# A FIZIKAI MEGISMERÉS ALAPJAI

ÍRTA

MIKOLA SÁNDOR

BUDAPEST, 1941.
KIADJA A KIR. MAGY. TERMÉSZETTUDOMÁNYI TÁRSULAT

Sylvester Rt., Budapest. — F. v.: Schlitt Henrik.

# ELŐSZÓ.

A könyvben a fizika alapfogalmaival foglalkozom, de bővebb kifejtésüket és megmagyarázásukat mégsem tartom igazi feladatomnak. Mai értelmezésüket ugyan kissé bővebben részletezem, de ezt sem tekintem célomnak. A tudomány úgynevezett népszerűsítése kedvéért sem írtam e könyvet, noha mondanivalóimat a tanult emberek számára érthető nyelven igyekszem előadni. A tudományt ugyan közelebb akarom hozni az emberhez, de nem a népszerűsítés lazább szövésű metaforikus kifejezéseivel.

A fizikát tanító és előhaladását figyelemmel kísérő munkámban kezdettől fogva sokat foglalkoztattak a fizikai megismerés keletkezésére, fejlődésére, szerveződésére, érvényességére, bizonyosságára és igazságértékére vonatkozó kérdések. Folyton kerestem olyan fogalmakat, amelyek alkalmasak arra, hogy a fizikai megismerés külvilági és belvilági elemeit magukba foglalhassák és fizikai tudásunkat az ember közismert tevékenységébe, gondolkodási módjába, civilizációjába és kultúrájába belekapcsolhassák. Az ilyen fogalomvilágban problémává és kutatási feladattá válhatik az, ami a fizika tudományos rendszerében bonthatatlan és másra vissza nem vezethető alap, tehát támpontokat adhat az említett fontos kérdések megoldására. E fogalomvilágnak rendszerét és a kérdésekre adott feleleteket találja meg az olvasó e könyvben.

Ha a fizikus mögött egy, minden kétséget kizáró bizonyosság állana és volna olyan módszer, amellyel az elérhető volna, vagy ha a fizika tanai egy magasabb értelmiségben vetett hitnek volnának a következményei és volna olyan fórum, amely hivatva volna megállapításukra: akkor az ilyen kérdések fejtegetésére nem volna szükség, akkor meg lehetne és meg kellene elégednünk a fizikai tanok lehetőleg egyszerű és teljes kifejtésével és akkor az író fizikus kisebb-nagyobb ügyességétől függne csak, hogyan tudja a tanokat a megismerésre vágyók számára a legjobban előadni.

Ilyen bizonyosság azonban nem áll mögöttünk és nincs csalhatatlan módszer, amellyel azt el lehetne érni, egy magasabb értelmiségben vetett hitből sem származtatható és nincs olyan fórum, amely megállapítására hivatva volna. Így tehát

érthető, hogy még az általánosan ismert, elismert és magas értékelésű fogalmakhoz is, — pl. a tér állandó szerkezetének, az idő egyenletes folyásának, az anyag és az energia megmaradásának a fogalmaihoz is — kérdések fűződnek, amelyek rajtuk túl fekvő dolgokra vonatkoznak, messzebbre és mélyebbre való látást követelnek, amelyet a fizika fogalmaival kifejezni nem lehet. A kutató fizikusok maguk is gyakran kerülnek velük szembe, a tanítás munkájában is folyton felmerülnek és minden tudnivágyóban maguktól alakulnak ki. Nem utasíthatjuk el folyton azzal, hogy feleslegesek, mert a feleletet a fizika rendszerén belül úgy sem tudjuk megadni és más tudományos területekre sem utalhatjuk át folyton.

A megismerésre törekvő — tekintet nélkül arra, hogy összes tudásunk hogyan osztódott szét a speciális tudományok között — mindig az elért végső határig igyekszik eljutni. Szeretné tudni: hogyan keletkezett és hogyan keletkezik a tudomány, mely indítékok hajtották az embert az őskortól kezdve a fizikai találmányok és a természettörvények alkotása felé, mi vezeti a mai tudósokat és mely cél lebeg előttük, amikor előretörő kutatásaikat végzik? Ismerni óhajtaná a tényezőket, amelyek a tapasztalatszerzést meghatározzák és a lelki folyamatokat is, amelyek a tapasztalatot gondolati alakzatokká alakítják át. Felvilágosítást szeretne kapni a fizikai tárgyú gondolkodás lefolyásáról és formájáról, a tételek megszerkesztésének módjáról és a mögöttük megbujó lelki tartalmakról. Bele akarna látni a folyamatokba, amelyek a különféle korszakoknak és a különféle egyéneknek megismeréseit az emberi kollektívum megismerésébe beleszövik. Ismerni akarná a kritériumokat, amelyek alapján a megismerés érvényességét, bizonyosságát és igazságértékét meg lehet ítélni. Ezek a főbb kérdések, amelyekkel foglalkozom.

Az I.—IV. fejezetben a megismerés forrásait, a tapasztalatot, a gondolkodás folyamatait és formáit, a gondolatközlés eszközeit, a szavak mögötti tudattartalmakat, az embertől függő választhatónak és a természettől kényszerítettnek ismertető jegyeit, azután ezen az alapon a könyv legnagyobb részét kitevő V—XIV. fejezetben a fizika alapfogalmait és alapelveit, tapasztalati és gondolati elemeiket, történeti kialakulásukat, jelentésüket, érvényességük és bizonyosságuk kritériumait és határait, végül a XV. fejezetben a fizikai megismerés és az értelem viszonyát, a fizika és a matematika kapcsolatait és jellegzetességeit teszem a vizsgálat tárgyává.

A tárgyalt problémák abba a tudományba tartoznak, amelyet ismeretelméletnek szokás nevezni. Könyvem tartalma azonban mégis más jellegű. Az ismeretelméletek (a többes számot kell használni, mert sok rétegben és arculatban jelentkez-

nek) az egész emberi megismerést egyetemleges vizsgálat alá veszik és többnyire a valóra vonatkozó magas rendű, megvizsgálhatatlan metafizikai alapelvekből vonják le a fizikára is a következtetéseiket. Engem ilyen elvek nem vezettek, hanem a fizikai megismerés eredményeiből és az ismeretszerzés munkájából indultam ki.

Ez az eljárásom azonban nem jelenti azt, mintha azon modern fizikusok álláspontjára állanék, akik elméleteik metafizikamentes voltát fennen hirdetik. Ellenkezőleg az a meggyőződésem, hogy a metafizika a fizikából ki nem küszöbölhető, az elméletek is és az empírikus fogalmak és tételek is, még a legelemibb fizikai tankönyvek is sok metafizikus elemet tartalmaznak. Azok, akik metafizikamentes fizikájukkal büszkélkednek, nem veszik észre, hogy csak bizonyos metafizikát küszöbölnek ki, helyébe azonban mást állítanak be, a legtöbbször bonyolódottabbat, mint amilyen az volt, amelyet kiűztek. A fizikában a metafizikai elemek folyton oszlásban és eltűnésben vannak, de folyton megint keletkeznek és beléje szövődnek. Nem tagadni, ócsárolni, kárhoztatni kell a metafizikát, hanem fel kell ismerni, őszintén be kell vallani és elemeit el kell különíteni.

Könyvem tartalma és irányzata szerint közelebb áll a 20. században keletkezett azon művekhez, amelyek kizárólag a fizika ismeretelméleti vizsgálatával foglalkoznak. Közülük különösen Poincaré, Planck, Eddington és Bridgman könyvei tettek reám hatást. E kiváló fizikusok, valamint más tudósoknak hosszú sorai, akik a fizika ismeretelméletével foglalkoztak, nagyobbrészt logikai szempontokból indultak ki és a fizikai fogalmak, elvek, elméletek logikai elemzésével igyekeztek a mélyen fekvő feltételek megállapításához eljutni, amelyek a megismerést meghatározzák. Ez kétségen kívül a helyes út a megismerés érvényességének, igazságértékének és határainak a megállapításához. Kitűzött célom eléréséhez azonban nem elegendő. Még akkor sem volna elegendő, ha a fizika tudománya nem volna más, mint a „természet"-ről szóló tan. Túlnyomó nagy része azonban nem is a természetről, hanem az ember által alkotott eszközökről, gépekről, folyamatokról, jelenségekről beszél, tehát nem is annyira a „természet"-nek, mint inkább az ember „természeti alkotásai"-nak a tana s így olyan vizsgálati módszereket kíván, aminőket pl. az esztétikusok alkalmaznak a „művészi alkotások" vizsgálatában. Ezek pedig első sorban pszichológiaiak és történetiek. Mach is ezeket használta sok sikerrel járó vizsgálataiban.

Noha korszakunk ismeretelméletei a pszichologizmus és a logizmus régi idők óta folyó harcában az utóbbit előnyben részesítik, az előbbit pedig az ellenvetések hosszú sorával ter-

helik meg: én az említett művekkel ellentétben, a logikai elemzés mellett mégis a pszichologiai elemzésre is nagy súlyt helyeztem és az elemi pszichologiai tényeknek reduktív úton való megállapításával, a szavak mögötti lelki tartalmak kihüvelyezésével és a fogalmak genetikus kialakulási menetének megrajzolásával is igyekeztem a megismerés alapjaihoz eljutni.

Ha a kérdések iránt érdeklődést tudtam kelteni, gondolatokat tudtam ébreszteni, nyugtalanító zavarokat tudtam eloszlatni és felvilágosításokat tudtam adni: akkor el is értem kitűzött célomat.

Budapest, 1941. febr. 3.

*Mikola Sándor.*

# TARTALOMJEGYZÉK.

oldal

Előszó — — — — — — — — — — — — — — III—VI.

Tartalomjegyzék — — — — — — — — — VII—VIII.

Bevezetés — — — — — — — — — — — — — 1—3

I. A FIZIKA TÁRGYA.

1. A természet. 2. Az ember hatóképessége — — 5—10

II. A TAPASZTALAT.

1. Az érzékszervi érzetek. 2. A testi műveletek. 3. A beidegződés. 4. A képzetalkotó lelki folyamatok. 5. A szavak és jelentéseik — — — — — — — — — — 11—30

III. A GONDOLKODÁS FOLYAMATAI ÉS FORMÁI.

1. A fogalompárok és a szétválasztó gondolati folyamat. 2. A határfogalmak. 3. Az elkülönítő gondolati folyamat. 4. A kiválasztó gondolati folyamatok. 5. Az összehasonlító gondolati folyamat. 6. Az ős metaforák. 7. Az általánosító gondolati folyamatok. 8. Az okfogalmak. 9. A hipotézisek. 10. A szimbólumok. 11. Az alapelvek. 12. A fizikai tények. 13. Az elmélet — — — — — — — — — — 31—84

IV. A KONVENCIÓ.

1. A kényszerített és a választott. 2. A névadás és a definíció. 3. A mérés. 4. Az alapelvek és a konvenció. 5. A ránevelődés — — — — — — — — — — 84—93

V. A MOZGÁS.

1. A mozgás tapasztalati fogalma. 2. A mozgás kinematikus fogalma. 3. Az egyenletes mozgás. 4. A mozgás a dinamikus felfogásban. 5. Az abszolút mozgás. 6. A mozgás a relativitási elmélet felfogásában. 7. A Föld mozgásai — — — — — — — — — — — 94—117

VI. A TÉR ÉS AZ IDŐ.

1. A tér fogalmának lelki alapjai. 2. A geometria tapasztalati alapjai. 3. Euklidesz geometriája. 4. Az idő fogalmának lelki alapjai. 5. A tér és az idő a newtoni fizikában. 6. A tér mérése. 7. Az idő mérése. 8. Az entrópiaidő. 9. A tér és az idő a részleges relativitási elmélet szerint. 10. A tér és az idő az általános relativitási elmélet szerint — — — — — — — — — — — 118—151

VII. A MECHANIKAI ALAPFOGALMAK ÉS ALAPELVEK.

1. A mechanikai fogalmak lélektani és történeti alapjai. 2. A newtoni fizika jelentősége. 3. A tétlenségi mozgás

oldal

elve. 4. Az erőhatás elve. 5. A tömegek kölcsönhatásának elve. 6. A newtoni dinamikával kapcsolatos megismerési problémák. 7. A mechanika matematikai alakú elvei — — — — — — — — — — — 152—177

VIII. A RELATIVISZTIKUS MECHANIKA. — — — — 178—184

IX. A TÖMEG PROBLÉMÁJA — — — — — — — — 185—191

X. A FOLYTONOSSÁG ÉS A SZAKADÁSOSSÁG — — — 192—198

XI. AZ ATOMMECHANIKA.

1. A kémia atomja és molekulája. 2. A kinetikus anyagelmélet. 3. Az iónok. 4. Az elemi alkatrészek. 5. Az atomminta — — — — — — — — — — — 199—215

XII. A KVANTUMMECHANIKA.

1. A fény. 2. A fény kvantumszerű kibocsátása és elnyelése. 3. A kvantumszerű atomszerkezet. 4. A fénykvantum, az anyagkvantum, az anyaghullám és a fényhullám. 5. A kvantummechanika feladatai és módszerei. 6. A hullámmechanika és a hullámstatisztika — — 216—235

XIII. AZ OKSZERŰSÉG ÉS A TÖRVÉNYSZERŰSÉG.

1. A kozmikus folyamatok szabályszerűsége. 2. Az ember műveleteinek okszerűsége. 3. A nyelv és az értelem szerkezetének okszerűsége. 4. A dinamikus fizika okszerűsége. 5. A gyakorlati és a kísérleti fizika okszerűsége. 6. Az ok és a hatás kapcsolatának üressége és határozatlansága. 7. Az okság a funkcionális felfogásban. 8. A statisztikai szabályszerűségek. 9. A determinizmus és az indeterminizmus. 10. Az okszerűség, a törvényszerűség és a tapasztalat — — — — — — — — — 236—269

XIV. AZ ENERGIA ÉS AZ ENTRÓPIA.

1. Az energia fogalmának kialakulása. 2. Az energiafogalom jelentése. 3. Az energia megmaradásának törvénye. 4. Az energiatörvénnyel kapcsolatos tapasztalati és gondolati nehézségek. 5. Az entrópiatörvény. 6. A világ végállapota — — — — — — — — — 270—293

XV. A FIZIKAI MEGISMERÉS ÉS AZ ÉRTELEM.

1. Az értelem. 2. Az egységesség és az egyszerűség elvei. 3. A matematika és a fizika. 4. A fizikai megismerés jellegzetességei — — — — — — — — 294—346

IRODALOM — — — — — — — — — — — — — 347—349

ÉRTELMEZŐ SZÓTÁR — — — — — — — — — — 350—356

NÉV- ÉS TÁRGYMUTATÓ — — — — — — — — — 357—360

# BEVEZETÉS.

A fizikai ismeretek az élet feltételeiből fakadtak és az őskortól kezdve folytonosan gyarapodva kísérik az emberiség fejlődését. Eleinte a hétköznapi élet legfontosabb ismereteiből állottak, később általános fogalmakkal fokozatosan bővülve önálló tudományba tömörültek, de ennek tanai is átszivárognak a gyakorlati életbe. Az, ami mint tisztán tudományos érdekű megismerés keletkezik, később az élet, a kultúra és a civilizáció fínomodásának lesz a segédeszközévé. A fizika tudománya a tapasztalat adottságaiból indul ugyan ki, de nem tapad hozzájuk, hanem gondolati folyamatok segítségével általános fogalmakban, elvekben, törvényekben fejeződik ki, a többi reális tudománynak, valamint egész természetfölfogásunknak ezek válnak az alapjaivá. Merész elméleteivel az emberi megismerés legszélsőbb határáig is előre hatol, ahová a tapasztalat már nem követheti. Gondolatai a filozófia határmesgyéi körül járnak és jelentős haladásaival újabb és újabb problemákat vet fel e tudomány számára. Az ember megeszesedésének fokozatai a fizikában fejeződnek ki a legélesebben és a legjellegzetesebben.

Noha tehát a fizika tömérdek sok szállal szövődik össze az ember életével és értelmével, a filozófiával pedig folytonos érintkezésben van, mégis eredetéről, ős elemeiről, lelki alapjairól és folyamatairól, fogalmainak jelentéséről szóló ismereteink kezdetlegesek, hiányosak és egymásnak sokszor ellenmondók. Az általános érdeklődők, sőt sokszor maguk a fizikusok is kénytelenek megelégedni a felfogással, amely a fizika fogalmait a természetben elkülönülten létező ős valóságoknak, magát a természetet ezekből felépített színpadnak nézi, amelyen a fizikai fogalmak játsszák a maguk játékait. Az oktatás is ezzel az „így van"-nal kénytelen dolgozni, mert nincs kellő készültsége ahhoz, hogy a belső mélyebb átértés síkjára helyezkedjék.

A kezdetleges ismeretelméleti helyzetet a tudomány fejlődésének a menete hozta magával. A nagy megalapítók, Descartes, Galilei, Kepler, Huygens, Newton még filozófusok, csillagászok, kemikusok, matematikusok, kísérleti és elméleti fizikusok voltak egy személyben. Abban, amit alkottak, geniuszuknak minden ága megnyilatkozott. A tudományosság előrehaladásával azonban az eredetileg tömör egészet alkotó

tudomány kezdett ágakra szétosztódni. Descartes híres „cogito ergo sum"-ja óta a filozófia külön útakon kezdett járni és maga is sok ágazatra oszlott szét. Miután Newton törvényeivel megkapta fejlődésének alapjait, a csillagászat is elvált a fizikától és szintén specializálódott. A 18. század közepétől kezdve a kémia is levált a fizika ős törzséről és a fizika kísérleti eszközeivel nyert alapvető tényeinek megismerése után maga is több ágra osztódott szét, amelyeknek teljes birtokolása egy-egy emberi munkaerőt teljesen igénybe vesz. A fizikával szoros kapcsolatban a matematika maradt meg legtovább, azonban a 19. században, amikor alapfogalmainak legnagyobb részét a fizikai megismerés segítségével már megszilárdította, szintén önállósította magát és fogalmainak újból való felépítését tűzte ki maga elé célul. E munkája közben új tudományágakat teremtett, amelyek mindegyike saját külön alapfogalmakkal, alapelvekkel és módszerekkel dolgozik, tehát szintén egy-egy teljes emberi munkaerőt követel.

A fizika azonban a belőle kisarjadt és önállóvá vált részeket továbbra is a maga birodalmához tartozóknak tekintette. Megismerési elemeket adott mindegyiknek és kapott mindegyiktől. A köztük lévő kötelékeket majd szorosabbra fűzte, majd lazábbra engedte.

Miként azelőtt, a szétválás után is a matematika beszédmódját használta. Noha igazi privilégiumának, az új tények teremtésének területén gyakran tett hatalmas lépéseket előre, ezeket mindig a matematika szigorú rendszerébe helyezte el. És amikor a matematika tőle függetlenül új fogalmakat, új kifejezési módokat alkotott, azokhoz is fizikai jelenségeket igyekezett hozzárendelni. Eleinte két külön ágazatra, kísérleti és elméleti, azaz matematikai fizikára vált szét. A szétválás azonban nem volt tartós, sem lényeges. A matematikai és a kísérleti részek mindig újból — most már a speciális tárgyak szerint — csoportosulva a különálló fizikai tudományágaknak sokaságát hozták létre.

Teljesen hasonló kapcsolatokban maradt a filozófiával, a csillagászattal és a kémiával is, sőt a 19. században ezekhez a műszaki tudományok is hozzájárultak. Nem történt egyik területen sem újabb megismerés a nélkül, hogy azt a fizika a maga rendszerébe beolvasztani és továbbfejleszteni ne igyekezett volna. És a fizika újabb megismerései is mindig szétáradtak ezekre a külön területekre.

Mindezek a fejlődéstörténeti tények újból és újból megerősítették a régi „így van" felfogás helyességét. A kiváló kutatók ugyan látták e felfogás kezdetleges voltát és a fizikai megismerés mibenlétének kérdésére koronként kitértek, de inkább csak mellékesen, rövid megjegyzések alakjában. Fontosabb fel-

adatnak tekintették az új megismerések létrehozását, mint a meglevőnek a vizsgálatát és egységbe szövésének feladatát.

Tudományos problémává a kérdés csak a 19. század második felében vált, amikor a fizikai fogalmak száma nagyra növekedett fel, a kiterjesztés, az extrapoláció, az általánosítás, az új hipotézisek alkotása szokássá vált és nagyon is látható volt, hogy vannak köztük olyanok, amelyek lényegileg nem különbözhetnek és olyanok is, amelyek egymással ellentmondásban vannak.

Amikor azután, főleg Mach kezdeményezésére az ismeretelméleti vizsgálódás a fizika terén is megindult, amikor az ismeretek genetikus, történeti, lélektani, logikai és konvencionális elemei fölfedeződtek és nyilvánvalóvá vált, hogy a fizikus a legtöbbször nem a természetben már készen lévő dolgokat fedez fel, hanem azokat maga szerkeszti meg és belenézi a jelenségekbe: akkor ez a szerkesztő irányzat magába a tudományba is belehatolt és az új ismeretelméleti alapon hatalmas új tudományágak, a relativitási elmélet és a kvantumelmélet új fogalmai és elvei is megszerkesztődtek.

A fizikai megismerés alapjaira vonatkozó felfogás az egyik szélső helyzetből átlendült a másik szélső helyzetbe: ami eddig a természet valósága volt, az értelem alkotásává lett. Sőt az átlengés még tovább is ment, kialakult a felfogás, hogy a természet törvényei minden tapasztalás nélkül tisztán az értelem szuverén ítélete alapján előre — apriori — meghatározhatók, sőt a természet állandói is kiszámíthatók.

Az új megismerések, az új ismeretelméleti álláspont alapján megszerkesztett új elméletek és az ellentmondások, amelyek előállottak, hatalmas mértékben kifejlesztették az ismeretelméleti vizsgálódásokat. Német, angol és francia nyelven gazdag és nagy terjedelmű ismeretelméleti irodalom keletkezett, amely kizárólag csak a fizikai megismeréssel foglalkozik.

Ez az a fejlődéstörténeti háttér, amely előtt könyvünk tartalma lejátszódik. Benne és vele a fizikai megismerés forrásait, őseredeti elemeit, lélektani alapjait, lelki indítékait, külső és belső folyamatait, logikai formáit és kapcsolatait, fogalmainak jelentését, tételeinek érvényességi és biztonsági határait tesszük a vizsgálat tárgyává.

# I. A FIZIKA TARGYA.

## 1. *A természet.*

Magyar nyelven a fizika neve természettan. De más nyelveken is a fizika meghatározása a természet szó segítségével történik. „A fizika a természetre vonatkozó tudásunknak a tana", „a fizikai kutatások célja a természet megismerése", „a fizika a természet törvényeit kutatja", az ezekhez hasonló kijelentésekkel szokás a fizika tárgyát kifejezni.

Azt kellene hinnünk, hogy a természet szónak eléggé ismert és határozott jelentése van. Ha azonban kikeressük, hogy mi mindent gondolnak az emberek a természetről, csodálatosan változatos világ tárul elénk.

A pantheizmus híveinél a természet fogalma azonos az istenség fogalmával. A természet az időben és a térben végtelen lényeg, mindennek az alapja és áthatolója. De még a keresztyén vallás tanaitól annyira áthatott tudós is, aminő Kepler volt, a tudomány legfőbb feladatát az Isten gondolatainak kitalálásában látta, amelyeket a világ teremtésénél alkalmazott és fenntartásánál alkalmaz.

Vannak, akik a természet fogalmát az eredetileg adott, az át nem dolgozott, a meg nem hamisított objektív lét fogalmával tartják azonosnak. A fizika ezt meg nem ismerheti, mert, amint hozzányúl, máris átdolgozza és meghamisítja. Velük szemben állanak azok, akik a természet fogalmában a közös tapasztalatok összeségét sűrítik össze. Számukra tehát a természet a lehetséges tapasztalatok tárgya és minden gondolkodás kiindulópontja.

A természet legszebb meghatározását Goethénél találjuk. A természet környez és átkarol és mi nem léphetünk ki belőle, de mélyébe sem hatolhatunk. Ő visz minket táncra körforgásaiban s magával sodor, amíg ki nem merülünk és ki nem hullunk karjaiból. Örökké új alakzatokat teremt, ami van, sohasem volt s ami volt, sohasem tér vissza. Minden új és mégis mindig a régi. Benne élünk és mégis idegenek vagyunk neki. Beszél velünk szüntelenül s titkait mégsem árulja el. Mi állandóan igyekszünk reá hatni és még sincs hatalmunk felette.

A mai fizikusok is metaforikus költői kitételekkel írják

le azt, amit tudnak, vagy nem tudnak a természetről. A természetnek belső szerkezete van, elvek ülnek benne, velük dolgozik, végzi kötelességeit, eseteket mutat, mindent elrendez, bizonyít és cáfol, törvények szerint dolgozik, matematikai egyenleteket old meg, matematikai nehézségekkel nem törődik, fogalmak alkotására, okok nyomozására, törvények keresésére kényszerít, vezet, néha engedi magát vezettetni, máskor meg nem. Nekünk szolgál, de mi is szolgái vagyunk. Néha mi uralkodunk rajta, máskor meg ő mi rajtunk. Saját törvényeit néha megsérti és kivételeket teremt. Szereti az egységességet és az egyszerűséget, mindenek felett pedig a pontot és az egyenes vonalat. A legkevesebb eszközzel beéri, mindent a legrövidebb úton, a legrövidebb idő alatt és a legkisebb hatással végez el. Hiába nem tesz semmit, a dolgokat szükség nélkül nem szaporítja. Fél az üresség tól, irtózik a pontosságtól, szereti a bizonytalanságot és a határozatlanságot. Titkait néha elárulja, máskor nem. Nem törődik azzal, hogy útjait mi megértjük-e vagy sem. Nem választ abszolut nyúgvó koordináta rendszert, nem határozza meg Maxwell elektromos erőit és Schrödinger egyenletének $\psi$-jét. Bizonyos folyamatok iránt különös szeretettel viseltetik. Megfordítható és neg nem fordítható folyamatokat teremt. Ügyel arra, hogy bizonyos matematikai kifejezések minden átalakításnál változatlanok maradjanak. Mégis mindig homályos, hangtalan, szagtalan, színtelen, se hideg, se meleg, se édes, se keserű, se síma, se érdes. Nem más, mint végtelenül és jelentéstelenül, néha folytonosan, néha ugrásszerűleg lepergő örökös mozgás, vagy kártyakeverés, kockajáték és sorsjegyhúzás, amelyet a teremtő játszik önmagával az $n$ dimenziós térben egy roppant nagy matematikai világformula szerint.

A természet szóhoz fűződő különféle ismertető jegyek annyira különneműek, egymásnak oly sokszor ellentmondók, hogy belőlük a természet fogalmának egységes és harmónikus jelentését megállapítani nem lehet. Azért a következőkben a fogalom csak, mint összefoglaló keretfogalom fog szerepelni oly tapasztalati jelenségek jelölésére, amelyek az embertől függetlenek. Ebben a felfogásban sokszor az embernélküli természet kifejezés is fog szerepelni. A természettörvény fogalma annyira beleevődött a közhasználatba, hogy azt nem nélkülözhetjük, azonban használata nem fogja azt jelenteni, mintha feltennők, hogy az embernélküli természetnek törvényei volnának. Mert a természettörvények nem a természetnek, hanem az embernek a törvényei, melyeket tapasztalatainak értelmezésére alkalmaz. Nietzsche szavait használva, nyilvánvaló, hogy nincs ott senki, aki parancsolna, senki, aki engedelmeskednék és senki, aki nem engedelmeskednék.

Szellemünknek a természet szóhoz fűződő ismertetőjelei-

ből a fizika tárgyát, feladatát, célját fogalmi úton megállapítani nem lehet. De nincs is erre semmi szükség, mert meglevő fizikai ismereteink osztályozásából magától adódik a meghatározás.

### 2. *Az ember hatóképessége.*

Hogy mi emberek hogyan kerültünk bele a természet forgatagába, azt nem igen tudjuk, de azt tudjuk, hogy a Földön folyó fizikai folyamatoknak jelentékeny részét mi teremtettük meg. Lehetséges, hogy önmagunk kormányzása nem függ csak tőlünk, hogy valamennyi útunkat nem mi magunk tűzzük ki, hanem hogy azok valamely magasabb értelmiség határozatai alapján, vagy a kozmikus fejlődés előttünk nem teljesen ismeretes meghatározásai szerint folynak le. De az nem kétséges, hogy a Földön meglevő dolgoknak egy részét mi teremtettük meg és helyeztük bele a tőlünk független természetbe. És ezek olyanok, hogy a természet önmagától, a mi közreműködésünk nélkül azokat soha létre nem hozta volna.

A természet nem épít házakat, városokat, utakat, távíró és távbeszélő hálózatot. Az embernélküli természetben nincsenek tűzhelyek, kalapácsok, éles eszközök, emelők, kerekek, turbinák, gőzgépek, motorok, dinamók, elektrolitikus cellák. Ezeket mi teremtettük bele a természetbe. De mi alkottuk meg az órákat, a hőmérőket, az elektrométereket, az optikai eszközöket és más mérőeszközök sokaságát is. Az acélt, a lágyvasat, a benzint, a lőport, a savat, a lúgokat és a kémia sok tízezer hatékony szerét is mi alkottuk meg. És hatalmas fizikai folyamatokat, fényforrásokat, röntgensugarakat, rádióhullámokat is mi helyeztünk bele a természetbe.

Fizikai tudásunk két részre, az alkotó és a kozmikus fizikára osztható fel. Az utóbbiba az embernélküli természet dolgait és folyamatait, az elsőbe az emberi alkotások dolgait és folyamatait sorolhatjuk. Meglepő, hogy a második csoportba milyen kevés jelenség tartozik. A testek esése, a folyók áramlása, a tenger apály-dagálya, a vulkánok kitörése, néhány hangjelenség, a szél, az eső, a hó, a harmat, a dér, a villámlás, a szivárvány, a tükrözés, a testek színe és a csillagászati jelenségek tartoznak csak ide. És pontosabb megismerésük is csak az ember által alkotott eszközök segítségével lehetséges. Annál gazdagabb az alkotó fizika, mert magába foglalja a mechanika, a hőtan, az optika túlnyomó nagy részét, az elektromosságtant, a hangtant, a kémiát pedig úgyszólván teljesen.

A fizikának tehát csak kis része természettan, a túlnyomó nagy része az ember alkotásairól szóló tan. A fizika tudománya a fejlődés folyamán úgy alakult ki, hogy az ember először bizonyos dolgokat, tárgyakat, anyagokat, folyamatokat meg-

alkotott, azután megismerte működési módjukat, a hozzájuk hasonló alkotások elveit és lehetőségeit. Így kezdtek kialakulni a fizika törvényei és fogalmai.

Amikor a fizikai megismerés alapjait keressük, nem hagyhatjuk tekinteten kívül a közönséges emberi műveleteket, eszközöket, ismereteket. Nem mondhatjuk azt, hogy a kalapács, a kés, a tűz, a forgás, az emelés, a keverés, stb. nem tartozik a fizikai tudomány körébe, mert ez elektrométerekkel, Wilson-kamarákkal, magas elektromos feszültségekkel, rádióaktivitással, atombombázással foglalkozik és a világegyetem meg az anyag szerkezetét akarja megismerni. Sőt amazokat a második helyre sem állíthatjuk, mert azokból alakultak ki ezek és nélkülük soha ki sem alakulhattak volna.

A fizikai megismerés fejlődése folytonos folyamat, legelején a közönséges emberi megismerés eszközei, műveletei, a végén az emberi kutatás legmagasabb fogalmai és céljai állanak. Közöttük határvonalat húzni nem lehet. A legegyszerűbb szerszámok a fizikai megismerésnek épp olyan szerves, lényeges és mellőzhetetlen alkatrészei, mint a mai fizikának legfínomabb műszerei; a közönséges ember műveletei épp úgy beletartoznak, mint a mai fizika legabsztraktabb fogalmai [*106*, 5].* Sőt a megismerés alapjainak szempontjából jelentőségük még nagyobb, mert ezek alakultak ki azokból és nem fordítva.

Minden arra mutat, hogy a fogalmak az ember műveleteivel és találmányaival kapcsolatban kezdtek kialakulni és hogy az ember az emberré válás útjára akkor tért reá, amikor magának szerszámokat tudott alkotni és a tüzet megismerte.

A további fejlődés folyamán is az új tudományos megismerések és találmányok egymásba szövődtek. A hengeres gőzgép feltalálása, működésének megismerése és a gyakorlatba való átvitele maga után vonta az energia megmaradásának elvét és a termodinamikát. Viszont e tisztán tudományos megismerések előfeltételei voltak a robbanásos motor feltalálásának és a gyakorlatba való átvitelének. Az új motor számos új műszaki alkotást tett lehetővé, közöttük a repülőgép megalkotását. A gyakorlatba való átvitele maga után vonta a légmozgás pontosabb ismeretét és kifejlesztette az aerodinamikát. Ugyanez történt az elektromosság tanával. Az indukált áramok feltalálása eleinte csak tudományos megismerés volt, de évtizedek mulva a dinamógépek feltalálásához vezetett. A gyakorlatban való elterjedésük a kutató fizikusok számára hatalmas új energiaforrást nyujtott, amiből számos új, tisztán tudományos megismerés fakadt.

* A zárójelben lévő dűlt betűs szám az Irodalomban közölt munka sorszámát, a második pedig annak megfelelő oldalszámát mutatja.

Hogy a fizikát, mint az ember alkotásainak tanát, még élesebb megvilágításban láthassuk, kövessük a következő gondolatmenetet. Tegyük fel, hogy a Földön először nem a mai embernek az őse, hanem olyan embertípus jelent meg, amely életének valamennyi feltételét megtalálta a levegőben úgy, ahogyan a halak azokat megtalálják a vízben. Ezek a lények — nevezzük őket halembereknek, — úgy élhettek a Föld felületén, ahogyan a halak élnek a vízben, ide-oda járhattak, játszadozhattak, az élet gondjaival nem kellett törődniök, mert csak a szájukat kellett kinyitni és az oxigénnel együtt a táplálékot is magukba szívhatták. Tegyük fel továbbá, hogy kimagyarázhatatlan módon agyuk és szellemük mégis olyan fejlett volt, mint a mai emberé. Érzékszerveikkel tehát a körülöttük lefolyó jelenségekről ismereteket szerezhettek. Szellemükben fogalmak és törvények alakultak ki, amelyekkel a jelenségeket leírták és magyarázták. Fizikájuk igazi természettan lehetett csak, mert ők a feltevés szerint a természetbe bele nem nyúltak, alkotásokat létre nem hoztak, tehát mást nem is tehettek, mint azt, hogy a tőlük függetlenül végbemenő folyamatokat észlelték.

Tegyük fel továbbá, hogy később, amikor a halemberek már hosszú időkön át éldegéltek itt a Földön, megjelent az igazi ember, a *Homo sapiens*, a mainak az őse. Kölcsön véve Wells gondolatát, tegyük fel, hogy ez az új embertípus a halemberek számára láthatatlan volt. Mit észlelhettek tehát a halemberek az új embertípus megjelenése után? Megmagyarázhatatlan új tüneményeket. Azt látták például, hogy kődarabok emelkednek a levegőbe, utána görbe vonalban repülnek a talaj felé. Majd rudak végére kötöződnek, vagyis kalapácsok keletkeznek, ezek is a levegőbe emelkednek, más kődarabokra rácsapódnak. Később élesre csiszolódnak, megint rudak végére kötöződnek, vagyis kőfejszék keletkeznek, levegőbe emelkednek, fatörzsekre reácsapódnak, a fák kidőlnek, ágaiktól megtisztulnak, azután a levegőbe emelkednek, bizonyos helyre mozognak, ott összerovódnak és ház alakul ki belőlük. Később azt látták, hogy kemence épül, fenekére száraz fadarabok gyűlnek, rájuk barna szikladarabok rakódnak, tűz keletkezik, a tüzet fujtató élezti, majd a kemence alsó nyílásán izzó tömeg — a vas, — folyik ki és kemény tömeggé merevül. Majd fogók kapaszkodnak beléje, egy másik vastömegre helyeződik, kalapácsok emelkednek a levegőbe, reácsapódnak és különféle tárgyak, ásók, kapák, fejszék, kardok alakulnak ki.

A halemberek mindezeken végtelenül csodálkozhattak, mert amit láttak, merőben ellenkezett mindazzal, amit eddig tapasztaltak. A sok új ismeretlen jelenség látása valószínűleg annyira aláásta volna biztonságuk érzetét és annyira megsem-

misítette volna életösztönüket, hogy kipusztultak volna, ha valóban éltek volna.

Amit a halemberek csodálatos természeti jelenségeknek néztek, a valójában a nékik láthatatlan *Homo sapiens* természetátalakító és új dolgokat létrehozó munkája volt.

E gondolati képpel azt a megállapítást akartuk érthetővé tenni, hogy a fizikai megismerés igazi indító rugója nem a megismerési vágy önmagában, hanem egész szervezetünknek az alkotásra való berendezettsége. Ez indít folyton arra, hogy a tőlünk független természetbe belenyúljunk, a meglevőn változtassunk. A gyermek játszó kedve élénken elibénk állítja szervezetünknek és természetünknek a mindenbe való belenyúlásra irányuló beállítottságát. A felnőtt korban ugyanez célokkal párosul és alkotásokra kényszerít. „Az ember nem él okosan, azaz egyszerűen hozzásimulva, alkalmazkodva a környezetéhez, hanem azzal tudatosan szembe is képes helyezkedni s éppen a kultúrával egy új környezetet hoz létre a maga számára" [*54*, 89]. „Az élet mindenek előtt hatás a nyers anyagra és tulajdonképpen alkotási vágyból áll, aminek következtében az ember hatóképességek gócpontjává válik" [*5*, 105, 273]. A nagy tudományos előretörések, a találmányok, a gyakorlati megvalósítások, a nagy műszaki alkotások az ember hatóképességének a megnyilvánulásai. A Föld felületét az alakította át hatalmas mértékben, új erőket és jelenségeket az teremtett beléje. Épp úgy működik, mint a nehézségi erő, a vulkánosság, vagy az időjárás.

Bergson felveti a kérdést: mi a tudomány lényeges feladata? Meg is felel reá: megnövelni befolyásunkat a dolgokra. Mennyire érvényes e megállapítás más tudományokra, annak eldöntése nem tartozik a mi feladataink közé, de azt látjuk, hogy igaz a fizikára. Rövidebben és élesebben nem is lehet megfogalmazni: a fizika tárgya és feladata a külvilágra való befolyásunknak és hatóképességünknek a megnövelése. Még azok is, akik matrixokat és hullámfüggvényeket eszelnek ki, erre törekszenek.

A természetes fejlődési folyamat hozta azt magával, hogy az alkotó fizika fejlődött ki először, mert legelőször a hatóképesség legegyszerűbb segédeszközeit kellett megteremteni. Az is egészen természetes volt, hogy az első eszközök, műveletek és fogalmak elterjedtek az emberek között. Az is természetes, hogy a mai fizika legnagyobb részét az alkotó fizika tárgyalása foglalja el. És természetes folyamat volt az is, hogy a tudomány az alkotó fizikának lelkileg jól megalapozott és megszokott fogalmait, a mozgás fogalmától kezdődően egészen a statisztikaszerű természettörvények fogalmáig, sorban egymásután belenézte a tőle független természetbe és a kozmikus jelenségeket is velük magyarázta, tehát az egész fizika alapfogalmaivá tette.

## II. A TAPASZTALAT.

A hatóképességtől való eredet a fizika tudományát kapcsolatba hozta az ember egyéb szellemi értékeivel. Az alapok vizsgálatakor tehát nem maradhatunk a fizika területén belül. Láthatárunkat e szűkebb területről az emberi megismerés tágabb területére kell kiszélesítenünk.

A fizikai megismerés alapjainak kérdései szoros kapcsolatban vannak lélektani, logikai, fiziológiai, történeti és nyelvtani kérdésekkel. Viszont ezek a tudományok sem alapozhatók meg a fizika alapfogalmainak tekintetbevétele nélkül. Nincs is tudomány, amely a saját területén szerzett fogalmak alapján rendszerét felépíthetné és önmagában megálló, minden más ismerettől független, zárt egészet alkothatna. A különféle tudományok alapjai összefüggő bonyolódott rendszert alkotnak és valamennyien összefüggnek a rajtunk kívül fekvő, a tőlünk független világnak ránk tett és saját hatóképességünknek a külvilágra tett hatásaival, valamint szellemünknek e kettős hatás következtében kialakult formáival.

A fizikai megismerés alapjaira vonatkozó megfontolások lényegben véve két alapfogalom körül csoportosulnak. Az egyik a *tapasztalat*, a másik a *gondolat*. A megismerés lényege felé az első lépés akkor történik, amikor a megismerés tartalma a tapasztalat és a gondolat mezejére válik szét. A szétválás is olyan, mintha valamilyen ős eredeti nyomás hatása alatt jönne létre, vagy mintha azt valamilyen magasabbrendű szellemiség intézné, aki belénk plántálta a meggyőződést, hogy a megismerés felé ez a két út vezet. Maguk ezek a szavak és a mögöttük meghúzódó képzetsorok és fogalmi szövedékek azonban nem gyujtanak világosságot a maguk mivoltának megvilágítására, amelynél közvetlenül láthatnók, hogy az egyik és másik úton hogyan kell járni, hogy a megismerés alapjaihoz eljuthassunk.

Fizikusok és nemfizikusok, tudósok és nemtudósok sokszor hivatkoznak arra, hogy a tapasztalat azt, vagy ezt bizonyítja. Azonban, ha minden egyes esetben közelebbről megnézzük azt a dolgot, amelyet a tapasztalat állítólag bizonyít és azt is, amit tapasztalatnak neveznek, a legtöbb esetben kitűnik, hogy az a gondolat és a tapasztalat keveréke, sőt sok esetben tisztán gondolat.

A tapasztalat és a gondolat oly sok szállal van összeszövődve, hogy a kettőt egymástól elválasztani nem könnyű. Bizonyos konvencionális megállapodások nélkül el sem végezhető. Az idevágó irodalom tanúsága szerint az új fizikai megismerés értelmezésében mutatkozó nehézségek és zavarok első sorban éppen onnan származnak, mert a tapasztalat és a gondolat felcserélődött úgy, hogy tapasztalatként szerepel olyas valami, ami gondolati folyamatnak, vagy konvenciónak az eredménye.

### 1. *Az érzékszervi érzetek.*

Hosszú időkön át az volt az általános meggyőződés, hogy látó, halló, tapintó, ízlelő, szagló és hőbeli érzékszerveink adatai a tapasztalatot tökéletesen meghatározzák. Az érzékszervi érzeteket a külvilágból származó és az érzékszervek idegvégződéseire hatást tevő fizikai folyamatok idézik elő. A fiziológiai vizsgálatoknak nagy sokasága foglalkozott azon ingerület természetének kikutatásával, amely az érzékszerv specifikus idegvégződésétől a hatást a központi idegrendszerbe viszi át. Összefoglaló eredményképpen meg lehet állapítani, hogy a közvetítés csak fizikai és kémiai folyamatok révén történhetik.

Kitünt azután, hogy az említett érzékszervi érzetek nem elegendők a tapasztalat létrejöttének a megmagyarázásához. A lélektan és a fiziológia újabb érzetféleségek létezését is megállapította és izom-, ín-, izület-, erő-, rezgés-, egyensúly-, bőr- és mozgásérzeteknek nevezte el. Jelentésük és jelentőségük azonban nem azonos az érzékszervi érzetekével, mert nem a külvilág fizikai folyamataiból származnak, hanem testünknek részeiből indulnak ki akkor, ha testünk részei valamilyen műveletet végeznek. Nem létrehozó okai, hanem következményei a műveleteknek. A műveletvégzési impulzus nem belőlük, hanem középponti idegrendszerünk valamilyen más természetű impulzusából indul ki. Ez a megkülönböztetés a következőkben lényeges szerepet fog játszani.

A lélektani és a fiziológiai vizsgálatok tehát a tapasztalat körét nagymértékben kiterjesztették. Ezzel szemben a fizika új nagy elméletei a régi szűkebb kört is még szűkebbre vonták össze. A relativitási elmélet szerint a tudományos tapasztalat két jel egybeeséséből, koincidenciájából áll [*40*, 14]. Gondoljunk például az órával, a hőmérővel, vagy a galvanométerrel tett észlelésekre. A fizikus tapasztalata tehát pusztán mutatóleolvasásokból rakódnék össze. Ennek a felfogásnak végső következményeit Eddington vonta le [*33*, 252]. Szerinte a fizikai tapasztalat létrejöttéhez csupán csak a látószerv szükséges, sőt a két szem is fölösleges, mert egyetlen szem, abban

is a retinának végtelen kis része elegendő a mutatóleolvasásokhoz.* A kvantumelmélet viszont a tapasztalhatóság határait előre megállapíthatóknak véli. A fizikai elméletek alkotói e megállapításaikhoz úgy jutottak el, hogy előre feltett elvek alapján nagy gondolati szerkezeteket alkottak és azokat a fizikai megismerés összesége számára is érvényeseknek tekintették. Belőlük következtetések útján jutottak el a tapasztalat körének említett korlátozásaihoz.

Nem azt keresték, miből indul ki és min alapszik a fizikai megismerés, hanem a szellemükben kialakult gondolatok alapján megszerkesztették a való végső alakjának a képét. Előttük folyton az a kérdés lebegett, miből és miképen kell összeszerkesztve gondolnunk a nagy mindenséget, hogy benne tapasztalati ismereteink harmonikusan és rendszeresen legyenek elhelyezhetők. Nem a tapasztalat analízise, hanem a való mivoltára vonatkozó metafizikai meggyőződés vezette őket.

Amikor tehát a relativisták abból a meggyőződésből indultak ki, hogy a végső való mivoltát a matematikai forma szabja meg, akkor e meggyőződés igazolhatósága és a tapasztalattal való összekapcsolhatása céljából számsorokra volt szükségük, amelyek a matematikai formákba helyettesítve identitáshoz vezessenek, ami e meggyőződésben az igazság csalhatatlan és semmi másra vissza nem vezethető jeleként szerepel. A számsorokat pedig a mutatóleolvasások már megadhatják és meghatározásukhoz elegendő a végtelen kis retinafolttal dolgozó egyetlen szem.

A kvantumelmélet viszont abból a gondolatból indult ki, hogy a fizikai való elektronokból, protonokból és más elemi részecskékből van összetéve. Észre kellett tehát vennie, hogy a fény segítségével végzett megfigyelési folyamat maga már megzavarja azt az állapotot, amelyet meg akarnak figyelni és így a tapasztalatnak a bizonytalanság ködével kell körülvéve lennie.

A fizikai elméletekből származó tapasztalatértelmezések mindkét esetben a való végső mivoltára vonatkozó metafizikai meggyőződésen alapulnak. Ilyenek más szempontból értékesek lehetnek, azonban nem lehetnek irányadók akkor, amikor a tapasztalat mibenlétéről van szó. Mert a tapasztalat elemi adottság, amelyet lehet magyarázni, de nem lehet magasabb gondolati elemekből leszármaztatni.

A fönti szűkkörű értelmezés nem is oldja meg a kérdést. Mert ha el is fogadnók a tételt, hogy lehetséges olyan fizikát

* Eddington legújabb ismeretelméleti művében [*35*, 101] álláspontját némileg módosítja az által, hogy az elsőleges mutatóleolvasásokat azoknak különféle rendű határtalan láncolatával helyettesíti.

összeszerkeszteni, amely csupán csak mutatóleolvasásokat használna fel — ami mindezideig nem sikerült és alig valószínű, hogy valaha is sikerüljön — akkor is felelet nélkül maradna a kérdés: mi hozza létre az eszközöket, amelyek mutatóinak állását leolvassuk? Mert az órák, a hőmérők, a galvanométerek és a többi eszközeink nem teremnek az embernélküli természetben, miként a növények és az állatok. A végtelen kis retinafolttal dolgozó félszemű fizikus észleléseiből sem nőhetnek ki. A kvantumelmélet bizonytalansági elve pedig csak akkor volna értékes, ha valami újat mondana, ami eddigi tapasztalatainkat kiegészíti. A tapasztalati eredményeinket körülvevő bizonytalansági köd azonban — ugyan nem elméleti, hanem tapasztalati alapon — eddig is ismeretes volt.

### 2. *A testi műveletek.*

A fizikai tapasztalat értelmét nem magasabb elvekből kiindulva elméleti alapon, hanem a fizika eredményeinek és a tapasztalatszerzés munkájának elemzése alapján lehet csak megállapítani.

Kétségtelen, hogy az összes érzetek, amelyek külső hatásra érzékszerveink közvetítésével a központi idegrendszerben keletkeznek, a tapasztalatnak fontos alkatelemei, de még fontosabbak azok a műveletek, amelyekkel az ember a külvilág felé irányuló hatóképességét közvetíti. A tapasztalásban az érzékszervek hasznos szolgálatot tesznek, a főszerep azonban nem ezeké, hanem a lábé és a kézé [*26*, 276]. Különösen az utóbbié. Ez a bámulatosan tökéletes gépezet, amely mintegy húsz különböző mozgást tud végezni, játssza a főszerepet a tapasztalásnál.

Négy csoportba sorozhatjuk az ember műveleti képességeit. Az első csoport az egész emberi test mozgási lehetőségeit foglalja magába. Az ember tud állani, ülni, hajolni, támaszkodni, feküdni, lépni, járni, futni, ugrani, forogni, keringeni, csúszni, mászni, úszni, átbujni.

A második csoport a mozgató lehetőségekre vonatkozik. Az ember a testeket tudja állítani, dönteni, fektetni, egymásra és egymás mellé rakni, csúsztatni, valamibe bezárni, valamiből kiereszteni, átadni, átvenni, függeszteni, támasztani, elereszteni, hajítani, lőni, emelni, süllyeszteni, megfogni, rögzíteni, vinni, húzni, lengetni, lökni, taszítani, tolni, rázni, fordítani, forgatni, gurítani.

A harmadik csoport az alakító műveleteket mutatja. Az ember a testeket tudja nyomni, nyujtani, hajlítani, csavarni, görbíteni, egyenesíteni, szétdarabolni, felboncolni, felrobbantani, eltörni, elszakítani, szétosztani, elvágni, esztergályozni,

fúrni, vájni, vésni, verni, ütni, kalapálni, hengerelni, hámozni, dörzsölni, köszörülni, élesíteni, csiszolni, simítani, edzeni, keményíteni, lágyítani, keverni, oldani, vegyíteni, olvasztani, folyósítani, elpárologtatni, fagyasztani, melegíteni, hűteni, égetni, izzítani, összetenni, összekötni, fonni, szőni, forrasztani.

A negyedik csoportba az írás, a rajzolás és a beszélés testi műveleteit sorozhatjuk.

A felsorolt és teljességre egyáltalában számot nem tartó csoportokból kellő analízissel meg lehet állapítani az összes lényeges műveletek kategóriáit, amelyekkel az ember alkotásait és a természetre való hatásait végzi. Ma már sok esetben ember helyett gép dolgozik, azonban a gépi műveletek is az ember műveleteiről vannak lemásolva és vezetésükhöz emberi művelet szükséges. Végső elemzésben pedig valamennyi szerszám, eszköz és gép az ember közvetlen testi műveleteiből keletkezik kivétel nélkül.

Műveletvégző képességünket akkor ismerjük meg igazán, ha tekintetünket kiszélesítve a Földön élő többi lényekre fordítjuk. Mert akkor észre vesszük, hogy a magasabb rendű állatok érzékszervek dolgában nincsenek rosszabbul ellátva, mint az ember, sőt némely érzékszervük élesebb is. Ha a tapasztalat csupáncsak érzékszervi észrevevés volna, nem tudnók megérteni az állatok elmaradottságát. A tapasztalatnak a műveletekkel való kiegészítése azonban az okát is megláttatja velünk. Az állatoknak ugyanis általában nincs műveletek végzésére alkalmas szervük. Csak a majomnak és az elefántnak, tehát az értelem legmagasabb fokán álló két állatfajnak van ilyesféléje, de a műveleti lehetőségek itt is korlátoltabbak, mint az embernél. Kivülük még bizonyos rovarfajok vannak műveletek végzésére alkalmas szervekkel ellátva, azonban a földi testekhez mért kicsinységük megakadályozza őket abban, hogy az emberéhez hasonló műveletek végzésére képesek legyenek. A többi állatfajnál úgyszólván a száj az egyetlen szerv, amellyel a testeket megfogni és rajtuk bizonyos műveleteket végezni tudnak.

Ugyanilyen eredményre jutunk, ha a primitív embert hasonlítjuk össze a fejlődés legmagasabb fokán álló emberrel. Érzékszervek dolgában ő is olyan jól, sőt sokkal jobban van ellátva, mint a művelt ember. Azonban a testi műveletek száma, fínomsága, pontossága, célszerűsége, a különféle eszközök megalkotása és felhasználása tekintetében elmaradt.

Az érzékszervek világa stagnáló, esetleg visszafejlődő világ, de az ember műveleteinek és az általuk csinálható eszközöknek, gépeknek, folyamatoknak a világa folytonosan előrehaladó, bővülő világ. Velük érzékszerveink elmaradottságát,

esetleges visszafejlődését, pótoljuk, kijavítjuk, és tágabb területekre terjesztjük ki.

Amikor az ember több százezer esztendővel ezelőtt a Földön megjelent, éppen olyan jó, sőt bizonyos tekintetben jobb érzékszervekkel rendelkezett, mint a mai ember. Testi műveletek tekintetében azonban a ma élő primitív embereknél is alacsonyabb szinten állott. Igazi emberré is csak akkor vált, amikor műveletvégző képessége annyira kifejlődött, hogy tüzet tudott gyujtani és egyszerű szerszámokat tudott csinálni. Műveleteinek és az előállított eszközöknek száma, fínomsága, célszerűsége nemzedékről nemzedékre, évezredről évezredre folytonosan emelkedett. Tudatossá válásukkal és begyakoroltságukkal együtt növekedett az idegrendszer terjedelme, bonyolódottsága, valamint az idegsejtek, idegpályák száma, kicsiszolódottsága, ezekkel együtt fejlődtek az ember tapasztalati ismeretei és gondolatai.

Az ősember először homo faber, vagyis mesterember volt és csak később vált homo sapiens-szé, a nélkül, hogy homo faber volta megszünt volna. Az élet, vagy a mindenséget fenntartó magasabb értelmiség rendelkezései, vagy a fejlődés folyamának ismeretlen mechanizmusa formálta úgy ki az embert, hogy műveleteivel alakítólag, alkotólag, teremtőleg bele tud nyúlni a tőle független természetbe.

A fejlődés folyamatában a műveletek váltak az ismeretszerzés legfontosabb forrásaivá. Általuk a megismerés szélesebb körre terjedt ki, de behatóbbá és mélyebbé is vált. Aki a dolgokat alkotja, az érti azokat igazán.

Az ismeretelméleti művek sokat foglalkoznak a kérdéssel: hogyan keletkeztek geometriai fogalmaink, amelyek a fizikai megismerésnek is legfontosabb elemei? Kétségtelen, hogy mostani ilynemű fogalmaink absztrakt fogalmi alkotások. A kérdés azonban tulajdonképen az, melyek voltak azok a tapasztalati megismerések, amelyekből az absztraháló folyamatok kiindulhattak? Maguk az érzékszervi benyomások erre feleletet nem adhatnak. Ha azonban az ember testi műveleteit is tekintetbe vesszük, a megfelelő tapasztalatok forrását minden mesterkéltség nélkül kijelölhetjük.

Fonalból szőtt testek kifeszítése, pálcaszerű testek készítése, gyúrható anyagból golyók, korongok, hengerek, kúpok, téglák alkotása, szögletes testeknek egymás mellé és egymásra rakása, testek felfüggesztése, alátámasztása, mozgatása és forgatása lehettek azok a kezdő műveletek, amelyekből a testek alakjára vonatkozó fogalmak, közöttük az egyenes vonal, a kör, a gömb, a sík fogalmához vezető absztrahálási folyamatok kiindultak. Később a mérési és építési munkálatok közben a tapasztalatok növekedtek, velük kapcsolatban kialakult a rajzo-

lás művelete, az ember megeszesedésének ez az igen nevezetes fokozata, amely híddá vált az érzetek, a műveletek és az absztrakt fogalmak között. Az az ember, aki sokszor rajzolt egyeneseket, párhuzamosakat, merőlegeseket és sokszor osztotta fel tisztán próbálgatással a távolságokat, a szögeket, a köríveket, testi műveletei alapján úgyszólván kiérezte — „erschau"-olta, — az Euklidesz-féle axiómákat és posztulátumokat.

Fizikai és ismeretelméleti művekben gyakran lehet olvasni arról, hogy egyszerű észlelésekből miként indultak ki nagyjelentőségű találmányok. Ez a felfogás figyelmen kívül hagyja azt a körülményt, hogy az egyszerű észlelések csak közbeneső átmeneti állomások voltak. Az igazi kiinduló állomások, tehát az ismeretszerzés ősforrásai azokban a műveletekben vannak, amelyek az észlelést lehetővé teszik. Mert az ember tud testeket felfüggeszteni, azért észlelhette Galilei az inga lengéseit és állapíthatta meg a lengésidő törvényét. Mert az ember tud forgatni, fazekat tud készíteni, tüzet tud rakni, vizet tud forralni, azért észlelhette Papin a fazékban forró víz fedőjének emelkedését és juthatott reá a gőzgép elvére.

Kopernikus világrendszeri elméletének lényege is abban van, hogy az emberi elme műveletvégző tudata azt fel bírja fogni, hogy egyes égitestek, például a bolygók bizonyos sebességeket és szögsebességeket kaphattak, de művelettudatunk számára teljesen felfoghatatlan, hogy a világegyetem valamennyi teste, nagyok és kicsinyek, közel- és távollevők olyan sebességeket kaphattak volna, amellyel valamennyien 23 óra és 56 perc alatt fordulnak meg a Föld körül, ahogyan azt Ptolemáiosz tanította.

Fizikai ismereteink általában bizonyos műveletek előzetes kifejlődése nélkül ki sem alakulhattak volna. Az ember sohasem ismerhette volna meg az elektromos jelenségeket, ha előzőleg reá nem jutott volna azokra a műveletekre, amelyekkel ércekből fémlemezeket és fémdrótokat lehet készíteni. Az optika legnagyobb részének megismerését is azok a műveletek tették lehetővé, amelyekkel az ember ásványi anyagokból üveget olvaszt ki és azt köszörülni, csiszolni, simítani tudja. A villamos izzólámpák, a katód- és anódsugarak, a röntgensugarak, az elektroncsövek, a rádióhullámok is azoknak a műveleteknek köszönhetik létüket, amelyekkel az ember gyorsan és jól dolgozó légszivattyúkat és hatalmas dinamókat állít elő.

Csak miután az ember megismerte a műveleteket, amelyekkel üvegcsövet készítünk, falába térfogatjeleket vágunk, fémeket megmunkálunk, milliméter osztályzatot és noniust készítünk, csavart vágunk, egyenes-szerű tárgyakat függőlegesbe állítunk, síklapokat vízszintezünk, higanyt tisztítunk, légnyomást jelző készülékeket és hőmérőket készítünk: csak e műve-

letek sokaságának megismerése után vált lehetségessé még az olyan egyszerű tapasztalatai törvénynek is a megismerése, aminő a Boyle—Mariotte-féle gáztörvény. De még ez sem történhetett egyszerű észleléssel, hanem azt megelőzőleg, azzal egyidejűleg és azután is még egy sereg más testi műveletet is kellett végezni, amíg ez az egyszerű törvény a vizsgáló tudós szelleme előtt jelentkezett.

Eddington végtelen kis retinafolttal dolgozó félszemű megfigyelője nagy zavarba jönne, ha őt a természetbe állítanók azzal a feladattal, hogy számunkra fizikai megismeréseket szerezzen. Milyen ismereteket tudna számunkra puszta észleléssel szerezni? Valójában semmilyeneket. Nincs mérés, amelyet eszközök és műveletek nélkül el lehetne végezni. Még az egyszerű távolságmérés is a mérőrudak elkészítésének és azok egymásután való rakásának műveleteivel válik csak lehetségessé, ha a legdurvább pontossággal megelégszünk. Ha pedig a lehető legnagyobb pontosságot kell elérnünk, akkor még más műveleteknek hosszú sorát is kell végeznünk.

A kísérletező fizikusok is nagyon jól tudják, hogy az észlelésen kívül mindig más testi műveleteket is kell végezniök és értekezéseikben lelkiismeretesen le is írják e műveleteket. Ha ezt nem tennék, eredményeik nem volnának reprodukálhatók. Ez pedig annyit jelentene, hogy a tudomány eredményeiket nem veszi tekintetbe.

Valaki azt az ellenvetést tehetné: igaz ugyan, hogy a megismeréshez eszközök és különböző műveletek szükségesek, azonban ezek a megismerésnek lényegtelen mellékkörülményei. Az ellenvetésnek semmis voltát sok tény mutatja. Mindenekelőtt az, hogy tapasztalati tételeink majdnem kivétel nélkül ilyen alakban jelennek meg: ha ezt, vagy azt a műveletet végezzük, ezt, vagy azt észleljük. Minden tapasztalati tétel tehát két részből áll, egy premisszából, amely mindig valamilyen testi műveletet és egy konklúzióból, amely valamilyen észlelést jelent. A kettő szoros kapcsolatban áll egymással, amely nélkül az egész tételnek nincs értelme. Tehát el sem választhatók egymástól.

Más műveletek viszont mint bonthatatlan ős tények a fizikai elméletekbe is belemennek. A testek más testeknek *átadják*, vagy más testektől *átveszik* a sebességet, az energiát, a hőmérsékletet, az elektromos töltést. Az erőt, a sebességet, a gyorsulást, általában a vektorokat lehet *összetenni*, *szétbontani*. A testek *kibocsátanak* és *elnyelnek* fényt. Az energia *vándorol*, *eltűnik*, *előjön*, *átalakul*. Az elektoromosságot lehet *vezetni*, *szigetelni*. Az elektromos és mágneses testek *vonzzák*, *taszítják* egymást. A fénysugarak *kiindulnak*, *találkoznak*, egymást *erősítik*, *gyengítik*, *megsemmisítik*.

Az új atomfizika is bőven használja a műveleti fogalmakat. Az atomot lehet *felbontani, felrobbantani, szilánkokra szétszakítani.* Alfasugarakkal lehet *lőni, bombázni* és *eltalálni* más atomokat. Az elektronokat lehet az atomból *kiszakítani, kilökni,* más atomok által *elfogatni* és *fogva tartani.*

Nyilvánvaló, hogy ezek a műveleti fogalmak a fizikában nélkülözhetetlenek, sőt ugyanezek még tovább absztrahálva matematikai gondolkozásunkba is belekerültek, mert a számlálást, a matematikának ezt az ős alapját, testi műveletek nélkül elvégezni nem lehet. A műveletek használata néha csak metaforikus értelmű, de éppen ez bizonyítja, hogy a műveletek a tudatban, mint mindenki által közvetlenül felfogott elemek vannak beágyazva, mert metaforaként csak olyasvalami szerepelhet, ami más valamit megvilágosíthat, de önmaga magyarázatra szorul.

A fizikai tapasztalatokat tehát pusztán érzetekre korlátozni egyoldalú és önkényes eljárás, mert az érzetek túlnyomó nagy része műveletekhez van elválaszthatatlanul hozzákapcsolva, amelyek a tapasztalatnak éppen olyan mellőzhetetlen alkatelemei, mint az érzetek. Amikor a tudatban a külvilág testei úgy jelennek meg, mint amelyek színesek, melegek, ízesek, szagosak, érdesek, símák, ugyanakkor azok úgy is szerepelnek, mint amelyek összetehetők, szétbonthatók, emelhetők, forgathatók, feloldhatók, stb.

Tudatunknak nemcsak az az ősténye, hogy a testek érzékszerveink útján reánk hatást tesznek, hanem az is, hogy mi e hatást műveleteinkkel sokféleképpen változtathatjuk. Ebből a kettős tudatból származik a tapasztalati megvizsgálás alapelve: a természet által érzékszerveinkre tett hatást műveleteinkkel annyiszor, vagy annyira változtatjuk, amennyire csak lehetséges. Az előálló változások észleletéből szerkesztődnek össze a fizika tapasztalati tételei.

### 3. *A beidegződés.*

Az érzet és a művelet lényegesen különbözik egymástól. Amaz külső hatás folytán, érzékszerveink útján bensőnkben keletkezik. Emez belülről jövő inger indítására a külvilágban nyilvánul meg. Az érzetben a külvilágnak bensőnkre tett hatása, a műveletekben a belső világnak a külvilágra tett hatása nyilvánul meg.

Ahogyan van külső hatás, amely bensőnkben az érzetet kelti, ugyanúgy kell lenni belső pszichofizikai alapnak, amely a test műveleti folyamatait létre hozza. A lélektan ezt az alapot *beidegződésnek,* innervációnak nevezi és kétségtelennek tartja, hogy az idegrendszer valamilyen fiziológiai változásaiból áll.

Valóságos belső szerkezeti mibenlétéről azonban nagyon keveset tudunk. A fiziológusok az idegpályák kicsiszolódásának metaforikus fogalmával magyarázzák.

Bizonyos, hogy az innervációkat mindenkinek egyénileg kell magában kifejlesztenie. Az alapokat őseitől örökli, mert a kisgyermek már bizonyos idegrendszerbeli preformáltsággal jön a világra, amely őt bizonyos testi műveletek megindítására képesíti. A tudat lassú, fokozatos fejlődésével aztán először az utánzás járul hozzá, amely később is folyton arra indítja, hogy azt, amit másoknál lát, maga is megpróbálja. Mint harmadik fokozat jön a begyakorlási, a szoktatási folyamat. A folytonos ismétléssel az idegpályák „kicsiszolódnak", ellenállásuk csökken, úgy, hogy a művelet mechanikussá válik. Tehát, mint negyedik fokozat beáll az az állapot, amikor a külső hatás közvetlenül kapcsolódik az innervációkhoz és a művelet létrejön a nélkül, hogy a tudatnak kellene azt megindítania.

Egészen más kérdés, hogyan jut rá az ember valamely egészen új műveletre. Mást nem mondhatunk, mint azt, hogy új műveletek kitalálása új eszközök kitalálásával szoros kapcsolatban történik. Aki a fúrót, a gyalut, a csavart, a kerékpárt, az elektrométert, a Wilson-féle kamrát feltalálta, az egyszersmind testét hozzászoktatta azokhoz a műveletekhez, vagyis idegrendszerében kifejlesztette azokat az innervációkat, amelyek ez eszközök használatához szükségesek. A leghatalmasabb ilyen folyamat a repülőgép feltalálóinak idegrendszerében folyt le. Lilienthal, a két Wright testvér, Voisin, Farman és a többiek nemcsak a repülőgép szerkezetét találták fel, hanem egyszersmind kifejlesztették testükben a szükséges innervációkat és műveleteket, amelyek a repülőgép vezetéséhez szükségesek. Ezeket tanulják, vagyis sokszoros gyakorlással testükben kifejlesztik a mai pilóták. A tudományos tapasztalatra való ránevelődés is ugyanúgy folyik le a laboratóriumokban. Aki fizikai, kémiai, vagy csillagászati kutatások végzésére magát be akarja gyakorolni, annak a gondolati kiképzésen kívül testében bizonyos innervációkat is kell kifejlesztenie, amelyek őt az észleléssel kapcsolatos műveletek végzésére képessé teszik. Akinek idegrendszere nem „idegződött" be a csavarási műveletre, az ne nyuljon fizikai eszközhöz. „A fizikusnak hosszú tanulási időben kell hozzászoknia ahhoz, hogy fínomabb innervációi felett uralkodjék", írja Mach [82, 44].

Nemcsak a célba vett eredmény elérése szempontjából van erre szükség, hanem a fogalom jelentésének kialakulása szempontjából is. A fizikai fogalmak jelentése ugyanis az érzékszervi érzetek és műveletek jegyéből rakódik össze. Ha azt mondom: „elektromos feszültség", akkor elsősorban nem a

látottak, a hallottak és az egyéb érzetek emlékképei jelennek meg lelki szemeim előtt, hanem bizonyos műveletek, amelyek azzal kapcsolatosak.

A sajátságos már most az, hogy sem az innervációk, sem a műveletek részletei nincsenek meg közvetlenül tudatunkban. Mi tudunk járni, ugrani, táncolni, emelni, forgatni, csavarni, stb., de nem tudjuk, hogy e közben lábunk, kezünk és ujjaink mely izmai és hogyan jutnak működésbe. Csak hosszabb rágondolással, az emlékezetbe való visszaidézésével annak, amit részben saját műveleti érzeteink, részben a másoknál látottak adtak tudomásunkra, tudjuk összeszerkeszteni egy-egy műveletnek a részletes mibenlétét. A művelet a maga egészében, célja, szükséges volta és eredménye azonban mindig megvan tudatunkban, ha a részletek hiányoznak is.

Talán éppen ezért van az, hogy a műveletek és az előidéző innervációk nem szerepelnek úgy, mint a tapasztalatnak elsősorban tekintetbe jövő elemei. A lélektan ugyan régen felismerte, fontos szerepüket azonban úgy fogta fel, hogy a fogalomalkotásnak képezik a kiinduló pontjait [*96*, 443]. Ha azonban a megismerés tényezői között a tapasztalat és a gondolat között különbséget teszünk, akkor nyilvánvaló, hogy az innervációkat és a műveleteket a tapasztalat kezdő elemeivé, forrásaivá kell tennünk.

Általánosan el van terjedve a felfogás, hogy a fizikai megismerés alapja a kísérlet. De mi a kísérlet? Semmi egyéb, mint a műveleteknek különleges sorozata. Mi tehát a kísérlet fogalmát általánosítottuk, amikor a tapasztalat elemei közé a műveletet is bevesszük. Ez jogos eljárás. Ha a kísérletet tesszük meg a fizikai megismerés alapjává, akkor külön meg kell okolnunk, hogy miért alapja a fizikai megismerésnek. Azzal, hogy az általánosabb művelet fogalmát úgy tekintjük, mint az ember testi szervezettségének a következményét és a fizika feladatát az ember hatóképességének megnövelésében látjuk, megokolásra többé nincs szükség. Az ember a kozmosznak nem passzív eleme, aki érzékszerveivel tudomásul veszi azt, ami körülötte tőle függetlenül történik, hanem aktív eleme, aki a reákényszerített adottságokba bele nem nyugszik, hanem céljai és szükségletei szerint alakítja. Az embernek testi szervezettségéből fakadó ösztönös hajlama van a műveletekre, a fizikai kísérlet ennek csak egyik különleges faja.

Fejtegetéseinket következőképpen foglalhatjuk össze. Fizikai tapasztalataink egymástól lényegesen különböző két lelki elemből, az érzetekből és a műveleti innervációkból vannak összetéve. Amazok a külvilágból származó hatásokból érzékszerveink segítségével jönnek létre, emezek az egyén begyakorlásával tudatosan fejlesztetnek ki. Az érzékszervekkel való

észrevétel és a műveletek kialakulása magasabb fejlődési foknak az eredménye. Az első már az ősidőkben stagnáló állapotba jutott, de a második az őskortól kezdve napjainkig folyton fejlődik. A műveletek teszik a tapasztalatot folyton fejlődő, bővülő és fínomodó megismerési forrássá.

### 4. *A képzetalkotó lelki folyamatok.*

Az érzékszervi érzetek és a műveletek tudata bizonyos kiigazító szerkesztési munkának van alávetve, amely az eredeti érzékleti adottságokat némileg módosítja és kivetítve a külvilágba objektíve létező tárgyaknak teszi meg. Ezekből alakul ki a tárgyaknak, a folyamatoknak és a műveleteknek szemléleti képe. De csak addig marad meg ebben az alakban, amíg a külső inger hat. Amint az megszűnik, tudat alatt automatikusan lefolyó lelki folyamatok veszik birtokukba és jelentékeny változtatásokat végeznek rajta. Akárhogyan akarnók, sem tudnók átalakító munkájukat befolyásolni.

Az első ilyen lelki folyamat a közismert elfeledési folyamat. A külső inger megszűnte után a szemléleti képet alkotó érzetek eleinte igen gyorsan, azután fokozatosan lassabban veszítenek intenzitásban és részletekben. A szemléleti kép átalakul emlékképpé vagy képzetté, amelynek szerkezetéről tudatos ráemlékezéssel szerezhetünk tudomást. Már csak úgy hasonlít az eredeti szemléleti képhez, ahogyan a festők és rajzolók vázlatai hasonlítanak a tárgyakhoz, amelyekről készültek.

Vele egyidejűleg az összeolvasztó (asszimiláló) lelki folyamat is elkezd működni. Az újabb és újabb hasonló emlékképek eltérő jelei eltűnnek, vagyis nem jutnak a tudatba, ellenben a közösek összehalmozódnak és annál nagyobb erővel emelkednek ki. Az elmében minden többé-kevésbbé hasonló emlékkép egybeolvadásra törekszik, aminek folytán a tudatban keletkezik valami, ami már nem individuális emlékkép, hanem szkematikus váz, csak az elmében magában létrejövő forma, amely az egyes individuális emlékképek közös vonásainak felel meg. A kisgyermek lovat, kutyát, széket, asztalt, fát, házat jelentő szkematikus rajzai, valamint a fizikusok emelőt, mérleget, hőmérőt, elektrométert, galvanométert, elektrolitikus cellát, kondenzátort, transzformátort, elektromágnest, stb. jelentő szimbólikus rajzai adnak képet az így kialakuló általános képzetekről.

Az elfeledési és összeolvasztó lelki folyamatokkal egyidőben végzi feladatát a társító (asszociáló) lelki folyamat, amely az érzeteket és az innervációkat egymáshoz fűzi úgy, hogy valamelyiknek megismétlődése, a tudata felidézi a másikat is. Így például a jellemző illat a virágnak, a jellemző hang

a hangszernek, vagy az illető embernek látásbeli képét idézheti fel.

A három lelki folyamatról nem tudunk sokat, csak utólag, a tapasztalt eredményekből, következtetésekből állapítjuk meg objektív létezésüket. Föl kell tennünk, hogy meghatározott fizikai-kémiai-fiziológiai változásoknak a következményei, de ezeket nem ismerjük.

A társító lelki folyamatnak egyik legfontosabb műve a szónak, illetőleg a betűjeleknek az emlékképekhez való hozzáfűzése. Gyermekkorunktól kezdődőleg érzékeléseink és műveleteink meghatározott szavakkal társulnak. Amikor egyrészről az újabb és újabb emlékképek részleteiket és intenzitásukat folyton veszítve és a hasonlókkal egybeolvadva a közös vonásokat egyesítő általános képzeteket domborítják ki, ugyanakkor más részről folyton erősebbé és erősebbé válik a hozzáfűződő szónak és írásjelnek a szerepe. Lassanként úgy alakul ki a lelki helyzet, hogy cselekvésünkben és gondolkodásunkban nem a különféle tárgyi emlékképek, hanem a szó-, a hang- és írásjelei veszik át a főszerepet.

Pedig a szó csak kivételes esetekben, nevezetesen a hangutánzó szavaknál (durran, dobban, dübörög, recseg, sistereg, stb.) tartalmaz tárgyi érzékleti elemeket. Hasonlóképpen az írásjelek is csak kialakulásuk első állomásán voltak némileg hasonlók a látott tárgyakhoz. E kivételeket nem tekintve az érzékleti elemek tökéletesen és teljesen mások, mint a szó hang- és írásjeleihez fűződő érzékletek. A zongora $C_2$ jelzésű hangja, a nátrium gőzének sárga színe, a kő elhajítása, a hőmérő emelkedése stb. valami egészen más, mint ezek az írásjelek és a velük társult hangjelek.

Az érzetek különleges, egyéni, sui generis, ős lelki tények, amelyeket semmi mással nem lehet előállítani és nem is lehet közölni másokkal. A szó hang- és írásjelei a történeti fejlődés folyamán esetlegesen alakultak ki; tanulás, szoktatás és utánzás révén váltak valamely emberi kollektívum közös közlekedési segédeszközévé és a kollektívum egyes tagjait szorosan egymáshoz fűző kötelékké. Az egyén a szavak révén belenőtt a kollektívumba, annak jelenébe, multjába és jövő reményeibe.

Elménk úgy van berendezve, hogy az egyes tárgyak, folyamatok és műveletek emlékképeit könnyebben tartja meg a szó hang- és írásjelei segítségével, mint a nélkül. A szó, mint ezeknek tartója, burkolója, képviselője vagy szimbóluma szerepel, ami természetesen nem fizikailag, hanem pszychológiailag és így is csak metafórikusan értendő. Azonban a szó hallása, vagy írásjelének látása mindig képes a tudatba felidézni a vele kapcsolt emlékképeket vagy képzeteket. A tanulás és a szokás azután annyira túlnyomóvá teszi a szó szerepét, hogy meg-

szokott beszélési, olvasási és gondolkodási folyamatainkban a felidézés teljesen el is marad. A szavak folynak egymás után a nélkül, hogy a képviselt tárgyi jelek felidéződnének. Csak ha ellenmondások merülnek fel, jut eszünkbe a kérdés, mit is jelent a szó és próbáljuk a hozzá fűződő tárgyi képzeteket felidézni.

A társító lelki folyamatnak másik igen nevezetes műve a beszélés és az írás testi műveleteit előidéző innervációknak a hang- és írásjelekhez való hozzáfűzése. Amikor Ön a fehér papíron ezeket a jeleket:

*isten*

látja, rögtön hozzákapcsolódnak azok a innervációk, amelyek e szó kimondásához szükséges testi műveleteket megindítják. Pedig nem kis dologról van szó. Ahhoz, hogy a hang létrejöjjön, a mellkas izmainak a levegőt a gégefőbe kell hajtaniok, az itt lévő izmoknak a hangszalagokat meg kell feszíteniök, a nyelv, az ajak és az állkapocs izmainak a szájüreget a betűjeleknek megfelelően kell alakítaniok és a légáramot megfelelően meg kell szakítaniok. Az izmok munkájának eredménye a kellő rezgésszámú, erősségű, színezetű és megfelelően tagolt hang. Hasonlóképpen igen bonyolódott műveleteket végeznek a kezének ujjai, amikor Ön a hallott szót tollal, irónnal vagy írógéppel leírja. E műveleteknél a tapintó érzetek visszahatásai is nevezetes szerepet játszanak.

A begyakorlásnak az érzékeléseknél is nagy szerepe van. Itt a társító folyamatokat kell beidegzeni, vagyis a társításhoz szükséges innervációkat kell kifejleszteni. Az érzékelést is tehát bizonyos értelemben tanulni kell éppúgy, mint a műveleteket. Ha a vakon született ember később, szerencsés műtét után tökéletesen működő látószerv birtokába jut, még mindig nem lát. A külvilág tárgyainak a képe lerajzolódik ugyan a retinájára és az így támadt ingerület rendes módon eljut az agyba, azonban tudatában nem jelenik meg a tárgyaknak az a szemléleti képe, amely az olyanoknak a tudatában jelenik meg, akik gyermekkoruktól kezdve láttak. Nem jelenik meg pedig azért, mert a szükséges társító innervációk még nincsenek kifejlődve. Hónapokig, sőt évekig kell tanulnia a látást, illetőleg ki kell fejlesztenie a társító innervációkat, amelyek az egyéb érzékszervekkel nyert érzeteket a látási érzetekhez csatolják. Ugyanilyen helyzetben van a primitív ember, ha hirtelen soha nem látott épület vagy bonyolódott gép elé kerül. Neki is, valamint a vakon születettnek elsősorban műveletekkel kell megtanulnia, hogy bizonyos sötét foltokat vetett árnyékkal, másokat a tárgy kiemelkedő domborúságával vagy besüllyedő mélységével, a nagy fényfoltokat tükrözéssel, az egymáshoz hajló vonalakat térbeli távolodással kell társítania.

A hangérzeteknél a helyzet hasonló. A hallást is tanulni kell, az idegrendszerben a megfelelő társító innervációkat ki kell fejleszteni. A műveletlen ember, akinél az hiányzik, legszebb zenénket hangzűrzavarnak érzi, amely valóságos fájdalomérzeteket és lelki ingerültséget vált ki belőle.

Mindezekből következik, hogy a külső inger hatása alatt tudatunkban keletkezett szemléleti kép nem pillanatnyi érzet csupán, nemcsak a külső ingernek, hanem a belső lelki feldolgozásnak, a tudat alatt végbemenő lelki szerkesztésnek is a műve. Nem úgy keletkezik, ahogyan a grammofónlemezen a fonogramm keletkezik, amely tisztán a membránhoz erősített tű mechanikai munkájának az eredménye, hanem a külső ingerre maga az idegrendszer is működésbe jő és részt vesz a szemléleti kép tudatbeli alakjának megszerkesztésében. A munka tudat alatt igen rövid idő alatt folyik le. Eredményét az egyén idegrendszerbeli pillanatnyi állapota, valamint előző tapasztalatok által való kiművelődése határozza meg.

Amikor tehát Ön valamely tárgyat szemlél, akkor a tudatában megjelenő szemléleti képet nem csupán a külső inger, tehát nem csupán a retinára vetítődött kép határozza meg, hanem más érzékszerveivel és műveleteivel előzőleg szerzett benyomásainak emlékképei is közre játszanak. Ezért a szemléleti képek egyénenként különbözők. A mérleg szemlélésekor mást lát a fizikus és mást a mészáros. Amikor pedig népszerű természettudományi előadásokban bizonyos kísérleti bemutatások folynak, azok a hallgatóság egyes tagjainak tudatában a legkülönfélébb módon jelentkeznek. A tanítási gyakorlatban is — noha itt nagyobbára egyforma képzettségű tanulókról van szó, — helyesen járunk el, ha a kísérletet ismételten elvégezzük, mert az első bemutatásnál a tanulók figyelmét a mellékkörülmények a lényegtől elterelik.

### 5. *A szavak és jelentéseik.*

A lelki folyamatok nem állapodnak meg a tapasztalati fogalmok létrehozásánál, hanem működésüket továbbfolytatva különféle absztrakt és szintétikus fogalmat is teremtenek, amelyekről alább szó lesz. Ezekhez is szavak kapcsolódnak, de itt a szónak a tapasztalati elemekkel való kapcsolata már sokkal bonyolultabb, mint a fönti tárgyi fogalmaknál. Amíg tehát például e tapasztalati kifejezésben „a vaspálca meghajlítása" közvetlenül felidézi bennünk az érzékleti és műveleti lelki elemeket, addig az absztrakt kifejezés, például „potenciál-esés", közvetlenül ilyen érzékleti és műveleti elemeket nem idéz fel, azok csak megfelelő analízissel

idézhetők fel és csak olyan emberek lelkében, akik e kérdéssel bővebben foglalkoztak.

A tapasztalati és absztrakt fogalmakat kifejező szavaknak az érzékleti és műveleti lelki elemekkel való kapcsolata, valamint a felidézési folyamat a legérdekesebb és a legfontosabb lelki jelenségek közé tartozik. Az emberi megismerés egész mibenlétét ismernők, ha e folyamat lefolyását és részleteit ismernők.

Néhány példán fogjuk szemléltetni, hogy itt milyen bonyolult viszonyokról van szó.

Amikor Ön a fehér papíron a következő írásjeleket látja:

*az elereszteti kő gyorsuló mozgással esik a föld felé,*

ezek az írásjelek felidézik lelkében a sokszor tapasztalt folyamat emlékképét és annak érzékleti és műveleti lelki elemeit. Történik pedig ez azért, mert ezekkel a szavakkal és írásjelekkel kapcsolatban szerezte, illetőleg az írásjelek és a velük kapcsolatos hangjelek, valamint a kő elereszlésének művelete és esésének észlelése tudatában egymással szoros kapcsolatban ágyazódott bele. Ön is, én is, és mi valamennyien a szavak és írásjelek révén egy gondolatrendszerbe jutottunk bele, amely az emberiségnél évezredek óta képződött. Azért tudjuk az írásjelek és a szavak révén a tudatunkban meglévő elemeket másokkal közölni.

Az előbbi írásjeleken némi változtatást teszek ilyenképen:

*az elereszteti kő egyenletesen gyorsuló mozgással esik a föld felé.*

Mi a különbség a két mondat között? Csak az, hogy az első mondatban csupa közönséges tapasztalati fogalom szerepel, a másodikban azonban közéjük csúszott az „egyenletesség" absztrakt fogalma. Nem is idézi fel lelkében ez a második mondat az egyszerű tapasztalatnak érzékleti és műveleti elemeit, hanem iskolai tanulása idejéből felidéz bizonyos bonyolódott okoskodási sorozatokat, amelyek az egyenlő térközök és időközök elgondolására, valamint az ezekkel kapcsolatos bizonyos kísérletek érzékszervi és műveleti elemeire vonatkoznak. Ha ezen az iskolai képzésen Ön nem ment keresztül, akkor az „egyenletesen" szó lelkében nem idéz fel határozott fogalmi és tapasztalati lelki elemeket.

Az „egyenletesség" absztrakt fogalmában nagyon bonyolódott gondolati műveletek eredményei vannak összefoglalva, amelyek nem pusztán tapasztalaton, hanem gondolaton és konvenciós választáson alapulnak. Az általános relativitás-elmélet mintájára más önkényes választást is tehetnénk, amelyben az „egyenletesség"-et nem a tér és az idő, hanem pusztán a moz-

gás fogalmába bujtatnók, a tér és az idő pedig nem volna egyenletes, hanem változó, görbe szerkezetű, úgy, hogy ebben a felfogásban a fönti második mondattal egyenlő jelentésű következő megállapítást tehetnők:

*az elereszteti kő a görbülettel bíró téridő-rendszerben egyenletes mozgással esik a föld felé.*

Ennek értelmét is csak akkor tudja Ön felfogni, ha az új konvenciót elfogadja és magát abba beledolgozta.

Nézze most a következő írásjeleket:

*San-Franciskót a földrengés 1906-ban elpusztította.*

Ebben a mondatban tisztán tapasztalati fogalmak szerepelnek, azonban ezek olyanok, hogy érzékleti és műveleti elemeik nincsenek egyformán kifejlődve mindenkiben. Ha tehát nem volt Ön San-Franciskó-ban a földrengés idején, akkor e mondat az Ön számára puszta, szürke ténymegállapítást jelent, amelynek részletesebb elemeit csak huzamosabb rágondolással, más nagy városok, más földrengések, vagy más nagy pusztítások emlékképeiből próbálja összeszerkeszteni. Ellenben ha e födrengést átélte, akkor az idegrázó jeleneteknek és pusztításoknak hosszú sora idéződik fel lelkében, de ezek is halványabban és elmosódottabban, mint ahogy annakidején tapasztalta. Ha pedig földrengésekkel foglalkozó tudós Ön, akkor e mondatban foglalt tapasztalati fogalmak a hozzájuk fűződő absztrakt fogalmakat, a rezgés fészkének, az epicentrumnak, a föld kérgében lehetséges elmozdulásoknak, azok keltette rezgések tovaterjedésének absztrakt fogalmait idézik fel lelkében.

A következő írásjelek:

*a bolygók elliptikus pályákon keringenek a Nap körül,*

semmiféle érzékleti, vagy műveleti elemeket nem idéznek fel lelkében, ha Ön nem tanult ember. Ha azonban az, akkor koncentrikus körök emlékképe idéződik fel lelkében úgy, ahogyan azokat valamikor fizikai, vagy csillagászati könyvekben látta, vagy ahogyan tanára azokat a táblára felrajzolta. A bolygók elliptikus pályájára vonatkozó közvetlen tapasztalata senkinek sincs. Ha Ön szakfizikus, akkor gondol Kepler-re, Newton-ra, a nehézségi erőre és az okoskodási sorozatokra, amelyek alapján arra lehet következtetni, hogy a bolygók közelítőleg valóban elliptikus pályákon keringenek, de hogy ezek mégsem ellipszisek, hanem pontosan meg nem határozható térbeli görbe vonalak. Ha Ön csillagász, akkor gondolatvilágában azoknak a műveleteknek az emlékképei jelennek meg, amelyeket végzett, amikor valamely csillagászati objektum megfigyelési adataiból arra következtetett, hogy kis bolygóval van dolga és pálya-

jának elemeit adataikból akarta kiszámítani. Ha ezeken felül a megismerés alapjaihoz is leszáll, akkor a fenti mondat eszébe juttatja meggyőződését, amely szerint az égitestek pályái relatív fogalmak és attól függnek, mire vonatkoztatja azokat. Ha a nyugvó Földre vonatkoztatja, akkor a pálya gömbfelületre írható ciklois, ha a nyugvó Napra számítja át, akkor közelítőleg ellipszis, ha pedig valamely más állócsillagra vonatkoztatja, akkor térbeli bonyolódott nem zárt görbe vonal.

Vegyük végül a következő írás- és számjeleket:

$$_{13}Al^{27}\ (\alpha,\ n)\ _{15}P^{30},$$

néhány évvel ezelőtt ugyanezt következőképen írták és sok felé ma is így írják:

$$^{27}_{13}Al + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{30}_{15}P + ^{1}_{0}n.$$

Ezeknek látása valószínűleg semmiféle érzékleti és műveleti lelki elemeket nem idéz fel emlékezetében. A kutató szakfizikusok szerint ez a képlet a következőket jelenti: ha aluminiumot *(Al)* a rádiumból kilövelt hélium-atomokkal *(He, α)* bombázzuk, akkor a foszfornak *(P)* egy izotóp atomja és egy neutron-atom *(n)* keletkezik, a betűk mellé írt felső számok az illető atom súlyát, az alsó számok annak a periodikus rendszerben kijelölt rendszámát jelentik. Ha Ön nem kutató szakfizikus, akkor e magyarázat után sem ért semmit. Legföljebb a bombázás szó kelt Önben csodálatot. Ha a régebb idők fizikai és kémiai fogalmairól általános tájékozottsága van, akkor a magyarázatban előforduló absztrakt és hipotetikus fogalmak, az atom, az izotóp, az atomsúly, az atom rendszáma, a periodikus rendszer bizonyos homályos emlékképeket ébresztenek fel Önben bonyolódott okoskodási sorozatokról. Ha pedig a fizika fejlődését olvasmányai alapján a legújabb időkig figyelemmel kísérte, akkor ezekről a szakkifejezésekről bizonyos metaforikus képzeteket alkot magának, de ezek sincsenek lelkében érzékleti és műveleti elemekkel kapcsolva. Az olvasmányok és előadások hatása alatt ilyen metaforikus képzetek szoktak az emberek lelkében kialakulni. A népszerű tudományos előadók ilyenekkel kénytelenek dolgozni és azoknak lehető szemléletes és élénk kifejlesztésével igyekeznek a hallgatót a megismeréshez elvezetni. Végül azoknak a gondolatvilágában, akik a természetes és a mesterséges radioaktivitásra vonatkozó tapasztalatokkal kísérletileg foglalkoztak, a fenti képlet által felidéződnek a Wilson-kamarával, az elektromos számláló készülékkel, a fluoreszkáló ernyővel, a fényképező lemezzel, az ionizációs kamarával végzett műveleteknek, valamint a látott fényjelenségeknek, hangjeleknek emlékképei és ama bonyolódott okosko-

dási sorozatoknak gondolati elemei, amelyek alapján a tudomány arra következtet, hogy itt anyagátalakulásról van szó.

A felsorolt példák azt mutatják, hogy a szó, vagy az írásjel csak emlékeztető szimbólum, amelyhez a legkülönfélébb tapasztalati és gondolati lelki elemek kapcsolódnak. Az, hogy valamely szóhoz vagy írásjelhez milyen lelki elemek fűződnek, az egyén előéletétől, tanultságától, gondolkodó és képzelő erejétől függ, ezek viszont az egyén idegrendszerének, sőt egész testi szervezetének állapotától függnek.

Nietzsche hasonlatát használva a szó zseb, amelybe mindenki azt rakja, amije van, vagy egy más hasonlatot használva a szó horog, amelyre az egyén életének folyása közben különböző dolgok akadnak rá. Ezekből a szó hallásakor vagy írásbeli képének látásakor majd ez, majd az az emlékkép vagy gondolati alakzat idéződik fel.

A határozatlanság azonban nem olyan nagy, amilyennek első pillanatra látszik. A tanulás, a nevelés, az olvasmány, a társasélet a szó jelentésének határozatlanságát korlátozza és a szavak rendszerének bizonyos fokú stabilitást ád.

A tudomány a szó jelentését pontosabb körülírásokkal, definíciókkal igyekszik stabilizálni. Azonban tévedés volna azt hinni hogy definícióval a szó jelentését teljesen lehet stabilizálni. Minden definícióhoz ugyanis újabb szavak szükségesek és így tovább. A definiálgatásban rejlő ez a logikai ellentmondás a tudományos gyakorlatban viszonylagos megoldást nyer. A tárgyakat, a fizikai folyamatokat és az ember műveleteit jelentő szavak jelentése nagyjából ugyanaz. De az absztrakt fogalmak között is vannak olyanok, amelyeknek jelentése mindenki számára ugyanaz. Ilyenek pl. az egész és a rész, az egyenlő és a különböző, az állandó és a változó, a pont, az egyenes és a matematika hozzájuk hasonló fogalmai.

Önkénytelenül felmerül a kérdés: a tudomány, a művelődés és a civilizáció fejlődésének elengedhetetlen feltételei-e a szavak? Létezhetnénk-e a beszéd művelete nélkül?

Hogy e kérdésre néminemű feleletet megkockáztathassunk, képzeljük azt, hogy valamilyen betegség folytán az emberek mind némává válnának és olvasó-író képességüket is elveszítenék. Az eset nem olyan lehetetlen, amilyennek első pillanatra látszik. Tudjuk, hogy sok süketnéma születik, akiknek egyéb tekintetben teljesen normális szervezetük van. Már a régibb időkben is, amikor a siketnémák külön nevelésben nem részesültek, a társadalomnak hasznos tagjaivá váltak. Az ember testi műveleteit éppen olyan jól, sőt sokszor jobban tudták elsajátítani, mint a beszélni tudók. Kitünő iparosok, mérnökök, tudósok és művészek váltak belőlük. Ezekre gondolva egészen jogosan azt állíthatjuk, hogy az említett eset bekövetkezésekor

az emberi élet zökkenések, zavarok és eltolódások után, noha lassúbb iramban, tovább folytatódhatnék. Az iparos beszéd nélkül egyszerű megmutatással megtaníthatná inasát, hogyan kell cipőt készíteni, ruhát varrni, vasrudakból eszközöket kikalapálni. A mérnök ugyancsak megmutatással megtaníthatná munkásait arra, hogyan kell az olvasztókemencét megrakni ércekkel és koksszal, hogyan kell az égési folyamatot szabályozni, miről lehet az olvadás megtörténtét megismerni? Ugyanez történhetnék minden műveletnél. A tanítás nehezebben menne, hosszabb ideig tartana, de nem volna lehetetlen.

Ha az emberiség kezdettől fogva siket-néma emberek alakjában fejlődött volna ki, akiknek beszélő és hallószerveik nincsenek, az ember testi műveletei akkor is kialakulhattak volna és az idők folyamán a jelbeszédnek bizonyos faja is bizonyára feltaláltatott volna, amely az érzékszervi és műveleti tapasztalatokat szimbólumszerűen jelölné. Bizonyára absztrakt fogalmak is kialakultak volna és megkapták volna a maguk szimbólumát is, amely a szó helyett azt képviselné.

E kérdéssel és a reá adott felelettel még nyomatékosabban akarunk rámutatni arra az alapvető szerepre, amelyet az ember testi műveletei a szellemi kifejlődésben általában, a fizikai tudományban pedig kiváló módon visznek. A fizikai kutatások folytatódhatnának és kifejlődhettek volna beszéd nélkül is, de nem az ember testi műveletei nélkül. A beszéd kényelmes eszköz, de nem alapvető szükséglete a fizikai tudományoknak.

# III. A GONDOLKODÁS FOLYAMATAI ÉS FORMAI.

Az emlékképeken kívül lelkünk még más elemeket is tartalmaz, olyanokat, amelyek nem származnak közvetlenül a tapasztalatból, hanem forrásuk magában az elmében van. Segítségükkel a tapasztalati ismeretek osztályozódnak, rendeződnek, magasabb keretekbe foglalódnak, és közöttük sokfelé ágazó kapcsolatok jönnek létre. E mondatban szereplő osztályzás, rendezés, keretbefoglalás, kapcsolatbahozás kifejezések szintén ilyen fajtájú fogalmakat jelölnek. Nélkülök nem is tudnók kifejezni azt, amiről itt szó van.

Már a kezdetleges embereknek és a nagyobb tanultságon át nem ment egyszerű embereknek is vannak ilyen fogalmaik. Számuk a kezdő foknak megfelelően még kicsiny. Az ilyen embereknek még kevés ilyen lelki elemre van szükségük ahhoz, hogy tapasztalati ismereteiket rendezzék és a köztük lévő kapcsolatokat meghatározhassák. A megismerés terjedelmének és hatóképességének növekedésével fokozatosan emelkedik a számuk. Az értelem szintjének fokát éppen az ilyen magasabbrendű fogalmaknak a száma szerint lehet megítélni.

A magasabbrendű fogalmak az egyes tudományok csontvázát alkotják. Ez tartja össze az ismeretek sokaságának különféle alakú, tartalmú és eredetű elemeit. Ez teszi lehetővé a köztük lévő eligazodást, a megismerésnek az ember számára hatóerővé való válását.

Általában absztrakt és szintetikus fogalmaknak szokás őket nevezni. Az elsők a tapasztalati fogalmakból az absztrahálás folyamatával keletkeznének oly módon, hogy az elmében a tapasztalati fogalmak lelki elemei egymástól elkülönülnének, egyesek elmaradnának, mások újabb egységbe fűződnének össze. Viszont a szintetikus fogalmak az elme önkényes alkotásának volnának az eredményei.

Közöttük azonban szabatos határvonalakat húzni nem lehet. Az absztrakt fogalmak is tartalmaznak elemeket, amelyeket az elme saját önkényes elhatározásából fűz a fogalomhoz és a szintetikus fogalmak sem teljesen az elme önkényes elhatározásának eredményei, mert csak a már meglévő elemekből — noha önkényes választás útján — alkothatók meg.

A magasabbrendű fogalmak keletkezésének kérdése sok-

kal bonyolódottabb, semhogy ilyen egyszerű szkémával el volna intézhető. Bizonyos, hogy az egyéni elmében lefolyó gondolati folyamatoknak kis szerepük van megalkotásukban. Itt azok a hatók működnek, amelyek az egész emberi szellemet alakítják. Az egyén elméje csak egy parányi kis része a folyamatnak és úgy működik, ahogyan az egész emberiséget magában foglaló folyamat őt irányítja. Az egyéni elme — noha úgy tűnik fel, hogy saját elhatározásából alkotja meg a maga fogalmait — a valóságban úgy alkotja meg azokat, ahogyan az egész emberi fejlődést átölelő nagy folyamat ezt neki előírja.

A fizika magasabbrendű fogalmait nemcsak a tudományos életben, hanem a technikai, a mindennapi és a szellemi életben is folyton használjuk. Jelentésük talán személyek szerint bizonyos kisebbfajta változásokat mutat, azonban tudományos fejlődésük főbb vonalai megállapíthatók.

Úgy vizsgálhatjuk őket, ahogyan a botanikus vizsgálja a különféle növényeket. Ezek is, azok is hosszú időkre terjedő fejlődésnek az eredményei. Különféle alakban jelentkeznek, de mindegyiknek megvan a saját külön élettörténete. Ezek is, azok is különféle osztályokba sorolhatók. Így szempontokat kapunk kialakulásuk miként jének a megállapítására és a létrehozó gondolati folyamatoknak a megismerésére.

1. *A fogalompárok és a szétválasztó gondolati folyamat.*

A magasabbrendű fizikai fogalmak között mindenekelőtt bizonyos fogalompárok szerepelnek, amelyek egymáshoz vannak kapcsolva, sokszor egymást kiegészítik, noha a legtöbbször úgy tünnek fel, mintha egymásnak ellentétei volnának. Kialakulásukat a szétválasztó (diszjunktiv) gondolati folyamatnak köszönhetik. Úgy képzelhetjük, hogy az emberi elmében mindenekelőtt a különbségek és az ellentétek válnak tudatossá, amelyek az érzetek és a művelettudatok egyes alkotó elemei között vannak, azért tehát szétválnak, külön fogalmakba egyesülnek, de összetartozandóságuk tudata megmarad. A legelsők azok lehettek, amelyek az ember tagjainak mozgásával és a külső tárgyak mozgatásával kapcsolatban keletkeztek. Bennük tudatossá vált az, hogy az ember teste szimmetrikusan van felépítve. E mondatban szereplő szimmetria szó egy későbbi még magasabbrendű fogalmat jelent, amely ma már közhasználatúvá vált, de nyilvánvaló, hogy kialakulásához éppen ama fogalompárok voltak szükségesek, amelyekről itt szó van.

E fogalompárok a következők:

jobbra—balra
előre—hátra
fel—le.

A fejlődés későbbi folyamatában e fogalompárokhoz fűződő megismerés kivitetett a külvilágba, eredményei a következő fogalompárok:

kelet—nyugat
észak—dél
zenit—nadir.

Mindkét fogalomcsoportból egy magasabb fogalom, a derékszögű koordinátarendszer fogalma alakult ki. Ez is kivitetett a világűrbe és kialakultak a csillagászati koordinátarendszerek.

Ugyancsak az ember műveleteiből alakultak ki a következő fogalompárok: közel—távol, rövid—hosszú, kicsiny—nagy, alacsony—magas, keskeny—széles, vékony—vastag, könnyű—nehéz.

Kialakulásukban a műveletek mellett az érzékszervi érzetek is szerepet játszottak. Még nagyobb mértékben történt ez a következő fogalompárok kialakulásánál: nyugvó—mozgó, szilárd—folyékony, sűrű—ritka, Ég—Föld. Mindezek később a térfogalom kialakulásának váltak az alapjaivá.

Tisztán az érzetek különbözőségére vezetendő vissza a következő fogalompárok kialakulása:

világos—sötét
meleg—hideg
száraz—nedves.

A fejlődés későbbi folyamataiban a világos—sötét fogalompárból a fény—árnyék fogalompár alakult ki.

Különféle érzetekből alakultak ki a következő fogalompárok: nappal—éjszaka, nyár—tél, tavasz—ősz. Belőlük és az ember művelettudatából alakult ki az

előbb—utóbb

igen nevezetes elemi fogalompár, amely a mult—jövő, állandó—változó, keletkezés—elmúlás, kezdet—vég, születés—halál, halandó—halhatatlan fogalompárok kialakulásához hozzájárult. Mindezek később az idő fogalmába olvadtak bele.

A jón természetfilozófusok a tudományelőtti fogalompárokhoz a sűrűsödés—ritkulás, látszat—valóság fogalompárokat csatolták és belőlük csináltak maguknak világképet. Az ókori tudományosság legnagyobb képviselője, Arisztotelesz, a könnyű—nehéz, a hideg—meleg, a száraz—nedves, az anyag—forma, az Ég—Föld, a mindenség középpontja—külső határa, a természetes—mesterséges fogalompárokra alapította világfelfogását. Kopernikus és Kepler világrendszerében az állócsillag—bolygócsillag, az egyszerűség—bonyolódottság fogalompárjai vitték a főszerepet.

Newton dinamikája a változatlan tér—egyenletesen változó idő, a nyugvás—mozgás, az egyenletes mozgás—változó mozgás, a szabad—kényszermozgás, a haladó—forgómozgás, a tétlenség—mozgatóerő, a centripetális—centrifugális erő, a vonzó—taszító erő, az akció—reakció, a ponderábilis—inponderábilis tömeg fogalompárokon épült fel. Később hozzájuk járult a mozgási—helyzeti energia fogalompárja, amely azután az aktuális—potenciális energia, a szabad—kötött energia fogalompárokká általánosodott. Hozzájárultak még az energia megmaradás—szétszóródás, a konzervatív—disszipatív rendszerek, a megfordítható—megnemfordítható folyamatok, a közel—távolhatás és a legújabb időkben a helyi—távolsági idő fogalompárjai.

A fizika egyéb részeinek tanulmányozásánál is újabb és újabb fogalompárok keletkeztek és éppen a legalapvetőbb jelenségcsoportok megismerésénél tüntek fel. Ha sikerült leírásukra a megfelelő fogalompárt megalkotni és kifejező szavakkal elnevezni, akkor a felfedezések és találmányok hosszú sora indult ki belőle. Az elektromosság tanának tüneményes fejlődése tulajdonképen akkor indult meg, amikor a 18. század közepe táján a vezető—szigetelő és a pozitív—negatív elektromosság fogalompárokat sikerült megalkotni. Idetartozó ismereteinknek túlnyomó nagy részét ma is e fogalompárokkal fejezzük ki. Hogy a vezető—szigetelő fogalompár valóban valami mélyen fekvő megismerést fejez ki, mutatja az, hogy a hőtanban és a hangtanban is széleskörű alkalmazása van.

A fizikának más ágai is akkor kezdtek fejlődni, amikor a kutató elmék jó érzékkel megtalálták azt a fogalompárt, amely a jelenség lényeges részeit magába foglalja. A vegytan valóban szintén tüneményes fejlődését annak köszönheti, hogy a 18. század második felében sikerült megalkotni az elem—vegyület és a vegyülés—bomlás fogalompárokat. A vegytani tapasztalati ismereteknek az elemek periodikus rendszerébe való összefoglalása is a pozitív—negatív fogalompárt használja fel. Az atomfizikának ez az egyik tapasztalati alapja.

A fénytan leglényegesebb törvényei a fénykibocsátás—fényelnyelés fogalompárhoz fűződnek. Az atomfizikának második fontos tapasztalati alapja e fogalompáron nyugszik.

A hőtan a tágulás—összehúzódás, a melegedés—lehűlés fogalompárok kialakulása után kezdte meg nagyméretű fejlődését, amikor is ezek alapján a hőmérő megalkotódott.

Az egyenlő—különböző, az egész—rész és az állandó—változó fogalompárok már a tudomány előtti korban alakultak ki és azóta minden természettudományi megismerésnek nélkülözhetetlen elemei. Az egész számok kitalálása és a számlálás művelete is belőlük indult ki, ezek pedig tovább fejlődve kifej-

lesztették a matematika tudományát. Itt is számos fogalompár alkotódott meg, ilyenek: az egész—tört, összeg—különbség, szorzat—hányados, pozitív—negatív, racionális—irracionális, valós—képzetes, független—függő változó, véges—végtelen, végtelen kicsiny—végtelen nagy, differenciál—integrál, megszámlálható—megszámlálhatatlan, folytonos—szakadásos. Az első három fogalompár ma is a mathematikai gondolkodásnak legfőbb formáját és kifejezésének leggyakrabban használt eszközét adja. Ez a három ős fogalompár teszi a matematikát a fizikai gondolatok legfőbb kifejezési formájává.

Az ember jogi, etikai, filozófiai fogalmai között is számos fogalompár van. Ezekre ki nem terjeszkedve csupán néhány olyan filozófiai fogalompárt emelünk ki, amelyek a fizikai megismerésben is sokat szerepelnek. Ilyenek látszat—valóság, szubjektív—objektív, tapasztalat—gondolat, dedukció—indukció, analízis—szintézis, apriori—aposteriori, ok—okozat, determinizmus—indeterminizmus, abszolút—relatív.

Fogalmaink ugyan halhatatlanok, azonban értékelésük erős változásoknak van alávetve. A fogalompárokkal is ez történt. Az ősi korban a sötétség—világosság, a szárazság—nedvesség, a hidegség—melegség nem egyszerű, fenomenális tapasztalati fogalmakat jelentettek csupán, hanem megtárgyasítva metafizikai lényegekké is váltak s mint ilyenek, ködszerű alakzatok módjára leszállhattak, szétterjedhettek, felemelkedhettek, összehúzódhattak és eltűnhettek. Arisztotelesz a hidegség—melegség, szárazság—nedvesség fogalompárjait magasabbrendű formai elvnek tekintette, amelyek az anyag létformáit határozzák meg. A könnyű—nehéz, az Ég—Föld, a mindenség középpontja—külső határa, a természetes mozgás—mesterséges mozgás fogalompárokat is olyan magasabbrendű elvnek tekintette, amelyek világfelfogásának kialakításában döntő szerepet vittek.

A fejlődő tudomány a fogalompárokban megnyilatkozó minőségbeli különbségeket fokozatosan megszüntetni és mennyiségbeli különbségekkel helyettesíteni törekszik. A világosság—sötétség, a szárazság—nedvesség, a hidegség—melegség is elvesztette metafizikai jelentőségét, sőt minőségbeli ellentétességét is és a fény, a víztartalom, a hőmérséklet számbelileg kifejezhető mértékévé vált. Más fogalompárokból a szimmetria, a koordinátarendszer, a tér, az idő, az anyag fogalmai alakultak ki, amelyek mérhető mennyiségek és számokkal jellemezhetők. Arisztotelesz könnyű és nehéz testei is elvesztették ellentétességüket és felismertetett, hogy minden test nehéz; nem minőségbeli, csak mennyiségbeli különbség van köztük. Megszünt az Ég és a Föld, az égi és a földi, a természetes és a mesterséges mozgások ellentétessége is és valamennyien egységes tör-

vények uralma alá sorozódtak. A mindenség középpontja pedig a Földről a Napba, innét a Tejútrendszer középpontjába tolódott, amíg teljesen el nem vesztette jelentését. Más jelenségkörökben is a törekvés odairányul, hogy a fogalompárokban megnyilatkozó ellentétesség és szimmetria valamilyen magasabbrendű fogalomba olvasztassék bele.

De hogy a szétválasztó gondolati folyamat ma is élő erő, azt a fizika további fejlődése számos esettel bizonyítja. Egyes fogalompárok eltüntek, de helyükbe újak jöttek.

Bármily nagy volt is az energia megmaradása elvének az értékelése, általánosan csak úgy volt fenntartható, ha hozzácsatoljuk az entropia folytonos növekedésének elvét, amely az energia megmaradásával szemben annak szétszóródását mondja ki. A fényjelenségeknek a fénysugárral való leírásához a fényhullámokkal való leírást kellett hozzácsatolni. Az okság fogalmát a kozmikus szabályszerűség fogalmával kellett kiegészíteni. A determinizmus mellé az indeterminizmust is be kellett vezetni. A meghatározottság mellett a véletlen is jogot kapott arra, hogy a történések létesítésében szerepet vigyen. A részecskefogálom a hullámfogalommal társult, a matrix mechanikát, amely a szakadásosság fogalmán épül fel, össze kellett házasítani a hullámmechanikával, amely a folytonosság felé állítja helyre a kapcsolatot.

A pozitív—negatív elektromosságok fogalompárja a 18. század közepétől kezdve hatalmas hatásképességű segédeszközt adott az elektromos jelenségek leírásához. Azonban az újabb kutatásoknak negatív elektronja és a sokszorta nagyobb tömegű pozitív protonja a két ellentétes tulajdonságú elektromos elem közti szimmetriát megbontotta. Annak megigéző volta annyira hatott Dirac-ra, hogy a pozitív energiás állapotok mellé, amelyeknek egyedül van értelmük, negatív energiás állapotok lehetőségét is feltételezte, amelyeknek egyáltalában nem lehet értelmet adni és ezen az úton sikerült neki a negatív elektron mellé az ő szimmetrikus fogalompárját, a pozitív elektront megállapítani.

Bohr a nehézségeket, amelyekbe a kvantummechanika ütközött, a *komplementer* fogalmak bevezetésével gondolta elhárítani. Ilyenek az elektron helye és mozgásmennyisége, ugyanannak energiája és ideje, „spin"-jének két különböző impulzuskomponense. A két komplementer mennyiség közül vagy az egyik, vagy a másik határozható csak meg teljes pontossággal, vagy pedig mindegyiknek elmosódott értékével kell megelégednünk. Bohr szerint a valóságnak két komplementer arculata van, amelyek különböző síkokon vannak és soha sem lehetnek egy síkon, vagy az egyiket látjuk pontosan, vagy a másikat, de mindkettőt csak a bizonytalanság ködével körülvéve

Bohr komplementer fogalmai nem új dolgok, mert nem egyebek, mint összetartozó fogalompárok, tehát a legősibb emberi gondolatfolyamatoknak a termékei. Amit Bohr a komplementer fogalmakkal való leírásról mond, az alkalmazható bármilyen más összetartozó fogalompárral való leírásra is.

A fogalompárok egyes tagjai ellentétes lelki tartalmakat látszanak feltüntetni. Az ellentétesség azonban legtöbbször nem lényeges. Sokkal lényegesebb az, hogy a két fogalom össze van kapcsolva (korrelativok, komplementerek), tehát olyan lelki tartalmakat tüntetnek fel, amelyek ugyanannak a megismerésnek két részét alkotják, egymást kiegészítik és egymás nélkül értelemmel nem bírnak. Így például az állandó—változó fogalompár két tagja, noha ellentétes lelki tartalmakat látszanak feltüntetni, mégis egymást kiegészítik. Ha nem volna állandó, akkor a változót sem lehetne meghatározni és ha nem volna változó, akkor az állandónak sem volna értelme [*89*, 80]. Nincs csak állandó és csak változó, hanem a kettő együtt van, és a változót is csak bizonyos állandókkal tudjuk kifejezni.

A tapasztalat kényszeríti-e reánk a fogalompárokat, vagy pedig gondolkodásunk egyik sajátsága nyilatkozik-e meg bennük? A kérdés maga is korrelatív és ilyen alakban való feltevésével már a felelet is benne foglaltatik. A tőlünk független természet és gondolkodásunk között szintén korrelatív viszony van, ugyanolyan, amilyen például az állandó—változó fogalompár két tagja között. Noha ellentéteseknek látszanak, egyik a másikat mégis feltételezi. A tőlünk független természet gondolkodásunknak a tárgya, tehát csak a gondolkodás által jut a tudatunkba. Ha nem volna gondolkodásunk, a tőlünk független természetről sem tudhatnánk meg semmit. Viszont ha nem léteznék tőlünk függetlenül a természet, akkor gondolkodásunk sem volna, mert nem volna tárgya.

A természet és a gondolat részesedése az egyes fogalompárok kialakulásában nem mindenütt ugyanaz. Bizonyos esetekben a természet viszi a főszerepet, így pl. a nappal—éjszaka, a nyár—tél, a világosság—sötétség és a hozzájuk hasonló fogalompárok kialakulása közvetlenül a tapasztalatból adódik, mert e fogalompárok bele vannak szövődve testünkbe és életünkbe. Viszont más fogalompárok kialakulásában a gondolkodás sajátságai nyilvánulnak inkább meg. Gondolkodásunk sokszor mozog ellentétek között. Szinte pillanatok alatt cikázik fel a tudatban valamely lelki tartalom és az ellenkezője. Az emberi szellem különböző gondolatai ellenkező végletek között verődnek oda—vissza. Amikor a gondolkodó valamilyen megismerési tárgyat meg akar határozni, a legegyszerűbb eljárás a tudat színe előtt megjelenő lelki elemeket szétválasztani és egy fogalompár két tagjába tömöríteni.

## 2. *A határfogalmak.*

A tudomány legfontosabb fogalmait a határátmeneti gondolati folyamat hozza létre. Az ily módon keletkezett határfogalmak absztraktak ugyan, azonban a tapasztalati fogalmakkal való kpcsolatuk általában nyiltan és világosan van meg tudatunkban. A legtöbbször ismeretes az a tapasztalati fogalom, amelyből a határfogalom kialakult. Ebben a gondolati fogalomban nem is történik más, csupán az, hogy a tapasztalati fogalomban lévő valamely ismertető jel elmarad, nullává vagy végtelenné válik. A példák meg fogják világítani.

A legközönségesebb érzékszervi érzetekből és műveleti tudatokból kialakult a szilárd testnek mint olyan testnek a fogalma, amely külső hatások következtében alakját nagy közelítéssel megtartja. Az utóbbi jelnek elmaradásával kialakult a *merev* testnek mint olyan testnek a fogalma, amelynek alakja külső hatások következtében egyáltalán nem változik meg. Egyébként pedig a merev test a szilárd test fogalmának minden fogalmi jegyét tartalmazza. A merev test a valóságos tapasztalatban nem fordul ugyan elő teljes pontossággal, mégis vele a tapasztalatot nagy közelítéssel leírhatjuk. A mechnika tételeinek nagy részét a merev testekre mondja ki. Ez az alapja a hosszúságmérésnek és minden más mérésnek.

A tapasztalatban szereplő testek egy része többé-kevésbbé rugalmas, vagyis alakjukat a külső erő megszüntével bizonyos határok között többé-kevésbbé visszanyerik. Ebből a tapasztalatból kialakult a *tökéletesen rugalmas* test határfogalma, amely alakját a külső erők megszünte után minden feltételtől függetlenül teljesen visszanyeri. A rugalmasságtan tételei ilyen testekről szólanak.

A fizikus kutató szemei előtt sokszor tűnnek fel bizonyos törvényszerűségek, azonban az a meggyőződése is támad, hogy azok azért nem mutatkoznak teljes pontossággal, mert más testek hatásai zavart idéznek elő. A határátmeneti gondolati folyamat tehát megalkotta a *zárt* rendszernek mint olyan rendszernek a fogalmát, amely független a világ többi részétől. A valóságos tapasztalatban ilyen rendszer nincs. Azonban a tapasztalat közelítő leírásába nagy egyszerűségeket hoz be. Általános nagy elveinket tehát zárt rendszerekre mondjuk ki.

A folyadék tapasztalati fogalmából, elhagyva a kis mértékű összenyomhatóság és a belső surlódás tapasztalati jegyeit, kialakul az *ideális folyadék* határfogalma, amely összenyomhatatlan és surlódás-mentes. A hidrodinamika nagy része e fogalmon épül fel.

A tapasztalatban előforduló minden gáz térfogata bizonyos hőmérsékleti határok között fordítva arányos a ráható

nyomással. A határátmeneti gondolati folyamattal ebből kialakult az *ideális gáz* fogalma, amelynek térfogata minden hőmérsékleten fordítva arányos a külső nyomással. E fogalom az alapja az aerodinamika egy részének és az abszolút nullafoktól számított hőmérsékleti skálának.

Általános tapasztalat, hogy a mozgó testek sebessége irány és nagyság szerint annál kisebb mértékben változik, minél kisebbek az ellenálló akadályok. E tapasztalatokból a határátmeneti gondolati folyamattal kialakult a *tétlenségi törvény,* amely szerint a mozgó test sebessége irány és nagyság szerint megmarad, ha nincsenek ellenálló erők. E tétel az egyik alapja a newtoni fizikának.

A tapasztalat azonban azt mutatja, hogy itt a Földön mindíg vannak ellenálló erők. A határátmeneti gondolati folyamattal kialakult a *vákuum,* vagyis olyan tér fogalma, amelyben nincs anyag és nincsenek ellenálló erők. E fogalom az alapja az égi mechanikának és az egész makrokozmikus fizikának. Az alkotásra beállított emberi elmék itt a Földön is meg akarták valósítani és erre való törekvésükben számos új megismerésre tettek szert. A légszivattyúk, a különféle gázok, a katódsugarak, az anódsugarak, a röntgensugarak, az elektroncső és ennek révén a rádió, a fényérzékeny cella és ennek révén a hangos film, a villamosvilágítás a vákuum fogalmának, tehát egy, a valóságban soha elő nem állítható absztrakt fogalomnak köszönhetik a létüket. Az anyag kinetikus elméletének és az atomszerkezetek tanának is e határfogalom az egyik alapja.

Határátmeneti gondolati folyamattal alakult ki az *abszolút fekete test* fogalma, amely a reáeső sugárzó energiát teljesen elnyeli és Kirchhof tétele értelmében egyszersmind a legtökéletesebben sugároz is. Ez az alapja a sugárzó energiára vonatkozó méréseknek és tételeknek. Egyszersmind kiinduló fogalma a kvantumelméletnek.

A zárt edényben keletkező hőnek egy része az edény falain keresztül közlődik a kívül fekvő testekkel, vagy fordítva ezekből hő megy át a zárt edénybe. E tapasztalati elemeknek elhagyásával kialakul az *adiabatikus folyamatok*nak, vagyis az olyan folyamatoknak a fogalma, amelyek nem kapnak hőt a környezettől és nem küldenek hőt oda.

Az *egyenletesség* az emberi elmének e legmélyebben fekvő fogalma a fizika sok részében különféle alakban szerepel. Már az ókorban alakult ki a csillagok mozgásának szemléletéből az *egyenletes körmozgás.* A görög filozófusok szerint ez a legtökéletesebb mozgás. A kifejezésbeli szuperlativusz mutatja, hogy határátmeneti gondolatfolyamatnak az eredménye. Az egyenletes mozgásnak nincs is más meghatározása. A közismert meg-

határozás, amely szerint a mozgás egyenletes, ha a pont egyenlő időkben egyenlő útat fut meg, nem igazi meghatározás, mert körbenforgáson alapszik. Az egyenlő időközöket ugyanis megint csak olyan mozgással jelölhetjük ki, amelyet egyenletesnek gondolunk.

Az egyenletességnek további származékai az *egyneműség* (*homogénitás*) és az *egyöntetűség*, (*izotropia*). Ezek is a határátmeneti gondolati folyamatnak az alkotásai.

Ugyanilyen eredetű az *abszolút* fogalma. A filozófiában tömérdek sok gondolat fűződik hozzája. Meghatározására csupa szuperlativuszok alkalmaztatnak. Az abszolút a legelső ok, a legvégső cél, a legtökéletesebb eszme, a legmélyebben fekvő elv, a tökéletesen önálló, a mindentől független, a csak magától létező, a mindíg érvényes, az örökké meglevő, az örök igaz.

A matematika számos fogalma szintén a határátmeneti gondolati folyamatok működésének az eredménye. Minket itt különösen csak a *pont*, az *egyenes*, a *sík* és a *kör* fogalma érdekel. A négy fogalom nem származik közvetlenül az érzékszervi tapasztalatból. Azonban könnyen lehet megjelölni azokat a műveleteket, amelyekkel az ember a határátmeneti gondolati folyamattal ezekhez eljutott. A kezdetleges ember egyik legelső találmánya a zsinór lehetett. A mesteremberek nagy száma ma is kifeszített zsinórt használ egyenesek kijelölésére, távolságok mérésére, körök rajzolására. Azután feltaláltatott a vonalzó, a körző és az ezekkel való rajzolás művelete. Ezekkel szerzett tapasztalatokból alakult ki határátmeneti gondolati folyamattal a pont, az egyenes, a sík és a kör.

Tömérdek sok matematikai és fizikai ismeret adja meg az alapjukat. Talán azért van ez így, mert a műveletek, amelyekből e fogalmak kiabsztrahálódtak, egyszersmind a matematikai és fizikai ismeretek megszerzésében is folyton szerepelnek. Hozzájárulhatott az a körülmény is, hogy absztrakt voltuk dacára élénken elképzelhetők. A keménység, a lágyság, az erő, az energia, a tömeg fogalma például csak hosszabb reágondolás után nyer képzeti alapot, de azok az illető fogalmak igazi tartalmától még így is messze állanak. A pont, az egyenes, a sík és a kör fogalma azonban oly szemléletes emlékképekkel van szorosan egybekapcsolva, amelyek nagy mértékben megközelítik a hozzájuk fűződő lelki tartalmat. Az az ember, aki sokszor rajzolt síkon pontokat, egyeneseket, köröket, e fogalmakat valóságos tapasztalati fogalmaknak foghatja fel.

Rajtuk épült fel az euklideszi geometria, a fizika matematikai alakban megfogalmazott tételeinek az alapja.

Descartes kezdeményezésére a matematikusok, fizikusok és csillagászok gondolatvilágában kialakult a derékszögű koordinátarendszer fogalma, ebben minden pontot két, illetőleg

három távolsággal lehetett meghatározni, a szerint, hogy a pont a síkban, vagy a térben volt-e. Szinte kényszerítő erővel kialakult a szokás, amellyel a görbe vonalaknak és a pont mozgásainak sajátságait a koordináták közötti összefüggésekkel állítjuk elő. Ennek folyományaképpen a határátmeneti gondolati folyamat kialakította világfelfogásunk alapképzetét, azt, hogy a *tér pontok egymásmellettiségéből, az idő* pedig *időpillanatok egymásutánságából* rakódik össze.

Nagyon jellemző történeti adat, hogy a newtoni fizika eleinte a pont, illetőleg az időpillanat határfogalmát csupán a tér és az idő fogalmával kapcsolatban használta, de az anyagra még nem terjesztette ki. Lagrange, Euler, d'Alembert még kis testecskékről (petits corps) beszélnek ott, ahol a tudomány később az anyagi pont szót használja. Úgy látszik, Laplace volt az első, aki az anyagi pont (point matériel) szót kezdte használni a nélkül, hogy értelmét külön meghatározással megállapítani szükségesnek tartotta volna.

A pont a matematikának és a fizikának a legtöbbször és a legtöbbféleképpen használt fogalmává vált. Anyagi pont, tömegpont, erő támadópontja, mozgó pont, lengő pont, rezgő pont, keringő pont, súlypont, lengési középpont, felfüggesztési pont, alátámasztási pont, a hullám kiinduló pontja, világító pont, képpont, gyujtópont, optikai középpont, közelpont, távolpont, sugarak találkozási pontja, a pont energiája, mozgásmennyisége, impulzusa, elektromos töltése, stb. valamennyi határátmeneti gondolati folyamatnak az eredménye.

A pont fogalma beleevődött a fizika szerkezetébe. Laplacenak a Mécanique céleste-ben adott felfogása szerint a fizika feladata a természeti jelenségeket visszavezetni pontokból kiinduló vonzó és taszító erők hatására, amelyek csak a távolságtól függnek. A dinamika e felfogásnak megfelelően elveit pontokra vonatkoztatva mondja ki és ebből az alapból kiindulva terjeszti ki a merev testekre. Minden mozgás tulajdonképpen vissza van vezetve pontok mozgására, amelyek között változatlan kapcsolatok állanak fenn.

A harátmeneti gondolati folyamatnak legnevezetesebb alkotása a *differenciálhányados* és az *integrál*. Velük a matematika olyan segédeszközöket kapott, amelyekkel nagy jelentőségű új eredményekhez lehetett jutni. Belőlük alakult ki a matematika leghatalmasabb diszciplinája, az analízis. Az egész így támadt új gondolati világot valójában ez a két új határfogalom jellemzi. Velük a fizika is elvei, axiómái, fogalmai részére új kifejezési módokat, problémáinak megoldására új számítási eljárásokat nyert. A differenciál- és integrálszámítás révén vált a természettudományi megismerés matematikai jellegű tudománnyá.

A határfogalmakban a képzelőerő, a logika és a matematika egyesül a tapasztalattal. Azért minden időkben a határfogalmak adták a legtöbb táplálékot a képzelő erőnek.

Gondolatokat indító szerepük a relativitás elméletében is megnyilatkozik. Ez is pontfizika, sőt sokkal nagyobb mértékben az, mint a newtoni fizika. Benne a tér és az idő fogalmai egy újabb határfogalomban, a *világ* fogalmában egyesültek. Ennek megfelelően a geometriai pont és az időpillanat fogalmaiból a *világpont* vagy a *pontesemény* határfogalma kovácsolódott ki. Róla tapasztalati úton tudomást pontok egybeesésének (koincidenciájának) megfigyeléséből szereznénk. E felfogás szerint a tapasztalati megismerés nem volna más, mint pontok egybeesésének észlelése. A világ történései pontesemények sokaságából tevődnének össze. Olyanformán kell ezt képzelni, ahogyan az egyenest pontokból állóknak gondoljuk. Nyilvánvaló azonban, hogy a mesterségesen alkotott pontesemény határfogalmához nem fűződnek olyan határozott képzetek, amilyenek a pont fogalmához fűződnek.

A logikai továbbfűzés itt nem állapodott meg. A távolság és az időköz fogalmából összeszerkesztődött az *intervallum* fogalma. Két szomszédos pontesemény közötti kapcsolatot jelent ez, amelyet egy szám, illetőleg a vele egyenlő matematikai kifejezés jellemez. Azonban e szavak nem fejezik ki azt, amit a relativisták az intervallum szóhoz fűzni akarnak. Náluk e fogalom főszerepet játszik. Mögötte az a gondolat húzódik meg, amely szerint benne a megfigyelő és a természet közti kapcsolatnak minden észrevevéstől független belső lényege nyilatkozik meg. Azért oly fontos nekik a természettörvényeknek olyan matematikai kifejezésekkel való előállítása, amelyekben az intervallum tetszésszerinti mozgórendszerre való áttérésnél invariáns marad.

Einstein gondolati világa folyton a határfogalmakhoz fűződő képzetek körében jár. A legkülönlegesebb tapasztalati eljárásból rögtön át tud ugrani a legszélsőbb és a legabsztraktabb határfogalomra. Ahogyan a mutatóleolvasások tapasztalati képzeteiből meg tudta alkotni a pontesemény absztrakt határfogalmát és ahogyan ezekből minden történést össze tudott rakni, ugyanúgy járt el más esetekben is. A mozgás tapasztalati fogalmából át tudott ugrani olyan gondolati világra, amelyben nem a kocsik mozognak a Földön és nem a kövek esnek a Földre, hanem a Föld mozog a kocsikhoz és esik a kövekhez képest.

