

KÉT FORDULÓPONT A FIZIKA TÖRTÉNETÉBEN

(GALILEO GALILEI HALÁLÁNAK 300. ÉVFORDULÓJÁRA.)

«... nelle scienze naturali, le conclusioni delle quale son vere e necessarie, bisogna guardarsi di non si porre alla difesa del falso, perche mille Demosteni e mille Aristoteli resterebbero a piede contro ad ogni mediocre ingegno che abbia avuto ventura apprendersi al vero.»

G. Galilei: Diálogo, 1632.

«... Die klassische Physik hat ihre Grenzen an der Stelle, wo vom Einfluss der Beobachtung auf das Geschehen nicht mehr abgesehen kann.»

W. Heisenberg: Nobelvortrag, 1932.

A *Galileivel* foglalkozó irodalom igen bőséges,¹ és a róla alkotható kép teljességét még fokozza a sok előadás és cikk, amely ebben az évben — halálának tricentenáriuma alkalmából — elhangzott, illetve megjelent.² E cikkek különböző szempontokból foglalkoznak *Galileivel*. bemutatják mint fizikust, természetfilozófust, harcos tudóst, tragikus sorsú embert. — Az alábbi sorok megírására az alkalmat szintén az évforduló adja, de célja nemcsak *Galileiről* való megemlékezés és

¹ V. ö. Enc. Ital. Vol. 16. p. 277., Romana, 6, 412 (1942).

² Csak az olasz és magyar közönség számára könnyen hozzáférhetőek közül néhányat említve: GENTILE, G.: Romana 6, 377 (1942), BOMPIANI, E.: Romana 6,

394 (1942), PUPKE, H.: Naturwiss. 30, 457 (1942), ORTVAY, R.: Mat. Fiz. Lapok 69, 139 (1942), u. ö.: Olasz Szemle 1, 374 (1942), GOMBÁS P.: u. o. I, 402 (1942), BARRÁ, Gy.: u. o. I, 410 (1942), KRBEK FR. Term. Tud. Közlöny. 74, 10 (1942).

munkásságának méltatása. Most, a jubileumi év végén, tanulságos elgondolkozni azon, hogy alapjábanvéve mennyire hasonló a fizikának *Galilei* felléptével megkezdődött átalakulása és az a változás, mely a századforduló táján indult meg, s amely a mai értelemben vett modern fizika kezdetét jelenti.

Ennek belátásához először is azt kell tudnunk, hogy milyen fokon állt a természettudomány *Galilei* fellépeése előtt.

Voltaképpen alig szabadna természettudománynak nevezni az ő idejében uralkodó, s a peripatetikus filozófiában gyökerező skolasztikus felfogást, hiszen ez a természeti jelenségeket szinte teljesen kizárta magából.

A skolaszticizmust az egyház gyakorlati szüksége hozta létre: az egyház tanításait olyan rendszerben kellett lefektetni, amely a hit leendő terjesztőinek nevelésére alkalmas volt. Az ilyen indítékokkal létrejött iskolaszerű szemlélet — innen a «skolasztikus» elnevezés — egyik legfőbb jellemzője, természetes velejárója, és egyben a rendszer megmerevítője a tekintélytisztelet. Ez volt az egyház tanításainak alapja. A *tekintélytiszteletet* azonban egy történeti ok is indokolja. A kereszténység a germán, román és szláv népeknél volt a legerősebb. Ezek még maguktól nem emelkedtek a klasszikus kor szellemi magaslatára, de nagy tehetségű új benyomásokra fogékony népek voltak. A keresztény világnézet tehát óriási ugrást, az új fogalomvilág feltétlen értéket jelentett számukra, s így a tekintélytisztelet gondolkodásmódjukban gyökerezett.

Az iskolaszerűséggel együtt járt továbbá az *okszerűség*. Minden tanítást szigorú észokokkal kell bizonyítani s a skolaszticizmus bizonyított is mindent. Minden tételnek észokokkal való bizonyítása azonban csak úgy lehetséges, ha a rendszer tovább nem elemezhető alapfogalmakra és alapigazságokra épül. Ez tette *Aristoteles* filozófiáját a skolasztikusok számára felbecsülhetetlen értékűvé.

