

## A FIZIKAI TAPASZTALAT HATÁRAI

A fiatalság lelkes nekibuzdulását nemcsak az ember életében váltja fel a meglett férfikor kritikussabb magatartása, néha kiábrándultsága. A fizika története is ugyanezt mutatja. A természettudományos korszak megindulása egyetlen nagy csodálkozás volt a természet feltáruló titkai felé. Amikor Galilei távcsövével először látta meg a Jupiter holdjait, s hogy a Tejút különböző csillagokból áll, egyik levelében így írt: „A csodálkozástól egészen magamon kívül vagyok és Istennek végtelen hálát adok, amiért tetszését lelte abban, hogy ilyen nagy és minden évszázad előtt ismeretlen csodákat velem fedeztessen fel.” Kepler is nagy örömmel ünnepelte a bolygók pályái közti harmónia felfedezését. Lelkes bizalommal mélyedtek el a természet kutatásában és semmi kétségük sem volt, hogy az a világ, amelyet mindig tökéletesebb műszerekkel, és a megfigyelésekből vont okoskodásokkal egyre alaposabban megismertek, azonos a közönséges ember valóságos külső világával. „Ekkor támadt az a csalfa remény — mondja Heisenberg, a világhírű atomfizikus, — hogy a megfigyelési módszerek finomításával végül az egész világot sikerül megismerni.” Csak lassanként kezdett tudatossá válni, hogy az az exakt természettudományos módszer, amelyet Galilei, Kepler, Newton kutatásai alapoztak meg, sajátos természete miatt ugyan lehetővé tette, hogy egy irányban igen mélyen bepillanthassunk a természet titkaiba, ezelőtt nem is sejtett összefüggéseket állapíthassunk meg, és technikánkkal uralkodni tudunk a természetben, de mindezt az előnyt azzal kellett megfizetnünk, hogy mindinkább eltávolodtunk a szemléletes természet-megismeréstől, és a valóságos világ sok részletét kizártuk megismerésünkéből. Világszemléletünk mélyebb, de egyúttal szűkebb lett.

Erre legelőször Goethe mutatott rá nagy vitájában, amelyet Newton színelmélete ellen vívott. Ennek a harcnak jelentőségét ma már másképp ítéljük meg, mint a kortársak. Newton színelmélete szerint a fehér fény nem alapjelenség, hanem a színek színeinek együttes hatásából tevődik össze. Ezek a homogén színek — vörös, sárga, zöld, stb. — adják az alapot a fényjelenségek számára, s ezekhez a fizika egy-egy számot tud hozzárendelni, a hullámhosszúságot. Így a színek világába belevisszük a matematikát és lehetővé tesszük az exakt méréseket.

Ezzel szemben Goethe elgondolásában a fehér fény az egyszerű alapjelenség, és a színek keletkezését a világosság és a sötétség kölcsönhatásával magyarázta. Napnyugtakor például a Nap fehér fényét a sötétebb légkörön át nézzük és ez hozza létre a nyugati égbolt szép vörös színét.

Goethe kifogásolta, hogy ha a fizikusok találnak egy szemléletesen jelentkező alapjelenséget, nem maradnak meg annál, hanem mögötte még további okokat keresnek, és mesterkéltén boncolják a tümenényt. Az ő elméletében viszont „nem önkényes jelek, betűk, vagy ami még tetszik, szerepelnek a jelenségek helyett... — írja — itt jelenségekről van szó, amelyeket a test és szellem szemel előtt kell megjelenítenünk,

