</sup> teljesen azonos volt a borkősavval, ezt nevezte el szőlősavnak. Berzelius nevezte el az ilyen vegyületeket izoméreknek. Az izomériának nem volt más magyarázata - minthogy ugyanazok az atomok másképp kapcsolódnak egymáshoz. Ez mintegy felhívás volt: hogy akik szerves vegyületekre [...] akarnak valamit: az atomok elhelyezkedését - a szerkezetet közelítsék meg.

*Behatolás a szerkezetbe.* - Az első mű, amely egy nem is egészen egyszerű szerves vegyület szerkezetét megfejtette: Chevreulnak a szappanokról írt könyve volt. A szappant úgy készítették, hogy a zsírt hamuzsírral ( $KCO_3$ ) főzték - gyógyszerészek a hamuzsír helyett ólom- s más fém-oxidot használtak szappanszerű tapaszaikhoz. A szappanfőzésből visszamaradt „vízből” már előbb észrevették, hogy egy édes anyag választható le - amelyet Chevreul glicerinnel nevezett (glykos: édes). A glicerint Chevreul csaknem minden zsírfélében megtalálta; a cetvelőben azonban egy más anyagot talált - amely később a cetilalkohol nevet viseli; az epe seprőjében pedig a koleszterolt, amely egy az oly fontos szterinek közül. Chevreul a szappanokat savakkal kezelte - fém sókat és szerves savakat kapott. Ezek közt a szerves savak közt volt olyan illó - mint a vajból előállított vajsav - s oly szilárd, mint a sztearin. <sup>42</sup> Chevreul a zsírokat a szerves vegyületek mintájára úgy képzelte el, mint sóhoz hasonló anyagokat - amelyek egy szerves savból s glicerinnel állnak. A főzésnél a lúg fémje olyasformán foglalta el a glicerint helyét - mint erősebb fém a gyengébbét. A szappanok összetételének a megfejtése különben nem maradt elméleti felfedezés: a vállalkozók előtt álló cél szerint lehetett a keményebb-lágyabb zsírokat elegyíteni - Chevreul is mint sztearingyertyák előállítója, osztozott Gay-Lussac-kal a szabadalmon.

Természetes, hogy most már más anyagok összetételét is próbálták ilyesformán megfejteni - s eközben nemcsak az analógiák, a különbségek is kiderültek. Gay-Lussac, a gázok fizikusa és vegyész - azt találta, hogy az egy térfogat etilgáz (ahogy akkor nevezték,  $C_2H_4$ ) vízgőzzel alkoholt ad, két térfogat etilén és vízgőz viszont étert. Ebből arra következtettek, hogy a vízmolekula mint külön atomcsoport lehet jelen az alkoholban és éterben. Dumas két párhuzamos sorba állította az éter és az ammónia vegyületeit. A mi etilkloridunk:  $C_2H_4 + HCl$ , az ammóniasó  $NH_3 + HCl$ , az éter:  $2C_2H_4 + H_2O$ , az ammónia-oxid  $(NH_4)_2O = 2NH_3 + H_2O$  és így tovább. Ennek a sorozatnak a gyengéje rögtön szembeüt - hisz ahogy a szalmiák nem az ammónia és sósav vegyülete, hanem az ammóniagyöké ( $NH_4$ ) s a klóré ( $Cl$ ), úgy az etilklorid étersó sem  $C_2H_5$  és klór vegyülete - s a vizet külön nem is lehetett az alkoholban és éterben kimutatni. A nyom mégsem volt hibás - s a figyelmet most már a szerves vegyületekben összetapadó atomcsoportok - a gyökök felé fordította. Egy másik izgalmas vegyület, amelyben fokról fokra választották szét s ismerték fel a gyököket - a mandulaolajból leszármaztatott kellemes illatú anyag volt, melyet ma benzaldehidnek nevezünk - s tapasztalati képlete  $C_7H_6O$ . Ha ezt klórral, vagy ammóniával kezelték, a  $C_7H_5O$  rész változatlan maradt: ezt tekintették hát a vegyület magjának. Liebig a  $C_7H_5$  részt választotta el az oxigéntől - amikor pedig a benzoegyantából a  $C_6H_6$  képletű benzint is előállították, világossá vált, hogy a hetedik szénatom is a mozgékonyabb részbe tartozik - a gyök  $C_6H_5$  -, s a hozzácsatlakozó másik gyök a  $COH$ , azaz a benzaldehid szerkezeti képlete valóban  $C_6H_5COH$ . A gyökök befogását jóval megkönnyítette, amikor Dumas, még nem sokkal azután, hogy a német vegyészkirállyal, Liebiggel Párizsban az eddigieket átbeszélve mintegy tudományos megállapo-

---

<sup>41</sup> noha elemi összetétele (a szerk.)

<sup>42</sup> sztearinsav (a szerk.)

dást kötött, rájött, hogy a klór, a vegyületek hidrogénjének a helyébe lépve, mintegy leleplezi a gyököket. Az etilkloridnak  $C_2H_5$  a gyökrésze, a metánnak a  $CH_3$ . Ez a szerves vegyület felől nézve abszurdum volt, a klór mint merőben ellentétes sajátságú elem, ott sosem helyettesíthet hidrogént. A szerves vegyületekben viszont annál gyakrabban. A fémek közül főleg az alkáliaknak, a káliumnak volt meg ez a tulajdonsága. Liebig angol tanítványa, Williamson így oldhatta meg káliumjodid segítségével az éter régi rejtélyét. Ő egy szénhidrogént akart az alkoholba vinni, s ezzel új alkohol féle vegyületet nyerni. Előbb káliummal hozta össze, s az így nyert  $C_2H_5O$  vegyületet etiljodiddal ( $C_2H_5J$ ). A jód és kálium persze megtalálta egymást; s a jódkáli mellett mi keletkezett: éter:  $C_2H_5-O-C_2H_5$ . Williamson szerint az alkohol olyan víz volt tehát, melynek egyik hidrogénjét helyettesítették  $C_2H_5$  gyökkel; az éter, amelyben mindkettőt.

*Vegyülettípusok.* - Egy-egy szerves anyag szerkezetének a megfejtése, a szerkezeti képletek, gyökök körül folyó viták - a szerves anyagok összefolyó, innen-onnan tapogatott tömegéből lassan előhúzta azokat a vegyülettípusokat, melyek a [szerves] kémiában olyanféle szerepet játszottak, mint a szervesben a savak, sók, lúgok. Azt, hogy vannak igen egyszerű szerves anyagok, amelyek csak szénből s hidrogénből állnak - már azelőtt is tudták, hogy a kőolajból a legfontosabbakat szinte lepárolták. A metán a bányagáz, mely ellen Davy bányászvédő lámpáját készítette -  $CH_4$  a képlete -, az etáné  $C_2H_6$ , az olefin gáznak nevezett etilén  $C_2H_4$ . Wurtz, aki előbb Liebig, majd Dumas tanítványa s a Collège de France tanára lett - annak is megtalálta a módját, hogy lehet két ilyen egyszerűbb gázból - magasabb szénszámút szintetizálni. A gyökökről akkor még azt hitték, hogy azok mint önálló anyagok is megtalálhatók (a nevükhöz tapadt -yl képző - ethyl - ezt a tévedést, a görög hülé, anyag szót örzi ma is a nevében) s ezért halogén származékaikból az új, reaktív fémmel, a nátriummal próbálták a klórt elvonni.  $C_2H_5Cl$ -l a nátriumnak konyhasót és etilgyököt kellett volna kapni.<sup>43</sup> Azonban egész más történt, a nátrium elvonta ugyan a klórt, az etilgyök helyett azonban egy magasabbrendű, négy szénatomszámú gázt kapott. A reakció ugyanis így folyt le:  $2C_2H_5Cl + 2Na = C_2H_5-C_2H_5 + 2NaCl$ . Világos, hogy ezen a módon a halogén származékokon át más szénhidrogéneket is lehetett előállítani.

Azonban már ezek az egyszerű anyagok is nagy fejtörést okoztak képleteikkel. A  $CH_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_3H_8$ ,  $C_4H_{10}$  féle szénhidrogének mellett, amelyeket csekély vonzásukról (a halogének közül is csak a klór, bróm férköztek be a molekulájukba) paraffin, azaz parum-affinis, kis vonzású vegyületeknek neveztek, voltak nagyobb vonzásúak is, mint az olefin gáz: az éter. Ezek az olefin nevet kapták, szénben aránylag gazdagabbak voltak - egy szénatomra két hidrogén esett. Sőt Davy s mások fölfedeztek egy olyan igen gyúlékony gázt is - az acetilént - amelynek  $C_2H_2$  volt a tapasztalati képlete. Mi az oka, hogy a szén egyik esetben négy, a másokban csak egy hidrogént köt meg - s a közbülső esetekben megint más, többnyire tört a szén- és hidrogén-arányszám?

Egy másik vegyületcsoport az alkoholtól kapta a nevét. A fa száraz lepárlásánál keletkező faszénről eleinte azt hitték - hogy az a borszesszel azonos. De kiderült, hogy egy szén- s két hidrogénatommal kevesebb van benne - nem az etil-, hanem a metilgyök rejtőzködik benne. A harmadik „alkoholt” a korom olajában találták meg - s az amilalkohol nevet adták rája. Idővel kiderült, hogy a klorál glicerinje,<sup>44</sup> sőt a koleszterin is ebbe a csoportba tartozik -, csak hogy zsír kötésében nem egy, hanem három savat tud megkötni. Liebig nevezte el „alcohol de hidrogenes”-nek, rövidítve aldehidnek az alkohol oxidációja után nyert, enyhén sárgás vegyületet, melyből az oxigén két hidrogénatomot vitt el:  $C_2H_6O + O = C_2H_4O + H_2O$ .

<sup>43</sup> Adni (a szerk.)

<sup>44</sup> allil-klorid (a szerk.)

Ezekben a vegyületekben eggyel alacsonyabb volt a gyök (nem etil, hanem metil) s a visszamaradt COH gyököt az így nyert vegyületek egész sorában megtalálták - a benzoilgyök volt a benzaldehidben, a sokat vitatott mandulaolajban is. Ugyancsak a fa száraz desztillációja után nyert acetont - szintén aldehidnek tekintették -, s mikor kiderült, hogy kalciummal való desztilláció útján, amikor azok oxigént vesztek, szerves savakkal is lehet ilyen „aldehideket” nyerni, azokat nevezték el ketonoknak. A legjobban persze a szerves savakat tanulmányozhatták - 1843-ban már kilencet ismertek közülük - a hangyasavtól a zsírban lévő sztearinsavig. Itt ismerték fel, hogy ezek úgynevezett homológ sorozatot alkotnak - melynek a következő magasabb tagja mindig  $C_nH_{2n}$ -nel különbözik az alatta levőtől - úgy, hogy a hiányzó savak számát s képletét ezen az alapon meg is jósolhatták.

A gázgyártásnál nagy mennyiségben előállított kátrány száraz lepárlása - savas emésztése - megint az anyagok új világába vezette be a vegyészeket. Ezek közé tartozott a „fenol”-karbolsav - mely mint a neve mutatja, egy szénből nyert savanyú vegyhatású olaj - karbolsava, melyet később, amikor a benzint egyesek fenolnak, azaz világítónak kezdték nevezni, mint-hogy benzilszármazéknak bizonyult, benzolnak nevezték el.

Indigót kálilúggal hevítve 1840-ben állították elő a nagy jövőjű anilin nevű folyadékot, melynek neve az indigó spanyol nevét - alint - rejti. Mindezekben a vegyületekben a szén viszonylagos mennyisége aránylag magas volt: [...] <sup>45</sup> Egy fiatal német gyógyszerész már 1812-ben egy lúgos vegyhatású anyagot kristályosított ki az ópiumból, melyet ő morfiumnak nevezett el. Az, hogy a növények lúgos - s nemcsak savi vagy közömbös vegyhatású anyagot termeljenek, olyan különös volt, hogy eleinte ő maga is a lúgos kémszernek tulajdonította az alkalicitást. De csakhamar kiderült, hogy nemcsak a morfium, de a növényi mérgek egész sora lúgos vegyhatást ad - a figyelő Gay-Lussac alig néhány év alatt tizenhét ilyen alkaloidát állított elő. Lassan a tápanyagaink kémiájába is beljebb hatoltak. Prout (aki a hidrogén-atomból építette fel az elemeket) - három nagy csoportra osztotta tápanyagainkat: zsírokra, cukrokra, fehérjékre. A zsírok szerkezetét Chevreul ekkor már megfejtette. A cukrokat elemezve azokról megmutatta, hogy azokban a hidrogén és oxigén olyan arányban van, mint a vízben; s képletük  $C_xH_{2x}O$ . A szerkezetüket egyesek az alkoholos erjedésből próbálták levezetni, s minthogy azoknak a végterméke:  $C_2H_6O + CO_2$  - s ezeknek az összege:  $C_3H_6O_3$  - azt gondolta, hogy a cukormolekula - e két vegyület atomjait egyesíti. Kiderült, hogy jóval bonyolultabb - hat szénatomból áll, s részben alkohol, illetőleg aldehid sajátosságú. A fehérjék protein nevük egy tévesnek bizonyult feltevésnek köszönhetik. Proteor - azaz elsődleges - lett volna a fehérjék közös gyöke, melyeket a savtartalmú részek leválasztásánál akartak megragadni. A fehérjéknek azonban nincs ilyen közös gyöke - sokkal bonyolultabb anyagok, semhogy ilyen egyszerű módon a szerkezetükbe be lehetne hatolni -, de előállításuk két fő módja: az olvadás hővel s a lecsapolás híg savakkal - már hozzáférhetővé tette a vizsgálatuk.

*Kekulé modellje.* - Ezek a kutatások, a fölgyűlt szerkezetek egyre növekvő száma, a kibontakozó vegyi típusok az ötvenes évekre annyira megérlelte a szerves vegytani nyomozást - hogy egy világos, rendszerező agy az egész szerves vegytanban rendet teremthetett. Kekulé volt az, aki - Liebig, Dumas, Williams, a legkiválóbbak után - beváltotta sok vegyész álmát: s az atomok elhelyezkedésére a molekulában fényt derített. Ő mondta ki először, hogy a szerves vegytan a szénvegyületek kémiája. Ő fejtette meg, hogy ez az egyetlen elem - mért alkothat olyan rengeteg fontos vegyületet. Az ok igen egyszerű volt: a szénatomok egymással is kötődnek, s hosszú láncokat alkothatnak. A szén négyvegyértékű atom; természetét a legegyszerűbb szénvegyület, a metán mutatja meg a legtisztábban; ezért is  $CH_4$  a képlete. Ha két szénatom kapcsolódik - egy-egy karjukat a másik szénatom köti le - úgy, hogy minden szénatomnak

---

<sup>45</sup> az anilinban ugyanannyi szén volt, mint a benzolban, csak eggyel kevesebb hidrogén (a szerk.)

csak három szabad vegyértéke marad: ezért lesz az etán képlete  $C_2H_6$ , a három szénatomot tartalmazó propáné  $C_3H_8$ . Két egymást követő tag közt mindig  $CH_2$  a különbség - az n-edik tag képlete  $C_nH_{2n+2}$ . Ez a homológ sorok megfejtése. Két szénatom azonban nemcsak egy - hanem két vegyértékkal is kapcsolódhat, ilyenkor a szélükön már csak két szabad vegyértékük marad. A  $C_2H_6$  etán mellett ezért lehetséges egy  $C_2H_4(H_2C=CH_2)$  képletű etilén, vagy  $C_3H_6$  képletű propilén is. Az ilyen vegyületek, minthogy a szénatomokat összekötő második vegyérték könnyen felszabadul (a vegyület telítetlen), s kötődik más atomhoz - jóval reaktívabbak, mint a szolidabb, hidegebb paraffinok. Az acetilén titka nyilván az, hogy ott három karral kapcsolódik a szénatom; ezért lesz a képlete  $HC\equiv CH$ . A szénhidrogénekből, a jellemző gyökök levezetésével - könnyű volt aztán a halogénszármazékokat, alkoholokat, aldehideket, savakat levezetni.

Fennmaradt még egy talány: hogy kapcsolódnak a szénatomok a benzol vagy naftalinszerű, aránylag nagy szénatomszámú vegyületekben. A benzol tapasztalati képlete:  $C_6H_6$  - sehogy sem lehetett egy szénlánccal megmagyarázni. Telítetten  $C_6H_{14}$ , telítetlenül  $C_6H_{12}$ , vagy  $C_6H_{10}$  lett volna a képlete. Kekulé - saját vallomása szerint - álmában jött rá a megfejtésre. Egy csigát<sup>46</sup> látott, s az addig vonaglott - míg végre a gyűrűben a tulajdon farkába harapott. A hat szénatomnak a benzolvegyületben gyűrűbe kell sorakozni. Igaz, hogy így még mindig maradt minden szénatomnak egy facér vegyértéke (kettővel a szomszéd szénatomhoz kapcsolódott, eggyel a maga hidrogénjét kötötte meg). Ezen a vegyértéken aztán még fél századot elspekulálhattak a vegyészek. Kekulé úgy magyarázta meg, hogy minden második kötés kétszeres, hogy a szabad vegyületek a molekula felé irányulnak - s a gyűrű ennek köszönheti nagy szilárdságát. Abban azonban már senki sem kételkedett - hogy a szénhidrogének módjára kapcsolt nyílt szénláncú csoport mellett - van egy másik, a gyűrűs zárt szénláncúaké, melyek a benzolból - s a két vagy három összeforrt gyűrűből (a naftalinból s antracénből) - vagy más hasonló, nemcsak szén-, de nitrogén- vagy oxigénatomot tartalmazó gyűrűkből vezethetők le.

Az atomokról a fizikusok véleménye száz esztendő alatt nagyon megváltozott. Kekulé modelljei azonban állták az időt - s máig is biztos vázát adják - nemcsak az áttekintésnek, s a rendtartásnak -, de a vegyi szintézisnek, az anyag alkotásnak is. A szerves vegyületek száma több mint egymillió - de egy papírlap elé leülve az értelmesebb diáknak egy óra alatt el lehet magyarázni e város tervrajzát - a laposabb oldalon a zárt szénláncúak, a folyó túlsó oldalán a bonyolultabb gyűrűsek a hegyek - melynek ezek a vegyületek a házai, vagy inkább lakásai. Nemcsak a térképet lehet fölrajzolni - de a pontos postacím is ott van minden vegyület nevében. Ha új vegyületet fedeznek fel - annak az elemzése megszabja, hogy kell elnevezni. A propánban egy  $C_3H_8$ -hoz egy  $COOH$  gyököt viszünk - az propionsav lesz; ha a savgyök előtti szénatomra egy  $NH_2$  aminogyököt akasztunk: a vegyület az alaninnak is nevezett aminosav, a neve csak alfapropionsav lehet. Ha a benzol gyűrűjére akasztjuk a savgyököt, s az így kapott benzoosavnak a szemben lévő szénatomjára visszük be a hidrogén helyett egy  $OH$  hidroxilgyököt - akkor annak a neve orto-hidroxi benzoosav (szalicilsav); ha a melléje levőre: meta-, ha az oldalt levőre: para-hidroxi-benzoosav lesz. Papíron, ceruzával a kezében, akárki szerkeszthet újabb és újabb vegyületeket. Az alfa-propionsavból képezhetünk észtert, a szalicilsav hidroxiljára akaszthatunk nitrogyököt - s e papíron csinált vegyületek többnyire lombikban is előállíthatók. Sőt nemcsak előállíthatók, de néha a vegyi tulajdonságaik is megjósolhatók. A homológ soroknál láttuk, hogy határozza meg a tagszám a halmazállapotot - s ha nem is gépiesen, de a forrás-olvadáspontot. Vannak ennél sokkal értékesebb sajátságaik is, melyek a képletből - mintegy kiolvashatók. Sokat kutatták, mi okozza, hogy az egyik vegyület színes és fest, a másik nem. Kiderült, hogy a festékek vagy diazo kötésű, tehát  $N=N$

---

<sup>46</sup> kígyót (a szerk.)

kötést tartalmazó vegyületek, mindig színesek. Egyes anyagoknak, mint a borostyánkósavnak két változata ismeretes, az egyik a polarizált fény síkját jobbra, a másik balra forgatja. Az egyszerű izomériának egy különös faja ez - ahol a szerkezeti képlet is azonos - az atomok térbeli elrendezése viszonylik úgy egymáshoz - mint bal kéz és jobb kéz, kép és tükörkép. Ehhez a sztereoizomériához, mint Van't Hoff doktori értekezésében kimutatta, kell hogy egy aszimmetrikus szénatom legyen abban a vegyületben: azaz olyan szénatom, amelynek mind a négy vegyülete más-más atomhoz kapcsolódik - vagy ha egy tetraéder középebe tesszük, a tetraéder négy csúcsán különböző atomok helyezkednek el.

*Nyílt szénláncú vegyületek*

*Zárt szénláncú (aromás) vegyületek*

*Életerőtől az életvegytanig*

[a kézirat itt abbamarad]

1962

## ANYAGHALMAZOK

Az anyaghalmozok területét a kutatás a legmegfoghatóbb halmazállapot - a gázok felől fogta meg. A gázok megismerésében a három legfontosabb lépés: 1. A gázok nyomásának s térfogatának összefüggése - melyet a Royal Societybe tartozó Boyle 1664-ben, a francia Mariotte pedig hét évvel később ismert föl. Eszerint a gázok nyomásának s térfogatának szorzata állandó szám, ami azt jelenti, hogy ha a nyomást kétszeresre növeljük, a térfogat a felére zsugorodik (összeszorozva őket csak így kapjuk ugyanazt a konstans). 2. A következő lépés több mint százhusz éven át váratott magára, a megtétele Gay-Lussac nevéhez fűződik. A Boyle-Mariotte-törvény nem veszi figyelembe a hőmérsékletet; Gay-Lussac azt nézte meg, hogy a hőmérséklet változása állandó nyomáson hogy befolyásolja a térfogatot, vagy állandó térfogaton a nyomást. Két hasonló egyenletet kapott

$$\text{A térfogaton: } v_t = v_0(1+a \cdot t)$$

$$\text{a nyomáson: } p_t = p_0(1+a \cdot t)$$

ahol a hőtágulási együttható,  $a$ , mint a mérések kimutatták, minden gázra  $1/273$ . A két egyenlet egyesíthető, vagyis változó térfogatnál, nyomásnál és hőmérsékletnél  $v_1 p_1 = v_0 p_0(1+a \cdot t)$ . Ha ezt a törvényt olyan nyugvó gázra vonatkoztatjuk, melynek nyomása zérus fokon egy atmoszféra, térfogata pedig egy grammolekula térfogata, azaz 22,4 liter, ebben az esetben

$$p \cdot v = 22,4(1+1/273t) = 22,4(273+t)/273 = 22,4/273 \cdot T = R \cdot T,$$

ahol  $R = 22,4/273 = 0,82 \cdot 10^{-47}$  nevezzük egyetemes gázállandónak.

Ez az  $1/273$  egyike a legnevezetesebb számoknak, amelyeket a természet határértékül elének dobott.  $-273$  fokon a nyomás  $p_1 = p_0(273-273)/273 = 0$  lesz, ezalatt pedig már negatív szám lenne - ugyanúgy a térfogat is. Minthogy nyomás és kiterjedés nélküli anyag - vagy éppen negatív nyomás és kiterjedés - nem képzelhető el,  $-273^\circ$ -nál alacsonyabb hőmérséklet sem állítható elő. Azért nevezik ezt az abszolút zérus foknak, az innét számított  $273+t$  hőmérsékletet pedig abszolút hőmérsékletnek.

3. A harmadik lépés a kinetikus gázelmélet felállítása volt - abban az évtizedben, amely a különféle energiafajok összetartozására s a potencia alakulására ébredt. Avogadro mondta ki, hogy a gázok egyenlő térfogatában a molekulák száma állandó - Clausius, hogy ezek a gázok állandó mozgásban vannak, s hogy ütközésük az edény falába adja summázódva a nyomást, mozgásuk ereje: hőmérsékletüket. Magasabb hőmérsékleten nő a mozgás sebessége, ezért több lesz az ütközés, tehát nő a nyomás, s ha elég tér áll rendelkezésre, a térfogat is. A kinetikus gázelmélet ebben az első fogalmazásában három feltevést foglalt magában. Hogy a molekulák egyenlő sebességgel mozognak, hogy a maguk pontszerű kiterjedése elhanyagolható, hogy egymásra - az ütközéseken kívül - nincs befolyásuk. E három feltevés korrigálása - adta meg a kinetikus gázelméletnek a végső csiszolását. Maxwell szerint az ütközések után nem minden molekula pattan ugyanazzal a sebességgel tovább - hisz ütközhetnek ferdén, s ilyenkor az egyik kisebb, a másik nagyobb sebességet kap. Azaz a gázban az átlagsebességgel haladó molekulák mellett mindig lesz néhány százaléknyi nagyobb sebességű (aminek a halmazállapotok változásában van nagy jelentősége). A Maxwell-Boltzmann-féle szóródási görbe,<sup>48</sup> mely azt mutatja meg, hogy a molekulák sebessége hogy oszlik meg, a valószínűség-számítás nagy jövőjű bevonulása a fizikába. Azt, hogy a molekulák nem pontszerűek, hanem

---

<sup>47</sup> (liter · atmoszféra) (fok · mól) (a szerk.)

<sup>48</sup> eloszlás (a szerk.)

kiterjedésük van, Loschmidt vette figyelembe. Az átlag molekulák sugara szerinte  $10^{-8}$  cm. Ebből a molekulák száma is kiszámítható: [...]  $27 \cdot 10^{18}$  egy köbcentiméterben. Annak, hogy a gázok molekulái vonzzák egymást, nagy nyomás alatt, alacsony hőmérsékleten nő meg a jelentősége, amikor közelebb kerülnek egymáshoz. Ideális gáznak az olyan gázokat nevezzük, ahol ez a vonzás a molekulák nagy távolsága miatt még valóban elhanyagolható. A Boyle-Mariotte s Gay-Lussac törvénye az ilyen gázokra igaz - összenyomott s lehűtött gázok s alacsony hőmérséklet esetén ezt a van der Waals holland tudós megadta módon kell kiigazítani.

1962

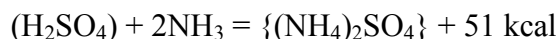
## FIZIKAI KÉMIA

A vegytannak, mint tudománynak, mindig a fizika felé esett egyik határterülete. Boyle, majd Gay-Lussac, a két nagy vegyész: nem hiába írták be - gáztörvényeikkel - a fizikába a nevük: a gázok, s általában a különböző halmazállapotok sajátságai, azoknak az átmenete egymásba: fagyás, olvadás, párolgás stb. természetete - éppúgy érdekelhették az anyagokkal foglalkozó vegyészt, mint az erők mechanikáját figyelő fizikust. Az áramló elektromosság egy újabbal növelte a közös területet. A fizikus Volta oszlopait Davy vegyi elemek előállítására használta fel - azt, hogy a sóoldatokba, savakba vezetett áram erőssége hogy függ össze a kiválasztott anyag mennyiségével, a fizikus: Faraday állapította meg - amint később az elektrolízis magyarázata, az ion elmélete is - egyszerre adott alapot a vegyi elemzésnek, s vezetett el az elektronelmélet felé. A vegyi reakciók lefolyása - a mechanikai áramlások s egyensúlyhelyzetek: a statika és dinamika közt is volt némi hasonlóság; annak a szükségét, hogy a vegytanhoz tartozó fizikai ismereteket egy külön tudományban kapcsolják hozzá a kémiához, a múlt század hatvanas éveitől kezdik igazán érezni - amikor az energia megmaradásának az elve s a kinetikus gázelmélet a klasszikus fizika fölé olyan boltot vonnak, amely alá a vegyésznek is oda kell húzódnia. Különösen a hő s munka kapcsolata - a kettő közt megtalált egyenérték lesz az, ami a vegyi reakciókat kísérő hőfejlődésre hívja tel a figyelmet - s a vegyi energiát is bevonja - az energia proteuszi arculatváltozásaiiba.

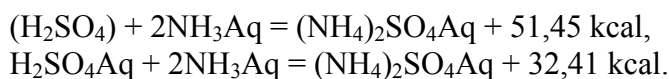
Hess 1860-ban állítja fel a termokémia alaptételét - ebben az időben ismerik fel az ionok független vándor létét: az elektroliteket, s Van't Hoff és Arrhenius a nyolcvanas években foglalják matematikai képletbe a vegyi reakciók sebességét - s a reakciók közben kialakult egyensúlyállapotot. Ez az új sok ismeret áll össze egy tudománnyá - a fizikai-kémiában (melyet mint a kémia új ágát először Ostwald adott elő a lipcsei egyetemen). Ágai történeti gyökereinek megfelelően: halmazállapotok, elektro- s termokémia, vegyi reakciók elmélete. Az atomfizika és a múlt században kialakult fizikai vegytan adta hozzá az elemi vegyfeolyamatok kémiáját (radioaktív bomlások, fotokémia).<sup>49</sup>

## TERMOKÉMIA

A vegyi reakciók közben hő termelődik, vagy hő tűnik el. Az előzőeket exoterm, az utóbbiakat endoterm reakcióknak nevezzük. A reakcióhőt a vegyülő két anyagnak grammolekulányi mennyiségére számítjuk és kaloriméterben mérjük: ahány gramm víz hőmérsékletét emeli fel egy Celsius fokkal, annyi kalória a reakcióhője. Ez az egyenlet:



azt jelenti, hogy 98 gramm kénsav és 34 gramm ammónia összehozásakor 132 gramm ammóniaszulfátot kapunk 51 kalória hő fejlődése mellett. Minthogy a reakcióhő függ a halmazállapottól - a kapcsos zárójelbe tett képlet szilárd, a gömbölyű zárójelbe tett cseppfolyós halmazállapotot jelent, a gázneműeket pedig egyáltalán nem tesszük zárójelbe. Az Aq (aqua, víz) azt jelenti, hogy az illető anyag híg vizes oldatban van jelen. Az előbbi egyenlet pontos felírása tehát - ha kénsavat tömény, az ammóniát híg oldatba hoztuk össze:



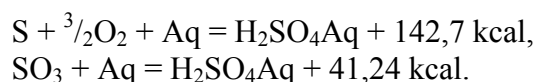
---

<sup>49</sup> a mai felosztás elnevezései kicsit különböznek ettől (a szerk.)

A két reakció közt az a különbség, hogy az elsőnél tömör, a másodiknál híg kénsavat használtunk. De ha a kénsavat külön főlhígítjuk s megmérjük reakcióhőjét, az 19,04 kilokalória. S ez a második egyenlet 32,41 kilokalóriájához hozzáadva ugyancsak 51,45 kilokalóriát ad. Vagyis mindegy, hogy a reakciót két részletbe végezzük-e el - úgy, hogy előbb a kénsavat hígítjuk fel s azt adjuk hozzá a híg ammóniához - a termelt hő összértéke ugyanannyi lesz, mintha egyben végeznénk el. Általában a termelt hő független a reakciótól - s csak a kezdeti s végállapot határozza meg.

A Hess-féle tétel nyilván az energiamegmaradás elvének kémiai alkalmazása, s azt fejezi ki, hogy egy zárt rendszeren belül a vegyületben megkötött s a hővé alakult energia összértéke nem változhat.

A reakcióhőnek több fajtáját különböztetjük meg; a képződéshő: elemeikből keletkező vegyületek reakcióhője; az égéshő: anyagok elégetésénél - a semlegesítési hő savak és bázisok semlegesítésénél keletkezik. A képződéshő ismerete azért lehet fontos, mert két vegyület képződéshőjéből bizonyos reakcióhőjük is kiszámolható.  $MgCl_2$  képződéshője 15,1 kcal, a konyhasóé 98. Ebből kiszámítható, hogy a  $MgCl_2 + 2Na = 2NaCl + Mg + ?$  kcal cserebomlás reakciója:  $15,1 + 0 = 98 + ? : 44,6$  kcal. Máskor viszont a képződéshő számítható ki a reakcióhőből. Hess például így számította ki a kén-trioxid képződéshőjét:



Amiből a két egyenlet kivonása után  $S + \frac{3}{2}O_2 = SO_3 + 101,46$  kcal  $SO_3$ ; -101 kcal (endoterm folyamat).

Az égési hőnek főként az életfolyamatok kémiájában van nagy jelentősége. A táplálék - szénhidrát, zsír, fehérje - a szervezetben reakciók hosszú során át fokozatosan ég el - a termelt hő viszont ugyanannyi lesz - ha a Berthelot-bombán egyszerre égetjük el őket. A tápanyagaink mellé írt kalóriaérték tehát valóban azt mutatja, hogy beláthatatlan folyamatok során - mennyi hő keletkezik testünkben belőlük. A semlegesítési hő mérése azt a meglepő eredményt adja, hogy akármilyen erős savat és erős bázist hozunk össze: sósavat nátronlúggal vagy klórsavat báritvízzel:<sup>50</sup> a semlegesítési hő mindig 13,85 cal lesz. Ennek a csodálatos egyezésnek igen egyszerű oka van - az efféle semlegesítésnél mint a  $Na^+OH^- + H^+Cl^- = Na^+Cl^- + H_2O$  egyenlet is mutatja - tulajdonképp meleg víz keletkezik - a nátrium- és klórionok továbbra is oldatban maradnak.

A termokémiai egyenletben jelölt folyamat sokszor nem zajlik le egészen. Ha szalmiákot hevítünk: ammónia és sósavgáz keletkezik - viszont ammónia és sósavgáz is ad szalmiákot. A reakció tehát kétirányú, amit így jelölünk:  $NH_4Cl \leftrightarrow NH_3 + HCl$ . Aszerint, hogy milyen lesz az elbomlott s el nem bomlott molekulák aránya - a disszociáció foka - a reakció foka is változni fog. A Guldberg-Waage-féle tömeghatás törvény azt mondja, hogy a  $\frac{[NH_3][HCl]}{[NH_4Cl]} = K$  - egy bizonyos hőmérsékleten állandó. A termokémia problémakörébe tartozik az a kérdés is, hogy bizonyos reakciók egy része mért folyhat le csak egy irányban: a NaOH és HCl sóvá (NaCl) egyesül - de a só külön erő (áram bevezetése) nélkül nem eshet szét vizes oldatában nátronlúggá és sósavvá. Erre a kérdésre a termodinamika második tétele ad feleletet. A hő rendezetlen mozgás - rendezett mozgás teljes egészében alakulhat rendezetlenné -, megfordítva ez lehetetlen. A hőenergiának csak egy része alakulhat át hasznos munkává [...]. A „szabadenergia” változás azt méri, hogy mennyi. Önként csak olyan folyamatok folynak le a természetben, amelyekhez van elég csökkenteni való szabad energiánk. A só sósavvá (HCl) és nátronlúggá (NaOH) alakulásához - nincs elég; azt valahonnan kívülről kell a rendszerbe bevinni.

<sup>50</sup> bárium-hidroxid vizes oldata (a szerk.)

## A REAKCIÓK LEFOLYÁSA (VEGYI MECHANIKA)

A nátronlúg és sósav pillanatok alatt semlegesítik egymást - más reakciókhoz, például az elszappanosításhoz hosszabb idő szükséges. A reakcióknak van tehát sebességük. A mozgó testek sebességével - a különböző sebességű mozgások egyensúlyi helyzetével - a mechanika foglalkozik. Minthogy a modern természettudomány a mechanika ihletésében keletkezett, a reakciósebességgel - a mechanika mintájára a múlt század derekán megalakult a reakció-mechanika. A reakciókinetika: az egyirányú reakciók lefolyásával - a reakció-sztatika: a kétirányú, megfordítható reakcióknál kialakult egyensúlyhelyzetekkel.

A reakciósebesség is az idő függvénye - csak ez nem az időegység alatt megtett utat, hanem a kialakult anyagoknak az átalakulását - a koncentráció csökkenését méri. Vagyis a reakciósebesség a koncentráció idő szerinti differenciálhányadosa. Mitől függ a reakciósebesség nagysága? A kiindulási anyagok molekuláinak föl kell előbb bomlaniuk, hogy a bennük levő atomok új molekulába rendeződjenek. Ahol atomok lépnek reakcióba - vagy elektrolitek ionjai -, ott a reakció pillanatnyi - hisz nincs mit felbontani. Gázok vagy oldatok molekuláinak a szétbomlásához az kell, hogy a különböző molekulák összeütközzenek. Minél nagyobb egy-egy molekula kinetikai energiája - annál valószínűbb, hogy az összeütközésnél szétbomlik. A Maxwell-Boltzmann-törvény szerint azonban egy gáz molekuláinak csak egy része van ilyen nagyobb energiájú aktivált állapotban; s csak ha ezek elbomlottak, akkor aktiválódhatnak újabbak. A reakció ezért lesz vontatottabb. A hő növeli a molekulák kinetikus energiáját - növeli hát az összeütközések számát is; a hő ezért siettet a vegyi folyamatokat. De megnőhet a molekulák belső energiája is: hidrogén és klór sötétben nem vegyül - fény hatására azonban igen: a fény aktiválta a molekulákat.

A reakciósebesség arányos tehát az ütközésszámmal. Az, hogy az anyag egy molekulája hányszor ütközik, függ a körülötte levő B anyag koncentrációjától - s a körülmények egy arányossági állandójától. Vagyis az ütközések száma  $U = k_1 \cdot C_B$ . Minthogy azonban nem egy A molekula ütközik, az összes ütközések száma függeni fog az A koncentrációjától, s egy másik arányossági állandótól is:  $U = k_1 k_2 C_A C_B$ . A reakciósebesség arányos U-val, tehát  $v = k C_A C_B$ , ahol k a két egyenlet összevonása után nyert arányossági tényező. Azaz a reakciósebesség a két anyag koncentrációjának a szorzatával lesz arányos.

A reakciókat - a reakciósebesség érdekében - felosztjuk bi-tri-molekulás - és első-másod-harmadrendű reakciókra. Bimolekulás egy reakció, ha két molekula anyagra van szükség a megindulásához. A  $2CO + O_2 = 2CO_2$  trimolekuláris, mert bár két anyag szerepel benn, de a szénmonoxidból két molekulára van szükség a megindulásához. Ez a két molekula a reakciósebesség kiszámításánál úgy számít, mintha két külön anyag egy-egy molekulája volna. Vagyis  $v = k \cdot C_{CO} \cdot C_{CO} \cdot CO_2 = k \cdot C_{CO}^2 \cdot CO_2$ . A több molekulával résztvevő anyagnál annyiadik koncentrációhatványát kell venni, ahány molekulával vesznek részt benne. A reakció rendisége azt jelenti, hogy hány kiinduló anyag koncentrációja szabja meg a reakciósebességet. A higany-oxid elbomlása higanyra és oxigénre például elsőrendű reakció. A jód egyesülése higannyal viszont már másodrendű. (A harmad- és magasabbfokú reakciók már nem ilyen könnyűek.) Elsőrendű reakciókat a következő differenciálegyenlet megoldása adja:

$$dC/dt = k \cdot C$$

Ebből az integrálással:<sup>51</sup>

$$k = (1/t) \cdot \ln(a/(a-x')),$$

---

<sup>51</sup> differenciálegyenlet megoldással (a szerk.)

ahol „a” a kiindulási koncentráció, x pedig a t idő alatt átalakult anyag koncentrációja. Másodrendű reakcióknál

$$k = (1/((a-b)t)) \cdot \ln((b(a-x))/(a(b-x))).$$

Míg a  $dC/dt$  egy pillanatról pillanatra változó, tehát mérhetetlen koncentrációjú mennyiségekkel van megadva - ezek a mennyiségek már mérhetők, s egymásból kiszámíthatók.