De milyenek azok az axiómák, melyeken a peripatetikus természet-filozófia nyugszik?³

Aristoteles igyekszik a tapasztalat körében maradni, és alapigazságait látszólag tapasztalásból keletkezett általánosítások. Valójában azonban *axiomáiban* olyan elvont fogalmak szerepelnek, melyek az ember *értékelésétől* függenek és így minden ember lelkében másként alakulnak ki. (Ténylegesség, lehetőség, egyszerűség, tökéletesség, stb.), tehát végeredményben maguk az axiómák is függenek az ember értékelésétől. Egy ilyen axióma például: «a legtökéletesebb alak a gömb-alak, a legtökéletesebb mozgás az egyenletes körmozgás». Ez a megállapítás

³ V. ö. MIKOLA S.: A fizika gondolatvilága, 144—152 (Budapest, 1933).

igen tetszetős, de nincsen olyan eljárás, amellyel igaz voltát akárcsak közelítőleg is bizonyítani lehetne.

Aristoteles világszemléletével tehát az emberi szellem *elhagyja a tapasztalat biztos alapját* és leírás helyett inkább előírja, hogy a természetnek milyennek kell lennie.

Tanítása szerint minden természeti létezés alapja az anyag, a világ egységét pedig a mozgás adja. Minden változás lényegében mozgás, melyet valami külső ok indít meg. A mozgató okok száma nem lehet végtelen, tehát kell lennie egy első mozgatónak, mely maga mozdulatlan, de belőle ered minden mozgás. Ez az első mozgató tiszta tevékenység, anyagtalan forma, élete a legtökéletesebb szellemi élet.

A világ úgy keletkezett, hogy az első mozgató egy világfolyamatot indított el, és pedig úgy, hogy az anyag — mely benne rejlő lehetőségekkel eleve adva volt — tökéletességi foka szerint ő felé, vagy tőle távolodólag mozgott.

Az így kialakult világ *Aristoteles* felfogása szerint három részre oszlik: a Mindenség külső határán van az első mozgató, közelében helyezkednek el a legtökéletesebb testek, az állócsillagok. Ezeknek alakja a legtökéletesebb alak, a gömb-alak, anyaguk a legtökéletesebb anyag, az éter, mozgásuk a legtökéletesebb mozgás az egyenletes körmozgás. Az állócsillagok világát a tökéletes rend, az isteni nyugalom, és a változatlanság jellemzi.

A Föld a legtökéletlenebb létezőkkel az első mozgatótól a legtávolabb, a Mindenség középpontjában helyezkedik el. A földi testek a legkülönbözőbb bonyolult alakokat öltik, tulajdonságaik, mozgásaik eltöröek. A Föld a növés és fogyás a keletkezés és elmulás, az örökös változások világa.

Az állócsillagok és a Föld világa között terül el a bolygók világa, amelyben kisebb fokú tökéletesség és kisebb fokú zavartság uralkodik.

A földi jelenségek között csak kevés törvényszerűséget lehet megállapítani. Egyik megállapítás az, hogy a földi testek lehetnek nehezek, melyek Föld-anyagból és víz-anyagból, és lehetnek könnyűek, melyek levegőből és tűzből állnak. A különböző testeknek meg van a maguk természetes helye a Mindenségben: a könnyűeké az égi szférák belső határa, a nehezeké a Mindenség középpontja. Minden test igyekszik elérni a maga természetes helyét, melynek irányában egyenesvonalú gyorsuló mozgással mozog. Ezért a nehéz testek esése, a könnyűek emelkedése természetes mozgás. A földi testek más mozgást is végezhetnek, és pedig külső erő hatására, de a külső erő megszűntével a nem-természetes mozgás is megszűnik.

Aristoteles szerint a testek ama törekvése, hogy természetes helyüket foglalják el, indokolja azt is, hogy a Föld a Mindenség középpontjában van : ez a Föld természetes helye, melyből ha ki is mozdítaná valamilyen külső erő, annak megszűntével ugyanoda vissza kellene térnie.