hogy származásukat, kialakulásukat magunk és mások számára nyilvánvalóvá tegyük." Ezzel szembeállítja a fizikus eljárás módját, aki „tapasztalatokat gyűjt, azokat mesterkélt kísérletekkel csavározza össze — de arra a merész állításra, hogy még ez is természet, csak halkán mosolygunk és csendben csóváljuk a fejünket. Hiszen az építésznek sem jut eszébe, hogy palotáikat hegyitábornak, vagy erdőségnek nevezzék." Hasonló gondolatra mutat rá Mikola: „A fizika túlnyomó része nem a természettől, hanem az ember által alkotott eszközökről, gépekről, folyamatokról, jelenségekről beszél, tehát nem is annyira a természetnek, hanem inkább az ember természeti alkotásainak a tana." Planck pedig a kvantumelmélet világhírű megalapítója, ezt mondja: a fizikus a reális világ törvényeiben bízva, fogalmak és szabályok rendszerét alkotja meg, az úgynevezett fizikai világképet, amelyet legjobb tudása és lehetősége szerint úgy mintáz meg, hogy a reális világ helyére téve, lehetőleg ugyanazokat az üzeneteket küldje, mint amaz. Amennyiben ez sikerül neki, állíthatja, anélkül, hogy szakszerű cáfolástól kellene félnie, hogy a reális világ egyik oldalát valóban megismerte, bár természetesen egy ilyen állítást közvetlenül sohasem lehet bizonyítani."

Nyilvánvaló tehát, hogy a valóság különböző rendjeiről, rétegeiről lehet beszélünk. A mai természettudomány elvonatkozik az eleven szemlélettől, mindent mér, számol, exakt természetleírásra törekszik, és éppen az a tulajdonsága képesítette arra, hogy ural legyen a természetnek. De ezzel a valósággal szemben áll egy másik valóság, „amelyik fontos, — mondja Heisenberg — számunkra jelent valamit. Ebben a másik valóságban azt, ami történik, nem számolják, hanem értékelik, s az eseményeket nem magyarázzák, hanem értelmezik. Ilyen valóságba tartozik a Goethe féle színelmélet, amely bár szubjektív, de egy cseppet sem gyengébb a másikkal. Mindenféle művészet ebbe a valóságba tartozik és minden jelentős műalkotás ezen a területen gazdagítja ismereteinket." És ehhez a területhez tartozik még sok más is, amint a következőkben majd látjuk.

Egyelőre azonban nem ennek a valóságnak elemzését végezzük, hanem visszatérünk a természettudomány exakt módszeréhez, hogy jobban megismerjük ennek értékét, de egyúttal korlátait is. Nem kísérjük végig a természettudományt egész fejlődésében, csak néhány kiemelkedő állomásán időzünk el.

A fejlődés jellemzője, hogy a mennyiségtani megfogalmazás, a matematika mindig nagyobb szerephez jut. A matematika szerepét az alaposabb, mélyebb természetismeretben már Rogerius Bacon, a XIII. század tudós ferencrendi szerzetese is világosan felismerte. „Vannak dolgok — mondja, — amelyeket közvetlenül és könnyen megismerünk; mások azonban, amelyek számukra el vannak rejtve, a Természet előtt jól ismertek. Ilyenek a felsőbb lények, Isten és az angyalok, kiknek megismeréséhez a közönséges érzékek nem elegendők. Azonban úgy áll a dolog, hogy van egy érzékünk, amely által mi is megismerjük, ami a Természet előtt ismeretes, és ez a matematikai érzék; mert ezáltal megismerjük a magasabb lényeket is, mint az eget és a csillagokat és ezáltal eljutunk a többi magasabb lény ismeretéhez, még pedig egyszerű és könnyű módon."

A matematikának ezt az egyszerűbb módját fejlesztette ki az exakt természettudomány mindig tökéletesebb formában, s mindinkább ez lett a fizika leghathatósabb segédeszköze. Különösen megnyilvánult ez a relativitás elméletében. Ha ezt tanulmányozzuk, — csak matematikai alakjában lehet igazában megismerni a jelentőségét — az olvasót elsősorban az elmélet zárt szépsége és harmonikus egyszerűsége ragadja meg. Einstein saját szavaiból tudjuk, hogy őt is a matematikailag tökéletesebb és egyszerűbb forma keresése irányította az elmélet felállításában, mert szerinte „eddigi tapasztalataink arra a feltevésre jogosítanak, hogy a matematikailag elgondolható legegyszerűbbnek megvalósítása — maga a természet.” Itt persze mindjárt felmerül a kérdés: honnét van a matematika e döntő szerepe az anyagi világban? Pusztán az anyag fogalmának elemzéséből ez nem érthető, tehát más magyarázatra van szükség. Ennek részletesebb vizsgálata azonban igen messzire vinne tárgyunktól, azért majd más alkalommal térünk rá vissza.