A legtöbb reakció kétirányú - nemcsak balról jobbra, de jobbról balra is lefolyhat. Alkohol és sav észterre egyesül. Az észter és a víz viszont elbomlik savra és alkoholra. (Éppígy a hidrogén-jodid is visszabomlik jódra és hidrogénre.) A kétirányúság az oka, hogy a legtöbb reakció nem tud teljesen lefolyni - amikor a kiinduló anyagok egy része elfogyott - a keletkezett anyagok felől megindul az ellentett reakció -, s a két szembe tartó reakciónak egy egyensúlyhelyzet lesz a következménye. Ez az egyensúlyhelyzet nem azt jelenti, hogy nem történik semmi, hanem azt, hogy az egyik irányba átalakuló molekulák száma ugyanakkora, mint az ellentétes irányba átalakulóké - azaz csak az eredmény az, mintha nem történne semmi. Ez a dinamikus egyensúly akkor következik be, ha a két folyamat reakciósebessége egyenlő egymással. Az alkohol + ecetsav = észter + víz reakció  $k_1 C_{\text{alk}} C_{\text{ecet}} = k_2 C_{\text{észter}} C_{\text{víz}}$  amiből  $k_2/k_1 = (C_{\text{alk}} \cdot C_{\text{ecet}})/(C_{\text{észter}} \cdot C_{\text{víz}})$  Minthogy a  $k_2/k_1$  állandó szám, ez az egyenlet (tömeghatás törvénye) - azt mondja ki, hogy megfordítható reakcióknál a bal oldalon levő anyagok koncentrációjának a szorzata, osztva a jobb oldalon levők koncentrációjával konstans „egyensúlyi” állandó. Az egyensúlyi állandó - éppúgy, mint a reakciósebesség - természetesen függ a hőmérséklettől. A tömeghatás egyenletéből az is levezethető, hogy tehetjük az egyensúlyra vezető reakciókat teljessé. A  $(C_{\text{alk}} \cdot C_{\text{ecet}})/(C_{\text{észter}} \cdot C_{\text{víz}})$  törtben, minthogy a tört értéke állandó szám, a vízkoncentráció csökkentéssel (például a vizet tömény kénsavval vonjuk el) az észterkoncentráció tetszőlegesen nagyra tehető. Ha viszont ellenkező irányba akarjuk meglóditani, akkor sok vizet kell bevinnünk, vagy az alkoholt, illetőleg az ecetsavat elvezetnünk.

Bizonyos reakciók egy harmadik anyag jelenlétében egyre gyorsabban folynak le; a sebesség megnő anélkül, hogy maga a siettető anyag - a látszat szerint - a reakcióban részt venne. Hidrogén és oxigén közönséges hőmérsékleten nem egyesül vízzé, de ha epruvettában hidrogént fejlesztünk, s az üvegcsövön áramoltatjuk a levegőbe - s a kiáramlás helyére platinataplót teszünk, a hidrogén a levegő oxigénjével vízzé egyesül. Ugyanígy siettet a platinatapló kén-dioxid átalakulását kén-trioxidá is. A platinatapló a reakció közben nem változik, az azonban látszat, hogy nem is vesz részt benne. Az érdes platinatapló felületén megtapadó [...] gázmolekulák atomokra hasadnak, s az atomok közt nincs szükség többé aktiválási energiára. Más katalizátorok - magában a vegyi folyamatban is részt vesznek. A metilek gőze - ha oxigénnel melegítjük, metilaldehiddé oxidálódik. Ha a keveréket izzó réz-piriten vezetjük át: a reakció gyorsabban folyik le. A réz az oxigénnel réz-oxidá egyesül, s ez oxidálja a metil-alkoholt a következő egyenlet szerint:  $\text{CuO} + \text{CH}_3\text{OH} = \text{Cu} + \text{CHOH} + \text{H}_2\text{O}$ . A visszaalakuló réz látszólag megint változatlan marad.

A vegyészeket ősidőktől érdekelte, mi az, ami anyagaikat egymás felé hajtja s egyesülésre bírja. Úgy hitték: vonzódnak egymáshoz, vagy restek a reakcióra. Ezt a vonzódást a XVIII. században - mint affinitást kezdték tanulmányozni, erejét táblázatokba foglalni. A XIX. században, amikor az energiamegmaradást - hő s munka egyenértékét felfedezték, Berthelot azt gondolta - hogy az affinitásnak a vegyi reakciókban termelt hő lehet a mértéke. Azonban vannak hőemésztő folyamatok is - a megfordítható reakciók (s majd mindenik az) egyik irányba természetesen endotermek. A tömeghatás törvénye egyszerű magyarázatot ad az affinitásnak. Minden reakció bizonyos egyensúlyi helyzetre törekszik. Minél messzebb állnak tőle az egyesülésre lépő anyagok, annál inkább, amit másképp úgy is mondhatunk: minél nagyobb a szabad (munkaként kivehető) energiájuk.

## ELEKTROKÉMIA

Davy avval, hogy Galván s Volta áramát - só-, sav-, lúg oldatokba is bevezette: megalapította az elektrokémia alapját. Igazi tudomány azonban ezekből az úttörő tapasztalatokból akkor lett, amikor Faraday - az áram erőssége s a be s kivezetés helyén kivált anyagok mennyisége közt a mennyiségi összefüggést megállapította. Faraday azt tételezte fel, hogy a vizsgált oldatokban - az elektrolitekben - az elektromosság anyag részeihez kötve vándorol - a két sarok felé. Az ion szó - a görög jární igét vitte át ezekre a részekre - e vándorlók közül azok, melyek a pozitív sarok felé mennek, az anionok, a negatív sarok felé a kationok [...] (le s fölfele menők). Faraday első törvénye az áram erőssége s a kivált anyag mennyisége közt állapítja meg az összefüggést. Ahányszor több Coulomb elektromos mennyiség megy át az oldaton - annyiszor több a kivált anyag mennyisége. A másik törvény: a különböző elektrolitekből leválasztott anyagmennyiségekre vonatkozik. Ugyanolyan erősségű áram által kiválasztott anyagok mennyisége úgy viszonylik egymáshoz, mint egyenértéksúlyuk (azaz ion atomsúlyuk osztva a kiváló ion vegyértékével). A harmadik tételt később tették hozzá: egy mól-egyenértéksúlynyi anyag kiválasztásához 96 540 Coulomb áram elektromos mennyiségre van szükség. Azaz a nátronlúgból negyven gramm nátriumot éppúgy 96 540 Coulomb fog leválasztani, mint CaSO<sub>4</sub>-ből húsz gramm (40:2) kalciumot. Faraday két törvényét még a harmincas években állította fel - az ionelméletet teljessé tevő másik tételt a svéd Arrhenius közel ötven esztendő múlva. Eszerint az ionokat az erős sók, bázisok oldatából nem az áram választja le - hanem azok ott már mint ionok vannak jelen. Az erős és gyenge sók, savak és lúgok közt épp ez a különbség, hogy az egyikben a molekulák csaknem teljesen mint ionok vannak oldva - a másokban még molekulák alakjában. Az ionokra való bomlás disszociációfoka - az elektrolitek vezetőképességével arányos. Minél több ion van az oldatban, annál jobban vezeti az elektromos áramot. Erős elektrolitek épp ezért jobban vezetnek, mint gyengék, nagyobb koncentrációjú elektrolitek, mint a hígak. A vezetőképesség mérésével (számbavéve, hogy az reciproka értéke az ellenállásnak) így a disszociáció mértékét is mérhetjük.

*Tömeghatás törvénye az elektrokémiában.* - A disszociációt is felfoghatjuk úgy, mint elsőrendű vegyi folyamatot - az ionok mennyiségét csak egy anyag koncentrációja szabja meg. [...] <sup>52</sup> Gyenge savaknál és bázisoknál - ahol a disszociációfok kisebb - a nem disszociált molekulák száma - tehát a tört nevezője - nagyobb lesz, a tört viszont kisebb; erős savaknál és bázisoknál, ahol a disszociáció csaknem teljes - a nem disszociált molekulák száma s a tört nevezője kisebb - maga a tört viszont nagyobb lesz. A disszociáció állandó így tehát arányos a savak és bázisok erősségével: a jódsav  $1,9 \cdot 10^{-1}$  állandójával erős sav, a szénsav  $1,8 \cdot 10^{-12}$ -vel igen gyenge. Kis mértékben a víz is disszociál H és OH ionokra  $K = \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]}$ . A disszociálatlan vízmolekulák száma itt állandónak vehető, úgyhogy  $K' = H^+ [OH^-]$ . Ezt nevezzük a víz ionszorzatának, értéke  $10^{-14}$ . De ha  $H^+ OH^- = 10^{-14}$  s a H és OH ionok száma egyforma, akkor  $H^+ = 10^{-7}$ . A víz ionszorzata nem változik, ha a vízben közömbös sót oldunk fel - de nem változhat akkor sem, ha sav vagy bázis, amit feloldunk. Ilyenkor csak a H és OH ion koncentrációja az, ami változik. A sósav  $H^+$  ionkoncentrációja például  $10^{-3}$  (minthogy a víz eredeti  $10^{-7}$ -je emellett elhanyagolható); most  $(10^{-3}) \cdot [OH^-] = 10^{-14}$ , tehát a másik tényező  $10^{-11}$ . Ha viszont egy lúgunk OH koncentrációja  $10^{-4}$ , akkor a hidrogénkoncentráció lesz  $10^{-10}$ . A savak és lúgok hidrogénkoncentrációjuk szerint tehát egy sorba állíthatók, melynek közepén áll a víz. Minél kisebb a víztől balra eső savak negatív kitevője (vagy mondjuk negatív logaritmus), annál erősebb a sav, s minél nagyobb a víztől jobbra eső lúgé, annál erősebb a

---

<sup>52</sup> Az ecetsav disszociációs állandóját úgy foghatjuk fel  $K = \frac{[H][A_c]}{[ecetsav]}$ . A disszociációfok egyszerű összefüggésben van a disszociációs állandóval. (a szerk.)

lúg. A hidrogén-ion koncentrációjának ez a negatív logaritmus - az úgynevezett  $p_H^{53}$  - tehát a savakra és lúgokra igen jellemző számadat. Ha azt hallom, hogy egy sav  $p_H$ -ja -5: akkor tudom, hogy gyenge sav - ha azt hallom, hogy -14, tudom, hogy erős bázis. Mi történik, ha egy gyenge savoldathoz erős savat öntünk? Az oldatban ilyenkor lényegesen több hidrogén-ion lesz. De minthogy a sav koncentrációs állandója nem változhat, a  $K = (H^+ [A_c^-])/[ecetsav]$  állandó - a tört nevezőjének kell nőnie, hogy a tört értéke a  $H^+$  értéknövekedése ellenére ne változzék. Az oldatból ecetsavmolekulák válnak ki; az erős sósav a gyengébb sav disszociációját visszaszorítja. Ugyanez történik akkor is, ha a vízbe nem ecetsavat, hanem nátrium acetátot oldunk - hisz a nátrium acetát a víz H és OH ionjaival szintén Na, H, acetát és OH ionok alakjában van jelen. A sósav hidrogénje tehát itt is csökkentheti az erős bázis disszociációját. Ugyanakkor a nátrium és klór disszociáltan marad: ez az, amit úgy szoktunk leírni, hogy a sósav, mint erősebb sav, az ecetsav sójából kiszorította. Ugyanígy az erős bázisok is csökkentik a gyengébb koncentrációját - s kiszorítják őket.

Az olyan oldatokat, amelyeknek hidrogénkoncentrációjuk meglehetősen állandó - ha sem sav, sem lúg hozzáöntése nem változtatja meg nagyon - puffer oldatoknak nevezzük. Hogy készíthetünk ilyen puffer oldatot? Öntsünk nátrium acetáthoz ugyanannyi ecetsavoldatot. Minthogy az ecetsav gyengén, a nátrium acetát pedig, mint minden só, erősen disszociál - az acetát vissza fogja szorítani az ecetsav disszociációját - a nátrium acetát csaknem teljesen disszociált, az ecetsav pedig teljesen disszociálatlan állapotban lesz jelen. Ha ehhez az oldathoz most erős savat adunk, annak a hidrogénje egy gyenge savat szabadít fel - mely csak kevésbé disszociál, s az anionja mint nátrium acetáthoz kötött NaCl lesz jelen. S a hidrogénkoncentráció közben teljesen elhasználódik. Pufferokat alkot: bármely gyenge sav s annak erős bázissal alkotott sója - gyenge bázis s annak erős savakkal alkotott sója. A pufferkapacitás azt adja meg, hogy mennyi savat vagy lúgot kell a pufferoldathoz adni, hogy  $p_H$ -ja egy egységgel eltolódjék.

Az indikátorok olyan gyenge savak vagy bázisok, amelyek  $p_H$ -juk változását egy határon túl színváltozással jelzik. A lakmusz  $p_H$ -ja hétnél vörös és kék szín keverékét adja. Olyan oldatokban, amelyek  $p_H$ -ját hatra tolják el, a lakmusz vörös színű lesz, amelyek nyolc felé, kék. Más indikátorok átcsapási hatása más értékeknél következik be. A metiloranzs három felé rózsaszín, négyen túl narancs, a fenolftalein, amely gyenge lúg, nyolcnál színtelen, tíznél rózsaszínű. Ha egy ismeretlen oldatból több kémcsőbe teszünk egyenlő mennyiséget, s azokhoz különböző indikátorokat adunk - a színváltozás meghatározza az illető oldat  $p_H$ -ját. Ha a lakmuszt vörösre festi - de a metiloranzst narancsszínűre, akkor annak a  $p_H$ -ja csak négy és öt közt lehet.

1962

---

<sup>53</sup>  $p_H$ : oldatok hidrogénionkoncentrációjának negatív logaritmus (a szerk.)

## A XVIII. SZÁZAD FIZIKÁJA

A XVII. század nagy alkotása a mechanika megteremtése volt. Az új fénytani eszközök a geometriai optikát fejlesztették, s a fénytörés, prizmák tanulmányozása: a fény természetét tették a fizika két századon át vitatott problémájává. A XVIII. század fizikája a mozgás és a fény után más, eddig kevésbé tanulmányozott jelenségeknek (mint hő, elektromosság) igyekszik a mechanika mintájára a szaktudományát kialakítani - s közben mind jobban felismeri a mérés jelentőségét. Ha a XVII. század a matematikával kapcsolta össze a fizikai jelenségeket, a XVIII. század (melynek egyik jellemző alkotása a méter-, kilogramm-, secundum-rendszer lesz) a méréssel megközelíthetőket fogta meg. Jellemző például, hogy a fénytant, mely nagy előreugrása után a XVIII. században szunyókált, mint új ággal épp a fényintenzitás mérésével, a fotometriával bővítette. Azt, hogy a megvilágítás erőssége a fényforrás[tól való távolság] négyzetével fordítottan arányos, már Kepler is tudta vagy sejtette - az első fotométert, amely ismeretlen fényforrások - sőt égitestek megvilágítását összehasonlítva mérni tudta, csak 1760 táján szerkesztették meg. Pedig a fotométer elve igen egyszerű. A két fényforrás (az ismert s az ismeretlen fényerejű) lukon át két keretbe foglalt, átlátszó lapot világított meg. Az ismeretlen fényforrást addig kellett távolítani s közelíteni, amíg a szem a lemezek megvilágítását egyformának érzi: ilyenkor a távolság négyzetéből s a beesés szögéből a megvilágítás fényereje kiszámítható. Ha a XVII. század tudósai a mérést fontosnak érezték volna, maguk is szerkesztettek volna hasonló készüléket.

Hogy egy új tudományág munkatervében mi az, amit a tizenhetedik század végzett el, s mi, amit a XVIII. - jól mutatja az akusztika története. Az akusztika a fizikának a mechanikához legközelebb eső ága, hisz a hangrezgés szülöttje: a megpendített húr rezgésbe jön - s a levegőben, a víz hullámaira emlékeztető módon fut tovább. Nos, Galilei már tudta, hogy a hang magassága a másodperc alatt végzett rezgések számától függ, nagyobb rezgésszám magasabb, kisebb mélyebb hangként hat fülünkre. Azt is megállapította, hogy a rezgések száma a húr hosszával fordítva arányos, hosszabb húr mélyebb hangot ad. Galilei barátja, Mersenne azt derítette ki, hogy a rezgésszám hogy függ össze a húr feszültségével s tömegével. A kettőből alkotott tört négyzetgyökével arányos. Vagyis a XVII. század derekára már a kezükben volt a rezgés képlete, melyet ma így írunk fel:

$$n = 1/(2L) \cdot \sqrt{T/m}$$

ahol  $n$  a rezgésszám,  $L$  a húr hossza,  $T$  a feszültség,  $m$  a tömeg. Azt, hogy a hang a vízbe ejtett kő nyomán támadó hullámokhoz hasonlóan terjed, Hooke már Huygens előtt kimondta (Huygens inkább a fény hullámszerű terjedésére helyezte a súlyt). A pumpával kísérletezők - Guericke, a Royal Society tudósai - pedig azt vették észre, hogy a hang a fényvel ellentétben légüres térben nem terjed.

Mit ad hozzá a XVIII. század ezekhez az alapvető eredményekhez? A francia akadémia megbízásából különbizottság méri meg a hang terjedési sebességét. Priestley, a gázok vegyész: megméri, hogy változik ez a sebesség a gázok sűrűsége szerint hidrogénben, oxigénben, és szén-dioxidban, a hangok ütközését rezgésmérésre használja fel, végül megállapítja le s fölfelé (percenként húsz és négyezer rezgésre téve) a hallhatóság határait. Mindazt tehát, ami méréssel megfogható. Chladni a porral behintett - s hegedűvel megpendített üveglapon a hanghullámokat szemléltethetővé is teszi [...]. Minthogy azonban a hangvillát nem ismerik még, a rezgésinterferencia tanulmányozása a XIX. század nagy tudósára, Helmholtzra marad. Azaz a XVIII. század a XVII. század nagy szellemi forradalmában földobott felismeréseket mérésével kicsiszolja, [...] a muzsikusok hatásköréből végleg kiszabadítva - természettudo-

mánná teszi; - a betetőzést, mint más tudományágak is - a XIX. század nagyobb apparátusára - s szélesebb szempontjaira hagyja.

A hőtant a mérés teszi tudománnyá. A hőtan előfeltétele: a hőmérő megszerkesztése volt. Az első hőmérő félét Galilei szerkesztette - s a hő mérésére már ő is a legkézenfekvőbb jelenséget: a testek hő okozta kiterjedését használta fel. Az ő termoszkópja egy üveggömb, melyből egy üvegcső nyúlik ki. Ha a gömböt kezünkkel melegítjük s a csövet lefelé, egy üvegedénybe merítjük: a víz abban addig emelkedik, amíg a gömbben felmelegedett s kiterjedt levegő engedi. Ha a gömböt lehűtjük, a levegő összehúzódik, s a víz magasabbra emelkedik. Galilei termoszkópja tehát léghőmérő - a levegő hő okozta kiterjedését s összehúzódását méri - a vízszint emelkedésével, süllyedésével. A termoszkóp azonban, mint csakhamar kiderült, nemcsak a hőmérsékletet, hanem a vízszintre nehezedő légnyomást is mérte. Ahhoz, hogy igazi hőmérő - termométer legyen belőle: 1. ki kellett zárni a légnyomás hatását, 2. megbízható skálát kellett szerkeszteni, melynek megvan a minden hőmérőn azonos nullpontja.<sup>54</sup> Elvben mindkettő megtörtént már a tizenhetedik században. A Torricelli-kísérlet megmutatta, hogy lehet a levegőt a mérőanyag felől eltüntetni. Galilei gazdája, II. Ferdinánd toscanai herceg már a higanyt használta hőmérésre - Newton azt ajánlta, hogy a fagyó víz hőmérsékletét használják zérus pontul. Az igazi, használható hőmérőt mégis csak a tizennyolcadik század második felében alkották meg, amikor a meteorológiának, az új tudománynak (melyet szintén a mérés szenvedélye lendített fel) légnyomásmérők mellett megbízható s állandósított hőmérőkre lett szüksége, melyeknek az adatait összehasonlítással felhasználták. A három ismert hőmérő fajta megteremtői: Fahrenheit, Réaumur s a svéd Celsius nevét őrzi. Fahrenheit kiinduló pontul a maga só-vízkeverékét használta, felső pontul száz fokként az egészséges ember testhőmérsékletét. Ezen a hőmérőn a fagyópont 32 fok, a víz forráspontja pedig 212 fok lett. Réaumur a víz fagyáspontjából indult ki, s beosztásán a forráspont véletlen esett épp nyolcvan fokra. Celsius a forráspontból indult ki mint nulla fokból, s a fagyáspontot tette meg száz foknak. Ennek a számozásnak az az előnye volt, hogy nem kellett negatív számot használni: a mi -30 fokunk 130 fok volt.<sup>55</sup> A Celsius-hőmérőből alakult ki a mai higanyos hőmérő. A folyadékhőmérők közös hibája (a higanyé legkevésbé), hogy kiterjedésük nem egyenletes. Gay-Lussac vette észre a XIX. század elején, hogy a gázok kiterjedése csaknem egyenletes - tudományos célokra azóta használnak gázhőmérőket (maximum-minimum hőmérő).

A döntő lépést a skót Black, az edinburghi egyetem tanára tette meg. Skócia akkoriban rengeteg értékes embert adott a világnak. Skót volt Burns, az első népi költő, Hume, az ismeretelmélet, Adam Smith, a közgazdaságtan megalapítója - s egy skót, Black, lendíti meg - épp mérőszendélyével - a kémiát, s önállósítja a hőtant - s az ő műszerésze konstruálja az első gőzgép modelljét. Black megmérte az olvadni kezdő víz hőmérsékletét, s azt látta, hogy az jó ideig zérus fokon marad - bár ő melegíti, azaz új és új melegmennyiséget vezet be; ugyanígy a forró víz is igen sok meleget vehet fel anélkül, hogy hőmérséklete feljebb emelkedne. Ez nagy jelentőségű észlelet volt. Ezidáig azt hitték, hogy a hőfok arányos a testtel közölt melegmennyiséggel. Most kiderült, hogy a kettő - a hő intenzitása s mennyisége - két különböző dolog, amelyet külön is kell mérni.

Black másik fontos fölfedezése az volt, hogy az a hőmennyiség, amely az egyes anyagok hőmérsékletét egy bizonyos fokkal felemeli - anyagonként más. Addig azt hitték, hogy ez a hőmennyiség - a fajhő - az anyag sűrűségével arányos. Ez azonban nincs így - a higany fajhője nem tizenháromszor nagyobb, mint a vízé. Laplace és Lavoisier óta természetesen a faj-

---

<sup>54</sup> zérus pontja (a szerk.)

<sup>55</sup> a mai Celsius-hőmérőnél a víz forráspontja 100° és a fagyáspontja a 0° (a szerk.)

hőt is kalóriában fejezzük ki. Az, hogy a víz fajhője egy, azt jelenti, hogy egy kilogramm víz hőmérsékletének egy fokkal való fölemeléséhez egy kilokalória hőmennyiségre van szükség.

A hőmérséklet után most új eljárásokat eszelnek ki a hőmennyiség mérésére is. A tudománynak ebben az összeszóttságában egy matematikus-csillagász s egy vegyész - Laplace és Lavoisier - fognak össze, hogy megbízható hőmennyiségmérőt, kalorimétert szerkesszenek. A meleg mennyiségét ők a kaloriméterben melegített víz hőfokával mérték - egy kalória az a melegmennyiség lett, amely egy gramm víz hőmérsékletét egy fokkal emeli fel.

A hőmérsékletnek és hőmennyiségnek ez a szétválása még jobban fölhívta a figyelmet a hő természetére. Mi is hát az a hő? A lehetséges elméleti válaszok - mint a fény esetében - itt is megvoltak a XVII. században. A kézenfekvő, hogy az valami igen finom anyag, amely egy meleg testből a hidegebbe megy át. A másik, [...] - a nehezebben utat törő -, hogy az az anyag legkisebb részeinek a mozgása. A XVIII. század nagy vegyészei általában a hőanyagot még az elemek egyikének tekintették - Lavoisier elem táblázatában a kalória a még könnyebb „fény” után következik. Egy amerikai, Thompson volt, aki döntő bizonyítékot hozott fel a mozgásmélethez. Ő volt az első amerikai, aki Franklin mellett a tudománytörténetbe beírta a nevét; igaz, hogy közben át kellett hajóznia Európába, ágyúszakértővé válnia, Thompsonból lord Rumforddá - nemesednie. Ő sajátos kalorimétert szerkesztett - amelyen a megméréndő melegmennyiséget egy fűrés alatt levő ágyúcső szolgáltatta. Az ágyúcsőbe nem vittek be semmit, csak a fűrészt, tehát mozgást - s a körülötte levő víz mégis fölmelegedett, sőt forrni kezdett. Kellett-e világosabb példa, hogy amit a víznek átadtak, maga is csak valami mozgás lehet? Rumford kísérleteinek ennek ellenére még fél századig kellett várnia, míg a [...] fizikai betetőző jelentőségét megértették, s a század közepén méltányolták. Addig inkább az általa föltalált [...], s az általa bevezetett angolkertek - őrizték Münchenben a nevét.

*Elektromosság.* - A fizikai jelenségek legelhanyagoltabb része, melyeket a XVIII. század alapozott meg s vont be a szervezett tudományok körébe, az elektromos jelenségek voltak. Az elemi elektromos jelenségről már az ókorban s középkorban is tudtak. Az elektromosságot Gilbert, a mágnesség kutatója nevezte először a borostyánkő görög nevén „vis electria”-nak, Guericke - s sokan mások - elektromos kísérleteket is végeztek. De szinte valamennyi döntő felfedezés a XVIII. század második felére maradt. Gray tett először különbséget szigetelő és vezető között. Vannak testek, amelyek dörzsölve - vonzóerőt fejtenek ki; mások, főként a fémek, nem. Ő arra is rájött, hogy mért. Mert a fémek vezetnek, továbbadják az elektromosságot, a szigetelők pedig magukban tartják, tárolják mintegy. Ha a vezetőt elszigeteljük: az elektromossá tehető. Du Fay, a párizsi botanikus vette észre, ugyanez idő tájt, hogy a szigetelőkben dörzsöléssel előállított elektromosság kétféle lehet: ha üveget dörzsölünk, másféle elektromosságot nyerünk, mint ha gyantát. Az egynemű elektromossággal telt rudak taszítják egymást - a különeműek vonzzák. Már a század első felében Angliában elektromosság-fejlesztő gépeket is szerkesztettek. Legegyszerűbb fajtájuk egy fogantyúval forgatható üvegkorongban egy bőrpárna dörzsöléssel elektromosságot gerjeszt - melyet a korongról fémfésű vesz, s vezet a tároló fémgömbbe. Abból az elektromosság kezünkkel elvezethető - ha a töltés elég erős, a kéz közelítésekor szikrák ugranak ki. Az elektromosság mennyiség tárolását tette lehetővé: az elektromos megosztás jelensége. Egy elektromos vezető a közelében levő szigetelt vezetőben a kétféle elektromosságot szétválasztja: az ellenkező neműt maga felé húzza, az egyezőt a test távolabbi részébe taszítja. Így minél több elektromosságot juttatunk az egyik testbe - vagy ahogy mondják: fegyverzetbe -, annál több ellenkező elektromosság halmozódik fel a másikban; szigetelővel elválasztott két fegyverzetben - sűrítőben - így nagy mennyiségű elektromosság található. A sűrítők közül a leghíresebb a leideni palack volt: ebben a palack üvege a szigetelő, a két fegyverzet pedig a belsejét s a külsejét borító sztaniolemez. A leideni palack előállítója tapasztalta első ízben - nem kis rémületére - a testén átugró szikra alakjában

az áramütést. Attól fogva sokat játszottak a sűrítők kisütéseivel. Szórakoztatásul katonák egész sora [...] ugrott a levegőbe - a testükön átugró szikrával.

A század közepén már elég sok elektromos jelenséget ismertek ahhoz, hogy - mint a fényről vagy a hőről - elméletet állítsanak fel mibenlétéről. Az egyik elmélet felállítója a nagy Franklin Benjamin - aki szegény nyomdász fiából lett tudós és államférfi - s drót „antennás” selyemsárkányával már a viharos levegő elektromosságát is be tudta vezetni leideni palackjába - s a villám szikra voltát bebizonyítva, azt az első villámhárítóval - egy magasba nyúló s földbe futó dróttal - a maga megválasztotta helyre, a földbe vezette le. Őszerinte csak egy elektromos folyadék van - a pozitív, üveg elektromosságú testben ebből több van, a negatívban meg kevesebb - azaz a kétféle elektromosságot a közömbös testekben is ott levő folyadék meggyarapodása vagy megapadása hozza létre. A francia Coulomb viszont kétféle folyadékot tételezett fel - amelyek a nem elektromos testekben sav-lúgként közömbösítik egymást. Ma tudjuk, hogy a kétféle elmélet közül a Frankliné járt közelebb az igazsághoz<sup>56</sup> (csak épphogy a pozitív elektromos testben van elektronhiány, s a negatívban bőség) - de az akkor ismert jelenségeket Coulomb feltevése is jól megmagyarázta.

Természetes, hogy a mérések kora - az elektromosságot is megtanulta mérni: két aranylemez, melybe egy vezetőkön elektromosságot vezetnek, szétugrásával már megmutatja a töltést; ha ezt még egy skálával látjuk el - az elektroszkópból elektrométer lett. A két egymásra ható test közt fellépő erőt is többen megmérték - a legszellemesebben Coulomb, egy torziós inga segítségével. A mérések azt mutatták, hogy a fordított négyzetek törvénye itt is érvényes: két egymásra ható test között fellépő vonzó vagy taszító erő a távolságuk négyzetével fordítottan arányos.

*Elektromos áram.* - Az elektromosságot most már tudták fejleszteni - mérni -, volt elmélete is: azt azonban senki sem gondolta még a francia forradalomban - a század záró éveiben - sem, hogy ez a játékszerű befogott erő emberi életünknek a nagy forradalomnál (nem is beszélve Napóleontól) is nagyobb átalakítója lesz. Pedig akkor már a páduai orvostanár, Galvani műhelyében megrándult az a bizonyos békacomb - a medikus bonckése alól. Galvani az állati elektromosságot tanulmányozta: a villamos halak csapásait - amelyeket a léghő mintájára szintén elektromos kisüléssel magyarázott. S e rángásokat - melyek mindig bekövetkeztek, valahányszor a békacomb akár a kerítésen függött, akár benn a kapun - két különböző fémrel, cinkkel és rézzel érintkezett - szintén az állati test elektromosságával próbálta magyarázni. Egy másik olasz: Volta mutatta ki - hogy az elektromosság forrása nem a békában, hanem a fémekben van: két különböző, nedves papírlemezzel összekötött fémlap mindig termel elektromosságot - a fémek a termelt elektromosság mértéke szerint bizonyos elektromos sorba is állíthatók. Az így termelt elektromosság nem volt sok - de állandóan termelődött -, s ha e kis elemekből (réz, nedves papír, cink) mindig ugyanabban a sorrendben egész oszlopokat állított össze - azok állandóan folyó elektromosságot, elektromos áramot szolgáltatottak. Ő készítette el az első Galván elemet is: réz- és cinkrudat állított híg savba - ha több ilyen elemet kapcsolt sorba, s az egyik elem cinkoszlopát a következő rézoszlopával kapcsolta össze: az egyes cellák által termelt áram összeadódott. Volta oszlopai, telepe: órási érdeklődést keltett: a franciák s angolok - mint a mostani [...] gyártók - egymással versenyre kelve ajándékozták meg fizikusait minél nagyobb áramforrásokkal. Napoleon az École Polytechnique-nak adott egy órási Volta-oszlopot; Angliában [...] a fiatal Davy kísérletezhetett egy kiadós teleppel.

Mihelyt e megfelelő források megvoltak - szinte lehetetlen volt, hogy az áram különféle hatásait föl ne fedezzék. Davy híg só-sav-lúg oldatokba s vízbe vezette be a telep két sarkát, s

---

<sup>56</sup> bár mikroszkopikus szinten Coulomb elmélete a helyesebb (a szerk.)

azt látta, hogy az áram azokat elbontja: ő az áram vegyi hatását fedezte fel. Oersted, egy norvég tudós<sup>57</sup> az áram mágneses hatását vette észre: áram közelében a mágnes kitér. Ő a mágnes s a vezetőt párhuzamosan állította: a mágnes északi sarka ilyenkor az áram irányában úszó, s a vezető felé tekintő ember bal keze felé tért ki. A mágnes kitéréssel most már az áram ereje is mérhető lett: e kezdetleges kísérleti berendezés volt az első galvanométer is. - De ha az áram kitéríti a mágnes - nem téríti ki a másik áramvivőt is? Ezt bizonyította be, s írta le matematikailag is a fiatalon elhalt Ampère - alig néhány héttel azután, hogy Oersted kísérlete a fülébe ért. A harmadik levegőben lógó kérdés - hogy mit csinál a mágnes az árammal - megfejtése tovább várattott magára. A könyvkötő Faraday-t, akinek tudós szomját a munkahelyén ki-bejáró könyvek ébresztették fel - s akiből - a maga gyermekkorára emlékezve - Davy nevelt tudóst - mesterének a kísérletei térítették az elektromágnesség felé. Eleinte ő is az áram vegyi hatását tanulmányozta; később kezdte a mágnes és áram kölcsönhatását figyelni. Ha egy mágnes köré rézdrót tekercset helyezett - abban, amíg a mágnes nyugodott, nem keletkezett áram; de ha a mágneset mozgatni kezdte: a tekercsben áram gerjedt. Hogy magyarázta ő ezt az újfajta áram gerjedését? Minden mágnes körül mágneses tér - s abban jellegzetes lefutású erővonalak vannak. Ezek az erővonalak a szem elé hozhatók, ha a mágnes köré vasreszeléket öntünk s azok a mágnes tér parancsára: jellegzetes vonalakba rendeződnek. [...] Ha a vezető s a mágneses erővonalak viszonya nem változik: a vezetőben nem gerjed áram - ha azonban a mágneset ide-oda tologatjuk, a tekercsben áram gerjed, amelynek iránya a mozgás irányával fordul. De Faraday szerint ilyen erővonalak veszik körül az áramot vivő vezetőt is; ha tehát ezeket az áramvonalakat metsszük - mozgatva - egy másik vezetővel: abban is áramnak kell gerjesztődnie. Így is volt: áram is gerjeszthet mozgással áramot. Ezzel mágnesség és elektromosság - igen szoros kapcsolatba került. Az áram kitéríti a mágnes - a vezető kitéríti a vezetőt. A mágnes mozgással áramot gerjeszt a vezetőben - ugyanúgy a vezető a mozgatott vezetőben. S megvolt a tétel: a mágnes, vezető és mozgás közül kettő előállíthatja a harmadikat.

A gyors kísérleti eredményeket követnie kellett az elméletnek. Az új tüneményekhez Ohm alkotta meg a fogalmakat - s az egyenleteket. Az áramot a legegyszerűbb volt az áramló víz erejéhez hasonlítani. A víz esését megadó szintkülönbség volt az áram feszültsége, a medren időegység alatt átfolyó vízmennyiség az áram ereje - a meder sűrűlése: a vezető ellenállása. Világos, hogy az áram ereje annál nagyobb, minél nagyobb az esés - s minél kisebb a sűrűlés. Áramra áttérve: az áram ereje (intenzitása) egyenesen arányos a feszültséggel (elektromotoros erő) s fordítva az ellenállással (rezisztencia)  $I = E/R$  vagy  $E = R \cdot I$ . Maga az ellenállás viszont egyenesen arányos volt a vezető hosszával, s fordítva arányos a keresztmetszetével - s függött a vezető anyagától ( $R = a \cdot l/q$ ).<sup>58</sup> Megteremtették az egységeket - ma az elektromágnesség úttörőiről nevezik őket: a feszültsége a volt, az intenzitása az amper, az ellenállása az ohm.

Mindez azonban csak az első, rögtönzött elméleti rendcsinálás volt. A nagyobb munkára - mely olyan legyen, mint a tizenhetedik század mechanikája mögött a tizennyolcadik század nagy matematikusaié, Euler, Lagrange építménye - olyan matematikusok gyürköztek neki, mint Gauss - s Faraday kísérleteinek igazi, nagy távlatú matematikai értékét a skót Maxwell adta meg - a klasszikus fizikát betetőző elektromágneses fényelmélet keretében.

*A klasszikus fizika betetőzése.* - A klasszikus fizikát három nagy áttekintést nyújtó felismerés zárja le: az energiamegmaradás törvénye, az elektromágneses hullám elmélete s a kinetikai gázelmélet. Azt, hogy a mozgások egymásba alakulása során valaminek változatlanul kell

<sup>57</sup> dán tudós (a digitális változat szerk.)

<sup>58</sup> a = fajlagos ellenállás (a szerk.)

maradni: már a mechanika XVII. századi megalkotói is érezték. Galilei ezt nevezte impetónak - mértéke tömeg és sebesség szorzata. Ha a mozgó golyó egy nagyobbal ütközve átadja „impetusát”, a nagy golyó sebessége annyiszor lesz kisebb, ahányszor nagyobb a tömege. A XVIII. század elméleti fizikusai pontosabban is megfogták ezt az állandót - a lehetséges a tényleges, eleven mozgás esetében. Ha egy tárgyat a nehézségi erő ellenében felemelünk, s ott (a tenyerünkkel például) megtámasztanánk: az, ha most nem is mozog, helyzeténél fogva mozgást tud végezni - leeshet; a mozgásra jellemző három szám - a tömeg, gravitáció s a magasság - szorzata:<sup>59</sup> annak a munkának a mértéke, amelyet végez. A tömegeből s a sebesség négyzetéből viszont egy másik szorzatot alkotunk - amely az eleven mozgás közben lesz jellemző rá.<sup>60</sup> Amíg a test alátámasztva nyugszik,  $mv^2 = 0$ , minthogy a testnek nincs még sebessége. Ahogy a test esni kezd, a h fogyásával az  $m \cdot g \cdot h$  folyton fogy, az  $m \cdot v^2$  pedig a sebesség növekedésével egyre nő - a kettő összege azonban egy állandó számot ad:  $m \cdot g \cdot h + m \cdot v^2 / 2 = C$ . Az  $m \cdot g \cdot h$  a nehézség által végzett lehetséges munka mértéke (erőút), az  $m \cdot v^2 / 2$  pedig a mozgó test által végzetté. Tehát a kétféle munkavégzés képessége az, ami a mozgás mechanikai „átalakulásánál” lehetséges mozgásból eleven mozgássá - állandó marad.