Az égitestek napi mozgását úgy értelmezte, hogy azok egy szilárd gömbre vannak rögzítve és a gömb forog a Mindenség középpontjában levő Föld körül. A Napnak, Holdnak és a bolygóknak az állócsillagokhoz képest való mozgását pedig úgy magyarázta, hogy az előbbieket egy-egy átlátszó kristálygömbre vannak rögzítve, melyek külön végzik földkörüli forgásukat.

A skolasztikusoknak a Mindenségről vallott felfogásában *Aristoteles* rendszerén túl érdemleges új vonás alig van. *Aristoteles* tanításai átszövődtek vallásos elemekkel (például, hogy a szférákat angyalokhoz hasonló intelligenciák mozgatják), s az érzékekkel elérhető természet világa egyre jobban háttérbe szorult, inkább csak keretül szolgált a morális világnak.

Galilei nem az első volt, aki az uralkodó felfogásban hibákat talált, s aki az új világkép helyes felépítését megkezdte. Azonban ő volt az első, aki az új, immár kialakulóban levő felfogásnak vizsgálataival *tapasztalati alapot adott* és módszerével a fizika által követendő útra rámutatott.

Ma bármely középiskolai fizikakönyv elején olvashatjuk, hogy a fizika célja : *a természeti jelenségek — kísérletek és megfigyelések alapján — leírása, a jelenségekben rejlő törvényszerűségek matematikai kifejezése, és a jelenségek közötti összefüggések megállapítása.* Ez az a felismerés, amely *Galileit* vezette. Itt hangsúlyoznunk kell azt, hogy *Galilei* kortársai között mások is voltak, akik a tapasztalásnak és a matematikai tárgyalásmódnak fontosságát felismerték (az előbbire példa *Bacon*, az utóbbira *Descartes*, aki mint matematikus *Galileit* messze felül is multa), de ezek a vezető elvek — amint erre még visszatérünk — korábban senkiben sem éltek olyan *kiegyensúlyozott harmóniában* mint *Galileiben*, és ez az oka annak, hogy talán ő *a legelső*, akit mai értelemben *fizikusnak* nevezhetünk.

Az első döntő lépést tehát, mely a komoly természettudomány útjára vezetett, *Galilei* azzal tette meg, hogy *előítéletek nélkül*, tekintélyek véleményétől függetlenül, *közvetlenül a természethez fordult*, és elsőnek foglalkozott apró, mások előtt jelentéktelennek látszó tüneményekkel. Soraimnak nem célja vizsgálatainak részletes taglalása, csupán a leglényegesebb és legjellemzőbb példákra szorítkozunk.

Az *egyensúlyi viszonyok* tanulmányozása során a mechanika egyik alapvető fontosságú fogalmának, a *forogató nyomatéknak* jelentőségére *Galilei* mutatott rá először. Előtte úgy vélekedtek, hogy egy emelőre helyezett test az emelő forgástengelyétől különböző távolságban más-más súlyú.

Ö zzel szemben határozottan megkülönbözteti a test súlyát, mely mindig ugyanaz, a forgató nyomatéktól, mely az emelőkar (helyesebben: az erő karja) hosszától függ.

Még nagyobb jelentősége van *szabadesésre* vonatkozó vizsgálatainak: a szabadesés az egyenletesen gyorsuló mozgás egyik példája, melynek tanulmányozása ma is minden fizika-tanulás alapja.

Aristoteles szerint az esés sebessége a test tömegével arányos és annál nagyobb, minél ritkább az a közeg, amelyben az esés történik. *Galilei* állapította meg, hogy a szabadon eső testek sebessége független a tömegüktől, kivéve az olyan könnyű testeket, például egy papírszeletet, melyek mozgását a levegő ellenállása számottevő mértékben akadályozza. Felismerte, hogy a test sebessége arányos az idővel és ennek alapján szellemes levezetéssel meghatározta a megtett út és a mozgás időtartama közötti összefüggést is. A levezetés érdekessége az, hogy a gondolatmenetben az *infinitezimális számítás előfutárára* ismerünk: a levezetés lényege egy speciális esetben elvégzett integrálás.