Különösen gondolati kísérleteiben, amelyeken a relativitási elmélet képzetei tulajdonképen alapulnak, nyilatkozik meg határfogalmakat alkotó gazdag képzelő ereje és ezeken alapuló logikája. Minden földi észlelésből és mérésből határfogalmat

csinál és kivetíti a világűrbe. El tudja képzelni, hogy a világűrben mindenütt vannak a földiekhez hasonló észlelők, méterrudak, szynchrón járó órák, a fényforrás és a tükör között ideoda járó fénysugarak. Az észlelőkkel meg tudja határoztatni a mellettük óriás sebességgel elrohanó testek tér és időméreteit. Sőt el tudja képzelni, hogy az egymás mellett elrohanó égitestek egymásnak jeleket tudnak átadni, amelyekből a tudósok meg tudják állapítani, hogy a másik égitesten milyen hosszmértékkel és milyen időmértékkel mérnek.

A világűrben óriási, mozgó ládát tud elképzelni, amelynek egyik falából fény indul ki a szemközt lévő fal felé s a két falra tett impulzusaiból a tömeg és az energia közti egyenértékűségre tud következtetni. Semmi nehézséget nem okoz neki a gondolat, hogy a mozgó testek méretei és időmértékei — harmonikaszerűleg — majd összehúzódnak, majd kitágulnak, sőt nulla méretre is összehúzódhatnak és az idő is megállhat. Világűrbeli liftet tud elgondolni, amely gyorsuló mozgásával a nehézségi erőnek minden jellemző tünetét az észlelőben fel tudja kelteni. Világűrbeli folyadéktömegeket tud képzelni, egymástól akkora távolságra, hogy a közöttük működő nehézségi erő elenyészőnek legyen tekinthető és mégis lehetségesnek tartja, hogy az egyiken élő megfigyelő a két testnek egymásra vonatkoztatott forgását észlelni tudja, sőt azt is lehetségesnek tartja, hogy mindkét folyadéktömegnek méreteit méterrúddal fel tudja mérni és meg tudja állapítani, hogy az egyik gömbalakú, a másik pedig ellipszoid.

A tudomány a gondolati kísérletekkel valóban számos értékes megismeréshez jutott. Szinte klasszikusoknak nevezhetők azok a gondolati kísérletek, amelyekkel Archimedesz, Galilei, Huygens, Lagrange az emelő, Stevin a lejtő, Lagrange a virtuális elmozdulások elvét megállapította. A legnagyobb jelentőségű az a gondolati kísérlet, amellyel Mayer Róbert az állandó nyomás és az állandó térfogat melletti fajhők ismeretéből a mechanikai munka hőegyenértékét kiszámította. Ugyanilyen jelentőségűek Carnot körfolyamatában szereplő gondolati kísérletek.

Ezek a gondolati kísérletek meglevő tapasztalatokat használtak fel. A bennük szereplő eszközök és folyamatok a tapasztalatnak teljesen megfelelnek és csak közelítőleg megvalósítható folyamatokra vonatkoznak. A sikerek, amelyeket ezáltal el lehetett érni, azután olyan gondolati kísérletekhez vezettek, amelyek elgondolhatók ugyan, de közelítőleg sem valósíthatók meg. A tapasztalat és a fizikai tartalom tehát belőlük teljesen elpárolgott.

A fizika fejlődése folyamán számos ilyen csupán csak gondolati játéknak tekinthető, de fizikai megismerést nem hozó

gondolati kísérlet eszeltetett ki. Ilyen például a Delbeuf-től származó is, amelyet a matematikusok, közöttük Poincaré is [*100*, 97] a térméretek relatív voltának bizonyítására fel szoktak hozni. E szerint mi emberek nem vennők azt észre, ha a teremtő a világegyetem összes méreteit bizonyos pillanatban pl. milliószor nagyobbá tenné úgy, hogy minden milliméterből kilométer válnék.*Ugyanezt a gondolatot még úgy is kifejezték, hogy a Teremtő, ha neki úgy tetszenék, az egész mindenséget egy pontba is összezsugoríthatná [*18*, 38].

Einsteinnak gondolati kísérletei ugyanilyen jellegűek. Csupa határfogalommal dolgozó gondolati játékoknak tekinthetők, amelyekből a tapasztalati tartalom teljesen elpárolgott s gondolni sem lehet arra, hogy csak közelítőleg is meg volnának valósíthatók.

Einstein elgondolásaiban a képzelő erőn kívül erős logikai érzék is megnyilvánul. Logikája ugyanazokkal a gondolati folyamatokkal dolgozik, amelyekkel a newtoni fizika is összeszerkesztődött. A különbség az, hogy más határfogalmakhoz jut, mint amilyeneket ez használ. A newtoni fizika nevezetesebb határfogalmai: a pont, az egyenes-szerű, mindkét irányban a végtelenig terjedő egyenes, az egyenes-szerű sík, a háromdimenziós tér és az egydimenziós egyenletesen folyó idő, a változatlan tér- és időmértékek, a változatlan és tétlenséggel bíró tömeg, a külön létező nehézségi erő és más erők. A relativitáselmélet nevezetesebb határfogalmai: a pontesemény, a kis görbülettel bíró önmagába záródó véges egyenes, a gömbfelületszerű sík, a négydimenziós tér-idő, az intervallum, a sebességtől és a tömegeloszlástól függő tér- és időmértékek, a sebességtől függő tömeg.

Mi az elvi különbség a newtoni és az einsteini fizika határfogalmai közt? Mindenekelőtt az, hogy amazok évezredes fejlődésnek az eredményei s mint ilyenek, az emberek gondolatvilágának lényeges alkatrészei, emezek pedig egyetlen embernek az alkotásai. Amazok élénk képzetekkel párosulnak és absztrakt voltuk dacára a tapasztalatba erősen le vannak horgonyozva, emezek a logikai következtetésnek a termékei, a hozzájuk fűződő képzetek csak matematikai formalizmussal állapíthatók meg. Amazok itt a Földön közvetlenül mindenütt alkalmazhatók s a mindenségnek velük való leírása sem jár különösebb nehézséggel, csupán a végtelenség határozatlan fogalmával vannak megterhelve. Emezek itt a Földön csak az

* Mellékesen megjegyezzük, a megállapítás helytelen is. E világátalakulás nagyon is észlelhető eseményekkel kapcsolódnék. Épületeink, hídjaink és az emberek is összeroppannának, mert az anyag szilárdsága nem arányos a hosszméretekkel.

elektromos erők által igen nagy sebességgel mozgatott részecskékre alkalmazhatók, igazi alkalmazási területük a mindenség, előnyük, hogy a végtelenség fogalmával nincsenek megterhelve. Amazoknál tehát a tapasztalat és a fogalom között megvan a lépésről-lépésre követhető kapcsolat, emezeknél a tapasztalat és a fogalom között űr tátong, amelyet csak a legabsztraktabb matematikai formalizmussal lehet áthidalni. Amazokkal összes tapasztalataink szerves egészbe vannak összetömörítve, emezeknél ez hiányzik, noha ebben az irányban ismételten erős gondolati próbálkozások történtek. Ez természetes is, mert minden általános érvényű új határfogalom az egész fizikai megismerésnek az új határfogalom alapján való átdolgozását teszi szükségessé; itt pedig nem egy, hanem sok új határfogalom vezetődött be.

Mindezek alapján a newtoni fizika határfogalmai nem tekinthetők egyszerű összefoglalásoknak, névvel ellátott fogalmi kereteknek, sem csak hasonlóságon alapuló metaforáknak vagy önkényesen megállapított imaginárius képzeteknek, hanem olyanoknak, amelyek gondolatvilágunkban magából a tapasztalatból alakultak ki s amelyeknek a tapasztalattal való összefüggésük, valamint az a különbség, amely közöttük és a tapasztalat között van, nyiltan áll előttünk. Gondolatvilágunk ős primér elemeinek tekinthetjük, amelyek a belvilágot és a külvilágot egymással összekapcsolják. Jelentésük nem fekszik az emberi értelmen túl, sőt belőlük alakult ki és velük dolgozik az értelem. A relativitási elméletben mindez hiányzik. De azért ezek az új határfogalmak is hasznosak, mert az előretörő kutatók számára új kilátó pontokat, új gondolati lehetőségeket nyujtottak.

### 3. *Az elkülönítő gondolati folyamat.*

A tudományelőtti és a tudományos fogalomalkotásban, a kutatásban, a tudományok rendszerének előállításában és a tanításban nagy szerepe van az elkülönítő gondolati folyamatoknak. Általuk a tapasztalat képzetszövevényéből egyes elemek — különösen a nagyobb erővel jelentkezők — a tudatban különválnak, kiemelkednek, szóhoz tapadnak, önállóságot nyernek és állandósulnak.

A tudomány előtti korban ezen az úton keletkeztek a testek fogalmához fűződő különféle tulajdonságfogalmak, mint például: a keménység, lágyság, formálhatóság, rugalmasság, érdesség, símaság, felszín, térfogat, súly, összenyomhatóság, áthatlanság stb. Ugyanúgy alakult ki az anyagnak összefoglaló fogalma is.

A tudományos gondolkodás a tulajdonságok számát igen

nagy mértékben megnövelte, ezenkívül azokat definíciókkal és mérésekkel határozottakká is tette. A fizikai mérések nagy része a fizikai állandók meghatározásával foglalkozik, amelyek a testek és anyagok határozottá tett tulajdonságait jelentik. Néhány fontosabb például a következő: sűrűség, rugalmasság, szilárdság, felületi feszültség, hőkiterjedés, halmazállapotátmenet, kritikus állapot, fénytörés, fényvisszaverődés, színszórás, polározás, elektromos ellenállás, dielektromos és mágneses permeabilitás, iónsebesség, sugárhatástávolság, sugárelnyelés.

Az elkülönítő gondolati folyamattal ezek a tulajdonságok még tovább is elkülönültek és újabb fizikai állandók bevezetését tették szükségessé. A műszaki tudományok céljaik szerint az elkülönülést még tovább is folytatták. Így pl. a vasra és az üvegre, a műszaki előállításnak e két fontos anyagára vonatkozó elkülönülés olyan messze haladt, hogy fizikai állandóik alapján sokszáz-féle vasat és üveget lehet megkülönböztetni.

Elkülönítő gondolati folyamatok a tudományos ismeretek osztályozásánál és rendszerbe foglalásánál is működnek. A fizika ezen az úton vált szét mechanikára, hangtanra, hőtanra, fénytanra, elektromosságra, mágnességre, vegyészetre, csillagászatra és meteorológiára. De ezeken az osztályokon belül is ugyanez a gondolati folyamat hozza létre az újabb elkülönüléseket és újabb csoportosításokat.

A közönséges megismerésben sokszor a magasabbrendű fogalmat alkotjuk meg először. A mai városi gyermek lelkében például bizonyára azok a képzetek jelennek meg először, amelyek a fának, a bokornak, a fűnek, a lepkének általános elemeit alkotják. Ő tehát tudja, hogy van fa, bokor, fű, lepke, de egyelőre nem tudja, hogy ezek mindegyikéből nagyon sok fajta létezik, csak a tapasztalat továbbhaladásánál különülnek el, emelkednek ki és tapadnak szóhoz a különféle fa-, bokor-, fű-, lepkefajták elkülönülő ismertető jelei.

A kezdetleges emberek megismerése azonban éppen ellenkező irányban folyt le. Az egyes tárgyakhoz kapcsolt emlékképekkel kezdődött. Az etnológusok erre vonatkozólag számos példát kutattak fel, amelyek azt mutatják, hogy a kezdetleges embereknek nincsenek összefoglaló fogalmaik [*110,* 58]. Száz különböző helyen álló kenyérfának megvan az emlékképe az emlékezetükben, de a „kenyérfa" vagy a „fa" összefoglaló fogalma hiányzik. Sok különféle alakú és színű lepkének különkülön nevet tudtak adni, de nincs meg a lepke szónak megfelelő szavuk és az ahhoz fűződő általános fogalmi elemek is hiányoznak.

Még inkább így van ez a matematikai és fizikai fogalmakkal. A kezdetleges műveltségű emberek tudják azt, hogy pl. ez a hegy közelebb van, mint a másik, de távolság-fogalmuk

nincs. A történeti adatok is azt mutatják, hogy a matematikai és fizikai fogalmak is individuális megismerésekkel kezdődtek. Az összefoglaló fogalmak, az univerzáliák csak azok után, később, fokozatosan alakultak ki. A távolság, az időtartam fogalma például, amely számunkra közönséges tapasztalati fogalomnak tűnik fel, a valóságban igen hosszú fejlődési folyamaton ment keresztül, és sok tapasztalati megismerés közös elemeit foglalja magába. Így van ez a fizika és a matematika minden fogalmával. Az ókor emberei először az egyenlőszárú derékszögű, azután a különböző szárú derékszögű, azután az egyenlőszárú nemderékszögű, végül az egyenlő oldalú háromszöget ismerték meg és mindegyikre külön szót is csináltak. Az általános háromszög megismerésére legkésőbb került a sor, csak akkor, amikor a mértani ismeretek tudományos tárgyalása megkezdődött.

Nem kétséges, hogy a megismerés főiránya az egyénitől az általános felé halad. Az összefoglaló fogalmak is az elkülönítő gondolati folyamatnak az eredményei. A tárgyak egy csoportjának egyes tagjaiban megnyilvánuló egyéni fogalmi elemek tekinteten kívül maradnak, de a közösek kiemelkednek, szóhoz tapadnak és kialakul az összefoglaló fogalom, az univerzália.

Minél több egyénből áll a csoport, amelynek közös jeleit az összefoglaló fogalom rögzíti, annál határozatlanabb a tartalma. Vannak összefoglaló fogalmaink, amelyek csak a keretet jelölik meg, amelybe az egyes dolgok tartoznak, de igazi fogalmi jelentésük nincs. Ilyenek pl. jelenség, világ, mindenség, állapot, rendszer, szerkezet, természet. Noha üresek, mégis szükség van rájuk, mert gondolatainkat nélkülük nem tudnók kifejezni.

### 4. *A kiválasztó gondolati folyamatok.*

Ez a folyamat hasonló a megelőzőhöz. A tapasztalat képzetszövevényéből itt is az egyes elemek elkülönítéséről van szó. A megelőzőnél ez a művelet a megismerés folytonos előrehaladásával úgyszólván magától folyik le, azonban itt az értelem a maga szuverén hatalmánál fogva egyes elemeket mérlegelőleg mint lényegeseket emel ki és különít el. Tehát elsősorban a tudományos kutatásban jut szerephez. Alkotásai a határfogalmakhoz hasonló absztrakt ideális fogalmak, amelyek a természeti törvények szabatos megfogalmazását teszik lehetővé. De nemcsak a kutatásban van szerepük, nélkülük a bonyolódott tapasztalati jelenségek leírása és tanítása is lehetetlen volna.

A testek esésének évszázadokra terjedő tapasztalati megismeréséből például csak lassanként, fokozatosan alakultak ki

azok a fogalmak, amelyekkel e jelenséget le lehet írni. Először is fel kellett ismerni a főelemet és a mellékelemeket és azokat egymástól el kellett különíteni. Fel kellett ismerni a levegő ellenállásának a szerepét, azt, hogy elsősorban a test alakjától függ. A tapasztalás igazolta, hogy különböző anyagokból készült különböző tömegű golyóalakú testek a levegőben közelítőleg egyformán esnek. Ebből arra lehetett következtetni, hogy a légüres térben bármilyen alakú és tömegű testek is egyformán esnek. A tapasztalat ezt is közelítőleg igazolta. Mindezekből a kiválasztó gondolati folyamattal kialakult a szabadesésnek, mint olyan esésnek az ideális fogalma, amelynél a testre a nehézségi erőn kívül más erő nem működik és meg lehetett fogalmazni a tételt, hogy a testek alaktól és tömegtől függetlenül egyformán esnek. Az egész jelenségnek lényege — főeleme — az anyagi pont szabad esésének határfogalmával írható le. Az elhajított testek mozgását is első közelítésben ilyen módon lehetett leírni.

Az, hogy minden test a nehézségi erőtérben egyformán esik, egyike az emberiség legnagyobb megismeréseinek. De ezt csak ilyen absztrakt ideális esetre vonatkozólag lehetett megállapítani. A valóságos tapasztalatban szereplő testek: az esőcseppek, a jégeső, a hópelyhek, a ködcseppek, a repülőgépből ejtőernyővel leeső testek a legváltozatosabb módon esnek és az elhajított testek mozgása is nagy mértékben eltér az absztrakt ideális esettől.

A szabadesés absztrakt ideális törvényének megfogalmazása után volt csak lehetséges az esésekben és a hajításokban szereplő mellékhatóknak szerepét, megint a kiválasztó gondolati folyamattal, számításba venni és folytonos előrehaladással a ballisztika tudományát megalapítani.

Az ingamozgás törvényeit is csak fokozatos megközelítéssel ismerhettük meg. A felfüggesztett anyagi pont sík- és térbeli lengései, a tengely körül forgó merev test végtelen kis távolságú lengései, ugyanannak véges lengései, a pont körül forgó merev test mozgásai, a torziós inga lengései, a mágneses inga lengései jelölik meg az egymás után következő megismeréseket. Azután következett a levegő ellenállásának és más csillapító tényezők hatásának a tekintetbevétele. A pörgettyű mozgását is csak az egymás után következő absztrakt ideális fokozatok segítségével tudjuk leírni.

Minden fizikai megismerés az absztrakt ideális gondolati fogalmaknak egymás után következő fokozatain halad előre. Hogyan lett volna lehetséges mai fizikánk, és hogyan tudhatnók tételeit kifejezni, ha a kiválasztó gondolati folyamat meg nem alkotta volna az egyenletes körmozgást, az egyenletes egyenes vonalú mozgást, az egyszerű harmónikus mozgást, a

transzverzális és a longitudinális hullámmozgást, a tömeg, az erő, a munka, az energia, a potenciál, az erőmező, a hőmérséklet, a fénysugár, a fényhullám, az elektromos töltés, az elektromos feszültség, az iónok, a vektorok absztrakt ideális fogalmait? Az új dolgok feltalálásában is ez vezeti a kutatót. Ahhoz a gondolathoz például, hogy a levegőben az ismert alkatrészeken kívül, más, eddig ismeretlen elemek is lehetnek, Ramsay a kiválasztó gondolati folyamattal jutott. Röntgen nagy megismerési ténye az, hogy a róla elnevezett sugarakat el tudta különíteni a katód-sugaraktól és az anód-sugaraktól. A Curie házaspár kiválasztó gondolati folyamattal jutott a rádium előállításának módszeréhez. Maguknak a rádióaktív sugaraknak a megismerése és előállítása is ilyen úton folyt le. Az iónizáció, az iónizáló folyamatok, a fényelektromos tünemények, az izotópia, a mesterséges radióaktivitás e gondolati folyamattal váltak megismerésüknek tárgyává és fizikai valóságokká.

A tudományos kutatás kiválasztó folyamat. A kiválasztás már a probléma felállításánál megkezdődik. A kísérletek kieszelésével folytatódik, végrehajtásukban és az észlelésekben újból és újból megint előkerül. A tapasztalat nyujtotta elemekből az értelem megint kiválasztja azokat, amelyeket főelemeknek ítél, esetleg új pótkísérletet eszel ki és a folyamatot megismétli. Csak azután, ha sikerült a kiválasztott főelemekből absztrakt ideális folyamatokat alkotni és azokat egymással harmónikus módon összekapcsolni, lehet áttérni az egyelőre mellékesnek ítélt elemek vizsgálatára, amikor a kiválasztó eljárás megismétlődik. Csak ezen az úton lassanként és fokozatosan juthat az értelem a tapasztalat gondolati előállításához. De a kiválasztó eljárásnak még mindíg nincs vége, következik a megismertnek más megismerésekkel való összehasonlítása és az elméletbe való beledolgozása. A nyert absztrakt ideális fogalmak csak így válnak az elme szilárd gondolati alapjává. Elvontak ugyan, de nem fizikán túliak, mert a tapasztalattal való összefüggésük megállapítható.

A kutató művészete és szellemisége a kiválasztó lelki folyamatokban nyilvánul meg.

Ez a folyamat lényegben véve azonos azzal, amelyet analízisnek szokás nevezni. Ebben a kutató a tapasztalati adottságok szövevényét elemekre bontja szét. Azokat nem a tőlünk független természet szolgáltatja készen, és az érzékszervi és műveleti tapasztalatokban sem nyilatkoznak meg elkülönített alakban, hanem azok csak a kutató elméjében teremtődnek meg és különülnek el, ez látja azokat bele a tapasztalatba és vetíti ki a külvilágba. Ez építi fel belőlük az absztrakt ideális gondolati világot és ez tekinti azt a tapasztalat megfelelő gondolati előállításának. Newton az Optika végéhez csatolt 31. kérdésében

egyedül ezt az eljárást tartja helyes tudományos kutató módszernek.

Az ideális absztrakt fogalmak (hozzájuk számítva a határfogalmakat is), valamint a velük kifejezett törvények a fejlődés további folyamán néha megmerevednek, vagyis újabb tapasztalatoknak belőlük való felépítésénél nehézségek, ellenmondások támadnak. Ebben az esetben az analízisnek második fajtája, a logikai analízis vezet célhoz. A kiváló rátermettséggel rendelkező kutató a fogalmakat és a törvényeket a bennük gondolatilag összekapcsolódott elemekre bontja, felismeri azt az elemet, amely önkényesen, észrevétlenül, konvenció útján kapcsolódott az absztrakt ideális fogalomhoz és törvényhez. A felismerésnek megfelelően átalakítja, vagy megfelelő új fogalmat tesz a helyébe. A fizika legújabb fejlődésében erre is számos példát ismerünk.

### 5. *Az összehasonlító gondolati folyamat.*

Lélektani alapja emlékezőképességünkben van, mert ez mindig készen áll arra, hogy a tények összehasonlításánál segítségünkre legyen. Különösen az olyan jelenség jegyeit ismerjük fel nagy gyorsasággal, amelyek előttünk régóta ismeretesek. Ha pl. valakinek távcsövön megmutatjuk a Vénus bolygót, rendesen fel szokott kiáltani: „hiszen ez a Hold", annyira meglepő a főbb ismertető jegyek azonossága. Galileivel is az történt, amikor újonnan szerkesztett távcsövével először nézett erre a csillagra. Ugyanígy szemlélve a Holdat, rögtön fel lehet ismerni, hogy a felületén látszó fekete foltok hegy-szerű alakulatokat jelenthetnek csak. Ha a rádiumkészítménynek vagy a kozmikus sugaraknak Wilson-kamrával felvett fényképét szemléljük, megértjük, hogy a tudomány e jelenséghez az atomrobbanás szót fűzte, annyira hasonlók az ismertető jegyek. Amikor Kirchhoff és Bunsen a nátriumgőzön átmenő napfény színképében egy sötét vonalat láttak feltűnni ugyanazon helyen, amelyen előzőleg a nátriumgőznek sárga vonala látszott, kísérleti naplójukban ezt jegyezték be: ez fundamentális tény. Az is volt, mert nagyszabású új megismeréshez vezetett.

A fizikai megismerés fejlődésére sokszor volt alapvető jelentőségű az olyan tények megismerése, amelyek azonos jegyeket mutatnak. Belőlük alakult ki a meggyőződés, hogy a fizikai folyamatok akkor is, ha részletekben különböznek, lényegben véve azonos módon folynak le. Amikor Galilei távcsövével a Jupitert néhány napon át figyelte, látta, hogy körülötte holdak vannak; néhány napi megfigyeléssel azt is látta, hogy a főbolygó körül keringenek. Látását úgy tekintette, mint Ko-

pernikus világrendszerének tapasztalati igazolását. Az azonos jegyekben a világrendszer egységes szerkezetének a bizonyítékait látta meg. Ugyanebben a helyzetben volt Newton is, amikor kiszámította a Hold centripetális gyorsulását és azt találta, hogy 3.600-szor, vagyis $60^2$-szer kisebb, mint a nehézségi erő gyorsulása a Föld felszínén. Ebből arra következtetett, hogy a nehézségi erő a távolság négyzetével fordítva arányos és hogy ennélfogva a Hold keringése a Föld körül és a bolygók keringése a Nap körül ugyanaz a jelenség, mint a testek esése a Föld középpontja felé.

Az azonos jegyek azonban tévútra is vezethetnek. A Holdnak távcsővel való szemlélete köralakú kidomborodásokat mutat, hasonlókat a vulkánok krátereihez. A tudományban hosszú időkön át úgy is szerepeltek, mint vulkanikus képződményű kráterek; kitűnt azonban, hogy e felfogás nem helyes és azóta a tudománynak egyik még megoldásra váró problémája, hogyan képződtek e köralakú kidomborodások. Hasonlóképen a Napnak távcsövön és elhomályosított üvegen keresztül való szemlélete sokszor sötét foltokat mutat, amelyek a Nap felületén kisebb-nagyobb sebességgel mozognak. Az azonos jegyek azt a felfogást tették valószínűvé, hogy e „napfoltok" salakszerű képződmények, amelyek a Nap felszínén úsznak. A bővebb vizsgálat e felfogásnak a lehetetlen voltát is kimutatta és a tényekkel jól egyező megismeréshez vezetett. Nyilvánvaló tehát, hogy az elsőfokú felületes azonosság megállapítása is érték, mert újabb megismeréshez vezethet.

Az összehasonlító gondolati folyamat az ember azon lelki képességén alapszik, amellyel az eltérő, az egymástól távolálló és egymással semmi vonatkozásban nem lévő különnemű folyamatokban is képes az azonos jegyeket felismerni. Már az őskorban is azzal kezdődött a megismerés, hogy az ember az ismeretlen folyamatokat a jól ismert folyamatokkal hasonlította össze. A szómegjelöléseknek, az első magyarázatoknak kialakulását ez a képesség tette lehetővé. Később ugyanez a képesség a tudományos kutatásnak, a fogalmi egységek megalkotásának, az elméletek szerkesztésének egyik főeszközévé és hajtóerejévé vált. Minthogy pedig a megismerésben legtöbbször valamilyen anyag és annak mozgása szerepel, tehát az ismeretlen folyamatok megmagyarázásában valamilyen anyagot és annak valamilyen mozgását kellett szerepeltetni.

Az összehasonlító gondolati folyamatnak tulajdonítandó tehát az, hogy fizikai elméleteinkben rendesen mechanikai folyamatok szerepelnek. Az első ilyen nagyobbszabású elmélet már az ókorban kezdett kialakulni, amikor az emberek felismerték a felfüggesztett testek lengései, a rugalmas testek rezgései és a hangjelenségek közötti azonos jegyeket. Tehát már

akkor problémává vált a hang tovaterjedésének a miként je. Valaki aztán szerencsés meglátással felismerte a hang tovaterjedése és a vízhullámok tovaterjedése közti hasonlóságot. A gondolat kitűnően bevált és ma a tudománynak teljesen biztos birtoka, amelyet azóta a tapasztalat minden következményével együtt tökéletesen igazolt. A tudomány számos esetben a hasonlóságok, az analógiák felkutatásával, vagy ha ilyenek a tapasztalatban nem találhatók, önkényes szintetikus megszerkesztésükkel gyarapodott.

Huygens a hang tovaterjedésének analógiájára építette fel a fény tovaterjedésének az elméletét. Ehhez az aeter fogalmára volt szüksége és valóban sikerült is segítségével számos új megismerést szereznie. A fizika azonban az újabb időkben arra a meggyőződésre jutott, hogy nincs mód az aeter tapasztalhatóvá tételére és hogy különben is inkább zavar, mint megmagyaráz, azért kiküszöbölte. Ugyanazon az alapon, amelyen állva Huygens dolgozott, Newton a fényrészecskék egyenes vonalban való tovaterjedésének az elméletét állította fel, és ezzel az analógiával is számos összefüggést talált. A legújabb időkben a fizika ugyanezt a jelenséget a mechanikai analógia mindkét fajtájának összekapcsolásával magyarázza.

Black a hőt súlyamérhető anyagnak tekintette és az analógia alapján a fajhőt, a párolgási hőt és az olvadási hőt találta fel. Fourier a hő tovaterjedését a víz folyásához hasonlította és a vízáram analógiájára alkotta meg a hőáram fogalmát. Szintén számos értékes megismerést szerzett. A sztatikus elektromos és mágneses jelenségek magyarázatára kialakult a súlytalan elektromos és mágneses folyadékok fogalma. Ohm pedig az elektromos áram fogalmát Fourier hőáramának analógiájára alakította ki s vele igen nevezetes törvényszerűségeket tudott kifejezni. A Carnot—Clausius féle körfolyamat számos jelenség mechanikai mintájául szolgált. Maxwell is mechanikai analógiák alapján alkotta meg az elektrodinamikai nevezetes törvényszerűségeit.

E téren a legmerészebb lépést Henry és William Thomson tette, amikor a villamos sűrítő kisülését az inga lengésével hasonlította össze. Az analógia kitűnően bevált, mert a fizika egyik legnevezetesebb tényéhez, a villamos rezgések felfedezéséhez vezetett. De még folytatódott is, mert a váltakozó áramok tana és a váltakozó áramú gépek feltalálása, megszerkesztése az analógia folytonos alkalmazásával folyt le. E nagyszabású feltalálási folyamat az elektromágneses hullámok feltalálásával és a gyakorlatba való átvitelével tetőződött be. Mindezekben lényegben véve ugyanazok az összefüggések szerepelnek, amelyekkel a mechanikai rezgéseket és hullámmozgásokat szokás leírni.

Ugyancsak mechanikai analógia vezette Laue gondolkodását is, amikor a röntgensugárzás alapjául szolgáló fizikai folyamat kikutatásánál arra a meglátásra jutott, hogy a kristályok feltételezett kisközű atomrácsait kell a vizsgálat próbakövévé tenni. Az analógiát az elektron-, a proton- és az atomsugarakra is ki lehetett terjeszteni és kitűnt, hogy e sugarak is épúgy, miként a röntgensugarak elhajlást (diffrakciót) szenvednek. Az analógia mindkét esetben az anyag szerkezetére vonatkozó ismereteinket hatalmas mértékben megnövelte.

Az analógia a fizika legújabb elméleteiben is nagy szerepet visz. Alapjait tulajdonképen már a mult század második felében rakta le Hamilton és Clausius. Az első azzal, hogy a fény legkisebb útját és a mechanika legkisebb hatását kifejező matematikai formulákat összeolvasztani igyekezett. A második azzal, hogy a gázok tulajdonságait a mozgásból nyert matematikai formulákkal igyekezett kifejezni. Az analógia alkalmazását folytatta Planck, amikor a sugárzási energiát a rezgő oscillátorok között kvantumszerűleg osztotta szét úgy, mintha külön adagokból állana. Újabb magas fokra emelte Rutherford és Bohr. Az első a naprendszerhez hasonló atomminta megalkotásával, a második pedig azzal, hogy az atommag körüli térbe meghatározott energiájú kvantumpályákat szerkesztett bele és a sugárzás kibocsátását és elnyelését az elektron kvantumugrásainak feladatává tette.

A kvantummechanika további fejlődésében a fény és az anyag közötti analógiák folytonos kifejlesztése és matematikai formulákba való átöltöztetése volt a feladat. Kialakult a meggyőződés, hogy a fényjelenségek megmagyarázásához a részecskeképzetet és hullámképzetet a hozzájuk fűződő mechanikai analógiákkal egyenlő jogúan kell használni. Amazok első sorban a fényelektromos jelenségeknél, emezek a fénytalálkozás tüneményeinél tesznek jó szolgálatot. Broglie viszont arra a meggyőződésre jutott, hogy az anyagi részecskék történéseinek megszerkesztésénél is szükség van mindkét analógiára. A hullámmechanika a fényjelenségek és az anyagi jelenségek egységes törvények szerinti szabályozására törekszik. Ezért az analógiák alapján nyert matematikai összefüggéseket, Hamilton egyenleteit, a fényhullámok tovaterjedésének egyenleteit, a húr, a lemezek, a hártyák, a légtömegek saját rezgéseit kifejező egyenleteket és Boltzmannak a kinetikus gázelméletre alkotott egyenleteit összeolvasztani és egységes kvantumelméleti matematikai szerkesztő és értelmező eljárássá kifejleszteni igyekszik.

A mechanikai analógiákat legszembeszökőbb módon a kísérletező atommechanikusok alkalmazzák. Amikor az atom széttörését, szétrombolását és a mesterséges radióaktív anyagok előállítását a lövéshez fűződő mechanikai analógiák szerint akarják elérni.

## 6. *Ős metaforák.*

Kezdetben az összehasonlító gondolatfolyamat mértékei az embernek különféle állapotai és műveletei voltak. Azokkal hasonlította össze a tőle függetlenül lefolyó természeti folyamatokat. Szavakat alkotott, amelyek ma is mutatják ezt az ős megismerési állapotot. A Nap, a Hold és a csillagok „felkelnek", „delelnek", „lenyugosznak". A tavasz, a nyár, az ősz, a tél „eljő", „hoz", „teremt", „alkot". Nem is lehet e kifejezések ellen kifogást tenni, mert világfelfogásunk alapján úgyis világosan értjük, hogy mit akarnak kifejezni.

A sajátságos azonban az, hogy a fizikusok és a filozófusok akkor, ha bonyolódott és tökéletesen át nem értett folyamatokról van szó, ma is hasonló módszerhez folyamodnak. A túlságosan absztrakt kifejezésekkel való visszaélés ellenhatásaképen ugyancsak metaforikus kifejezésekkel akarják érthetővé tenni az absztrakt fogalmakat. Palágyi Menyhért például, akit a relativitási elmélet ellenesei az új gondolatok igazi megteremtőjének akarnak feltüntetni, az idő problémáját csupa metaforával és költői képpel akarja megoldani. A térnek egyik pontját az *ragasztja*, az *forrasztja* minden többihez, hogy valamennyien ugyanazon egy időpontban létezőknek gondoltatnak. A „mostan" vagyis az időpont mintegy lelke a világtérnek s a világtér mintegy lelke a „mostan"-nak. „Az idő folytonos múlásán nem érthetünk egyebet, mint a világtér folytonos megújulását, megifjodását." „A világtér mintegy tovasiklik az idő árján. A mit egy és ugyanazon térpontnak mondunk, tulajdonképpen nem egy pont, hanem a pontoknak folytonos sorozata az időben, vagyis maga az időfolyam." „Mi teszi az időt idővé? Ugyanaz, ami a rohanó vizeket folyammá egyesíti: a meder. A térponton át kell lefolynia az idő minden hullámának. Amit tehát térpontnak nevezünk, az nemcsak egy pontja az időfolyam partjának, hanem teljes partvonala az időnek." „A testek tárulva-tünő, vagy ha úgy tetszik: tünve-táruló jelenségek". [*94*, 55].

Nem kell külön bizonyítani, hogy ezek és a hozzájuk hasonló más tudományos meghatározások semmiféle új megismerést nem jelentenek, csak tudatunk tartalmát színezik ki költői metaforákkal.

Ha már most a fizikát ebből a szempontból vizsgálat tárgyává tesszük, a szakszerű tudományos dolgozatokban is számos metafórikus kifejezést találunk. Az absztrakt fogalomhoz, mintha az önálló tárgy vagy személy volna, a sokszor megfigyelt folyamatoknak vagy a sokszor végzett emberi műveleteknek képzeteit csatoljuk hozzá. A test sebességet és energiát *nyer* vagy *veszít*, fényt *bocsát* ki vagy *nyel* el, az erő *munkát*

*végez*, egy másik erőt *legyőz*, az energia *előjön*, *elrejtőzik*, a gázok *nyomják* az edény falát, az iónok töltést *hordanak*, *vándorolnak*, *átadják* töltésüket, az atom magához *köt* egy másik atomot, az elektromos töltések egymást *vonzzák*, *taszítják*, *közömbösítik*, *egyesülésre*, *szétválásra képesek*, a hélium-atomok *fogva* maradhatnak, a fénysugarak *kiindulnak*, *találkoznak*, egymást *erősítik*, *gyengítik*, *megsemmisítik*. Az erőt lehet egy másik erővel *összetenni*, más erőkre *szétbontani*, az energiát lehet *vinni*, *kicserélni*, *felhalmozni*, a testeket lehet elektromossággal *megtölteni*, az atomokat lehet *felbontani*, *felrobbantani*, szilánkokra *szétszakítani*, hélium iónokkal lehet *lőni*, más atomokat *eltalálni*, *felrobbantani*, teljesen úgy, mintha ezek a fogalmak kézzel fogható és a közvetlen tapasztalat körébe eső tárgyak volnának.

A metaforikus képzetek kiirthatatlanul beleevődtek a fizikai tudomány beszédmódjába. Nemcsak a kísérleti tapasztalatok leírásában nélkülözhetetlenek, hanem a magasabb rendű absztrakt beszédmódban, az elméleti fizika matematikai formuláiban is fel-feltünedeznek. Jellemző, hogy e metaforák leginkább az ember műveleteinek köréből vannak véve, újból igazolva felfogásunkat, amely szerint a tapasztalat igazi alapja az ember által végezhető testi műveletekben van.

Fel kell vetni a kérdést: nélkülözheti-e a tudomány a metaforikus kifejezéseket? Akárhogyan forgatjuk is a kérdést, arra az eredményre jutunk, hogy a kérdésre *nem*-mel kell felelnünk. A fizikából és a matematikából a metaforikus kifejezések ki nem küszöbölhetők és valószínűleg a többi tudományból sem. Bizonyos ős metaforák benne maradnak minden tudományban. Az összehasonlító gondolati folyamatnak a következménye az, hogy az ember alapvető állapotaival és műveleteivel a legabsztraktabb gondolatokból sem küszöbölhető ki.

### 7. *Az általánosító gondolati folyamatok.*

Lényegük röviden a következőképen fejezhető ki: a gondolkodás a szűkebb körben alkalmazható bevált fogalmakat és törvényszerű összefüggéseket szélesebb körre kiterjeszteni és magasabb rendű fogalmakat és törvényszerűségeket alkotni igyekszik. Sokszor induktív következtetésnek és induktív kutatómódszernek is szokás nevezni. Mibenlétének, jogosultságának és a tudományban való szerepének kérdésével régi idők óta számos gondolkodó, filozófus és fizikus foglalkozott. A felmerült különféle felfogások azonban mindig újból és újból vita tárgyává váltak, úgy, hogy egységes felfogás nem alakult ki.

Az általánosító gondolati folyamatnak a pszichológiai

alapja ugyanaz, mint a tudat alatt végbemenő lelki foyamatoké, amelyek a külső inger megszünte után a nyers érzeti képzetek részleteit és intenzitásait csökkentik, összeolvasztják és társítják. Tulajdonképen ugyanaz történik itt tudatosan, ami az egyes érzékletek összeolvadásánál a tudat alatt folyik le. Ahogyan pl. a sok külön szemlélt tölgyfa emlékképeiből a tölgyfa általános képzete, ugyanúgy alakul ki az egyes tapasztalati fogalmakból, valamennyinek lényeges elemét magában foglaló általános fogalom. Minthogy tehát az általánosítás tulajdonképen tudatos folytatása a lélekben automatikusan végbemenő egyik folyamatnak, azért az mint valamilyen lelki nyomás jelentkezik, amelyet az emberi elme ki sem kerülhet. Poincaré szerint vele belső szükségletnek teszünk eleget [*98*, 119]. Az elme belső pszichofizikai szerkezeténél vagy ökonomikus berendezésénél fogva arra kényszerül, hogy a részletes ismereteket átölelő magasabbrendű fogalmakat és törvényszerűségeket alkosson. Az általánosítások a tudománynak nemcsak a láthatárát tolták ki folytonosan messzebbre és messzebbre, hanem újabb részletismeretek kikutatásához is elvezettek. Helmholtz bevallotta, hogy problémáinak megoldását csaknem mindig folytonosan növekedő általánosításokkal érte el. [*61*, 54].

Sajátságos jelenség: a részletismeretek folytonos gyarapodása párhuzamosan halad mindig a szélesebb körre érvényes fogalmak és törvényszerűségek kialakulásával. Mintha az egyik folyamat feltételezné a másikat, mintha a részletismeretek folytonos gyarapodása kényszerítené az elmét arra, hogy folytonosan általánosítson.

E gondolati művelet nélkül a tudomány csakugyan lehetetlenné válnék és nem csinálhatna mást, csak leltárt készíthetne a meglevő ismeretekről, ahogyan az a fejlődés kezdő fokán álló némely tudománynál így is van. Általánosítások nélkül a gondolat és talán az élet is lehetetlen volna [*100*, 10].

Érdemes néhány példán figyelemmel kísérni az általánosítás folytonos előrehaladását, a tapasztalati elemektől való folytonos eltávolodását, azután a nagyon általános fogalomnak elérése után annak önkényes definíció által a tapasztalathoz való ugrásszerű visszatérítését.

A test fogalmának köréhez eleinte csupán a szilárd testek tartoztak és azért e fogalmat jellemző jeleknek száma nagy volt. Csak jóval később olvadt egybe a szilárd testek és a folyadékok fogalma, amikor a test fogalmi tartamából kiesett az állandó alak fogalma. A levegő hosszú ideig nem tartozott a testek közé, sőt hosszú ideig a szél is valami egészen különálló dolog volt. A test fogalmába való beolvadás csak a 18. század-

ban történt, amikor műveletekkel különféle gázokat sikerült előállítani és súlyukat meghatározni. Ezzel a test fogalmi tartamából az állandó térfogat is kiesett. Azonban a test fogalmának igazi képviselője ezután is a szilárd test maradt.

A szilárd, a folyékony és a gáznemű testek fogalmai csak nagy szkematikus vázak, amelyek megszámlálhatatlan sok átmeneti alakzat befogadására nem is alkalmasak. A közönséges tapasztalatból jól ismert alakítható (plasztikus) testek, a szirupszerű testek, a gázoknak a folyósodás körüli állapotai, a kritikus állapotok, a folyós hélium állapotai, mindezek ilyen kivételes, egyik állapotba sem sorozható alakzatok. De vannak olyan állapotok is, melyeknek igazi tulajdonságait nem is ismerjük, noha tapasztalatban sokszor szerepelnek. A köd és a felhő tízezred milliméter rendű cseppjeinek tulajdonságait nem igen ismerjük és ha megismernők, a szilárd testek közé talán nagyobb joggal sorozhatnók, mint a folyadékok közé.

A test fogalma újabb nagy általánosítását a Föld körülhajózásával kapta meg, amikor a Földet és a csillagokat is testeknek kellett tekinteni. Első pillanatra úgy látszik, mintha a Földnek, mint égitestnek a fogalmából számos olyan tapasztalati elem hiányoznék, amely a földi testeknél megvan. A Földet nem lehet körültapogatni, forgatni, mozgatni és nem lehet minden oldalról megszemlélni. A tudomány és a gyakorlati élet azonban a Föld alakját, méreteit sokféle művelettel mégis meg tudta határozni. A Föld súlya is mint érzékelhető elem, értelmét vesztette, azonban a tudomány a súlyfogalomnak nehézségi erővé való általánosításával ez elemnek is tudott jelentést adni. A Föld külső felülete azonban határozatlan, mert a légkör felső határa nem ismeretes. Bizonyos csillagászati tapasztalatok, a hang tovaterjedésével összefüggő rendellenességek, a rádióhullámok tovaterjedésére vonatkozó tapasztalatok, az alkonypír és a hajnalpír jelenségei a légkör felső határáról, összetételéről bizonyos tapasztalati ismereteket hoztak ugyan, de a határozatlanságot teljesen eloszlatni nem lehetett.

A makrokozmikus fizikában a test fogalma ugrásszerű általánosítást kapott. A Hold és a nagyobb bolygók felületei még bizonyos részleteket és kiterjedést mutatnak, amiből arra lehet következtetni, hogy a Földhöz hasonló égitestek, de már Saturnus gyűrűiről csak hipotézisekkel állíthatunk elő képzeteket. Az állócsillagok már sem felületi részleteket, sem kiterjedést nem mutatnak, kiterjedésük csak következtetések alapján határozható meg. A minket legjobban érdeklő égitest, a Nap felületi részleteket és kiterjedést mutat ugyan, azonban mégis épúgy elvesztette a test fogalommal kapcsolatos tapasztalati jeleket, mint a többi állócsillag. Itt is hipotétikus fogalmakat kellett alkotni. A Nap és az égitestek izzó gáztömegek volná-

nak, amelyeknek részecskéit a nehézségi erő tartaná össze. A földi tapasztalatban nincsenek olyan testek, amelyeknek részecskéit a nehézségi erő tartaná össze.

Az anyag középsűrűsége a Napban a vízével, a Capellában a közönséges levegőével, a Betelgeusében a mérsékelt vákuuméval volna egyenlő, az Orion nagy ködében pedig milliószor volna kisebb, mint a legjobb légszivattyúkkal előállított vákuumé. Egyébként pedig az anyag sűrűsége az állócsillagok nagyobb részében a középpont felé folyton növekednék úgy, hogy például a Nap középpontja körül sokezerszer nagyobb lenne, mint a platináé, annak dacára, vagy épen azért, hogy itt több millió Celsius fok hőmérséklet uralkodik. Mindezek olyan fogalmak, amelyek a tapasztalattal való kapcsolatot nélkülözik. A szilárd test fogalma, melyhez tapasztalataink legnagyobb része kapcsolódik, a csillagok világában szertefoszlott és csupa gondolati elemmé alakult át.

Ha a test fogalmából elhagyjuk azokat a jegyeket, amelyek az alak fogalmához tartoznak, nyerjük a legáltalánosabb fogalmat, az anyag fogalmát. Már a görög filozófiában alakult ki és hosszú időkön át filozófiai spekulációknak volt a tárgya. A közönséges gyakorlati élet azonban azokkal nem törődve, az anyagot mérleggel kezdte mérni és e mérésekkel kapcsolatban tapasztalatilag is kialakult az anyag megmaradásának az elve. Az anyag nagyon általános fogalma tehát ugrásszerűen a tapasztalattal ismét szoros kapcsolatba jutott. Galilei csatolt megint hozzá általános tulajdonságot, amikor a tétlenséggel ruházta fel és mint ilyent, tömegnek nevezte. Galilei és Newton is meghagyta az anyagnak a súllyal való mérhetőségét, így az anyagnak három határozott tulajdonsága volt: tétlenség, súly és állandóság.

Az erő fogalomról később bőven lesz szó, azért itt az általánosítás előrehaladásának egyes állomásait soroljuk csak fel. Emberi húzó, nyomó, emelő erő, statikai erő, dinamikai erő, potenciál, erőfüggvény differenciálhányadosa, vektor és tenzor. Az általános relativitási elmélet erőmező fizikájában már csak bizonyos szimbolikus matematikai jelekben akadhatunk a nyomára és a fogalmi láncolatoknak hosszú során kell végig menni, ha a tapasztalat elemeihez el akarunk jutni.

Hasonló módon általánosodott az energia fogalma is, amiről később szintén bőven lesz szó. Először egyszerű definiciók alapján, mint munka, helyzeti energia és hőenergia jelent meg. A tapasztalat megmutatta, hogy közöttük egyértékű vonatkozás állapítható meg, amely mint az energia megmaradásának elve volt kifejezhető. Az elv azután a kémiai, az elektromos, a mágneses és a sugárzó jelenségekre is általánosodott, amivel együtt járt az új energia-fajok definiciója. Az új jelenségkörökben a

megmaradás elve már nem új önálló tapasztalati megállapítás, hanem egyszerű következménye annak, hogy az új energiafajok és a velük kapcsolatos fogalmak az energia megmaradása elvének alapján kapták meg definiciójukat. Az általánosítás a tapasztalat körébe eső jelenségeknél nem állapodott meg, hanem kiszélesedett a csillagokra és bevonult az atomok világába, ahol a tapasztalattal való kapcsolódás vékony erre a sugárzás fogalmába van elrejtve. Végül magába olvasztott mindent, az anyagot is és a tér-idő világában egyedül maradt. De ezzel át is ugrott a metafizikába, mert a mindenséget kitöltő, nem lokalizálható és fogalmilag meg nem határozható általános energiát még kevésbbé lehet fizikailag megfogni, mint Descartes örvényeit.

A hőmérséklet fogalmának általánosítása szintén a fokozatok során ment végig. A kiinduló tapasztalat a hőérzet volt, amely a testek térfogatváltozásának tapasztalatához kapcsolódott. A hőmérő kiterjedő anyagának, az alapul szolgáló hőmérsékleteknek, a skála berendezésének önkényes megválasztása után sikerült megalkotni a hőmérőt és azután ugyancsak önkényes extrapolálással a hőmérsékleti fok érvényességét a fagyponton alúl és a forrponton túl is kiterjeszteni. Az ideális gáz fogalmának bevezetése után sikerült az abszolút nulla-fokot önkényes definicióval megalkotni, amely, miként látjuk, minden inkább, mint abszolút, mert az önkényes választások hosszú során alapszik.

A mult század közepéig a hőmérséklet fogalma nem volt más, mint a hőmérő adataiból vont általánosítás. A hőjelenségek kinetikus elméletének kifejlődése után azonban a hőmérsékletfogalom az atomok és a molekulák mozgási energiájának középértékévé általánosodott és így elszakadt a közvetlen tapasztalattól, mert az atomok és a molekulák, valamint mozgásaik hipotetikus gondolati szerkezetek, amelyek csak gondolati láncolatokkal kapcsolhatók össze a tapasztalattal. Azonban még e felfogásban is a hőmérséklet a testek bizonyos állapotának volt a jelzője.

Az általánosítási folyamat azonban folytatódott. Több közbeeső változat után a sugárzás végül olyan szerkezetet kapott, amilyent a kinetikus hőelmélet a gázoknak ád. A sugárzás atomszerű alakzatokból, fotonokból áll, melyeknek tömegük, mozgási energiájuk van és a felületekre épúgy fejtik ki a nyomást, mint a gázok. Ahogyan a gázmolekulák mozgási energiájának középértéke meghatározza a gáz hőmérsékletét, épúgy a sugárzási kvantumok mozgási energiája is meghatározza a sugárzás hőmérsékletét. Ezzel az elmélettel a hőmérséklet fogalma a testekről kiterjesztetett a sugárzásokra, tehát pl. a közönséges fényre és a röntgensugarakra is.

Az általánosítási gondolati folyamat legszélsőbb határát az atommag hőmérsékletének fogalmában érte el. Ezzel a lépéssel a hőmérséklet fogalma a hipotetikus atomszerkezeteknek belsejébe vitetett át s a tapasztalattal való kapcsolat vékony ere a hipotézisek és a matematikai formulák tömkelegében vész el.

A fizika legnagyobb sikerrel járó általánosításai a rezgés és a hullámmozgás fogalmával kapcsolatban folytak le. Ingalengések, testek forgásai és keringései, rugalmas testek rezgései és a folyadékok felületén jelentkező hullámok voltak a kiinduló tapasztalati jelenségek. Az általánosítás első fejlődési fokát egyszerű mértani szerkesztések adták. A pont egyenletes körmozgását, annak egy átmérőre való vetületét, az egyenesvonalú egyenletes mozgással való összetevéseit is egyszerű mértani szerkesztésekkel lehetett megcsinálni és így az egydimenziós hullámnak *mértani képét* előállítani. Ugyancsak ilyen szerkesztésekkel lehetett Huygens elvének alkalmazását megmutatni és a hullámmozgás fogalmát a két- és háromdimenziós pontsokaságokra kiterjeszteni. Az ábrákhoz a trigonometrikus függvények alapján matematikai formulák kapcsolódtak. Ezeknek, valamint Fourier elvének alkalmazásával bárminő rezgést és hullámmozgást matematikai formulákkal lehetett előállítani. E formulák adták az általánosítások második előnyomulási fokát. Sikerült ilymódon a kényszererők és a surlódási erők hatását, a csillapodást, a különféle rezgő alakzatok lehetséges saját rezgéseinek csomóvonalait és dudorait megfelelő matematikai formulákkal előállítani. Ezek adták az általánosítás harmadik fokát.

A mértani ábrák és a matematikai formulák, valamint a belőlük származó kísérletek a hangérzet maradék nélküli megmagyarázását tették lehetővé. Minden hangérzeti jelenség mellé megfelelő rezgési, illetőleg hullámmozgási folyamat volt állítható.

| | |
|---|---|
| Hangmagasság | . . . . . rezgések száma, |
| hangerősség | . . . . . rezgési amplitudó, |
| hangszínezet | . . . . . rezgések összetevése, |
| hangsebesség | . . . . . rezgések tovaterjedési sebessége, |
| visszhang | . . . . . hullámok visszaverődése, |
| rezonancia | . . . . . rezgések átvétele, |
| lüktetés | . . . . . hullámok interferenciája, |
| jó akusztika | . . . . . hullámok elnyelése. |

Minden hangérzetbeli tapasztalat mellé három értelmezés tartozik: a mechanikai és optikai műveletekből álló egy kísérleti előállítás, a mértani ábráknak egy sorozata és a matematikai formuláknak egy sorozata. A négy fogalmi együttes tel-

jes harmóniában van egymással. Az összes fogalmaknak a tapasztalattal való kapcsolata világosan és félreérthetetlenül van megállapítva.

A fizika a mértani ábrákban és matematikai formulákban kitűnő segédeszközt nyert újabb találmányok és felfedezések végzésére. Valóban az a tüneményes fejlődés, amelyet korszakunk az elektromos rezgések, a váltakozó áramok és a rádióhullámok megalkotása terén elért, a rezgés általánosításából nyert ábráknak és matematikai formuláknak köszönhető. A három felsorolt jelenség-csoport minden egyes jelensége mellé épúgy lehet megfelelő rezgési és hullámmozgási fogalmakat állítani, mint a hangjelenségeknél.

Azt mondjuk, hogy mindezt az elektromágneses hullámok létesítik. Azonban az elektromágneses hullám csak szimbolum annak jelölésére, hogy van valami ismeretlen rezgésszerűen váltakozó folyamat, amely tovaterjed és a vezető testekben újabb elektromágneses hullámokat gerjeszt. Magát az elektromágneses hullámot mi nem ismerjük, a tapasztalattal azt csak a rezgések és hullámok általános fogalmai révén tudjuk kapcsolatba hozni, ha még az elektromágnesség tanának néhány, a tapasztalattal kapcsolatos fogalmát, aminő például a kapacitás és az indukció, ezekhez hozzávesszük. Valóban nem az elektromos hullám, hanem a geometriai ábrák és a matematikai formulák vezették a kutatókat, amikor az alkotó fizikának ezt a legnagyobb teljesítményét létrehozták.

A fényjelenségekre való alkalmazásban is sok sikert hoztak ezek az ábrák és formulák, noha itt a tapasztalattal való kapcsolat nem közvetlen, nem világos és nem határozott. Átlátszatlan lapba vágott keskeny rés vagy résck sorozata és általában kisméretű átlátszatlan tárgyak adják a tapasztalati alapot a rezgés és a hullámmozgás mennyiségei számára. A szín is ezek közvetítésével kapcsolódik a rezgésszámmal és a hullámhosszal.

A rezgésszámnak a szín, az amplitudónak a fényerősség mellé állítása nem jelent ugyanolyan szoros kapcsolatot, mint amilyen a hangjelenségek, az elektromos rezgések, a váltakozó áramok, és a rádióhullámok megfelelő folyamatainál van. A hangérzetek a tapasztalatoknak hosszú sorával vannak a rezgésszámmal kapcsolatba hozva. Ugyan így van ez az elektromágneses hullámok rezgésszámánál. A színérzetnél a rezgésszám és a hullámhosszúság inkább csak egyértelmű szimbólum. A fényhullámmal kapcsolatban megoldhatatlan ellentmondások is felléptek. Azonban e nehézségeket nem tekintve, kétségtelen, hogy a hullámmozgás általános fogalmai, ábrái és matematikai formulái a fénytani vizsgálatoknál is sok sikert hoztak a tudomány számára.

Ha mindazokat a sikereket kellően mérlegeljük, amelyek a hullámmozgás általánosított fogalmából és formuláiból a fizika számára következtek, nem fogunk csodálkozni azon, ha korunk magasfokú absztraháló képességgel bíró fizikus elméi mindazt, amit anyagnak nevezünk, általában mindazt amit észlelünk, egy általános nagy együttlátásba egyesíteni törekszenek, amelynek alapja a hullámmozgás általános matematikai formuláiban van. De viszont azon sem kell csodálkoznunk, ha a tapasztalattal való kapcsolat vékony erei az emberi elme e legmagasabb fokú absztrakcióiban és hipotéziseiben elvesznek.

A matematika is nagy általánosítások eredménye. A számfogalom az egész számokból a tört számok becsatolásaival racionális számokká, ezekből az irracionális számok becsatolásával reális számokká, azután az imaginárius számok becsatolálával komplex számokká általánosodott. Azután ezek a számok is betűszámokká általánosodtak és belőlük alakult ki a függvénynek még általánosabb fogalma.

Általánosítással nemcsak a nagy elméletek dolgoznak, hanem az egészen speciális kísérleti kutatás sem lehet el e nélkül. Az észlelés mindig csak bizonyos számú adatot szolgáltat, amelyekből törvényt csak általánosítással lehet nyerni. Bizonyos számú adat a koordináta rendszerben csak bizonyos számú pontot ád, ellenben a törvény folytonos görbevonalnak vagy felületnek felel meg. Az érdekes az, hogy az általánosítás az észlelés esetleges hibáit ki is javítja. Az emberi szellem a tapasztalat esetlegességeitől szabadul meg akkor, amikor a különlegesség fölé emelkedve általánosít.

A fizikában minden igazi nagy lépés általánosításokkal történt, igazi hódítás csak ezen az úton volt elérhető, minden természettörvény a tapasztalatok által igazolt általánosításokból eredt. Mögöttük az a hit húzódik meg, hogy a természet egységes, egyszerű és hogy a jövőben is minden úgy fog lefolyni, ahogyan eddig lefolyt. Ezt a hitet természetesen sem tapasztalattal, sem logikával igazolni nem lehet.

Vannak azonban merész általánosítások, amelyeknek tapasztalati alapjuk igen csekély, vagy a puszta gondolatnak általánosításán alapul. Doppler elve a hangtan egy kis körre terjedő tapasztalati jelenségének általánosítása minden hullámmozgásra és a fényhullámok révén kiterjesztése a csillagok mozgására. Az entropiatörvény a hőgépekkel kapcsolatos tapasztalati jelenségnek általánosítása az összes jelenségekre és kiterjesztése a makrokozmoszba és a mikrokozmoszba. A determinisztikus oksági törvény a mozgási törvényeknek abból a sajátságából, hogy a pontnak a jövőbeli mozgását kiszámíthatóvá teszik, ha egy pillanatban ismerjük helyét és sebességét, általános világtörvényt csinált, amely szerint a világ mai állapota annak

a jövőben bekövetkező minden állapotát meghatározza. A relativitási elmélet a pont fogalmát ponteseménnyé, a távolságot és időközt intervallummá, a három dimenziós teret és az egy dimenziós időt négy dimenziós téridővé, a két dimenziós felület ismertető jeleit a négy dimenziós téridő ismertető jeleivé, a tétlenségi egyenes vonalú egyenletes mozgást a geodetikus vonalon való egyenletes mozgássá általánosítja és a világürben lefolyó összes mozgási törvényeket egyetlen világformulába sűríti össze. A kvantummechanika a koordináta és impulzus fogalmakat sajátságos alakú matematikai formává, matrix-szá általánosítja. A Schrödinger hullámegyenlete a hangtan és a fénytan bizonyos egyenleteinek legmesszebb menő általánosítása.

A tudomány művelői az általánosításokban nem tudnak mindig kellő mértéket tartani és így olyan általánosítások is keletkeznek, amelyeket nem lehet a tudomány értékes gazdagodásának tekinteni. Abból, hogy az elektron tömegének a sebességtől függővé tétele bizonyos területen bevált, nem lehet arra következtetni, hogy a tömeg általában mindig függ a sebességtől. Abból, hogy a sugárzó energiának kvantumokban való kibocsátása, elnyelése és tovaterjedése tapasztalatilag igazolt törvényszerűségekhez vezetett, nem lehet arra következtetni, hogy minden energiát kvantizálni kell. Abból a felfogásból, amely szerint az elektron helye és sebessége a fény hatása következtében teljes pontossággal meg nem határozható, nem lehet azt az általános törvényt alkotni, hogy a testek helye és sebessége elvileg nem határozható meg teljes pontossággal. Abból a tényből, hogy a földi testek a hidegebb környezetben mindig hülnek, nem következik, hogy a csillagok is folyton hülnek és hogy a világegyetemet a hőhalál katasztrófája fenyegeti; nemcsak azért nem jogos ez a következtetés, mert erre vonatkozólag semmi tapasztalatunk nincs, hanem azért sem, mert nem tudjuk, mik a csillagok, olyan testek-e, mint a földi testek, vagy pedig egészen más természetűek, és azt sem tudjuk, milyen környezetben vannak. Abból a tényből, hogy a szervetlen világ testei között nagyobbrészt olyan folyamatok folynak le, amelyekben az energia szétszóródik, nem következtethetünk jogosan arra, hogy a világegyetemben csak ilyen folyamatok vannak. Abból a tényből, hogy a Földnek napkörüli mozgását bizonyos különleges laboratoriumi kísérlettel nem sikerült kimutatni, nem lehet általános törvényt alkotni és azt kiszélesíteni az egész mindenségre. Abból a tényből, hogy bizonyos számú csillagköd fényének spektroszkópi vizsgálata (nem is valamennyi megfigyelt esetben) a színképnek a vörös felé való eltolódását mutatja, nem lehet világszéles következtetéseket levonni és azt állítani,

hogy a világegyetem valamikor robbanásszerűleg keletkezett és azóta folytonosan tágul.

Az általánosítás nem a tudományos igazságnak a kritériuma, hanem keresésének a módszere. Szükségessé teszi tehát a tapasztalattal való megegyezésének és tudományos rendszer többi fogalmaival való harmoniájának utólagos igazolását. Az olyan általánosításnak, amely előre lemond erről az igazolásról, nem lehet tudományos értéke.

### 8. *Az okfogalmak.*

A gondolkodásunkba beleszövődött okságí törvénynek alkalmazásából, amelyről később bőven lesz szó, gondolati műveleteinknek jelentékeny része az ok és okozat kapcsolatának típusa szerint folyik le. Különösen az érzékletek ingerlik folyton az elmét az ok kinyomozására és ha ezt valamely más tapasztalati elemben nem találják meg, akkor az elme szuverén módon önmaga alkotja meg az okot, szót fűz hozzá és azt az ismeretlen fogalom képviselőjévé teszi meg.

A legegyszerűbb embertől a szellemiség legmagasabb fokán álló emberig mindenki szellemi színtjébe illő okfogalmakat teremt. Az emberi szellem legmagasabb légkörében is ősidőktől kezdve bizonyos okfogalmak stabilizálódtak, mint pl. ész, értelem, szellem, lélek, akarat, harag, indulat; ezek aztán átmentek a köznapi életbe is, de a tudományok egyetemességének is alapfogalmaivá váltak.

A fizika tudományában is sok ilyen köznapi tradicionális okfogalom szerepel, amely kialakulásának kezdetén, mint puszta szó megtárgyiasítva helyeztetett bele a természetbe. Hallási érzeteinek okát a „hang" fogalmába helyeztük, amelyhez azt a képzetet fűztük, hogy rezgő testekből indul ki, a levegőben tovaterjed, más testeket együtthangzásra indít, visszaverődik, elnyelődik, holott tudjuk, hogy a külvilágban semmi olyan nincs, amit hangnak kellene nevezni, ott csak hangtalan rezgések és hullámmozgások vannak. Hasonlóképen bizonyos jólismert tapasztalati jelenségek okát „szél"-nek nevezzük és az a képzetünk róla, hogy fákat, házakat dönthet ki, van sebessége, nyomása, noha jól tudjuk, hogy mindezeket a jelenségeket a mozgó levegő hozza létre. Okfogalom a „villám" is, az ismeretes fényjelenség, a dörgés, a rombolások és gyujtások létrehozó okának a megjelölésére.

A tudományos fizika számos okfogalmat alkotott, amelyeket megtestesítve belenézett a természetbe. A legrégibb és legtipikusabb fizikai okfogalom az erő, amelyről már többször volt szó és később is lesz szó. Maga az erő nem marad meg mint végső okfogalom, hanem a gondolatban maga is

más okok okozatává válik. Így például az elektromos és mágneses erők számára az elektromos töltés és a mágneses pólus fogalmaiban újabb okfogalmak keletkeztek. De az okfogalmakat alkotó gondolati folyamat még ezekkel az alkotásaival sem elégedett meg: magát az erőt minden téren úgy fogta fel, amely maga is következménye a különféle potenciáloknak, vagy még általánosabban az erőmezőknek.

Okfogalom a hő is, amely a hőérzetnek és a testek térfogat- és halmazállapotváltozásainak okát jelöli meg. Az elektromos áram a vezeték felmelegedésének, az elektrolítekben létrejött anyagfelbomlásoknak és a vezeték környezetében tapasztalható mozgási jelenségeknek az okát adja. Viszont a tudomány magát az elektromos áramot is okozatnak fogja fel, amelyet az elektromótoros erő mint ok hoz létre. Az okfogalmakat alkotó gondolati folyamat még itt sem állapodik meg, mert az elektromótoros erőt is mint okozatot fogja fel, amelyet a galván elemeknél az oldási és ozmotikus nyomás, az indukciónál a mágneses térben végzett indukáló mozgás hoz létre.

A legújabb fizika is bőven alkotott okfogalmakat. Katódsugarak, csősugarak, atomsugarak, röntgensugarak, alfasugarak, bétasugarak, gammasugarak, protonsugarak, kozmikus sugarak valójában semmi egyebek, mint okfogalmak, amelyeket a tudósok elméje az oksági törvény alapján alkotott meg, hogy segítségükkel bizonyos tapasztalatok gondolati előállítását lehetővé tegye. E tapasztalatok nem is olyan sokfélék, amilyeneknek az első pillanatban látszanak. Az elektrométer és a galvanométer mutatójának kitérése, az elektromos számláló készülék kattanása, fluoreszkáló és foszforeszkáló anyagok világítása, fényképező lemez megfeketedése, légritkított csőben létrejövő világító jelenségek, a levegő vezetőképességének megváltozása és a Wilson-kamarában látható fényes csíkok azok a tapasztalati jelenségek, amelyeket a fönti fogalmakkal, mint okokkal gondolatilag elő tudunk állítani.

Utoljára hagytuk a fény fogalmát, amely annyira beleevődött a tapasztalatba, hogy sokan nem az ész által alkotott okfogalomnak, hanem közvetlen tapasztalatnak tartják. Azonban kétségtelen, hogy mi magát a fényt sohasem látjuk és más érzékszervünkkel sem vesszük észre. Látásérzeteinkben nem a fény szerepel, hanem világos és kevésbé világos színes foltok, amelyek tudatunkban mint a tárgyak képei jelennek meg. A közvetlen tapasztalat nekünk a fényről éppoly kevéssé ád tudomást, mint az úgynevezett láthatatlan fényről. A fény nem szemléleti kép, amelyről közvetlenül van tudomásunk, hanem a következtetési gondolatfolyamat névvel ellátott alkotása, az a valami, ami a látásérzetet, a fényképező lemez megfeketedését, a fluoreszkáló ernyő világítását, az érzékeny hő-

mérő emelkedését, a fémek elektromos állapotának megváltozását létrehozza. A fényt az ember gondolkodóképessége találta ki a tapasztalatok igen nagy részének megmagyarázására, vagyis azok összekapcsolására és egymástól való függővé tételére.

Az okfogalmak a köznapi és a tudományos életben megmaradnak ugyan, mert a fogalmak örök életűek, azonban a tudományos felfogás ritkán van velük megelégedve. Mindig más okokból eredő okozatoknak fogja fel és örökké azon dolgozik, hogy helyükbe olyan okfogalmakat állítson, amelyek véglegeseknek volnának tekinthetők.

### 9. *A hipotézisek.*

Az okfogalmak keletkezésük kezdetén teljesen határozatlanok, valójában nem egyebek, mint puszta szavak, amelyekhez más képzet nem fűződik, mint csupán az, hogy az okozatot, melynek okául kigondoltattak, létre kell hozniok.

Az absztraháló lelki folyamatokkal létrejövő fogalmak között is sok a határozatlan, ködös, vázlatszerű és keretszerű, az elméletileg alkotott okfogalmak pedig kivétel nélkül ilyenek. Ennek az állapotnak a tudata kellemetlen érzéseket vált ki és az elmét arra indítja, hogy a határozatlan fogalmakat világosabbakkal, határozottabbakkal helyettesítse. Az absztraháló folyamatoknál az elme kötve van a tapasztalati elemekhez. Ez is kényszer, amely szintén kellemetlen érzéseket vált ki. Az elme az absztrakt fogalmakban szabadságot korlátozó nyűgöt lát, amelytől igyekszik megszabadulni. Mindezek közreműködnek a hipotézisképző lelki folyamatok kialakulásánál. Lélektani alapja az ember alkotásokra törekvő ős beállítottságában és elméjének társító képességében van.

A hipotézis képzésénél az elme nincs kötve a tapasztalathoz, nem kell abból kiindulnia és nem kell irányításához alkalmazkodnia, az absztraháló és analizáló munka helyett a szabad, szintetikus munkára térhet át. Szabadon válogathat lelki tartalmának összes elemei között, szabadon kapcsolhatja azokat össze, olyan hipotézist alkothat, amelynek szerkezetét ő állapítja meg. A határozatlan fogalmak helyett olyan lelki elemeket választhat, amelyekhez határozott képzetek fűződnek. E munkában az elme tudatosan leszáll megismerésünk alapjaihoz, az érzékszervi és műveleti emlékképekhez és azokat a maga céljainak megfelelően újból társítja és pedig úgy, hogy a keletkezett hipotetikus fogalom szemléletes legyen. Csupán csak egy feltételhez van kötve: a hipotétikus fogalomnak lehetőleg sok tapasztalati elem összekapcsolására és elrendezésére kell alkalmasnak lennie. E nélkül nincs célja és értelme. Annál jobb a

hipotézis, minél több tapasztalati elem között minél szorosabb és minél világosabb kapcsolatot tud teremteni.

Amíg tehát az absztraháló és okképző folyamatoknál a tapasztalattal való kapcsolat a folyamat egész lefolyása alatt megmarad, addig a hipotetikus fogalmakat mindíg utólag kell a tapasztalattal összekapcsolni, illetőleg a kapcsolat módját megadni és a tényleg végrehajtott kísérleti műveletek sorozatával a megegyezést is megvizsgálni. Minél több olyan tapasztalatunk van, amely a hipotézisből vont következtetésekkel egyezik, annál nagyobb hitünk van a hipotézisban, annál jobban bízunk abban, hogy következtetésekkel máskor is a tapasztalattal egyező eredményekhez jutunk. Egyetlen olyan tapasztalat azonban, amely a hipotézisből vont következtetéssel ellenkezik, elegendő a hipotézisbe vetett hit megszüntetéséhez.

Éppen, mert a hipotézis képzeteket foglal magában, a tudósnak sok gondolati lehetőséget ád. Már nemcsak a tapasztalat ruhájába öltöztetett gondolati elemekkel, vagy általános absztrakt vázakkal, amelyek a képzelő erőnek tápot nem adnak, hanem színes, mozgékony, szemléletes képekkel is dolgozhatik.

Az emberi szellem nagy általánosságban kétféle. Az egyik általános absztrakt fogalmakkal szeret gondolkodni, mindent ilyenekre, logikus kapcsolataikra, matematikai fogalmakra igyekszik visszavezetni. Ez az irány kitűnően alkalmas a kész ismeretek rendezésére, logikus szigorúságának és racionális egységének megállapítására. A másik irány az absztrakt fogalmakat nyűgnek tekinti, nehezen tud közöttük mozogni. Neki mindig konkrét, képi elemekre van szüksége, hogy velük képzelő ereje szabadon kombinálhasson. Ez az irány új feltalálások és felfedezések létrehozásában alkothat értékest és a hipotézis az ilyen szellemű tudósnak tesz jó szolgálatot.

Használható hipotézis alkotásához nem elég a gondolkodóképesség, sem a tények ismerete [*102*, 151]. Közvetlen megragadás, szerencsés kombináló képesség, a tárgyi ismeretekkel kellő korlátok közé szorított képzelő erő találja csak el a legcélszerűbb hipotézist. Megalkotásával azonban a munka még nincs befejezve, az igazi munka csak ezután következik. A hipotézist ki kell dolgozni, következményeit meg kell állapítani és pedig első sorban azokat, amelyek tapasztalati ellenőrzés alá vethetők.

Hipotézist kigondolni nem nehéz, de azt úgy kidolgozni, hogy a belőle vont következtetések a tapasztalattal összekapcsolhatók és kipróbálhatók legyenek, nehéz, hosszantartó és mélyenjáró tudományos munkát követel.

A fizika fejlődése folyamán a főbb hipotézisek elsősorban az okfogalmak gondolati előállításához fűződtek. Így mindenekelőtt a fény okfogalma számára termelt ki számos hipoteti-

kus fogalmat az emberi elme. Az első fajta ilyen termék megmaradt a szubjektív érzetnél és a szemből kiinduló csápszerű sugarakban, vagy pedig az ugyanonnan kiinduló pneumatikus nyomásban látta meg a látásérzet megmagyarázására alkalmas képzetet. Következett a világító testekből egyenes vonalban kiinduló részecskék hipotézise, amelyek új közeghez érkezve részben visszaverődnek, részben irányt és sebességet változtatva áthaladnak. Azután jött és sokáig jó szolgálatot tett a mindenséget kitöltő rugalmas aeter hipotézise, amelyben a világító testek részecskéi által keltett rezgések hullámszerűen terjednek tovább. Ezt felváltotta az elektromágneses aeter hipotézise, amelyben a rezgés tovaterjedését nem rugalmas, hanem elektromos és mágneses erők végzik. Majd ez a hipotézis is átváltozott és a fény minden tovaterjesztő közeg nélkül, a puszta térben tovahaladó, önállóan létező elektromágneses alakzattá vált. A legújabb fizika ez utóbbi képzetet a fényrészecskék képzetével egyesíti. A foton részecskeszerű is és hullámszerű is, van tömege, mozgásmennyisége, bizonyos periodicitása, tengely körül is forog és energiája egészszámú kvantumokban van elosztva. A foton tehát bonyolódott gépezet, amelynek viselkedését matematikai törvények írják elő és a szerint, hogy milyen testhez érkezik, különböző hatásokat válthat ki és így bő alkalmat nyújt képzelő erővel és matematikai tudással megáldott fizikusoknak kombináló képességük kifejtésére és a tapasztalattal való kapcsolatok létesítésére.

A hő okfogalma először a hőfolyadék hipotézisében öltött alakot, majd pedig a testek legkisebb részecskéinek mozgása adta azt a hipotetikus fogalmat, amelyen az anyag és a hő kinetikus elmélete felépült.

Az elektromos áram okfogalma először szintén hipotetikus fluidumok áramlásának képében jelentkezett (innét kapta nevét). Majd pedig a vezető sajátsága szerint három hipotetikus folyamattá változott át. Az elektrolítekben a pozitív és negatív töltésű iónok ellenkező irányú áramlása és töltéseiknek folytonos csereberélése adja az áramot. A gázokban az iónokhoz még az elektrónok járulnak hozzá. Mindkét hipotetikus folyamat a kísérletek és törvények hosszú sorával van a tapasztalathoz kapcsolva, ellentmondások és nehézségek nem jelentkeztek. A harmadik folyamat a fémvezetőkben folyik le. Itt az elektromos áramot a negatív töltésű elektrónoknak a pozitív töltéssel bíró fématomok rácshálózatának rései közti mozgása állítaná elő. Ez a folyamat bizonyos ellentmondásokat és nehézségeket hozott magával úgy, hogy a tapasztalattal nincs oly szilárd kapcsolatba hozva, mint a másik két folyamat.

A tudományos szintetikus szerkesztő munkának legérdekesebb alkotásai az atom szerkezetére vonatkozó hipotétikus

fogalmak. Amíg a newtoni világfelfogás hátterében az az egyetemes meggyőződés nyert kifejezést, hogy a tapasztalatban szereplő minden jelenség létrejöttének forrása és így végső oka a mindenségben meglévő tömegelemekben és a belőlük kiinduló erők hálózatában van elrejtve, addig az új világfelfogás ezt a forrást és a végső okot az atomok megfelelő szerkezetébe és a szerkezeti elemek közti hipotetikus kapcsolatokba véli elhelyezhetni. Amiként ott a súlyamérhető és a súlyamérhetetlen tömegeknek és a belőlük kiinduló erőknek kellett megoldani a fizikának minden megoldatlan problémáját, ugyanúgy itt az atomszerkezetek feladatává vált ez. E szerkezeteket tehát a feladatnak megfelelően kellett kigondolni.

Ha e nagyszámú és sokféle követelményre gondolunk, valóban csodálkozni kell azon, hogy az emberi elme szintetikus szerkesztő képessége e téren ragyogó sikereket érhetett el. Vannak atomhipotéziseink, amelyek valóban nagyon sok tapasztalat megmagyarázását teszik lehetővé. De megértjük azt is, hogy olyan atomszerkezetet, amely valamennyi követelménynek eleget tenne, mindezideig nem sikerült kigondolni. Sőt ha tekintetbe vesszük, hogy a sikeres atomszerkezetek is újabb megoldatlan kérdések sorozatait vetették fel, bonyolódottságokat és rejtélyeket mutattak, amelyekhez alig lehet hozzányulni: érthetővé válik, hogy az alapgondolat helyességére vonatkozólag is támadtak kételyek.

Minthogy sem az absztrakt fogalmak, sem a szintetikusan megalkotott hipotézisek a tapasztalatot nem állítják elő teljesen, joggal felmerül a kérdés, nem volna e jobb a tapasztalattal szoros összefüggésben lévő fogalmaknál maradni? A kérdésre megadhatjuk a feleletet. Az absztrakt fogalmak is és a szintetikus hipotetikus fogalmak is a gondolkodásnak segédeszközei, amelyekkel meglevő tapasztalati ismereteinket nemcsak összefoglalni és rendezni tudjuk, aminek folytán az emlékezetben való megtartásukat is lehetővé tesszük, hanem ezek alapján új jelenségekre következtetni is tudunk. A hipotézisek esője lehull a tudomány termő talajára és kapcsolat, találmány, felfedezés nő ki belőle.

Ha Ön kutató és logikus feje van, akkor e fogalmi keretek és szintetikus képzetek révén gondolatai meghatározott dolgokhoz kapcsolódnak, amelyeknek meghatározott kapcsolatok felelnek meg. Ennélfogva gondolatainak sorozata megindulhat, új kapcsolatokat eszelhet ki, új jelenségekre, új tapasztalásokra következtethet. Tud előrehaladni. Ha ellentmondáshoz jut, abból sem származhatik baj, mert fogalmait módosíthatja. Az absztrakt fogalmak és hipotézisek tehát az előrehaladásnak, a kutatásnak megbecsülhetetlen értékű segédeszközei. Ha Ön nem kutató és csak érdeklődik a dolgok iránt, akkor a hipotetikus

képek megkönnyítik a dolgok megértését és az emlékezetben való megtartását.

### 10. *A szimbolumok.*

A tudományos gondolkodásnak sajátságos esete az, amelyikben a tények leírása jelentéssel nem bíró szóhoz vagy matematikai jelhez fűződik. A példák fel fognak világosítani.

Ezt a mondatot pl.

*az égboltozatot sűrű fellegek borítják*

mindenki érti, mert hétköznapi tapasztalatot fejez ki, noha az égboltozat szónak semmi jelentése nincsen. Valamikor — talán Homerosz korszakában — képzetek fűződtek hozzá, a mai ember azonban ezeket elfelejtette; a szó tehát puszta szimbolummá vált a nélkül, hogy valamilyen fogalmat határozna meg.

A tudományban az éggömb visz ilyen szimbolikus szerepet. A csillagászat roppant sok tapasztalatot kapcsol össze ezzel a szóval a nélkül, hogy határozott jelentést adna neki.

A fénytani ismereteknek legnagyobb részét a világító pont, a fénysugár és a képpont szavakkal írjuk le, noha e szavak jelentését sem lehet megadni. A világító pont és a képpont nem más, mint pont, a fénysugár nem más, mint egyenes vonal, a fénytani jelenségek leírása semmi más, mint rajzolt ábrák sokaságának az értelmezése. A rajzolás maga kétségkívül tapasztalat, de mechanikai és nem fénytani tapasztalat. A fénytani ismereteket rendesen úgy kezdjük tanítani, hogy rajzolunk egy pontot és elnevezzük világító pontnak. Azután belőle kiinduló egyeneseket rajzolunk és ezeket elnevezzük fénysugaraknak és így megy ez tovább, amíg az egész jelenség helyébe rajz nem kerül. E rajzolási szimbolumokkal a fénytani tapasztalatokat leírjuk a nélkül, hogy maguknak a szimbolumoknak a jelentésével törődnénk. Ha pedig a fénysugár megvalósítása végett átlátszatlan ernyőn kisebb és kisebb nyílásokat vágunk és fényt bocsátunk rájuk, akkor a túlsó oldalon nem fénysugarakat, hanem minden irányban szétterjedő megvilágítottságot kapunk. Most is mondhatjuk, hogy a kis nyilásból legyező-szerűleg hajolnak szét a fénysugarak, tehát azt a tapasztalatot is, amely a fénysugár fogalmának határozatlanságát, sőt önmagával való ellentmondását mutatja, szintén a fénysugár szóval írhatjuk le, megint a nélkül, hogy jelentést tudnánk hozzá fűzni.

Ha a fényjelenségeket a fényhullám szóval írjuk le, ugyanolyan helyzetben vagyunk. Ez is csak szimbolum, rajzolt ábrákat és matematikai formulákat jelent, de nem fényt. Az elektromágneses hullám ugyanilyen szimbolum. Az elektromágneses jelenségek leírását lehetővé teszi, de önmaga ismeretlen marad.

A kémia nagy terjedelmű és számos ágra szétoszló tapasztalati ismereteit az atom, a molekula és a molekuláris képletek fogalmaihoz fűzte a nélkül, hogy az atom és a molekula valóságos jelentésével törődött volna. Ezek is tehát szimbolumok. A velük való operálgatás kitűnő eredményekhez vezetett.

Az elektromosság és mágnesség jelenségeit hosszú időkön át az elektromos töltés és a mágneses póluserősség fogalmaival írtuk le és a tapasztalatban beváló összefüggéseknek sokaságát találtuk meg segítségükkel, noha nem tudtuk, hogy az elektromos töltés és a póluserősség mit jelent. A szimbolumok kitűnően teljesítették feladatukat. Maga Rutherford, aki igen sokat tett az elektromosságra vonatkozó ismereteink megnövelése érdekében, életének vége felé ezt írta: „egész életemen át az anyag és az elektromosság közötti kapcsolatok megállapításával foglalkoztam, de nehezen tudnám megmondani, hogy mi az elektromosság?" [*107*, 444].

Ha az újabb kialakulásokra fordítjuk figyelmünket, itt sem mondhatunk mást, az elektron, a proton, a neutron és a mezon is csak szimbolum és igazat kell adnunk Eddigtonnak, amikor ezt írja: valami ismeretlen csinál valamit, de nem tudjuk, hogy mit: ez az elektron, vagy más helyen: az elektron a fizika *abc*-jének egy betűje [*33*, XVI], ahogyan az *abc* betűinek önmagukban nincs jelentésük, úgy a fizika bizonyos gondolati elemeinek sincs; ezek is szimbolumok, amelyekkel a jelenségeket le tudjuk írni, más jelenségekre velük következtetni tudunk, tehát másodrendű kérdés az, hogy ők maguk a valóságban mit jelentenek.

A relativitási elmélet is szimbolumokkal dolgozik. A négyméretű téridő sokaság, a világpontok és világvonalak, az általános koordináták, az invariánsok, a tenzorok, a négyméretű téridő görbülete, a kozmikus állandó szimbolumok, amelyek bizonyos beszédmódot és bizonyos matematikai műveleteket tesznek lehetővé. E szimbolikus beszédmód frázisait nem szabad kivetíteni a természetbe, és nem szabad ott számukra fizikailag megfogható valóságokat keresni. A tudományos munkák írói és pedig nemcsak a népszerűsítők, e szempontot sokszor figyelmen kívül hagyják. Sok szerző minden lelkiismereti furdalás nélkül le tud írni ilyesféle frázisokat: „a világvonal a négyméretű téridő sokaságnak olyan görbe vonala, amelyről a pont mozgásának minden tulajdonságát le lehet olvasni". Nyilvánvaló, hogy világvonalról soha senki nem olvasta le valamely pont mozgásának tulajdonságait. Világvonalak nincsenek, ilyeneket csak szintetikus matematikai szerkesztő munkával lehet megalkotni, ha előre tudjuk, hogy mit kell róla leolvasni. Hasonló a következő is: „az $x_1$, $x_2$, $x_3$, $x_4$ sokaságában a világvonalak rendszere a mindenség összes folyamatainak

időbeli lefolyását állítja elő." Mintha volna olyan mindentudó és mindenható ember, aki csakugyan tudná a világvonalak e rendszerét előállítani. Az ilyen frázisok a legszélsőbb metafizikus képzeletnek a kifejezései, jelentésük kevesebb a semminél, mert félrevezetők.

A kvantummechanika is sok szimbolummal dolgozik. Már a klasszikus mechanika fényhulláma is puszta szimbolum volt, amelyet a tér- és idő-koordináták matematikai függvénye állított elő. Minthogy a kvantummechanika alaphipotézise szerint a feltételezett elemi részecskéket nem ismerjük, a szimbolikus előállításhoz kellett folyamodni [*53*, 510]. A matrixok és különféle operátorok az ismeretlen részecskék ismeretlen helyeinek és impulzusainak a szimbolumai. A hullámmechanika minden részecskéhez hullámot rendelt hozzá, amely azt szimbolumszerűleg képviselje. Broglie anyagi hulláma és Schrödinger $\psi$-je ugyancsak puszta szimbolum. Az utóbbi a részecskék elhelyezkedésének valószínűségét szimbolizálja. Mindezek matematikai szimbolumok és így bizonyos új számítási módot tesznek lehetővé, tehát szimbolum-voltuk dacára a tapasztalatban megvizsgálható összefüggésekhez vezethetnek [*49*, 185]. A Dirac egyenleteiben szereplő matematikai alakzatok is minden fizikai jelentést nélkülöző puszta szimbolumok [*15*, 196].

Miként az általánosításoknak, úgyanúgy a szimbolumoknak is a fő tudománya a matematika. Szimbolumainak első és legkiválóbb képviselője a zéró, mint olyan valaminek a jele, ami nincs meg. Mindenkinek be kell ismernie, hogy a zéró nagyon hasznos szimbolum, mert a számoknak rendszerbe foglalása csak vele lehetséges. A zérón kívül a matematika a szimbolumoknak óriási sokaságával dolgozik és így az is természetes, hogy a matematikai-fizikában is szimbolumok szerepelnek. A fizikai mennyiségek matematikai szimbolumot kapnak és velük a matematikai műveleteknek sokaságát lehet elvégezni a nélkül, hogy törődnünk kellene azzal, hogy fizikailag mit jelentenek e műveletek. A fizika szempontjából bátran tekinthetjük szimbolikus játéknak, amelynek csak végső eredménye érdekelheti a fizikust, de csak akkor, ha az abban szereplő szimbolumok mellé nemcsak képzeletbeli, hanem észlelhető mennyiségek rendelhetők hozzá. A pozitivizmus szellemi irányzatának kiváló képviselője, Mach, bevallotta, hogy fiatal korában mindig boszankodott, ha a szimbolumokból származó matematikai levezetéseket látta. Történeti tanulmányai folytán azonban meggyőződött, hogy ez a módszer nem terméketlen és ezért nagy heurisztikus értékét el kell ismerni.

## 11. *Az alapelvek.*

A gondolati folyamatok a fogalmak kialakításával párhuzamosan közöttük kapcsolatokat is létesítenek, amelyek a tudománynak éppen olyan alapjai, mint maguk a fogalmak. Nagyon különböző néven szerepelnek: alapelv, alapfeltevés, alapigazság, sarkigazság, egyetemes igazság, kiinduló igazság, axióma, postulátum, principium, általános igazság, alaptörvény a gyakrabban előforduló elnevezések. A logika ugyan a felsorolt szavak egyikéhez-másikához megkülönböztető jelentéseket szokott hozzáfűzni, mi azonban a következőkben erre tekintettel nem leszünk. Valamennyit hasonló eredetű és természetű lélektani és logikai egységnek tekintjük.

A köznapi életben is nagy szerepet játszanak. Mi valamennyien bizonyos általános igazságokban való hiten nevelkedtünk fel, és saját tapasztalataink alapján is újabb meg újabb általános igazságok alakultak ki elménkben. Gondolkodásunkban, cselekedeteinkben, életünk folyásának irányításában rájuk támaszkodunk.

Tudományos szerepük már a görög filozófiában megkezdődött, ahol az emberi elme őseredeti, minden tapasztalattól független szülötteinek tekintették azokat. Az újkorban a 17. századtól kezdve az a meggyőződés alakult ki, hogy a fizika alapelvei a tapasztalatokból induktív következtetésekkel, vagyis általánosító gondolati folyamatokkal alakulnak ki. Természetesen magát ezt a meggyőződést is alapelvnek tekinthetjük. Azonban ma is vannak fizikusok és filozófusok, akiknek felfogása a görög filozófusok felfogásához áll közel.

A tudományok történetéből azt látjuk, hogy alapfogalmak és alapelvek egymással kapcsolatban merülnek fel. Így az ok és az okozat fogalma az oksági elvvel kapcsolatban alakult ki. E nélkül nincs is értelmük. Az egyenlő és a nemegyenlő, az egész és a rész fogalmai Euklidesz axiómáival együtt alakultak ki. A pont, az egyenes, a párhuzamos és a kör fogalmai pedig kapcsolatosak Euklidesz posztulátumaival. A tér és az idő fogalmainak kialakulása magával hozta a folytonosság alapelvét, és annyira egymáshoz vannak kötve, hogy egyik a másik nélkül értelmetlen. A legújabb időkben többféle tér- és időfogalom keletkezett, de ezek is a folytonosság elvéhez vannak kötve. Az atommal kapcsolatban az anyag szakadásos voltának elve alakult ki és ez a legújabb időben a sugárzási energiára is kiterjedt. A tömeg fogalma egyrészt a tömeg megmaradásának elvét, másrészt az egyenesvonalú egyenletes mozgás megmaradásának elvét vonta maga után. Az erő fogalma Newton axiómáival kapcsolatban alakult ki. A fény mechanikai hipotéziseivel kapcsolatban kialakult a legkisebb hatás

elve. Az energia fogalmát megmaradásának elve sugallta, amely nélkül nincs értelme.

E régi alapelvek ismeretelméleti jellegének megállapításánál irányadó az, hogy keletkezésük, kialakulásuk, szerepük azonos a fogalmakéval. Amikor az érzékszervi és műveleti tapasztalati adatok átmennek a gondolati folyamatokon, akkor nem csak fogalmak, hanem közöttük bizonyos kapcsolatok, alapelvek is kialakulnak. Legtöbbször általánosításnak az eredményei. Lehetséges, hogy az egyén tudatos kombinálgató munkával, ami összehasonlítással jár és azzal a félig tudatos és félig tudatalatti őslátással, amelyet intuiciónak szokás nevezni, jut bizonyos kapcsolatok felismeréséhez, amelyből általánosítás és kellő megfogalmazás után alapelv lesz. Bizonyos, hogy a fizikai alapelvek érvényességüket csak akkor érhetik el, ha a fizikusok kollektivumán átmennek. Ha nagyon sok tudós találta a tapasztalat leírásánál célszerűnek, új viszonyok felderítésénél hasznosnak, csak akkor lehet az egyén által alkotott tételből fizikai alapelv. A benne vetett hit használhatóságának hosszú sora által növekszik. Nietzsche általános megállapítása tökéletesen illik a fizikai alapelvekre is: az axiómák sok tapasztalat után hasznosaknak bizonyultak, azután valaki összefoglalta, azután parancsolólag hatottak, azután apriorisztikusoknak, a tapasztalaton felülállóknak, megtámadhatatlanoknak látszanak [*92*, 348].

Ismeretes, milyen nehézségek után talált csak általános elismerést az energia megmaradásának elve. Viszont a tudomány történetéből több elvet ismerünk, amelyek valamikor könnyen találtak elfogadást, sok sikert is hoztak, később mégis korlátolt érvényességűeknek vagy feleslegeseknek bizonyultak. Igy pl. mai ismereteink alapján a kémiai elemek változatlanságának elve alól kicsúszott a talaj.

A tudomány sok olyan axióma-jellegű megállapítást is kitermelt, amelyek az individuumoknál vagy ilyenek bizonyos csoportjánál megakadtak és végül is elbuktak, mert a fizikusok nagy kollektivumában elfogadást nem találtak.

Sokat vitatkoztak arról, hogy a kapcsolat, amelyet az alapelv megállapít, megismerési módunknak, tudatunknak és gondolkodásunknak szerkezetéből ered-e vagy pedig a külvilágban is objektíve létezik-e. Felfogásunk szerint ez a vitatkozás felesleges, mert a kérdés meg nem oldható. Bizonyos, hogy a kifejlődött emberi elmében lefolyó lelki folyamatok a fogalmi elemek között önmaguktól folyton újabb és újabb kapcsolatokat létesíthetnek. A tudományos gondolkodásba belenevelődött tudós azonban már az elveknek bizonyos csoportjával rendelkezik, gondolkodásában már ezek bizonyos medret vájtak ki maguknak és így a tapasztalat rendezése már az alapelvek sze-

rint folyik le. Ez az értelem hatalma a tapasztalatok felett, miként azt Galilei kifejezte, akit sokan — nem helyesen — tiszta empiristának szoktak feltüntetni. Bizonyos az, hogy az alapelvek a tudományos rendszerek megalapításában bevált tételek, tehát bizonyos tekintetben tudományos hittételek. A kutatók a tiszta és az alkalmazott axiomatikában látják a fizikai megismerés legmélyebben fekvő fundamentumát. Hilbert szerint „minden, ami a tudományos gondolkodásnak tárgya, az axiomatikus módszernek hatásköre alá tartozik" [*64*, 435]. A sokszor bevált alapelvet nem használni, valóban botorság volna. De ebből még nem következik, hogy minden kapcsolat, amelyet valamely alapelv a tapasztalatok között létesít, szellemünknek önálló és a tapasztalattól független terméke, vagy hogy ezeket valamely természetfeletti hatalom kényszerítette ránk.

Ha viszont az emberi alkotásoknak és a természetmegismeréseknek hosszú sorára gondolunk, amelyek néhány alapelv alkalmazásából indultak ki, szinte kényszerítő erővel nyomul fel a gondolat, hogy e kapcsolatok a külvilágban is megvannak. Ha pl. arra gondolunk, hogy a fizikai, a kémiai és más gyakorlati találmányoknak, felfedezéseknek, alkotásoknak milyen hosszú sora indult ki Euklidesz axiomáiból, valamint az anyag és az energia megmaradásának elvéből, el nem háríthatjuk magunktól a gondolatot, hogy ezekben az alapelvekben valami objektíve létező, vagyis a mi megismerési módunktól független és a külvilág folyamataiban is meglevőt fejeztünk ki. És ha elméleti és kísérleti vizsgálatainknak szétszóródottságára, esetlegességeire és az aprólékos kis törvényszerűségek megszámlálhatatlan hosszú sorára gondolunk, önként felmerül a gondolat, hogy a külvilág folyamatait nem az ilyen sokfelé ágazó és szerteszóródó tételecskéknek nagy száma szabályozza, hanem néhány egyszerű és általánosabb érvényű alapelv, amely azonban ezideig még nem volt felismerhető.

A tudományos elmélet alapjául szolgáló alapelvek csak akkor teljesíthetik feladatukat, ha teljes rendszert alkotnak, vagyis elegendőknek kell lenniök az illető tudomány tényeinek deduktív úton való levezetéséhez, azután a következmények között nem szabad logikai ellenmondásoknak lenni és végül kell, hogy egymástól függetlenek legyenek, amit arról lehet megismerni, hogy az ellenkező állítás ellentmondásokhoz vezet.

Még nem sikerült olyan alapelvrendszert felállítani, amely az összes fizikai tények, vagy csak egy kis részük deduktív levezetésében e követelményeknek megfelelt volna. De azért az eddig megismert alapelvek kétségtelenül jó szolgálatot tettek a kutatások vezetésében és irányításában. E minta alapján mindazok, akik a kutatás irányítására új elméleteket

állítanak fel, új fogalmaikkal kapcsolatban új alapelveket is kitűznek.

De ezek az alapelvek immár más természetűek, mint azok, amelyekről előbb volt szó. A relativitási elmélet mögött például nincs új tapasztalati megismerés, csupán csak egy tény van, amely azt mutatja, hogy egy jól kigondolt és jól végrehajtott kísérlet nem vezetett ahhoz az eredményhez, amelyet a tér, az idő, a tömeg, a tétlenség, a nehézség fogalmaihoz fűződő régi jelentések szerint vártunk. Einstein gondolatvilágában tehát e fogalmakhoz új jelentések fűződtek, amelyeket matematikai levezetésekkel kívánt megalapozni. Új alapelveit e cél szerint tudatosan szerkesztette meg. Nem mondhatjuk tehát azt, hogy a relativitási elmélet alapelvei a tapasztalatból közvetlenül nőttek ki.

Az atommechanika és a kvantummechanika új alapelveinek és alapfogalmainak kialakulását az új tapasztalati megismeréseknek óriási sokasága indította el. Itt nem egy, hanem sok kutató elméjében indultak meg a kialakulási folyamatok. Nem az új tapasztalatok hiánya, hanem azoknak bősége okoz nehézségeket. A különböző fejekben megindult szintetikus szerkesztési próbálkozások még nem is kögültek össze szerves egésszé, itt minden még előretörőben van és talán csak hosszabb idő elteltével alakul ki egy harmonikus egész. A felállított alapelvek tehát szintén mesterségesen és kitűzött céllal vannak megalkotva és ideigleneseknek tekintendők.

Az alapelvek keletkezése tehát nem egyforma. Egyiknél a tapasztalat, a másiknál inkább a szintetikus gondolati munka jut az előtérbe. Nincs itt szükségszerűen lefolyó gondolati folyamatokkal dolgunk, amelyek miként egy gép fogaskerekei, egymásba kapcsolódnak. Bizonyos, hogy minden alapelv és alapfogalom általánosságra, egyetemességre törekszik. Ha valamely területen bevált, mindig megindulnak a törekvések, amelyek olyan területekre is érvényesítik, extrapolálják, ahova a tapasztalat nem ér el. Euklidesz axiómáit és posztulátumait itt a Földön megszámlálhatatlan sok tapasztalat igazolja. Érvényességük azonban kiterjedt a makrokozmoszra és a mikrokozmoszra, ahol azt közvetlen tapasztalattal igazolni nem lehet. Ugyanígy van ez az energia megmaradásának az elvével.

Minden alapelv a tudósok kollektívuma által szentesített megállapításokat és burkolt fogalmi meghatározásokat is tartalmaz [*98*, 126], egyik részük a tapasztalatból szűrődik le, tehát bizonyos szűk körben a tapasztalattal közelítőleg igazolódik, a nagyobbik része azonban a konvenció útján elfogadott általánosítás, tehát olyan valami, amit önkényesen beleviszünk a külvilág folyamataiba és csak az alapelv érvényességének feltételezéséből származó fogalmi meghatározás révén igazolhatjuk.

Az alapelveket elfogadjuk, mert a tanítási gyakorlatban összefoglaló didaktikus értékük van, és mert a kutatónak új gondolatokat sugallhatnak, de csak addig tartjuk érvényeseknek, amíg olyanokat nem találunk, amelyek a céloknak jobban megfelelnek.

Korunk tudományos fejlődésében bőven volt alkalmunk az alapelvek fel- és letűnésének megfigyelésére. A tömeg állandóságának elve a fizikát sok sikerhez vezette, mégis, amikor oly tapasztalatok merültek fel, amelyeket az elv fenntartásával nehéz lett volna más tapasztalatokkal okszerű kapcsolatba hozni, a tudomány a tömeget a sebességtől tette függővé, később pedig más tapasztalatok összefoglalása végett a sugárzási energiának is tömeget tulajdonított és végül a tömeg és az energia egyenértékűségének elvét állította fel. Ezzel kapcsolatban az anyag megmaradásának az elve is változáson ment át. Ma már semmi nehézséget nem okoz annak elképzelése, hogy az anyag sugárzássá és a sugárzás anyaggá alakulhat át.

Nyilvánvaló, hogy nem helyes az a közkeletű meghatározás, amely szerint az alapelv olyan tétel, amelynek igazságát mindenki közvetlenül fel bírja fogni és hogy azt bizonyítani nem kell. Bizonyítani ugyan nem kell, mert sejtelmünk sincs arról, hogyan lehetne valamit bebizonyítani, ami a tudományos magyarázat kiindulási alapja. De bevezetését meg kell okolni. Először is az előleges tapasztalati tényeket kell felsorolni, amelyekből általánosítással hozzá el lehet jutni. Azután a következményeit kell felsorolni, végül az utólagos tapasztalatokat kell felsorolni, amelyek a következményeket igazolják.

Ha az alapelv csupán csak a konstruktív szellemnek az alkotása és igen magas elvont fogalmakat tartalmaz, amelyeknek a tapasztalattal való kapcsolata nem közvetlen, akkor az igazolás igen körülményes és sok nehézséggel jár. Valójában csak a tudás egész összefüggő mezeje tárgya a tapasztalattal való megvizsgálhatásnak. Ha az alapelvből vont következtetéseknek hosszú sorát a tapasztalat igazolja, akkor ezt mindig úgy tekinthetjük, mint az egész rendszernek, tehát az alapelvnek is az igazolását *[9]*. A tudomány le nem zárt és soha le nem zárható folyamat, azért fejlődésének folyamataiban folyton ellenőrzi alapelveit is és az újabb megismerésnek megfelelően változtatja, esetleg el is veti és másokkal helyettesíti.

Minthogy az alapelvek és az általános tételek megfogalmazásához szavak szükségesek és minthogy az általános jelentésű szavak jelentése sohasem egészen meghatározott és a határozottá-tételt újabb és újabb definiciók becsatolásával vég nélkül nem folytathatjuk, az alapelveket teljesen szabatosan meg sem lehet fogalmazni. Nincs is olyan alapelvünk, amelyet a tudomány a logika, a meghatározottság, a szabatosság, a

tapasztalatra való alkalmazhatóság szempontjai szerint kritika és kétely nélkül általánosan elfogadott volna.

### 12. *A fizikai tények.*

A fogalmi kapcsolatok leggyakrabban a természettörvényekben nyernek kifejezést. A törvény szó azonban ne vezessen félre. Nem állapít az meg semmiféle önálló ismeretelméleti egységet, nem mond semmivel sem többet, mint amit a fogalmak kapcsolata mond. A természettörvény, vagy fizikai törvény kifejezést a legkülönfélébb természetű, tartalmú, alapú és alakú megállapításokra szokás használni. Ismeretelméleti szempontból azonban egyik sem mond mást, mint e kifejezés: „fogalmak kapcsolata".

Még a tisztán tapasztalati törvények, vagyis a tények is az egyszerű érzékleti benyomások megállapításától a matematikai formulákban kifejezett törvényekig nagyon változatos megismerési alapokkal bírnak. Mégis a tapasztalati törvény, vagy tény mindig olyan megállapítást jelent, amely tapasztalható dolgokra vonatkozik. Ellentéte az olyan természettörvény, amely ugyan a tudományban elfogadott és értékelt tételt fejez ki, de absztrakt, vagy hipotetikus elméleti fogalmak közt állapít meg összefüggést, és így a tapasztalati dolgokkal közvetlen kapcsolata nincs, amilyen pl. a következő ismeretes tétel: a hő a molekulák mozgása.

A ténynek egyik fontos feltétele tehát az, hogy a tapasztalattal összefüggésben kell lennie. Semmi olyan megállapítást nem nevezünk ténynek, amely ilyen összefüggést nem tartalmaz.

Másik fontos feltétele: a reprodukálhatóság. Tény csak olyas valami lehet, amit a megadott feltételek mellett mindenütt mindenki megismételhet. Ma a tudomány a reprodukálható tényeknek sokaságával dolgozik. Bizonyosságuk elismerését nem valamilyen magasabb ismeretelméleti elvnek köszönhetik, hanem éppen annak, hogy felismerésük kezdete óta sokszor, sok helyen, sokak által megismételtettek és az emberi felfogó szervek adataival és gondolkodó képességünk fogalmaival megegyezőknek bizonyultak.

E második feltételnél fogva lettek a tények a fizikai megismerés alapjaivá, mert az egyén szeszélyétől, akaratától, az elme szerkesztő, kombináló spekuláló képességétől független kötöttséget, szükségszerűséget fejeznek ki, ami megismerésünknek megbízhatóságot és állandóságot kölcsönöz.

Azonban minden ténybeli állítás — még a legegyszerűbb is, — mindig többet tartalmaz, mint közvetlen észlelési eredményt. Már akkor is, amikor közvetlen érzetet fejezünk ki,

bizonyos szimbólumokat használunk. Ha pl. azt mondom: az égboltozaton látok egy csillagot, már ebbe a kifejezésbe is absztrakt fogalmakat, szimbólumokat, következtetéseket, extrapolációkat szőttem bele. Az égboltozat tisztán szimbolikus, a csillag a tapasztalattól messze eső absztrakt fogalom, mert feltesszem, hogy egy égitest van mögötte. Beleszőttem a fényt, a fénykibocsátást, a fénytovaterjedést, a tér és az idő fogalmait is. A tiszta érzet, amelyet a csillag látása bennünk kelt, szóval ki sem fejezhető. Az új fizikában sokszor olvassuk ezt a ténybeli megállapítást: a Wilson-kamrában egy proton pályáját látjuk. Amit látunk, az valójában semmi más, mint vonalszerű fénytünemény, amelyhez az absztrakt fogalmakkal kifejezett gondolatoknak hosszú sorát kapcsoljuk. A vonalszerű fénytüneményt apró vízcseppek alkotják *(különböző műveletek eredményéből vont következtetés)*, e vízcseppek magjai iónok, *(különböző észlelések megmagyarázására alkotott hipotézis)*, az iónokat valaminek létre kellett hoznia *(az oksági törvény alapján való következtetés)*, az pedig csak nagy sebességgel mozgó részecske lehet *(az atomelmélet és az energia megmaradásának elvén alapuló következtetés)*, a részecske proton volt *(az atomelmélet alapján a mágneses tér kitérítő hatásából nyert következtetés)*.

A tények kifejezései a tapasztalati fogalmakon kívül mindig absztrakt fogalmakat is tartalmaznak. Mi bizonyos műveletekre, vagy észlelt folyamatokra embertársaink figyelmét egyszerű rámutatással felhívhatjuk, azok végzésére ugyanilyen módon meg is taníthatjuk, de általános érvényű megállapításokat csak absztrakt fogalmak segítségével tudunk tenni. Ténymegállapítás csak a tapasztalat szétbontásával és elemeinek újból való rendezésével jöhet létre.

Minden fizikai tény az egymásbaszövődött tételeknek hosszú sorát is magában foglalja, még akkor is, ha azok nincsenek kifejezve [*102*, 31]. A Stefan—Boltzmann-féle törvény pl., amely szerint a hőmérsékleti sugárzás energiája a hőmérséklet negyedik hatványával arányos, csak úgy bír értelemmel, ha ismerjük az energia megmaradásának tételével, a sugárzási energia és az abszolút fekete test definiciójával való összefüggéseit.

A matematikai alakban kifejezett törvények sem állítják elő a tapasztalatot úgy, ahogyan azt észlelni lehet. Először azért nem, mert a kapcsolat csak bizonyos feltételek mellett érvényes, amelyek sohasem teljesednek tökéletesen. Másodszor azért nem, mert a benne szereplő fogalmak absztrakt ideális fogalmak, amelyekhez csak közelítőleg meghatározható fizikai mennyiségeket rendelhetünk hozzá.

Még a tisztán kísérleti eredményeket kifejező tapasztalati

törvényeink sem fejezik ki azt, amit a kísérletező valójában tapasztalt. A Boyle—Mariotte-féle törvény kísérleti úton való megállapításában pl. szerepelnek bizonyos üvegcsövek, gázok, amelyeknek térfogatát kell meghatározni, higanyoszlopok, amelyek a gáz térfogatát határolják, távcsöves magasságmeghatározó készülék, hőmérő, légsúlymérő. Szerepelnek továbbá az ezekkel végzett műveletek, a higany összenyomására, a higany felületi feszültségének hatására, az üvegcsövek térfogatváltozására, keresztmetszetére vonatkozó korrekciós mérések és számítások. Ezek volnának a közvetlen megfigyelés adatai. De ezekről a tételben, amely a gáz térfogatának és a reáható nyomásnak fordított arányosságát mondja ki, szó sincs. A törvény tehát nem a megfigyelt tényeket és műveleteket foglalja össze, hanem helyükbe fogalmakat állít. Azonban a hozzáértő elmében ezek a fogalmak kapcsolatban vannak a megfigyelésekkel és a műveletekkel.

A kvantumfizika egyik legnevezetesebb kísérleti tényét, a Franck és Hertz-féle kísérletet nagyon sokféleképpen lehet kifejezni, pl.: a higanygőz mindaddig nem sugároz, amíg a bombázó elektronok meghatározott sebességet el nem érnek, vagy: a higanygőz ionizáló potenciája 10·6 volt, vagy: az atom kvantumszerűleg sugároz, vagy: minden atomhoz meghatározott energiaszintek tartoznak. Mindezekben a kifejezésekben szó sincs azokról a műveletekről és észleletekről, amelyeket a kísérletező a kísérlet végzése közben közvetlenül észlelt.

Még a puszta adat, pl. az, hogy a szabadesés gyorsulása Budapesten a Műegyetem geodéziai pincéjében 980 · 853, absztrakt fogalmakat és következtetéseket foglal magában.

A tények nem állanak egymás mellett egyenlő rangúan, közöttük hallgatólagosan bizonyos hierarchikus rend alakul ki, amely az idők folyamán erős változásokon mehet keresztül [*100*, 9]. A tény rangját az a siker méri, amelyet a régi tények összekapcsolásában és új tények létrehozásában elér. Igen magasrangú tényt fejez ki pl. a hő és a munka egyenértékűségének a törvénye, a Mosley-féle és a Balmer-féle törvény. Ellenben magukban álló, kevés kapcsolatot adó tények a hierarchikus rend alacsony fokára kerülnek. Innét azonban ugrásszerűleg a legmagasabb rendbe emelkedhetnek, ha újabb absztrakt, vagy hipotetikus fogalmak által széleskörű ténysorozatokba kapcsolódnak bele. Ez történt pl. a Brown-féle mozgással.

## 13. *Az elmélet.*

A fogalmak összekapcsolódási műveleteinek és az emberi elme gondolkodó képességének legmagasabb foka az elméletek alkotásában nyilatkozik meg. A kombinálgatás, a spekuláció

és a szintézis főszerephez jut bennük, de a tudományos megismerés minden más művelete és módszere, minden tudatos és tudatalatti gondolati folyamat is közreműködik. A lelki tartalom elemei között rendeződési folyamatok folynak, amelyekből új lelki tények születnek és ezek harmonikus, egységes egyetemes rendszerbe sorozódnak.

A legújabb kor fizikáját jellemzi az elméletek sokasága. „Elméletek ma keletkeznek, holnap divatba jönnek, holnapután klasszikussá válnak, a reá következő napon elavulnak és elfelejtődnek" [*99*, 203]. Ez az állapot tulajdonképpen reakció a 19. század szellemi állapotával szemben, amely a legjobb úton volt az általános dogmatizálódás felé. A fiatal nemzedék még ebben a szellemben nevelődött fel, de a fejlődés egészséges szelleme kiváltotta a reakciót, amely a dogmatizmust félrelökve, örömét leli az újabb és újabb elméletek alkotásában.

A 20. század fizikájának éppen az a nagy filozófiai jelentősége, hogy megóvott bennünket a dogmatizmusba való merüléstől és megtanított arra, hogyan kell a fizikai elméletek értelmét és jelentőségét felfogni.

A sokféle elmélet könnyen támaszthatja a gondolatot, hogy az emberi elmék most szétszóródó, centrifugális irányban fejlődnek. Ha azonban elménket megszabadítjuk az elméletek megjelenési formáiban jelentkező külsőleges különbözőségektől és magasabb szintre emelkedve a bennük szereplő közös vonásokra fordítjuk figyelmünket, éppen az ellenkező eredményre, arra a meggyőződésre jutunk, hogy az elméletek összefüggnek egymással, óriási és bonyolódott berendezési épületet alkotnak, amelyen évezredek óta dolgoznak a legjobb elmék. Ez az épület a felületes szemléletnél nagy konglomeratumnak látszik, de a figyelmesebb nézés észreveheti tagozódását, alapjait és összetartó gerendázatát. Koronként megtörténik, hogy az építők az elméleti épület egyes részeit lebontják, sőt néha a lebontás egészen az alapokig megy le, azonban a régi és az új kövekből megint felépül az új rész és többé-kevésbbé harmonikusan illeszkedik bele a le nem bontott régibe.

A térmérésre vonatkozó ismereteink az ókorban a tapasztalatból alakultak ki közvetlenül. Euklidesz e tanokat didaktikai okokból rendszerbe foglalta. Az egésznek élére axiómákat és posztulátumokat állított és a tapasztalatból ismert tételeket, belőlük kiindulva, bebizonyította, vagyis tudatossá tette, hogy azokkal egyező megállapításokat foglalnak magukban. Euklidesz mértana volt az első tudományos elmélet és egyszersmind minden későbbi elméletnek az alapja.

Mindenekelőtt Ptolemáiosz világrendszeri elmélete készült ezen az alapon, de bonyolódott geometriai szerkesztéseket foglalt magában, aminek következtében csak igen nagy hibák-

kal tudta az égitestek helyét kiszámíthatóvá tenni. Kopernikus nem is a való, hanem a bonyolódottság szempontjából bizonygatta, hogy a tapasztalat milyen egyenetlenül helyezkedik el benne. Az ő saját, ugyancsak Euklidesz tanain álló elmélete valóban egyszerű is volt. Dolgozó elméletté azonban csak akkor vált, amikor Newton dinamikus világrendszeri elméletté alakította át. Természetesen ez is Euklidesz tanain épült fel, azonban e tanok a közvetlen tapasztalat köréből immár kiugrottak és a makrokozmosz világába emelkedtek fel, ahol érvényességüket a tapasztalat már nem igazolhatja közvetlenül.

A 19. század matematikusai azután tisztán a fogalmak analízise és szintetikus matematikai szerkesztéssel, amelyek az euklideszi fogalmak és elvek általánosításán alapultak, különféle nemeuklideszi terek elméletét alakították ki és Einstein azokat belekapcsolta a mechanikába.

Euklidesz térmérési tanainak felhasználásával, szilárd tapasztalati alapból kiindulva alakult ki az elméleti fizika egyik legtökéletesebb elmélete, a rezgések és a hullámmozgás elmélete. Az elmélet vázát itt három igen egyszerű absztrakt fogalom, az egyenletes körmozgás, annak egy átmérőre való vetülete és az egyenes vonalú egyenletes mozgás alkotja. Két ugyancsak euklideszi fogalmakon alapuló elv, Huygens és Fourier elve segítségével szabatos és a fizika minden ágában jól alkalmazható elmélet keletkezett belőle.

A mikrokozmoszra vonatkozó elméletek szintén Euklidesz tanain alapulnak. Először a hő mozgási elmélete alakult ki. Az egyensúlyi helyzet körül rezgő, az egyenes vonalon tovarohanó, billiárdgolyókhoz hasonló atomok képzete nem volt egyéb, mint geometriai-kinematikus váz, amely kombinálgató elméknek bő alkalmat nyujtott találékonyságuk kifejtésére. A kvantumelmélet ehhez hozzávette a valószínűség és a hullámmozgás fogalmát, amely utóbbit, miként láttuk, szintén Euklidesz tanain alapszik.

Euklidesz mértanja tehát minden elméletnek a magja, az a közös rész, amely valamennyit egymáshoz fűzi és egyszersmind logikus mintája minden elméletnek. Ez mutatja nekünk legvilágosabban a fizikai elméletek természetrajzát. Minden elmélet néhány egyszerű, absztrakt vagy hipotetikus fogalomból és néhány a tapasztalatból származó, vagy csak szintetikus értelmi munkával megszerkesztett elvből indul ki és logikai következtetésekkel, vagy matematikai átalakításokkal, amelyben az ember kombinálgató és összehasonlító képessége szabadon működhetik, oly összefüggések megalkotására törekszik, amelyek a tapasztalatra alkalmazhatók legyenek.

Sokan vannak, akik a fizikai elméletben a fizikántúli realitás képét látják, amely az objektív való mibenlétét tünteti

fel. Noha a fizikust sohasem lehet megfosztani attól a hitétől, hogy munkájával az objektív való megismeréséhez jut közelebb és talán nem is célszerű őt ettől a hitétől megfosztani: mégis mindig, különösen pedig akkor, amikor bizonyos elméletek nehézségekhez, ellenmondásokhoz, krízisekhez vezetnek, nem szabad szem elől téveszteni, hogy az elmélet gondolati alkotás, az ember szintetikus kombinálgató és spekulatív munkájának az eredménye és hogy, mint ilyen, nem áll a tapasztalat felett, hanem attól függ és hogy nem lehet fizikántúli ontologikus jelentése.

A fizikai elmélet mindenek előtt három feladatot teljesít: egy didaktikust, egy gyakorlatit és egy heurisztikust.

Didaktikus feladatát úgy teljesíti, hogy lehetőleg sok tapasztalatot egyetlen egyszerű, áttekinthető és könnyen emlékezetben tartható formára vezet vissza és megadja a módját annak, hogyan lehet bonyolódott tapasztalatokat egyszerű elemekre felbontani, szokatlan jelenségeket megszokottakra visszavezetni és a tapasztalat legkülönfélébb területeire ugyanazon néhány elemnek működését belelátni. Gyakorlati feladatát úgy végzi, hogy adott problémák megoldásához kiinduló alapot, kísérleti és számítási módszert nyujt.

Heurisztikus célját azzal éri el, hogy a néhány egyszerű elméleti elemével való operálgatás lehetővé teszi az emberi elme kombinálgató munkáját, ami a tapasztalat megszámlálhatatlan sok elemével lehetetlen volna. Oly dolgokat is sejtet, amelyekre az ember különben nem gondolna, termékeny gondolatokat ébreszt, a kutatást irányítja s a felfedezés munkáját előkészíti. A tapasztalat számára gondolati alapot ád, az esetlegesen találtat az általánosba szövi bele, az ismeretlent megvilágosítja, mert más ismert dolgok fényét veti rá és így biztonságát megnöveli. Az a tapasztalat, amelyet az elmélet is igazol, a tudás hierarchikus rendjében megfelelő helyet és értéket szerez. Ellenben az elmélet által nem igazolt tapasztalat, érthetetlen és értéktelen marad mindaddig, amíg megfelelő elmélet a maga rendszerébe be nem tudja csatolni. Ilyen volt pl. a Brown-féle mozgás mindaddig, amíg az anyag kinetikus elmélete ki nem alakult.

Az elméletnek egyszerűnek és átlátszónak kell lennie. Alapfogalmait és alapelveit világosan kell megfogalmaznia. A tapasztalat elemeinek bekapcsolására rendesen a térre és az alakra vonatkozó szimbolumokkal, valamint az idő szimbolumával kapcsolódik. A részletes kidolgozásakor ezek sokszor bonyolódott szövevénnyé alakulnak ki. Azonban az analítikai bonyolódottság az elmélet értékét nem szállítja le mindaddig, amíg az egyszerű kiindulási vázon nem kell változtatni. Ha azonban ezt minduntalan meg kell tenni, valahányszor a tudo-

mány új, az eddigi vázba bele nem illő tapasztalatra tesz szert, akkor az elmélet értéke alászáll. Ez történt a legújabb időben a fényhullám elméletével, amely pedig hosszú ideig mindenekfelett értékeltetett.

Azonban éppen, mint a fényelmélet mutatja, egymásnak ellenmondó elméleti vázak is megmaradhatnak egymás mellett, ha nem a fizikántúli végokot látjuk bennük és ha a végső valót nem gondolatainkból akarjuk felépíteni. A legújabb fizikában a fényrészecske elmélete és a neki ellenmondó hullámelmélet megállhat egymás mellett, mert mindegyik elméleti váz termékenyítő gondolatokat tud gerjeszteni. A gázok kinetikus elmélete ma is érvényes, noha a billiárdgolyóhoz hasonló, tökéletesen rugalmas és a mechanika törvényei szerint mozgó atomok hipotézise ellentétben áll a mai atomszerkezetek hipotézisével, amelyek nem széttörhetetlenek, nem tökéletesen rugalmasak és nem mozognak a mechanika törvényei szerint. Ilyen ellentétes két hipotézis a kvantummechanikának a részecske és az anyaghullám fogalmain felépülő mintája is. Mindegyik ád gondolatokat a további kutatás számára.

Az elméletnek önmagában nincs értéke, az attól függ, hogyan tudja didaktikai, gyakorlati és heurisztikus feladatát szolgálni. Bármennyire különös, formális és szövevényes is gondolati váza, értékessé válik, ha számos különálló tény összefoglalását lehetővé teszi és ha új kapcsolatok keresésére ingereket és útmutatást ád. Az emberi elme magára való utaltságában minden feltörő gondolatot szívesen megragad, ha nincs más irányjelzés a tapasztalatok nagy összevisszaságában.

Nincs is olyan elméletünk, amelyet véglegesnek tekinthetnénk. Minden újabb tény arra kényszeríthet, hogy a meglevő elmélet helyébe egy újat állítsunk, vagy hogy az új elmélet helyébe egy régebbit újból elővegyünk.

A tudomány mai embere az elméletet ideiglenesnek tekinti és mindig készen van arra, hogy helyébe jobbat, egyszerűbbet állítson és minden nehézség nélkül megy át az újabb elméletre, ha az jobban teljesíti feladatát. Éppen azért, mert csak eszköz a kezében, nem pedig a fizikántúli valóság képviselője, bolondság is volna egy kínálkozó újabb elmélethez nem nyúlni, ha az jobban összefoglal és újabb látópontokat tüntet fel [2, 8].

A jól kidolgozott elmélet nem egyéb, mint bizonyos értelemben vett próbálgatás, hogy a tapasztalatok világában el tudjunk igazodni. „Ha a relativitási elmélet és a kvantumelmélet bizonyos fogalmainkat tisztázta is, az nem jelenti azt, hogy velük a végső állapotot értük el. Nincs kétségem az iránt, hogy újabb fogalmi revízióra lesz szükség", írja Heisenberg [58, 91].

# IV. A KONVENCIÓ.

## 1 *A kényszerített és a választott.*

A fizikai megismerés fogalmait úgy tekinthetjük, mint az ember harcát a tőle független természeti hatalmakkal. Megismerésünk, tudásunk e harcnak az eredménye, tehát két forrásból fakad: a tőlünk független természeti hatókból és az ember képességeinek a megnyilatkozásaiból. Az első reánk van kényszerítve, a második tőlünk függ. A fizikai megismerés tehát kétoldalú.

Már a fizika tárgyában felismerhető ez a kettős jelleg. A fizika részben a természet dolgaival és folyamataival, részben pedig az ember által alkotott dolgokkal és folyamatokkal foglalkozik.

Magában a tapasztalatban, tehát a fizikai megismerés kezdőfokában is igen határozottan felismerhető a kettős jelleg. Minden fizikai tapasztalat ugyanis két alapból indul ki: egyrészt érzékszervi érzeteinkből, másrészt műveleteinkből. Az érzékszervi érzeteket, vagyis azt, amit látunk, hallunk, tapintunk, ízlelünk és szagolunk, a külvilág kényszeríti reánk, viszont mozgó, mozgató, anyagátalakító műveleteink saját akaratunknak uralma alá tartoznak. Műveleteinkkel mi a reánk kényszerített érzetek világát módosíthatjuk, kiegészíthetjük és új érzeteket teremthetünk.

A megismerésnek ez a kétoldalúsága a magasabb fokozatban is folytatódik. Az érzetek alá vannak vetve olyan folyamatoknak, amelyek tőlünk függetlenek, tehát reánk vannak kényszerítve. Ezek a feledtető, az összeolvasztó és a társító lelki folyamatok, amelyeknek eredményei az általános emlékképek, vagy képzetek.

Így például, ha Ön előadóteremben ül, a benne lévő bútoroknak és személyeknek szemléleti képei határozottan és élesen határolva jelennek meg tudatában, mert szeme nyitva van. Ha becsukja szemét, mi marad a tudatában? A megelőző pillanat érzeteiben megnyilvánult részletek és intenzitásbeli különbségek rohamosan tünedeznek, elhalványulnak s csak halvány, vázlatszerű alakzatok maradnak vissza. Másnap még halványabbak és még szegényebbek lesznek, hogy bizonyos idő mulva

csak egészen határozatlan és ködszerű emlékképek váljanak belőlük.

Változtathat-e Ön e folyamaton? Nyilvánvaló, hogy nem. Az elfeledtető lelki folyamat az Ön akaratától függetlenül megy végbe, reá van kényszerítve, ahogyan reá vannak kényszerítve az érzetek.

Ugyanígy van az összeolvasztó és a társító lelki folyamatokkal is. Nem az Ön műve, hogy a sok tölgyfának emlékképei a tölgyfa általános, jellegzetes képzetébe olvadnak össze. Nem akaratából és közreműködéséből alakult ki lelkében az esésnek, a körmozgásnak, a forgásnak, a rezgésnek általános emlékképe. És nem az Ön akaratából kifolyólag társulnak azok egymással.

A lelki folyamatokból eredő általános képzetek éppenúgy reánk vannak kényszerítve, miként az érzékszervi érzetek. Csak az a különbség, hogy ez a kényszer nem kívülről, hanem belülről, idegrendszerünk és lelkiségünk szerkezetéből származik.

De e kényszerrel mi megint egy tudatos lelki folyamatot állítunk szembe, amely csak tőlünk, a mi gondolkodóképességünktől függ, de a természettől nincs reánk kényszerítve, csupán korlátozva van az által, hogy elemeit meglevő képzeteinkből rakhatjuk csak össze. Mi ugyanis az általános képzetek határozatlan, ködös, imbolygó alakjaival nem vagyunk megelégedve, határozott, egyértelmű fogalmakat igyekszünk belőlük csinálni. A művelet, amellyel ezt végezzük, a konvenció.

### 2. *A névadás és a definició.*

A konvenció több fokozatban folyik le. Az első valamilyen szónak a hozzáfűzéséből áll. Aki valamilyen dolgot megismer és az a meggyőződése, hogy az egészen új dolog, amelyet másokkal is meg kell ismertetni, legyen az tárgy, folyamat, művelet, vagy egészen ujonnan alkotott elvont fogalom, annak első dolga, hogy nevet ád neki. Ez a megismerőnek olyan szuverén joga, amilyen a szülőké, amikor gyermeküknek nevet adnak. Valamennyi fizikai szavunk ilyen szabadon választott konvencióból eredt.

Mi valamennyien, amikor új dolgokat tanulunk, már az új szóval kapcsolatban tanuljuk azokat. Tanulásunk azonban csak akkor jár helyes úton, ha az új szóval együtt a tapasztalati eredetű képzeteket is engedjük lelkünkben kifejlődni, amelyekhez a szó, mint szükséges, de mégis csak mint lényegtelen szimbólum hozzátapad.

Minden tanuló tanulásával egy konvencionális szó- és gondolatrendszerbe jut bele, amely az emberiségnél évezredek

óta fejlődik. Gyakran elfelejtjük, hogy a szó csak szimbólum, amely valakinek szuverén tetszése szerint esetlegesen tapadt hozzá a fogalom tartalmához. Egy híres angol csillagásszal történt az, hogy a csillagrendszerekről tartott előadása végén az egyik hallgató a következő kérdéssel fordult hozzá: egészen jól megértettem mindent, csupán azt nem értem, miképen tudták meg önök, csillagászok, hogy az egyik csillagot Siriusnak, a másikat Antaresnek, a harmadikat Végának nevezik?

A szónak a fogalomhoz való csatolása lehetővé teszi a róla való beszédet, de még nem teszi határozottá. Csak definició révén lesz azzá. Itt következik be a konvenciónak második lépése. Nyilvánvaló, hogy azt nem a tőlünk független természet kényszeríti reánk, hanem hogy az szellemünk szabad tevékenységének, a válogatáson alapuló belátásnak és ítéletnek a műve.

A definiálás formailag úgy történik, hogy a derengő új fogalmat meghatározott képzetekkel, vagy olyan más fogalmakkal hozzuk szoros kapcsolatba, amelyeknek jelentését egyértelműnek tartjuk. Vannak ugyanis fogalmaink, amelyeknek a tapasztalattal való összefüggése többé-kevésbbé meghatározott és ismeretes. Ilyenek mindenekelőtt a tárgyi fogalmak (vas, platina, víz, szilárd test, folyadék), a folyamat-fogalmak (esés, mozgás, forgás, folyás), a művelet-fogalmak (eltolás, emelés, hozzáadás, elvevés, szétdarabolás). Az elvont fogalmak között is vannak olyanok, melyeknek jelentése mindenki előtt ismeretes, ilyenek pl. a pont, az egyenes, a sík. A legnevezetesebb ilyen fogalmainkat az egyenlő—különböző, az egész—rész és az állandó—változó fogalompárok jelölik. Senki a világon nem tudja lényegesen más jelentésű szavakkal megmondani, hogy ezek mit jelentenek, de azért mindenki, akinek ép esze van, tudja, hogy e szavak milyen lelki tartalmakat jelölnek.