Annak, hogy a mechanikában felismert, a változásokban állandónak maradó valamit egyetemes természettörvénnyé lehessen kiterjeszteni: több feltétele volt, melyek a tizenharmadik század folyamán, s a tizenkilencedik elején rendre megvalósultak. A hő-fény-elektromosság-vegyi jelenségek is bekerültek - a mechanika után - a tudomány kupolája alá. Megtanulták őket is mérni, számértékekkel jellemezni. Megfigyelték átalakulásukat egymásba. A gőzgép megmutatta, hogy lesz a hőből munka - Rumford ágyúcsöve: a mozgásból hő; az elektromos gép: a dörzsölésből elektromosság; a Davy kísérlete: az áramból vegyi átalakulás. Faraday az elektromosságot, mágnességet, s a mechanikai munkát alakította egymásba. Lavoisier (s vele egy időben Lomonoszov): az anyag megmaradásának az elvét mondta ki - ez is arra ösztökélt, hogy az erők világában is a maradandót keressék. Mi volt itt hátra? Hogy az egymásba átalakuló „erők” mellé számértékek kerüljenek - melyek mint a lehetséges s eleven mozgás esetében: megmutatják - hogy az átalakulásnál eltűnt jelenség mértékegységében (a gőzgépnél a kalória) mi az új jelenség állandó egyenértéke (lóerő).

Ezt az egyenértéket először a hőmennyiség s a munka egysége közt találták meg - s később terjesztették ki más átalakulásokra is. A hő átalakulása - a termodinamika - így lett a közép-pontja, mintegy a szíve az új elméletnek. Azt, hogy egy kilogramm víznek egy Celsius fokkal való felmelegítése árán - egy kilokalóriával - mennyi munkát lehet végezni: először a tragikus sorsú német orvos, Robert Mayer állapította meg hozzávetőlegesen. Ő volt az első, aki - ha nem is pontos szaknyelven fejtegeti - az egész természet háztartásában ott látta már: azt az egyensúlyt, amelyet a különféle átalakulások - ez, s más hasonló ekvivalenciák - biztosíthatnak. Ő a hő munkaegyenértékét még 365 méterkilogrammmra tette - az angol Joule finomabb kísérletek alapján, tőle függetlenül a 426 méterkilogrammmhoz közeleső értéket talált. Hátra volt még, hogy ennek az állandó valaminek, ami egy zárt rendszeren belül a legkülönbözőbb jelenségek során állandó marad - nevet adjanak. Young volt az, aki az energia szót bevezette, a szó azonban csak egy fél század múlva állandósult - az úttörők, Mayer és Helmholtz a század közepén mindig erőről beszéltek. Az energia szó előnye, hogy azt a közös valamit jelöli, ami a természet átalakulásaiban hol mint mozgás, hol mint hő, áram, fény stb. jelentkezik - s közös vonása, hogy munkát végez, vagy tud végezni. Mértékegysége, akár mkg-nak, akár joule-nak hívják - aszerint, hogy melyik álarcában jelenik meg: mindig a munkáé. Az, hogy ma, száz év múlva éppolyan magától értetődő, mint amennyire rejtélyes valójában -

<sup>59</sup>  $m \cdot g \cdot h$  (a szerk.)

<sup>60</sup> a testre (a szerk.)

annak a jele, hogy az energia megmaradásának az elve mennyire átment - belesüppedt szinte - a közgondolkodásba.

Az energiamegmaradás törvénye - s a termodinamika első főtétele: azt mondja ki, hogy új energia csak más energia rovására állítható elő - munka nincs például hőveszteség nélkül - örökmozgó (perpetuum mobile), amely munka, vagy más energia bevitel nélkül állít elő mozgást: nem készíthető. Ha a termodinamika első főtétele a folyamatban levő állandóságot mondja ki: az entrópia egy lejtőt állít fel az energiafajok közt. Már a gőzgépen észrevették (Carnot), hogy bár a munkát mindig át lehet alakítani maradéktalanul hővé - a hőt maradéktalanul nem lehet munkává visszaalakítani. Azaz az energiaátalakulások során a hőnek gyarapodnia kell. Az entrópiatörvényt Clausius 1850-ben mondta ki - azaz a század derekára az épületnek ez a szárnya be volt falazva, hátra már csak az volt, hogy az angol Thomson - a későbbi lord Kelvin - ezt az entrópiát - hő s munka viszonyáról a hőhalál felé tartó világmindenségre kiterjessze.

Az energiamegmaradás elvével szoros kapcsolatban van a kinetikus gázelmélet. Az energiamegmaradás szerint a munka és hő: egymásba átalakítható energiafajta. A kinetikus gázelmélet szerint a hő: munka; a legapróbb részek mozgása az, amit hőnek fogunk fel: minél gyorsabb ez a mozgás, annál magasabb a hőfok. Gázelméletnek azért nevezik, mert először a gázok kutatása közben alakult ki - szintén a század első felében. De az elmélet ugyanúgy érvényes a cseppfolyós s a szilárd testekre is.

*Az elektromágneses fényelmélet.* - Az energia megnyilatkozási formái közül egy volt még, amelyet a fizika nem tudott kellően megfejteni: a fény. A XVII. század úttörő tudósai meghatározták a visszaverődésnek, törésnek, szétszóródásnak a szabályait. Huygens és Newton fölláttatták a kétféle fényelméletet - a XVIII. század azonban nemigen jutott tovább, sőt háttérbe nyomta a hullámelmélet híveit; a fény igen finom anyagnak tűnt - a hő-anyag mellett ő is ott van az elemek élén. Young volt az - a mi Bolyai Farkasunkhoz hasonló csodagyerek és nyelvzseni, akinek azonban későbbi fejlődése - ha sorsa nem is - szerencsésebb volt az övéénél - aki egy igen egyszerű kísérletet eszelt ki a fény hullámtermészetének az igazolására. Ha a vizet egy csatornából két szétágazó vályúba vezetjük, aztán megint egy mederbe hozzuk - a vízen végigfutó két ágra szakadt hullám újra találkozva vagy erősíti, vagy gyengíti egymást - aszerint, hogy találkozásukkor a hullám hullámháttal vagy hullámvölgygel találkozik. Ez a jelenség a hullámkeresztezés: interferencia. Ha a fény hullámmozgás: az interferenciának is be kell következnie. Young a kísérlet másolataként két piciny lukat fűrt egy papírlapra, s a fényforrásból a lukakon átjutó fényt mögöttük egy ernyőn egyesítette. Az ernyőn, aszerint, hogy hullámhát vagy hullámvölgy találkozott-e: sötétebb és világosabb sávok keletkeztek. Ha a találkozási pontra eső sugarak útkülönbsége fél hullámhossz volt: kioltották egymást - ha egész, kétszeresre felerősítették. A fény interferált tehát. Young kísérletét azonban nem vették komolyan. Amikor tizenhárom év múlva a fiatal francia Fresnel gondosabb kísérleti berendezésekkel s több matematikával ugyanerre az eredményre jött - a tudós világ egycsapásra átállt a hullámelmélet oldalára. A sok csúnya elméleti pör közt öröm látni, hogy Fresnel Young korábbi kísérletéről értesülve - egy levélben igazolta annak elsőbbségét.

Hullámmozgás azonban kétféle van: olyan mint a hangé, ahol a részecskék a hullámterjedés irányába rezegnek ide-oda (longitudinális hullámok); s mint a víz hullámozgása, ahol a víz-részecskék a terjedés irányára merőlegesen táncolnak le-föl. A nemrégiben<sup>61</sup> fölfedezett jelenség - polarizáció - segítségével ugyancsak mód nyílt annak az eldöntésére, hogy a fény nem úgy hullámozik, mint a hang, hanem mint a víz - nem longitudinális, hanem transzverzális

---

<sup>61</sup> akkoriban (a szerk.)

hullámokkal. A polarizációt az izlandi pát kristályain fedezték föl, amely a fényt mintegy egyenirányítja: az átmenő hullámokat párhuzamossá teszi. Ha a polarizált fényt még egy kristályrácson vezetjük át, az csak akkor enged át fényt, ha a két kristály állása teljesen egyforma. A század derekán - Römer után majd két századdal - Fizeau és Foucault újra megmérte a fényt, de most már nem csillagászati órával, hanem földi szerkezettel. A fénysebesség értéke 296 000 km/sec.<sup>62</sup> Itt is kiderült, hogy a fény légüres térben valamivel gyorsabban terjed, mint levegőben vagy folyadékban. Ez is összeegyeztethető a hullámelmélettel.

A hullámelmélet azonban fölvetett egy kérdést - amelyre még sincs egészen tökéletes felelet. A hangnál, tenger hullámánál tudjuk, mi rezeg: de minek a hullámaként terjed a fény a világűrben? Ez a kérdés - s a kényszer, hogyan válaszoljuk meg - szülte meg majd egy századra az étert, azt a világűrt betöltő, igen finom, képzeletbeli anyagot, amely a fényhullámokat vezeti. Ez az éter nemsokára az elektromos jelenségek magyarázatában is kapott szerepet. Faraday, mint láttuk, megérezte, hogy a mágnesek és vezetők körül „erőterek” létesülnek, s hogy az indukciós áram ezeknek az erőtereknek a zavaraként jön létre, míg Maxwell matematikailag is leírta, mit jelenthet egy ilyen erőter. S ugyancsak matematikailag, szinte minden kísérlet nélkül azt is levezette, hogy ha az étert egy ilyen erőterben megzavarjuk - annak a zavarnak hullám formájában kell tovább terjedni. Ezeknek az elektromágneses hullámoknak a fénysebességet megközelítő sebességgel kell terjedniük. Ebből Maxwell arra következtetett, hogy voltaképp a fény is elektromágneses hullám - amely csak abban különbözik a többitől, hogy a szemünkben az ilyen hullámhosszú hullámok felfogására külön érzékszerv fejlődött ki, míg a többire vakok vagyunk. Maxwell az ő egyenleteit 1873-ban az elektromosságról és magnetizmusról szóló értekezésében hozta a világ tudomására. Az elméleti fizika egyik legimponálóbb győzelme, hogy alig tizennégy év múlva a német Hertz (akinek a figyelmét az öreg Helmholtz hívta fel Maxwell értekezésére) ilyen hullámokat laboratóriumában maga is előállított, s egy megfelelő vevővel felfogta - s rajtuk a fényre jellemző jelenségeket: törés, visszaverődés, elhajlás, interferencia - kimutatta.

1962

---

<sup>62</sup> 299 774 km/sec-nak adódott a fénysebesség a Foucault-kísérletben (a szerk.)

## A VEGYTAN TÖRTÉNETE

A vegytan csak feltűnő késéssel követte a XVII. században alig négy-öt évtized alatt a Principiá-ig<sup>63</sup> emelkedő fizikát. Az a könyv, mely ha nem is átfogó jellegében - a *Principiá*-hoz, de legalább Galilei *Discorsi*-jához hasonlítható - Lavoisier *Traité elementaire*-je - csak a francia forradalom kitörése évében jelent meg. Ennek az oka az volt, hogy míg a fizikát független érdeklődésű emberek teremtik meg - a vegytant olyan emberek űzik, akiket foglalkozásuk a sarlatán tekintély előítéleteihez s cókémokjaihoz kötött. Az alkímisták a fémeket tartották a természet „nemességének”, melyek lassan magában a természetben is mind nagyobb grádicsokra lépnek - ők ezt a „báró”-sítást akarták, mint aranycsinálók, meggyorsítani. Az orvosoknak már akkor is olyasmire kellett vállalkozniuk, amire képtelenek voltak - százszor inkább, mint ma -, s tehetetlenségük a gyógyszereik eszenciáival fedték el maguk előtt is. A kohászok és a kelmefestők kémiai ismeretei megbízhatóbbak voltak - a mesterségeik nem túrték meg a sarlatánkodást -, viszont az ő tudásuk: mint a többi mesteré, évszázados, sőt ezredes gyakorlati receptekből állt - s a XIX. századig kellett várni, hogy a lyoni kelmefestő műhelyekből egy elméleti tudós nőhessen ki.

Az első vegyész, akivel egy új tudomány szelleme tör be a kémiába, Boyle volt - egy angol earl tizennégy gyermeke közül az egyik -, aki nemcsak hogy nem űzte az említett vegyész foglalkozások egyikét sem - de azoknak a hiányait is jobban észrevette. Egyike volt a tudomány csodagyerekeinek, nyolcéves korában már főiskolai hallgató, s tizennégy éves korában Galilei írásait tanulmányozza. Mint kutató, a Royal Society első nemzedékéhez tartozott, a fizika történetébe mint nyomás és térfogat összefüggésének megállapítója írta be a nevét, s a társaság titkárával, a leleményes Hook-kal végezte kísérleteit. Ő onnét érkezett a kémiába, ahonnan egyedül jöhetett friss levegő: a fizika felől. Könyvének - *A Kétkelő vegyész* - már a címe is jellemző rá. A descartes-i szkepszist hozza ollóként a hiszékenységnek ebbe a bozótjába - könyve formája pedig Galilei *Beszélgései*-re emlékeztet. *A Kétkelő vegyész*-ben is ott a kétféle múlt - az egyik az arisztoteleszi hagyományt képviseli, a másik a paracelsusit<sup>64</sup> - ezeknek az előítéleteit bontja az újfajta kétkelő vegyész. A vita az elemekről folyik - melyből Arisztotelész szerint négy van, a tűz, a víz, a föld és a levegő - Paracelsus szerint három: az égés lángjának, füstjének és hamujának megfelelő - kén, higany és [...]. Boyle nem mondja ki, hogy szerinte melyek az elemek - csak azt, hogy ezek mért nem lehetnek azok -, s hogy szerinte az elem az, ami vegyileg tovább nem bontható.

A kémia különös tüneménye - amitől az új vegytan, mint a fizika, kialakult - az égés volt. Boyle itt is jó nyomon járt, közel a megfejtéshez. Szivattyún megmutatta, hogy légüres térben az égés s a légzés nem folyhat tovább - hogy a levegő keverék s annak egyik része táplálja az égést - sőt maga a gáz is a kezében volt már, anélkül hogy e különböző kísérleteket egy elméletben összefoglalta volna.

A kémia Boyle-lal már-már fölzárkózott az új, jól megalapozott tudományok, a fizika s asztrológia mellé. A vegytan történetének ez a szaka azonban jó példa rá, hogy ami történetként nézve olyan egyszerű, kikerülhetetlen lépésnek látszik - azt sokszor milyen kóros ellenállás ellen, milyen vontatottan sikerült megtenni. A kémiának ezt a késését az égés elméletével, a flogisztonnal szokás magyarázni. Stahlnak, a porosz király udvari orvosának életében aránytalan magasztalás, később aránytalan elmarasztalás lett az osztályrésze. Még Kant is Galilei

---

<sup>63</sup> Newton legjelentősebb műve: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (a szerk.)

<sup>64</sup> Paracelsus német orvos és kémikus (a szerk.)

mellé állította - ma viszont az iskolás fiúk is tudják, hogy ő volt az, aki flogiszttonjával a fejlődés kerekét egy századra megállította. Abból, ami ég, valami eltávozik - ezt nevezte Stahl flogiszttonnak. Ez tulajdonképp elég ésszerű, a szemlélet által igazolt magyarázat - az elméleti makacskodás ott kezdődött, amikor a mérés megmutatta, hogy égő anyagok súlyukban gyarapodnak - s ott előbb a mérésben s nem az elméletben kezdtek gyanakodni, majd azt tételezték fel, hogy a flogiszttonnak negatív a súlya. Stahl másik kedvenc témája a vegyi vonzerő - az affinitás volt. Azt, hogy egyik anyag a másikba siet, vele egyesül, az affinitás okozza. Az affinitás a gravitáció vegytani mása. Stahl tekintélyét részben az okozta, hogy ő a vegytant is a newtoni világképbe kapcsolta. De az, hogy a Föld a Holdat vonzza - látjuk, mi mit vonz. De ha a kén a vassal egyesül, mi az, ami vonzódik? Nyilván a két anyag legapróbb részecskéi. Ebben azonban hallgatag az is benne van, hogy ilyen legapróbb részecskék vannak - az anyag atomos szerkezetű. Ezt a következtetést azonban a tények szorítása alatt csak száz év múlva mondják ki - egyelőre inkább affinitási táblázatot készítenek, amelyek azt mutatják, megmelyik anyag melyikhez vonzódik gyengébben-erősebben. Ha a fémeket aszerint állítjuk sorozatba, hogy melyik milyen erővel hajtja ki a savakból a hidrogént - vagy a sókból a másik fémet - tulajdonképpen ilyen affinitási táblázatok egyik sorát állítjuk össze.

*A tudományos vegytan megszületése.* - A század második felében egyidőben két műhelye is támad a komoly - Boyle-ra méltó - vegyi kutatásnak: az egyik Angliában, a másik Uppsalában, Svédországban. A három angol: Black, Cavendish, Priestley - egymástól távol élő és eltérő sorsú emberek voltak, akiket csak a munkájuk tapaszt össze (Black edinburghi egyetemi tanár, Cavendish embergyűlölő arisztokrata, Priestley szenvedélyes teológus). A két svéd - Bergman professzor s tanítványa, a német származású gyógyszerész, Scheele - az új svéd tudományos központban, Uppsalában dolgoztak - s módszerük is összefűzi őket.

Az angol „iskola” érdeme, hogy ők felfedezték a gázokat. Akármilyen különös: előttük csak levegő volt - a levegő és gáz fogalma még az ő nomenklatúrájukban sincs különválasztva - a hidrogént égethető levegőnek nevezik; a nitrogént, minthogy nem táplálja az égést (tehát telítve van flogiszttonnal) flogiszttonizált - az oxigént, minthogy az égést a levegőnél jobban táplálja (tehát kevés a flogisztton benne), deflogiszttonizált levegőnek nevezték. A gázok felfedezését Black indítja el - mészke hevítésével szén-dioxidot állít elő, s ami ennél is fontosabb, bebizonyítja, hogy az égésnél s a légzésnél is ez a gáz keletkezik. Ő az első nagy mérő is a vegyészek közt. Cavendish hidrogént állított elő, úgy, ahogy ma is, fémekből híg savval. Mint Black, ő is a mérés fanatikusa: kimutatta, hogy e gáz, éppúgy, mint Black fixált levegője, nem lehet levegő - s egymástól is teljesen különböznek: a hidrogén tizenhatszor könnyebb a levegőnél, a széndioxid másfélszer nehezebb. Priestley kísérletei alapján ő állapította meg a víz összetételét is. Priestley, ez a szenvedélyes teológus, aki - mint a mi Dávid Ferencünk - egyik vallásból a másikba vetette magát, hogy a végén mint a francia forradalom hívének kelljen Amerikába menekülni - csak melleleg, a szenvedélyes élet pihenőin foglalkozott kémiával -, egyike volt a legnagyobb vegyészeknek. Ő vette észre, hogy ha egy üvegben lencsével széndarabkát éget el - s a Black fixált levegőjét elvezeti -, még visszamarad egy színtelen gáz, amely az égést nem táplálja. Később vörös higany-oxidot hevített ugyanígy - s a kiváló gázzal megállapította, hogy az égést a levegőnél jobban táplálja, s azonos a levegő már Boyle által ismert aktív részével. A levegő két fő alkotórészét tehát ő fedezte fel. Cavendish társasága kedvéért egyszer égő gázon szikrát üttetett át, s azt vette észre, hogy az üveg fala harmatos lett. Később megállapította, hogy a hidrogén az oxigénnel a szikra hatására: vízzé egyesült; a víz tehát hidrogénből s oxigénből áll.

A svéd Bergman - éppúgy, mint Scheele - nagy kísérletező volt, az elemző vegytan elveinek a lefektetője. Számos anyagot fedezett fel: a kénsavat, oxálsavat, fehérgálicot, nikkelt; ő kezdte a szerves és szervetlen anyagokat szétválasztani. Nála is termékenyebb kísérletező volt Scheele: ahova nyúlt, új anyagokat fedezett fel. A mangán-dioxidból - melyet ma is erre a

célra használnak - ő választott ki először (tán még Priestley-nél is előbb) oxigént, s ő használta fel egy új anyag, a klór előállítására is. Ő írt le számos szerves savat - a borkősavat [...] és citromsavat, s a huyanyt is. Míg az angolok inkább a vegytan továbbvivő felismeréseit tették meg - ők a vegytan anyagait vették számba, s módszereit tökéletesítették. A flogiszonelmélettől azonban sem ők, sem az angolok nem tudtak elszakadni - ez a lépés, az égés mibenlétének a tisztázása, s a rendezésre váró eredmények összefoglalása - a tudományos vegytan igazi megállapítójának, Lavoisier-nek a feladata lett.

Lavoisier, egy emelkedő polgárcsalád fia jogász őseitől tiszta, körültekintő ítéletet s gyakorlati érzéket örökölt: a kettő szövetsége a legsikeresebb életek egyikét építette föl. Alig hagyta ott a jogot a tudományért, huszonegy éves korában már pályadíjat nyert, huszonhat éves korában az akadémia tagja. Hogy kísérleteihez pénzt teremtsen: beiratkozik az adóbérlők [...]. Ott is korrektül végzi munkáját, s gyorsan emelkedik. Korai tudományos tekintély - munkatársat adó kitűnő házasság -, független anyagi helyzet - fényes hely a társaságban -, mindent elért; egyre nem számított, hogy amikor pályája csúcsára ér, kitör a forradalom, s a nép gyűlölete az adóbehajtók iránt - ötvenegy éves korára guillotine alá viszi a csodálatos fejét. Lavoisier nem annyira új felfedező, inkább rendező tehetség volt; a régi kísérleteket megismételte, tökéletessé csiszolta a módszert - s az elszigetelt eredményeket új, átfogó gondolatokkal kötötte össze. Legfőbb érdeme, hogy a hőből komoly, a fizikához méltó tudományt csinált. Mint a fejlődés legfőbb akadályát, először is a flogiszonelméletet lökte félre. Ő is hevített zárt térben fémeket: ólmot, higanyt, majd más fémeket. Megmérte súlyukat az égés előtt s után - a visszamaradt levegő súlyát is, s rendszeresen bebizonyította, amit mások is tapasztaltak már, hogy a testek súlya az égésnél gyarapszik - a levegő súlya viszont ugyanannyival csökken, s égés és légzés fenntartására alkalmatlanná válik. Tudta, hogy Priestley egy égést tápláló gázt állított elő a levegőből. S felismerte, hogy e gáz egyesülése az égő testtel minden flogiszon nélkül is magyarázza az égést - annál inkább, mert a folyamat sok esetben megfordítható - a vörös, égetett higany visszaadja az oxigént. A levegő nem elem, mint Arisztotelész óta hitték, hanem keverék, s egyik alkotórésze az, ami az égést-légzést fenntartja. Megismételte (a felfedező neve nélkül) Cavendish kísérletét: a hidrogén előállításával vizet állított elő. A két leglényegesebb anyag - s egyben keverék s vegyület - mibenléte meg volt tehát fejtve. Bár Lavoisier némi óvatossággal föl volt készülve rá, hogy a flogiszonon nevelt elmék nehezen adják föl a beléjük rögzített ítéletet - kísérletei oly pontosak voltak, előadása olyan szabatos - hogy nemzedéke legnagyobb kortársai (Priestley-t kivéve) egymásután vetették el a flogisztont.

Lavoisier sokat dolgozott s közölt - élete végén szerves anyagokkal is foglalkozott, Laplace-szal a kalorimetria kidolgozására szövetkezett - a flogiszonelmélet félrerakása mellett legnagyobb érdeme mégis az, hogy a kémiának - Boyle elem-fogalmának a pontosabb meghatározásával, s az anyag megmaradása elvének a kimunkálásával - szilárd alapot adott. Ha meggondoljuk, mennyi zavart okozott Arisztotelész és Paracelsus téves - inkább metafizikai, mint vegyi - eleme, érthető, milyen világosságot hozott az örök meghatározás: elemnek azt kell tekintenünk, amit a rendelkezésünkre álló módszerekkel nem tudunk további részekre bontani. Ő 33 ilyen elemet sorolt föl - először mint legfinomabb elem akkor még a fény és hő állt -, más nyolc (mint a szóda vagy hamuzsír) később bonthatónak bizonyult - 23 azonban csakugyan elem volt. A tömeg megmaradása azt mondta ki elvként, ami az égési kísérletekben ott volt már, s a mérleg hallgatag kimutatta - akármilyen vegyi változás folyik le, a keletkezett anyagok össz mennyisége ugyanaz maradt, mint az összetöltött egymásra hatóké. Ha az elemek definiálása az „elemzés” célját mutatta meg, az anyag megmaradásának elve: a vegyi egyenleteket rajzolta fel - egyelőre még nem a szokásos szimbólumokkal -, hanem az egész egymásra ható s keletkező súlymennyiségekben.

*A vegytan alaptörvényei.* - A XVIII. század utolsó harmadára tudománnyá vált vegytan a XIX. század első évtizedeiben tette meg azokat a döntő lépéseket - amelyeket a mechanika Galilei s Newton között. Az egyik nagy lökés a fizika felől jött, Volta 1800-ban írta le áramszlopait - melyek nagyobb feltűnést okoztak, mint odáig bármiféle felfedezés. Napóleon egy órjási telepet ajándékozott az École Polytechnique-nek - az angolok egy ennél is nagyobbat a fiatal Davynek. A keletkezett áramot angol műkedvelők már 1801-ben a vízbe is bevezették, s csodálkozva nézték, miféle gázok azok (s honnét kerültek oda) melyek a pozitív és negatív sarkon felgyöngyöztek. A fiatal Davy mutatta ki - hogy azok a víz két alkotórésze, melyeket a vizet szétbontó áram szabadít fel. Davy egy szegény asszony fia - akit gyógyszerészstanoncból pártfogói s a maga eltökéltsége emelnek az új Királyi Intézet tutorává (többek közt az is, hogy a nitrogén-oxid „lúgos” hatását önmagán kipróbálta), egyike a legszerencsésebb, a felfedezéseket mintegy megrendelésre végző kísérletezőknek. Miután látta, hogy az áram mit csinál a vízben - bevezette a szódába s hamuzsírba -, s ő látta először a pozitív sarkon kiváló fémes csomók alakjában a káliumot és nátriumot - fölbuzdulva: ő lesz a kalcium, bárium, magnézium felfedezője. Ő cáfolja meg Lavoisier-t, aki azt hitte, hogy minden sav tartalmaz oxigént. Lám, a sósavat az áram csak hidrogénre és klórra bontja. Ez nagy vitába keveri őt a francia vegyészek nesztorával, Lavoisier első megtérítettjével: Berthollet-val, aki a klórt a Javeli rakpartról - Javel-vizet - először használta szövetfehérítésre. Persze neki lett igaz: kiderült, hogy az oxigénsavak mellett (mint a kénsav, salétromsav) vannak oxigénmentes, halogén - sóból keletkezett - savak is, melyekhez nemsokára még egy ilyen új sav is járult - a fluorhidrogén. Ezekben az években állították elő a bőrt, alumíniumot, s a jódot is. Ha Lavoisier 23 valódi elemről tudott - az elemek száma ennek a kétszeresére nőtt.

Ennél is fontosabb azonban az a három-négy elméleti lépés, melyet szinte egymás sarkát taposva tett meg e század fiatal vegyészemzedéke. A reakción összehozott - s a keletkezett anyagok mennyiségét német tudósok kezdték még a tizennyolcadik század folyamán táblázatokba foglalni. Egy Richter nevű (inzenér tiszt) tanulságos táblázatokat fűzött Bertholletnek az affinitásokról szóló, németre fordított könyvére: megmutatta, hogy egy [...] grammjának a közömbösítéséhez mennyi szódára, hamuzsírba stb. van szükség. Ez a táblázat újabb s újabb kiadások során egyre nőtt, s Franciaországban nevezetes vitára vezetett. Berthollet úgy képzelte, hogy az arány, amelyben az anyagok vegyülnek, sok más tényezőtől függ - többek közt attól, hogy milyen bőségben állnak a vegyülésnél rendelkezésre - mint ahogy a kávé is lehet feketébb-fehérebb aszerint, hogy mennyi tejet s babkávét öntünk össze. Az akkor Madridban élő Proust - méréseivel mutatta ki, hogy a táblázatoknak igazuk van - egy bizonyos mennyiségű sósavat csak egy meghatározott mennyiségű lúg tud közömbösíteni. Ha többet töltünk hozzá, az felhasználatlan marad. 32 g kén például mindig csak 56 g vassal tud vas-szulfiddá vegyülni - ezen az arányon, ha többet, ha kevesebbet hozunk össze, nem lehet változtatni. Ez volt az állandó súlyarányok törvénye, amelyet végül Berthollet kénytelen volt elfogadni.

De mi történik, ha az elemnek két vagy több vegyülete van a másikkal: mint ahogy a szénnek az oxigénnel, vagy a kénnek a vassal. Dalton, a manchesteri kollégium matematikatanára erre a kérdésre adott választ. A nitrogénnek akkor már öt oxigénvegyületét ismerték. Ha csak kevés oxigén állt rendelkezésre, 14 rész nitrogén 16 rész oxigénnel egyesült, ha több, 32-vel, ha még több, 48 64-gyel (de soha harminccal vagy mondjuk harmincegyel) - azaz a vegyületben résztvevő oxigénanyagok egymás többszöröse. Ettől a törvénytől - a többszörös súlyarányok törvényétől - már csak egy lépés volt az atomelmélet feltalálásáig. Mért vegyülnek épp ilyen súlyarányokban az elemek? Nyilván mert ez az ő legkisebb részeik - az atomok súlyának az aránya. Ha a nitrogénatom súlya úgy viszonylik az oxigénhez, mint tizenhathoz, akkor ha egy nitrogénatom kötődik egy oxigénhez, akárhány molekula keletkezik, abban - s a molekulák millióiiban is - az arány ugyanez lesz. Ha viszont nem egy, hanem két,

három, öt nitrogénatom, az arány ennek egész számú többszöröse. Az affinitás fogalmában hallgatólag már ott volt az atomelmélet: két anyag vonzódása csak részecskéik vonzódásán alapulhat; most azonban mérések - a mérleg állandóan visszatérő arányai - kényszeríték a vegyészeket, hogy ezekre a parányi részekre ne csak mint bizonyos sajátsággal, vonzódással - de mint határozott súllyal bíró részekre gondoljanak.

Ugyanabban az évben, amelyben Dalton új atomelméletét fölállította, Gay-Lussac - kinek nevét a fizikába is gáztörvényei írták be - azt mondta ki, hogy a vegyülő gázok térfogatai (hogy pontosabban beszéljünk, normál, tehát zérus fokon és 760 hgm nyomáson mért térfogata) úgy viszonylanak, mint az egész számok. Egy liter oxigén két liter hidrogénnel vegyül (két liter vízzé), egy liter nitrogén három liter hidrogénnel, két liter ammóniává. Gay-Lussac törvénye kitűnő érv Dalton atomelmélete mellett. Mert hisz az, hogy egy liter hidrogén egy liter klórgázzal egyesült, a legegyszerűbben úgy magyarázható, hogy egy liter klórban ugyanannyi (mondjuk  $x$ ) klóratom van, ahány hidrogénatom: így  $x$  klóratom épp  $x$  hidrogénatomot köt meg - vagy egy rész ( $x$ ) oxigén két rész ( $2x$ ) hidrogént,  $x$  nitrogén  $3x$  hidrogént. Az óvatos Gay-Lussac azonban ezt a lépést nem tette meg (Berthollet karjában nem is volt tanácsos megtenni). Így a két törvényt az olasz Avogadro gróf kapcsolta össze: a gázok egyenlő térfogatában az atomok száma egyenlő. Most már nem volt nehéz a gázok atomsúlyát is meghatározni. Ha nem is valóságos atomsúlyukat (arra még egy századot kellett várni), hanem a viszonylagost, hogy mennyivel nehezebbek egy másik gáznál. A másik gáz kezdetben a legkönnyebb, a hidrogén volt. Minthogy 1 g hidrogénnel 35 g klór vegyül, a klórgáz atomsúlya 35; minthogy 1 g hidrogén 8 g oxigént köt meg (tekintve hogy a vízben  $x$  hidrogén atomra  $x/2$  oxigén atom esik) az oxigéné 16; minthogy 1 g hidrogén 4,8 g nitrogénnel egyesül, a nitrogéné 14 lesz.

A szilárd és cseppfolyós anyagoknak nem volt Gay-Lussac-törvényük, itt más eljárások segítettek ki. A párizsi politechnikum két fiatal neveltje: Dulong és Petit - a fajhő és atomsúly közt fedeztek fel egyszerű összefüggést. A fajhő szorzata az atomsúllyal egy állandó számmal, 6,4 g kalóriával<sup>65</sup> egyenlő. Mitscherlich német tudós az izomorfizmus felfedezésével nyújtott segítséget az atomsúly számítóinak. Ugyanolyan szerkezetű anyagok [...] ugyanolyan szerkezetű kristályokban kristályosodnak ki - ha az egyik elem atomsúlyát ismerték, a belévitte új elem atomsúlya a két kristály súlyeltolódásából kiszámítható. Berzelius, a svédek nagy tekintélyű tudósa - az első hivatásos csak vegyész - ezen az alapon folyton korrigálva új és új atomsúlytáblázatokat adott ki.

Az atomelméletet ennek ellenére az ő tekintélyes táblázatai sem tudták elfogadtatni. A francia vegyészek például még a harmincas években is szívesebben használták az egyenértéksúly kifejezést az atomsúlynál. Ennek egyik oka a terjedő pozitivizmus volt - az irtózás minden [...] a vizsgálati eszközökkel le nem tapintható fogalomtól [...], amilyen akkor még az atom is volt. Az egyenértéksúly: az a mennyiség, amelyben egyik anyag a másik anyaggal valóban vegyül (a mi fogalmaink szerint: a molekulásúly osztva a vegyértékkal), közvetlen mérhető volt. Ők a vizet sem  $H_2O$ -nak írták, mint Berzelius, hanem  $HO$ -nak; ami azt jelentette, hogy egy gramm hidrogén nyolc gramm oxigénnel vegyül. A másik ok egy apróság volt, amely mégis órjási zavart okozott. Azt tudták, hogy a vegyületek molekulái több atomból állnak - de hogy az elemek - főleg a gázok molekulái is állhatnak több - legtöbbször két - atomból, ezt csak később ismerték fel. Pedig ez is benn volt a Gay-Lussac kísérleteiben - mert ha egy literben a molekulák száma egyenlő, akkor két liter hidrogénből (két  $x$  hidrogénatomból) s egy liter oxigénből (egy  $x$  oxigénatomból) csak egy liter vízgőznek (egy  $x H_2O$  atomnak) lett volna szabad keletkeznie, s Gay-Lussac mérése szerint két liter keletkezett. A két liter vízgőz

---

<sup>65</sup> kalória/g-atom (a szerk.)

(két x H<sub>2</sub>O atom) csak úgy jön ki, ha föltételezzük, hogy minden hidrogénmolekula két atomból, tehát 2x(H<sub>2</sub>O) atom 4xH + 2xO atomból keletkezett. A zűrzavart, amely az elemek atomjainak és molekuláinak az összekeveréséből eredt - hosszú évtizedek múltán oszlatta el Avogadro honfitársa, Cannizzaro.

Két gáz egyenlő térfogatának a súlya úgy viszonylik, mint molekulasúlyuk. Ebből az is következik, hogy grammmolekulasúlynyi normál gázok (tehát amelyeknek súlya annyi gramm, ahány a gázmolekula súlya)<sup>66</sup> egyenlő lesz. Meg is mérték hogy mennyi: 22,4 liter. Ez tehát a gázok igen fontos állandója. Azt, hogy mennyi a mi „x”-ünk, hány atom van valóságban ebben a 22 literben, jóval később sikerült megmérni.

Az új elemek, anyagok felfedezése - s a sztöchiometria alaptörvényeinek a kimondása mellett - e kornak harmadik nagy vívmánya az egyre egyszerűsödő jelölések, az algebraéra emlékeztető kémiai jelnyelv megszilárdulása. A vegyészek az alkimista tudósoktól örökölték az ő szimbolikus jeleiket. Lavoisier még ezeknek az egyszerűsített utódait alkalmazta az elemekre. A tizenkilencedik században Berzelius kezdte a jelekbe - a karikába-keringőbe az elemek latin kezdőbetűit (a vas helyébe a Fe-t) beírni. Végül a jelek elmaradnak, s nem maradnak meg, csak a kezdőbetűk. A mai jelírás már aránylag gyorsan fejlődhetett. A vegyület képlete: az egy molekulában résztvevő elemek jelét s számát mutatta: a hidrogén s a fémek előre kerültek, az oxigén, kén jele - a savmaradék, a savaknak a hidrogénmentes része mögé (FeS, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). A lefolyó vegyi átalakulás - a Richter-féle vegyülő mennyiségek és a kialakult anyagok mennyiségével jelölt egyenlőség - most már valóságos vegyi egyenlet alakját öltette: bal oldalán a reakció előtti, jobb oldalán a reakció utáni kikerült anyagok. NaOH + HCl = NaCl + H<sub>2</sub>O. Vigyázni kell persze, hogy a bal oldalon minden elemből ugyanannyi legyen, mint a jobb oldalon: 2NaOH + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + H<sub>2</sub>O.

*A periódusos rendszer.* - A vegytan alaptörvényeinek meglepően gyors kicsikarása után a föltámadt vegyészeti szenvedély néhány évtizeden át: az állati és növényvilág ellen fordította - új, megbízhatóbb eszközeit. Gay-Lussac tanítványa, Dumas - s a német vegyészeti nagy korszakának az elindítója: Liebig - a szerves vegytan s az agrokémia felé fordítják a vegyészek figyelmét. A hatvanas években - amikor a szerves vegytan egy századra szóló munkaprogramot kap - az úttörő elmék a klasszikus fizikát bekoronázó elméletek: a kinetikus gázelmélet, a hő = munka egyenértékűségének a felismerése - a fizika és vegytan határterületeire vetik magukat, s néhány évtized alatt a fizikai kémia épületét húzzák fel. Azonban az új, hatalmas ágak közt a viszonylag elhanyagolt törzs - a szervetlen vegytan - folytatásában is fölnyúlik - [...] a hetvenes években egy előbb csak kuriózumnak tűnő elmélet - az elemek csoportosítása - a kémia fájának a vezérvesszeje lesz. Azt, hogy mi az elem, Boyle, Lavoisier megmondták - hogy az elemek hogy vegyülnek egymással, kihozták a századforduló vegyészei. Az elemeken igazi rendszerező áttekintést azonban csak Mengyelejev és Meyer Lothar periódusos rendszere adott, - s annak meglepő tényeit csak a huszadik század természettudománya magyarázta meg.