A szabadesés kísérleti tanulmányozásához *Galilei* idejében még nem volt megfelelő segédeszköz, a pisai ferde tornyon végzett ejtési kísérletei valószínűleg nem történtek meg. Rájött azonban arra, hogy a *lejtőn* való mozgás lényegében megegyezik a szabadeséssel, és mivel a lejtő hajlásszögét kicsire választva a gyorsulás is kicsi, kényelmesen tanulmányozható. A lejtőn való mozgás vizsgálata rávezette arra, hogy a legördülő test végsebessége csak a lejtő magasságától függ és ugyanakkora, mintha a test a kiindulási pontból szabadon esett volna. Ha nem így lenne, akkor egy lejtőn legördülő test egy másik lejtőn a kiindulási pontjánál magasabbra juthatna. Egyszerű és meggyőző *ingakísérlettel* kimutatta, hogy az inga is mindig ugyanarra a magasságra tér ki. E kísérletekhez fűzött megfontolásokban már a *mechanikai energia megmaradásának* elve rejtőzik.

Kis kitérésű ingák mozgását a lejtőn való mozgásra vezetve vissza, eljutott az *ingák izokronizmusára*. A szabadesés után a *vízszintes hajítást* is tudta tárgyalni, mint egy vízszintes egyenletes és egy függőleges egyenletesen gyorsuló mozgás összetételét.

Azt látjuk tehát, hogy *Galilei* vizsgálatai nem egyes ismerete szerzését jelentik csupán, melyeket a meglévő rendszerbe kellett beilleszteni, hanem *egy új és önálló tudomány*, a modern mechanika alapjai lerakásáról van szó.

A mechanikai alapfogalmak tisztázása feltétlenül szükséges volt a skolasztikusoknak *Copernicus* tanítása ellen hozott érvei legyőzéséhez. A Föld forgása ellen felhozott egyik lényeges érv például a sokféle meg-

fogalmazás közül egyik alakjában — így hangzott: ha a Föld forog, akkor egy torony tetejéből leejtett test nem eshet a torony lábához, hanem a függőleges iránynak megfelelő helytől annyira kell eltávolodnia, mint amennyit az esés tartama alatt a Föld elfordult. *Galilei* fejtette ki először, hogy a ledobandó testnek a torony tetején is megvan a Földdel együtti mozgása, és ezt esés közben ép úgy megtartja mint egy mozgó hajó árbócáról leejtett kő a hajó mozgását, minek következtében a kő az árbóc aljához esik ép úgy mint amikor áll a hajó. Sőt azt is kijelenti, hogy a mozgásjelenségek általában egyformán játszódnak le akár mozog a hajó, akár áll, úgyhogy például egy zárt kabin belsejében a mozgásjelenségek tanulmányozásával nem is lehet eldönteni a hajó álló, vagy mozgó voltát. Ez a tény a *mozgás relativitása*, melynek lényegét először *Galilei* ismerte fel, a relativitáselmélet kiinduló pontja.

Galilei gondos megfigyelések alapján rendre megdöntötte a *heliocentrikus felfogás* elleni egyéb érveket is. Azokra a megfigyelésekre gondolok itt, melyeket a csillagos égen a *maga készítette* és a Hollandiában készült első távcsőnél tökéletesebb *távcső*vével végzett. A távcsőben feltáruló kép mindennél beszédesebb cáfolata volt a peripatetikusok állításainak. Az égitestek *nem* lehetnek *tökéletesek*, mert például a *Holdon hegyeket* lehet látni. Nem lehetnek változatlanok sem: a *Napon*, ami éppen a tisztaság és örök változatlanság jelképe volt, *foltok* vannak, s a foltok helye és alakja változik. Felfedezte a *Jupiter négy holdját* és látta, hogy ezek a *Jupiter körül keringenek*, nem pedig a Föld körül. Észlelte a *Vénusnak* a Holdéhoz hasonló *fényváltozásait*, s ezt a Nap körüli keringés következményeként értelmezte. A *Saturnuson* hármas tagozódást talált (a gyűrű-alak felismeréséhez távcsőve még tökéletlen volt). Rámutatott arra, hogy a távcsőben sokkal több csillag látható, mint szabadszemmel s a *Tejút is millió csillagok sokasága*. Az égi szférák tana sem lehet helytálló: időnként *új csillagok és üstökösök* jelennek meg s tűnnek el újból, tehát az égi világ is ki van téve változásoknak. (Egyébként az üstökösökre vonatkozó elgondolásai helytelenek voltak.)