Az új dolog a legtöbbször éppen akkor tűnik fel, amikor valamely kutató felismeri, hogy a tanulmányozott jelenségben, valami új egyenlőnek, egésznek vagy állandónak, vagy azok ellenkezőinek a jelei mutatkoznak. A tudományra annakidején valóságos jótétemény volt az, amikor Newton felismerte, hogy a mindenfelé használt erő fogalma az anyag állandóságának és a sebesség változásának a fogalmával a legszorosabb kapcsolatban van és amikor ezt a sugallatszerű látást az erő fogalmának a mozgás második törvényében megadott definiciójába öltöztette, a tömeg állandóságát pedig definició alapján a mérleggel mérhetővé tette.

A fogalmak definiciója a konvenciónak második lépése. Hogy ez nem reánk kényszerített valami, hanem szabad választásunknak a műve, mutatják a történeti tények, amelyek szerint rendesen hosszú időkön keresztül egymással ellentétes definiciók küzdöttek egymással mindaddig, amíg valamelyik általánosan

elfogadottá nem vált. Ugyancsak a tudomány fejlődése bizonyítja, hogy a célszerűen megválasztott szavak és definiciók sokszor váltak termékeny előrehaladásnak a hajtóerejévé.

### 3. *A mérés.*

A konvenció harmadik lépését a mérés műveletének megválasztásával teszi meg. Ezzel a külső hatások következtében lelkünkben kialakult absztrakt fogalmakat akarjuk határozottakká tenni. Határozottakká saját magunk, mások és a jövendő számára. Ez a mérésnek egyetlen célja és feladata. A fizikus a méréseket nem azért végzi, hogy a filozófusok az ő számadataiban a metafizikai valónak bonthatatlan elemeit lássák, hanem egyedül és kizárólagosan azért, hogy mértékegységeivel és számadataival fogalmait határozottakká és bármikor bárki által reprodukálhatókká tegye. A természet nem kényszeríti reánk sem a megmérendő mennyiségeket, sem a mértékegységeket, sem a számok hozzáfűzésének a módját. Mindezeket szuverén értelmünk ítélete alapján szabadon választhatjuk. Sőt ez a szabadságunk tágabb körre is kiterjed. Bizonyos fogalmakat ugyanis alapfogalmaknak tehetünk meg és minden más fogalmat ezekre vezethetünk vissza, de ez is a szabad választásnak, a konvenciónak a műve. Így keletkeztek a különféle mértékrendszerek. Az úgynevezett abszolút mértékrendszer egyáltalában nem abszolút, nincs reánk kényszerítve, az is épúgy választás tárgya volt, mint az úgynevezett gyakorlati mértékrendszer.

A konvenciós választás alapján kialakult mérési módszerek első csoportjába a térméréseket és a tömegméréseket soroljuk. A térmérés alapjává már az ókor a merev rudakkal való hosszúságmérést választotta. Hogy azonban ez nincs reánk kényszerítve, mutatja az, hogy ma is határozott jelentése van a „nyíllövésnyire", vagy a „puskalövésnyire" kifejezéseknek. Mérhetünk távolságot idővel is, aminthogy a gyakorlatban ma is az „egy órai út" és a tudományban a „fényév" mint távolságegység szerepel. A gyakorlatban a szilárd, vagy elméletileg a merev rudak egymásután való rakásával mérjük legtöbbször a távolságot. A fénysugár fogalma is hozzászövődik ehhez a méréshez. Választás tárgya volt maga a mértékegységül szolgáló távolság is és a különféle népeknél ma is meglévő sokféle hosszmértékek mutatják a konvenciónak az uralmát.

A szögmérés egységei is a szabadválasztás tárgyai voltak. A konvenciónak a ránevelődésben szereplő hatalma hozta magával, hogy a babilóniai eredetű szögmérési egységeket ma sem sikerült kiküszöbölni, noha a helytelenül abszolútnak nevezett szögmérésben olyan mérési eljárásunk van, amely a

szögmérés egységét két hosszúságnak a viszonyszámára vezeti vissza.

A terület, a térfogat és a tömegmérés egységei és mérési eljárásai is a konvenció szabad választása alá tartoztak. Így származtak a nagyon is különböző egységeik. A tudomány mindezeket a hosszegységekre vezette vissza, de ebben is több választás lehetősége állott rendelkezésére. Az, hogy a tömeget a nehézségi erő alapján és nem például térfogattal, kémiai, kalorikus és elektromos hatásaival mérjük, szintén a konvencionális megállapítás dolga volt.

Az elektromos, a mágneses és a kalorikus méréseknél a lemérendő mennyiségeket, az elektromos töltést, az áramerősséget, a térintenzitásokat, a hőmérsékletet oknak tesszük fel, amely meghatározott okozatot hoz létre, olyant, amely hosszúság-, idő- és tömegméréssel mérhető. Megválasztásukban is teljes szabadságunk van és csupán a gyakorlati célszerűség vezet az elhatározásban.

Választási szabadságunknak terjedelmét a hőmérés mutatja a legvilágosabban. Választás tárgya volt mindenekelőtt az a jelenség, amelyet a hőmérséklet mérésénél alapul kell venni. A tudományos gyakorlat először a térfogatváltozás, később a gázok nyomásváltozását tette meg azzá. A kiterjedést, vagy a nyomásváltozást mutató anyag is a szabad választás tárgya volt. A két alaphőmérséklet megválasztása is ilyen, mert nyilvánvaló, hogy a víz fagypontja és forrpontja helyett, más állandó hőmérsékleteket is lehetett volna választani. A használatban lévő Réaumur, Celsius, Fahrenheit és az úgynevezett abszolút hőmérsékleti fok meghatározása és a hozzáírt számok egymásután következésének módja is a szabad választás tárgya. Celsius például a forrponthoz írt 0-t és a fagyponthoz 100-at. De írhatnánk a forrponthoz például 100,000-t is, amikor a negatív számok használata feleslegessé válnék. Az egész számok aritmetikus sorát sem kényszeríti reánk semmi, jogunk volna a hőmérsékleti fokokat jelző számokat nem aritmetikus, hanem pl. geometrikus sorban következtetni egymás után, mert amilyen joggal a hőmérsékletet a kiterjedéssel arányosnak definiáljuk, éppen olyan joggal azt a négyzetével arányosnak is definiálhatnók.

A természetben hőállapotok vannak, a hőmérséklet csak a mi önkényes definiciónk alapján létezik, tehát nemcsak a térfogatváltozást és a nyomásnövekedést, hanem más változásokat is, amelyek a hőállapotban megnyilatkoznak, megtehetnők a hőmérséklet mérésének alapjává. Az úgynevezett thermodinamikus skálában az energia egysége határozza meg a hőmérsékleti fokot, de ép oly joggal valamely elektromos változást is megtehetnők a hőmérsékletmérés alapjává. A hőmérsék-

letet jelző számoknak tehát semmiféle abszolút jelentésük nincs. Mindezek a konvenció szabad választásának az eredményei, csak a megszokás, a ránevelődés tünteti fel olyanoknak, mintha valami abszolútat, a természettől reánk kényszerítettet jelentenének.

Ugyanez a helyzet az időmérésnél. Hosszú ideig az volt az általános meggyőződés, hogy az időmérés a természet önálló folyamata, melynek reánk kényszerített mértéke van és így az nem lehet a konvenció szabad választásának a tárgya. Legalább is a nap és az év hossza ilyennek látszott. Kitűnt azonban, hogy ez a felfogás sem állhat meg.

Az idő fogalma úgy van tudatunkba beágyazva, mint valamilyen folyton eltűnő dolog. Az idő egy darabját, az időközt nem tudjuk rögzíteni és egy másik időközzel összehasonlítani, mert minden időköz előbb tűnik el, mint a reákövetkező megérkezik. Nem választhatunk és nem készíthetünk tehát standard időegységet, ahogyan a méterrudat és a kilogrammot megválasztottuk és elkészítettük. És nem mondhatjuk azt, hogy a választott időegység ennyiszer meg ennyiszer foglaltatik a megmérendő időközben. Tehát először is önkényes választás alapján kell kiválasztanunk azt a fizikai folyamatot, amelyet az idővel önkényesen arányossá akarunk tenni.

A választás a mozgás folyamatára esett. De ilyen is nagyon sokféle van. Ilyen pl. a mechanikai óráink mozgása. Ezt sem a természet maga nyujtja készen nekünk, hanem mi magunk alkottuk meg nagy ügyességgel. Az óra számlapjának felosztása is a régi konvenció eredményét jelzi, amely szokás alapján maradt ránk. Amikor óráink konvencionálisan megválasztott mozgásával tettük arányossá az időt, akkor önkényes definicióval azt is megállapítottuk, hogy az egyik másodpercet olyan hosszúnak kívánjuk tekinteni, mint az előttevalót, vagy az utána következőt. Ha pedig a Föld tengelyforgását tesszük meg standard mozgássá, akkor is csak önkényes definició állapíthatja meg, hogy az egyik csillagnap olyan hosszú, mint a másik.

Milyen módon van óráink standard mozgása szabályozva? Az nagyon bonyolódott dolog. Tulajdonképen a Föld tengelyforgásának és keringésének ideje van benne összeszerkesztve. Ez is természetesen konvencionális megállapodás szerint történt így.

Az idő egyenletesen folyó volta tehát nem a természet által reánk kényszerített folyamat, hanem emberileg választott és emberalkotta szerkezettel előállított mozgás, amelyet definició alapján az idő mértékévé tettünk meg.

Visszatérve immár magára a mérésre általában, megállapíthatjuk újból, hogy a mérés nem öncél. Vele semmi mást

nem akarunk elérni, mint csupán azt, hogy a tőlünk független külső természet hatásaival, valamint a tőlünk független tudatalatti lelki folyamatokkal bennünk kialakult fogalmak határozottakká váljanak. Ezt a határozottságot értelmünk szerinti, de egyébként szabad és szuverén választással megállapított mértékegységekkel és mérési módokkal biztosítjuk. A ily módon kapott számoknak semmiféle abszolút jelentésük nincs.

A mértékek és mérési módok megválasztásában megnyilvánuló önkényesség és esetlegesség a kitűzött cél elérését mindaddig egyáltalában nem befolyásolja, amíg a választott egységek és a mérési szabályok a tapasztalat rendelkezésére állanak. Bármilyen önkényes választáson alapul is pl. a hőmérséklet mérése, reánk nézve az az egyedüli fontos szempont, hogy pl. a vasnak hőkiterjedésére, fajhőjére, olvadási és forrási hőmérsékletére stb. szolgáló adatok határozottak vagyis máskor és minden időben a választott egységekkel együtt a tapasztalat rendelkezésére álljanak, hozzáférhetők és reprodukálhatók legyenek. A kapott számoknak csupán csak ez a jelentésük van.

Amikor azonban az önkényesen választott egységeket sokszoros általánosítással és extrapolációval kivisszük a makrokozmikus és bevisszük a mikrokozmikus világba, amelyek a tapasztalat számára hozzáférhetetlenek, akkor e számok nem teljesíthetik többé feladatukat, a fogalmat nem teszik határozottá, hanem meghagyják azt határozatlanságában, ködösségében. A csillagok belsejében uralkodó millió, sőt billió Celsius fokokkal megadott hőmérsékletek csupán csak ködös és határozatlan spekulációknak lehetnek kiinduló pontjai, de határozott egyértelmű fizikai jelentésük nincs. Nem érdektelenek ugyan, mert a jövendő megismerés útját egyengetik, de az igazi fizikai megismerés számára értékük nincs. E területeken nagyon is nyilvánvalóvá válik, hogy kiindulásuk önkényes választáson alapszik.

### 4. *Az alapelvek és a konvenció.*

A fizikai konvencióban rejlő önkényes választási lehetőségnek a névadásra, a definicióra és a mérésre való kiterjesztése a tudományban általánosan elfogadott elv. Már nem olyan nagy az egyöntetűség, ha az alapelveknek a jelentéséről van szó. Ebben a kérdésben a fizikusok két szembenálló táborban sorakoznak fel.

Az egyikbe azok tartoznak, akik a dolgoknak csak a logikai és formai oldalára, a kiinduló fogalmak és tételek megfogalmazására, a következtetéseknek végrehajtására fordítják figyelmüket, tehát a matematikus-fizikusok és általában a ma-

tematikai beállítottságú elmék. Ezeknek felfogásában az alapelvek is egyszerű konvenciók, célszerűen megválasztott, de az emberi elme szuverén tetszésének vagy nemtetszésének alávetett megállapodások, játékszabályok, ahogyan Eddington műveiben igen jellemzően szokta mondani. Ezek tehát e felfogás szerint jól megfogalmazott önkényes parancsok arra vonatkozólag, hogy mit akarunk igaznak mondani. Azt keresni, hogy valamely fizikai alapelv igaz-e vagy sem, oly kevéssé észszerű, mint azt keresni, hogy a méter igaz-e vagy sem. A filozófia ezt az irányt *konvencionalizmus*-nak nevezi és igen tekintélyes nevek találtatnak híveinek sorában.

A szemben álló tábor a szavaknak a jelentésére fordítja figyelmét, tehát azt nézi, hogy a fogalmak minő kapcsolatban állanak a tapasztalattal. Ide tehát inkább a megfigyelő és kísérletező fizikusok tartoznak, de azért a nagynevű matematikusok közül is többen, pl. Gauss, Helmholtz, Klein Felix is idetartozik. Sőt — és ez a legnevezetesebb — az a matematikus beállítottságú elme is ide tartozik, akinél több önkényesen megválasztott axiómát kevesen öntöttek bele a tudományba, t. i. Einstein. Ide tartozik Planck is, noha ő is egy önkényesen megválaszott axiómát dobott bele a tudományba, amely a hozzá hasonló új axiómák egész sorozatának vált a szülőanyjává.

E tábor felfogása szerint az axiómákhoz nem a logika, hanem a tapasztalati beleélésen alapuló meglátás vezet. A hosszú időkön át folyó tapasztalatok kényszerítik reá az elmére. Az axiómák csak folyományai a természetben is meglevő általános nagy kapcsolatoknak, az előre meglévő harmóniának. Nem tartoznak a mi belátásunk uralma alá, mi nem teremtjük azokat, hanem csak ellessük a természettől. A konvenció csak annyiban érvényesül, hogy a természettől reánk kényszerített axiómák közül egyeseket, mint legfontosabbakat kiválasztunk és a természeti jelenségekre vonatkozó gondolati folyamatainknak alapjává tesszük. Ha tehát egy ilyent mint legfontosabbat kiválasztottunk (pl. az energia megmaradásának elvét), akkor már a logika által kötve vagyunk és érvényességét a jelenségekbe bele kell látnunk.

A két tábor felfogása között nincs kiegyenlíthetetlen különbség és a vita inkább bizonyos szavak jelentése körül forog.

### 5. *A ránevelődés.*

A tudományos megismerés mindíg egy egyén elméjében kezdődik. Onnét a szaktudósok kollektívumába megy át és innét terjed szét a művelt emberek nagy sokaságára. Amikor az új megismerés a szaklapok révén a tudósok elé kerül, annak

fogalmai a sok főben a legkülönfélébb más fogalmi elemekkel jutnak kapcsolatba és új gondolati folyamatokat, új kísérleti vizsgálatokat indítanak meg, amelyekre az egyén, akiben a megismerés kezdődött, nem is gondolt. Megindulnak a tudomány vizsgálati módszereinek sokfelé ágazó folyamatai. Megindul a tudományos kritika, tehát értékelési és kiválogatási folyamat. Ha az új megismerés ezt kiállja, akkor a tudomány rendszerének értékes tagjává válik. A tudomány belelátja a természeti jelenségekbe és a jövendő nemzedéket is arra neveli, hogy ők is ugyanezt tegyék.

A konvención alapuló belenevelődés már az emberiség őskorában megkezdődött és azóta folyton tart. Az emberi kollektívum egyénei belekényszerülnek az elődök által megállapított fogalomrendszerbe. Amikor azt hiszik magukról, hogy bizonyos kapcsolatokat egészen önállóan állapítottak meg, akkor is valójában az emberiség régóta ismert fogalmaival fejezhetik azt csak ki. Az emberek nem a saját, hanem az elődök millióinak eszével gondolkodnak.

Ez is egy újabb reánk kényszerített folyamat, de azt nem a természet kényszeríti reánk, hanem őseink szelleme, amelyet öröklött idegrendszerünk, műveleti képességünk, fogalmi rendszerünk, gondolkodási folyamataink, továbbá a körülöttünk lévő, ugyancsak öröklött tárgyak, épületek, berendezések, vizsgálati eszközök, fizikai energiák határoznak meg. De ezzel a reánk kényszerített örökséggel is szembe szegezhetjük önálló szuverén ítélőképességünket. Jogunkban van az elődeinktől öröklött fogalmakat módosítani, átalakítani, kiegészíteni, általánosítani, vagy egészen el is vetni és új fogalmakat választani és definiálni.

A ránevelődés folytán észrevétlenül sok olyan fogalom lopódzik be a tudományba, amely reánk kényszerítettnek látszik, bővebb vizsgálatnál azonban kiderül, hogy valamely ember önkényes választásának volt a tárgya. A siker magyarázatainkban a fogalmakat mint a természet által adottakat tünteti fel, még akkor is, ha azokat valaki észrevétlenül, önkényesen csúsztatta be a tudományba. Így több mint 200 éven át használtunk bizonyos fogalmakat, amelyeket az abszolút jelzőkkel tüntettünk ki, a ránevelődés pedig elhitette velünk, hogy olyan dolgokról van szó, amelyeknél az emberi értelemtől függő választásnak nincs helye. Most, amikor e fogalmaknak a konvenciós választástól függő voltát felismertük, attól kell félnünk, hogy ugyancsak a tekintély uralma és a ránevelődés folytán a relativizmus fogja velünk játszani délibáb-játékát és kirúgja a lábaink alól azt is, ami csakugyan a természettől van reánk kényszerítve.

# V. A MOZGÁS.

A fizikai megismerésnek legősibb, legáltalánosabb, legfontosabb tárgya a mozgás. Megszámlálhatatlan sok szállal kapcsolódik bele az életbe, véve ezt a szót a legáltalánosabb értelmében. Az állati életnek legfőbb megnyilvánulása. Az ember szellemi és anyagi alkotásai, a beszéd, az írás, az alkotó művészet, az életfenntartó műveletek általa váltak lehetségessé. A közönséges élet fogalmainak jelentékeny része vele van kapcsolatban.

A mozgás a fizikai tapasztalatnak a legfőbb feltétele. A hozzáfűződő képzetek beleszövődtek a tapasztalati fogalmakba és a belőlük kialakult legmesszebb menő absztrakciókba is. A hipotéziseknek a leglényegesebb elemei.

A mozgás a leggyakrabban jelentkező, a legegyszerűbb és a legszemléletesebb jelenség, az érzékszervi és a műveleti képzetek által legkönnyebben elérhető, a gondolat által legegyszerűbben követhető és a leginkább hatalmunkban álló fizikai folyamat. Amikor tehát a fizika ismeretlen szerkezetű folyamatait, különösen pedig azokat, amelyek az anyag, a fény, a hő, az elektromosság és a mágnesség szerkezetével kapcsolatosak, mozgási képzetekből rakja össze, akkor természetes úton jár el, mert az ismeretlent a legismertebb segítségével próbálja megismerni.

A mozgás fogalma az egyszerű, közvetlen tapasztalati alapból kiindulva a gondolati folyamatoknak, az absztrahálásoknak és a szintetikus szerkesztéseknek hosszú során ment keresztül, ennek folytán róla különböző, sokszor ellentétes felfogások keletkeztek. Ezeket a következőkben bővebb elemzésnek vetjük alá.

## 1. *A mozgás tapasztalati fogalma.*

A régi felfogás, amely az embert tétlen, szemlélődő, megismerésre vágyó, logikai lénynek tekintette, a külvilág megismerését az érzékszervi érzetekre vezette vissza. Felfogását kiterjesztette az ember mozgására is. Azt, hogy karunkat felemeltük, onnét tudnók meg, mert izomérzeteink bizonyos megfeszülésekről értesítenek, szemünk pedig tudomásunkra hozza,

hogy karunk a szobának más és más tárgyait fedi el. Hasonlóképen azt, hogy a városban járunk, onnét tudnók, mert izomérzeteink ez alkalommal is bizonyos megfeszüléseket mutatnak, szemünk pedig arról értesít, hogy a város házai más és más elrendezésben tünnek fel és hol nagyobbaknak, hol kisebbeknek látszanak.

Ebben az értelmezésben valami nagy hibának kell lenni, mert nyilvánvaló, hogy karunk felemelésére és a városba való sétálásra vonatkozó akarat tudata előbb keletkezett, mint az érzékszervi érzetek. Tudatunkban előbb kellett megjelennie a mozgások képzetének, csak azután követhették azt az érzetek. Mi már tudtuk, hogy mit jelent karunk felemelés és a városban való sétálás, a végrehajtó akarati impulzus, az izmok munkája és az érzékszervek értesítése csak azután következhetett be.

Az, hogy tagjainkat mozgathatjuk és hogy egész testünk mozoghat, olyan ős tudat, amelynek jelentése, mibenléte, jelentősége bele van szövődve egész testünkbe és idegrendszerünkbe. Annak tudata, hogy tagjainknak saját mozgásuk és egész testünknek saját mozgása van, nincs és nem is lehet érzékszervi érzeteinknek a függvénye. És magyarázó elméleteknek a következménye sem lehet, mert minden elmélet előtt van. Ez így van, ahogyan van. Ez őstudat.

Az állati testekbe is már bele van szövődve a mozgás, tudatosan vagy nem tudatosan, az lényegben véve mindegy. A tőlünk független természet, amelytől azonban mi függünk, alakította azt így ki és csodálatra méltó az a sokféleség, amelylyel az állati testeket kiformálta, hogy környezetükben, amelyhez életük köti őket, célszerűen tudjanak mozogni. Ha fizikai tudása alapján az emberi értelemnek, különösen pedig a tiszta logika segítségével kellett volna a kiformálás tervét elkészítenie, csúfos szégyent vallott volna vele.

Az emberi test úgyszólván valamennyi állat mozgási és mozgatási lehetőségeit egyesíti magában. Lábainkkal a földi talajon, karjaink hozzávételével vízben, fákon, sziklákon mozoghatunk. Kezünknek és ujjainknak különféle mozgásai a műveleteknek sokaságát teszik lehetővé. Segítségükkel szerkezeteket tudunk alkotni csodálatos mozgási lehetőségek megvalósítására. Fizikai tudásunk vagy pedig a logika alapján ugyan nem tudtuk volna kitervezni mindazokat a mozgásokat, amelyekkel az állati szervezetek bírnak, viszont azoban ugyane tudással a tengelykörüli forgást vittük bele a természetbe és segítségével messze túlszárnyaltuk az állati testeknek összes mozgási lehetőségeit.

A mozgás tapasztalati alapja természeti adottság; annak tudata, hogy a természetben saját mozgással bíró testek van-

nak, amelyeknek szervei éppen e saját mozgás lehetősége számára vannak megalkotva, minden tudásunknak alapja. Nincs olyan fizikai vagy metafizikai elv, amely ezt az adottságot helyettesíthetné vagy kiküszöbölhetné. Ez megelőz mindent, de őt nem előzheti meg semmi.

Csak testünk saját mozgásával kapcsolatban adhatnak érzékszerveink értékes értesítéseket, nélküle működésük végtelenül szegényes volna. Amint testünk megmozdul, összes érzeteink, különösen pedig a látóérzetek meghatározottan és örökké ugyanazon módon megváltoznak. Az előremenés irányába cső testeket folyton nagyobbodóknak, az ellenkező irányban lévőket folyton kisebbedőknek látjuk. Első esetben a rajtuk lévő részletek száma növekszik, a másodikban kisebbszik, az oldalvást lévő testek pedig más és más fedési viszonyba kerülnek.

Érzeteink és képzeteink következményei, nem pedig előfeltételei testünk és tagjaink jellemző mozgásainak. Velük sokféleképen összeszövődtek, de lelkünkben mint alaptény van elraktározva az a tudat, hogy testünknek jellemző saját mozgásai vannak, amelyektől a külvilágból jövő minden érzékszervi érzet függ, de amelyek semmi külsőtől nem függnek, nekünk azonban korlátlanul rendelkezésünkre állanak. Testünknek saját mozgásai a mozgásfogalomnak legősibb tapasztalati alakját határozzák meg. Ezt kivetítjük a külvilágba is és minden testhez a saját mozgás fogalmát csatoljuk, ha azt tapasztaljuk, hogy ugyanolyan következményeket létesít, aminőket saját mozgásunk.

Ha szemünk arról értesít, hogy egy kocsi méretei folyton nagyobbodni látszanak, egy vonat a háttérnek mindig más és más testét fedi el, ha szemünk és tapintó érzékünk szerint az óramutató a számlapnak mindig más és más számát fedi el, ha fülünk tudtunkra adja, hogy egy repülőgép zúgása folytonosan halkul, akkor azt mondjuk, hogy a kocsi közeledik hozzánk, a vonat a háttér és közöttünk mozog, az óramutató a számlap felett jár, a repülőgép távozik tőlünk. Vagyis mindezeknek a testeknek saját mozgásuk van valamihez képest.

A mozgás tehát mindig relatív, mindig egy mozgó testnek más testekhez való helyzetviszonyát tünteti fel. A mozgás fogalmának önmagában a háttérre, vagy az előtérre való viszonyítás nélkül nincs értelme.

Itt a Földön mindenki tudja, hogy a háttérhez vagy pedig a saját mozgással bíró rendszerhez tartozik-e. A kocsira, a vonatra, a hajóra, a repülőgépre azért ülünk fel, mert tudjuk, hogy e testeknek saját mozgásuk van a Föld felületéhez képest. Sajátságos módon komoly tudományos művekben is többször szerepel a megjegyzés, hogy vasúti állomáson sokszor nem tudjuk, hogy a mi vonatunk mozog-e, vagy a mellette lévő.

A relativisták kivételével nincs a világon ember, aki ezt ne tudná eldönteni, mert csak a talajra kell néznie vagy az égre vagy nagy távolságra és rögtön látja, hogy melyik vonat mozog.

De egész általánosan is a jelenségek, amelyeket mozgó testekről észlelünk, a szorosan vett tudományos irodalomban is megnemfelelő értelmezésben részesülnek. Mindíg az az ütközőpont, hogy a háttérnek a tárgyai a mozgás irányával ellenkező irányban látszanak mozogni. Teljesen figyelmen kívül marad az a körülmény, hogy e tekintetben nincs különbség a gyalogjáró és a vonaton utazó észlelései között. A gyalogjáró is a mozgásának irányába eső tárgyakat közeledni, a vele párhuzamosan lévőket mellette ellenkező irányban eltolódni, az ellenkező irányban lévőket távolodni látja, tökéletesen úgy, miként a vonaton utazó. A különbség csupán csak az, hogy a gyalogjárónál a jelenség, a mozgás lassúbb volta miatt kevésbbé feltűnően jelentkezik. Az igazi nehézséget azonban az okozza, hogy a vonaton utazó a kocsinak alkatrészeiben olyan tárgyakat is lát, amelyeknek helyzetviszonyai hozzá képest nem változnak, tehát két dolgot lát, egyes tárgyak helyzetviszonyának állandóságát, másokéinak változását. Ez okozza a látásbeli zavart. Megvan a teljes megfelelője abban az esetben, amikor az észlelő nem mozog. Például jégzajláskor közvetlenül a folyó partján álló észlelő tudatában pillanatok alatt kiváltódik a káprázat: nem a jégdarabok mozognak a parthoz képest, hanem a part mozog a jéghez képest. Ha azonban kissé messzebbről nézi a jégzajlást úgy, hogy látómezejének nagyobb részét a parton lévő tárgyak foglalják el, a káprázat eltűnik. Nyilvánvaló, hogy egyik sem fizikai, hanem mindegyik lélektani tünemény. Ebből a szempontból érdemes volna azt bővebben kikutatni.

Annál is inkább meg kellene ezt tenni, mert más hasonló tünemények is vannak. A relativitási elmélettel kapcsolatos irodalomban folyton arról van szó, hogy a vonaton utazó a szilárd földi talajon lévő tárgyakat ellenkező irányban látja mozogni. Ez azonban hiányos észlelés, mert a káprázat csak akkor jelentkezik, ha szemünket a vonathoz legközelebb lévő tárgyakra irányítjuk. Ha azonban a látóhatár szélére, vagy a látóhatár széle fölött lévő felhőkre állítjuk be, akkor ezeket állóknak látjuk. Viszont, ha valamely közbül eső, például 200—300 méter távolságban lévő tárgyra állítjuk be, akkor ezt állónak, a közelebb fekvő tárgyakat ellenkező irányban, a távolabb fekvőket pedig ugyanolyan irányban mozgóknak látjuk. Téves tehát az a beállítás, mintha a mozgó rendszerről a szilárd földi talajon lévő tárgyakat mindíg ellenkező irányban látnók mozogni. Szemünk beállításától és a tárgyak távolságától függ, hogy hogyan látszanak mozogni.

Ez a jelenség a tárgyak elhelyezésének geometriai viszonyaitól, továbbá szemünk fiziológiai működésének összhatásából származik. Belőle messzemenő fizikai, ismeretelméleti és metafizikai következtetéseket vonni nem lehet. Itt is, mint minden más esetben tapasztalataink összesége szolgálhat csak alapul annak a kérdésnek a megoldásánál, hogy a látszó jelenségeket mely tárgynak a saját mozgása hozza létre. Ahogyan a tapasztalataink összesége alapján tudjuk, hogy a vasúti sinek mindíg párhuzamosak, noha a pillanatnyi látási érzet összehajlásukról értesít, ahogyan ugyanezen az alapon döntjük el, hogy a részben vízben lévő rúd egyenes, noha a pillanatnyi látásérzet azt törtnek mutatja, ugyanúgy tudjuk, hogy a mozgórendszerről látott tárgyak a szilárd földi talajon mozgás nélkül egymás mellett vannak, noha a pillanatnyi látási érzet mozgásukat mutatja.

A csillagos ég mozgási jelenségeinek megfigyelésénél a földi szilárd talaj a vonatkozási alap. Igazában véve azonban a háttér itt az előtérben van, mert a szabad szemmel való észlelésnél az észlelő közelében lévő tárgyak, a távcsővel való észlelésnél pedig a szilárd talajjal összefüggésben lévő szögmérő képezi a hátteret.

Hogy azután a csillagok mozgásának észlelési adatait e testek saját mozgásának vagy pedig a Föld ellenkező irányú forgásának kell-e tulajdonítanunk, azt összes tudásunk áttekintéséből kapott értelmi döntéssel állapíthatjuk csak meg.

A szakirodalomban a vonatkozási rendszer általában mint nyugvó rendszer szerepel. Mi a nyugvás szót kerültük, mert nincs rá szükség. A vonatkozási rendszer egyes testeinek helyzetében nincs változás, ennyit és csak ennyit jelent a nyugvás szó. Tehát csak relatív nyugvásról lehet szó. Az eseteknek hosszú sora mutatja, hogy a nyugvás szóra a mozgások leírásánál nincs szükségünk. Vegyük például ezt a hosszú sorozatot: a karóra mutatója mozog az óratokban, az óratok karunkkal együtt mozog a testünkhöz képest, testünk mozog egy liftben, a lift mozog a hajón, a hajó mozog a Föld felületén, a Föld felülete mozog a Föld középpontjához képest, a Föld középpontja mozog a Nap körül, a Nap mozog az apexben lévő csillagzat felé. A relatív mozgásoknak egymás után következő hosszú sorát írhatjuk le a nélkül, hogy a nyugvás szót használni kellene.

A mozgás megállapításához vonatkozási rendszerre van szükségünk, ezt azonban egyáltalában nem kell nyugvónak tekinteni, maga is saját mozgással bírhat valamely más vonatkozási rendszerhez képest.

## 2. *A mozgás kinematikus fogalma.*

Az emberi elme a szilárd földi talajon való mozgásoknak és a különféle emberi műveleteknek ismereteiből, valamint az azok alapján végbemenő gondolati folyamatokból, hosszú időkön át folyó absztrahálási munkával kialakította a térnek és az időnek absztrakt fogalmait. Kialakulásuk után a mozgás tapasztalati fogalma helyébe annak a tér és idő fogalma alapján alkotott racionális meghatározása lépett. Itt nincs szó a tapasztalati testeknek a háttérre vagy egymásra vonatkozó mozgásáról, hanem szó van a térben és az időben folyó mozgásokról.

Az új felfogásban a tapasztalati háttereket és a vonatkozási rendszereket a tér és a koordináta-rendszer gondolati fogalma helyettesíti. A koordináta-rendszer a gondolati térnek szimbolikus gondolati képviselőjévé válik. Benne a pontok, a távolságok, a vonalak, a felületek és a testek matematikai képviseletet nyernek. A mozgás a pontok folytonos helyváltozásainak sorozatává válik, amelyhez az időértékek sorozata tartozik, vagyis ahogyan a közismert iskolai meghatározás rövidebben kifejezi: a mozgás pontok helyváltozása térben és időben. Minthogy pedig a pontok helyét a koordináták vagyis távolságok határozzák meg, tehát a mozgás távolságok változása az időben. A távolságváltozás lett a mozgás egyetlen kritériumává.

Az új mozgási fogalom a tapasztalati fogalomnak általánosítása, tehát nagy előnye, hogy szélesebb körben is használható. Akkor is, amikor a mozgás érzékszerveinkkel már nem észlelhető és akkor is, amikor már csak gondolati pontok és testek mozgásáról van szó. Érzékszerveink ugyanis sem a nagyon lassú, sem a nagyon gyors mozgást már nem képesek észrevenni. A kilőtt puskagolyó mozgását pl. már nem lehet szemmel kísérni, pedig ez még aránylag lassú mozgás, a fizika ennél sokszorta gyorsabb mozgásokkal is foglalkozik. Az új meghatározás használható továbbá az egészen kisméretű és a hipotetikus testek, a molekulák, az atomok, az elektronok mozgásánál, amelyeknek egyenként való észrevevése nem lehetséges. Különösen fontos szerepe van a mozgási állapotok, pl. a rezgések tovaterjedésénél.

Logikai szempontból absztrahálások és általánosítások vezettek a pontmozgás fogalmához. Lélektani alapját azonban egészen másutt kell keresni. Nagy vonzó erejét és az emberi elme szintetikus szerkesztő képességére való indító hatását, amelynél fogva a fizikai jelenségek hosszú sorozata mellé magyarázatul pontmozgásokat állít: nem absztrakt és általános voltában, hanem abban a körülményben van, hogy egy nagyon elterjedt testi és vele kapcsolt értelmi műveletnek, t. i. a rajzolásnak is ez az alapja.

Az írószerszám hegye a vonalzó vagy a kifeszített fonal mentén vagy a körzőbe erősítve vagy egészen szabadon mozgatva, miként az írásnál és a művészi rajznál, pontmozgást végez, amelynek nyoma sík lapon, vagy henger felületen, vagy gömbfelületen rögzítve megmarad. A pontmozgás tehát észlelhető nyomokat hagy, amelyeknek tulajdonságai és a mozgással való kapcsolatai tanulmányozhatók. Az a körülmény pedig, hogy a művészi rajz a való tárgyhoz hasonló képet állít elő és, hogy a tervrajz a megalkotandó gépnek, háznak, hídnak, városrésznek képét előre megszerkesztve mutatja, azt a szilárd meggyőződést fejlesztette ki, hogy maguk a természeti jelenségek is pontmozgásokkal állíthatók elő, és hogy ezeknek rendszere a valónak annyira hű mása, amennyire hű mása a kép a testnek, amelyet ábrázol. A rajzolás műveletéhez kapcsolódó érzékszervi és műveleti képzetek, valamint a velük együtt kifejlődő meggyőződéseknek a lélektani alapjai hatnak elsősorban akkor, amikor a fizika a jelenségeket pontmozgásokkal magyarázza.

Az emberi elme a különféle pontmozgásoknak óriási sokaságát tudta kigondolni. A geometriában szereplő különféle vonalak, pl. a közismert ellipszis, a parabola, a hiperbola, a ciklois, a csavarvonal fogalma így teremtődött meg, de ezeken kívül is a másnemű és a magasabbrendű vonalak igen nagy sokaságának is a pontmozgások az alapjai.

A pontmozgások a fizika minden részébe belejutottak. A leíró csillagászat pontmozgásokkal dolgozik. A mechanika a szilárd testek észlelhető mozgásait szintén ilyenekből rakja össze. Bizonyos előzetes definiciók alapján a pontmozgásokat a folyadékmozgásokra is lehetett alkalmazni. A hangjelenségeket és a hullámmozgás jelenségeit majdnem kizárólag pontmozgásokkal magyarázzuk. Mindezekben a jelenségekben a mozgások még a közvetlen szemléletben is legalább közelítőleg pontmozgásokkal megmutathatók. Azonban a fizika tudománya azokat a jelenségeket is, amelyeknél ez a közvetlen szemléltetés nem lehetséges, így a folyadékok és a gázok bizonyos tulajdonságait, a hőbeli, a fénytani, az elektromos és mágneses jelenségeket is pontmozgásokra vezeti vissza. A legújabb kutatásokban is sokat szerepelnek. Az atomszerkezetek tanának is a pontmozgások az alapfogalmai.

Ezekben a gondolati előállításokban a pontmozgás fogalmához a sebesség, a gyorsulás, a szögsebesség és a szöggyorsulás fogalmai, valamint bizonyos dinamikai fogalmak is csatlakoznak, amelyekről alább lesz szó.

Az egyes fizikai tárgyak tanítása is sokszor úgy folyik le, hogy először a gondolati pontmozgások ismertetődnek és csak ezek következményeinek lehetőleg pontos meghatározása után kerül sor a tapasztalati jelenségekkel való összehasonlításra.

Először az egyenletes, az egyenletesen gyorsuló, a keringő, a forgó, a harmonikus mozgásoknak és ezek összetevéseinek lehetőleg pontos meghatározását adjuk, és csak azután kerül sor a tapasztalatban szereplő eséseknek, hajításoknak, ingalengéseknek, rezgéseknek és hullámmozgásoknak a nyert összefüggések alapján való ismertetésére.

A fizika tudománya a pontmozgások és a velük kapcsolatos kinematikai fogalmak matematikai alakban való előállításával hatalmas hatásképességű módszert alkotott a tapasztalati jelenségek gondolati előállítására.

A pontmozgások is relatív mozgások, mert vonatkozási rendszerük az a koordináta-rendszer, amelyben a távolságok és azok változásai matematikailag elő vannak állítva. Nyilvánvaló azonban, hogy ez esetben is a pontok mozgása úgy szerepel, mint azoknak saját mozgása. Gondolatvilágunkban a kinetikus hőelmélet molekuláinak és atomjainak, az elektromos áram elméletében az elektronoknak és az iónoknak, a fényelméletben a fotonoknak mozgása úgy van beágyazva, mint ezeknek az individuumoknak saját mozgása. A mozgás relatív ugyan, mert van vonatkozási alapja, de saját mozgás.

### 3. *Az egyenletes mozgás.*

Az égi és a földi mozgásoknak megfigyelése az emberi megismerés szempontjából olyan alapvető fontosságú különbségeket mutatott, amelyek a legősibb időktől kezdve folyton foglalkoztatták és most is foglalkoztatják az ember gondolkodóképességét.

A földi mozgások megkezdődését, lefolyását és befejeződését kivétel nélkül mindig észlelhetjük, azok megkezdődnek, egy ideig folytatódnak, azután megszűnnek. Az ember nem tud olyan szerkezetet készíteni, amely mindig mozogna.

Ezzel szemben a csillagok milliárdjainak mozgása szünet nélkül folytatódik. Az égi mozgások keletkezését és megsemmisülését ember sohasem észlelte. Sőt az állócsillagok mozgása mindig változatlanul azonos módon látszik lefolyni. Csak az újabb idők pontosabb észlelő eszközeivel sikerült e szabályosságban a szemlélet szempontjából egészen kisrendű változásokat észlelni, de a mozgások keletkezését és megszűnését a nagyon érzékeny módszerek sem tudták nekünk megmutatni.

Az égi mozgásokban megnyilvánuló szabályosság tudata már az ókori görög filozófiában megteremtette az egyenletes körmozgás fogalmát. Az volt a meggyőződés, hogy az égi mozgás csak a legtökéletesebb lehet, tehát a pályának a legtökéletesebb vonalnak, vagyis körnek kell lennie és azt a mozgópontnak a legtökéletesebb módon, vagyis „egyenletesen" kell befut-

nia. Az egyenletesség fogalma ezzel természetesen még nem volt meghatározva. A közismert iskolai meghatározás, amely az egyenletességet az egyenletesen folyó időre vezeti vissza, nem igazi meghatározás, mert körben forog. Az egyenletesen folyó időt ugyanis a gyakorlat is és a tudomány is az égi egyenletes körmozgásokra vezeti vissza. A jól ismert hysteron-proteronnak nevezett logikai hiba nyilvánul meg itt.

Az egyenletes körmozgás, mint az emberi elmének ős eredeti elemi határfogalma beleevődött az emberi gondolkozásba és a fizikának is egyik alapfogalmává vált.

Galilei megteremtette a második egyenletes mozgást, amelyben a körvonal helyett az egyenes vonal veszi át a legtökéletesebb vonal szerepét. A további fejlődésben az egyenletes körmozgás az idő mértékévé, az egyenletes egyenesvonalú mozgás pedig minden mozgás összehasonlító alapjává vált, amelytől való eltérés adja az illető mozgás megkülönböztető jeleit.

A tudomány azután a körben egyenletesen mozgó pont mozgását valamelyik átmérőjére vetítette és fogalmilag előállította az egyszerű, harmonikus mozgást. Jellemző tulajdonságait egyszerű módon lehetett matematikai alakban, sinus-függvénnyel kifejezni. Kitűnt, hogy a tapasztalatban előforduló valamennyi rezgő mozgás visszavezethető az egyszerű harmonikus mozgásokra, tehát valamennyi matematikai alakban volt tárgyalható. Az egyszerű harmonikus mozgás és az egyenletes mozgás összetevéséből megalkotódott az egy dimenziós, két dimenziós, sőt általánosítva az $n$ dimenziós hullámmozgások fogalma és valamennyien matematikai képviseletet nyertek. A hangtani, a fénytani és az elektromágneses jelenségek, sőt az újabb fizikában az anyagon észlelhető tapasztalati jelenségek is hullámmozgási fogalmakkal matematikai alakban voltak tárgyalhatók. Valamennyi tárgyalásnak alapja az úgynevezett monochromatikus hullám, amely az egyenesvonalú egyenletes mozgás és az egyszerű harmonikus mozgás, illetőleg az egyenletes körmozgás összetevéséből származik. A hullámot a hullámhosszúság, illetőleg a tovaterjedési sebesség, a rezgésszám és az amplitudo jellemzi. Fourier tétele alapján minden a tapasztalatban előforduló rezgést és hullámmozgást, sőt más, csupán kigondolt hullámoknak nagy sokaságát is egyszerű, monochromatikus hullámok összegeképen lehetett előállítani. A fizika a hullámmozgás fogalmával és annak matematikai formuláival hatalmas hatásképességű kutató és magyarázó módszert kapott.

Az egyenletes mozgásnak tisztán az észben kialakult fogalma a fizikai jelenségek legmélyebben fekvő alapjává vált, amely a legmesszebb fekvő, az észlelés számára a legkülönbözőbb alakban megnyilvánuló jelenségek összekapcsolását tette lehetővé.

Az egyeneletességben rejlő misztérium áthatott a gyakorlati életre is. Összes gépeink, amelyek forgó mozgást tartalmaznak, úgy vannak megszerkesztve, hogy egyenletesen forogjanak. Hasonlóképen összes közlekedő eszközeink is úgy vannak megszerkesztve, hogy rendes mozgásuk egyenletes legyen.

Az egyenletességben rejlő misztérium azonban csodálatos módon más következményekkel is járt. Az ember az egyenes vonalban egyenletesen mozgó közlekedő eszközökön, a vasúti kocsikon, a hajókon, a repülőgépeken sajátságos új tapasztalatokra tett szert. Azaz éppen az volt a sajátságos, hogy ezek a tapasztalatok nem voltak újak és ezért hosszú időkön egészen Galilei-ig nem is tűntek fel, vagyis nem váltak tudatossá. A különös ugyanis az, hogy az ilyen módon mozgó közlekedő eszközökön elejtett, elhajított, vagy meglökött testek mozgása, az inga lengése, a forgó gépek járása és általában minden itt megindított és itt lefolyó mozgás ugyanúgy mutatkozik, mint a szilárd földi talajon. Az egyenes vonalban egyeneletesen mozgó hajó zárt terében (ahol a levegő is a hajóval együtt mozog) épúgy lehet járni, ugrani, úszni, labdázni, mint a szilárd földi talajon és e közben semmi olyan jelenség sem tapasztalható, amely a hajó egyenletes mozgásának hatását mutatná és amelyből a hajó mozgására lehetne következtetni. Az itt megindított és lefolyó mozgások a rendszerrel együtt mozgó észlelő számára észrevehetőleg nem különböznek a földi szilárd talajon megismert mozgásoktól.

Ha azonban kívülről megindított test érkezik az ilyen rendszerhez, vagy ha mozgása nem egyenletes, nem egyenesvonalú, akkor a megfigyelő a mozgások lefolyásában már bizonyos változásokat észlel, amelyek annál nagyobbak, minél nagyobb mértékben tér el a mozgás az egyenletességtől vagy az egyenes vonaltól. Különösen szembetűnők a változások, amikor a rendszer mozgását megindítjuk, vagy lefékezzük, vagy irányt változtatunk, szóval amikor az egyenes vonaltól vagy az egyenletességtől hirtelen eltérünk.

E tapasztalatokban valóban valami titokzatosság nyilatkozik meg. Először azért, mert az egyenletesség nem valami olyan, amelyet a külső természet kényszerítene reánk, azt mi emberek csináljuk saját tér- és időmértékeink szerint. Másodszor azért, mert a gondolatvilágunkban létező egyenletességet a gyakorlatban pontosan sohasem tudjuk elérni. Nincs olyan közlekedő eszközünk, amely apróbb ugrások, rezgések, lökések, himbálások nélkül tudná az egyenletességnek szellemünkben létező ideálját megvalósítani. Harmadszor azért, mert az egyenes vonal is szellemünknek ideális határfogalma, amely teljes pontossággal fizikailag meg nem valósítható. A hajó a valóságban nem egyenes vonalban, hanem a Föld gömbjének kis

ívén cikk-cakk vonalban mozog. Ama rövid idő alatt, amelyben az említett jelenségek lefolynak, a Föld gömbjének íve egyenesvonalúnak képzelhető el, de a cikk-cakk vonal nem. Itt valójában olyan mozgási jelenségekről van szó, amelyek a térnek és az időnek csak egy kis részében, csak egy kis „moluszkában" folynak le.

A tudomány e moluszkában lefolyó tapasztalatokat általánosította az egész mindenségre, amikor felállította a tételt, hogy az egyenes vonalban egyenletesen mozgó rendszereken nincs olyan jelenség, amelyből a rendszer mozgási állapotára lehetne következtetni. Azonban, ha a mozgó rendszer nagyobb kiterjedésű volna, úgy, hogy rajta nagyobb méretű jelenségek is megfigyelhetők volnának és pedig nemcsak pusztán a látás, hanem pontosabb mérések alapján is, továbbá, ha e rendszer hosszabb időn át haladhatna egyenes vonalban: kérdéses, nem lehetne e olyan jeleket találni, amelyekből a rendszer mozgási állapotára következtetni lehetne?

Ilyen rendszer a mi Földünk is a Nap körüli útjában, amely elég hosszú időn át egyenes vonalúnak tekinthető. A tudomány hosszú időn át abban a felfogásban volt, hogy ilyen jelek valóban nem észlelhetők. Az elektromágnesség alaptörvényei azonban ilyen jelek létezésére következtetéseket engedtek meg. Michelson kísérletei ezek megállapítását vették tervbe, de negatív eredménnyel jártak.

### 4. *A mozgás a dinamikus felfogásban.*

A nagy ellentét, amely a földi és az égi mozgások szemléletében mutatkozik, az ember figyelmét keletkezésük, folytatódásuk és megszűnésük kérdéseire fordította. A velük foglalkozó tudományt általában mechanikának szokás nevezni. Egyik különleges része, a dinamika a mozgások keletkezését, lefolytatódását, változását és megszűnését az erő és a tétlenség fogalmaira vezeti vissza.

A mozgásváltozás az erők mozgató hatásának a következménye. Ott jön létre, ahol erők működnek és nincsenek kiegyensúlyozva. Ha a testre nem működnek külső erők, vagy ha ezek ki vannak egyensúlyozva, akkor a test meglevő mozgása egyenes vonalban egyenletesen folytatódik. Ha van külső erő, akkor a mozgás irányában eső komponensei pozitív gyorsulást, ellenkező irányú komponensei negatív gyorsulást, vagyis lassudást, rá merőleges komponensei pályagörbülést idéznek elő.

A földi mozgások keletkezésének, változásának és megszűnésének magyarázatánál tekintetbe kell venni azt, hogy a Földön mindig legalább négy erő, a nehézségi, a rugalmassági,

a közeg-ellenállási és a surlódási erő működik. Ezek működésének összhatása az, hogy a földi mozgások keletkeznek, változnak és megszűnnek. Az égi mozgások fennmaradását a tétlenség biztosítja, a változásokat a nehézségi erő hozza létre.

Amikor a dinamika a maga elveit matematikai alakban fejezte ki, szükségszerűleg eljutott a pont fogalmához. Az erőket csak anyagi pontokhoz fűzve gondolhatta, legyenek azok akár a közönséges tapasztalatban is szereplő, akár pedig csak gondolt anyagnak a részei. Eljutott tehát oda, ahova a mozgás kinematikus felfogása is eljutott. A pont szerepe, mindkét tudományágban csak névleg különbözik egymástól. Az anyagi pont a tapasztalati kapcsolatok szempontjából annyit jelent, mint a geometriai pont. A tudós szerkesztő munkája a megfelelő erőfüggvények kigondolásával kezdődik, a dinamika alapelveinek alkalmazásával a mozgási alapegyenletekhez vezet el, ezek pedig hasonlók a kinematika matematikai kifejezéseihez. Az utóbbiakat csekély módosítással dinamikai mozgási egyenletekre lehet átalakítani.

### 5. *Az abszolút mozgás.*

A mozgás kinematikus és dinamikus fogalma a tér és az idő adataival van jellemezve. Newton a Principia bevezetésében ezt a teret és időt abszolútnak nevezte. A kifejezés nagyobb feltűnést nem keltett, csak az olyan filozofikus elmékben, amilyen Leibnizé és Euleré volt, keltett némi visszatetszést. Egyébként a Principia többi részében az abszolút szó nem szerepelt.

A kérdés a további fejlődés folyamán sem firtatódott. Hiszen nyilvánvaló volt, hogy nem lehet mindent definiálni. A fizikusok ragaszkodtak Newton felfogásaihoz, amely szerint a teret és az időt, mint a fogalmak között a legismertebbet, („quam omnibus notissima") nem kell definiálni.

Amikor földi jelenségek tanulmányozásáról volt szó, a teret illetőleg a koordinátarendszert a szilárd földi talaj megfelelő pontjához, pl. a lövésnél az ágyúcső végére, az inga mozgásánál a forgási tengelybe, a rezgésnél a pont egyensúlyi helyzetébe kapcsolták. Ha bolygó vagy üstökös mozgásáról volt szó, a Nap középpontjába, ha a holdak mozgását számították, akkor a főbolygó középpontjába rögzítődött a tér. Ez ellen kifogást nem igen lehetett tenni, mert a földi mozgások többnyire olyan rövid idő alatt folynak le, hogy ez alatt a Föld illető szilárd pontjának a mozgása első közelítésben egyenesvonalú egyenletes mozgásnak tekinthető. Hasonlóképen a bolygók és üstökösök tárgyalásánál a Nap középpontjának mozgása bármilyen hosszú idő alatt is egyenesvonalú egyenletesnek tekinthető.

A koordinátarendszernek ide-oda való tologatása folytatódott. Amikor a csillagászok bizonyos tapasztalatokból arra a meggyőződésre jutottak, hogy a Napnak is saját mozgást kell tulajdonítani, akkor az állócsillagokba tolták a koordinátarendszert. Ez szintén jogos eljárás volt mindaddig, amig az állócsillagoknak egymásra vonatkoztatott helyei között semmi változás nem volt észlelhető.

Azonban a 19. század folyamán a csillagászok észrevették, hogy bizonyos állócsillagok egymásra vonatkoztatott helyzetében — az észlelés szempontjából nagyon kisméretű — változások állanak be. Tekintetbe véve az állócsillagok óriási számát, ezt csak elenyésző számú csillagra lehetett megállapítani. Azonban a csillagászok nem kételkedtek e mozgások általános voltában. A színképelemző készülék azután Doppler elve alapján igen egyszerű módot adott az állócsillagok látósugár irányában való mozgásának megállapítására. Úgyszólván nem kell egyebet tenni, mint belenézni a készülékbe és a látott színképet összehasonlítani valamely földi fényforrásnak melléje állított színképével, hogy az állócsillagoknak a látósugár irányába eső mozgása észlelhető legyen. Az észlelést még egyszerűbbé teszi a színképek lefényképezése. Az ilyen irányú tapasztalatok igazolták a csillagászok felfogását: az állócsillagok általában kisebb-nagyobb mozgásokat végeznek.

E mozgásoknak és a bennük esetleg megnyilatkozó szabályosságnak megállapítása a csillagászat legnagyobb problémájává vált. Megoldásán a Föld valamennyi csillagászati intézete dolgozik. A csillagászok meggyőződése az, hogy a csillagmozgások tapasztalati adataiból meg lehet szerkeszteni olyan fundamentális koordinátarendszert, amelyre vonatkozólag az állócsillagok középértékben nyugosznak, vagyis amelynek kezdőpontjára a csillagmozgások egymást kiegyenlítik. Seeliger ugyan kimutatta, hogy ilyen rendszer megállapítása határtalan feladat [*109*, 85], de a csillagászok mégsem mondtak le megállapíthatóságáról.

Felmerült azonban a kérdés, vajjon akkor, ha a feladat valóban sikerülne, vagyis, ha a megfigyelési adatokból tényleg sikerülne ilyen koordinátarendszert megszerkeszteni, volna-e értelme az abszolút tér, az abszolút idő és az abszolút mozgás fogalmának.

A 19. század második felétől kezdve a kérdés ismételten szóba került. Neumann C. a gyakorlat és az elvi szempontok közötti ellentmondást egy „Alphakörper"-nek a bevezetésével gondolta eltüntethetőnek [*90*]. Duhamel szerint az abszolút tér, idő és mozgás puszta chiméra [*31*]. Streintz a Föld forgását abszolútnak, az abszolút transzlációt azonban felismerhetetlennek véli [*112*]. Lange szerint az ismeretelméleti tételekkel nem

egyeztethető össze, hogy tapasztalati mozgások magyarázatára kigondolt erők abszolút mozgást létesítenek [*73*]. Mach szerint az abszolút tér kétségbe esett gondolat, az abszolút időt semmi mozgásról sem tudjuk leolvasni, az abszolút mozgásról senki sem mondhat semmit. Ezek pusztán a gondolatban létező dolgok, amelyek a tapasztalatban meg sem mutathatók. A mechanika tételei a testek relatív helyzetére és mozgására vonatkozó tapasztalatok. Senki sincs feljogosítva, hogy e tételeket a tapasztalat határain túl is kiterjessze [*80*, 232]. Maxwell szerint a forgó mozgások abszolútok, a transzlatorikus gyorsuló mozgások relatívok [*83*, 29]. Seeliger szerint az abszolút tér, az abszolút idő, az abszolút mozgás értelemmel nem bíró szavak, de nincs kifogása használatuk ellen [*109*, 36]. Natorp szerint az abszolút mozgásnak nincs értelme, de szükség van rá mint határfogalomra [*89*, 338]. Wien szerint az abszolút mozgás fel nem ismerhető [*124*, 13]. Planck szerint nincs a térben abszolút fixpontokból álló háttér, sem abszolút folyású időfolyam, sem abszolút mozgás, de azért bizonyos, hogy ezután is térben és időben helyezünk el mindent és ez igaz lesz a Föld lakóira, de nem az egész természetre [*102*, 109]. A relativitás elmélete az abszolút mozgás lehetetlenségéből indul ki, a relatív mozgás számára azonban új felfogást alakít ki, amelyről mindjárt szó lesz.

Fel kell vetni a kérdést, micsoda jelentést fűznek a kiváló elmék az „abszolút mozgás" kifejezéséhez, amikor azt tagadják vagy igenlik. Gehrcke szerint az abszolút mozgásnak egy német és egy angol értelme van [*50*, 209]. Német értelme valami ideális, határozatlan, transzcendens, magasztos, végső dolgot jelentene, amelynek tartalma nem adható meg és ami mögött már nincs semmi. Nyilvánvaló, hogy ilyen mozgás nincs. Amikor e felfogás szerint tehát azt mondjuk, hogy abszolút mozgás nincs, olyasfélét mondunk, mintha azt mondanók: ideális, határozatlan, transzcendens, magasztos, tartalommal nem bíró teheremelés nincs.

Az abszolút mozgás angol fogalma Gehrcke szerint az olyan mozgást jelenti, amely más testekre való vonatkozás nélkül is mutatja a mozgás jeleit. Láttuk azonban, hogy a mozgás fogalma a más testekre való vonatkozást foglalja magában. Amikor tehát azt mondjuk, hogy abszolút mozgás nincs, olyasfélét állítunk, mintha azt mondanók: fából való vaskarika nincs.

Sokan az abszolút mozgás fogalmát a világot kitöltő aeterre vonatkoztatják. Ha ilyen értelemben mondjuk, hogy abszolút mozgás nincs, az annyit jelent, mint a következő megállapítás: az űrben emberek nincsenek.

Az abszolút mozgásnak fogalmilag legpontosabb megha-

tározása a következő: az abszolút mozgás az abszolút nyugvó testre vonatkozó mozgás. Azonban abszolút nyugvó testeket sehol nem találunk, sőt sejtelmünk sincs arról, miről lehetne azokat megismerni. Az abszolút mozgás tagadása tehát olyasféle megállapítás, mint a világ végességének a tagadása.

A leggyakrabban előforduló értelmezés szerint az abszolút mozgás az abszolút térre vonatkoztatott mozgást jelenti. Ez lényegben véve Newton-nak, Lagrange-nak, Euler-nek, Laplacenak és a matematikus-fizikusok többségének a felfogása. Az abszolút mozgás ebben a felfogásban csak fikció arra a célra, hogy vele általános érvényű tételek legyenek kimondhatók. Minden gyakorlati alkalmazásban a fikció eltűnik és a koordinátarendszer kezdőpontja észlelhető testbe helyeződik át. Ha azonban ezt tesszük, az abszolút mozgás fogalma átalakul a tapasztalati mozgás fogalmává. A test abszolút mozgása saját mozgássá válik, amely relatív ugyan, mert egy másik testre van vonatkoztatva, azonban a mozgás jegyei az illető testtel elválaszthatatlanul össze vannak kapcsolva.

Összefoglalva az áttekintést, megállapíthatjuk, hogy az abszolút szó a mozgás fogalmával összekötve azt vagy értelmetlenné, vagy megismerhetetlenné teszi, vagy pedig a tapasztalati mozgás fogalmi jegyeit bujtatja belé.

Az ismeretelmélet sem tud az abszolút mozgás kifejezéséhez más fogalmi jegyeket csatolni [*75*, 6].

### 6. *A mozgás a relativitási elmélet felfogásában.*

Erről az elméletről könyvünk több helyén van szó. Itt másra való tekintet nélkül, csupán csak a mozgásra vonatkozó felfogását tesszük vizsgálat tárgyává. A mozgás relativitása itt nem azt jelenti, hogy mozgási képzeteinek egy vonatkozási rendszertől függnek, hanem azt, hogy a mozgás és a nyugvás felcserélhető. A relativisták ismeretelmélete szerint valamely test mozgásállapotának megállapításához mindenekelőtt az szükséges, hogy megállapítsuk, mit „akarunk" mozgónak és mit nyugvónak tekinteni [*105*, 25]. Az tehát, hogy mi mozog és mi nyugszik, önkényes definíció tárgya és mint ilyen, nem függ az észlelés lefolyásának folyamatától, sem pedig tapasztalataink összeségétől. Mi tetszésünk szerint választhatjuk azt a testet, amelyhez a mozgás képzetét és azt, amelyhez a nyugvás képzetét akarjuk fűzni.

Einstein ezt írja: „Hogy minden mozgás fogalma szerint csak mint relatív mozgás gondolható, az minden időben el volt ismerve. Egyenlő joggal mondhatjuk:

*a kocsi mozog relatíve az úttesthez,*
*az úttest mozog relatíve a kocsihoz.*

Elvileg mindegy, melyik rendszerre vonatkoztatjuk a mozgást. Ez magától értetődő" [*44*, 40].

Jegyezzük meg mindjárt, hogy a mozgás relativitása csakugyan mindig el volt ismerve, azonban az, hogy a kocsi mozgása és az úttest nyugvása felcserélhető és egyenlő jogú, valamint az, hogy ez a felfogás magától értetődő, sohasem volt elismerve. Ez éppen az új dolog, a mozgás relativitásának új értelmezése.

A relativisták a mozgás és a nyugvás felcserélhetőségének elvét nemcsak a kocsi—úttest viszonylatra és nemcsak az egyenesvonalú egyenletes mozgásra, hanem minden mozgási viszonylatra, a gyorsuló mozgásokra és általában az összes tényleg ismeretes és gondolható mozgásokra is kiterjesztették. Felfogásukat nem szélső absztrakt elgondolásnak, hanem fizikailag is megállapítható tapasztalatnak tekintik. „Fizikai szempontból is feltehetjük, hogy az egymáshoz gyorsított $K$ és $K'$ rendszerek mindegyike ugyanazzal a joggal tekinthető nyugvónak és hogy a folyamatok leírására egyenlő jogúak", állapítja meg Einstein [*37*, 773].

A relativista felfogás szerint az eddig használatos kifejezések helyett azt is mondhatnók: a szoba bútorai, a házak, a fák, a hegyek és a Föld hátrafelé mozognak, a járó ember pedig nyugszik; az egész Föld fölfelé mozog, az eső kő pedig nyugszik; a fali óra szekrénye a fallal, a házzal és az egész Földdel együtt ide-oda leng, a lengő inga pedig nyugszik; az egész légóceán rezeg ide-oda, a rezgő hangvilla pedig nyugszik; az áramvezeték mozog, a mozgó elektronok és iónok pedig nyugosznak; az egész mindenség forog, a köszörűkő, a pörgettyű, a körhinta, a Föld pedig nyugszik.

A relativisták abban a meggyőződésben vannak, hogy az egyenesvonalú egyenletes mozgásnál a mozgás és a nyugvás felcserélhetőségét a tapasztalat közvetlenül mutatja. A gyorsuló mozgás és a nyugvás felcserélhetőségének megmagyarázására pedig a kovarians gravitációs és centrifugális erőmezők matematikai kifejezéseit szerkesztik meg. Az a felfogásuk, hogy, amikor pl. a kocsi mozgása gyorsul vagy lassudik, akkor éppen az e változás folytán előálló kovarians gravitációs mező hozza létre az úttest hátrafelé való mozgásában előálló gyorsulást vagy lassudást. A kocsiban ülő megfigyelő tehát joggal mondhatja, hogy a gyorsulás és lassudás ellenére is kocsija nyugszik, mert a keletkező kovarians gravitációs erő folytán az úttest a Földdel együtt úgy mozog, hogy annak hátrafelé irányuló mozgása növekszik vagy csökken. Ez a változó nehézségi erő létesíti azt a lökést is, amelyet a kocsiban ülő megfigyelő érez. Hasonló értelmezést kapnak a forgó testeken ész-

lelhető centrifugális jelenségek, ha a forgótestet képzeljük nyugvónak, a mindenséget pedig forgónak.

Tekintetbe véve a nagy jelentőséget, amelyet a relativitási elmélet a fizikában visz, vizsgálat tárgyává kell tennünk, hogy a nyugvás és a mozgás felcserélhetőségére vonatkozó elv miként egyeztethető össze tapasztalati ismereteinkkel.

Kétségtelen, hogy számos olyan tapasztalati jelenséget ismerünk, amelyek a mozgás és a nyugvás felcserélhetőségét mutatják. Ha gyufát akarunk gyújtani, azt úgy csinálhatjuk, hogy a skatulyát rögzítjük le és a gyufát mozgatjuk, de úgy is, hogy a gyufát rögzítjük és a skatulyát mozgatjuk. A fonalon függő golyót lengésbe úgy hozhatjuk, hogy a golyót jobbra vagy balra kimozdítjuk, de úgy is, hogy a felfüggesztési pontot mozdítjuk el jobbra vagy balra. Ha az *A* és a *B* testek dörzsölésével meleget vagy pedig elektromosságot akarunk fejleszteni, azt úgy csinálhatjuk, hogy *A*-t rögzítjük és a *B* testet mozgatjuk, de úgy is, hogy a *B*-t rögzítjük és az *A*-t mozgatjuk. Ha egy tekercsben elektromos áramot akarunk indukálni, azt úgy csinálhatjuk, hogy a tekercset rögzítjük és a mágnest mozgatjuk, de úgy is, hogy a mágnest rögzítjük és a tekercset mozgatjuk. Ennek megfelelően vannak olyan dinamógépek, amelyeknél a mágneses tér nyugszik és az indukciótekercsek forognak, de olyanok is, amelyeknél az indukciótekercsek vannak rögzítve és a mágneses tér forog. Ha szél fúj, vagyis ha a levegő mozog, akkor testünk egyoldalú nyomást és egyoldalú lehűlést érez, de ugyanezt érzi akkor is, ha a levegő nyugszik és testünk mozog.

A nyugvás és mozgás felcserélhetőségének tapasztalati alapjait kutatva, egy másik igen nevezetes tapasztalatkörre bukkanunk, amelyben ez az elv látszólag minden fenntartás nélkül érvényes. A rajzolás és az írás műveletei alkotják ezt a tapasztalati kört. Egyenes vonalat pl. úgy szoktunk rajzolni, hogy rögzített papiroson az írószerszám hegyét egy vonalzó mentén mozgatjuk. Azonban a műveletet úgy is végezhetnők, hogy az írószerszámot rögzítenők és a papirost vagy a rajztáblát, amelyre az erősítve van, mozgatnók egy vonalzó mentén. Kört is rendesen úgy rajzolunk, hogy a papirost rögzítjük és az írószerszámot mozgatjuk, de úgy is rajzolhatnók, hogy az írószerszámot rögzítenők és a papirost mozgatnók a kör mentén. Ugyanezt tehetjük bármely vonallal. Az írást is rendesen úgy végezzük, hogy rögzített papiroson mozgatjuk az írószerszám hegyét, de az a képzetünk, hogy ezt úgy is végezhetnők, hogy rögzített írószerszám mellett a papirost mozgatnók a betűk alakjának megfelelő módon ellenkező irányban.

Ez a rajzolási és írási relativitás azt a gondolatot kelti, hogy minden pontmozgás látszata kétféle módon jöhet létre:

úgy, hogy a pont mozog és a koordinátarendszer nyugszik, de úgy is, hogy a pont nyugszik és a koordinátarendszer mozog.

Ha e jelenségeket vizsgálat tárgyává tesszük, azt tapasztaljuk, hogy a nyugvás absztraktciója itt is felesleges, mert mindezek a jelenségek akkor is létrejönnek, ha a nyugvóknak képzelt rendszerek mozognak. Mozgó vonatokon és hajókon is tudunk gyufát gyújtani, ingát lengésbe hozni, dörzsöléssel hőt és elektromosságot fejleszteni, vonalakat rajzolni. Sőt azt is mutatják, hogy mind e műveletek akkor is sikerülnek, ha mindkét test egyidejűleg végzi az ellenkező irányú mozgásokat. Gyufát úgy is gyújthatunk, hogy a gyufaskatulyát az egyik irányban, a gyufát pedig az ellenkező irányban mozgatjuk. A mozgások leírásánál tehát a nyugvás fogalmára nincs szükségünk. Bevezetése nemcsak felesleges, hanem zavaró is. Az, amire szükségünk van, a vonatkozási rendszer, amelynek azonban nem kell nyugvónak lennie.

A relativista felfogással egy másik nagyon nevezetes fizikai szempont is elvész, t. i. a két rendszer egymásra való hatása, amelyet Newton harmadik mozgási törvénye állapít meg és a tapasztalat kivétel nélkül igazol. A relativitási felfogás teljesen figyelmen kívül hagyja az impulzusokat, amelyeket a két rendszer egymásra tesz. A vonat mozgás közben a sínpályának és rajta keresztül a Földnek a mozgásával ellenkező irányú impulzusokat ád. Hasonlóképen, amikor a kő vagy a Hold a Föld felé esik, a Föld is impulzusokat kap a kő és a Hold felé. Ha követ dobunk fölfelé, aFöldnek is impulzust adunk az ellenkező irányban. A relativitási felfogásból ezek kimaradtak.

Térjünk át most az érvekre, amelyekkel a relativisták a mozgás új felfogását megokolják. Arra szoktak hivatkozni, hogy a mozgó testekről nézve a földi tárgyak ellenkező irányban látszanak mozogni. Miként már föntebb láttuk, ez a megállapítás hiányos észlelésen alapszik, mert ha a jelenséget pontosabban figyeljük meg, azt találjuk, hogy a mozgó testről nézve a földi tárgyak állóknak is, a mozgó testtel egy irányban és ellenkező irányban is haladóknak látszanak. Tisztán szemünk beállítottságától függ, hogy a három eset közül melyik következik be. Ugyanezt tapasztaljuk, ha folyó partjáról nézzük a folyón végbemenő jégzajlást. Ezek a jelenségek a tárgyak geometriai elrendezéséből, valamint szemünk fiziológiai sajátságaiból keletkező egyszerű optikai csalódások és mint ilyenek, nem lehetnek alapjai egy új megismerési elvnek. Nem lehet tehát azt állítani, hogy már a közönséges tapasztalat is mutatja a mozgó és a nyugvó testek felcserélhetőségét. A tünemény a lélektani vizsgálatok körébe tartozik, nem pedig a fizikába és éppen nem alkalmas arra, hogy új világfelfogást állítsunk reája.

A relativisták arra is szoktak hivatkozni, hogy az egyenes vonalban egyenletesen mozgó testen élő megfigyelő az ő rendszerében észlelt jelenségek alapján nem tudja eldönteni, hogy rendszere mozog vagy nyugszik-e, mert nála a jelenségek teljesen úgy folynak le, mint ahogyan azokat a szilárd földi talajon szokta látni. Ez is hiányos észlelés, mert csak az így mozgó rendszeren keletkező és lefolyó jelenségeket látja úgy lefolyni, ahogyan azokat a szilárd földi talajról szokta látni. Ha a jelenségek idegen rendszerben keletkezve jutnak be az ő rendszerébe, akkor azokat már ő is másképen lefolyóknak látja. Csak magán a mozgó hajón elejtett követ látjuk a hajó testéhez képest függőleges egyenesben esni. Ha a kő máshonnan, pl. egy magas hídról elereszve jön a hajóra, akkor pályáját már görbevonalúnak látjuk.

A relativisták erre az ellenvetésre is megtalálják a maguk ellenvetését. Most elhagyják a tapasztalatot és Newton dinamikai törvényeire hivatkoznak, amelyek invariánsok maradnak, ha azokat egyenes vonalban egyenletesen mozgó rendszerre transzformáljuk át. A megfigyelők tehát most már a dinamika törvényei miatt nem tudják megállapítani, hogy hajójuk nyugszik-e, vagy mozog.

A hajóskapitányok azonban nem a dinamika törvényeit veszik elő, amikor tudni akarják, hogy hajójuk milyen sebességgel mozog, hanem valamelyik sebességmérő készüléket hozzák működésbe. A relativistáknak erre is megvan a feleletük. A sebességmérő készülékekre is érvényesek a dinamika törvényei. Az a sebesség tehát, amelyet a készülék mutat, épúgy lehet a hajó, mint a part és a Föld ellenkező irányú sebessége. Feleletünk a következő. A relativisták most már elhagyják a szemléletet és a dinamika törvényeire hivatkoznak, amelyek azt mutatják, hogy az egyenes vonalban egyenletesen mozgó koordinátarendszerre átalakított dinamikai törvények ugyanazt a matematikai alakot mutatják, mint a nyugvó koordinátarendszerben kifejezettek. Fölteszik tehát, hogy a természet úgy működik, ahogyan a matematikusok önkényesen megalkotott matematikai fogalmaikkal azt számára előírják és a leggondosabban ügyel arra, hogy bizonyos matematikai szimbolumokból előállított kifejezés a nyugvó és az egyenes vonalon egyenletesen mozgó rendszerben kifejezve változatlan (invarians) maradjon. Kérdeznünk kell azonban: mi köze a természetnek ahhoz, hogy a matematikusok hogyan alkotják meg fogalmaikat és műveleti szabályaikat és hogy egy állandó mennyiségnek differenciálhányadosa nulla-e vagy sem (mert végeredményben ez esetben az invariancia ezen fordul meg)?

A kérdésre azonban nem várunk feleletet, mert jól tudjuk, hogy a relativitási elmélet híveit egy önmagában véve na-

gyon tiszteletre méltó meggyőződés mozgatja: az, hogy a Földnek a Nap körüli mozgását közvetlen tapasztalati adatokkal bizonyítani nem lehet. Hogy ezt érthetővé tegyék, azért értelmezik át a közönséges tapasztalati jelenségeket, azért vezetik be a nyugvás és a mozgás felcserélhetőségének elvét és azért irányul minden igyekezetük oda, hogy a testek saját mozgásának ismertetőjegyeit elmossák, elkenjék, elködösítsék. Az ellenmondások sem zavarják őket. Ugyan egy helyen szerepel pl. a következő két állítás. Az egyik: az egyenes vonalban egyenletesen mozgó hajón a jelenségek ugyanúgy folynak le, mint a nyugvó Földön. A másik: tehát nem tudom, hogy a hajó egyenes vonalban egyenletesen mozog-e vagy pedig nyugszik-e.

A saját mozgás ismertető jegyeinek elkenése végett mindíg magasabb és magasabb absztrakciók felé vezet útjuk. A mozgás kinematikus felfogásából kiindulva eljutnak a tér tisztán absztrakt fogalmához, amelyben már nincsenek földi testek, csak pontok és pontok közötti távolságok vannak. Szellemükből kiabsztrahálnak mindent, ami azt a földi élethez köti. Kiküszöbölik saját testüket, érzékszerveiket, kidobják az összes tapasztalatokat, a fogalmakat, a fizikai törvényeket, egyetlenegy képességet hagynak meg: a pontok közötti távolság változásának észlelhetőségét. Ebben a szellemi állapotban csakugyan teljesen mindegy, hogy az *A* és a *B* pontok közötti távolság változásánál melyik a vonatkozási alap és melyiknek van saját mozgása.

A kitűzött célt csak ezzel a legmesszebbre vitt absztrakt álláspontttal lehet elérni, mert ha a valóságos szemléletet bent hagyják, az érzékszerveket és velük együtt az emberi testet is bent kellett volna hagyniok, és akkor az *A* és a *B* pontok mellett ott van az emberi test is, amely minden észlelésen automatikusan vonatkozási rendszerré alakul át.

Nem tagadhatjuk, hogy a teljesen absztrakt álláspontnak is lehet értéke, mert termékeny spekulációknak kiinduló pontjává válhatik, amelyről olyan vonatkozásokat is meg lehet látni, amelyeket a közönséges felfogás sok zavaró részlete elfed. Azonban ezt a teljesen absztrakt gondolati világot visszafelé haladva a közönséges tapasztalati világra is ráhúzni és az ott termett fogalmakat az itteni tapasztalati jelenségekre is alkalmazni torz és értelmünket megcsúfoló következményekhez vezet.

Ebből a világból az embert az ő érzékszerveivel, műveleteivel, tudatának legelemibb adataival kiűzni nem lehet. Az absztrakt fogalmak és a köztük lévő logikai kapcsolatok nagyon szép dolgok, de olyan rendszer, amelyből az ember kimarad, aki maga alkotta ezt a rendszert, nagy logikai ellenmondás.

A legvégsőbb, a legeredetibb ősi elemi tudatunk az, hogy

testünket mozgatni tudjuk, hogy e mozgásokkal párhuzamosan érzékszervi benyomásainknak összesége meghatározott és jól ismert változásokon megy keresztül, és hogy mi ezt a változtatást akaratunk szerint megismételhetjük és visszafelé is megcsinálhatjuk. Ennélfogva érzeteink, műveleteink és a belőlük kialakult fogalmaink tudatunkba úgy vannak beágyazva, mint testünk saját mozgásának a következményei. Lélektani lehetetlenség ezt a tudatot az ellenkezőre váltani át. Ahhoz az agynak és idegrendszerünknek egész belső szerkezetét meg kellene változtatni. De ez logikai lehetetlenség is, mert a fogalmak közti kapcsolatok egész hálózatát is meg kellene változtatni. Tudni valamit és képzelni valamit két teljesen különnemű dolog. Mi tudjuk azt, hogy nem az úttest és a Föld, hanem a kocsi mozog, mert képzeteink, fogalmaink, összes gyakorlati és tudományos ismereteink ezen az alapon vannak felépítve. Ha valaki mindenáron akarja, képzelheti, hogy az úttest az, amelyik mozog, a kocsi pedig nyugszik. Ha azonban erre az álláspontra helyezkedik, akkor minden eddigi tudását félre kell löknie, egy új emberi szellemet kell teremtenie és az emberi gondolkodást is úgy kell áttranszformálnia, ahogyan a matematikusok a formulákkal teszik. Csak egy ujonnan megalkotandó emberi életben lehetne ilyen átváltást keresztülvinni, kérdés azonban, hogy az életképes lenne-e.

A megismerés lehetőségével tisztán formailag is ellentétbe jut az az állítás, hogy nem tudjuk megállapítani, melyik test mozog és melyik nyugszik. A mozgásból származik megismerésünk túlnyomó nagy része. Ha tehát most, amikor az ismeretek óriási sokaságát megszereztük, az alapjaiba a kételyt állítjuk, akkor a rendszer összeomlik és számunkra nem marad más, mint minden megismerés lehetőségének a tagadása.

A relativitási elméletnek a jelenségek leírására alkalmazható megállapításai egyébként függetlenek a mozgásnak e felfogásától. Ez csak melléktermékként, mint a matematikai bizonyításnak egyik segédeszköze nyert benne szerepet.

### 7. *A Föld mozgásai.*

Minden idők legfontosabb tudományos kérdése az volt, hogy a csillagos ég szemmel látható mozgásait hogyan kell értelmezni. Kopernikus óta a tudomány, összes tapasztalatainak tekintetbevételével úgy oldotta meg a kérdést, hogy a Földnek tengelykörüli saját forgást, Nap körüli saját keringést, ezeken kívül a Földnek több kisebb jelentőségű saját mozgást és a csillagoknak is többféle saját mozgást tulajdonított és összetevődésükből magyarázza a csillagok látható mozgását.

A Föld mozgásának kérdése mindazonáltal továbbra is bizonyos kételyeket tartalmaz. Nem azért, mintha a fizikusok kételkednének benne, hiszen a tényeknek beláthatatlan sorozatát csak ezzel tudják megmagyarázni, hanem azért, mert az nem közvetlen tapasztalati tény, hanem gondolati követelmény. A tudománynak egyik legfontosabb feladata pedig az, hogy lehetőleg sok tapasztalattal igazolja gondolati követelményeit.

A fényelméletek fejlődése, a pontos és érzékeny optikai módszerek feltalálása, valamint Maxwell elektrodinamikus törvényeinek sikerei a 19. század második felében azt a gondolatot vetették fel, hogy a Földnek Nap körüli mozgását optikai és elektromágneses módszerekkel egyszerű laboratóriumi kísérletek alapján is meg lehet mutatni. A fizikusok e célra több módszert is dolgoztak ki és számos tényleges kísérleti meghatározást is végeztek, de valamennyi negatív eredményt mutatott. Ebből, mint kísérletileg bebizonyított tényből, az a következtetés vonódott le, hogy a Föld Nap körüli keringése egy helyen és egy időpillanatban végzett kísérlettel ki nem mutatható. Magyarázatára számos elméleti megfontolás keletkezett. Közöttük legnevezetesebb Lorentz holland fizikusé. Abból a hipotézisből indul ki, hogy a nagy sebességgel mozgó testek hosszméretei a mozgás irányában megrövidülnek és pedig olyan mértékben, amely a mozgás fénytani, vagy elektromágneses kimutathatóságát lehetetlenné teszi.

Einstein ezeket az eredményeket általánosabb megismerési alapra állítva a relativitási elméletet alakította ki, amelynek egyik részéről a megelőzőkben, más részeiről pedig a könyv egyéb helyein van szó. Ez az elmélet elvi alapon igyekszik kimutatni, hogy a Föld világtérbeli mozgásai kísérleti úton ki nem mutathatók. Ismeretelméleti szempontból ez az elvi alap nem kényszerítő erejű, mert még mindig nincs bebizonyítva az, hogy a kísérleti eredmények negatív volta nem kereshető-e magának a kísérletnek nem megfelelő értelmezésében. Kérdés, lehet-e egyetlen helyhez kötött kísérlettel a Földnek, vagy bármilyen más testnek a mozgását magán a testen elvégezni. Doppler elvének alkalmazásánál is szükség van egy más fényforrással való összehasonlításra. A fényhullám elmélete és az elektromágnesség elmélete a 20. század lefolyt éveiben erős változásokon ment keresztül. Honnét tudhatnók mi azt előre, nem keletkezik-e egy olyan változata, amely az említett negatív kísérleti eredményt a fényre és a váltakozó elektromágneses mezőre vonatkozó fogalmakkal magyarázza meg?

Azt sem tudjuk továbbá, hogy a fejlődés folyamán nem találunk-e újabb fajta kísérleti módszereket a Föld mozgásának kimutatására. Sőt most is ismeretesek kísérleti eljárások és természetadta jelenségek, amelyeket Newtontól kezdve

mostanáig a legkiválóbb fizikusok a Föld forgása csalhatatlan bizonyítékainak tekintettek.

Gondoljunk továbbá arra, mi történt volna, ha Michelsonnak kísérletei nem negatív, hanem pozitív eredménnyel jártak volna? Az emberi kutató szellem ezzel az eredménnyel sem lett volna kielégítve. A pozitív eredményt bizonyára annak bizonyítékául tartotta volna, hogy az aeter a tapasztalati testek tulajdonságaival bír és valószínűleg tovább kutatta volna, vajjon ez az immár kísérleti úton megfogható aeter maga is nyugszik-e, vagy pedig mozog.

A relativitási elmélettel kapcsolatban pro és kontra kifejlődött viták sorozatában sajátságos megokolások keletkeztek, amelyek a megismerés szempontjából a kritikát ki nem állják.

Az egyik ilyen megokolási sorozat, amely a relativistákkal szemben a Föld abszolút forgásának bizonyítékait kívánja adni, arra hivatkozik, hogy a Földnek abszolút forgását az egyenlítőnél kidudorodott alakja, Foucault ingakísérlete, a pörgetyűs iránytű, Eötvös forgómérleg kísérlete, a szeleknek és a tengeráramoknak az iránya még akkor is bizonyítaná, ha a világűrben a Földön kívül más égi test nem is volna, vagy ha a Földet kezdettől fogva állandóan sűrű felhők borították volna, amelyek a csillagok látását lehetetlenné tették volna.

A felsorolt tapasztalati tényeknek a Föld abszolút forgása mellett ilyen módon való beállítása a tudomány megismerési alapjaival ellenkezik. Ha csak a Föld volna a világűrben, vagy ha kezdettől fogva felhők borították volna, akkor itt a szerves élet, az ember és a fizika tudománya ki sem fejlődhetett volna. Ha pedig mégis előttünk teljesen ismeretlen, elképzelhetetlen és felfoghatatlan módon bizonyos gondolkodó lények mégis kifejlődtek, hogyan tudhatnók mi, akik a többé-kevésbbé ismert viszonyok között lefolyó folyamatokat sem tudjuk megmagyarázni, hogy ezek az ismeretlen gondolkodó lények a mienktől teljesen elütő viszonyok között hogyan juthattak volna rá Foucault ingakísérletére, a többi hasonló kísérletre, a dinamika alapelveire és hogyan tudták volna a Föld alakját meghatározni. Mi magunk is távol vagyunk attól, hogy a Föld alakját tisztán geometriai meghatározások alapján ismerjük. A Föld alakja, úgy, ahogyan tudományunkban szerepel, a csillagok látásának segítségével vált ismeretessé. Ha a csillagok nem volnának, ha belőlük fény nem jutna le hozzánk, akkor nemcsak a Föld alakja volna ismeretlen számunkra, hanem a fizika tudománya sem léteznék.

Forduljunk most az ellentábor felé. Szerintük a Föld forgása és a mindenség forgása a nyugvó Föld körül teljesen egyenjogú két állítás. Egyiknek sincs előnye a másik felett.

Mégis azonban kénytelenek voltak a fentebb felsorolt tényeket, amelyeket a Föld forgásának hívei bizonyítékul felhoznak, az úgynevezett kovarians centrifugális erőtérrel eltüntetni. Ez azonban bizonyos feltevések alapján, amelyeknek elfogadása nem kényszerítő erejű, önkényesen megszerkesztett matematikai fikció csak és mint ilyen fizikailag meg nem fogható.

A relativisták felfogásával szemben még súlyosabb kifogások is tehetők. Ha a világból semmi más nem volna ismeretes, csak a Föld és a körülötte forgó csillagos éggömb és ha mindazt, amit a csillagászok a csillagok távolságáról, tömegéről, hőmérsékletéről, fényéről, anyagi összetételéről, mozgásáról kikutattak, szóval a csillagászat egész tudományát elfelejtenők és az ember fejlődési korszakának kezdetbeli tudási állapotára térnénk vissza, akkor talán lehetne beszélni arról, hogy a Föld forgása és az éggömb forgása egyenlő jogú két állítás. Mai ismereteink szerint lehetetlenség a kettőt egyenlő jogúnak tartani. Ez természetesen nem jelenti azt, hogy a relativitási elméletnek, mint a megismerés alapjait kereső stúdiumnak értéke nem volna. A Föld forgását el kell fogadnunk nem azokból az okokból, amelyekben a relativisták ellenfelei a Föld abszolút forgásának bizonyítékait látják, hanem azért, mert tapasztalataink összeségét csak így tudjuk legegyszerűbben rendszerbe foglalni.

# VI. A TÉR ÉS AZ IDŐ.

A tér és az idő fogalma roppant bonyolult megismerési folyamatoknak az eredménye. Kialakulásukban összes érzékszervi és műveleti tapasztalatink, valamint összes gondolati folyamataink részt vettek. Mindegyik adott le bizonyos elemeket a tér és az idő bonyolult képzet- és fogalomszövevényébe. Bennük a fizikai világra vonatkozó tapasztalataink és gondolataink összesűrűsödve váltak önálló lelki egységekké.

Minden fajta ember, a legegyszerűbbtől kezdve a szellemiség legmagasabb fokán állóig mondhatja, hogy tudja, mit jelent a tér és az idő, mert gondolatvilágában e két szóhoz bizonyos tudatos lelki elemek kapcsolódnak. Ha azonban valamennyi embernek lelki elemeiből a tér és az idő fogalmát szabatos alakban akarnók megfogalmazni, a legnagyobb nehézségekbe ütköznénk.

A tudományokban is hasonló a helyzet. A tér és az idő meghatározásában részt kér magának a fiziológus, a lélekbúvár, a geológus, a fizikus, a matematikus, a történész, a logikus és a metafizikus. Különféle fogalmi elemeiket, felfogásaikat és posztulátumaikat alig lehet egységesíteni és harmóniába hozni. De a fizika területén belül is eltérő viszonyok vannak a mechanikában, a hőtanban, az elektromosság és mágnesség tanában, a csillagászatban, a kémiában és a meteorológiában.

Ha a fizika fogalmait síklapon pontokkal, a köztük lévő kapcsolatokat a pontokat összekötő vonalakkal ábrázoljuk, a keletkezett hálózatban a legtöbb vonal a tér és az idő fogalmakat jelölő pontokban fut össze, mutatva azt, hogy a világösszefüggéseknek és történéseknek e fogalmak az alapjai.

A fizika újkori fejlődésének az volt a következménye, hogy a tér és az idő problémája a filozófiában is elsőrendű fontosságot kapott. A filozófusok valóban bámulatos találékonyságot fejtettek ki az általános, halvány, ködös és egymásnak ellenmondó szavak kitalálásában, amelyek a tér és az idő fogalmát volnának hivatva meghatározni. Szókészletüknek úgyszólván egész leltárát rápazarolták e meghatározásokra.

Ezeket és a hozzájuk hasonló meghatározásoknak hosszú sorát, amelyek a rendszerek szerint különbözők és egymásnak

ellenmondók, bizonyos kapcsolatokban tudjuk is értékelni és sejtjük is, hogy mit akarnak kifejezni, de mégis úgy érezzük, hogy igazi felvilágosítást nem adnak. Még nagyobb zavarba jutunk, ha tekintetbe vesszük, hogy a 19. század matematikusai tudományuknak logikai elemeiből kiindulva, szintetikus úton lassan és észrevétlenül új térfogalmakat igyekeztek teremteni, amelyek a 20. század fizikájában is szerepet visznek.

Az új szintézist tulajdonképpen mélyen járó analízis előzte meg, amely a tér és az idő fogalmában egyesült tapasztalati, gondolati és konvencionális elemek felismeréséhez és elkülönítéséhez vezetett. A szintézis ennek alapján felhatalmazva érezte magát arra, hogy a régi elemek helyébe új gondolati elemeket vezessen be. Ha ebbe az új gondolatvilágba magunkat bele akarjuk dolgozni és az egész fogalmi kialakulást meg akarjuk érteni, arra egyetlen mód van: meg kell ismerni a tér és idő fogalom elemeinek lélektani és történeti kialakulását és elemeinek egymásbakapcsolódását.

### 1. *A tér fogalmának lelki alapjai.*

A fiziológusok és a lelki jelenségek kutatói sokat foglalkoztak a kérdéssel, hogy a tér fogalmának lelki alapjai miképpen származtak a tapasztalatból, miképpen függnek össze és miképpen adhatják azokat az ismertető jegyeket, melyeket a matematika és a fizika használ. Gondolkodási folyamataikkal megalkották a különféle fiziológiai terek, a látási, hallási, tapintási terek fogalmait. A matematikusok és fizikusok is foglalkoztak a kérdéssel, közöttük Poincaré is [*98*, 53].

Felfogásunk szerint mindezek a kategóriák a tudósok elkülönítő és kiválasztó munkájának az eredményei. A térképzetek embernél, általában élőlénynél egyszerűbb módon alakultak ki. A kialakulási munka főfolyamata az élőlény saját testének és tagjainak mozgásával kapcsolatban indult meg. Az a tény, hogy testünk mozgásával egyidejűleg valamennyi érzékszervi adatunk meghatározott és minden ismétlésnél újból és újból mindig ugyanazon módon változik meg, szolgáltatta a térfogalom őseredeti és semmi másra vissza nem vezethető lelki elemeit. Testünk mozgásánál kivétel nélkül mindig azt tapasztaljuk, hogy bizonyos testek folyton nagyobbodóknak, más testek folyton kisebbedőknek látszanak és hogy amazokban a részletek száma folyton növekszik, emezekében pedig folytan kisebbszik. Ezek az érzeti jegyek a térbeli irány, a mozgással együttjáró fáradság érzetei pedig a távolság fogalmát fejlesztették ki. Abból a tényből pedig, hogy a mozgás minden irányban mindenkor elvégezhető és hogy az iránnyal és a távolsággal kapcsolatos lelki elemek mindenütt és mindenkoron egyformán

jelentkeznek, alakultak ki a tér mindenütt jelenvalóságának, homogenitásának és izotrópságának a képzetei.

Az elmondottak rövid leírását akarják adni annak a felfogásunknak, hogy a térképzetek mindenütt a test saját mozgásából erednek és annak őstudatával vannak kapcsolatban. Az állat ösztönös mozgásánál a mozgást előidéző okok tudat alatt kapcsolódnak össze az irány és a távolság érzékleti képzeteivel. Az kétségtelen, hogy a magasabbrendű állatok a világban pompásan tudnak tájékozódni, tehát kell hogy idegrendszerükben olyan elemek is legyenek kifejlődve, amelyek a mi irányfogalmunknak felelnek meg. Hasonló módon idegrendszerükbe be kell építve lenni valami módon annak is, hogy nagy távolságokon át való mozgás a fáradtság érzetével kapcsolatos.

Megvan tehát a folytonos átmenet a magasabbrendű állatok és az ember között. Ha az evolúció tana szerint elfogadjuk az élőlények folytonos fejlődésének elvét, igazat kell adnunk Poincarénak, amikor azt mondja, hogy mi a magasabb rendű állatoktól örököltük térfogalmunk durva elemeit [*100*, 122]. Ez az örökösödés az egész sorozaton végig ment, az alacsonyabb rendű állatoktól a magasabb rendűeken át a primitív és innét folytonos fínomodással és gazdagodással a mai emberre.

Az újszülött a tér és az idő fogalom számára bizonyos módon preformált idegrendszerrel jön a világra. Ez azt jelenti, hogy idegrendszerében megvan a fiziológiai alap arra, hogy ugyanazon külső hatások alatt, amilyeneken őseink hosszú sora átment, ugyanolyan képzetek és ugyanolyan fogalmak fejlődjenek ki, mint az ősökben.

Elfogadhatjuk a biogenetikai alaptörvényt abban a formájában, ahogyan azt Goethe felismerte és az Eckermannhoz írt levelében megírta 1827-ben. Az individuumnak mindent elölről kell kezdenie és az emberi fejlődés korszakait végig kell csinálnia; a gyermek tehát születésétől kezdve a tér és az idő fogalom tartalmához tartozó elemeket megrövidítve és sok változtatással ugyanazokon a fokozatokon át szerzi meg, amelyeken át az emberi faj azokat megszerezte és kialakította.

Sőt még tovább is mehetünk, a csecsemő olyan útakon jut a tér és az idő fogalmi jegyeihez, amelyeken át a magasabbrendű állatok szerzik meg azokat. Valójában mindazok a körülmények, amelyeket Poincaré ismeretelméleti műveinek különböző helyein [*99*, 61; *100*, 100] a térfogalom durva elemeinek tapasztalati alapon való kialakulására felhoz, a magasabb rendű állatokra és az emberre egyformán érvényesek. A főszerepet testünk és tagjaink mozgásai viszik. Kétségtelen, hogy a teljesen mozdulatlan lényben a térfogalom elemei nem alakulhattak volna ki, mert ha az ilyen lényt érzetei a különböző tárgyak nagyságának változásáról értesítik, akkor azo-

kat állapotváltoztatásoknak és nem helyváltozásoknak ítélné. Ha a korallok szervezetében alakult volna ki valamilyen magasabb rendű lény, annak nem lehetne térfogalma, viszont fordítva még inkább igaz: a korallok testi szervezete nem alkalmas magasabb rendű értelem kialakulására.

Ezek a nyers, durva fogalmi elemek mindig az illető lény testéhez viszonyítva alakultak ki. Az állat is és a gyermek is az érzékszerveire ható és műveleteivel változtatható dolgokat a saját testére vonatkoztatja, vagyis oly koordinátarendszerbe helyezi el, amelynek kezdőpontja saját testébe esik.

Így jut a gyermek már néhány éves korában a bal — jobb, az előtt — mögött, a fent — lent, a belől — kívül, a rövid — hosszú, az alacsony — magas, a kicsiny — nagy, a széles — keskeny, a vastag — vékony fogalompárok saját testéhez viszonyított képzeteihez. Bizonyára ilyenek lehettek a kezdetleges ember térfogalmának is az első elemei.

A vakon született gyermek idetartozó képzetei azonban lényegesen mások, mint azé, aki ép látószervvel jött a világra. Belőlük hiányoznak a látási képzetek, mert azok nála kizárólagosan a mozgással együttjáró izom-, ín- és bőrérzetekből rakódnak össze. Ha az ilyen egyén szerencsés műtét következtében látóképességének teljes birtokába jut, csak hosszantartó nehéz begyakorlással tud a szem használatához hozzászokni, mert az izom-, ín- és bőrérzeteket látási érzetekkel kell helyettesítenie.

A hely, az irány és a távolság fogalmi elemei a térképzetek egyik csoportját alkotják, a másikba azok tartoznak, amelyek az alak fogalmához fűződnek. Kialakulásukban a normális érzékszervekkel rendelkező gyermeknél is a tapintási érzetek viszik a főszerepet. Testének a mozgásra és a mozgatásra való preformáltsága itt is megnyilatkozik. Csecsemő korától kezdve mindenhez hozzányúl, mindent megfogni, megtapogatni, elejteni igyekszik. Játékossága is az ős preformáltságnak a következménye. Mindent megpróbál, széttör, zúz, mozgat, eldob, aztán megint összerak, gyúrható anyagból golyót, hengert, korongot, gyűrűt készít, homokból várat, kövekből házat, papírosból hajót épít. E közben valóban „játszva" alakulnak ki lelkében az alakkal kapcsolatos térképzetek: a csúcs, a sark, a hegyesség, a gömbölyűség, a tompaság, az egyenes, a sík, stb. Már az analízis legegyszerűbb módszerét is gyakorolhatja öntudatlanul, mert az alakokat, amelyeket saját alkotásaiban létrehozott, módjában van a körülötte lévő tárgyakon is felismerni.

Azután az iskolában folytatja a térfogalomhoz tartozó ismertető jegyeknek megszerzését. Megtanulja és maga is gyakorolja a hosszúság, a terület, a térfogat, a súly mérését. Hoz-

zájuk kapcsolódnak a rajzolás műveletei, a vonalzóval, a körzővel és a szögmérővel való műveletek. Kialakulnak lelkében a mértani idomok fogalmai és velük az absztraktabb fogalmak is, aminő pl. a párhuzamos, a merőleges, a vízszintes, a függőleges. A tanulás és a tapasztalatszerzés együttes hatása alatt az ifjú belenevelődik a képzeteknek, a fogalmaknak és a szintetikusan megalkotott hipotéziseknek abba az együttesébe, amelyet az emberiség fejlődésének hosszú ideje alatt a tér fogalmába összekögített.

Nem szabad azonban azt hinni, hogy lelkében ezek, mint ideális absztrakt fogalmak vannak beágyazva olyan alakban, ahogyan azokat a matematikusok gondolják. Ellenkezőleg: a 12—15 éves ifjú lelkében a fogalmakhoz élénk és szemléletes képzetek kapcsolódnak, hiszen a rajzolás műveletének eredményei és az a tudat, hogy azokat bármikor ő maga is rajzzal meg tudja valósítani, oly élénken élnek emlékezetében, hogy absztrakt ideális voltukra nem is kell gondolnia.

### 2. *A geometria tapasztalati alapjai.*

Sokkal lassabban és nehezebben ment a kialakulás az ősembernél, mert neki mindezekre vezető nélkül kellett rájutnia. Az alakkal kapcsolatos műveleteket egyénenként kellett kitalálnia és a fogalmakat rögzítenie. Az indító ok ugyanaz volt, mint a gyermeknél. Testi szervezettségébe beleoltott ős mozgó és mozgató képessége próbálgatásokra, kísérletezésre, mindenbe való belenyúlásra ingerelte és ha valaki olyas valamit hozott létre, ami az élet feladatai szempontjából hasznosnak bizonyult, vagy játékos örömöt okozott, abból megszokott művelet vált, amelyet embertársai is utánozni igyekeztek.

Kétségtelen, hogy a régi kezdetleges népek a távolságnak, az iránynak és a testek alakjának a megismerését lassanként és fokozatosan sátrak, házak, sírok, gátak, csatornák, utak, királyi paloták, királysírok, piramisok, templomok építése, földek felmérése, gabonatartályok készítése és mérése, fazekak készítése, csillagok helyének meghatározása, napórák szerkesztése közben szerezték meg.

Sokan úgy okoskodnak, hogy az ősember csak akkor mérhetett távolságot, amikor elméjében a tér fogalma már ki volt alakulva. Akik így okoskodnak, elfelejtik, hogy a primitív ember nem távolságot mért, — ez a fogalom még ki sem alakult nála, — hanem azt akarta kijelölni, milyen hosszú árkot ásson, milyen hosszú és széles házat építsen, mekkora ládát csináljon, mekkora kocsikereket faragjon és úgy találta, hogy e gyakorlati feladatok megoldásánál hüvelyke, lába, lépése, arasza, öle jó szolgálatot tesz. A távolság fogalma csak az ilyen feladatok-

kal kapcsolatban bírt reája nézve értelemmel. Mérte a dolgokat, ha meghatározott nagyságú dolgok alkotásához szüksége volt mérésre, nem pedig azért, mintha a tőle független természetet meg akarta volna ismerni. Azért mért hüvelykkel, lépéssel, öllel, mert ezeket ismerte és mindig rendelkezésére állottak. A mérés ma sem más, mint ismeretlennek ismerettel való összehasonlítása. A kialakulás olyan módon jöhetett létre, ahogyan az egész számok feltalálását képzelhetjük. Az ősember a külvilágban felismert egyenlő dolgokat vonatkozásba hozta a testén található ujjakkal és az évezredek hosszú során keresztül az ujjak és a dolgok közti kapcsolatok jelentették azt, amit egész számnak nevezünk.

Hosszú idők kellettek ahhoz is, amíg arra rájuthatott, hogy a hosszegységek nem állandók és hogy célszerűbb lesz valamilyen állandó testet választani erre a célra. Valószínűleg először a zsinórt választotta. Ez az eszköz, mint távolságmérő, mint egyenes vonal kijelölő, mint függő-ón, sőt Egyiptomban már 2000 esztendővel időszámításunk előtt, mint merőleges állító készülék nagy használatnak örvendett.

A geometria alapjainak kérdésével foglalkozó kutatók, Mach, Clifford, Poincaré, Klein Felix elismerik, hogy a geometria tapasztalati úton kezdett kialakulni. A matematika történetével foglalkozó művek számos történeti adattal is igazolják ezt. Az időszámításunk előtti második évezredből származó Rhind papírus például az egyiptomi Achmes számoló könyvét foglalja magában. Nincsenek abban geometriai fogalmak, vagy fogalmak alapján álló geometriai tételek, hanem vannak benne számokkal adott feladatok és azoknak megoldási módja: pl. egy szántóföldnek szélessége, hossza és területének kiszámítása, köralakú tér átmérője, kerületének és területének kiszámítása, amikor is a $\pi$-t 3.16 századnak veszi, vagy egy gabonatartály alapjának és felső nyílásának átmérője és magassága és a térfogat kiszámításának hibás módja. Mindezekhez a részben helyes, részben csak közelítőleg helyes számítási módokhoz csak a tapasztalat útján juthattak az emberek.

Ilyen úton ismerhették meg először azt, hogy a háromszög szögei egymás mellé téve két derékszöget alkotnak, hogy a félkörbe írt háromszög derékszögű, hogy a kör kerülete mentén a sugár hatszor vihető fel, hogy 3, 4, 5 hosszegységgel szerkesztett háromszög derékszögű. Sőt Euklidesz hirhedt párhuzamossági posztulátumát és a háromszögek hasonlósági tételeit is a tapasztalat mutathatta meg először.

### 3. *Euklidesz geometriája.*

Az alakkal kapcsolatos tapasztalati ismeretek gyüjtését a rajzolás művelete segítette elő nagymértékben. Feltalálása és begyakorlása természetes következménye volt az ember alkotások irányában való testi és szellemi beállítottságának. Nagy öröme telhetett abban, hogy a látottaknak képét elő tudta állítani s hogy e művelettel az alkotásokat meg is előzhette, tervrajzot készíthetett, ha nem is olyan pontos formában, ahogyan az ma történik. A rajz segítségével emelkedett a mértan azokba az absztrakt régiókba, amelyekbe a fejlődés folyamán a görög tudomány eljuttatta. A kifeszített zsinór képéből az egyenes vonal, a távolság, az irány, a derékszögű négyszög sokszor megrajzolt alakjából a merőlegesség és a párhuzamosság fogalma alakult ki. Ezek a fogalmak eleinte nem absztrakt fogalmak, hanem a rajzhoz kapcsolódó élénken elképzelhető emlékképek voltak.

A térmérés először csak gyakorlati feladatok megoldására terjedt ki. A közvetett távolságmérés, az iránykijelölés, a függőleges állítás, a vízszintezés, az egyenes vonal kitűzése, a merőlegesek, párhuzamosak, háromszögek, parallelogrammák, hasonló háromszögek szerkesztése, a távolságok és szögek felosztása, a területek és térfogatok mérése olyan feladatok voltak, amelyek először rajz segítségével oldódhattak meg.

Később magától adódtak olyan feladatok is, amelyek érdeklődést keltettek, noha nem volt gyakorlati alkalmazásuk. A rajzolással és a belőle kialakuló absztrakt fogalmakkal kapcsolatos tudomány vonzóvá vált és számos kutatót foglalkoztatott. A matematika történetének tudománya az ókor sok kiváló geometerének nevét, feladatait és megoldásait kutatta fel.

A tételek már nemcsak a rajz szemléletén alapultak, hanem absztrakt gondolati fogalmakra és a közöttük lévő kapcsolatok megállapítására is vonatkoztak. A pont már nem volt az írószerszám hegye, a vonal nem annak nyoma, a kör nem a körzővel és az egyenes nem a vonalzóval megrajzolt idom, hanem absztrakt gondolati alakzat, amelyet már más fogalmak segítségével igyekeztek meghatározni. A tételek bizonyosságát már nem csupán a tapasztalat adta, hanem a kiinduló tételek bizonyossága is, amelyekkel való kapcsolat megállapítása volt éppen munkálkodásuknak legfőbb módszere.

A különféle geometriai tételek azonban még mindig nem voltak szerves egészbe összefoglalva, hanem külön-külön csoportokban, mint egymástól függetlenül álló természetrajzi ismeretek szerepeltek.

Nagy Sándor világbirodalmának megalkotása után igen nagy érdeklődés mutatkozott a tudományos ismeretek iránt.

Tehát tankönyvekre volt szükség, amelyek a görög tudományosság szétszórt alkotásait összefoglalják. Euklidesz „Elemek" (στοιχεῖα) című munkája tankönyvnek készült, az ismereteket tehát könnyen áttekinthető rendszerbe kellett foglalnia. Ez pedig csak úgy volt lehetséges, ha a tényeket egyszerű, átlátszó, könnyen kezelhető ideális absztrakt fogalmakkal állítja elő [*81*, 376]. A közvetlenül világosat az egésznek élére kellett állítania és az egyes külön álló, a többivel összefüggésben nem lévő ismereteket az absztrakt fogalmak segítségével össze kellett kapcsolnia. Ezért kezdi munkáját az alapfogalmak definíciójával és az alapelvekkel, amelyekre később hivatkozni fog. Alapelvei részben az egyenlő és a nemegyenlő, az egész és a rész fogalmakkal kifejezett primitíven egyszerű és könnyen belátható általános tételek, amelyeket nem ő fedezett fel, hanem előtte már régi idők óta ismeretesek voltak; részben pedig olyan tételekre vonatkoznak, amelyek a vonalzóval és a körzővel való rajzolás közben alakulnak ki s amelyek primitíven egyszerű voltuknál fogva szintén úgy tekinthetők, mint a tapasztalat által közvetlenül igazolt tételek.

Utánuk jól kiválasztott sorrendben ismerteti a nagyobbrészt régóta ismert tételeket, a megfelelő szerkesztésekkel együtt és megadja a bebizonyításukat. Miből áll ez a bebizonyítás? Semmi egyébből, mint annak a megállapításából, hogy a tételek és a szerkesztési eljárások benne foglaltatnak valamely megelőző tételben és ezzel együtt a kiindulási definiciókban és alapelvekben.

Azonban bármennyire elfedte is Euklidesz rendszere az ismeretek empirikus eredetét, bármennyire elfedte is a fizikát, eltüntetni mégsem sikerült. Bizonyos, hogy ebben a rendszerben is felismerhető, hogy a téralakzatok a mozgás, az idő és a test fogalma nélkül nem létezhetnek. Euklidesz az egyenesekkel, a háromszögekkel, a négyszögekkel úgy operál, mint merev testekkel, amelyeket csúsztatni, eltolni, egymásra fektetni, forgatni lehet. A pontok nála vonalakat írnak le, a vonalak felületeket súrolnak, a lapok teret vágnak ki. Nyilvánvaló, hogy ezek tiszta fizikai képzetek. E tudományágban a mértan és a mechanika fogalmai és axiómái egymásba átnyúlnak, egyiket a másiktól nem lehet megszabadítani és egyik fajtát sem lehet kivenni a nélkül, hogy a másik fajta össze ne omoljék. Az euklideszi geometria és a fizika között választó vonalat húzni lehetetlen. Ez a tudomány valójában az ókor elméleti fizikája volt.

Újabb időkben szokássá vált Euklidesz geometriájáról úgy beszélni, mint térelméletről. Teljesen hibás felfogás. Euklidesz nem csinált térmérési elméletet, még kevésbbé térelméletet. Csak a gyakorlatból ismertes mérési eljárásokkal foglal-

kozott. Problémái absztrakt fogalmakkal kifejezett gyakorlati problémák. Térmérési elméletre vagy a tér elméletére egyáltalában nem gondolt. Ez a fogalom nála ki sem alakult és nincs munkájának oly helye, amelyből ilyenre lehetne következtetni.

Mások viszont a logikának mintaképét látják benne. Ez a felfogás is helyesbítésre szorul. Nála a dedukció didaktikus természetű. E célból „a logikaszerűséget egyoldalúan kiemeli és ezáltal az egész tartalomnak és a belső összefüggésnek megértését megnehezíti". „Sokat igen fínoman végez el, viszont sok olyan is van benne, ami mai álláspontunkhoz képest elvileg alacsonyabb rendű. Sok fontos részlete kétséges értelmű és értékű. Az egész felépítés pedig gyakran szükségtelen módon nehézkes" [*71*, II. 432].

Euklidesz munkája mindazonáltal az évezredes fejlődés folyamán a tudománytörténelem, a fizika, a matematika és a filozófia szempontjából példátlanul álló jelentőséget és értékelést vívott ki a maga számára. Miután az emberi szellem évezredek hosszú során keresztül alkotási és megismerési vágytól hajtva empirikus alapon bizonyos igazságokat ismert fel, Euklidesz, a kitűnő érzékű tanítómester az ismereteket rendszerbe foglalta, amelyben minden idetartozó ismeret mint néhány alapfogalom és néhány alapelv következménye tűnt fel. A régóta ismert különálló igazságok helyett tehát összefüggő igazságegyüttes keletkezett.

A rendszernek látszólagosan tökéletes logikája az évszázadok hosszú során keresztül mindíg fokozottabb mértékben annyira elbájolta és megvesztegette a tudós elméket, hogy az ismeretek keletkezését és tárgyi jelentőségét lényegtelennek, azok közvetlen belátását feleslegesnek, a levezetést és bizonyítást ellenben a tudományos kutatás egyetlen fontos feladatának kezdték tekinteni. Így vált Euklidesznek lényegében véve didaktikai műve az ember tudományos kutatásainak mintaképévé. Nem meglepő tehát, ha a tudósok Euklidesznek a téralakzatokra vonatkozó tanait a tapasztalattól független, abszolút ismereteknek kezdték tekinteni, a Földet és a világegyetemet ez ismeretek alapján kutatták tovább és a Földön és a világegyetemben feltalált jelenségeket Euklidesz tételei szerint leírva csatolták hozzá a régi ismeretekhez.

### 4. *Az idő fogalmának lelki alapjai.*

Legrejtelmesebb az úgynevezett *tudatidő*. Mindenki tudja, mit jelent az „előbb" és az „utóbb". Az is, aki sohasem nézett az órára vagy a Napra és nem is tudja, hogy járásuk jelzi az időt. Sőt semmi másról nincs annyira világos és határozott tu-

datunk, mint az előbbről és az utóbbról. Az érzetek, a műveletek, a cselekvések, az észrevett történések, az akaratok, az indulatok mindenkinél az egymásutánság rendjébe sorozódnak. Ez is, miként a térbeliség egymásmellettisége tudatunknak ős elemi meghatározottsága. Mindkettőt úgy tekinthetjük, mint a szervezetünkbe beleszövődött mozgó és mozgató képességünknek ős lelki jegyeit. Lehet, hogy szerepe van benne a szervezetünkkel szintén kapcsolatos fiziológiai időnek is. Lehet, hogy igaza van Eddingtonnak, amikor a tudatidőt az agy molekuláris folyamataiból származtatja. [32, 13]. Azonban ez hipotézis, ellenben testünk mozgó és mozgató képességei mint közvetlen tapasztalati fogalmak nyilvánvalóan állanak előttünk.

A *fiziológiai időérzetek* szintén bele vannak szövődve testünkbe, mert az időszakosan ismétlődő érzeteknek — mondhatjuk bátran, óráknak — egész sorozata van belénk helyezve. A jóllakottságnak, az éhségnek, a gyomor és a bél megtelítődöttségének és kiürülésének, a pihentségnek és a fáradtságnak az érzetei időszakosan ismétlődnek, ha nem is a mechanikai órákon mért pontossággal. A lélekzés és az érverés már pontosabb időmértéket ád. Ismeretes, hogy Galilei az ingák lengésének idejét érverésekkel mérte.

Ugyancsak bele van szövődve testünkbe a harmadik időérzet, a *kozmikus idő*. A nappal és az éjszaka kozmikus eredetű váltakozása testünkbe az ébrenlét és az alvás sajátságos és eléggé ki nem kutatott biológiai állapotát szőtte bele. A többi nagy kozmikus váltakozások, az évszakoknak, a természet megújhodásának váltakozásai, a Napnak és a Holdnak és a csillagoknak a járásai irányítják a létünk fenntartásához szükséges műveleteinket, tehát a tudatnak szintén ős elemi adottságai közé tartoznak.

A kozmikus időből eredő képzeteknek nagy szerepük volt a tudat kialakításában. Belőlük alakult ki a szabályosságnak a fogalma és tudatossá válhatott az a nagy ellentét, amely a kozmikus jelenségek szabályosan ismétlődő volta és az Énhez fűződő képzeteknek szabálytalan volta között van. Ez vezetett az embertől független külvilág és az embertől függő dolgok elválasztásához. Ebből alakultak ki az állandó—változó, a szabályszerű—szabálytalan fogalompárok képzettartalmai, megismerésünknek e legfontosabb elemei.

Aztán tudatossá válhatott az a szabályszerűség is, amely az ember műveletei és az utána észlelhető változások között van. Kialakult a negyedik fajta időképzet, az *oksági idő*. Először van az ember művelete, utána következik az észlelhető változás. A fizikai tapasztalatokban az időfogalom oksági eleme döntő szerepet visz. Azok ma is a következő szkéma szerint

mennek végbe: ezt a műveletet végzem, utána ezt a változást észlelem.

Mind a négy fajta időképzet részben az ember testének, részben a kozmikus testeknek mozgásával van kapcsolatban, de csak sejtett, ködös és határozatlan mindegyik. Természetes haladási folyamat volt tehát az, amikor az ember arra határozta el magát, hogy maga állít elő olyan mozgási folyamatot, amelyet az idő mértékévé tesz meg. Ez persze csak akkor történhetett meg, amikor a műveltség előrehaladásával az idő fogalmát nagyra tudta értékelni.

Nem különös tehát az, hogy a *mesterségesen előállított időmérő* mozgások csak az ókori tudományosság előrehaladt korában jelentek meg és pedig homokórák és vízórák alakjában. Majdnem kétezer esztendőn keresztül ebből a szempontból lényeges változás nem is történt. Az idő fogalma az ókornak és a középkornak egyébként terjedelmes és fejlett tudományosságában kis szerepet játszott és így határozottá tevésének az ideje még nem érkezett el.

Csak az újkor kezdetén, a nagy földrajzi felfedezéseknek, a hajózás és az ipar kifejlődésének, a természettudományi megismerésre irányuló vágy megteremtődésének korszakában vált először érezhető szükséggé az idő pontosabb meghatározásának a feladata. Kepler, Galilei és Huygens voltak az elsők, akik természeti törvényeikbe az időt beleszerkesztették. Ez tulajdonképen nagyon merész vállalkozás volt, mert az érverések, a homokórák és a vízórák az időt csak nagyon hiányosan tudták határozottá tenni.

Az említett tudósok is tudták ezt és az időmérés határozottá tevésének feladatával mindegyik foglalkozott is. Huygensnek a 17. század második felében sikerült a ma is használatos órákat megalkotnia. Inga- és rugós-órái tulajdonképen nagy tökéletességgel reprodukálható mozgások, ha nem is olyan értelemben és olyan pontossággal, amilyennel reprodukálható a méternek Párizsban őrzött ősalakja.

### 5. *A tér és az idő a newtoni fizikában.*

Newton a tudományoknak euklideszi ideálját igyekezett megvalósítani, amikor leírásukat és értelmezésüket a tér, az idő, az erő és a tömeg alapfogalmaira és néhány alapelvre vezette vissza. Rendszerében a földi és az égi mozgások tana e négy alapfogalom és a belőlük származtatott alfogalmak kapcsolatainak tudományává vált. Minthogy velük a földi és az égi, valamint az anyag belsejében végbemenő folyamatok összekapcsolódtak, a közvetlen tapasztalat köréből kiugorva a makrokozmosz és a mikrokozmosz gondolati világába is bele-

jutottak. Euklidesz térmérési tételei és az időmérés műveletei merész extrapolációval az égi testeknek valamint a mikrokozmikus egységeknek adataira is alkalmaztattak. A makrokozmosz és a mikrokozmosz épületei Euklidesz mértanján épültek fel. A fizika matematikai formuláiban szereplő mennyiségek, az $x$, $y$, $z$, a $t$ és az $m$ jelenthették a földi testek, az atomok, sőt azon belül az elektronok, protonok megfelelő adatait. A fizikai feladatok megoldása a matematika, különösen pedig az analitikai geometria módszerei szerint ment végbe.

Kialakult a *világtérnek* és a *világidőnek* a fogalma. Jegyeik nem a közvetlen adottságnak a jelei, hanem a matematikus szintetikus szerkesztő munkájával kapcsolatban kialakult jegyek. A matematikai világtér minden irányban végtelen; az égi, a földi és a mikrokozmikus testektől független; mindíg és mindenütt ugyanaz, akár vannak, akár nincsenek benne testek; minden részében azonos szerkezetű, egynemű és egyöntetű (homogén és izotrop); részei pontok, egyenesek, görbe vonalak, síkok, felületek, de ezek maguk sem egyebek, mint ponthalmazok. A matematikai gondolattal megszerkeszthető összes téralakzatok, a görbevonalak, a felületek és a testek mindenütt egyformán helyezhetők el benne.

A matematikai világidő a multból a jövő felé egyenletesen haladó pillanatsorozat, amely minden tapasztalati és minden gondolt testen, az elektronokon, az atomokon, a molekulákon, az élő és az élettelen testeken, a növényeken, az állatokon, az embereken, a hegyeken, a folyókon, a tengereken, az üres világtéren és az égitesteken mindenütt mindíg egyformán átsuhan. Egyenletes folyását nem változtatja meg semmi, sem a mikrokozmikus, sem a földi, sem az égi folyamatok.

A matematikai fizika egyetlen feladatának azt tekintette, hogy a fizikai jelenségek összeségét, akár a közvetlen tapasztalatba, akár a mikrokozmoszba, akár pedig a makrokozmoszba tartoznak, oly matematikai formulákkal fejezze ki, amelyekben csak a tér koordinátái, az idő matematikai szimbólumai és bizonyos tapasztalati eredetű állandók vannak.

Tulajdonképen ez nagy tudományos hitvallás volt. Jelentőségének, hatásképességének és értelmének megállapíthatósága céljából meg kell vizsgálnunk, hogy a gyakorlatban hogyan valósult meg.

## 6. *A tér mérése.*

Tulajdonképen minden fizikai mérés lényegben véve hosszúságok méréséből rakódik össze. Ez az alapja minden más mérésnek. Végrehajtásához konvencionálisan választott egység

szükséges. A konvenció sok ideig nyugtalanította a fizikusokat. Szerették volna a térmérés egységét valami észszerű összefüggésbe hozni az embertől független természeti adottságokkal. A méter megállapítása is e törekvésnek az eredménye, mert eredeti definíciója szerint, mint a Föld délkörének negyvenmilliomod része rögzítődött meg egy platinarúdon. A későbbi pontosabb meghatározásokból azonban kitűnt, hogy a Föld délkörének negyvenmilliomod része csak közelítőleg egyezik a platinaméterrel, sőt kitünt, hogy a Föld délkörei nem is egyenlők, mert a Föld nem forgásbeli ellipszoid, sőt olyan alak, amelynek matematikai definícióját nem is lehet megadni és fizikailag csak konvenciók alapján, mint a nehézségi erőnek bizonyos választott szilárd ponton átmenő nívófelületét lehet definiálni. A hosszegység megválasztásában rejlő irracionalitás tehát továbbra is megmaradt és továbbra is nyugtalanította a fizikusokat. Egyszer úgy vélték, hogy a hosszegység állandóságát valamely elem meghatározott körülmények között kibocsátott sugárzásának színképi vonala, illetőleg az ahhoz tartozó hullámhosszúság biztosítaná a legjobban. Majd pedig az volt a gondolat, hogy a világegyetem relativitás elméletbeli méretei, vagy az elektron méretei határoznák meg racionális és örök időkre változatlan módon.

Mindezek hiú próbálkozások voltak. Nem is említve azt, hogy számos nagyon bonyolódott kísérletezési eszközt követelnének és tapasztalati és hipotetikus törvényekhez kapcsolódnának, tisztán elvi alapon is kitűnt, hogy a hosszegységet, mint a természet örökké változatlan adottságát, racionális módon megállapítani nem lehet. Ezért Eddingtonnak az a véleménye, hogy a tér és az idő egységeit puszta számokra kell visszavezetni, azonban nem mutatta meg, hogy ezt hogyan lehet megcsinálni.

Sokszor lehet olvasni — különösen matematikus beállítottságú ismeretelméleti művekben [*32*, 6] —, hogy a hosszúságmérés semmi egyéb, mint a méterrudak egymás után való rakásának művelete. A következőkben látni fogjuk, hogy ez a felfogás nem helyes.

Mindenek előtt kétségtelen, hogy egyenes kitűzése nélkül hosszúságot mérni nem lehet. A hosszúságmérésbe tehát kikerülhetetlenül beleszövődik az egyenes fogalma. A kérdés már most ez: fizikai szempontból mi az egyenes? Rövid távolságoknál kifeszített vékony fonál valósíthatja meg. Valóban a mesterembereknek egy része ma is kifeszített zsinórral tűzi ki az egyenes vonalat; nagyobb távolságoknál azonban az egyenes vonalat mindíg a fénysugár határozza meg. Sőt sokszor kis távolságoknál is a fénysugarat vesszük segítségül az egyenesség megállapításnál. Azt pl., hogy a vonalzó nem görbült-e meg, úgy döntjük el, hogy a vonalzó élét a látás irányába tartjuk és

egyszemű nézéssel állapítjuk meg, hogy az él részecskéi födik-e egymást. Nagyobb távolságok kitűzésénél a talajba függőleges léceket rögzítünk úgy, hogy valamennyinek egyik oldali élei a látás számára egymást fedjék. Nagyobb pontosságú méréseknél a távcsövet vesszük segítségül és úgy állítjuk be, hogy pókhálókeresztjének metszési felülete fedje a távolban lévő tárgy megjelölt felületi részét. Az egyenes vonal tehát fizikai szempontból mindíg olyan csonka kúp, amelynek egyik határoló lapja a távcső pókhálókeresztjének metszési felülete, a másik határoló lapja a távollévő tárgy fedett felülete.

Két tényre mutat ez. Az egyik az, hogy az egyenes fizikai meghatározásába elkerülhetetlen bizonytalanság lép be, mert az említett csonkakúp határoló lapjain átmenő bármely képzeletbeli egyenes a mérés eredményét egyenlő joggal képviselheti. A másik pedig az, hogy az egyenes fizikai meghatározásába kikerülhetetlenül belép a fénysugár.

A fénysugár azonban nem tapasztalati dolog, hanem a legnagyobb mértékben absztrakt fogalmi dolog, miként maga a fény is. Azt mondjuk, hogy a fény egyenes vonalban terjed és hogy a fénysugár semmi más, mint a fény útja. De honnét tudjuk ezt? A tapasztalatból semmi esetre sem. Mert nincs olyan fizikai mérő módszerünk, amely a fénytől függetlenül meg tudná állapítani egyenes vonalban való terjedését. Fizikailag az egyenes vonalat semmi más módon nem tudjuk megállapítani, mint úgy, hogy különböző távolságban fekvő pontokat a látás számára fedésbe hozzuk.

Nagyobb területeket csak a háromszögelés módszerével lehet felmérni. Itt már a fénysugár szerepe uralkodóvá válik. A mérnökök a felmérendő területet képzeletbeli háromszögek hálózatával vonják be és a nagyszámú háromszögoldal közül csak egyetlenegyet mérnek le közvetlen hosszúságméréssel, vagyis méterrudaknak egymás után való rakásával (természetesen az oldal egyenes voltának a fénysugárral való előzetes kitűzése után). Ezenkívül távcsöves szögmérő műszerrel lemérik a háromszögek szögeit, amiközben természetesen megint a fénysugárral dolgoznak. A háromszögoldalak hosszát, valamint a többi távolságokat számítással határozzák meg Euklidesz bizonyos tételeinek és a szögfüggvények értékeinek alapján, amelyek szintén Euklideszen alapulnak. A távolság fogalmába tehát mindenütt elválaszthatatlanul beleszövődik a fény fogalma.

A Föld méreteinek meghatározása is a háromszögelési módszer szerint történik. Ebben az esetben azonban a fontosabb pontok földrajzi szélességének és hosszúságának meghatározását is el kell végezni. A feladat megoldása valamely csillag helyének meghatározását, vagyis megint a fénysugárral való

munkát követeli. De követel mást is: a helyi időnek meghatározását és annak eltérését az összehasonlítás alapjául választott greenwichi időtől. Mindez még mindig nem elég, a nyert mérési adatokat át is kell számítani a Föld ideális alakjának konvencionálisan megválasztott ellipszoid felületére, amelynek matematikai adatait a nehézségi erő és a Föld forgási sebessége határozza meg.

A Föld alakjának és méreteinek meghatározásához tehát csillagászati mérésekre is szükség van. Vagyis valami egészen új dologra, amelynek szintén semmi köze sincs a merev méterrudak egymás után rakásához. De még ez sem elegendő. A Föld alakját előbb mint a nehézségi erő nívófelületét önkényesen kell definiálni. Ezen az alapon is csak úgy ismerhetjük meg közelítőleg a Föld alakját, ha előbb a nehézségi erő tér-intenzitásának értékeit a Föld felületének elegendő számú pontjaiban, tehát a tengereken is, meghatározzuk. De a különböző tengerrészek nívókülönbségeit sem ismerjük eléggé. Tudjuk pl., hogy az Atlanti-oceán vize állandóan ömlik a Földközi-tengerbe, közöttük tehát nívókülönbségnek kell lennie. A szárazföldön sem vagyunk lényegesen jobb helyzetben. Mert a változatlanul szilárd pontok itt is csak közelítőleg vannak meg. Az apálydagály folyamata ugyanis a Föld belsejében is működik és a Föld tengelye többféle okból változtatja a helyét.

A méterrudak egymás után való rakásával és Euklidesz tételeinek alkalmazásával tehát a Földet és így a térnek rendelkezésünkre álló részét sem tudjuk meghatározni. Még akkor sem, ha hozzávesszük a fénysugár fogalmát, vagyis a fény egyenesvonalú terjedésére vonatkozó hipotézist. Hozzá kell még vennünk a nehézségi erőre, a csillagok helyzetére, az időmérésre vonatkozó önkényes megállapításainkat és ténybeli ismereteinket is.

Sajátságos még az is, hogy a kisebb távolságoknál annak egyenes-szerűsége még tényleg megvan. Amikor azonban a Földön lévő nagyobb távolságokról van szó, akkor a köznapi életben is, a tudományban is a távolság görbévé változik át. A hajó, a léghajó, a repülőgép útja, a folyók és tengerpartok hossza, a földi helyek egymástól való távolsága tulajdonképen mindig kiegyenesített görbe távolságot jelent. Amint azonban kimegyünk a Földön kívüli térbe, rögtön megfeledkezünk arról, hogy a Földön a távolságokat görbevonalak mentén mérjük, itt a távolság fogalmát már csak mint egyenes-szerű távolságot tudjuk értelmezni. Szellemünkbe annyira beleevődött a fénysugár egyenes-szerűsége, hogy a Földön kívül fekvő térben másnemű távolságfogalmat lehetetlennek tartunk.