A relativitás elmélet alapját a térre és időre vonatkozó elgondolások kritikája képezte. Két pontnak egymástól való távolsága gyanánt közönségesen valami úrfélté képzelünk a két pont között, s ez a külső világnak valamely annyira meghatározott tulajdonsága, hogy abszurdumnak látszik az a gondolat, hogy ugyanazon két pont távolsága, például ugyanazon bot hosszúsága egyszer nagyobb, máskor kisebb. Ez a távolságfogalom azonban annyira határozatlan, hogy a fizika nem tudja használni, hiszen ilyen módon elgondolt távolságokat nem tudunk összehasonlítani, tehát mérni sem tudjuk őket. Ezért a fizikus felvesz egy merev vonatkozótestet (például egy méterrudat), s meghatároz egy eljárást, amely szerint ezzel a mértékegységgel egyik pontból a másikba el kell jutnunk, s ennek a mérési eljárásnak eredménye lesz a két pont egymástól való távolsága. Einstein fellépése előtt nem látszott kétségesnek, hogy az ezzel az eljárással meghatározott szám éppen a külső világnak az az abszolút, a megfigyeléstől függetlenül is létező tulajdonsága mértékszám, amelyet közönségesen a két pont távolságán elgondolunk. De nyilvánvaló, hogy a fizika mérési eljárásában a megfigyelő mozgásállapota is szerepet játszik, így igenis elgondolható, hogy a mérés eredménye különböző megfigyelő számára más és más lesz.

Hasonló meggondolások állanak az időre is. Beszélhetünk pszichológiai és fizikai időről. Tudatunkban lejátszódó élmények váltakozása vezet el bennünket az idő fogalmához. A tudatjelenségeknek ez a sorozata nem tűr semmiféle önkényességet; a sorrendben, amelyben az egyes élmények következnek, nem tudunk változtatni. Az előbb-utóbb abszolút jelentőségű kapcsolat. De ez a pszichikai idő nem ugyanaz, mint amit a fizika ért időben, mert ez a külső világra vonatkozik, és definíciójának olyannak kell lenni, hogy ezen az alapon mérhető legyen. Egyenletesen ismétlődő, periodikus mozgással méri a fizikus az időt, így készít órákat, s ezeket a külső világba mindenütt elhelyezve gondolja. Azután még arról is gondoskodnia kell, hogy az órák mind egyformán járjanak. Ezt úgy éri el, hogy az egyik mellett áll, s onnan ránéz a távolabbira, vagyis fényjelet küld egyik órától a másikhoz. Eközben feltételezi, hogy a fény

oda és vissza egyforma sebességgel halad. Így tehát fizikai eljárás eredménye az idő meghatározása, és mivel az eljárásban megint szerepet játszik a megfigyelő mozgásállapota, azért két távoli esemény egyidejűségének nincs abszolút jelentősége. Megtörténhetik, hogy egy nyugvó megfigyelő két eseményt egyidejűnek állapít meg, a mozgó megfigyelő szerint pedig az egyik előbb történik, mint a másik. Sőt lehetséges, hogy egyik megfigyelő szerint *A* esemény előbb történik, mint *B* esemény, a másik megfigyelő szerint pedig éppen fordítva van.