Láthatjuk tehát, hogy a makrokozmoszról alkotott újkori felfogás kialakításában *Galileinek* milyen elhatározó szerepe volt. Jelentőségét még emeli, hogy *mint író művészi tökéletességre* emelkedett. Mondani-valóját egyszerű, érthető módon fejezte ki, úgyhogy művei nemcsak tudósok számára voltak hozzáférhetőek, hanem *minden művelt ember számára* élvezetes olvasmányt jelentettek. Ez pedig igen lényeges momentum a jelen esetben, mert nem csupán egyes megismeréseknek szakörökkel való közléséről volt szó, hanem egy gyökeresen új felfogást kellett a *köztudatba* belevinni.

Galilei küldetése azonban koránstem ér véget azzal, hogy felfedezéseivel az exakt természettudomány első eredményeit szolgáltatta. Ez magában véve — mint maga is jól tudta, — a kezdet kezdete csupán, ha még olyan nagy teljesítmény is. Ennél sokkal többet tett ő, megtermékenyítette a fizikát azáltal, hogy a kutatás számára minden időkre érvényes módszert adott.

Metodikai elveit rendszeresen összefoglalva nem írta meg. *Benne élt a módszer*, következetesen alkalmazta, és felfogása műveiből, bár inkább elszórt megjegyzések alakjában, de tökéletes világossággal ragyog ki.

Új ismeretekre való törekvésben az első szó a *tapasztalást* illeti meg, és pedíg a *kísérleti* tapasztalást. Nem elegendő alkalomszerű megfigyeléseket végezni. Ahol lehetséges (mert pl. a csillagászatban nem lehet) a természetnek kérdéseket kell feltenni s a természetből mintegy ki kell erőszakolni a feleleteket.

A kísérleti eredmények adathalmazára, ha már a fizikus elrendezte őket, szolgál alapul az ész munkájának. Tisztán *raciónalis uton* olyan — egyenlőre ideiglenes — *hipotéziseket* kell felállítani, melyekből a kísérlettel korábban kapott eredmények logikus gondolkodással levezethetők, vagyis melyek alapján azok értelmezhetők.

A kísérleti eredményekből *induktive* nyert hipotézisek helyes voltának ellenőrzése következik most, ismét két lépésben. A hipotézisekből először *új következtetéseket* kell levezetni. Ez az eljárás *matematikai* munka és tisztán *deduktiv*. Ide tartoznak a gondolat-kísérletek és a rájuk alapított megfontolások, melyeket *Galilei* rendszeresen alkalmazott, s azóta is mindig fontos szerepet játszottak a fizikai megismeréseknél.

Végül a deduktiv uton nyert eredmények helyességéről *ismét kísérleti* uton kell meggyőződni.

E négy lépés alkotta zárt kör a *Galilei-féle módszer*, melyre azóta is — ma is — minden új, exakt természettudományi ismeret szerzését célzó kutatás alapul. Ennek a módszernek következetes keresztülvitele tette lehetővé az egész klasszikus fizika felépítését, amely a múlt század végén már befejezettnek volt mondható.

Az összes jelenségeket, melyeket a múlt század végéig a fizikusok ismertek két csoportba lehetett osztani: vagy a *mechanika*, vagy az *elektrodinamika* körébe estek, és ennek megfelelően megoldásuk vagy az egyiknek, vagy a másiknak alapegyenletei segítségével *puszta matematikai feladattá* redukálódott.