A Földön kívül fekvő térnek minden mérése a Föld méreteiből indul ki. Mindig olyan háromszögeket dughatunk csak

ki a világtérbe, amelyeknek két csúcsuk a Földön, a harmadik csúcsuk pedig valamely égitesten van. A háromszögek ez esetben már roppant keskenyek, a Földön fekvő oldaluk aránytalanul kisebb, mint amekkorák a világtérbe kinyúló oldalaik.

A mérési adatok megszerzése a Hold távolságánál még aránylag egyszerű. De már a Nap távolságának meghatározása, a csillagászatnak ez a régi idők óta alapvető problémája nagyobb bonyolódottságokkal jár. Csak a háromszögelés és a nehézségi erő összekapcsolásával lehet elvégezni. Mi maradt meg itt már a merevrudakkal való mérésből? Úgyszólván semmi. Ellenben szerepelnek megint a fénysugárral való műveletek, a nehézségi erőre vonatkozó hipotetikus és ténybeli ismereteink, valamint önkényesen megállapított időmértékeink.

A Föld-Nap távolságra, illetőleg annak kétszeresére, vagyis a föld-pálya átmérőjére építik fel a csillagászok az állócsillagok világába belenyúló, roppantul hegyes háromszögeiket. A hozzánk legközelebb eső állócsillagnál a világűrbe kinyúló háromszög-oldalak mintegy 120.000-szer nagyobbak, mint a földpálya átmérője, pedig ez maga is 300 millió kilométer nagyságrendű. Az ilyen úton meghatározott legmesszebb fekvő állócsillagoknál a világtérbe belenyúló háromszögoldal mintegy 25 milliószor nagyobb, mint a földpálya átmérője.

Tulajdonképen eddig terjed Euklidesz geometriájának, illetőleg a háromszögelési módszernek az alkalmazása. Próbáljunk magunknak képzetet alkotni arról, hogy miről is van itt szó. Az összes számítások alapjául a háromszögek hasonlóságának a tétele szolgál. Ha egy háromszögnek két szöge egyenlő egy másik háromszög két szögével, akkor az egyiknek oldalai úgy aránylanak egymáshoz, mint a másik háromszögnek megfelelő oldalai. Ha itt a Földön olyan háromszöget képzelünk, amelynek egyik oldala 1 centiméter, a másik két oldala pedig 250 kilométer rendű, akkor e háromszög szögei azok, amelyeket a csillag távolságának meghatározására le kell mérni és amelyek a trigonometrikus számítás alapjául szolgálnak. Tehát ez a roppant keskeny, 1 cm alapú és 250 km hosszú háromszög és a világűrben lévő 25 milliószor nagyobb óriási párja közötti hasonlóságot kell megállapítani. Nyilvánvaló, hogy a szög lemérésében elkövetett roppant kis hiba a csillagtávolság számításában már igen nagy eltolódást von maga után, ami a módszer alkalmazásának határt szab.

A térben még messzebbre való hatolás egészen más úton történik, amelynek semmi köze a háromszögelési módszerhez és Euklidesz geometriájához. A módszer azon a hipotézisen alapszik, hogy vannak bizonyos csillagok, amelyek ugyanazzal a saját fényességgel sugároznak, akárhol vannak a világűrben. Ha tehát látszólagos fényességüket le tudjuk mérni és egyet-

len ilyen csillagnak a távolságát a háromszögelési módszerrel meghatároztuk, akkor arányossági számítással számítjuk minden ilyen csillagnak a távolságát. A gyakorlatban ez a módszer a csillagoknak és színképüknek fényképezésével megy végbe. Huble amerikai csillagász ilyen módon 23 billiószor hatolt messzebb a térben, mint amekkora a földpálya átmérője.

Most még gondoljuk meg, hogy a Föld, amelyen a meghatározást végző műszer áll, a tengelye körül forog, a Nap körül kering, tengelye precessziós és nutációs mozgást és egyéb ingadozásokat is végez és, hogy maga az állócsillag is mozog, azonkívül a nyers észlelési adatok aberrációval és egyéb beszennyeződésekkel is meg vannak terhelve. Ha ezt mind átgondoljuk, akkor látjuk csak igazán, hogy ezek a távolságmérések milyen műveleteket jelentenek. A merev rudak egymásmellé rakásából nem marad benne semmi, helyébe a fizikának összes tapasztalati és gondolati műveletei léptek be és ezek is a legmesszebb menő extrapolációval nyert alakjukban. Az égi terek mérése a világűrben az extrapolációknak nagyon merész, nagyon mesterséges egymásra építése [*70*]. Itt nem annyira a fizika, hanem inkább a logika dolgozik.

Ha most vizsgálódásainkat a kis távolságok felé fordítjuk, más körülményeknek beleszövődését látjuk, amelyek szintén nagy nehézségeket okoznak és szintén a térmérés határaihoz vezetnek. Ha közönséges mikrométerrel mérünk ezredmilliméter rendű tárgyakat, először is az érintkezés bizonytalansága zavarja a mérést; azután tekintetbe kell venni a tárgyra tapadt idegen anyagokat, nedvességet, hozzátapadt gázréteget. Magának a mikrométernek két ütköző felülete sem marad ugyanaz. A forgási tengely megváltoztatásával az érintkezés helyei is változnak, a műszer kopik, atomok válnak le róla. Ha mikroszkóppal mérünk, akkor a fényinterferencia lép fel, ennélfogva a fény hullámhosszúsága, vagyis egy tisztán elméleti fogalom szövődik bele a térmérésbe.

Az újabb fizikában nagy szerepet játszik a kristályok atomszerkezetének elmélete és abban az atomsíkok fogalma. Mit jelent pl. a fizikai térmérés szempontjából az az adat, amely szerint bizonyos kristályban az atomsíkok $3.10^{-8}$ cm távolságra vannak? Ez a szám a fényhullámelméletben szereplő egyenlet megoldásából adódott, amelyben a röntgensugarakkal nyert néhány tapasztalati állandó szerepel. Tehát a méterrudak egymásután való rakásának művelete helyett megint a fény és annak egyik hipotetikus alapú elmélete szövődött bele a tér fogalmába. Az elektron $10^{-13}$ cm rendű mérete az elektrodinamika bizonyos egyenleteinek megoldásából keletkezik, amelyekben különféle kísérleti és a kvantummechanika hipotetikus alapú állandói szerepelnek. A hosszúság fogalma tehát magába olvasz-

totta az elektrodinamika és a kvantummechanika alapfogalmait és a velük kapcsolatos műveleteket [*14*, 14].

Összefoglalva vizsgálódásunk eredménye a következő: a távolság fogalma semmiféle mérésnél sem szerepel úgy, mint a méterrudak egymás után való rakásának a művelete csupán, hanem mindenütt elválaszthatatlanul összeszövődik a fény fogalmával. Nagyobb távolságok mérésénél ezenkívül beleszövődik a nehézségi erő, az időmérés és beleszövődnek a mechanika alaptörvényei. A Földön kívül fekvő térrészekben bizonyos határig még Euklidesz mértanja is szerepel, azontúl pedig a mértantól teljesen független hipotetikus és valószínűségi összefüggések; kis térrészekben az elektrodinamika és a kvantumelmélet fogalmai szövődnek bele. A mérés a makrokozmoszban és a mikrokozmoszban fokozatosan nagyobbodó bizonytalanságokkal jár. A mérő műszerek anyagában rejlő határozatlanságok fokozatosan nagyobbakká válnak, a fogalmak és a műveletek fogalmilag is fokozatosan elvesztik határozottságukat, bizonytalan, imbolygó, ködös gondolati alakzatokká párolognak el.

### 7. *Az idő mérése.*

Érzeteink között ugyan több olyan van, amely az időről értesít, de nincs közöttük egy sem, amely az idő mértékét választásunktól függetlenül reánk kényszerítené. Azt mondjuk pl., hogy a mai nap olyan hosszú, mint a tegnapi. Honnét tudjuk ezt? Sehonnan. Egyszerűen hisszük, hogy így van. Fizikai szempontból az egyetlen mód annak igazolására, hogy a tegnapi és a mai napok egyenlők, az volna, hogy valamely időmérő eszközzel, pl. az órával hasonlítanók össze. Nyilvánvaló azonban, hogy most a kérdés az órával kapcsolatban újból felmerül. Honnét tudjuk, hogy az óra egyik ketyegésétől a reá következő ketyegéséig eltelő idő ma ugyanaz, mint tegnap volt?

Az időközöket nem tudjuk egymás mellé tenni és nem tudjuk közvetlen összehasonlítás útján megállapítani, hogy egyenlők-e, mert bármilyen módon választjuk is az időközt, annak természetéhez hozzátartozik az, hogy elmúlik, mielőtt a rákövetkező megérkezik. Nem választhatunk tehát egy standard időegységet úgy, ahogyan megválasztottuk a métert, vagy a kilogrammot és nem tudjuk azt, mint valamilyen tárgyat megvalósítani, belőle többet készíteni és nem tudjuk azokat egymás mellé rakni.

Idő tehát csak valamilyen bizonyíthatatlan axióma alapján mérhető. Weyl [*122*, 7] a következőt ajánlja: ha valamely tökéletesen zárt, vagyis a külső hatásoktól mentes rendszer ugyanabba az állapotába visszatér, amelyben már előzőleg volt,

akkor ettől kezdve az állapot ismétlődik. Az ilyen rendszer tehát alkalmas volna arra, hogy nekünk egyenlő időközöket adjon. Azonban Weyl sem mutatja meg, hogy van-e ilyen rendszer és, hogy az állapotok azonosságát meg lehet-e mutatni, sőt, ha az entropia-törvényt általánosan érvényesnek tartjuk, amiről alább beszélni fogunk, ilyen rendszer elvileg sem lehetséges. Poincaré [*99*, 22]) az időmérés elvét az oksági törvényben találja. Szerinte egyenlő okok egyenlő időtartamot igényelnek, hogy egyenlő hatásokat hozzanak létre. Az időmérés tehát okok kutatására volna visszavezetve, ami nagyon bonyolódott és soha teljesen meg nem határozható műveletet követelne. A fizika fejlődése folyamán sokféle irányban próbálkoztak a fizikusok, hogy elvileg kifogástalan időmérési módszert találjanak. Neumann C. [*90*, 18] szerint az egyenlő időközöket a tétlenségi törvény alapján magára hagyott, vagyis a külső hatásoktól mentes anyagi pont jelölné ki egyenlő útjaival. Ez az elv azonban a gyakorlatban ép annyira megvalósíthatatlan, mint Weyl említett elve. Még különösebb eredményre jut Eddington [*32*, 13], amikor azt ajánlja, hogy merev anyagú rúd két végére, a rúdra merőlegesen tükröket kell állítani és közöttük fénysugarat kell járatni ide-oda, ez fogja adni az időmérés legjobb egységét. Einstein gondolatvilágában az időmértéket az atom fénykibocsátásának rezgésszáma adja [*39*, 56].

Ezek az erőltetett próbálkozások még inkább megerősítik a tényt: nincs időmértékünk, a természet nem kényszerít reánk semmiféle időmértéket. Nem marad más hátra, mint az idő mértékét önkényes választással adni meg [*105*, 139]. Valamilyen jelenségre önkényesen rá kell fogni, ez fogja az egyenlő időtartamokat kijelölni. Választás tárgya mindenek előtt a fizikai folyamat fajtája, ezen belül is az események egymásutánjának a módja és végül a mérhető mennyiség, amelynek az időmérés egységeként kell szerepelnie. Választásunkat semmi sem korlátozza, csak a kényelem és a cél irányítja [*24*, 298].

Az emberiség fejlődése folyamán a mozgási jelenségeket tette meg az időmérés alapjául és a leghasználatosabb időmérő eszközünk, az óra is a mozgásjelenségeket használja fel az idő jelzésére. Vizsgáljuk meg, hogyan is mutatja az óra az időt? Mi időszakonként felhúzzuk óránkat, azután magára hagyjuk és mindaddig bízunk benne, hogy az igazi időt mutatja, amíg észre nem vesszük, hogy más időt mutat, mint valamely nyilvános óra, amelyben jobban bízunk. Ha ezt észrevesszük, a nyilvános óra szerint igazítjuk be és megint magára hagyjuk mindaddig, amíg újabb eltérést nem észlelünk. Tehát akkor a nyilvános órák adnák az igazi időt? Nem. Ezeket is koronként meg kell igazítani. E célból a nyilvános órák kezelői a régibb időkben a csillagászati intézetekhez fordultak, ma valószínűleg a

rádió időjelei szerint igazítják meg óráikat. A rádió stúdiói viszont koronként a csillagászati intézetektől kapják a pontos időt. Végeredményben az igazi időt mindíg a csillagászati intézetek adják. Az időmérés a csillagászati intézetek legfontosabb feladatai közé tartozik. Ha valahol, akkor elsősorban itt kell jól járó órának lenni. A csillagászok ugyanis észleléseik legfontosabb részének az időpillanat meghatározását tartják, amelyben az észlelés történik. Azt hihetné tehát valaki, hogy a csillagászati intézetben tökéletesen járó órák vannak. Ez azonban nincs így. A csillagászati intézetek óráit is koronként meg kell igazítani. E célból valamely csillag helyét határozzák meg és bizonyos táblázatok adatainak felhasználásával a hibát kiszámítják és az óra mutatóit e szerint állítják be.

De a táblázatok adatait is koronként ki kell igazítani. Ez roppantul bonyolódott munka. A csillagászat összes tudása szükséges hozzá. A Föld tengelyének a térben és a Föld testében való ingadozásait, az ekliptika elmozdulásait, a precesszió és a mutáció évszázados zavarait és variációit, amelyek a Nap, a Hold és a bolygók, különösen a Merkur, a Vénus, a Mars és a Jupiter vonzásaiból származnak, mind számításba kell venni. Az utolsó alap, amelyre a csillagászok az igazi idő meghatározásában állanak: a mechanikai törvények változatlanságában vetett hitük.

Nézzük meg már most, mit mérünk mi, amikor mechanikai óráinkkal mérjük az időt. Ilyen fajta mérés eredményét pl. így szoktuk kimondani: a mozgó test 180 m-t tett meg 15 másodperc alatt. Ezzel tulajdonképen semmi mást nem mondunk, mint a következőt: a mozgó test kezdő és végső helyzete között 180 m van akkor, amikor az óramutató kezdő és végső helyzete között 15 osztályzat van. Észlelésünkben az idő nem is szerepel. Csak térbeli észleléseket végeztünk. Az időmérés valójában nem egyéb, mint két mozgás összehasonlítása. Amikor azt mondjuk, hogy a beteg hőmérséklete 30 perc alatt 2·8 C°-kal emelkedett, akkor a higanyszál mozgását hasonlítottuk össze az óramutató mozgásával. Amikor a csillagászati intézetek a csillag helyadatainak alapján órájuk járását kijavítják, ők is a csillag látszólagos járását hasonlítják össze az óramutató járásával. Mindezekben a műveletekben az idő fogalmát teljesen kikapcsolhatnók és tisztán a mozgásoknak vagy más változásoknak az óramutató járásával való összehasonlításáról beszélhetnénk. Minden fizikai észlelést, minden jelenséget, minden fizikai törvényt kifejezhetnénk a nélkül, hogy az idő fogalmát és egységeit használni kellene. A mechanikai óra valójában nem időt, hanem önkényesen kiválasztott standard mozgást mutat. Mi egy standard mozgást mutató eszközt hordunk a zsebünkben. Az egész világra kiterjedő egyértelműségét az biztosítja, hogy a

jelenségeket mindenütt ugyanehhez a standard mozgáshoz lehet hasonlítani. A csillagászati intézetek pedig gondoskodnak arról, hogy ez a standard mozgás mindenütt ugyanazon elvek és módszerek szerint legyen kiigazítható.

Mechanikai óráink járását mi emberek tettük meg standard mozgássá és önkényes konvencióval mi állapítottuk meg, hogy az egyik másodperc éppen olyan hosszú, mint a másik. Az idő egyenletesen folyó volta nem a természet által nekünk nyujtott folyamat, amelyet mi észlelhetünk és mérhetünk, hanem emberi önkényes konvenciókon alapuló megállapítás. Mi tesszük az időt a mechanikai órák mutatóinak járásával vagy a Föld tengely körüli elfordulásával arányossá és mi igazítjuk azt koronként végeredményben úgy ki, ahogyan azt a mechanika törvényeinek a bolygók mozgására való alkalmazása követeli.

Mindezek folytán az a meggyőződés alakult ki, hogy az időt elvileg nemcsak mozgási jelenségekkel, hanem pl. a diffuzió, a hősugárzás, az oldódás, a rádióaktív bomlás alapján is definiálhatnók és mérhetnők. Kétségtelen, hogy ezek is a kozmosznak a tüneményei, ha nem is olyan hatalmasak, mint az égi jelenségek; elvi szempontból tehát nem lehetne kifogást tenni az ilyen alapú időmeghatározás ellen.

### 8. *Az entrópia-idő.*

A kozmosszal való kapcsoltságunk egy másik gondolatot is felvetett. Tudatunkban az idő mint levés, mint előrehaladás a multból a jelenen keresztül a jövő felé van beágyazva. Azonban az időmérés alapjául szolgáló mozgási folyamatokban, a Föld tengelyforgásában, a Nap körül való keringésében, az ingamozgásban, a rugalmas testek lengéseiben és rezgéseiben nincs előrehaladás, hanem csak örökös váltakozás.

Az a kérdés merült fel, marad-e a fizikai világban az idő előrehaladásának valami nyoma, van-e valamilyen fizikai folyamat, amely az időnek ezt az előrehaladó jellegét mutatja?

Mach volt talán az első, aki az idő előrehaladásának jelét a hőtani folyamatokban vélte megtalálhatni [*80*, 237; *82*, 338]. Utána különösen Eddington fordított nagy figyelmet e kérdésre. Szerinte az idő előrehaladásának jelét az entrópia növekedése mutatja meg. „Végy tekintetbe egy zárt rendszert két időpillanatban, mérd meg mindegyikben az entrópiát: a nagyobb entrópiát mutató pillanat a későbbi" [*34*, 55]. Ha az entrópiát mint a rendszerek rendezetlenségének a mértékét fogjuk fel, akkor ez azt jelenti, hogy a világban lévő molekulák és atomok rendezetlensége folyton növekszik, a véletlen elem min-

díg jobban érvényesül. Az időben visszafelé haladva mindíg nagyobb és nagyobb rendezettséget, előre haladva pedig mindíg nagyobb és nagyobb rendezetlenséget találunk. Azt mondja továbbá: visszafelé haladva elérjük az idő kezdetét, amelyben az anyag és az energia a rendezettség maximumát mutatja, előrehaladva a jövő felé elérjük a véget, a kaoszt, amelyben az energia és az anyag a teljes rendezetlenségben van [*34*, 60].

E felfogással szemben meg kell jegyezni, hogy az entrópia hőmennyiségből és hőmérsékletből bizonyos módon összeállított matematikai mennyiség, amelyet nem lehet úgy mérni, mint a hosszúságot, hanem csak egészen kivételes és sajátlagos rendszerekre lehet elméletileg előállítani. Ezt is csak abban az esetben, ha a rendszert zártnak, vagyis a külső hatásoktól mentesnek tekintjük. Ilyen rendszer azonban a tapasztalatnak nem áll rendelkezésére. Fogalmilag, de nem fizikailag csak az egész mindenség lehet zárt, vagyis minden külső hatástól mentes. A mindenség entrópiájáról ugyan lehet beszélni, de azt fizikailag meghatározni nem lehet. Minthogy „a mindenség állapota bizonyos pillanatban" vagy „a mindenség entrópiája bizonyos pillanatban" frázisoknak határozott fizikai értelmet adni nem lehet, azért az entrópia-időre vonatkozó okoskodásnak nincs alapja.

Egészen más gondolatot vetett fel Dingle [*24*, 252]). Szerinte az idő iránya tisztán annak a körülménynek a következménye, hogy a fizikai jelenségeket, közöttük a hőjelenségeket is mozgásokkal mérjük. A természet változatos sokaságában két feltűnő állandóságot tapasztalunk: az egyik a Föld tengelyforgása, a másik pedig a Napnak hűlés nélküli, folytonos sugárzása. Időmérésünket az elsőre alapítottuk. Minthogy azonban a földi testeknél sehol sem tapasztaljuk a lassúdás nélküli mozgást, azért fogalmi világunkban oly erők fogalmát állítottuk be, amelyek a természetes állapot megmaradását megzavarják és a lassúdást okozzák.

Minthogy továbbá bevezettük az energia megmaradásának elvét és legfőbb képviselőjévé a mozgási energiát és a hőenergiát tettük meg, a földi világban észlelhető lassúdások és hűlések megmagyarázására szükségszerűleg be kellett vezetni az elvet, amely szerint minden energia hőenergiává alakul át és ez kisugárzódik a világűrbe. Ennek következményeképen pedig azt kellett tanítanunk, hogy a Nap is és a csillagok is, épúgy miként a földi testek, folyton hűlnek, illetőleg folyton ürítik ki magukból az energiát bele a világűrbe. Azonban nincs egyetlenegy tapasztalatunk sem, amely ezt mutatná.

Ha azonban az időmérést nem a Föld állandó forgására, hanem a másik állandónak tapasztalt jelenségre, a Nap állandó sugárzására vezettük volna vissza, akkor alaptételünk nem az

volna, hogy minden test megmarad egyenesvonalú egyenletes mozgásában, amíg valami külső erő ez állapotának megváltoztatására nem kényszeríti, hanem az, hogy minden test egyenletesen sugároz ki magából hőt mindaddig, amíg valamely külső erő egyenletes sugárzásának megváltoztatására nem kényszeríti. Ez esetben természetesen a hűlés jelenségének megmagyarázására sajátlagos külön erőket kellene feltenni. Ha tehát a Nap egyenletes sugárzásának folyamatára alapítottuk volna időmérésünket, amikor is az egyenlő időközöket hőmérsékletekkel vagy hőmennyiségekkel mértük volna, akkor nem jutottunk volna arra a gondolatra, hogy a mindenségben az entrópia és a véletlentől függő rendezetlenség folyton növekszik, akkor az entrópia-időnek semmi értelme sem volna, tehát az idő iránytalan volna s az idő előrehaladása pusztán szubjektív értelmezés maradna, amely az eseményeknek a tudatba való jutását jelölné csak. De ha a Nap egyenletes sugárzására alapított időmérést a mozgási jelenségekre is kiterjesztenők, akkor azokhoz kapcsolódnék az idő előrehaladásának, vagyis nyomok hátrahagyásának a fogalma.

Ezek a gondolatok nagyon értékesek, mert felfedik előttünk a mélyben fekvő kapcsolatokat, amelyek az idő fogalma és a természeti jelenségek értelmezése között vannak.

### 9. *A tér és az idő a részleges relativitási elmélet szerint.*

A relativitási elmélet „hetyke" (keck) revolúciója, ahogyan Natorp [*89*, 234] jónak látta az új gondolati kialakulást nevezni, a fizikai jelenségekbe beleszövődött tér és idő fogalomnak még mélyebben rejlő gyökeréig igyekezett előrehatolni. Megalkotója arra a meggyőződésre jutott, hogy a tudomány a tér és az idő fogalomban sok olyant hurcol magával, ami észrevétlenül tapadt hozzája a nélkül, hogy gyökere volna a tapasztalatban és konvenció alapján maradt meg benne. Elhatározta tehát, hogy a fogalmi elemeket részletes vizsgálatnak veti alá és annak eredménye alapján szintetikus úton újabb tér és idő fogalmakat teremt.

Az egész gondolategyüttes egy új metafizikai világfelfogás elemeit és körvonalait foglalja magában, amelyek a fizika, különösen pedig a mechanika részére új alapfogalmakat és alapelveket állapítanak meg. A főrészt benne a térre és az időre vonatkozó gondolatok alkotják. Az egész elméletnek ez a gerince, amelyből a többi részek következnek.

A tér és az idő fogalmi elemeire vonatkozó kritikus elemzéseiben Einstein felteszi a kérdést: mi annak a hitnek az

alapja, hogy a távolságnak és az időnek megszokott mértékei az egész mindenségre érvényesek?

A felelet, amelyet ád, egyszerűen az, hogy a tér és az idő mértékei, valamint a közöttük lévő kapcsolatok nem a természet adottságai, azokat mi szerkesztettük bele a természet jelenségeibe. A tapasztalatnak és a gondolatnak összeszövődése az ókortól kezdve napjainkig észrevétlenül folyt le. A tapasztalatból eredő mérési eljárások számára Euklidesz méréstana szerkesztődött meg. Ehhez hozzákapcsolódott a világtér fogalma és az égitestek mechanikája. A gondolatnak mindíg messzebb és messzebb való kiterjesztése folytán a makrokozmosz fizikája Euklidesz méréstanának segítségével épült fel és így alakult ki a felfogás, hogy a világtér önmagában létező merev befolyásolhatatlan egynemű és egyöntetű váz, amelyben a jelenségek lejátszódnak. Az idő pedig ugyancsak önmagában létező befolyásolhatatlan egyenletes folyás, amelyre a jelenségek jegyei, mint valamilyen gördülő filmszalagra reárajzolódnak. A tudós emberiség hozzászokott a gondolathoz, hogy a világtérben mint az égitestek szabad száguldásának, az euklideszi méréstan korlátlan érvényességének színterében, valamint az idő egyenletes folyásának filmszalagjában valami tőlünk teljesen független végső létezőt lásson.

Ezzel szemben kétségtelen, hogy a távolság semmiféle mérésnél sem szerepel úgy, mint önálló, minden mástól független természeti adottság, mert mindenütt össze van szövődve más ismertetőjegyekkel, amelyeket hő, fény, nehézségi erő, mozgás, idő, mechanikai törvények néven könyvelünk el. A mozgó és a nyugvó testek egyforma módon való mérését sem a természet írja elő nekünk, hanem ez is tisztán emberi megállapodásból vált megszokás alapján általánossá. Semmiféle tapasztalat sem kényszerít arra a felfogásra, hogy a nagy sebességgel mozgó testek mozgás közben megtartják méreteiket, amelyeket nyugvó állapotukban határoztunk meg.

Hasonló megállapítások érvényesek az időre. Minden időmérés az egyidejűség és az egyenletes folyás absztrakt fogalmain alapszik. Azonban az egyidejűségnek a fizikus számára csak akkor volna értelme, ha ismerné a módszert, amellyel az megállapítható. „Mindaddig, amíg ez a követelés nem teljesedik, tévedhetek mint fizikus, de akkor is, ha nem vagyok fizikus, ha azt képzelem, hogy képes vagyok értelmet adni az egyidejűségnek," írja Einstein *[44,* 14; *36,* 891]. Az olyan történések egyidejűségét, amelyek egymástól nagy távolságban folynak le, méréssel megállapítani lehetetlen. És ha bizonyos önkényes konvenció alapján definiálhatjuk is az egyidejűség értelmét, lehetetlen azt úgy csinálni, hogy a különböző helyeken álló megfigyelők észlelhessék. Azt a tényt, hogy két esemény,

amelyek bizonyos helyekről észlelve egyidejűeknek látszanak, más helyekről nézve egymás után lefolyóknak ne látszhassanak, nem lehet elkerülni. Az egyidejűség nem a technikai eszközök fogyatékossága miatt, hanem elvileg mindíg felismerhetetlen, ha olyan eseményekről van szó, amelyek egymástól távol vannak és közöttük relatív mozgás van. Az egész világra kiterjedő egyidejűség értelmetlen kifejezés [*39*, 177]. Nincs olyan meghatározott időpillanat, amely identikusan ugyanaz volna a világ minden részében.

Az idő egyenletesen folyó volta sem a természet által nekünk nyújtott folyamat, hanem önkényes konvenció eredménye. Az az állítás, hogy két időköz egyenlő, konvencionális definició alapján kaphat csak értelmet, amelyet a kényelem és a cél irányít, tehát önmagában minden más vonatkozástól függetlenül értelme sincs. Ha az órák úgy vannak beigazítva, hogy nyugvó állapotban ugyanazt az időt mutatják, nem mutathatják ugyanazt, ha egymáshoz képest nagy sebességgel mozognak. Mindez azért van így, mert az órák által mutatott idő leolvasását a fény segítségével végezhetjük csak, amelynek tovaterjedéséhez idő kell és nem tudjuk, hogy a fény sebessége és a mozgó testek sebessége hogyan tevődik össze.

Mindezekhez hozzájárul az a körülmény, hogy az időmértékeknek önmagukban és a térmértékeknek önmagukban nincs értelmük, mert elválaszthatalanul össze vannak kapcsolva. De az idő a megfigyelés szempontjából sem különbözik a tértől, mert az egyenlő időközöket óráinkon mindíg egyenlő térmértékekkel mérjük.

E kritikai megjegyzések alapján Einstein feljogosítva érezte magát arra, hogy a tér és az idő számára alkotandó új fogalmait összeszőjje a mechanika alapfoglamaival. Kiindul az egyidejűség új fogalmából, amelyet a fénysebesség állandóságának elve alapján következőképen definiál: két esemény egyidejű, ha olyan helyekre, amelyek mindkét esemény színhelyétől egyenlő távolságra vannak, az események megtörténtét hozó fényjelek egyidőben érkeznek, vagyis ugyanabban a pillanatban észlelhetők. Ezzel a definícióval az egyidejűség leveti magáról metafizikai jellegét és fizikailag észlelhetővé válik; viszont megmarad az egyidejűség teljes relativitása, mert oly helyeken, amelyek a két esemény színhelyétől nincsenek egyenlő távolságra, egymás után látszanak.

Az új definició alapján a tér és az idő mértékei a mozgó test és a fény sebességétől függővé válnak. A koordinátarendszerekben adott kapcsolatokat átvéve a szemléletesebb test fogalomra a következő változások állanak elő: a mozgó testek hosszméretei megrövidülnek, órái meglassúdnak, vagyis az időközök megnyúlnak, ha a nyugvó hosszmértékkel és órával ha-

sonlítjuk össze. Csak egy és ugyanazon koordinátarendszerben lehet beszélni két esemény távolságának és a köztük lévő időköznek állandóságáról. A megrövidülés, illetőleg a megnyúlás mértékét mindig a

$$\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

kifejezés határozza meg, ahol $v$ a mozgó test, $c$ a fény sebességét jelenti. Olyasféle ez a változás, mint valamely test árnyékának a változása a Nap állása szerint. A kifejezés egyszersmind azt is mutatja, hogy a mozgó testek hosszméretei 0-vá, az időközök pedig végtelenné válnak, vagyis az órák megállanak és az idő folyása megszűnik, ha a mozgó test sebessége eléri a fény sebességét.

Einstein ezeket az eredményeket úgy kapta, mint az egyidejűség új definiciójának, a fénysebesség állandósága elvének és a relativitási elvnek logikai-matematikai következményét. A kérdés körül hosszú vita folyt. Sokan a mértékváltozásokat igazi fizikai változásoknak tekintik és e felfogásuknak a relativitási elmélet kinematikus főtörvényében adnak kifejezést [*116*, 157].

Alapja az a tapasztalat, hogy a test semmiféle más módon sem tehet szert sebességre, mint csak úgy, hogy előzőleg gyorsító folyamaton megy keresztül. Ezt pedig csak külső erő hozhatja létre, amely az állandó sebesség elérése után megszűnik működni. A kinematikus főtörvény szerint a gyorsító folyamat befolyásolja a mozgó testeken lévő mérőrudakat és órákat úgy, hogy a velük való mérések a hosszúság-megrövidüléseket és az időköz-megnyúlásokat mutatják. Ha tehát azt képzeljük, hogy két egyforma $K$ és $K'$ rendszer eleinte nyugvó állapotban van egymás mellett és mind a kettőn egyenlő méterrudak és együttjáró (szynchrón) órák vannak elhelyezve, azután valamilyen külső erő a $K$-t elindítja úgy, hogy a rendszer gyorsuló mozgással eléri legnagyobb sebességét, akkor a gyorsító folyamat alatt a $K$ mérőrúdjai és órái olyan változáson mennek át, amelyek a képletben adott méretváltozásoknak megfelelnek. Tehát a gyorsító eljárás az, amely a mérőrudak és az órák fizikai változását előidézi.

Sok kísérlet végeztetett abból a célból, hogy a méreteknek ez a módosulása fizikailag észlelhetővé váljék, azonban mind ez ideig eredmény nélkül. A legkülönösebb az, hogy a változásoknak kölcsönösöknek kell lenniök. A nyugvó rendszer megfigyelőjének azt kell észlelnie, hogy a mozgó rendszer mérőrúdjai és órái változnak, viszont a mozgó rendszer megfigyelőjének ugyanezt kell észlelnie a nyugvó rendszerre vonatkozólag. Ez természetesen igen nagy ellenmondás, mert így igaz-

nak kellene lenni annak is, hogy a $K$ rendszer mérőrúdjai hosszabbak és annak is, hogy rövidebbek, mint a $K'$ rendszerré, ez pedig lehetetlenség.

Az elmélet azonban ezt az ellenmondást is meg tudta oldani azzal, hogy a térméréseknek és időméréseknek önálló értelmet nem tulajdonít, mert azokat elválaszthatlanul összekapcsoltaknak tekinti.

Einstein és Minkovszky tehát a tér és az idő fogalmi elemeiből a téridő négyméretű sokaságának új gondolati egységét szerkesztette össze. Nincs külön tér és külön idő, hanem a fizikai történéseknek négyszeres rendjük van, amelyet a jobb—bal, az elől—hátul, a lent—fent és az előbb—utóbb fogalompárok szerint szoktunk megkülönböztetni. Ez azonban csak szokás, tehát nem lényeges. A lényeges az, hogy a pontesemény meghatározásához összesen négy számadat szükséges. A tér és az idő nem a természet adottsága, azokat mi szerkesztettük bele a természet jelenségeibe. Jogunk van a történéseket úgy felfogni, hogy azok pontesemények sorozatából állanak, amelyek négy teljesen egyenlő jogú számmal jellemezhetők.

A négyméretű világ fogalmát négy teljesen egyenlő jogú folytonos sokaság jellemzi. Belőlük választott négy számadat egy pontet határoz meg és a pontesemények sokaságából rakódnak össze a világ történései. Két pontesemény közötti kapcsolatot az intervallum határozza meg, amelyet az események koordinátáiból úgy lehet kiszámítani, miként a derékszögű háromszög átfogóját a két befogóból a Pythagorasz-féle tétel alapján. Az intervallum tehát általában nem jelent tisztán sem hosszúságot, sem időt, hanem a kettőnek keverékét. A természet folyamataiban nem a térmértékek és az időmértékek, hanem az intervallumok maradnak állandók. A hosszúság és az időhöz tulajdonképen semmi egyéb, mint az intervallumnak vetülete a megfelelő koordináta tengelyre. Lehetnek tehát hosszabbak és rövidebbek a szerint, hogy a vetítésnél milyen szabályt alkalmazunk. A nyugvó és a mozgó rendszerekkel kapcsolatos ellenmondások ebben a magasabb fogalmi világban eltűnnek.

Mindezek formális megállapításoknak látszanak, amelyek a matematikai kifejezhetőséget könnyítik meg és nem volna metafizikai jelentőségük. De éppen ezek a metafizikai következmények a legérdekesebbek. Ilyen pl. az előmult fogalma. Olyan események vannak az előmultban, amelyek az észlelő jelene számára a multban vannak, mert már megtörténtek, de a jel, amely megtörténtüket hírül hozza, az észlelő jelen pillanatáig még nem jutott el hozzá. Az események elmúltak ugyan, de a megfigyelő tudatába csak a jövőben jutnak bele.

A relativisták több ehhez hasonló következtetéshez jutot-

tak, amelyek azt mutatják, hogy a történéseknek a mult, a jelen és a jövő fogalmai szerint való osztályozása hiányos és hogy részletesebb és finomabb megkülönböztetések is tehetők. Kétségtelen, hogy a mindenségben sok olyan esemény történt már, amelyek számunkra még az előmultban vannak és csak akkor tolatnak hátra a multba, ha számunkra előbb jelenné válnak. Ilyen felfogás alakult ki pl. a kozmikus sugarak keletkezéséről. A kozmoszban már régebben alapvető világkialakulási folyamatok mehettek végbe, amelyekről az emberiség a kozmikus sugarak révén most értesült.

Ez a metafizikai kipillantás tehát azt mutatná, hogy a mindenség történéseinek csak kicsiny szelvénye juthat tudatunkba. A relativitási elmélet alapján is ugyanarra a következtetésre kellene jutnunk, mint a kvantummechanika révén: a fizikai folyamatoknak összeségét nemcsak gyakorlatilag, de elvileg sem tudjuk teljesen megismerni.

### 10. *A tér és az idő az általános relativitási elmélet szerint.*

Hogy a tér és idő fogalmának további alakulását figyelemmel kísérhessük, kis kitérést kell tennünk a végtelen fogalmára és a nemeuklideszi mértanok kialakulására.

Az ókori hindu és a göfög filozófiában jelent meg először a végtelen fogalma, mint a távollevőnek, az elérhetetlennek, a megismerhetetlennek a szimboluma. A tőlünk független kozmosz reánk tett hatásának volt a szülötte. Arisztotelesz filozófiája ezt a végtelent ködbe burkolta. A tapasztalati világot, amelyben a kiterjedésnek értelme van, a Földre korlátozta. Innét a bolygószférákon és az állócsillagok szféráján át fokozatos átmenetet csinált a világot körülövező „primum mobile", az isteni örökkévalóság fogalmához, ahol a kiterjedésnek és a fizikának már nincs értelme.

A keresztyén filozófia a kozmikus végtelent az Isten fogalmához fűzte. A nagyhírű matematikusok között is vannak, akik ilyen értelemben használják. Cauchy írja a következőket: „Csak az Isten végtelen, rajta kívül minden más véges. A szellemi és testi lények véges számúak és véges a világ időben és térben. A végtelenség és örökkévalóság isteni tulajdonságok, amelyek csak a teremtőt illetik és amelyeket még ő sem közölhet teremtményeivel" [*18*].

De már az ógörög filozófiában is megjelent a végtelennek egy másik jelentése, amely az emberi megismerés másik főforrásából, t. i. műveletvégző tudatunkból ered. Tudatunkban ugyanis meggyökereződött a semmi másra vissza nem vezethető gondolat, hogy karunkat akárhányszor fölemelhetjük, lá-

bunkat akárhányszor előre tehetjük, az egész számhoz az 1-et akárhányszor hozzászámolhatjuk, általában minden műveletünket akárhányszor megismételhetjük. Ebből az „akárhányszor"-ból alakult ki a végtelennek másik fogalma: a „végtelensokszor".

Az új fogalom a matematika egyik legfőbb indító, hajtó és teremtő erejévé vált. A zéró számára is új értelmezést hozott. Többé már nemcsak olyan valaminek a szimboluma, ami nincs, hanem bizonyos módon fogyó mennyiségek határértékévé is vált. Belőle alakult ki a limesnek és a végtelen kicsinynek a fogalma és ezen épült fel a matematika legnagyobb terjedelmű és legfontosabb része: az infinitezimális számítás.

A végtelennek ez a két különnemű, más eredetű és más jelentésű fogalma már az ókori tudományosságban kezdett egymáshoz kapcsolódni. Az euklideszi geometriában több helyen történt ez: abban a posztulátumban, amely szerint az egyenes mindkét irányban akármeddig meghosszabbítható, abban a másik posztulátumban, amely szerint minden pontban akármilyen sugárral kör rajzolható, a hirhedt ötödik posztulátumban, amelynek legegyszerűbb megfogalmazása szerint bármely egyeneshez, a rajta kívül fekvő ponton keresztül csak egy párhuzamos húzható, végül a párhuzamosság definiciójában, amely szerint a párhuzamos egyenesek akármeddig meghosszabbítva sem metszik egymást. Mindegyikben a végtelen sokszor megismételhető művelet fogalma és a kozmikus végtelen fogalma kapcsolódik össze. Egyébként maga Euklidesz a végtelennek sem az egyik, sem a másik jelentésével nem foglalkozott.

A kozmikus végtelen fogalmát az újkori gondolkodásba Giordano Bruno vitte be először. Világfelfogásunk megalkotói, Kopernikus, Kepler, Newton, noha rendszerükhöz hozzátartozott, vele nem foglalkoztak.

Amikor a végtelenről van szó, — akár annak a kozmosz által reánk kényszerített alakjáról, akár pedig a saját magunktól kialakított végtelensokszor-ról — akkor a fizikusnak hallgatnia kell és a szót a matematikusnak kell átengednie. Mert itt a tapasztalat útba nem igazíthat, hanem a gondolatnak kell átvennie a vezetést. Oly végtelenül fínom, absztrakt és tág gondolati formát kell teremtenie, amely a mindenségre vonatkozó gondolatainknak egyszerű, áttekinthető, harmonikus keretet adhat. Már pedig az ilyen fogalmak alkotásának mestere a matematikus. Neki éppen az a legfőbb becsvágya, hogy szintetikus szerkesztő munkával lehetséges gondolati formákat teremtsen, amelyeket a fizikus tapasztalatainak leírásában és értelmezésében felhasználhat. Ptolemáiosz és Kopernikus világrendszerei, Kepler törvényei, Newton fizikája csak úgy jöhettek

létre, hogy e tudósok a matematikusok által előzőleg teremtett gondolati formákat használták fel a tapasztalatok rendezésére és értelmezésére.

A kozmikus végtelennel szemben való kötelezettségüket a matematikusok kezdettől fogva érezték is. Mi az, amire támaszkodhattak? A fizikára nem, mert e tudomány mérési és észlelési műveletei határozottságukat már a csillagok világában fokozatosan elvesztik és imbolygó, ködös gondolati alakzatokká párolognak szét. Meg kellett tehát maradniok az ideális absztrakt fogalmakhoz fűződő lelki képeknél és amikor ezek is felmondták a szolgálatot, a képzetek nélküli formális posztulátumokhoz kellett nyúlniok és azoknak formális logikus következményeit kellett kutatniok. Amikor pedig a logika az egyformán lehetséges és jogos esetek labirintusába vezetett el, az emberi megállapodás vagy konvenció biztos öblében kellett kikötniök.

A nagy mindenségre vonatkozó fogalmaink a történeti fejlődés folyamán azokból a lelki képekből épültek fel, amelyek Euklidesz axiómáihoz és posztulátumaihoz fűződnek. Többnyire harmonikusan is illeszkedtek egymáshoz, azonban az ötödik posztulátum, amely szerint (a legegyszerűbb megfogalmazásban) az egyeneshez a rajta kívül fekvő ponton keresztül csak egy párhuzamos húzható, régi idők óta gyanusnak, a képzetek által nem eléggé igazoltnak, a többivel harmóniában nem levőnek és különegesnek tűnt fel. Ha Ön egyenest és rajta kívül egy pontot képzel, akkor joggal képzelheti azt, hogy ebből a pontból jobb felé is és bal felé is húzhat egy-egy olyan félegyenest, amely az adottal párhuzamos. Minő joggal állítja Euklidesz, hogy ezeknek a félegyeneseknek hátrafelé való meghoszabbításai egymást fedik? A kis területű papiroson készített rajz kétségtelenül jogossá teszi ezt a megállapítást, azonban képzeteink nincsenek kötve a kis területű rajzhoz, sem a ceruza-nyomokhoz, hanem kiterjednek az egész mindenségre és akármilyen nagy távolságokra. Képzelje Ön azt, hogy a Föld egy porszem és minden mértani ábra, amelyet Ön ismer, a porszem arányainak megfelelő papirosra van rajzolva, akkor meg fogja érteni, hogy képzeteinknek más variációi is lehetnek, mint a szokottak.

Bolyai János joggal állította fel a feltevést, hogy a jobbra és a balra haladó párhuzamosok hátrafelé való meghoszszabbításai nem esnek össze és hogy így az egyeneshez a rajta kívül fekvő ponton keresztül nem egyetlenegy, hanem legalább két, egymásba nem eső párhuzamos húzható és joggal vizsgálhatta e feltevésének következményeit. Igy logikai úton az egymással harmonizáló és ellenmondásokat nem tartalmazó tételeknek hosszú sorára jutott reá, amelyek mindegyikének az

euklideszi geometriában is egy-egy tétel felel meg. E tétel-sorozatok tehát úgy tekinthetők, mint egy általánosabb „nemeuklideszi" mértannak a tételei, amely különleges feltevések mellett az euklideszibe megy át.

A szűk területhez nem ragaszkodó általános képzetek alapján azt is képzelheti Ön, hogy az egyenest a rajta kívül fekvő ponton átmenő minden egyenes valahol metszi és hogy így párhuzamosok, vagyis nem metsző egyenesek nincsenek is. Ez a felfogás szükségszerűleg a pontok közötti távolságnak képzeteihez vezet és ezek alapján Ön azt hiszi, hogy az az utazó, aki az egyenesben jobb felé utazik, folyton távolodik attól az utazótól, aki ugyanezen az egyenesen bal felé halad és meg van győződve arról, hogy soha sem találkozhatnak. E képzetek a kis területen való utazás tapasztalataiból származnak. Azonban ma már tudjuk, hogy a Földön a két utazó bizonyos távolságon túl közeledik egymáshoz és ha a kitűzött egyenesen egyenlő sebességgel haladnak, akkor éppen a kiindulási pont ellenlábasainál találkoznak. Igen, fogja mondani Ön, de a két utazó nem egyenesen, hanem a Föld gömbi főkörén utazott! De honnét tudja Ön, hogy az, amit a mindenség egyenesének nevezünk, nem-e annak valamilyen főköre, vagy valamilyen más, önmagába záródó görbe vonala? Képzetekből e felfogást összerakni ugyan nem lehet, de mint feltevést, vagy mint posztulátumot fel lehet állítani. Ezt tette épen Riemann és logikai következtetésekkel az egymással harmonizáló tételeknek hosszú sorára jutott reá, amelyek mindegyikének — épúgy, miként Bolyainál — egy-egy euklideszi tétel felelt meg. E tételsorozatok is tehát úgy voltak tekinthetők, mint egy másik, „nemeuklideszi" mértannak a tételei.

Már most Einstein a Riemann-féle szferikus geometriát tette meg a világtérre vonatkozó gondolatainak az alapjává. Megállapításai általános alakban vannak ugyan adva, azonban igazi jelentésük csak a világtér méretviszonyaira vonatkozhatik. Ha jelentésüket meg akarjuk érteni, a világtérre és nem a földi mérésekre kell gondolnunk. Elméletében Einstein a Riemann-féle gondolatokat a tér-idő négyméretű sokaságára is kiterjesztette. Formai szempontból mindenütt matematikai szimbolumokkal dolgozik, de alapgondolatát szavakkal is megadhatjuk.

Nagy gondolati lépése tulajdonképen az, hogy a Riemann-féle matematikai elméletbe beleszerkesztette azt, ami belőle hiányzott, t. i. a fizikai alapot. E célra azt a hipotézist alkotta, hogy a méterrudak hosszúságát és „egyenesség"-ét, valamint az időmérő eszközök járását a közelükben lévő anyagfelhalmozódások határoznák meg. Nagy anyagtömegek közelében más volna a tér-idő geometriája, mint a világnak olyan

részeiben, amelyek az anyag felhalmozódásoktól messze esnek. Az anyageloszlás alapján elvileg meg lehetne szerkeszteni a tér-idő sokaság geodetikus világvonalát és ez mindenütt az egyenes vonal szerepét venné át.

A fénysugár is, az egyenes vonalnak ez a fizikai képviselője nagy tömegek közelében meggörbülne, mert a fény is a geodetikus vonalon kénytelen volna tovaterjedni. A negyedik koordináta is, amely az órának a szimboluma, szintén megváltoznék és nagy tömegek közelében gyorsabban járna, mint azoktól nagy távolságban. Ha a négyméretű világnak egyik részében egy négyméretű szimbolikus gömböt formálnánk ki és azt tovatolnók képzeletben, akkor mozgása közben a tér-idő különböző helyein különböző méretű ellipszoidokká alakulna át. Ugyanez történnék minden testtel. Minden ilyen alakzatnak alakja és mérete a közelében lévő anyagelosztástól függene.

Mindezek a tulajdonságok értelemszerűen átvihetők a térre és az időre külön-külön. A háromméretű térgörbület is azonban csak szimbolikusan értendő; tulajdonképen azt akarja csak kifejezni, hogy a térnek belső szerkezete volna, amely az anyag eloszlása szerint változnék. Hasonlóképen az időgörbületet is szimbolikusan kell érteni. Azt fejezné ki, hogy az órák a tér szerkezete szerint, hol lassabban, hol gyorsabban járnának. Elgondolni ezt nem nehéz, mert tudjuk, hogy az ingaórák, az egyenlítőtől a sarkok felé tovavíve folytonosan gyorsabban és gyorsabban járnak.

E példából is látható, hogy a tér görbületének szimbóluma tulajdonképen a nehézségi erőt akarja jelenteni. Az elmélet valóban arra készült, hogy a világtér nehézségi ereje számára szimbolikus matematikai formalizmust teremtsen.

A formulák olyan tagot is tartalmaznak, amelyet úgy lehet értelmezni, mint a világtérben anyagtól függetlenül is meglevő csekély görbületet. A világ térbeli része tehát olyan tulajdonságokat kapna, mint amilyeneket két méretben a gömbfelület mutat. Az így származott térről képzeteket alkotni nem tudunk, hanem a matematikusok formuláikkal elő tudják állítani és logikusan következtetni is tudnak velük. Tehát olyan értelmet tudnak kihozni, amely mutatná, hogy a világtér bármely pontjából kiindulva és mindíg ugyanabban az irányban haladva nem az ismeretlen végtelenbe jutnánk, hanem visszajutnánk oda, ahonnét kiindultunk.

Szokássá vált az euklideszi, a nemeuklideszi, különösen pedig a Riemann—Einstein-féle szferikus térről beszélni. Ezek átvitt értelmű szerencsétlen frázisok, mert a fizikai valóság szempontjából nincs euklideszi, nemeuklideszi és szferikus tér, hanem csak tér van. Ez is csak azért „van", mert tömérdek sok érzékszervi, műveleti és fogalmi tudat fűződik hozzá, de mint

önmagában álló, minden mástól független létező ez sincs. A nemeuklideszi „mértan" elnevezés is szerencsétlen, mert e mértan tételeinek segítségével még soha senki sem mért. Itt szintetikus matematikai munkával megalkotott formulákról van szó, amelyekhez olyanféle jelentéseket lehet fűzni, amelyek az euklideszi mértan egyeneseinek, síkjainak és más alakzatainak felelnek ugyan meg, azonban ugyanazokkal a képzetekkel és műveletekkel teljesen elő nem állíthatók.

Az új fogalomkialakulást úgy kell felfogni, ahogyan a matematikusok gondolják, t. i. logikai-matematikai stúdiumnak, amely, mint az értelem matematikai szerkesztőképességének az alkotása, önmagáért van, értékét, jelentését és jelentőségét a gyakorlati vonatkozásoktól függetlenül önmagában hordja.

Nem lehet azonban kétséges, hogy az a titkos hajtóerő, amely a matematikusokat e gondolati alkotásokra indította, — ahogyan azt Bolyai János is kifejezte —, az volt, hogy „a csodálatra méltó mindenség" felfogása számára újabb, és bizonyos tekintetben határozottabb fogalmakat teremtsenek, mint amilyeneket az euklideszi mértan az ő minden irányban a végtelenségbe terjedő egyeneseivel nyujtani képes. Az euklideszi mértan tételeivel ugyan a közvetlen tapasztalat körébe eső jelenségeket egyszerűen és határozott módon le tudjuk írni, a Földön kívül eső jelenségeknél is jó szolgálatot tesznek, a határozottság azonban a Földtől való távozással fokozatosan alábbhagy, hogy a végtelenségben teljesen elenyésszék. E határozatlanságon volnának hivatva segíteni a Riemann—Einstein-féle nemeuklideszi mértannak logikusan megállapított szimbólikus matematikai formulái.

Sokan kérdezik, hogy tapasztalati mérésekkel lehet-e dönteni az euklideszi és nemeuklideszi mértanok között. A kérdés azonban nincs jól feltéve, mert a Földön, ahol egyedül lehetségesek a pontos mérések, a nemeuklideszi mértannak nincs szerepe. A kérdést inkább így kellene megfogalmazni: melyik rendszerrel lehet a makrokozmikus jelenségeket egyszerűbben és célszerűbben leírni, az Euklidesz-félével-e, vagy pedig a Riemann—Einstein-félével? Az így megfogalmazott kérdésre csak a jövő csillagászati rendszerező munkálatok adhatnak feleletet.

Az idő végtelenségének fogalma a térénél is határozatlanabb, mert mindkét irányban végtelen. Einstein sem merte a merész lépést megtenni és az időt a tér végtelenjéhez hasonló módon önmagába visszatérővé tenni. A mai fizikai világfelfogás kénytelen az idő kezdetének és végének határozatlan, illetőleg az entrópia-törvénnyel még határozatlanabbá tett fogalmaival számolni.

Nemcsak az idő két vége határozatlan, hanem a közbe eső korszakok ideje is sok fogalmi határozatlanságot tartalmaz [*14*, 79]. Sőt az idő fogalmában a jelen idő is határozatlan. Einsteinnak legnagyobb gondolati alkotása annak kimutatása, hogy két egymástól távollévő esemény egyidejűségének nincs fizikai jelentése, ha azok egymáshoz képest relatív mozgásban vannak. Gondolatmenetének meggyőző volta alól ugyan senki sem vonhatja ki magát, azonban mégis meg kell jegyeznünk, hogy a térfogalommal való párhuzamosság itt is megvan. Ha csak a közvetlen tapasztalat körébe eső időmérésről van szó, akkor az egyidejűségben rejlő határozatlanság elenyésző csekély. Nagyobbá csak akkor válnék, ha itt a Földön olyan testek volnának, amelyek igen nagy sebességgel igen nagy utakat tennének meg. Ilyenek azonban nincsenek. Vannak ugyan igen nagy sebességgel mozgó elektronok és atomiónok, de csak igen kis utakat futnak meg. A Földön lefolyó jelenségek egyidejűségében rejlő határozatlanságra bizonyára Einstein maga sem gondolt volna, ha nem tudta volna, hogy a világtérben lévő jelenségekre is kiterjesztjük az egyidejűséget.

Az idealizmus filozófiai irányzata szerint gondolkodók az egész világra kiterjedő egyidejűség fogalmát a tudat ős elemének tartják. Szerintük az egyidejűség mint egyértelmű, matematikailag szabatos képzet, mint tiszta értelmi szemlélet tudatunkban közvetlenül adva van. A megismerésben olyan szerepet visz, mint a térben az egyenes. Fizikailag ezt sem lehet előállítani, hanem csak gondolatilag. A vele kifejezett tételeknek a megismerés szempontjából ugyanaz a jellegük, mint az egyenes fogalmával kifejezett tételeknek [*118*, 127].

A kérdés körüli vita igen terjedelmesre növekedett fel és valószínűleg sohasem lesz befejezhető. De végeredményképen megnyugodhatunk abban, hogy a földi jelenségek körében a kérdésnek nincs jelentősége. A makrokozmikus jelenségek Földről észlelt időadatainak más égitesten lakó észlelő hasonló időadataival való összehasonlítására pedig egészen nyugodtan várhatunk addig, amíg egyszer valamikor ilyen időadatok tényleg kezeinkbe jutnak.

A relativitási elmélet tér- és időfogalmai a mindenség új felfogására mesterségesen alkotott matematikai-metafizikai szerkezetek. Noha úgy vannak feltüntetve, mintha bizonyos tapasztalatok általánosításából szükségszerűleg következnének, érvényességüket ez meg nem alapíthatja. Ezek egy új tudományos hitvallásnak, egy új világfelfogásnak az alkatelemei, amelyek, miként azt más világfelfogások példája mutatja, csak akkor nyerhetik el érvényességüket, ha a fejlődés folyamán kitünnek, hogy velük a mindenség jelenségeinek nagy tömegét egyszerűbben lehet gondolatilag előállítani, mint az eddig érvényben lévő rendszerrel.

# VII. A MECHANIKAI ALAPFOGALMAK ÉS ALAPELVEK.

Fizikai megismerésének legnagyobb részét az ember saját műveleteivel, tehát mozgással szerezte. A tőle függetlenül végbemenő kozmikus jelenségek között is a mozgás az a jelenség, amely a leggyakrabban és a figyelmet leginkább magára vonó módon fordul elő. Érthető tehát, hogy az újkor kezdetén, a tudományosság megújhodásának idejében a kutatók figyelmüket először a mozgási jelenségekre fordították, hogy Galilei, Kepler, Huygens és a kevésbbé neves tudósok nagy csoportja is a mozgások tanulmányozásával foglalkozott és hogy Newton „Principia"-ja a mozgásokra vonatkozó megismeréseknek, vagyis a mechanikának összefoglalását adja.

Ez a munka a kor legégetőbb tudományos kérdésének, a Kopernikus-féle világrendszernek megalapozására készült. Olyan tételeket állított fel, amelyek az égi mozgások leírását, valamint azoknak előre való kiszámítását lehetővé tették. A bolygók, a holdak, az üstökösök mozgását, az apály-dagály jelenségét, a Föld és az égitestek alakját kapcsolatba hozta a legismertebb földi jelenséggel, a testek nehézségével.

Ezenkívül alapot adott a földi jelenségek egyszerű értelmezésére és a felmerülő műszaki szükségletek kielégítésére. Fogalmaival és tételeivel eszközöket, gépeket, hidakat, épületeket lehetett építeni.

A 16. és 17. században, amikor a Föld különböző részeinek felfedezése folyamatban volt és amikor Anglia világuralmi törekvései megindultak: a hajózási, a katonai, a ballisztikai, a gépszerkesztési és más műszaki problémák belekapcsolódtak a bolygómozgásnak, a csillagászati mérésnek, az apály-dagálynak, a Föld alakjának és méreteinek, az idő meghatározásának problémáiba.

A mechanikai tudomány azután átterjedt a fizikának többi jelenségeire is, de nemcsak az elméleti, és a kísérleti vizsgálatoknak, hanem a műszaki tudományoknak is megadta az alapját. Valamennyi mérőeszközünk mechanikán alapszik. Az elektronokra, a rádióhullámokra, a kozmikus sugarakra vonatkozó tudásunk is csak azért lehet szabatos, mert itt is bizonyos lökések történnek, rugók megnyúlnak, tömegek emelkednek,

drótok megcsavarodnak, valami rezgésbe jő, valami felmelegszik. „A fizikus ma bemegy laboratóriumába, mér hosszúságot, csavarodást, emelkedést, hőmérsékletet, azután leül íróasztalához és ír atomokról, elektronokról, röntgensugarakról" [*19*, 10—14].

A mechanika a legáltalánosabb természettudománnyá vált. Eszközöket, kutató módszereket, fogalmakat, beszédmódokat teremtett, amelyeket minden természettudós és minden műszaki ember használ. Csak a mechanika fogalmai alapján és azok mintájára vált lehetségessé a természettudományi megismerést matematikai fogalmak alakjába öltöztetni és számításra felhasználni [*126*, 225, 253].

Logikai és filozófiai szempontból a mechanika mintája az igazi tudományos rendszernek. Kevés számú fogalomból és alapelvből oly gondolati rendszert épített fel, amellyel az értelem fennhatóságát a tapasztalati tények nagy sokaságára tudja kiterjeszteni. Mindezek alapján érthető, hogy a mechanikai fogalmaknak és elveknek tartalmára, értelmére, jelentőségére, megismerésüknek és érvényességüknek határaira vonatkozó gondolatok a tudományos érdeklődés középpontjában fekszenek.

### 1. *A mechanikai fogalmak lélektani és történeti alapjai.*

Az erő és a tömeg fogalmai állanak az egész rendszer középpontjában. Nem Newton elméjéből pattantak ki, hanem a legrégibb időktől kezdve fejlődtek az emberi elmével együtt. Nem is annyira szülöttjei az oksági fogalomnak, mint inkább a testvérei. Akkor fogamzottak meg, amikor az emberben tudatossá vált az, hogy a körülötte lévő világban bizonyos változásokat ő maga szokott létrehozni.

Sokan azon a véleményen vannak, hogy az erő tapasztalati fogalom, és hogy az embernek közvetlen szemlélete van az erőről. E kérdés megítélésekor tekintetbe kell vennünk megismerésünknek főforrásait: az érzékelést, a műveletvégzést és a gondolkodást.

Az érzékelés maga még közvetve sem adhat szemléletet az erőről. A külső hatásokat szenvedőleges módon érzékelő ember csak bizonyos nyomásokat vehet észre. Nyomásérzetek azonban éppannyira különböznek az erő fogalmába egyesült képzetektől, amennyire pl. a hangérzetek különböznek a rezgés fogalmához fűződő képzetektől. Pusztán érzékleti alapon tehát nem állíthatjuk azt, hogy a nyomásérzetek az erőről szemléletes képzeteket adnak, ahogyan nem állíthatjuk azt sem, hogy a hangérzetek adják a rezgésnek szemléletes képzeteit. A nyomásérzet

és a hangérzet önmagában valami egészen más, mint az erő vagy a rezgés.

Azonban, ha a műveleteket végző embert vesszük tekintetbe, akkor könnyebben juthatunk az erő szemléletes képzeteihez. Már a kezdetleges ember is műveleteinek jókora részét rúdszerű és kötélszerű eszközök segítségével végezte. Munkálkodási módja tovább fejlődött és mindig újabb és újabb rúdszerű és kötélszerű eszközök feltalálásához vezetett. A mai munkás ezeket készen kapja, munkáját legtöbbször húzással, vagy nyomással végzi, sőt a művelt ember legfőbb munkájának testi része, az írás művelete is egy rúdszerű íróeszköz segítségével megy végbe.

Az ókori népek legfőbb műszaki problémája oly gépek feltalálásához vezetett, amelyek nagy terhek emelését kis emberi húzó, vagy nyomó erő segítségével tették lehetővé. Az emelők, a csigák, a csigasorok, a hengerkerekek, a lejtők, a csavarok, a szivattyúk alkalmazásával kapcsolatban kialakult a statikai erő absztrakt fogalma. Határátmeneti és elkülönítő gondolati folyamatok benne három gondolati elemet, t. i. az erő támadópontjának, irányának és nagyságának fogalmát alakították ki, amelyekkel az erőt szimbolumszerűleg ma is jellemezzük.

Ama jelenségek körében tehát, amelyeknél maga az ember dolgozik, vagy az általa feltalált gépek dolgoznak, az erő fogalmához valóban fűződnek szemléletes tapasztalati képzetek. Az embertől függetlenül létrejövő kozmikus jelenségek tapasztalati adottságaiban azonban ilyen képzetek nincsenek. Azt tapasztaljuk pl., hogy a tenger vize szabályos időközökben emelkedik és süllyed. E jelenség tapasztalati eredetű lelki elemei között nincs egyetlen egy olyan, amely azt mutatná, hogy a tenger vizét valami nyomná, vagy húzná fel és lefelé.

Ha tehát az embertől függetlenül létrejövő jelenségekre alkalmazzuk az erő fogalmát, akkor most is, mint sok más esetben, saját műveletvégző tudatunk fogalmait szerkesztjük bele önkényesen a történésekbe. Az erő, mint az emberhez hasonló módon működő ok szerepel.

Az erőfogalom ilyen módon való kialakulásának fokozatairól számos történeti adatunk is van. Valamennyien emberies fogalmak. Így Empedoklesznál az erő, mint „szeretet" *(φιλία)* és „gyűlölet" *(νεῖκος)* a dolgok egyesítését és szétválasztását végzi. Parmenidesznél, mint kényszerűség *(ἀναγκη)* az égen uralkodó csillagok korlátait szabja ki és a mindenséget korlátok közé szorítja.

A középkor és az újkor átmeneti időszakában újra feléledt és hatalmas szellemi tényezővé vált a babilóniai papok csillagimádatának az alapgondolata: a csillagok hatásában ve-

tett hit. Az asztrológusok szerint — és akkor közéjük tartozott a tudománnyal foglalkozóknak nagy többsége, — a tapasztalat kétségtelenül bizonyítja, hogy a csillagokból erők indulnak ki, amelyek a földi történéseket befolyásolják. A Nap a négy évszakot, a Hold fényváltozásaival a szerves élet változásait hozza létre. A kettő együtt a tenger vizét emeli fel és ha hatásuk irányai összeesnek, az emelkedés nagyobb, mint az ellenkező irányok esetében. A Mars és a Vénus találkozása esőt, a Jupiter és a Saturnus találkozása zivatarokat hoz, ha pedig e bolygók a Halak és a Vízöntő csillagzatok közelében találkoznak, a hatás még nagyobb. A csillagokból kisugárzó erő az emberre is hat, mert teste tűzből, hidegből, szárazból és nedvesből van összerakva, ezek keveredési aránya pedig az ember természetét határozza meg. Erre van hatása a csillagokból kiinduló erőnek. Tehát a gyermek természetére és jövendő sorsára a csillagok ama helyzeteiből lehet következtetni, amelyeket a gyermek fogantatásakor és születésekor elfoglaltak [*115*, 209—221].

E sajátságos dinamizmussal kapcsolatban tudományosan értékelhető fogalomkapcsolások is történtek. A mágneseknek és a dörzsöléssel elektromossá tett testeknek vonzása is az erő fogalmához kapcsolódott és kialakult a felfogás, hogy a test súlya ugyanaz a jelenség, mint a mágneseknek vasdarabokra, elektromos testeknek papírszeletkékre kifejtett vonzása.

Sőt már az erők keletkezésére bizonyos elmélet is keletkezett. Már az ókori görög filozófiában, éppen az okság fogalmából kialakult a rejtett tulajdonságok fogalma. Ilyen volt az épség (integritás) megtartásának a tulajdonsága is. A teremtő a testeket azzal a tulajdonsággal ruházta fel, amelynél fogva épségüket megtartani igyekeznek és a részek elválasztásának ellenszegülnek. A vas e tulajdonság folytán igyekszik egyesülni a vele rokon mágnessel. A Földön lévő testek rokonok az egész Föld anyagával, azért ahhoz vonzódnak és így jön létre a testek súlya.

Az épség megtartásának elve nagyon termékeny gondolat volt és egy évszázadon keresztül újabb és újabb gondolatkapcsolásokra ingerelt. A tenger vize azért emelkedik a Hold felé, mert miként a csillagjósok évezredek óta hiszik, a Hold anyagával rokon. Kopernikusnak is tetszetős volt ez az elv.

Gilbert szerint a nehéz test mozgása a talaj felé az újraegyesülés munkája. Minden, ami a Földről való, egyesülni akar a Földdel, éppúgy minden, ami egynemű a Nappal, ez égi test felé törekszik. Minden rész ez erő által csüng az egészen.

A gondolat Keplernél majdnem teljesen lehányta magáról metafizikus elemeit. Fölismerte, hogy nincs könnyű test, a láng nem azért száll fölfelé, mert könnyű, hanem azért, mert a körülötte lévő nehezebb levegő úgy nyomja fölfelé, miként

a víz a benne lévő buborékokat. Felismerte, hogy a nehézség a testek általános tulajdonsága, és az volt a fölfogása, hogy Földünk úgy esnék egy nagyobb test felé, ha véletlenül ilyennek a közelébe jutna, ahogyan a kő esik a Föld felé.

Nyilvánvaló, hogy Galileinek, Huygensnek és Newtonnak nem kellett az erő fogalmát megteremtenie. Annak lelki elemei egyrészt a testi műveletek és a műszaki problémák, másrészt az égi jelenségekkel kapcsolatban az oksági fogalom révén már régi idők óta fokozatosan beleszövődtek a gondolati világba. Mindenfelé úgy használták, ahogyan korunkban pl. az atomrombolás fogalmát használjuk. Az említett tudósoknak a szertefolyó, a különböző irányokban szétszóródó gondolati elemeket csak össze kellett kapcsolniok, szabatos alakba kellett önteniök és meg kellett rögzíteniök.

Szövevényesebb módon folyt le a tömeg fogalmának a kialakulása és az ember gondolati világába való belejutása. E folyamatok is két mederben folytak. Az egyiket az embertől függetlenül lefolyó jelenségek szemlélete, a másikat pedig az ember műveleteinek tudata vájta ki.

A konkrét létezők gondolati világába az ókori görög természetfilozófusok teremtettek bele először absztrakt ideális fogalmakat. Kialakult bennük a felfogás, hogy a konkrét létezők négy elemből, földből, vízből, levegőből és tűzből vannak összealkotva. De kialakult a felfogás is, hogy a négy elem maga is az ősanyagból, az *ἄπειρον*-ból alakult ki. Ez a fogalom pedig megteremtette az anyagnak, mint minden jelenség általános hordozójának a fogalmát és hozzákapcsolódott a ma is érvényes nagy gondolat, amely szerint az anyag mennyisége állandó.

A tapasztalati megismerés másik medre, amelyet az ember műveletvégző képessége vájt ki magának, szintén számos sajátlagos részismerethez vezetett és ezek is a külvilág tárgyai és az ember közti viszonyra vonatkoztak. Sokszoros használat alapján kialakult a testek különféle tulajdonságainak a fogalma. Különösen sokszor szerepelt a testek súlya. Szokássá vált bizonyos közszükségleti cikkeket súlyukkal mérni. Általánossá válását a mérleg feltalálásával magyarázhatjuk, mert aránylag egyszerű eszköz és a vele való mérés művelete is egyszerű.

A két egymással párhuzamosan haladó megismerési folyamat a középkor és az újkor átmeneti időszakában egyesülve azt a megismerést adta, hogy a testeket alkotó anyagnak három általános és lényeges tulajdonsága van, nehézsége, a mozgatással szemben való ellenállása és megsemmisíthetetlensége.

A Föld körülhajózásával kapcsolatban új probléma támadt. Az égitesteknek és magának a Földnek a súlya nem nyilatkozhatik meg számunkra úgy, ahogyan a földi tapasztalat

körébe eső testeké. Ha az égitestek is ugyanolyan anyagokból vannak összerakva, amelyeknek egyik legfőbb ismertetőjele a súlyuk, mi legyen akkor az égitestek súlya? Miben és hogyan jelentkezik ez?

Valószínűleg e kérdésben rejlő gondolati nehézség megoldására keletkezett a „corporea moles", a „testszerű tömeg" fogalma, amely összefoglalná és kifejezné a mozgásra és a mozgathatóságra vonatkozó fogalmi elemeket és mint ilyen a nehézség fogalmán túlmenőleg szélesebb alapon foglalná össze az anyag legáltalánosabb és leglényegesebb ismertető jeleit. A kor tudósai számára a legfőbb problémává vált annak az eldöntése, hogyan kell a súly, a nehézség, a tömeg, az erő és a mozgás fogalmi elemeit egymással összekapcsolni.

Sokan foglalkoztak a kérdéssel. Galilei azért kereste az esések és az ingalengések törvényeit, mert azt remélte, hogy azok révén kap feleletet a felvetett kérdésre. Ebből a szempontból volt alapvető jelentésű az a megismerése, amely szerint minden test egyformán, ugyanazzal a gyorsulással esik. Ez természetesen nem volt tisztán tapasztalati megismerés, mert elkülönítéssel és kiválasztással szerzett absztrakt gondolati elemeket is tartalmazott, a tapasztalattal azonban úgy volt megalapozva, mint az egyenesvonalú egyenletes mozgás. A megismerés szempontjából lényeges különbség köztük nincs. Galilei tehát feljogosítva érezte magát arra, hogy az egyenesvonalú egyenletes mozgás fogalmát tisztán a tömeg fogalmával, az egyenletesen gyorsuló mozgás fogalmát pedig a tömeg fogalmán kívül a nehézségi erő fogalmával is összekapcsolja. Kepler három törvénye adta meg a megismerési alapot ahhoz, hogy a tömeg és a nehézség fogalmát a bolygókra is ki lehetett terjeszteni. Ezek is absztrakt ideális esetre vonatkoznak, arra az esetre, amikor a központi Napon kívül csak egyetlen bolygó van a rendszerben.

### 2. *A newtoni dinamika jelentősége.*

Newton a mechanikai jelenségek dinamikai magyarázatát négy alapfogalomra és három alapelvre vezette vissza. A négy alapfogalom: erő, tömeg, tér, idő. A három alapelvet Newton mozgási törvényeknek (leges motus) nevezte és velük a tétlenségi mozgásnak, az erőhatásnak és a tömegek kölcsönhatásának elvét állapította meg. Belőlük mindenek előtt bizonyos újabb elvekre, nevezetesen az erők egyensúlyának, az erők parallelogramma-tételének, a súlypont megtartásának elvére, a felületelvre és a tömegek közötti nehézségi erőre következtetett.

Egészen a 19. század második feléig, tehát csaknem kétszáz éven át a fizikusok a newtoni fogalmaknak kiegészítésével, következtetéseinek kihüvelyezésével, újabb alakokba való átöltöztetésével foglalkoztak, aminek következtében újabb fogalmak és újabb elvek is keletkeztek. Ezek sokszor úgy szerepeltek és szerepelnek, mint eredeti új, a newtonitól független alapfogalmak és alapelvek. Kétségtelen, hogy a mechanikai jelenségek leírásánál ezek is jó szolgálatot tesznek, de nem függetlenek a newtoni fogalmaktól és törvényektől, hanem vagy egyszerű következményeik, vagy bennük fekszik jogosultságuknak és érvényességüknek az alapja.

A 19. század második felében egy kritikus irányzat alakult ki, amely a newtoni fogalmak és elvek jelentését tette vizsgálatának tárgyává. A 20. század elején aztán az Einsteintól származó relativitási elmélettel és a Plancktól származó kvantumelmélettel kapcsolatban kialakult igen nagy tudományos irodalomban a newtoni fizika érvényességének és igazságértékének megismerési alapjai és határai elibénk tárultak.

Az új gondolati irányzatok kialakulásával kapcsolatban többen túlzásba estek és kiadták a jelszót: Newton dinamikai rendszere rombadőlt, fogalmai és törvényei értéküket vesztették! A jelszó azonban hamis volt. A valóságban nem történt semmi ilyesféle. Newton rendszere nem dőlt romba, fogalmai és törvényei nem vesztették el jelentésüket és érvényüket. Csupán az történt, hogy az új kutatási területek megismerésével, az új gondolati irányzatok alapján ki lehetett jelölni a határokat, amelyeken belől a newtoni dinamika érvényes és alkalmazható. Az új irányzatoknak legkiválóbb képviselői Poincaré [*100*, 150, 270], Heisenberg [*58*, 92—99], Planck [*102*, 147—177] ezt ismételten megállapították. Kitűnt továbbá, hogy az új fogalmak és elvek természetes továbbfejlődései a newtonianaknak úgy, hogy nélkülük értelmüket sem lehet megadni. Ha lehetséges volna a fizikusok gondolatvilágából Newton fogalmait és elveit kitörölni, akkor az új fogalmak is lehetetlenekké válnának, fogalmi elemeikre bomlanának szét, kaotikus zűrzavarrá változnának át, amely egy újabb Newton után kiabálna, aki megint az értelem által felfogható rendszerbe kögitené össze őket. Azonban valószínű, hogy az új rendszer nem lenne szükségszerűleg egészen ugyanaz, mint a Newton-féle.

Minden rendű és rangú tanítás számára tehát ma is egyetlen út van: a természet által elibénk tárt és az ember által megteremtett jelenségek sokaságának megismerésébe és megértésébe a newtoni dinamika alapján vezetni be a tudni vágyót. Csak azután, ha ez megtörtént, lehet az új kutatási területek és az új gondolati irányzatok fogalmainak és elveinek megismerésére térni át.

A megismerés szempontjából minő természetű és eredetű tanok ezek? Hosszú időkön keresztül úgy szerepeltek a tudományos tudatban, mint tapasztalati megismerések. Azonban nyilvánvaló, hogy sem a három mozgási törvény, sem pedig a belőlük kikövetkeztetett elvek, a tapasztalatnak nem közvetlen adottságai. Maga Newton és környezete sem tekintette olyanoknak, amelyeket a tapasztalat készen nyujtana nekünk.

A Principia második kiadásához Cotes, Newton barátja előszót írt [*91*, 62], amelyben a művet filozófiai szempontból méltatta. Szerinte a skolasztikus filozófusok különleges rejtett tulajdonságokból, a kartéziánusok a mindenséget kitöltő anyag részeinek formáiból és mozgásaiból származtatják a jelenségeket. Velük ellentétben Newton a jelenségek okait egyszerű alapelvekből vezeti le. Az alapelveket viszont magukból a jelenségekből egyszerű következtetésekkel nyeri, vagy más szóval bizonyos kiválasztott jelenségekből megállapítja az erők törvényeit és ezek alapján magyarázza meg a többi jelenséget.

Maga Newton a Principia harmadik könyvében [*91*, 357] adja ismeretelméleti elveit (Regulae philosophandi). „A természeti dolgoknak csak annyi okuk van, amennyi igaz és a jelenség megmagyarázásához elegendő." „Tehát ugyanazon fajta okozatok ugyanazon okoknak tulajdonítandók, addig amíg lehet." „Azokat a tulajdonságokat, amelyek tovább nem elemezhetők és amelyek valamennyi, a kísérlet által hozzáférhető testnél tapasztaltatnak, minden test közös tulajdonságaivá kell megtenni." Newton és kortársai is tehát a mozgás három törvényét olyanoknak tekintették, amilyeneknek általában a fizikai alapelveket, vagy axiómákat szokás tekinteni. A tapasztalatnak nem közvetlen adottságai, hanem azokból elkülönítő, kiválasztó, határátmeneti és általánosító gondolati folyamatokkal keletkeznek. Érvényességük és igazságértékük nem a közvetlen tapasztalatban, hanem abban van, hogy segítségükkel a tapasztalatok sokaságát gondolatilag előállítani, elrendezni és egymáshoz fűzni lehet.

Abban sincs kétség, hogy az alapelvek az okság fogalmának és elvének alapján szerkesztődtek meg, tehát velük a tapasztalattól független oksági elemet is belenézzük a természeti folyamatokba. Az erő a mozgásváltozásnak oka, vagyis oka annak, hogy a sebesség iránya és nagysága miért változik meg. A tömeg pedig fogalmi oka annak, hogy a testek nyugvásukat és mozgásukat az erő megszüntével miért tartják meg és egyszersmind fogalmi oka a testek kölcsönös egymásra való hatásának is.

Sokan abban a felfogásban vannak — közöttük Poincaré is [*98*, 92], — hogy az okságnak a természeti jelenségekbe való beleszerkesztésével elhagyjuk a fizika területét és a metafizikába

csapunk át. Nem bocsátkozhatunk most annak a kérdésnek a megvitatásába, hogy tudományos természetfelfogásunkat lehet-e metafizika nélkül megalkotni, de meg kell jegyeznünk, hogy Newton korában a fizika és a metafizika területei nem voltak egymástól annyira elhatárolva, ahogyan azt korunkban képzeljük. Nem kell tehát azon csodálkoznunk, hogy a newtoni törvények az emberi gondolkodás e két területének egymásra való hatásából keletkeztek. Ebből azonban nem következik, hogy mainap, amikor már világosan látjuk, hogy e törvények a tudomány fejlődésében mire szolgáltak, mit hoztak: metafizikai eredetüket kellene elsősorban tekintetbe venni.

A newtoni dinamikával kapcsolatban akkor támadnak nehézségek, ha szorosan ragaszkodva a három mozgási törvénynek szószerinti megfogalmazásához azokat úgy tekintjük, mint egymástól független, egyértelmű, szükséges és elegendő premisszákat, amelyekből — más fogalmak és elvek segítségül vétele nélkül — a mechanika tapasztalatilag adott törvényeit tisztán következtetésekkel elő lehet állítani. Az a kérdés azonban, melyek az egymástól független premisszák, amelyek a mechanikai jelenségek megmagyarázásához szükségesek és elégségesek, megoldva nincs és nem is valószínű, hogy valaha is megoldassék.

Newton nem matematikai értelemben vett premisszáknak tekintette azokat és az utána következő kor sem tekintette ilyeneknek. A tapasztalatból kiabsztrahált, de valóságos természeti jelenségeknek fogta fel és minden gyakorlati feladatnál úgy, ahogyan azt a természeti jelenségeknél szokás, más fogalmakat és elveket is csatolt hozzájuk. Különösen gyakran kellett az erők egyensúlyának és a parallelogramma szerinti összetételnek elvét segítségül hívni. Abban a meggyőződésben volt, hogy ezek egyszerű következményei a mozgási törvényeknek, a kérdés azonban ma is vita tárgya és sokan vannak abban a meggyőződésben, hogy a parallelogramma-elv a mozgási törvényektől független elv. Mindenképen kétségtelen, hogy a három mozgási törvényt nem lehet a mechanika szükséges és elegendő következtetési alapjának tekinteni.

Nem szabad tehát mainap a dinamikát a mozgási törvényekre, mint egyedüli szükséges és elegendő premisszákra korlátozni, hanem más elvekkel is ki kell egészíteni és a kérdést, hogy egymástól függetlenek, szükségesek és elegendők-e, tekinteten kívül kell hagyni. A tanításban már a mozgások kinematikai leírásánál célszerű a mozgások egymástól való függetlenségének dinamikai elvét bevezetni, mert a jelenségek leírásakor nagy könnyítéseket és nagy összefoglaló szempontokat kapunk vele. A kinematika tárgyalása után pedig nem célszerű mindjárt a dinamikára térni át, hanem előbb a stati-

kai jelenségeket célszerű megismertetni. Ahogyan ott a tér és az idő fogalma, valamint a mozgások függetlenségének elve, ugyanúgy itt az erő, az erők egyensúlyának és parallelogrammájának elve az a szilárd alap, amelyhez a megismerendő jelenségek fűződnek. Vele módszert kapunk erők összehasonlítására és mérésére. Az erő fogalma elveszti metafizikus elemeit és tapasztalatilag használható fogalommá alakul át.

Azután általános áttekintést is kell nyujtanunk az erő és a tömeg kapcsolatairól. A két fogalom összetartozik, bizonyos tekintetben ellentétesek, mert az egyik a mozgás aktív, a másik pedig passzív jegyeit foglalja magában, de egymást ki is egészítik. Önmagában egyik sem állhat meg. A fizika minden részében, ahol mozgási jelenségeket erővel magyarázunk, tömegnek is kell szerepelnie. A közönséges tapasztalatban a tömeg fogalmához a tétlenség és a nehézség fogalmi jegyei fűződnek. Az első azt fejezi ki, hogy a tömeg nyugvását és egyenesvonalú egyenletes mozgását megtartani törekszik, a másik pedig azt, hogy a tömegben megvan az esésre és a változással szemben ellenállásra való törekvés. A törekvés szótól ne ijedjünk meg, mert a fizikai jelenségeket végső elemzésben emberies képzetek nélkül úgy sem tudjuk leírni.

A tanítás szempontjaira való e kitérésből azt a meggyőződést meríthetjük, hogy a három mozgási törvény önmagában, sem mint szükséges és elegendő premissza, sem mint természeti törvény a dinamika kellő értelmezését meg nem alapozhatja, hanem azokat néhány más elvvel is ki kell egészíteni. Így tette már Newton is és így történt az utána következő kor gyakorlatában is. Bizonyos azonban az, hogy a három mozgási törvény alkotja a newtoni dinamika gerincét, amelyhez a többi elvek és fogalmak hozzáfűződnek.

### 3. *A tétlenségi mozgás elve.*

Newton első mozgási törvénye az elvet következőképen mondja ki: minden test nyugvásban vagy egyenesvonalú egyenletes mozgásban marad mindaddig, amíg külső erők ez állapotának megváltoztatására nem kényszerítik.

Ha értelmezésének bevezetésekor hozzávesszük az erők egyensúlyának elvét, valamint az erők összetételének parallelogramma-elvét, akkor a jelenségek sokaságának fenomenologikus leírására alkalmazható elvet kapunk vele. Így pl. a nagy magasságból ejtőernyővel leeső test mozgását, amely bizonyos távolság megfutása után egyenesvonalúvá és egyenletessé válik, megmagyarázhatjuk. ,Ugyanígy esnek a nagyon kis átmérőjű golyóalakú testecskék ellenálló közegben.

Munkavégzéseink legnagyobb része is úgy folyik le, hogy bizonyos sebesség elérése után a test egyenesvonalban egyenletesen mozog. Amikor pl. valamely testet akár közvetlenül, akár gépezetek segítségével emelünk és a test eléri állandó sebességét, létrejön a mozgó egyensúly, az alkalmazott erők csupán az ellenálló erők egyensúlyozását végzik, a test pedig elért sebességével egyenes vonalban egyenletesen mozog tovább. Valamennyi közlekedő eszközünk is úgy van megalkotva, hogy mozgásuk rendes része a tétlenségi mozgás elve szerint folyjék le. A gépezetekből származó mozgató erők csupán a mozgás kezdetén végeznek gyorsító munkát, a legnagyobb sebesség elérése után azonban már csak az ellenálló erők kiegyensúlyozásának munkáját végzik, maga a közlekedő eszköz pedig egyenletesen mozog.

A gyakorlati egyenletes mozgások fenomenologikusan úgy tekinthetők, mint a lassúdás és a gyorsulás közötti ingadozásoknak az eredményei. Majd a mozgató erő lesz valamivel nagyobb, mint az ellenálló erők rezultánsáé, a mozgás tehát rövid ideig kissé meggyorsul, majd pedig az ellenálló erők kissé megnagyobbodnak és a mozgás kissé lelassúdik. Az egyenletes mozgás a gyorsulás és a lassúdás kölcsönös kiegyenlítődése. Mindaddig, amíg a testre ki nem egyensúlyozott erő működik, mozgása gyorsuló, vagy lassuló, vagy görbevonalú. Amint azonban az erők kiegyensúlyozódnak vagy pedig a test mozgása közben erőmentes térbe jut, meglévő utolsó sebességével irány és nagyság szerint egyenes vonalban egyenletesen folytatja útját.

Ha most mindezeket az ellenálló erőket gondolatban eltávolítjuk (gondolatban csak, mert a valóságban meg nem tehetjük), akkor jutunk az erőmentes tér fogalmához, amelyre a mozgás első törvénye szó szerint vonatkozik. Gondolkozásunk arra kényszerít bennünket, hogy ahogyan az erőkkel áttértünk a határesetre, ugyanúgy a mozgással is ezt tegyük. Minthogy az erők a lassúdás okai, tehát, ha nincsenek erők, akkor lassúdás sincs. Az erőmentes térben a test meglévő sebességével egyenes vonalban egyenletesen mozog.

Egy igen nagy nehézség azonban még mindíg marad. Fizikai gondolkodási módunk össze van szövődve a Kopernikus-féle világrendszer képzeteivel, amelyek szerint a Föld tengelye körül forog és a Nap körül kering. Az utóbbi mozgást több napra terjedő időn keresztül nagy közelítéssel egyenesvonalúnak tekinthetjük, a Föld forgásával azonban nem tehetjük ezt. A Föld valamely pontjának mozgása, már néhány percre terjedő időn belől, észrevehetően eltér az egyenes vonaltól. Ha az a pont maga, ahonnét az erőmentes térben a mozgó test mozgását észleljük, nem mozog egyenes vonalban, akkor a

tétlenségi mozgást sem láthatjuk egyenes vonalúnak, hanem álláspontunk szerint mozgása görbevonalú. A görbevonalú mozgást pedig csak erő létesítheti. Ebből tehát az következik, hogy Newton első törvénye szerinti tétlenségi mozgásnak a Föld felületén sajátságos erőkben kell megnyilvánulnia. Ezek a tétlenségi erők valóban fel is lépnek és tapasztalhatók. A legismertebb a centrifugális erő, amely a nehézségi erőnek a Föld felülete mentén való változását magyarázza meg. Ismeretes továbbá a Coriolis-erő, amely a pörgetyűs iránytű működésének, a Foucault-féle kísérletnek, a légtömegek és óceánvizek áramlási irányának és több más jelenségnek megmagyarázását teszi lehetővé.

A tétlenségi mozgás elvével az egyenes vonalú egyenletes mozgás az összes tapasztalt és gondolható mozgások köréből kiemelkedik és a természeti jelenségek magyarázatában kivételes szerepet kap. A mozgásra vonatkozó képzeteinknek a folytonosság elve szerint való harmonikus elrendezése céljából szükségünk van erre az elvre, amely a mozgás önmagában való folytatódásának az elvét hordja magában. Minthogy elménkbe beleszövődött az okság fogalma és minthogy ezt a fogalmat a természeti folyamatokba is belenézzük, szükségünk van olyan mozgásra, amely folytatódásának okát önmagában hordja, mert különben az oksági kapcsolatok megteremtésével a végtelenségig kellene menni.

A tétlenségi mozgás elvével az értelem megteremtette az örökmozgó, a perpetuum mobile határfogalmát. Csak ezzel a fogalommal záródhatik le harmonikusan a mozgásra alapított természetszemléletünk. A fizika fejlődése folyamán valóban az történt, hogy a fizikusok a közvetlen tapasztalat szélső határaiba, a makrokozmoszba és a mikrokozmoszba mindenütt beleépítették a tétlenségi elven alapuló örökmozgást.

A bolygók, a holdak és az üstökösök mozgásainak értelmezésében is ez szerepel. A nehézségi erő csak a mozgások változásának az okát adja, szüntelenségüknek, folytonos folytatódásuknak oka a tétlenségi mozgásban van. De az álló csillagok is mozognak, eddigi tudásunk szerint szintén egyenes vonalban egyenletesen. Ha ezt a mozgást a Tejútrendszer tengely körüli forgásából származtatjuk, akkor is a bolygómozgás jellegére megyünk vissza, tehát a tétlenségi örökmozgást itt sem kerülhetjük el.

Ugyanígy van a mikrokozmosz világában. Itt is bőven használjuk azt. A hőjelenségeket, az elektromágneses és a sugárzási jelenségeket a molekulák, az atomok és az atomon belüli részecskék örök mozgásával értelmezzük. A kinetikus gázelmélet alapfeltevése szerint a molekula a szabad pályán egyenes vonalban egyenletesen mozog mindaddig, amíg valamely

más részecske erőmezejébe nem jut, amikor létrejön az ütközés jelensége, vagyis a sebességnek irány és nagyság szerinti megváltozása. De azután a repülő részecske kikerül az erőmezőből és a szabad pályán újból egyenes vonalban egyenletesen folytatja mozgását. Az iónok mozgása az elektrolitben nagyjában ugyanígy folyik le. A tétlenségi örökmozgásból kialakult képzeteinket bonyolódottabb alakban az elektronokra, a radioaktív és a kozmikus sugár részecskéire is alkalmazzuk.

A relativitási elmélet a tétlenségi örökmozgás fogalmának még nagyobb általánosításán alapszik. A fogalmak egész sorozatának értelmét megváltoztatja, hogy a tétlenségi mozgáshoz fűződő fogalmi elemeket — felfogása szerint — észszerűbben kapcsolhassa össze, azonban magát az elvet megtartja. Az erőmentes térben az egyenes, a nehézségi erőtérben a geodetikus vonalon való pontmozgás képviseli az új tétlenségi mozgás elvét.

Ez a mozgás a newtoni fizikában sem volt a tapasztalatnak egyszerű leírása, hanem absztrakt gondolati folyamatoknak az eredménye. Még kevésbbé az a relativitási elméletben. A gondolati folyamatok itt a tapasztalattól még messzebb eltávoztak, mint ott.

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy az ember maga is sok, közelítőleg egyenletes mozgást tudott teremteni és a tőle függetlenül végbemenő természeti jelenségben is több, közelítőleg ilyen mozgást tudott felismerni. A makrokozmosz és a mikrokozmosz jelenségeibe való belenézésével pedig egyszerű leírásokat és értelmezéseket nyert úgy, hogy vele új jelenségekre is tudott következtetni.

### 4. *Az erőhatás elve.*

Newton második mozgási törvénye szerint a mozgás változása arányos a külső mozgató erővel és abban az irányban történik, amerre az erő kényszeríti. Matematikai alakban megfogalmazva

$$p = m.\, s''$$

ahol $p$ a mozgató erőt, $s''$ a gyorsulást jelenti irány és nagyság szerint, $m$ a mozgó test tömegének a mértéke.

A törvény valóban egyszerű és ép azért méltó arra, hogy a mindenség folyamatainak alaptörvényévé váljék. Egyszerűsége egyszersmind tanúbizonyságot tesz származásáról. A tapasztalat maga mindíg bonyolódott és sohasem nyilatkozik meg ilyen egyszerű alakban. Csak az értelemnek a maga felsőbbséges uralkodói hatalmával van joga ilyen egyszerűséget

előírni. És mégis még ma is sokan vannak, akik különféle ravaszságokkal és mesterséges módszerekkel tapasztalati úton akarják bebizonyítani.

Az erőt közvetlenül még senki sem tapasztalta. Az nem érzékleti dolog, amelyet a természet készen nyujt nekünk, hanem gondolati folyamatokkal megállapított fogalom, amelynek elemei az emberi műveleteknek két legjellemzőbb módjából, a húzásból és a nyomásból alakultak ki. A tömeg szintén gondolati termék. A sokféle érzékelhető test fogalmából származik ugyan, azonban benne a nagyszámú jegyekből gondolatilag csak azok különültek el, amelyek a mozgás megtartására és a változtatással szemben való ellenállásra vonatkoznak.

Csak a harmadik fogalom, a gyorsulás az, amelyet a tapasztalat adataiból meg lehet határozni. A relativitási elmélet ugyan ezt a fogalmat sem tartja tapasztalatinak, mert szerinte az abszolút tér és az abszolút idő mértékeivel volna csak kifejezhető, amelyek nem a tapasztalat tárgyai. A kritika azonban nem jogos, mert a több mint kétszázéves tudományos gyakorlat — akár földi, akár égi mozgásokról volt szó — a mozgó testek helyadatait nem az ismeretlen abszolút térre vonatkoztatta, hanem a távolságokat valamely valóban meglévő és érzékelhető testektől számította, az időt sem az ismeretlen abszolút idővel, hanem valóságos órákról leolvasható helyi vagy csillagászati idővel fejezte ki. A mozgás második törvénye szerinti számítások mégis beváltak, a tapasztalattal igazolódtak. Tehát csak akkor, ha a mozgás második törvényét minden áron abszolút törvénynek akarjuk tekinteni, aminek semmi értelme nincs, mondhatjuk azt, hogy a gyorsulás tapasztalati úton meg nem határozható.

A törvényben szereplő három mennyiség közül kettő, az erő és a tömeg határozatlan, tehát a törvény úgy, ahogyan van, sem nem bizonyítható, sem el nem vethető. Értelmét, jelentőségét és alkalmazhatóságát csak azok a további fogalmi elemek határozzák meg, amelyekkel az erő és a tömeg egyelőre határozatlan fogalmait határozottakká tesszük.

A törvény ilyen alakban nem egyéb, mint az oksági törvénynek alkalmazása a mozgási jelenségekre. Minthogy a newtoni fizika felfogása szerint a tömeg a testnek a mozgástól független, változatlan jellemzője, ellenben az erő valami olyan, amely kívülről származik, azért az erőnek, mint oknak az okozatja a gyorsulás. A második törvény mint oksági törvény általános megismerési elveket visz bele a mozgási jelenségek értelmezésébe. Ilyen elv mindenekelőtt az, amely szerint egyenlő okok egyenlő okozatokat hoznak létre és fordítva, egyenlő okozatok csak egyenlő okokból származhatnak. Átírva a dinamikára ez azt jelenti, hogy egyenlő erők egyenlő tömegeknek

egyenlő gyorsulásokat adnak, továbbá azt, hogy a gyorsulás annyiszor nagyobbszik, ahányszor nagyobbszik a testre ható külső erő.

Tehát látszólag elvi alapokat kaptunk erők és tömegek mérésére. A tankönyvek és a tudományos kézikönyvek valóban ez elv alapján írják elő a mérési módszereket. „Valamely normális test tömegét tömegegységnek választjuk; az az erő, amely ennek a testnek egységnyi gyorsulást ád, az erő egysége. Más test tömegét úgy határozzuk meg, hogy az erőegység hatásának tesszük ki. Az így lemért gyorsulás reciprokus értéke a tömeg mértéke. A tér valamely más helyén működő erőt úgy mérjük meg, hogy az egységnyi tömeget a térnek arra a helyére visszük, megmérjük a gyorsulását, ez adja az erő mértékét" [*116*, 88].

Ez mind valóban nagyon szép gondolat, azonban Poincaré [*98*, 93] már régebben kimutatta, hogy e fogalmi meghatározás csak szemfényvesztés és minden tanár, akinek a dinamika alapelveibe kell bevezetnie hallgatóit, csak igazat adhat neki, mert tudja, hogy keresztül nem vihető. Valamely testre ható erőt ugyanis nem lehet egyszerűen leakasztani a tömegről és egy másikhoz kapcsolni, mint ahogyan leakasztják a gőzmozdonyt, hogy más vonathoz kapcsolják. Lehetetlen azt is tudni, hogy milyen gyorsulást létesít az oly erő, amelyet előbb emilyen testre alkalmaztunk, egy amolyan másik test mozgásában, ha csakugyan reá alkalmazhatnók.

Valójában úgy áll a dolog, hogy a mozgás második törvénye önmagában, ha a benne szereplő erő és tömeg határozatlan fogalmait más megismeréseknek hozzájuk kapcsolásával határozottá nem tesszük, a mozgások megmagyarázására alkalmatlan és a tudományos kutatás számára terméketlen is maradt volna.

Az erő fogalmához azonban már sok évszázaddal a második törvény megfogalmazása előtt is jól meghatározott más fogalmak és elvek is kapcsolódtak. Először is az erők egyensúlyának és összetételének elve, amelyet mint a tétlenségi törvény értelmezéséhez szükséges elvet már fentebb is említettünk. A második törvény az erőnek csak egy szerepet ád, azt, hogy mozgásváltozásokat kell előidéznie. Az évezredes tapasztalat azonban az erő számára az egyensúly létesítésének szerepét is kijelölte, amikor is a testre működő egyenlő nagy, de ellenkező irányú erők egymás mozgató hatását megsemmisítve a test mozgási állapotában változást nem hoznak létre.

Ahogyan a mozgás első törvényét, ugyanúgy a mozgás második törvényét sem értelmezhetjük az erők egyensúlyának és összetételének elvei nélkül. Már azért sem, mert csak így kapunk egyszerű módszert a statikai erők összehasonlítására,

egyenlő értékességüknek megállapítására, szóval az erők mérésére. Így az erő fogalma tartalmat kap és határozottá válik.

Hogy a mérés által határozottá tett statikai erőt dinamikailag, vagyis mint mozgásváltoztató erőt is használhassuk, még egy elvet, a statikai és a dinamikai erők egyenlőségének elvét kell hozzácsatolnunk. Ez elv szerint a mozgásváltoztatást előidéző dinamikai erő mértéke ugyanaz, mint a statikailag mért erőé. Ez sem új dolog. Az elvet maga Newton is használta és használták az utána következő tudósok is minden adott esetben.

Az említett elvek hozzácsatolásával az erő fogalma a filozofikus okfogalmak köréből kiemelkedik, metafizikus ködét lehányja magáról és a tapasztalat által ellenőrizhető fizikai fogalommá alakul át.

A tömeg fogalma is metafizikus eredetű. E jellegét szintén csak úgy szüntethetjük meg, ha mérhetővé tesszük. A mérés pedig itt is önkényes emberi választáson alapszik. A természet seholsem írja elő, hogy mit, hogyan, minő módszerrel és minő elvek alapján kell mérni. Az emberi értelem a maga uralkodói jellegénél fogva önhatalmúlag dönt ebben a kérdésben. A döntés itt is már a newtoni fizika megjelenése előtt megtörtént. Az emberiség hozzászokott ahhoz, hogy a testek anyagmennyiségét súlyuk alapján mérje. A tudomány sem tehetett mást: a szokás alapján általánossá vált eljárást beleszőtte a maga fogalmi világába. Newton sem kételkedett, kortársai, valamint az utána következő fizikusok sem kételkedtek soha abban, hogy a közvetlen tapasztalat világában a testek tömegét súlyukkal kell mérni.

Amikor azonban a fizikai megismerés alapjait keressük, nem hagyhatjuk figyelmen kívül, hogy ez a mérés az értelemnek önhatalmú döntése volt, amely konvenció alapján vált általánossá. E döntéssel tehát a newtoni dinamikába egy újabb elv szövődött bele, az, hogy a testek tömege arányos a súlyukkal. A tapasztalat nem bizonyíthatja ezt, de el sem vetheti, mert a tömeg filozofikus eredetű okfogalom és mint ilyen, nem esik a közvetlenül tapasztalható dolgok sorába. Éppen ez elv alapján emelkedik ki a tömeg fogalma az okfogalmak filozofikus köréből és metafizikus elemeit lehányva magáról, válik a tapasztalat által ellenőrizhető határozott fizikai fogalommá.

Sajátságos módon e fogalommal kapcsolatban is sok zűrzavar lopódzott be a tudományba. Sokan bizonyítják, hogy a tömeg arányos a súllyal. Az okoskodás ilyenformán megy végbe: legyen két test tömege $m$ és $m_1$, súlyuk $p$ és $p_1$, a szabadesés gyorsulása (amely minden testnél ugyanaz) $g$, akkor a második törvény szerint

$$p = mg, \text{ és } p_1 = m_1 g, \text{ tehát } p : p_1 = m : m_1.$$

Mi ebben az anyira világosnak látszó okoskodásban a hiba? Az, hogy máris a második törvény érvényességéből indul ki. A premissza az, hogy a második törvény igaz, abból következik a tömegeknek a súlyukkal való arányossága. Igen ám, csakhogy a második törvénynek csak akkor van értelme, ha előbb vagy definició útján, vagy valamilyen elv alapján, vagy a tapasztalat alapján a tömeget mérhetővé tesszük. A bizonyítás tehát látszólagos. Nem egyéb, mint közönséges petitio principii. Mindaddig, amíg a tömeg fogalmát valami módon határozottá nem tesszük, a második törvénynek nincs fizikai jelentése és nem lehet belőle fizikai mennyiségekre következtetéseket vonni.

Az erők egyensúlyára és összetételére, a dinamikai erők statikai mérésére és a tömegeknek súllyal való mérésére vonatkozó elvek kiegészítésével a második törvény elveszti definicionális jellegét és a tapasztalattal ellenőrizhető fizikai törvénynyé válik. Hogy ezzel a megismerés szempontjából milyen nagy lépés történt, azt a törvény néhány alkalmazásának ismertetésével fogjuk igazolni.

A ballisztikával foglalkozó tudósok a lőporgázok nyomó erejének meghatározása céljából az ágyúcső belső falába, egymástól egyenlő távolságra kis lyukakat furatnak és azokba ólomhengereket szorítanak bele. A robbanás megtörténte után a gázok nyomó ereje a lövedéknek gyorsulást ád és a kis ólomhengereket összenyomja. Az összenyomódás mértékéből statikai úton meg lehet állapítani a gázok nyomóerejének a nagyságát. Minthogy pedig a lövedék sebességét, valamint a csőben való futásának időtartamát szintén meg lehet határozni és a surlódás szerepét is számításba lehet venni, utólag tapasztalati úton igazolni lehet, hogy a mozgás valóban a második törvény szerint ment végbe nagy közelítéssel. Az egyes lőporfajták nyomóerői tehát, mint tapasztalati adatok, táblázatokba foglalhatók és minden további esetben a különböző tömegű lövedékek sebességének a második törvény alapján való kiszámítására felhasználhatók.

Még nagyobb eredményeket hozott létre a rugalmas erőnek a második törvénnyel kapcsolatos alkalmazása. Igen egyszerű kísérleti módszerek mutatják, hogy a rugalmas erő statikailag mérve, az alakváltozással arányos. Ha a statikailag mért erőt a mozgást változtató dinamikai erővel azonosnak vesszük és a tapasztalati megismerésnek megfelelően $a$. $s$-sel jelöljük, ahol $a$ egy tapasztalati állandót, $s$ pedig a pontnak az alakváltozás következtében előálló elmozdulását jelenti és a második törvényt alkalmazzuk, kapjuk az

$$a.\ s = m.\ s''$$

egyenletet: mindenfajta rezgésnek és hullámmozgásnak tapasztalati alapú egyenletét, amelyből a jelenség lefolyását megismerhetjük. A hangra, a fényre, a földrengésekre, az apálydagályra, a váltakozó áramokra, az elektromágneses hullámokra alkalmazható egyenlet felsorolhatatlanul sok megismerésnek vált a forrásává. Jelentősége még az égi testek mozgási egyenleteinél is nagyobb.

Az erő fogalmának nem egészen határozott gondolati elemei alkalmasak voltak továbbá arra, hogy a kutatók tervezgető, próbálgató folyamatait ingerelve más úton is olyan megismeréshez vezessenek, amelyek a mozgás második törvényéből, definicionális jellegét beszüntetve, határozott jelentésű természettörvényt csináljanak.

A legnagyobb jelentőségű ilyen gondolatfolyamat az volt, amellyel Newton a nehézségi erő törvényéhez jutott. Kepler törvényeinek elemzéséből megállapította, hogy a bolygókat csak olyan erő térítheti ki az egyenes vonalú egyenletes mozgásból, amely a Nap középpontja felé irányul és a távolság négyzetével fordítva arányos. Ebből arra következtetett, hogy a holdak és főbolygóik, tehát a Hold és a Föld között is ilyen természetű erőnek kell működnie. A Hold centripetális gyorsulását összehasonlítva a nehézségi erőnek a Föld felületén érvényes gyorsulásával, meggyőződött arról, hogy ez az erő valóban a távolság négyzetével fordítva arányos. Így a két égi test között működő, a tömegekkel arányos s a távolság négyzetével fordítva arányos erő tapasztalati alapot kapott.

A mozgás második törvényében tehát a határozatlan $p$ erő helyett a — noha hipotetikus, — de határozott jelentésű

$$\frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

erőt lehetett helyettesíteni* és az egyenletet át lehetett alakítani számításra alkalmasabb alakba. Így keletkeztek az égitestek mozgási egyenletei, amelyek a bolygók, a holdak, az üstökösök helyének és sebességének, a mult és a jövő minden időpillanatára való meghatározását elvileg lehetővé teszik, ha helyük és sebességük bizonyos pillanatban előre meghatároztatott. Az égitestek mozgásának ilyen úton való meghatározhatósága az elméleti fizika legnagyobb sikerét és dicsőségét jelentette.

Érthető, hogy e sikerek után a tömegvonzási erőtörvény lett a tervezgető elmék mintája. A távolság negatív hatványai-

* Határozott jelentésű akkor, ha $m_1$-nek és $m_2$-nek ugyanolyan jelentést adunk, mint a földi tömegeknek.

val arányos erőknek egész sorozata eszeltetett ki és próbáltatott meg. Nagyon csábító volt a gondolat egyszerűsége, hogy az erő csak a távolság különféle hatványainak a függvénye és, hogy csak a kitevőt kell változtatni, hogy a legkülönfélébb jelenségeket törvényszerűségek uralma alá hajthassuk.

Laplace és Gauss erre a mintára csinálta a hajcsövességi jelenségek elméletét. Sőt Laplace a „Mécanique céleste"-ben még ki is fejtette, hogy a hajcsövességi jelenségek a tömegvonzás külön esetei, ezért ne csodálkozzék senki azon, hogy ez a tárgy az égi mechanikáról szóló könyvben szerepel. Biot az optika utolsó titkát vélte felismerni, amikor bizonyíthatta, hogy az aeter-atomok a távolság hatodik hatványával fordítva arányosan vonzanak [*99*, 131] és Maxwell is a gázatomok lökő erejét a távolság ötödik hatványával tette fordítva arányossá.

Coulomb az elektromos és a mágneses erők törvényét az eredeti Newton-féle minta szerint alkotta meg és, hogy betű szerint lemásolhassa, hipotetikus elektromos és mágneses tömegeket gondolt ki. Ugyane törvények mintájára alkotódott meg a Biot—Savart-féle elektrodinamikai elemi törvény. Az ilyen gondolati alkotásoknak utolsó példája a Weber-féle elektrodinamikai alaptörvény volt. De már éppen nem volt egyszerű, mert az erők kifejezésébe a hipotetikus tömegeken és távolságokon kívül még a sebességet is bele kellett szerkeszteni..

### 5 *A tömegek kölcsönhatásának elve.*

Az elvet Newton harmadik mozgási törvénye nem egészen szerencsés megfogalmazásban következőkép fejezi ki: az erő hatása mindig egyenlő a visszahatásával, vagyis két testnek kölcsönös egymásra tett hatásai egyenlők és ellenkező irányúak.

Nem szerencsés e megfogalmazás, mert az erőnek kétféle hatásáról, az egyenes hatásáról és a visszahatásáról beszél, a nélkül, hogy megmondaná, mit ért e kifejezéseken. A példák sem mondhatók szerencséseknek, amelyeket Newton e törvényéhez hozzáfűzni szükségesnek tartott. „Ami nyom vagy húz, azt nyomja és húzza a másik is. Ha valaki ujjával megnyom egy követ, az ujját nyomja a kő is. Ha a ló kötélre kötött követ húz, a lovat ugyanazon mértékben húzza a kő is" [*91*, 13].

E kifejezések belekerültek a tankönyvekbe és kiirthatatlanokká váltak. Pedig bennük több dolog van összezavarva. Először ki akarják fejezni az erők egyensúlyának elvét, amely szerint egyenlő nagy de ellenkező irányú erők a test mozgásállapotán változást nem tesznek. Másodszor azt a tapasztalati ismeretet is ki akarják fejezni, hogy a testek nem merev testek, te-

hát a reájuk ható külső erők nemcsak az egész test mozgásállapotán tesznek változást, hanem az alakját is megváltoztatják, aminek folytán rugalmas ellenerők ébrednek fel. Harmadszor a tétlenségi ellenállásból is képzeteket akarnak nyujtani, amely szerint a külső erővel szemben a testben ellenerő ébred fel. Mindezeknek az ismereteknek tulajdonképpen nincs közük a mozgás harmadik törvényéhez.

Azokból a példákból, amelyekben Newton e törvényét számításra alkalmazza, tűnik ki helyes értelmezése. Vele akarja kimondani, hogy az erő sohasem származhatik az ürességből, hanem csak egy másik testből. A mozgás harmadik törvénye tulajdonképen azt mondja ki, hogy minden erő egyidejűleg két test között működik, vagyis minden erőnek két támadó pontja van. Az egyik testen létrejövő változást hatásnak, a másikon létrejövőt visszahatásnak nevezhetjük mi, de a tőlünk független természetnek ehhez az elnevezéshez semmi köze sincs. A természet nem tesz különbséget a két test között, valamint a hatás és a visszahatás között. Az erő sohasem hathat csak egy elkülönített tömegre, hanem legalább még egy másik tömegre is kell hatnia. Ha valahol egy elkülönített tömegen valami erőhatást veszünk észre, tudnunk kell, hogy van egy másik tömeg is, amelyen ugyanakkora, de ellenkező irányú erőhatás lép fel. A nehézségi erő, mely a Föld és a Hold között működik, nemcsak a Holdat, hanem a Földet is kitéríti pályájából, aminek folytán a két test a közös súlypont körül kering. Hasonlóképen a bolygók és a Nap között működő nehézségi erő hozza létre azt, hogy nemcsak a bolygók, hanem a Nap is a közös súlypont körül kénytelen keringeni. Ugyanezt teszik a kettős csillagok. És ha valamely bolygó vagy üstökös keringése közben valamely más bolygó közelébe jut, mindkét égitestnek egyéb erők által kiszabott pályája megváltozik.

A newtoni égi mechanikának alaptörvénye a mozgás második és harmadik törvényének összekapcsolásából származik.

### 6. *A newtoni dinamikával kapcsolatos megismerési problémák.*

A mult század második felétől kezdődőleg a legújabb korig a newtoni dinamika fogalmairól és elveiről számos ismeretelméleti megjegyzés merült fel. Lényegben véve valamennyi arra a határmesgyére vonatkozik, amelyben a tapasztalat a gondolattal érintkezik.

A relativitási elmélet híveinek részéről [*48*, 38] ismételten elhangzott a kifogás, hogy a tétlenségi mozgás törvényének a dinamika élére való állítása nincs megokolva, mert ezt a moz-

gást soha senki sem tapasztalja, ellenben általános tapasztalat az, hogy minden test ugyanazzal a gyorsulással esik.

A kifogás nem jogosult, mert a tétlenségi mozgás és a szabadesés között a tapasztalat és a gondolat szerepe szempontjából nincs különbség. Egyik úgy mint a másik a tapasztalat elemeiből gondolati folyamatokkal alakult ki, közvetlenül tehát egyik sem tapasztalható. A tétlenségi mozgás az erőmentes tér, a szabad esés pedig a vákuum absztrakt fogalmát követeli. A kettő között nincs lényeges különbség. A vákuum is oly teret jelent, amelyből gondolatilag minden más erő el van távolítva, csupán a nehézségi erő marad meg benne. Sem az erőmentes teret, sem a vákuumot tapasztalható alakban előállítani nem lehet.

De más szempontból sem állja meg a helyét az említett kifogás, mert alapelv nem is lehet közvetlenül tapasztalható tény. Valamennyi alapelvünk nem a közvetlen tapasztalatot, hanem absztrakt fogalmak absztrakt vonatkozását fejezi ki. Ez a megállapítás természetesen a relativitási elméletben szereplő fogalmakra és elvekre is érvényes.

De maguk a relativisták is fényes bizonyítékát adták annak, hogy kifogásuk nem helyes. Ugyanis ők is elméletük élére a tétlenségi mozgás elvét állítják. Mert a részleges relativitási elv nem más, mint a tétlenségi mozgás elvéből vont — talán nem egészen jogosult — matematikai alakú következtetés. Az általános relativitási elv azt még kiterjeszti tetszés szerinti mozgó rendszerekre. A tér-idő négyméretű rendszerének geodetikus vonalán való mozgás tétele nem egyéb, mint a tétlenségi mozgás elvének általánosítása. Ha sikerült volna az általánosítást még messzebb vinni, amire számos matematikai elme törekedett, az elektromos és mágneses erők is el lettek volna tüntetve és a tér-idő újabb szerkezetet kapott volna úgy, hogy benne mindenfajta mozgás tisztán tétlenségi mozgásként lett volna gondolatilag előállítható. A relativitási elmélet valójában úgy tekinthető, mint a tétlenségi mozgás elvének legmesszebbre vitt általánosítása.

Az ellene felhozott legelső kritikai megjegyzések azt kifogásolták, hogy nincs benne megmondva, mire vonatkozólag egyenes vonalú a pálya. Az a mozgás ugyanis, amely a Földhöz képest egyenes vonalúnak látszik, a Napról nézve nem az, hanem csigavonalszerű [*90*, 18; *73*, 112].

Hasonló kifogás volt az is, hogy a törvényben nincs megmondva, mely időegységek alapján kell az egyenletességet megállapítani. Az idő egyenletessége ugyanis szintén nem tapasztalati adottság, hanem függ attól, milyen időegységgel mérjük.

Általában pedig az az ellenvetés, hogy Newton törvényeiben nincsenek megjelölve a térbeli és időbeli koordinátarend-

szerek, amelyekre vonatkoztatva érvényesek. E felfogás szerint tehát természeti törvények érvényességét csak úgy lehetne megállapítani, ha a tőlünk függetlenül végbemenő kozmikus történésekben tapasztalatilag adva volna olyan koordinátarendszer és olyan időmérési módszer, amelyet a tőlünk független természet kényszerítene reánk és így részünkre szükségszerűleg következnék, hogy minden mozgást erre a rendszerre kell vonatkoztatni és az időt is ezzel kell mérni.

A hiányok eltüntetésére és a törvények szigorú megfogalmazására különféle módszerek gondoltattak ki.

Neumann C. szerint föl lehet tenni, hogy a mindenségben van egy úgynevezett Alfa-test, amely abszolúte nyugszik és akkor a tétlenségi mozgás pályája a testre vonatkozólag egyenes. Az egyenlő időközöket pedig a tétlenségi mozgást végző test egyenlő útjaival kell mérni [*90*].

Lange viszont abban a felfogásban volt, hogy szigorú kinematikai megfontolások alapján kikövetkeztethető olyan „inerciál"-rendszer, amelyre vonatkozólag a tétlenségi mozgás törvénye szigorúan érvényes [*73*]. Ez ugyan nem sikerült, azonban az inerciál-rendszernek, mint olyan koordinátarendszernek a fogalma, amelyben Newton mozgási törvényei szigorúan érvényesek, megmaradt a tudományban és különösen a relativitási elmélet használja sokszor.

Ugyanebbe a gondolatkörbe tartoznak mindazok a kifogások, amelyek az abszolút tér és az abszolút időre vonatkoznak. A 20. század fizikusainak, akik már a szigorú és szabatos matematikai definíciók fogalomkörében növekedtek fel, feltünt az abszolút tér és az abszolút idő szó és arra a meggyőződésre jutottak, hogy ezekhez a szavakhoz fizikai értelmet fűzni nem lehet. Tehát arra következtettek, hogy Newton törvényeinek sem lehet értelmet adni, mert azok az abszolút térre és időre vonatkoznak.

Mindezek a kritikai megjegyzések az abszolút szóval űzött miszticizmusból fakadtak. A fizikusok, akik Newton dinamikáját kétszáz éven át használták, nagyon jól tudták, hogy úgynevezett „abszolút" vonatkozási rendszer nincsen. A dinamika törvényeit tehát az eset szerint a legkülönfélébb vonatkozási rendszerekben fejezték ki. Mozgó testeken végbemenő mozgásoknál maguk ezek a testek adták a vonatkozási rendszert, tehát az egyenes vonal megállapításának, valamint a távolságmérésnek az alapját. A földi mozgásoknál a Föld szilárd teste határozza meg a vonatkozási rendszert. Ha azonban hosszabb ideig tartó mozgásokról volt szó, amikor a Föld tengelyforgásának hatását is tekintetbe kellett venni, akkor a Föld középpontján át fektetett és az állócsillagok helyzete által meghatározott rendszer szolgáltatta a szilárd vonatkozási rendszert.

A bolygók mozgásánál a Nap középpontján át fektetett és valamely állócsillag által meghatározott rendszer került a helyébe. A csillagászok az állócsillagok saját mozgásának megállapításakor szintén választott vonatkozási rendszert használnak és ezekből egy fundamentális rendszer megszerkesztésére törekszenek.

Newton törvényei kisebb-nagyobb közelítéssel minden esetben beváltak. Nyilvánvaló tehát, hogy nincs szükség minden esetre alkalmazható egyetlen vonatkozási rendszerre, hanem minden adott problémánál magától adódik az. Az időmértékek tekintetében sem különösen igényesek e törvények, megelégszenek a konvencionálisan megállapított közhasználatú időmértékkel, melyet óráink mutatnak.

A newtoni dinamika törvényeit semmiképpen sem illeti meg az „abszolút" jelző. Sőt ellenkezőleg, jellegzetes formái az esetekhez alkalmazkodó relatív megismeréseknek. Ha az alapokat kellő analízisnek vetjük alá, ki fog tünni, hogy a relativitási elméletet inkább illeti meg ez a jelző, mint Newton dinamikáját.

A newtoni fizika a mozgási jelenségek gondolati előállítására készített fogalomrendszer. A mozgási törvények nem fejezik ki közvetlenül a tapasztalatot, nem is következményei valamilyen feltételezhető „apriori" igazságoknak, önkényesen megszerkesztett matematikai igazságoknak sem tekinthetők, hanem olyan elvek, amelyek az emberi értelem fokozatos fejlődésében a tapasztalat elemeiből gondolati átdolgozással alakultak ki; érvényességük köre minden egyes esetben külön megállapítható.

A felhasznált fogalmak két fő típushoz tartoznak. Az egyiket a pont és az egyenes, a másikat az erő és a tömeg képviseli. A négy fogalom maga is át- meg átszövi az egész dinamikai rendszert és új fogalmaknak alkotó elemeivé is vált.

A pont és az egyenes határátmeneti fogalmak. Belőlük épültek fel a tér és az idő fogalmai. A hátteret ezek alkotják. Minden adott esetben azonban visszavezethetők érzékelhető testekre. Az erő és a tömeg az okfogalmak csoportjába tartozik. Bennük az emberi értelem a maga szuverénitásának alapján az ember saját működésének formáját nézi bele a természetbe. Ezek vezetik a gondolatot és ha sikeresen töltik be szerepüket, az értelemtől tapasztalati meghatározást is kapnak és tapasztalatilag ellenőrizhető fogalmakká alakulnak. A dinamikai törvények feladata kettős. Egyrészt a tapasztalat nagy kiterjedésű tömegének áttekintését és egyszerű leírását teszik lehetővé, másrészt a legfelsőbb és sokszor bevált feltételeket adják meg számunkra, amelyekből a jelenségek lefolyására következtetni lehet.

Tehát nem lezárt abszolút igazságok, hanem további fejlődésre, újabb elvek vagy újabb fogalmak becsatolására alkalmas tételsorozatok, amelyek tapasztalati igazolásoknak vannak alávetve.

### 7. *A mechanika matematikai alakú elvei.*

A 18. század matematikus-fizikusai a newtoni dinamika törvényeinek az égi testekre való alkalmazásában sok sikert értek el. Azonban azt tapasztalták, hogy ugyanez a rendszer a földi mechanika problémáira való alkalmazásában nagyobb bonyolódottságokkal jár. Az égi testek mozgásai szabad mozgások, amelyekre a newtoni fogalmak közvetlenül alkalmazhatók, ellenben a földi mechanikai problémákban rendesen kényszermozgások szerepelnek, amelyeket különféle feltételek korlátoznak. Kifínomodott matematikai érzéküket a sok durva tapasztalati fogalmi elem is bántotta, amely Newton törvényeihez fűződik. Bántotta továbbá őket az elvek és a fogalmak sokasága; szükséges, elegendő és egymástól független voltukról sem voltak egészen meggyőződve.

Minthogy a kényszermozgások feltételeit matematikai alakban lehetett csak kifejezni és a valóságos numerikus számítást csak azután lehetett megkezdeni, ha előbb meg volt szerkesztve a mozgás egyenlete, ezt pedig az analitikai geometria módszerével lehetett csak kifejezni: mindezek folytán és sok más egyéb okból az ideáljuk oly matematikai egyenlet volt, amely Newton valamennyi törvényét magába foglalja, illetőleg azokat teljes értékben helyettesíteni képes.

Felfogásukban megerősítette őket Fermatnak elve, amely szerint a természet mindíg valamilyen legrövidebb folyamattal dolgozik. Az elv metafizikai eredetű volt ugyan, de a geometriai optika tapasztalati törvényeit egyszerűen lehetett vele igazolni. A korszak egyéb megismerései is mutatták érvényességét. A növények és az állatok úgy vannak megalkotva, hogy a lehető legkevesebb anyaggal a legnagyobb szilárdság, a legnagyobb ellenállóképesség, vagy általában valamiyen szélső értékű cél valósul meg bennük. Newton tétlenségi mozgásának törvénye is ez elv következményének tünt fel előttük. Ugyanígy voltak értelmezhetők az esési jelenségek is. „Minthogy a világ a legtökéletesebb, — írja Euler — nem lehet benne semmi, amiben valami legkiválóbb tulajdonság meg ne nyilatkoznék, tehát nem lehet kétség aziránt, hogy a világ jelenségei a maximum-minimum-számítás által a célokból és a ható okokból levezethetők".

Közben a fizikai fogalmak örök forrása, az ember mű-

veletvégző-képessége is újabb fogalmakat adott a mechanika számára. Ugyanazokból az elemekből, amelyekből annak idején az erő fogalma alakult ki, némi módosítással a munka, a helyzeti és a mozgási energia fogalmai keletkeztek. Az erő fogalma az első helyről a második sorba került. Az elsőrendű szerepet az erőfüggvény és a potenciál vette át. Az erő maga potenciáleséssé, a potenciál vagy az erőfüggvény differenciálhányadosává alakult át. A nyers tapasztalati elemek eltűntek és helyükbe absztraktabb fogalmak léptek, amelyek a matematikus-fizikusok kifínomodott ízlését jobban elégítették ki. De éppen absztrakt voltukkal olyan jelenségtartományokra is alkalmazhatók voltak, amelyekben az erő fogalmának alig lehetett volna értelmet adni.

A mechanikának ilymódon kialakult matematikai elvei nagyon különböző alakban jelentkeztek. Az úgynevezett differenciál-elvek csoportja, nevezetesen d'Alembert egyenlete, a virtuális elmozdulások elve, Lagrange egyenlete lényegben véve ugyanazokat a megismerési elemeket foglalja magában, amelyek Newton második törvényével vannak kifejezve. Az integrál-elvek, a legkisebb működés, a legkisebb kényszer, a legkisebb hatás elvei a metafizikai teleologikus természetszemléletnek a mechanikai problémákra való alkalmazására alakultak. Kellő analízissel azonban Newton törvényeivel kapcsolatba voltak hozhatók. Ezek a matematikai alakú mechanikai elvek tehát egyetlen egyenletben vagy egymáshoz kapcsolt egyenletcsoportban fejezik ki azt, amit Newton mozgási törvényei egymástól elkülönítve mondanak ki. Bizonyításra épúgy nem szorulnak, mint ahogyan Newton törvényeit sem lehet bizonyítani. Csak azt lehet megmutatni, hogy egymásból levezethetők. Érvényességüket az igazolja, hogy adott esetekben velük a tapasztalatban bevált mozgási egyenletekhez lehetett jutni. Belőlük is le lehet vezetni a mechanikának a tapasztalatban sokszor bevált általános tételeit: a mechanikai energia megmaradásának elvét, a súlypont tételt, a fölület-elvet, amelyek Newton törvényei alapján is levezethetők.

Az egyenletekkel való leírási mód némi módosítással kiterjesztetett a folyadékok leírására is, amiből a hidrodinamika alapegyenletei származtak.

E felfogásnak legjellegzetesebb képviselői a Maxwell-féle egyenletek, amelyekben az elektromosság-mágnesség tapasztalati törvényei olyan módon vannak összefoglalva, hogy a rendszer beálló változásait egy hipotetikus közeg (az aeter) erőmezőjének mágneses és elektromos térintenzitásaival, illetőleg azoknak változásaival állítják elő.

Az elméleti fizikusok hosszú időkön át folytatott ilynemű műveleteikkel arra a meggyőződésre jutottak, hogy az

elméleti kutatásban felesleges okokat, elveket, axiómákat, alaptörvényeket keresni, e helyett meg kell elégednünk egy alapegyenlettel vagy ilyeneknek a csoportjával. Ha ezekből matematikai következtetések alapján el lehet jutni a tapasztalatból ismeretes összefüggésekhez, akkor az elméleti fizika elérte emberileg elérhető végső célját. Ez tulajdonképen új ismeretelméleti elv, amely azt mondja ki, hogy a természetmegismerésnek végső és legfelsőbb állomása, amelyen túl nem mehetünk: az alapegyenlet. Ha ezt ismerjük, akkor a tapasztalati adottságok matematikai-logikai úton leszármaztathatók és ezzel mindent tudunk, amit emberileg tudni lehet.

Az elméleti fizikában az elv általánossá vált. A relativitási elmélet és a kvantummechanika is ilyen alapegyenletek szintetikus megalkotására törekszik. Az elméleti fizikusok tervezgetésekkel, próbálgatásokkal olyan egyenleteket igyekeznek felállítani, amelyekből következtetésekkel a tapasztalatból ismeretes összefüggésekhez lehet jutni.

# VIII. A RELATIVISZTIKUS MECHANIKA.

A relativitási elméletet úgy szokás tekinteni, amely mint relativisztikus mechanika a newtoni helyébe lép. A felfogás nem helytálló, mert megfeledkezik a két tudomány teljesen eltérő jellegétől és céljától. Newton a közvetlen tapasztalatból indult ki, a jelenségeket a tér, az idő, az erő és a tömeg fogalmára, mint régi idők óta mindenki számára ismeretes („quam omnibus notissima") alapfogalmakra vezette vissza. Legfontosabb törvényét, a mozgás második törvényét azért adta határozatlan egyenlet alakjában, hogy a különféle tapasztalatok befogadására alkalmassá tegye. A kétszázéves fejlődés valóban a különféle erőtörvényeknek és tömegfogalmaknak a tapasztalat alapján való alkotásával és a második törvénybe való becsatolásával ment végbe. Newton a közvetlen tapasztalat alapján állva tekintett a makrokozmosz és a mikrokozmosz felé.

Nem úgy Einstein. Új ismeretelméleti alapból és új világfelfogásból kiindulva az értelem szuverén hatalma alapján apriori előírta, hogy az igazi természettörvénynek a tapasztaló álláspontjától független matematikai alakú invariánsnak kell lennie. Nem lehet mindent észlelni, hanem az észlelendő mennyiségeket úgy kell megválasztani, hogy az előírt feltétel teljesedjék. A természettörvény mibenlétét nem a tapasztalat, hanem az értelem határozza meg. A tapasztalás tehát, mint önálló ismeretszerző módszer Einstein világfelfogásában el nem helyezhető, csak az értelemnek van joga és módszere új megismerések teremtésére. A tapasztalat azokat utólag igazolhatja; de ha nem igazolja, az csak annyit jelent, hogy az észlelt mennyiségeket nem választottuk meg jól.

A relativitási elmélet nem a közvetlen tapasztalat részére alkotódott meg, egyetlen tétele sem vonatkozik erre. A benne foglalt gondolati világ azon a határfelületen mozog, amely a fizika ködös, homályos, végső széle és a metafizika között terül el, tehát csak a makrokozmosz és a mikrokozmosz világában nyer értékelhető jelentést.