Az elemek rendszere - elsősorban azért késett, mert maguk az elemek sem voltak még meg. A XVIII. század hetvenes éveitől általában minden másfél évre esett egy elem felfedezése. Lavoisier huszonhárom eleme közül három a nemrég felfedezett gázok közül került ki: az oxigénen, hidrogénen s nitrogénen kívül ő nem is ismert más nemfémes elemet, csak a szént, a ként s a foszfort (s bevezethette volna már a klórt), a másik tizenhét elem fém volt. Az elemek felfedezésében a következő hullámot az elektrolízis jelentette. Most lesznek közvetlen ismerőseink: az alkáli fémek közül a kálium, nátrium, lithium; az alkáli földfémek közül a

---

<sup>66</sup> térfogata (móltérfogat) (a szerk.)

magnézium, kalcium - most ismerik meg az alumíniumot -, ebben az időben fedezik fel a halogén elemek közül: a fluorot, a brómot, a jódot. A vegyi elemzésnek köszönhető egy csomó fém kifejtése ásványaikból. Ebben Berzelius mellett a német Klaproth volt nagymester: ők fedezték fel az aranyat, a tellurt, a cirkoniumot, krómot, céziumot, berilliumot, szelént majd vanádiumot. Más elemek a lángot megfestő színekkel árulták el magukat Bunsen gázlángjában. Fraunhofer ismerte fel - hogy a Nap színekében vannak fekete vonalak; Kirchhoff fejtette meg - hogy itt a Nap gőzkörében levő anyagok nyelték el - a megfelelő színt, s hogy ezek az anyagok égésüknél ugyanezeket a sugarakat bocsátják ki. A lángfestést tanulmányozó Bunsen az ő tanácsára használta fel a színekélelemzést - kémiai célra. Minden elemnek megvan a jellemző sávcsoportja - új sávcsoport új elemet jelent. Így leplezték le a vörös csíkjai: a rubídiumot, kék színe adta a cézium nevét, míg a tallium nevében a görög thallos (ág) zöld színe őrződött meg.

Ahogy az elemek száma nőtt - egyre könnyebb lett családot emelni ki belőlük. Prout angol orvos az egész számú atomsúlyok alapján már 1815-ben megkockáztatta azt a feltevést, hogy valamennyi elem a legkisebb hidrogénből épül fel. Közelebb maradt a megfigyelt valósághoz Döbereiner triasz-arányaival. Egy-egy triasz három eleme közül a középső atomsúlya szám-tani középáránya - a nehezebbnek és könnyebbnek. Ilyen triaszt alkot: a három alkáli fém (Li, Na, K), az alkáli földfémek (Ca, Sr, Ba), a halogének (Cl, Br, J), végül a S, Se, Te. Látjuk, hogy már ezeknek az elemcsaládoknak az összeállításához is - frissében felfedezett elemekre volt szükség. Ettől fogva állandóan kísérleteznek elemcsoportosításokkal. A thübingeni Lothar Meyer könyvében 1864-ben már olyan elem táblázat van (28 elem), amely már az elemek vegyértékét is számba veszi. A későbbi elemcsaládok közül teljes létszámmal van képviselve: az alkáli, alkáli földfém, halogén, oxigén, nitrogén, szénecsoport. Valamennyi meglévő elemet a még hiányzókat miatt nem tudta besorolni. Ezen az akadályon tette túl magát Mengyelejev - azzal, hogy az üres kockába a fel nem fedezett elemeket is besorozta. Mengyelejev egy új vegytankönyv írása közben kizárólag atomsúlyuk szerint osztályozta az elemeket. A hidrogén után következő hét elem Li (9), Be (10), B (11), C (12), N (14), O (16), F (19). Ezután egy olyan elem következett: a Na (23), amely a lítiummal volt rokon - s ha alája írva új sort kezdett, a következő hat; Mg, Al, Si, P, S, Cl mindegyike a fölötte levőre; a következő, a K megint a Na-ra, a Ca a Mg-ra hasonlított. Később nem ment mindig ilyen simán az elemek besorolása. Mengyelejev azonban nem hátrált meg - ha az új elem nem illett be a következő oszlopba -, odébb ment, s azt mondta, itt hiányzik. Hét oszlopában hatvankilenc meglévő elemet sorolt be - s huszonhárom üres helyet hagyott -, az Orosz Kémia Társaságnak beadott jelentésében azt a vakmerő jóslatot tette, hogy az üres kockákba majd megérkeznek az elemek - s [...], vegyértékük is megjósolta. A legcsodálatosabb az volt, hogy a megjósolt elemek egyikét-másikat csakugyan felfedezték, 1879-ben a kalcium után következő szkandiumot, majd a galliumot s germániumot. Ramsay a levegőben új gázt fedezett fel, az argont, Crookes<sup>67</sup> a Nap spektrumában a hélium sárgát, s néhány éven belül lefülelték a neont, kriptonot s az idegent (xenont). S ahogy az öt, más vegyülésre képtelen gázt - melyet épp ezért „nemesnek” neveztek - atomsúlyuk szerint besorolták: azok ott egy új oszlopot alkottak. Most már senki sem kételkedett, hogy a periódusos rendszer valóban az elemek természetes rendszere - s hogy a hiányzó helyekre is megjön hamarosan a lakója.

A szakaszosság már magában is csodálatos összefüggést sejtető sajátossága a periódusos rendszernek - de itt a táblázatokból, mint egy bűvész cilindereiből, még két másik összefüggés is ugrott ki: az oszlopok vegyértéke - a lítiumtól előre eggyel nő - aztán csökken (illetőleg a nitrogénecsoport három és öt, az oxigénecsoport elemei kettő vagy nyolc, a halogéneké egy

---

<sup>67</sup> Lockyer és Frankland fedezte fel 1868-ban a chromosphaera spektrumában (a szerk.)

vagy hét vegyértékű lehet). A börtől a wolframig húzott ferde vonaltól balra vannak a fémek, jobbra a nemfémek - a vonaltól távolabb a leginkább fémek vagy nemfémek, a vonalon a határozatlan, kettős hermafrodita elemek, mint még az antimon. De volt a periódusos rendszernek nagy tökéletessége mellett két kisebb tökéletlensége is: 1. az egy oszlopba került elemek közt voltak eléggé elütők is. Az alkáli fémek szemmel láthatólag egy családot alkottak, a réz, arany, ezüst azonban, ha egy vegyértékűek voltak is, csak egymással alkottak egy családot, egymástól<sup>68</sup> eléggé elütöttek. Vagy az oxigén oszlopa - egyrészt az O, S, Se, Te - másrészt a Cr, Mo, W, U. 2. Három hármas csoport, köztük a vas csoport (Fe, Co, Ni) s a platinacsoport (Os, Ir, Pt) nem volt az oszlopokba besorolható, s egy új, nyolcas oszlopot kellett nyitni nekik. Azt azonban, hogy e tökéletlenségeknek mi a magyarázata, nem tudta senki, mint ahogy a tökéletességre sem volt megfejtés. Egy egészen új tudománynak - az atomfizikának - kellett kibontakoznia, hogy a periódusos rendszer titka - szinte egyik órától a másikra ölünkbe essék.

1962

---

<sup>68</sup> az alkáli fémektől (a szerk.)

## BIOKÉMIA

*Enzimek.* - Amikor a XIX. század derekán az energiamegmaradás elve a legáltalánosabb természettörvénnyé vált, nyilvánvaló volt már, hogy a szervezet energiáját vegyi folyamatokból nyeri. A tüdő oxigént vesz fel - a tápanyagok elégethető szerves anyagokból állnak; a szervezetben is az történik, ami a lombikban, ha elégetjük őket: a reakció, a kiindulópont s a végeredmény ugyanaz, csak a szervezet nem gyúlhat ki, abban lassú égés folyik. Arra azonban, hogy ez a lassúság miben áll - a szervezet kémiai folyamatai miben különböznek a vegytanban ismertektől -, arra az enzimek tanulmányozása vezette rá a tudósokat.

A lille-i szeszgyárosok, akik cukorrépából szeszt erjesztettek, a fiatal Pasteurhoz fordultak segítségért - akinek a térizóméria felfedezése akkorra már nevet s hitelt szerzett. A répa nem jól erjedt, az empirikus szabályok által előírt folyamatba valahol hiba csúszott, azt kellett lelepleznie. Akkor már ismeretes, hogy az erjedés után visszamaradt seprő gombákból áll; az azonban vitás volt, hogy ezeknek milyen szerepük van az erjedésben. Liebig azt állította, hogy az erjedést vegyi anyagoknak kell végrehajtania - Pasteur ezeknek a kis élőlényeknek a munkáját kereste benne. Tételét, hogy mikroorganizmusok nélkül nincs erjedés, a mikrobiológia kora elfogadta. A század végére derült ki, hogy Liebignek is volt igaza: Buchner élesztősejtek összezúzása után olyan szűrletet nyert, amelybe sejtek már nem voltak, az erjedést azonban fenntartotta. Azaz az erjesztő anyagok (amelyeket hol enzimnek, hol fermenteknek neveztek) valóban élő sejtekben keletkeztek, de azok mint vegyi anyagok fejtették ki hatásukat.

Az erjesztők munkáját eleinte inkább csak az ősidőktől ismert eljárásokban, mint a keményítő, cukor, tej, tanulmányozták. De nemcsak a kis élőlények, az ember sejtjei is termelhetnek ilyen erjesztőket: a véralvadást például egy alvadást siettető enzimnek, a „trombin”-nek tulajdonították, amely az ér sérülésekor jelenhet meg (hisz különben trombózist okozna). A szervetlen vegytan akkorra fölfedezte már, s az ipar használta is a reakciók lefolyását siettető katalizátorokat. Az enzimek nyilván ilyenféle - de bonyolultabb összetételű katalizátorok voltak: folyamatokat - melyek nélkülük nem folynának le, mint például a tápanyagok elbontása a bélben - előidézik. Arról azonban, hogy kémiai mik hát ezek a rejtélyes s varázsos hatású katalizátorok - a negyven évvel ezelőtt szigorló még nem sokat hallhatott. Azt is tudták, hogy hatásuk bekövetkezéséhez sok esetben - például a vér alvadásánál - egy másik anyag megjelenésére volt szükség: ezeknek a rangrejtő koenzim nevet adták - a protrombinnek például a trombokináz volt a koenzimje, az csinált hatékony trombint belőle.<sup>69</sup> A húsz-harmincas években aztán ezek az álnév alatt dolgozó, nagy hatású anyagok is kezdték inkognitójukat elveszteni. Summer a szójababból egy fehérjét állított elő, melyről kiderült, hogy azonos a hügyant bontó ureáznak nevezett enzimmel. Nagy köd szállt fel a tájról - Northrop és Warburg általánossá tették a tételt, hogy az erjesztők: fehérjék. Azaz e bonyolult, laboratóriumban nem ismételtető munkát nem külön katalizátorok, hanem a szervezet legbonyolultabb anyagai, a proteinek végzik.

Az enzimek egy részét sikerült tisztán is előállítani: kikristályosítani. Ekkor derült ki, hogy egy folyamatot, mint egy gép, több enzim végzett el egymás után: az egyik enzim zárása az egész folyamatot leállította. Így derült ki, hogy az egyszerűnek hitt, s képletbe is foglalt folyamat, mely a  $C_6H_{12}O_6$  képletű cukrot két alkoholra ( $C_2H_5OH$ ) és szén-dioxidra bontja, hús részletben folyik le, s hús különböző enzim végzi el - mindegyik más részét, mindegyik hatását egy más egyenlet írja le, míg [...] végül a különféle anyagokból a végén az eredeti

---

<sup>69</sup> ma koenzimnek az enzim kis molekulájú, nem fehérje részét nevezik (a szerk.)

egyenlet jobb oldalához jutunk. Azaz egy-egy enzim egy-egy munkapadnak felel meg, amely a munkadarabot automatikusan átveszi s továbbadja. A munka, amelyet az enzimek végeznek, hol jobban, hol kevésbé specifikusan: a [...] csak a jobbra forgató alakot tudja elbontani - az aldehid [dehidrogenáz] valamennyi cukor szénhidroxid gyökét eloxidálja. Ezeknek a fehérjéknek a fermentálás sokszor nem is kizárólagos feladatuk: a sejtek vázát alkotó fehérjék is végezhetnek [...] - második munkaként - enzimtevékenységet.

Hogy a fehérjéknek hány százaléka enzim is - nem tudjuk. Az izom harminc százalékát tevő miozin (mely az izom megrövidülését végzi) enzim: de ezenkívül is vannak még az izomban enzimek - az olyanféle mirigynek, mint a pancreas, még nagyobb az enzim százaléka. Egyáltalán nem tudjuk, hogy támasztásra átalakult fehérjéken<sup>70</sup> kívül (mint a bőr [...]) van-e olyan fehérje, amely nem enzimekedik is - egyszersmind. Hányféle enzim - hányféle specifikus folyamat összekapcsolódásából állhat ezek szerint a szervezet „bioszférája”? S mily kevés lehet - bár jellemző -, amit e biokémiai folyamatokból - fontosságuk, szembevető voltuk miatt már kimutattak. Ha a szerves vegyten a szervetlenből a szénláncok, gyűrűk bonyolultabb világába vezetett - itt egy még bonyolultabb s szebb világ nyílik meg előttünk: a biokémiai folyamatsoroké.

*Fehérjék és nukleinsavak.* - Azt a felismerést, hogy az erjesztők: fehérjék, a szervezet kémiája tehát: fehérjetevékenység - a század húszas éveitől meggyorsította a fehérjekutatás. A fehérjék fontosságát régen is ismerték. Görög nevük, a protein (melyet holland tudós adott a múlt század elején) épp azt jelenti, hogy elsők a tápanyagok között. Tudjuk, hogy rendkívül nagy molekulájú anyagnak kell lenniük - a szerológiai kutatás specifikusságukra is felhívta a figyelmet. A szervezet a belékerült idegen fehérje ellen védőanyagot termel, amely kizárólag azt közömbösíti. A szérumláz az egyik befecskendezett fehérje - az oltás - ellen érzékenyített szervezet reakciója ezért nem szabad ugyanannak az állatnak a fehérjéjét a szérummal ismételtelen befecskendezni.

De ha a szervezet legspecifikusabb s legáltalánosabb tevékenysége végeredményben a fehérjék munkája, természetes, hogy a biokémiának nem lehet fontosabb feladata, mint a fehérjék szerkezetének a kibogozása. A munka kezdete itt is a századfordulóra nyúlik vissza. Paul Fischer, aki huszonöt évi munkával a különféle cukrok szerkezetének a sajátosságait tisztázta, a fehérjék elemzésének is nekivágott. Azt találta, hogy ha a fehérjéket savval vagy lúggal részeire bontotta - hidrolizálta -, a fehérjékből aminosavak keletkeztek. Azt is felismerte, hogy az amino- és a savgyököt a fehérjékben peptidkötés tartja össze: az ammóniacsoportból (NH<sub>2</sub>) és a karboxil (COOH) gyökből víz kilépésével NHCO gyök keletkezik, Peptidkötésnek azért hívjuk, mert két vagy több aminosavból álló vegyületeknek peptid, illetőleg polipeptid a nevük. Ő maga is megpróbált aminosavakat ilyen kötéssel összekapcsolni. Tizenkilenc lánccsomet sikerült összefűzni - a kapott vegyület azonban nem volt fehérje (nem lett volna akkor sem, ha - mint jóval később a magyar Bruckner - sokkal többet kapcsolt volna össze). Az aminosavak száma rendkívül nagy lehet: maga a szénlánc, amelyre az ammónia- és karboxilgyökök felfűződnek, a zsírsav és benzolsorozat bármelyike lehet - a jellemző gyökök elhelyezkedése rendkívül sokféle - azonkívül másféle gyökök: hidroxil, kénhidrogén, metil - fölös savgyökök is módosíthatják a szerkezetet, úgy, hogy az elképzelhető aminosavak száma százazrekre rúg. A szervezet fehérjeinek a hidrolizálása révén azonban mindig ugyanazt a húszféle aminosavat kapták. Ezek közt volt egyszerű amino mono-karbonsav (mint a glicin, alanin, valin, leucin, izo-leucin) két OH gyököt tartalmazó oxigénsav<sup>71</sup> (szerin, treonin) ként tartalmazó (cisztein, metionin). Két COOH gyöke van az aszpargin- és a glutaminsavnak,

---

<sup>70</sup> vázanyagok (a szerk.)

<sup>71</sup> hidroxil-karbonsav (a szerk.)

illetőleg a belőlük levezethető aszparaginnak és glutaminnak; két amino- és egy savgyököt tartalmaz az arginin s lizin - gyűrűs aminosavak a tirozin, fenil-alanin, triptofán, hisztidin, prolin. Ezek közt az aminosavak közt - mint később állatok etetésével megállapították - van olyan, amelyet a szervezet nem tud előállítani - tehát létfontosságú, hogy a táplálékban legyenek - ezeket nevezték esszenciális aminosavaknak - másokat maga a szervezet is előállít, ezeknek a megvonása nem jelent éhezést. Az ember azt gondolná, hogy az esszenciális aminosavak általában bonyolultabbak, mint a nem esszenciálisak - a valinon két metilgyökkel több van, mint az alaninon, a treoninon egy ciszteingyökkel több, mint a szerinen s ciszteinen - s a szervezet kémiaiája, amely az egyszerű aminosavat elő tudja állítani, ezeket a gyököket már nem tudja ráragasztani - az arginin nevű diaminomolekula képlete is bonyolultabb a lizinénél; a gyűrűs aminosavak közt azonban az ellenkezőre is van példa: a tirozint, az aminosav-oxifenil-propionsavat a szervezet elő tudja állítani, a fenilalanint, amely csak aminofenil-propionsav, nem.

A következő nagy lépés az volt, hogy előbb ozmózisnyomásokban, később az ultracentrifuga segítségével sikerült a molekulásúlyukat meghatározni. Az elektroforézis segítségével kevérekből szét lehetett választani őket. Kiderült, hogy kristályosíthatók - azaz egy fehérjefaj molekulái nem különbözhetnek egymástól - vagy csak nagyon kevéssel, különben nem lehetne sorakoztatni őket.

A szétválasztott fehérjék osztályozhatókká váltak. Az általános alakú osztályozás: vannak fél-soros<sup>72</sup> fehérjék (mint a miozin, kollagén), amelyben a molekulák fonálszerűek, s globulárisak, mint a vérfehérjéi, amelyeknek az átmérője minden irányban egyforma. A tiszta fehérjék mellett, mint az albuminok, globulinok, vannak olyanok is, amelyek más anyagot, cukrot, zsírt, fémet stb. tartalmaznak (gliko-, lipo-, króm-, fémproteidek), Nagy nehézséget okozott a fehérjékben előforduló aminosavak mennyiségi meghatározása: ma ez a papírkromatográfias módszerrel történik. A fehérje szerkezetének a kidolgozásában a legfontosabb lépés azonban az aminosavak sorrendjének a megállapítása volt. Sanger ennek a módszerét hosszabb polipeptideken dolgozta ki. Az aránylag egyszerű szerkezetű inzulin volt az, amelynek a szerkezetét először sikerült tisztázni. Az inzulin két aminosavlánc alkotta fonálból áll, melyeket haránt - két-két kéntartalmú aminosavval - diszulfid-hidak kötnek össze. Az inzulin képlete tehát (bár tisztázandó részletek vannak még) éppúgy felírható, mint mondjuk a cukroké: csak ebben a képletben egy-egy aminosav alkotja az építőköveket.

A fehérjék az élő szervezet anyagai közt megőrizték az első helyük - az utóbbi évtizedekben azonban, amióta a fehérjék keletkezéséről is tudunk valamit, egy másik nagy molekulájú anyagcsoport, a nukleinsavak nyomultak jelentőségben melléjük. A nukleinsavakat még a múlt század hatvanas éveiben szabadították ki először a hozzájuk kapcsolt fehérjék elbontása után. A nuklein nevet azért kapták, mert magdús szövetekben, mint például [...], nagy mennyiségben fordulnak elő - savnak pedig, mert állandó alkotórészük a foszforsav. A nukleinsavak, mint rég észrevették, két nagy csoportra oszlanak; minthogy az egyiket először élesztőből, a másikat thymusból állították elő, eleinte élesztő- és thymus-nukleinsavaknak nevezték őket, s azt hitték, az egyik a növényi, a másik az állati szervezet eleme. Ez azonban nincs így - mindegyik előfordul úgy az állati, mint a növényi sejtekben - sejtmagban a thymus, a citoplazma szemcséiben az élesztő nukleinsav. A kettő közt a jellemző vegyi különbség, hogy mindegyik tartalmaz öt szénatomos cukrot, de a citoszoma nukleinsav ribózt, a sejtmag nukleinsav desoxiribózt. Ma ennek megfelelően az egyiket ribonukleinsavnak, a másikat pedig dezoxiribonukleinsavnak nevezzük: rövidítésük magyarul RNS és DNS (angolul RNA és DNA).

---

<sup>72</sup> fibrilláris (a szerk.)

A nukleinsavak éppolyan nagy molekulájú anyagok, mint a fehérjék; erősen viszkózusak, tehát szerkezetük fonálszerű. Ellenállóbbak, mint a fehérjék: erős savban száz fok felett ők is részekre bonthatók - csak itt nem aminosavakat, hanem az említett pentózokon kívül purin, illetőleg pirimidin bázisokat kapunk. A purin és a pirimidin mint láttuk, nitrogént tartalmazó gyűrűs vegyületek - a purin két gyűrűből áll, mint a naftalin, s abban négy szénatom helyén van nitrogén, a pirimidin egy gyűrűjében két nitrogénatomot tartalmaz. Purinbázisok az adenin, guanin; pirimidinbázisok: citozin, uracil, timin. A nukleinsavakat ma olyan láncnak képzelik el, melynek egyes szemei pirimidin- és purinbázisok származékai - úgynevezett nukleotidok -, amelyeket a következő szem cukrával a foszforsav köt össze. A DNS a mai feltevés szerint, mint az inzulin, két ilyen párhuzamos, de spirálisan futó láncból áll, amelyeket a bázisok NH<sub>2</sub> és OH csoportjai közt létrejött hidrogénkötés tart össze. A purin- és pirimidinbázisok a szervezetben aminosavak gyűrűbe állása révén szintetizálódnak, s a bélbe jutott táplálékban két enzim, a ribonukleáz és dezoxiribonukleáz végzi a lebontásukat.

Arra, hogy nukleinsavaknak a fehérjeszintézisben lehet részük, a vírusok tanulmányozása adott némi tápot. A vírusok a legalacsonyabbrendű élőlények - például a növényeken élősködnek, mint a dohánymozaik betegség vírusa - egyetlen, kikristályosítható molekulából állnak. A dohánymozaik betegségénél - de a *Colifágnál* is - kimutatták, hogy a fertőzéshez nincs okvetlen szükség a vírus fehérje részére; elég, ha a nukleinsav (RNS) hatol be a megtámadott sejtbe, s ott kiegészíti magát - dohánymozaik vírussá. Azaz a nukleinsavaknak a fehérje építésében kell szerepének lenni; az RNS ezért fordul elő főként a citoplazma szemcséiben, amelyek a plazma fehérjegyárai. A DNS-sel folytatott kísérletek azt mutatják, hogy ezzel bizonyos tulajdonságokat is át lehet vinni egyik sejtről a másikra. Tokkal bíró pneumococcusból nyert DNS-t tokatlan coccusok tenyésztésébe vive ott tok fejlődik; penicillin elleni rezisztenciát is át lehet vinni így egyik baktériumtörzsről a másikra. A nukleinsavak tehát nem csak fehérjeszintézist irányítanak - de tán bizonyos enzim tevékenységet is képesek gerjeszteni. Azaz ha a fehérjék az élő sejt laboratóriumai - a nukleinsavak e műhely fölépítői s irányítói.

*Vitaminok és hormonok.* - Mialatt az erjedés tanulmányozása s a fehérjekutatás a szaklaboratóriumok világában húzta föl - a huszadik századi biológia központi épületét, a szót megérdemlő biokémiát (mely negyven évvel ezelőtt még inkább csak a szervezetben előforduló anyagok ismeretét, kimutatását jelentette): - a közönség érdeklődését, mint az új tudomány szemét és elmét foglalkoztató kirakata - két másik anyagcsoport megismerése kötötte le. Ez érthető is, mivel a két anyagcsoport - a vitaminok s a hormonok -, ha a szervezet nem kapta meg, vagy nem termelte őket, veszedelmes hiánybetegségeket okozhattak, melyeket mint skorbutot, angolkórt, cukorbetegséget, myxödémát az emberek régesrég ismertek, de megfejtésükre csak most jött el az idő, s azontúl, hogy a betegségek egész új csoportját tették érthetővé s egyben gyógyíthatóvá - felfedezésüknek társadalmi s pszichológiai jelentősége is volt: a vitaminok táplálkozásunkat alakították át - a hormonokat termelő belső elválasztásos mirigyeké - az alkatról való spekulációkat pezsdítették meg.

Azt, hogy a skorbutot - a sarkkutatók veszélyes rémét, mely előbb az ínyn, aztán testszerte súlyos vérzéseket okozott, a fogak kihullottak, a test elgyengült - friss gyümölcs és zöldség fogyasztásával el lehet kerülni - már Cook kapitány a XVIII. század végén tudta - később azonban megint feledésbe ment. A nyolcvanas években [...] orosz kutató hívta fel a figyelmet, hogy a megfelelő kalóriájú fehérje-zsír-szénhidrát eledel nem fedezi az állat táplálékszükségletét - a táplálékban tehát még valami fontos alkatrésznek kell lennie -, ezeknek az ismeretlen, kis mennyiségű s mégis fontos anyagoknak a létét azonban Eykman holland orvos vitte be a kutatók képzeletébe, aki megmutatta, hogy a beriberi nevű baj - idegbetegség, melynek a rizsen élő keleten sok százezer ember esett áldozatul - a hántolt rizs fogyasztásából eredő ártalom. Ő hántolt rizsen tartott állatokon beriberihez hasonló betegséget idézett elő,

mely a rizskorpából készült kivonattal gyógyítható volt. Minthogy a kivonatban lévő anyag aminok tulajdonságát mutatta: ő adta neki a vitamin nevet. Azt, hogy a skorbut és az angolkór is ilyesféle hiánybetegségek - s hogy a táplálékban a sókon és kalóriaadó anyagokon kívül még bizonyos, igen kis mennyiségű anyagok is vannak, melyek az életre nélkülözhetetlenek, Hopkins mondta ki - a tízes évek legelején.

A vitaminokról kezdetben csak annyit tudtak, hogy melyikök milyen hiánybetegséget okoz - s hogy mégis beszélhessenek róluk: az A B C betűket adták rájuk névül. A csukamájolajban levő vitamint - mely az angolkórt gyógyította - A-vitaminnak nevezték el; azt, hogy a beriberi s a skorbutot két különböző, vízben oldódó vitamin okozza: tudták már, az egyik ismeretlen a B betűt kapta maszkul, a másik a C-t. A vitaminok száma, ahogy a kutatás haladt, szaporodott. Az A-vitamin mögött is két anyag bújt meg: a D-nek a hiánya okozta az angolkórt, az A hiánya pedig, amelyre a látáshoz van szükség, a farkasvakságot, - csecsemőkön: a szem kiszáradását s xerophthalmiát. Az E-vitamin szintén zsírban oldható - s hiánya patkányoknál meddőséget, izomsorvadást okoz. A K-vitaminra az alvadásnál van szükség. Szent-Györgyi vette észre, hogy a C-vitamin a kísérleti állatoknak csak a skorbutját gyógyítja - az erek töredezését nem. Ezt a P-vitamin hiánya okozza. A legtöbb egymástól eltérő anyag a B betű mögött bújt elő. Volt idő, hogy tizenkét B-vitamint tartottak számon. Ezek közül azonban csak a B1, B2, B6, B12 igazi vitamin - a többi vagy nem vitamin sajátosságú, vagy már ismert, névvel bíró anyag, mint a nikotinsav, folsav, pantoténsav. Annak, hogy egy anyag az egyik állatnál nélkülözhetetlen vitamin, a másikonál nem: az egyik oka, hogy [az egyik] szervezete elő bírja állítani, a másiké csak a táplálékból kaphatja meg. Az is előfordulhat - a K-vitamin esetében például -, hogy a szervezet nem képes előállítani, a bél baktériumai azonban annyit termelnek neki - hogy a megvonása nem okoz hiánybetegséget. Ha minden olyan anyagot, amit a szervezet nem tud előállítani, vitaminnak tekintünk - akkor a fogalmat bizonyos tekintetben az eszenciális savakra - sőt az eszenciális aminosavakra is ki kell terjeszteni.

A harmincas években a betűk mögött levő anyagokat aztán sorra leleplezték. A B-vitamin csoportjába tartozó néhány anyagot kivéve nagyrésztük nem tartozik a nagy molekulájú anyagok közé. A C-vitamin, melyet Szent-Györgyi állított elő citromléből s paradicsompaprikából - egy hat szénatomot tartalmazó lakton: az aszkorbinsav. Az A-vitamin a sárgarépában levő karotinhoz hasonló láncegyület - csak nem hús, hanem tíz szénatomot tartalmaz. A D1- és D2-vitamin - szterin, s a mellékvese és nemi mirigyek hormonjaihoz áll közel. A K-vitaminnak és az E-vitaminnak hosszú oldallánca van, de még mindig a kisebb molekulájú vegyületek közé tartoznak.

[A kézirat itt megszakad.]

1962

## A MATEMATIKA KIALAKULÁSA

A kőkor embere is számolt. A harcra, vadászatra kimenő csapatok, az elejtett vad, megölt ellenség mennyisége, a szétosztásra kerülő zsákmány, a kereskedelem akkori formái: mind számolásra, műveletek elvégzésére készítették. Nagyon valószínű, hogy azokban a régi kőkorszaki társadalmakban, ahol a nagyvadak elejtése nagyobb szervezeteket s helyel-közzel művészetet is hozott létre, a számolási készség is fejlettebb lehetett, s hogy az újabb kőkorszakot létrehozó forradalom, a növény és állattenyésztés bevezetése a számolásra is serkentőleg hatott. A matematika igazi kezdetét azonban a második nagy forradalomnál kell keresnünk, amely a paraszti termelés fejlődésével a városok létrejöttét s az első urbán civilizációk kialakulását tette lehetővé.

A Közel-Kelet nagy civilizációi, az egyiptomi, mezopotámiai és az Indus völgyében létrejövők: azt mutatják, hogy a városi életforma egymástól függetlenül is azonos módon serkenti matematikai képességei fejlesztésére az embert. Az uralkodók adókvetése s -behajtása, a kereskedők árubeszerzési kalkulációja a számtan, aritmetika fejlesztésére kényszerít; a tulajdonjog, földfelosztás a területmérést s a mértani ábrák ismeretét kívánja meg; a csillagászat, amelynek a naptárt kell szabályoznia, a csillagok helyzetét rögzítő táblázatok felállítását, az égi helyek mérése térmértani fogalmak bevezetését teszi szükségessé.

Az egyes országok adottságai s a népek hajlama e közös alapon, melyet a vívmányok átvétele biztosított, természetesen még valami helyi többletet is hoztak létre. Az egyiptomiaknak az orvostudomány mellett épp a matematika volt a fő erősségük. Jó hírüket öregbíti, hogy sírjaikban olyan írott tekercesek is maradtak vissza, mint a Rhind papyrus, amely hű képet ad matematikai tudásuk fejlettségéről. Náluk már nagyban dívtak azok a találós kérdések, amelyeket mi egyenleteknek nevezünk. A Rhind-papyrus egyszerűbb feladatai közé tartozik az, amelyik azt kérdi, melyik az a mennyiség (ez az amit  $x$ -szel jelölünk) amelyhez a kétharmadát, felét, egyhetedét hozzáadva 33-t kapunk. (Mai algebra nyelvén  $x + \frac{2}{3}x + \frac{x}{2} + \frac{x}{7} = 33$ ), s tökéletes a megoldása, hogy  $14 + \frac{28}{79}$ . Csak a törtet nem tudták úgy írni, mint mi, mert az egyiptomiak csak olyan törteket ismertek, amelyeknek a számlálójuk egy. A  $\frac{28}{97}$ -t körülményesen írták tehát fel:  $\frac{1}{4} + \frac{1}{96} + \frac{1}{56} + \frac{1}{679} + \frac{1}{776} + \frac{1}{194} + \frac{1}{388}$  - ami közös nevezőre hozva  $\frac{28}{97}$ -t ad. A Nílus minden évben elmosta a földek határköveit, úgyhogy önáluk minden évben földosztás s földmérés volt - ez a területszámításban tette ügyessé őket. Mint nagy építkezők pedig a hasáb, henger köbtartalmára állítottak fel szabályokat. Piramisaik pontos szögmérőknek mutatják őket - a harmadik ezredév elejéről való gizehi piramis pontos négyzetalapon nyugszik, s az észak-dél iránytól alig négy percre tér el. A kör sokszögesítése is foglalkoztatta őket, s aránylag jól közelítették meg a Ludolf-féle számot. Mi a 9 átmérőjű köralakú föld területe? - kérdik az írók. Vedd el az átmérő egykilencedét, marad nyolc, szorozd meg a nyolcat nyolccal (azaz vedd a nyolc négyzetét, ahogy mi mondjuk), s az összeg a föld területe. Az átmérő a mi jelzésünk szerint  $2r$ ; ennek a nyolckilencede  $\frac{16r}{9}$ , s ennek a négyzete  $(\frac{256}{81})r^2$ ;  $\frac{256}{81} = 3,16$ . Tehát két tizeddel közelíti meg a mi  $\pi$ -ket.

A babiloniak kőtáblái nehézkesebbé tették a följegyzést - de az egyik közülük arra vall, hogy ők is ismerték a mértani sorokat, a helyérték bevezetése felé ők tették meg az első lépést. A háromszög területét ők is ki tudták számítani, de a kör területének a mérésében ügyetlenebbek voltak, mint az egyiptomiak. Az ő fő erejük a csillagászat volt, amely a csillagjósolás szolgálatában állt - de pontosan jegyezték az égbolt eseményeit, meg tudták jósolni a Nap és Hold helyét, s így a nap- és holdfogyatkozásokat. Tőlük ered, hogy a kört ma 360 fokra osztjuk; az ő évük ugyanis 360 nappól állt - a nap azalatt épp egy teljes kört írt le: egy nap egy fokot. A sugár egyhatoda a kör kerületének - 60 fok tehát; innét ered a 60-as szám nagy megbecsülése. Ha az egyiptomiaknál a számláló volt mindig egy - náluk a hatvanas nevező az állandó, s a

számláló változik. A babiloniak nemcsak a csillagok állását, de a különféle matematikai műveleteket, szorzás, számok gyökeit is táblába égették. Az egyik ilyen tábla a számok négyzeteiből álló számsort ábrázolt: 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49. ... Itt azonban nem 64 következett, mint várható lett volna, hanem 104. Ez azt bizonyítja: hogy ők a hatvan után, mint mi a tíz után, egy egyest írva előre, újra kezdték a számolást. A derékszögű és egyenlőszárú háromszög területét is ki tudták számítani, de a kör területére az átmérő háromszorosát vették.

A hindukról feltételezik, hogy igen régi a matematikai tudásuk. Ezt azonban bajos bizonyítani. A Mohenjo Daro-i civilizációt i. e. 1200 körül elpusztító árjak szentírásaiban, a Védákban nincs nyoma matematikának - az első írott emlékek már a Nagy Sándor utáni időkből valók, amikor a görög hatás is kimutatható bennük. Az azonban biztosra vehető, hogy az ősi Indus-völgyi civilizáció sem boldogult a kor matematikája nélkül - s az is lehet, hogy a későbbi hindu számtan egynémely sajátossága ebben az ősi lakosság észjárásában gyökerezik.

*19??*

## A MATEMATIKA FEJLŐDÉSE A XIX. SZÁZADBAN

### *Áttekintés*

A XIX. századi matematika útját nem könnyű követni. Tán ez az oka, hogy matematika-történészek olyan szívesen állnak meg a XIX. század küszöbén. Az előző századok matematikáját tudósok kis köre hívta életre. A nagy teljesítmények is jól követhető láncot alkotnak: a jelölések állandósulása, az algebrai nyelv kialakulása a XVI. században, a trigonometria önállósulása s a számolás tökéletesedése (a tizedes törtek s a logaritmus révén) a század végén s a XVII. században; Descartes-ék analitikus mértana a XVII. század elején, hogy aztán az újkor döntő matematikai alkotása: a differenciál- és integrálszámítás s annak alkalmazása a mechanikától a valószínűségszámításig szinte minden erőt magába szívjon. A XIX. században nemcsak a matematikusok, de a matematikát űző népek és osztályok száma is megnőtt, a törekvések is kuszább fonatot alkotnak, mint eddig; ezekből néhányat próbálhatunk csak kiemelni.

Az egyik szembeűnő törekvés: a matematika szilárdabb megalapozása. A XVIII. századi ismeretelmélet, amint tudjuk, a természettudomány - elsősorban a matematika - biztosságát áhítva igyekszik a filozófiának természettudományos alapot adni. Kant művének ez a szépsége s korlátja. Az ismeretelmélet most visszaadja a kölcsönt, ő eszmélteti rá a matematikusokat, hogy a matematika korántsem olyan precíz, mint a híre, hogy az utolsó századok nagy építményében sokkal több a lángeszű rögtönzés, mint kívülállók hiszik. Megindul tehát a munka, hogy amit fölűztak, utólag s most már a matematika híréhez méltón, megalapozzák.

Ennek a szigorodásnak egyik jellemző tünete: a számelmélet becsbeűtása. Aki a matematikát csak mint a fizika eszközét tiszteli: az efféle kutatást, mely a számokat önmagukban (mint a bennük reűljő matematikai varázslatok bűvészcilinderét) nézi, másodrendűnek érezheti. A matematika alapja azonban mégiscsak a szám, s a számelmélet fellendűlése a görögöknél Pűthagorász, az újkor elején, Fermat ideűjében mindig annak a jele volt, hogy a szám elvonatkozik attól, amit számol, s a matematika az alkalmazástól visszahűzódva, mint tiszta s még tisztább matematika igyekszik önnönanyagában elmerűlni, hogy e tornával s eredményeivel aztán még alkalmasabbá válűjék az alkalmazásra is. Most Gauss az, aki, mielőtt a csillagászat (mint egykor Galileit) fűtémájától elcsábítaná, nem ismert magasságokba viszi fel az aritmetikát. De ha ő aránylag ifjan el is fordul tőle, a számelméleti szorongás az egész századon át tart, fűnntartűjék az olyan fekélyek, mint az irracionális vagy immaginárius számokat körülűevő zavar; magának a szám fogalmának a kiterjesztése a század második felében: Kronecker, Kummer, Dedekind munkásságával következik be.