Minden klasszikus fizikai tapasztalat eleget tett a következő három alapelvnek :

1. a folytonosság elvének: a természeti törvények matematikai kifejezésére szolgáló függvények «folytonosak és akárhányszor differenciálhatóknak»,⁴ ami kissé pongyolán kifejezve annyit tesz, hogy, ha a fizikai mennyiségeknek a törvényben foglalt összefüggését grafikusan ábrázoljuk, akkor szakadás-, és törés nélküli görbéket kapunk. Ha pl. egy rendszernek az energiája két különböző időpontban különböző, akkor a két időpont közé eső idő folyamán minden közbeneső energia értéket felvesz.

2. Az objektív mérhetőség elvének; vagyis, hogy minden mérés tetszőleges pontossággal keresztülvihető; legalább is a pontosságnak minden határon túl való fokozása csak technikai kérdés, elvi akadályja nincsen.

3. A kauzalitás elvének, mely a fizikában Hume megfogalmazása szerint a következőt jelenti: ha egy rendszernek valamely időpillanattal állapottát egyértelműen meghatározó összes adat tökéletes pontossággal ismeretes, akkor a rendszer bármilyen korábbi vagy későbbi állapota a természeti törvényekből meghatározható. Ezen elvre a legszebb példákat az égimechanika szolgáltatja.

A XIX. század kísérleti fizikusai azonban olyan jelenségeket találtak melyek értelmezése a klasszikus fizika módszereivel nem volt lehetséges. Először az u. n. *feketesugárzás* kérdése állította a klasszikus fizikát megoldhatatlan nehézség elé. Ennek a problémának a megoldása érdekében történt első ízben, hogy az előbb felsorolt alapelvek közül az elsőt, a folytonosság elvét fel kellett adni: *Planck kvantum-feltevésére* gondoljunk, mely folytonos változások helyett ugrásszerű változásokat vezet be. A fizikusok azonban a klasszikus szellemtől eltérő eme feltevés alkalmazásakor eleinte még mindig klasszikus szemléletre támaszkodtak.

Világos példa erre a vonalas *színképek* értelmezésének első megoldása, mely különben szintén megoldhatatlan volt a klasszikus fizika számára. Az egész optika az elektrodinamikának egy fejezete csupán, mindaddig, amíg a fény emissziójának és abszorpciójának kérdését nem akarjuk vizsgálni. E jelenségeknek a tapasztalással megegyező értelmezésére azonban már képtelen az elektrodinamika. Itt is *Planck* feltevéséhez kellett folyamodni, mely keletkezése idejében forradalmi gondolat erejével hatott. Ennek alapján *Bohr a Rutherford-féle* atommodell segítségével helyesen tudta sok atom spektrumát leírni. *Planck feltevése* a klasszikus fizika szellemétől *idegen*, a *Rutherford-Bohr-féle atomminta* azonban még *klasszikus*, az atomot miniatűr naprendszerként állítja

⁴ Amennyiben a klasszikus fizikában nem-folytonos függvények is szerepelnek, úgy azok a jelenségeknek csak egy részét

írják le, vagy a valóságban előforduló jelenségeket úgy idealizálják, hogy azok matematikai tárgyalása egyszerűbb legyen.

elénk, ahol elektromosan töltött parányi testek jól meghatározott pályákon mozognak. Csupán az elektronok «ugrása» idegen szemléletünk számára.

Bizonyos kísérleti eredmények értelmezése végett utóbb azt is fel kellett tételeznünk, hogy az elektronnak — melynek létezését a kísérleti fizika szinte kézelfoghatóan bebizonyította — meghatározott irányú és nagyságú mágneses és impulzusnyomatéka van (*elektron-spin*). Szemléletes alapon ezt úgy képzelhetnők el, hogy az elektron saját tengelye körül forog és a forgástengelynek csak bizonyos irányú elhelyezkedése lehetséges. Az elektronnak azonban olyan forgása, amely a tapasztalással megegyező nagyságú nyomatékokat ad nem lehetséges, mert ekkor *más tapasztalatokkal és ezekből folyó elvekkel kerülnének összeütközésbe.*