A részleges elmélet az olyan sebességgel mozgó testek mechanikáját állapítja meg, amekkora sebességek a közvetlen tapasztalatban nem szerepelnek. Az elmélet szerint a mozgó tes-

tek hosszméretei a vonatkozási rendszerről szemlélve megrövidülnek, időméretei meghosszabbodnak. A változás mindig a

$$\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

kifejezéstől függ, amelyben $v$ a mozgó test és $c$ a fény sebességét jelenti. A sebességek összetevődésének jólismert parallelogramma-elve helyébe bonyolódottabb elv lép, amely lehetetlenné teszi, hogy a fény sebességénél nagyobb sebességek keletkezhessenek. A tömeg is a sebességnek a függvényévé válik és Newton második törvényének a helyébe is kissé más alakú törvény lép. A relativisták az elméletet a mikrokozmoszba is beledolgozták, ahol az elektromos részecskék számára olyan nagy sebességek találtattak, amelyek az elmélet hatáskörébe esnek. Az ilyen módon átalakított elektrodinamikai törvények bizonyos jelenségek megmagyarázásánál jó szolgálatot is tettek. Úgy látszik azonban, hogy a kvantummechanika újabb eredményeivel nem hozhatók megegyezésbe.

Az általános relativitási elmélet a világegyetem nehézségi ereje számára ád új elméletet. Abból a gondolatból indul ki, hogy a tér-idő világegyetemi méreteit a benne lévő anyagoknak eloszlása határozza meg. Nagy anyagtömegek közelében mások volnának a tér-idő geometriai viszonyai, mint amilyenek a világnak olyan részeiben vannak, amelyek messze esnek nagy anyagfelhalmozódásoktól. A méterrúd nagy tömegek közelében összehúzódnék és meggörbülne. Ilyenektől eltávolítva megnyúlnék és kiegyenesednék. A fénysugár, az egyenes vonalnak ez a képviselője, szintén meggörbülne és tovaterjedési sebessége is megváltoznék. Az óra gyorsabban járna, tőle eltávolítva járása lassúdnék. A testeknek alakja is függne attól, hogy nagy anyagfelhalmozódásokhoz közel, vagy azoktól messze vannak. Ugyanez volna érvényes a négyméretű szimbólikus geometriai alakokra is, amelyekben a három térméret mellett az idő képviseli a negyedik méretet.

Nemcsak a tér-idő geometriai viszonyai, hanem a nehézségi erő is függne az anyag eloszlásától. Egyszerű következménye volna annak, hogy a tér-idő geometriai viszonyai az anyageloszlástól függnek. Az anyag meghatározná a tér-idő geometriai viszonyait, a létrejött változás meghatározná a tér-idő görbületét, ez pedig a nehézség és a tétlenség jelenségeit hozná létre, vagyis az anyag gerjesztené a nehézségi és a tétlenségi erőmezőt. A létrejövő geometriai változás erőmezővé, vagyis olyan fizikai realitássá válnék, amilyen például az elektromos erőmező.

A világ anyagtól nagy távolságban pszeudoeuklideszivé

válnék, vagyis olyan szabályokkal volna leírható, amilyenekkel az euklideszi mértan írja le a teret. Itt a világpontot meghatározó általános koordinátákat euklideszi szabályok szerint kellene egymáshoz fűzni, anyag közelében azonban a Riemann-féle szferikus geometria szabályai szerint kellene ezt tenni. Az anyag által létrehozott világgörbület folytán minden megváltoznék, csak egy nem változnék meg: a fizikai törvények matematikai alakja. Az invariáns maradna. Nagy anyagfelhalmozódások közelében és azoktól nagy távolságokban minden történés ugyanazokkal a matematikai szimbólumokkal és formulákkal volna leírható. Minden mechanikai folyamat a nehézségi erőmezőben ugyanazon matematikai törvényeknek hódolna, mint a nehézségi erőtől mentesben. A különbség csak az volna, hogy a hosszúságot és az időközt jelentő mértékek helyről-helyre változó mértékegységekkel volnának kifejezve.

A gondolategyüttes a világegyetemben uralkodó nehézségi erő, a tétlenség és a mindenség kiterjedése számára új gondolati elemeket ád. Igazi világfelfogás azonban csak akkor alakulhat belőlük, ha primér kiinduló alappá válnak és a belőlük szerkesztett matematikai fogalmak segítségével íratnak le a makrokozmikus jelenségek. Így volt ez minden világfelfogásnál. A régi görögök nem elvekből dedukálták felfogásukat, amely szerint a mindenség középpontjában van a gömbalakú Föld és ezt körülveszi az egyenletesen forgó éggömb, amely a csillagokat hordja, hanem ezt a tapasztalat és a szemlélet által adottnak tekintették és felfogásuknak élére állítva, belőle vonták le a többi tapasztalati leírások szabályait. Ptolemaiosz sem bizonyítgatta, hogy a Földtől bizonyos távolságokban deferens-köröknek kell lenniök, amelyeken a bolygókat hordó epiciklus-köröknek egyenletesen kell gördülniök, hanem e képzeteket felfogásának élére állította és belőlük következtette ki, hogyan kell látszaniok a bolygóknak. Kopernikus is csak azt bizonyította, hogy Ptolemaiosz rendszere nagyon bonyolódott és hogy az égi mozgásoknak egyszerűbb leírásához jutunk, ha feltesszük, hogy a Föld a tengelye körül forog és szabad pályán a Nap körül kering. Következtetéseit ezekhez a képzetekhez fűzte. Newton sem bizonyítgatta, hogy a világtér homogén, izotróp, hogy az idő egyenletesen folyik, hogy mindkettőt állandó és változatlan méretviszonyok jellemzik, hogy a mindenségben mindenütt az oktörvény uralkodik, hanem felfogásait az egésznek élére állította és belőlük vonta le matematikai következtetéseit és ezeket hasonlította össze a tapasztalatból ismert összefüggésekkel.

Einstein azonban sem ezeket, sem pedig a mozgó testek mechanikájára vonatkozó megállapításait nem primér kiinduló felfogásoknak, hanem olyan következtetéseknek tekintette, ame-

lyek az értelem által elfogadott bizonyos elvekből levezethetők.

Nagyon különfélék azok az elvek, amelyekből Einstein következtetései kiindulnak. A legelső közöttük a fénysebesség állandóságának elve, amely szerint a fény sebessége független a fényt kibocsátó és felfogó testek relatív sebességétől. A természeti folyamatok egyetemessége szempontjából nagyon érdekes elv, amely a többitől eltérő értékelést érdemel. A fényhez kapcsolódó fogalmi elemek ugyanis a fizikai megismerés legtöbb részében mint határozó és másra vissza nem vezethető elemek szerepelnek. Már a közvetlen tapasztalat világában is a térmérés a fénnyel elválaszthatatlanul összekapcsolódik, tehát a fény a tér fogalmi elemeinek nélkülözhetetlen részét alkotja. A makrokozmosz és a mikrokozmosz világa fényképzetekből épül fel. Ez a két gondolatvilág ki sem alakult volna szellemünkben, ha nincs az a valami, amit fénynek nevezünk és ha nincs szemünk. A fény semmi másra vissza nem vezethető ős valami. Amikor tehát Einstein ezt az elvét felállította, akkor valami olyasfélét látott meg, ami a rendes mozgási képzetek szempontjából lehetetlenségnek látszik ugyan, de a fénynek a megismerés szempontjából teljesen kivételes szerepét kiemeli, feltűnővé teszi és a fizikai jelenségek leírásában neki a tér, idő, erő és anyag mellett elsőrendű szerepet juttat. Nagy hátrány, hogy az elv az általános relativitási elméletben nem érvényes és így a legfontosabb esetből, t. i. a világürbeli jelenségek leírásából kimaradt, pedig ha valahol, akkor itt csakugyan mindenütt van az örök fény.

A részleges és az általános elméletben sokat szerepelnek az úgynevezett relativitási elvek. Legegyszerűbb alakjuk egy régóta ismeretes tapasztalatnak az általánosítása. Az egyenes vonalban egyenletesen mozgó közlekedő eszközökön az ott megindított és lefolyó mozgásokat az észlelő úgy látja lefolyni, mint a szilárd földi talajon, amelyhez a nyugvás képzetét fűzi. A tényt Galilei és Newton is ismerte. Benne a tétlenségi elvet és a mozgások egymástól való függetlenségének elvét látták meg.

Einstein belőle különböző fokozatú relativitási elveket absztrahált ki, amelyek arra szolgáltak, hogy a természettörvényeknek az álláspontól független invarianciáját biztosítsák. A relativistáknak egy része az elvet elveti és más elvekkel helyettesíti. Eddington megjegyzi, hogy az elvnek kielégítő megfogalmazását nem tudja adni, noha ő maga is három könyvet írt a relativitási elméletről [*35*, 31].

Hogy az invarianciának matematikai bizonyítása lehetségessé váljék, Einstein a mozgás relativitásának is új értelmezést adott, bevezette a mozgás és a nyugvás felcserélhetőségének elvét, amely szerint mi sohasem tudjuk eldönteni, melyik

a nyugvó és melyik a mozgó test, tehát önkényes definicióval vagyunk kénytelenek köztük választani. Ezzel az elvvel kapta meg Einstein a relativitási elv által követelt invariancia kritériumát. Az elv ellentétben áll fizikai megismerésünk összességével és magával az emberi értelemmel is, amely azzal az ős tudattal alakult ki azzá, ami, hogy testünknek saját mozgása van. Teljes lehetetlenség, hogy az elv valaha is a tudomány éltető elemévé váljék. Elvetésével értelmüket vesztik azok a következtetések is, amelyeket a relativisták a közvetlen tapasztalatban szereplő mozgási jelenségek magyarázatára kieszeltek, közöttük vannak a Föld mozgási jelenségeire alkotott következtetéseik is. A tudomány szinte kényszerítőleg vezetett Kopernikus világrendszeréhez; nem önkényes definició alapján, hanem összes tapasztalataink tekintetbe vételével ragaszkodunk e rendszerhez. Semmiféle elmélet — bármilyen fínom legyen is különben, — nem változtathatja meg a tapasztalatok hosszú sorából kialakult és folyton újból és újból igazolódó felfogást [*84*, 66].

Einstein ezeken kívül még számos más elv alkalmazásával építette fel elméletének matematikai szerkezetét. A matematikus-fizikusok régi elve alapján föltette, hogy a fizikai törvényekben csak olyan dolgok szerepelhetnek, amelyek eleget tesznek a folytonosság elvének. Más szóval ez azt jelenti, hogy valamely pontnak fizikai állapota csak a szomszédságban lévő pontok állapotától függhet. A meghatározó tényezők között nem szerepelhetnek véges távolságok, amilyenek például Newton tömegvonzási törvényében szerepelnek. Matematikai nyelven ez azt a követelést jelenti, hogy a fizikai törvényeknek differenciál-egyenletek alakjában kell megfogalmazva lenniök. A tervbe vett világformulát is ilyen alakban kellett megfogalmaznia. Szerkesztő munkájában azokat az elveket, fogalmakat és matematikai összefüggéseket is felhasználta, amelyeket a matematika tudománya a Riemann-féle nemeuklideszi geometria felépítésénél alkalmazott.

Ha Ön a relativitási elmélet matematikai szerkezetét, valamint a következtetések menetét és a szintetikus alkotásokat megismerni, megérteni, értékelni akarja, akkor tekintetbe kell vennie, hogy a klasszikus fizikának máris formális és absztrakt fogalmai itt még formálisabbá és még absztraktabbá váltak, hogy itt nincs tér és idő, hanem van a világ négyméretű sokasága, hogy a háromváltozós koordináta rendszer helyébe négyméretű koordináta rendszer lépett és hogy a derékszögű koordinátákat általános koordináták váltották fel. A klasszikus fizikában az $x$, $y$, $z$ mérőrudakkal mérhető térméreteket, a $t$ órával mérhető időméreteket jelentett. Itt az $x_1$, $x_2$, $x_3$, $x_4$, már puszta szimbolumok, nem jelentenek méreteket, más tárgyi

jelentésük sincs. Csak a matematikai kifejezésnek a segédeszközei és arra szolgálnak, hogy bizonyos dolgokról beszélhessünk.

Ha Ön e formula-világot meg akarja érteni, át kell rágnia magát az újabb matematikának több disciplináján, a transzformációs csoportok, az invariancia-elmélet, a tenzor-analízis, az $n$-méretű sokaságok formulatömegén. Észben kell tartania, hogy az itt szereplő fogalmak, noha nevük alapján fizikaiaknak látszanak, mégsem azok, hogy itt a távolságnak, az intervallumnak, az anyagnak, az energiának, a potenciálnak, az impulzusnak egészen más jelentése van, mint a régi fizikában.

Önnek eszét a formalizmushoz hozzá kell idomítania, szellemét arra reá kell fegyelmeznie, gondolkodását benne kell összpontosítania és a benne való hitet önmagában ki kell fejlesztenie. Csak akkor, ha már kialakult Önben a meggyőződés, hogy az ilyen módon való gondolkodással elérte az emberi értelem uralma alá tartozó terület végső határait, amelyekben az önkényesen alkotott formalizmus és a független fizikai valóság összeolvad és ha abban, a mindkettő fölött uralkodó szellem ujjainak útmutatását látja az igazi megismerés felé, csak akkor mondhatja magáról, hogy teljesen megértette azt, ami a relativistákat hevíti.

A fizika legújabb fejlődése erősen lelohasztotta a relativitási elmélet keltette lelkesedést. Az atomfizika elvonta tőle az érdeklődést.

A relativitási elmélet tárgya, kitűzött célja, belső jellege alapján ennek így is kellett bekövetkeznie. Mert mi a fizika legfőbb célja? Az ember hatóképességének a megnövelése. A relativitási elmélet ezt a célt csak nagyon kis mértékben szolgálta. Csak nagyon kevés számú kísérletre és észlelésre lehetett belőle következtetéseket vonni. Az óriási elméleti szerelvényhez képest roppant csekély az, ami belőle a tapasztalat számára kikövetkeztethető és pontosan azt sem tudjuk, hogy igazolódnak-e a következtetések, mert mindíg az észlelhetőség határai körül mozognak. Annak sincs valószínűsége, hogy újabb hatásokra lehetne belőle következtetni. Van tehát egy nagykiterjedésű elméletünk, amely nagy súllyal nehezedik rá elménkre és nem tudunk vele mit kezdeni.

Összefoglalva a következőket állapíthatjuk meg. A relativitási elmélet új ismeretelméleti alapon egy új világfelfogás alkotásának buzgalmával sok új fogalmat és elvet alkotott, amelyek eddigi felfogásainkkal és részben egymás között is ellenmondásban vannak. Nagy érdeme, hogy új gondolati lehetőségeket mutatott, amelyekre eddig nem gondolt senki [*60*, 7—9].

Gondolatai nagyobb részt az ismeretelmélet és a metafizika körébe tartoznak ugyan, de mint ilyenek is felfrissítőleg hatottak a fizikára, mert fogalmainak, tételeinek rendezésére, értékelésére indítottak, új világfelfogási elemeket is teremtettek és megakadályozták, hogy a tudomány a dogmatizmus fojtogató légkörébe jusson. Az új gondolatokból a világegyetem szerkezetére és a nagy sebességgel mozgó testecskék fizikájára értékes következtetések is voltak vonhatók.

Newton könyvének ezt a címet adta: a természet filozófiájának matematikai elvei. A relativitási elméletet pedig e címmel lehetne jellemezni: a természet-tudomány elveinek matematikai filozófiája.

# IX. A TÖMEG PROBLÉMÁJA.

A newtoni dinamika azon a felfogáson épült fel, hogy a tömeg az anyag mennyiségének az egyes testekhez tartozó jellemző, változatlan tulajdonsága, amelyet mindenféle mozgási jelenségnél számításba kell venni. A tömegnek a mérésére pedig önkényes definícióval elfogadta az ősrégi időktől megszokott eljárást, a mérlegelést, vagyis a nehézségi erő segítségével való meghatározást. Egyenértékű tömegek azok, amelyek a kétkarú mérleg, vagy a rúgós mérleg, vagy valamilyen más szerkezetű mérleg serpenyőjébe téve nehézségükkel ugyanazt az egyensúlyt hozzák létre.

A tömegnek ez a meghatározási módja a tudomány fejlődése folyamán más fizikai jelenségeknél is szokásossá vált. Így például a testek kalorikus tömegét is súllyal mérjük, noha nyilvánvaló, hogy egyenlő értékűeknek azokat a tömegeket kell tartanunk, amelyeknek egyenlő hőkapacitásuk van, vagyis amelyek 1 $C^0$ hőmérséklet változáskor ugyanazt a hőmennyiséget cserélik ki. A súllyal való mérlegelés szükségessé tette a fajhők bevezetését. A fűtőanyagoknál és az élelmiszereknél szokásossá is vált a tömegeknek kalóriákkal való mérése. A vegytan tudománya is a mérlegelésnek köszönheti hatalmas fejlődését, noha itt is nyilvánvaló, hogy a vegyi jelenségek létrejötténél a nehézség erőnek nem lehet szerepe. A vegyi tömegek egyenértékűségét egészen más hatók határozzák meg, éppen azok, amelyek napjainkban az atomfizikát foglalkoztatják. A vegyileg egyenértékű tömegeknek súllyal való meghatározása azonban itt sem okozott nagyobb zavart. A vegyészek ezen az úton is rájutottak arra, hogy a vegyi tömegeket nem grammok, hanem „mol"-ok alakjában kell számításba venni. Ennek megfelelően újabb időkben a ritkább és értékesebb vegyi tömegek sokszor nem grammokban, hanem „mol"-okban kerülnek a kereskedelmi forgalomba. Ugyanez az eset a radioaktív anyagokkal. Az egyenlő értékű radioaktív tömegeket nem grammokkal, hanem „curie"-vel vagy „mache"-val szokás mérni.

A tömeg fogalmának e sokféle értelmezése és mérése visszahatott a tömeg mechanikai meghatározásának problémájára is. A relativitási elmélettel egyidőben kialakult a felfogás, hogy

a tömeg ismertetőjelei két csoportba sorolhatók. Az egyikbe azok tartoznak, amelyeket az anyag tétlensége, a másikba pedig azok, amelyeket nehézsége határoz meg. Ebből arra következtettek, hogy kétféle tömeget, „tétlen" tömeget és „nehéz" tömeget kell megkülönböztetni.

Ez a megkülönbözetés sem volt végleges. Hamel háromféle mechanikai tömeget, „tétlen" tömeget, „vonzott" tömeget és „vonzó" tömeget akar megkülönböztetni. [*56*, 6]. Nyilvánvaló továbbá, hogy a nehéz tömeg fogalma a „vonzott" tömeg és a „centrifugális" tömeg fogalmából rakódik össze. Ha még az égitestekre is gondolunk, amelyeknek tömegét a dinamika törvényei és Newton tömegvonzási törvénye határozza meg, akkor az említett tömegféleségekhez még a „kozmikus" tömeg fogalmát kell hozzácsatolni.

Amikor a részleges relativitási elmélet a tömeget a testek relatív sebességétől tette függővé, ugyanakkor elvének következetes keresztülvitele a „nyugvó", a „longitudinális" és a „transzverzális" tömeg fogalmának bevezetését is szükségessé tette.

Később ugyan az a felfogás alakult ki, hogy e megkülönböztetés nagy bonyolódottságokhoz vezet, tehát elvetendő. A tömeg fogalmának proteusz-szerű változása azonban tovább folytatódott. Jól megalapozott analógiák alapján felismertetett, hogy az elektrodinamikus visszahatás a mechanikai tétlenséghez hasonló jelenség. A mozgó elektromos töltés a tapasztalat számára mágneses erőt mutat, ez pedig visszahat magára a mozgó töltésre és mozgását akadályozni igyekszik. — Lehet tehát az elektromos töltéseknek, az elektronoknak „elektromágneses" tömegéről is beszélni. Ilyen irányú megfontolások folytatódtak és ahhoz a felfogáshoz vezettek, hogy a sugárzásoknak is a tétlenséghez hasonló tulajdonságuk van. A fekete test sugárzását úgy lehet felfogni, mintha az üregbe zárt sugárzási energia minden változással szemben olyan ellenállást fejtene ki, mint az anyagi testek. Lehet tehát, „sugárzási" tömegről is beszélni. E gondolat továbbvitele ahhoz a felfogáshoz vezetett, hogy az üres térben lévő sugárzási energiának is tömegszerű tulajdonságokat kell adni.

Einsteint e gondolati folyamatok az energia és a tömeg azonosságának elvéhez vezették. Bizonyos gondolati kísérletből, amely azonban a közelítőleg való megvalósíthatásnak a gondolhatóságától is messze van, levezette az összefüggést

$$E = m.c^2,$$

$E$ jelenti az energiát ergekben, $m$ a tömeget grammokban, $c$ a fénysebességet.

Az összefüggés kétféleképen olvasható, úgy is, hogy min-

den tömeg lényegében véve a benne elrejtve lévő energiák összességéből áll, de úgy is, hogy minden energia tömeggel bír. Ha a test helyzeti vagy mozgási energiát kap, tömege megnagyobbszik. Felhúzott állapotában a rugónak tömege nagyobb, mint amikor nincs felhúzva. Meleg állapotában a test tömege nagyobb, mint hideg állapotban. Hűléskor a test tömege csökken, melegedéskor növekszik.

Az egymásbakapcsolódó gondolati következtetéseknek ezt a végeredményét sokan — ahogyan az más hasonló esetekben is történni szokott — hajlandók fizikai valóságnak tekinteni, amely a tőlünk független természetnek a legmélyebben fekvő titkát árulja el. Azonban fizikai módszerekkel való észlelhetősége az ember kísérleti képességeinek határán messze túl esik. Még azt a tömegcsökkenést sem tudjuk mérleggel megállapítani, amelyet a rádióaktív testek aránylag igen nagy energiakilökése hoz létre.

Az energia és a tömeg azonossága nem a fizikailag megállapítható tényeknek a kifejezése, hanem a gondolati folyamatok hosszú sorozatából kialakult hipotézis s mint ilyen a tudományos előretörésnek a segédeszköze. Programm és vezető gondolat a tudományos tervezgetések, kombinálgatások számára, de nem a tapasztalható jelenségek leírására.

Amikor a részleges relativitási elmélet által teremtett gondolatvilágban a tömegféleségeknek nagy sokasága keletkezett és a tömeg fogalma úgyszólván spiritualizálódott, Einstein arra a meggyőződésre jutott, hogy a tömegnek e különféle arculatai irreálisak és hogy csak két igazi arculata van, a „tétlen" és a „nehéz" tömeg. Eötvös Lórándnak és társainak méréseiből azt a megállapítást vonta le, hogy a „tétlen" és a „nehéz" tömegek számértékei mindenfajta fizikai jelenségben egyenlők és ezt az eredményt úgy tekintette, mint a legnagyobb pontossággal megállapított tapasztalati igazságot.

A felfogáshoz több megjegyzés tehető. Nem kétséges mindenek előtt, hogy nincs semmiféle módszerünk, amellyel a nehézségi erőnek két összetevőjét, a tömegvonzást és a centrifugális erőt (ez a tétlenség megnyilvánulása) egymástól fizikailag el lehetne választani. Ez mindig két matematikai formula alapján történik, amelyek közül az egyik a mozgás második törvényét, a másik pedig a centrifugális erőre vonatkozó törvényt fejezi ki. Ezek pedig nem a tapasztalatnak adottságai, hanem magasfokú gondolati folyamatoknak az eredményei. Annál kevésbbé lehet tehát a „nehéz" és a „tétlen" tömeg egyenlőségét a tapasztalat adottságának tekinteni, amikor ezekhez a gondolati folyamatokhoz még azokat is hozzá kell venni, amelyek a tömeg fogalmát kapcsolják hozzájuk.

Dingler [25, 161, 334; 27, 37] abban a felfogásban van,

hogy e kétféle tömegnek egyenlősége nem különálló, egymástól független méréseknek az eredménye, hanem fogalmi meghatározások kapcsolatainak a következménye. Nem a természet adja nekünk ezt az egyenlőséget, hanem saját eljárásunk hozza magával. Hogy a tömeget meghatározhassuk, bizonyos elvekből és feltevésekből kell kiindulnunk, amelyek viszont bizonyos definíciókat és állandókat tartalmaznak. Ezekbe azután tudtunkon kívül már beleszerkesztjük az egyenlőséget. A testek rugalmassága pl. a „nehéz" tömegekhez viszonyítva van meghatározva. Tehát kell, hogy ez a meghatározási mód, amely a „tétlen" tömeget a rugalmassági erő alapján határozza meg, ugyanahhoz az eredményhez vezessen, mint a nehézségi erőre alapított mérés.

Az ellentétes felfogásoknak igazi magva azonban abban van, hogy a „tétlen" és a „nehéz" tömeg szabatos meghatározását senki sem adta. Mindig csak arról van szó, hogy ez a két tömegféleség számbelileg egyenlő, de fogalmilag különböző. Hogy azonban mi ez a fogalmi különbség, az nincs szabatosan meghatározva. Csak a tétlenség és a nehézség fogalmakhoz fűződő szemléletes, de nem meghatározott képzetek, továbbá a mozgás második és a vonzási törvénynek matematikai alakjai adják a megkülönböztetést. Még kevésbbé vannak szabatosan előírva a mérési módszerek, amelyekkel az egyiket és a másikat mérni kell. Méréseket pedig emberi konvenció nélkül nem lehet végezni. A tőlünk függetlenül lefolyó természeti jelenségek és saját emberi műveleteink fogalmak kialakulását indítják meg, de ezek mindig határozatlanul imbolygók — akár térről, akár pedig a tömeg különféle fajairól van szó — mindaddig, amíg az ember meghatározott művelettel mérhetőkké nem teszi. A mérési művelet éppen semmi egyéb, mint a fogalmak határozottá tevése.

Így történt ez minden tapasztalati törvény megállapításánál. Az, hogy 427 méterkilogramm-munka vagy energia egyenlő értékű egy kalória hőenergiával, azért tapasztalati törvény, mert a munka és a mechanikai energia, valamint a hőenergia mérési módszerei szabatosan elő vannak írva úgy, hogy azokat bárki bármikor megismételheti. Ugyanígy tapasztalati törvény az, hogy a fémek hővezetőképessége arányos elektromos vezetőképességükkel, mert a kétféle vezetőképesség mérésének módszerei szabatosan meg vannak határozva. De még a Balmer-féle képlet is tapasztalati vonatkozást fejez ki, noha a fény rezgésszáma nem tartozik a közvetlen tapasztalat körébe, azonban világosan és szabatosan van meghatározva az a mérési eljárás, amellyel az egyes fényfajtákhoz tartozó rezgésszámot meg kell mérni.

A tétlen és a nehéz tömegek meghatározására szolgáló

előírások azonban hiányoznak. Ilyeneket Einstein sem ád. Híres gondolati kísérlete szerint, — amely azonban, mint minden gondolati kísérlete, közelítőleg sem valósítható meg, — a liften ülő megfigyelő, ha a lift erőmentes térben egyenletesen gyorsulva mozog, a nehézségi erőnek minden megnyilvánulását észlelhetné. Az eleresztett kődarab egyenletesen gyorsulva esnék a lift padlózata felé. A rugókra függesztett tömegek azok megnyúlását idéznék elő teljesen úgy, mintha a liftben nehézségi erő működnék. Mindezek a tétlen tömegnek volnának a megnyilvánulásai. A „tétlen" tömeg tehát az olyan zárt térben, amely maga is egy másik erőmentes térben gyorsulva mozogna, azokat a jelenségeket mutatná, amelyeket a földi nehézségi erőtér mutat. Viszont az olyan liftben ülő megfigyelő, mely a földi nehézségi erőtérben egyenletesen gyorsulva esnék, a közönséges tétlenségi jelenségek megnyilatkozását tapasztalná: a nyugvó testek nyugvásban, az egyenes vonalban egyenletesen mozgók e mozgásukban megmaradnának. Ebből következnek a „tétlen" és a „nehéz" tömegek egyenlősége. Mindezek a következtetések nagyon szépek és dicsőségére válnak Einstein képzelőerejének, azonban nem egyebek, mint metafórák. A kísérleteket soha senki még közelítőleg sem végezheti el. Erőmentes tér puszta gondolat, abban kísérleteket soha senki sem végezhet. A tapasztalatok, amelyekről itt szó van, tehát nem tapasztalatok, hanem csak gondolatok, sőt képzelmények, fikciók [*84*, 64]. Fikció az is, hogy a szabadon eső liftben a nehézségi erő megszűnik, hiszen nehézségi erőtérben esik. E képzelmények útmutatást sem adnak arra, hogyan kell mérni külön a tétlen és külön a nehéz tömeget a természet által reánk erőszakolt tényleges viszonyok között. Pedig csak mérési eljárások által lehet a bennünk kialakult ködös, imbolygó, határozatlan gondolatoknak határozott jelentést adni.

A tétlenség és a nehézség egymással szorosan kapcsolatban lévő fogalmi elemeket tartalmaznak, amelyeknek elhatárolását csak mozgó testeknél és pedig valamilyen dinamikai elv alapján lehet elvégezni. A dinamikai erőt azonban nem tudjuk közvetlenül megmérni. Azt csak azzal a hipotézissel végezhetjük el, hogy a statikailag mért erő egyenlő a mozgásváltozást létrehozó dinamikai erővel. A statikai erőt pedig csak úgy tudjuk mérni, ha valamilyen állandó, mindíg rendelkezésünkre álló erővel hasonlítjuk össze. Ilyen gyakorlatilag csak egy áll a rendelkezésünkre: a nehézségi erő. Ezt pedig statikailag csak úgy tudjuk mérni, ha valamilyen állandó, mindíg rendelkezésünkre álló test fogalmával kapcsoljuk össze. A tömeg fogalma tehát, amelyet minden mozgási jelenségnél tekintetbe kell venni, csak önkényes definíción alapuló statikai úton válik mérhetővé, azaz határozottá. *Ez a statikai módon mért tömeg*

*nem „nehéz" tömeg, sem „tétlen" tömeg, hanem az anyag mennyiségének önkényes definicióval megállapított mértéke.* Eötvösnek és társainak mérései szintén statikai mérések voltak. Az általuk elért nagy pontosság a tömegvonzási és a centrifugális erőtereknek statikailag mért értékeire vonatkozik. Az eredményt nem lehet úgy értelmezni, hogy tapasztalatilag igazolják a „tétlen" és a „nehéz" tömeg egyenlőségét.

Az anyag mennyiségét mérhetjük hosszúsággal, területtel, térfogattal, súllyal és ezenkívül még különleges más módok szerint is. A tudományban szokásossá vált a súllyal való mérés. Erre azonban nem a természet kényszerít bennünket. Ez csak konvenció, amelynek segítségével fogalmainkat határozottakká tesszük. Az anyagnak ilyen módon meghatározott mennyiségét minden zavar nélkül használhatjuk valamennyi statikus jelenségnél, a hőtanban, a vegytanban. Azonban a tömeg mint dinamikai fogalom csak mozgásokkal határozható meg, akár tétlen, akár nehéz tömegről van szó. A szabadon eső testek egyenletesen gyorsulva nemcsak azért esnek, mert „nehéz" tömegük van, hanem azért is, mert „tétlen" tömegük is van. Tehát a „nehéz" és a „tétlen" tömeg szerepét a szabadesésnél sem lehet egymástól elválasztani és akkor sem volna ez lehetséges, ha a nehézség létrejöttében a centrifugális erőnek semmi szerepe sem volna.

Alkalmazva Einsteinnak az egyidejűség fogalmának elemzésénél alkalmazott gondolatmenetét erre az esetre, mondhatjuk: a „tétlen" és a „nehéz" tömegeknek a mérő fizikus számára mindaddig nincs értelme, amíg pontosan előírt dinamikai mérési módszerekkel valóságukról meg nem győződhetik. Mindaddig, míg ez a követelés nem teljesedik, tévedhet a fizikus, de akkor is, ha nem fizikus, de értelmet adni a „tétlen" és a „nehéz" tömegeknek e nélkül nem lehet.

Einstein azonban e helyett Eötvösnek és társainak mérései alapján a „tétlen" és a „nehéz" tömegek egyenlőségét tapasztalatilag megállapított igazságnak jelentette ki és erre mint a természet által ránk kényszerített adottságra alapította az általános relativitási elméletet.

Az e fogalmakhoz fűződő ismeretelméleti különösségek még ezzel a lépéssel sem szüntek meg. A relativisták az általános relativitási elmélet mezőegyenleteinek közelítő integrációjával elméletileg levezethetőknek gondolják a „tétlen" és a „nehéz" tömegek egyenlőségét és ezt a levezetést úgy tekintik, mint elméleti megalapozását annak, hogy valóban egyenlők. [55, 603]. Jellegzetes körbenforgásnak tekinthetnők bizonyítási eljárásukat, ha az általános relativitási elmélet egész szerkezetéből nem tudnók, hogy a „tétlen" és a „nehéz" tömegek egyenlősége nem az igazi alapja és célja ennek az elméletnek. A ta-

pasztalati tétel csak eszköz arra, hogy általánosabb gondolataik megfelelő megfogalmazást kapjanak.

Tegyük fel, hogy a körbenforgás és a sokszoros ismeretelméleti és logikai salto mortale nem volt felesleges, akkor most már csakugyan elvárhatnók, hogy a „tétlen" és a „nehéz" tömegek felesleges és zavart keltő megkülönböztetése el fog tűnni a fizikából. A tanárok nehéz gondolati munkától szabadulnának meg így. A „nehéz" szó a közhasználatban a testeknek általános tulajdonságát jelenti, azt is, hogy a test nyomást fejt ki az alapra, amelyen nyugszik és azt is, hogy törekszik lefelé, de azt is, hogy nehezebben lehet megmozgatni a nehéz testeket, mint a könnyebbeket. A közhasználatban tehát a „nehéz" szó azokat a fogalmi elemeket is tartalmazza, amelyek a „tétlen" szóhoz fűződnek. A közhasználat megelőzte a relativitási elméletet. Aki a fizikát tanulni kezdi, az ezekkel az összefonódó fogalmi elemekkel kezdi a tanulást és csak hosszabb gondolati munkával tudja elméjében szétválasztani a tétlenség és a nehézség mesterkélten elkülönített fogalmi elemeit.

Ha a tudomány a relativitási elmélet megállapításait komoly megismeréseknek tekintené, akkor a „tétlen" és a „nehéz" tömegek fizikai könyveinkből máris eltüntek volna. Nagyon valószínű azonban, hogy ezután is, és még hosszú időkön keresztül is, a tanulók és a hallgatók gondolkodását sok fáradtság reápazarolásával arra kell rászoktatni, hogy úgy gondolkodjanak: van „tétlen" és van „nehéz" tömeg. Azután ugyancsak nehéz munkával ki kell mutatni, hogy nincs „tétlen" és nincs „nehéz" tömeg, mert ezek fogalmilag és tapasztalatilag is egyenlők. Ez a tudomány kiirthatatlan körbenforgása, amely más esetekben ugyanígy folyik le. Szerencsére a kvantumelmélet a tömeg fogalmának e variációi felett való gondolkodást beszüntette és más irányokba terelte.

# X. A FOLYTONOSSÁG ÉS A SZAKADÁSOSSÁG.

A fizikai megismerés legmélyebben fekvő rétegeinek vizsgálatában a legtöbbször olyan fogalompárokhoz jutunk, amelyek ellentétesek ugyan, azonban összetartoznak és egymást kiegészítik. Ilyen a folytonosság — szakadásosság fogalompárja is.

Lelki jegyeinek kialakulása már akkor megkezdődhetett, amikor az emberi szellemben az érzéki érzetekből és a műveletvégzések tudatából a külvilágnak a fogalma kialakult. A nyers fogalmi jegyek a fejlődés folyamán absztrahálódtak, egyesek kiestek belőlük, mások hozzájuk járultak és gondolatvilágunk egyéb fogalmaival is kapcsolatba jutottak.

A folytonosság jegyeit a magyar „folyás" szó és a latin „continuum" szó fejezi ki, az utóbbi a művelt népek nyelvében általában megvan. Amaz a folyadékok folyásáról, emez pedig a szilárd testek összetartásáról („continere"), összefüggéséről és a folytatás (continuere) műveletétől kapta képi elemeit. Azt kell hinnünk, hogy éppen a folyás és általában a mozgás volt az első jelenség, amely a folytonosság szó eredeti nyers fogalmi jegyeit megadta. Az ember észleleteiből hozzászokott ahhoz, hogy a test egyik helyről csak úgy tud egy másik helyre eljutni, ha egymással közvetlenül érintkező helyek sorozatán megy keresztül. Műveleteinek sorozatából pedig később arra a meggyőződésre kellett jutnia, hogy bizonyos szilárd testek részei közvetlenül összetartoznak, összefüggnek a nélkül, hogy „lyuk" volna közöttük.

Az emberi szellem fejlődésének folyamataiban maga is teremtett olyan fogalmakat, amelyek a folytonosság fogalmát jellegzetesen és a legtisztább módon képviselik. Ezek a tér és az idő fogalmai. A tér folytonos mennyiség, mert részeit nem tudjuk elgondolni úgy, hogy minden egyes térrész körül minden irányban ne lennének újabb térrészek, amelyek vele közvetlenül összefüggnek. A matematikusok ugyan önkényes szintetikus szerkesztéssel olyan térfogalmakat is tudnak szerkeszteni, amelyben térrészek nélküli „lyukak" volnának. E terek azonban nem képzetekből, hanem matematikai formulákból vannak összealkotva. Hasonlóképen az idő fogalmát is úgy al-

kottuk meg, hogy gondolatvilágunkban minden időpillanatot közvetlenül követ a reá következő időpillanat. Az időnek azért is folytonosnak kell lennie, mert mérése valamilyen mozgással történik. Ez pedig a folytonosság ős meghatározó elemeit foglalja magában. Lényegében a térmérés is csak valamely kiválasztott hosszegységnek továbbvitelével, tehát mozgással végezhető.

A szakadásosságnak legelső nyers fogalmi jegyeit a szakítás, az elválasztás, a szétosztás emberi művelete adta meg. Az elszakított részek között éppúgy, mint a külvilágnak elkülönülten létező és egymással össze nem függő tárgyai között nincs semmi kapcsolat. De maga az élet folyamata is tapasztalati jelenségeket mutat, amelyek a szakadásosság ismertető jeleit tárják elénk. Ilyen például a halál, létünknek megszakadása. A folytonosság nagyon belénk evődött fogalma kényszerítette az emberi elmét arra, hogy a szakadásos lét fogalmával szemben az öröklétnek, az örökéletnek és a lélek vándorlásának a fogalmait mint posztulátumokat állítsa fel.

Az emberi szellem maga is teremtett olyan fogalmakat, amelyek a szakadásosságnak a legtisztább képviselői. Ilyenek az egész számok. Kronecker ugyan azt mondja, hogy az egész számokat még az Isten teremtette, minden más matematikai fogalom már emberi alkotás. Nyilvánvaló azonban, hogy az egész számok épúgy, mint a többi számok az emberi észnek a találmányai és pedig a beszéd, az írás és a rajzolás műveletei mellett a legnagyobbszerű találmányai, amelyekhez képest minden más emberi találmány és alkotás eltörpül. Annyiban azonban igazat adhatunk Kroneckernek, hogy az Isten azáltal, hogy a világba közelítőleg egyenlő dolgokat teremtett bele, egyszersmind alapot teremtett arra, hogy az ember ezeket felismerhesse és ismereteinek szabatos kifejezéséhez az egész számokat és rendszerüket megalkothassa. A szakadásos dolgok világában az egész számokkal való kapcsolatbahozás, vagyis a számlálás, éppen olyan jellemző ős tulajdonság, mint a folytonos dolgok világának térben és időben való elhelyezése.

A folytonosság és a szakadásosság — noha ellentéteseknek látszanak — összetartozó és egymást kiegészítő fogalompárt alkotnak. Az egyik a maga fogalmi jegyeinek értelmét és világosságát átsugározza a másikra, azért egymástól elválaszthatlanok, noha harcban állanak egymással. A jelenségek leírásában tehát majd az egyiknek, majd a másiknak a fogalmi jegyei jutnak az előtérbe. A megszámlálhatóság szakadásos fogalmának világosságát felhasználjuk a tér és az időbeli előállítás folytonos fogalmainál is. Fordítva a folytonosság fogalmában lévő képzetek szemléletességét belevisszük az elkülönülten lévő, szakadásos egyedek gondolati világába.

Ez a gondolatpár más gondolatpárokkal együtt gondolkodásunk átöröklött ősi birtokállományához tartozik. Már az időszámításunk kezdete előtti 6. és 5. században, amikor az „állandó" — „változó" fogalompár fogalmi elemei szétválasztódtak és állandósultak, két gondolati irány alakult ki. Az egyik szerint a testek valamilyen ősanyagból, az ősvízből, az őslevegőből, az őstűzből, vagy a közelebbről meg nem határozott ős „apeiron"-ból alakultak ki. A másik szerint a létező anyagok változatlanok, nem alakulnak át, nem is keletkeztek és nem is múlnak el, tehát mint elkülönülten álló, szakadásos egyedek léteznek örökké.

A két gondolati irány egyesítésére Anaxagorasz a „keverék" fogalmát vezette be és vele azt a felfogást alkotta, hogy a különböző testek az ősanyag különböző részeinek a keverékei. A gondolatot Leukipposz és Demokritosz tovább folytatta és kialakította az oszthatlan, eltörhetlen, áthatolhatlan, alakra, nagyságra és súlyra különböző atomok fogalmát, amelyekből minden dolog össze van alkotva. Így tehát már tudományos gondolkodásunk kezdetén megjelent az egymáshoz tartozó, egymást ki is egészítő két fogalom, az ősanyag és a különböző atomok fogalma. Az első a folytonosságnak, a második a szakadásosságnak volt a képviselője.

Ma sokan bámulattal adóznak a két ókori bölcselő géniuszának, mert már a tudományos gondolkodás kezdetén meg tudták alkotni az atom szabatos fogalmát. Nem szabad azonban felednünk, hogy ez a fogalom akkor tisztán az ember gondolkodó képességének volt a terméke és nem fűződtek hozzá gyakorlati vagy tudományos kérdések. A korai keletkezés éppen azt bizonyítja, hogy a testeknek különböző atomokból való összetétele az egyik lehetséges elgondolás, amely egyenlő jogúan áll a másik elgondolás, az ősanyagból való folytonos kialakulás gondolata mellett. Abban a korban nem is voltak olyan problémák, amelyek szükségessé tették volna az anyag szerkezetének tudományos megvizsgálását. Ma már azt is látjuk, hogy a megvizsgálhatósághoz szükséges alapok és eszközök is hiányoztak.

Az atom első megjelenése rövid életű, múlékony tünemény volt. Csakhamar el is enyészett és csak kevés nyomot hagyott hátra. A kor ismereteinek jobban felelt meg az ősanyagnak a gondolata, mert ebbe titokzatos, rejtelmes, homályos gondolati elemeket lehetett elbujtatni, amelyek a képzelőerőt erősebben foglalkoztathatták, mint Demokritosz jól körülírt és szabatosan meghatározott atomjai.

Arisztotelesz az ősanyag rejtelmes fogalmát jobban akarta meghatározni. Kiindulva a tapasztalatból, amely azt mutatja, hogy a tűz az alaktalan és értéktelen kövekből aranyat, ezüstöt, vasat, üveget formál ki, továbbá a mesteremberek munkájának szemléletéből, akik a formátlan anyagból szobrot, vá-

zát, bútort, hasznos tárgyakat csinálnak, arra a meggyőződésre jutott, hogy a természetben is ilyen tervszerűleg dolgozó alakító erőnek, az „entelecheia"-nak kell működnie, amely a formátlan ősanyagból a természet formás testeit alakítja ki.

Nem Arisztotelesznek a folytonos kialakulásra vonatkozó gondolata állította előtérbe a folytonosság fogalmát és nem ez hozta magával azt, hogy e fogalom a középkoron és az újkoron keresztül egészen a 20. század elejéig folyton az előtérben maradt és a fizikai megismerés legtöbbször alkalmazott elvévé és a legjobban kidolgozott elméletek jellegzetes ismertető jelévé vált. Egészen más, sokkal jobban megalapozott és részletesebben kidolgozott tudományos rendszernek, nevezetesen az euklideszi mértannak a műve volt ez. E tudomány olyan fogalmakkal dolgozik, amelyeknek folytonos jellegük szembeszökő. Tételei pedig olyan esetekre vonatkoznak, amelyek a fizikai jelenségekkel szoros kapcsolatban mindíg előfordulnak. Leírásukat, értelmezésüket az euklideszi mértantól függetlenül nem is lehet megádni. A természetes következmény az volt, hogy e tudomány révén a folytonosság fogalma beleszerkesztődött a fizikai fogalmakba és a természetszemléletnek lényeges és jellegzetes tényezőjévé vált.

A beleépítést már a görög mechanikának, geografiának és csillagászatnak ókori művelői megkezdték. Ptolemáiosz világrendszere az euklideszi mértan alapján szerkesztődött meg. Ugyanezen áll a Kopernikus rendszere is. Kepler, Galilei, Huygens és Newton fizikája az euklideszi mértan folytonos jellegű fogalmainak további felhasználásán nyugszik. A newtoni mechanikában a tér és az idő euklideszi jellegű fogalmai mellé az erőhatás elve mint a folytonos okhatás törvényének fizikai alkalmazása járult hozzá. A testeket illetőleg az anyagot ugyan pontszerű részecskékből állónak tekinti, ami a szakadásosság fogalmi körébe tartozik, azonban a folytonosságot helyreállítja azzal, hogy az anyagi pontokat erők középpontjává teszi és egymásra való hatásukat az erőhatás folytonosságának fogalmával kapcsolja össze. Az erő vagy potenciál léte tulajdonképen megváltoztatja az anyagi pont körüli teret és folytonos tulajdonságú erőmezővé alakítja át. Az anyagi pont tehát itt nem szakadásos természetű individuum, hanem a folytonos természetű erőmezőnek a része.

A newtoni mechanika máskép is eleget tett a folytonosság követelményének. A pontfizikát úgy vitte át a kiterjedéssel bíró testek fizikájára, hogy a jelenségeket végtelen kis térfogatelemekbe, kockákba, hengerhéjakba, gömbhéjakba helyezte. A folytonossági elvnek ily alkalmazásán épült fel a rugalmasságtan, a hangtan, a hőtan, a hidrodinamika, az aerodinamika, sőt az elektrodinamika is. Ez utóbbinak alapegyen-

letei, a Maxwell-féle egyenletek folytonos természetű mennyiségeket tartalmaznak és a folytonossági elv minden követelményének eleget tesznek.

A relativitási elmélet is a folytonosság fogalmán épült fel. Einstein ugyan a fizikának sok fogalmát megváltoztatta, a tér és az idő, az erőhatás elvén is sok változtatást tett, azonban a folytonosságukat meghagyta. Sőt azt lehet mondani, hogy a relativitási elmélet a folytonos világfelfogáson alapuló elméleteknek legjellegzetesebb mintaképe.

Mindezekkel szemben Newton fényelmélete a szakadásosság fogalmának jellegzetes képzeteit tárja elénk. Ahogyan Demokritosz az anyagot különböző nagyságú, anyagú, súlyú atomokból állónak tekintette, ugyanúgy Newton a fényjelenségeket különböző tulajdonságú fényatomokkal magyarázta. A különböző színek megmagyarázására feltette, hogy mindegyik színnek különböző nagyságú fényatomok felelnek meg. A legnagyobbak azok, amelyek a vörös és a legkisebbek azok, amelyek az ibolyaszín érzetét keltik. Feltette továbbá, hogy a fehér fényben a különböző nagyságú részecskék össze vannak keverve és hogy a különböző törő közegek határfelületei a fényatomokra vonzó erőt fejtenek ki. Minthogy a nagyobb fényatomoknak tétlensége is nagyobb, tehát az új közegben kisebb mértékben térnek el az eredeti iránytól, mint a kisebb fényatomok. Az új közegekbe való átmenetelnél tehát szétválásnak, színszórásnak kell bekövetkeznie. A visszaverődés és az áthatolás megmagyarázására fel kellett tennie, hogy minden nagyságú fényatomból mindíg kétféle van, olyan, amely az új közeg határánál visszaverődik és olyan, amelyik áthatol. A sarkítás tüneményeinek megmagyarázásához fel kellett tennie, hogy a fényatomok pálcaszerűek, vagy valamilyen más okból nincs centrális szimmetriájuk.

Mindezek nagyon bonyolódott és részletesen meg nem adható képzetek voltak. Nem is került a sor arra, hogy belőlük matematikailag szabatosan meghatározott fogalmak és elvek készüljenek. A fényjelenségek egy részének fenomenologikus leírásához képet adtak ugyan, azonban a mélyebb összefüggések kifejezésére alkalmasak nem voltak. A helyzetet a fénysugár fogalma mentette meg. Mert ezt úgy lehetett tekinteni, mint a fényatom pályáját. Ez a szimbolumszerű fogalom a jelenségek fenomenologikus leírásában is, a mennyiségi vonatkozások megállapításában is kitűnőnek bizonyult. Bevezetésével a newtoni optika szakadásos jellege megszünt és a folytonosság fogalmának engedte át a teret. A fénysugár semmi más, mint egyenes, vele úgy lehet dolgozni, ahogyan az egyenesekkel szokás. Az euklideszi geometria az optikába is beleépült. A sugarakhoz egyenleteket is lehetett hozzárendelni és a számításokat

egyenletek megoldásával is lehetett végezni. A sugároptika az analitikai geometria egyik alkalmazásává vált.

Newton szakadásos fényelméletével egyidejűleg keletkezett Huygensnek fényhullámelmélete, amely kezdettől fogva a folytonosság fogalmán alapuló természetfelfogásnak a legjellegzetesebb és a legtökéletesebb kifejezője volt. Legfőbb gondolati szerelvénye a mindenséget kitöltő és a minden anyagon áthatoló aeter fogalmához kapcsolódott. Ebben hullámok alakjában terjednek tovább a világító testekből keltett fényrezgések. Huygensnek a másodrendű rezgési központokból kiinduló sugarak összetételére vonatkozó elve lehetővé tette a 19. század utolsó évtizedéig ismeretes valamennyi fényjelenségnek folytonos fogalmak alapján való leírását. A matematikus-fizikusoknak pedig nagyszerű alkalmat nyujtott arra, hogy a jelenségeknek folytonos függvényekkel való előállítása útján végezzék számításaikat. Legfőbb kiindulási tételük a fényhullámok tovaterjedésének egyenlete volt és valóban bámulatraméltó az a találékonyság, amelyet a határfeltételeknek és az átalakítási elveknek feltalálása terén annak a megmutatására kifejtettek, hogy a hullámegyenlet minden egyes fényjelenségnél érvényes és mindennemű optikai vonatkozás kiszámításának az alapja. A fény elektromágneses jellegének felismerése után a hullámegyenletet az elektrodinamika Maxwell-féle egyenleteivel megegyezésbe kellett hozni. Ez is minden nehézség nélkül ment. További vizsgálatokból kitünt, hogy a fénysugárral és a hullámfelületekkel dolgozó fénytanok nem állanak egymással ellentétben, hanem belsőleg is összefüggnek. Matematikai alakzataik lényegükben véve azonosak, tehát mindkettő ugyanannak a ténynek különböző fogalmakba való öltöztetése. A két alapfogalom közti kapcsolat is igen egyszerű, mert a fénysugár semmi egyéb, mint a hullámfelület derékszögű trajektóriája.

Minthogy a 19. század végéig a fizikának legnagyobb része a folytonosság fogalmán épült fel, felmerül a kérdés, mi történt a legfontosabb kifejező eszközével, a matematikával? Az egész számok, miként említettük, a szakadásosságnak a legjellegzetesebb képviselői. Hogyan tudta tehát a matematika a folytonos mennyiségeket kifejezni? A matematikusok valóban kezdettől fogva arra törekedtek, hogy kitöltsék ezt a szakadékot és a számoknak olyan sorát állapítsák meg, amelyek a folytonosság kifejezésére alkalmasak. Az egész számok sorát a tört, az irracionális, a transzcedens és a negatív számok sorával egészítették ki.

A folytonosság felé való haladás irányában nagy jelentőségű találmány volt az analitikai geometriának, vagyis a folytonos geometriai alakzatok és a számok közti vonatkozásoknak teljes kiépítése. A segédeszközt ehhez a koordinátarendszer

adta meg. Ezt követte a függvény fogalmának a kiépítése. Legfontosabb alkatelemét a szögfüggvényeknek az ókori időkből származó táblázatai adták meg. Ide sorozandó a végtelen soroknak ugyancsak az ókorból származó fogalma, amely lehetővé tette az összes számoknak végtelen sorok alakjában való előállítását, vagyis más szóval lehetségessé vált minden számot — az egész számokat is — a számsorban mintegy „elkenni", vagyis a folytonosság követelményének képszerűleg is eleget tenni.

A differenciál- és az integrálszámítások, a differenciálhányadosok, az integrálok, a különféle rendű és fokú differenciál-egyenletek, a differenciálok, a vektorok, szkalarok, a tenzorok adták meg a folytonosság fogalmán felépült fizikának teljes matematikai szerelvényét. Nemcsak mint a számítás segédeszközei, hanem legtöbbször mint a fizikai gondolatnak kifejezői, mint sajátságos beszédmódok is szerepeltek. Tulajdonképen nem is a számítások eredményei, hanem ez a sajátságos és különleges beszédmód adta meg a matematikai természetleírásnak az igazi jellegét.

# XI. AZ ATOMMECHANIKA.

A 19. században a fizika fejlődése hatalmas mértékben ugrott előre. Nincs is a tudomány történetének még egy másik százéves korszaka, amelyben az emberi szellem a közvetlen tapasztalat alapján annyi új tényt ismert volna meg és annyi új fizikai jelenséget teremtett volna, mint ebben a termékeny évszázadban. Sok más fontos dolgot nem tekintve az ember e században a gépi szerkezeteknek, a mérőeszközöknek, a műszereknek, az anyagoknak, valamint a hatalmas teljesítményű elektromágneses energiáknak óriási sokféleségét teremtette meg. A század utolsó évtizedében a kísérleti fizikusok olyan fínom és érzékeny műszerekkel rendelkeztek, oly sokféle anyaggal dolgozhattak és olyan hatalmas energiaforrásokat alkalmazhattak, mint soha azelőtt. Módjukban állott tehát a legkülönfélébb anyagokat a hatalmas elektromos és mágneses térerősségek, valamint az alacsony és magas hőmérsékletek és nyomások hatásának kitenni, megfelelő légszivattyúkkal a legnagyobb anyagritkításokat előállítani s a jelenségeket a legérzékenyebb műszerekkel észlelni.

A fejlődés különféle kedvező körülményeinek összetalálkozása hozta létre e század utolsó évtizedének nagyjelentőségű kísérleti eredményeit. A katódsugarak, az anódsugarak, a röntgensugarak, a radióaktív anyagok, a különféle fényforrások, az elektroncsövek, a rádióhullámok voltak a legnevezetesebbek. A 20. század azóta letelt évtizedeiben a kísérleti fizikusok megteremtették a röntgensugaraknak és az elektronsugaraknak kristályfelületeken létrejövő elhajlását és találkozását, a mesterséges radioaktivitás módszereit, a tömegspektrométert és megismerhetővé tették a kozmikus sugarakat. Még más kisebbnagyobb jelentőségű olyan jelenségeket is teremtettek, amelyek mindenkit érdekelhetnek és olyanokat is, amelyeknek jelentőségét csak a tudós tudja értékelni.

Az új megismerések leírásukhoz, értelmezésükhöz, törvényeik kifejezéséhez új fogalmakat követeltek. Minthogy mindezekben a jelenségekben az anyag, az elektromosság és a fény kölcsönhatásai szerepeltek, tehát eljött a korszak, amelyben az anyag, az elektromosság és a fény szerkezetének és kölcsönös

kapcsolatainak a problémája tudományos kutatás tárgyává válhatott és a módszerek is megteremtődtek, amelyekkel megvizsgálhatóságuk reménnyel kecsegtetett.

Nyilvánvalóvá vált, hogy az új fogalmak nem viselhetik a folytonosság jellegét, tehát a szakadásosság fogalma alapján kellett azokat megalkotni. Az új tudomány alig 50 év alatt teremtődött meg, úgyszólván szemünk előtt folyt le a kialakulási folyamat. A fizikai megismerés egyéb részeiben a két legfontosabb tényező, a tapasztalati alap és a hozzátartozó gondolat időben rendesen messze esik egymástól, úgy, hogy összetartozandóságukat csak utólagos következtetésekkel lehet megállapítani. Itt azonban közvetlenül láthatjuk összefonódásukat. Sokszor a tapasztalat előzte meg a gondolatot és olyan új jelenséget teremtett, amelynek kifejezéséhez és értelmezéséhez szükséges fogalmakat a gondolkodásnak utólag kellett megteremtenie. Néha viszont a gondolkodás ugrott előre és olyan új fogalmat teremtett, amely új kísérletek kieszelésére ingerelt és ezek sokszor valóban fontos új jelenségeket hoztak is létre.

Az anyag mikrokozmosza számára alkotott új gondolati világot célszerű két részre, atommechanikára és kvantummechanikára osztani szét. Az első a kísérletezők, a második pedig az elméletezők új fogalmait és elveit foglalja magában elsősorban. A két rész azonban sokszor egymásba is kapcsolódik.

### 1. *A kémia atomja és molekulája.*

A mai atommechanikának kezdő gondolatai a 17. század utolsó évtizedeibe nyúlnak vissza, mikor Boyle felismerte, hogy az anyagok egy része bármikor megismételhető műveletekkel más ismeretes alapanyagokra, elemekre bontható fel és egyesülésükből ismét előállítható. E teremtő új gondolat alapján a kémikusok sok kísérletet végeztek és adataik alapján felismerték az állandó és a többszörös súlyviszonyok, a gázoknál az állandó térfogatok szerinti vegyülések tapasztalati törvényeit. Rájuk támaszkodva Dalton és Avogadro a 19. század elején felállította, illetőleg felújította az atom- és a molekulahipotézist. Minden anyag egymástól elkülönült részecskékből, molekulákból van felépítve. Egy-egy anyagfajta összes molekulái alakra, nagyságra, súlyra, tulajdonságra nézve egyenlők. Különböző anyagfajták molekulái azonban különbözők. A molekulák nem bonthatatlan elemi egységek, mert a különféle elemek atomjaiból vannak felépítve. Az atomok azonban már végső bonthatlan elemi részecskék. Egy-egy elem atomjai alakra, nagyságra, súlyra, tulajdonságra tökéletesen egyenlők, azonban a különféle elemek atomjai különböznek egymástól.

A vegyi folyamatoknál az atomok molekulákká egyesülnek vagy a molekulák atomokra szakadnak szét.

Az atom- és molekula-hipotézis alapján a kémikusok találékonysága egy felbecsülhetetlen értékű segédeszközt talált fel, amely gyakorlati eredmények szempontjából összehasonlíthatatlanul nagyobb jelentőségű volt, mint maga a hipotézis. A kémiai formula volt ez a találmány. A vele való szimbolikus beszédmód a folyamatok leírását, értelmezését, magyarázatát, az anyagok előállítását egyértelművé és egyszerűvé tette. Segítségével a kísérleti ügyesség megszámlálhatatlan számú új anyagot hozott létre. Ahogyan azután az elméleti kémia a molekulák különféle geometriai alakzatainak szintetikus megszerkesztésével a maga rendszerét fel tudta építeni, az a tapasztalatok alapján fogalmat alkotó és a fogalmak alapján gondolkodó, új kísérleteket kieszelő emberi értelemnek egyik legnagyobb teljesítménye.

A sok siker nyilvánvalóvá tette, hogy e szimbolikus formula-beszéd mögött a tőlünk független természetnek valamilyen lényeges mechanizmusa van elrejtve, amelynek egyik lehetséges vázlatos képét a molekula- és az atomhipotézis jellemző képzetei tárják elibénk. Úgyis kell ennek lennie, mert e formulabeszéd szerencsés módon fejezi ki az anyag megmaradásának, az elemek változatlanságának és a meghatározott mennyiségek szerinti vegyülésnek és bomlásnak a tapasztalat által jól megalapozott elveit.

Mindazonáltal e tudományban az atomok és a molekulák csak szimbolumok voltak. A leírást, az értelmezést lehetővé tették, a gondolkodást vezették, új kísérletek kieszelésére támasztékot adtak, de tapasztalatilag megfoghatók nem voltak. Még nagyon nagy űr tátongott a gondolat és a tapasztalat között.

Ismeretelméletileg nagyon sajátságos az atomsúly szerepe. A kémikusoknak reávonatkozó adatai kétségkívül reális mennyiségeket jelentenek, mert kísérleti adatokból származnak, noha nem éppen egyszerű számolási eljárásokkal. Úgy, ahogyan vannak, egy alapul választott atomra (a hidrogén vagy az oxigén atomjára) mint egységre vonatkoznak. Minthogy tehát az atomsúly az atomnak egyetlen kísérletileg megfogható mennyiségbeli adata, felmerül a kérdés: csakugyan az atomsúly-e az a mennyiség, amely az atomokat egymástól megkülönböztethetővé teszi és mindegyiknek a tulajdonságait jellemzi?

A feleletet megtaláljuk az elemek természetes sorrendjében. Amikor ugyanis az elemeket atomsúlyaik sorrendjében felsoroljuk, tulajdonságaik a kezdő helyen lévő hidrogéntől, mint a legkisebb atomsúlyú elemtől kezdődőleg bizonyos távolságra periodikusan ismétlődnek. Tehát az elemeket egymás mellett álló oszlopokba lehet állítani úgy, hogy az egy-egy oszlopba so-

rolt elemek hasonló tulajdonságúak. A táblázatot Mendelejeff és Lothar Meyer találta fel 1869-ben és az később csodálatos hatásképességű ismeretforrásnak bizonyult. Benne az elemek főbb vegyi, optikai és elektromos tulajdonságai röviden össze vannak foglalva, tehát számos új vegyületet, a hiányzó helyekre számos új elemet lehetett vele felfedezni. Ilyen úton a különböző vegyi tulajdonságokkal bíró elemek száma 92-re növekedett. De ezzel be is zárult a sor. A táblázat azt a gondolatot tette valószínűvé, hogy több elem nincs is és nem is lehetséges. Azt a megismerést is hozta, hogy nem az atomsúly, hanem az e táblázatban foglalt helyének a sorszáma, az ú. n. rendszám jellemzi az elem tulajdonságait.

Mindezek alapján érthető, hogy a periodikus táblázat az atommechanikának a legfontosabb tapasztalati alapjává vált.

### 2. *A kinetikus anyagelmélet.*

Annak a ténynek a felismerése, hogy meghatározott mechanikai munkából mindig meghatározott mennyiségű hő származik, igen erős tapasztalati alapot adott a régebbi gondolatnak, amely szerint ennél a folyamatnál a látható testek mozgási energiája a láthatatlan molekulák mozgási energiájává alakul át: a makroenergia mikroenergiává lesz, az anyag molekulái szünet nélkül mozognak; a szilárd testeké bizonyos egyensúlyi helyzet körül rezegnek, a gázoké egyenes vonalban repülnek, egymásba és az edény falaiba ütköznek, a folyadékoké mindkét fajta mozgást végzik. A hőérzet semmi egyéb, mint bőrünknek a molekulák által való kalapácsolása, a hőmérsékletet pedig a molekulák középenergiája határozza meg.

E felfogáson építette fel Krönig, Clausius, Maxwell és Boltzmann a kinetikus gázelméletet. A különböző sebességértékeknek a gáz molekulák közötti eloszlására szintetikus úton egy matematikai alakú törvényt teremtettek, amely azt fejezi ki, hogy a sebesség értékei egy középérték körül csoportosulnak úgy, hogy az olyan molekuláknak a száma a legnagyobb, amelyeknek sebessége e középértékhez közel van és minél messzebb esik valamely sebességérték ettől a középértéktől, annál kevesebb az olyan molekuláknak a száma, amelyek átlagban e sebességértékkel mozognak. A törvény érvényességének fenntartásával egyébként a molekulák sebességei örökösen cserélődnek.

Vele, valamint más tetszetős hipotézisekkel a kinetikus anyagelmélet a jelenségek nagy részét, a diffuziót, a folyadékok és gázok keveredését, a sajátságos Brown-féle mozgást, a gázok tapasztalati törvényszerűségeit, a testek hővezetését jól

meg tudta magyarázni, a hőelmélet második főtételének mechanikai értelmezését is meg tudta adni. Az elmélet alapján bizonyos további hipotézisek hozzávételével ki lehetett számítani a térfogat egységében lévő normális állapotú gáz molekuláinak számát, középsebességét, középúthosszát. Az atomokat és a molekulákat ugyan nem lehetett egyénenként a tapasztalat tárgyává tenni, azonban a gáz, mint igen nagy számú molekula kollektivuma a tapasztalattal elég jól egyező tulajdonságokat mutatott.

Az elmélet nyomában súlyos nehézségek is jártak. A megszámlálásnál a molekulákat pontszerű alakzatoknak kellett tekinteni, azonban ütközésüknél a rugalmasság törvényeit, az energia és a mozgásmennyiség megmaradásának elvét kellett alkalmazni. Ebből nagy ellentmondás keletkezett, a pontszerű alakzatoknak ugyanis nem lehet rugalmasságot tulajdonítani, mert ez belső szerkezetet követel és a belső surlódás is sok zavart okoz. Bármilyen szellemes volt is az alapgondolat, a szabatos megismerés magasabb igényeit nem elégítette ki. De pompás képzeteket teremtett az anyag mikrokozmikus felfogása számára. Megmutatta, hogy a részecskék száma, tömege, mozgásmennyisége és energiája azok a fogalmak, amelyekkel az atommechanikában dolgozni lehet.

### 3. *Az iónok.*

Faraday-nek elektrolitikus törvényei tulajdonképen már magukban foglalták az elektromosság és az anyag részecskéi közötti kapcsolatot. Ahogyan a kémikusok az egyszerű és a többszörös súlyviszonyok szerinti vegyülések tapasztalati törvénye alapján arra következtettek, hogy az anyag végső bonthatlan elemi részecskékből áll, ugyanúgy a fizikusok az elektrolitikus törvényekből arra következtethettek volna, hogy az elektromos töltések is bonthatlan elemi egységekből állanak, és hogy ezek az anyagi atomokkal elválaszthatatlan kapcsolatban vannak.

A következtetés nem történt meg, mert Faraday és Maxwell az elektromos töltést körülvevő erőmező folytonos természetű fogalmát annyira szükségesnek tartotta, hogy a szakadásosságnak ide való bevitelét nem előnyösnek, hanem hátrányosnak ítélte. Az elektrolitikus törvények — hogy úgy mondjuk — bizonyos tekintetben túlkorán is jöttek. Szigorú matematikai vonatkozásokat írtak elő az elektromos mennyiségek, az anyagmennyiségek és az idő között, azonban kvalitatív, szemléletes, fenomenologikus képzeteket nem adtak. A kutatók a kísérleteknek megszámlálhatlan sokaságát végezték a nél-

kül, hogy képzeteket tudtak volna alkotni arról, hogy az aránylag gyönge elektromos erők miképen tudják az anyagokat elemeikre szétbontani. Előbb ilyen képzeteket kellett kialakítani és csak azután lehetett az elektromosság atomszerű felfogásának és az anyaggal való kapcsolatának gondolati megszerkesztésére áttérni.*

A szükséges képzeteket a 19. század második felében Clausius, Arrhenius, Helmholtz és Van t'Hoff munkássága teremtette meg. Kialakult a felfogás, hogy az elektrolízisnél nem az elektromos erő szakítja szét a molekulákat, hanem hogy a szétszakadt állapot kezdettől fogva készen van. Amikor az elektrolít mint oldat, az őt alkotó anyagi fázisokból keletkezik, vagy amikor magas hőmérsékletnek van kitéve, akkor megy végbe a molekulák szétszakadása, vagyis az elektromos töltésű iónok keletkezése. Az elektrolít tehát nem stabil, hanem olyasféle dinamikus alakzat, aminő a gáz. Benne nemcsak elektromosan neutrális molekulák, hanem pozitív és negatív töltésű iónok is folyton jelen vannak, ide-oda mozognak, a kész molekulákat, ha közelükbe jutnak, szétszakítják, majd egyesülnek velük és újból szétszakadnak. Csak a disszociáció, illetőleg az ionizáció folyamatának e szemléletes képzetei tették lehetővé az elektrolízis lefolyásának és az elektrolitikus törvények létrejöttének megértését.

Ezen az alapon az elektrolitikus egyenértékekből már lehetséges volt az elektromosság végső elemi részecskéinek töltését kiszámítani, ha ahhoz még az 1 gr hidrogén molekuláinak a kinetikus gázelmélettel nyert számát is hozzá vesszük. Az eredmény az, hogy az elektromosság atomjának $4{\cdot}77.10^{-10}$ elektrosztatikai egységgel kell egyenlőnek lennie.

A 19. század végén a fizikusok a gázok vezetőképességét kezdték vizsgálni. A tapasztalat azt mutatta, hogy a röntgensugarak, a katód- és anódsugarak, a radioaktív sugarak, a magas hőmérsékletek, az ibolyántúli sugarak a gázokat kisebbnagyobb mértékben vezetővé teszik, hogy maga a láng és általában az égéstermékek is vezetők és hogy magas elektromos feszültségek alkalmazásánál a gáz lökésszerűleg is vezetővé válik. Az ionizáció fogalmaiban e folyamatok megértéséhez szükséges képzetek is készen voltak. Fel lehetett ugyanis tenni, hogy a röntgensugarak és általában a fénysugarak a gázrészecskéket pozitív és negatív töltésű iónokra szétszakíthatják, hogy a nagy sebességgel mozgó elektromos töltésű iónok neutrális gázmolekulákba ütközve azokat ionizálhatják, hogy magas hőmérsék-

* Ez az eset is mutatja, hogy tisztán matematikai összefüggésekkel, amelyekhez élénk képzetek nem fűződnek, sem elméletet alkotni, sem előretörő kutatást végezni nem lehet.

leten is keletkezhetnek ilyen módon iónok, hogy minden gázban kezdettől fogva néhány ión jelen is lehet és hogy ezek a magas feszültségek hatása alatt olyan sebességre tehetnek szert, amelylyel ionizálni képesek, ami által megint újabb nagy sebességű iónok keletkezhetnek, vagyis létrejöhet a lökésszerű ionizáció.

Mindezek a tapasztalati tények szinte kényszerítő erővel arra mutattak, hogy a természet nekünk nemcsak neutrális molekulákat, hanem elektromos töltésű iónokat is nyujt. Az anyag végső elemi részecskéinek fizikájában tehát a részecskéknek nemcsak tömeget, mozgásmennyiséget, energiát, hanem elektromos töltést is kell tulajdonítani.

### 4. *Az elemi alkatrészek.*

Azt lehetett volna várni, hogy az elemi részecskék fizikájában a pozitív és a negatív elemi részecskék egyenlő, illetőleg szimmetrikus szerepet visznek. A tapasztalat azonban mást mutatott. A kutatók, közöttük első sorban Lenárd és J. J. Thomson arra a meggyőződésre jutottak, hogy a katódsugár nagy sebességű negatív töltésű részecskék rajából áll. Keresztbe helyezett elektromos és mágneses erőmezőkkel a részecskéket pályájukból ki lehetett téríteni és a kitérés irányából meg lehetett állapítani, hogy valóban negatív töltéssel bírnak, sőt a töltés és a tömeg viszonyának, az $\frac{e}{m}$-nek értékét is meg lehetett határozni. Valamennyi esetben, — akármilyen volt a gáz és akármilyen anyagból voltak az elektródok — ugyanaz a számérték adódott. Minthogy tehát a feltételezett részecske különálló egyéniséget mutatott, joggal kapta a *negatív elektron* nevet.

Azután számos más jelenségben is rá lehetett találni. Mindenekelőtt a radioaktív anyagok béta-sugaraiban, ezek is negatív elektronok rajából állanak. Azután meg lehetett találni a fény-elektromos jelenségben. Az anyagok, különösen a fémek a röntgensugarak hatása alatt negatív elektronokat löknek ki magukból. Sebességük a sugarak rezgésszámától, számuk pedig azoknak intenzitásától függ. A Wilson-kamara pályájukat láthatóvá is teszi. Meg volt továbbá található az izzó testek környékén is, ezek is negatív elektronokat löknek ki. A rádiótechnikában nagy szerepet vivő elektroncső működése is e folyamaton alapszik. A Zeemann-féle kísérlet, a foszforeszcencia és fluoreszcencia jelensége, a fényképező lemez megfeketedése, sőt maga a látás is a negatív elektron fogalma révén vált értelmezhetővé. Valamennyi esetben, ahol a töltés és a tömeg aránya meg volt mérhető, ugyanaz a számérték adódott az elektron számára.

Mindezekből arra kellett következtetni, hogy az anyag szerkezetében a negatív elektron elsőrendű szerepet visz. A kutatók tehát minden lehető módon iparkodtak adatainak meghatározására. Módszereket dolgoztak ki e célokra. A tapasztalati adatok matematikai kiértékelésében a relativisztikus mechanika hipotéziseit is felhasználták, mert az igen nagy sebességgel mozgó elektron tömegét ezek alapján számították. Mindezeknek a gondolati és tapasztalati elemeknek egybevetéséből alakult ki az eredmény, amely szerint a negatív elektron tömege a hidrogén atomtömegének mintegy 1850-ed része. Nem matematikai pont, mert mérete messzemenő hipotézisek és hozzávetőleges becslések alapján $10^{-13}$ cm rendűnek adódott. Elektromos erőmező középpontjává is meg kellett tenni, tengelyforgással, „spin"-nel is el kellett látni és a fénykeltés végezhetőségére rejtelmes ugrási képességekkel is fel kellett ruházni.

A kutatók továbbá arra a meggyőződésre jutottak, hogy az anódsugarak *pozitív atomiónok* rajából állanak, amelyek az elektromos mező hatása alatt nagy sebességgel mozognak. A keresztbe helyezett elektromos és mágneses erők hatása alatt ezek is kitérnek és pedig olyan irányban, amilyenben a pozitív töltéssel mozgó részecskéknek kell kitérniök. Különböző mérési adatokból ez esetben is meg lehetett határozni a részecskék töltésének és tömegének arányát, az $\frac{e}{m}$-et. Itt azonban ez az érték a csövet kitöltő gáz atomsúlya szerint változott. A jelenség lefolyása azt a gondolatot keltette, hogy a csőben lévő gáz a katódsugarak bombázásának hatása alatt iónizálódik és a keletkezett pozitív iónok raja adja az anódsugarat. E felfogás alapján meg lehetett határozni az iónok sebességét és tömegét.

Számos más kísérletben is szerepelnek. Mindenekelőtt a radioaktív anyagok alfasugaraiban, amelyek pozitív töltésű hélium-iónoknak bizonyultak. Újabb időben több millió voltos elektromos erőterekkel, valamint különleges gyorsító szerkezettel, a ciklotronnal számos más hasonló tulajdonságú sugarat is lehetett előállítani. Valamennyien a különféle atomok pozitív iónjainak rajából állanak. A természetes radioaktív elemek alfasugarait újabb nagysebességű atomiónok termelésére is föl lehetett használni. A kozmikus sugarak között is vannak ilyen sugárféleségek. Pályáik a létesített ionizáció révén a Wilson-kamrában láthatóvá is tehetők.

Az anódsugarakat előállító készülék bizonyos módosítással, amely az egyenlő sebességű atomiónok különválasztását biztosítja, nagy hatásképességű tömegspektrométerré alakult át. Aston vele feltalálta az *izotópokat* és e fogalommal a 92 változatlan elemnek a tanát alapjában rendítette meg. A keresztbe-

helyezett elektromos és mágneses erőmezők ugyanis az egyenlő sebességű és fajtájú atomraj egyes pozitív atomjait tömegük szerint különböző mértékben térítik ki és egymástól elválasztják úgy, hogy megfelelő helyre tett fényképező lemezen a nyomoknak egy sora támad. Az anódsugárban repülő atomiónok tömegének nagysága és relatív számossága tehát meghatározhatóvá válik. Aston és követői ily módon kimutathatták, hogy az elemek általában különböző tömegű atomok keverékéből állanak. Így pl. az, amit hidrogénnek nevezünk, háromféle atomnak a keveréke, amelyeknek atomsúlyai úgy aránylanak egymáshoz, mint 1:2:3. A tömegspektrométerrel ily módon szétválasztott elemeknek száma ma már 400 körül van és megvan a valószínűség arra, hogy számuk még tovább fog növekedni.

Miért nem sikerült ezeket az elemeket, amelyeknek atomsúlyai különbözők, ezideig felfedezni? Kétségkívül azért, mert különböző atomsúlyaik ellenére kémiai tulajdonságaik egyenlők, tehát a periodikus táblázatban ugyanarra a helyre kell kerülniök, rendszámuk ugyanaz. Épp azért kapták az *izotóp* (egyenlő helyű) nevet.

Az új atommechanikának legszilárdabb tapasztalati alapja és új fogalmainak legfőbb forrása a Curie-házaspártól feltalált *radioaktív* jelenségekben van. Sikerült megállapítani, hogy három sugárfajtával, az alfa-, béta- és gamma-sugarakkal, valamint a keletkező új elemekkel az összes jelenségek megmagyarázhatók. Az alfasugarak a hélium elem pozitív atomiónjaival azonosaknak bizonyultak és mérhető mennyiségben is össze voltak gyüjthetők. A bétasugarak a katódsugarakhoz hasonló tulajdonságokat mutattak, tehát negatív elekronok rajából állanak. A gammasugarak pedig olyan természetűek, mint a röntgensugarak, vagy mint általában a fény, csak hullámhosszúságuk kisebb jelentékeny mértékben, energiájuk pedig ennek megfelelően annál nagyobb. A keletkező új elemek között voltak olyanok, amelyek mérhető mennyiségben keletkeztek, tehát kémiai és színképi tulajdonságaikat is meg lehetett állapítani, de nagy számban voltak olyanok is, amelyek csak sugárzási nyomokkal árulták el tulajdonságaikat.

Az új jelenségekkel kapcsolatban több új fogalom is alkotódott, közöttük: az elem féléletideje. Mindezideig a fizika és a kémia az atomot változatlannak és örökidejűnek tekintette. A felfogást el kellett vetni és az elem, illetőleg az atom átalakulásának új gondolatával kellett helyettesíteni. Az elemet alkotó atomok közül egyesek teljesen ismeretlen törvény — tehát a véletlen törvénye — szerint átalakulnak, illetőleg alkotó elemeikre esnek szét, miközben sugárzási energiát is lövelnek ki

magukból. A féléletidő azt az időt jelenti, amely alatt az atomoknak a fele felbomlik.

A radioaktivitás tapasztalati jelenségei tehát szinte kényszerítő erővel az atomrobbanás és az atomátalakulás képzeteit ébresztették fel.

Az új képzetet nyomon követte a gondolat: nem lehetne-e az ember rendelkezésére álló módszerekkel mesterségesen is előidézni? Rutherford 1919-ben fogott hozzá a gondolat megvalósításához. Alfasugarak hatásának nitrogént tett ki, vagy ahogyan azóta mondani szokás, nitrogénatomokat héliumatomokkal bombázott (véres háborúban keletkezett a gondolat, semmi különös sincs tehát abban, hogy a tudomány annak a beszédmódját vette át). Elegendő adatot talált arra a felfogásra, amely szerint a nagysebességű héliumiónok a nitrogén atomjából hidrogéniónokat ütnek ki. Azóta e műveletet igen sokszor megismételték s a csodás Wilson-kamara bizonyos nyomokat mutatott, amelyeket úgy lehetett értelmezni, mint a héliumión útját az ütközés előtt és után és mint a kirepülő hidrogénión útját az ütközés után.

Nyilvánvaló a gondolat, amely a látottaknak értelmezését követte. A nitrogénatom ugyanolyan elemi alkatrészekből van felépítve, amilyenek a hidrogénatomban vannak. Azóta a fizikusok számos más elemet hasonló módon bombáztak és a hidrogén atomiónját ugyanazon ismertető jelekből, vagyis az út hosszából, elhajlásából és szélességéből felismerhették. Föltették tehát, hogy a hidrogénatom pozitív töltésű iónja minden atom ős alkatrésze és ezért a *proton* nevet adták neki.

A kísérlet megismétlései aztán újabb elemi alkatrész nyomaira is vezettek. Bothe és Becker, a Joliot-Curie házaspár, valamint Chadwick a beryllium elemnek a héliumiónokkal való bombázási eredményeiben nagy hosszúságú utakat talált, amelyek azt a benyomást keltették, mintha az azon repülő részecske valamilyen láthatatlan lövedék lökésétől kapta volna nagy sebességét. Föl kellett tenniök, hogy e láthatatlan lövedéknek nem lehet sem pozitív, sem negatív töltése, mert feltételezett pályája a Wilson-kamrában nem mutatkozik. Az új feltételezett részecske tehát csak neutrális lehet, vagyis nem lehet elektromos töltése, mert különben az elektromos térben nagy sebességet kaphatna és ionizálna. Neutrális tulajdonságai folytán kapta a *neutron* nevet.

Az atombombázás művelete csak nagyon ritka esetben mutatja a kilökött alkatrésznek a nyomát. Rendesen sok száz kísérletet kell elvégezni, amíg valamelyiknek eredményében ilyen nyomok észlelhetők. Ez a körülmény azonban nem akadályozta meg az atommechanikusokat abban, hogy a műveletet ne folytassák. Gépezeteket eszeltek ki, amelyek automatikusan

nyitják és zárják a Wilson-kamrát és fotografálják a lövedékek nyomát. Nagy eszköz- és energiaszerelvénnyel láttak hozzá a *mesterséges atombontás* műveleteinek a végrehajtásához. Az a remény lelkesítette őket, hogy ezen az úton új tudományt, a szuperkémiát, vagy a transzmutációs kémiát fogják megalapíthatni. Bombázó tüzérségük lövedékei alfasugarak (héliumiónok), protonok, deutonok (a hidrogén két elemi töltésű iónjai), a neutronok, továbbá az igen rövid hullámhosszúságú röntgensugarak. Legnagyobb hatásképességű lövedéknek a neutront tartják, éppen azért, mert nincs töltése s így minden atom belsejébe akadály nélkül behatolhat.

A lövedékek hatásáról különféle képzeteik vannak. Ha a bombázott atom súlyos (a periodikus rendszer második feléből való), akkor a lövedékek különféle irányokban visszaverődhetnek. Ha azonban a bombázott atom könnyű (a periodikus rendszer elejéről való), akkor sebességet kap és a Wilson-kamrában kimutatható pályát hagy hátra. Mindkét esetben az eltalált atom változatlan marad s nincs atomátalakulás. De előfordulhat az az eset is, hogy a lövedék megzavarja az eltalált atom belső szerkezetét, a belső részecskék átrendeződnek, az atom stabilitása megváltozik, átalakulhat radioaktív atommá és a véletlen törvénye szerint felrobbanhat. A lövedék be is juthat az atom belsejébe, annak valamelyik részecskéjével egyesülhet és újabb, nehezebb atom keletkezik. Ha pedig a lövedék keresztülmegy az atomon, részecskéket lökhet ki belőle, az egész atomot szétrobbantheti. A lövedékek hatásának megítélésében szerepet játszhatik a rezonancia jelensége. A lövedék energiája és a bombázott atom belső energiájának bizonyos lehető értékei között megegyezés lehet, amikor a bombázás különösen hatékonnyá válik. A kísérletek, noha nagyszabású felszereléssel és nagy pénzösszegek rááldozásával végeztetnek, mindezideig roppant kis anyagmennyiségeket, legfeljebb néhány millió atomot tudtak csak termelni. Ennek az anyagmennyiségnek a súlyát semmiféle mérő módszerrel sem lehet megmérni. Létét a Wilson-kamra ködcseppjei, vagy az elektromosságszámláló készülék regisztrálásai árulják el.

A legújabb években a *kozmikus sugarak*nak tulajdonított jelenségek újabb nagykiterjedésű, rejtelmes tapasztalati anyagot teremtettek az atommechanika részére. Valójában itt ugyanolyan folyamatokról van szó, mint a természetes és a mesterséges radioaktivitás jelenségeinél. Megfigyelésük is ugyanazokkal a módszerekkel és eszközökkel történik. A jelenség olyan, mintha forrása független volna a földi anyagoktól és mintha a világűrből jönnének a feltételezett sugarak, amelyek a jelenségeket megteremtik. Erre mutat a tény, hogy a légkör műszerekkel elérhető legnagyobb, mintegy 30 km-nyi magas-

ságaiban gyakoriságuk 150-szer nagyobb, mint a tenger szintjén. De mélyen a tenger felszíne és a talaj alatt is jelentkeznek, noha megfelelően gyérebben. Ezek a minden emberi közreműködés nélkül, a véletlenség törvénye szerint létrejövő rejtelmes jelenségek lesznek talán hivatva arra, hogy a radioaktív jelenségek összesége részére összefoglaló fogalmakat teremtsenek.

Anderson a kozmikus sugarak által létrehozott radioaktív jelenségeknek mágneses terekben való vizsgálatából egy új elemi alkatrésznek, a *pozitív elektron*nak a jelenlétére következtetett. Egy oly részecskének a nyomai tüntek fel, amelynek a kitérés iránya szerint pozitív töltése lehetett csak. Ennek megítélése azonban mindíg attól függ, hogy a látható görbe vonalat melyik irányba képzeljük befutottnak. Anderson a kérdésnek eldöntésére elegendő tapasztalati adatot talált és így kétségtelennek tartja, hogy a részecskének pozitív töltése van. A gyér adatokból azt is meg lehetett állapítani, hogy tömege a negatív elektron tömegével egyenlő. A kísérleti adatok szerint a részecske roppant rövid életű.

Az atommechanikusok a pozitív elektront, vagy pozitront az anyag egyik lényeges elemi alkatrészének tartják. Állásfoglalásukat az a körülmény befolyásolta a legnagyobb mértékben, hogy Dirac kvantumelméleti alapegyenletei alapján előre megjósolta e részecske létezését, valamint azt is, hogy nagyon rövid életűnek kell lennie. Erről a kérdésről alább bővebben lesz szó.

### 5. *Az atomminta.*

A felsorolt tapasztalatok és a hozzájuk fűződő gondolatok alapján a kutatók arra a felfogásra jutottak, hogy az anyag nem 92, illetőleg az izotópok hozzászámításával nem még ennél is több, hanem csak néhány egymástól különböző elemi alkatrészből, a pozitív és a negatív elektronból, a protonból, a neutronból és esetleg még egy-két más, mindezideig ismeretlen részecskéből van felépítve. Ha kezdetben voltak is olyanok, akik a negatív elektron föltalálása után ezt a többihez egyenlő rangúan hozzásorakozó 93-ik atomfajtának nézték, e gondolatot csakhamar felváltotta az atomok összetett voltának a gondolata, amelyben az elektron az egyik elemi alkotó rész.

A felfogás oly *atomminta* kigondolását követelte, amely ugyanazt a szolgálatot tegye, amelyet eddig a 92 különböző tulajdonságú atom tett. A különböző atomtulajdonságok fogalmát tehát az alapul szolgáló elemi alkatrészek geometriai, kinetikai, dinamikai szerkezetével kellett helyettesíteni. Az atom-

mintát analízissel, dedukcióval nem, hanem csak szintetikus matematikai szerkesztő képességgel lehetett megalkotni.

Az atommintának meg kell magyaráznia a kémiai vegyülési és bomlási jelenségeket és törvényeket: miért és hogyan mennek ezek végbe, miért vannak egy, két és több vegyértékű atomok, miért vannak egyező, és ellenkező tulajdonságaik? Röviden összefoglalva, az atommintának érthetővé kell tennie: miért lehetett az elemeket tapasztalati viselkedésük alapján a periodikus rendszerbe sorozni?

Meg kell magyaráznia az elektromos árammal kapcsolatos jelenségeket, a gázok és az elektrolítek áramvezetését, az ionizációt, a fémek vezetését, a szigetelő anyagok szigetelését, a mágneses tulajdonságokat, a hőelektromos jelenségeket, a kohéziót, a fajhőket.

Meg kell magyaráznia a fény és az anyag kölcsönhatásainak összes jelenségeit, a vörösön inneni, a látható, az ibolyántúli sugarak s a röntgensugarak kibocsátását és elnyelését, a fényelektromos jelenségeket, a fluoreszkálást és a foszforeszkálást, a fény kémiai hatásait, a látást, a színképi vonalaknak tapasztalati törvényeit, a visszaverődést, a törést, a színszórást, a fényelhajlást, a fénytalálkozást, a sarkítást, stb.

Végül pedig meg kell magyaráznia a természetes, a mesterséges és a kozmikus sugaraktól keltett radioaktivitási folyamatokat.

Az atomminta szerkesztői Rutherford eredeti elgondolásából kiindulva, az atommintában két részt, egy külső *atomburkot* és egy belső *atommagot* különböztetnek meg.

Az atomburkot annyi negatív elektronból rakták össze, amennyi az illető atomnak a rendszáma a periodikus rendszerben és azokat különféle geometriai elosztásban egyközepű gömbhéjakba vagy gyűrűkbe helyezték el. Az elosztás és a gömbhéjak vagy gyűrűk megválasztásában nagy találékonyságot fejtettek ki, hogy e szerkezeti elemek teljesíthessék mindazokat a feladatokat, amelyeket eddig az atomfajták különböző kémiai tulajdonságaival volt szokás magyarázni. Az atomburok egy, két, három, sőt esetleg valamennyi negatív elektronját elveszítheti, ami által vegyülésre képes pozitív ionná alakul át; vagy a körülötte lévő anyagból egy, két, három és több negatív elektront magához is ragadhat, ami által vegyülésre képes negatív ionná alakul át; vagy pedig szerkezetének stabilitása és zártsága olyan fokú, hogy elektronokat sem el nem veszíthet, sem be nem szívhat és így vegyülésre nem képes atom marad, amilyenekből a nemes gázokat kell összetetteknek gondolnunk.

A fényjelenségek megmagyarázása végett fel kellett tenni, hogy a kívülről jövő fényenergiát az elektron elnyeli, aminek következtében helyét az atomburokban meg kell változ-

tatnia, sőt onnét ki is lökődhetik. Viszont az elektront fénykibocsátó képességgel is föl kellett ruházni és föl kellett tenni, hogy fénykisugárzásakor is megváltoztatja helyét az atomburokban.

Az atomminta a burokban lévő elektronok elvesztésének, az idegen elektronok beszívásának és az elektronok hely- és energiaváltozásának hipotéziseivel az összes kis energiájú változásokat, a kémiai és az ionizációs folyamatokat, az elektromos áramlásokat, a hőjelenségeket és a fényjelenségeket többékevésbbé meg tudta magyarázni.

A radioaktív jelenségek megmagyarázása az atommag feladatává vált. Szerkezetét úgy kellett megalkotni, hogy a természetes, a mesterséges és a kozmikus sugaraktól előidézett összes radioaktív jelenségekről számot adjon. A feladat megoldása sokkal nagyobb nehézségekbe ütközött, mint az atomburok megszerkesztése. Ez természetes is, mert a természetes radioaktivitás csak rövid idő óta ismeretes, a mesterséges radioaktivitásra és a kozmikus sugarakra vonatkozó úttörő kísérletek pedig még folyamatban vannak. A tapasztalat és a gondolat még kialakulóban, előretörésben van. Egymást ugyan kölcsönösen támogatják, azonban még sok a puszta képzelet és az atommag felbontásához fűzött és túlságos magasra fölcsigázott remény. Azok, akiket az atommag feltörésének a feladata azért lelkesít, mert általa elképzelhetetlenül hatalmas energia- és aranybányát vélnek föltalálhatni, bizonyára nem alkalmasak arra, hogy tudományos kérdéseket megoldjanak. Nem csoda tehát, ha az atommag szerkezetére vonatkozó gondolatok még nagyon folyékony állapotban vannak és ha bennük még sok sötét űr tátong. Amit a gondolatok tömkelegéből, mint nagyjából egyezőt, ki lehet hámozni, az nagyobbrészt formalisztikus, vagy metaforikus értelmű, vagy puszta követelmény.

Az, hogy az atommagnak annyi pozitív elemi elektromos egységet kell hordania, amennyi az atom periodikus rendszerbeli rendszáma, formalisztikus követelmény. Minthogy ugyanis az atomburok ugyanennyi negatív elektront tartalmaz, tehát csak e követelmény teljesítésével válik az atom normális állapotában neutrálissá.

Sokkal fontosabb követelmény az atommag stabilitásának a biztosítása ott, ahol erre szükség van. A nem radioaktív elemek atommagjait ugyanis olyan fokú stabilitással kell ellátni, amely épségüket a kisenergiájú folyamatokkal szemben biztosítja. Viszont azonban a szerkezetnek mégis olyannak kell lennie, hogy valamely igen nagy energiájú részecske — a mesterséges radioaktivitási műveletek valamely lövedéke — az atommag belső stabilitását megzavarhassa, az alkotó elemi részecskék átrendeződését előidézhesse úgy, hogy az atom radioaktívvá

válhassék. Viszont a természetes radioaktív elemek atommagjai részére olyan szerkezetet kell kigondolni, amelynek stabilitása kisebb fokú úgy, hogy a véletlen törvénye szerint szétszakadhasson. A féléletidők szerint azonban a stabilitási fokozatoknak nagy sokaságára van szükség.

Pusztán geometriai elrendeződéssel a stabilitást nem lehet előállítani. Bizonyos kötőerők és a megfelelő belső energiák föltételezése is szükséges. Képzeteket róluk alkotni alig lehet, tehát matematikai formalizmushoz kell folyamodni. Nagyságukról némi útbaigazítást abból a fölfogásból lehet kapni, amely szerint a kötő energiának egy része az atom felbomlásánál sugárzó energiává, gamma-sugarakká alakul át és ilyen alakban lövelődik ki.

Mely elemi részecskékből kell az atommagot összeszerkeszteni? Rendesen a pozitív és a negatív elektron, a proton és a neutron szerepel úgy, mint az atommag épületköve. A kérdés azonban nincs tisztázva. Abban, hogy a negatív elektron igazi elemi részecske, senki sem kételkedik, mert a radioaktív jelenségeket kísérő bétasugarak kétségtelenül igazolják. A másik három közül, azonban csak kettőnek kell igazi elemi részecskének lennie. Ha a proton és a neutron ilyen, akkor nincs szükség a pozitív elektronra. Ha pedig a neutront és a pozitív elektront tekintjük ilyennek, akkor a proton nem más, mint a neutronnak és a pozitív elektronnak a kapcsolata. Más nehézségek is vannak, amelyek egy elenyésző csekély tömeggel bíró neutrális részecskének, a neutrinonak a hipotéziséhez vezettek.

Az atommag szerkezetére vonatkozó gondolatok igen messze vannak a relatív megállapodottságnak attól a fokától, amely az atomburokra vonatkozólag van meg. Azok, akik e kérdéssel foglalkoznak, a kvantummechanika matematikai formuláitól várnak segítséget. Az atommag szerkezetének a kutatása nagyobbrészt tisztán matematikai folyamatokkal megy végbe.

Hogy ezek minő természetűek, arról képzeteket nyujt az a gondolati folyamat, amellyel Dirac a pozitív elektron „létét" „megjósolta". A kvantumfogalommal és a relativisztikus mechanikával kapcsolatos egyenleteinek érvényességét kiterjesztette egy teljesen újszerű képzeletbeli metafizikus világra, amelyet negatív előjelű energiával kell jellemezni. Mit jelenthet ez az újszerű gondolati világ? Az energia mindezideig csak mint pozitív előjelű mennyiség szerepelt, a negatív energiájú állapot olyan világot jelenthet csak, amelyben a részecskék sebességének növekednie kell, ha külső erő a mozgását akadályozza. Olyan világ tehát ez, amilyen a tapasztalatban soha elő nem fordult és amilyen összes eddigi fizikai felfogásainkkal ellenkezik.

Dirac föltette továbbá, hogy a mindenségben meghatáro-

zott számú pozitív és ugyancsak meghatározott számú negatív energiájú mozgási állapotok lehetségesek és, hogy a világban lévő összes elektronoknak, vagyis az összes elemi elektromos részecskéknek egy része a létező negatív energiájú állapotokat teljesen elfoglalja úgy, hogy ilyen állapotok egyike sem marad betöltetlenül. A megmaradt elektronok a lehetséges pozitív energiájú állapotokat töltik ki, ezeknek az állapotoknak egy része tehát betöltetlenül, üresen marad. Dirac szerint már most a negatív energiájú állapotokat elfoglaló elektronok kivülről jövő sugarak behatására az üresen maradt pozitív energiájú állapotokba ugornak át, aminek következtében a negatív energiájú állapotokban átmenetileg rövid időre „lyukak" támadnak és e lyukak úgy viselkednek, mint pozitív töltésű elektronok, mert tömegük egyenlő a negatív elektron tömegével. Ez a „lyuk"-képzet képszerűleg is mutatja, hogy a pozitív elektron csak rövid életű lehet. A pozitív elektron tehát tulajdonképen a nemstabil és a tapasztalatban sohasem szereplő és értelemmel nem bíró negatív energiájú állapotoknak volna a képviselője.

Föl kell vetnünk a kérdést, hogyan keletkezhetik a tapasztalattól ennyire távol álló, tisztán metafizikus világnak a gondolata? Elképzelhetetlen, hogy Dirac a hipotéziseknek e sajátságos sorozatára a gondolatok természetes egymásba kapcsolódásának útján jutott volna el a nélkül, hogy valami kezdettől fogva ebben az irányban ne hajtotta volna. Ezek a hipotézisek annyira mesterkéltek, hogy maguktól nem adódhattak. A háttérben valamilyen be nem vallott gondolatnak kellett rejtőzködnie. Az pedig nem lehetett más, mint az elektromos jelenségek teljes szimmetriát mutató közönséges értelmezése, amely a pozitív és a negatív töltések teljes egyenlőrangúságán alapszik. Minthogy pedig az elektromos sugárzások tapasztalati adatainak olyan értelmezése vált uralkodóvá, amely a negatív elektronnak és a sokszorosan nagyobb tömegű pozitív protonnak juttatja a főszerepet, nem lehet kétséges, hogy Dirac hipotéziseivel és a „lyuk"-szerű pozitív elektron képzetével a régi egyenlőrangúságot és teljes szimmetriát akarta ismét helyreállítani.

Most még csak arra kell gondolnunk, hogy néhány évtized előtt sok kitűnő tankönyv és kézikönyv forgott közkézen, amelyek nem kétféle, hanem csak egyféle elektromossággal magyarázták az elektromos jelenségeket és akkor be fogjuk látni, hogy itt nem tapasztalatról, hanem gondolatról, sőt a tapasztalatokon túl fekvő gondolati világról, a metafizikáról van szó. A pozitív és a negatív elektronok, a protonok, a neutronok, a neutrinok és a többiek nem a tapasztalatnak adottságai, hanem a gondolatnak alkotásai a tapasztalati jelenségek célszerű gondolati előállítására és kellő értelmezésére. Föl lehet tehát tenni,

hogy támadhat megint olyan elme, amely visszatér az unitárius hipotézishez és egyetlen elektromossággal fogja magyarázni a jelenségeket.

Miként az elemi részecskék, ugyanúgy az atomminta sem lehet tárgya a közvetlen tapasztalatnak. Nem tapasztalhatónak, hanem olyannak kell lennie, hogy segítségével a tapasztalatokat rendezni, magyarázni és belőle a tapasztalattal egyező következtetéseket vonni lehessen. Nem maga az atomminta, hanem a belőle vont következtetések tartoznak a tapasztalati megvizsgálhatóság körébe.

Milyen irányelvek vezették az atomminta megalkotóit? Nem kétséges, hogy a mechanikai világfelfogásnak alapfogalmai és alapelvei. Az atommintának mechanikainak kellett lennie, mert a körülöttünk lévő világ jelenségeit, a hang-, a hő-, a fény- és az elektromágneses jelenségeket a mechanika fogalmaival és törvényeivel írjuk le és értelmezzük. A szükséges képzeti, fogalmi és matematikai szerelvény készen volt, a vele való dolgozáshoz gondolkodásunk hozzáidomult. Az atomminta első megalkotói tehát nem is tehettek mást, mint azt, hogy ezt a szerelvényt felhasználták, építő köveit, az elemi részecskéket tehát tömeggel, mozgásmennyiséggel, erőmezővel, mozgási és helyzeti energiával, energiaszintekkel, potenciállal ruházták fel. Ahogyan annak idején a makrokozmosz, ugyanúgy most a mikrokozmosz a közvetlen tapasztalat dolgaitól vette fogalmi elemeit. Az atomminta megalkotóinak azonban már könnyebb volt a dolguk. A makrokozmoszt egyszerűen lemásolták és belevitték a mikrokozmoszba. Az atomminta a roppant nagynak a hasonlóságon alapuló redukciója a roppant kicsinybe. A mikrokozmosz nem egyéb, mint a naprendszerekből álló makrokozmosznak a másolata. Ha valami, akkor ez mutatja leginkább gondolati jellegét. Ezzel értékét nem szállítjuk le. Ha új dolgok föltalálásához vezet el, akkor a gondolat kitűnő, ha csak a tapasztalatok rendezésében és összefoglalásában tesz szolgálatot, akkor a gondolat jó; és csak akkor, ha ellenmondásokhoz és bonyolódottságokhoz vezet, nevezzük rossz gondolatnak.

# XII. A KVANTUMMECHANIKA.

## 1. *A fény.*

Amit fénynek nevezünk, az nem valami olyan, amiről közvetlen tapasztalatunk van. Mi nem a fényt látjuk, hanem a testeket. A fényt még soha senki sem látta. A szobában lévő testeket látjuk, mert a lámpa meg van gyujtva és az ok-törvény alapján azt gondoljuk, hogy a látást lehetővé tevő fényt az gerjeszti, de a lámpa, a testek és a szemünk között a fényt nem látjuk.

Az emberek hosszú időkön keresztül, egészen Kepler koráig, nem is tudtak valami olyasfélének létezéséről, amit fénynek kell nevezni. A látás lehetőségét szubjektíve magyarázták, azt képzelték, hogy a szemből magából indulnak ki bizonyos szervek, amelyek a tárgyakat mintegy körültapogatják, vagy pedig, hogy a szemben bizonyos gázszerű anyag van, amely a pupillát borító hártyában feszülést okoz és tovaterjedve a tárgyakig jut úgy, hogy a szem mintegy érintkezik a külvilággal és így szerez róla tudomást.

A fényt mint a külvilágban létező valamit, ami a látást előidézi, a tudomány találta ki. Az tehát az emberi értelem által megszerkesztett és a külvilágba belehelyezett ok, a megismerés szempontjából jellege olyan, mint az erőfogalomé. Értelmünk az oksági törvény alapján követeli a fény külvilági létezését, hogy vele megmagyarázhassa, miért láthatjuk a testeket. Tehát elvileg sem láthatjuk soha. Mert ugyanaz az ok, amely arra kényszerít, hogy a tárgyak láthatóságának megmagyarázására a fényt követeljük, arra is kényszerítene, hogy a fény meglátásának megmagyarázására megint valami új fényt követeljünk. A fénynek láthatatlannak kell lennie, mert azért követeljük létét, hogy a láthatóságot megmagyarázzuk [24, 110, 167, 286]. A kigondolt és azután megrealizált fénynek a külvilágba kivetített fogalmához továbbá hozzá kellett csatolni a felfogást, hogy a testek kibocsátják, visszaverik, átengedik, elnyelik a fényt. Ezek is csak gondolatok és mint a testek önkényesen megszerkesztett tulajdonságait látjuk bele a külvilágba.

Régi tapasztalat azt mutatta, hogy a testek láthatósága és nemláthatósága nemcsak a feltételezett fénytől, hanem geometriai helyzetüktől, nevezetesen pedig attól is függ, hogy szemünk szempontjából geometriailag fedik-e egymást. E tapasztalat a fény egyenes vonalú terjedésének fogalmához vezetett. Azt kellett képzelni, hogy a fény valami olyasféle, ami egyenes vonalban utazik [*14*, 153]. Tehát az a valami, amely a látást előidézi, olyan tulajdonságot kapott, amilyen a mozgó anyagi testeknek van. Így lett a fény az egyenes vonalban való utazás fogalmával felruházva. Pályáját azonban éppen úgy nem látta senki, ahogyan magát a fényt sem. Az egyenes vonalú sugarak, amelyeket látunk, amikor félig csukott szempillánkkal valamely fényes tárgyra nézünk, elhajlási, illetőleg fénytalálkozási tünemények, amelyeket éppen azzal magyarázunk, hogy a fény nem terjed egyenes vonalban. Az is nyilvánvaló, hogy a fény eredeti szerepében nincs semmi abból, ami a mozgás fogalmában van. A szem nem a pályát látja, amelyen a feltételezett fény hozzája jut, hanem csak az irányt veszi észre, ahonnét jön. A tudomány a fény sebességét bizonyos csillagászati rendellenességek észlelése alapján határozta meg először. Azután itt a Földön is meg lehetett határozni, de mindíg csak úgy, hogy a feltételezett fénynek a pályáját oda-vissza kellett megfutnia. A térben való szabad tovaterjedésének sebességét még senki sem határozta meg és sejtelmünk sincs arról, hogyan kellene e feladat megoldásához hozzáfognunk.

A fénynek mint gondolati szerkezetnek számára tehát az értelem bármilyen tulajdonságokat írhat elő, de olyannak kell lennie, hogy a kitűzött célt el lehessen vele érni. Ha idővel kitűnik, hogy a fény valamely előírt szerkezete vagy tulajdonsága nem felel meg céljának, akkor egyszerűen olyannal helyettesítjük, amely jobban felel meg annak.

A tudomány megújhodásának korában két utazó-féleség volt ismeretes: az anyagi testek mozgása és a hullámmozgás. A tudomány valóban mindkettőt mintának is használta a fény szerkezetének megállapításához. Newton fényrészecskéi olyan szerkezetet kaptak, amilyen az anyagi testeknek van. Huygens fényhullámai pedig a hullámmozgás jellemző szerkezeti elemei, a hullámhosszúság és a rezgésszám alapján alkotódtak meg.

A 19. század folyamán a tudomány a fénnyel kapcsolatban új jelenségeket ismert meg, melyeknek a megmagyarázására a vörösön inneni és az ibolyántúli „fény" fogalmát használta. Ez a fény már nem a látásnak, hanem a hőmérséklet emelkedésének és a kémiai hatásnak az okát jelölte meg. Szokásossá vált „látható" és „láthatatlan" fényről beszélni, holott nyilvánvaló, hogy egyik sem látható. Helyesebb volna a szemre ható és nemható fényről beszélni.

Amikor azután a 19. század vége felé Hertz megalkotta az elektromágneses hullámokat mint bizonyos hatások okát, a tudomány ezeket is a fényfajták közé sorozta, sőt arra a meggyőződésre jutott, hogy a többi fény is ennek a természetével bír, tehát mindenfajta fény számára elektromágneses szerkezetet írt elő. Kitűnt továbbá, hogy a hullámkép ezekre is jól alkalmazható. A tudomány aztán később még újabb fényfajtákat, röntgensugarakat, radioaktív, gamma és kozmikus sugarakat talált. Okfogalmak voltak ezek is, hatásaik azonban mások voltak, mint az eladdig ismeretes fényfajtáké, de jól illettek bele az elektromágneses energia szkémájába. A fény már nem csak a látásérzetek, a hőemelkedések és a kémiai hatások, hanem egyszersmind az elektromos áramgerjesztések, mozgások, ionizációk és más különleges hatások okává is lett.

Az atommechanika pozitív és negatív elektronjának, protonjának és neutronjának fogalmai mellé tehát a fényt is be kellett sorozni a másra vissza nem vezethető, szét nem bontható ős elemi fogalmak közé, amelyek a tapasztalatok gondolati előállításában mint végső okok szerepelnek. Az így származó új tudományban a fény annak a szerepnek egy részét vette át, amelyet a newtoni fizika az erőfogalomnak osztott ki.

## 2. *A fény kvantumszerű kibocsátása és elnyelése.*

A 19. század vége felé, a nagy energiatermelő központok megalkotásának idejében, amelyek elsősorban az elektromos világítás céljára alakultak, nagyon sürgőssé vált a következő kérdéseknek a megoldása: milyen hőmérsékletre kell a világítószálat felizzítani, hogy lehetőleg kevés olyan fényt bocsásson ki, amely a szemre nem hat? miképen függ a kisugárzott fényenergia az izzó test hőmérsékletétől? adott hőmérsékletnél melyik fényfaj jön ki az izzó testből a legnagyobb energiával?

A kísérletezőknek hosszú sora foglalkozott e kérdésekkel. Hogy összehasonlítható adatokat kapjanak, a sugárzó testet minden oldalról zárt üregbe helyezték és a falba vágott kis nyíláson át kijövő fényt vizsgálták. Ezzel a kísérleti berendezéssel megközelítették az abszolút fekete test sugárzásának ideális esetét. Ha az üregben a hőmérséklet állandó, akkor annak belseje a hőmérsékleti egyensúly állapotában van, amikor épp annyi fényenergiát kap kívülről, mint amennyit maga oda kibocsát. Az üregben lévő anyag hőmérsékletét tehát egyszersmind a fényenergia hőmérsékletének is lehetett tekinteni.

A kísérletezők gyakorlati szempontból meg is oldották a kérdést, mert a táblázatokban és a grafikonokban a feleletet meg lehetett találni. De nem volt megoldva a kérdés elméleti szem-

pontból, mert nem volt olyan matematikai formula, amely az eredményeket összefoglalta volna és nem voltak ismeretesek olyan alapelvek, amelyekből le lehetett volna vezetni. Ma már azt is tudjuk, hogy a fekete test és általában a szilárd testek fénykibocsátása nagyon bonyolódott folyamat. Annál nagyobb Planck géniuszának érdeme, hogy egyszerű számolási módszert és kiindulási elvet talált a fénykibocsátási formula levezetésére. Az üregben lévő atomokat elektromos oszcillátoroknak tekintette, amelyek az elektromágneses energiát véges adagokban, *kvantumok*ban bocsátják ki. Úgy szivárognának ki az oszcillátorból, ahogyan a rosszúl záró vízcsapból cseppekben csepeg ki a víz. Planck feltette, hogy a fénykvantumok energiája a rezgésszámmal arányos, egynek-egynek a mértéke $h.\ \nu$. ahol $\nu$ a fényfajta rezgésszáma, a $h$ pedig az úgynevezett Planck-féle állandó. A különféle fényfajták legkisebb adagjai tehát különböző nagyságúak, de a feltevés szerint mindíg arányosak a rezgésszámmal. Legkisebbek az igen hosszú elektromágneses sugaraké és legnagyobbak a feltételezett kozmikus sugaraké. Planck feltevése szerint az atomok csak ezeket az energiaadagokat vagy energiacseppeket és azoknak egészszámú többszöröseit bocsáthatják ki, vagy nyelhetik el.

Planck hipotézise, különösen pedig a róla elnevezett állandó adta meg a kvantummechanikának az alapgondolatát.

### 3. *A kvantumszerű atomszerkezet.*

A 19. század második felében a gázok színképét is számos kísérletező vizsgálta. Eredményeik vastag kötetekből álló művekben vannak összegyüjtve. A gázok általában egyszínű (monochromatikus) fényfajták keverékét bocsátják ki, amelyek a színképelemző készülékben szétválnak és legtöbbször határozott szélű vonalakat mutatnak. A színképben elfoglalt helyükből a rezgésszámot, intenzitásukból pedig annak intenzitását lehetett megállapítani.

A próbálgató elmék kezdettől fogva arra törekedtek, hogy az adatoknak e beláthatatlan sokaságában jellemző szabályszerűségeket találjanak. Találtak is ilyeneket. Ilyen volt pl. a Ritz-féle kombinációs elv, amely szerint a kibocsátott fényfajták rezgésszámai mindíg két tag (színképi „term") különbsége alakjában állítható elő. Kitűnt továbbá, hogy a színképi vonalak általában három, egyes esetekben négy sorozatba (szérieszbe) oszthatók. Elméletileg minden szériesz igen sok, gyakorlatilag azonban legfeljebb 20—25 megfigyelhető vonalból áll. A vonalak ugyanis a magasabb rezgésszámok felé összesűrűsödnek úgy, hogy nem lehet egymástól megkülönböztetni. Egy-egy

szérieszhez tartozó fényfajták rezgésszámai azonos állandókkal bíró tagok különbségéből számíthatók. Ilyen szérieszt alkotnak pl. a hidrogéngáz látható vonalai, amelyekhez tartozó fényfajták rezgésszámait a Balmer-féle képlet alapján egyszerűen úgy lehet kiszámítani, hogy a benne szereplő változó helyébe az egymásután következő egész számokat helyettesítjük.

E szabályszerűségek méltán vonták magukra a figyelmet és olyan elmélet megalkotására ingereltek, amelynek kiinduló tételeiből egyszerű következtetésekkel rá lehet jutni a fentebb említett tapasztalati szabályosságokra. A Ritz-féle kombinációs elv és a Balmer-féle képlet pedig egyenesen reámutatott a Planck-féle energia-kvantumra.

Minthogy az atommechanika a fény kibocsátását és elnyelését az elektron feladatává tette, tehát az atomburokban elhelyezett elektronok elrendezését, mozgását és energiaviszonyait kellett a kvantumfeltételek alapján megszerkeszteni. A feladatot Bohr, dán tudós oldotta meg s azért az általa megszerkeszett atommintát *„Bohr-atom"*-nak is szokás nevezni [7, 1, 476, 857].

Bohr felismerte, hogy az energia-kvantumok kilökésének a feltétele maga után vonja a mozgások „kvantizálását". Az elektron a mag körül nem keringhet tetszésszerinti kör- vagy ellipszis-pályákon, ahogyan az a newtoni fizika elvei szerint lehetséges volna, hanem csak olyanokon, amelyek a kvantumfeltételeknek eleget tesznek. E felismerése alapján alkotta meg első kvantum-hipotézisét. Az elektron csak olyan pályákon mozoghat, amelyeknek kerülete szorozva az elektron mozgásmennyiségével, a hatáskvantumnak, a $h$-nak valamely egészszámú többszörösével egyenlő. Az előírás az atommag körül a lehetséges pályáknak egész sorozatát, 1, 2, 3, 4, stb. kvantumú pályákat ír elő. A lehetséges pályákat tehát az egymásután következő egész számok — *kvantumszámok* — jellemzik, belőlük és a $h$-ból a pálya sugara, az elektron sebessége és energiája kiszámítható. Bohr továbbá feltette, hogy az elektron a pályákon való mozgása közben nem bocsát ki és nem nyel el fényenergiát.

Az energia kibocsátása és elnyelése számára Bohr az „elektron-ugrás" egészen újfajta hipotézisét teremtette meg. Az elektron csak akkor bocsát ki, vagy nyel el energiakvantumokat, ha egy lehetséges pályáról egy másik lehetséges pályára ugrik át. Nevezetesen, ha kívülről energia érkezik, azt elnyelve egy külső, nagyobb energiájú pályára kell átugrania, viszont ha önmagától egy belső, kisebb energiájú pályára ugrik át, akkor energiakvantumokat lök ki magából. Az elnyelt vagy kilökött energia mindig egyenlő a pályák energiaértékeinek különbségével.

A Bohr-féle atomminta nagyon mesterkéltnek látszik. Nagy előnye azonban az, hogy határozott és szemléletes képzeteket nyujt, melyek egyszerű számítási eljárásokkal is kapcsolatosak. Talán éppen e tulajdonságainak következménye a siker, amely nyomában járt. A színképi vonalaknak tapasztalati törvényei, a Ritz-féle kombinációs elv, Balmer képlete, a színképi szérieszek törvényei egyszerű számolási műveletekkel következnek belőle.

Ugyanabban az esztendőben, amelyben Bohr munkái megjelentek, Franck és Hertz közvetlen kísérlettel is igazolni tudta, hogy az anyag a kívülről jövő energia elnyelése alkalmával valóban ugrásszerűleg növeli meg energiáját. Moseley pedig szintén ugyanabban az évben, a Bohr-féle atomminta alapján fel tudta állítani a róla elnevezett törvényt, amely az elemek által kibocsátott röntgenfény-fajtáknak a rezgésszámát teszi meghatározhatóvá. Mindezek a tapasztalati törvények azt mutatják, hogy a különböző elemek azonos összetételű fényt bocsátanak ki magukból, amiből joggal lehet arra következtetni, hogy az atomok is azonos elvek szerint vannak felépítve.

A megismerés szempontjából Bohr atommintája a szintetikus matematikai szerkesztőképességnek és a képzelőerőnek az alkotása. A képzelőerő szemléletes képzeteket és folyamatokat teremtett, a matematikai szerkesztőképesség belőlük határozott jelentésű matemaikai mennyiségeket és műveleteket alakított ki, amelyek alapján logikai-matematikai következtetésekkel belőlük el lehetett jutni a tapasztalati összefüggésekhez. A kiinduló képzeteknek semmi közük a tapasztalathoz, azok tisztán az elmének alkotásai. Nevezhetjük hipotéziseknek, metafizikának, a fizikailag elérhető világon túl levő világnak: teljesen mindegy. A lényeges az, hogy e képzetekkel és folyamatokkal a tapasztalatnak nagy terjedelmű birodalmán elvileg uralkodni tudunk, azokat rendezni tudjuk, a jövőre vonatkozólag pedig egyszerű esetekben számítani tudunk.

A részleteket nem tekintve Bohr atommintájának sikerei arra mutatnak, hogy az atom részére célszerű kétféle állapotot, *stacionárius* és *átmeneti* állapotot írni elő. Az első meghatározott stabilitású, amely aránylag hosszú ideig meg is marad. A második nem írható le szabatosan. Az elektronnak egyik energiaszintről a másikra való átugrása ugyanis nem szabatos leírás, mert az átugrás mikéntjét, tér és időbeli meghatározását nem tudjuk megadni. Az átmeneti állapot csak pillanatokig tart és a hipotézis szerint az atom e közben löki ki az energiakvantumokat.

Minthogy az elmélet szerint minden a közvetlen tapasztalattal kezelhető anyagmennyiség az atomok quatrillióiból áll, mindíg bőven vannak olyan atomok, amelyek ebben az átme-

neti állapotban vannak, tehát energiakvantumok mindíg kilökődnek és azért a tapasztalatban a fénykibocsátás folytonos folyamatként jelentkezik. Egy-egy individuális atom csak a véletlen törvénye alapján jut ebbe a nemstacionárius, fénykibocsátó, gerjesztett, átmeneti állapotba. Fénykibocsátása tehát épúgy, mint a radioaktív atomok felrobbanása a valószínűségszámítás és a statisztika körébe tartozik.

A kvantummechanika fejlődésének útját e kérdések vizsgálatai állapították meg. Hogyan és mi által állhat fenn az atom stacionárius állapota? Hogyan és mi által van biztosítva az energiakvantumokban való fénykibocsátás?

### 4. *A fénykvantum, az anyagkvantum, az anyaghullám és a fényhullám.*

A kvantumfogalmat Planck a fénykibocsátás és a fényelnyelés folyamatai számára alkotta meg. Hasonlóképen az atommintát Bohr szintén csak e folyamatok megmagyarázására tervezte ki. A fény tovaterjedésének mechanizmusáról ezekben még nem volt szó. A fényhullám elmélete a 19. század folyamán olyan lezárt, tökéletes és hiánynélküli matematikai elméletté dolgozódott ki, hogy érvényességében és a tapasztalat megmagyarázására való alkalmas voltában senki sem kételkedett.

Einstein elméjében alakult ki először a kétely arra vonatkozólag, hogy a hullámelmélet alkalmas-e a fény tovaterjedésének gondolati előállítására. 1905-ben, amikor a relativitási elméletére vonatkozó első dolgozatait megjelentette, a fénytovaterjedésről is közölt dolgozatokat s a kérdésre később is vissza-visszatért [*36*, 132; *42*, 132; *43*, 121].

Felfogása szerint az anyagi testeket nem veheti körül az aeter és a fényenergia nem terjedhet aeterhullámok alakjában tova, mert akkora testek hőenergiájának gyorsan szét kellene szóródnia a térben. Ha aeter volna, a testek minden energiájukat úgy kisugároznák, ahogyan a rezgőtestek teszik ezt, és hőmérsékletüknek az abszolút nulla fokra kellene lesülylyednie. Minthogy továbbá a fény intenzitása a távolság négyzetével fordított arányban csökken és már aránylag kis távolságokban kisértékűvé válik, azt sem tudnók megérteni, hogy ezek a kis energiamennyiségek hogyan képesek aránylag nagy hatásokat létrehozni. A hullámelmélet alapján csak úgy tudnók ezt megmagyarázni, ha feltennők, hogy az atom, amelyre a hullám esik, hosszú időn keresztül gyüjtögetné a hozzá érkező energiát. Ez pedig lehetetlen hipotézis.

A fényenergia tehát nem terjedhet gömbhullámok alakjában tova és nem hígulhat fel gömbhullámoknak megfelelően.

Nemcsak az anyaggal való kölcsönhatásában a keletkezésénél és az elnyeletésénél kell kvantumszerűnek lennie, hanem tovaterjedése közben is oszthatlan egész darabokban kell maradnia és ilyen alakban kell megérkeznie az elnyelő testekhez. Kis sűrűségű, egyszínű fény tovaterjedésének egész útján úgy viselkedhetik csak, mintha egymástól független $h.\nu$ nagyságú energiakvantumokból állana. Erős fényintenzitásnál a fénykvantumok oly sűrűn követik egymást, hogy a fényt egyenletes áramnak tekinthetjük. Nagyobb távolságokban azonban, ahol a fénysűrűség kisebbé válik, a fénykvantumok elválnak egymástól, de azért nem lesznek kisebbekké, csak megritkulnak a térben.

E felfogás azóta a kvantummechanikában általánossá vált és megjelölésére a fénykvantum szó helyett a *foton* szó vált szokásossá.

Az új felfogást a jelenségek hosszú sora támogatja. Mindenek előtt a fényelektromos jelenség, amelyet joggal tekinthetünk a kvantummechanika tapasztalati alapjának. Föl kell tenni, hogy az anyagra eső fény belőle negatív elektronokat lök ki. E föltevés alapján az adatok kivétel nélkül azt mutatják, hogy a kilökött elektronok sebessége nem függ a fény intenzitásától, hanem a fény rezgésszámától. A nagyobb fényintenzitás nem nagyobb sebességű, hanem csak nagyobb számú elektron kilökésére képes. Általában a fény intenzitásának a növelése semmi más, mint a fotonok számának a növelése és nem azok egyenkénti energiakvantumainak a nagyobbítása. A hullámelmélet képtelen e tapasztalatot megmagyarázni, ellenben a foton fogalmából magától adódik. A testek atomjaihoz érkező foton $h.\nu$ nagyságú energiájának egy része átalakul a kilökéshez szükséges munkává, $W$-vé és így a kilökött elektron számára $h.\nu - W$ energia marad, amelynek meghatározott és csupán a rezgésszámtól, a $\nu$-től függő sebesség felel meg.

A Compton-kísérlet is azt mutatja, hogy az anyagra eső és azon szétszóródva visszaverődött röntgenfény rezgésszáma kisebb, mint a beeső fényé. Ez a tapasztalat is ellenkezik a hullámelmélettel. Mert ez elmélet szerint a visszaverődés a rezonancián alapszik, tehát a visszavert fény rezgésszámának ugyanakkorának kellene maradnia, mint amilyen volt a visszaverődés előtt, ami a tapasztalattal ellenkezik. Viszont a foton fogalma szerint a visszaverődést az elektron és a foton közti ütközésnek kell felfogni. Amikor a $h.\nu$ energiájú foton az elektronba ütközik, kinetikus energiájának egy részét átadja úgy, hogy csak kisebb energia, $h.\nu'$ marad vissza, ahol $\nu'$ kisebb mint a $\nu$. A Wilson-kamra meg is mutatja az ellökött elektron pályáját. Adatai megegyezésben vannak az elmélettel. A Raman-

féle kísérlet ehhez hasonló és hasonló módon magyarázott jelenséget mutat.

A felsoroltakon kívül a fotonelmélettel könnyű megmagyarázni a röntgenfény és a katódsugarak keletkezését, a fluoreszcencia jelenségére vonatkozó Stokes-törvényt, a foszforeszcencia tapasztalati törvényeit, a fényképező lemez megfeketedését és általában a fény kémiai hatását és szemünk retinájában végbemenő folyamatokat is.

Mindezek alapján érthető, hogy a kvantummechanika a fotont egyik alapfogalmává tette meg. De így újabb nehézség támadt. A fényelhajlás és a fénytalálkozás jelenségeit, amelyek a hullámelmélettel fenomenologikusan és matematikailag is értelmezhetők, a foton fogalmával sehogy sem lehet megmagyarázni. A fény magyarázatára tehát egyidejűleg és egymás mellett két egymásnak ellenmondó fogalmat, a foton és a fényhullám fogalmát kellett használni.

Az anyag legkisebb részecskéi és a foton közötti analógia Louis de Broglie francia fizikus elméjében azt a gondolatot keltette, hogy talán célszerű volna az anyagi kvantumokhoz, vagyis az elektronokhoz is hullámot csatolni hozzá. Előzetes próbálgatásai sikert látszottak ígérni és azért az elméletet részletesen is kidolgozta és 1924-ben közrebocsátotta. Abból indul ki, hogy az anyagi részecskének épúgy, mint a fotonnak az energiája $h.\ \nu$ és a relativitási elmélet alapján felteszi, hogy az egyenlő $mc^2$-tel ($m$ a részecske tömege, $c$ a fény sebessége).

Felfogásához képet is használ. Az anyagi részecskéket rezgéssel bíró hullámszerű alakzatoknak, hullámcsomagoknak képzeli, amelyek mint egész oszthatatlan darabok haladnak tovább a térben. A hullámcsomagnak a sebessége $v$ egyenlő a részecske közönséges mechanikai sebességével, amely mindig kisebb, mint a fénysebességé. A hullámcsomagban magában a hullámok tovaterjedésének sebessége nagyobb a fény sebességénél. Ezzel a felfogással részecske mozgásának törvényszerűségeit a hullámok mozgásának általános törvényszerűségeivel fejezi ki. A $h.\ \nu = m.\ c^2$ alapegyenletből, a relativitási mechanika összefüggéseinek alapján rájut arra, hogy az anyaghullám hullámhosszúságát

$$\lambda = \frac{h}{mv}\text{-vel kell mérni.}$$

Az új és merész gondolat meglepő tapasztalati igazolást kapott. Davisson és Germer katódsugarak útjába nikkel-kristályt tettek és megfelelő helyen lévő fényképlemezen a fényelhajlási csíkokhoz hasonló csíkokat kaptak. A kísérletet azóta a fizikusoknak hosszú sora nemcsak elektron-nyalábokkal, hanem proton-nyalábokkal, atom-nyalábokkal sokszor megismé-

telte és nemcsak kristályrácsok és vékony hártyák segítségével, hanem közönséges optikai rácsokkal is. A kapott elhajlási csíkok hasonlók a röntgenfénnyel nyert elhajlási képekhez és éppen olyan élesek. A kísérleti adatokból számított hullámhosszúságok egyeztek a Broglie-féle értékkel. Kétségtelen tehát, hogy elektron-nyalábok, proton-nyalábok, atom-nyalábok is elhajlási és találkozási tüneményeket mutatnak.

A Broglie-féle anyaghullámok tehát jó szolgálatot tesznek akkor, amikor kis anyagkvantumok nagy sebességgel mozgó nyalábja valamilyen kis akadályba ütközik. Az anyagi részecskék mozgása ez esetben nem követi a klasszikus mechanika törvényeit, mert a fényjelenségekhez hasonló interferencia jelenségek lépnek fel. Ezeket pedig csak a hullámelmélet alapján lehetett mindezideig megmagyarázni.

E felfogásnak akkor is jó szolgálatot kell tennie, amikor az atomminta belsejében feltételezett elektronok mozgásáról van szó. Az elektronhullám ebben az esetben állóhullám alakot vesz fel. A Bohr-féle pályákon való elektron-mozgás átalakul elektron-hullámokká és magától adódik a szabály, hogy az egész pálya hossza a hullámhossznak egészszámú többszöröse lehet csak, tökéletesen analóg módon, miként a húr rezgéseinél. A Bohr-féle kvantumfeltételek tehát az új felfogásnak egyszerű következményei.

Broglie-nek az anyaghullámra vonatkozó új gondolata tehát új kísérleti eredményeket is szült. Ismeretelméleti szempontból ezek igen nevezetesek, mert azt mutatják, hogy az anyag végső részecskéinek gondolatvilágunkban hullámokra feloldva, valamilyen módon hullámhosszal és rezgésszámmal kapcsolatban kell megjelenniök. A mikrokozmosz jelenségeinek teljes leírását pusztán a részecskeképzettel nem lehet megadni, hanem a hullámképzetet is kell használni. A fénykvantum és a fényhullám összetartozó fogalompárja mellett tehát az anyagkvantum és az anyaghullám fogalompárját is fel kell állítani.