A szigorodás másik jele a geometria s algebra új alapvetése. E téren eddig a geometria jutott tovább, bár nagyjában ott állt, ahol Euklidész hagyta. A görögök felismerték a mértan deduktív természetét, hogy csak az építhető bele, ami bizonyos eleve nyilvánvaló axiómákból vagy inkább (a mai matematikusok ezt a szót szeretik) posztulátumokból, megkerűlhetetlen módon levezethető. Az euklidészi posztulátumok kissé taláalomra voltak megűlasztva, s fűként nem voltak függetlenek egymástól, sőt volt egy köztűk, a párhuzamosokra vonatkoző, amelyet már az ókori szkepszis is kikezdett, s az ismeretelméleti érzékenység a XVIII. században állandóan ostromolt, jobban akarván pótolni; Lambergben már az is felűillant, hogy nélküle is következetes mértant lehet fűlépíteni. Ezt a nem-euklidészi geometriát forgatta magában önnön gondolata következményeitől megrettenve Gauss, ezt alkotta meg más-más módon, egymásról nem tudva, Bolyai és Lobacsevszkij; míg az axiómák szigorú szét- és megűlasztása, a valódi elemek analízise: a század végén Hilbert munkája lett.

Az, hogy az algebrának is ilyen elemi posztulátumokra kell épülnie, a XIX. századig eszébe sem jutott senkinek. A görög érzékiség, szemléletesség a mértanban építette meg matematikáját, az algebra emellett - még az alexandriai Diophantésznél is - a határozatlan egyenletekkel egyértelmű találós kérdésekben kérte az életet. A görögség utódai, hinduk, arabok, a középkor nyugati népei (bár inkább számoló, mint térszemlélő népek voltak), az algebra mondattanáig eljutottak ugyan, addig azonban, hogy az algebra mélyén fekvő posztulátumokkal euklidészi módon foglalkozzanak: nem. Az algebrai műveletek, főként a felsőbb fokú egyenletek megoldása sokkal jobban lekötötte őket, semhogy az efféle filozófiai szörszálhasogatás érdekelhette volna. A XIX. században főként az angol iskola volt az, amely a műveleteket (s az előfeltételüket képező posztulátumokat) megtanulta leválasztani a tartalmukról, s az algebra alapvetésében (főként Boole-lal) a gondolkodás törvényeire ástott le, aminek természetes következménye lett az algebra logizálása s a logika algebrai köntösbe öntése: Whitehead és Russell műve.

A harmadik terület, ahol ez a szigor szinte az utólagos szigetelés munkájához vált hasonlóvá: a differenciál- és integrálszámítás hatalmas és gyorsan felhúzott épülete. Aki a differenciálszámításba csak bele is kukkantott, s a kronológia iránt nem egész közömbös, eltűnődhet rajt, hogy míg a differenciálszámítást Leibniz és Newton már a XVII. század végére megalkotta, azok a kissé unalmas biztonsági rendszabályok, melyek e számítás elemi fogalmainak - mint konvergencia, határérték - adnak formát, olyan XIX. századi neveket dobnak föl, mint a Cauchyé vagy Weierstrassé. Ennek azonban megvan a tudomány fejlődésére jellemző oka. A differenciálszámítás: vakmerő manőver a végtelennel. A görbe húrja, akárhogy csökkentjük, voltaképpen sosem válik érintővé: a két egész közel hozott pont közt is ott van a pontok végtelen örvénye. A differenciálszámítás első munkásai átvették magukat ezen az örvényen, most jött el az ideje, hogy a problematikus műveletet új fogalomalkotással igazolják, végtelennüket megfékezzék, s a kétkedő aritmetikussal szemben is megvédjék.

A századhatárok persze nem torlaszolják el a problémák folyamát, s a XIX. század is örökölt egy csomó megoldatlan feladatot, kifejtést kívánó kezdetet; azonban ezeknek a tárgyalásában is feltűnik az új, igényesebb, elvont matematikán edzett hozzáállás. Tán ennek a következménye, hogy a matematika hagyományos ágai most nem széltében terjednek; a legkülönbözőbb matematikusok életében ugyanaz a három-négy kérdés merül fel, egyre magasabb, nagyobb általánosítást engedő tornyokként nyúlva fel a jobban megvetett, viszonylag szűk alapokon. Az algebra a negyedfokúnál magasabb egyenletek gondját örökölte; elsősorban az ötödfokúét, melyet nem lehet mint a harmad-negyedfokút, alacsonyabb egyenletekre visszavezetni. Két fiatal matematikussal, Abellel és Jakobival is megtörtént, hogy azt hitte, megtalálta a betűkkel megadott ötödfokú egyenlet gyökeit - algebrai megoldását -, hogy aztán rájőjjön hibájára, s pontosabban tegye fel a kérdést: milyen ötödfokú egyenletek oldhatók meg, s általában lehet-e algebrai megoldásuk? Igen jellemző, hogy a második kérdésre adott tagadó válasz s a hozzátartozó bizonyítás alapozta meg az egyenletek elméletét, s hogy e probléma aztán egyre általánosabb alakban húsz, majd negyven év múlva még két matematikusi műnek kerül a középpontjába. A huszonegy éves Galois, aki nem volt olyan szerencsés párbajozó, mint a mi Bolyaink, az ötödfokú egyenletek elméletét rögzíti a párbaja előtti éjjelen, Hermite az ötödfokú egyenletek nem algebrai megoldását kapcsolja össze a század másik kedvenc témájával, az elliptikus függvényekével.

Az analízisben a komplex változós függvénytan kidolgozása volt a nagy adósság. Arra, hogy a független változó nemcsak valós szám lehet, természetesen előbb is gondoltak; Euler e függvényeknek a valóstól eltérő legfontosabb sajátosságát is felismerte; az új s a fizikában oly fontos függvények analíziséhez azonban csak a valós és imaginárius részből álló komplex számok (a szó Gausstól származik) végleges elhelyezése a vonakodó tudatban: teremtette meg a számelméleti alapot. Az analízis hézagából így kinőtt komplex függvénytan egyszeriben

fontos szerszámává vált a fizika párhuzamosan kinőtt új ágainak, főként az elektromosság-tannak, s ami még meglepőbb, az új, nem euklidészi geometriának. Aki csak bele is lapozott a Bolyai *Appendix*-ébe, láthatta, milyen fontos szerepe van ott az „i” betűnek (van magyar felsőbb mennyiség-tani munka, amely az egész nemeuklidészi geometriát a komplex függvénytan egyik fejezeteként tárgyalja).

A század másik motívumként visszajáró témája az elliptikus függvények, melyek olyan nagy szerzők munkásságában térnek vissza, mint Abel, Jakobi, Weierstrass, Poincaré. Az ellipszis ívhosszát meghatározó elliptikus integrálokat Legendre munkássága hozta át a XVIII. századból; majd Abel fordította meg a kérdést, s vizsgálta az integrálokhöz tartozó függvényeket, amelyek periódusos voltak a közönséges sinus-cosinus függvényekre emlékeztetnek, csak bonyolultabbak, kétszeres a periodicitásuk. Jakobi ezeket a függvényeket tovább általánosítva, építette fel „két n”-periódusú függvényeit, míg a függvények végső általánosítása Poincaréra maradt. Az elliptikus integrálok egy-egy mai tankönyvben ahhoz képest, hogy mennyi erőt fordítottak rájuk, aránylag kevés helyet foglalnak el. De mint az ötödfokú egyenletek példája is mutatja, az, hogy egy tudásrész tankönyveinkben mekkora helyet kap, nem mértéke annak, hogy mint probléma milyen fontos áttörési helye volt az alakuló tudománynak.

A XIX. századi matematikának az ismeretelméleti szigor mellett a természettudományok előretörése volt a másik nagy sarkallója. A legszebb példát épp Gauss élete nyújtotta a kétféle ösztönzés kereszteződésére. Fiatalon aritmetikája tornyait építi, aztán fokozatosan a csillagászat, majd a geodézia, az elektromosság és magnetizmus matematikája köti le. A XVIII. század matematikája a fizikának abban a részében nyújtotta a legtöbbet, melynek a segéd-eszközeként született; a század két főműve, mely két hosszú élet eredményeit summázta: Lagrange földi s Laplace égi mechanikája. A XIX. század aztán egymás után teremti meg a fizika többi részének matematikai fegyverzetét. Abban az időben, amikor az első gőzgépek készülnek: Fourier, Napóleon egyiptomi útítársa, a hőtánét; amikor Fresnel s mások a fény (newtoni) mechanikai elméletét bolygatni kezdik: az ír Hamilton a fénytánét; míg az elektromosság tana Gauss fáradozásai ellenére voltaképp csak a Herz-hullámokat megjósoló Maxwelllel kapja meg differenciálegyenleteit.

Legmesszebb ható következményei azonban még a fizikában sem ezeknek a közvetlen fizikai szükséglet kielégítésére létrejött diszciplínáknak lesz, hanem más, eleinte szellemi játéknak tűnő törekvéseknek, melyeket a tiszta matematikában lábrakapott absztraháló hajlam hoz létre. A komplex számokat Gauss egy számpárral jelezte, melyet számsíkján egymásra merőlegesen: a reális s imaginárius koordináta irányában mért fel. Hamiltonnak volt a gondolata, hogy e számpárok mintájára megvizsgálja a három számmal (nem a síkban, hanem) a térbe írható mennyiségeket, melyeket quaternióknak nevezett. Ezekből a quaterniókból születtek meg a fizikában olyan népszerű vektorok. A komplex számsík komplex számot jelölő pontjához - mint tudjuk - nemcsak a koordinátákon át lehet odajutni, hanem egy irányított egyenessel: az úgynevezett síkvektorral is. Hamilton quaternióihoz éppígy egy térvektorral. E térvektorok veszedelmesen hasonlítanak azokhoz a nyilakhoz, melyekkel erő, sebesség, gyorsulás nagyságát s irányát szoktuk jelezni, s a fizika örömmel kapott a XX. században kialakult vektor-algebrán s vektor-analízisen, amely a koordinátamezbe öltöztetés nehézkes, copfos módjait erőlyesebb, modernebb matematikával pótolta.

Az absztraháló elme másik remeklése: a műveletek említett leválasztása volt anyagukról, s tömörebb jelölésük. A többismeretlenes egyenlet hosszadalmassága hívta életre a determinánsokat, melyekben az egyenlet együtthatói úgy kerültek egymás mellé, hogy egyszersmind a végzendő számolásokat is előírták, s az egyenletrendszer megoldását bámulatosan meg-

könnyítették. A determináns legegyszerűbb alakja volt a matricának,<sup>73</sup> mely két függőleges közé írt konkrét tényezőkön bizonyos meghatározott műveletsorrendet jelöl. A matricák bevezetése a vektor-análízisbe hozta létre a tenzorszámítást. Ha egy függvény független változója: vektor, akkor az ő meghatározó vektor-függvényét három - összesen kilenc tagból álló - egyenlet határozza meg, amelyet a tenzorszámítás röviden az  $A(X)$  szimbólummal jelöl. Ha a matematika újkori kibontakozásának előfeltétele az élő nyelvet megrövidítő matematikai jelölések bevezetése volt, itt a jelölésnek egy magasabb módjához jutottak el, amely nem egy konkrét műveletet, hanem a műveletek egész csoportját képes előírni.

Az invariánsok tana (mely a modern fizikai világképben bizonyos fokig Newton abszolútumát hivatott pótolni) több disciplinából nőtt ki, de mindenikben átalakításokról volt szó, s arról, ami az átalakítások közben változatlan marad. A rendes s a Monge által megalkotott ábrázoló mértanban nagyon sok minden az, ami egy eltolásnál változatlan marad: vonalak hossza, szögek, sarkpontok sorrendje. A projektív geometriában (melyet Poncelet, az École Polytechnique másik tanára dolgozott ki rendszeres tudományá) kevesebb. Ha egy pontból sugarakat húzunk egymást metsző egyeneseken át: a különféle egyenesekből levágott egyenes darabok hossza nagyon eltérő lesz, de a metszetek közt állítható fel olyan aránylat, amely minden egyenesen ugyanaz: invariáns.

Magát a szót az angol Cayley és Sylvester iktatták be - s mindjárt vastag betűvel - a matematika szótárába. Ők az algebra felől érkeztek a fogalomhoz: ha egy egyenlet ismeretlenét egy másik (új függvényben megadott) ismeretlennel fejezzük ki, tehát megint transzformálunk: az új egyenlet egész más köntöst kap, de megoldásának lesz egy része, a diszkrimináns, amely csak egy állandó tényezőben fog eltérni az eredetitől. Azaz a két egyenletben, akárhogy különböznek, van valami, ami invariáns. Hogy ez a tan, mely az átváltozásokban a megmaradót keresi, milyen fontosságot nyert, amidőn kiderült, hogy a világban nincs megkülönböztetett hely és szemléltető, s hogy minden észlelet viszonylagos (azaz úgy is mondhatjuk: egyik a másiknak transzformációja): arról az Einstein-elméletet népszerűsítő könyvek is fogalmat adnak. Ha ezekhez a felfokozott absztraháló kedv által gyártott fegyverekhez hozzávesszük a térnek azt az új felfogását, mely a kétezer esztendő dugó, a Bolyaiak paralella-axiómájának a kilökésével nyert utat, s az új matematikai módszert, amellyel Riemann bármiféle tér két pontjának a távolságát határozta meg: előttünk vannak a XX. századi fizika jövő eszközei.

1950

---

<sup>73</sup> mátrixnak (a szerk.)

## TECHNOLÓGIA

Ha találomra megkérdezzük száz embert: mi volt előbb, az ipar vagy mezőgazdaság, kilencven bizonyára azt feleli: a mezőgazdaság - annyira megszoktuk, hogy a parasztság, a földművelést űző réteg ősbibb - az ipart űző városinál. Valójában körülbelül ötvenszer olyan régen van ipar, mint mezőgazdaság, s az emberiség története akkor kezdődött, amikor az első jégkorszak rétegeiben az első szerszámok megjelennek.

Arra, hogy az ember hol s hogyan szokott rá a két lábon járásra; keze hogy vált első, de igen változatos használható szerszámává, s eszessége hogy toldta meg ezt - igen kezdetleges, de bizonyos célra készült eszközökkel: arra csak költeményszerű feltevések vannak; maguk az eszközök - egy nagyobb kőkolonc, a két oldalán lepattintott, csúcsban végződő kő-öklök - azonban Európától Afrika mélyéig a legkülönbözőbb területeken megtalálhatók, s még száz-ezer éveken át fellelhetők anélkül, hogy nagyot változtak volna. A kőiparnak (amelyet lehet, hogy egy primitív faipar is megelőzött) ezek az első termékei, s egyben az állati sorból való kiemelkedés „mérőföldkövei”. A majom is használ követ a dió feltöréséhez - de az előtte lévő célra csak az ember alakítja.

A kőipar emlékeit egymás mellé téve, ugyanazt a ritmust észlelhetjük, ami az egész őstörténetre vagy embertörténetre jellemző: hosszú százezer éveken át alig valami változás, aztán még mindig tízezer években mérhető gyorsulás - s végül az utolsó jégkorszak alatt fölszökő kivirágzás. Ez a fejlődés nem egy emberfaj műve; az európai ököl-köveket nem a mai homo sapiens elődei pattintották, hanem egy másik, a homo sapienst megelőző fajta, a rég ismert pekingi s jávai ember rokona, az anthropus sapiens, melynek a csontmaradványait 1954-ben találták meg Afrikában. Ezt váltotta föl - mintegy háromezrezer évvel ezelőtt - a neandervölgyi ember - ő már lemezt is pattantott a kőből, s kések, vakarók, fűrők voltak az inventárja - s csak az utolsó jégkorszak alatt, mintegy tizenötezer évvel ezelőtt jelenik meg az eszközgyártásban jóval találékonyabb Cro Magnon-i ember - a mai ember közvetlen őse -, aki az első jégkorszak barlangjaiban, kőből készült zsírmécse mellett kést fűröt, árt, vakarót, tört, lándzsát, nyílhegyet fabrikál - s az állati csontot, a rénszarvas szarvát is felhasználja. Felfűzött kagylót, kavics ékszereket hord, kőtűivel varrja, sőt gombozza a bőrt, s mint tudjuk, nemcsak mestersége, - művészete is van: ő készíti a barlang freskóit.

A paleolit ötszázezer éve után - a régi bölényvadász kultúrák elpusztulásával, az utolsó jégkorszak utáni enyhébb s szárazabb égaljban - mintegy tizenkétezer évvel ezelőtt veszi kezdetét a neolitikus korszak virágzása: valóságos tavasz az iparban. A neolitikot - a paleolitikus csiszolatlan szemben - csiszolt kőkorszaknak is szokták nevezni: mert kőeszközeit az ember valóban csiszolja - s ezek közt az eszközök közt most már minden ott van, ami az újkori kisipar barkácsolójának a készletében: [...] még a sebész kése is. S a kőipar most már nem az egyetlen ipar, amely nyomot hagy. Különböző tájakról új iparok születnek s terjednek el, egy jellegzetes neolitikus ipari civilizációban összefolyva. Ezeknek az új iparoknak a kibontakozását elősegíti, hogy az éhség a növények felé fordítja az ember leleményét - gyümölcsök gyűjtőjéből növénytermelő lesz -, s mintegy vándor húsraktárul - s részben segítőtársul - állatokat is szelídít maga mellé: elsőül a disznót, aztán a kutyát, birkát, ökröt - utoljára, Ázsia nomádjai, a lovat. A kőeszközök közt megjelenik a magütlező, a kapa s a sarló - a magok, olajok eltételére agyagkancsókat, tartályokat, urnákat formálnak, melyeket előbb a napon, aztán a lángon, majd tüztől védett kemencékben égetnek ki, s melyeket ősi festékeikkel, az okkerral s a fekete mangán-oxidokkal festenek. A földművelés, állattartás rászorítja őket az építkezésre. Svájc tavai mintegy száznyolcvan cölöp építményt [...] adtak vissza az iszapból a neolitikus lakóik vízbe hullatott eszközeivel - melyek képet adnak a tavakra húzódtott emberek építészetről. A növények tanulmányozása megtanította őket arra is, hogy ruhát nemcsak bőrből lehet

összeölni, növényrostok is fűzhetők - s a raktáraiban ott van egy kezdetleges szövőszék: egy fächeret, melynek a függőleges szálain szálszerűen bújtatják a vízszinteseket. De bár növényt, állatot tenyésztenek, nincs még eke, csak valami iga, nincs nyereg és kengyel és még kevésbé kerék.

A történelem hajnalát a fémkorszakkal - a metallurgia megjelenésével szokás számítani. A Bibliából ismeretes Sínai-félszigeten - Nílus völgye s Palesztina közt - bővíben van a réz, s itt figyelhették meg a badari kultúra emberei, hogy bizonyos kövekből - ha ételt hevítenek rajtuk - vörös „fém” szivárog. A réz megjelenése azonban csak igen lassan szorította ki a kőkorszak eszközeit; kezdetben rézből is csak ékszert csináltak, s fokozatosan szorította ki a kőeszközöket. Rezet és ónt tartalmazó ércet taníthatták meg a sumérokat arra, hogy ezek öntvénye, a bronz, keményebb a réznél (olyasformán viszonylik hozzá, mint vashoz az acél) - s lassan a bronz receptje is állandósult: 90% réz, 10% ón. A vasat is ismerték már régen, sőt egy-egy vastárgy (fejsze) is előfordul eszközeik közt - de drága csecsebecséből komoly, sőt félelmetes eszköz- és fegyveranyaggá csak akkor vált, amikor a kis-ázsiai hittiták megtanulták nagyban is előállítani. A vas előállításának a nehézsége az volt, hogy a vas oxidjaiban fordul elő - s azokból magas hőfokon kell redukálni. A hittiták - mint Európa is a XVIII. századig - redukcióra a faszenet használták, mely egyidőben volt redukáló anyag, s adta a kemencék hevét ( $\text{FeO} + \text{C} = \text{CO} + \text{Fe}$ ). Amikorra azonban a vaskohászat Ázsia s Afrika leghaladottabb tájain elterjed: az első nagy civilizációk mögött már több ezer éves múlt van, bár a föld nagy része - még Európa nyugata is - még évezreken át a csiszolt kőkorszak vagy rézkorszak technikai homályában él.

*Ókori civilizációk.* - A nagy ókori társadalmakat - technikai szempontból is - joggal nevezzük rabszolgatársadalmaknak. Ha a sumérok az ökröt be is fogták kezdetleges ekéjükbe, a nomádoktól átvett lovat félelmes harci szekerek elé - a munka forrása továbbra is az emberi erő; a rabszolgák ereje bőséges energiaforrás, sem a szél, sem a víz erejét egyáltalán nem fogták be munka végzésére.

Azt, hogy ez az energiaforrás - a seregekbe terelt emberek ereje - mire volt képes: az ókori népek építészete bizonyítja; nem is a négyezer éves fejlődés végén, hanem mindjárt az elején olyan gigászi építményeket hoztak létre, amelyeket méretben csak a legújabb kor technikája ért utol. Az egyiptomiakat, sumérokat, babilóniaiakat: folyamaik szabályozása, gátak, csatornák építése, a földmérés receptjei nagy tapasztalatú építkezőkké tette, s amikor a Nílus kis helyi államai összeolvadása egy birodalomba az egységes, jól adminisztrált, az emberi munkasereget bevető civilizáció lehetőségeire ráeszméltette őket: kényurai ettől a lehetőségtől mintegy megszádlén gigászi művekben próbálták ki a történelem új vívmányát, a civilizatorikusan összpontosított emberi erőt. Egyiptom legmonumentálisabb építménye a negyedik fáraó, Cheops piramisa - még az ó-királyság korából, i. e. 2500 körül épült. Kéttonnás kockáit a közeli kőfejtőkben faragták ki, simára csiszolt úton húzták a piramis alá - majd föl 145 méternyi csúcsára. Ugyanígy épülhetett - nem ismerve más elemi gépet, csak a lejtőt s a görgőt - Memnón szobra, az obeliszkék órjás tömbjei, s az új birodalom alatt Karnak oszlopcsarnoka.

A babiloniakat, akiknek nem volt kövük, az agyagból kiégetett téglá nagyobb építészeti mérsékletre készíthette volna - a gigantikusság azonban rajtuk is erőt vett: templomtornyaik, a zikkurátok teraszos emeletekkel törtek a magasba; a legnagyobb Babel tornya nevéen a Bibliába s azon át a mai kultúrába is bekerült, mint az Istent kihívó emberi kevélység fantoma - amint a függőkerteket is kiásták, amelyeket Nabuchodnozor építtetett a kedvesének: téglaboltokon nyugvó kertek, amelyeket a kutak fölszivattyúzott vizével öntöztek. Sőt arra is van már példa - a harmadik évezredből -, hogy mérnökök egész várost terveztek meg s építettek fél vonalzóval: Mohenjo Daro az Indus völgyében.

Ezt a féktelen, nagyra törő építészetet szigetországukban a krétaiak fékeztek meg - s tették emberibbé. A sziget kicsiny volt - fővárosa, Knosszosz kisváros Babilonhoz vagy Ninivéhez képest; - az égalj, s a tapasztalat, amelyet hajós népe összehozott: a méretek helyett az ízlés, a monumentális külső helyett a berendezés szépsége s kényelme felé terelte gazdagságukat. Oszlopcsarnokaival, fürdőszobáival még a háromemeletes téglakirályi palota is csak egy nagy oszlopos vitrin volt, gyönyörű cserepeik, freskóik, ötvösműveik, a női uralmat hirdető apróságaik számára.

A görögség, s elsősorban Athén vitte be az építészetbe a tudomány szellemét: a technika és az absztrakt tudomány itt találkozik először; az Akropolisz arányait nemcsak a görög ízlés szabta meg - az új geometria is. A rómaiak - technikában is a leigázott népek kizsákmányolói - építményeikben a szilárdságra törekedtek: cirkuszuk, a Colosseum kőkorlátait mészből, homokból, téglalorból készült beton ragasztotta össze, a századoknak ellenállóan; tőlük örököltük - mint ők a babiloniaktól - a boltívet, amelyet az egyiptomiak s görögök nem használtak. A legjobban azonban úthálózatukat csodálhatjuk: a légiók egy méter vastag, négyrétegű, elpusztíthatatlan úttesteken vonulhattak a birodalom veszélyben lévő tájai felé.

Az ókor iparai közül az építészet volt az egyetlen, amely [...] nagy ipari méreteket ért el, s egész munkásseregeket mozgósítva, nemcsak ízlésük - de méretük, tartósságuk miatt - technikailag megcsodált alkotásokat hozott létre. A többi ipar megmaradt a kézművesség, nagyvárosban a manufaktúra szintjén - s fejlődése a négyezer éves korszak alatt nemhogy gyorsabbodik, de inkább lassabbodik. A metallurgia, még a vaskohászat sem jutott el magas kemencéig - a kohóig. Az alátámasztás nélküli, lukszerű bányavájatokban - mint az Athén melletti ezüsbányákban is - rabszolgák ezrei pusztultak el [...] (az emberi méltóság fénykorában); de a vasolvasztók megmaradtak a szénégető kemencék szintjén: a faszénnel kevert érc alól kicsorgó vasból botokkal verték a salakot, s a kést, ollót, amit nem fából hanem vasból csináltak - s elsősorban a fegyvert - kézműves üzemek dolgozták fel: Athén legnagyobb műhelyében, egy pajzsgyárban is csak 120 munkás dolgozott. A bronz megtanította a fémkovácsokat az öntésre; a hinduk [...] műhelyeiből elterjedt lassan az acél ismerete is - tudták, hogy ha friss vashoz szenet kevernek, s azt olajban hűtik - edzik: félelmesebb pengéket kapnak. Julius Caesarék ezzel csorbították ki a gallok lágyabb vaskardjait. Az ötvösök a szabadon található s könnyen alakítható arany és bronz után - a vasat is megtanulták kalapálni, kisebb darabokat nagyobbra szegezni, majd forrasztani is.

A fonás és szövés jórészt háziipar maradt - bár leplét már Penelope is olyasformán szötte, ahogy anyáink egy időben szövöskéiken perzsaszőnyegeiket: a hosszanti szálak körül külön a páros sorokat, s külön a páratlanokat egy bot feszítette kétfelé - úgy, hogy a haránt szálát egy rántással lehetett áthúzni köztük. Ismerték a szövetfestéseket: a bíborkagylóból nyert bíbor a római tógán éppúgy megkülönböztethető jól, mint a piros sáv a tábornok nadrágján.

A történeti kor első ezredének legnagyobb találmánya a kerék volt: a leletek szerint a sumérok jöttek rá, hogy a keréken jobban vonszolható a teher; megszületett a kétkerekű kocsi, az eléfogott ismeretlen állattal - a lóval - világtörténelmet víva, mint haditalálmány. De a gölöncsérek is szabályosabb alakú korszakot csináltak, mióta nem kézzel formálták őket, hanem pedállal forgatott keréken alakították. Ismerték természetesen a bőr cserzését is.

Az ékszerészek csecsebecsei között tűnik föl már az egyiptomiaknál az üveg - hogy aztán előbb mint homályos, majd Augustus korára mint átlátszó üveg az ablakokra kerüljön. Az élelmiszeripart a sütés s a szeszes italok - borok, sörök - erjesztése képviseli ebben a korban; amint a kenyér is ott éri el - a régiek lepényéből - a mai élesztett alakját. A papíripar - az egyiptomiak papirusz tekercsei - kiszorítja az asszírok ékírásos cserép- és téglatabláit, s a könyvnyomtatást sokszorosító-másoló műhelyek pótolják: a „liber”, amelyről a római költők beszélnek, ilyenekből kerül ki, néhány száz példányban.

Annak, hogy a kézművességből a Babilonhoz vagy Rómához hasonló milliós vagy százezres nagyvárosokban sem ugrott ki az újkorihoz hasonló nagyipar, három fő oka volt. 1. Nem volt hiány munkaerőben: a rabszolga olcsó volt, s volt bővíben, nem kellett hát más energiaforrás után nézni, pótlására gépekhez folyamodni. 2. A kereslet nem volt még a fontosabb nagyvárosokban sem olyan méretű, hogy az a vállalkozókat a bevált módszerek felcserélésére kényszerítette volna. 3. A kézművesség megvetett volta; a homéroszi idők iparszeretét a filozófusok korára az elvont dolgok tisztelete váltotta föl: a nagy szellemnek csak bölcseséggel, matematikával, geometriával, zenével illett foglalkozni - még a művészet is kezdett alacsonyabb rendű, gyermekes időtöltésnek számítani, hát a mesterségek. A rómaiak más okból - mint államfenntartók - vetették meg az ipart, olyasminek tekintették (s ezzel vágták maguk alatt a fát), amit a meghódított népekből kell kisajtolniuk; - azaz az iparüzés rabszolga foglalkozás maradt, s az iparüzők sok kis szakmai tapasztalata nem inspirálta a gondolkodó elmét - amint a gondolkodás sem az ipart. Egyetlen rövid időszak volt e négyezer év alatt, amelyben az újkorihoz hasonló ipari forradalomhoz mintha együtt lettek volna a feltételek: az a száz esztendő, amelyben a Nagy Sándor alapította Alexandriából a volt tábornok s utódai a Ptolemaioszok - nemcsak milliós várost, de a tudománynak a hanyatló Athén helyett új központot is teremtettek.

Alexandriában a tiszta fogalmakra, elvi áttekintésre törekvő görög tudomány a háromezer éves egyiptomi művelődés „bebalzsamozott” tapasztalataival - szakácskönyvszerűen őrzött receptjeivel, utasításaival - találkozott. Az egyiptomiak nem teremtették meg azt a mesterségeknel többet, amit a görögök - teljes joggal - létük vívmányának tekintettek, viszont nem is volt meg bennük az a lenézés a mesterségek iránt: az axiomatikus tisztaságot bennük az empirikus érdeklődés, az anyaggal bánni tudás fortélyainak a tisztelete enyhítette. Ez a találkozás olyan tudósok agyában ment végbe, mint Arkhimédész,<sup>74</sup> aki ugyan Szicíliában élt s működött, de Alexandriában tanult - az onnan áthozott tudás övezte szinte varázslói tekintéllyel, amint az Alexandriának adott tanítványokat is. Arkhimédész mint matematikus, a görbék s téralakzatok területének s köbtartalmának megközelítése közben - az integrálszámítást előlegezte a matematikának; mint statikus: erők egyensúlyával magyarázta az elemi gépeket, s mint kis tételéből tudjuk, az úszás és a folyadékba merülés törvényeit; mint technikus pedig csodálatos gépeket szerkesztett: hajót emelt vissza a vízbe - s a Szirakuzát ostromló római sereget fenntartotta. Ilyen tudósa - aki a fizikát a matematikától a gépszerkesztésig terjesztette - nem volt addig a világnak, s Galileiig, Huygensig nem is lesz. Tanítványa, Ktészibiosz már valóságos gépszerkesztő - az új találmányt, a fogaskereket fölhasználva, vízórájával apró alakokat mozgat, harangjátékot indít, hidrodinamikus orgonát készít, s különféle szivattyúkat. Gépei egész tanítványsereget toboroztak köré: a leghíresebb köztük Héron volt, aki a későbbi École Polytechnique-hez hasonló mérnökiskolában egyszerre adott elő elvont matematikát, fizikát - s tanította a gyakorlati alkalmazást, gépszerkesztést. E tanfolyamok jegyzetei: amiben egyénisége s találmányai ránk maradtak. Különféle geodetikus hidrosztatikus gépei közt ott volt már az eolipil is: egy igazi gőzturbina. Azaz itt minden együtt volt: a mesterség megbecsülése, a tudós mérnök-szellem, a gépszerkesztés szenvedélye, még a mérnök-iskola is. Mért maradt el mégis az ókori ipari forradalom? A válasz egyszerű: hiányoztak a társadalmi feltételek; a gazdasági szükségérzet - amely azokból a találmányokból emberpótló, tömegigényt kielégítő gépeket, üzemeket csinál. A Héron gépei megmaradtak játékszernek, s az emberiségnek más úton - egy kétezer éves kanyarodóval, egy más civilizáció útján kellett eljutni oda, ahol most megtorpant.

---

<sup>74</sup> a kéziratban elírásaként Püthagorász áll (a szerk.)

*Középkor, reneszánsz.* - A római birodalom bukása, amelynek egyik oka épp az volt, hogy a rómaiak megvetették, rabszolgakézzel hagyták az ipart - Európát szinte a kőkorszakba dobta vissza. A zavaros időkben az utak elpusztultak, a kereskedelem összezsugorodott - a mesterségek a várak alján, kolostorok közelében a házi-majorsági ipar szintjén tengették életüket. Az a civilizáció azonban, mely mintegy ötszáz évi tengődés után ebből az Eurázsia nyugati csücskét elnyelő sötétségből kiemelkedett - eredetiségében csak a göröghöz hasonlítható - technikai szempontból, a benne rejlő fejlődést nézve, annak is magasan fölötte áll. A görögre emlékeztetett abban, hogy mint a görög, sok államot tapasztott össze egy szellemi egységbe; de itt új, most született népek cserélték ki vívmányaikat - a hűbéri rendszerbe beékelve itt a „poliszok” lesznek a fejlődés továbbvivői. Ezekben azonban a munkát most már nem rabszolgák, hanem céhekbe tömörült, chartákkal védett szabad emberek üzik - akik a régihez mérten a munkának egyre nagyobb tiszteletet csikarnak ki. Ami miatt e kornak a sötét középkor nevet adták - a szabad vizsgálódást megkötő egyházi korlátok -, e pezsgő életet, találékonyt a munka felé szorították; a görögök, szabadok lévén: a gondolkodás minden lehetőségét befutották - a középkori népek, szellemileg megkötöttek: az ipar forradalmát készítették elő.

A középkori társadalom nem volt rabszolga-társadalom többé: - a rabszolgaság a nagy hűbértanokon is megszűnik lassan, s a jobbágy félrabszolgaságán is enyhítettek a kis fallal körülvett köztársaságok, amelyek maguk felé húzták, egy szabadabb életbe - a falvak vállalkozóbb kedvű lakosait. Ennek két fontos következménye volt, amely a középkori ipar fejlődését [befolyásolta]: a munkás nem lévén többé oly bő s megvetett portéka - pótlására segélyül új energiaforrásokat vontak be a termelésbe: az állati erőt, a szelet, a víz erejét; s minthogy az iparosság szabadabb, világlátottabb, találékonyabb lévén: jobban, többet gyorsabban tanult; - más civilizációk vívmányait nem csak megismerte, de tovább is fejlesztette. Az állatot - ökröt, lovat - az ókor népei a szántáson kívül csak teherszállításra, közlekedésre használták; - a középkor népei nomád látogatóiktól átveszik a lószerszámot, a nyakra kötött szíj helyett a ló vállának erejét használják ki - most már nemcsak húzásra, de darálók, bányaszivattyúk forgatására is. Vízimalmuk már a rómaiaknak is [voltak] az ötödik században: de most - 1200 táján - a Nyugat országaiban ezrével járnak a függőleges kerekű malmok, melyek nemcsak a gabonát őrlik, de a kohók kalapácsát, a cserzősúlykát is működtetik. A szélmalom a szeles Normandiában bukkan fel - hogy aztán főleg Hollandiában szaporodjon el. Ha a régi írásokban papírmalmot [...] olvasunk - azok a kor pici gyárai voltak: melyekben már - s talán ez a legnagyobb jelentőségű lépés a technika történetében - a természet dolgozott; - a szél, víz, mint a gőz, benzin, elektromosság elődje szolgálta az embert, aki maga a malom molnáráként irányított.

De volt más következménye annak, hogy a céhekben méltóságot talált az ipar, kereskedelem - s fokról fokra a vállalkozás. A céhekben becsvágyó, magukra adó, szabad emberek dolgoztak, meglátszott az árun: a gondos, sokszor művészi kivitelű. Szabadabb szemük, világlátásuk, találékonyt pedig azon, hogy más országok, civilizációk vívmányait nemcsak megismerték, átvették - de tovább is fejlesztették. Joggal mondták, hogy a Nyugat tulajdonképp Ázsia találmányainak az átvételével, továbbfejlesztésével került a mostani ötszáz évben az ázsiaiak fölé. Nemcsak a nomádoktól vette át a lószerszámot, a patkót, a nyeret, a perzsákon át a szőnyeget; vagy a hinduktól - Damaszkuszon át - az acélt, de a kínaiaktól a selyemtenyésztést, a lakk használatát - onnan lopja a nyomtatás ötletét, a papírmassza titkát -, s a kínaiak görögtüzevel versenyezve fejleszti ki a salétromból, kénből, faszénből álló kínai recept: a puszkapor kihasználására - lőfegyvereit.

Az iparok közül most is az építészet ugrott ki elsőül - a középkor ma is csodálatot keltő katedrálisai. A középkor első századai beérték egy négyszögletes templommal - a [...] bazilikák utánzatával. Később azonban, ahogy a templomok tervrajza bonyolultabb lett - a

megnyúlt főhajót egy kereszthajó szelte át, oldalhajók, fülkék társultak hozzá, a templom oltár-vég apszissá alakult, haranglábat, tornyot emeltek mellé: az építészet, főképp a boltozás is egyre nehezebb problémák elé állította az építész. A bazilikák egyszerű fagerendái nem voltak elég szilárdak, azonkívül tűzveszélyesek is voltak - a befedendő terek föltámasztották a boltozatot. A román templom-bolt megfelelően ékelt kövei mint egy megtört félhenger borultak a templomhajó fölé - oldalt nyomva a falakat, amelyeknek épp ezért erőseknek, vastagoknak kellett lenniük, s kis ablakkivágásokat engedtek meg (innét a román templom súlyos komorsága). Csaknem egyidőben felfedezték a boltozás más, merészebb módját is: négy pillérről az átmérők irányába indították a bolt csúcsa felé: erre a bordázatra rakták a tetőt - az ívek ferde nyomását más ellen-ívekkel szorítva a merőleges felé. Ez a technikai találmány tette lehetővé a gótikus templomok fel-fel törő lendületét, színes üvegekkel bélelt lobogó ablakfelületeit. A székesegyházak csontvázánál is csodálatraméltóbb volt: az áhítat, az időre nem tekintő minőségi munka - mely a pilléreket kifaragta, az ablaküvegeket összeállította, a padok, a kórus fafaragásaiba temette erejét. A vallásos érzésnek ezeket a piramisait nem rab-szolgák emelték, hanem mesterek, akikben bámulatos egyensúlyban volt a mesterség önbecsülése, s az egyéni élet és hír megvetése; ugyanaz az évekre nem néző műgond, amellyel a könyvek iniciáléjait díszítették, kötötték a másoló barátok.