Századunk folyamán egyre inkább gyarapodtak az olyan kísérletek melyek eredményét nem lehetett a klasszikus fizika alapján megérteni és — amit a nem-szakember főleg érzett — egyre kínosabbá vált a *szemlélettől való eltávolodás.*

Különösen fonák helyzet állt elő pl. a *fény természetének* vizsgálatakor. A több mint 100 évvel ezelőtt felfedezett fényinterferencia és fénypolározás jelensége döntő érv volt a *fény* transzverzális *hullám* természetével, míg a századforduló előtt felfedezett fényelektromos jelenséget csak annak alapján lehetett értelmezni, hogy a *fény korpuzkulákból* áll. A fény tehát *két különböző kísérletben homlokegyenest ellenkező természetűnek mutatkozik*, sőt különböző elven alapuló kísérletek egész sorát végezték el, melyek a fény természetét illetőleg ellenmondó eredményekre vezettek. Alig 15 éve pedig a «biztosan» *korpuzkuláris elektronokkal* is sikerült olyan kísérletet végezni, amelyben *hullámtermészetűnek* bizonyultak.

Eljött tehát az idő arra, hogy a klasszikus fizika alapelvei a *kritika* mérlegére tétessenek és pedig éppen *Galilei szellemében*. Ő vallotta ugyanis elsőnek, hogy a fizika feladatául nem a dolgok mibenlétének keresését kell tekinteni, hanem a *mérhető mennyiségek közötti összefüggések* megállapítását és így el kell vetnünk minden olyan elvet, vagy posztulátumot, mely nem természeti megfigyelésen alapul. *A felsorolt elvek* — ezt mutatta meg a századunk legeleje óta kifejlődött kvantumelmélet — csak látszólag tapasztalatra alapított következtetések, valóban a jelenségek könnyebb megmagyarázását célzó általánosítások, melyek *csupán a makroszkópikus jelenségék körében érvényesek*, s ezért el kell őket vetni.

A folytonosság elvének feladását már említettük, ez a kvantumelméletnek legelső — tapasztalati eredmények értelmezése céljából elengedhetetlen — lépése volt. De nézzük mi a helyzet a másik két elvvel?

Az objektív mérhetőség klasszikus elvével szemben a kvantumelmélet szerint *minden mérés pontosságának van egy olyan felső határa, amit*

átlépni semmiféle ügyeskedéssel *sem lehet*, a mérés aktusa ugyanis maga befolyásolja a mérendő mennyiséget, és a *mérési aktusnak a mérendő mennyiségre gyakorolt hatása egy bizonyos legkisebb érték alá nem szorítható*, a technikailag ideális mérés is valami bizonytalanságot hoz az eredménybe.

Nézzük a következő — nem is kvantumeléleti példát. — Meg akarjuk határozni egy test hőmérsékletét. E célból a testet egy hőmérővel hozzuk érintkezésbe. Maga a hőmérő is vesz fel azonban hőt, s így a mérendő test hőmérsékletét megváltoztatja. Az innen származó hiba kiküszöbölésére a klasszikus fizika két eljárást ajánl: a) vegyünk kicsi hőmérőt. Minél kisebb a hőmérő, annál kisebb az elkövetett hiba. Végtelenül kicsi hőmérő alkalmazása esetén semmi hibát sem követünk el. — b) Használhatunk véges nagyságú hőmérőt, de számítással «vegyük korrekcióba» a hőmérő befolyását. — Ám az első eljárással szemben azt az ellenvetést tehetjük, hogy végtelenül kicsi hőmérőt nem vehetünk: a legkisebb «hőmérő» egy *atom*, márpedig ez is vesz fel hőt (energiát). Ami pedig a második eljárást illeti: hibaszámításhoz is már valami tapasztalatra, mérésre van szükség, s ezzel már eleve hiba csúszik a számításba.