### 5. *A kvantummechanika feladatai és módszerei.*

A gondolat, hogy a tőlünk függetlenül végbemenő természeti folyamatok legmélyebben fekvő rétegeibe nemcsak részecskéket, hanem hullámokat is bele kell képzelnünk, igen nagy átalakulást idézett elő a fizika gondolatvilágának további fejlődésében. Az új kérdések sokasága keletkezett. Minő képzeteket kell fűzni ezekhez a homályos, ködszerű, elmosódott gondolati képzetekhez? Minek tekintsük a részecskéket? Olyanoknak-e, amelyeknek, miként a tapasztalati tárgyaknak külön

egyéniségük van, aminek folytán egymástól megkülönböztethetők és minden egyesnek a története külön követhető? Hogyan tekintsük a hullámokat? Úgy-e, mint valamely ismeretlen folytonos közegnek a hullámmozgását, vagy mint az egyes részecskék pályáját, vagy mint a részecskék nagy sokaságának mozgásában megnyilvánuló geometriai-kinematikai elrendeződést? És ha akár így, akár úgy gondoljuk azokat, hogyan lehet az egyikkel kapcsolatos szakadásosságot összeegyeztetni a másiknak folytonosságával? Hogyan lehet a tér egy roppant kicsiny helyére összesűrített energiát, amelyet a részecske képvisel, úgy is felfogni, mint amely a térben hullámszerűleg szétfoszlik? Hogyan lehet az egyiknek tömegét, elektromos töltését, haladó és forgási sebességét összeegyeztetni a másiknak továterjedési sebességével, hullámhosszúságával és rezgésszámával?

Ezekhez hozzájárultak azok a kérdések is, amelyek a sok sikerű Bohr-féle atommintával kapcsolatban keletkeztek. Miért keringhet az elektron csak meghatározott pályákon? Mi hozza létre a lehetséges pályák kvantumos adagolását? Minő kapcsolatnak kell lennie az anyag és a fény között, hogy a fénynek pontosan $h.\nu$ energiájú kvantumokban való kilövelődése biztosítva legyen?

A kvantummechanikának a szinte megoldhatatlannak látszó feladatra kellett vállalkoznia, hogy e kérdésekre feleleteket adjon. Ha az aeter képzetét a mai fizika annyira lehetetlennek nem tartaná, akkor magától adódnék az anyagi részecskéhez fűződő hullám jelentése. A tapasztalat szerint minden test, amely folytonos közegben nagy sebességgel mozog, abban hullámokat kelt. A levegőben nagy sebességgel mozgó lövedék által keltett léghullámokat le is lehet fényképezni. A folyóvízbe belenyúló faág abban szintén hullámokat kelt, sőt ezek visszahatására maga is rezgő mozgást vesz fel. A kifeszített drótokat a szél szintén rezgő mozgásokba hozza, aminek következtében jól hallható hang keletkezik.

A kvantummechanika azonban Einsteinnak említett gondolati nehézségei miatt ilyen irányban nem állíthatta be magát és az általános felfogás szerint sem tekinthette a részecskéket és a hullámokat tapasztalati adottságoknak, hanem az értelem hozzávetőleges gondolati képleteinek, amelyek olyan szerepet játszanak, mint a geometriai ábrák. Arra valók, hogy segítségükkel következtetni és számítani tudjunk, tehát számukra épúgy, miként az a geometriai ábrák megalkotásánál történik, határozottabban körülírt képviseletet kellett teremtenie.

A sok sikerű Bohr-féle atomminta bizonyos útmutatást is adott ehhez a munkához. Az atomot úgy lehetett tekinteni, mint amelyet meghatározott energiájú alapállapotok jellemeznek. Ezekbe kellett beleépíteni Planck rejtelmes hatáskvantumát,

a *h*-t, amely felelős a mikrokozmoszban történő szakadásos folyamatokért. A mozgási egyenleteket, ahogyan mondani szokás, kvantifikálni kellett. A részecskék mozgását és a fény periodicitását össze kellett egyeztetni. A régi fizikában e két mozgás mint egymástól teljesen független és különálló folyamat szerepelt, a kvantummechanikában ezt a különállást meg kellett szüntetni. A részecske mozgását és a hullám tovaterjedését egyesíteni kellett, de el kellett tüntetni a részecskének a térben és az időben való pontos lokalizálhatóságát is, amelyet a hozzáfűződő pontképzet önkénytelenül hoz magával. Vagyis a részecskét a térben és az időben el kellett „kenni". Ezzel együtt járt az is, hogy az oksági törvénynek szigorú pontosságát is el kellett „kenni" és bizonyos mértékű bizonytalansággal kellett kapcsolatba hozni.

Munka közben a kvantummechanikusok mindíg magasabb és magasabb célokat pillantottak meg. Kialakult a felfogás, hogy új tudományukkal az anyag törvényszerűségeit össze kell egyeztetniök a fény törvényszerűségeivel és az anyag és a fény részére egységes elméletet kell teremteniök. Minthogy pedig az anyag és a fény általános fogalmaiban benne van az egész fizika, tehát a kvantummechanika feladatává tették az összes fizikai jelenségek egységes alapon való új elméletének megszerkesztését.

Ha ezt a magas célt a kvantummechanika nem is érte el, sőt az azzal járó nehézségek ma sokkal nagyobbaknak látszanak, mint ahogyan kezdetben látszottak: az azonban nyilvánvaló, hogy a kvantummechanika egy új fizikai világfelfogásnak a megalkotására törekszik. A régi fogalmi elemeket újból rendezni, módosítani, összeegyeztetni, belőlük új értelemszerű kombinációkat kellett alkotni. Itt új gondolati formák és automatikusan működő új gondolati mechanizmusok megteremtéséről volt szó. Egy értelemszerű, új, tisztán gondolati — mondjuk metafizikai — világot kellett szerkeszteni, nem arra a célra, hogy a filozófusok metafizikai igényeit kielégítse, hanem arra a célra, hogy a fizikus vele segédeszközt kapjon a közvetlen tapasztalat körébe eső jelenségek leírására, értelmezésére, kapcsolatok keresésére és meghatározására.

Az ilyen szintetikus szerkesztő munka végzésére az emberi értelemnek egy eszköze van és ez a matematika. Azért oly kitűnő emberi találmány ez, mert az ember értelmi műveletei számára mindíg rendelkezésre áll és alkalmazkodni tud. Szavakat is könnyű alkotni, szavakkal is könnyű tételeket, meghatározásokat kimondani, azonban a szavak nagyon hamar elárulják, hogy nincs jelentésük, ami által a tétel is elveszti minden jelentését. Máskép van ez a matematika jeleivel. Ezeket lehet és szokás jelentésnélküli szimbolumoknak tekinteni, lehet mö-

géjük akárminő határozott vagy határozatlan képzeteket elbujtatni, lehet velük a műveleteknek hosszú sorát végezni, a nélkül, hogy tudnunk kellene, mit jelentenek. A $\psi$ betűt mint az ismeretlen dolognak képviselőjét a feltételek egész sorának vethetjük alá. Műveleteket végezhetünk vele, más ismert vagy ismeretlen mennyiségekkel kapcsolatba hozhatjuk, sorba fejthetjük a nélkül, hogy tudnunk kellene, mit jelent. És ha e műveletek során oly kapcsolatokra jutunk, amelyek a tapasztalattal való összehasonlíthatóság látszatát keltik, utólag mindig módunkban áll olyan jelentést adni neki, amely a tapasztalattal kapcsolatba hozható. És azzal sem kell törődnünk, hogy több ilyen jelentése van, sőt annál jobb. Ha a mennyiségek közötti közönséges algebrai műveleti elvek kényelmetlenek számunkra, azoktól is szabadulhatunk és oly mennyiségeket teremthetünk, amelyeknél pl. nem érvényes a tényezők felcserélhetőségének elve, a $p.q$ tehát nem egyenlő a $q.p$-vel és így a $p.\ q—q.\ p$ különbséghez bizonyos jelentést rendelhetünk hozzá. A matematika egyébként a különféle tulajdonságú számoknak bőséges választékát teremtette meg úgy, hogy inkább a nagy bőség, mint a szűk keret az, amely zavar.

Nem kell tehát csodálkoznunk azon, ha a kvantummechanika csupa matematikai fogalommal szerkeszti meg gondolati világát, ha abban hyperkomplex számok, matrixok, Hermite-alakok, transzformációk, Fourier-sorok, saját értékek elmélete, csoportelmélet, Hamilton függvények, valószínűségi számítások és a függvényelmélet különféle alakzatai szerepelnek.

Ha a matematikus átveszi a fizikai problémákkal való foglalkozást, akkor a fogalmak fölött ő az úr, neki többé nem kell törődnie azzal, hogy a fizikus minő jelentéseket csatolt a fogalmakhoz, csak az köti őt, amiből kiindult. „A matematikus oly játékot játszik, amelynek szabályait maga találja ki. A fizikus oly játékot játszik, amelynek szabályait a természet adja", írja Dirac [*29*, 122]. Azonban ez csak szellemes mondás. A valóságban a természet sohasem ad a fizikus számára pontosan előírt játékszabályokat, azokat mindig a fizikusnak kell pontossá tennie, tehát matematikussá kell válnia, még akkor is, ha nem matematikai formában, hanem szavakban fejezi ki játékszabályait és mindíg át kell vennie azt a felelősséget, mely a játékszabályok önkényes megválasztásával jár. Mert azok csak akkor értékesek, ha olyas valamihez vezetnek, ami a tapasztalattal összehasonlítható. Ha az összehasonlítás kedvezően üt ki, akkor a fizikusnak joga van a maga alkotta játékszabályokat belenéznie a természetbe és joga van azokat úgy fogni fel, mintha maga a természet írta volna elő.

Minthogy az új matematika-fizika új elvek és új meggyőződések alapján végzett szintétikus szerkesztő munkának az

eredménye, azon sem kell csodálkozni, ha a régi elvek helyébe első pillanatban szokatlanul hangzó új elvek léptek, ha az oksági törvényhez a bizonytalansági elv kapcsolódott, ha bizonyos számítások fiktív térre vonatkoznak, amelynél a méretek száma háromszor annyi, mint az elektronok száma, ha rejtett állapotok tételeztetnek fel, amelyeknek negatív energiájú mozgások felelnek meg, ha az elektronok számára tilos területek, metastabil börtönök, az atomok és a molekulák részére tilos állapotok eszeltettek ki és belőlük messzemenő következtetések vonattak le.

A kvantummechanika még nem kész, befejezett, logikus, harmonikus, kerekded, matematikai stúdium, amelyben, mint az emberi elme szép gondolati alkotásában gyönyörködni lehetne. Minden elmélet csak hosszú időkön át tartó előadások és tanítások révén csiszolódik ki ilyenné. A kvantummechanika matematikáján az ideiglenesség még nagyon meglátszik. Az épület emeléséhez szükséges állványozás még benne van.

Nem különös tehát, hogy különféle irányzatokra oszlik szét. Tulajdonképpen, mint Heisenberg matrixmechanikája kezdett kialakulni [*59*, 869], azután a szemléletesebb és kezelhetőbb Schrödinger-féle hullámmechanikába olvadt bele, ezzel együtt, mint annak kiegészítő része, még számos új módosuláson ment keresztül és a legújabb időkben Dirac messzemenő általánosításaiba is beleszívódott.

### 6. *A hullámmechanika és a hullámstatisztika.*

A hullámmechanika kialakulása képet ád arról, hogy a matematikai-fizikai szerkesztő munka miképen megy végbe. Bármilyen nagy legyen is képzelőerőnk és bármekkora legyen is matematikai tudásunk, semmiből nem lehet új fogalmakat, új eljárásokat, új módszereket teremteni. Tehát az új és a régi megismerések közötti analógia ős gondolati folyamatához kellett ez esetben is folyamodni, amely az új gondolati alkotásokban mindíg mint legfőbb hatótényező szokott működni.

A fény hullámelméletének sikerei szinte kötelezővé tették a gondolatot, hogy a fény valami rezgésszerűség. Amikor Einstein a fényt részecskének, foton-nak tette meg, a rezgésszerűséget meghagyta neki. Broglie az anyagi részecskébe is belevitte a rezgésszerűséget. Kialakult tehát a meggyőződés, hogy a történések legmélyebben fekvő alapjaiba beleképzelt mikromechanizmusnak rezgésszerűséggel is kell bírnia. Az atommechanika alapjául szolgáló tapasztalatok viszont arra utaltak, hogy a fény keltését az elektron feladatává kell megtenni.

Ebből tehát az következett, hogy az elektront is rezgésszerű mikromechanikus szerkezettel kellett kapcsolatba hozni.

A közvetlen tapasztalat körében számos jelenség folyik le rezgésszerűleg. A nehézségi erőtérben a stabil egyensúlyi állapotban lévő testek állapotuk megzavarása után mindig rezgésszerűleg térnek vissza egyensúlyi állapotukba. Ugyanez történik a rugalmas testekkel. A hangtan nem egyéb, mint rezgőrendszerek tana. Az elektromágneses egyensúlyi állapot megzavarása szintén rezgésszerűleg lefolyó folyamatokat vált ki. Minden rezgőrendszer egyszersmind energiát is bocsát ki magából, amely folytonos közegben hullámok alakjában terjed tovább. Nincs is más fizikai megismerésünk, amely annyira bele volna horgonyozva a közvetlen tapasztalat biztos talajába, mint éppen a rezgés és a hullámmozgás. Matematikailag is szinte tökéletesen ki van dolgozva. A húrok, a pálcák, a lemezek, a hártyák, a határolt légtömegek lehetséges saját rezgéseinek matematikai formákkal való lerögzítései a matematikai fizikának legszebb alkotásai. A fény hullámelmélete nincs ugyan közvetlen kapcsolatban a tapasztalattal, de azért ez az elmélet is kitűnő matematikai kidolgozásban részesült. Sőt Hamilton és Jacobi a fény hullámszerű tovaterjedése és az anyagi részecskék haladó mozgása közti parallelizmus matematikai alapjait is megvetette már.

A mikrokozmikus rezgő és hullámzó rendszer számára tehát az analóg rendszereknek hosszú sora állott rendelkezésre, amelyekhez jól kidolgozott matematikai formalizmus is hozzá tartozott. Kiváló matematikai szerkesztő képességgel megáldott elmék, köztük első sorban Schrödinger, ezekből a megfelelő formákat kiválasztották, belőlük a célnak megfelelő újabb kombinációkat alkottak és a kvantum-hipotéziseket beléjük építették. Ezen az úton a kvantummechanika számára egy újabb alakú matematikai tant és vele módszert teremtettek a mikromechanikus folyamatok matematikai megfogására.

A hullámmechanika a részecske részére, legyen az elektron, proton, atom, vagy foton, teljes matematikai képviseletet írt elő. Nem kellett azon töprengeni, hogy szavakkal kifejezve, mi a részecske és mit csinál. A részecske az és azt csinálja, amit a hozzárendelt differenciál-egyenletek, matrix-egyenletek vagy hullámfüggvények jelentenek. Ha ezek rezgést, hullámmozgást jelentenek, akkor a részecske is azt jelenti, ha ezek nem jelölnek ki határozott helyet a térben, akkor a részecskéhez sem tartozik határozott hely a térben. Ha álló hullámmozgást mutatnak, akkor a részecske is álló hullámnak gondolandó. Ha álló hullámoknak bizonyos rendszerét jelölik ki, akkor a részecske e rendszerek által jellemzett állapotokat mind felveheti. A matematikai képviseletek módot ad-

tak a esomófelületeknek, a rezgésszámnak, a hullámhosszúságnak, a stacionárius állapotok energia értékeinek a kiszámítására.

A hullámegyenleteknek és a hullámfüggvényeknek a részecskékhez való hozzárendelése tehát jól kezelhető módszert adott a Bohr-féle atomminta állapotainak meghatározására, és fogalmi alapot is teremtett a szakadásosság és a folytonosság közötti nagy gondolati ellentét elkenésére.

Ha a részecske valamelyik állapotához tartozó elektromos töltést úgy tekintjük, mint bizonyos elektromos erőmezőt, akkor a matematikai képviselet számára szemléletes képet is nyerünk, mert akkor ez az elektromos töltés eloszlását jelenti. A részecske semmi egyéb, mint a matematikai képviselet által meghatározott elektromos felhő, mely nem oszlik el egyenletesen a térben, hanem a Bohr-pályáknak megfelelő helyeken összesűrűsödik.

A további fejlődés folyamán aztán Born újabb felfogást alkotott, amely ezzel a szemléletes képpel kapcsolatban volt. [*11*, 863; *12*, 803]. Felfogása szerint a hullámegyenlet megoldásai annak a valószínűségét adják meg, hogy bizonyos állapotú részecske a térfogatelemben jelen van-e, vagy a felületegységén az idő egysége alatt áthalad-e. Ha azt képzeljük, hogy részecskéket bocsátunk valamely térbe, vagy valamely felületre, akkor azt nem tudjuk megmondani, hogy minden egyes részecske hová jut, mert pályáját nem ismerjük, azt azonban megmondhatjuk, hogy mi annak a valószínűsége, hogy a térfogat vagy a felület egy elemére egy részecske jut.

A fotonok és az elektronok diffrakciójánál keletkező sötét sávok olyan helyek, amelyeknél kicsiny annak a valószínűsége, hogy oda egy foton vagy elektron jut. A világos sávok pedig olyan helyek, amelyeknél nagy annak a valószínűsége, hogy oda egy foton vagy elektron jut. E felfogással a fényhullám és az anyagi hullám mint reális létező megszűnt és átalakult valószínűségi hullámmá. A hullámegyenletek és a hullámfüggvények nem mozgást és nem is eloszlást, hanem megjelenési valószínűségeket határoznak meg. A részecskék mozgása és eloszlása olyan, hogy megjelenésének valószínűsége hullámszerű. A valószínűségi hullám amplitudója olyan mennyiség, amely a megjelenési valószínűséggel úgy függ össze, ahogyan a régi fényelmélet felfogásában a hullámamplitudó a fényintenzitással.

A részecske és a hullámmozgás matematikai képviselete átvette a fizikai történés statisztikai mechanizmusának a szerepét. A megoldások új értelmezést kaptak és ez a gyakorlati számításoknál bizonyos előnyökkel járt.

Noha a fizika bizonyos jelenségek értelmezését már régi

idők óta a részecskék vagy folyamatok roppant nagy számának átlagtulajdonságaira vezette vissza, mégis aránylag későn, csak a 19. század második felében merült fel a gondolat, hogy ezekre az esetekre különleges számítási módokat, a statisztikai számításokat kell alkalmazni. Boltzmann alkalmazta ezeket először a kinetikus gázelmélet sebességeloszlási törvényének a megállapításában és ezzel megteremtette a klasszikus mechanikai statisztikát. Később más testek tulajdonságait is ilyen módon lehetett tárgyalni.

Az anyagi szakadásos rendszerek statisztikájához a folytonos sokaságok, különösen pedig a hullámok statisztikus tárgyalása csatlakozott. Akusztikai, optikai, hősugárzási, elektromágneses jelenségeket lehetett ilyen módon megfogni és számíthatóvá tenni. Maga Planck is ezt a módszert használta és abba a hatáskvantumnak akkor még teljesen igénytelennek látszó magját is beleültette. Belőle nőtt ki a kvantummechanikának terebélyes fája.

Az új tudomány azzal, hogy a részecskéket saját függvényekkel képviseltette és azzal, hogy a valószínűségi hullám fogalmát megalkotta, teljesen új alapokat teremtett a statisztika számára, amelyből a kvantumstatisztika új tudománya alakult ki. Kitűnt, hogy az új alapokból kiindulva a klasszikus statisztika bizonyos módszerei ellenmondásokhoz vezetnek, sőt ilyenekhez vezet az a felfogás is, amelynek segítségével Planck híres sugárzási formuláját levezette, amiből az új tudomány kiindult.

A kvantumstatisztika módszereinek kidolgozása, Bose, Einstein, Fermi és Dirac nevéhez fűződik. Az alapgondolatok a következő kérdés körül forogtak: hogyan kell a részecskék elrendeződésének eseteit számítani? Minthogy a részecskéket saját függvényeik képviselik, azért azok a permutációk, amelyek az azonos állapotú részecskék felcseréléséből adódnak, identikusoknak veendők és egyetlen lehetséges elrendeződésnek számítandók. Már most Bose és Einstein felfogásában az ugyanazon állapotban lévő részecskék száma tetszés szerinti nagy lehet, ellenben Fermi és Dirac felfogása szerint a részecskék között két vagy több azonos állapotú részecske (az ú. n. Pauli-tilalom alapján) nincs megengedve, tehát a komplexiókban csak a különböző állapotú részecskék veendők számításba. E gondolatok alapján kétféle kvantumstatisztika, a Bose—Einstein-féle és a Fermi—Dirac-féle alakult ki.

Nem szabad azonban azt gondolni, hogy e két felfogás ellenkezik egymással, vagyis hogy csak az egyiknek vagy a másiknak kell a helyes számítási módot adnia. Minthogy ez szintetikus szerkesztés, vagyis próbálgatás, és minthogy a részecskék állapotát tulajdonképen mi csak gondoljuk, amikor az

alapegyenletet kielégítő saját függvényeket a részecskék képviselőjévé tesszük meg, azért az egyik felfogás éppúgy lehet a próbálgatás alapja, mint a másik. Meg kell nézni, hogy mindegyik mihez vezet.

Kitűnt, hogy a hullámstatisztika feltételeinek csak kétfajta hullámfüggvény, a szimmetrikus és az antiszimmetrikus felelhet meg, továbbá, hogy az első a Bose—Einstein-féle, a második a Fermi—Dirac-féle számítási mód előállítására alkalmas.

Az új statisztika jelentékeny mértékben megváltoztatja természetfelfogásunkat. A gázokat eddig olyan testeknek tekintettük, amelyek csak kémiai viselkedésük szerint különbözők, fizikai tulajdonságaik szempontjából azonban egyformák. Sőt a régi kinematikus gázelmélet a felfogást még élesebben domborította ki, mint ahogyan azt a tapasztalat mutatta. Az új felfogás szerint a közönséges gázok normális nyomás és hőmérséklet mellett ugyan közelítőleg egyformán viselkednek és az egyatomú gázokra érvényes marad a Boltzmann—Maxwell-féle sebességeloszlási törvény, de csak mint közelítés. Alacsonyabb hőmérsékleteknél és magas nyomásoknál azonban a gázok „elfajzanak", az elfajzás tüneményeit azonban tetszésszerinti kicsinnyé tehetjük, ha a gázt elegendőképen ritkítjuk. Az abszolút nulla foknál való viselkedésre vonatkozó fogalmaink is változást szenvedtek és a hőmérséklet, valamint az entrópia fogalma is más értelmezést kapott.

Az új felfogás a gáz fogalmát jelentékenyen ki is tágította, mert a közönségesen ismert gázok mellé bevezette az elektrongáz, a protongáz, a neutrongáz, a fotongáz fogalmát is. Ezek alapján a fémek elektromos és kalorikus vezetőképességét, a Wiedemann—Franz-féle törvényt, a Volta-féle effektust, a hőelektromos jelenségeket, az izzó testek elektronkisugárzását értelmezni és bizonyos mennyiségbeli kapcsolatokra rájutni is lehetett. A véletlen szerint bekövetkező radioaktív sugárzásokra, a szcintillációkra, a fénykibocsátásra is kielégítő valószínűségi törvényeket kaptunk. A gázokban és a folyadékokban végbemenő sűrűség-, hőmérséklet-, nyomás-, törésmutató ingadozások számára pedig olyan számítási mechanizmust nyertünk, amely a jövő kísérleti vizsgálatok számára útmutatást ád és azok próbaköveként is szerepelhet.

A hullámmechanika és a hullámstatisztika mechanikai világfelfogásunkban jelentékeny változást hozott létre. A 19. század utolsó évtizedétől kezdődőleg megalkotott új tapasztalati jelenségek sokaságára kialakult a felfogás, hogy az anyagi testek néhány elemi részecskéből, elektronokból, protonokból, neutronokból vannak felépítve. Amikor az elméleti fizikusok e

részecskék fogalmával a fény fogalmát is össze akarták kapcsolni, kitűnt, hogy ez sem a klasszikus pontfizika, sem az elektrodinamika fogalmai segítségével nem lehetséges. Elsősorban azért nem, mert az e fogalmakban rejtőző folytonosság ellenkezik a jelenségekben megnyilatkozó szakadásossággal. Sőt kitűnt, hogy a fényjelenségek látszólag folytonos lefolyását is gondolatilag fel kell oldani elemi részecskék áramává. Az anyagi részecskékhez tehát a fényrészecskének a fogalmát is hozzá kellett csatolni. Viszont kitűnt, hogy az anyagi részecskék fogalmához is hozzá kell csatolni a hullám fogalmát. A tapasztalati jelenségek mögött lévő gondolati világba, mint végső elemeket a részecske és a hullám fogalmát kellett belehelyezni.

A kvantummechanika ebből a két elemi fogalomból kiinduló fogalomkialakulási folyamatoknak a terméke. Szintetikus matematikai szerkesztő munkával készült. Benne a régi mechanika fogalmainak értelemszerű módosításai összekapcsolódtak a színképi törvényekben megnyilatkozó tapasztalati szabályszerűségekkel. Gondolati és formális alakulatai olyanok, mint a geometria ábrái, amelyek egy új értelemszerű gondolatvilágot alkotnak.

Ez a tudomány a részecske képzetét úgy egyezteti össze a hullámképzettel, hogy a mozgását szabályozó matematikai formalizmust összehangolja a hullám tovaterjedését szabályozó matematikai formalizmussal. E célból a részecskék részére matematikai képviseletet választ, és azt a hullámszerűséget képviselő hullámegyenlet uralma alá veti. Ebbe pedig beleépíti a szakadásosságot biztosító hatáskvantumot, Planck *h*-ját. A hatáskvantum a megfigyelések adatainak értelmezésébe is belejátszik. A klasszikus fizika a megfigyelést olyan folyamatnak tekintette, amely a megfigyelendő mennyiségen változást nem hoz létre úgy, hogy a megfigyelés megismétlése az állapot megismerésének pontosságát megnöveli. A kvantummechanika felfogása szerint a megfigyelés, amely mindig fény segítségével történik, a mikrokozmikus részecskének meg nem határozható impulzust ád úgy, hogy a megfigyelés megismétlése új állapotában találja a részecskét, tehát a pontosságot nem növeli, sőt bizonytalanságot hoz magával.

A klasszikus fizika csak olyan részecskékkel tud dolgozni, amelyeknek határozott helyük és határozott sebességük van. A kvantum-fizika azonban, kiindulva a meggyőződésből, hogy a megfigyelés megzavarja a részecske állapotát, elvileg kizárta a részecske helyének és sebességének egyidejű meghatározását, és olyan fogalomvilágot teremtett, amely a jelenségek leírását e nélkül is lehetővé teszi.

A klasszikus fizika egyenletei módot adnak arra, hogy egy állapot megfigyeléseinek adataiból valamely következő ál-

lapot adatai kiszámíthatók legyenek. Az oksági törvénynek tehát ilyen értelmű jelentést adott. A kvantumfizika ezzel szemben az oksági törvény számára egészen új értelmezést alkotott. A hullámegyenlet, amelynek a részecskéket képviselő saját függvények alá vannak vetve, nem helyet, időt és sebességet, hanem a részecskék megjelenésének valószínűségét határozza meg. Minden a jövőre vonatkozó számítás bizonytalanságnak van alávetve. Csak statisztikai valószínűségeket lehet előre kiszámítani, de előbb gondolatilag meg kell alkotni azokat a fogalmakat, amelyeknek valószínűségéről az elméletben szó lehet.

A jelenségek mögé képzelt mikrokozmikus gondolati világ számára alkotott statisztikus valószínűségi törvények azonban még sincsenek ellentétben a klasszikus fizikának a közvetlen tapasztalat világa számára előírt oksági törvényével. A részecskék és a folyamatok óriási száma esetében ugyanis a valószínűséget előállító matematikai függvények, — ahogyan a matematikusok magukat ki szokták fejezni — roppant meredekséget mutatnak, ami állandó vagyis meghatározott értékeknek felel meg, tehát az oksági törvény érvényességének a jellegét hordja magával. A klasszikus mechanika és az elektrodinamika törvényeit tehát úgy lehet tekinteni, mint a kvantummechanika statisztikai törvényeinek határeseteit.

## XIII. AZ OKSZERŰSÉG ÉS A TÖRVÉNYSZERŰSÉG.

Az okság fogalmát mindennapi életünkben, beszédmódunkban, gondolkodásunkban és cselekvéseinkben folyton használjuk. Műszaki, politikai és gazdasági életünk is rajta nyugszik. A tudománynak valamennyi ága vele él, sőt sokan abban a meggyőződésben vannak, hogy minden tudomány végcélja az okság alapján való világszemlélet teljes kidolgozása [*102*, 119].

Az okok szerinti gondolkodás fellegvára pedig régi idők óta a fizika. Széles körökben elterjedt a meggyőződés, hogy ez a tudomány az oksági törvény általános érvényességén alapszik, amelyen állva teremtette meg fogalmainak messze kiterjedő hálózatát és azokat átsugározta a többi tudományokba, valamint a köznapi és a gyakorlati életbe is.

Noha az okság uralma ilyen széles körre terjed ki, mégis — vagy talán éppen ezért — a legvitatottabb fogalmak közé tartozik. Lélektani forrásairól, keletkezésének módjairól, jelentéséről, nyelvileg kifejezett formájáról, érvényességéről a legkülönfélébb vélemények vannak és ilyenek újból és újból keletkeznek. A vita területén a fizikusok is élénk tevékenységet folytattak és a fizikának legújabb kialakulásában is erről van szó.

Vannak olyanok, akik elismerik ugyan, hogy a közönséges élet valamilyen nem egészen határozott értelmű oksági törvénnyel dolgozik, de az a meggyőződésük, hogy a természeti történés okainak feltárása egy régebbi kor tudományának volt a célkitűzése és hogy mai nap az ahhoz való ragaszkodás nem egyéb, mint fetisizmus, továbbá, hogy magát a törvényt határozott jelentéssel úgy megfogalmazni nem is lehet, hogy a fizikai történésekre alkalmazható legyen és hogy nem azt kell keresni, miért történnek a fizikai események, hanem azt, hogyan történnek [*119*, 42; *82*, 433].

Némelyek az okság fogalmát az emberi cselekedetekre szorítják és a tőlünk független természeti történésekre való kiterjesztését megengedhetetlennek tartják [*119*, 42]. Mások viszont, éppen ellenkezőleg, csak a természeti folyamatokra tartják alkalmazhatónak és lehetetlennek tartják, hogy a szellemi életet is az oksági törvény uralma alá hajtsuk [*102*, 119; *6*, 77].

Vannak, akik teljesen lényegtelennek tekintik és azt tartják, hogy tökéletesen mindegy akár hiszünk az okság törvény érvényességében, akár nem: egy betű sem változik meg ennek következtében fizikai könyveinkben [*34*, 302]. Viszont vannak, akik az okság törvényben valami alapvető, az emberi tapasztalattól és értelemtől független dolgot látnak, amely gyökerét mélyen bebocsátja a végső való világába [*102*, 235].

Kant felfogására támaszkodik az a vélemény, amely szerint tapasztalatokat csak az okság fogalma segítségével lehet gyüjteni, azonban az újabb fizika azt bizonyítja, hogy tapasztalatokat e nélkül is lehet szerezni. [*34*, 76]. Ugyane fizika a szigorú okság törvény helyett egy lazább szövésű okság felfogást teremtett és feladatává tette annak kimutatását, hogy a mikrokozmoszra érvényes valószínűségi törvényekből hogyan szövődik össze a közvetlen tapasztalat világa számára a szigorúan érvényesnek látszó okság törvény. A sajátságos az, hogy Planck, aki az új fizika számára az alapfogalmat megteremtette, éppen az ellenkező felfogáson van, mert azt tartja, hogy az okság törvény csakis a mikrokozmikus folyamatokra érvényes teljes szigorúsággal [*102*, 119].

Olyanok is vannak, akik az okság törvény használatát felületesnek tartják, mert annak csak olyanféle szerepet tulajdonítanak, amilyen a rím szerepe a versben, vagy a hangjegyeké a zenében. Felfogásuk szerint a természeti történéseket sokkal szorosabban kötő láncok fűzik egybe. [*69*, 229].

Még nagyobb különbségeket találunk, ha az okságnak lélektani, logikai, tudománytörténeti, filozófiai alapjaira fordítjuk figyelmünket. Már maga az egyén is lelki fejlődésének, folytonos megeszesedésének vagyis meg„*ok*"-osodásának egymás után következő állomásain mindíg újabb és újabb alakban fogja fel az okságot. Ugyanezt mutatják az emberi közösség magasabb fokú szellemiségének képviselői: a tudományok. Fejlődésének egymásra következő szintjein a fizika is különböző forrásokban találta és különböző alakokban jelentette meg. A szellemiségnek legmagasabb rangú képviselője, a filozófia pedig már kezdettől fogva olyan alapokra állította önmagát, amelyeknek meghatározásában az okságra vonatkozó felfogása játszotta a döntő szerepet.

Miként maga az ember, e fogalom is a változásoknak hosszú sorozatán ment keresztül, a megismerési tényezőknek mindegyike adott le számára bizonyos fogalmi elemeket. Itt nem egyetlen egységes tartalmú és meghatározott jelentésű fogalomról és törvényről, hanem ilyenek hosszú sorozatáról van szó, amelyeket az emberi fejlődés konvención alapuló kényszere az okság fogalmába mesterségesen szorított össze. A heterogén

elemeket valójában semmi más, mint pusztán az „okság" szó fűzi egymáshoz.

Alapfelfogásunk ismertetőjeleket ád e gondolati szövevény szétbontására. A fizika a megismerés szempontjából egymástól lényegesen különböző két részből, a kozmikus és az alkotó fizikából van összetéve. Az elsőbe tartozó folyamatok a természetben az ember közreműködése nélkül jönnek létre, az utóbbihoz tartozókat maga az ember teremtette meg. Amazoknál az ember lényegben véve tisztán megfigyelő szerepet játszik, emezeknél belenyúl a természetbe és maga idézi elő a folyamatokat. Az elsőknél az ember végeredményben a tőle független szabályosságot, vagy szabálytalanságot észlelheti csak. Az utóbbiaknál önmagát állítja be a folyamatok kezdetébe.

### 1. *A kozmikus folyamatok szabályszerűsége.*

A fejlődés elvének szintjéről nézve fogalmainkat, arra lehet gondolni, hogy a tudat kialakulásában az embertől függetlenül lejátszódó kozmikus folyamatok voltak az elsők. A nappal és az éjszaka, valamint az évszakok váltakozásai a növények sejtjeibe is beleevődtek és ott az átörökölhető időszaki változások fizikai—kémiai—biológiai alapjait fejlesztették ki. Az állati szervezetekbe is beleszövődtek, sok állat éjjel alszik, vagyis csökkentett élettevékenységet folytat; bizonyos állatok télen is alusznak; a madarak egy része pedig időszakonként vándorol.

A tudat ébredésének egyik első lépése az lehetett, amikor az ember tudatára jutott annak, hogy valami megismétlődött vagyis, hogy a pillanat érzeteiben valami régibbnek az ismertető jelei vannak meg. Ezek persze csak szavak, amelyeknek fiziológiai hátterét nem nagyon ismerjük, de szerencsésen megválasztott szavak, amelyek a megismerés kialakulásának lényeges elemeit leírhatóvá teszik. Valószínű, hogy a csecsemő első mosolya is éppen ezt, a számára teljesen új állapotot jelzi, amikor valami új benyomása mint valami régibb benyomásnak a megismétlődése tűnik fel előtte. A felnőtt korban is a régibbnek felismerése az újban jóleső érzéseket vált ki. Ez éppen a megértés, amely szó az első fokon nem is jelent mást, mint a régibbnek felismerését az újban.

Az emberi szellem kialakulási folyamataiban bizonyára a nappal és az éjjel váltakozása volt az az első kozmikus folyamat, amelynek megismétlődése tudatossá vált. A Biblia az Isten első napi tevékenységének, az Ég és a Föld teremtésének, a világosság és a sötétség szétválasztásának leírásával kezdődik. „És mondá Isten: Legyen világosság és lőn világosság. És

látá Isten, hogy jó a világosság és elválasztá Isten a világosságot a setétségtől. És nevezé Isten a világosságot nappalnak és a setétséget nevezé éjszakának; és lőn este és lőn reggel: első nap."

A nappal és az éjszaka szabályszerű váltakozásainak tudatossá válása nyilvánvalóan előbb történt, mint annak a felismerése, hogy a világosság a Naptól származik. A Bibliában ugyanis Isten csak a negyedik napon teremti a Napot és a Holdat. Érthető is, hogy ez így történt, mert a fejlődés kezdetén az emberek nem tudhatták azt, hogy felhős égboltozat esetében a testek csak azért láthatók, mert a Nap fénye a felhőkön is átszűrődik.

Ezt az első szabályszerűséget később a csillagos égboltozat forgásában, a Nap, a Hold és a bolygók járásában, a Hold fényváltozásaiban, az évszakok váltakozásaiban, a növényzet évenkénti megújhodásában és más hasonló jelenségekben megnyilatkozó szabályszerűségeknek a felismerése követte.

Az embertől függetlenül végbemenő kozmikus szabályszerűségeket a görög természetfilozófusok igyekeztek először minden oksági magyarázat nélkül tisztán egyszerű absztrakt fogalmakkal leírni. Legnagyobb gondolati alkotásukban, a gömbalakú Föld és a körülötte forgó Éggömb fogalmában csupán egyszerű, szemléletes geometriai képzetek szerepelnek, azok, amelyeket ma is minden ember könnyen megszerkeszthet elméjében. A rendszer a kozmikus szabályszerűségek egyszerű leírását adja a nélkül, hogy a „miért" kérdését megbolygatná. Ptolemaiosz és Kopernikusz rendszerei az égi jelenségek szabályszerűségeinek újabb alakú egyszerű leírásai, Kepler törvényei a bolygómozgásokban megnyilvánuló szabályszerűségeket megint másképen adják. Az okokra azonban egyik rendszer sem tér ki.

Newton egészen más megismerési alapra helyezkedett. A földi és az égi jelenségek egyszerű leírásával nem elégedett meg, hanem a tőlünk független kozmikus jelenségekbe belenézte az okság fogalmát úgy, ahogyan az ember e fogalmat közönséges műveleteinél használja. De azért — noha a newtoni fizika nagy sikereket hozott — mindíg akadtak kutatók, akik megelégedtek a tapasztalatban szereplő szabályosságoknak a kikutatásával. A kísérleti fizikai törvényeknek jelentékeny része ebbe a csoportba tartozik. De olyan kutatók is voltak, akik a mások által szerzett kísérleti adatokból próbálgatások útján nevezetes törvényszerűségeket ismertek fel. Ilyen pl. az atomfizika alapját alkotó Balmer-féle képlet, és ilyen az elemek periodikus táblázata is.

De azok között is, akik elméleti vizsgálatokkal foglalkoztak, voltak olyanok, akik a tapasztalatban található szabály-

szerűségeknek egyszerű absztrakt fogalmakkal való leírását tartották az elérhető végcélnak. Ez az irány vezetett a mechanika matematikai alakú egyenleteihez és a Maxwell-féle elektrodinamika egyenleteihez. Einstein a relativitási elméletével az égi testek mozgásának leírását igyekezett adni a nélkül, hogy az okság fogalmát használta volna. A kvantummechanika is ilyen irányban halad. Itt is a szintetikus úton megteremtett matematikai segédfogalmak teszik az okság nélküli leírást lehetővé.

Úgy tűnik fel, mintha a leírás egyszerűségét az oksági fogalom biztosítaná. Valóban sokszor így is van. Azonban a relativitási elmélet és a kvantummechanika leírásai nem azért bonyolódottak, mert az oksági fogalmat kerülik, hanem azért, mert a tapasztalat pontosabb leírására törekszenek. Ha Ptolemaiosz és Kopernikus világrendszerét, Kepler törvényét, Balmer képletét, Mendelejeff periodikus táblázatát a tapasztalattal jobb megegyezésbe akarjuk hozni, ezek is bonyolódottakká válnak.

A kozmikus szabályszerűségek egyszerű leírásai csak nagyon durván állítják elő a tapasztalatot. Az absztrakt fogalmak, amelyek e leírásokat lehetővé teszik, nehezen alkalmazkodó merev formák, amelyeket nem lehet a kívánalmak szerint alakítani. Ha pedig ezt erőszakoljuk, bonyolódottságokhoz jutunk, aminőket éppen a relativitási elmélet és a kvantummechanika mutat.

Az ok-fogalom alkalmazkodóbb, simulékonyabb, kezelhetőbb, mint az absztrakt fogalmak.

## 2. *Az ember műveleteinek okszerűsége.*

Megismétlődéseket az ember a tőle függetlenül végbemenő kozmikus tüneményekben nemcsak *észlelhet*, hanem ilyeneket maga is *csinálhat*. Járása-kelése, minden munkája, minden művelete bizonyos mozdulatok megismétlődéséből származik. Minden ilyen műveletével pedig a külső természetre vonatkozó észleleteiben is bizonyos változás áll elő.

A művelet a tudatnak primér, minden mástól független ténye. Azt, hogy kalapáccsal lesujtottam egy kőre, nem kell először látnom, vagy más érzékszervemmel észlelnem, azt mindenek előtt tudom, mert tőlem eredt az indíték, amelynek folyományaképen a műveletet végeztem. Ellenben érzékszerveimmel észlelem azt, hogy a kalapáccsal való sujtást a kő darabokra való széthullása követte. Két egymástól független tény kapcsolódott tehát össze: a kalapáccsal való sujtás és a kőnek ezt követő darabokra törése. Ilyen műveleteknek sokszoros megis-

métlődése után tudatossá válik előttem a szabályszerűség: a kalapáccsal való sujtást követi a kőnek széttörése. Ez a szabályszerűség abban különbözik a kozmikus szabályszerűségektől, hogy létrejövése tőlem függ.

Az okság lélektani gyökere az ilyen szabályszerűségek tudatossá válásában van. A tudat ébredése nemcsak azzal kezdődik, hogy az ember a tőle független természetben passzív módon bizonyos szabályszerűségeket észrevesz, hanem azzal is, hogy az ember észleli azt a szabályszerűséget, amely a műveleteivel kapcsolatos változásokban előáll. Lehetséges, sőt valószínű, hogy ez utóbbiak előbb váltak tudatossá, mint a kozmikusak, de ez nem lényeges. Az azonban nyilvánvaló, hogy az emberi faj akkor lépett „emberi" fejlődésének igazi útjára, amikor a művelet végzésekor fellépő szabályszerűségeket felismerte és folytonos próbálgatásokkal továbbfejlesztette. Ilyen módon az új megismeréseknek nagy számára tett szert. Megtudta, hogy a kalapáccsal való sujtásnak, az éles eszközökkel való vágásnak, bizonyos kövek egymáshoz való ütődésének, a fadarabok egymással való dörzsölésének, a fonalszálak összesodrásának, a faág meghajlításának mik a következményei. Tapasztalati megismeréseinek hosszú sorozataiban mindenütt egy művelet és egy azt követő természeti változás szerepelt. Mi ma az elsőt *ok*-nak, a másodikat *okozat*-nak vagy *hatás*-nak nevezzük. A kezdetleges embernél az ilyen összefoglaló fogalmak és szavak természetesen hiányoztak, azok csak jóval később, a gondolati folyamatok kellő kialakulása után teremtődtek meg, de cselekvéseiben ez a szkéma vezette őt. Mindíg tudta, hogy ezt vagy azt a műveletet milyen változás fogja kísérni. Talán éppen ez a szkéma indította meg a gondolati folyamatok kialakulását. A mai gyermeki lélek fejlődése is e szerint folyik le.

A műveletek tették az ember létét lehetővé és azért az ember magát a műveletek középpontjává tette meg és kialakult az *Én*-nek mint olyas valaminek a tudata, ami cselekedni, műveleteket végezni, változásokat előidézni, a tőle független természetre hatni képes. A mai gyermek is értelmi kialakulásának első korszakában, amikor még nem tudja, hogy műveletei korlátokhoz vannak kötve, a műveleti lehetőségek sokaságának középpontjába állítja önmagát. A műveletekhez, melyekről csak hall, mindjárt hozzákapcsolja önmagát: levágom a medvét, elfogom az oroszlánt, kidöntöm a fát, repülőgépre ülök, csatornát építek és így tovább, a lehetőségek és a lehetetlenségek középpontjában mindíg ott van ő maga, az Én.

Az Én tudata nem a gondolkodásból, hanem a műveletek végzéséből indult ki. A gondolkozás csak sokkal később fűződött hozzá, csak azután, miután az emberben a műveleteihez tartozó változásoknak, a mindkettőt határoló korlátoknak, a lehetősé-

geknek az ismeretei kialakultak. Descartes híres mondását tulajdonképen így kellene kiegészíteni: műveleteket végzek, változásokat előidézek, hatni tudok, a következményeket mérlegelem, tehát gondolkodom, tehát vagyok.

Az egészen természetes folyamat volt, amikor az ember a saját működő és hatóképességét belenézte a körülötte lévő világba és az ott létrejövő változásokat olyan módon gondolta létrejötteknek, ahogyan ő maga is az ilyen változásokat létrehozni szokta. Számos adattal támogatott tény, hogy a kezdetleges ember szemében nincs élettelen tárgy. Minden, ami körülveszi, élettel van felruházva [*110*, 61]. Az is egészen természetes, hogy a gyermek a meséket, amelyekben az állatok, a fák, a virágok, a sziklák, a hegyek, a szelek beszélnek, sírnak, mozognak, harcolnak, nem mint meséket, hanem mint az általa felfogott valóságnak egyetemességét élvezi és értékeli.

Sokfelé lehet olvasni azt a megállapítást, hogy a kezdetleges népek természetszemlélete nélkülözi az oksági törvényt. „Az ilyen fejletlen gondolkodású ember, írja Solymossy Sándor, össze nem tartozó elemeket hoz egymással vonatkozásba, ami egymás mellett van, vagy egyidőben bukkan fel, az mind kölcsönhatással van egymásra... Az íja azért tört el, mert egy madár szállt el feje fölött. Az apa beveszi a fiának szánt gyógyszert, abban a biztos tudatban, hogy az fiának is használni fog." [*110*, 61]. Solymossy ezekből azt a következtetést vonja le, hogy „a mi okkereső logikus észjárásunk merőben ismeretlen a kezdetleges ember előtt, hogy okok láncolatából áll a világ, hogy a jelenségeket csak ez teszi érthetővé, hogy mindennek ez az igazi magyarázata, arról sejtelme sincs." Éppen az ellenkezője az igaz. Az említett esetek azt igazolják, hogy a kezdetleges emberben az oksági törvény kezdő fokozata, a műveleteknek és hatásaiknak szoros kapcsolata pompásan ki volt fejlődve. A különbség csak az, hogy a kezdetleges ember az oksági törvényt sokkal szélesebb körben alkalmazza, mint ahogyan mi, bővebb ismereteink alapján alkalmazzuk. Nála a madár egyszerű repülésével messzeségből is el tudja törni az íjat, és a gyógyszer távolból is hat. Logikai szempontból mai tudományunknak az a tétele, hogy a Hold hozza létre az apályt-dagályt, tökéletesen olyan, mint az az állítás, hogy a madár távolból is el tudja törni az íjat. Sőt ezt a felfogást még meszszebbmenőleg is követhetjük. Amint fizikai megismerésünk előrehalad, az ok és az okozat szoros kapcsolatának a törvénye mindíg szűkebbre és szűkebbre szorul.

### 3. *A nyelv és az értelem szerkezetének okszerűsége.*

Amikor az ember fejlődésének folyamán feltalálta a beszédet, a nyelv szerkezetébe is beleszerkesztette az oksági kapcsolat törvényét. Minden nyelvnek gerince ma is az alany és a működést vagy a létet kifejező állítmány közötti kapcsolat: a tőmondat. Minden, ami van, vagy ami történik, mint állítmány hozzátartozik egy alanyhoz. Az alany mint ok végzi az állítmányban kifejezett működést, a hatást vagy a birtokolást. A villám dörög, gyujt, rombol, a felhő vihart hoz, a testek fényt bocsátanak ki, nyelnek el, visszavernek, szétszórnak és megtörnek. A hang terjed. A hő átmegy egyik testből a másikba. Az elektromos áram folyik, ellenállásra talál, melegít, vegyi bontást csinál, mozgat és így tovább. Miként a közönséges életben, úgy a fizikában is az alanyoknak sokasága műveleteket végez, működik, hatást tesz. Ez a fő mintája a nyelvbeli kifejezéseknek.

Az oksági törvény beleszövődött a nyelv szerkezetébe. Többen ebből azt a következtetést vonták le, hogy az oksági törvény nem a tapasztalati adottságoknak, hanem egyszerűen a megismerés kifejezésére szolgáló nyelvnek a tulajdonsága. Az okság a grammatika, illetőleg a szintaxis használatának a következménye volna. A fentebbiek alapján azonban nyilvánvaló, hogy ez nem helyes felfogás, mert az oksági törvény nem ilyen formális eredetű, hanem forrása az ember egyik ős megismerési forrásában, műveletvégző képességében és annak a felismerésében van, hogy meghatározott műveleteket meghatározott változások kísérnek.

A nyelv óriási ugrás volt az ember gondolkodó képességének kialakulásában. A legnagyobb ugrás az értelem segédeszközeinek és meghatározó tényezőinek kifejlődésében. Nem különös tehát az, hogy maga az értelem is hozzáidomult kifejezési eszközének a szerkezetéhez. Az értelmi fejlődés olyan, mint a korallok zátonyépítése. A kis korallállatka egész életén át építgeti házikóját, amely halála után nem semmisül meg, hanem alapul szolgál az új kis állatkák házikójához. A tőmondatokban kifejezett oksági fogalom is alapul szolgált az újabb megismerések lerakódásához.

Amint változást észlelünk, önkénytelenül keressük az okot, amely azt létrehozta. A történést csak úgy tudjuk megérteni, vagyis többi ismereteink közé harmonikus módon elhelyezni, ha egyszersmind egy alanyt is tudunk hozzákapcsolni, amely azt létrehozta, vagy — miként azt Nietzsche kifejezte — minden történéshez egy tettest állítunk oda. Hitünk az ilyen tettes létezésében olyan erős, hogy azt, ha a változás észrevéte-

lével nem adódik, gondolatban mint létezőt, megszerkesztjük és nevet adunk neki.

Gondolkodó képességünk, megismerésünk és értelmünk a fejlődés folyamán hozzátapadt az okság fogalmához. Minden újabb megismerésünk ahhoz idomult és annak alakját vette fel. Az oksági kifejezési mód beleszövődött az értelem szerkezetébe és annak sajátságává vált.

Az ókori népek mítoszai, mondái, hőskölteményei az okság fogalmának ezt az elemi felfogását mutatják. A természetbe a fő- és mellékistenek, szellemek, tündérek, manók sokaságát teremtették bele, de nem azért — mint ahogyan sokfelé lehet olvasni —, mert az oksági törvényt nem ismerték, hanem éppen azért, mert ennek a törvénynek friss elemi felfogása bennük élénken ki volt fejlődve.

A biblia minden történetében és tanában nyiltan áll előttünk a történéseknek, a társadalmi, az erkölcsi és a vallásos felfogásoknak az ok és az okozat kapcsolata szerinti fűzése. A kiváló elmék pedig a középkor sok századán át legfőbb feladatuknak tekintették, hogy az egyház hitcikkelyeit az okság szigorú követelményei szerint az elérhető legnagyobb szabatossággal fogalmazzák meg. A skolasztikus logika jó előkészítő iskolája volt azoknak, akik az újkor kezdetén felmerült nagyszámú égi és földi, csillagászati és mechanikai probléma megoldását tűzték ki maguk elé célul.

### 4. *A dinamikus fizika okszerűsége.*

Az emberi szellembe a dinamikus fizika alapfogalmainak megalkotásával friss konstruktív szellem lépett be az axiómákkal és a logikával való küszködésnek a helyébe. Ugyanaz történt, ami régebben, az ős kialakulás korában már oly sokszor megtörtént: az ember a maga működésének formáját belenézte a természetbe, de nem a régi naív módon, hanem az újabb fogalomvilágnak megfelelően szabatosabb és matematikailag határozottabb alakban. Az erő mint az egyensúlynak és a mozgásváltozásnak az oka lett az új megismeréseknek éltető elemévé. Legnagyobb sikereit az égi jelenségeknek megmagyarázásával és a számításra alkalmas formák megteremtésével érte el.

A dinamikus fizika e sikerek után a különféle erőknek nagy sokaságát szerkesztette bele a természet folyamataiba. Nehézségi, centrifugális, tétlenségi, szabad, kényszer, surlódási, konzervatív, disszipatív, rugalmas, hajcsövességi, vegyi, atomáris, molekuláris, hidrosztatikai, hidrodinamikai, aerosztatikai, aerodinamikai, légnyomási, gőznyomási, elektrosztatikai, elektrodinamikai, mágneses erők és azok különböző szárma-

zékai kerültek így bele a fizikába. Az erő fogalma tovább is fejlődött. A műveletek újabb oldalának tekintetbevételével kialakult a munka fogalma és kialakultak származékai, a különféle energiafajok, a mozgási, helyzeti, rugalmas, hangi, fényi, elektromágneses, vegyi, atomáris, molekuláris, sugárzási, kötött, szabad, belső, külső energiafajok és külön még a különféle hőenergiák, a Thomson-hő, Peltier-hő, Joule-hő, égési hő, atomhő, molekulahő. Az erő fogalma pedig erőmező fogalmává tágult. És kialakultak a leíráshoz szükséges segédfogalmak, a potenciál, az ekvipotenciális felület, az erőmező-intenzitás, az erővonal, az erőcső, az erőfluxus fogalma. A jelenségek leírásához még a hangerősség, a fényerősség, a sarkerősség, az áramerősség, az elektromotoros és a magnetomotoros erők fogalmai is kialakultak. Mindezek mint okok szerkesztődtek bele a tőlünk függetlenül végbemenő kozmikus jelenségek magyarázatába.

De ez még nem volt minden. Az emberi műveletekben szereplő ok és hatás mintájára a metaforikus képzeteknek sokasága is megteremtődött és nézetett bele a természetbe. A testek kibocsátják, visszaverik, megtörik, szétszórják, sarkítják, elhajlítják, elnyelik a fényt. A nyomáskülönbség, a hőmérsékletkülönbség, az elektromotoros erő áramot kelt, gerjeszt, indít, hajt, tart fenn. Az energiák pedig mint élőszervezetek átalakulnak, vándorolnak, növekednek, fogynak. A testek a legkülönfélébb tulajdonságokkal, szilárdsággal, rugalmassággal, keménységgel, összenyomhatósággal, vezető, szigetelő, kibocsátó, törő, szóró, elnyelő képességekkel ruházódtak fel, amelyek okfogalmak gyanánt szerepelnek.

De még ez sem volt elég. Ugyancsak az okság fogalma alapján megteremtődtek a mai atomfizikának a fogalmai, közöttük maguk a kisérleti elnevezések, a katód-, anód-, röntgen-, alfa-, béta-, gammasugarak, kozmikus sugarak és mindazok a segédfogalmak, amelyek a kísérletek kvalitatív leírását teszik lehetővé. Az okság fogalma alapján teremtődött meg az atommag, az elektron, a proton, a neutron fogalma is, amelyek az elméletben az ős elemi ok szerepét viszik.

Az összes fogalmak között, amelyeket az emberi elme a fizikában használ, az ok fogalma az, amelyet a legkönnyebben lehet a tapasztalathoz hozzáidomítani. Innét van az, hogy a jelenségek legszélesebb körére a legkülönfélébb alakokban használható. Így teremtődött meg az a nyelvezet, amellyel a jelenségeket leírjuk. Nélküle róluk beszélni sem tudnánk. Az oksághoz szétválasztó és összefoglaló képzetek is kapcsolódtak, amelyek segítségével a fizikai anyag kellő rendezésének, az egymás mellé, fölé és alá való rendelésnek munkáját is el lehetett végezni. Az okság fogalma tehát a fizikai tárgyú irodalom megszerkesztésében, valamint a tanításban is jó szolgálatot tett.

Legfontosabb szerepét mégis az előretörő kutatásokban tölti be. Maga az új szokatlan jelenség (pl. a fluoreszkáló anyag világítása, amiből Röntgen felfedezése kiindult), mindíg az okozat, amelyhez tartozó valószínű okot ismereteink alapján ki kell kombinálni. Minthogy a fizikusok agyában rendesen a különféle okfogalmak sokasága van felraktározva, amelyekhez különféle képzetek társulnak, a kombinálgatásnak tág tere nyílik. A képzelő erő ezek segítségével fejtheti ki működését.

Az okfogalmak teszik lehetővé a tapasztalati jelenségek mintájának a megalkotását. Ez mindíg gondolati szerkezet, egyszerű elemekből álló kép, amellyel könnyebb dolgozni, mint a tapasztalat durva eszközeivel tétován össze-vissza kísérletezni. A matematikusok minden korban szintén felismerték az előnyt, amely az okfogalmakkal előállított ideális világképben van és a maguk egyenleteit és függvényeit azokkal hozták kapcsolatba. Viszont az egyenletekben szereplő matematikai mennyiségekhez mindíg lehet kísérletileg megfigyelhető, mérhető mennyiségeket hozzárendelni. Ez más szóval annyit jelent, hogy az emberi értelem a maga szuverénitásának alapján, a természetbe önkényesen beleszerkesztett ideális fogalmainak érzékszervekkel észlelhető tapasztalati tulajdonságokat is előírhat. Az, ami először csupán gondolat volt, önkényes definíció alapján tapasztalhatóvá válik. Az emberi értelem számára az okfogalmak tették lehetővé a saját szuverénitásának teljes kifejtését. Velük lehetett új fogalmakat teremteni, belőlük tetszésszerinti kombinációkat csinálni, egyenleteket felállítani, a matematikai mennyiségekhez tapasztalati mennyiségeket hozzárendelni és megvizsgálni, vajjon az így nyert értékek kielégítik-e az egyenletet. Szóval az okfogalmak dinamikus alkalmazásai nagyon hatékony tudományos kutató módszert teremtettek.

És most gondoljunk vissza Newton állásfoglalására. Amikor csak alkalma volt rá, mindíg tiltakozott az ellen, hogy őt hipotézis-alkotónak tartsák. Azonban ma már világosan látjuk, hogy hipotézisekkel, azaz analitikusan és szintetikusan alkotott okfogalmakkal dolgozott. Sőt az ő példája és útmutatása alapján lett a kutatás sikeressé.

### 5. *A gyakorlati és a kísérleti fizika okszerűsége.*

Minthogy az okság fogalmának ősforrása az ember műveletvégző képessége volt, amelynél az okot emberi művelet, az okozatot pedig az annak következtében létrejövő változás jelölte, egészen természetes következményképen az alkotó fizikában minden tétel megfogalmazásának mintája ez volt: ha ezt vagy

azt a műveletet végezzük, ezt vagy azt a változást észleljük. Ha a testet elejtjük, elhajítjuk, forgatjuk, összenyomjuk, meghajlítjuk, megcsavarjuk, folyadékba mártjuk, melegítjük, hűtjük, dörzsöljük, mágneses térben mozgatjuk, ha a fény útjába átnemlátszó tárgyat, tükröt, üveghasábot, lencsét, rést, rácsot, kristályt állítunk, ha a Wilson-kamrába radioaktív anyagot teszünk és a zárt teret hirtelen kitágítjuk és így tovább: akkor ezt vagy azt észleljük.

Az ok tehát ezekben az esetekben egy emberi, jól meghatározott művelet és az okozat a hozzákapcsolódó változás, amelynek egyértelműségét a tapasztalat nagyjából igazolja. A gyakorlati fizika az emberi műveleteket sok esetben gépi erővel pótolta, de azért a gondolatvilágban megmaradt a folyamatok egymásra következéseinek az emléke, amelyeken a testek kezdő állapota átmegy, amíg belőle a változások által jellemzett végállapot bekövetkezik. Az oksági kapcsolat tehát a fizikában az egymás után következő állapotoknak szorosan egymásba kapcsolódó sorozatát is jelenti.

A matematika is — ez a legszigorúbb logikai tudomány — a maga következtetéseit az oksági törvény alakjában jelenteti meg. „Ha ez vagy az a tétel igaz, akkor ez vagy az a tétel is igaz". A kiindulási tétel mint ok maga után vonja a belőle következő tételeket mint okozatokat.

A tapasztalati alapú oksági kapcsolatok a jóslás lehetőségre vannak beállítva, és így a tudományok legfőbb céljának, a jóslásnak váltak a segédeszközeivé. Az alkotó fizika körében éppen e célból folynak a kutatások. Minden új eredmény oksági kapcsolat alakjában válik ismeretessé.

Egészen természetes az is, hogy az ember a tőle függetlenül végbemenő kozmikus folyamatokban is olyan szabályszerűségeket szeretett volna felfedezni, amelyekkel úgy tudott volna jósolni, ahogyan az alkotó fizikában bizonyos műveletek végeredményére nézve tud. A formán is, amellyel a vélt szabályszerűségeket kifejezte, meglátszik az az igyekvése, hogy vele a kísérleti fizika oksági tételeit utánozza. Ha Vízkeresztkor a hó olvad, Vince napján a Nap süt, Gyertyaszentelőkor meleg van, Mátyás napján jég van, vagy nincs, Gergely napján az ég tiszta, húsvét vasárnapján és Medárd napján eső esik, és így tovább: akkor ez vagy az fog következni utána. Ugyancsak erre a formára rendezték be a csillagjósok jóslataikat. Ha a gyermek fogantatásakor és születésekor, ha az utazás vagy a háború megkezdése napján, ha a házasság kötésekor és így tovább, a bolygók és a csillagok ilyen vagy olyan helyzetben (konstellációban) voltak: akkor ez vagy az fog bekövetkezni.

A minden áron jósolni akarók a csillagokat, vagy magukat az időjárási jelenségeket úgy tekintették, mint ható okokat,

amelyek meghatározott változásokat vonnak maguk után. Tehát nemcsak az okot, hanem magát az egész oksági formát, az okot és az okozatot is szerették volna felfedezni a tőlünk függetlenül végbemenő jelenségek között. Hogy ez nem sikerült, az csak természetes volt. A mai meteorológia az állapotjelző eszközök sokaságát állítja szolgálatába és mégsem gondolhat arra, hogy a különféle állapotok táblázataiból puszta kombinálgatással olyan szabályszerűségeket fedezzen fel, amelyek segítségével sikerrel lehetne jósolni.

Az alkotó fizikában az oksági törvény alapján való jóslás biztos alapon nyugszik, azonban a kozmikus fizikában tisztán tapasztalati alapon csak bizonyos szűk határok között és csak közelítőleg sikerül a jóslás. A kutatásokkal előretörő fizikában a természetbe önkényesen beleszerkesztett okok és hipotézisek is csak heurisztikus útmutatást adnak.

### 6. *Az ok és a hatás kapcsolatának üressége és határozatlansága.*

Az önkényesen megszerkesztett különféle hipotetikus okokkal való dolgozás kétségen kívül igen kedvező fejlődést hozott a fizika számára, de sok zavart is keltett. Különböző eredetű, össze nem illő fogalmak kerültek egymás mellé. Ok gyanánt egyszer hipotetikus képzet, máskor emberi művelet vagy gépies folyamat, sokszor absztrakt fogalom szerepelt. És ugyanilyen zavar volt az okozat felfogásában is.

Ha pedig azt kérdezzük, mi köti az okozatot az okhoz, a feleletet alig lehet megkockáztatni. Az okság tapasztalati felfogásában ugyanahhoz a művelethez többféle változás kapcsolódik hozzá és fordítva ugyanazt a változást is többfajta művelet hozhatja létre. Az okság tapasztalati felfogásában tehát az ok és az okozat között nincs egyértelmű vonatkozás. Bizonyos műveletből csak bizonytalansággal következtethetünk az előidézett változásra és a tapasztalatban felismert változásból csak a valószínű okokra következtethetünk.

Ha az ok fogalmát a műveletek fogalmán túl kiterjesztjük, akkor is így van. Minden, ami történik, több okkal bír és minden ok többféle esemény okának tekinthető. A tapasztalatban a különféle okok hatásai összekeverednek és a fizikus csak bizonyos feltevések alapján és csak közelítőleg tudja azokat szétválasztani. Ha a természetbe mesterségesen beleszerkesztett okokat vizsgáljuk, akkor sincs egyértelműség. Newtonnál ok az erő és okozat a gyorsulás, Mayernél ok és okozat is energia, majd a helyzeti energia az ok és a mozgási energia az okozat, majd pedig fordítva, a mozgási energia az ok és a helyzeti energia az okozat. Helmholtznál mindkét felfogás megvan:

oknak majd az erőt, majd az energiát tekinti. Nem csoda tehát, ha az ok és az okozat fogalmaknak ez az elködösítése tovább is folytatódott. Mozgási, helyzeti, elektromos energiák, mozgásmennyiségek, impulzusok, forgatónyomatékok, forgatóimpulzusok lehettek okok is és okozatok is.

Az ok és az okozat közti viszonyra felállított elvek is ingadozók. Ilyen elv volna például az, hogy az okozat arányos az okkal, valamint a belőle következő tétel: egyenlő okoknak egyenlő okozatok felelnek meg. Ez igaz, ha pl. oknak a testhez érkező hőenergiát és okozatnak a test által elnyelt hőenergiát tekintjük, de nem igaz általánosan. A természetben nincs mindíg úgy, hogy egy adag okra egy adag okozat, két adag okra két adag okozat következik. Így pl. az úgynevezett kioldási okoknál igen kis ok-növekedés igen nagy okozat-növekedést idézhet elő. A hó- és kőlavinák, a rövidzárlatok, a villámok, gátszakadások, a vonatkisiklások stb. oly folyamatok, amelyeknél az oknak kisméretű megnövekedése az okozatban óriási megnövekedést vált ki.

Ilyen elv volna az is, amely szerint távoli okok okozata elhanyagolható. Azonban éppen a legújabb fizika bizonyítja, hogy ezt az elvet sem tekintjük komoly fizikai elvnek. A kozmikus sugarak okául olyan eseményeket gondolunk, amelyek időben és térben igen nagy távolságban folytak le.

A természetbe mesterségesen beleszerkesztett oksági tételek továbbá sokszor üresek, nem mondanak semmi újat, csak egy definíciót adnak. Ez a tétel pl. a hőmérséklet emelkedésével a molekulák középenergiája is emelkedik, nem más, mint közönséges tautológia, mert a hőmérséklet a molekulák középenergiáját jelenti.

Nagy zavar van az ok és az okozat közti idő tekintetében is. A tapasztalati oksági viszonyban az ok mindíg megelőzi az okozatot, ellenben az elméletileg megszerkesztett ok egyidejű az okozattal. A lőpor meggyujtási folyamata megelőzi a robbanást, de a gyorsulás, amelyet az erő létesít, az erővel egyidejű. Tehát igaz az is, hogy az ok megelőzi az okozatot, de az is, hogy az ok és hatás egyidejű. Hasonlóképen igaz az is, hogy az ok megszünte után az okozat megmarad, de az is, hogy az ok megszüntével az okozat is megszűnik. Mindegyik igaz bizonyos különleges esetben, de egyik sem igaz általánosan.

Szokás azt is emlegetni, hogy minden eseménynek van hatása. Azonban tudjuk, hogy a legközönségesebb eseménynek, egy kő eseményének (esésének) a legtöbbször semmi hatása nincs és akár ítéletnapig elheverhet ott, ahová esett, a nélkül, hogy valami hatása volna. Hasonlóképen szokásos állítás: minden történésnek oka van. A legtöbbször így is van, azonban, hogy mindíg nincs így, mutatja az, hogy már a régi görög gon-

dolati világban is oly történések lehetőségéről beszéltek, amelyeknek nincs okuk.

Az a felfogás, hogy minden történésnek oka van és hogy minden történés maga megint újabb eseménynek az oka, az okság két eredeti forrásának összekapcsolódásából keletkezett. Hogy ezen az úton a tapasztalati és a hipotetikus okból milyen láncolat keletkezik, azt számos példa mutatja. A villámlás okláncolata például kiindul abból, hogy a légkörben vízgőzöknek és elektromos töltéseknek kell lenniök, ezeknek magasabb rétegekbe kell emelkedniök, a vízgőznek le kell csapódnia, cseppeknek kell keletkezniök, rajtuk elektromos töltéseknek kell összegyűlniök. Azután a feszültség-különbségeknek folyton kell növekedniök, amíg végre ismeretlen módon előzetes ionizáló lökés keletkezik, amely nagyszámú iónt termel és a feszültségkülönbség létrehozza az iónok főáramát, a levegő felmelegedését, a fotonok kibocsátását, áramlását a szem ideghártyájáig, itt elektronok kioldódását, biokémiai folyamat megindítását, amely az agyban a villámlás érzetét kelti.

Az ilyen okláncolatot sem belsejében, sem külső határaiban nem vihetjük a végtelenségig, valahol meg kell kezdenünk és valahol be kell fejeznünk és a láncolat belsejében az újabb okoknak folytonos becsatolását valahol abba kell hagynunk. A kezdetet rendesen olyan fogalmakba helyezzük, amelyek világképünk végső bonthatatlan fogalmait alkotják. A belső felosztást is ilyen fogalmaknál hagyjuk abba. Az okláncolatot pedig rendesen akkor tartjuk befejezettnek, ha eljutottunk az érzékelésig. A kezdet és a vég is, valamint a közbevetett okok száma is ködbe van burkolva, vagy — ami lényegében ugyanaz —, körben megy.

Összefoglalólag megállapíthatjuk, hogy az ok és a hatás kapcsolatával kifejezett oksági törvénynek nincs egységes értelme. Nem mondhatjuk azt, hogy a fizika történései az ok és a hatás kapcsolatának a törvénye szerint folynak le. Az ok és a hatás szavaknak nem lehet olyan jelentést adni, amelyet minden történés esetében használni lehetne. A közöttük lévő kapcsolat nem egyértelmű és a természeti eseményekre nem alkalmazható mindíg. A keletkezett tétel néha üres tautológia, néha pedig ellentmondásokat tartalmaz.

### 7. *Az okság a funkcionális felfogásban.*

Az oknak és a hozzákapcsolódó hatásnak a tőlünk független kozmikus jelenségekbe való beleszerkesztése nagy heurisztikus értékű volt ugyan, azonban határozatlan, nem egyértelmű, üres, tautológikus volta mindíg nyugtalanítóan hatott,

mert felesleges és megoldhatatlan kérdéseket vetett fel. Ha az ok és a hatás kapcsolata meg is felelt az alkotó fizikában, ahol az embernek módja van arra, hogy a maga cselekvéseit, működését, gyakorlati alkotásait, gépeit ennek az igen egyszerű szkémának a mintájára rendezze be és ahol nem zavar az, hogy az okot és hatást egyszer így, máskor meg amúgy kell értelmezni és hogy az néha üres és tautológikus: de ebből semmiképpen sem következik az, hogy a sokkal bonyolódottabb kozmikus jelenségeknek is meg kell felelnie. A gondolkodó fők önkéntelenül érezték, hogy e téren a jelenségek határozottabb módon folynak le, mint az ember cselekvéseinél és hogy tehát itt szorosabban kötő kapcsolatoknak kell működniök, semhogy azokat az ok és a hatás egyszerű, de nem határozott szkémája kifejezhetné.

Tudatossá vált az is, hogy az ember a maga műveleteivel a természetbe csak esetenként nyúlhat bele. Előidézheti a kő esését, kimozdíthatja egyensúlyi helyzetéből az ingát, megpendítheti a húrt, megzavarhatja az elektromos egyensúlyt, de amikor a kő már esni, az inga lengeni, a húr rezgeni, az elektromos állapot kiegyensúlyozódni kezd, akkor az embernek minden további befolyása megszűnik, akkor e folyamatok az embertől teljesen függetlenül folynak le. Felesleges tehát keresni: miért folynak le emígy és nem másképp, elég azt tudnunk, hogyan folynak le.

Ha e műveleteket tágabb szempontból vizsgáljuk, azt is látnunk kell, hogy ezek is természeti folyamatok, amelyekhez hasonló folyamatok a mi közreműködésünk nélkül magában a természetben is létrejönnek. Amikor tehát a saját műveleteinket megtesszük oknak, akkor a természeti folyamat egyik részéhez önkényesen azt a képzetet fűzzük hozzá, hogy ez mintegy húzza maga után a másik részt, holott a természetben egységes folyamat folyik le, amelynek még abban az esetben is meglehet a maga szabályszerűsége, ha ezt eddig nem is sikerült megismerni.

Még inkább így kell ennek lennie a kozmikus folyamatokban, például az időjárási jelenségekben, az égitestek mozgásában, amelyekbe mi esetenként sem nyúlhatunk bele alakítólag. Ha e jelenségeket egyszerű absztrakt fogalmakkal leírni, azok segítségével rendezni, egymás mellé, egymás fölé és egymás alá rendelni, az észlelt szabályszerűségeket matematikai mennyiségekkel kifejezni, a jövő kiszámítását lehetővé tevő formákat alkotni tudjuk és ha a felhasznált fogalmakban megvan az egyértelműség, a belső harmónia és az ellentmondás-nélküliség, akkor elértük végcélunkat, megtettünk mindent, amit a tudománytól várni lehet. Nemcsak felesleges, hanem zavart és kétértelműséget is magával hozó munka, ha ezenfelül még

mint létrehozókat, hipotetikus okokat is működtetünk, amelyeknek tapasztalati megismerhetéséről előre lemondunk.

A jelenségek sem azért jósolhatók meg és számíthatók ki, mert a természet valamilyen szükségszerű okoknak engedelmeskedik, hanem azért, mert a jóslást és a kiszámítást lehetővé tevő összefüggés sokszoros megismétlődéssel igazolódott. Nem azért hiszünk abban, hogy az eleresztett kődarab a jólismert összefüggés szerint esni, a húr egy matematikai formula szerint rezegni fog, mert a nehézségi és a rugalmassági erő törvényét ismerjük, hanem azért, mert többszázéves tapasztalatunk szerint a jelenségek mindíg e törvények szerint folytak le.

A newtoni dinamika alapja nem az erő törvényeiben, hanem a mozgási egyenletekben van, amelyek az elhajított, a megforgatott, a meglendített, a megpendített testek mozgásainak szabályszerűségét előállítják és a többszázéves tapasztalattal közelítőleg igazolódtak. Az, hogy e mozgási törvények megállapításában az erő és általában az okság fogalma szerepet vitt, érdekes lélektani és módszertani tény, azonban a természetnek ahhoz nincs köze. Az érvényességükben vetett hitünk nem az oksági törvényben van, hanem sokszoros igazolódásukon alapszik.

Az okság és a szabályszerűség fogalmaiban előálló ezt a mélyenjáró átváltozást világosan mutatja Helmholtznak az „Über die Erhaltung der Kraft" című munkájához írt bevezetése. Az 1847-i első kiadásban még azt írta, hogy az elméleti fizika feladata a jelenségek ismeretlen okainak a kikutatása és azoknak az oksági törvény alapján való megértése, mert a természetben minden változás csak megfelelő okok alapján jöhet létre. Az 1881-i kiadás előszavában pedig következőképpen javította ki önmagát: „a bevezetés filozófiai megfontolásaiban Kant ismeretelméleti nézetei erősebben befolyásoltak, mint ahogyan ma helyesnek tartom. Csak később lett világos előttem, hogy az oksági elv valóban semmi más, mint a természeti jelenségek törvényszerűségeinek feltételezése". Felfogásának megváltozását egyéb munkái is mutatják [*62*, 13, 68].

Az új felfogás az okság fogalmát és törvényét tulajdonképpen teljesen kitolta a fizikából és helyébe a tudomány feladatává és végcéljává összefüggések, szabályszerűségek, törvényszerűségek kutatását állította. Az ok és a hatás kapcsolatának helyére a jelenségek meghatározó adatainak kölcsönös összefüggése lépett. A matematikai fizika beszédmódjával kifejezve ez azt jelenti, hogy a jelenség egyes meghatározó elemeit matematikai mennyiségekkel kell kifejezni és ezek között függvényszerű vonatkozást kell felállítani, amelynek érvényességét csak sokszoros ismétlődéssel lehet megállapítani.

Itt tehát többé okról és okozatról nincs szó. Hogy azon-

ban a tudomány a függvényszerű összefüggések vagy egyenletek érvényességébe vetett hitét mégis okságí kapcsolatnak nevezte el, az a tudományos fejlődés folytonosságának a megnyilvánulása. A szót megtartjuk, jelentését azonban gyökeresen megváltoztatjuk. Az okság funkcionális értelmezése azt a meggyőződésünket vagy hitünket fejezi ki, hogy a jelenségek között felismerhető szabályszerűségek és törvények állanak fenn, amelyekkel leírhatók, értelmezhetők és megjósolhatók.

Az új felfogás is sok nehézséggel jár. Különösen az idő irányának megfordítása okozott sok gondot, amikor a matematikai formula és a tapasztalat közti megegyezést helyre kellett állítani. Minden matematikai formulában az idő mindkét irányban olvasható. Ha tehát ilyen formula az okság képviselője, akkor az oknak és az okozatnak is megfordíthatónak kellene lennie. Mindazok a próbálgatások azonban, amelyek az ellentmondásnak eltüntetésére irányultak, meghiúsultaknak tekinthetők.

Az okság funkcionális felfogása természetesen csak a tudomány céljában és a megismerés végső alapjában jelentett változást. A közönséges, mindennapi életben, a gyakorlati és a kísérleti fizikában, sőt az elméleti fizikában és a matematikában is, mint beszédmód megtartotta régi jelentését.

### 8. *A statisztikai szabályszerűségek.*

Bármily erős legyen is a hitünk abban, hogy a jelenségek szabályszerűségeknek, vagy a közönséges értelmű oksági törvénynek hódolnak, tény az, hogy megismerésünk minden részében bőven szerepelnek olyan tények is, amelyek szabályszerűségeket nem mutatnak és okaik is ismeretlenek.

A hullócsillagok, az üstökösök egyrésze, a Nova-típusú csillagjelenségek, a földrengések, a vulkánkitörések, a lavinák, az áradások, a villámok, a zivatarok valamennyien úgy jönnek létre, hogy megjelenésük, helye, ideje semmiféle általános szabályszerűségbe bele nem sorozható. Az időjárási jelenségek noha évezredek óta a legszélesebb körű tapasztalatnak és közérdeklődésnek, valamint évszázadok óta rendszeres megfigyeléseknek a tárgyai, mégsem mutatnak olyan szabályszerűségeket, amelyek alapján hosszabb időre biztosan megjósolhatók volnának.

Ama jelenségek között is, amelyeket az ok és a hatás tapasztalati kapcsolata alapján alkottunk meg, igen nagyszámban jönnek létre ilyen jelenségek. Az autó tengelye eltörik, lánca elszakad, a gőzgép kazánja felrobban, a lendítőkerék széttörik, a cső megreped, az elektromos vezetékben rövidzárlat támad, az izzólámpa fonala kiég, a vonat kisiklik, a fék elromlik. Az

események óriási sokasága olyan, hogy létrejöttüket előre megmondani nem tudjuk, noha utólag mindig, vagy legalább is legtöbbször közelítőleg meg tudjuk mondani az okot, amely azt előidézte.

Az ilyen események megjelölésére a *véletlen* szó szolgál, mert bekövetkezésüket nem véljük, nem gondoljuk, nem tudjuk. A véletlen eseményeket tehát az ismeretes oksági kapcsolatok, vagy szabályszerűségek alapján nem tudjuk előre megmondani. Ez nem jelenti azt, hogy nincs okuk, vagy hogy valamilyen szabályszerűségbe elvileg sem sorolhatók bele. Csupán csak azt jelenti, hogy nem tudjuk bekövetkezésüket előre kiszámítani. Sem az összes okok, sem az összes szabályszerűségek nincsenek lajstromozva és ha lajstromozva volnának is, nincs olyan elme a világon, amely azokat fejében tudná tartani és ha ezt is meg tudná tenni, belőlük következtetéseket vonni tudna. Nem tudjuk tehát megmondani, hogy adott esetben melyik ok mikor kezd működni, vagy melyik szabályszerűség nyilvánul meg. A fizika csak a főbb kiválasztott jelenségek okait szerkesztette meg és csak a kiválasztott események között ismert meg bizonyos szabályszerűségeket. De ezek is absztrakt ideális esetekre vonatkoznak, amelyek a valóságos tapasztalatban sohasem teljesednek pontosan. A véletlen uralma tehát nagy kiterjedésű, sőt azt mondhatjuk, hogy kisebb-nagyobb fokozatokban kiterjed az összes jelenségekre.

A véletlen szónak több fokozatú jelentése van. Legszélsőbb értelemben, mint absztrakt ideális határfogalom, csak olyan események jelölésére volna használható, amelyek semmiféle korlátnak, oknak vagy szabályszerűségnek sincsenek alávetve. Az ilyen természetű véletlenekkel nem tudna mit kezdeni a tudomány, tehát kizárja megfontolásainak sorozatából.

A véletlen második fokozata alá tartoznak az olyan események, amelyek meghatározott korlátoknak, okoknak, vagy szabályszerűségeknek vannak ugyan alávetve, de úgy, hogy mégis elegendő szabadságfokuk marad a különböző lehetőségek érvényesítésére. Az ilyen véletlenek szabályszerűségeivel a statisztika foglalkozik.

Ez a tudomány, nem is mint tudomány, hanem mint gyakorlat az emberi élet viszonyaira vonatkozó adatok gyüjtésével a 18. század közepe táján kezdődött. E korszak rendezett polgári társadalmában érdeket kezdett kelteni a kérdés, hogy az egyén élete miképpen olvad bele a nagy embertömegek átlagéletébe. A különféle biztosító intézeteknek szükségük volt átlagadatokra. Azok pedig csak megszámlálásokkal, tehát a tényleges tapasztalatok gyüjtésével és az átlagok kiszámításával voltak megszerezhetők.

Az emberi élettel kapcsolatos korlátolt véletlenek való-

ban bámulatos szabályszerűségeket tártak fel. Kevés számú embernél ilyen szabályszerűség nem mutatkozhatik. Az egyesek például meghalhatnak betegségben, végelgyengülésben vagy baleset következtében, tehát kevés számú embernek, pl. egy kis község lakosainak elhalálozásában törvényszerűségeket nem találunk. Ha azonban nagy számból álló embertömegek korát és elhalálozását vesszük tekintetbe, meghatározott törvényszerűségek mutatkoznak. A 41 éves emberek halálozásának arányszáma pl. 0·011. Egy kis község lakosaira vonatkozólag ez a szám nem jelent semmit, azonban 100,000 számú 41 éves emberre vonatkozólag igen csekély eltéréssel azt jelenti, hogy közülük 1,100 hal meg egy éven belül. Ez majdnem annyira kényszerítő erejű szabályszerűség, mint az, hogy a szabadon eső test az első másodpercben 5 m-t esik.

Annak felismerése, hogy a látszólagosan szabálytalanul bekövetkező véletlenek nagy száma meghatározott statisztikai szabályszerűségeket mutat, igen nagy ugrást jelentett az emberi szellem fejlődésében. Majdnem olyan nagyot, mint a kozmikus eredetű szabályszerűségeknek a felismerése. Egészen természetes fejlődési folyamat volt tehát az, amely az ilyen fajta szabályszerűségek kutatására külön tudományt, a valószínűségszámítást alakította ki.

A kollektívumok, vagyis a tömegjelenségek, a nagy számban előforduló, közelítőleg azonos dolgok, a megismétlődő vagy tetszésszerint megismételhető folyamatok és események tartoznak e tudomány körébe. Minden kollektívumon belül az újabb kollektívumok sokasága fedezhető fel. A lovak kollektívumában van a szürkék, a sárgák, a feketék, a tarkák, a pejek kollektívuma. A kockajáték kollektívumában van, az 1-gyel, 2-vel, 3...6-tal jelölt felsőlapok előfordulásának a kollektívuma. A különféle szerencsejátékok kollektívumában van a páros és páratlan, a fekete és a vörös, valamint a különféle számkombinációk kollektívuma.

Az egymásba kapcsolódó egyes kollektívumokat tehát bizonyos átlagtulajdonságok jellemzik és a valószínűség-számítás feladata belőlük új kollektív fogalmakat alkotni, egymással kapcsolatba hozni, egymásra visszavezetni. E célra a *valószínűség* fogalma alkotódott meg. Ez az egyik részkollektívum és az egész kollektívum előfordulási számainak a hányadosát (tehát pl. a 41-ik évükben meghalt és az összes emberek számának a hányadosát) jelenti.

A matematikai valószínűség tehát meghatározott fogalom, tulajdonképpen nincs benne semmi „kétesség", „ködösség", „valószínűség". Olyan meghatározott, mint a sinus, a differenciál-hányados, vagy az integrál. A matematikusok a fogalommal gyakorlati alkalmazásától eltekintve, absztrakt módon úgy dol-

gozhatnak, ahogyan a sinus-szal, a differenciál-hányadossal, és az integrállal dolgoznak. Különféle absztrakt matematikai tételeket, vonatkozásokat eszelhetnek ki és fejezhetnek ki vele.

Már most a fejlődés folyamán az történt, hogy az emberi szellem ezeket az újabb megismeréseit is igyekezett beleszerkeszteni a tőlünk függetlenül végbemenő kozmikus jelenségekbe. Ha a látszólagosan szabálytalanul bekövetkező véletlenek kollektívuma a közönséges gyakorlati életben meghatározott statisztikai szabályszerűségeket mutat, akkor talán ugyanígy van ez a szabálytalanul bekövetkező kozmikus jelenségek kollektívumában is. Ahogyan az őskori kezdetleges ember a maga működésének módját belenézte a körülötte lefolyó kozmikus jelenségekbe, ahogyan Newton az erőt beleszerkesztette az égitestek mozgásába, az elméleti fizika ugyanúgy a statisztikai szabályszerűséget is igyekezett beleszerkeszteni az anyag molekuláris-kinetikus felfogásába. A kvantumstatisztika azután kiterjesztette azt az elektromos, a vegyi és a sugárzási jelenségekre is. Ahogyan a newtoni és a relativisztikus mechanika a korabeli matematikának fizikai jelentéstől mentes absztrakt fogalmait felhasználta a fizikai szabályszerűségek kifejezésére, ugyanúgy az újabb elméleti fizika a valószínűség-számítás ugyancsak fizikai jelentést nélkülöző absztrakt fogalmaival fejezte ki mondanivalóját.

A közönséges élet gyakorlati statisztikája és a fizikai statisztika között azonban nagy különbség van. A gyakorlati élet statisztikája maga a tiszta tapasztalat, szabályszerűségeit tehát a tapasztalattal nem kell utólag igazolni, hanem csak az újabb megismerések alapján koronként ki kell korrigálni. Azonban a fizikai statisztika gondolati alkotás, amelyben a valószínűség-számításnak gondolati fogalmai össze vannak kapcsolva az atom, a molekula, az elektron, a proton, a foton, a részecske és a hullám ugyancsak gondolati fogalmaival. Ezek és a velük való műveletek gondolati segédeszközök, felállított tételei az emberi elmének szintetikus alkotásai. Érvényességüket tehát csak utólag, a tapasztalattal való összehasonlítás próbájának megállása után lehet igazolni. E célra a matematikai fogalmakhoz mérhető mennyiségeket kell hozzárendelni. Csakis ezekkel együtt és a tapasztalati beigazolódás sokszoros megismétlődése után lehet érvényességükről beszélni.

Az a statisztika, amelyet eddig tekintetbe vettünk, a második fajta véletlennel foglalkozik. A különböző szabadságfokok és az esetekben bekövetkező szabálytalan véletlenek onnét származnak, mert az okok csak korlátozzák, de nem határozzák meg teljesen az eseményt.

A gyakorlati életben és a fizikában azonban a véletlennek egy harmadik fokozata is szerepet játszik. Az események ugyanis, amelyekről azt hisszük, hogy meghatározott szabályszerűségek szerint folynak le, absztrakt ideális esetek, amilyenek a gyakorlati életben és a természetben elő nem fordulnak. A kutatásban ugyanis kénytelenek vagyunk a jelenségek kiválasztott fő ismertetőjeleire, az okok keresésében a fő működő okokra szorítkozni. A mellékes ismertető jeleket és a mellékes okokat el kell hanyagolnunk, ha a szabályszerűséget, vagy az okok működését pontosan meg akarjuk állapítani. Az összes ismertetőjeleknek és az összes működő okoknak tekintetbevétele emberi lehetetlenség.

A hajított testek mozgásakor pl. először csak a nehézségi erőt és a tétlenséget vesszük tekintetbe. Így jutunk arra, hogy a mozgótest pályájának valamilyen kúpszeletnek kell lennie. Ha most még azt is hozzátesszük, hogy a mozgás homogén nehézségi erőtérben folyik le, akkor a pálya parabola. Ha azután tekintetbe vesszük a levegő ellenállását és a surlódást, a parabola bonyolódott szerkezetű görbevonallá, az ú. n. ballisztikus görbévé alakul át. Ha most még a Föld forgásának és a lövedék tengelykörüli forgásának a hatását is tekintetbe vesszük, a ballisztikus görbe még bonyolódottabbá válik, síkon már nem, csak hengerfelületen ábrázolható. De még mindig nem vagyunk a tényleges kísérlet eseténél. A lövedék a levegőben szabályos hullámokat kelt, visszahatásuk következtében rezgő mozgást végez, aminek folyamányaképpen a lövedék minden pontja kisebb-nagyobb hullámvonalat ír le a megelőzőleg említett vonal mentén. Ha azt hisszük, hogy már elértük a megvalósított esetet, csalódunk, mert még nem vettük tekintetbe az egymás után következő lövések lőporadagjainak apró eltéréseit, a puskacső, vagy az ágyúcső helyében és irányában beálló apró változásokat, a meteorológiai tényezők hatásait, a talaj rengéseit és így tovább. Szóval még abban az esetben is, ha az ágyú vagy a puska mechanikai szerkezetbe van beállítva és a töltést, az irányítást, az elsütést is gépi szerkezet végzi, a lövések a véletlenül ható ismeretes és ismeretlen apró okokkal még mindig meg vannak terhelve. A kis okok véletlenjeitől való függés természetesen még nagyobb, ha ember végzi a puskával való műveleteket.

Az egymás után következő lövések tehát nem érik a céltáblát ugyanazon a helyen, a találatok szét vannak szórva. Ha azonban nagyon sok lövést adunk le, a találatok szóródása statisztikai szabályszerűséget mutat, amelyet más hasonló kollektívumokból előre ki lehet számítani és meg lehet állapítani, hogy hány találat esik a céltáblán lévő, egymást körülvevő, egyközepű körgyűrűk egyikébe és másikába.

A lövések semmi egyebek, mint fizikai kísérletek. A fizikusok minden kísérletnél olyan helyzetben vannak, mint a célba lövők. Fizikai tapasztalati ismereteink alapját képező fizikai állandók, amelyek vastag kötetes munkákban vannak összefoglalva, mind meg vannak terhelve a kis okok véletlenjével és valamennyi nem a teljesen pontos, hanem a statisztikaszerű szabályszerűségek uralma alá tartozik.

A fizikusok azonban az eredményekben előálló szóródást sajátságos módon a kísérletező hibájának tulajdonítják, holott nyilvánvaló, hogy a szóródás a soha teljesen számba nem vehető apró okok véletlenjétől függ, amelyek a legtökéletesebb észlelőnél is fellépnek. Minden fizikai törvényszerűség absztrakt ideális esetre vonatkozik, amely pontosan soha meg nem valósítható, csak kisebb-nagyobb mértékben megközelíthető.

A megjegyzés nemcsak a fizikai állandók meghatározására, hanem minden fizikai törvényszerűségre is vonatkozik. A matematikai alakú törvényszerűségek, amelyek a newtoni dinamika, a relativisztikus mechanika, a hullámmechanika elvei alapján szintetikus matematikai szerkesztéssel alkotódtak meg, igazi fizikai törvényszerűségekké csak akkor válnak, ha előbb átmennek a tapasztalati igazolások próbáján. Ez pedig csak nagyszámú kísérlet esetében vezethet megnyugtató eredményhez. A statisztikaszerű szabályszerűségek elve tehát erre az esetre is vonatkozik. A matematikai formula alapján való számítás és a tényleges fizikai mérés sohasem ad és nem is adhat egyező eredményt. A fizikusok sokszor már akkor is meg vannak elégedve, ha a megegyezés egyjegyű számra terjed ki. Az esetek szerint azonban kétjegyű, háromjegyű, négyjegyű megegyezések is adódnak. Minél régibb idő óta ismeretes valamely jelenség és minél nagyobb a gyakorlati alkalmazása, annál többjegyű a megegyezés.

### 9. *A determinizmus és az indeterminizmus.*

Az okság funkcionális felfogásának keletkezése a 19. század második felében a továbbfejlődésre semmi különösebb hatást nem tett. Ebben a korban az energia fogalma nyomúlt az előtérbe és a termodinamikának főtételei, valamint az elektrodinamikának alaptételei és gyakorlati alkalmazásaik a tudományos gondolkodást teljesen elfoglalták, amelybe az oksági törvény fizikai jelentésének firtatása sehogy sem illett volna bele.

Új helyzet a 19. század utolsó évtizedében állott elő, amikor a nagyszabású új és újszerű fizikai jelenségek megteremtődtek. Rövid ideig az új jelenségek tapasztalati leírásához

szükséges rögtönzött, átmeneti és ideiglenes okfogalmak megalkotása vette igénybe a fizikusok figyelmét. De csakhamar az elméletezők is munkába léptek. A Bohr-féle kvantum-ugrás rejtelmes fogalmának megteremtésével a fizikusok egyszerre szemben találták magukat mindazokkal a kérdésekkel, amelyekkel a filozófusok a determinizmus és az indeterminizmus fogalompárjának címén évszázadokon át foglalkoztak. A forró vérű és gazdag képzeletű kutatókban felfakadt a nagy remény: a fizika fogja eldönteni, hogy a természetben a determinizmus, vagy pedig az indeterminizmus uralkodik-e?

A sajátságos az, hogy az oksági törvénynek a determinizmus szellemében való megfogalmazását elsősorban azok szorgalmazták, akik az indeterminizmus híveinek vallották magukat és fizikai jelentését is úgy igyekeztek megállapítani, hogy a régi és az új fizikai felfogás nagy ellentéte minél jobban kitűnjék, tehát a régi fizikát a determinizmus, az új fizikát pedig az indeterminizmus fellegvárává akarták megtenni. Eddington azt írta, hogy 10 év előtt még minden fizikus a determinizmus híve volt, de ma már senki sem az, mert a determinizmus véglegesen ki van küszöbölve a fizikából [*34*, 72]. Nagyon lesujtó vélemény volna a fizikára, ha csakugyan igaz volna, hogy a természettudományoknak ez a legfőbbike tíz év alatt képes az egyik álláspontról éppen az ellenkező álláspontra áthelyezkedni. Szerencsére a vélemény nem helytálló, mert a fizika hosszú évszázadokon át egyáltalában nem foglalkozott ezzel a kérdéssel.

De most egyszerre csak sűrűn kezdték emlegetni Laplace „démon"-ját, mint a fizika determinizmusának legjellegzetesebb kifejezőjét és magát Laplace-t, mint a determinizmus tulajdonképpeni kodifikátorát. A sajátságos azonban az, hogy Laplace a valószínűség-számításról szóló művében említi a róla elnevezett „démon"-t *[74]*. Azt akarta ugyanis szabatosan megfogalmazni, mit jelent e kifejezés: „a világ teljes ismerete". Azt mondja, hogy ennek meghatározására oly magasabbrendű értelmiséget kell képzelni, amely ismeri a világ minden egyes darabját, valamint a működő erőket és törvényeiket. Az ilyen értelmiség a világ állapotának egy pillanatra vonatkozó ismeretével nemcsak a jelent, hanem a multat és a jövőt is ismerné, mert a jelen állapot ismeretéből a működő erők és törvényeik ismerete alapján a jövőt és a multat egyformán jól ki tudná számítani, vagyis ismerné. Erre a magasabb értelmiségre való hivatkozás tehát azt jelenti, hogy az értelem számára a jelen állapot tökéletes ismerete magában foglalja multjának és jövőjének teljes ismeretét is. Ebből viszont az a következés folyt, hogy az értelem számára a világ folyása csak teljesen determinált lehet.

Úgy tűnik ugyan fel, mintha a determináltságnak ez a felfogása Newton mozgási egyenleteinek minden határon túl vitt extrapolációjából származott volna, azonban nyilvánvaló, hogy Laplace magasabbrendű értelmiségének vagy démonjának eszméje csak halvány utánzata a mindenttudó Isten fogalmának, amely a köztudatban már évezredekkel előbb teremtődött meg. Azok azonban, akik a determinizmus igazi jelentését akarták megállapítani, magukat a vallásos hit miszticizmusából ki akarták szakítani és azért alkották meg a világ tökéletes ismerete számára ezt a látszólagosan tudományos meghatározást. A legszélsőségesebb determináltság ezek alapján azt jelentené, amit a biblia szavaival legrövidebben így lehet kifejezni: a teremtés első reggelén a világ minden fajta történéseinek lefolyása előre meg lett határozva.

Sok próbálkozás történt az oksági törvény fizikai jelentésének a determinizmus szellemében való megfogalmazására. Néhány ilyen meghatározás itt következik. Az oksági törvény jelenti: „két jelenség törvényes összekapcsolását" [*102*, 234] „az események időbeli lefolyásának törvényszerűségét", „az egymásra következés változatlanságát" [*46*, 787], „a szabályszerű egymásutánság megjelölését" [*125*, 368]. „Valamely rendszernek bizonyos állapotát változatlanul követi ugyanannak a rendszernek egy másik állapota" [*23*, 83]. „Minden reális rendszer valamely állapotához tartozik egy természettörvény, mely annak minden következő állapotát egyértelműen meghatározza" [*8*, 322]. „Ha a zárt rendszer állapota bizonyos pillanatban ismeretes, akkor a természettörvények annak állapotát minden későbbi időpillanat számára meghatározzák" [*10*]. „Ha egy izolált rendszeren a kezdő feltételekből kiindulva azonos kísérleteket végzünk határtalanul, a rendszer az események ugyanazon sorozatán megy végig" [*14*, 82]. „Ha a világtól tökéletesen elzárt rendszert bizonyos pillanatban a tökéletesen meghatározott $A$ állapotba hozzuk, akkor bizonyos $t$ idő mulva egy másik tökéletesen meghatározott $B$ állapotba megy át. Ha most az $A$ állapotot mesterségesen újból helyreállítjuk, illetőleg sok ilyen tökéletesen egyenlő $A$ állapotot állítunk elő, akkor valamennyi újból a $B$ állapotba megy át" [*49*, 179].

E definíciókban a súlyos szavaknak sokasága szerepel. Mindegyiknek jelentését a tapasztalatok alapján belsőleg át kellene értenünk, vagy pedig jelentésüket újabb definícióval ilyen értelmekre vissza kellene vezetnünk, ha az okság fenti determinisztikus definícióinak határozott fizikai jelentést akarunk adni. Mert mit jelent fizikai szempontból az „összekapcsolás" vagy az „összefüggés"? Ezeket nem lehet szószerint érteni, mert ezek a beszéd nélkülözhetetlen metaforikus kifejezései. Mit jelent az „egymásrakövetkezés" időben asszimmetrikus

módon való egyirányú előrehaladása? E kifejezés sem egyéb, mint metafora. Mit jelent a „zárt", a „teljesen izolált rendszer"? Ez határfogalom, de olyan, amelyhez határozott jelentés nem fűződik. Mit jelent az „állapot" és a „természettörvény"? Ezek összefoglaló keretfogalmak, amelyeknek szintén nincs határozott jelentésük. Hogyan kell az állapotot meghatározni és hogyan az azonosságot megállapítani, arról a definíciókban szó sincs.

A rendszer szót az egész mindenségre és annak egy elhatárolt részére is használjuk. Azonban elméleteink szerint nemcsak a mindenség, hanem annak bármilyen csekély része bonyolódott szerkezetű, tehát egyes pontjainak helyét, sebességét nemcsak gyakorlatilag, de elvileg sem tudjuk megmérni. A világ egy részét a többi résznek hatásától nem tudjuk elzárni és pedig szintén nemcsak gyakorlatilag, hanem elvileg sem, mert a megfigyeléshez és a méréshez kívülről reáható folyamatokat, mechanikai segédeszközöket, nyomásokat, elektromos és mágneses tereket, fényt, röntgensugarakat kell igénybe vennünk. Tehát, ha tudnók is, mit jelent az azonosság szó, akkor sem tudnók a zárt rendszer azonossági állapotát megállapítani. Ha viszont az azonosság fogalmát néhány főbb fizikai tényező egyenlőségére szorítanók, akkor nem beszélhetnénk a teljes azonosságról. És ha a világban működő összes erőket és összes természettörvényeket ismernők, akkor sem tudnók azt, hogy összeségükben hogyan tevődnek össze. Az állapotok azonosságát tehát sohasem tudjuk fizikailag megállapítani. E nélkül pedig az oksági törvénynek nincs fizikai értelme.

De még nagyobb nehézségek is vannak. A természettörvények matematikai szimbolumokkal vannak kifejezve, amelyeket a tapasztalattal csak úgy lehet vontkozásba hozni, ha hozzárendelési definícióval megállapítjuk, hogy a szimbolumokhoz mely mérhető mennyiségek tartoznak. Ez pedig sohasem történhetik önkényesség nélkül. És ha mindezeket a nehézségeket tekinteten kívül is hagyjuk, akkor meg legyőzhetetlen matematikai nehézségekbe ütközünk. Newton oksági törvénye pl. már három vonzó tömeg esetében megoldhatatlan matematikai feladatot jelent.

A pozitivizmus szelleme szerint gondolkodó elméleti fizikusok fáradhatatlanok voltak abban, hogy a determinisztikus oksági törvénynek hiányait megállapítsák *[47]*. Vizsgálataik szerint ez a törvény a fizikai jelentés szempontjából ítélve vagy határozatlan, vagy pedig üres, semmitmondó tautológia, amely a meghatározandót magával a meghatározandóval fejezi ki.

Az eredmény nem is lehetett más. A 20. század elméleti fizikusai nem azért foglalkoztak a kérdéssel, hogy a determinisztikus okságnak valamilyen használható alakját megteremt-

sék, hanem azért, hogy a klasszikus fizika tudományos felfogásának az oksági törvénybe való összesűrűsítésével kimutassák az új fizikai felfogással szemben való ellentétét. Ez az oksági törvény azoknak az alkotása, akik az indeterminisztikus felfogásnak voltak a hívei.

Gondolkodásunknak csodálatos sajátsága az, hogy benne valamely jól megválasztott szó hatalmas gondolati hullámok középpontjává szokott válni. Ilyen szó volt Laplace magasabbrendű értelmiségének „mindentudása", amely a determinizmust jellemző gondolatokat foglalta össze. Ilyen szó Bohr „kvantumugrása" is. A mindentudás helyett a „nemtudás"-t sűríti össze magában. Bizonyos folyamatokat a véletlenre bíz, szabadságfokokkal, választási lehetőségekkel lát el és így az indeterminizmus képviselőjévé teszi meg. Bohr a Balmer-képletből ismeretes tapasztalati összefüggéseket a rejtelmes *h* révén beleépítette az atom szerkezetébe, a fény keletkezésének és eltűnésének okát pedig az elektron *h* fokozatú kvantumugrásaiba helyezte. Az elektronnak tehát ugrási szabadság-fokokat adott. De ez a lehetőség csak „deus ex machina"-ként működik, mert vele kezdettől fogva lemondunk az ugrás mibenlétének ismeretéről. A nyert matematikai összefüggések pedig egyszerűen azért egyeznek a tapasztalattal, mert ez a Balmer-féle képlet alapján oda előzetesen be lett építve.

A kvantumugrás rejtelmes fogalma elegendő volt ahhoz, hogy belőle világszéles következtetések vonassanak le. A kialakult indeterminisztikus fizikai világkép a közvetlen tapasztalatból ismeretes folyamatok hátterébe mindenütt a kvantumugrásokhoz hasonló folyamatokat képzelt bele és azt a feltevést hozta magával, hogy ezekről nem is kell mást tudnunk, csak azt, hogy *h* nagyságú fokozatok szerint mennek végbe, mert ez elegendő ahhoz, hogy vele, a matematikának a valószínűségre vonatkozó tételei alapján a tapasztalati szabályszerűségeket megmagyarázhassuk.

Később aztán kitűnt, hogy ilyen egyszerűen még sem megy a dolog. Heisenberg a kvantumugráshoz fűződő képzetek alapján kezdettől fogva abban a felfogásban volt, hogy a részecskék helye és sebessége nem olyan mennyiségek, amelyeket meg lehetne figyelni, mert a kutatás eszközei és megfigyelő módszerei maguk teszik ezt lehetetlenné. Minden megfigyelés eszközökkel történik, megvilágítást követel és a természet folyamataiba való belenyúlással jár. Ezek pedig megzavarják azt az állapotot, amelynek fizikai meghatározó adatait a megfigyeléssel meg akarjuk határozni. Heisenberg az indeterminizmus gondolatának pontosabb megfogalmazása céljából a bi-

zonytalansági reláció matematikai formuláját állította fel. Benne a részecske helyét és sebességét jelölő matematikai mennyiségek sajátságos matematikai kifejezés alakjában jutnak kapcsolatba a rejtélyes *h*-val és azt hozzák magukkal, hogy a két mennyiség egyidejűleg nem határozható meg teljes pontossággal. Meg kell elégednünk vagy a részecske helyének vagy a sebességének pontos, vagy pedig mindkettőnek elmosódott értékeivel.

A bizonytalansági elv egyébként — noha a kvantummechanikában ma is érvényes elvként szerepel — sokszor igen éles kritikában részesült. Ellene mindenek előtt az hozatott fel, hogy nyitott kaput dönget. Még a közvetlen tapasztalat alá eső individuumok helyét és sebességét sem lehet egyidejűleg meghatározni, ha elegendő nagy sebességgel mozognak. A ballisztikával foglalkozó tudósok pl. tudják, hogy a lövedék helyét és sebességét nagyszámú készülék adataiból csak utólagosan és pedig csak különféle képletek alapján lehet kiszámítani. Azokat közvetlenül lemérni lehetetlenség. Hogyan lehet tehát akkor a mikrokozmikus egységek helyének és sebességének közvetlen megméréséről beszélni, amikor azoknak sok ezerszerte nagyobb sebességgel kell mozogniok? [*26*, 382]

A bizonytalansági elv szerint a megfigyelés megzavarja a megfigyelendő folyamatot, és hogyha a megfigyelést ugyanazon feltételek mellett megismételjük, nem kaphatjuk ugyanazt az eredményt. Ez azonban semmi egyéb, mint szavak felett való vitatkozás, mert, ha a megfigyelés megzavarja a folyamatot, az annyit jelent, hogy a megfigyelést nem ugyanazon feltételek mellett ismételjük meg. A következtetésnek tehát semmi értelme sincs. „Gogolnál van egy alak, aki nagyon sokat gondolkodik a felett, mi volna az elefánt-tojások színe, ha az elefántok tojásokat tojnának. Ez az ember nem tudta azt, hogy ő a kvantummechanikában úttörő volt", írja Dingle [*24*, 305].

Nyilvánvaló továbbá, hogy itt gondolati dolgok megfigyeléséről van szó. Ez azonban ellentmondás és értelmetlenség. A bizonytalansági elvnek tehát az elnevezése is szerencsétlen [*46*].

Dingler kritikája ugyanebben a gondolatkörben mozog. „Heisenberg áldozata a mai teoreticizmusnak és matematicizmusnak, nem a valóságban, hanem a gondolati képek körében mozog". „Következtetéseinek alapja a Bohr-féle atomminta, de ez a fantázia-képek birodalmába tartozik, nem pedig a valóságos fizikába. Amit hirdet, az a metafizikus fantáziájának a szüleménye." „A biológiában jogunk van az embert elektronokból és protonokból összetettnek tekinteni, de nincs jogunk eh-

hez, amikor az emberi tudomány alapjairól van szó. A tapasztaló, a gondolkodó ember mint egész működik és nem lehet azonos az elmélet elektronjainak és protonjainak összegével. Azzal, hogy a gondolkodó ember ahhoz a felfogáshoz jutott, hogy a természet tárgyait elektronokból és protonokból állóknak kell tekinteni, maga a gondolkodó ember nem válik ilyenné. A közvetlen tapasztalat nincs elektronokhoz és protonokhoz kötve. Egyáltalában nincs semmihez kötve, mert a gondolat és az elmélet előtt van." „Ha egy kutató azt állítja, hogy a megfigyelés a folyamatot magzavarja, akkor nem a természet, hanem az a matematikai szkéma van megzavarva, amelyet a kutató magának előre kigondolt." [*26*, 382—387].

Némileg megváltozott a helyzet, amikor a részecske olyan matematikai képviseletet nyert, amely a helyet és a sebességet önmagában foglalta össze, tehát valamivé vált, ami kis térrészecske is és a mindenségben szétterjedő hullám is és amikor a hullám valószínűségi hullámmá, vagyis a részecske megjelenésének valószínűségét szabályozó matematikai formává alakul át. A rejtelmes *h*, a bizonytalanságnak tulajdonképpeni hordozója azonban ezekbe a formákba is belejutott. Az alapfelfogás szerint azokat a mennyiségeket, amelyek a részecske kezdő állapotát jellemzik, nem lehet pontosan meghatározni, tehát ezen az alapon a végállapotra vonatkozó számítások sem lehetnek pontosak. A kvantummechanika kezdettől fogva lemondott a pontos természeti törvényszerűségek megismerésének lehetőségéről és megelégszik a valószínűségi számítás tételei alapján szintetikusan megalkotott statisztikai törvényszerűségekkel.

Külön kell hangsúlyozni, hogy ezek a statisztikai törvényszerűségek eredetük szerint gondolati alkotások, a kollektívumot alkotó hipotetikus formulák által, tehát gondolat által megállapított vonatkozások. Belőlük csak bizonyos kidolgozás után és a hozzárendelési szabályok révén alakíthatók ki azok a mennyiségek, amelyeket fizikailag észlelni lehet. Tehát érvényességük megállapításában újabb, most már a tapasztalathoz vezető statisztikai törvényszerűségeknek az uralma alá kerülnek. Az új fizikának fogalmai tehát kétszeresen statisztikaszerűek. Először, mint gondolati mennyiségek, másodszor pedig, mint fizikailag észlelhető mennyiségek.

Régebben az volt a felfogás, hogy a gondolati valószínűségek szükségszerűleg érvényesek a tapasztalatra is. Még a széles látókörű Poincaré is ezt a felfogást képviselte. „Azt kívánja Ön, jósoljam meg a jelenségeket? Ha szerencsétlenségemre ismerném e tüneményeket törvényeit, nem tudnék Önnek feleletet adni. De minthogy abban a helyzetben vagyok, hogy nem isme-

rem e törvényeket, rögtön tudok Önnek feleletet adni" [*100*, 66]. Ez képtelen állítás, mert az olyan jelenség, amelyet a korlátlan véletlen uralma alá tartozónak vélünk, tudományosan nem tárgyalható. Poincaré tulajdonképpen csak azt akarta kifejezni, hogy a valószínűségi számításban az elemek minden permutációja egyforma jogú és hogy e felfogás alapján meghatározott jelentésű tételeket lehet szerkeszteni. Az azonban, hogy a kollektívumok elemeit milyen komplexiókba csoportosítjuk, értelmi ítéletünktől függ és így önkényes megállapítás. Nincs semmiféle más bizonyosságunk az ilyen megállapításnak érvényességére vonatkozólag, mint az utólagos statisztikaszerű tapasztalási igazolás. A permutációk egyenjogúsága oly hipotézis, amely utólagos tapasztalati igazolásra szorul.

Ebből a szempontból a tudományban hírnévre tett szert a tűzhelyre tett víznek a problémája. Azon az alapon, hogy minden permutáció egyforma joggal bír, az a képtelen állítás keletkezett, hogy a tűzhelyre tett víz meg is fagyhat, mert lehetséges a molekulák sebességének olyan kombinációja is, amelyben minden molekula alacsony energiával bír, csupán csak roppant kicsiny annak a valószínűsége, hogy ilyen kombináció megvalósul.

Eddington foglalkozik e következtetéssel és hosszasan tárgyalja, hogyan kell a természetről való felfogásunkat módosítanunk, hogy ezt a lehetőséget is megérthessük ]*34*, 64[. Tovább is megy és abban a felfogásban van, hogy a világ a hőelmélet második főtétele szerinti tökéletesen rendezetlen állapotából a puszta véletlen folytán az atomok elrendeződéséből megint a mai állapot állhat elő. Ezzel önmagával is ellentétbe jut, mert egyrészt azt mondja, hogy a valószínűtlen nem fog megtörténni, másrészt pedig azt állítja, hogy a valószínűségi szabályok folytán az egyszer már létezett megint előállhat. Mindezek a gondolatok abból a hamis és félrevezető felfogásból fakadnak, amely a természet folyamatait a kártyakeverés szerint gondolja lefolyóknak.

A tűzhelyre helyezett víz még sohasem fagyott meg. A tapasztalat ezt a következtetést sohasem igazolta. A gondolat alapján megszerkesztett valószínűségeket a tényleges viszonyok leírása számára el nem fogadhatjuk. Igaza van Dingle-nek [*24*, 308], semmi értelme sincs annak a hitnek, hogy billió, meg billió évek mulva egyszer csak mégis megvalósul az eset, hogy a tűzhelyre tett víz megfagy. A gondolatilag kikombinált valószínűségi törvény csak úgy fogadható el, ha a sokszoros tapasztalat utólag igazolja.

A régi klasszikus fizika és az új kvantumfizika alapgondolata közös, mindkettő a világot elemekből álló rendszer-

nek tekinti, amelyekben az elemek elrendeződése állapítja meg a világ állapotát. E szavaknak értelmére egyik sem ád pontosabb meghatározást. A klasszikus fizika — minthogy a folytonosság elve alapján áll, — az elemek számát végtelen nagynak tekinti, az új fizika — minthogy a szakadásosság elve szerint van megalkotva, — az elemek számát végesnek látja. Sőt merész számolók ki is számították, hány elektron, proton van a világban. E számoknak azonban semmi jelentőségük nincs, mert az elemeket az új fizikában épp oly kevéssé tudjuk egymástól megkülönböztetni, mint a régiben. A megszámlálásnak csak olyan dolgoknál van értelme, amelyek egymástól megkülönböztethetők.

Mindkét fizikában a történés az elemek elrendezésében előálló változás. A régi fizika e változások értelmezésére erőket és erőtörvényeket, az új fizika valószínűségi és statisztikai törvényeket épít bele a világra vonatkozó fogalmi rendszerébe. A megismerés szempontjából a két eljárás között lényeges különbség nincs, mert az erők és erőtörvények és a valószínűségi törvények is gondolati alkotások. Mindkettő matematikai formulákkal van kifejezve. A klasszikus fizika matematikai szerelvénye differenciálokból, differenciálhányadosokból, differenciálegyenletekből és integrálokból, az új fizikáé differenciákból, differenciahányadosokból, matrixegyenletekből és véges összegezésekből szövődött eleinte össze, de lassanként a hullámmechanika és Dirac elmélete révén megtalálta az átmenetet a folytonos természetszemlélet matematikai formalizmusa felé. Mégis talán éppen ebben van a két fizika legfőbb különbsége. A kvantumfizika más matematikai szimbolumokkal és szabályokkal dolgozik, mint a klasszikus fizika. Ez utóbbi oly egyenletek alapján számol, amelyek látszólag módot adnak a jövő állapotnak a kiszámítására, ha a jelen állapotot ismerjük. Ezért, és csak ezért tett szert a determinisztikus jelzőre. A kvantumfizika előre lemond az ilyen alakú egyenletekkel való számolásról, ezért, és csakis ezért származott az a felfogás, hogy ez a fizika az indeterminizmus alapján áll. Bővebb analízis azonban azt mutatja, hogy a klasszikus fogalmaknak determinisztikus volta nemcsak gyakorlatilag, hanem elvileg is csak látszat. Viszont a kvantumfizika indeterminizmusa is csak látszat. Csupán csak azt akarja kifejezni, hogy bizonyos önkényességgel megállapított gondolati fogalmai nem illenek bele a klasszikus fizika fogalmi rendszerébe, amelyek ugyancsak önkényesen és gondolatilag lettek megállapítva. Egyébként pedig mindkét fizikának végső megállapításai reászorulnak a tapasztalat által való igazolásra. A természetről való ismereteink mindkét esetben determinisztikusak, mert bizonyos, az értelem által előre megalkotott egyenletekben vannak kifejezve; de indeterminisz-

tikusak is, mert ezek az egyenletek a tapasztalat által való újabb és újabb igazolásra folytonosan reászorulnak. Hogy maga a természet determinisztikus, vagy indeterminisztikus-e, oly kérdés, amelyre a fizika feleletet nem tud adni, és őszintén csodálkozni kell a frázisok sokaságán, amelyekkel némelyek a természetre a determinizmust, vagy az indeterminizmust reá akarják disputálni.

10. *Az okszerűség, a törvényszerűség és a tapasztalat.*

A gyakorlati életben, cselekvéseinkben, gondolkodásunkban, tudományos megállapításainkban az okságnak számos vállfajával találkozunk, amelyek bizonyos közös ismertetőjeleket mutatnak ugyan, de mégis lényegesen különböznek egymástól. Az Én testi műveletei és a létrejövő változások közötti kapcsolatok, a hatóképességnek a természet tárgyaiba való belenézése, a nyelvnek az alany és az állítmány szerint kialakuló szerkezete, a cselekvésnek az ok és a hatás kapcsolata alapján való végbemenetele, az erőknek, a tulajdonságoknak és a hipotetikus individuumoknak és folyamatoknak az eseményekbe való beleszerkesztése, a gyakorlati és a kísérleti fizika tantételeinek megfogalmazása, az okságnak a törvényszerűségekkel való névleges identitása, a mindenség részeinek egymással való funkcionális összekapcsolása, a jövőnek a multtól való függővé tétele, a kollektívumok törvényszerűségeinek megállapítása, a valószínűségnek, mint kapcsolatokat létesítő elvnek a természeti folyamatokba való beleszerkesztése: mindezek az oksági törvénynek különféle megjelenési formái, amelyeknek értelme többé-kevésbbé nyiltan áll előttünk. Azonban az egyetlen, egyetemes, egységes és egyértelmű oksági törvény, amely fizikai tapasztalatainkra és a belőlük származó tudományos megállapításokra általánosan alkalmazható lenne, ismeretlen előttünk. Nem is valószínű, hogy valaha is megalkotható legyen, mert a fejlődés az okság folytonos hátraszorításának irányában halad. Valamikor a tudomány végcélja és a gondolkodás elengedhetetlen szükségessége volt, azonban a fizikai megismerés előrehaladásával folyton korlátozottabb és ritkább lett a használata. Végcél helyett a tudományos törvényszerűségek megállapításainak különféle alakú segédeszközeivé vált.

Amilyen vázlatos formában jelentkezett, éppannyira változatos az ismeretelméleti minősítése is. Nevezték elvnek, törvénynek, axiómának, posztulátumnak, alaphipotézisnek, az elme a priori veleszületett sajátságának, alapkategóriának, a gondolkodás formájának, a tapasztalhatóság feltételének, szintetikus ítéletnek, metafizikai alaptételnek, egyszerű indukció eredményének, képzetek asszociációjának, beszédmódnak, meg-

szokásnak, önkényes konvenciónak, a történés egyértelmű meghatározottságának, a szintaxis alapelemének, jóslási feltételnek, heurisztikus kutató elvnek, kutató módszernek és így tovább. Mindezek a minősítések igazi megismerést nem adnak. Puszta frázisok a következő megállapítások is: az okság szükségszerű vagy nem szükségszerű, logikailag bizonyítható vagy nem bizonyítható, a természetben uralkodik, de számunkra nem nyilatkozik meg, mindenütt érvényes, de nem alkalmazható mindenütt, legtöbbször igaz, de nem mindíg, reális jelentésű, de transzcendens értelme is van.

Ha a fizika fejlődési menetét végig gondoljuk, arra az eredményre jutunk, hogy az okságnak különféle alakzatai a fizikai megismerésnek jó szolgálatot tettek. Fizikai tudásunk legnagyobb részét az ember által a természetbe beleteremtett dolgoknak sokasága alkotja. Mi, emberek a természetnek fontos alkotó és ható részei vagyunk. A természetet nem figyeljük tétlenül, hanem magunkat abba, mint alkotó és alakító tényezőt állítjuk bele. Mi hatók vagyunk és mint hatók dolgozunk és gondolkozunk. Maga az élet, vagy Bergson „élan vital"-ja kényszerített erre. Mi nem a tétlen tudásra, hanem az alkotó tudásra törekszünk. Minden cselekedetünk célzatos jellegű, mely meghatározott irányban nyom, hajt. Emberi természetünknek ezt a legfőbb létformáját öntöttük bele az okság fogalmába és azt különféle módokon bele is néztük a természetbe. Tudásunkkal elsősorban a jövő tekintetében akarunk tájékozódni, tehát természetmegismerésünk törvényszerűségeit is e szerint alakítjuk ki. Az okság tehát az alkotásokra törekvő emberi életnek a megnyilatkozása. Értelme csak az ilyen lények számára van. Sokféle formája bizonyára onnét származott, hogy a saját életünknek különféle módon felfogott létformáit erőszakoltuk rá a tőlünk független természetre.

Törvényszerűségeket azonban nemcsak az okság segítségével, hanem a tapasztalatokból közvetlenül is lehet nyerni. De akár így, akár úgy jutunk a törvényszerűségekhez, kifejezhetőségüket az absztrakt fogalmak teszik lehetővé. Az okság mellett tehát emberi természetünket egy másik, vele egyenlő rangú, őseredeti és másra vissza nem vezethető létforma jellemzi, az, amely bennünk az ideális absztrakt fogalmakat kifejleszti. Pont, egyenes, kör, tér, idő, egyenlő, hasonló, állandó, változó, egész, rész, és a hozzájuk hasonló ideális absztrakt fogalmak nélkül a törvényszerűségeket ki sem tudnók fejezni. Legfőbb képviselőik a matematikai fogalmak. Ezek nem a külvilágnak, hanem a szellemünknek a fogalmai, mert ez alkotja őket a saját szuverén hatalma szerint. Már maguk az egész számok is ilyenek. Amikor valamit megszámlálunk, nem az előttünk lévő tapasztalható valóságot, hanem a belőlük lelkünkben kialakult ideális absztrakt határfogalmakat vesszük tekintetbe.

Így van ez a magasabb rendű matematikai fogalmakkal is, valamennyi az emberi szellemnek saját szuverén alkotása. Amikor velük valamilyen tételt fejezünk ki, nem a tapasztalati valóságok, hanem szellemünk ideális absztrakt fogalmai közt mondunk ki valamilyen összefüggést. Az oksági törvény különféle alakulatainak segítségével nyert összefüggések a szintetikus matematikai szerkesztő és kombináló képességnek az alkotásai, tehát nem tapasztalható mennyiségek, hanem matematikai szimbólumok közötti összefüggést állapítanak meg. Csak akkor válik belőlük a tapasztalatra alkalmazható összefüggés, ha minden egyes szimbólumhoz megfelelő észlelhető mennyiséget rendelünk hozzá. De nincs olyan törvény, amely előírná, hogy az egyes szimbolumokhoz milyen észlelhető mennyiséget kell szükségszerűleg hozzárendelni. A hozzárendelési definíciókat bizonyos önkényességgel maga a tudós választja.

Egy-egy ilyen matematikai összefüggés — legyen az akár a klasszikus fizikáé, akár a kvantum fizikáé —, önmagában csak absztrakt ideális összefüggést jelent. A megfigyelhető valóságok részére csak akkor mond valamit, ha a szimbolumokhoz a megfelelő értelmezést hozzácsatoljuk. Minden jóslásunk és számításunk alapja csak gondolat.

Minthogy matematikai alakú természettörvényeink absztrakt ideális fogalmak vagy matematikai szimbolumok közt adnak összefüggést, azért azok a tapasztalható, észlelhető, mérhető valóságot soha sem fejezhetik ki tökéletesen. Minden természettörvényünk a homályosság bizonyos zónájával van körülvéve. Nem azért, mert a bizonytalansági elv érvényes, vagy mert a természetre vonatkozó megismerésünk nem determinált, hanem azért, mert valami összefüggést csak ideális absztrakt fogalmakkal vagy matematikai szimbolumokkal lehet kifejezni. Nemcsak a magasabbrendű fogalmaknál, hanem a megszokott közönséges fogalmaknál is így van ez. A legegyszerűbb megállapításaink is a pont és az egyenes használatbavételét igénylik. A tapasztalható valóságban azonban nincsenek pontok és nincsenek egyenesek, hanem dolgok vannak, amelyeket csak kisebb-nagyobb közelítéssel lehet pontoknak vagy egyeneseknek tekinteni. Mi hiába mondjuk ki, hogy ennek vagy annak a folyamatnak végeredménye pl. egy gramm víz, amikor az az egy gramm víz is ideális absztrakt fogalom, amelyet teljes pontossággal előállítani lehetetlenség. És ha valamely pillanatban valóban sikerült volna pontosan egy gramm vizet előállítani, bizonyos, hogy a következő pillanatban már nem lenne ugyanannyi, mert folyton párolog, az edény anyagát oldja, a levegőt abszorbeálja. Még sokszorta bizonytalanabbak ismereteink olyan esetekben, amikor a víznél mozgékonyabb, hatékonyabb és megfoghatatlanabb gondolati dolgokról van szó, amilyenek pl. az elektronok vagy a protonok.

# XIV. AZ ENERGIA ÉS AZ ENTRÓPIA.

A tér, az idő, az erő és az anyag mellett az energia a legelterjedtebb és a legtöbbet használt fizikai fogalom. Azt szoktuk mondani, hogy mai kultúránk és civilizációnk azokon a folyamatokon alapszik, amelyekkel a természet energiái az ember számára hasznossá válnak. A fogalom a köznapi életbe is behatolt. Az egyszerű ember is energiát vásárol, egységei a hektowattóra és a kalória, valamint az effektus egységei, a lóerő, a watt, a hektowatt, a kilowatt olyan ismert fogalmakká váltak, amilyen a méter és a kilogramm.

Nemzetgazdasági jelentősége is igen nagy. A természet nyujtotta energiák kiaknázásával hatalmas vállalatok foglalkoznak és bármilyen gyár alapításánál a legfontosabb kérdés: honnan és milyen áron kapható a szükséges energia? A műszaki tudományokban a gépszerkesztés egyik legfontosabb szabálya e fogalomhoz kapcsolódik.

A fizikában, a kémiában, a csillagászattanban, sőt kisebb mértékben a többi természettudományokban is a megismerés hatalmas forrásává és hajtóerejévé vált. Általa ismertük meg a termodinamikának, az elektrodinamikának és a vegytannak fontos tételeit, újfajta gépek, új vegyi anyagok előállításához is alapot adott és ezek új kísérletek kieszeléséhez, új jelenségek létrehozásához, új elméleti fogalmak kialakulásához vezettek.

Az elméleteket is átalakította. A mechanikai folyamatokat a többi folyamatokra átvitte és az egész fizikát mozgástanná változtatta. Megteremtette a kinetikus anyagelméletet, a hőelméletet, az iónelméletet, az atomelméletet és a kvantumfizika új fogalmait. Új jelenségek és vonatkozások keresésénél mint vezérfonal, új elméletek igazolásánál pedig mint próbakő szerepel. Sok elmélet azon bukott el, hogy az energia elvével ellenkező következményekhez vezetett.

## 1. *Az energia fogalmának kialakulása.*

Ezt a fogalmat az emberi szellem fejlődésének valamilyen a mélybe rejtett folyamata vetette a felszínre, amely az embert először arra kényszerítette, hogy magának, testi műveleteinek könnyebb végezhetésére eszközöket készítsen. Ugyanaz később

arra indította, hogy állatokat szelídítsen meg, amelyek munkájában segítségére legyenek. Később bizonyos természeti folyamatok igénybevételére vette rá, amilyeneket a szelek és a folyóvizek nyujtanak.

Ugyanez a rejtett fejlődési folyamat a gőzgép megalkotásához is elvezetett. Az nem volt tisztán a véletlennek a műve, hogy Papin e gép elvét a 17. század utolsó évtizedében találta fel és hogy az a 18. század folyamán Watt ügyes kezei között használható és jól dolgozó szerkezetté alakult ki. Ennek így kellett megtörténnie. A 18. században a Föld részei már fel voltak fedezve. Gazdag, termékeny, ritkán lakott, óriási területek jutottak az európai nemzetek birtokába. Ezeket benépesíteni és civilizálni kellett. A vitorláshajókkal való bizonytalan és hosszadalmas közlekedés, a kisszerű, csak a közvetlen környezet kielégítésére berendezett ipar e területek benépesítését és civilizálását sikerrel nem végezhette. A gőzgép feltalálása és tökéletesítése olyan időben történt, amikor általánosan érzett szükségletet elégített ki. Jellemző, hogy kezdetleges gőzgépét Papin is először hajón próbálta alkalmazni.