Az építészet azonban most nem maradt meg a maga erejét vagy harmóniáját bizonyító nagyra-törés vagy kiválóság magános próbájának: néhány százados késéssel követte a többi mester-ség is - elsősorban a másik kulcsipar: a metallurgia. Annak, hogy a kohók, öntödék, kovács-műhelyek erdők és vizek mellé települtek - ahol megvolt a vas karbonizációjához szükséges fa s a kemencék, műhelyek gépeit mozgató vízimalom: nemcsak a salakot verő kalapács, de a vízerővel hajtott fűjtató is -, az lett a következménye, hogy a kemencék töltetét több levegővel tudták fűjteni, s így nagyobb hőfokot értek el bennük, úgyhogy már nemcsak kovács vas - acél - ömlött belőlük: de széntartalmú öntöttvas is. Az egyre magasabbra emelt kemencék - a kohók - a tizenharmadik században hétszázötven kiló vasat is tudtak már adni - s ezt az öntöttvasat már nemcsak kovácsolással dolgozták fel: mint a bronzot, mintába lehetett önteni. Nagy lökést adott a fémkohászatnak a haditechnika: a páncélok, vérték, pajzsok, később a puskaort kihasználó lőfegyverek, golyók - majd a bronziparban: az ágyúk elszaporodása. Azonkívül a ház körül is egyre több lett a vastárgy: záruk, rácsok, láncok - e bizalmatlan korszak egyre jobban hozzákötötte sorsát a fémekhez.

Azt, hogy ez az egyre gazdagodó s leleményesebb kor hogy használta föl más civilizációk találmányait s nyitott velük a maga számára azoktól nem álmodott utat: a legjobban a nem pergamenre, hanem papírra nyomott könyv gyors születésén láthatjuk a tizenötödik században. Mindkét ipar - a nyomtatás s a papírgyártás is - a kínaiaktól jutott el hozzánk. Fametszet-szerű mintákat festékekbe mártva ők nyomtak selyemre, papírra. Így gyártották nálunk az első kártyákat is. Az azonban, hogy a fába metszett írás betűit szétszedjék, s fémbetűkkel helyettesítve tetszés szerinti szöveget nyomjanak vele - úgy látszik egy francia ötlete volt, s Gutenberg csinál Nürnbergben<sup>75</sup> a Biblia nyomtatásával egy évtized alatt megbízható ipart belőle. Azt, hogy a rongyokból nyert pép - a cellulóz - kellő előkezelés után az eddigieknél vékonyabb s olcsóbb papirusz-pótanyaggá hengerelhető, szintén egy kínai [...] fedezte föl, még a Han-dinasztia alatt - s az államtitkot ellopó [...] hozták Nyugat felé - hogy a könyvnyomtatást olcsó üzemanyaggal lássa el, s az emberi szellem termékeinek nem álmodott sokszorosítását, terjesztését tegye - már abban a században - lehetővé.

---

<sup>75</sup> helyesen: Mainzban (a digitális változat szerk.)

A technika gyors fejlődése tette lehetővé azt is, hogy a Földközi-tenger teknője fölött guggoló Európa kifusson az óceánra - s a hajós kereskedelem már nem az olasz városok s a Közel-Kelet, hanem az Atlanti-óceán két partjai közt - sőt az Indiai-óceánon folyik. Tulajdonképpen már a kereszties hadak lelkesedése mögött ott volt az olasz városok ijedelme, akiket a törökök elváltak a keleti, Kínába vivő kereskedelmi úttól. A rómaiak hajói gályák voltak, melyeket két vagy három sorban ülő rabszolgák ereje hajtott; kormányja is a lapát volt, s megfelelő irányrögzítő műszer nélkül - a partok mentéhez tapadt. A középkor a híres - Amerikáig eljutott - normannoktól vette át az iránytűvé fejlesztett mágnest; most lesz kormányja a hajónak - csuklós lapát, melyet a fedélzetről kerékkel mozgatnak -, s a szokatlan feladatokra vállalkozó portugál, spanyol hajófejedelmek [...] a trópusi napot nem bíró rabszolgák helyett árbocra szerelt vitorlákkal - itt is a szelet fogják be - a gályák helyett valódi domború oldalú hajókat építenek, magasan a víz fölött levő fedélzetére egy elülső s hátulsó „kastélyt” [...] építettek - a hajóépítést a paloták s katedrálisok építésével versenyző nagyiparrá téve.

*Az angol ipari forradalom.* - A XVII. század, amely a modern természettudományt megalapozta, a technikában ha nem is visszaesést, de megállást jelent [...]. A XV-XVI. században a pezsgő élet legkülönbözőbb ágaiban - a kerámiától a légszivattyúig - új találmányokban jelezte bőséget; a XVII. század egy-egy fényes szigete is - a versailles-i udvar például - az előző század vívmányain élt. Erre az ellentmondásra nem kell misztikus magyarázatot keresnünk - például hogy az emberi szellem a tobzódása után valami komolyabbra szedte össze magát. A XVII. század első háborúi miatt az alkotás nemcsak területében szorult össze - de kezdeményezésekben is. Rembrandttal végez a holland festészet - Rabelais, Montaigne bősége után a művészetben is beosztóbb idők jönnek; az ipari invenció tékozlása az iparban is apad. S Európa holtpontféltre jut, amelyen valójában a zavaros idők mélyén a jövőnek dolgozó tudósai - az az önbizalom segíti át, amelyet a műveik hoznak a nyugati gondolkodásba. S a harmincas évek háborúiban tönkrement Németország, s a szabadságát vesztett s az inkvizíció karmaiba esett Itália - Nürnberg és Firenze - helyett új kedvező körülményeknek, új központoknak kell kialakulni - elsősorban a Szigetországban -, hogy a technika nagyobb, gyorsabb léptekkel ne csak késését hozza be - de azon az árkon is átvesse magát, amelynél Alexandriában kétezer évvel ezelőtt megtorpant.

Angliában az ipar tekintélye magasabbra hágott, mint a történelem során eddig bárhol és bármikor. Az újkori filozófia, melyben van valami racionalista prófétai szárazság - a jövő problémák földobásával a szellem jövő-érdeklődését veti fel, Baconnal szabja meg az angol gondolkodás irányát, ad bölcséleti hitelt a gyakorlati mesterségeknek, s tüzi ki a természet meghódítását, domesztikálását - célul - a tudomány elé. A Royal Society tudósait ugyanez a gyakorlati érdeklődés teszi fáradhatatlan kísérletezőkké - [...] problémák megoldójává: Newton is a pénzverésnek s a vele összefüggő gazdasági kérdéseknek szánta ideje - ereje egy részét. Az, hogy a Stuartok elűzésével a hatalom egy századra a londoni kereskedők wigh<sup>76</sup> barátainak a kezébe került: természetesen növelte a hatalmuk forrását képező vállalkozások tiszteletét. A mesterségek fontosságát - részben angol hatásra - a XVIII. század francia bölcselői is hangoztatták: az Enciklopédia sok száz oldalt szentelt az iparok leírásának; Franciaországban azonban ez inkább az érdeklődés tárgya maradt: mint az emberi találékonyság műveiben gyönyörködtek benne. Míg Angliában a legelőkelőbb főurak is szívesen fektették pénzüket ipari vállalatokba, vásároltak össze kohókat, malmokat, bányákat - Franciaországban a főurak húzódoztak tőle, az egyház a nyereség vadászata miatt rosszalta, úgyhogy az ipar fejlődése ott - a Colbert által megszabottan - az állam gondja maradt.

---

<sup>76</sup> helyesen: whig (a digitális változat szerk.)

A vállalkozó kedvhez Angliában - főként két területen, a textiliparban s a szénbányászatban - az a szükség, hiányérzet is hozzájárult, amely Alexandriában, úgy látszik, hiányzott. Az angol szövőiparban - mióta Anglia a tenger ura lett a versenyképes holland ipar hanyatlásnak indult - a hadseregek, városi élet miatt egyre több nagyban gyártott szövetre lett szükség: nagy volt - ahogy ma mondjuk - a konjunktúra. A főurak, hogy a textilüzemeket gyapjával láthassák el - a gabonaföldeket alakították át legelőkké; a birkagyapjú lett a legfontosabb cikk - még a képviselőház elnöke is egy köteg gyapjún ülve elnökölt. Ahhoz, hogy ebből a sok gyapjúból - s az amerikai gyapotból is - sok szövet készüljön, nem falusi gazdaságokra [...], de tőkés vállalatokra s nagyipari munkamódszerekre volt szükség. A sok kéz megvolt - az angol főurak belterjesebb munkamódszereikkel a kisbérloket földönfutókká tették, az olcsó munkaerőt a városok üzemei felé szorították - a gépi erő azonban, amely e kezek százait pótolta, természetesen még jobban megfelelt a tőkés érdekeinek.

A másik hely, ahol a szükség a lelemény serkentőjeként jelentkezett: a szénbányászat volt. Anglia évszázadok óta ült a szénen anélkül, hogy a szegények fűtésén kívül valamire használt volna. A XVII. század folyamán, ahogy a fa fogy s drágul, a kőszén mégis egyre több iparágba beszivárog - sörfőzőkbe [...] s végre a kohókba is. A kőszénbányák egyre gyarapodtak, a fejtések egyre mélyebbre mentek - s a gyártulajdonosoknak egyre több gondot okozott a víz, amely az angolországi tárnákat még könnyebben öntötte el, mint a kontinensen. A víz kiszivattyúzása megemésztette a jövedelem javát - az áradások pedig a munkásokkal együtt a tőkét is elmoshatták. Egyre égetőbb lett hát itt is a szükség, hogy a víz szivattyúzására olcsóbb s kiadósabb eljárásokat találjanak ki.

A gépek iránti érdeklődés a középkor óta egyre fokozódott. Akkor a mechanikus órák ébresztették fel - az a felismerés, hogy a víz vagy homokórák egyenletes erő igényét egy eső súllyal is lehet helyettesíteni, ha azt fogaskerékkel késleltetjük, s egy számlapra visszük át - időközben esetleg más gépezeteket: a toronyórák erkélyén megjelenő bábukat, vagy harangjátékokat ugratunk ki velük. Az óra-szenvedély még a XVII. század végén is királyi szenvedély volt: történelmünknek azt az adatát, hogy Kepler II. Rudolf óráira vesztegette az idejét, így kell értelmeznünk. Héron kiadott írásai még jobban felkeltették a figyelmet - nemcsak az óraművek, de mindenféle mozgásokat végző mű felé. A mechanika fénykorának természetes törekvése volt, hogy az emberi mozgást - egy mechanizmus mozgásával magyarázza. Így jött el az automaták divatja - bábuk, melyek fuvoláztak, madarak, melyek úsztak. Volt olyan automata szerkesztő is, aki fából robotembert is kész volt csinálni - majd munkavégző gépet is szerkeszteni; a francia [...] például már a XVIII. század elején szerkesztett egy igen tökéletes szövőgépet, amelyet azonban a lyoni selyemmunkások nem tűrtek meg a városukban. A gépszerkesztés - mint Héron idejében - Angliát kivéve mindenütt megmaradt játéknak: Angliában volt meg a szükség és szívósság, amely az automatákat - lassú, rögös úton - a termelésbe mintegy beszívta - beállította.

A textilipar hiába lett a XVII. században az iparok királya, munkamódszerei a régiék maradtak: a guzsalyon vagy rokkán vénlányok fonták a fonalat - amelyet kőkorszaki szövőgépek dolgoztak fel -, egyetlen fejlődés az volt, hogy a fonalat egy botra [...] csavarva a vetélőbe dobták át, a láncszélek alagútján. A XVIII. század harmincas éveiben vezette be John Kay a repülő vetélőt: a vetélő kötelek segítségével egy bordaládában siklott a másik oldalra, szabadon hagyva a takács kezét. A szövőszék gyorsabban működött, s szélesebben [...] szöhetett: nem kötött meg a mester két karja távolsága. Most a fonál készült lassan - míg végre Hargreaves szerkesztett olyan fonógépet, amelyen a munkás egyszerre 120 fonalat készíthetett - ennek, s a vízhajtotta Water-gépnek a keresztezéséből keletkezett Crompton öszvére, míg végül a sikeres Arkwright - egy ügyes börzeügynök - nemcsak tönkrement úttörők találmányát lopta össze, de vagyont s nemességet is szerzett általánossá vált találmányán. A gyorsan működő fonógépekhez most megint a szövészeknek kellett felzárkózniok: a kézzel

hajtott szövőgép négy mozdulatát szinkronizálták - s az ember vagy víz ereje helyett az ipari forradalom új munkaforrásául a gőzt fogták be a szövőgépeikbe.

Annak, hogy a gőz erejét munkává alakítsák át, Papin volt még a XVII. században az úttörője. Mint a század annyi fizikusát, őt is a légüres tér izgatta: hogy lehetne azt az erőt, amellyel a hengeres dugattyú alatt létrehozott légüres teret a levegő nyomása - letöri: munkavégzésre felhasználni. Először egy vízesés hajtotta hidraulikus kerék emelte fel a dugattyút, s létesítette a légüres teret; aztán puskaport robbantott a cylinderben - végül a gőzt használta ki a dugattyú megemelésére, hogy aztán a gőzt lecsapva, a külső légnyomás a dugattyút visszanyomja: ezt a visszacsúszást használta fel - súlyemelésre, vagy pumpák mozgatására. A nyugtalan tudós értekezésére egy gyakorlati ember, Savery bukkant rá a Royal Society irataiban: ő szerkesztette ennek alapján az első víziszivattyút. Egy kazán gőzét hirtelen lehűtötték, az így keletkezett légüres tér szívta ki - belényúló csövön át - az eltávolítandó vizet. A Savery-gépnek nem volt dugattyúja, s elég gyorsan mozgott: négyszer emelte meg percenként a vizet - de túl sokat fogyasztott, s nagyobb mélységeknél nagyobb nyomást kívánt - amit a gép forrasztásai nem bírtak ki.

Newcomen (egy mesterember, akit Hooke támogatótt) visszahozta Papin hengerét s dugattyúját: a gőz a kazánban forrt - de a dugattyú alatt a Papin-hengerben hűlt le: ez volt a Newcomen-gép, amely bár még mindig rendkívül költséges volt, a bányák már [...] használták a víz visszaszivattyúzására. Egy ilyen Newcomen gép került 1763-ban J. Wattnak, a glasgow-i egyetem műszerjavítójának a kezébe - javításra. Watt, aki gazdája, Black professzor mellett hőtant is tanult, látta, milyen hő- és gőzpazarlással dolgozik ez a gép. S hogy csökkentse, két takarékosági intézkedést tett. A hőveszteség egyik oka az volt, hogy a gőzt a befecskendezett vízzel a hengerben hűtötték le. Ezen úgy segített, hogy a tárolt gőzt egy külön edénybe: a kondenzátorba vezette, s ott csapta le. A másik: a henger felső vége nyílt volt, s a dugattyú visszahúzódásával a benyomuló levegő a hengert újra s újra lehűtötte. Watt ezen végül is úgy segített, hogy a dugattyú szabad végét lezárta, s a gőzt hol az első dugattyú alá, hol a dugattyú fölé eresztette. A főkart, mely a gőz adagolását szabályozta, a lendítőkerékre szerelt [...] rúd mozgatta. Míg az eddigi hajtókart tulajdonképp a légnyomás mozgatta, ez már igazi gőzgép volt - a gőzgép minden lényeges alkatrésze megvolt rajt: a kazán, a gőzt elvezető cső, a tolok, a henger, a szivattyú, kondenzátor, a szivattyú mozgatta kar - a lendítőkerék, a szabályozórúd.

Watt, mint a technika többi úttörője, abban a 12 évben, amely a Newcomen-modell kézbevétele s az első gőzgép működése közt telt el - sokat vívódott, nélkülözött: de megvolt az a szerencséje, hogy sorsa Boultonnal, egy birminghami vállalkozóval hozta össze - akinek az éles pillantása, számítása a találmányok burjánzásából ki tudta választani azt, amelybe érdemes volt pénzt fektetni.

Boulton nevét nemcsak a gőzgép, de sok más találmány történetének kritikus pillanatában ott találjuk. Ő fölismeri a gőzgép korszakalkotó jelentőségét. Watt első gépét, mint a Newcomen-gépet, aknák szivattyúzására használták. De ha a működését egyenletessé sikerült tenni, be lehetett fogni mindenre, amire az állatot, a szél vagy víz erejét: fűrészgépet, fűjtatót hajtott - s a Crompton szövőgépével is összeházasította.

A legkésőbb ahhoz szoktak hozzá az emberek, hogy a közlekedésben az állat húzóerejét vagy a vitorlába fogott szelet pótolja. Bár németországi tartózkodása alatt (újra csak egyetlenegyszer) már Papin is hajtott gőzzel hajót a Fuldán - s merész úttörők a Newcomen-gépet is felszerelték egy kocsira: a gőzhajó - Fulton szívóosságának a teremtménye - csak negyven évvel az első Watt-gép után indult meg az amerikai Hudson folyón - Stephenson vonatja pedig még húsz évvel később indult meg Stockton és Darlington közt.

*A vegytan bekapcsolódása.* - A technika mindig vegyészkedett. A vas redukciója vegyi folyamat volt; az 1200 fokig hevített cserép - vegyi folyamat eredményeként kapott mázat. A vegytan, mint tudomány, azonban csak a XVIII. század végétől kapcsolódott be az új technológiai eljárások kidolgozásába. Tulajdonképp igen hamar - attól a perctől, hogy maga is igazán tudomány lett.

Ez a bekapcsolódás csaknem egyidőben három különböző területen ment végbe. A textilipar mindig a legfontosabb arzenálja volt a vegyészkedésnek. A szövetfestés a legjobban tanulmányozott vegyi folyamat volt - a francia Berthelot a család lyoni műhelyéből lépett elő a szövetfestésről szóló munkájával. A szövetek egy részét - hogy a festék megfogja - timsóval maratni kellett; ez is vegyi tudást kívánt. A fehéritésre - melyet előbb a nappal végeztek - a ködös Angliában a klórt használták: a klór előállítása így ipari szükséglet lett. A legégetőbb kérdést azonban a mosás, a szappan előállítása jelentette. A szappant zsiradékból és szódából (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)-ból főzték. A szódát tengermenti vagy tengeri növények elégetésével hamuból nyerték. (A szárazföldi növények hamuja K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-t tartalmaz.) A XVIII. században azonban elakadtak a szódaszállítványok, úgyhogy a francia akadémia pályadíjat tűzött ki a szóda mesterséges előállítására. Leblanc előállította; konyhasót, kénsavat és szén-dioxidot hozott össze, az alábbi egyenlet szerint:



A díjat azonban nem kapta meg: a melléktermékek túl bűzösek voltak az akadémiának. A szódagyártásból mások gazdagodtak meg - addig, amíg a XIX. század közepén Solvay egy másik eljárást nem dolgozott ki.

A szappangyártás ipari anyaggá tette a konyhasót, amelyet addig csak ízesítésre s konzerválásra használtak, - s megnövelte az erősen maró [...] kénsavkeresletet (melyet Angliában ólomkamrákban a kén elégetése útján kén-trioxidból állítottak elő). A kén Szcíliából kapták, s elég drága volt. Pedig volt kén bőven Franciaországban - csak a vas-szulfidjába (FeS<sub>2</sub>) zárva - s ebből nem tudták kiszabadítani. Egy angol találta meg a módját, hogy a pörkölt piritérből - katalizátor platinaérc jelenlétével - kénsavas anhidridet (SO<sub>2</sub>), majd kénsavat nyerjen. Ezzel megnyílt az út - nemcsak a szóda (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) de a szuperfoszfátok gyártására is.

Napóleon kontinentális zárlata, amelynek az angol árut kellett volna (ha nincsenek csempészek) a szárazföldről kizárnia - elsősorban Európát vágta el a megszokott gyarmati áruktól: hiánycikk a cukor, kávé, dohány, tea, gyapot. A vegyészeknek - a vegytan akkori fejlettsége mellett: a nádcukrot sikerült pótolniuk. Marggraf berlini tudós már a XVIII. század közepén elmondta a berlini akadémiához intézett elméleti írásában, milyen növényekkel lehetne a nádcukrot pótolni; már ő is a répát tette első helyre. A kontinentális zárlat hírére egy tanítványa, egy német mérnök látott hozzá, hogy cukrot állítson elő a répából - de üzemét Poroszország nehéz éveit elsorvasztották; végül is egy tisztből lett francia gyáros aratta le a cukor-előállítás anyagi és erkölcsi sikerét: első cukorporogácsáját még a technológiát különben megvető Napóleon is kiment megcsodálni. A háborús szállítás nehézségei, a messze vetődött katonák nélkülözése friss húsban: juttatták eszébe egy párizsi cukrásznak, hogy ha az étel bomlását - mint akkor hitték - a fermentek idézik elő, melegítéssel tán el lehetne pusztítani ezeket a fermenteket. Ő légmentesen zárt palackban melegített húst, zöldséget - s íme, azok hetek, hónapok múlva is ehetőek maradtak. Egy ilyen - angol katonák kezébe került - üvegkonzerv keltette, adta azt a gondolatot az angoloknak, hogy az üveg tán mégsem a legalkalmasabb tartály háborúban - ők forrasztották először ónedénybe konzervjüket. Eddig csak füstöléssel, fagyasztással, sózással tették a húsfélét tartóssá; most a cukrász „húsbefőttjei” egy új „tudományos” eljárást csatoltak az ősi tapasztalataikhoz.

Így vette kezdetét az élelmiszerkémia. Az agrokémiát egy véletlen észlelet indította el - egy francia bicskanyélkészítő üzem a csontforgácsot kiszórta a szomszédos földekre. Az váratlanul bő termést hozott. A jelenséget nem tudták megmagyarázni, de a mezőgazdák okultak: örölt csontot szórtak a földjeikre, s a bővebb termés nem maradt el. A csontpor csodás hatását Liebig magyarázta meg. Liebig az volt a német vegyésznek, ami Gauss a matematikának: a szakhegemónia vele költözött át német földre. Giessenben nagy laboratóriumot tartott fenn, tanítványokat nevelt, amelyekből jutott külföldnek is. Ő fedezte fel a kloroformot és kloralt is. Legfontosabb fölfedezései azonban a növények táplálkozására vonatkoztak. A növény csak a szént kapja a levegőből: a nitrogént és foszfort a földből kapja. A csontpor foszfátokból áll - innét a hatás titka. Liebig a port kénsavval kezelte, hogy jobban oldódjék - egy angol vegyész gazda az ő utasításai alapján állította elő - szuperfoszfátját. A növények nitrogénhiányát chilei salétrommal lehetett pótolni. Ez volt a másik műtrágya fajta. A salétrom: kálium-nitrát, az a guanó is. Órjási durva verseny indult meg a telepek kiaknázására. A strassfurti<sup>77</sup> kálium-kloridtelepek föltárása: olcsóbb s közelebbi káliumlelőhelyet nyitott. A műtrágya ettől fogva jellemző - s egyre növekvő indexe - egy ország mezőgazdasági fejlettségfokának.

*A világítás* a XVIII. század vége felé még mindig a gyertyaöntők monopóliuma volt. A színházak, báli termek is fagygyertyával világítottak, melyekről inasok koppantották - a kandelábereket sorra járva - a hamut; a viaszgyertya már fényűzés volt, s inkább egyházi célokra használták. A XVIII. század vége felé jutott eszébe egy Párizsban élő svájcinak - nem lenne-e fényesebb mégis az olajlámpa, ha a belet nem merítenék el az olajban, hanem kihúzva, spirálalakba tekerve, átszelelő légárammal tenné az egészet ragyogóbbá. Amikor ez a bél még egy átlátszó üvegcseményt - lámpaüveget is kapott, az olajégő győzött, s Marivaux, Beaumarchais drámáinak az előadásán ilyen olajlámpák fényében úszott a Comédie Française. Az olajnál azonban volt még olcsóbb s fényesebb üzemanyag - mely mióta a kőszénből kokszt desztilláltak, felhasználatlanul ment veszendőbe. Egy franciának s egy angolnak jutott az eszébe, hogy a „világítógázt” világításra használja: Lebon fűrészpórt desztillált - a keletkezett üvegcsőből kiszálló füstöt vízen vezette át, s így megtisztítva egy vakító lánggal égő gázt nyert. Murdoch, aki a skót szénvidéken született, a kőszénből indult ki - s már rég égette, desztillálta, amikor Lebon még csak kisfiúcska volt. Később Boulton és Watt vállalatába kapcsolódva fölhagyott ezekkel a kísérletekkel - s csak Lebon találmányának a hírére tért vissza hozzá: 1805-ben már egy manchesteri szövőgyárat világított vele, 1814-ben pedig már a londoni utcákon is megjelent a gázvilágítás. Az értéktelen föld szenének így - a kohókban használt kokszt után - most már a desztillált, gázszerű részei is hasznosítva lettek.

Hátra volt a harmadik: a desztillálásakor lecsapódó használatlan kátrány - erre várt a legfényesebb jövő.

Ezzel a gyanús, undorító, használhatatlan anyaggal, mely métermázsaszám maradt vissza a gázgyártásnál, Liebig Londonban élő tanítványa, Hofmann kezdett foglalkozni. Zseniális angol tanítványa, Mansfield dolgozta ki a kátrány desztillálásának a módszerét. Ő választotta le fő alkatrészeit: a benzint, toluolt, fenolt, naftalint, antracént. Ő azonban épp midőn aromás anyagokat desztillált, [...] tüzet fogott - a tudós belehalt égési sebeibe: foglalkozásának az áldozata lett. Hofmann másik tanítványa, a tizennyolc éves Perkin, aki egy húsvéti szünet alatt, otthon berendezett laboratóriumában, mestere szaván fölbuzdulva antracénből kinint akart előállítani - s persze nem állított - új kiindulási anyagot adva az anilinhoz, s azt [...] kezelve: új festékanyagot állított elő: a barna mauveint. Perkin ez a korai felfedezés gyárossá, majd jómódú gentleman-né tette - a kémikusok azonban most már rávetették magukat a kátrányra, s egymásután állították elő az anilinfeketét, anilinkéket. A kelmefestés az ókor óta

---

<sup>77</sup> helyesen: stassfurti (a digitális változat szerk.)

nem sokat fejlődött: a Franciaországban is honos piros buzér, s az indiai ültetvényeken termelt kék indigó volt az uralkodó - rajtuk kívül még néhány értéktelenebb festék, amelyhez a szerves vegytan a sárga pikrinsavat adta hozzá. Most azonban az anilinból új, ragyogó és olcsó színeket lehetett előállítani: 1868-ban Graebe (Perkinnel egyidőben) megfogta az alizarint, a buzér hatóanyagát - majd 1880-ban Baeyer az indigót. Az első egy csapásra tönkretette a francia s holland ültetvényeket; az utóbbinak még hosszú technológiai küzdelemre volt szüksége, hogy gyártani lehessen - s ugyanúgy elbánjon a hindu ültetvényekkel.

Az anilinszármazékok közt persze nemcsak festékeket, - de gyógyszert, illóolajat s robbanószer is lehetett különféle gyökhelyettesítésekkel levezetni. A németek, akiknek volt köszönük, s kitűnő kátrányuk is - a szerves vegytan náluk fejlődött a leggyorsabban; végül voltak politikusaik is, akik - mint Bismarck - belátták, milyen előny származhat az anilinból - szinte egyeduralkodók lettek a szintetikus vegyiparban. A badeni anilin- és szódagyár - a híres I. G. Farbenindustrie elődje - szakadatlan lepte meg a világot. Az első illóolaj anyagot, a vanília hatóanyagát egy harmadik Hofmann-tanítvány állította elő 1875-ben: ezt követte az ibolya anyaga, majd a többi botanikai névre hallgató származék: geraniol, terpeneol, safrol, engeniol. A baktériumokkal megismertetett világ ekkor kezdi a fenolt, formalint a metiléneket mint fertőtlenítőt használni. 1883-ban teszi első lépéseit az antipyrin - s most emelkedik gyógyszer rangra: az aszpirin, születik meg Ehrlich fejében: a kemoterápia, a belső fertőtlenítés gondolata.

A puskaapor receptje sok százados állandóság után néhány évtized alatt órjásit változott. A cellulózt salétromsavval kezelve kapták a nitro-cellulózt, a füst nélküli puskaport. Nobel a nitro-glicerinnel kezelt infusoriaföldet: ez lett a dinamit, a fenol trinitro-származéka: a [...],<sup>78</sup> a toloulé: a trotyl. Mindezekhez a szerekhez kátrány kellett - és salétromsav, a salétromsavhoz pedig chilei salétrom. De honnét szed Németország háború esetén chilei salétromot? Bismarck ambíciójának s utódjának, Vilmos császárnak a gondját egy francia találmány oldotta meg.

*[A kézirat itt megszakad, néhány üres oldal kihagyásával folytatódik. (A szerk.)]*

*A kapitalizmus kora.* - Annak a hat évtizednek a londoni világkiállítás s az első világháború közt, amelyet a kapitalizmus fénykorának lehet tekinteni: a szintetikus vegytan váratlan diadalán túl a technológiában három nagy életátalakító vívmánya volt: 1. az acél, majd az alumínium térhódítása, 2. a robbanómotorok felfedezése, 3. s az elektromosság útja az iparban.

Az angol ipari forradalom megsokszorozta a vastermelést: már nemcsak fegyverhez, a gazdagodó szerszámgépekhez kellett a vas - de az építésre is; nemcsak hajókat, lokomotívokat építettek belőle, de mint új anyag benyomult az építészetbe is: előbb függőhidakat, majd tömör, csőszerű vashidakat is építettek belőle; a párizsi vásárcsarnok kupolája egyetlen öntöttvasdarabból készült. Minderre csaknem kizárólag az öntött- és kovácsoltvasat használták föl. Franciaországban még 1864-ben is 1200 ezer tonna öntöttvas, 900 ezer tonna kovácsoltvas mellett csak 40 ezer tonna acélt termeltek. Az acél gyártása [...], akárhogyan nyerték, lassú, bonyodalmas volt. Az acélipar nagy fellendülése a század végére, az, hogy az acéltermelés 1851 és 1890 közt meghatszorozódhatott, elsősorban három ember, az angol Bessemer, a francia Martin és az angol Thomas nevéhez kapcsolható.

Bessemer a feltalálók nyugtalan, makacs fajtájához tartozott, aki számos kudarc után a sziderurgiára vetvén magát, azt tapasztalta, hogy a folyékony vason át fűjt hideg légáram helyett, hogy lehűtené a vasat, fölemeli a hőfokát. Bessemer megtalálta a paradoxon magyarázatát: a levegő fokozza a szén égését az öntöttvasból - s ezzel nemcsak a hőfokot fokozza, de

---

<sup>78</sup> pikrinsav (a szerk.)

alacsonyabb széntartalmú vasat: acélt csinál belőle. Most már csak olyan tűzálló tartályokat kellett készíteni, amelyekben ipari méretekben utánozhatták a kísérleteket. Ezek a tartályok voltak a kiborítható, tűzálló anyaggal bélelt acéltégelyek - a Bessemer-konverterek. A Bessemer-eljárásnak azonban voltak hátrányai: nehéz volt a dekarbonáció megállításának a pillanatát eltalálni: az acélban vagy túl sok szén maradt, s nem volt jó a minősége, vagy odaégett. Ezért általában túl sokat kívánt a tűzmestertől. Az 1856-ban szabadalmazott Martin-eljárás, melyet ez a rendszeres, nyugodt kutató - más kutatók eredményein okulva [...] öntődéjében kísérletezett ki - ezen úgy segített, hogy az öntöttvasat és a vashulladékot egy szilikátos téglából rakott talpra rakta, s gázégőkkel melegítette. A szén kiegészése így meglassult, akkor állították meg, amikor jólesett. Martin még sokat tökéletesített kemencéjén, melynek kapacitása egy tonnáról száz-kétszáz tonnára nőtt - s a korszak végére még Bessemer Angliájában is az acél 71 %-át állították elő az ő eljárása szerint. Franciaországnak a sziderurgiánál is nagyobb hasznot hozott egy S. C. Thomas nevű fiatalember, nem is vegyész, hanem jogász, aki kémikus rokonával azt vette fejébe, hogy a foszfortartalmú vasércet, mely Lotharingiában, főként Francia- s Németországban hevert kihasználatlanul, a vaskohászat számára kihasználhatóvá teszi. A foszfor a vasat ugyanis törékennyé teszi, s amíg meg nem szabadítják tőle, acél gyártására alkalmatlan. Ehhez a foszfort oxidálni kell, savas hidriddé átalakítani, s egy erős bázissal - mésszel például - megkötni. De mi lesz a mészből egy 1800°-os martin-kemencében? Thomas felfedezésének a lényege az volt, hogy az Alpok mészkőibe kevert dolomittal bélelte a kemencéit - az megkötötte a foszfort, amely így a salakkal eltávozott. A lotharingiai piritrétegeknek egyszerre megnőtt az értékük, s Franciaország a korszak végére több vasat szedett ki, mint a nagy európai vastermelő országok: Svédország, Anglia, Németország együttesen. Csak az Egyesült Államok s Oroszország járt előtte, amelynek urali vastelepeit a híres vaskovács, Devidov még Első Péter korában indította el.

Az egyik sheffieldi acélműben vették észre, hogy az egyik vágóeszköz, amelyre az öntéskor több [...] vagy mangán került, jobb a többinél. Ettől fogva, mint az üvegyártásnál, itt is megfigyelték, hogy milyen fém hogy módosítja az acél tulajdonságait. A mangán [...] ellenáll a kopásnak: kitűnő síneket lehetett gyártani belőle; a szilíciumtartalmú acél az elektrotechnikában lett kelendő, a króm az acél oxidálódását akadályozta, a nikkelt a kitágulását, nikkelt és krómmal együtt a magas hőfokot bírta, jó a vegyiparban, a molibdén a kazánok falára nehezedő nyomást. Azaz mint az üvegyártásban az ólom [...] s más anyagok hozzáadása a különféle üvegfajták egész sorát hozta létre, úgy bontotta szét az acélpárt a speciális acélok előállítására.

De tán még megdöbbentőbb volt a korszak végén az egyik könnyűfém, az alumínium előnyomulása a homályból. Davy, aki a nátriumot, mangánt, káliumot elektrolitikus módszerével előállította, már gyanította, hogy a timsó, alumen mögött is egy hasonló anyag lappang: ezt nevezte el alumíniumnak; Wöhler, a szerves vegytan egyik úttörője, az  $AlCl_3$ -t kálium-amalgámmal hozta össze: a kis golyókban leváló fém volt az alumínium. Csaknem harminc évvel később a párizsi tudományos akadémia ülésén az egyik hallgató - Deville kémikus - kézzel kézre járó fémdarabot mutatott be: ő kálium-amalgám helyett nátriumot - s az alumíniumrészecskék összeszedésére [...] használt. Deville fölfogta a könnyűfém előtt álló jövőt, melynek oxidja, a bauxit, a provence-i Baux község ércrétegeiről kapta a nevét. III. Napóleontól kapott pénzen fölállította alumíniumüzemét, az alumínium diadalútja azonban csak a század végén kezdődött, amikor elektrolitikus eljárásokat találtak ki az előállítására.

A gőzgépnek, bár a század első felében versenytárs nélkül hódított, volt egy nagy hátránya: kazán, fűtőtér, szénraktár kellett hozzá, óriási lendítőkereket mozgatott, így nagy tőkebefektetést is követelt s munkás koncentrációval volt kifizetendő. A kis üzem nem engedhette meg magának - közlekedésre is csak lokomotívként, egész szerelvényvel volt használható. Közeli volt a gondolat hogy a dugattyút valami kevésbé nehézkes gázzal kellene mozgatni; hisz már

Papin is próbát tett, mielőtt a gőzzel kísérletezett, a puskaporral. A puskapor, mint üzemanyag, persze nem volt kívánatos - de ott volt a világítógáz. Lebon, az egyik előállítója, kísérletként már föl is használta dugattyú hajtására. Az első igazi gázhajtásos gépet azonban Lenoir, a pincérből lett feltaláló szerkesztette [...] a gáz s levegő keveréket a dugattyú szívta be, s a robbanó keveréket a Ruhmkorff készülék szikrája gyújtotta meg. A kis emberek, akiknek néhány lóerőre volt szükségük, kaptak Lenoir gépén: neki magának pedig az is eszébe jutott már, hogy „motor”-ját kocsira hajtására is fölhasználja. A világítógáz csapját természetesen nem lehet a kocsira felvinni de épp ekkoriban jutott ki Amerikába a petróleumgáz, az addig undorító olaj (melyet egy lengyel patikus, Drokoliez használt először olajként világításra) ekkor kezdett terjedni, s Draken farmjáról s az új társaságok kútjaiból egyre több lámpásra ment szét a petróleum. Lenoir ezt porlasztotta - az utcára kivitt ős automobilban. A robbanómotorok ettől fogva két ágra oszlottak: a műhelyekben dolgozó gőzgépekre, s a könnyű sintelen közlekedést pedző magánjárokra - automobilokra.

Eleinte, mint a gőzgépnél, itt is az állógépet vették komolyabban. Benn de Rocher már Lenoir idejében kimutatta, hogy lehetne ezt tökéletesíteni: a szivattyút arra kell kényszeríteni, hogy ne csak beszívja, de össze is nyomja a keveréket; ez a négyütemű motor: az első ütemre szív, a másodikra összenyom, a harmadikra robban - önmagától -, a negyedike munkát végez. Az autodidakta Lenoir azonban nem értette meg Benn de Rocher fejtegetéseit, s a négyütemű motor a bajor Otto nevére terjedt el. Ez a motor gyorsan tökéletesedett - ereje elérte az ezer lóerőt [...] - közben a gyorsabb járású s egyenletesebb kétütemű motort is bevezették. Az automobil két találmány mozdította ki kuriózumvoltából járművé. Egyiket a petróleum desztillálóknak köszönhetjük, a másikat a biciklistáknak, akik közül az egyik - apja tanácsára - üres kaucsukhengert szerelt a kerékre. A kőolajnak még kizárólag a lámpában használható részét értékesítették; a hasznosítás az volt, hogy az alacsonyabb fokon átilló részt is belerakták - robbanásokat okozva - a lámpaolajba. Azonban rájöttek, hogy ez a gyúlékony, könnyű gáz - a benzin - sokkal alkalmasabb automobilmotor hajtására, mint a petróleum. A kaucsuktömlő - a pneumatika - viszont az első nehéz kereket szelídítette hozzá az úttesthez. Az autó így a kilencvenes évek végén kezdett komoly járművé lenni. A kőolaj párlatának harmadik, nehezebb részét - a gázolajat viszont a dízelmotorok értékesítették. Feltalálójuk a gőzgép rossz kihasználását tanulmányozta - s Carnot elve vezette nyomra, hogy a kihasználás a meleg- és hidegforrás (kazán és kondenzor) hőkülönbségétől függ. Egy ágyúcsőszerű tömör acélsőbe a dugattyú levegőt szítt be, azt összenyomással ötszáz fokra hevítik, akkor vezetik be a gázt, amely magától meggyullad. A gőzgép tizenkét fokos kihasználásával szemben így harmincegy fokot ért el - maga a meggyötört feltaláló végül is a tengerbe vetette magát. A kőolaj legnehezebb része mint kenőolaj lett alkalmazva. Azaz a kőolaj alkatrészei éppúgy megtalálták helyük az iparban - mint a század első felében a köszénlepárlás termékei.