A mindennapi élet tárgyai körében végzett kísérleteknél ez az elkerülhetetlen hiba, vagy bizonytalanság elhanyagolhatóan kicsi, kisebb mint az egyéb szempontok alapján előírt és technikailag elérhető hibahatár. Atomi vonatkozású kísérleteknél azonban — ezt mutatja a kvantumelmélet egyik alapelvét kifejező *Heisenberg-féle bizonytalansági reláció* — az a korlát, amit a mérés pontosságának az imént vázolt módon maga a természet állít igenis lényeges. Amikor pl. egy elektron helyét és sebességét akarjuk egy időpillanatban meghatározni, akkor mindkét adat meghatározásában bizonytalanság lép fel, s *mennél pontosabban ismerjük az egyik adatot, annál nagyobb a pontatlanság a másik meghatározásában*. Ha az egyik adatot jelentős pontossággal akarjuk meghatározni, akkor a másik pontosságát fel kell áldoznunk, *az egyik adat végtelenül pontos meghatározása esetén a másikra vonatkozólag semmit sem lehet mondani*.

Atomi jelenségek tárgyalásának a szemlélettől való eltávolódása így érthetővé, sőt szükségszerűvé válik. Szemléletes egy olyan *model* lenne, melyben az atom részeit egyes testek reprezentálják, melyeknek legalábbis *határozott helyük s mozgásuk* van. Azonban a fent elmondottak szerint a model elkészítéséhez *szükséges adatokat nem lehet meghatározni*. Vég-eredményben tehát *modelszerű elképzeléseket a természet egyik legalapvetőbb törvénye tesz lehetetlenné*.

Világszemléleti szempontból igen lényeges az okság elvének feladása, hogy t. i. a kauzális törvények helyébe *valószínűségi törvények lépnek*. Igen messze vezetne a kérdés taglalása, csak annyit jegyzünk meg, hogy

ez is a mérések bizonytalanságával kapcsolatos. Láttuk hogy a kauzalitás elve abból indul ki, hogy valamely rendszernek egy időpillanatbeli állapotát meghatározó összes adatot ismerjük, márpedig a határozatlanság reláció miatt éppen ez lehetetlen.

Hangsúlyozni kell azonban, hogy a kvantumelmélet *nem döntötte meg* a klasszikus fizikát. A kvantumelmélet elveinek alkalmazása csak a mikrokozmosz jelenségeinek leírásánál szükséges. A makrokozmoszban a mikrokozmosz finomságai elvesznek, ha alkalmaznók is itt a kvantumelmélet elveit, újra csak a klasszikus fizika törvényeire jutnánk.

Kissé durván talán azt lehetne mondani, hogy mindkét átalakulása azzal adott új irányt a tudomány fejlődésének, hogy *visszaszorította az emberi szellem túlkapásait*: az első esetben akkor, amikor az ember egyszerűen *elhagyta* a megfigyelési eredmények nyújtotta alapot, a másik esetben pedig akkor, amikor a megfigyelési lehetőség korlátaira való tekintet nélkül *túlságosan messzire terjesztette ki* az eredmények *érvényességét*.

A mai ember előtt mindazok a tanítások, melyek *Galilei* nevéhez fűződnek, magától értetődőknek látszanak, míg a modern fizika kijelentései meglepőek, nem-szemléletesek voltak miatt idegenszerűek. Ezért is szeretik a fizikában végbement legújabb átalakulást gyakran forradalmi-nak nevezni. Kétségtelen, hogy az átalakulás a legmélyebb gyökerekig hatolt, mégis a «forradalom» elnevezés túlzás, mert nem rombolt semmit. *A modern fizika* — sem a relativitáselmélet, sem a kvantumelmélet — nem döntötte meg a *klasszikust*, csupán *érvényessége határaitra* mutatott rá és értelmezhetővé tette a határokon kívüleső jelenségeket is. 300 évvel ezelőtt ezzel szemben — mint láttuk — egy alapjaiban helytelen felfogás ellen kellett küzdeni, ki kellett írtani a tévHITEKET és hibás tanításokat, melyek helyére kerültek az új tanok. Tehát a mai ember előtt bármennyire is magától értetődőek *Galilei* gondolatai, *az ő harca igazi forradalom volt*.

FARAGÓ PÉTER