A gőzgép megalkotásával az emberi szellem egy magasabb fejlődési szintre emelkedett. Kitárult előtte az egész Föld. Kezdte érezni, hogy ő a világ ura, hogy a Föld egész terjedelmében rendelkezésére. Többé nemcsak egyes népcsoportokra, hanem a Föld minden népének szükségleteire gondolhatott. Műveleteit többé nemcsak emberi és állati erővel, hanem gőzgéppel is végezhette. Tudatossá vált előtte, hogy még hatalmasabb erőforrások is állhatnak a segítségére.

A gőzgép munkájának szemlélete tanította meg az embert arra, hogy testi műveleteit hogyan kell értékelnie. Minden alakító és alkotó művelet, aminő az építés, anyagok megmunkálása, terhek szállítása, szántóföldek megművelése úgy jön létre, hogy bizonyos ellenállást bizonyos úton át le kell győzni és a mozgást az akadályozó tényezőkkel szemben fenn kell tartani. Az ember testi műveleteinek, éppúgy, miként a gőzgép működésének legfőbb értékelő tényezője tehát a működő erőtől és a végzett úttól függ. Az erőnek és az útnak szorzata, vagyis a munka az alkotó fizikának a legfontosabb fogalmává vált.

A gőzgép a figyelmet az égés folyamatának a vizsgálatára is ráterelte. Minthogy ez a gép az emberi és állati munkát sok helyen pótolta, az égés problémája mindjárt kezdetben az élőlények testi hőjének problémájával is kapcsolódott. Abban, hogy ez a kérdés a 18. század végén megoldást nyert és, hogy a megoldás egy nagy tudománynak, a kémiának vált az alapjává, része volt a gőzgép feltalálásának is.

E gép működésének szemléletéből egészen természetes módon alakult ki a munka és a hő fogalmainak összekapcsoló-

dása és természetszerűleg merült fel a fontos kérdés, milyen feltételek mellett keletkezik a munkából a hő és a hőből a munka?

Mayer Róbertet, az energia megmaradása elvének első megállapítóját kezdettől fogva foglalkoztatta a hasonlóság, amely az állat munkája és hője, valamint a gőzgép munkája és hője között van. Feltűnt neki a tápláléknak és szénnek azonos szerepe. A szén elég a gőzgépben, a táplálék elég az állati és emberi testben, mindegyikből meleg keletkezik, a melegből pedig munka válik. Minden munkának végeredménye pedig megint hő. Amikor Mayer mindezt felismerte, akkor alakult ki gondolkodásában az energiának a fogalma, noha ő maga is és Helmholtz is erőnek nevezte.

Az energia megmaradásának elve formailag ugyan mint a dinamika törvényeinek egyszerű matematikai következménye már a 18. században megjelent, azonban itt a munka, a potenciális és kinetikus energia fogalmainak, mint az értelmi aktus definicionális eredményeinek csupán matematikai jelentésük volt és maga az elv csupán a nehézségi erőtérben való mozgásra vonatkozott. E fogalmak nem voltak a tapasztalatban lehorgonyozva és maga az elv is szűk körre alkalmazható matematikai tétel volt csupán. Ha e fogalmak a gőzgép munkájával és a hővel nem jutottak volna kapcsolatba, továbbra is matematikai segédfogalmak maradtak volna. Igazi értelmüket a hő és a munka egyenértékűségének tapasztalati megállapítása után kapták meg.

Az új fogalomnak az alkotó fizikában való beválása szellemi jogalapot teremtett arra, hogy kivitessék a külvilágba és az embertől függetlenül végbemenő kozmikus jelenségekbe is belenézessék. Már Helmholtz kiterjesztette az elektromos és a vegyi jelenségekre és az akkori idők felfogása szerint igyekezett is azt megokolni. Hosszú ideig az volt a meggyőződés, hogy Helmholtz bebizonyította az energia megmaradása elvének általános érvényességét. Erről szó sincs. Helmholtz nem csinált mást, mint azt, hogy a szűkebb körzetben a tapasztalat által közelítőleg igazolt összefüggést extrapolációval átvitte olyan jelenségek értelmezésére is, ahol azt a közvetlen tapasztalattal igazolni nem lehet. Az elektromosság és a mágnesség mértékegységei definíciójukat csak ennek az elvnek előzetes feltevésével kapták meg. Ugyancsak ilyen úton kapta meg a kémiai energia is a definícióját.

A kiterjesztés következtében a különféle energiafajoknak sokasága keletkezett. A potenciális, a kinetikus, és a hőenergia mellé sorakoztak a nehézségi, rugalmassági, felületi feszültségi, vegyi, elektrosztatikai, elektrokinetikus, mágneses sugárzási, atomáris, molekuláris energiák. Minden erőféleség megkapta a

maga energiafeléségét is. A jelenségek immár nem az erők működésével, hanem az energiák átalakulásával értelmeződtek. Sőt az elv a többi természettudományokra is kiterjedt, ahol szintén újabb energiafajok teremtődtek.

Természetes folyományképen kialakult az energeticizmus gondolati irányzata. Az volt a fő elve, hogy az energia mindent tartalmaz, ami szigorúan tudományos elemként értékelhető. Az energia az egyedül létező, minden más metafizika. Noha ez a monisztikus gondolati irányzat később erős kritikában és visszautasításban részesült, a fejlődés mégis ebben az irányban haladt tovább.

Eredeti megfogalmazásában az energiaelv energiák különbségére volt megfogalmazva, azonban újabb elvek bevezetésével minden energiafaj látszólagos abszolút jelentést is kapott. Az elektrosztatikai energia abszolút értéke abból a feltevésből adódnék, hogy a végtelen távolságban lévő helyek potenciálját nullának definiáljuk. Az elektromágneses energia abszolút értékké azzal válnék, hogy a neutrális erőmező energiáját definíció alapján szintén nullával tesszük egyenlővé. Nernst ezzel szemben azt a hipotézist állította fel, hogy a neutrális erőmezők, vagyis az abszolút hőmérséklet nulla pontján lévő mezők, roppant nagy energia-sugárzással bírnak, amely minden testen áthatol és a légnyomáshoz hasonló módon csak különleges esetekben nyilvánul meg. Abszolút voltát az igazolná, hogy a mindenség minden pontjában ugyanaz. A Bohr-féle és a Sommerfeld-féle sugárzási elméletekben is az energia abszolút értékei szerepelnek, noha a sugárzási energiáknak csak a különbségét lehet mérni. Nyilvánvaló, hogy az abszolút szónak ezekben a vonatkozásokban nincs fizikai jelentése.

A leghatalmasabb lépést az energia elabszolútítása terén Einstein tette, amikor a nyugvó test energiáját $mc^2$-tel tette egyenlővé, ahol $m$ a test tömegét, $c$ a fénysebességét jelenti. A $c^2$ óriási volta miatt ez oly nagy érték, amely mellett minden a Földön ismeretes energiamennyiség eltörpül. Amikor mi itt a Földön energiaátalakulásról beszélünk, akkor az óceánok vizén úszó habok vizét vesszük számításba, de elhanyagoljuk az óceán vizének óriási tömegét. A furcsa az, hogy a relativitási elmélet állapítja meg az energiának legabszolútabb (bocsánat a szóért) értékét.

A tudomány azonban ezt az abszolútat nagyon komolyan vette. Eleinte az energia az anyaghoz fűződő valami mellékes volt. Amint azonban a kiterjesztési gondolat tovább és tovább folytatódott, az anyag mindinkább hátrább szorult, végre teljesen eltűnt és az energia egyedül maradt a porondon. A tudós emberiség azt hiszi, hogy nagy dolgot művelt, amikor összes

*nemtudását* sikerült összpontosítania ebbe az egyetlen fogalomba.

A következmények nem is maradtak el. A gondolatnak folytonosan egy irányban való továbbvitele megbosszúlta magát. Kitűnt, hogy az energia megmaradásának elvét a tapasztalattal nem lehet szigorúan igazolni. Még a legegyszerűbb esetben, t. i. a munka és a hő egyenértékének megállapításánál is bizonyos kiigazító számításokat kell végezni, amelyeket az energia szétszóródásának elvével magyarázunk. A mechanikai és az elektromos energiának hőenergiává való átalakulásánál a kiigazítás még aránylag kis értékek körül forog. Amikor azonban a fordított folyamatról, tehát pl. a hőnek mechanikai munkává való átalakításáról van szó, akkor az energia szétszóródását jelentő kiigazító értékek ugyanolyan rendűek, sőt sokszor jóval nagyobbak, mint azok az értékek, amelyek a munkává való átalakulást jelentik.

Az energia megmaradásának elve mellé tehát újabb elvet kellett felállítani, amely amazt ki is egészíti, de bizonyos tekintetben ellentétben is áll vele. Ez az elv az entrópia folytonos növekedésének az elve. Első megjelenésénél úgy látszott, hogy a tapasztalatba jól van lehorgonyozva. Bővebb elemzésénél azonban nagy nehézségek merültek fel. Leküzdésükre a valószínűség-számításhoz és a statisztikaszerűséghez kellett folyamodni. Az történt tehát itt is, mint a fizika oly sok más részében, hogy megismerésünket egymást kiegészítő, de egymással ellentétben álló fogalompárra kellett visszavezetnünk.

## 2. *Az energia-fogalom jelentése.*

A tapasztalatból az absztrakt fogalmak rendszerint határozatlan alakzatban kezdenek kialakulni és mindig idő kell ahhoz, amíg belőlük meghatározott jelentésű fogalmi alakzatok kristályosodnak ki. Azt a gondolati tartalmat, melyet mi ma az energia szóval fejezünk ki, eleinte szintén a bizonytalanság köde vette körül. Jelentett valamit, amit az erő, a munka, a hő, a megmaradás, a változás, az átalakulás szavakkal lehet jelölni. A ködös gondolati tartalmat Carnot, Mayer és Helmholtz eleinte az erő szóval jelölte, tehát a ködösség még növekedett, mert az erő szónak a newtoni dinamikában már megvolt a határozott jelentése. Idő kellet ahhoz, míg a ködösségből határozott jelentésű fogalmak gomolyodtak ki. Ez azonban nem történhetett emberi önkényes definíciók nélkül. A természet nem kényszerítheti ránk szavak jelentését.

A tudomány úgy döntött, hogy az erő szót meghagyja abban az értelemben, ahogyan Newton definiálta. Az új fogalom

pedig először a helyzeti energia, a mozgási energia és a hőenergia esetében ruházódott fel határozott jelentéssel. A meghatározásban a munka mint az erőnek és az útnak a szorzata szerepelt közvetítő gyanánt. Később az energia megmaradásának elve alapján újabb és újabb energiafajok kaptak határozott jelentést, természetesen éppúgy, mint a megelőzők a munka vagy a hőenergia fogalmának közvetítésével és megfelelő önkényes konvenciók alapján.

A fogalomnak célszerű volta hozta magával, hogy szokásossá vált általában beszélni az energiáról. A szót használta mindenki, tudós és nemtudós egyformán és pedig oly sokféle értelemben, hogy „nincs elme a Földön, amely fel tudná fogni valamennyinek értelmét" [*19*, 121]. Szerepelt mint szubsztanciaféleség, mint valami anyagszerűség, mint a természetbe beleépített valami szerkezet, mint valami folytonosan alakot változtató folyadék vagy gáz, mint „végső természeti tényező [*89*, 353, 383], mint „mindenek felett terpeszkedő azonosság".

Azonban az energia fogalmának csak egyes esetekben tudunk határozott jelentést adni. Olyan általános jelentése, amely minden esetre alkalmazható volna, nincs és valószínű, hogy sohasem lesz [*14*, 128; *98*, 123]. A helyzet hasonló az ok fogalmához. Az energiához is csak egyes esetekben fűződik határozott jelentés. Gondolatvilágunknak e két terméke nagyon célszerű és hasznos segédeszköz, amikor bizonyos kiválasztott jelenségek leírásáról, elrendezéséről, magyarázásáról és a belőle vont következtetésekről van szó. De általános, minden esetre alkalmazható jelentésük hiányzik.

Az energia fogalma a sok tudományos meghatározás után oda tért vissza, ahonnét kiindult. Általános jelentése ködbe burkoltan lóg fizikai gondolatvilágunkban, mint olyan valami, ami saját mivoltában sohasem jelentkezik, csak különféle leszármazottait mutatja meg nekünk, de csak akkor, ha előbb hitet teszünk arról, hogy állandóságában és megmaradásában nem kételkedünk.

### 3. *Az energia megmaradásának törvénye.*

Egyes esetekben, nevezetesen a külön megnevezett energiák körében a megmaradás törvényének határozott jelentése van. Mindenekelőtt a mechanikai folyamatok körében. Az inga, a hajított testek, a folyadékok mozgásai, a rugalmas testek rezgései úgy folynak le, hogy a mozgási energiának megnövekedése egyenlő a potenciális energia fogyásával és fordítva: a potenciális energia megnövekedése egyenlő a mozgási energia fogyásával. A kettőnek összege tehát a folyamat alatt állandó

marad. A rugalmas testek ütközései is úgy folynak le, hogy a mozgási energiák összege ütközés után ugyanannyi, mint amennyi volt ütközés előtt. Annak is határozott értelme van, hogy az $m$ tömegű és $v$ sebességű test éppen $\frac{1}{2}mv^2$ nagyságú munkát végezhet és annak is, hogy az erő $\frac{1}{2}mv^2$ nagyságú munkát végez akkor, ha semmi mást nem csinál, mint azt, hogy az $m$ tömegű test sebességét $v$-vel megnöveli. Általában a mechanikai energiák körében az egyik energiafaj megnövekedése egyenlő valamely más energiafaj fogyásával.

Ehhez az értelmezéshez két megjegyzést kell fűzni. Először is azt, hogy a törvénynek ez az alakja nem tartalmaz új tapasztalati megismerést. Mert egyszerű következménye annak, hogy a potenciális és a mozgási energia mértékei a törvény feltételezésével voltak megállapítva. Másodszor pedig azt, hogy érvényességi esetei absztrakt ideális folyamatok, amelyek a valóságban csak megközelíthetők, de szigorú pontossággal soha elő nem állíthatók. A mozgások mindíg valamilyen közegben folynak le, ahol mindíg van surlódás és hővé való átalakulás, tehát energiaszóródás. Tapasztalatilag a törvényt csak kiigazításokkal lehet igazolni.

Meghatározott értelme van továbbá oly folyamatoknál, amelyekben a mechanikai energiák hőenergiává és a hőenergiák mechanikai energiává alakulnak át. Érvényességének és alkalmazásainak ez a legfontosabb esete. Ebből indult ki tulajdonképpen az energiára vonatkozó egész tudományos fejlődés. Miről is van itt tulajdonképpen szó? A munka és a mechanikai energiák mértékei emberi, önkényes választásnak a teremtményei. A hőenergia mértéke szintén az. Mindezeknek az önkényességeknek dacára 427 méterkilogrammnyi mechanikai energiából minden megvalósítható esetben 1 kalória hő és 1 kalória hőből mindíg annyi mechanikai energia keletkezik, amennyi a soha el nem kerülhető hőenergiaszóródás mechanikai egyenértékével együtt 427 méterkilogrammot tesz ki. Nagyon feltűnő új dolog ez, amelyet az emberi ész önmagától ki nem találhatott volna. Ezt csak a tőlünk független természet kényszeríthette reánk. Az igazi tapasztalati megismeréseknek jellegzetes alakja.

A hőenergiák kicserélődésénél is határozott jelentése van a törvénynek. Ha a testek bizonyos rendszere meghatározott mennyiségű hőenergiát veszít, akkor más testek ugyanannyi hőenergiát nyernek. Ködössé csak akkor válik, ha a határozatlan jelentésű „belső energia" fogalmat használjuk, mert ez jelenthet bármilyen energiát és nem ismerünk olyan törvényt, amely arányszámaikat megállapítaná.

Határozott jelentése van továbbá az elektrosztatikus, az elektromágneses jelenségek körében is, amikor itt mechanikai

vegyi és hőenergiák keletkezéséről, vagy eltűnéséről van szó. De itt is meg kell jegyezni, hogy az elektromos és mágneses mennyiségek egységei már az energiatörvény alapján kapták meg definiciójukat, tehát e jelenségek körében való beválása szintén nem nyujt új tapasztalati igazolást. De mutatja azt is, hogy önhatalmú kiterjesztése e jelenségekre ellentmondáshoz nem vezetett. Érthető továbbá, hogy az elektrodinamika Maxwell-féle összefoglaló törvényszerűségei is már magukban foglalják, illetőleg vele harmóniában vannak.

A vegyi jelenségeknél hasonló az eset. Amikor a kémikusok mindenfajta kémiai energia mértékévé a kalóriát tették meg, azzal a vegyi jelenségekbe önhatalmúlag beleszőtték az energiatörvényt is. A tapasztalati beválás tehát itt sem új igazolás, hanem csak azt mutatja, hogy célszerű volt az energiatörvényt e jelenségekre is kiterjeszteni.

Érvényességi körének folytonos kiterjesztései általában újabb és újabb jelenségek felfedezéséhez vezettek, amelyek tisztán a kísérlet tapogatódzó útján vagy soha, vagy csak sokkal később váltak volna ismeretessé. A kiterjesztés általában mindig símán folyt le, ellenmondásokhoz nem vezetett. Új helyzet csak akkor állott elő, amikor a kísérleti ügyesség nagyobb mennyiségű (azonban még mindig csak milligrammokkal mérhető) rádiumot tudott előállítani. Ez az anyag állandóan magasabb hőmérsékletű, mint környezete, tehát folytonosan hőenergiát sugároz ki a nélkül, hogy kémiai szerkezete kimutathatólag megváltozott volna. Íme tehát egy jelenség, amely éppen az ellenkezőjét mutatja annak, amit az energia megmaradásának törvénye állít: energia semmiből keletkezik! A törvény érvényességét könnyű volt azzal a feltevéssel helyreállítani, amely szerint ez a hőenergia nem semmiből, hanem egy eddig ismeretlen újfajta energiából, az atomátalakulás energiájából keletkezik. Nyilvánvaló azonban, hogy a törvény érvényességét más hipotézisekkel is helyre lehetett volna állítani.

A rádium esete mégis komoly memento volt a tudomány számára, mert reámutatott az energiatörvény definicionális jellegére. Ahogyan az a rádiumnál történt, ugyanúgy minden más esetben is önhatalmúlag meg lehet szerkeszteni azt az új, eladdig ismeretlen energiafajt, amely a törvény érvényességét helyreállítja.

A sok siker, amelyekhez az energiatörvény feltételezésével el lehetett jutni, általánosítását és érvényességének minden esetre való kiterjesztését vonta maga után, azonban a rádium esete mégis figyelmeztető jel volt arra, hogy általános alakjait, különböző megfogalmazásait a fizikai jelentés szempontjából vizsgálat tárgyává kell tenni.

Különös eredményre jutunk, ha ezt a vizsgálatot megejt-

jük. Mit jelentenek pl. e tételek: „a világegyetem energiája megmarad", vagy „a világegyetem energiája nem nagyobbítható és nem kisebbíthető", vagy „a világegyetem energiájának mennyisége minden változásnál ugyanaz marad"? Először is e tételek nem egyebek mint tautológiák, mert az energia szó így önmagában, minden specifikáló jelző nélkül csak valami olyasfélét jelenthet, ami megmarad. E tételekkel tehát tulajdonképen csak azt mondjuk ki: valami, ami megmarad, az megmarad, az nem változik, az állandó, az nem nagyobbítható, sem nem kisebbíthető. Másodszor pedig még jelzővel ellátva sem jelentenek semmit, mert a világegyetem hőenergiájáról vagy mechanikai energiáról nem mondhatunk ki érvényes tételeket.

Ezt fölismerve kiváló gondolkodók azt a véleményüket fejezték ki, hogy az energiatörvény általános alakja nem is jelent mást, mint azt, hogy a világegyetemben „valami állandó marad" [*98*, 121], vagy azt, hogy „a természeti változások alapállománya megmarad" [*89*, 350], vagy azt, hogy „az energia létezik" [*14*, 128]. Nyilvánvaló azonban, hogy ezek is csak szavak, amelyek egymás után következnek, de fizikai jelentésük nincs.

Planck az energiáról szóló könyvében és egyebütt is több megfogalmazást próbált adni [*101*, 158]. „A zárt rendszerek energiája a belsejükben végbemenő folyamatok következtében nem változik." „Ha egy rendszer zárt ciklust ír le, a végzett munka egyenlő a nullával." „Egy rendszernek meghatározott állapotában meghatározott energiája van." „Ha valamely rendszer a megváltozott állapotok sorozata után kezdő állapotába tér vissza, energiája ugyanannyi, mint kezdetben volt." Ezek és a hozzájuk hasonló megfogalmazások csak akkor bírnának fizikai jelentéssel, ha a „zárt rendszer" és az „állapot" meghatározhatatlanságával nem volnának megterhelve, mert zárt rendszerek és az állapotok teljes meghatározása a lehetőségek határán kívül fekszik.

A következő megfogalmazás: „valahányszor egy folyamatban valamelyik energiafaj csökken, ugyanannyiszor ugyanannál a folyamatnál egy vagy több más energiafáleség olyan mértékben növekszik, hogy az, vagy azoknak összege az eltűnt energiával egyenlő", már egészen határozott fizikai jelentést tartalmazna, ha az összes energiafáleségek ismeretesek volnának. Mindaddig azonban, amíg ez az állapot be nem következik, ez a tétel is határozatlan jelentésű.

Planck az örökmozgó (a perpetuum mobile) lehetetlen voltának elvéből kiindulva próbálta bebizonyítani [*101*, 159]. Neki is mint oly sok másnak, meggyőződése volt, hogy a tapasztalatok sokasága által az örökmozgó lehetetlen voltának

elve bebizonyítottnak tekinthető és így erre az elvre mint szilárd bázisra építeni lehet.

A tudományban az elv valóban régi idők óta mint megdönthetetlen igazság szerepelt. Mégis azonban érvényessége tekintetében a különböző eseteket el kell egymástól választanunk. Az ember csakugyan nem tud örökmozgót készíteni, sem olyant, amely csak önmagát mozgatná, sem olyant, amely e közben külső munkát is végezne. Meg kell jegyezni, hogy a két eset nem is különbözik egymástól, mert a mozgás külső munka végzése nélkül végbe nem is mehet. A fizikának alkotó részében tehát az örökmozgó lehetetlen voltának elve feltétlenül érvényes.

De a fizikának kozmikus részében, amely az embertől függetlenül végbemenő jelenségekről szól, kezdettől fogva számos örökmozgást ismertünk meg. A csillagos ég napi látszólagos forgása, vagy a Föld tengelyforgása, a bolygók Nap körüli keringései, a kettős csillagok egymás körüli keringései, az apály-dagály folyamatai és más ezekhez hasonló jelenségek a tapasztalat alapján igazolt örökmozgók. Maga az elméleti fizika is számos gondolati örökmozgót, tétlenségi mozgást, relativisztikus geodetikus vonalon való mozgást, molekula-, atom- és elektronmozgást teremtett.

Nem lehet tehát azt állítani, hogy az örökmozgó lehetetlen voltának elve a tapasztalat által bebizonyítottnak tekinthető, amelyből mint általánosan elismert szilárd bázisból kiindulva az energia megmaradásának elvét következtetésekkel lehetne levezetni. Tulajdonképen fordítva áll a dolog: a fizika gondolatvilágában mélyebb gyökeret vert és nagyobb bizonyosságokkal rendelkezik az energiatörvény, mint az örökmozgó lehetetlen voltának az elve. Egyébként pedig Planck levezetésében az örökmozgó, mint olyan szerkezet szerepel, amely állandóan munkát termel, lehetetlen voltának elve tehát azt jelenti, mint maga az energiatörvény, t. i., hogy lehetetlen munkát semmiből teremteni. Planck bizonyítása tehát körben mozog.

Nemcsak, hogy nem lehet az örökmozgó lehetetlen voltának elvéből az energia megmaradásának elvét levezetni, hanem az ember inkább hajlandó volna az örökmozgó lehetséges voltát az energiatörvény különleges alesetének tekinteni.

### 4. *Az energiatörvénnyel kapcsolatos tapasztalati és gondolati nehézségek.*

Carnot már 1824-ben, tehát már az energiatörvény tulajdonképeni felismerése előtt megállapította, hogy a gőzgép csak úgy végezhet munkát, ha benne vagy vele szoros összefüggésben két olyan hely van, amelyek között állandóan hőmérséklet-

különbség áll fenn. A hő tehát csak akkor végezhet munkát, ha melegebb helyekről hidegebb helyekre áramolhatik. Később ismeretessé vált, hogy nemcsak a gőzgépnél, hanem minden hőgépnél és általában minden hőfolyamatnál ugyanígy van. Lehetetlen hővel munkát végeztetni, ha csak egyetlen, állandó hőmérsékletű hőtartály áll rendelkezésünkre. A hőnek munkára való felhasználásához nemcsak melegre, hanem hidegre is szükség van.

Felismertetett továbbá az is, hogy a magas hőmérsékletű hő elfogyasztásának fejében sohasem kaphatunk vele egyenlő értékű munkát, hanem annál mindig kevesebbet. Viszont az alacsonyabb hőmérsékletű helyen (a hűtőben) mindig melegedés jön létre, amelyet mesterséges úton el kell távolítanunk, hogy az alacsony hőmérsékletet és vele együtt a gép munkavégzésének lehetőségét fenntarthassuk. Vagyis a hőgép csak úgy végezhet munkát, ha a hűtőbe érkező hőt onnét folyton eltávolítjuk. A munkavégzéshez nemcsak fűtés, hanem hűtés is szükséges. Minél nagyobb a két hely közötti hőmérséklet-különbség, annál nagyobb a nyert munkának az arányszáma. A teljes egyenértékűséget azonban sohasem érhetjük el, aránylag mindig igen nagy mennyiségű hőt kell a hűtő révén szétszórnunk.

Clausius Carnot-nak fenti megismerését összefüggésbe hozta az általános tapasztalattal, amely szerint a testek önmaguktól sohasem melegszenek, hanem mindig csak hűlnek, vagyis a hő önmagától sohasem megy át a hidegebb testekből a melegebb testekbe, hanem mindig csak a fordított irányban. Csak mesterséges módon, vagyis munkavégzéssel lehet a hőt arra kényszeríteni, hogy a hidegebb testekből melegebb testekbe menjen át. Minden hűtőgép mechanikai munkát követel. Azt a hőt pedig, amelyet a hidegedő testekből elveszünk, nem lehet munkára felhasználni, azt is szét kell szórni. Nem lehet tehát olyan gépet szerkeszteni, amely a környezet testeiben, a légoceánban, a tavak és a tengerek vizében lévő szétszórt hő elfogyasztásának fejében mechanikai munkát végezne. Vagyis lehetetlen a második fajta örökmozgó, ahogyan ezt a gondolati szerkezetet Ostwald elnevezte.

William Thomson (Lord Kelvin) 1852-ben arra figyelmeztetett, hogy mechanikai munkavégzéseinkkel, kémiai és elektromos folyamatainkkal kapcsolatban ugyanaz történik, ami a hőgépekkel kapcsolatban: magasfokú energiák eltűnnek és helyettük alacsony hőmérsékletű hő keletkezik és szétszóródik. Maxwell később a „hasznosítható" energia fogalmát állította fel és a megelőző tapasztalatokat így fejezte ki: a hasznosítható energia folyton kisebbszik. Az energia „degradálódik", „elértéktelenedik". A tudomány a megfordítható és a megnemfordítható folyamatok megkülönböztetésével próbált e tapasz-

talati megismerések között rendet csinálni. A megfordítható folyamatok mintáit az egyensúlyi helyzet körüli lengések, a rugalmas és elektromos rezgések adták, mert e folyamatok valóban mindkét irányban folynak le és jellegzetes alakjai a potenciális és az aktuális energiák felcserélődéseinek. A megnemfordítható folyamatok jellegzetes alakjait a surlódás, az elektromos vezetés, a diffuzió, a hiszterézis és a radioaktív bomlás képviseli. Az idő a kétféle folyamatokat előtüntető matematikai egyenletekben ugyan különbözőképen szerepel, a legkisebb hatás elve is csak az elsőkre érvényes, az utóbiakra nem, és amazok a folytonos megismétlődésnek, emezek a bizonyos végállapot felé való haladásnak az ismertetőjeleit mutatják, de azért mégsem lehetett olyan elvi megállapítást felállítani, amely a folyamatokat szükségszerűleg választaná el egymástól.

Azért sem lehetett ezt megtenni, mert a megfordítható folyamatok a megismerés első lépését jelentik és így absztrakt ideális, gondolati esetek, amelyek a tapasztalatban csak közelítőleg fordulnak elő. Ellenben a meg nem fordítható folyamatok a valóságos tapasztalatnak a leírásai, amelynek közelítő jellegét csak az előállító matematikai formulák mutatják. Valamennyi megfordítható folyamat a földi tapasztalatban valamilyen megnemfordítható folyamattal, mindenek előtt a surlódással kapcsolatos úgy, hogy a földi közvetlen tapasztalat szempontjából nincs is valóságos megfordítható folyamat. A természet, amikép azt Planck kifejezte, a megnemfordítható folyamatok iránt bizonyos „szeretet"-et mutat [*102*, 13]. A rendelkezésünkre álló energiák nem maradnak meg, hanem lassanként, fokozatosan eltűnnek és helyükbe alacsony hőmérsékletű szétszóródó energiák lépnek.

A tudomány az energiatörvény következményeit sorban egymásután levonta. A földi energiák legnagyobb részének forrását a Napba helyezte és a Földre percenként lejutó kis energiamennyiség tapasztalati adatát extrapolálta a Nap egész energiájára és kiszámította, hogy abból percenként mennyi energiamennyiségnek kell kiáramolnia. Analógia alapján a csillagok billióit is ugyanolyan rendű energiaforrásoknak kellett megtennie, mint aminő a Nap. Az energiatörvény logikai vaskényszere alapján tehát fel kellett vetnie a kérdést: honnét és miből keletkezik ez az óriási energiamennyiség? Először az atomenergia kimeríthetetlennek látszó bányája tűnt fel olyannak, amely az energiakiadást a megfelelő energiabevétellel födözi. Kitűnt, hogy ez sem elegendő. Egy újabb nagy gondolati ugrással a tömeget kellett megtenni a legkiadósabb energiabányává; olyanná, amely gazdagságával minden más energiatárházat végtelen kicsiny mennyiséggé törpít le.

Az energiatörvény vaskényszere még mindig nem enge-

dett. Fel kellett vetni a kérdést: hová lesz e megmérhetetlen mennyiségű energia? Mint egyetlen megoldás kínálkozott: a világűrbe való áramlás fogalma. Mit tudunk a világűrről? Azt, hogy az tér, amelyben a bolygók és az üstökösök keringenek, az állócsillagok különböző irányokban ide-oda mozoghatnak. Ezt a világűrt most az alacsony hőmérsékletű hőenergia tárházának kellett megtenni, amelybe minden energia végeredményben beleömlik.

Az energiatörvényt a tudomány a Földön észlelhető mozgások, hőjelenségek, vegyi, elektromos és mágneses kísérletek körében találta fel és mindíg is azokra vonatkoztatta. Noha a fizikusok sokat tanultak a kereskedelmi vállalatok főkönyveinek és mérlegszámláinak szerkesztőitől és ők is tudják, hogy a rovatokba fiktív tételeket is lehet beállítani, ha azt akarjuk elérni, hogy az egyenleg fillérre pontosan kijöjjön, azonban az energiagazdálkodás mérlegét és egyenlegét a szűkebb földi körben sem csinálta meg soha senki.

Ez az energiamennyiség azonban, amelyhez a megmaradás törvényét fűztük, számban alig kifejezhető csekélység azokhoz az óriási mennyiségekhez képest, amelyeket a törvény folytonos kiterjesztésével csupán gondolatilag állítottunk elő. Ha a tenger felszínén úszó hab, vagy a szobánkba beáramló ködcseppek tulajdonságai alapján akarnók megállapítani a Földet borító összes vizek tulajdonságait és munkáját, akkor is sokkal közelebb volnánk a reális valóhoz, mint itt, amikor a kisszámú részleges tapasztalati energia-egyenlegek alapján akarjuk megállapítani a természetbe beleképzelt óriási mennyiségű energiák részére is az egyenleget. A mi főkönyveink és mérlegeink bizony csupa fiktív tételeket tartalmaznak, amelyekhez képest reális jelentésű tételeink számításba sem jöhető csekélységek. A számoknak rajongó hívei ugyan kiszámították, hogy a mindenség hány elektronból, protonból és hány ergből áll, ezek azonban csupa fiktív tételek, amelyekkel szemben az az egyetlen reális tétel, amely szerint 427 méterkilogramm munkából 1 kalória hő keletkezik, föltéve, hogy meghatározásainkat nagy gonddal és kellő kiigazításokkal végezzük. Az ellenkező folyamatot, vagyis azt, hogy egy kalóriából 427 méterkilogrammnyi munkát kell kapnunk, a reális való nem igazolja. Egy kalóriából még soha senki sem állított elő 427 méterkilogrammnyi munkát. A tapasztalat alapján tehát joggal azt is lehetne mondani, hogy a hőenergia nem egyenlő értékű a mechanikai energiával. Ha egy kitűnően megszerkesztett hőgépbe befektetett 10.000 kalóriából csak 2.500 kalóriának megfelelő munkát kapunk, joggal mondhatjuk azt, hogy 10.000 kalóriának nem 10.000-szer 427, hanem csak 2.500-szor 427 méterkilogrammnyi munka felel meg, a többi, vagyis 7.500-szor 427 méterkilogramm

pedig szétszóródik. Az, hogy kimegy a világűrbe, csak szólásmondás, amelynek reális hátteréről nem tud senki semmit. Még soha senki sem észlelte, hogy a szétszóródott hőenergia kiáramolnék a világűrbe. Semmi, de semmi tapasztalatunk nincs erről. Ezt is az energiatörvény logikai vaskényszere erőszakolta reánk.

Az energiák kölcsönös egyenlőértékűségének elvét nem lehet általánosan fenntartani. Az energiákat külön-külön kell értékelni. Az energiák kölcsönös átalakulásának fogalma is hamis képzeteket kelt; csak azt mondhatjuk teljes joggal, hogy bizonyos energiaféleségek megnyilatkoznak, azután eltűnnek és más energiaféleségek feltűnnek. Hogy az eltűnő energiaféleség alakult-e át az új energiaféleségbe, arról nem tudunk semmit. Az átalakulás szót azonban rövid kifejezhetőség kedvéért tartjuk meg, de nem szabad felednünk, hogy az átalakulás miként-jéről nem tudunk semmit.

A felsorolt tapasztalati és gondolati nehézségek arra kényszerítették az elméleti fizikusokat, hogy az energiatörvény mellé, mint vele egyenlőrangút, egy másik törvényt állítsanak fel, amely azt kiegészíti.

### 5. *Az entrópiatörvény.*

A helyzet röviden összefoglalva a következő volt: az energiatörvény általános értelmezése követelte, hogy mindenfajta hőt — tekintet nélkül magas vagy alacsony hőmérsékletű voltára — definició alapján energiának, vagyis munkával egyenértékűnek kell megtenni. E felfogás alapján a tapasztalatok nagy sokaságát úgy kellett értelmezni, hogy az energiának mindenfajta formája végeredményben alacsony hőmérsékletű hőenergiává igyekszik átalakulni. Ezt az „igyekvés"-t vagy „szeretet"-et kellett tudományosabban megfogalmazni. A megmaradást jelentő energiatörvény mellé az átalakulás irányát jelző második törvényt kellett megszerkeszteni, amely a hőenergiák különböző értékelését feltüntesse és annak kifejezését is lehetővé tegye, hogy az alacsony hőmérsékletű hőenergiák mennyisége folyton növekszik.

A feladatot szintetikus matematikai szerkesztéssel lehetett csak megoldani, mert a matematikai szimbolumok tisztán formális, simulékony, könnyen átalakítható jellegüknél fogva alkalmasak arra, hogy a gondolati világunkban kialakult nem egészen határozott és csak sejtett kapcsolatok kifejezői legyenek. Clausius a kitűzött feladat megoldására 1865-ben igen szerencsés találékonysággal egy függvényt szerkesztett meg, amelyet a tudomány entrópiafüggvénynek nevezett el. Vele egy-

szerű módon tudta kifejezni az energia-átalakulások különböző értékelhetőségét és gyakoriságát, a hőgépek munkavégzésének feltételeit, a megfordítható és a megnemfordítható, valamint az önmaguktól lefolyó és a mesterséges folyamatok jellemző ismertető jeleit, nemkülönben az alacsony hőmérsékletű hőenergiák folytonos növekedését. Az volt a felfogása, hogy minden zárt rendszer állapotának adataiból az entrópiafüggvény megszerkeszthető és így mintegy mértékét kapjuk a „szeretet"-nek, amellyel a természet bizonyos állapotok iránt viseltetik.

Az energiaátalakulások irányát az entrópiatörvény fejezi ki. Egyik megfogalmazása a következő: energetikusan zárt rendszerek entrópiája mindaddig növekszik, amíg végső állapot nem jön létre, amelyen túl az entrópia nem növekedhetik. Rövidebben így is mondhatjuk: zárt rendszerek entrópiája maximum felé halad.

A törvény a természetben lefolyó változások egyirányúságát fejezi ki. Hogy növekedésről és maximum felé való haladásról van benne szó, az az entrópiafüggvény matematikai szerkezetének a sajátsága és nem a természeté. Az átalakulási irányt olyan függvény is kifejezhetné, amely a fogyást és a minimum felé való haladást mutatná.

Ismeretelméleti szempontból nevezetes sajátságai vannak e törvénynek. Tulajdonképen nincs benne semmi hipotetikus, sem primitív metaforikus kép, éppazért nem szemléletes. Tulajdonképen semmi egyéb, mint matematikai formában való előállítása egy általánosított tapasztalatnak. A matematikai szimbólumok csak képviselik és szabatos alakban előállítják a szavakkal kifejezett tapasztalatot, tehát annak igazságértékéhez semmivel sem járulnak hozzá. Azt nem bizonyítják be. Nagy előnyük, hogy velük szabatos következtetéseket lehet tenni és azokat a tapasztalattal össze is lehet hasonlítani. Az entrópia iskolapéldája a tudománytól alkotott absztrakt fogalmaknak [*51*, 108].

Az entrópiatörvény szükségszerű kiegészítése az energiatörvénynek. Az alapul szolgáló fogalmak ellentétes, de egymást kiegészítő fogalompárt alkotnak. Az egyik az állandóságot, a másik a változás irányát képviseli. Ha az energia egyenlő értékű átalakulását és megmaradását belenézzük a természetbe, akkor az alacsony hőmérsékletű hőenergiává való átalakulást, vagyis az entrópianövekedést is bele kell néznünk. Minthogy gondolatvilágunkban az energiatörvényt minden fizikai jelenségre kiterjesztettük, az entrópiatörvénnyel is ezt kellett tenni. Általános fizikai jelentést ugyan egyiknek sem lehet adni, de ahol nem általános, hanem sajátlagos, specifikált jelentést lehet hozzájuk fűzni, ott mindkét törvény jó szolgálatot tesz új jelenségek és új kapcsolatok felfedezésében.

Az entrópiatörvény tette lehetővé a nagy hatásfokkal dolgozó hőgépek megszerkesztését. Gibbsnek a fizikai kémiára vonatkozó munkássága is rajta nyugszik. A sugárzás mibenlétére, az állócsillagok belsejére, a kozmikus sugarak eredetére vonatkozó kvantumelméleti spekulációk is e törvény alapján történnek.

Bizonyos ki nem elégültséget foglal mégis magában, amelyet elsősorban az entrópiafüggvény megalkotásával járó nehézségek, azután a nem jogosult kiterjesztés és az érvényesség határainak bizonytalan volta idéz fel bennünk. Éppazért számos kritikában részesült.

Számos kísérlet történt abban az irányban is, hogyan lehetne a törvényt szélesebbkörű gondolati alapra helyezni. Közöttük Boltzmann elmélete keltette a legnagyobb gondolathullámzást, amikor az entrópiafogalmat a molekuláris-kinetikus anyagelmélet alapján a valószínűséggel helyettesítette. Abból a tényből indult ki, hogy a jelenségekben szereplő rendszerek entrópiafüggvényét a fizikai adatokból csak kivételesen lehet megszerkeszteni. Viszont az volt a felfogása, hogy a valószínűségszámítás tételein alapuló okoskodásokkal meg lehet állapítani a bekövetkező állapotváltozás valószínűségét előállító függvényt, ha a rendszert mozgó molekulákból állónak tekintjük.

Később az új felfogás kiterjedt az atommechanikára, a kvantummechanikára és ezek révén az összes fizikai jelenségekre. Kialakult az új világkép, amely szerint a fizikai-kémiai jelenségekben az összes átalakulásokban és változásokban nem történik más, mint az alapul szolgáló elemek keveredése, aminek következtében rendezettségük mindíg kisebb és kisebb fokúvá, rendezetlenségük mindíg magasabb fokúvá, behatóbbá és általánosabbá válik.

Két egymással érintkező különböző gáz vagy folyadék egymásba diffundál, részecskéik mindíg jobban és jobban elkeverednek. A meleg testből a hő a részecskék mozgási energiájának kicserélődése folytán átáramlik a hidegebb testbe, az eleinte meglévő különálló rendezettség eltűnik és helyébe az egész testrendszerre kiterjedő rendezetlenség lép. Két rugalmatlan test ütközésekor az ütközés előtt a molekuláknak egyirányú sebességük van, az ütközés után ez a rendezettség eltűnik és a molekulák minden irányú sebességévé alakul át. A napfény egyirányú sík hullámokból áll, de ha fehér papírra esnek a hullámok, minden irányban szétszóródnak. A rendezettségből a rendezetlenség mindíg önmagától jön létre, nem kell ahhoz semmiféle külső ok. E felfogás szerint tehát a tőlünk függetlenül végbemenő jelenségek között nincs olyan, amelynél a rendezettség önmagától nagyobbodnék, ilyent csak ember alkotta mesterséges szerkezetek révén lehet előállítani. Ez történik pl.

a hőgépekben, ahol a molekulák rendezetlen mozgása egyirányú mozgássá és mint ilyen, külső munkává tud átalakulni. De ez sohasem történhetik megfelelő kárpótlás nélkül. Mindíg bizonyos mennyiségű rendezettségnek, vagyis magasabb hőmérsékletű hőenergiának rendezetlenséggé, vagyis alacsonyabb hőmérsékletű hőenergiává kell átalakulnia. Minthogy a molekulák mikrokozmosza számára nem tudunk a hőgéphez hasonló mesterséges szerkezetet alkotni és oda beállítani, azért nem tudjuk az alacsony hőmérsékletű hőenergiát mechanikai energiává átalakítani.

Boltzmann az entrópiát az állapot valószínűségének logaritmusával tette arányossá és így az entrópiatörvény azt mondja ki, hogy „minden fizikai és kémiai állapotváltozás úgy folyik le, hogy az állapot valószínűsége emelkedik", „a valószínűtlen állapotra tehát mindíg egy valószínűbb állapot következik be", vagy még közhelyszerűbben: „valamely állapot annál gyakoribb, minél valószínűbb" [*102*, 74]. Ha az entrópiát a rendezettség mértékének tekintjük, az entrópiatörvény akkor is egészen triviálisan hangzik: „a rendezettség mindíg kisebbé válik" [*34*, 56]. Ugyanilyen a megfogalmazás akkor is, ha az entrópiát a véletlen elem mértékének tekintjük: „a véletlen elem mértéke folytonosan növekszik".

Nem kell bizonyítgatni, mert közvetlenül szembeszökő, hogy e felfogások az entrópiatörvény lényegét gyökeresen megváltoztatták [*102*, 18]. Azelőtt nagyszámú — de nem egyetemes — tapasztalatnak a kifejezése volt, most a szintetikus gondolatnak a kifejezésévé vált. A gondolat megszabadította őt az ember megfigyelős és kísérletezős ügyességétől, a tapasztalatot kiűzte belőle és helyébe ült. Most már nem az általánosított tapasztalatot írja le, hanem azt fejezi ki, hogy a kigondolt véletlenek összetalálkozásának mi a kigondolt eredménye. Gondolati elvvé emelkedett s mint ilyen, a szűkszerűséget és a valószínűséget kapcsolja össze.

Nyilvánvaló az is, hogy a tételnek egyik vagy másik alakja, pl. az, hogy valamely állapot annál gyakoribb, minél valószínűbb, közönséges tautológia, mert az egyik szó ugyanazt fejezi ki, mint a másik. Még Planck is beletéved ebbe a tautológiába, amikor a tételt így okolja meg: „mert a rendezetlen, a közönséges, a megszokott mindíg valószínűbb, mint a rendezett, a kitűnő". Sajátságos továbbá az is, hogy a multat a rendezettség és a kisebb valószínűség, a jövőt pedig a rendezetlenség és a nagyobb valószínűség országának teszi meg. Mindezideig a fizika azon a nyiltan bevallott vagy magától értetődően feltett álláspontón állott, hogy a természeti jelenségek a régmult időkben is ugyanolyan szabályszerűségek szerint folytak le, mint amilyenek szerint a jelenben lefolynak. Azért kutatjuk

a jelenségeket, hogy a mult alapján a jövőre vonatkozó következtetéseinket elvégezhessük. Az új gondolati megállapításokat nagyon nehéz összeegyeztetni minden megismerésnek ezzel az alapjával.

Nyilvánvaló továbbá, hogy ezek a megfogalmazások valamennyien meg vannak terhelve mindazokkal a nehézségekkel, amelyek a „rendszer", az „állapot" és az „állapotváltozás" fogalmaival kapcsolatosak, olyan értelemben, ahogyan ez az okságról szóló részben előfordult. Itt újabb és nagyobb nehézségek is járulnak az ott említettekhez, amelyek a „rendezettség" és a „rendezetlenség", valamint a „véletlen elem mértéke" fogalmak meghatározatlan voltában rejlenek.

Az entropia-törvény új alakjai tulajdonképpen valami egészen mást akarnak kifejezni, mint azt, ami bennük tényleg ki van fejezve. A háttérben ugyanis az a ki nem mondott hipotézis rejlik, amely szerint a természet magáévá teszi azokat a szabályokat, amelyeket a matematikusok a valószínűségszámítás alapján kigondolnak. A matematikusok azonban a természetre való tekintet nélkül, önkényesen gondolják ki ezeket a szabályokat és kisebb-nagyobb erőltetéssel erőszakolják rá a természeti jelenségekre.

Az új felfogásnak értékét mindazonáltal nem lehet tagadni. A matematikus-fizikusok vele újabb segédeszközöket kaptak. Gondolataik szélesebb területeken és szabadabban száguldhatnak, mint azelőtt. Nem kötik őket többé az analízis merev kötő szabályai. A valószínűség fogalmával olyan összefüggéseket eszelhetnek ki, amilyenekre azelőtt nem lehetett gondolni. És ha az ilyen módon szintetikusan megszerkesztett összefüggéseiket a tapasztalat utólag igazolja, az kétségen kívül nyereség a fizikai megismerés számára.

## 6. *A világ végállapota.*

Sajátságos jellege fizikai megismerésünknek, hogy nem elégszünk meg a tapasztalhatóság és a meghatározhatóság területére eső jelentésével, hanem mindig továbbvisszük, kiterjesztjük az értelem rendelkezésére álló fogalmaknak szélső határértékeire is. Nem elégszünk meg a törvényszerűségnek a jelenre, a közvetlen környezetre, a közelmultra és a közeljövőre való következményeivel, hanem tovaszáguldunk vele a tér és az idő végtelenségeibe és boldogok vagyunk, ha ki tudjuk találni, mi folyik a csillagok világának szélső határain és mi történt billió évek előtt és mi fog történni billió évek mulva.

Az elme e sajátsága talán következménye annak a jóleső érzésnek, hogy az idő és a tér óriási távolságaiban nem zavar-

hat meg bennünket ismereteink nagy sokasága, ott gondolatvilágunk szabadon játszhatik egyetlen, vagy csak néhány fogalommal.

Az energiatörvény és az entropiatörvény is mindjárt megalkotása után kiterjesztődött a csillagok világába és az idők kezdetébe és végébe. Már Helmholtz levonta a végső következtetéseket: minden energia az idő folyamán alacsony hőmérsékletű hőenergiává alakul át és szétoszlik a világűrbe. Minden további változás lehetősége megszűnik, minden természeti folyamat megáll, elérjük a hőhalált. Ha a mai felfogás szerint ehhez még hozzátesszük, hogy az anyag is fokozatosan sugárzássá alakul át, akkor a végső állapotban nem lesz egyéb, mint az óriási üres világtér, benne egyenletesen eloszlott alacsony hőmérsékletű sugárzási energiával. A világ az energia tökéletes rendezettségének és a teljes valószínűtlenségnek állapotával kezdődött. Nem volt benne semmi véletlen elem, az entropia értéke egyenlő volt a nullával. Azután elkezdődtek a világ folyamatai, az entrópia elkezdett növekedni, az állapotok fokozatosan kevésbbé rendezettekké, tehát mindinkább valószínűbbekké váltak, a véletlen elem érdeke folyton nagyobbodott. Elérkezett a jelen állapot, amely hasonló módon fog tovább változni a jövő felé, mindaddig, amíg az entropia el nem éri maximumát, a tökéletes rendezetlenséget, a véletlen elem teljes uralmát, a legvalószínűbb állapotot, a teljes egyformaságot, a hőhalált.

A világ szomorú vége, amelyhez az entropiatörvényből vont következtetések vezettek, sok gondolkodót arra indított, hogy újabb hipotézisek alkotásával a szomorú végállapotot elkerülhetővé tegyék.

Így közelfekvőnek látszott a hipotézis, amely szerint az entropia folytonos növekedése csak a mai érának jellemző tünete, az emberi időszaknak rövidsége nem ád elegendő alapot a feltevésre, hogy a mai korban tapasztalt változás örökké ugyanebben az irányban fog lefolyni. Nagyon könnyen lehetséges, hogy az irány ellenkezőre fog fordulni és olyan korszak fog bekövetkezni, amelyben az entropia fogyni fog [*24*, 261].

Jeans egy másik lehetőség gondolatát vetette fel *[67]*. Lehetséges, hogy a mi világunkba anyag áramlik folytonosan be a tér valamely más dimenziójából. A gondolatot, noha kiváló tudóstól származik, nem lehet komolyan venni, mert nincs objektíve létező olyan tér, vagy téridő, amelynek egyik dimenziójában lyuk lehetne, amelyen a másik világból anyagot lehetne beléje önteni. „Ilyen állításról nehéz teljes lelki nyugalommal nyilatkozni. Nyilvánvaló, hogy abszolúte semmit sem jelent, sőt rosszabb a semminél, mert teljes értelmetlenség", írja Northrop [*93*, 155].

A kvantummechanika gondolatvilágában egy harmadik

lehetőség is szerepel. Ha a Napban és a csillagokban az anyag sugárzássá alakul át és kisugárzódik a világűrbe, akkor nem lehetetlen, hogy a tér távoleső zugaiban a sugárzások anyaggá sűrűsödnek, az anyag pedig csillagokká kögül össze. A szétszóródott, alacsony hőmérsékletű sugárzási energiákból tehát anyag, magasabb rendezettségű anyagállapot és értékes energia keletkezik.

Ilyen póthipotézisek alkotására azonban semmi szükség nincs, mert magából az entrópiatörvényből és az egész kialakulási folyamat áttekintéséből meg lehet állapítani, hogy a végállapotra vonatkozó következtetések ingatag alapon állanak.

Lehetetlen észre nem venni, hogy az entrópia-fogalomnak a valószínűség fogalmával való összekapcsolása és a tér és az idő határértékeire való kiszélesítése számos új szót teremtett, amelyeknek nincs határozott értelmük. Mert mit jelent pl. ez a szó: „teljes rendezettség"? A matematikusok sokféleképpen próbálták meghatározni, de megegyezésre jutni nem tudtak. Hasonlóképpen nem tudjuk mit jelent az, hogy „az energia teljesen rendezve" van. Az is, hogy a világ kezdeti állapotában nem volt semmi „véletlen elem" és hogy az átalakulási folyamatokban, mint állapotmeghatározó tényező nem szerepelt, szintén olyan megállapítás, amelyhez határozott értelmet fűzni nem tudunk. A véletlen jelentése az ember megismerésével függ össze, azért inkább fordítva lehetne gondolni, minél előbbre haladunk az időben, annál kevesebbet tulajdonítunk a véletlennek. Értelmetlen dolog az is, amikor a kezdetbeli teljes rendezettséget a teljes valószínűtlenség fogalmával kapcsoljuk össze. Ha teljesen valószínűtlen, akkor miért állítjuk a világkilalakulási folyamatok élére?

Ha e nehézségeket figyelmen kívül is hagyjuk, felmerül rögtön a további kérdés: hogyan jött létre a teljes rendezettség? A létrejövés tervet és tervezőt követel, ilyennek feltételezése pedig hiányzik a tudomány alapelvei között, sőt minden téren úgy vannak azok berendezve, hogy feltételezésére ne legyen szükség. Ha azonban a tervezőt mégis feltesszük, furcsa, hogy, amikor magas értelmiségénél fogva a világban teljes rendezettséget tud teremteni, ugyanakkor magára is hagyja és engedi, hogy a véletlen szerint vakon rohanjon megsemmisülése felé. Az ilyen Isten fogalma az értelem szerint is alacsonyabb rendű, mint a hívő lelkek Istenének a fogalma [*93*, 156].

Ugyancsak nem tudjuk, mit jelentenek a következő megállapítások: „az energia teljesen rendezetlen lesz", „a világ a teljes valószínűség állapotába jut", „a véletlen elem uralkodóvá válik". Maguk a matematikus-fizikusok is nagyon különböző állásponton vannak, amikor e szavakhoz jelentést akarnak fűzni. Eddington [*34*, 62] pl. lehetségesnek tartja, hogy a világ

elemei a tökéletes rendezetlenség állapotának elérése után újból megint minden lehetséges elrendezésbe jutnak, tehát, ha elég hosszú ideig várunk, minden elem megint ugyanabba az elrendezésbe jut, amelyben ma van, vagyis a mai állapot megismétlődik. Viszont lehetségesnek tartja azt is, hogy a tűzhelyre tett víz az elemek felcserélődésének elve szerint egyszer véletlenül megfagy, tehát olyan állapotváltozás jöhet létre, amilyen sohasem volt. Nyilvánvaló, hogy a kártyakeverés szerencsétlen analógiája, amelyhez a permutálásra vonatkozó okoskodásokat fűzni szokás, ébresztette benne ezeket az egymásnak ellentmondó megállapításokat. Mások viszont a teljes rendezetlenséget végleges állapotnak tekintik, amelyből minden visszatérés, vagyis a kisebb-nagyobb fokú rendezettségeknek újból való helyreállítása lehetetlen.

A valószínűség fogalma a matematikus-fizikusoknak segédeszközt adott spekulatív gondolati tervezgetéseik végrehajtásához, azonban az idő határaira való kiszélesítése értelmetlenségekhez vezetett.

Egyszerű megfontolások mutatják továbbá, hogy a világban vannak folyamatok, amelyek a rendezettség újból önmagától való helyreállítását mutatják. Ha a gázok hűlnek, lecsapódnak, cseppekbe kögülnek és megjelenik rajtuk a felületi feszültség. Ez pedig potenciális energia, tehát a legértékesebb energiák egyike. Ha a hűlés tovább folytatódik, az anyag kikristályosodik, vagyis a molekulák és az atomok rácsokban rendeződnek el. Ez megint értékes potenciális energia. A rendezetlenségből pedig rendezettség válik.

Honnan származnak ezek az energiák? Nyilvánvalóan nem jöhetnek valahonnan az űrből, hanem csakis a kaotikus gázállapot alacsoy hőmérsékletű hőenergiájából. Íme, tehát magában a szervezetlen világban is van az entrópiatörvénnyel ellenkező irányban lefolyó folyamat. A fémek igen alacsony hőmérsékleten még más szempontból is azt mutatják, hogy állapotukra nem érvényes az entrópiatörvény. Ismeretes, hogy a fémek egy része alacsony hőmérsékleten szupravezetővé válik és bennük indukált áram hosszú időkön át megmarad. Ebben az állapotban tehát nincs Joule-hő, nincs energiaszóródás.

Nem kétséges továbbá, hogy amikor a spekuláló elmék a fizika törvényeinek millió évekre terjedő érvényességéről beszélnek, azoknak dokumentumait csakis a Föld kialakulásának alakzataiban találhatják meg. Tehát az ásványtan és a geológia az a két tudomány, amely a fizika törvényeinek igen hosszú időkre szóló érvényességét igazolhatná. E két tudomány tanai azonban nem egyeznek az entrópia-törvénnyel. A tapasztalatok szerint a Föld belsejének legnagyobb részét kitöltő magma az anyagok teljes keveréke. Ha kijön a Föld felszínére,

bazaltos és andezites kőzetekké válik. Ezek tényleg mutatják is az anyag teljesen kevert állapotát. Azonban a régmúlt időkben a felszínre került bazaltos és andezites kőzetek nincsenek a teljes keveredettség állapotában, mert különböző anyagokat elkülönült állapotban mutatnak, tehát a teljesen összekevert anyagfajtáknak valamikor szét kellett válniok és el kellett rendeződniök.

Hasonló folyamatoknak kellett lefolyniok a tenger vizében. Ebben is nagyszámú anyag van teljesen keveredetten feloldva. A régi korszakok tengereinek vizében is csak ilyen állapot állhatott fenn. A bennük lévő anyagoknak, különösen a sóknak azonban valamikor szét kellett válniok, mert azokat ma elkülönülten, mint kálisókat, mint nátriumsókat és mint egyéb sókat külön rétegekben lerakódva találjuk meg. Valamilyen hasonló folyamat folyhatott le a régi tengerek iszapjában is. Ezekből is ki kellett válni a sónak, mert a mai agyagrétegek minden tapasztalat szerint a régi tengeri iszapból alakultak ki, pedig ezek ma sót nem tartalmaznak. A rendezetlenség itt is visszafejlődött és bizonyos fokú rendezettség lett belőle.

Még nagyobb fokú a rendezettséggé való átalakulás a szerves világban. A korallok a tenger vizében feloldott kálciumvegyületekből hegyeket építenek. A növényekben az anyag a talajból felemelkedik és potenciális energiát nyer. Ugyancsak a növények a levegőben lévő széndioxidból szenet és oxigént választanak ki, amelyek mint nagyon értékes vegyi energiák felraktározódnak. Igaz, hogy ehhez a Nap magasfokú sugárzási energiája is szükséges. De, hogy nem feltétlenül szükséges, mutatja az, hogy a gombákban hasonló folyamat folyik le a nélkül, hogy a Nap sugárzási energiájára szükség volna. Az azonban kétségtelen, hogy a növényt körülvevő, szétszóródott energiának és anyagnak rendezetlen keveredettsége szükséges hozzá.

Azt szoktuk mondani, hogy ez a szétszóródott energia kisugárzik a világűrbe? Honnét tudjuk ezt? Sehonnan. Ez csak analógia alapján megalkotott képzelmény, amelyet semmiféle közvetlen tapasztalat nem támogat. Soha senkinek nem volt módjában mérni, vagy csak kvalitatíve észlelni ezt a kisugárzást. Az azonban kétségtelen tény, hogy a növények környezetük szétszóródott és rendezetlen energiája és anyaga nélkül nem végezhetnék az anyag és az energia rendezésének és felhalmozódásának munkáját.

Az állatok teste még magasabb fokú rendezettségről tesz tanúságot. Az egész szerves élet általában sok olyan folyamatot is mutat, amelyek ellenkező irányban folynak le, mint ahogyan azt az entrópiatörvény követeli. Itt az energiák nemcsak szétszóródnak és elértéktelenednek, hanem össze is kögülnek, koncentrálódnak és értékessé válnak. Az entrópiatörvény által kö-

vetelt folyamatok a bonyolódott szervezettségtől az egyszerűbb szervezettség felé, a szerves élet folyamatai az egyszerűbb szervezettségtől a bonyolódottabb szervezettség felé haladnak. Amazok az egyformaság felé, emezek az elkülönülés felé irányulnak. Az az energia, amely ott szétszóródik, elaprózódik, elértéktelenedik, itt felhalmozódik, összekögül és értékessé válik. A szerves élet tehát legnagyobbrészt ellenkező irányban folyik le, mint ahogyan azt az entrópiatörvény követeli [*93*, 156]. A két folyamat azonban nem zárja ki egymást, sőt úgy foghatjuk fel, hogy a szerves élet csak azért lehetséges, mert a szervetlen élet legnagyobb részében az energia és az anyag szétszóródik. Itt is tehát, mint a tudomány oly sok más részében, két ellentétes és egymást kiegészítő fogalom szükséges a jelenségek teljes leírásához.

Az entrópiatörvény tulajdonképpen gondolati következménye annak, hogy a világot nagy űrnek képzeljük, amelybe mindenféle energia önmagától beleömölhetik. Ha megváltoztatjuk ezt a tapasztalat által nem igazolt képzetet és az egyes tapasztalatokat a többitől elkülönítve nem általánosítjuk és nem tesszük meg az egyedül uralkodó elvnek, akkor eltűnik az alap, amelyből kiindulva a szomorú végállapotra következtetünk.

Az entrópiatörvény következményeinek megvizsgálásában még egy fontos körülményre kell tekintettel lennünk, amelyre Dingle mutatott rá először [*24*, 260]. A világ kezdetére és végére vonatkozó következtetésekben az idő úgy szerepel, mint valami reánk kényszerített abszolút dolog. Nyilvánvaló, hogy ez nem helyes felfogás. A kozmikus események sorrendje ugyan reánk van kényszerítve, az idő fogalmának teljes meghatározásához azonban ez nem elegendő. Még a mértékrendszer megállapítása is szükséges hozzá. Ez pedig nincs ránk kényszerítve, hanem tőlünk függ, tehát konvención alapszik.

A tudomány időmérési rendszerét a Föld egyenletes forgásának hipotézisére építette fel. Az idő fogalma révén ez a hipotézis minden fizikai törvényünkbe belekerült. Tehát az energia és az entrópiatörvénybe is bele van szövődve. Ezek következménye a tan, hogy a Napnak és a csillagoknak hűlniök kell. Minthogy azonban semmiféle tapasztalat sem mutatja hülésüket, a fizika legsúlyosabb problémájává vált a kérdés: miért nem hűlnek, holott hűlniök kellene? Különféle elméletek állítódtak fel megmagyarázására, de ez elméletek megalkotásához olyan törvényeket használtak, amelyek magukba foglalják a Nap és az állócsillagok hülését.

Minden tapasztalatunk ezzel szemben azt mutatja, hogy a Nap, kisebb-nagyobb ingadozásait nem tekintve, folytonosan egyenletesen sugároz. Jogunk van tehát ezt olyan alaptételnek tekinteni, amelyet nem kell külön megokolni, ahogyan a Föld

tengelyforgását is ilyen alaptényneknek tekintjük. Jogunk van időmérési rendszerünket a Nap egyenletes sugárzására alapítani. Az idő e fogalmára felépített fizikai rendszerben tehát nem volna hőenergia-szétszóródás.

Hogy milyen irányban látszanak végbemenni a jelenségek, az a mérési rendszerek megválasztásától, a konvenciótól is függ. Arra a kérdésre, hogy a világ hogyan kezdődött és hogyan fog végződni, a konvenciótól függetlenül feleletet adni nem tudunk. Bizonyos, hogy a világ, ha kezdettől fogva a káosz felé vezető úton haladt volna, már rég el is érte volna azt, mert ha a jövő felé végtelennek képzeljük el az időt, éppen olyan joggal a mult felé is végtelennek kell azt elképzelni. A mult felé végtelen időben tehát a káosznak már rég be kellett volna következnie.

A mindenség végállapota tehát semmi egyéb, mint túl gyors általánosításoknak a következménye [*85*, 710]. A nem jogosan kiválasztott és a nem jogosan általánossá tett tételeknek logikai következménye. „A logika az logika, ennyi az egész", ahogyan azt Eddington az agnoszticizmustól nem teljesen érintetlenül kifejezte [*34*, 62]. Az olyan logika azonban, amely a sok egyenlő jogú törvény közül egyet kiválaszt és következményeit levonja, a többivel pedig nem törődik, logikának is rossz logika.

# XV. A FIZIKAI MEGISMERÉS ÉS AZ ÉRTELEM.

## 1. *Az értelem.*

Az ember gondolatvilágában már régi idők óta különféle elnevezésekkel két fogalomkör szerepel, amelyek mai nap az *értelem* és a *természet* szavakba tömöríthetők össze. Az első az embertől függő, a második a tőle független jelenségek eredetét és okát jelöli meg. A két szóhoz fűződő fogalmi elemek azonban egymástól nem függetlenek, mert számos vonatkozás van köztük. Tehát egymáshoz kapcsolt fogalompárt alkotnak, és mint ilyenek részben egymással ellentétben álló, részben egymást kiegészítő jelentéseket foglalnak magukban. A tudományban az új gondolatoknak hosszú sorozata alakult ki arra a célra, hogy velük a két fogalomhoz fűződő ellentétességek kiegyenlítődjenek és kapcsolataik megállapíttassanak.

Egy ilyen kiegyenlítő gondolatfolyamat a két fogalom közé a *fejlődés* fogalmát csúsztatta közbe, amely az értelmet mint a természetben magában meglévő ős folyamatnak az eredményét állította be. Már az ókori görög természetfilozófusok a természetet olyannak tekintették, amely észrevétlen lassúsággal működő kozmikus *kialakulási* folyamatokkal jött létre. Empedoklesz a földet, a vizet, a levegőt és a tüzet tette meg az átalakulás kezdő elemeivé: „ezekből az elemekből alakult ki minden, ami volt, ami van és ami lesz: fák, férfiak, asszonyok, állatok, madarak és víztáplálta halak, sőt maguk a hosszú életű és tiszteletben gazdag istenek is“ [*21*, 179].

A 19. század biológusai sokkal pontosabban dolgozták ki a gondolatot és a tapasztalatok igen nagy számának alapjára állították a *fejlődési elméletet*, amely szerint a növények és az állatok szervezetét az élet változó fizikai feltételei és a bennük meglévő ős eredeti adottságok alakították ki azzá, amik. Az embert szerveivel és értelmével együtt szintén e fejlődési folyamat termékének tekintik.

Nagyjából látjuk is, hogy a növény- és állatfajok folytonos fejlődési sorozatba sorozhatók és hogy testi szervezet tekintetében megvan a majdnem folytonos átmenet a legfejlettebb állattól az emberig. A biológusok számos észlelettel azt is

megállapították, hogy bizonyos szervek átalakulnak, ha új fizikai viszonyok közé kerülnek. Kétségtelennek kell tehát tartanunk, hogy a szervek a fizikai környezettel való érintkezésben és hatása alatt alakultak ki. Azért van szemünk, mert a természetben meglévő az az ismeretlen ős valami, amit fénynek nevezünk, alakította ki a szem szerkezetét és azért van fülünk, mert az ugyanott lefolyó, jól ismert rezgési folyamatok alakították ki a fület. A kialakulás folyamata évmilliókon keresztül lassú, apró, észrevétlen fokozatokban folyt le, amíg előállt az a tökéletesnek látszó szerkezet, amelyet a szem és a fül mutat, és amelyeket az ember fizikai megismerése alapján utánozni, pótolni, kiegészíteni, élesíteni, tökéletesíteni iparkodik. Az elmélet azzal is kecsegtet, hogy az évezredek egymást követő sorozata után szerveink újabb átalakuláson is átmehetnek és újabb szervek is keletkezhetnek, amelyekkel újabb érzetekre és műveletekre leszünk képessé.

A fejlődési folyamat az ember számára kivételes szerepet jelölt ki, mert őt a csúcshelyzetre állította és összeségükben a leghatékonyabb szervekkel látta el. Noha el tudjuk képzelni, hogy az embernél tökéletesebb felszerelésű lény is létezhetnék, tapasztalataink azonban kivétel nélkül azt mutatják, hogy itt a Földön ilyen nincsen és nem is sejtjük, melyek volnának és milyenek lehetnének a jelenségek, amelyeket nem a természet fizikai folyamatainak, hanem valamilyen, az embernél tökéletesebb lények működésének kellene tulajdonítanunk.

A többi élőlény közötti csúcshelyzetét azonban az ember nem szemével, fülével és a többi érzékszervével szerezte meg, mert ezekhez hasonlókkal — sokszor jobbakkal — a magasabbrendű állatok is rendelkeznek, hanem kezével, lábával, idegrendszerével és agyával. A kéz és a láb a fizikai műveleteknek hosszú sorát teszi lehetővé, amelyekkel az ember a tisztán érzékszervekkel szerezhető szűkkörű és szegényes tapasztalatait megnövelhette, a külvilágra hatást tehetett, adottságait módosíthatta, új természeti adottságokat teremthetett, a természetbe új fizikai folyamatokat állíthatott be és alkotásaival a Föld felszínét tele rakhatta. Az idegrendszer a természetnek fizikai hatásait az agyba és az agyból kiinduló mozgató impulzusokat a kézhez és a lábhoz vezeti. Az agyban pedig a külvilágnak fizikai hatásai, valamint az embernek a külvilág felé irányuló hatásai valami módon rögzítődnek, átalakulnak, agybeli alakzatok, neurogrammok keletkezhetnek, amelyek az ember értelmének gócpontjaivá válnak. Bennük kevéssé ismert folyamatok folynak le, amelyek azonban a fiziologusok szerint tisztán fizikai-kémiai természetűek. Ezek a molekuláris és sejtbeli folyamatok, a változások, a „mutációk" és a „variációk" volnának testi alapjai a gondolkodásnak és az értelem kialakulásának.

Az agy és kapcsolata az idegrendszerrel és egyéb szervekkel fokozatosan fínomodó, gyarapodó szervezetté alakulna át és minthogy az egyesek által kitalált célszerű műveleteket az embertársak is utánozzák, aminek következtében az ő agyukban és idegrendszerükben is létrejönnek a változások, a tökéletesedés a természetes kiválasztódás útján szélesebb körökre kiterjedne, az elődökről az utódokra öröklődnék és az egész emberi faj a tökéletesedés felé haladna.

A fejlődési elméletnek különféle ágazatai a tényeknek és a gondolatoknak nagy sokaságával felépített tudományos rendszerek. Ismertetésük és kritikai vizsgálatuk célunktól távol áll. Csupáncsak két megjegyzésre szorítkozunk. Az elmélet szerint a természet fizikai erői ember alakjában olyan lényt hoztak létre, aki a természet bilincseitől szabadulni, a reá rótt feltételeket megváltoztatni, a természetben meg nem lévő új erőket teremteni, szóval a természet fölött úrrá válni képes. Ha az ember — a biblia gondolakörét használva — megmaradt volna a paradicsomban, ahol a természet mindent készen nyujtott volna neki, akkor a természet gyermeke és olyan rendű maradt volna, amilyen a természet. Minthogy azonban a paradicsomból kiűzetett, létföltételeivel küszködve, magasabb rendűvé és a természet fölött úrrá vált. Kétségen kívül nagy ellentmondás van abban a felfogásban, hogy a „vakon", gépszerűen, automatikusan lefolyó fizikai folyamatok olyasvalamit tudnak létrehozni, ami felettük úrrá válni, velük rendelkezni képes.

Második megjegyzésünk a fejlődés határára vonatkozik: meddig mehet az? Értelmünk mai állapota szerint azt kell gondolnunk, hogy a „mutációk" és a „variációk", amelyekből az elmélet szerint az új dolgok származnak, valamikor az összes lehetséges eseteket kimerítik, amikor az ember további tökéletesedése megszűnik, az értelem eléri végleges állapotát, a természetről való ismereteink is ilyen állapotba jutnak, mindent megismerünk, ami megismerhető, mindent fölfedezünk, föltalálunk és megalkotunk, ami fölfedezhető, föltalálható és megalkotható. Különös azonban az, hogy a filozófusok az értelmet már most véglegesnek, tökéletesnek tekintik és e felfogásuk alapján szerkesztik meg rendszerüket, az elméleti fizikusok is a természetről való mindenkori ismereteinket véglegeseknek tekintik és a már ismeretes fogalmi elemekből építik fel a természetről és a nagy mindenségről felfogásukat. Nagy ellentmondás az, hogy amikor az értelmet és a természetet élénken változó fejlődési folyamatban levőnek tekintik, ugyanakkor számukra véglegesen kész szerkezeteket írnak elő.

Az értelem szerveinek külsőleges szemléletét óriási szakadék választja el működésük belső szemléletétől, vagyis attól,

ahogyan az tudatunkban megnyilatkozik. A *tudat* nemcsak a lélektannak, hanem minden tudománynak súlyos szava, amelybe az alapokra vonatkozó minden kutatásnál belebotlunk. A tudat, vagyis annak a ténynek a megjelölése, hogy tudunk valamit vagy valamiről, tovább-bonthatatlan ős emberi sajátság. Tudományos meghatározása lehetetlen. A sajátságos az, hogy fogalomköréhez a különféle „tudatalattiságok" is hozzátartoznak. Miként a fény fogalmához nemcsak a „látható", vagyis a szemre ható fény, hanem a láthatatlan vörösöninneni és ibolyántúli fény is hozzátartozik, azonosképpen a tudathoz a „tudatalatti" tudatoknak különféle fajai is hozzátartoznak. A tudat birodalma az óceánhoz hasonló, amelyben a valóságos tudat csak a felszínen lévő hullámokat jelenti, a többi tudatok pedig a felszín alatti vizekből és különféle áramlataikból állanak. Egész lelki életünknek csak kis részei jutnak fel a tudat felszínére és azok sem fejezhetők ki mindig szavakkal.

A fizika ismeretelméletével foglalkozó művek rendesen csak az érzékszervi érzetekből és a magasabb rendű absztrakt fogalmakból álló tudatokat veszik tekintetbe. Csak kevés figyelmet szentelnek a műveletekből eredő tudatoknak, pedig ezek az embergépezet ösztönös tudatalatti mozgásaitól kezdve a legmagasabb rendű értelmi munkáig fontos alkatrészét alkotják értelmünknek. Nélkülük igazi érzékszervi észrevétel sincs, mert ez is csak akkor válik az értelem hatékony segédeszközévé, ha tudatalatti innervációkkal kapcsolódik. Az ember maga is csak akkor válik igazi emberré, ha a különféle műveletek innervációit magában kifejleszti úgy, hogy a műveletek „tudat alatt" folynak be és reflexszerűen ismétlődnek. E nélkül nincs járás, úszás, autó- és repülőgép-vezetés, de beszéd és írás sincs.

Teljesen figyelmen kívül hagyják azokat a „tudatalatti" tudatokat, amelyek az egyént belekapcsolják az emberi közösség tudatába. Mások hatásának tudomásul vétele és saját magának mások számára való tudatossá tétele a tudatnak legfontosabb alkatrésze. Már a kis gyermeknél kezd kialakulni és valószínű, hogy a tudatnak ez a része az, amely először kerül a tudat küszöbe fölé, amikor is a szülők vagy a dajka mint olyan hatalom alakul ki tudatában, akitől minden jó származik és az is mind, ami vele történik. A kis gyermeki szervezetnek az a legfontosabb tudatalatti problémája, hogy a maga állapotát, jó vagy rossz érzéseit hogyan tudassa ezzel az ismeretlen hatalommal. És tudatossá válik előtte, hogy sírását rendszerint más állapotba való jutása követi. Mi az, ami később a még beszélni nem tudó, de már eszmélni kezdő kisgyermek tudatát szülőivel és a körülöttevalókkal összekapcsolja? Ugyanaz, ami a néger szolgát a művelt európaival összeköti: a meg-

mutatás, a rámutatás, az arcjáték, a jelbeszéd, a taglejtés. Az értelemnek ezek az első közlési eszközei. A felnőtt művelt ember küszöbön felüli tudatából már kiestek, azonban küszöb alatt ma is kísérik gondolkodásunkat és cselekvéseinket. A jó tanár, amikor szeme ide-odasiklik a tanulók arcán, ösztönösen megérzi, hogy megértették-e vagy sem. A társaságban sokat forgolódó ember ugyanúgy megérzi, hogy valamely kijelentése milyen hatást tesz a társaság egyes tagjaira.

Annak a legnagyobb része, ami a fejlődő egyén tudatába később belejut, az emberi közösségbe való belekapcsolására vonatkozik. Megtanul beszélni és írni. A mások hatása és a másokra való hatás áttevődik a beszédre, annak hangos és írásos alakjára. Értelme első sorban azokból az alkatrészekből rakódik össze, amit a szülők, a nevelők, a tanítók, a tanárok, a felnőttek mondanak neki. Később a könyvekből meríti értelmének további elemeit. Amikor így bizonyos ellentmondásokhoz jut, akkor kezdődik tulajdonképpen önálló egyéni értelme. De azért annak túlnyomó nagyrésze továbbra is — elenyésző csekélységeket nem tekintve — az előző nemzedékek értelmének alkatrészeiből rakódik össze. Nemcsak a könyvek, hanem a Földön található eszközök, gépek, épületek, utak, szociális berendezések is az emberi közösség értelmének a megnyilatkozásai; minden egyén elszakíthatatlan kötelékekkel kapcsolódik beléjük. A munkás, a földműves, az iparos, a kereskedő, a hivatalnok, a politikus, a tudós a közösségből kap hatásokat értelme számára és a maga értelmét is a közösségre tett hatásával kell bizonyítania.

A tudós értelme is csak a közösségbe való bekapcsoltságával működhetik, még akkor is csak így, ha a legabsztraktabb filozófiai, fizikai vagy matematikai problémákkal vesződik és ha tudata is van arról, hogy csak kevesen értik meg azt, amivel foglalkozik. Az előző nemzedékektől és kortársaitól veszi az értelem elemeinek legnagyobb részét és saját önálló értelmi alkotásaival is a kortársakra és az utódokra akar hatást tenni.

Az emberi közösségbe való bekapcsoltságnak a tudata *hit* alakjában nyilatkozik meg. A gyermek hisz a szülők, a nevelők, a tanítók, fejlődésének további folyamán a tanárok, a tudósok, a könyvek tanításában. A hit őskezdetű lelki állapot, az első értelemszerű tevékenység és a legfejlettebb emberi értelemnek is egyik alkatrésze, amelyet más elemekre szétbontani nem lehet. A fizikába, a természettudományokba és minden más tudományba is belement. A tudomány hittel kezdődik, a legfejlettebb részében is sok marad belőle és hittel végződik. A tudósnak is hinnie kell abban a roppant sokban, amit nem maga állapított meg, abban is, hogy az a roppant kevés,

amit maga hozott létre, tudós társainak a hitébe belemegy és az emberi értelem tökéletesedéséhez hozzá fog járulni, de abban is, hogy igen sok van, amit a tudomány még nem tudott az értelem alá hajtani. Amikor a tudós laboratoriumában vagy íróasztala mellett dolgozik, sokkal bonyolultabb hitekkel dolgozik, mint a hívő lélek, amikor a templomban imádkozik.

Amióta az ember feltalálta a nyelvet, azóta tudatának egy része szavakhoz fűződik és ezek a hozzájuk fűződő tudatokkal mint fogalmak szerepelnek. Az évezredek hosszú sora alatt az értelemben a különféle rendű és rangú fogalmaknak nagy sokasága alakult ki és jelentésük többé-kevésbbé állandósult. A legnagyobb számban a tapasztalati fogalmak fordulnak elő, amelyek az érzékszervi és műveleti tudatok emlékképeiből közvetlenül alakultak ki. De nem maradnak meg abban az alakban, ahogyan azokat a külvilág fizikai hatói vagy az embernek a külvilág felé irányuló hatásai elsődlegesen létrehozzák, hanem egyes elemek kiesnek belőlük, összeolvadnak, kigömbölyödnek, leegyszerűsödnek és általános képzetekké vagy általános fogalmakká válnak. Nem is rakódnak mozaikszerűen egymás mellé, ahogyan az időrendben egymásután jönnek, hanem összeszövődnek, egymás mellé és egymás alá rendelődnek és belőlük magasabb rendű absztrakt fogalmak keletkeznek. Ha ez nem volna így, akkor lelki életünk az egyes tudatok óriási káoszából állana, amivel nem lehetne, mit kezdeni. Az értelmet éppen az jellemzi, hogy tudattartalma rendeződik, fogalmai között hierarchikus rend és a kapcsolatok sokasága keletkezik, többé-kevésbbé határozott rendszerbe szövődnek és az egész tudattartalom egységessé, egyszerűvé és áttekinthetővé válik.

A magasabb műveltségen át nem ment embernek tudatállománya nagyobbrészt emlékképekből és általános képzetekből áll, csak nagyon kevés magasabb rendű fogalom van köztük, nagyobbrészt mozaikszerűen vannak egymás mellett, kapcsolataik is hiányosak. Az ilyen ember értelme valósággal éhezik a magasabb rendű fogalmakra és ha valami ilyesfélét hall vagy olvas, igyekszik azt fogalomrendszerében elhelyezni, ami a legtöbbször gyarlón sikerül neki. A közönséges élet fogalmai is nagyobbrészt olyan kategóriába tartoznak, mint az egyszerű emberé, azzal a különbséggel, hogy az állam, a nemzet és a társadalmi rend, valamint a divat és a szokás fogalmai nagy nyomatékkal bírnak. A nagy revolúciók rendesen ezeket a konvencionális elemeket küszöbölik ki és helyettesítik más, ugyancsak konvencionális elemekkel.

A tudományok velük szemben lehetőleg sok magasabbrendű fogalomra, jelentésüknek definíciókkal való lehetőleg szoros körülhatárolására, a közöttük lévő hierarchikus rend-

nek és a kapcsolatoknak lehetőleg teljes kiépítésére törekszenek.

Az értelem legnevezetesebb tulajdonsága a gondolkodás. Az új dolgok feltalálása, a fogalmak kialakulása, a tényekre való következtetés és az ember cselekvési elhatározása is gondolkodás útján megy végbe. A folyamatot részben belső lelki kényszerek, részben a külvilág hatásai akaratunktól függetlenül váltják ki, részben pedig az embernek a külvilág felé irányuló hatóképességei és az élet feltételei akaratunktól függően idézik elő.

Ez a folyamat is évezredes fejlődésnek az eredménye. Az őskorban, miként a ma élő primitív emberek gondolkodásának vizsgálata is mutatja, még nagyon fejletlen volt. Nem állt egyébből, mint a gyakori tapasztalatok által kifejlesztett emlékkép-kapcsolatoknak a tudat küszöbe fölé való idézéséből. Az etnológusok erre vonatkozólag a feltűnő példáknak sorozatait gyüjtötték össze [lásd *110*, 53—75]. E példákkal szemben azonban meg kell jegyezni, hogy nem merítik ki a primitív emberek gondolkodásának típusait, mert náluk a tudatalatti gondolkodási folyamatok is nagy szerepet visznek. A műveltség és a tudomány haladásával a különböző értelmi rétegek részére különféle gondolkodási módok alakultak ki és váltak szokásossá.

A fizika ismeretelméletével foglalkozó művek rendesen abból az alapelvből indulnak ki, hogy gondolkodni csak fogalmak segítségével lehet, tehát azokra a szkémákra szorítkoznak, amelyek az irodalmi közleményekben fordulnak elő. A kérdés azonban bonyolultabb, semhogy ilyen szkematikusan el lehetne intézni. Megvilágítására négy különböző esetet veszünk tekintetbe.

Az első legyen a kutató új gondolatokat teremtő gondolkozási folyamata. Mindenekelőtt az új problémának kell benne kialakulnia. Ez néha egészen rövid idő alatt történik meg, néha azonban hetek, hónapok, sőt évek szükségesek hozzá. Vannak gondolkodók, akikben a probléma évek hosszú során át érlelődött. A szabatos alakban kialakult probléma tulajdonképpen már az új gondolat megteremtődésének a fele útját jelenti. A különböző kutatási területeken a tárgyak és az eszközök különbözők, de a probléma-állításnak és a megoldás keresésének a menete nagyjából mindenütt ugyanaz és lényegében a nagy alkotó művészek gondolati folyamatától sem különbözik. A fogalmak, az elvek, a szillogizmusok szerinti gondolkodásnak alig van benne szerepe. Helyette próbálgatások, tapogatózások, kombinálgatások és a képzelő erő teremtő játékai vezetnek célhoz. Ide-oda való ugrálásaikat lehetetlen figyelemmel követni,

mert nagyobbrészt a tudat küszöbe alatt folynak le és csak néha-néha emelkedik a tudat küszöbe fölé valamely, a lélek mélyén rejtőzködő tudati elem és kapcsolódik fogalomhoz. A probléma és megoldása rendesen a tudat küszöbe alatt érlelődik és csak bizonyos nyugalmi időköz eltelte után válik egészen határozottá és késszé. A legabsztraktabb tudományokban, közöttük a matematikában és a matematikai fizikában is ilyen úton születnek meg az új gondolatok. Poincaré maga leírta, hogy legtöbb találmányára ilyen úton jutott rá [*100*, 50—56].

Hasonló helyzetben van a legtöbb ember, amikor a közönséges élet problémái fontos elhatározások elé állítják. Miután bizonyos időn át tudatosan foglalkozott a kérdéssel, a nyugalmi időben tudat alatt érlelődik elhatározása és azután az szinte pillanatok alatt a tudat küszöbe fölé emelkedik. Utólag rendesen csodálkozik azon, miért nem tudott rögtön rájutni.

A harmadik esetben, amikor elhatározásunkkal és gondolatainkkal nagyobb embertömegre akarunk hatni, a szavak és a fogalmak már fontos szerephez jutnak. Ilyenkor azonban már nem arra valók, hogy elhatározásunkat, pártfoglalásunkat, határozati javaslatunkat megállapítsák, hiszen e tekintetben már az előbb leírt módon döntöttünk, hanem arra valók, hogy velük a hallgatók vagy olvasók gondolatainak kialakulását kedvezően befolyásoljuk. Úgy választjuk meg szavainkat, hogy a hallgató vagy az olvasó figyelme a hozzájuk fűződő meghatározott dolgok meghatározott viszonyaira korlátozódjék és szögeződjék és hogy az általunk tervbe vett elhatározás mint szükségszerű következmény álljon elő. Gyakori forma: az ellenkező véleménynek „ad absurdum" vitele. Ebben az esetben tehát fontos szerephez jut a fogalmak szerint való gondolkodás.

Hasonló, de még szorosabban előírt pályán mozognak a tudományos közlemények gondolatsorai. A szakszerű tudomány kothurnusban jár, formái meg vannak állapítva, útjai ki vannak taposva. Az új gondolatok megteremtőjének ezeket követnie kell, akárhogyan jutott is azokra reá; gondolatait a meghatározott formák prokrusztesz ágyába kell fektetnie, ha azt akarja elérni, hogy a többi tudós elfogadja és értékelje. Nem szabad megfeledkeznie arról, hogy kritikus főkkel van dolga, akiknek készültségük és idejük is van ahhoz, hogy a közölt gondolatsorokat minden oldalról megvizsgálhassák. Tehát jól definiált fogalmakból és elvekből kell kiindulnia, következtetéseit a bennük szereplő elemekre kell alapítania, ismeretes szillogizmusokkal, megszokott és divatossá vált beszédmódokkal kell dolgoznia. Csak Mayer Róbertnek tragikus sorsára kell gondolnunk annak teljes átláthatása végett, hogy a hivatásos szaktudósok (aminő Poggendorff volt, aki Mayernek dolgoza-

tait ismételten visszautasította) mennyire rabjai a szokottá vált formáknak. Az igazi nagy gondolatok azonban ritkán jelennek meg ilyen alakban, hanem formával, fogalmakkal, hierarchikus rangsorukkal, logikával nem törődve törnek elő az emberi értelem mélységeiből. Utólag persze mindig megint alapelvekbe, fogalmakba, gondolkodási formákba, logikába öltöztethetők, Madách szavai szerint „nyűgül talán, de szárnyakul soha" az emberi értelem újabb előtörései számára.

Kétféle beszédmód vált szokásossá, azt is mondjuk, hogy az értelem fogalmakból és gondolkodási folyamatokból rakódik össze, de azt is, hogy az értelem gondolkodik és alkotja a fogalmakat. E körbenforgás az oksági törvénynek szokásossá vált alkalmazásából származik, de nem foglal magában ellentmondást, vagy tautológiát. Itt őseredeti lelki tényekről van szó, akár így, akár pedig amúgy mondjuk. A két kifejezési lehetőség abból származik, mert a tudatalatti és a tudat küszöbe fölötti ismereteket választóvonallal nem tudjuk egymástól elkülöníteni és az akaratnak bekapcsolódását sem ismerjük.

A tudat tartalmának kezelésében tehát az értelmet megtesszük az általános alanynak, a legfőbb oknak, vagy Nietzsche kifejezése szerint a legfőbb „tettes"-nek. Ezen az alapon a beszédmódoknak sokasága keletkezett. Az értelem szintetikus munkát végez, fogalmakat teremt, elveket kitűz, hipotéziseket csinál, metaforákat választ, szimbolumokat elfogad, elméleteket alkot. A tudat tartalmának egyes részeit szétválasztja, elkülöníti, kiválasztja, összehasonlítja, általánosítja, belőlük határfogalmakat és absztrakt ideális fogalmakat alkot. Fogalmait belenézi a természeti jelenségekbe, de azért az új tapasztalatokba is beleéli magát, az élet követelményeihez alkalmazkodik, fogalmait az új megismeréseknek megfelelően módosítja, átalakítja, kiegészíti. A tapasztalatot szétbontja elemeire, alapfogalmakra és alapelvekre vezet vissza mindent. Ha jobb rendszer kínálkozik, szétrombolja azt, ami ellenáll, új geometriát és annak alapján új világfelfogást teremt. Ha a végtelenségbe botlik bele, azt kilöki és helyébe a véges határtalanságot állítja. Ha azt látja, hogy a régi atom a tapasztalat rendezésére nem képes, új elemi alkatrészekre bontja és számukra új mozgási törvényeket eszel ki. Ha eddigi számai nem elégítik ki, teremt transzfinít számokat, matrixokat, operátorokat. Az értelem a természetet átalakító, a multat értelmező, a jövőt meghatározó valami egész, szuverén uralkodó, fennhatósága kiterjed az összes tapasztalatokra. Mindenek fölé emelkedik, még sincs készen, sohasem volt készen, hanem folyton növekedő, finomodó, újból és újból rendeződő tudati szerkezet.

## 2. *Az egységesség és az egyszerűség elvei.*

Az értelem követelményei között mindenek előtt az *egységesség elve* szerepel. Filozófusok és elméleti fizikusok gyakran hivatkoznak arra, hogy a természetnek mindenütt és mindig egységesnek kell lennie. „Az elv alapja lett minden kutatásnak, amely a valóságra vonatkozik. Ha nem hinnénk benne, nem volna értelme a természettörvények felállításának." [72, 46]. És valóban a mai elménkkel könnyű is elképzelni, hogy már az ősember, amikor barangolása közben mindenütt ugyanazokat a dolgokat és folyamatokat látta, fölismerhette az elvet.

A dolog azonban nem olyan egyszerű, amilyennek látszik, mert az elvnek minden megfogalmazásában súlyos szavak szerepelnek, amelyek inkább problémákat jelölnek ki, de nem adnak határozott jelentéssel bíró fogalmakat. Azt kell gondolnunk, hogy kialakulását meg kellett előzniök azoknak a szétválasztó és a határra átmenő gondolati folyamatoknak, amelyek értelmünkben az egyenlő — különböző, az állandó — változó és az egész — rész fogalompárokat hozták létre. E fogalompárokban foglalt tartalmi jelentések nélkül az egységesség elvének jelentése meg sem adható.

A filozófia történetéből tudjuk is, hogy az elv az ógörög filozófusok gondolatkörében más módon és pedig egyidőben két, egymással ellentétben álló megfogalmazásban kezdett kialakulni. A jón természetfilozófusok szerint a világ bizonyos alapelemekből keletkezett és bizonyos folyamatokkal folytonosan átalakul. Az elvnek legszélsőbb következményei szerint nincs sehol nyugvás, csak folytonos mozgás van. Nincs állandó lét, csak folytonos változás van. A világ lényege a folytonos kezdet és vég. Minden dolog pillanatnyi átmenet a két ellenkező között. Minden keletkezés ellentétek fellépése az egységben. De éppen ezekben az ellentétekben van a harmónia, a törvény, a „logosz", mert ez határozza meg a változást. Az eleáták szerint ezzel szemben a világ nem keletkezett, nem is fog keletkezni, mert mindig a jelen szerint van meg, egy és osztatlan, nem múlandó, hanem változatlan és vég nélkül való. Ami volt, mindig volt és mindig lesz.

Amikor Arisztotelesz az ókori görög tudást összefoglalta, jó érzékkel belátta, hogy e két fölfogást nehéz összeegyeztetni, azért az egységesség elvét félretolva, világfelfogását a különbözőség elve alapján szerkesztette meg. Az álló csillagok világa a legtökéletesebb anyag, forma, mozgás, a szigorú törvényes viselkedés, az isteni nyugalom és az egyenletesség világa, szóval minden tekintetben a legnagyobb tökéletesség. A Földön ezzel szemben a gyarlóság, a zavartság uralkodik, a testek különféle anyagokból vannak összetéve, különféle szövevényes

alakban jelentkeznek, különböző tulajdonságokkal vannak felruházva, különféle mozgásokat végeznek. Ezért a Föld az örökös növekedés és fogyás, az örökös keletkezés és elmúlás, az örökös változás és különféleség világa. Az álló csillagok tökéletes és a Föld tökéletlen világa között a bolygók világa a tökéletlenből a tökéletesbe való átmenetet képviseli.

Arisztotelesznek a tökéletes és a tökéletlen világ létezésére vonatkozó felfogása és az, hogy amaz az Égben, emez pedig a Földön van megtestesítve, a legteljesebb megértésre talált a keresztyén világfelfogásban, annak alapfelfogásává vált és a természet egységességének elvét teljesen félretolva, közel kétezer éven át uralkodó világfelfogássá vált.

Az egységesség elvét Galilei és Kepler előzetes munkái alapján Newton állította ismét vissza. A reális tudományok alapjainak kitűzése mellett ebben volt nagy hatásának a forrása. Nincs külön égi és külön földi fizika, hanem egységes világtörvények uralkodnak mindenütt; az égi és a földi mozgások azonos fogalmakkal és azonos törvényekkel fejezhetők ki. Sőt Newton a statikának és a kinematikának a dinamikába való egyesítésével és a megmaradási tételeknek megállapításával az ókori görög filozófia két ellentétes álláspontját, a folytonos megmaradásnak és a folytonos változásnak elveit is kiegyenlítette.

Érdekes azonban megfigyelni, hogy az ógörög filozófiának az egységességre vonatkozó két ellentétes világfelfogásbeli nézete hogyan tér ismét vissza az újkor fizikájában.

Először a 18. század matematikus-fizikusai elevenítették fel Arisztotelesznek az Ég tökéletességére vonatkozó felfogását és kiterjesztették a földi jelenségekre és az egész világra. A világ a legtökéletesebb, tehát minden téren valamilyen legtökéletesebb tulajdonságot — matematikai szempontból maximumot vagy minimumot — kell mutatnia és a természetnek minden folyamatát a legtökéletesebb módon kell elvégeznie. E meggondolás szülte a legkisebb működés, a legkisebb kényszer és a legkisebb hatás elveit. De nemcsak ezek, hanem Newtonnak mozgási egyenletei is úgy kezdtek szerepelni, mint a világ egységességét kifejező világformulák. Megszerkesztésük a matematikus-fizikusok törekvéseinek végcéljává vált. E törekvésnek egyik részleges eredménye az általános relativitási elmélet mezőtörvénye. De Einstein is, mások is arra törekedtek, hogy belőle olyan formulát szerkesszenek, amely nemcsak a tétlenséginehézségi, hanem az elektromágneses jelenségekre is, tehát az összes jelenségekre érvényes legyen. A kvantumelmélet körében is megvan az ilyen irányú törekvés.

A 19. században a világ egységessége számára egy új fogalom, az energia fogalma alkotódott meg és belőle kisarjadt

az energeticizmus, mint új egységes világfelfogás, amely az anyagot is az energiába olvasztotta bele és a természeti jelenségekben nem lát mást, mint energiaátalakulási folyamatokat. Az ókor két ellentétes világszemlélete közül, amelyeket Newton egyesített, a jón természetfilozófusoké nyomult ismét az előtérbe. Folytatódott az atommechanikában. Nincs semmi állandó, minden, ami van, mint részecskék örökös mozgása, vagy mint hullámok örökös tovaterjedése fogható fel. Nincs állandó lét, hanem csak folytonos levés van.

Azonban az eleata fölfogás sem engedte magát legyőzetni. Az új fizikának másik alakjában, a relativitási elméletben kelt új életre. Az idő, a változásoknak ez a képviselője a téridő négyméretű világában elvesztette önállóságát és uralkodó szerepét. A változások világa a négyméretű világba beolvasztva mint levés megszűnik és egyszerű létté alakul át. A mult, a jelen és a jövő a világvonalban egybeolvad és mint örökké változatlan lét van feltüntetve.

A világ egységességének szempontjából ott állunk, ahol a görög filozófia állott a Krisztus előtti 5. században. Két ellentétes világszemlélet küzd egymással és nincs valószínűség arra, hogy kiegyenlítődjenek. Sőt magának az egységességnek az elve is veszélyben forog, mert ismeretelméleti szempontból megvan a teljes alap arra, hogy a mindenség világát három egymástól különböző világra, a közvetlen tapasztalat, a makrokozmosz és a mikrokozmosz világára osszuk fel, amelyeknek jelenségei saját törvényeik szerint folynak le és csak bizonyos korreszpodencia-elvekkel hozhatók egymással összefüggésbe.

Sajátságos az is, hogy az egységesség elve alapján alkotott fizikai elméletek különféle lehetőségeket és következményeket mutatnak, amelyek teljes ellentétben állanak a kiindulási alappal. A mechanikai alapelvek érvényességének ellenére egy, a világűrből jövő égi test a bolygórendszer mozgását megzavarhatja, az energiatörvény érvényessége mellett a Nap a „Nova"-csillagokhoz hasonló állapotba juthat, amikor is olyan hatalmas hőmennyiséget küldhet a Földre, hogy itt minden gőzzé alakul át, utána pedig sugárzása olyan alacsony fokra száll alá, hogy itt a levegő is megfagy.

Az elméletek a kataklizmatikus változásokon kívül lassan működő változásokat is megengednek. A Földön található anyagok lassanként oxidálódnak, az oxigén megkötődik, tehát a légkörből eltűnik. A víz kipárolog a világűrbe, vagy elfolyik a Föld belseje felé és így felülete homoksivataggá alakul át. De ha ezektől meg is kímélne a sors, az energia- és az entrópiatörvény uralma alatt maradunk továbbra is, az energiák kisugárzódnak a világűrbe és reánk az egész világgal együtt a hőhalál vár. Az anyag sem marad állandó, lassanként átala-

kul, lerombolódik, végeredményben sugárzássá válik és mint ilyen, szétfoszlik a világűrben. A csillagok világa sem volt mindig és nem lesz mindig olyan, amilyen most. A világ valamikor ismeretlen embrionális állapotban volt, 2000 millió év előtt szétrobbant és azóta folyton tágul.

Mindezek a lehetőségek azt mutatják, hogy a természet nem lehet egységes és a ma ismert folyamatai sem maradnak meg változatlanul, hanem függnek az időnek korszakaitól, az epoháktól. Sajátságos nagy ellenmondás: a természet egységességének elve alapján felállított törvények olyan következtetésekhez vezettek, amelyek teljes ellentétben állanak az alapelvvel, amelyből ki lettek következtetve.

Hol találjuk ennek a nagy ellenmondásnak a magyarázatát? Abban, hogy az egységesség elvét nem a természet kényszerítette reánk, azt a tapasztalat általánosan nem igazolta, hanem az értelem bizonyos szűkebb körű tapasztalatokra támaszkodva alkotta meg és önkényesen általánosította a mindenségre. Bizonyos folyamatokat kiválasztott és a többire nem is tekintve, önkényesen a világegyetem általános folyamataivá tett meg, a szűkkörű tapasztalat számára általános érvényességet követelt. A „mindenség", az „egységesség" sem olyan szavak, amelyeknek határozott fizikai jelentése volna, az „ugyanaz"-t fizikailag nem lehet megállapítani, a „mindig" és a „mindenütt" a tér és az idő mértékeitől függ, amelyeket nem a természet kényszerít reánk, hanem magunk választunk önkényesen. Az egységesség elvének tehát határozott fizikai jelentése nincs, a hozzája fűződő imbolygó képzetek azonban alkalmasak arra, hogy az értelem képző és kombinálgató képességét ingerelve gondolatokat ébresszenek.

Az egységesség elve gondolatot indító és módszert megállapító heurisztikus elv, nem természettörvény. Mint ilyen, hatalmas tényező a hipotézisek, alapelvek, alapfogalmak redukálásában. A fizika egyes ágai, amelyek azelőtt különálltak, e módszer alkalmazása következtében összeolvadtak. Nem a természet, hanem az értelem ökonómiája indított arra, hogy a jelenségek óriási káoszában az egységet keressük mindenütt, ahol megtalálható.

Az egységesség elvével kapcsolatban szokott szerepelni az *egyszerűség elve* is. Poincaré a kettőt egynek is tekinti [*98*, 133]). Nyilvánvaló azonban, hogy jelentéseik csak egyes esetekben egyezők, más esetekben különbözők, több esetben pedig ellentétesek. Az egyszerűség elve a következő kifejezésekben fejeződik ki: „a fizikai megismerésnek egyszerűnek kell lenni", „a jelenségek vizsgálatánál a legegyszerűbb esetekre kell szorítkozni", „a fizika feladata egyszerű összefüggéseket

keresni", „a jelenségeket egyszerű fogalmakkal és elvekkel kell magyarázni és egyszerű feltevésekből kell levezetni", „az általánosításoknál egyszerűségre kell törekedni".

E kifejezésekben nincs megmondva, hogy az „egyszerűség" szó mit jelent. Jelentéseinek megállapítása tehát az értelem állapotától és önkényétől függ. Amit az egyik ember egyszerűnek tart, azt a másik ember bonyolódottnak látja.

Ha az egyszerűséget olyasvalaminek definiáljuk, amit az értelem könnyen felfog, akkor éniségünkhöz legközelebb álló, legmegszokottabb fogalmakra kell gondolnunk. Ilyen például a fáradtság érzete. A régi emberek csakugyan nagyon egyszerűnek tartották a tant, hogy napi útjában a Nap elfárad, tehát lenyugszik és hajón viteti magát a világot körülvevő óceánon át nyugattól keletre. Egyszerűnek találták azt a magyarázatot is, hogy az eldobott kő elfárad, azért szűnik meg mozgása és hogy minden mozgásnak előbb-utóbb meg kell szűnnie.

Ugyanezen az alapon szövődtek be gondolatvilágunkba a természeti dolgokra alkalmazva a következő kifejezések: átadás, átvevés, összetevés, szétbontás, kibocsátás, elnyelés, megkezdés, elvégzés, vonzás, taszítás, egyesülés, szétválás, erősítés, gyengítés, kiindulás, találkozás és a hozzájuk hasonló kifejezések, amelyeket a fizika ma is használ és nélkülözni nem tud. Egyszerűek, mert mi magunk is csináljuk, jelentésük benne van értelmünkben és izomzatunkban is. Ha a fecskék világában fejlődött volna ki az értelem, fizikájukban nem ezek, hanem a repüléssel kapcsolatos, megszokott műveletek volnának az egyszerűek.

Amikor az ember feltalálta a rajzolás műveletét, ugyanezen az alapon a legegyszerűbbeknek tüntek fel előtte azoknak a műveleteknek az eredményei, amelyeket a legkevesebb fáradsággal tudott megalkotni és szerkezetükben is a legkevesebb részlet volt. Ilyen a pont, az egyenes, a kör és az egész számok sora. E fogalmak egyszerűségüknél fogva váltak a geometriának, a matematikának, a fizikának legtöbbször használt alapfogalmaivá és beleevődtek a tér, az idő, az anyag és az energia fogalmaiba is. Az ókor filozófusai a szerkezetben megnyilvánuló egyszerűséghez a tökéletesség fogalmát csatolták. Így vált a gömb, a legegyszerűbb szerkezetű, tehát a legtökéletesebb test az égi jelenségek hordozójává. Az maradt máig, mert a csillagászok az égi jelenségeket ma is a szimbolikus éggömbre vetítik.

Mint legegyszerűbb fogalom, a pont felsorolhatatlanul sokféleképen épült bele a fizikába. A testeket, a teret, az egész mindenséget, sőt az időt is pontszerű alakzatokból gondoljuk összerakottaknak. A mikrokozmosz pontszerű alakzataihoz sajátságos módon ugyanazok a képzetek fűződnek, mint a gömb-

höz, viszont a makrokozmosz gömbjei a tapasztalati észlelésben szerepelnek mint pontok.

Az ókor filozófusai a legegyszerűbb és a legtökéletesebb mozgásnak az egyenletes körmozgást tették meg. Azonban Galilei értelmében az egyenes vonalú egyenletes mozgás tűnt fel a legegyszerűbbnek. Az egyenletes körmozgás az idő mértékévé, az egyenes vonalú egyenletes mozgás pedig minden mozgás összehasonlító alapjává vált. A fizikában szereplő minden mozgás értelmünkben lényegben véve e két legegyszerűbbnek tartott mozgás összetevődéséből épül fel.

Mindezek a megismerések nem adódtak közvetlenül a tapasztalatból, hanem az értelem szerkesztő munkájának voltak az eredményei, azonban a gondolkodók belenézték magába a természetbe. Kialakult a meggyőződés, hogy a természet mindenütt a legegyszerűbb. A skolasztikusok ezt tanították és a tant tőlük Galilei is átvette. A természet a dolgokat szükség nélkül nem szaporítja, a legkönnyebb és a legegyszerűbb eszközökkel dolgozik, szükség nélkül nem tesz semmit, felesleges okokkal fényűzést nem csinál.

Galilei az egyszerűség elvéből módszertani szabályt is vont le: a természeti jelenségeket a legegyszerűbb feltételek mellett kell vizsgálni és a magyarázatokban a legegyszerűbb föltevésekből kell kiindulni. Ez tulajdonképpen azt jelenti, hogy a gyakran előforduló jelenségtípusokból absztrakt ideális eseteket kell szerkeszteni és absztrakt fogalmakat kell alkotni. Newton Galilei gondolatait tovább fűzte. Nem elégedett meg a negatív megállapítással, hanem egészséges megismerési elvet alkotott: a természeti dolgoknak csak annyi okuk van, amennyi igaz és a jelenség megmagyarázásához elegendő. Amikor dinamikáját a tér, az idő, a tömeg és az erő fogalmaira és a három alapelvre alapította, az egyszerűség követelményének igyekezett eleget tenni.

Ha csak az alapfogalmakat vesszük tekintetbe, Newton rendszere valóban egyszerű, de az alkalmazásokban súlyos következményekkel jár. Három égi test esetében Newton mozgási egyenletei megoldhatatlanok, a bolygómozgásokban létrejövő háborgások csak egyes esetekben és csak közelítőleg számíthatók ki. Egyszerű az ide-oda rezgő pont mozgása is, azonban nagy bonyolódottság keletkezik, ha a rezgő mozgás közlődését és tovaterjedését kell leírni. A tudomány a jelenségek lényeges részének lefolyását tehát a végtelen kicsinybe helyezte és a differenciál-egyenletekben kifejezett fizikai törvények tűntek fel olyanoknak, amelyek a legegyszerűbbek és az általános világformulák ilyen alakban fejeződnek ki.

Az új fizika elveinek alkalmazása más tekintetben is súlyos következményekkel járt: a tapasztalat a legtöbbször össze-

hasonlíthatatlanul egyszerűbb, mint az egységesség elvén alapuló magyarázat. A gázok egyszerű mechanikai, kémiai, optikai és elektromos tulajdonságokat mutatnak, a tudomány ezt az egyszerűséget a molekulák mozgásainak és ütközéseinek káoszává oldotta fel. Még bonyolultabbá válik e káosz, ha tekintetbe vesszük, hogy a tudomány a molekulákat és az atomokat újabb bonyolódott szerkezeteknek tekinti. Egyszerű az elemeknek a színképelemző készülékkel látható színképe is, a tudomány azonban ezt az egyszerűséget is bonyolódott és részleteikben fölismerhetetlen kvantumugrásokkal, valószínűségi hullámokkal és statisztikai törvényszerűségekkel magyarázza. Van-e egyszerűbb jelenség, mint az elektromos szikra? A tudomány azonban ennek az egyszerű jelenségnek a magyarázatába úgyszólván összes fogalmait, a gáz összetételét, az elektródanyag tulajdonságait, az ión-elméletet, a lökésszerű ionizáció elméletét, a vezetőktől és a környezettől függő kapacitást és indukciót, a rezgési és csillapodási törvényeket, az energia szétszóródását beleszerkesztette. A tudomány azután a statisztikában, a valószínűségben és a nagy számok törvényében látta meg a legnagyobb egyszerűséget, de újabb kibogozhatatlan bonyolódottságot teremtett. Ez csúcspontját a relativitási elméletben és a kvantumelméletben érte el.

Dirac az egyszerűség fogalmának helyébe a „szépség" fogalmát tette. Szerinte az egyszerűség és a szépség fogalmai azonosak, a kutatóknak matematikai szépségre kell törekedniök, a relativitási elméletnek is az a kiváló tulajdonsága, hogy nagy a matematikai szépsége [*29*, 122] és bizonyára ugyanaz a véleménye a kvantummechanikáról is.

Ha Ön hegytetőn áll és szemét körülhordozza a tájon, erdőt, ligetet, legelőt, rétet, folyót, patakot, sziklákat, házakat, falukat, városokat, felhőket, embereket lát és ez a nagymértékű bonyolódottság mint megszokott, egyszerű, szép tájkép tűnik fel gondolatvilágában. Ha azonban most részletesen próbálja elgondolni, hogy ez az egyszerűség miből áll és milyen fizikai jelenségek és törvények alapján jutott be az Ön tudatába, rettenetesen bonyolódott és kibogozhatatlan kaosz támad elméjében. Ha azonban most arra gondol, hogy a tudomány szerint itt nincs semmi más, mint elektronok, protonok, neutronok és fotonok mozgása, akkor újból megjelenik az egységesség és az egyszerűség fogalma. Ha azonban Ön továbbhaladva, ezeknek az individuumoknak, akár mint részecskéknek, akár mint hullámoknak a mozgását próbálja elgondolni, elképzelhetetlen és legyőzhetetlen kaosz támad újból elméjében. Önnek be kell tehát látnia, milyen nagy jótétemény a természetkutatók számára egy matematikai formula, amely megkímél az elgondolásoktól és az elképzelésektől és meg kell értenie, hogy a

tudósok azt becézgetik, ápolják, fejlesztik, hogy az számukra szép, hogy épp azért kímélik, a tapasztalat tényleges kiszámítására nem igen használják, hanem csak gondolataikat bujtatják beléje.

A természet sem nem egyszerű, sem nem bonyolódott, hanem a reá vonatkozó fogalmaink egyszerűek, vagy bonyolódottak. Az ideális absztrakt fogalmaink, az okfogalmak, a hipotézisek egyszerűek, de ez az egyszerűség csak látszólagos, mert rettenetesen bonyolódottá válik, ha a tapasztalatokat egyenként, részletesen akarjuk előállítani.

### 3. *A matematika és a fizika.*

Könyvünk számos helyén volt alkalmunk rámutatni arra, hogy a matematika és a fizika közös forrásból fakadt és közös talajon nőtt nagyra. Azok a műveletek, amelyekkel járni, egyszerű testeket készíteni, idomokat rajzolni, dolgokat csoportosítani, egyik csoportból a másikba áttenni, hozzáadni, elvenni, nagyobbítani, kisebbíteni, egyenlő hosszúságokat egymás után rakni és más hasonló műveleteket végezni lehet, alakulnak ki a mai gyermekben és alakultak ki az őskor primitív embereiben is mindkét tudomány számára az alapelemek, különösen pedig azok, amelyek az egyenlő — különböző, az egész — rész, az állandó — változó fogalompárokhoz fűződnek.

Ha az egész számok feltalálásának lélektani alapjait keressük, nem kell Kronecker szárnyra kelt mondását követnünk, amely szerint az egész számokat még az Isten teremtette, a többi mind emberi alkotás, hanem azt kell feltennünk, hogy az Isten egyenlő és különböző dolgokat teremtett, az embert pedig érzékszervi és műveletvégző képességekkel ruházta fel és ezzel képessé tette arra, hogy az egész számokat és a többi számokat megalkothassa.

A gyermek már játékai közben megszerzi az egyenlő — különböző, az egész — rész, a nagyobbítás — kisebbítés, a hozzáadás — elvevés, a csoportalakítás lelki elemeit. Amikor az elemi iskolába jut, ezek alapján és a számológép egyenlő golyóinak segítségével könnyen bevezetődik az egész számok és a velük való műveletek ismeretébe. Az ősembernek nem volt szüksége ilyen mesterséges gépre, mert saját testén ujjaiban találta meg. A kínaiak között ma is vannak olyanok, akik ujjaikon 10,000-ig is tudnak számolni a nélkül, hogy az egész számok nevét ismernék. Nálunk is és a Balkánon is vannak árúsok, akik számolási műveleteiket ujjaikon végzik. Szokásos továbbá valaminek megszámolását vonásoknak csoportokban való rajzolásával végezni. Nem kétséges, hogy a tizes számrendszer a

kéz ujjain való számolásokból alakult ki. A számok eleinte nem is jelentettek mást, mint az ujjak és a dolgok közötti vonatkozásokat.

A valóságos dolgok megszámlálása ma is csak testi műveletekkel, sorbaállítással, csoportokba rendezéssel, áteregetéssel, átrakással végezhető el. A számoknak egymás után való puszta elgondolása sem sikerül testi műveletek nélkül. Ha e művelet közben magunkat megfigyeljük, észrevesszük, hogy a kimondáshoz szükséges izommozgásokat megjelentetjük; hang csak azért nem keletkezik, mert a szükséges légáramot tüdőnkből nem indítjuk el. Azt is érdekes megfigyelni, hogy a számoknak egymásután való kimondása rendesen valamilyen más testi műveletet, taktus-verést, lábdobbanást is megindít, vagy pedig a lélekzéssel jut harmóniába.

Az egész számok teljes sorozatának kifejlesztésében a legfontosabb lépés annak tudatossá válása volt, hogy műveleteink egy részét *akárhányszor* tudjuk elvégezni és hogy a lélekzés és a szívverés mozgásai *folytonosan, végnélkül* következnek egymás után. Tehát azok is, akik — mint például Weyl [*121*, 53] — a végtelensokszort tekintik a matematika alapfogalmának, annak lelki alapját megtalálják műveletvégző képességünkben.

Nem kétséges, hogy a számtani alapműveleteket a gyakorlati életben leggyakrabban előforduló testi műveletek (hozzáadások, elvevések, megismétlések, fizikai osztások) fejlesztették ki. A számféleségeknek lelki alapjai is nyiltan állanak előttünk. A törtszámok a dolgok egyenlő részekre való fizikai osztásának a következményei. Az irracionális számok a geometriai szemléletből a folytonosság fogalmának lelki jegyei alapján alakultak ki. A negatív számok egy jelnek évek hosszú során át bevált használatából fakadtak, lélektani alapjuk az ellentétes fogalompárok kiterjedt használatában van. A képzetes és a komplex számoknak megfelelő matematikai formák is a gyakorlatban előbb jelentek meg, mint önálló matematikai definíciójuk. A logaritmus feltalálásához a numerikus számítások megrövidítésére irányuló törekvések vezettek.

A magasabb rendű matematikai fogalmaknak legnagyobb része szintén a tapasztalattal, a szemlélettel és a fizikával kapcsolatban alakult ki.

Az egyiptomi építészek a hajlásszögek állandóságának biztosítására állandó arányszámú távolságokkal dolgoztak. Már a régi emberek is felismerték, hogy a Nap ugyanazon állása, tehát sugarainak ugyanazon hajlásszöge mellett a függőleges tárgyaknak és árnyékuknak arányszáma ugyanaz. E fizikai megismerésekből alakult ki a hasonló háromszögeknek és a trigonometrikus függvényeknek a tana. A trigonometriát

és a gömbgeometriát gyakorlati feladataikkal a csillagászok és a földmérők fejlesztették ki. A trigonometrikus függvények a fizikai megismerések hosszú sorával kapcsolatban váltak a matematikának egyik leghatalmasabb alkatrészévé.

A koordinátarendszert egyiptomi építészek találták fel és a középkor arab csillagászai fejlesztették tovább. A végtelen sorokkal való számolások terület- és térfogatszámításokkal kezdődtek. A függvények fogalma a fizika oksági elvének révén vált az újkori matematikának legfontosabb fogalmává. A „limes" fogalma a mozgás fogalmához fűződő képzetek nélkül ki sem alakulhatott volna.

Az infinitezimális számítások fogalmainak és műveleteinek feltalálásában és kifejlesztésében az érzéki szemlélet volt a leghatékonyabb segédeszköz. Newton „fluens" és „fluxio" szavai egyenesen reámutatnak a szemléleti eredetre, Leibniz pedig az ugyancsak szemléleti eredetű folytonosság fogalma alapján dolgozott. Az integrál fogalmát és az integrálási műveleteket fizikai feladatokból eredő számítások fejlesztették ki és sokszor útmutatást is adtak a megoldáshoz.

A differenciál-egyenletek és a magasabb rendű függvények kialakulásánál geometriai, mechanikai, nehézségi, rugalmasságtani, térképelési, hidrodinamikai, potenciálelméleti, elektromos és mágnességi feladatok szolgáltak alapul. A vektoranalízist és a tenzorok tanát is nagyobbrészt fizikusok fejlesztették.

A legfontosabb matematikai fogalmak, a nagy analitikai elméletek, az alapvető módszerek tehát a fizikai megismeréssel kapcsolatban születtek meg. Szemléleti és tapasztalati forrásaikat megtaláljuk mindenütt, ahol elegendő történeti adat áll rendelkezésre. A természet tanulmányozása volt az a termékeny talaj, amelyből a matematikai problemák és megoldásuk módszerei fakadtak. „Miután a fizika lóra segítette, azután már könnyen lovagolhatott a matematika" [*66*, 91]. Viszont igaz az is, hogy a segédkezést a matematika viszonozta, mert találmányaival a jelenségek értelmezéséhez megfelelő gondolati kifejezéseket, a fizikai feladatok megoldásához és a nyers tapasztalati adatok átdolgozásához kitűnően működő módszert adott. A két tudomány sokszorosan összebogozódott szövevényes rendszerré vált, amelyben mindegyik rész a másik által kapta meg teljes értelmét és jelentését. A fizika számára a matematika megbecsülhetetlen értékű segédeszközzé vált.

Minthogy a természet megértésére és a gyakorlati alkalmazásokra feszülő emberi értelem legnagyobb szellemi munkáját ott fejtette ki, ahol az eredmény matematikai alakban volt kifejezhető, azért az általános érdeklődés a matematikai alakú fizikai elméletek felé fordult. Alkalmazásuk a szabatos-

ságnak, a pontosságnak, a bizonyosságnak csalhatatlan jele gyanánt tünt fel. Az a meggyőződés keletkezett, hogy a természetmegismerések szabatos matematikai bizonyítékokkal kaphatják csak meg teljes értéküket. Kant felállította a tételt, hogy minden természettudományban csak annyi tudomány található, amennyi benne a matematika. Abból, hogy a matematika a tapasztalat útján szerzett megismeréseket új formákba tudja átalakítani, az a következtetés vonódott le, hogy egészen új megismeréseket is tud teremteni, tehát benne valami sajátlagos képességnek kell rejlenie. Kialakult a matematika szinte korlátlan hatásképességében vetett hit, amely metafizikai színezetben azt is jelentette, hogy mindennek alapjában ott van a matematika, mint a teremtőnek egyetlen emberileg fölfogható sajátsága. Ez a hit a kutatókat arra késztette, hogy a természetmegismerés problémáit mindent átölelő matematikai formalizmussal igyekezzenek megoldani.

A matematikában vetett hitből két ismeretelméleti irányzat, a *tiszta matematizmus* és a *fizikai matematizmus* alakult ki.

A matematikai beállítottságú elméket sok lelki indíték hajtotta a tiszta matematizmus felé. Mindenek előtt a fejlődésnek a rendes menete, mert ez legtöbbször az elkülönülés irányában halad és specializálódással véli elérhetni a tudományos szabatosságot és pontosságot. A matematikusok a tapasztalathoz való kötöttségüket kényelmetlennek is érezték, szűkkörűnek is tartották és az emberi értelem szélesebb területeinek átölelésére vágyakoztak. Arra is ráeszméltek, hogy az emberi értelem már a régi görög tudományosság korában a tapasztalat előtt is járt és attól függetlenül és önállóan, pusztán meglevő lelki elemeire támaszkodva geometriai és számtani alakzatokat tudott szerkeszteni, amelyeket később a fizikai megismerés felhasznált, de ha ilyesféle nem is történt, azok önmagukban is érdeket keltettek. Úgy gondolták, hogy a tárgyi jelentőségű matematikai alakú tételekben nem is a tárgyi jelentés a fontos, hanem első sorban a kapcsolatok a fontosak, amelyek az egyes matematikai fogalmakat egymáshoz kötik és amelyek alapján az egyikből a másikra következtetni lehet.

E lelki indítékok hatása alatt a matematikusoknak egy része már a 18. században elvált a fizikától, problémáikat nem onnét vették, hanem attól függetlenül állították fel és önálló megalapozással és bizonyítással igyekeztek megoldani. A matematika önállóságára, a fizikától való függetlenségére ráeszmélve a „tiszta" matematika alapjainak megvetésére, módszereinek kitűzésére, rendszerének felépítésére és uralmának megalapozására törekedtek. Mindenekelőtt az volt a céljuk, hogy

azokat a fogalmakat és műveleteket, amelyek a 16. századtól kezdve a fizikai megismeréssel kapcsolatban szemléleti és tapasztalati alapon alakultak ki, ezektől függetlenül tisztán fogalmilag és formális módon alapozzák meg. A munka az infinitezimális számítások és az analizis fogalmaival kezdődött meg. Az érdeklődés azután az euklídeszi geometria felé fordult. Nem azt nézték, hogy fogalmainak és elveinek minő szemléleti és tapasztalati alapjuk van, hanem logikai összefüggéseit és szerkezetét tették vizsgálat tárgyává. Az elveknek némi megváltoztatásával és a fogalmaknak általánosításával logikai alapon újabb geometriákat sikerült szerkeszteniök.

A 19. század második felében azután a kiváló matematikus elméknek hosszú sora azon fáradozott, hogy az aritmetikának összes fogalmait, elveit és műveleteit szemléleti és lelki alapjuktól függetlenül, tisztán logikai formális tételek alapján, az egész szám fogalmára vezesse vissza. Ez a szám úgy tűnt fel, mint az értelemnek bonthatatlan végső eleme és mint a tiszta matematikának természetes alapja.

A geometria is aritmetizálódott és tiszta számtan, vagyis számszimbolumokból álló formulák rendszere vált belőle, ezen az alapon azután még újabb geometriák is szerkesztődtek. Az elméleti fizika matematikai szerelvényébe is belement ez a felfogás. Az is aritmetizálódott. A tiszta matematizmus híveinek a számtani megalapozás és a bizonyítás „bálvány volt, amely előtt magukat gyötörték" [*33*, 337]. E célra meghatározott szkémát állapítottak meg, amely szinte „kategorikus imperativus"-ként hatott.

Amikor mindent az egész szám fogalmára sikerült visszavezetni, végül e szám logikai megalapozásának a kérdése is felvetődött. E célra a halmazelmélet új tudománya szerkesztődött meg és eleinte úgy látszott, hogy az egész szám részére biztos alapvetést tud adni. Később azonban kitűnt, hogy bizonyos megoldhatlan és eltávolíthatlan ellentmondásokhoz vezet. A következmény az volt, hogy a figyelem a logika alapelvei és az axiomatikus módszer hatásképessége felé fordult. A geometriában és a számok problemájában alkalmazott eljárás megismétlődött. Újfajta matematikai logikák állítódtak fel és egy egészen újfajta tudomány, a szimbolikus logika, vagy logisztika is megszerkesztődött, amely az algebra mintájára betűkkel és különleges jelekkel fejezi ki a logikai kapcsolatokat.

A tiszta matematizmus tehát kitűzött elvének következetes keresztülvitelében kénytelen volt tisztán értelmi alapon az új tudományoknak egész sorozatát megalkotni. Ez a szerkesztési irányzat a matematika meglevő részeibe, az analizisnek tömör egészébe is behatolt és újabb elkülönüléseket, önálló tudományrészeket hozott létre.

A matematika tudománya, amelyről azt hittük, hogy szerves egészet alkot, az elkülönülten álló tudomány-parcellák nagyszámú sorozataira osztódott fel. Mindegyik önmagában áll, saját fogalmaival, elveivel és módszereivel dolgozik és kevés kapcsolata van a többi részekkel. Egy-egy ilyen parcellát a specialisták vesznek birtokukba, fogalomkörét, szakkifejezéseit, beszédmódját, módszerét elsajátítják és átdolgozzák, tehát azon belül szuverén uraknak érezhetik magukat. Bármilyen kicsiny legyen is területe, azt elsőrendű fontos dolognak és egyetemes jelentőségűnek tartják, megszerkesztett új fogalmaikért, alakzataikért, módszereikért akkor is lelkesednek, ha értékük elenyésző csekély. Folyton újabb és újabb problémákat vetnek fel és „végleg elintéznek", ahogyan szeretik mondani. Az ember látja az elintézést, de nem látja, hogyan keletkezett a probléma és miért kell vele foglalkozni.

Az egyes parcellákban meglevő fogalmaknak, alakzatoknak, szakkifejezéseknek és beszédmódoknak már is nagy sokaságát alap és szükség nélkül minden mértéken túl megnövelik [*113*, 22]. Vannak köztük olyanok, amelyek lényegükben ugyanazt fejezik ki, mint a régiek; olyanok, amelyeknek jelentése más parcella más alakú alakzatainak vagy szakkifejezéseinek jelentésével egyezik; olyanok, amelyek az úgynevezett „elegancia" kedvéért szerkesztődtek meg; olyanok, amelyeknek jogosultságát csak az új jelölési mód adja meg és olyanok is, amelyekkel megszerkesztőjük csak éleselméjűségét akarta igazolni.

Dolgozataikat az ugyanazon a területen dolgozó specialisták részére írják, akikről föl lehet tenni, hogy a szakkifejezéseket ismerik. A tudományos szaklapokban az ilyen publikációknak valóságos özöne jelenik meg. Más szakcsoportban dolgozók és az egyetemes érdeklődésű matematikusok csak ritkán vannak abban a helyzetben, hogy e dolgozatok legnagyobb részét előtanulmányok nélkül olvashassák és értékelhessék.

A tudománynak ilyenfajta fejlesztése, az elkülönített szűk tudomány-parcellákon való dolgozás és újabb parcellák felállítása folytatódik, a tárgy és jelentés nélkül önkényesen megszerkesztett gondolati alakzatok száma folyton növekszik és a tudományos szaklapokban raktárra halmozódik a nélkül, hogy igen csekély számú speciálistától eltekintve valaki is olvasná és a nélkül, hogy a tudomány egészére a legkisebb hatást tenne. Az egyetemességre, az egységesítésre és az egyszerűsítésre való törekvés kiveszett, a szétszóródás vette át az uralmat.

A tiszta matematizmusnak az volt a célja, hogy a fizika révén szétszóródó és elaprózódó matematikai fogalmak helyébe logikus úton egységes alapú, alakú és szerkezetű tudományt

épít fel. Az eredmény pedig az lett, hogy tisztán gondolati alapon különálló, új matematikai tudományokat kellett szerkeszteni és a régi tudományt is a különálló tudomány-parcellák sorozataira kellett szétbontani. Úgy látszik, hogy az értelem, amikor önmagára van hagyva és a tapasztalat korlátozásának nincs alávetve, középponttól futó és szétszóró erők hatása alá kerül. A tiszta matematizmus nem érte el célját, sőt attól messzebb távozott, mint akkor volt, amikor munkáját megkezdte. A logikus módszer sokszorta nagyobb szétszóródást és ziláltságot hozott, mint a fizikával kapcsolatos.

A sors, amelyet a fizikától való elválásukkal felidéztek, tovább hajtotta őket. Az a bizonyosság, amely a fizika révén a lélektani, érzékszervi és műveleti tudatokon évszázadok óta szilárdan állott, nem elégítette ki őket. A logikai bizonyosság ellenkező eredményekhez vezetett, mint aminőket vártak tőle. Nem tágítva kezdetbeli fölfogásuktól, kezdték mindkettőnek alapjait kutatni. A kérdések sokaságát vetették fel: mi a matematikai létezés, az alapvetés, a definíció, a bizonyítás végső alapja?, mi a szám, az egység, a végtelenség?, mi az alapelvek ismeretelméleti jellege?, miért általános érvényűek és ellentmondásnélküliek a matematika fogalmai és tételei?, mit jelentenek az alapfogalmak?, mi a tiszta matematika és hogyan válik belőle alkalmazott matematika?

Alapelvüknek kikerülhetetlen következményeképen belesodródtak a metafizikába, olyan területre, amely régi idők óta a filozófusok saját külön területe volt, és noha az azon való hadakozásról könyvtárakat írtak össze, a bizonyosságnak azt a fokát, amelyet a fizika nyujt, elérni nem tudták és csak az emberi gondolkozásnak sokféle irányzataira — tehát megint a szétszóródásra — bukkantak rá.