Repülés. - A benzinmotorok, a könnyűfém és a pneumatika tette kivihetővé az emberek régi álmát, a repülést. A Montgolfier<sup>79</sup> testvérek sikere után a figyelem a léggömbök felé fordult: hogy lehetne irányíthatóvá tenni az útjukat. S ezt a feladatot fokról fokra sikerült is megoldani: az első világháborúban a németek Zeppelin gróf órjás szivar alakú kormányozható léghajóján szálltak Párizs felé. Közben azonban még mindig akadtak vállalkozók, akik a madarak röptét akarták utánozni; a gyermekek sárkánya is azt mutatta, ha súly és hajtóerő viszonyát el tudjuk találni, a repülés mechanikai szerkezettel is megoldható. Az hamarosan kiderült, hogy az ember izomereje nem tudja egy ilyen szerkezet hajtóerejét szolgáltatni. A gőzgép meg sokkal nehezebb volt, semhogy fel lehetne rá vinni. Egy katonamérnöknek sikerült ugyan két kicsi gőzgép segítségével a földtől elrúgni magát - de elvesztette a lélek-

---

<sup>79</sup> helyesen: Montgolfier (a digitális változat szerk.)

jelenlétét, s kísérletét nem tekintették bizonyító erejűnek. Mások a vállakra szerelt erővel végzett „vitorlázó” repülések közt szereztek sok értékes tapasztalatot - a szárnyakat a bicepsz alatt helyezve el. A repülés kérdését rendszeres, lépésről lépésre haladó munkával voltaképp az amerikai Wright testvérek oldották meg - a madár és bőregér utánzásától elszakadva ők alakították ki a repülőgép mai testét - a szárnyakat s a kormányt -, s ők vitték föl az első benzinmotort a levegőbe. Kísérleteik azonban Európa híre nélkül folytak, - s amikor módszeres munkájuk gyümölcsét ideát is a világnak bemutatthatták - kevésbé módszeresen, sok nyaktöréssel a francia mérnökök is rájöttek a helyes megoldásra. 1910-ben mi is tanúja voltunk, amint Blériot gépe a Rákos-mezőn húsz-harminc méteres magasba emelkedve a térség egyik végétől a másikig repült - hogy aztán az első világháborúban a gyorsan fejlődő repülőipar a légipárbajok hőseinek a nevére is megtanítsa minket, akik közül egyik-másik száznál is több ellenfelét lőtte le - a körözéseiket figyelő csapatokra.

*Az elektromosság.* - A szövőipar a XIX. században elképzelhetetlen mértékben növelte meg a világ energiaszükségletét. Ha 1790-ben, tehát az ipari forradalom - s a gépek számbavehető átalakulása - előtt a világ energiafogyasztása harmincmilliárd kilowatt volt, 1860-ra százötven milliárdra nőtt - ebből száz volt a gépi, s ötven az állati energia. A gőz azonban elég nehézkes energiaforrás, az ipar nagyfokú összpontosítását kívánja meg, hatalmas gépeket, szénraktárakat - a kisiparban nem fizetődik ki, helyéről nem vezethető el. Természetes, hogy az ipar növekedésétől sarkallt mérnökök, vállalkozók egy más, csendesebb, könnyebben kezelhető, kezelebb energia után néztek, mely a gőzben rejlő korlátokat az ipar előtt lebonthatja s áttörheti. Ez az energia - az elektromosság - rég ott volt a kezükben - Ampère, Oersted, Faraday a húszas évekre a törvényeit is leírták -, ipari célra azonban jó ideig nem tudták felhasználni. Volta az 1800-as esztendőben készítette első oszlopait - s az elektromos energia, mely mozgás, hő, fény s vegyi bontó is tudott lenni - csak 1880-tól vált a gőz versenytársává. Ennek a technika történetében meglepő késésnek oka az volt, hogy nem volt megoldva a kiadás, ipari méretű termelése: a fő áramforrások a század második feléig a különféle elemek voltak - ezekből azonban annyit kellett egy kis hajó hajtására is összerakni (mint azt Pétervárt kipróbálták), hogy a hajónak az áramfejlesztő lett a rakománya. Pedig Faraday már 1820-ban leírta azt a módját az áramfejlesztésnek, melyen a későbbi dinamó alapul - ha egy vezeték-tekercsben mágnest mozgatunk: a tekercsben áram keletkezik.

Ezen alapon - az indukciót kihasználva - szerkesztettek is többen - köztük a mi Jedlik Ányo-sunk - apró játék-dinamókat; ipari felhasználásukat azonban lehetetlenné tette az így keletkezett áram gyengesége. Két találmánynak kellett egy belga munkás - Gramme - technikai leleményében összekapcsolódni, hogy 1863-ban az első valódi dinamó megszülethessen. Az egyik az elektromágnes volt: a mágnes körül vezetett áram a mágnes hatását megsokszorozza - s ha az indukciót nem egy tekercsben, hanem egy gyűrűre föltekercselt vezetékben hajtjuk végre, az sokkal kiadósabb lesz. Gramme az elsőről tudott, a másodikat újra kitalálta: s egy patkó alakú elektromágnes két ága közé helyezve gyűrűjét - iparilag is használható áramot tudott előállítani. Ez volt az első áramfejlesztő, a generátor. Társa vette észre, hogy a dolog megfordítható: nemcsak áramot tudunk fejleszteni, ha a gyűrűt forgatjuk - de az áram munkát is termel: megfordítja a gyűrűt, ha áramot vezetünk el rajta - azaz a generátor csodás megfordíthatósággal motor is tud lenni.

Attól fogva, hogy a dinamó bebizonyította életrevalóságát - a technikai vállalkozó kedv, mérnöki lelemény, tudósi szorgalom: mind az elektromosságra vetette magát. Főképp Edison volt az, aki új energiaforrás s az élet igényei közt - megtalálta a technikai s vállalkozói utat. Az 1881-es párizsi kiállításon két nagy találmányán ámulatba hozta a közönség: az ő szén-szálas lámpáival volt világítva - s a színházba vezető telefonján, a theatrophonon: az opera előadását juttatta át.

A szénszálas lámpa egy hosszú kísérletsor végeredménye volt - mely arra vezetett, hogy az izzószál elégését a levegő kiszivattyúzásával kell meggátolni. Edison páratlan szívóssággal az összes számba jövő szálanyagokat próbálta végig, hogy visszatérjen egy elődje felfedezéséhez, aki bambuszroston vezette át az áramot: ez volt a szénszálas izzólámpa. Még nagyobb csoda volt a telefon, melyet a süketnémák jótévője, Bell fedezett fel, s Edison hozott az elektromágnessel kapcsolatba. A telefon lényegét később a hang viaszhengerre vételében - s visszamondatásában - a fonográf is felhasználta. De az 1881-es kiállításon más meglepetések is voltak: a néző itt láthatta az első villanyórát, Siemens alkotását - a liftben a magasba szálló angol feltalálóját - szerszámgépeket, melyeket egyetlen huzal mozgatott s a Jambó nevű órjás dinamót, mely százötven volt feszültség mellett kilencszáz ampert termelt.

Ahhoz azonban, hogy az elektromosság világalakító hatását kifejthesse, még három nagy vívmányra volt szükség: ezek a transzformátor, a váltóáram s a gőz, illetőleg turbinamotor. A generátorok csak a közelükben lévő motorokat tudták mozgatni; az áram távolba vezetése lehetetlennek látszott - hisz a vezeték ellenállása a hosszával arányos, a hővesztés pedig az ellenállás négyzetével - hosszú úton az energia hő alakjában elpocsékolódik. Igen, de ha az áramot nem a szokott százötven-kétszáz voltos feszültségen szállítjuk - akkor Ohm törvénye értelmében ugyanazon ellenállás mellett több amper áramot lehet szállítani, s ahhoz arányítva kisebb lesz a hővesztés. Desprez francia mérnök ezt mindjárt be is bizonyította. Münchenből egy egyszerű sürgönydrót negyed lóerős áramot 30% kihasználással, majd Párizs mellett 115 lóerős áramot hatezer volt feszültségen 45% [...] kihasználással továbbított. Az elektromosság szállításának azonban nemcsak az állta az útját, hogy a vállalkozók féltek a magas feszültségtől - hanem az is, hogy a termelt magas feszültségen az egyenáram egyre jobban szikrázott, úgyhogy 2500 volt fölötti áram energiavesztés miatt nem fizetődött ki. Ezen segített a horvát Tesla, a váltóáram bevezetője. A forgó elektromágneses mezőbe helyezett tekercsben változó erősségű áram indukálódik - melynek a feszültsége a szinusz görbe periódusát követi. Az ilyen áramfejlesztő - az alternátor - akár száz-kétszáz ezer voltnyi áramot is termelhet szállítás céljára. Ezt az áramot azonban a fogyasztási helyen még át kell alakítani hasznosan üzemeltethető százötven-kétszáz voltos árammá. Ezt az átalakítást oldotta meg a transzformátor - lényegében egy kettős tekercs, az egyik vastagabb s így rövidebb huzalú, a másik vékonyabb s hosszabb. Ha az egyik a másikban áramot indukál - Ohm törvénye értelmében ugyanaz az amper-szám a kisebb ellenállású tekercsben alacsonyabb feszültségű áramot indukál, s megfordítva - a nagy feszültségű áram tehát megfelelő tekercsbe vezetve közönséges, használati árammá változtatható.

A váltóáram és a transzformátor megoldotta az energia szállíthatóságát. Míg a gőzt csak helyben lehetett felhasználni - az elektromos áramot magas feszültségű vezetéseken elvezethették bármilyen messze - s ott a motorokban: mozgási; az akkoriban elterjedő, s főként ipari méretű elektrolízisre használt elektromos kemencékben: vegyi, a lámpákban, fűtőtestekben: fény- és hőenergiává alakíthatták. A dinamók mozgásban tartásához - a tekercs, vagy a mágneses mező forgatásához - persze külön s egyre magasabb fordulatszámú gépekre volt szükség: s ennek a közönséges gőzgép szakadozott ide-oda mozgásával egyre kevésbé tudott megfelelni. Egy angol lord - Parsons - a gőzgépnek ezen az ide-oda mozgásán akart segíteni, s tudatos számítások s hosszas kísérletek után megalkotta a gőzturbinát - ahol a lapátkerékre csapó gőz most már egyirányú mozgással forgathatta a dinamót. Közben - az egész századon át tartó kísérletezések után - a középkor malomkereke is megtalálta azt az alakot, amely a rábocsátott víznek nemcsak a súlyát - sebességét is a legjobban használta ki. Ekkor kezdik - a század utolsó éveiben - a vízturbinákkal Svájcban s a francia Alpokban - a vizesések nagy energiáját elektromosság fejlesztésére fölhasználni - majd hogy a gleccserek évszakonkénti változó vízszolgáltatásától mentesítsék maguk - a vizet mesterségesen torlasztott tavakból zsilipeken zúdítani alá. A fehér szén - a jég és víz - így lett az erőművek olcsó üzemanyagává.

*Távközlés.* - Az elektromosságra vonatkozó ismeretek - s a villanyipar - fellendülését gyönyörűn tükrözi a távközlés nem álmodott haladása. Az, hogy a híreket gyorsan kapjanak-továbbítsanak, az ókor államszervezőinek is érthető törekvése volt. Nemcsak a nomád Attilának volt postája - tűz vagy kürtjelekből -, majd minden nagyobb birodalom kifejlesztette a maga fény vagy kürt távközlését. Caesar is így továbbította Rómába a pharsalusi csata hírét. Ilyen jelposta volt még a Chappe távírója, mellyel Lille-ből továbbította a konventnek a Condé visszahódításának a hírét - hogy még ugyanazon az ülésen nemcsak a gratuláció, de a ráadott válasz is megjárja az utat: a dombok, tornyok tetejében cölöpökön mozgatható vízszintes rúd, melynek a karját az állomáskezelő a megbeszéltek jelek szerint kötelekkel állította be. A távközlés azonban igazi fejlődésnek akkor indult, amikor a leggyorsabb energiafajjal kapcsolták össze a sorsát. Egy híres amerikai portréfestőnek jutott 1832-ben eszébe, útjáról Amerikába hazatérőben, hogy az elektromágnességről hallottak alapján távíróját megszerkessze. A Morse-távíró billentyűvel zárható áramkör - mely bekapcsolása idejére a vonal másik felén egy elektromágnes tesz delejessé, s ezzel egy írószalag előtt mozgó írókart ránt magához. A pontból-vonásból összeállított jelek a Morse-ábécé betűi. Már Morse gondolt rá, hogy megfelelő védőburkolatú huzalokon - kábeleken - vizek, tengerek alatt is küldhetnének sürgönyöket. Faraday meg is találta a szigetelésre alkalmas kábelborítást. Előbb csak kisebb távolságon próbálták ki - elsősorban a doveri szoroson fektettek le ilyen kábeleket - 1865-ben azonban, egy évtizedes küzdelem után - melyben mint elméleti fizikus Thomson (Lord Kelvin) is részt vett - sikerült az Atlanti-óceánba is kábelt fektetni, s a két világrészt Morse jeleivel összekötni. A következő lépés a telefon fölfedezése volt. Bell, a siketnémák tudós tanítója vette észre, [...] elektromágnesessé tett lemezeivel kísérletezve, hogy az elektromágnes köré rántott reszelék hangot ad. A véletlen sugallta ötletből született meg a Bell-féle telefon. A két végére iktatott elektromágnes mindegyike előtt egy rezgő lemez. Aki az egyikre rábeszél, a hang rezgésével az elektromágnesben váltóáramot indukál, mely a kör másik végén lévő elektromágnes lemezét magához rántva s elengedve - hanggá alakítja át. Bell telefonjában a leadó- s a felvevőkészülék azonos volt. De már néhány év múltán rájöttek, hogy egy fémreszeléssel tele doboz - a mikrofon - a rábeszéltek hangnál sokkal erősebb, messzebb ható áramot indukál. A mikrofon - alig néhány év múlva - új alkalmazást talált, amikor a Hertz-féle hullámokat próbálták a távközlés szolgálatába befogni. Hertz, mint tudjuk, a szikrainduktorja kisütött szikrái körül keletkezett elektromágneses hullámokat egy megszakított vevőkörrel mutatta ki, amelyben az eredetit követő szikrázás indult meg. A orosz Popov egy függőleges konduktort alakított át a leadó antennájává - a vevő detektorban pedig [...] a mikrofonhoz hasonló fémreszelékes dobozt használt föl. Ezzel tulajdonképp megnyílt az út a rádiózás előtt. Egy gazdag olasz ifjú - a huszonkét éves Marconi volt, aki a távközlés friss vívmányain felbuzdulva, gyorsan tökéletesedő szikratávíróján előbb csak néhány száz méterre-kilométerre, majd alig egy évtized múltán az Óceán túlsó felére is küldött elektromágneses hullámokat és morzejeleket. De még mintegy másfél évtizedbe került, amíg az elektromágneses hullámokból - a detektorok, majd az elektroncsövek felfedezésével - mint a telefon-áramot - hangot, emberi beszédet sikerült továbbítani.

*Mozi és rádió.* - Az elektromos áram azonban nemcsak mint új energiaforrás múlt felül minden eddigit - sebességével nemcsak a távolságok zsugorodtak össze - a mozival és rádióval, melyek léte vele függ össze, éppoly hatalmas közvéleményalakítónak vált, mint száz évvel előbb az újságok. A mozi - egész sereg barkácsoló s tudós ember jóvoltából - az egész XIX. század folyamán készült - hogy a század utolsó éveiben formát öltön; a rádió - mint már a szikratávíró is - a tudomány laboratórium-műhelyeiből pattant ki -, s egyik napról a másikra lett az emberek nevelője. A mozi előzményei azokra a tréfás kísérletekre mentek vissza, amelyek a szem tévedésein alapultak. A papírlap két végére rajzolt madarat s kalitot - ha a papírt sebesen forgatjuk - a szem úgy érzékeli, mintha a madár a kalitban ülne. Egy mozgó alak egymást követő helyzetéről készült képek, ha a retinának nem adunk időt, hogy külön

képként érzékelje őket - egy mozgássá folynak össze. A XIX. század első felében már számos játékfélét is szerkesztettek, amelyben a néző mozgó alakokat látott. Uchtias osztrák tüzeitiszt tizenhat rajzot vett fel egy korongra - amelyet laterna magica-szerű készülékkel tudott vetíteni, úgyhogy egyszerre egy téren nézhette. A fényképezés elterjedése megkönnyítette az ilyen képsorok készítését: különösen, amikor a törékeny üveg helyett bromátokkal érzékenyvé tett papírszalagokat használtak a felvételre. Az élő laterna ügye nagyot ugrott, amikor a nyolcvanas években - sokszor egészen más célból - tudósok kezdtek ilyen sorozatokat készíteni. A francia Merey például az állatok mozgását akarta ilyen papírszalagokra rögzíteni - majd az Eastman-filmszalagot kezdte fényképezésre használni. Amikorra ő észrevette, hogy filmjeit sokkal közérdekűbb módon is lehet kamatoztatni, s eljárását szabadalmaztatni akarta - a feltalálók, majd üzletemberek sora vetette már rá magát a jelentésében megnyílt nyomra. Tulajdonképpen már csak a gyors forgatást kellett - a perforált szalaggal - tökéletesíteni, s apró jelenetek helyett történeteket vetíteni a vászonra, hogy a mozi - vállalkozóival, atelierivel, sztárjaival kibontakozhasson.

Annak, hogy a morzejeleket továbbító szikratávíróból hangokat sugárzó rádió legyen, fő feltétele a huszadik század legtöbbre használt találmánya - az elektroncső fölfedezése volt. Ha légyüres üvegcsőbe két elektródot vezetünk - a negatív egy fémszál, a pozitív lemez - akkor az áramkört kapcsolva a fémszáltól elektronok lépnek ki, s áramlanak a pozitív sarok felé. Az ellenkező - pozitív-negatív - irányba elektronok persze nem haladhatnak, s így az elektroncső első tulajdonsága, hogy a váltóáramot egyenirányítja. Az így működtetett elektroncsövet nevezik detektornak. De ha a kettő közé egy harmadik elektródot szerelünk, melyet alakjáról rácsnak neveznek: akkor az ezen átbocsátott igen gyenge áram is befolyásolhatja a katódtól az anód felé vezető anódáramot: ezt nevezik erősítésnek. Az elektroncső az egyenirányításon kívül elektromos rezgés keltésére is felhasználható. Az így készült csőadót Meissner 1913-ban fedezte fel. Az így használt csőadót - anódkörbe kapcsolt hangszóró - fűtüléssel jelzi a rezgéseket, melyeket a rácskörbe kapcsolt mikrofon modulálni tud. Az adócsövekkel elvben meg volt oldva az elektromágneses beszédközvetítés. Az adócső szolgáltatta a nem csillapodó állandó rezgéseket, mely a mikrofon hangját váltóárammá alakítva - a rávetődő nagyfrekvenciás hullámokat módosítja - modulálja. Ezek a módosított hullámok érnek a vevőkészülék antennájába s onnét az önindukciós tekerccsen át a rezgőkörbe. A rezgőkörbe kapcsolt forgókondenzátor arra való, hogy a rezgőkört a keresett hullámra állítsa - a detektor, hogy a modulált áramot egyenirányítsa - a nagyfrekvenciájú áramot elnyomva, a hangot a hallgatóba irányítsa.

*Műanyagok.* - Ez a korszak vezeti be az első műanyagokat is. Az amerikai polgárháború alatt az északiak nem jutottak elefántcsonthoz, s így nem készíthettek biliárdgolyót sem. Hayatt ezt a hiányt akarta pótolni: kámfort oldott fel nitro-cellulózzal - s kapott egy kemény anyagot, a celluloidot - amelyből biliárdgolyót ugyan nem, de sok más szert lehetett készíteni: köztük játékszert s labdákat is. Eastman próbálta ki, nem lehetne-e a törékeny üveg helyett celluloidszalagra - filmre - fényképezni is - s terjesztette el a Kodak-gyár világhírűvé lett, olcsó gépeivel a filmre fényképezést. Egy francia kémikus, Chardonnet grófja - azt figyelte meg, hogy a kidőlt kollódium (lényegében nitro-cellulóz) - fonál alakban hűlt ki. Neki jött a gondolata, hogy nem lehetne-e az ilyenformán nyert szálát textilanyagok szövésére felhasználni. A nyolcvanas évek végén már divat lett a csillogó nitro-cellulóz ruha - a nők azonban nem öltözhettek büntetlen puskaporba, s csúnya szerencsétlenségek figyelmeztették a vegyészeket, hogy a cellulózt jó lesz más anyagban, nem nitro-glicerinben feloldani. A marólúgban s szénkénegeben oldott cellulóz volt a viszkóz - ez nem volt többé tűzveszélyes.

E két anyaggal indult meg az emberi anyaggazdálkodás új szakasza. Régen a technika a meglévő anyagokat képezte bizonyos célokra (a vegytan a természetnek segítve új anyagokat húzott elő belőle) mostantól az adott célhoz csinálják a legmegfelelőbb anyagot.

*A második ipari forradalom.* - Ezerkilencszázharminc körül voltak közgazdászok, akik azt mondták - az ipari forradalom kimerülőben van. S látszólag igazolta ezt, hogy a döntő felfedezések: a gőzgép, benzinmotor, elektromosság - a XVIII. és XIX. század vívmányai; ami azóta jött: a repülés, műselyem - már csak másodrendű találmányok. Persze akkor még azt sem látták tisztán, hogy a műselyem mögött a műanyagok milyen özöne nyomul - nemcsak a ruházkodást, de a lakásberendezést, építészetet, háztartást, gépipart is megváltoztatva - a repülő- lők nyomában sem jelentek meg a rakéták, a világűrt ostromló műbolygókkal. Következte- téseik azonban főként ott mondtak csődöt - hogy ha az első ipari forradalom felfedezői hulláma - az egész földet elborító tükrévé simult széjjel: az első ipari forradalom mögött jött már a második; a gőz, benzin, elektromosság mögött a mindeniknél hatalmasabb: az atomerő - s ami még ennél is átalakítóbb lesz: az elektroncsövekből műagyat építő - a gépet nemcsak használó, de megtervező s programjával magára hagyó - automatizálás, vagy ahogy nevezik: [...] a kibernetika.

1962

## BEVEZETÉS A LATIN NYELVTANHOZ

1. A civilizációt, amely az utolsó száz évben a föld népeit lassan egy nagy népcsaládba fűzi, az indoeurópai népek teremtették meg. Számuk a föld lakóinak fele, ők a történelem leg-sikeresebb népcsaládjá.

Ez a népcsalád aránylag nem régen jelent meg a történelem fénykörében. Négyezer évvel ezelőtt, amikor az egyiptomiak, babilóniak, kínaiak már évezredes műveltségre tekintettek vissza, ezek még európai őshazájukban, talán épp a mai Magyarországon nomádkodtak. Őshazájukból az időszámításunk előtti második évezred elején kezdenek szétszivárogni. Egy részük dél felé, a meleg tengerek, folyami civilizációk felé húzódik; a másik Európa ködösebb északán, a történelem félhomályában marad.

Legmesszebb az indoíráni népek jutottak el. Az ó-ind nép a második évezred elején Elő-India nyugati szorosán át az Indus völgyébe, majd Bengáliába zúdul, meghódítja az ott élő ősi civilizációt, s a világ egyik nagy kultúrnépe lesz. Az ő nyelvük a szanszkrit, mely olyan viszonyban van a mostani hindu nyelvekkel, mint a latin a franciával, belőle erednek, s bár nem beszélnek, de szent könyveik, eposzaik kedvéért tanulják is. Az indoeurópai civilizációk közül ez bontakozott ki elsőül. Buddha királyfin, a vallásalapítón, az i. e. VI. században már a civilizáció életcsömöre figyelhető meg.

Az indoíráni ág másik népcsoportja: az irániak vagy perzsák, vándorlásukban egy mostohább vidéken, az iráni magas fennsíkon akadtak el, s még egy évezreden át megmaradtak a történelem peremén élő népek, csak amikor a Tigris és Eufrátesz völgyének a civilizációi elgyöngültek, az első évezred közepe felé törnek elő, a Földközi-tenger és a Perzsa-öböl irányába, s ők lesznek az elsők, akik nagy elő-ázsia kultúrföldet Kürosz alatt egy birodalomban egyesítik. Nyelvük, az óperzsa nyelv csak feliratokban maradt fenn. Életerejükre vall, hogy a hellén, római, majd az arab hódítás után a mi középkorunkban megint mint nagy nép jelennek meg, híres eposzuk: a *Sahnámé*, Omár Khájjám s Hafiz költészete az akkori arabbal átjárt újperzsa nyelven szól.

Az indoeurópai népek egy másik ága, a hettiták, kétezer körül Kis-ázsia fellegvárszerű erődjében alapítanak államot, a második ezredév közepén Egyiptommal harcolnak Elő-Ázsia uralmáért, s ezer körül elvész a nyomuk. Téglakönyvtáraik írását s vele irodalmukat az utóbbi évtizedekben fejtették meg.

Az indoeurópai (másképp árja) népek legtehetségesebb ága, a görög, a második évezred folyamán húzódott le a Földközi-tengerpart vidékére, ahova a Kréta szigetén virágzó művelődés akkoriban terjedt át. Homérosz, aki régi, patriarchális életüket örökítette meg, sokkal kevésbé naiv költő, mint hitték: érett, rafinált művészettel ábrázolja viszonyaikat. A dór vándorlás az ezredik év körül összezilálja a homéroszi világot; ebből a görög középkorból emelkednek fel az új városállamok, az élükön Athén. A hatodik és ötödik században ennek a városnak a falai közt tetőz a görög dráma, történetírás és filozófia, s itt virágzik ki a görög képzőművészet. A negyedik század a tulajdonképpeni görög világot már hanyatlásban találja. Makedón Fülöp és Nagy Sándor érdeme, hogy a hanyatló görögség erőit összefogta, Elő-Ázsia régi kultúrvidékein hódításával szétszórta. Így jött létre a hellenisztikus civilizáció, amely a Földközi-tenger medencéjének még csaknem egy ezredéven át görög színt adott.

A latinok történeti szerepe, hogy ennek a civilizációnak a szétesését katonai és államszervező képességükkel megakadályozták. Itália az i. e. ezredév elején, amikor a rómaiak az őstörténetükben annyit szereplő italota népekkel (szabinok, oszkok, volszkok) Közép-Itáliába lekerültek, a legteljesebb vadnyugat volt; a görög gyarmatosítás s a rejtélyes eredetű etruszk nép,

Toszkána lakói, oltották be keletibb műveltségükkel. A rómaiak, a legerősebb latin törzs, belső forradalmait kiforrva, szomszédjait legyűrve, szinte váratlanul az itálota népek fölé került, északra az etruszk, délre a görög városokat hódítja meg, a harmadik században a pun eredetű Karthágóval folytat nagy párviadalt a Földközi-tenger medencéjéért, amely után az egész hellén civilizáció a kezébe esik. A második században már a görögön érett irodalma van, s az első század nagy növesi válságát, polgárháborúit átvészelve az Augustus alapította császárságában, a légiók táborai mögött, négyszáz esztendőn át biztosította Európa és Ázsia civilizált népeinek a békét.

Az Európa homályában maradt indoeurópai népek közül a keltáknak az volt a szerencsétlenségük, hogy a rómaiakkal egy időben emelkedtek föl, később meg a római hódítás útjába estek. Itália fele törő hadaikat a latinok verték vissza, Julius Caesar a mai Franciaországban hódította meg, Britanniába az új germán hullám nyomta vissza őket. Tehetséges, színes képzeletű néptörzs volt, a francia szellemben kereshetjük a nyomát; s az angol irodalom sokszor alig más, mint az elnyomott kelták bosszúja a józan és győztes angolszászokon. Írországon az egyetlen kelta államon kívül, ma már csak Walesben, Skóciában és Bretagne-ban beszélnek keltául.

A germánok maradtak a legközelebb a régi őshazához. Tacitus az i. sz. első század végén mint nyers, egyszerű népet írja le őket, romlatlanságukat, „város lakó” módjára, még kívánatosnak is tartja. A hellén civilizációt mint zsoldosok ismerik meg, s a IV-V. század során mint „barbárok” hódítják meg. A germán hódítás a nyelvhatárokon nem változtat sokat; a latin területre betört germánok elvesznek a germánságra; a frankok franciák, a nyugati gótok spanyolok, a longobárdok olaszok lesznek. A germán föld Németország és Skandinávia marad, s a VI. századi angol, majd a dán hódítás után: Anglia. Nagy Károly óta Európa története az ő versenyük a latinokkal. Az egyik adja a középkor császárait, a másik a pápait, egyik a reneszánszt, a másik a reformációt, egyik az újkor művészetét, a másik természettudományát és technikáját. A súlypont közbe egyre inkább északra, nyugatra: Hollandiára, Angliára s az Egyesült Államokra kerül.

A keletre húzódó szlávok maradnak legtovább homályban. Európa népeitől legtöbbüket az is elválasztja, hogy a bizánci kereszténységet veszik fel, s más kultúrkörbe jutnak. Oroszország ablakait voltaképpen csak Nagy Péter nyitja ki; a szláv népeknek összefüggő irodalmuk csak a XIX. század óta van. Számuk azonban Európa lakosságának lassan a fele lesz, s az orosz forradalom megsokszorozta politikai hatalmukat.

A balti népek (lettek, litvánok) a történelemben nagyobb szerephez nem jutottak; nyugati águk nevét ma a németiség egy törzse, a porosz hordja. A Balkánon ragadt illír, trák népek maradványa (előlük a görögök fogták el az utat) ma az Adria partján, elmaradt országukban élő albánok.

2. Az a civilizáció, amelybe mi kerültünk - a nyugati -, a hellenisztikusnak a leánya, ahogy az újkínai az ó-kínainak vagy a mai hindu az ó-indnak. Ezt a civilizációt a görögök alakították ki, épületeink, szobraink, irodalmunk, bölcséletünk, tudományunk irányát, műfajait az ő gyors laboratóriumuk termelte ki. A latin irodalom, akármilyen értékes művei vannak is, csak tanítványa a görögnek, annak a kései, halódóan fényes színeit festette nyersebb arcára, úgyhogy ha igazán a forrásokhoz akarnánk visszamenni, helyesebb volna a nyelvtanulást a göröggel kezdeni. Miért döntünk és döntött minden iskola a latin mellett?

a) A hellén civilizációt a görögök teremtették meg, de a latinok hagyták ránk. Az ókori ismereteknek ők készítették el a leltárát; az ókori szépséget hosszú évszázadok az ő költőiken át ismerték meg. A nyugati egyház nyelve is a latin lett; a templomban az szólt, az iskolákban azt tanulták, a tudományt azt beszélte; Európa művelt emberének a műveltsége egészen a XVIII. századig a latin maradt. A latinnak ez a hosszú gyámkodása a nemzeti nyelvek fölött

mély nyomot hagyott civilizációnkban. A jog-, természettudomány még ma is latin nevekkel dolgozik, beszédünk át van szöve latin kifejezésekkel; aki latinul nem tud valamelyest, az az európai múltat sem értheti igazán: történelemtelen ember tehát, s akármilyen szakismeretei vannak, műveletlen.

b) A görög nyelvnek csak egy közvetlen leszármazottja van, a jelentéktelenebb újjörög. A latin leánynyelveit Európában és Dél-Amerikában több mint kétszáz millió ember beszéli. Aki latinul tud, ezeknek a nyelvét könnyen megtanulhatja. A franciát, olaszt, spanyolt, a latin felől, látni fogjuk, nem is annyira tanulni kell, mint levezetni; a francia nyelvben a latint fölismerni. S minthogy az angol nyelv is az ott őslakó germánok s a franciául beszélő normann hódítók összeházasodásából született, az angolok később is sokat merítettek a latinból: a latin közvetve s közvetlenül az angol szókincs műveltebb rétegéhez is kulcs lehet.

c) Végül van a latin nyelvnek egy sajátosága, amiért a komolyabb nyelvtanulásnak mindig előiskolája lesz. Aki a latinnal megbirkózott, annak nyelvtani nehézségei már nem lehetnek. Az angol nyelvtan csak egy nyelv nyelvtana; a latin nyelvtan azonban maga a Nyelvtan. Az ókori nyelvek nyelvtanilag sokkal gazdagabbak, mint a maiak; azt mondhatnók: nagyobb nyelvtani fényűzéssel beszéltek, minden forma megvan bennük, s mind külön szóval fejezik ki. Ez a görög nyelvben is így van, de a latin ehhez a gazdagsághoz még valami különös logikai fegyelmet adott hozzá. A latin nyelvet egy arisztokrata réteg fejlesztette ki, amely gyönyörűségét lelte benne, hogy nyelvét minél bonyolultabbá, de minél következetesebbé is tegye: minél többágú gondolatot minél hibátlanabban fejezzen ki. Aki a latin kortárs szerzőket olvasta, el lehet hinni, hogy egy provinciát is el tudott kormányozni.

3. Könyvünk nemcsak nyelvkönyv akar lenni; a nyelvek történetéről, szerepéről is szól; az indoeurópai népek ismertetésével kell tehát kezdeni. Ezek közt leghelyesebb, ha a latinból indulunk ki. Utána azt mondjuk el, hogy keletkeztek a latinból a román nyelvek, s a legfontosabbikat, a franciát vezetjük le, amennyire lehet, a latinból. A germán nyelvek közül már csak a francia kulcs miatt is az angolt mutatjuk be; a szlávok közül az orosz.

Ez az, amire egy mai művelt embernek szüksége van. A tudósok kedvéért egy görög részt is függesztünk hozzá; a szanszkritot éppen csak jellemezzük. Más nyelvcsaládok nyelvei közül a finnről és törökről a magyar kedvéért beszélünk; a héber, arab, kínai mint nagy kultúrnyelvek jönnek számba. Más nyelvekről csak azért mondunk néhány szót, hogy a nyelvek végtelen változatáról képet alkossunk. A nyelvtanulásból így jutunk át a nyelvfilozófiába.

1962

## A FRANCIA NYELV

Aki a latin költők és prózáírók nyelvével megismerkedik - csodálkozik a népen, amelynek ez a tömör, bonyolult nyelv az anyanyelve volt. Valójában a latin nép sosem beszélt ezen a nyelven. A római fürdőszolgák és Horatius nyelve közt nem az a viszony, ami a bihari paraszté és Arany Jánosé közt. A latin élőbeszéd nem hányta el tíz szóval a jelzett szó mögé a jelzőt, s nem használta ki úgy, mint szónokai a gerundivumokat és participiumokat. A latin irodalom nyelve mesterséges nyelv volt, a művelt emberek, a magasabb gondolkodás használatára -, a piac mélyen a maga közönségesebb vulgáris latinját használta, halvásárlásra és összeszóalkozásra.

A római birodalom katonáival és kereskedőivel ez a vulgárnyelv terjedt el az egész birodalomban, spanyol Gibraltártól a Dunáig s az Északi-tengertől Afrikáig. A tisztviselők és a szónokok művelt latinját csak a gazdagok és előkelők tanulták meg, Európa ellatinosodott népe ezt a latint beszélte, minden vidéken az odavaló bennszülött nép szavaival és szájartásával. Amíg a birodalom egysége megvolt, ezek a tájnyelvek sem váltak szét; a forgalom megakadályozta: inkább kevert, mint eltokolt. Amikor azonban a birodalom kis királyságokra szakadt, az országokat összekötő utakat a népvándorlás elvadította, bizonytalanná tette, az Alpok és Pireneusok egyre meredekebb nyelvi határokká váltak: a vulgárlatin tájnyelveiből lassan önálló nyelvek lettek. Itáliában az olasz, Szardíniában szárd, a Balkánon a román, a Pireneusi-félszigeten a spanyol, Franciaország déli részén a provencal, Észak-Galliában a francia.

Gallia bennszülöttei, akiket Caesar meghódított, kelták voltak. Ez a kelta nyelv, melyet Bretagne-ban még ma is beszélnek, csaknem teljesen beleveszett a latinba. Egy-két francia szó őrzi. A kelta szellem azonban ott élt a bennszülöttek szájartásában, nyelvi ösztöneiben, s midőn Gallia Rómáról leszakadt: bizonyára érvényesült is a tájnyelv hangzóiban, fejlődésében. Ezt a tájnyelvet azonban nemcsak a tegnapi rabszolgák, az új urak: a hódító frankok is a maguké gyanánt idomították. A népvándorlás hosszas rengései után Észak-Gallia egy germán népé, a frankoké lett. Míg a Rajnán túl a germánok megőrizték nyelvüket (s a rómaiak vesztették el), a Rajnán innen a frankok nyelve enyészett el: a gall tartomány a hódítás ellenére is latin maradt. A frank beolvadás azonban megint nemcsak egy csomó hatalmat, fegyvert jelentő szóval gazdagította a francia nyelvet, hanem a tájnyelv önálló nyelvvé záródását is siettetette. A VII-VIII. században Galliában már egy olyan latin nyelvet beszéltek s írtak, amelyet más latin vidékek nem értettek meg. Az, hogy itt új nyelv keletkezett, Nagy Károly idejében vált tudatossá, amikor a latin irodalmat tudósok kezdik tanulmányozni és élesztetni. Míg eddig írni is csak egy zagyva latinon írtak, ezután lesz egy külön, egyházi latinuk, a tömeg számára érthetetlen. A pap is pontosan tudja, mikor ír az egyház nyelven: a latinon s mikor a népen: a francián. A francia nyelv első emléke: a *Strassburgi eskü* - pontosan ekkorról, a IX. század első feléből való. A francia nyelv azonban ezután még forrong és alakul, amíg a XVI. század nagy írói végleges formájában megrögzítik.

A vulgár latin, a galliai tájnyelv, a születő francia nyelv részletes leírása, az átalakulás nyomozása: a nyelvészet dolga. Izgató detektívmunka ez, a ránkmaradt nyomokból a nyelvteremtő erőket megközelíteni. Mi itt csak az egész sok száz éves fejlődésből az elejét s végét fogjuk összehasonlítani. Mi történt itt a kora középkor termáljában a latin szavainkkal és latin nyelvtanunkkal...

Nos a szavakkal azt történt, hogy másképp ejtették ki a hangzóikat. A latin nyelvnek hosszú, világos szavai voltak; a hangsúlyuk többnyire az utolsó előtti szótagon volt (ha az rövid volt: az azelőttin). Ez a hangsúly nem volt nyers, lökésszerű; ha a szó négytagú volt, rendszeren egy

mellékhangsúlyt is megtúrt maga mellett. A középkor nyelvében ez a hangsúly határozottabb lett, a szó köréje húzódott; többnyire rövidebb lesz (pl. *rubeum*-ból *rouge*); a hangsúlytalan magánhangzók elmosódnak, eltűnnek: a hangsúlyosak pedig, a nyomatéktól, kettős hangokká: *oá*-kká, *ou*-kká lesznek (mint a palócban a nyomatékos *a á*-(vá) - idővel csak megint egyszerűkké válnak, a helyesírásban azonban megmaradnak. A másik változás, hogy nyelvtani formák is elpusztulnak. Különösen a latin deklináció sorvad el egészen. Előbb csak a genitívus, aztán az ablatívus, datívus olvad bele az accusativusba - végül a nominativus helyett is az accusativust használják. S hogy a királynak-ot a királyt-tól mégis megkülönböztessék: az *ad* majd a *de* előljárót teszik elé; a *servus terrae*-ből így lesz *serf de terre*. De hisz az ólatinban is megfigyeltük már ezt, hisz a tiszta esetek helyett a régi latin is egyre többször használ előljáró esetet. Nos itt az esetek egészen elsorvadnak, s minden előljáróval fejeződik ki. Ezekből a kiegészítő szócskából szaporodnak meg az igeragok is. A latinban csak a szenvedő igék múlt idejét képeztük *sum*-mal. Az új nyelvben a régi igeidők jó része elpusztul, s a perfektura *sum* vagy egy másik segédigével képeztetik. Míg a latin tömören, szót szóba fonva beszélt, az új nyelv apró szócskáival szétoldja a nyelvet - nem összetesz, hanem elemesz; nem szintetikus, hanem analitikus. Ez a változás nemcsak a francia nyelvre jellemző.

5. Ahelyett, hogy nyelvtörténeti szabályokat tanulnánk be, próbáljuk a legfontosabb szóvégi magánhangzók elkopását magunk megcsinálni. A francia szótárban a *terra* így hangzik: *terre*, a *schola* = *école*, a *rosa* = *rose*. A szóvégi *a*-ból tehát néma *e* lesz. A többi szóvégi magánhangzó, az *u*, *o*, *i* nyomtalanul eltűnik: *sentire* = *sentir*. Minthogy a szóvégi *s* és *m*-nek ugyanez a sorsa: a II. deklináció *us*-a és *um*-ából a legtöbbször nem marad semmi. *Vinum* = *vin*, *argentum* = *argent*. Néha mégis megmarad egy *e* ezekből is; pl. *templum* = *temple*, *quattour* = *quatre*. A *pl*-, *tr*-féle hangcsoportokat az *e* nélkül nehéz kiejteni.

A szóvégi magánhangzókön kívül azok is homályba kerülnek, amelyek két hangsúly, a fő- és a mellékhangsúly közé esnek. Pl. *ornamentum*-ban az *ent*-en a főhangsúly, *or*-on a mellékhangsúly, az *a*-ból néma *e* lesz; *radicinam*-ból *ra(d)cine*.

6. Bonyolultabb a hangsúlyos magánhangzók története. Ezek akkor tartják meg magukat jobban, ha fedve vannak. Mikor van fedve egy magánhangzó? Ha vele nem ér véget a szótag; *a-mare*: itt az *a* nyílt; *am-bo*: itt zárt, mert még egy *m* következik az *a* után. A fedett magánhangzók az ő mássalhangzó-félszükben mindvégig megőrizték magukat; *arma* = *arme*, *terram* = *terre*, *filum* = *fil*. Az *o* *ou*-vá mélyül, az *au* *o*-vá; *aurum* = *or*, *pauperem* = *pauvre* - az *u* *ü*-vé. (Az *i*-k és *o*-k egy része már a vulgár latinban *e*-nek és *u*-nak hangzott: pl. *firmum* = *ferme*). A nyitott magánhangzók közül az *i* volt a legellenállóbb; megmaradt *i*-nek. Pl. *filum*-ból *fil*, *ripam* = *rive*. A szabad *e*-ből kettős hangzó lesz: *ie*; *pedem*: *pied*, *caelum*: *ciel*, *mel*: *miel*. Az *o*-ból egy csomó kettős hangzón át *ö* (*eu*); *soror* = *soeur*. A hosszú *e*-ből: *oi*: *voile*, *avoir*. Az *a*-ból pedig *e*: *sal* = *sel*, *amare* = *amer*, *navem* = *nef*, *nasum* = *nes* vagy *nez*.

Ez így elég egyszerű volna. De a magánhangzókat a rákövetkező mássalhangzók is fertőzik. Az *n* orrhang az előtte levő *i*-vel különös, a francia nyelvre jellemző orrhanggá olvad össze: az *in*-t *ën*, *ent* = *ãn*-nak, az *un*-t *õn*-nek ejtjük. A *ct* *gt* csoportokból (*tectum*) a latinban végül egy *i* maradt meg: *tei*; ez is visszahat az előző szótagra, így lesz a *tectum*-ból *toit*, a *factum*-ból *fait*, a *pacem*-ből *paix*.

A mellékhangsúlyos magánhangzók zárt szótagban úgy viselkednek, mint a hangsúlyosak nyílt szótagban, az *e*-ből nem lesz *ie*; *debere* = *devoir* (*dövoár*); az *a* pedig megőrzi magát: *habere* = *avoir* (*ávoár*).

7. Homályosabb helyen a mássalhangzók is elhalványodnak, futólagosakká válnak. Így némul el a szó végén az *m*, *n* és később a *t*; míg a szóvégi *v*-ből *f* lesz. Két magánhangzó közt a *b* és az *f* *v*-vé válik; a *d* pedig kiesik. A legjobban a szótagok elején őrzik magukat a mássalhangzók. Egyes hangzók azonban itt is sziszegőkké válnak. A *j*-ből *zs* lesz, a *c*-ből *e* és *i* előtt

*ch*, amit később *s*-nek ejtenek. A szótagok végén a *c*-ből és *g*-ből *i* lesz: *tectum, factum*, a *p, b, t, d*, pedig elvész; *septem = set*.

8. Ezek csak a legfontosabb szabályok. A legtöbb szó sorsát azonban már ezeknek a segítségével is kiokoskodhatjuk. Mi lesz például a *manusból*? Az *us* elmarad, nyílt szótagban az *a*-ból *e* lesz, az a rákövetkező *n*-nel orrhangot alkot, tehát: *main* (*mē*). Így lesz a *panem*-ből *pain*. *Dens* tárgyesete *dentem*, ebből *dent*; a *t* azonban a szó végén nem hangzik, az *e n* előtt orrhangú; tehát *dā*. A *venter*-ből a hangsúlytalan *e* kivész, de mert így nehéz hangcsoport támad, egy *e* jön a végére. *Vox* tárgyesete *vocem*; az *em* elmarad; a nyílt *o*-ból *oi* lesz, tehát: *voa* (helyesírása *voix*). A *legem*-ből elmarad az *m*, a *g*-ből *i* lesz, a hosszú *e*-vel *loi*. A *canis, canem*-ből marad *can*; a *c a* előtt *ch* lesz, az *a ie*-vé alakul: *chien*. *Odor, odorem*, az *em* elmarad, a hosszú *o*-ból lesz *eu*. Az ilyen egyszerű szavak, mint: *natura, luna, terra, ventus, planta, herba, fortuna, servus, filia* - francia utódját akárki azonnal levezeti. De többnyire elég könnyű az elváltozottabbakat is levezetni. *Mater*-ből a hangsúlytalan *e* és a szótagzáró *t* esik ki; a hangsúlyos *a*-ból lesz *e*: *mère*. Így a *pater*-ből *père*, a *frater*-ből *frère*. A *popidus*-nál a hangsúly az *o*-n van; ebből lesz *eu*, az *u* kiesik, az *us* elmarad; tehát lesz *peuple*. Hát a *natio*-ból miért lesz *nation*? Mert a tárgyesete *nationem*, az *em* elmarad, az *o n* előtt orrhangú, a szótag közti *t i* előtt *sz-szé* lesz. *Magister*-ből *maistre*-nek kellene lenni, de minthogy ebből az *s* is kiesik, marad *maître*. Ugyanígy lesz *fenestra*-ből *fenêtre*. *Lac*-ből a franciában *lait* (*lé*) lesz. Hogyan? *Lac* tárgyesete *lactem*; a *c*-ből *i* lesz, tehát *lait*.

9. Aki figyelmesen veti egybe a latin és francia szótárat, a látszólagos eltérésekben is felismeri a szabályosságot. *Altus*-ből a franciában *haut* (ó) lett, a *psalmusból* *psaume*: az *al* szótag tehát *au*-vá alakult. A *schola*-ből *école*, a *status*-ből *état*, *spero*-ből *espérer* lett, tehát a szó elején a francia nem szereti a torlódást, s ezért csúsztatja meg egy *é*-vel. Mi itt nem szaporítjuk ezeket a szabályokat, az érzék, reméljük, kifejlődött rájuk - mielőtt mondatainknak nekivágnánk, csak az olvasás legfőbb szabályait foglaljuk össze. A francia olvasás a francia nyelv múltját őrzi - s értelmesen olvasni franciául, annyi mint a francia nyelv fejlődésére emlékezni. A *j*-t a franciában *zs*-nek olvassuk. Mért? Mert a szóeleji *zs* (*jour, jurer*) a latin *j*-ből fejlődik. Máskor, *e* és *i* előtt, a szóeleji *zs*-t *g*-vel jelölik, mert ez a *zs* a latin *g*-ből fejlődött. A *c*-t ezért olvassuk *e* és *i* előtt *sz*-nek. A francia *s* jele *ch*, a latin *k* ugyanis egy mély torokhangon át fejlődött *s*-sé. A francia magánhangzók egy részét azért jelöljük két magánhangzóval, mert a régi francia nyelv palócos kettős hangzóiból lettek. Az *ai i*-je egy kiesett *e*-re vagy orrhangra figyelmeztet. Az *oa*-t is azért írjuk *oi*-nak, mert eredetileg így hangzott; a szóvégi és szóközti *e* jele azért *ö*, mert az eredetileg *e* volt. A múlt emlékei a szóvégi néma *t*-k, *s*-ek, *z*-k, *x*-ek és az elnémult *h* betű. Aki meg tudja okolni mért vannak ott: a francia nyelv századait is érti.

10. S most ússzunk bele a mondattanba. A franciában, mondtuk már, *csak* állítmányos mondat nincsen. A francia mindig tesz alanyt az állítmánya mellé, ha mást nem: személyes névmást. Az *ego* olasz utódja az *io*; ennek franciául *je*-nek kell hangzani. A *tu*: *tü*; a harmadik személyű *il* az *ille*-ből származik, a *nos*-ból szabályosan *nous*, a *vos*-ból *vous* lett; a többes harmadik pedig az egyes harmadikból lett, a többes *s* jelével *ils, elles*. Igeragozás a franciában is négy van, de az igék eltolódtak, *amare*-ből lett perf. *amar* s a nyílt *aimer*, amit *emé*-nek ejtünk. Ebbe az igeragozásba tartozik a francia igék őrjási többsége, nemcsak az első, de második és harmadik ragozásúak is. A 4. ragozás *ire*-jéből támadtak a francia *ir* végű igék (*sentir, dormir*). A 3. ragozásban *ere* néha *re*-vé vált; *defendere = défendre, vendere = vendre, vincere = vaincre*; ebből lett a harmadik ragozás. A hosszú *e*-s tövűek hosszú *e*-jéből sokszor *oi* lett: *habere = avoir, debere = devoir, video = voir*. Ez a negyedik francia ragozás. Az első ragozás a legszabályosabb; rendhagyó ige ebben egy van: *aller*; az utolsóban viszont szabályos ragozású nincsen. Nézzük hát a *parler*-t. *Je jure* (az *a*-ból szabályosan *e* lett), *tu jures, il jure* (a *t* elmaradt). *Nous jurons, vous jurez* (*juratis+juraz, jurez*), *ils jurent* (az egész *ent* néma). A

második és harmadik ragozás végződése hangzásra ugyanilyen, helyesírása azonban más. Je sens, tu sens, il sent, nous sentons, vous sentez, ils sentent. A második ragozásba eső igék (finir) i-jüket megőrzik. A t, d, m tövűek általában i nélkül, a többiek i-vel ragoztatnak. Il part, je nourris. Az elbeszélő múlt fejlődése igen bonyolult; a legjobb megtanulni: jaurais stb. A jövő idő olyasformán képződik, mint a latinban; vagyis a főnévi igenévhez az avoir jeleket kell hozzátennünk. Már itt kell megmagyaráznunk, miért van annyi rendhagyó ige a franciában. Venire-nek a francia főnévi igeneve venir. A jelen idejének így kellene hangzania, hogy je vens, il vent... A kétagú alakok így is hangzanak (azok a venimus-ból lettek, s az ons-on a hangsúly), az egytagú hangsúlyos nyitott e-nek (ve-nir) azonban ie-re kell változnia. Tehát je viens stb. Ugyanígy mourir-ból (morire): nous mourons, vous mourez, de az egytagos alak: je meurs, tu meurs, il meurt, ils meurent. Scribo-ból écrivons, écrivez; de j'écris, tu écris, il écrit. A habeo-nak az egytagú alakjai: j'ai, tu as, il a, ils ont, a kétagú: avons, avez. Debeo-ból devoir, devons, devez; de je dois, tu dois, il doit.

A rendhagyó igék imperfektuma (imparfait) és futura (futur) teljesen szabályos. Az imparfait-t a jelen többes első személyből képezik: j'avais, j'écrivais, je devais, je venais. A jövőt a főnévi igenévből és az avoirból; de je devrai, j'aurai. Magyarázat: egy más ún. főnévi igenévhez járult az avoir. Ezeket az alakokat, nincs mit tenni, meg muszáj tanulni.

12. A névszói állítmány névszó, azt a francia a sum igével készíti el. A sum franciául je suis, a többi alak szabályos: tu es, il est, nous sommes, vous êtes, ils sont. Én jó vagyok: Je suis bon. Az élet rövid: La vie est brève. A művészet hosszú: L'art est longue.

13. A tárgyat a francia nem különbözteti meg az alanyesettől. Le père az apa és apát. Hogy melyik micsoda: a szórend dönti el. Le loup mange l'agneau. A farkas megeszi a bárányt.

A latin perfectumtól a franciában egy másik múlt lett: a passé défini. iuravi = jurai, juravis = juras, juravit = jurat, juravimus = jurámes, juravisti = jurátes, juraverunt = jurèrent. Ezt az időt egyszer történt dolgok elbeszélésére használja. A perfectumnak megfelelő időt körülírással képezi az avoir vagy être segítségével. A segédige jelenje mögé az ige múlt idejű mellékneve kerül. Ez az er-végűeknél é, az ir végűeknél i, a re, oir végűeknél többnyire u.

J'ai aimé, J'ai senti, J'ai vendu, Je suis sorti. Az être-t a mozgást jelentő igéknél használjuk.

13. A helyhatározóit a francia már tisztán előljárókkal (viszonyszókkal) fejezi ki. De az egyszerű előljárók száma is megfogyott. Az ex, de és ab szerepét egyformán a de látja el. De l'école, du mont, de mon père. Ha azt akarjuk mondani: honnét, pl. mellőle, alóla... akkor mellé kell tennünk a megfelelő határozószót de devant, de derrière, de dessus. A hova és hol kérdés ellátására a franciában is ugyanazok az előljárók szolgálnak. Az in-t, amely a franciában en lett, erősen megszorította a dedansból (benne) fejlődött dans és az ad -hoz, -hez, -höz-ből fejlődött à. Csak igen hosszú gyakorlat árán tanuljuk meg, mikor melyiket kell használni. A dans általában valóságos benne-létet jelent, az à és az en inkább egy helyen való tartózkodást. A két utóbbi közt mennyire nincs éles határ, mutatja, hogy Brazíliában au Brasile, de Németországban: en Allemagne. Februárban en février, tavasszal au printemps. A helyet pontosabban jelölik: sur (super), sous (sub), devant (ante), derrière, entre (inter), chez (nál), envers (inversus), outre (ultra) és par (per). Minthogy ezeknek az előljáróknak a száma még mindig elég kicsiny, a francia határozószók de-vel itt is alkothatnak prepositiót: autour de, à travers de au delà de, au lieu de, au milieu de, près de.

14. Az időhatározókat a francia is helyhatározóval mondja. A huit heure, à midi en hiver, de ce jour là. Az idő pontosabb megjelölésére azonban külön időhatározói viszonzói vannak: dès = től, fogva, devant = előtt, après = után, depuis = óta, pendant = alatt. A társ és eszközhatározót ő is egyformán, avec-kal, illetőleg sans-nal (nélkül) szerkeszti. Mint a magyarban, a módhatározó is képezhető avec-kal, de még inkább par-ral. Aszerint fordítása selon. Az

okhatározó -ból, -ből-je a franciában is fordítható de-vel félelemből: de peur, a miatt: à cause de. A célhatározó ért-je pour - pour argent.

15. A részes határozót à viszonzszóval képezzük, le-vel, au les-vel aux-ba olvad össze. Au père, aux élèves. Ezt szokás a franciában datifnak tekinteni.

16. A képes helyhatározókat a francia többnyire pusztán tárgyességgel vagy à-s, vagy de-s alakokkal fejezi ki. Szembeszállni valakivel: Braver l'ennemi. Én szenvedek a szerelemtől: Je souffre d'amour. Én anyámra gondolok: je pense à ma mère. Hogy mikor melyiket használjuk, az igéktől függ. Minden igének megvan a maga vonzata. S minthogy ezek a magyartól igen sokszor különbözőek, épp ezért a használatukat meg kell szokni. A legpontosabb, ha a magyarban ugyanazt a vonzatot állítjuk elő. Pl. féliciter - szerencsét kívánni, de mondható így: meggratulálni valakit. Rencontrer = találkozni, de szembekapni, jouir = élvezni, gyönyört húzni; souffrir, avoir besoin: szüksége van valamire, szükségét szenvedünk valamiből.

17. A jelző a franciában is megegyezik a jelzett szóval; az egyeztetés azonban itt könnyebb, mint a latinban: hisz csak nőnembe, a többesszámúakét többes számba tenni. Une bonne mère, des sentiments profonds. A jelző itt is majd előtte, majd utána van a jelzett szónak, de a franciában azonban merevebb, határozottabb a szórend; nem lehet tetszés szerint előre-hátra venni. A melléknév előtt áll a főnévnek, ha jóval rövidebb nála, hangtanilag szinte beleolvad ha személynév előtt áll - ha átvitt értelemben használjuk - megkülönböztetésre pl. un profond silence és la mer profonde. Mindig a főnév mögött áll a melléknév mégis, ha érzékeink számára határozza meg a főnevet, népek nevét mondja ki vagy egy határozószóval van megnyújtva.

A francia számok a latinból könnyen levezethetők; unus = un, duo = deux, tres = trois stb. A tíz fölötti számok végén a ze a decimből fejlődött; undecim = onze, douze, treize. A tizenhetet mi magyarosan mondjuk: dixsept. A viginti: vingt, a triginti: trente, quadraginta: quarante. A hetven: soixante-dix; a nyolcvan: négyszer húsz quatre-vingt; a centum: cent, ezer mille. Százon felül úgy számolunk, mint a magyarban: deux cent, trois cent, quatre mille. A sorszámok közül: primus = premier; secundus = second. A továbbiakban imusból ième lesz: troisième, dixième, vingtième. Királyok neve mögött nem sor-, hanem rendszámot teszünk: Henri quatre.

18. A birtokos névmást a francia is az ő korcs genitifjével szerkeszti meg; a birtok itt is megelőzi a birtokost. Le toit de la maison. Le habit du père.

19. Az ige mellett álló személyes névmást láttuk már. De a francia éles különbséget tesz a közt az „én” közt, amelyet azért használ, hogy az igének legyen alanya, s amelyet önállóan vet oda. Ki volt az? Én. Kinek adta? Neki. Erre a moi, toi, lui, nous, vous, eux (elles) szolgál. Ezt éppúgy ragozzuk, mint a főneveket. De moi, à moi.

20. Jelzőnek tekinthető a birtokos és a mutató névmás. Az én házam = ma maison. Ennek a nőnemű alakja szabályosan fejlődött a mea-ból; ma, mes. A hímnem fejlődése, mon, son már bonyolultabb. A mutató névmás hímnemben ce, cet, nőnemben cette, többesben ces. A birtokos névmásnak a magyarban is van egy önálló alakja: enyém, tied, övé. A franciában ez az alak így hangzik: le mien, le tien, le sien, le nôtre, le vôtre, le leur. A mutató névmás önálló alakja - mindjárt azt is megmondja, itt van-e az a valami, celui-ci, celle-ci, ceux-ci, celles-ci.

1946

## LATIN SZAVAK A MAGYARBAN

Mielőtt egy nyelv tanulásába fogunk, jó megnéznünk, mit tudunk belőle. A művelt embernek második anyanyelve Magyarországon nyolcszáz esztendőn át a latin volt. Papjaik latinul imádkoztak, iskoláikban latinul tanultak, pöreib latinul folytak; amit elhanyagolt parasztnyelvükön nem tudtak kimondani, latinul mondták. Az orvostudomány, növénytan, állattan kifejezései ma is latinok; a tudomány, újságok, beszélgetések nyelvébe is rengeteg latin szó került be; a tudákosságnak múltban és most is latin a nyelve. Igen sok latin szót ismer és használ az is, aki sohasem tanult latinul. Ezeken tartunk most egy kis seregszemlét; elsősorban az olyanokon, amelyeknek latin tudásunkban mindjárt az elején hasznát vehetjük. A tanulás akkor a legkönnyebb s a legeredményesebb, ha ráismerés. Ezeket a szavakat, ha sor kerül rájuk, nem tanulnunk kell már, csak felismernünk: hát ez az! Számuk nem kicsiny, holott csak a legmindennapiabbakat hozzuk föl, annak az 5-600 törzsszónak, amivel utunknak neki akarunk indulni, az egyharmada (s még vagy ötven kicsit ritkább szó) köztük lesz.

1. Amikor a pogány magyarok Szent István korában a kereszténységre tértek, az új intézményekkel egy csomó új szót is átvettek. Latin mindjárt a „szent” szó is, a latin sanctus elmagyarosodott alakja; a corona, amivel Istvánt megkoronázták, koszorút jelent. Az új isten házait, a templomokat (templum) szintén latinul nevezték meg; a nagyobb székesegyházak nevében, a „dómban” a latin ház (domus) szó lappang. A betelepített szerzetesek kolostorokban éltek. Ez a claustum szó eltorzítása, s a zárni (claudio) igéből származik: bezárt helyet jelent. A papok páterek voltak (atya), az egyszerűbb szerzetesek fráterek (fivér), a nő mater (anya) és soror (nővér). A mennybe jutva ők is angyallá lettek (angelus), s glória (dicsőség) ült a fejük körül. Ornátusuk, azaz miseruhájuk az orno (díszít) igét örzi. Maga a mise a mitto = küld ige alakja. A ministrálásban a szolgál őrződött meg. A reverenda tiszteletre méltó (revero: tisztelni); a papi öv, a cingulus, a cingo igéből ered. Olvasmányuk, a legenda is azt jelenti, hogy olvasandó (lego); a breviárium szóban a brevis (rövid) melléknév arra vonatkozik, hogy a könyv rövid kivonatokból áll. Óra szavunk a latin hora; a szerzetesi életben minden tevékenységnek megvolt az órája. A protestánsoknak már a nevük is latin; testis: tanú, protesto: tanúságot teszek, tiltakozom. A református szóban ráismerünk a formára (alak); re-formálni annyi, mint vissza-, újjá alakítani. Papjaik prédikátorok voltak, azaz a gyülekezet előtt (prae) beszéltek (dico = mondok). Világi gondnokaikat kurátoroknak nevezték (curo = gondoz). Alapigéjük a textus: szövést, ahogy ma mondjuk, szöveget jelent, s a texo (szó) igéből származik, éppúgy, mint a textil szó is. A serdülők megerősítése a hitben, a konfirmáció, a firmus (erős, szilárd) melléknévet örzi, éppúgy, mint a cég neve, firma vagy a jófirma is. A protestáns szekták, sőt az újabb szektások is a secare (vág) igének köszönhetik a nevüket (éppúgy, mint a szekálás, mértanban a szekáns). Egyházi eredetű szó a lámpa (lampas) is.

Az egyházak iskolákat létesítettek; az iskola szó (schola) maga is latin; az a protestáns kollégium (con = össze, lego pedig nemcsak olvasni, gyűjteni is) - kollégium, ahol a diákokat összegyűjtötték. Az internátus (éppúgy, mint internálni) a belső = internus szóból ered, a bennlakók lakása; ellentétben az externus, a kinti. A menza, ahol a diákok egy része ma is eszik, asztal. A tanár neve, a professzor (éppúgy, mint a professzionátus labdarúgó) a profiteor = bevall, szabadon kimond szóból ered, az pedig a pro = előre és a fateor = mond igéből; a doktor viszont a doceo = tanít igéből, az, aki tanít. A kántor, éppúgy mint a kántus, a kar neve, a cano = énekel igéből származik. A diákok pennája, azaz tolla, akkor még lúdtoll volt; a pensum, amit írtak vele, kimértet jelent, a tábla, amelynél feleltek: tabula. A tanulmány stúdium, a studeo = törekszik igéből ered. A nagyobb diákok kollokviumában a loquor = beszél ige rejlik: kollokválni = beszélgetni a tanárral. A matúra: érettségi (maturus = érett). Az

abszolválás az absolvo = old igéből ered; a végzett diákat feloldották a további iskolába járás alól. A félelmes szekunda annyi, mint második. Az eminens (ex = ki, minere = válik) kiváló.

Az ügyvédek advocatus (ad-voco: oda-hívni) neve már feledésbe ment; de a fiskálisokat (fiscus = kosár, pénztár) még emlegetik. Az ügyvéd felesküdtött segédje a jurátus (juro = esküszik). A juss, melyért annyit harcoltak az örökösök, a ius = jog-ból jön. A testamentum (testo = hagyni) megint a testis szóból: tanú kellett hozzá. A pör neve éppúgy, mint a hadmozdulaté, actio = cselekmény; az eset = casus; ma is mondják, de nagy kázust kerít belüle. Még a kártyába is belekerült a contra szó (contra = ellen), így nevezték el a pöröket: Kovács contra Nagy pör. A jogi adományozásoknak donatio a nevük (dono = adományoz, do = ad).

A mi régi nemeseink, akik több-kevesebb latin iskolán átmentek, az agaraikhoz hazatérve életükre is szívesen alkalmazták az elsajátított latin szavakat. Isten háta mögötti pátriájukban (patria = haza), az ősi funduson (fundus = alap, telek), a tágas portán (porta = kapu), átvitt értelemben telek), ott állt curiájuk, melyben komótosan (commodus = kényelmes) s több-kevesébé módosan (modus = mód) és tempósan (tempus = idő) éltek familiájukkal. Disputáltak a világ folyásáról (puto = vél, gondol, dis = szét, disputo = vitáz), bíztak a sorsban (sors) s fortunában (szerencse), dicsérték a régi virtust (erény), megnyugodtak a fatumban (végzet). Később, amikor már újságjuk is volt, a Kurir (curro = futni), föltették az okulát (oculus = szem), megtudták belőle, miféle rebelliók (bellum = háború) vannak a világban, s memóriájukban (emlékezet) felfrissítették a régi sorscsapásokat. Házuk körül mesterek is voltak (mester = magister), iparosaik elfabrikálták (faber = kézműves, kovács) egy-egy armáriumon (szekrény), melyben az armát (fegyvereket) tartották, esetleg pingálták is (pictor = festő) vagy megjavították, ha kikorhadt, a grádicsot (gradus = fok, lépcső). Asszonyaik a kertben palántáztak (planta = növény), a jó ájeren (aer = levegő), öntözték a rózsát (rosa), törték az olajat (oelum = olaj), ecetet (acidum) készítettek, esténként főzték a herbateát (herba = fű), ha gusztusuk támadt (gusto = ízlel), bementek a kamrába (camera).

Néha még lavórjuk (lavo = mos), azaz mosdójuk is volt, egy kicsit rusztikusan éltek (rus = falu), de azért nem cseréltek volna holmi városi cívissel (polgár). Parasztjaikkal, pásztoraikkal (pastor) volt, amelyik humánus volt (homo = ember, humanus = emberies), de ha a turpiságra rájött (turpis = gyalázatos), az is megpálcáztatta őket. Így éltek anno 1800 körül (annus = év); ha eljött a terminus (határnap), mentek a gyűlésbe, megvívatozták (éljen, a vivo igéből) a királyt s a főispánt, köszöntötték a régi kollégákat. Még a köszönésük is latin volt, servus (szolga), amice (amicus = barát).

2. E régi élet szavainak egy részét ma is használjuk, még több az, ami kiveszett. Jöttek a helyükbe új latin szavak, nem ilyen tempósak, kényelmesek, tudományosabbak és idegesebbek. A tudomány népszerűvé vált műszavaiban a görög ugyan erősen verseng a latinnal (telefon, rádió, fonográf, atom), de azért van latin is bőven. A motor szó a moveo (mozog) igéből származik, a gravitáció: a gravis = nehéz melléknévből. A számtanban a plus = több, minus = kevesebb. A negatív szám a nego (tagad) ígére tanít meg, a pozitív a pono (tesz), (positio = helyzet) ígére, a minimus: legkisebb, maximus: legnagyobb. A magasabb mennyiségtanban a racionális szám: ésszerű (ratio = értelem), az imaginárius azonban már nem az: képzetes (imago = kép). A mértanban a tangens érintőt (tango), a szekáns, mint láttuk, metszőt, a sinus öblöt, keblet jelent. A vegyészek, orvosok laboratóriumban dolgoznak (laboro = dolgozik). A professzornak adjunktusa (ad = hozzá, jungo = köt) vagy asszisztensei (ad = hozzá, sisto = állít) vannak, az orvostanulónak medikus a neve, ami nagy előleg, hisz orvost jelent. Az orvosok megvizsgálják vagy meg is operálják a beteget (opus = mű, opero = munkálkodik), kúrájuk (cura = gondozás, gyógyítás), vagy eredményes, vagy sem. A pulzus, amit tapogatnak, az artéria (ütőér) lökése (pulso = lök), a vénáknak (venio = jön, vena = jövőér) nincs lökésük. A járóbetegek számára ambulanciát (ambulo = jár) tartanak fenn. Kongresszusaikon

(gredior = lép, congressus = összejövetel) referálnak (fero = hoz, referál = előhoz, beszámol) az észleleteikről.

A művészetek közül a zene és az irodalom csempészi be a nyelvbe a legtöbb idegen szót, a zene részben az olasz közvetítésével. A skála: létrát, hanglétrát jelent (scalae); a dúr-skála kemény (durus), a moll-skála lágy (mollis), a fals hang hamis (falsus), a taktus = ütem (tango = érint), a tenor, aki kitartja (teneo = tart), az alt, mély, de a latinban a mély magast is jelent, a szonátában a latin sono hangzik, a variációban a varius (különböző), a koloratúrában a color (szín). A kották jelzéseiben, a crescendóban a cresco = növekszik, a legatóban a lego = köt, gyűjt, a fortéban a fortis = erős. A hangszer instrumentumnak is szokták mondani (szerszám). A művek jelzésére szolgáló opus = mű, munka, latin szó a magyar nóta is (noto = megjegyez, notárius = jegyző), följegyzett dallamot jelent. „Azon nótára” - írták Balassiék a vers fölé.

Az irodalmat gyakran literatúrának mondjuk (littera = betű, litteratúra, amit betűvel jegyeztek föl). A literatúra főleg a különféle irodalmi irányokat jelzi latin szóval; a humanizmusban a homo, humanus szavakra ismerünk, a szentimentalizmus a sentio = érez, a realizmus a realis = való, a naturalizmus a natura = természet, a verizmus a verus = igaz, az impresszionizmus a premo = nyom, pressio = nyomás, impressio = benyomás szavakra tanít; a nihilizmus a nihilt (semmi) hirdeti. Az epistola műfaja levelet jelent, a szerzők könyveiket publikálják (publicus = nyilvános), a festők szótárából a perspektívát (specto = néz) tanulhatjuk meg.

Rengeteg latin szót zúdított és zúdít nap nap után a latinban nem járatos elmékre is a politika. Maga a párt is latin szó (pars = rész). A liberalizmus a liber = szabad; a kapitalizmus a capio = kap, a kommunizmus a communis = közös, a socializmus a socius = társ, a nacionalizmus a natio = nemzet szavakat rejti, az imperializmus az impero = uralkodik ígét. Radikális az, aki radixából azaz gyökeréből irtaná ki a bajt, konzervatív, aki conserválná, azaz megőrizné a régit. A militarizmus a miles = katona szóból ered, a pacifizmus a pax = békéből. Nálunk az első világháború után sokat emlegették a revíziót (video = néz, revideo = újra megnéz, felülvizsgál), integritás (integer = ép, teljes) szavakat, később a reakciót (visszahatás). A politika fegyverei az agitáció (ago = üz, agito = mozgat), a propaganda (propago = elterjeszt), a terror (terreo = megijeszt).

De még sok más forrásból ömlik a latin szó mindennapi életünkbe. Szórakozóhelyeink közül a cirkusz a latin circum = körül szó testvére. Artista, aki az arsok (művészet, mesterség) legvakmerőbbikét űzi; a gladiátor karddal (gladius) küzd, a katona szalutál (saluto = üdvözl), s kimegy a frontra (frons = homlok). A szanitéc egészségügyi szolgálatot végez (sanus = egészséges) a futó belefekszik a finisbe (vég). A kártyás licitál (licet = szabad), a kereskedő prima (primus = első) minőségű, helyesebben kvalitású (qualitas = minőség) árut tart, az eladott állatnak passzust íratunk (passus = lépés) stb. A praemium az a jutalom, amit a jól végzett munkáért kapunk.

Vannak emberek, akik okosabbnak tartják magukat, ha ilyen szavakat használnak, mint inzultál (sért), inspirál (lelkesít) vagy animál (anima = lélek). Ha hibáztak, exkuzálják magukat, a vitában koncedálnak, az életben imitálnak, ha megsértik őket, megaprehendálnak, ha meg akarnak dicsérni valakit, azt mondják: intelligens, a karcsú nőre gracilis, ha valaki nemes tettet követett el; milyen nobilis gesztus volt ez a részéről. Büszkéek rá, hogy milyen funkciót töltenek be, hogy judíciumuk van, luxusos lakásban laknak, hogy optimisták (optimus = legjobb) vagy pesszimisták, hogy tudnak disztinguálni, s van intuíciójuk, a kultúra (colo = művel) és a civilizáció szavak állandóan a szájukban vannak, tisztelik a géniust, s megvetik a plebsét, egy részük különösen a szexuális (sexus = nem) élet dolgait szereti latinul emlegetni, elmondják, ki frigid (hideg), ki perverz (verto = fordít), ki potens (képes), ki impotens, mikor van a menstruációjuk (mensis = hónap). Mások, akiknek olyan a természetük, főleg a többiek megbélyegzésére használnak szívesen latin szavakat; aki nem tetszik nekik, az stupid

(ostoba), obscurus (sötét alak), arrogáns (rogo = kérdez), confidens (fides = bizalom), túl simplex (egyszerű) vagy egészen debilis (gyenge, gyengeelméjű). De ne higgyük, hogy a kevésbé kényes ember megszabadul a latintól, ő is emleget perszónát (személy), bestiát (vadállat), őt is macerálják, molesztálják, szekálják, viszont maga is megmondja a magáét, direkt (egyenest) az illető szemébe. Néha még ilyen szavakat is használ, mint skribál (scribo), durmol (dormire), numero (numerus = szám).

3. Ennek a szótárnak tán nem mindenki ismeri minden szavát, elég, ha azt, ami ott volt már a fülében, fejében megfejti, s ezzel egy-egy latin szót nyer készülő szótárához. A szavak megtanulásánál fontosabb a szenvedély felkeltése, ha idegen szót hallunk, gondoljunk a megfejtésére s latin szótárunkra. A régi könyvek, Jókai, pl. s a mai újságok egyformán jó vadászterület. Üssük föl közben az idegen szavak szószedetét, keressük meg, milyen tőből származik, s ha nem ismertük még, jegyezzük föl. A latin nyelv tanulása így nemcsak egy holt nyelv tanulása lesz, a körülöttünk levő élet tudatosítása is.

És nem kell az idegen szavaknál megállnunk, vannak nevek, kereszt-, család-, földrajzi nevek, sokszor azoknak a fordítása is gyarapíthatja a szókincsünket. Azt, hogy Klára híres, Lucifer fényhordó, Agnus bárány, Stella csillag, Amor szeretet, Leo oroszlán, Cupido vágy, könnyebben megjegyzi az ember, mint a szót magában. Megjegyezte az Orsolya nevű XVI. századbéli hölgy is, akinek Szegedi Kiss István a szószékről magyarázta meg, hogy Orsolya, Ursula medvécskét jelent (ursus = medve); börtönbe juttatta miatta. Ha tudom, hogy a néger Libéria: szabad föld, Virginiát Erzsébet királynő tiszteletére alapították (virgo = szűz), Transzilvánia túl volt az erdőkön, a gall kakas nemcsak a jelvény, de a gallus szó értelme is, már egy kis történetet is tudok. Columbus, Corvina, Aquileia nemcsak három latin névre tanítanak meg (galamb, holló, sas), de a humanista névadásra, Attila történetére is.

A nevek után következnek a szövegbe szúrt latin mondások; templomok, kapuk fölött a feliratok. Ne hagyjuk magunkat, értsük meg őket. Latin nyelvtanfűzetünk mellett legyen egy másik, amelyben a latin nyelv nyomait gyűjtjük, múltban és jelenben!

1962

## A KIADÓ JEGYZETE

Németh László *Négy könyv*-ének a teljes anyaga soha nem készült el. Az író életében a *Négy könyvről*, *A vegytan jegyzetből*, *A matematika fejlődése a XIX. században*, a *Bevezetés a latin nyelvtanhoz és a Latin szavak a magyarban* tanulmányok jelentek meg a *Kísérletező emberben* (Magvető, 1963). A Természetismeret kötet nagy részét az író kis, vázlagszerű esszéikben megírta; ezeket a rövid összefoglalókat akarta később részletesen átdolgozni. Két esszesorozat született: az egyik 1947-48-ban, az író vásárhelyi tanársága alatt, a másik a hatvanas évek elején, amikor a *Négy könyv* kiadása újra felmerült komolyabb formában. A Nyelvekhez található megírt részek (az itt megjelentek kivételével) még vázlatosabbak, és az olvasó számára élvezhetetlenek - a Matematika részből csak néhány oldal íródott meg.

Az itt közreadott kötet anyaga a felsorolt tanulmányok kivételével Németh László hagyatékában kéziratban maradt hátra, és Németh Judit olvasatában jelenik meg, aki az első írás hevében született tévedéseket, elírásokat, illetve a szaktudományok által azóta túlhaladott álláspontokat lábjegyzetekben korrigálta. A [...] a szövegben az eredeti kézirat kiolvashatatlan helyeit jelzi. A kéziratot az író gépelt formában sosem látta, és a kéziratot az első megírás után soha nem nézte át, nem javította. Az író a tanulmányokhoz táblázatokat tervezett, ezek azonban csak hiányosan készültek el, így azokat nem publikáljuk.

A kéziratban hátramaradt munkák nagy része itt publikálódik először. Kivétel ez alól a *Tudománytörténeti munkák* (*Utolsó széttekintés*, Magvető, 1980), *Az élettan története* (*Új forrás*, 1985. 2 sz.), *A klasszikus fizika* (*Fizikai Szemle*, 1985. 5 sz.), *Technológia* (*Valóság*, 1987. 2 sz.).