A fizika elhagyásával előidézett végzet beteljesedett. A tiszta matematikusoknak a fizika közelítő bizonyossága és egyértelműsége helyett meg kellett elégedniök a metafizikus ködděl. Hogy mekkora ez a köd, arról fogalmat szerezhetünk a sokféle feleletből, amelyek arra az egyetlen kérdésre adódnak, hogy mi a matematika. A kultúra alapja. Emberi találmány arra a célra, hogy vele a természetet leírjuk. Rendtudomány. Az egész számokkal való számolás. Számok tudománya. Mennyiségek tudománya. A végtelen tudománya. A kollektivumok tudománya. A tárgyak egymásközti vonatkozásainak kifejező eszköze. A szintetikus apriori ítéletek tudománya. A feltételezett szükségszerűségek tudománya. Azon tételek összesége, amelyek szerint a dolgok létükben igazodnak. A teljes absztrakció birodalma. Semmi más, csak logika. A logisztika elveiből való következtetés. Tisztán formális elmélet. Tanítási forma. Kalkulus. A $p$ magában foglalja a $q$-t alakú ítéletek osztálya. Az

ilyenféle állítások tudománya: ha ez, vagy az a tétel igaz, akkor ilyen, vagy olyan más tétel is igaz. A felismerhető kötelékek tudománya, amelyek alapján bizonyos kötelékekből más kötelékek levezethetők. Az értelem szerkezetének a tudománya. A természet szerkezetének a tudománya. Az a tudomány, amelynek tételei szerint a Teremtő teremtette és fenntartja a világot. És így tovább.

Nem kell tehát csodálkoznunk azon, hogy a matematikusok nem tudtak egymással megegyezni, hogy vitatkozások keletkeztek, gondolati irányzatok és pártok alakultak. A gondolatok harca most is folyik és az eddig ismeretes filozófiai irányzatokhoz a matematikára vonatkozó újabb külön irányzatok csatlakoztak, amelyek logicizmus, axiomatizmus, formalizmus, intuicionizmus, konvencionalizmus, transzcedentalizmus, pragmatizmus stb. néven szerepelnek. Korunkban a matematika még kiterjedtebb revolúciókon megy keresztül, mint a fizikai világfelfogás és fogalmainak jelentése és eredete felett még hevesebb viták folynak, mint a fizikáé felett.

A tiszta matematizmus ezekből levonta a végső következtetést: *a tiszta matematika fogalmainak nincs jelentésük, azok tartalom nélküli formák, az igazság jellegével nem bíró konvenciók, alapnélküli formalizmusok, az emberi szellem önkényes játékszabályai.* Russel szárnyra kelt mondása szerint: a *matematikában sohasem tudjuk, mi az, amiről beszélünk és azt sem, hogy igaz-e az, amit mondunk.*

Nézzük már most a matematikában vetett hitből kialakult másik gondolati irányt, a *fizikai matematizmust.* A be nem avatott azt gondolhatná, hogy ebben a matematikának gyakorlati alkalmazásairól van szó. De nem úgy van az. Ez éppen olyan ismeretelméleti gondolati irányzat, mint a tiszta matematizmus és éppúgy a metafizikában köt ki, mint az.

A fizikai matematizmus mindenekelőtt a fizika minőségbeli ismereteinek kiküszöbölésére és mérhető mennyiségekre való feloldásuk felé törekedett. Az a meggyőződés lett úrrá, hogy a természetmegismerés tárgyias elemei csak a matematikában találhatók, minden más egyénies eredetű. A matematikával ezek az emberies és egyénies elemek kiküszöbölhetők. A fizikai kutatásokban tehát csak a matematikailag megfogható dolgokra, a köztük lévő vonatkozások megállapítására és oly matematikai összefüggések szintetikus megszerkesztésére kell törekedni, amelyekből a tapasztalati törvényszerűségek matematikai következtetésekkel levezethetők. Abból a hitből kiindulva, hogy a természetet differenciálegyenletek szabályozzák, minden jelenségcsoport számára ilyen legmagasabb differenciál-egyenletrendszerek megszerkesztésére irányultak a tö-

rekvések. Mindig magasabbra és magasabbra emelkedve kialakult a hit, hogy léteznek olyan legáltalánosabb világformulák, amelyekből a világnak összes ismert és ismeretlen történései levezethetők.

A mult század második felében a mechanika alapegyenletei és az elektrodinamikának Maxwell-féle alapegyenletei kezdtek ilyen végső világformulák gyanánt szerepelni. A természet egységességének a fizikusokba begyökerezett elve alapján sokan törekedtek arra, hogy ezt a két világformulát egymásba olvasszák, vagy egyiket a másikból matematikai átalakításokkal levezessék. Ez nem sikerült. Időközben azonban a fizikától mentes, tiszta matematika a differenciál-geometriákkal és a nemeuklideszi geometriákkal újabb formalizmusokra tett szert. Nékik fizikai jelentést adva Einstein újabb világformulát szerkesztett. A sugárzások elméleti megfogására szerkesztett kvantumelmélet is világformula alkotására törekszik.

A tiszta matematizmus gondolati iránya áthatott a fizikai matematizmusra is. A kutatások jelentékeny része a matematikai formulák kutatására csúszott át és a fizikai háttérnek tekintetbe vétele nélkül magukon a formulákon megy végbe. A sok nehéz gondolati munka, amellyel a fizika nagyra nőtt, elfelejtődött [*26*, 298]. A fizika, a mechanika és a geometria közötti válaszfal leomott és minden a tiszta matematika formalizmusába olvadt bele [*33*, 137]. Kiküszöbölődött minden, ami lélektani alapokra, szemléletre, tapasztalatokra emlékeztetett. A világ aritmetizálódott és számfelhőkre aggatódott fel. Egyenleteket kaptunk, amelyeket egyáltalában nem, vagy csak önkényesen tudunk értelmezni [*14*, 4]. Operátorok szerepelnek itt oly mennyiségekre vonatkoztatva, amelyek nem mennyiségek, hanem csak műveletek jelei, vagy mennyiségek végtelen sorozatának szimbolumai számbeli értelmezések nélkül, vagy olyan értelmezéssel, amely mutatja, hogy nem számok [*33*, 209].

Noha a fizikai matematizmus ugyanazzal a módszerrel dolgozott, mégis egészen más végkövetkeztetésre jutott, mint a tiszta matematizmus. Arra, — ahogyan azt Hermite már a mult században kifejezte — hogy *az analizis számai és függvényei az értelemnek nem önkényes termékei, hanem rajtunk kívül is léteznek éppannyira szükségszerűleg, mint az érzékileg fölfogható valóság dolgai* [*63*, II. 398]. A fizikai matematizmus egyik mai képviselője, Dirac szerint a *természetnek matematikai kvalitást kell tulajdonítanunk.* A mindenség minden leírásának lesz matematikai megfelelője úgy, hogy *az az ember, aki a tiszta matematikát ismeri, nemcsak a csillagászati adatokat állapíthatja meg következtetésekkel, de történeti eseményeket is, még a legközönségesebbeket is* [*29*]. Ugyanilyen véleménye van Eddingtonnak is [*35*, 102—104].

Ha szofisták akarnánk lenni, azt mondhatnók, hogy a kétfajta matematizmus szerint az ember a jelentés és tartalom nélküli formákkal, amikor azt sem tudja, miről beszél és hogy igaz-e az, amit mond, képes a világ összes történéseit előre megállapítani. De nem akarunk szofisták lenni, azért csak megállapítjuk, hogy a tiszta és a fizikai matematizmus felfogásai teljes ellentétben állanak egymással. Amazok a matematika fogalmainak jelentést nem tulajdonítanak, igazságértékét el nem ismerik, emezek szerint mindennek az alapjában ott van a matematika, formulái a természetnek közvetlen kifejezői.

Hogyan állhat meg ugyanarról a dologról ennyire ellentétes két vélemény? Mindenekelőtt világos, hogy mindkét gondolkodási irány oda tért vissza, ahonnét kiindult. Amikor Euler a szemléletet kezdte kiküszöbölni és Lagrange az analízis fogalmainak kifejlesztését formalisztikus módon végezte, mindegyik ugyanazon az alapon állott, amelyre a tiszta matematizmusnak mai képviselői oly sok gondolati munka reápazarolásával mint végső következtetésre reá jutottak. Hasonlóképpen a fizikai matematizmus hívei is, amikor abból a meggyőződésből indultak ki, hogy a természetmegismerés tárgyias elemei csak a matematikában találhatók meg, már ugyanazt vallották, amit a mai hívek hirdetnek. A két ellentétes állítás nem kutatási eredmény, hanem gondolkodási irányzat, lelki beállítottság, hit; mindegyik a matematikában vetett hitből fakadt és abból az általános értékelésből táplálkozik, amelyet a matematikának és a fizikának három évszázadon át folytatott közös munkája szerzett. Mindegyik feltételezi a másikat. Ha nem volna tiszta matematizmus, akkor a fizikai matematizmus sem volna. Mindegyik nyugodtan hirdeti a maga hitét, mert tudja, hogy a másik az ellenkezőjét hirdeti. Tudományos módszerrel egyiket sem lehet bizonyítani, sem elvetni.

Mindkét irányzat a logikára hivatkozik. Álláspontjuknak azonban csak akkor volna értelme, ha a logika a mindenki számára világos, ismert és elismert, kevés számú gondolkodási szabályoknak a gyüjteménye volna. Ilyen logika azonban nincs, hanem vannak különféle alapokból kiinduló, különféle irányokban szétosztódó, fejlődő és fejlődésnek alávetett elvont tudományos rendszerek, amelyek a logika nevét viselik. Ezek egyikét sem lehet önmagával igazolni. Alapfogalmak és alapelvek nélkül nem lehet logikai kutatásokat végezni. Ezeket is valahonnan venni kell. Tárgyi ismeretek nélkül, csupán az űrből ezeket sem lehet megállapítani. A tárgyi megismerés azonban bonyolódott folyamat; a logikus, vagyis a fogalmakra alapított gondolkodás annak csak csekély részét alkotja. Az ilyen gondolkodás hamis erdményekhez is vezetett, viszont a nem logikus gondolkodás helyes eredményeket is hozott. Világfelfogá-

sokat nem lehet magából a logikából nyerni. Éppen a fizika története számos példát mutat arra, hogyan állták el a haladás útját bizonyos megkövesedett gondolkodási formák. És számos példát mutat arra is, hogy a nem logikusoknak tekintett gondolkodási módok hogyan váltak jelentékeny megismeréseknek a forrásaivá. Utólag persze mindig rá lehetett jutni arra, hogy amazok logikailag sem voltak helyesek, ellenben ezek olyanok voltak, mert a mélyen járó megismerések maguk teremtik meg a maguk logikáját. A logika önmagában nem teremthet új megismeréseket, de a már megszerzett megismerések összekapcsolásában, rendezésében tehet jó szolgálatot és azokat új formába is átalakíthatja, de igazság jellegüket ezek is csak a tapasztalat utólagos igazolásával nyerhetik el.

Nem kétséges, hogy a fizikai megismeréssel kapcsolatos matematika ősibb és eredetibb jellegű tudomány, mint a logika. Előbb keletkezett és az emberi értelem mélyebb rétegeiben fekszik. Nem a matematikát kell a logikával megalapozni, hanem fordítva: a szemlélettel és a tapasztalattal jól megalapozott matematikai fogalmak kapcsolatainak. logikai szerepét kell kijelölni.

Azt elismerhetjük, hogy a tisztán logikus összefüggések alkotják a matematikának a vázát. Ez a váz azonban önmagában éppúgy nem állhat meg, mint ahogyan az állat csontváza nem adja az állatot magát. Kell hozzá élő rész. Ezt pedig a szemlélettel, a tapasztalattal, általában a fizikával kapcsolatos lelki elemek alkotják. A tiszta matematizmusnak talán igaza van abban, hogy e szilárd váznak nincs jelentése és az igazság jellegét nélkülözi, talán igaza van abban is, hogy a matematikának bizonyos újonnan megszerkesztett részei pusztán ilyen vázak, de nincs igaza abban, ha e megállapításait *a matematikára* vonatkoztatja, ahogyan azt általánosan ismerjük. Mindazok, akik a matematikát használják és matematikailag gondolkodnak, ezt a logikus vázat *mesterséges absztraktumnak* tekinthetik csak és el nem fogadhatják a matematika képviselőjéül. Ha a tiszta matematikusok önmagukkal és a jelenlegi korszak uralkodó irányzatával szemben egy kis őszinteséget engednek meg önmaguknak, talán bevallhatják azt, hogy tudományos termelési munkájuk közben nem annyira a logikus összefüggések, hanem inkább bizonyos szemléletes képzetek vezetik őket és csak akkor, ha ezek bizonyos eredményt felcsillogtatnak, kezdi el munkáját szigorúan logikus Énjük.

A termelt új gondolatok a tudományos közleményekben már a logika kothurnusában jelennek meg, akár a tiszta, akár pedig a fizikai matematika köréből valók. Az élén rendesen fogalmak és tételek állanak és belőlük következtetések vonódnak le. Rendesen idézve van egy másik közlemény, ahonnét a fogal-

mak és tételek át vannak véve. Ha utána járunk, megtaláljuk az eredeti fogalmakat és tételeket, amelyek sehonnan sincsenek átvéve. Ezeket tehát alapfogalmaknak és alapelveknek kell tekinteni. Honnét erednek ezek? A logika azokat meg nem adhatja és az űrből sem jöhetnek mint valamilyen matematikai csodák. A felelet rendesen az, hogy értelmünk azokat szuverén hatalmánál fogva megszerkeszti.

Mindkét matematizmus rendesen megelégszik e feleletteI, mert fölteszi, hogy az értelemnek megvan az a szuverén hatalma, hogy a semmiből önállóan és önkényesen fogalmakat és elveket teremthet. Ez tulajdonképpen az apriorizmus. A két matematizmus híveinek nagyobb része nem is megy ezen túl úgy, hogy az apriorizmust a mai matematikusok és matematikus-fizikusok jellegzetes metafizikai hitvallásának kell tartanunk.

Az apriorizmus azonban olyan álláspont, amely a megoldhatatlan kérdéseknek és ellentmondásoknak sokaságával kapcsolatos. Ha tehát elkerülhető, akkor el kell kerülni. De nincs is reá szükség. A matematikai fogalmak föltalálásának a kérdése nem sajátlagos különálló, a matematika rendszeréhez tartozó kérdés, hanem az emberi értelem általános föltaláló képességének, valamennyi tudománynak és valamennyi alkotó művészetnek egyetemleges és közös kérdése. Elkülönülten, egyes tudományos parcellákon belől reá feleletet nem is lehet kapni, hanem csak úgy, ha az új dolgok létrehozásának összeségét teszszük vizsgálat tárgyává.

Kiváló alkotó matematikusok, közöttük első sorban Poincaré és Klein Félix, saját és mások fogalomalkotásainak elemzésével ismételten reámutattak arra, hogy a matematikai föltalálásban is a lélektani elemek viszik a főszerepet. Az új dolgokat létrehozó matematikus éppúgy, mint minden más tudós, vagy az alkotó művész heurisztikus segédeszközökkel dolgozik, próbálgat, tapogatózik, kombinál, képzelő ereje tudatának tartalma között ide-oda cikázik. Tehát tudatának különféle elemeivel dolgozik, amelyek általában a tudat küszöbe alatt nyugosznak és csak koronként, a képzelő erő csapongásai közben emlékednek a tudat küszöbe fölé. Vannak közöttük rég elfelejtett tapasztalatoknak az emlékképei, legnagyobbrészük azonban olyan, amelyeket az embertől függetlenül lefolyó lelki folyamatok már átalakítottak.

A matematikus teremtő műveletében a határfogalmak és az ideális fogalmak játszák a főszerepet, de nem absztrakt alakjukban, hanem azokkal a képzetekkel együtt, amelyek sokszoros használatuk közben hozzájuk tapadtak. A testi műveletekkel, a különféle mozgásokkal, a rajzolás műveletével, a tér- és időbeli változásokkal kapcsolatos képzetek jönnek első sorban

tekintetbe. E lelki elemekkel való munkájában a matematikust az analogia vezeti. Képzelő ereje a folyamatot, amely bizonyos elemmel gyakran folyik le, átviszi más elemre.

A tapasztalati eredetű lelki elemekkel sajátlagos gondolati kísérleteket végez. A tiszta és a fizikai matematikának legnagyobb része ezeknek az eredménye. Minden haladása ilyenekből indult ki. Hilbertet követve hiába állítják a tiszta matematikusok, hogy az egész aritmetika jelentés nélküli jeleknek 11 szabály szerinti összekapcsolásán nyugszik a nélkül, hogy e szabályoknak jelentésük volna és hogy csak ellenmondásnélküliségüket kell bebizonyítani: mert e jelek és e szabályok végső elemzésben a leggyakrabban előforduló dolgok, természeti folyamatok és emberi tevékenységek tapasztalati csíráit hordják magukban, amelyek a fejlődés hosszú folyamata alatt absztrahálódtak le jelekbe és formális szabályokba.

Amikor a matematikus új dolgokat teremt, munkájának végzése közben a lehető legkevesebbet vesz kölcsön a külvilágtól, *de kölcsön vesz.* A tapasztalati elemet a matematikából kiküszöbölni nem lehet, végső elemzésben bizonyos csírái mindig benne maradnak. Ezeket sem definiálni, sem logikai szabályokra visszavezetni nem lehet. Minden ilyen irányú próbálkozás csupa eredménytelenséggel végződött, amelyet rosszul leplezett a be nem avatottak számára érthetetlen nyelvezet [*100*, 43, 310].

A matematika fogalmai nem önkényes, hanem értelemszerű megállapítások, amelyeknek elemei a szemléletből erednek, részleteiket pedig a célszerűség szabályozza. Nem jönnek az űrből, mint valami matematikai csodák, hanem tudatos vagy tudatalatti tapasztalatoknak határfogalmakba, vagy más ideális fogalmakba összesűrűsödött elemei.

Tehát minden matematikai dolgozatnak, amely a szakfolyóiratokban és könyvekben raktárra gyűlik, a tapasztalatban értékelhető jelentése volna? Erről szó sincs. Ez egészen más kérdés. A matematikának e tekintetben sincs a többi tudománnyal és a művészeti alkotásokkal szemben kivételes helyzete. Szobrok, festmények, zeneművek évről-évre ezrével alkotódnak, nyelvészeti, történeti, filozófiai dolgozatok raktárakban halmozódnak fel a nélkül, hogy különösebb jelentéssel és értékkel bírnának; a matematikában sincs másképp. Abból, hogy valamely dolgozat algebrai jeleket és geometriai ábrákat használ, még nem következik, hogy értékelhető jelentése van. Csak a rejtelmesnek látszó nyelvezet teremt bizonyos félhomályt, amelybe a jelentéktelenség elbujhatik. Az értékelési lehetőséget mégjobban korlátozza a tudománynak parcellákba való osztódása, amelyeken belől csak a kevés számú speciálista mozoghat biztonsággal.

A fizikai matematizmus hívei ebből a szempontból más helyzetben vannak, mint a tiszta matematizmusé. Munkálataik a fizikusok és a fizika iránt érdeklődők széles rétegei előtt folynak le és noha szintén matematikai nyelvezetben jelennek meg, amely bizonyos rejtelmességet mindig hurcol magával, de mindig szemléleti és világfelfogásbeli elemeket is foglalnak magukban és a tapasztalatra is folyton hivatkoznak, tehát a kritikai vizsgálódásokat és értékeléseket el nem kerülhetik. Ezt a fizikai ismeretelméleti irodalom bőségesen gyakorolja is.

Mindenekelőtt a matematikai formalizmus túltengése tűnik fel. Maga Einstein is, noha őt e tekintetben ártatlannak éppen nem lehet állítani, megjegyzi, hogy a fizika könyvei bonyolódott matematikai formulákkal vannak tele, holott a fizikai gondolat, az eszme a lényeges [*41*, 269]. Nagy ellenfele, Lenard szerint különös benyomást tesz, amikor fizikai műveket matematikai levezetésekkel látunk tele tömve, amelyeknek semmi közük a tárgy eredeti értékéhez és jelentőségéhez [*76*, XIV]. Valóban, csak évek lelkiismeretes munkájával lehet megtalálni a fizikai gondolatokat, amelyeket a matematizmus a maga formalizmusával eltakar úgy, hogy kiváló fizikusok joggal jajdulnak fel: vagy a fizikának kell az emberi agy képességeihez alkalmazkodnia, vagy a fizikusok elméjének kell a fokozott igényeknek megfelelően alakulnia; azért az elmélet szédítő magasságban állva is maradt, mint a hegymászó, aki sem fölfelé, sem visszafelé nem tud menni [*117*, 18] *).

*) Az ismeretelmélettel foglalkozó fizikusok sokszor maró gúnnyal ostorozzák a matematizmus kinövéseit. „A matematikus, akit először szolgának fogadtunk meg, most mesternek akar mutatkozni: a matematikai tételek összefüggése néki a legfőbb tárgy és nem kér a természettől engedélyt, ha az eredeti premisszákon változtatni, vagy általánosítani akar. Így juthat oly geometriához, amelyet tényleges mérések nem kötnek, oly potenciálelmélethez, amelynek semmi köze ahhoz, hogy a nehézségi és elektromos tényleges potenciálok miképpen viselkednek, oly hidrodinamikához, amelyben ellenkező folyamatok folynak le, mint a tapasztalat folyadékaiban" [*33*, 161]. „Gerinc nélküli engros közlemények, amelyeknek észszerűtlensége a matematikai szimbolumok ködernyőjével van bevonva" [*22*]. „A matematikai fizika a legutóbbi időkben részegítő bájitalokat adott. Sokan néhány formulához, amelyeknek megalapozását és az értelemmel való kapcsolatainak kiderítését senki meg sem kísérelte, gyermekmeséket költenek" [*26*, 23]. „A modern matematikusok olvasóikat egy vad formulakaoszon való áthaladásra kényszerítik" [*113*, 20]. „A kvantummechanika ajtajára egy cédulát kellene kiszegezni ezzel a felírással: üzletátalakítás miatt csak az itt dolgozóknak szabad belépni; a kapust pedig külön kellene figyelmeztetni, hogy a kérdezősködő filozófusokat tartsa távol" [*33*, 211]. „Schrödinger hullámmechanikája nem fizikai elmélet, hanem ravasz fogás és pedig nagyon ügyes ravasz fogás" [*33*, 219]. „Az össze-

A fizikai matematizmusnak már a kiindulási elve, amely szerint a természet-megismerés *tárgyias* elemei csak a matematikában találhatók meg és hogy minden más szubjektív és emberies: nem egyéb, mint nagy ellenmondás. Mert ha nem is helyezkedünk a tiszta matematikusok álláspontjára, amely szerint a matematika fogalmai az emberi értelemnek egészen önkényes alkotásai, hanem saját álláspontunk szerint azt valljuk, hogy azokat az értelem a tapasztalat végső elemeiből alkotta meg: akkor is kétségtelen, hogy a matematika fogalmai szubjektív emberies alkotások. A matematizmus nem küszöböli ki, hanem szántszándékkal beleviszi a fizikába az emberies elemeket.

Ugyanilyen természetűek a kiinduló elvnek további változatai. Honnét tudhatjuk mi azt, hogy a matematika számai és függvényei éppúgy léteznek, mint az érzékszervi világ dolgai? A „létezés" fogalma azt jelenti, hogy az utóbbiakat megfoghatjuk, megtapogathatjuk, eldobhatjuk, szétrombolhatjuk stb., tehetjük-e ugyanazt a számokkal és a függvényekkel? És honnét tudhatnók mi meg, hogy a természetnek matematikai szerkezete van-e? Ehhez először az egész természetet kellene ismerni és csak azután lehetne annak a vizsgálatára áttérni, hogy szerkezetében benne van-e a matematika, vagy sem. De ha a természetet ismernők, akkor nem volna szükségünk a matematikára, amelyet a tapasztalat bizonyos elemeiből éppen azért alkottunk meg, hogy átvíve más tapasztalatokra, segítségével a természeti folyamatokat leírhassuk. Az pedig, hogy az az ember, aki a tiszta matematikát ismeri, képes lenne a világ összes történéseit, még a legközönségesebbeket is megállapítani, olyan metafizikus utópia, amely a legmerészebb regényírók képzelőerejét is túlszárnyalhatja. Nem is egyéb e gondolat, mint a determinisztikus alapgondolatnak túlzásba vitt és a matematikára alkalmazott körülírása.

Ha a természet szó helyett a tapasztalat szót használjuk, akkor sem igazolható az elv. A tapasztalat sem kényszeríti reánk a matematikát. A primitív tapasztalatoknak bizonyos végső és minden ember számára közös elemeiből megalkottuk a matematika alapfogalmait és a közöttük lévő tételeket. Ezeket azután felhasználtuk más tapasztalatok leírására és a közöttük lévő kapcsolatok feltüntetésére. Az eljárás sok esetben igen hatékonynak és célszerűnek bizonyult és a természeti folyamatokra vonatkozó megismeréseinket hatalmas mértékben megnövelte. De a legtávolabb állunk attól, hogy a természet

egyeztethetlenség csúcsát érjük el, amikor az elektronról azt mondjuk, hogy a valószínűség hulláma, tehát a tudás hulláma és derék emberek sokat izzadnak a kérdésen, hogy a hullám egyénies vagy tárgyias-e [24, 159].

minden folyamatára alkalmazhassuk. A jelenségeknek óriási tömegére az eljárás nem is alkalmazható. De azokban az esetekben is ahol az eljárás bevált, a tapasztalati adottság seholsem oldódik fel matematikai fogalmakba és tételekbe önmagától, hanem ezt bizonyos önkényes megállapítások után lehet csak elérni. A matematika tehát azért van benne a tapasztalat leírásában, mert módszereinkkel mi magunk vittük oda bele.

A matematikai alakban kifejtett fizikai megismerésnek nagy előnye mindenek előtt abban nyilatkozik, hogy könnyen átalakítható, újabb formába önthető és újabb kísérleti vizsgálatra felhasználható. Az átalakításból származó fizikai tételek azonban csak annyira igazak, amennyire a kiinduló tételek, vagy az átalakítás közben becsúsztatott más tételek igazak voltak. Bármilyen éles elméjűek legyenek is az átalakításoknál alkalmazott matematikai módszerek, velük új fizikai igazságot nem teremthetünk. Tiszta matematikai okoskodás önmagában új fizikai megismeréshez nem vezethet. Ami az egyenletekből kijön, az csak más alakban mondja el azt, amit belejük helyeztünk. Az átalakítások igen gyakran tartalom nélküli formalizmusba tévednek és ezek könnyebben vezethetnek hamis útra, mint a szavakban adott tételek.

A matematikai alaknak szinte megbecsülhetetlen értékű előnye az, hogy vele bizonyos jelenségkörre érvényes tételeket más jelenségkörökre könnyű szerrel kiterjeszthetünk. Ilyen úton pl. a mechanikai rezgések tulajdonságait minden nagyobb nehézség nélkül át lehetett vinni a hangjelenségekre, a váltakozó áramok tanára, az elektromos rezgésekre, bizonyos nehézségek leküzdése után a fényjelenségekre; a kvantummechanika pedig most küszködik a feladattal, hogyan lehetne ilyen úton az anyag összes tulajdonságait fölfoghatóvá tenni. A mechanikának mozgási egyenleteit, amelyek az égi testek mozgásának leírásában beváltak, hasonló módon más jelenségek értelmezésére is át lehetett vinni. De már kisebb sikerrel. Az elektrodinamika alapegyenleteit ki lehetett terjeszteni a fényjelenségek értelmezésére is. Itt már nagyobb nehézségek léptek fel.

Az ilyen kiterjesztésekből támadt a világformulák létezésének a gondolata, amely oly sok szellemi munkának elpazarlódását vonta maga után. A kutatók nem vették tekintetbe, hogy a matematikai alakban kifejezett természettörvények csak közelítőleg igazak, hogy csak közelítőleg definiált mennyiségek közötti csak közelítőleg igazolt összefüggésekre vonatkoznak és hogy nincs olyan természeti törvényünk, amely a jelenségben szereplő összes tényezők hatását tekintetbe vehetné. Minden természettörvényünk absztrakt ideális esetre vonatkozik, amilyen a természetben tisztán sohasem fordul elő. Mindegyik tökéletlen és ideiglenes [*99, 188*]. Hogyan volna te-

hát lehetséges ezekből — bármilyen magas fokú matematikai kombináló, átalakító, kiterjesztő képességgel — olyan világformulát összeszerkeszteni, amely az összes tapasztalatok levezetésére alkalmas volna?

A kutatók arról is megfeledkeztek, hogy minden matematikai formula mögött, amelynek fizikai jelentése van, különféle testi és szellemi műveletek húzódnak meg. Még az olyan egyszerű összefüggésnek közelítő igazolása is, aminőt a Boyle—Mariotte-féle törvény mutat, az ilyen műveletek hosszú sorának a felhasználását teszi szükségessé. Nem csoda tehát, hogy a relativitási elmélet és a kvantumelmélet világformula-kísérletei mögött a hozzájuk fűződő műveleteknek óriási csóvája húzódik ki. Leírásához, értelmezéséhez kötetekre van szükség. Ha tehát a fizikusok bizonyos csoportjának — mert egy ember munkája nem elegendő ehhez — sikerült volna is megmutatni, hogy belőlük az összes tapasztalati törvények levezethetők: mit érnénk el vele, amikor kezelésének és az egyes jelenségekre való alkalmazásának elsajátítása lehetetlen feladatok elé állítaná az embert. Tegyük fel, hogy valamely ügyes matematikusnak Beethoven valamely szimfóniáját sikerülne minden egyes hangot magában foglaló matematikai formulába összefoglalnia, mit érne el vele? Sem az előadó művészek, sem a zeneértők nem használhatnák, mert a benne előforduló mennyiségeknek és jelöléseknek értelmezése az emberi értelem fölfogó képessége számára elvégezhetetlen munkát jelentene.

A világformuláknak keresése korunk fizikai matematikusainak olyan betegségi tünete, aminő a középkorban a bölcsek kövének a keresése volt: Igaza van a Nature írójának: „a matematikus spekulatív agyának a munkája a pszichológiának a tárgya; ha pedig valamely matematikus azt állítja, hogy pusztán a gondolat alapján az egész fizikát le tudja vezetni, akkor az az orvos-pszichológus tárgykörébe tartozik" [78].

A tiszta matematizmus hívei nem ok nélkül hirdetik, hogy fogalmaiknak nincs tárgyi jelentésük és hogy tételeiket nem lehet az „igazság" értékjelzésével ellátni, hanem teszik ezt azért, hogy a felelősséget önmagukról a fizikusokra háríthassák át. Ebben az új szellemi légkörben a fizikai matematizmus híveinek is meg kell változtatniok metafizikai álláspontjukat. Nincs többé semmi alapjuk ahhoz, hogy a matematikának a természetbe való beleszövődöttségét hirdessék, sem ahhoz, hogy a matematikát tökéletesnek és elsőrendűnek, a fizikai megismerést pedig tökéletlennek és másodrendűnek tekintsék.

A matematika tökéletlensége sokféle módon nyilatkozik meg. Nem akarunk most e kérdésre bővebben kitérni. Csupán néhány idevonatkozó megjegyzést akarunk felemlíteni. Bridgman szerint a matematika a határoknak és a feltételek-

nek alávetett állításokat, a mérési hibákat, a definíciókkal járó tökéletlenségeket csak nagyon körülményesen tudja feltüntetni. Nem tud különbséget tenni a nagyságrendek között. A lövedékek, a bolygók és az elektron mozgását ugyanazokkal az egyenletekkel fejezi ki. Valami olyan módszerről kellene gondoskodnia, amely mutassa a nagyságrend változását. A hosszúság és az idő fogalmát egyformán használja minden jelenségnél, holott nyilvánvaló, hogy mindkettőnek az értelme egészen más a csillagok világában, mint az atomok világában. Ami ott sok millió kilométer, az itt a milliméter tört része; ami ott billió év, az itt pillanat. Nem tudja feltüntetni a mennyiségek értelmének változását a jelenségcsoport szerint, a csillagok belsejére és az elektron belsejére, a világtérben lévő sűrűségre és az atommérétekben lévő sűrűségre egyenlő kifejezése van. Egyenletei a tényleges fizikai állapotoknak csak csekély részét tudják feltüntetni és mindegyikhez óriási leíró és értelmező háttér tartozik, amely használatukat kétessé teszi [*14*, 65, 150].

Senki sem tagadhatja, hogy mindkét matematizmus a fizikai ismeretelmélet számára új kilátó pontokat adott, a fizikai matematizmus pedig új világfelfogásokat is hozott és mint heurisztikus kutató módszer is szolgálatot tett. Mégis az a véleményünk, hogy a fizika és a matematika szétválása nem volt egészséges és természetes folyamat. A szétválás folytán a tiszta matematizmus közeljutott a nominalizmushoz, vagyis minden egyetemes megismerés lehetőségének tagadásához, a fizikai matematizmus pedig metafizikai alapra állította önmagát, mindkettő ezeken kívül az apriorizmusba tévedt. A megismerés haladásának szempontjából ezek nem egészséges légkörök.

A matematika szépsége akkor tündöklött, amikor a fizikával együtt dolgozott, fizikai lovon és fizikai területen lovagolt, a fizikai bizonyosságtól kapta fényét és nem száguldott mesterségesen szerkesztett műpegazuson az űrben. A fizika is akkor vette a legnagyobb hasznát, amikor benne hű társát, egyik kutatási segédeszközét, az univerzáliák kifejezőjét, nem pedig a reáhelyezkedő, fölényeskedő szuverénitást látta.

### 4. *A fizikai megismerés jellegzetességei.*

Ha a fizikai megismerés jellegzetes vonásait keresve először arra a kérdésre akarunk feleletet adni, honnét származik a fizikai megismerés: akkor az idevonatkozó gondolatok összesűrítésének a megjelölésére nem találhatunk jellemzőbb kifejezést, mint ezt: *alkotó, feltaláló képesség.*

Az ember már fejlődésének legkezdetén azzal emelkedett

minden más élőlény fölé, hogy egyszerű eszközöket, szerszámokat, új fizikai folyamatokat talált fel és alkotott meg. Mindenütt, ahol a régészeti tudomány az ősember nyomaira akad, megtaláljuk a kalapácsszerű és a késszerű eszközöket, valamint a tűznek a nyomait. A velük való műveletekből keletkeztek az első fizikai megismerések és föltehetjük, hogy ezek voltak az emberi értelem első fejlesztői. Alkalmazásuknak minden újabb módja a természet újabb megismerésével, az agy és az idegrendszer finomodásaival és az értelem tartalmának és a gondolkodásnak újabb megnövekedésével járt együtt. Ezek határozták meg a fejlődés irányát, mert a társadalom kialakulásához eszközt adtak, az értelem növekedései öröklődtek és az utód a környezetben már készen találta az elődeitől alkotott dolgokat.

A tudomány előtti időkben még számos más fizikai találmány, az emelő, a kerék, a hajó, a vitorla is megalkotódott és az értelemnek, a civilizációnak és a kultúrának újabb fejlődési fokozatait hozta magával. Közöttük legnevezetesebb a tengely körül forgó kerék és pedig azért, mert az embernélküli világban sehol elő nem fordul és mert a további fejlődés folyamán minden gyártási eljárásnak, minden gépnek, minden közlekedő eszköznek alapelemévé vált. Az ember vele más anyagátalakítási és mozgatási lehetőségeket teremtett, mint amilyenekkel a természet dolgozik.

A találmányok értékét is elég korán ismerte fel az ember. A tűz feltalálóját, Prometheüszt a görög monda a félistenek közé sorozta. Az ember önérzete is kialakult. Érezni kezdte, hogy ő a természet ura. „Adj egy szilárd pontot, ahová álljak és mozgatni fogom a Földet", írta Archimédesz, az ókor egyik legnagyobb feltalálója.

A középkorban az ember gondolkodását és cselekvését szigorúan előírt normák szabályozták és a magas tudomány nem fogadta be magába az alkotó feltalálást, de azért ez nem szűnt meg, és ha nyiltan nem tehette, titokban kereste a maga érvényesülését. E kor skolasztikus tudósai felöltötték tudós palástjukat, bementek az előadó terembe, és a skolaszticizmus elvei szerint adták elő a tudományt az ifjúságnak. Az előadás végeztével levetették tudós palástjukat, bementek titkos alkémista laboratóriumukba, felöltötték munkaköpönyegüket és a skolasztikus tudománnyal teljes ellentétben álló módszerrel, t. i. próbálgatásokkal akartak feltalálni értékes dolgokat.

Az újkor a titkos alkémista laboratóriumok ajtait kinyitotta, a találmányok számára az utat szabaddá tette és a magas tudományba befogadta. A 17. századtól kezdve a feltalálás, a kísérletezés a fizikai tudományok éltető elemévé vált. A 19. században pedig ilyen úton a ki nem gondolható, az el sem kép-

zelhető új dolgoknak világa teremtődött meg: ezek az emberi civilizációt, kultúrát és életet átalakították és az értelemnek minden rétegébe beleszövődtek.

A találmányokkal az embernélküli világra egy újabb világ, az ember által alkotott természeti dolgok világa rakódott reá. Amannak belső szerkezetét az ember nem ismeri, de emezét ismeri, mert maga alkotta meg. Egészen természetes megismerési folyamat volt az, amikor az ember a maga műveleteit és a velük kapcsolatos fogalmakat belenézte a tőle független természetbe és saját alkotásainak fogalmait és törvényeit kiterjeszette a természet jelenségeire. Ki lenne olyan dőre, hogy ezt kifogásolná és emberies eljárásnak bélyegezné? Ám próbálja megismerni az embernélküli természetet a találmányok nélkül, amit kaphat, nem lehet más, mint határozatlan, gomolygó gondolatok, vagy puszta regék sokasága. Mert mit tudnánk mi a természetről, ha nem volna kalapács, éles eszköz, tűz, emelő, kerék, mérleg, óra, hőmérő, nyomás-mérő, elektrométer, galvanométer, ha nem állanának rendelkezésünkre alacsony és magas hőmérsékletek, sűrítő és ritkító szivattyúk, fémek, üvegek, lencsék, távcsövek, mikorszkópok, színbontó készülékek, megvilágító és elsötétítő eszközök, magas elektromos feszültségek, röntgen-sugarak, ha nem ismernők a mechanika, a gőz-, a hő-, a gázfolyósító, az elektromos gépek működését és ha vegyi úton a különféle anyagoknak sokaságát nem tudnók előállítani? Az embertől független természetet csak a találmányok, a belőlük származtatott fogalmak és a működésüket szabályozó törvények segítségével tudjuk megismerni. Ha ezek nem alkotódtak volna meg, a természet megismerésének terén ott állnánk, ahol az ősember állt fejlődésének legkezdetén.

Az alkotó találmányok olyan sajátságosságok és specifikumok, amelyek a fizikai megismerésnek szilárd alapot adnak és egyszersmind minden más megismerésből meg is különböztetik. Általuk az ember a teremtés folyamatának folytatójává válik, magasabb rendeltetése tárgyi alapot kap, életének és értelmének fejlődése biztos célpontok felé haladhat, benne a természet maga is öntudatra ébred és folyamatai jelentést nyernek.

A megismerés forrásairól a filozófusok nagyon sokat vitatkoztak. Bizonyos főbb gondolkodási irányzatok alakultak ki. Az *empírizmus* minden megismerést a tapasztalatból származtat. Leggyakoribb a szélső irányzata, a *szenzualizmus*, amely szerint a tapasztalat csupán érzékszervi érzetekből rakódik össze. Velük szemben a *racionalizmus* az értelmet teszi meg minden megismerés egyetlen — vagy legalább is — legkitűnőbb forrásává. A mai fizikában nagy szerepet játszó *új pozitiviz-*

*mus* a legszélsőbb empirizmust, vagyis a szenzualizmust sajátságos módon egyesíti a legszélsőbb racionalizmussal, az érzeteket és az értelem matematikai fogalmait tartja a fizikai megismerés igazi forrásainak.

Ezeken az alapokon a megismerés forrásairól helytelen felfogások alakultak ki. Az empírizmus rovására írandó az a nézet, amely a megismerés megszerzésében és a föltalálásban a *véletlen megfigyelésnek* juttatja a főszerepet. Viszont a racionalizmust kell felelőssé tenni a szintén nagyon elterjedt felfogásért, amely az új találmányokat *véletlen gondolatokból* származtatja és azt hiszi, hogy minden tudományos probléma olyan, mint Kolumbus tojása: egy új gondolattal megoldható. Az új pozitivizmus terhére kell írni a divatot, amely a *matematikai formulák tulajdonságának* kutatásával vél az új megismerésekhez jutni.

Mindezek az önkényes gondolati beállítottságok és naív elképzelések teljesen figyelmen kívül hagyják az egyes fizikai találmányok és megismerések keletkezésének történeti adatait és lélektani alapjait. A fizikus sokszor végez megfigyeléseket, azonban pusztán ezekkel, különösen pedig véletlen megfigyelésekkel még soha senki sem találhatott fel új megismeréseket. Meglevő dolgokat lehet fölfedezni észleléssel, de hogy ezek a tudomány számára értékes gyarapodást jelentsenek, más műveletet is kell végezni. Galilei észleléssel fölfedezhette a Hold hegyeit, a Jupiter holdjait, a Vénus fényváltozásait — ezeket is csak az előbb föltalált távcső segítségével tehette —, azonban az ingalengés és az esés törvényeit, valamint a tétlenségi elvet nem fedezhette föl puszta észleléssel, mert a természet nem tart az ember számára fogalmakat és törvényeket készen. Röntgen szolgája véletlen megfigyeléssel először észlelhette az új nagyjelentőségű sugarakat, azonban Röntgen azokat egészen más testi és lelki műveletekkel találta fel. Az új dolgokat, folyamatokat, fogalmakat és törvényeket nem lehet fölfedezni, mert azok a természetben nincsenek készen, mint valamely új ismeretlen növényfajok, hanem azokat meg kell alkotni, föl kell találni.

Hasonlóképen kétségtelen, hogy az új dolgok föltalálására törekvő fizikust mindig bizonyos gondolatok, analógiák, azonosságok, hasonlóságok, metaforák, sokszor metafizikai meggyőződések vezetik. Galvani egész életén át meg volt győződve, hogy van külön állati elektromosság és mágnesség. Kepler azokat a gondolatokat akarta kitalálni, amelyek alapján Isten a világot teremtette és fenntartja. Galilei az arisztoteleszi és a kopernikuszi világfelfogások összeegyeztethetlenségén gondolkodott mindig. Faradayt találmányának megalkotásában az az elv vezette, hogy a természet különféle megnyilvánulásai kö-

zött összefüggéseknek kell lenniök. Ugyanez az elv vezette Mayer Robertet is az energia megmaradása elvének föltalálásában. Oerstedt, miként a korabeli fizikusok is általában, meg volt győződve, hogy az elektromosság és a mágnesség között összefüggésnek kell lennie. De puszta gondolattal sohasem talált föl senki egészen új dolgokat. Még azok is, akik új tudományos rendszereket, új világfelfogásokat alkottak, tehát oly területen dolgoztak, amely a gondolkozásnak saját külön területe, az összes tudományos tapasztalatokat és gondolatokat összegyüjtötték, az érzékszervi és műveleti tapasztalatok emlékképeit és a belőlük kialakult absztrakt, de a tapasztalattal mégis összefüggő fogalmakat forgatták, formálták elméjükben.

A gondolat a kutatót nem is segíti mindig, hanem sokszor akadályozza a találmány létrehozásában. Hittorf évtizedeken át látta a katódsugarakat jelentő kékes fényt az elektromos kisülési csőben a nélkül, hogy magukat a katódsugarakat meglátta volna, mert ő e jelenségben magát az elektromos áramot vélte láthatni abban az állapotában, amikor a szilárd vezetékből kibújik és a légritkított térbe tör elő. Lenard a katódsugarakat föltalálta, viszont őt annyira elfoglalta a gondolat, hogy segítségükkel az elektromosság végső bonthatlan atomját sikerült föltalálnia, hogy e gondolat figyelmét egyéb tünemények megfigyelésétől elterelte. Noha tehát minden feltétel a kezében volt, nem ő lett az új nagyjelentőségű röntgen-sugarak feltalálója.

A gondolatra mondottak fokozottabb mértékben igazak a matematikai formulákra. Egyszerű és célszerű segédeszközök ezek a fizikai jelenségek leírására, más úton felismert törvényszerűségeik kifejezésére, más hasonló jelenségekre való általánosítására és újabb formákba való hozatalára, amelyekkel célszerűen tudunk következtetni. Azonban átalakításokkal új fizikai megismeréseket nem teremthetünk, új találmányokhoz nem juthatunk. Minden, ami a formulák átalakításából származik, csak más alakban mondja el ugyanazt, amit beléjük helyeztünk. A formulákat heurisztikus módon is összerakhatjuk, azonban tartalmat csak a fizikai tapasztalatnak hozzárendelésével adhatunk nekik és érvényességüket csak nagyon kiterjedt tapasztalásokkal igazolhatjuk utólag.

Az ismertetett felfogások azt a hamis meggyőződést is keltik, mintha az új dolgok föltalálása könnyű munka volna, mintha királyi utak állanának rendelkezésre, mintha nem kellene egyebet tenni, mint egyet kiválasztani, a szabályokat követni és az ember biztosan haladva új megismeréshez jutna. A tudományos szaklapokban megjelent dolgozatoknak jókora része valóban ilyen szkematikus módon készül. A legtöbbnek az eredménye azonban csak annyira új, amennyire új a liszt,

ha a molnár a garatra új búzát önt. Az új megismerések története ezzel szemben azt mutatja, hogy értékes új megismeréshez, amely ismereteinket lényegesen gyarapítja, csak sok előzetes tudás megszerzése, elsajátítása, átdolgozása után, sok tapogatózással, sok sikertelen kísérlet félretevésével, új utak megpróbálásával, a régibb eredményeknek újból és újból való átpróbálásával, hosszantartó, kitartó és lelkiismeretes munkával lehet jutni. Hosszas vizsgálati láncolatokkal, amelyben az ember elméjének minden képessége működik, keletkeztek az új fizikai megismerések.

Fizikai tudásunk alapanyagát nagyobbrészt olyan kutatóknak köszönhetjük, akik mint tanárok, mérnökök, orvosok stb. szerezték meg életfenntartásuk alapjait. Tulajdonképpen tehát a kutatást egyéni hajlamból mint mellékfoglalkozást végezték. Újabb időkben azonban a kutatás — különösen Németországban — megszerveződött. E célra külön intézmények is létesültek, de a nagyobb szabású ipari vállalatok is külön kutató osztályokat állítottak fel. A kutatás és a feltalálás főfoglalkozássá vált. Hogy ez az új irány hová fog vezetni, azt előre látni nem lehet. A különféle irányú kutatóknak egy probléma megoldásába való beleállítása nagy lehetőségeket látszik ígérni, de lehetnek árnyoldalai is.

A kutatásoknak megszervezése újból azt mutatja, hogy új fizikai megismeréshez az ember összes képességei szükségesek. A filozófusoknak lehetnek okaik, amelyek őket az empírizmus, a szenzualizmus, a racionalizmus és a pozitívizmus gondolati irányzatainak megkülönböztetésére vezették, de az új fizikai megismerés létrehozásában mindegyik gondolati irányzat elvégzi a maga részét. A föltaláló képesség több lelki elemből rakódik össze. Kettő közülük, nevezetesen az érzékszervi észrevevő és a műveleteket végző képesség, testünk szervezetében gyökerezik és működésükről közvetlen tudatunk van, ha azt a szakadékot, amely a külső szemléletet a belső szemlélettől elválasztja, gondolatban áthidaljuk. A harmadik elemet értelmünk alkotja, amelyről föl kell tennünk, hogy az érzetekből, a művelettudatokból és a belőlük kialakult különféle rendű és rangú képzetekből és fogalmakból rakódik össze és hogy benne gondolati folyamatok folynak be. Negyedik elemül valamilyen ős indító erőt — Bergson-féle „élan vital"-t — kell gondolnunk, amely az embert alkotásokra, a természetbe való belenyúlásra, a természet felé irányuló hatástevésre indítja.

Az újabb ismeretelméleti állásfoglalásokban annyira uralkodóvá vált logikai irányzatokkal szemben külön kell hangsúlyozni, hogy a fizikai megismerésben és feltalálásban az emberi gondolkodó képességnek az a válfaja is fontos szerepet

játszik, amelyet közönségesen a képzelő erőnek tulajdonítunk. Nincs tudomány, sőt művészet sincs, amely akkora képzeletet követelne, mint a fizika. A newtoni mechanika, a kinetikus gázelmélet, a relativitási elmélet és a kvantum mechanika megteremtéséhez — noha absztrakt matematikai formalizmus alakjában jelentek meg — nagyobb képzelő erőre volt szükség, mint amilyennel Dante a Divina Comediát megalkotta.

A képzelő erő, a gondolatoknak ez a sajátságos játéka mindenütt ott van, ahol valamilyen egészen új dolog — legyen az művészi alkotás, állami és társadalmi rend, találmány, elmélet vagy fizikai világkép — megalkotásáról van szó. Az új dolgokra törekvő szellem csak általa függetlenítheti magát a látszatok, a konvenciók és a megszokott gondolati formák bilincseiből és törtet — mint szabad, merész szellem — új lehetőségek, új magasságok felé. Az ilyen lelki képességnek belső szükségletekből kell fakadnia, azt kitenyészteni, megnevelni nem lehet, A nagy fizikai feltalálók éppen oly geniuszok, mint a nagy gondolkodók és a nagy alkotó művészek. Alkotásaik nem egy emberöltőnek, hanem évszázadoknak szólanak. Sokszor erősebben hatnak haláluk után, mint életükben.

A legnevezetesebb találmányok és az új megismerések már rég lezajlottak, mielőtt a fizikára mint külön álló tudományra gondolni lehetett volna. Nemcsak a föntebb említett eszközök és folyamatok, hanem az általánosabb jellegű találmányok, a beszéd, a rajzolás, az írás, a számlálás és számolás, az egész számok, a tízes számrendszer, a tört számok, az alkotásokhoz szükséges egyszerű műveletek, a függőleges, a vízszintes, a merőleges, a párhuzamos kitűzése és rajzolása, a hasonló és egybevágó idomok rajzolása, a hosszúság, a terület, a térfogat és a súly mérése, a teheremelésnek eszközökkel való megkönnyítése: mindezek a nagyjelentőségű találmányok előbb jöttek létre, mint a rendszeres tudományok megalkotása.

Hogyan alakult ki ezekből a fizika tudománya? Az új találmányok és megismerések bizonyára ugyanazon lelki indítások alapján terjedtek szét az emberközösségekre, ahogyan az mai nap történik. Az élet követelményei a sikert hozó új dolgok utánzására, megtanulására késztették az embereket. A sokszor megismétlődő érzetekből és műveletekből elmebeli alakzatok, képzetek és fogalmak alakultak ki és tapadtak szóhoz. A szó az érzetekből és műveletekből származó lelki elemek hordozójává vált és a tanulást nagy mértékben megkönnyítette. Így tehát már a tudományelőtti korszakokban a pont, az egyenes, a sík, a kör, a gömb, az egyenlő — különböző, a kisebb — nagyobb, az egész — rész, az állandó — változó és a hozzájuk hasonló általános és absztrakt fogalmak segítségével ment végbe a tanulás.

Az évszázadok hosszú során keresztül a találmányoknak, a megismeréseknek és az őket kifejező fogalmaknak nagy sokasága gyült össze. Közöttük csak nagyon hiányos és részleges kapcsolatok voltak. Euklidesz a 3. században Kr. e. a tudásnak ezt a nagy sokaságát tanítási célokból szerves egésszé foglalta össze, amelyben valamennyi részleges ismeret néhány alapfogalommal van kifejezve és néhány alapelvből következtetéssel származtatható. Ez a munka volt az első rendszeres elméleti fizika. Tekintélye évszázadról évszázadra folyton nőtt, a fizikai-matematikai tudományok mintaképévé és ma is érvényes kánonjává vált. Beleszövődött az emberi alkotásokba és a természetről szóló ismereteinkbe. Mintájára és segítségével épültek fel a fizikai elméletek és világfelfogások. Csak a legújabb időkben merültek fel érvényességének határaira vonatkozó kételyek. Olyan jellegzetesség ez, amelyhez hasonló más tudományokban nem található.

A helytelen ismeretelméleti alapból való kiindulás Euklidesz munkáját tisztán az értelem logikai alapú munkájává tette meg. A történeti kialakulásnak felfedezett adatai, valamint fogalmainak lélektani elemei azonban világosan mutatják tapasztalati eredetét. Nagyon kevés olyan tétele van, amelynek jelentését a közvetlen tapasztalat tényeiben rögtön ne láthatnók. Itt nincsenek ugyan pontok, egyenesek, síkok, kockák stb., azonban saját alkotásainkban is és a tőlünk független természetben is nagyon sok olyan dolog van, amely e fogalmak és tételek jelentését közelítőleg fedi.

Az, ami az ókorban történt, a későbbi korban folytatódott. Az ókori minta: új találmány és megismerés, szélesebb körben való elterjedés, új fogalmak alkotása, rendszerbe foglalása azóta is folyton bevált. Ezen az úton az új találmányok és megismerések rögzítődtek, a haladás és a tanulás könnyebbé vált. Az új elektromos találmányokat pl. Faraday géniusza teremtette meg, azok szétterjedtek, új fogalmak alakultak és Maxwell géniusza foglalta rendszerbe. Röntgen géniusza megteremtette a róla elnevezett sugarakat, azok elterjedtek, új fogalmak keletkeztek, rendszerbe Laue géniusza foglalta és e rendszerből újabb igen nevezetes találmányok születtek.

A fizikai fogalmak akkor vannak jól megalkotva, ha a szóhoz eléggé meghatározott érzékszervi és műveleti képzetek fűződnek. A meghatározást definícióval ,vagyis más szavaknak hozzáfűzésével szokás pontosabbá tenni. Vele azt foglaljuk össze, amit az illető fogalom számára fontosnak tartunk, ez azonban az egyén értékelő és ítélő képességétől függ, tehát vita tárgya lehet.

Minthogy a definícióhoz újabb szavak szükségesek és nincs oly szavunk, amelyhez kétségtelenül határozott jelentés

fűződnék, tehát a felhasznált szavakhoz az egymás után következő újabb definícióknak végtelen sorozata volna szükséges, azért a fizikai fogalom jelentése teljes pontossággal soha meg nem adható. Mindegyiket kisebb-nagyobb ködös réteg veszi körül, amely sohasem oszlatható el teljesen.

A fogalmak eredeti elemei közül a műveletek mindig határozottabbak, mint az érzetek és egyik emberről átvihetők a másikra, megmutathatók, közölhetők, ellenben az érzetek nem. Ez okból a fogalmak meghatározása rendesen műveletek segítségével történik. Azt jelentik, amit a definícióban szereplő műveletek jelentenek. Azonban ezt az elvet sem lehet kizárólagossá tenni, ahogyan azt Bridgmann [*14*, 5] és Eddington [*32*, 8] követeli. Vannak fizikai fogalmaink, amelyeket csak érzetekkel lehet definiálni.

Az új pozitívizmus hívei az összes műveletek közül csupán a mérés műveletének tulajdonítanak jelentőséget. Azt állítják, hogy semmi sem tárgyalható tudományosan, ami nem metrikus, hogy minden mérés végeredményben hosszúságmérésre vezethető vissza. Ennélfogva „a méterrúd állandósága az a szikla, amelyen a fizika szerkezete áll" [*33*, 8, 137]. Jeans szerint az egész külvilág metrikus és így matematikai leírásával igazsága tökéletessé válik [*68*, 140].

Ezek a meggyőződések és következtetések az értelemmel is és a tényekkel is ellenkeznek. A fizika fogalmainak legnagyobb része nem metrikus. Sok fizikai fogalommal dolgozunk, amelyeket nem is lehet méréssel meghatározni és éppen a legegyszerűbbek ilyenek. Még a távolságot sem tudjuk tisztán méréssel meghatározni, mert a fény segítsége és azon feltevés nélkül, hogy egyenes vonalban terjed, amit méréssel nem tudunk igazolni, nem lehet távolságot mérni. A távolságmérés fogalmának különben is csak addig van viszonylagosan határozott jelentése, amíg a közvetlen tapasztalat világában mozgunk, ahol a mérés eredeti definíciója szerint és a fény segítségével elvégezhető, amint azonban kimegyünk a makrokozmoszba és bemegyünk a mikrokozmoszba, a távolságmérés jellege megváltozik és az eredetileg kis fokú ködösség naggyá növekszik. Az új pozitívizmus hívei a méréssel miszticizmust űznek, bálvánnyá teszik meg, amelyet hódolat illet meg és nem bírálat.

Sokat vitatkoztak és vitatkoznak azon, hogy bizonyos fizikai fogalmak mint elkülönülten létező individuumok készen vannak-e a természetben, amely esetben mi csak fölfedezzük azt, ami tulajdonképpen reánk van kényszerítve; vagy pedig mi alkotjuk-e meg e fogalmakat, amikor is belenézzük a természetbe és mi kényszerítjük reá a természetre. Ez éppen

olyan mesterséges és általánosan keresztül nem vihető szétválasztás, aminőt az empírizmus és a racionalizmus csinál. Akár azt mondjuk, hogy a fizikai fogalmak reánk vannak kényszerítve és mi csak felfedezzük azokat, akár pedig azt, hogy mi alkotjuk meg, vagyis föltaláljuk és reákényszerítjük a jelenségekre: egyik kijelentés sem fedi önmagában a tényleges helyzetet.

A legtöbb esetben fölváltva járunk a két úton, föl is fedezünk és föl is találunk, a természet is kényszerít és mi is kényszerítünk, föl is kell tennünk, hogy valami készen van a természetben, de mi is hozzátesszük a saját értelmi alkotásunkat. Először talán a természet kényszerít, az így bennünk keletkezett fogalmi elemekhez hozzáfűzünk és elveszünk belőlük valamit, a keletkezett fogalmat összehasonlítjuk újabb észlelésekkel. Ha nincs megegyezés, ez azt jelenti, hogy a természet újból kényszerít és ennek folytán mi megint hozzáfűzünk és elhagyunk valamit. Ez a folyamat folytatódik, amíg kielégítő megegyezésre nem jutunk. A fogalomkialakulás örökös lengés ide-oda a külvilág tárgyai és az értelem között. Ha a folyamat valamely pontján megállunk, azt is mondhatjuk, hogy mi választottunk, de azt is, hogy ránk lett kényszerítve a nélkül, hogy e két megállapításunk között valóságos ellentét volna. Minden fogalomban van valami önkényes és valami reánk kényszerített.

A minőségbeli ős tények beláthatatlan sokaságát inkább reánk kényszerítettnek kell mondanunk. Hogy vannak szilárd, folyékony és gáznemű testek, élő és élettelen testek, álló csillagok, bolygók és holdak, hogy a magukra hagyott testek esni törekszenek és így tovább: azt az értelemmel kitalálni nem lehetne, ha nem volna reánk kényszerítve. Hasonlóképen minden időben voltak fogalmak, amelyeken az emberi értelemtől való származás rögtön feltűnik, noha kétségtelen, hogy bizonyos érzékleti és műveleti elemekből vannak alkotva. Pythagorasz és Arisztotelesz égi szféráit, Ptolemaiosz deferens és epiciklus köreit, Kepler ellipsziseit, a végtelen és mindenütt egyforma világteret és az egyenletesen folyó időt, Einstein négyméretű világát, téridő görbületét, visszatérő egyenesszerűségét a természet nem kényszeríti reánk.

Újabb időben sokan kérdik, hogy az elektron, az atommag, a proton, a neutron, a neutríno a természetben valóban elkülönülten létező individiumok-e, amelyeket csak mi fölfedeztünk, vagy pedig értelmünknek alkotásai és így pusztán találmányok-e. Noha a Wilson-kamara föltalálása az első fölfogás felé hajlította a véleményeket, mégis az általánosabb fölfogás az, hogy e fogalmakon a szintetikus alkotási jelleg az uralkodó. Ha a kísérleti fizikus hiszi is azt, hogy külön létüket meg tudja

mutatni, ez a megmutatás az elmélet prokrusztesz-ágya nélkül nem sikerül. Eddington hasonlatával [*35*, 112] mondhatjuk, hogy minden fizikai laboratóriumban elegendő eszköz van ahhoz, hogy a fizikus a természet idomtalan márványtömbjéből az elmélet utasítása szerint kifaragja az elektronnak és akár a neutrinonak is a szobrát és úgy tüntesse fel, mintha e szobor már kezdettől fogva benne lett volna az idomtalan márványtömbben és mintha a fizikus nem is tett volna egyebet, mint azt, hogy a felesleges kőanyagot eltávolította. A mai kísérleti fizikusok nem igen haboznak, amikor a természet adottságait az elmélet prokrusztesz-ágyába fektetve egyes részeket le kell faragniok, másokat ki kell nyújtaniok, vagy meg kell görbíteniök.

Akár azt hisszük, hogy a szintetikus, akár pedig azt, hogy a természeti benyomásokból származó elemek a túlnyomók, az kétséget nem szenved, hogy a fizikai fogalmak jelentései az értelemben vannak felraktározva. Egy-egy ilyen fogalomhoz tartozó lelki elemek mindazt összefoglalják, amit a fejlődés folyamán a legkiválóbb elmék fontosnak ismertek el. Bennük és általuk a külvilágra vonatkozó tapasztalataink össze vannak sűrítve. Éppen azért, mert nem az összes, hanem csak a fontosabb tapasztalati elemeket foglalják össze, könnyű az emlékezetben való megőrzésük és a velük való gondolkodás. A külvilág észlelt tüneményeit velük értelmezni tudjuk és segítségükkel következtetéseket vonhatunk le, amelyek a külvilágban lefolyó munkáinkat irányítják.

Minthogy a fogalmak bizonyos lelki elemekből rakódnak össze, amelyek más fogalmakban is előfordulnak, azért egymással szoros kapcsolatban állanak és összefüggő fogalomrendszert, fogalomhálózatot alkotnak. Maguk a fogalmak a hálózat csomói, a fizikai törvények pedig az összekötő fonalak. Logikai szempontból a fogalmak is és a törvények is hierarchikus rangsort alkotnak, amelynek élén az alapfogalmak és az alapelvek állanak. A fogalomrendszer Volkmann hasonlata szerint [*119*, 245] olyan mint a hídszerkezet, amelynek egyes részei kölcsönösen támogatják és erősítik egymást. Ön onnét egyes részeket ki nem vehet, önállóan nem kezelhet, a tapasztalásban való szerepét külön nem vizsgálhatja. Az energia fogalmát például önmagában, a többi fogalomtól függetlenül föl nem foghatja, jelentését és jelentőségét meg nem állapíthatja, kísérleti vizsgálat tárgyává nem teheti.

Hosszú időkön keresztül a tudósok bizonyos merev, változatlan fogalmak alapján végezték vizsgálataikat és rendszeralkotásaikat. A biológusok az állat- és növényfajokat, a grammatikusok a szavakat, a filozofusok az általános fogalmakat,

a fizikusok az alapfogalmakat változatlan egységeknek tekintették. Valamennyien kénytelenek voltak felfogásukat megváltoztatni.

Fölismerték, hogy átalakulási folyamatban vagyunk benne. Sem az, amit természetnek, sem az, amit értelemnek nevezünk, nincs készen. Alkotó és feltaláló képességeinknek, gondolati folyamatainknak soha nem szűnő játékai újabb és újabb találmányokat és megismeréseket hoznak létre és ennek következtében a fizika fogalomrendszere is folytonos átalakuláson megy keresztül. A fogalmak tehát nem kezdettől fogva készen lévő, egyszersmindenkorra meghatározott lelki és logikai alakzatok, hanem a fejlődésnek eredményei és újabb fejlődésnek a kiinduló pontjai. Egyesek idővel félrelöketnek vagy jelentésnélküli formákban hervadnak el, mások újabb elemeket szedve fel vagy egyes régieket kilökve újabb alakban jelentkeznek. Az átalakulás az összehasonlító értelem, vagy az újabb tapasztalatok útmutatásai szerint, vagy a bizonyosságkeresés örök kételyének hatása alatt megy végbe. A fényre vonatkozó fogalmaink háromszáz év óta sokszor változtak és korunkban újabb változásokon mennek keresztül. Az energia fogalma folyton szélesebb területre terjeszkedik ki és folyton hígul. A hatáskvantum fogalma ma nem azt jelenti, amit először jelentett Plancknál. Mai világszemléletünkben az egyenes és a sík már nem Euklídesz egyenese és síkja. Elveknek, amelyeket valamikor megdönthetetleneknek tartottunk, ma csak közelítő vagy valószínű érvényességet vagyunk hajlandók tulajdonítani.

A fejlődés a fogalmakat is alkalmazkodásra kényszeríti. De nem született még olyan elme, amely a fizika eddigi fejlődésének tényeiből ki tudná analizálni az alkalmazkodás törvényeit. A jövőben bekövetkező fejlődést előre megállapítani lehetetlen. „A matematika jól kidolgozott tanai szerint is csak előzetes tapogató kísérletek arra a célra, hogy a jelenségek világában el tudjunk igazodni. Egy nemzedék sem kárhoztatja magát arra, hogy csak elődjeit másolja" [58, 94].

A fizikai megismerés folyamat jellegű. Folyton új dolgokat hoz létre. Kiváltsága új természeti történéseket csinálni. Folyton szélesebb területeket hódít meg és a bizonyosság foka is emelkedik. Nyugvó állapota nincs, minden ilyennek látszóban már nőnek a jövő fejlődés csirái. Minden újabb megismerés csak lépcsőfok a további emelkedéshez. Minden alkotó fizikus az előtte élt alkotók vállain nőtt nagyra és a következők felé nyujtja a saját vállait, hogy emelkedjenek rajtuk.

Noha a gondolkodásban nem maguk a szavak, hanem a hozzájuk fűződő érzékszervi és műveleti képzetek, valamint a belőlük kialakult újabb alakzatok viszik a főszerepet, mégis kétségtelen, hogy a szavakkal kifejezett gondolati képletek hatal-

mas mértékben fejlesztették a gondolkodást. Azonban tévedéseknek a forrásaivá is váltak és sok zavart is hoztak. Elfogadva Brigdmann hasonlatát [*14*, 202], azt mondhatjuk, hogy a fizika fogalomrendszere hasonlít a keresztrejtvényekhez. Bizonyos négyzeteket könnyen töltünk ki, néhány négyzet azonban sokáig makacsul ellenáll. Egyszer azután felvillan az oda illő szó, azonban kitűnik, hogy kedvéért sok négyzetet meg kell változtatni.

A legújabb fizikában tanúi lehettünk sok új szó és új matematikai szimbólum keletkezésének és alig van említésre méltó fizikus, aki ilyeneket ne alkotott volna. Legnagyobbrészt olyanokat alkottak, amelyek kedvéért a fizika keresztrejtvényhálózatában lévő más szavakat is meg kellett változtatni. Az új szavakhoz azonban ritkán fűződtek csak némileg is határozott érzékszervi és műveleti képzetek. A velük kifejezett elvek inkább apriorisztikus dogmák, mint fizikailag is ellenőrizhető és értelmezhető természettörvények. „Sok probléma, amellyel a fizika ma vesződik, végső analízisben verbális természetű" [*24*, 159]. A meg nem oldott vagy meg nem oldható kérdések bőséges frazeológiával burkoltatnak be.

Sokan hozzászoktak ahhoz, hogy a világ megértésének kulcsát szavakban és matematikai szimbólumokban keressék és hiszik, hogy velük új megismerésekhez lehet jutni, problémákat lehet megoldani és a világ természeti folyamatait kótákba lehet szedni. Kitartóan hiszik, hogy ezen az úton célhoz lehet jutni, noha elég példa mutatja, hogy a szavak és a matematikai szimbólumok sokszor akadályozzák a kutatást, az avatatlant pedig félrevezetik és bőséges frázisok és formulák gyártására indítják.

A fogalmakba való öltöztetés sajátságos jelleggel jár. Az ember azt gondolná, hogy az ismeretlent az ismertre kellene visszavezetni. Éppen ellenkezőleg történik: az ismertet az ismeretlenben oldjuk fel. Például a gázok nyomását, amelyet ismerünk, molekulalökésekre vezetjük vissza, amelyeket nem ismerünk. A tapasztalati törvényszerűségek helyébe absztrakt ideális folyamatokat, a tapasztalati való helyébe összefüggő gondolathálózatot állítunk; csupa olyan dolgot, amelyeket nem ismerünk. Az úgynevezett tiszta jelenségek, amelyekről matematikai alakú természettörvényeink szólanak, mindig olyanok, hogy a tapasztalatban csak közelítőleg találhatók meg. Mindent általánosítunk és nem vesszük észre, hogy a nagy általánossággal megfogalmazott tételeinknek sokszor nincs fizikailag megfogható jelentésük, a legtöbbször üres tautologiába vagy szódefinícióba süllyednek.

A legtöbbször körben forgunk. Az észlelésekből indulunk ki, belőlük fogalmakat és elveket vonunk le, ezeket elméletbe

szőjük össze és ezzel visszafelé következtetve igazoljuk, „bebizonyítjuk" azt, amit észleltünk. Kiindulunk például abból, hogy a „nehéz" tömeg egyenlő a „tétlen" tömeggel, ebből nagy általános alapelvet absztrahálunk ki, ezen az alapon az általános relativitási elmélet mező egyenletét szerkesztjük meg és ezzel aztán bebizonyítjuk, hogy a „nehéz" tömegnek egyenlőnek kell lennie a „tétlen" tömeggel.

Kétségtelen, hogy a fizikai megismerés sokszor körben forog. Hasznosságát azonban le nem tagadhatjuk. Az absztrakt ideális fogalmakhoz való fölemelkedés tágabb láthatárt nyit a kutató számára, új meglátásokat és újabb szabatosságot és fínomodást sugall. Az a körbenforgás például, amely az esés jelenségéből kiindulva megalkotta a szabadesés, ennek alapján a nehézségi erő, ennek alapján a potenciálelmélet absztrakt ideális fogalmait és belőlük visszatért a tapasztalható jelenségekhez, vezette Eötvös Lorándot abban, hogy meglássa, mit mutat gravitációs eszköze.

Az ismeretelméleti művek sokat foglalkoznak a fizikai megismerés *emberies* (anthropomorf) jellegével és sokszor hangzik fel a jelszó: ezt a jelleget ki kell küszöbölni és *tárgyiasságra* (objektivitásra) kell törekedni. Lássuk, mit jelentenek e szavak.

Az nem kétséges, hogy a fizikai megismerés az ember testi szervezettségéből, érzékszerveinek és műveleteinek adataiból fakadt és hogy legnagyobb részét az emberi alkotások fizikája teszi ki. Az is természetes, hogy az ember az alkotásaival szerzett fogalmakat és törvényeket kiterjesztette a tőle független természet folyamataira. Értelme döntötte el, mit figyeljen meg, milyen műveleteket végezzen, mit és hogyan mérjen és így természetes, hogy a törvényeket olyan keretbe foglalta, amelyek a saját természetének felelnek meg. Minden, ami a fizikai megismerésben szerepet visz, emberies, tehát a fizika nem is lehet más, mint emberies.

Sokan vannak abban a fölfogásban, hogy a fizikus akkor közeledik a tárgyiassághoz, amikor a szemlélettől távozik, a minőségi elemeket számokban oldja fel, absztrakt fogalmakkal dolgozik és a matematika fogalmaival és műveleteivel fejezi ki megismeréseit. Ez a fölfogás nem állhat meg, mert, ha nem is valljuk a tiszta matematikusok álláspontját teljesen, kétségtelen, hogy a matematika az ember értelmének egyik legsajátlagosabb alkotása. A fizikus tehát a matematikával az emberies jelleget nem küszöböli ki, hanem ellenkezőleg: beleviszi.

Egészen másutt kell keresni a tárgyiasságot, vagyis azt a jelleget, amely a fizikát a hely, a korszak, az egyéniség, az embercsoportok, a nemzetek korlátai fölé emeli. Mindenek fölött

és előtt abban, hogy a segítségével alkotott dolgokkal tele van a Föld felszíne és bennük lüktet az emberi élet, a civilizáció és a kultúra. Azután abban, hogy segítségével minden egyes egyén saját észlelései és műveletei alapján ugyanazokra az eredményekre juthat reá, amelyeket tőle időben és térben távol levő más egyének kaptak, kifejlődhetik benne a meggyőződés, hogy tudása a mult és a jelen korszak legkiválóbb elméinek tudásával egyezik, hogy az az emberiségnek esetlegességektől független közös birtoka és az értelem egyetemességének és a természetnek a megnyilatkozása. Amit egy európai tudós megkezdett, azt egy japán, kínai vagy hindu tudós folytathatja. A gondolatot, amely sok száz év előtt született, ma valóra lehet váltani. A fizikai alapismeretek valóban mindenütt ugyanúgy fejlődtek. Mindenütt volt kőkorszak, kalapács, kés, dárda, íj, nyílvessző, tűz, kerék, emelő, fonás, szövés. Népek, amelyek különböző helyeken és időben éltek, ugyanazokra a találmányokra jutottak reá és nagyjából ugyanazokat a fogalmakat is alkották. A tárgyiasság végül a fizikának jellegzetes tulajdonságában van, hogy nemcsak szavakkal tud beszélni, hanem általánosabb, a nyelvi alakzatoktól független beszéde is van, amelyet mindenki megért, megtanulhat és lemásolhat. Ez a beszéd a megmutatás, a szemléltetés, a reprodukálás. Ehhez nincs szükség nyelvre. Az csak másodrendű segédeszköz.

A történeti fejlődés folyamán lassanként kialakult a hit, hogy a fizika fogalmai helytől, kortól, embertől független, örökké megmaradó dolgokat jelentenek. A hitet azonban sokszor kellett megváltoztatni. A legnagyobb ilyen kiábrándulás akkor következett be, amikor összes tudásának tekintetbe vételével az embernek arra kellett következtetnie, hogy az égi testeknek mindenki előtt ismeretes mozgása csak látszat. A kiábrándulás folytatódott, amikor kitűnt, hogy a Földön látható dolgok szemlélete sok mindentől, első sorban a megvilágító fény minőségétől függ. Az optikai eszközök, a különféle fényfajták, a röntgen- és az elektronsugarak feltalálása után a dolgokról nyert szemléleti képek óriási változáson mentek keresztül. Azután kitűnt, hogy a többi érzetek is sok mindentől függnek. A második nagy kiábrándulás akkor következett be, amikor az ember tudatára jutott annak, hogy fizikai tudásába ő maga helyez be önkényesen sok mindent, aminek tárgyias alapját a saját elméjében kell keresnie. A sok kiábrándulás dacára a kezdetbeli hit makacsul tartotta magát továbbra is. Ha az égi testek mozgása csak látszó, kell lenni olyan mozgásuknak, amely független a szemlélő álláspontjától és öröktől fogva ugyanaz. Ha a szemléleti képek a megvilágító fénytől és az optikai eszközöktől, az érzetek általában a külső körülmények-

től függnek is, mégis olyan szerkezetektől kell származniok, amelyek örök időktől fogva változatlanok és függetlenek a velük együtt fennálló egyéb körülményektől. Ha az emberi értelem maga helyez is be sok mindent a szemléletbe, ez azért van, mert örök időktől fogva készen lévő, apriori meghatározott kategóriák szerint szemléli a világot.

E hittel kapcsolatban két kőkemény és súlyos szó kovácsolódott ki az emberi értelemben: a *valóság* és az *abszolút*. A köznapi életben is sokat szerepelnek, használatukat a fizikai tudományokban sem lehet elkerülni, a filozofiának, főleg a metafizikának pedig ezek a legfőbb fogalmai. Jelentésükről könyvtárak íródtak össze.

A fizikusnak is, mint minden tudósnak, vannak metafizikai gondolatai, olyan gondolatok, amelyeket érzékszervi és műveleti képzetekre, logikai fogalmakra és szabályokra, a képzelő erő játékaira nem tud visszavezetni. Ilyenek a találmányok és megismerések létrehozásának megindításánál is közreműködnek. Sokszor úgy rémlik neki, hogy bizonyos részleges dolgok részleges tulajdonságainak valóságát sikerült is kikutatnia, ezekről is később rendszerint kitűnik, hogy kérészéletű, múlékony megismerések voltak, felmerültek, divattá váltak, aztán eltűntek vagy újabb alakú megismerésbe olvadtak bele. Ha azonban azt a követelést állítják fel, hogy az egész valóságot kell kikutatnia, akkor nem tud e szóval mit kezdeni; belőle olyan következtetéseket, amelyek kutatásainál vezérelvül vagy módszerül szolgálhatnának, nem tud levonni. Az egész valóság és a dolgok valóságos természete olyan szavak, amelyeknek a jelentését a fizikus nem tudja megadni. „Ha az Isten ismeri is a dolgok valóságos természetét, ő sem tudna megfelelő szavakat találni, amelyekkel azt nekünk tudtul adhatná" [*99*, 203].

A *fizikai valóság* vagy *realitás* szónak azonban már aránylag eléggé határozott jelentése van. Jelenti a lehetséges tapasztalatok tárgyát, azt, amihez érzékszerveinkkel és műveleteinkkel hozzá tudunk férni és az így megszerzett megismeréseket elménkben átdolgozni, rendezni, a fizika rendszerébe beledolgozni tudjuk úgy, hogy a föntebb ismertetett tárgyias jelleg megmaradjon. A fizikus számára a valóságnak más jelentése nincs. A fizikus hiszi ugyan, hogy az így megismert világ mögött dolgok vannak, amelyek érzékszerveinkre hatást tesznek és amelyeket műveleteinkkel bizonyos mértékben meg tudunk változtatni, de nem hiszi, hogy azt más úton mint ezen, meg lehetne ismerni. Az *idealizmus* és a *realizmus* problémái a fizikus számára nem problémák. Ezek éppen olyan mesterséges szétválasztások, mint amilyeneket az empirizmus és a racionalizmus csinál.

A fizikai valóság az érzékszervi és műveleti képzetek, a fogalmak, elvek, módszerek, a matematika alkalmazása és a tárgyiasság, szóval az összes megismerési tényezők szempontjaiból három lényegesen különböző világra, a közvetlen tapasztalat, a makrokozmosz és a mikrokozmosz világára oszlik fel.

A közvetlen tapasztalat világának összes dolgai valamennyi érzékszervünkre hatnak, velük és rajtuk temérdek sok műveletet végezhetünk. Ezek a dolgok régi idők óta ismeretesek. Ha van értelme a való szónak, akkor ezek csakugyan valók. A makrokozmosz dolgai csak láthatók, a mikrokozmoszé azonban közvetlenül nem is láthatók, csak bizonyos jelenség látható, amelynek létrehozását nekik tulajdonítjuk. Műveleteket végezni velük és rajtuk nem tudunk. Testeknek nevezzük ezeket is azokat is, azonban az égi test, a molekula, az atom, az elektron, a proton fogalma tökéletesen más ismertető jeleket foglal magában, mint a közvetlen tapasztalatban szereplő testeké, A tér és az idő fogalmaihoz fűződő képzetek is más jelleget kapnak, ha a közvetlen tapasztalat világából a makro- és a mikrokozmoszba visszük át.

A közvetlen tapasztalat világában lefolyó folyamatokról érzékszerveink értesítenek. A makrokozmoszban lefolyó bizonyos folyamatokról látószervünk értesít, de ezeken kívül ide is, valamint a mikrokozmoszba olyan folyamatokat gondolunk bele, amelyekről érzékszerveink nem értesítenek. Az érzetek helyébe gondolatok, önkényes gondolati szerkezetek, képzelt folyamatok lépnek.

A matematika fogalmai és műveletei a közvetlen tapasztalat köréből származtak és itt jó szolgálatot is tesznek. Amikor azonban azokat kivisszük a makrokozmoszba és bevisszük a mikrokozmoszba, a hozzájuk tartozó jelentések megváltoznak. Minő alapon várjuk azt, hogy itt éppen olyan jó szolgálatot tegyenek, mint ott, ahol keletkeztek és aminek a leírására alkotódtak?

A világ egységességének a gondolata a közvetlen tapasztalat világában keletkezett és belőle származott a gondolat, hogy a végtelen kicsiny a végesnek a hasonlóságon alapuló redukciója és a végtelen nagy a végtelen kicsinyek és a végesek összegeződése. Ezen az alapon a mindenség hatói a végtelen kicsiny molluszkába helyeződtek és az az alapfelfogás keletkezett, hogy a fizikai történések differenciálegyenletekben fejeződhetnek csak ki. Már most kitűnt, hogy a differenciálegyenletek éppen a mikrokozmosz leírására nem alkalmasak. A mindenség összes hatóit nem lehet a végtelen kicsiny molluszkában elhelyezni. Ebben a világban egy egészen újfajta, nem redukálható elemet kell feltételezni: a nem osztható hatáskvantumot. Kitűnt azután, hogy a makrokozmosz számára is egysé-

gesebb világképet nyerünk, ha abba a világgörbület fogalmát szerkesztjük bele.

A közvetlen tapasztalat világának elvei és törvényei vagy nem érvényesek, vagy sajátságos átalakuláson mennek keresztül, ha velük a makro- és mikrokozmoszba lépünk át. A világegyetem legáltalánosabb törvényei az általános nehézkedés és a tétlenség törvényei voltak. A mikrokozmoszban való szerepükről, noha elméletekkel bőven el vagyunk látva, senki sem beszél. Az új fizika szerint a makrokozmoszban is teljesen átformálódtak. A közvetlen tapasztalat világának legérdekesebb és a legszélesebb területekre kiterjedő törvényei az elektromos törvények. A mikrokozmosz fizikájában bőségesen van róluk szó, azonban a makrokozmoszra még senki sem terjesztette ki e törvényeket.

Nyilvánvaló, hogy a makro- és mikrokozmosz fizikája a megismerés és a fizikai valóság szempontjából teljesen más, mint a közvetlen tapasztalat fizikája. Az a matematikai szerkesztések, a hipotézisek, a kevéssé korlátozott képzelő erő, az új ismeretelméleti elvek, az apriorizmus világa. A fizikai valóságnak ez a része csakugyan folytonosan megy át a metafizika világába. Korunkban az ember megismerő képességének legnagyobb erőlködései e téren folynak le.

A fizikai megismerés tárgyiasságával kapcsolatban alakult ki az *abszolút* szó is. A közönséges életben és a tudományban sokszor használjuk és pedig a legtöbbször úgy, hogy semmi különösebb jelentést nem fűzünk hozzá. Amikor például azt mondjuk valamiről, hogy abszolút egyszerű, azzal nem mondunk többet, mint ha csak azt mondanók, hogy egyszerű; csak nyomatékot, hangsúlyt akarunk adni a szónak, amely utána következik. Az abszolút pontosság kifejezés viszont nem jelent mást, mint az elérhető legnagyobb pontosság.

Sokszor annak a fogalomnak, amely előtt áll, a határfogalom jellegét adja. Az abszolút merev, abszolút rugalmas, abszolút rugalmatlan, abszolút fekete test szakkifejezésekben is ez a jelentése. De itt is célszerűbb volna az „ideális" szó használata, ahogyan az az ideális gáz teljesen azonos jellegű fogalmában szokásossá vált.

Az abszolút mértékegységeknél az abszolút szónak semmi jelentése sincs. E mértékegységek is önkényes választással kapták meg definíciójukat, nem változatlanok, nem függetlenek.

Az abszolút nulla-fok határfogalom, de metafizikai hit is fűződik hozzá, amely szerint a világnak valamilyen minden más körülménytől független állapotát jelzi. Nyilvánvaló azonban, hogy emberi önkényes választások, extrapolációk és általánosítások útján származott. Ha a hőmérsékleti fokozatokat

nem aritmetikai, hanem geometriai számsorokkal definiáltuk volna, amihez teljes jogunk van, akkor az alacsony hőmérsékletek felé is a végtelenségig terjedő számsorozat állana rendelkezésünkre úgy, ahogyan az a magasabb hőmérsékletek felé van.

Kétségtelen, hogy a fizikusok sokszor törekedtek olyan megismerésekre, amelyek állandók és függetlenek minden későbbi megismeréstől. Ezt a hitüket az abszolút szónak a fogalomhoz való függesztésével jelölték meg. Minthogy az elemek atomsúlyai a kémiai és fizikai, a kísérleti és az elméleti vizsgálatoknál sokszor beváltak és új beigazoló találmányokhoz is vezettek, lassanként mint abszolút súlyok kezdtek szerepelni. Az izotópok, a radioaktivitás tapasztalati tényei és a kvantumelmélet fogalmai azonban csattanós cáfolatot hoztak e felfogásra. Kitűnt, hogy az atomsúlyok nem örökké változatlan és a külső körülményektől független mennyiségek.

Ugyanez a metafizikai felfogás kapcsolódik a hatáskvantum és az energiakvantumok fogalmához és megvan a valószínűség arra, hogy a cáfolat itt is bekövetkezik.

A metafizika fogalmaival való operálgatások és kacérkodások a legszélesebb mederben akkor folytak le, amikor az abszolút tér, idő és mozgás problémái felvetődtek. Nagy felfedezéseknek tűntek fel a megállapítások, hogy nincs abszolút egyidejűség, abszolút tér, abszolút idő, abszolút mozgás, abszolút sebesség, abszolút gyorsulás, abszolút tömeg, abszolút erő, hanem hogy mindezek relatívok. Ellenben van abszolút fénysebesség, abszolút anyagenergia, a geodetikus vonalon való abszolút mozgás, a vonatkozási rendszerektől független invariánsokkal kifejezett abszolút természettörvény.

Ki tagadhatná, hogy e gondolati folyamatok értelmünk részére felfrissítőleg hatottak, tudatossá tették a tudat alatt eddig is meglevő meggyőződéseket. Kétséges azonban, hogy a fizikai valóság számára hoztak-e új megismeréseket. A relativistáknak erőlködései, amelyekkel az újnak tetsző megállapításokból olyan következtetéseket igyekeztek levonni, amelyek érzékszervi és műveleti új megismerésekhez is vezessenek, alig jártak eredménnyel.

A valóság és az abszolút fogalmának jelentésére a filozófusok is nagyon sokféle meghatározást adtak, a fizikus a maga megismerő módszereivel azok egyikébe se tud belekapaszkodni. Mindíg olyasféle fogalmi jegyekről van szó, amelyek, miként a láthatár, az elérhetetlenséget már magukban foglalják. Képileg szólva valójában értelmünk szélső láthatárát jelzik. Az abszolút szónak valamihez való hozzátétele tehát már fogalmilag magával hozza azt, hogy nincs. Ha a „nincs" szót a fizikailag megállapítható valóságra vonatkoztatjuk, ak-

kor a tétel, hogy abszolút tér nincs, semmi más, mint tautológia, mintha azt mondanók: a nem létező tér az nincs. Hasonlóképen tautológia az is, ha mindenhez, aminek abszolút voltát tagadjuk, hozzátesszük azt, hogy relatív. Az a megállapítás, hogy a tér, idő, stb. relatív, fizikai megismerésünket semmivel sem gyarapítja.

A tér, idő stb. sem nem abszolút, sem nem relatív, hanem csak tér és idő. A tér és az idő van, mert ezekhez a szavakhoz az érzékszervi és műveleti tudatnak hosszú sorai fűződnek.

A fizikai megismerést nem relativitása és az abszolúttal való kacérkodása jellemzi, hanem tárgyias volta. Az, hogy e megismeréshez nincs feltétlenül szükségünk a nyelvre, hogy igazságairól érzékszerveinkkel és műveleteinkkel közvetlenül is meggyőződhetünk, a nyelv segítségül vétele mellett pedig a mult és a jelen legkiválóbb elméinek tudását magunk is elsajátíthatjuk és vele maradandó műveket alkothatunk, emeli e megismerést a hely, a kor, az egyéniség, az embercsoportok és a nemzetek korlátai fölé. Ezért válhatott a fizika a reális tudományok legtisztább típusává és adhatta meg mindegyik részére az alapfogalmakat, az alapelveket, a kutató eszközöket és módszereket. Minthogy a kényszerített és az érzékszervekkel és a műveletekkel ellenőrizhető, továbbá a feltalált és megteremtett tényeknek óriási sokasága áll rendelkezésre, kötelezve volt arra, hogy fölibük emelkedjék, tőlük messze el is távozzék, elméleteket alkosson, velük a tények rendezését, emlékezetben tartását és tanulását megkönnyítse, ne csak tudósítson, hanem értelmezzen és magyarázzon is. Azzal, hogy az értelem legmesszebb terjedő skáláján játszott, válhatott az ismeretelmélet és a filozófia legbőségesebb példatárává és azzal, hogy az emberi képességeket a legmesszebb kifejlesztette, hozhatott az összes tudományok között az élet számára a legtöbbet.

# IRODALOM


1. Alt, Handb. d. Phys. Bd. V, 1927.
2. Andrade, The Mechanism of Nature, 1930.
3. Bavink, Die Hauptfragen d. h. Naturphilosophie, 1928.
4. Bergmann, Der Kampf u. d. Kausalgesetz, 1929.
5. Bergson, L'évolution créatrice, 1911.
6. Bohr, Naturwissenschaften, 1830.
7. Bohr, Phil. Mag. v. 26, 1913.
8. Born-Jordan, El. Quantenmechanik, 1830.
9. Born, Proc. Roy. Soc. Edinb. 1938.
10. Born, Voss. Zeit. Apr. 12. 1928.
11. Born, ZS. f. Phys. Bd. 37. 1916.
12. Born, ZS. f. Phys. Bd. 38. 1916.
13. Boutroux-Fogarasi, Tudomány és vallás, 1914.
14. Bridgman, The Logic of mod. Phys. 1928.
15. L. de Broglie, Licht u. Materie, 1939.
16. M. de Broglie, Atomes, radioact., transm. Flammarion.
17. Carnap, Phys. Begriffsbildung, 1926.
18. Cauchy, Sept leçons d. phys. gén.
19. Darrow, The Renaissance of Phys. 1936.
20. Darwin, The New Conceptions of Matter, 1931.
21. Diels, Die Fragmente d. Vorsokratiker, 1906.
22. Dingle, Nature, 1937.
23. Dingle, Science a. Human Experience, 1931.
24. Dingle, Through Science to Philosophie, 1937.
25. Dingler, D. Grundlagen d. Phys. 1919.
26. Dingler, D. Methode d. Phys. 1938.
27. Dingler, D. Problem d. abs. Raumes, 1923.
28. Dingler, D. Phil. d. Math. i. d. Gegenwart, 1932.
29. Dirac, Proc. Roy. Soc. Edinb. v. LIX. p. II.
30. Dotterer, Phil. b. Way o. t. Sciences. 1929.
31. Duhamel, C. R. 1869.
32. Eddington, Space, Time a. Grav. 1929.
33. Eddington, The Nature o. Phys. World, 1930.
34. Eddington, New Pathways in Science, 1935.
35. Eddington, The Philos. o. Phys. Science, 1939.
36. Einstein, Ann. d. Phys. Bd. 17, 1905.
37. Einstein, Ann. d. Phys. Bd. 49, 1916.

*38.* Einstein, Berl. Berichte, 1917.
*39.* Einstein, Forum Philos. Bd. I.
*40.* Einstein, D. Grundlagen d. allg. Relativitätstheorie, 1916.
*41.* Einstein-Infeld, L'evolution des idées etc. Flammarion, Paris.
*42.* Einstein, Phys. ZS. Bd. 10. 1909.
*43.* Einstein, Phys. ZS. Bd. 18. 1917.
*44.* Einstein, Über d. spec. u. allg. Rel.-theorie, 1920.
*45.* Einstein, Quatre. conf.
*46.* Fergusson, Nature, 1936.
*47.* Frank, Das Kausalges. u. seine Grenzen, 1932.
*48.* Freundlich, D. Grundlagen d. Einst. Grav.-theor. 1920.
*49.* Fürth, Handb. d. Phys. Bd. IV. 1929.
*50.* Gehrcke, Ber. d. b.-Ak. d. Wiss. 1912.
*51.* Gehrcke, Physik u. Erk.-theorie, 1921.
*52.* Gehrcke, Die Relativitätstheorie, 1920.
*53.* Guth, Handb. d. Phys. Bd. IV. 1929.
*54.* Halasi-Nagy, Kornis, Szellemi élet, 1939.
*55.* Halpern, Handb. d. Phys. Bd. V. 1929.
*56.* Hamel, Handb. d. Phys. V. 1929.
*57.* Heisenberg, Les princ. phys. d. l. Théor. d. Quanta, 1932.
*58.* Heisenberg, Neue Fortsch. i. d. exakt. Wiss. 1936.
*59.* Heisenberg, ZS. f. Phys. Bd. 33. 1935.
*60.* Heisenberg, Wandl. i. d. Grundl. d. Naturw. 1935.
*61.* Helmholtz, Reden, 1892.
*62.* Helmholtz, Wiss. Abh. Abt. I.
*63.* Hermite, Correspondance etc.
*64.* Hilbert, Math. Ann. 1917.
*65.* Hoppe, Geschichte d. Phys. 1926.
*66.* Isenkrahe. Zur Elem.-anal. d. Relat.-theorie, 1921.
*67.* Jeans, Astronomy a. Cosm.
*68.* Jeans, The Mysterious Universe, 1935.
*69.* Jeans, The New Backgr. o. Science. 1933.
*70.* Jordan, Die Naturwissenschaften, 1937.
*71.* Klein, F. Elem.-mathematik v. höh. Standpunkte, 1909.
*72.* Kornis, Bevezetés a tud. gondolkodásba, 1922.
*73.* Lange, Die gesch. Entw. d. Bew.-begriffs, 1886.
*74.* Laplace, Essai philos. sur les probabilités, 1816.
*75.* Laue, Das Relativitätsprinzip, 1919.
*76.* Lenard, Deutsche Physik, 1935.
*77.* Lenard, Über Relat.-prinz., Äther, Gravitation, 1920.
*78.* Levy, Nature, 1936.
*79.* Lindemann, Nature, 1938.
*80.* Mach, Die Mechanik i. ih. Entw. 1897.
*81.* Mach, Erkenntniss u. Irrtum, 1905.
*82.* Mach, Prinzipien der Wärmelehre, 1890.
*83.* Maxwell, Substanz u. Bewegung, 1881.

*84.* Mie, Die Einsteinsche Grav.-theorie, 1921.
*85.* Millikan, Nature, 1931.
*86.* Minkowski, Raum u. Zeit, 1909.
*87.* Mises, Wahrscheinlichkeit, Statis. u. Wahrh. 1928.
*88.* A. Müller, Das Problem d. abs. Raumes, 1911.
*89.* Natorp, Die log. Grundl. d. exakt. Wiss. 1910.
*90.* Neumann C. Über d. Prinz. d. Gal.-Newt.-theorie, 1870.
*91.* Newton, Philos. natur. princ. math. 1723.
*92.* Nietzsche, Wille zur Macht, Kröner.
*93.* Northrop, Science a. f. Principles, 1931.
*94.* Palágyi, Athenaeum, 1901.
*95.* Pasch, Der Urspr. d. Zahlbegriffs, 1830.
*96.* Paulsen, Einl. i. d. Philosophie, 1906.
*97.* Petzoldt, Das Weltproblem, 1912.
*98.* Poincaré, Tudomány és föltevés, 1908.
*99.* Poincaré, Der Wert der Wissenschaft, 1910.
*100.* Poincaré, Science et Méthode, 1908.
*101.* Planck, Das Prinz. d. Erhalt. d. Energie, 1908.
*102.* Planck, Wege zur phys. Erkenntniss, 1933.
*103.* Planck, Religion u. Wissenschaft, 1937.
*104.* Reichenbach, Axiom. d. rel. Raum-Zeit-Lehre, 1924.
*105.* Reichenbach, Philos. d. Raum-Zeit-Lehre, 1928.
*106.* Reichenbach, Ziele u. Wege d. heut. Naturphil. 1931.
*107.* Rutherford, Nature, 1938.
*108.* Schlick, Naturphilosophie, 1925.
*109.* Seeliger, Ber. d. bay. Ak. d. Wiss. Bd. XXXVI, 1906.
*110.* Solymossy, Budapesti Szemle, 1940.
*111.* Stallo, Die Begr. u. Theorie d. mod. Phys. 1901.
*112.* Streintz, Die phys. Grundl. d. Mech. 1883.
*113.* Study, Denken u. Darstellung, 1921.
*114.* Study, Mathematik u. Physik, 1923.
*115.* Troels-Lund, Himmelsbild u. Weltansch. 1907.
*116.* Thirring, Handb. d. Phys. Bd. IV. 1929.
*117.* Thirring, Neuere Fortschr. i. d. exakt. Wiss. 1936.
*118.* Vogtherr, Das Problem d. Gleichzeitigkeit, 1939.
*119.* Volkmann, Erkenntn. Grundz. d. Naturw. 1910.
*120.* Voss, Über d. Wesen d. Mathematik, 1908.
*121.* Weyl, Philosophie d. Math. u. Naturw. 1926.
*122.* Weyl, Raum-Zeit-Materie, 1918.
*123.* Whitehead, Science a. the Mod. World, 1929.
*124.* Wien, Die Relat.-theorie, 1921.
*125.* Wundt, Erkenntnisslehre, 1880.
*126.* Wundt, Methodenlehre, 1883.

# ÉRTELMEZŐ SZÓTÁR.

Olyan olvasók számára készült, akik a filozófiai és a fizikai szakkifejezéseket nem használják állandóan. Célja az, hogy közelítő jelentésüket az emlékezetbe visszaidézze. Csak azok vannak itt felsorolva, amelyeknek jelentése magában a szövegben nincs megadva, csupán meg vannak említve. Viszont a szövegben ismételten előfordulnak bizonyos szakkifejezések, de jelentésük csak a szövegnek egyik helyén van megadva. Az ilyenek e szótárba nincsenek felvéve. Jelentésüket a név- és tárgymutatóban jelzett helyen lehet megkeresni. F. p. = fogalompárja.

*abszolút* a vonatkozásoktól, korlátozásoktól, feltételektől független, a változásoknak alá nem vetett. F. p.: relatív.

*absztrakt* = elvont a tisztán gondolati, fogalmi, nem szemléletes. F. p.: konkrét.

*alfa-sugarak* a radioaktív anyagokból kilövelt nagy sebességű héliumatomok raja.

*analízis* = elemzés, valamely egésznek, tudatnak, jelenségnek, folyamatnak, dolognak, gondolatnak részekre bontása. F. p.: szintézis = összetevés, szerkesztés.

*anión* az elektrolízis folyamatában az anódon (a pozitív elektródon) kiváló anyag. F. p.: kation.

*anódsugarak* = csősugarak = atomsugarak, az elektromos feszültség hatása alatt ritkított gázokban az anódból kiinduló pozitív elektromos töltésű és nagy sebességű atomok raja. F. p.: katódsugarak.

*anthropomorf* = emberies, emberszabású.

*apriori* a minden tapasztalattól független. F. p.: aposteriori = tapasztalati.

*apriorizmus* gondolkozási irányzat, amely szerint a megismerés a tapasztalattól függetlenül, tisztán az értelem szerkezetéből ered.

*atomáris* = atomi, atomszerű.

*axiomatizmus* gondolkodási irányzat, amely a tudomány alapját bizonyos alapelvekben (axiomákban) látja.

*Balmer-képlet.* A hidrogén látható színképe meghatározott egyszínű (monochromatikus) fénynemeket mutat, amelyeknek rezgésszámát

$$\nu = R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

képletből lehet kiszámítani, $\nu$ a rezgésszám, $R$ tapasztalati állandó (Rydberg-állandó), $m = 2, n = 3, 4, 5 \ldots$ A képletet a hidrogén vörösön-inneni és ibolyántúli, valamint más gázok színképeire is ki lehetett terjeszteni. Általános alakja:

$$\nu = RZ^2\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

$Z$ az elem rendszáma, $n = 1, 2, 3, \ldots, m = n + 1, n + 2, n + 3, \ldots$

Az $\frac{1}{m^2}$ és az $\frac{1}{n^2}$ tagok megfelelő kombinációja egy-egy színképi vonalat, egy-egy „term"-et határoz meg. A színképi vonalak általában sorozatokat, „szeriesz"-eket alkotnak, amelyeket egy-egy választott $m$ értéke határoz meg.

***béta-sugarak*** a radioaktív anyagokból kilövelt nagy sebességű elektronok raja.

***Brown-mozgás*** folyadékokban és gázokban mikroszkóppal megfigyelhető jelenség. Azt mutatja, hogy a nagyon kicsiny (de a molekulánál nagyobb) anyagi részecskék örökös mozgásban vannak. A kinetikus gázelmélet molekulalökésekkel magyarázza.

***circulus*** = körbenforgás, hamis bizonyító eljárást jelent, amely a bebizonyítandó tételt a kiinduló tételbe rejtve belefoglalja.

***Compton-hatás*** eléggé bonyolódott fénytani kísérleti tény, amely az elmélet szerint azt mutatja, hogy az anyagon visszaverődve szétszóródott fény (elsősorban a röntgen-fény) energiája és rezgésszáma kisebb, mint a beeső fényé. Az elmélet szerint e kísérlet a fény részecskeszerű (korpuszkuláris) szerkezetét bizonyítja. A fényrészecskék (a fotonok) összeütköznek az anyag elektronjaival, energiát adnak át nekik, tehát maguk energiát veszítenek.

***Coulomb-erő*** elektromos részecskék között a távolság négyzetével fordított arányban működő erő.

***diffrakció*** = elhajlás fényfajták, röntgen-sugarak, elektronsugarak és más kis részecskék irányváltozása réseken, optikai rácsokon, kristályokon való áthaladás alkalmával.

***dedukció*** az általánosból a részlegesre való logikai következtetés. F. p.: indukció.

***diffuzió*** folyadékok, gázok egymásba való áthatolásának a jelensége.

***diszkontinuum*** = szakadásosság. Közelebbről kevés szóval meg nem határozható matematikai alapfogalom. F. p.: kontinuum = folytonosság.

***disszociáció*** oldatokban lefolyó, szintetikus úton kigondolt folyamat, amely szerint a molekulák az oldatban folyton szétszakadnak részeikre és ezekből újból összealkotódnak.

***dogmatizmus***, gondolkodási irányzat, amely alapfogalmakat és alapelveket fogad el a nélkül, hogy keletkezésükkel, érvényességükkel, igazságtartalmukkal törődnék.

***élan vital***, Bergson francia filozófus közelebbről meg nem határozható alapfogalma az élet hajtó erejének a jelölésére.

***eleáták***, Elea görög városban 500 körül Kr. e. tanító filozófusok, Xenofanesz, Parmenidesz, Zeno, Melisszosz, akik a lét változatlanságát hirdették.

***égi egyenlítő*** az a gömbi főkör, amelyben a földi egyenlítő síkjának gondolati meghosszabbítása a szimbolikus éggömböt metszi.

***ekliptika*** = nappálya, az a gömbi főkör, amelyet a Nap középpontja a szimbolikus éggömbön egy év leforgása alatt leír.

***elektród***-ok nagyobbrészt szilárd állapotú testek, amelyek az elektromos áramot az elektrolitbe be és ki vezetik vagy általában azok a testek, amelyek kö-

zött elektromos feszültség, vagy elektromos erőmező van, a pozitív töltésű az anód, a negatív töltésű a katód.

*elektrolit* minden anyag, amely az elektromos áramot anyagátalakulással kapcsolatban vezeti. Legtöbbször sók, savak és lúgok vizes oldatai.

*elektrolízis* az elektromos áram hatása alatt létrejövő vegyi átalakulás folyamata.

*elektromosság-számláló* a radioaktív anyagokból kilövelt elektromos töltésű elemi részecskék jelzésére szolgál. A csúcsos elektromosság-számláló kis zárt kamara, amelyben egy tű van elhelyezve a kamrán lévő kis nyílással szemben. A tű és a kamra fala között rendesen mintegy 3000 Volt-os elektromos erőmező áll fenn és közéjük galvanométer, elektrométer vagy telefon van iktatva. Ha a kamrába a kis nyíláson keresztül nagy sebességű elektromos részecskék jutnak, az ott lévő gázt (levegőt) ionizálják, részleges elektromos kisülés jön létre, amelyet a galvanométer, az elektrométer kitéréssel, a telefon kattanással jelez.

*elem* általános használatú alapfogalom a végső, bonthatatlanoknak gondolt dolgok jelölésére. A fizikában és a kémiában hosszú időkön át elemek olyan anyagok voltak, amelyekre minden más anyag felbontható és amelyekből újból felépíthető.

*elemi alkatrészek* oly részecskék, amelyekből az új fizikai világfelfogás szerint minden atomot felépítve kell gondolni és amelyekkel minden fizikai és kémiai jelenséget meg lehetne magyarázni. Az elmélet a pozitív és a negatív elektron, a proton, a neutron, a foton és esetleg még a mezon, a neutrino és a neutret fogalmát alkotta meg e célra.

*elemi töltés* az elektromosság legkisebb oszthatatlan mennyisége.

*empirizmus* gondolkodási irányzat, amely minden megismerést a tapasztalásból vezet le. F. p.: racionalizmus.

*erőmező* absztrakt fizikai fogalom olyan tér jelölésére, amelynek minden pontjában az ott levő anyagon erőhatások észlelhetők.

*exakt* = szabatos.

*fekete sugárzás* a legtökéletesebben sugárzó és a sugárzást teljesen elnyelő test sugárzása. Közelítőleg a minden oldalról, energiát át nem bocsátó falakkal elzárt üreg sugárzása egy kis nyíláson keresztül valósítja meg, ha állandó hőmérsékleten tartjuk.

*fényelektromos jelenség* akkor áll elő, ha anyagra fény esik, aminek következtében a fényérte anyagon és a körülötte lévő testeken elektromos töltésváltozás észlelhető. A jelenség megmagyarázására az elmélet fölteszi, hogy a fényenergia az anyagból elektronokat lök ki, illetőleg a végső hipotézis szerint, hogy a fotonok elektronokká alakulnak át. Ez elmélet alapján a kísérleti adatok azt mutatják, hogy a kilökött elektronok energiája nem függ a fény intenzitásától, hanem csak a rezgésszámtól és az anyag tulajdonságaitól.

*fetisizmus* kezdetleges értelmi állapotú népek hite, amely szerint sajátlagos alakú testeknek bűvös erejük van.

*fluoreszcencia* bizonyos anyagok önvilágítása máshonnan jövő sugarak hatása alatt.

*formalizmus* a matematika mibenlétére vonatkozó gondolkodási irányzat, amely szerint a tiszta logika és a tiszta matematika szintetikus úton önkényesen megalkotott formák (kalkulusok) gyüjteménye.

*funkció* = függvény matematikai alapfogalom változó mennyiségek közötti tapasztalatadta vagy csak gondolt kapcsolatok megjelölésére, amelynél fogva az egyik mennyiség változása szükségszerűleg maga után vonja a többinek is a megváltozását.

*gamma-sugarak* a radioaktív anyagokból kilövelt fénysugár, ill. röntgensugár jellegű sugarak.

*heurisztikus* = új dolgok feltalálásához vezető.

*hyszteron-proteron* hamis következtetési módszer, amely a következmény következményét teszi meg kiinduló tétellé.

*idealizmus* gondolkodási irányzat, amely szerint a fizikai való a szellemnek egyik megjelenési formája, vagy: a való csak a tudatban létezik. F. p.: realizmus.

*intuicionizmus* gondolkodási irányzat, amely szerint a közelebbről meg nem határozható szellemi látás (intuicio) a forrása minden megismerésnek, különleges jelentése szerint a matematika az emberi szellem önkényesen megalkotott szerkezeteinek a tudománya.

*ión* pozitív vagy negatív töltésű molekularész, vagy atom. Az elmélet föltészi, hogy minden gázban és oldatban, sőt esetleg a szilárd testekben is a neutrális anyagrészecskék mellett mindig vannak elektromos töltésű iónok.

*iónizáció* fizikai folyamat, amely a neutrális molekulákat pozitív és negatív töltésű iónokra bontja.

*iónizátorok* olyan fizikai hatók, amelyek az ionizáció folyamatát végzik (ionizálnak). Iónizátorok általában a fénysugarak, különösen pedig a röntgensugarak, a katód- és anódsugarak, a radioaktív testekből kilövelt sugarak, a magas hőmérsékletek, egyes kémiai folyamatok, magas elektromos feszültségek.

*izotróp* = egyöntetű, egyenletes szerkezetű.

*jón természetfilozófusok:* Thalesz, Anaximandrosz, Anaximenesz, Herakleitosz, Empedoklesz, 600—500 körül Kr. e. éltek; a világ keletkezésére és alapanyagára vonatkozó spekulációkkal foglalkoztak.

*kation* az elektrolízis folyamatában a katódon (a negatív elektródon) kiváló anyag. F. p.: anión.

*katódsugarak* az elektromos feszültség hatása alatt ritkított gázokban a katódból kiinduló negatív elektrónok raja. F. p.: anódsugarak.

*kollektívum* a valószínűségszámítás alapfogalma. Ismétlődő dolgoknak, jelenségeknek, folyamatoknak sorozatos összeségét jelenti.

*komplementer fogalmak* = fogalompárok, részben ellentétes, részben azonos fogalmi elemeket tartalmazó, egymással kapcsolt fogalmak.

*komplexum* = fogalmi együttes, fogalmi szövevény.

*koncentrikus* = egyközepű.

*koncentrálódik* = összekögül.

*konkrét* = tárgyi. F. p.: absztrakt, elvont.

*kontinuum* = folytonosság. Közelebbről kevés szóval körül nem írható matematikai alapfogalom. F. p.: diszkontinuum = szakadásosság.

*konvencio* megállapodás, megegyezés, szokás, ránevelődés.

*konvencionalizmus* gondolkodási irányzat, amely szerint a tudomány alapfogalmai és alapelvei önkényes választás, hallgatólagos megegyezés és ránevelődés eredményei.

*konzervatív erők* olyan erők, amelyek a mechanikai energiák állandóságának elvét kielégítik. F. p.: disszipatív erők, amelyek az energiát szétszórják.

*konzervatív folyamatok* olyanok, amelyek a mozgó rendszert nem vezetik az egyensúlyi állapot felé. Az ilyen folyamatok periodusosak. F. p.: disszipatív folyamatok.

*korpuszkula* = részecske.

*korreszpodencia elv* szerint a kvantumelmélet törvényeinek olyanoknak kell lenniök, hogy a makroszkopikus jelenségekre alkalmazva az elektrodinamika és a mechanika elveibe menjenek át.

*kozmikus jelenségek* az embertől függetlenül megkezdődő és végbemenő jelenségek.

*kvantumszámok* egymás után következő egész számok, amelyek a hatáskvantummal (a $h$-val) szorozva a Bohr-atomban az elektron pályáját meghatározzák.

*logicizmus* a matematika mibenlétére vonatkozó gondolkodási irányzat, amely szerint a matematika megalapozása, fogalomalkotása, bizonyítása tisztán logika.

*logizmus* gondolkodási irányzat, amely az érvényességet, az igazságot, az értéket a lelki átélésektől függetlennek tekinti. F. p.: pszichologizmus.

*makroszkopikus jelenség* közelebbről meg nem határozott kifejezés a közvetlenül észlelhető jelenségekre. F. p.: mikroszkopikus jelenség.

*metafizika* a filozófiai tudományoknak kevés szóval nem jellemezhető fontos része, amelynek tárgya és feladata felett a filozófusok sokat vitatkoztak és vitatkoznak most is. Nem egészen kielégítő módon azt mondhatnók, hogy a metafizika az a tudomány, amely a tapasztalaton túl levő létnek, a dolgok igazi belső valójának, az abszolutumnak a megismerésére törekszik.

*metafizikai* a közönséges használatban annyit jelent, mint a tapasztalatokon túlmenő, felülálló, érzékekkel nem észlelhető.

*mezon* az atomfizika szerint elemi alkatrész, tömege és töltése az elektron többszöröse.

*Michelson kísérlete.* A fényforrásból kiinduló fénynyalábot Michelson egy közbetett üveglappal két nyalábra bontotta szét, az egyiket a Föld naprendszeri mozgásának irányába, a másikat a rá merőleges irányba terelte. Tükrökön való visszaverődés után a két sugarat megint egyesítette és a fénytalálkozás (interferencia) tüneményét észlelte. Minden úgy történt, mintha a Föld állana, a Föld haladásának sebessége a fény sebességén észlelhető változást nem idézett fel.

*mikroszkópikus jelenség* közelebbről meg nem határozott kifejezés a gondolati mikrokozmoszban feltételezett folyamatok jelölésére. A kvantummechanika szerint e jelenségek olyan méretekben folynak le, amelyekben a hatáskvantum (a $h$) véges értékét nem lehet elhanyagolni. F. p.: makroszkopikus jelenség.

*Moseley-törvény.* A röntgencső antikatódjának (anódjának) anyaga, ha egyenlő sebességű elektronok ütköznek beléje, meghatározott rezgésszámú egyszínű (monochromatikus) röntgenfényt sugároz ki, amelynek rezgésszámát a következő tapasztalati képlet adja:

$$\nu = A\ (Z-1)^2,$$

ahol $\nu$ a rezgésszámot, $A$ állandót, $Z$ az antikatód anyagának rendszámát jelenti. A törvény az atomfizikának egyik alaptörvénye; arra lehet belőle következtetni, hogy a különféle elemek azonos törvény szerint vannak felépítve.

*neutron* az atomfizika szerint elemi alkatrész, amelynek tömege a hidrogénatom tömegével egyenlő, de elektromos töltése nincs.

*neutrino* az atomfizika szerint elemi alkatrész, amelynek tömege számításba nem vehető csekélység és elektromos töltése nincs.

*nominalizmus* gondolkodási irányzat, amely szerint az általános fogalmak csak szavak, a gondolkodáson kívül semmi valóságos dolog sem felel meg nekik.

*objektív* = tárgyias az, ami sok emberi szellemmel közös és olyan, hogy az egyik a másikkal közölheti. Az objektív közlésnek legegyszerűbb módja a rámutatás.

*Pauli-elve* szerint az atomban két elektron nem lehet egyidejűleg ugyanabban a kvantizált állapoban.

*petitio principii* hamis logikai következtetési mód, amelynél a bebizonyítandó tételt a bizonyításnál már felhasználjuk.

*potenciál* az erőmező jellemzésére szolgáló matematikai függvény.

*pozitivizmus* többfelé elágazódó gondolkozási irányzat, amely szerint a tudománynak egyetlen szilárd alapja az érzékelhető világ. A pozitivizmusnak a fizikával foglalkozó hívei ehhez még hozzáveszik a szimbólumokkal kifejezett matematikai egyenleteket.

*pozitron* = pozitív elektron. F. p.: negatív elektron.

*pragmatizmus* gondolkodási irányzat, amely szerint az igazságnak ismertető jeleit gyakorlati következményei adják meg, igazság az, aminek következményei jók, kielégítők, hasznosak.

*proton* az atomfizika szerint elemi alkatrész, tömege a hidrogén atom tömegével, elektromos töltése a pozitív elektromos elemi töltéssel egyenlő.

*pszichologizmus* gondolkodási irányzat, amely a lelki tartalmakat tekinti minden megismerés alapjainak és a logikát is a lelki tényezőkre vezeti vissza. F. p.: logizmus.

*racionalizmus* gondolkodási irányzat, amely szerint az értelem a megismerés forrása, csak ez állapíthatja meg az igazságot. F. p.: empirizmus.

*radioaktivitás* bizonyos anyagok önmagából létrejövő sugárkibocsátó képessége.

*realizmus* gondolkodási irányzat, amely szerint a tudaton kívül létezik egy valódi világ, fogalmainkat róla a tapasztalat útján szerezzük. A megismerés a való leképezése a tudat számára. F. p.: idealizmus.

*spektroszkóp* = színképelemző fénytani eszköz, amely a fényt alkatrészeire bontja.

*Stokes törvénye* szerint a fluoreszkáló test fénye nagyobb vagy legalább is akkora hullámhosszúságú, mint a fluoreszcenciát gerjesztő fény.

*szcintilláció* jelensége fluoreszkáló ernyőn válik láthatóvá, ha rajta vagy mellette radioaktív anyag van. Szünet nélkül egymást követő apró felvillanásokból áll, amelyeket a fluoreszkáló ernyőhöz ütődő alfa-sugarak keltenek.

*szeriesz*, lásd Balmer-képlet.

*szintézis* = összeszerkesztés, a tudat, a jelenségek, a folyamatok, a dolgok részeinek összerakása újabb egységekbe. F. p.: analízis.

*szkepticizmus* gondolkodási irányzat, amely az emberi megismerés lehetőségében kételkedik, a biztos tudás elérhetését lehetetlennek tartja.

*szofista* eredetileg a görög gondolkodók és bölcsek, azután a beszélő és okoskodó képesség tanítóinak a neve; itt olyasvalaki, aki a szavak kiválasztott jelentésének a révén hamis irányba vezeti az okoskodást.

*szubjektív* = alanyias = egyénies.

*tautologia* valaminek önmagával való látszólagos meghatározása. Körben forgó definíció.

*tavaszi pont* a szimbólikus éggömbnek az a pontja, amelyben az égi egyenlítő és az ekliptika főkörei egymást tavasszal metszik.

*term* lásd Balmer-képlet.

*transzcendens* a lehetséges tapasztalatok határain túlmenő, a fizikántúli, a természetfölötti.

*Wiedemann—Franz*-féle törvény szerint az anyagok elektromos vezető képessége arányos azok hővezető képességével, az arányossági tényező fordítva arányos az abszolút hőmérséklettel.

*Wilsonkamra* vízgőzzel telített levegőt vagy más gázt tartalmazó zárt tér, amelybe rendesen radioaktív anyagot tesznek. Ha a teret hirtelen kitágítják, azokon az iónokon, amelyeket a radioaktív anyagból kilövelt sugarak létrehoznak, apró ködcseppek képződnek és kellő megvilágításnál láthatóvá és fényképezhetővé válnak a kilövelt részecskék pályái.

*Zeeman-hatás*. Az erős mágneses erőmezőbe helyezett izzó gáz színképi vonalai kettős és hármas vonalcsoportokra válnak szét. Az elektron-elméletnek egyik fontos kísérleti alapja. Van anomális Zeeman-hatás is, amelyet az elmélet mindezideig nem tudott kiszámíthatóvá és megmagyarázhatóvá tenni.

# NÉV- ÉS TÁRGYMUTATÓ.


abszolút 40, 344—346
abszolút egységek 88, 344
abszolút fekete test 39
abszolút mozgás 105—108
abszolút nulla-fok 59, 89, 344—345
abszolút tér és idő 105—108, 173—174, 345—346
absztrakt 31
adiabatikus folyamat 39
aeter 52, 68, 222, 226
alfasugarak 206
alapelvek 73—77, 91—92
állandó és többszörös súlyviszonyok 200
állandó-változó 29, 34, 37, 87, 310
általánosítás 55—64
analízis 49, 312, 319

analógia 50—53
anódsugarak 206
anyag hullámszerűsége 222—225
anyagi sugarak diffrakciója 224—225
anyag szerkezete 210—215
Arisztotelesz 33, 35, 194, 303
atom 194, 200—202
atombomlás 19, 208
atombontás 209
atomburok 211
atomiónok 206
atommag 211—213
atommechanika 76, 199—215, 305
atomminta 210—215
atom stacionárius állapotai 221
atomszerkezet 68—69
atomsúly 201, 345
axióma 73—77, 91—92
axiomatizmus 75

Balmer-féle képlet 220, 262
Bergson 10, 332
bétasugarak 205, 207
bizonytalansági elv 263—264
Bohr-atom 220—222, 226, 231, 262
Bolyai geometria 147—148, 150
Born 231
Bose 232—233
Boyle—Mariotte törvény 17—18, 80, 326,
Broglie 224—225

Carnot 43, 279
Cauchy 145
Clausius 280, 283—284
Compton-jelenség 223
Curie 49, 207

definíció 29, 86—87, 334—335
Demokritosz 194
determinizmus 258—267
differenciálhányados 41, 312
diffrakció 224, 231
diffuzió 285
dinamikus világfelfogás 154—177
Dingle 139—140, 263, 292—293
Dingler 187—188, 263—264
Dirac 36, 213—214, 228—233, 309
disszociáció 204
Doppler elve 62, 106—109, 115

Eddington 12—14, 18, 92, 130, 138—139, 265, 293, 337
egész-rész 29, 34, 87, 310
egyenletes mozgás 39, 101—104, 161—164, 308
egyenlő-különböző 29, 34, 87, 310

egységesség elve 303—306
egyszerűség elve 306—310
Einstein 42, 76, 108, 115, 140—144, 148—151, 178—184, 196, 222, 232, 273, 304
eleáta felfogás 303, 305
elektron 205—206, 211, 213—214, 220, 226, 230—231, 233
elemek periodikus táblázata 201—202
elemi alkatrészek 205—210
elfeledési folyamat 22, 85—86
elkülönítő gondolati folyamat 45—47
elmélet 80—84
előmult 144
ember nélküli természet 7, 8
energeticizmus 305
energia 58, 74, 176, 186—188, 203, 213, 245, 270—283
entrópia 283—293
entrópia-idő 138—140
Eötvös 187—190, 340
erő 58, 153—156, 164—170, 244
érzetek 12—14, 23—25, 32, 59, 61, 64, 84, 94—95, 113, 121, 297, 307, 309, 329, 330, 332
értelem 47, 64, 66, 88, 91, 227, 244, 294—302, 306, 307, 308, 312, 314, 316, 318, 320, 321, 329
Euklidesz 81—82, 124—126, 146—147, 195

fejlődési elméletek 294—296
fény 65, 67—68, 181, 196—197, 216—219, 222—225, 231
fényelektromos jelenség 225
fénykvantum 222—223
fénysebesség állandósága 181
fénysugár 70, 131, 149
Fermi 232
fizika emberies jellege 340
fizika és a geológia 290—291
fizika és a matematika 310—327, 331
fizika és a képzelő erő 332—333
fizika és a műveletek 14—19
fizikai alkotóképesség 327—329, 332—333
fizikai matematizmus 317—318, 319, 323—325
fizikai tények 78—80
fizika kialakulása 8, 15—19, 333—334
fogalmak átalakulása 337—338
fogalmak kialakulása 31—32, 299
fogalomhálózat 337
fogalompárok 32—38, 144
folytonosság 192—198
foton 223
Föld mozgásai 114—117, 134, 137, 162—163, 182

Galilei 17, 50, 75, 102, 128, 156, 157, 195, 308
gammasugarak 207
gázelmélet 202, 233
geometria 121, 122—126, 131—135. 146—151, 311—12,314
gondolkodás 31—84, 300—302
gondolati kísérletek 42—44

hajított testek mozgása 257—258
harmonikus mozgás 60, 102
határfogalmak 38—45, 162, 254, 287
hatáskvantum 219, 220, 234, 262, 264
Heisenberg 84, 262—263
Helmholtz 252, 272, 288
hierarchikus rend 80
hipotézis 66—69
hit 298—299
hőmérséklet 59—60, 89
hullámmozgás 60—62, 82, 102
hullámmechanika 229—235
hullámstatisztika 231—235

ideális fogalmak és folyamatok 48, 269
ideális gáz 39
időfogalom lelki alapjai 126—128
idő mérése 90, 135—138
indeterminizmus 262—267
innervációk 19—21
intervallum 42, 144
iónok 203—205
izotóp elemek 206—207

jón természetfilozófusok 303, 305

kényszerített és választott 85—93, 335—337
képzetalkotó lelki folyamatok 22—25
kinetikus anyagelmélet 202—203
kísérlet 21
kiválasztó gondolati folyamatok 47—50
klasszikus és kvantumos fizika 265—266
Klein Félix 123, 321
kollektívum 255
komplementer fogalmak 36
konvenció 86—93
konvencionalizmus 92
kozmikus sugarak 209—210
körbenforgás 191, 339—340
kutatások megszervezése 332
kvantummechanika 63, 72, 76, 216, 225—229
kvantumstatisztika 232
kvantumszerű atomszerkezet 219—222
kvantumugrás 262—264

Laplace 41, 170, 259
Lenard 323, 331
Leukiposz 194
logisztika 314

Mach 3, 72, 107, 123
magasabbrendű fogalmak 31—32
makrokozmosz és mikrokozmosz 135, 163—164, 215, 305, 343—344
matematika 146—147, 150, 151, 183, 213, 227—228, 230—233, 310—312, 321—322, 325
matematika és fizika 310—327, 331
matematika és logika 316, 319—321
matematizmus 313—327
matematika tökéletlensége 326—327
Mayer Róbert 272, 274, 301, 331
mechanikai alapfogalmak és alapelvek 152—177
mechanikai fogalmak lélektani és történeti alapjai 153—157
mechanikai folyamatok 51—52
megfordítható és meg nem fordítható folyamatok 280—281
merev test 38
mérés 88—91, 188, 189—190, 335
mesterséges atombontás 209
metafizika 59, 82—83, 151, 159—160, 175, 178, 316, 327, 342—346
Michelson kísérlete 104
mozgás 94—117
mutató leolvasások 12—14
műveletek 14—19, 29—30, 40, 54—55, 119—123, 154, 156, 240—242, 248—252, 271, 295, 307, 310—311, 327—329, 340—341

Natorp 140
nehézségi erő 169, 179—180
nehéz és tétlen tömeg 186—191
nemeuklídeszi geometria 148—150, 182
neutron 208—209
Newton 34, 44—45, 51, 105, 128—129, 153, 156, 157—161, 164—174, 195—196, 239, 244, 256, 260, 274, 304, 305, 308

okfogalmak 64—66
okság lelki alapja 240—242
okság, nyelv és az értelem 243—244
okság a dinamikus fizikában 244—246
okság a kísérleti és gyakorlati fizikában 246—248
okság kritikája 248—250
okság, törvényszerűség, tapasztalat 267-269
örök mozgó 163—164, 278—279
ős metaforák 54—55
összehasonlító gondolati folyamat 50—53
összeolvasztó lelki folyamat 22, 86

Planck 158, 219, 232, 237, 278—279, 286
Poincaré 56, 120, 123, 158, 159, 246—265, 306 321
pont fogalma és fizikája 40—41, 42, 70, 99—102, 105, 110, 307—308
pontesemény 42, 144
pozitívizmus 329—330
pozitron = pozitív elektron 36, 210, 213—214
proton 208

racionalizmus 329—330
radioaktivitás 207—208
rajzolás 16—17, 99—100, 110
ránevelődés 92—93
relativitási elmélet 12—13, 42—45, 63, 71, 108—114, 140—151, 171—172, 178—184, 196
rezgés 60—61, 82, 239
reprodukálhatóság 78, 91
Riemann geometriája 148—151
Röntgen 49, 330
röntgen-sugarak 17, 49, 65, 199, 204

Schrödinger 6, 63, 239
skolaszticizmus 328
statisztikai szabályszerűségek 253—258, 264
szavak jelentése 23—24, 25—29, 86—87
szabadesés 48
számfogalom 193, 197—198, 310—311
szabályszerűség 238—240, 268
szenzualizmus 329
szétválasztó gondolati folyamat 32—37
szimbolumok 70—72

tapasztalat 11—30
társító lelki folyamat 22—25, 86
tárgyiasság 324, 340—341, 346
távolságmérés 129—135
tér és idő 118—151
tér és idő a relativitási elmélet szerint 140—151
térfogalom lelki alapjai 119—122
tér mérése 129—135
természet 5—6, 294
természettörvény 6,
test fogalma 56—58
tétlenségi elv 39, 161—164
tétlen és nehéz tömeg 186—191
tiszta matematizmus 313—317, 319—322, 326—327
tömeg fogalma 156—157, 167—168
tömeg problémája 185—191
törvényszerűség 238—240, 268—269
tudat 297—299, 300—301, 302, 321

vákuum 39
választható és kényszerített 85—93, 335-337
valóság 82—84, 88, 342—343
valószínűség 255, 264—265
valószínűségi hullám 231
világpont 42
világvonal 71—72

Wilsonkamra 79, 209

zárt rendszer 38, 261

---

## Észrevett sajtóhibák:

19. oldal 2. kikezdés 10. sor: *szorul* helyett: *nem szorul.*
22. oldal alulról 2. sor: *tudata* helyett: *tudatba.*
28. oldal alulról 4 sor: *számáló* helyett: *számláló.*
38. oldal felülről 4 sor: *kpcsolatuk* helyett: *kapcsolatuk.*
38. oldal felülről 6. sor: *fogalomban* helyett: *folyamatban.*
70. oldal alulról 13. sor: *fénysugarakat* helyett: *fénysugarat.*
81. oldal 3. kikezdés 8. sor: *berendezési* helyett: *berendezésű.*
123. oldal 2. kikezdés 12. sor: *századnak* helyet: *-nak.*
187. oldal 4. kikezdés 7. sor: *centrifugális* helyett: *nehézségi.*
222. oldal 4. kikezdés 3. sor: *akkora* helyett: *akkor a.*
224. oldal 4. kikezdés 8. sor: *részecske* helyett: *a részecske.*
250. oldal 1. kikezdés 4. sor: *okból* helyett: *okokból.*
296. oldal 1. kikezdés 9. sor: *gondolakörét* helyett: *gondolatkörét.*
318. oldal 1. kikezdés 4. sor: *fi ikusokba* helyett: *fizikusokba.*