Alkalmazzuk a relativitás elméletének ezeket a paradox eredményeit egy határozott példára. A nyugvó megfigyelő megmér egy pálcát és azt találja, hogy a hossza 1 méter. A nagy sebességgel mozgó megfigyelő ugyanolyan méterrúddal megméri ugyanazt a pálcát, s azt találja, hogy a hossza fél méter. A nyugvó megfigyelő megméri egy gyufa elégésének idejét, s azt találja, hogy 10 másodperc. A nagy sebességgel haladó megfigyelő ugyanolyan órával méri ugyanannak a gyufának az elégését, s 20 másodpercet kap. Sőt még tovább mehetünk a példánkban. Gondoljuk el, hogy egy repülőgép 260.000 kilométer percenkénti sebességgel távolodik tőlünk — ilyen nagy sebességre van az előző példában szükség — s abban egy velünk egyidős (mondjuk 30 éves) ember ül. Nemcsak a gyufa elégése lassulna meg a repülőgépben a mi számunkra, hanem minden folyamat, azok is, amelyek a repülőgép utasa életének fiziológiai részét alkotják. Ebből az következik, hogy ha például 30 év múlva be tudnánk pillantani a repülőgépbe, — amikor mi már 60 évesek lennénk — a repülőgép utasa még csak 45 éves lenne.

Ez természetesen csak elképzelt példa. Az atomfizika azonban megadta nekünk ennek a paradox jelenségnek pontos mását. A kozmikus sugárzás legnagyobb áthatolóképességű része mezonokból áll. Ezeknek átlagos élettartamuk egy milliomod másodperc, ezután részeikre szakadnak, meghalnak. De egy milliomod másodperc alatt, még ha a fény sebességével repül is a mezon — gyorsabban semmiképpen sem mehet, — csak 300 métert tud megtenni. De akkor hogyan tudott áthaladni a 10.20 kilométer vastag levegőrétegen, hogy még itt a Föld felszínén is meg lehessen figyelni? A rejtély megoldását a fentebbi paradoxon adja meg. Amíg a mezon például 15 kilométert megfut, a mi méréseink szerint már ötvenszer egy milliomod másodperc telt el, tehát a mezonnak régen meg kellett volna halnia. De a nagy sebességgel haladó mezon csak százszor kevesebb időt mér, tehát még nem jár le az életideje, hanem nyugodtan száguldozik tovább.

Ha a fizikai távolság és fizikai idő abszolút jelentőségű mértékszámok lennének a külső világ jelenségének, akkor a tárgyalt paradox jelenségek természetesen a relativitás elmélet belső ellentmondásait mutatnák. Azonban láttuk, hogy a fizikai távolság és a fizikai idő fizikai mérésrel definiált nagyságok, amelyek egy meghatározott megfigyelőre vonatkoznak, s egyáltalán nem lehetetlen, hogy különböző megfigyelők számára különböző értékek adódnak. Amikor a bot megrövidül, vagy a gyufa égése meglassul egy mozgó rendszerről nézve, nem a kívüllég eme tárgyaival történik valami, hanem csak a megfigyelővel való vonatkozása

változott. A fizika által használt és mért távolságra és időre vonatkozólag tehát igaza van Goethének, amikor azt mondja, hogy az már nem a természet. De a fizikának is igaza van, amikor ennyire elvonatkozik a szemléletes világtól, s absztrakt rendszert alkot, mert csak így ismer fel a dolgok között olyan kapcsolatokat, amelyek különben rejtve maradnának előtünk. Ezt látjuk, ha az elmélet további felépítését nézzük. A relativitás elmélet a maga fizikai terét — amelyet a távolság fogalmából épített fel — egybekapcsolta a fizikai idővel, s így új dolgot kapott, a négydimenziós tér-időt. Erről nincs szemléletes fogalmunk. Külön világosan látjuk, hogy mi az idő, és mi a tér, de a kettő kapcsolataiból alakult tér-idő csak matematikailag ragadható meg. Ebben az elvont rendszerben azonban jobban megnyilvánulnak a dolgok közötti igazi kapcsolatok. Így ismerte fel például Einstein, hogy a mozgó golyónak megnagyobbodik a tömege a mozgási energiának megfelelően, s egyáltalán minden energiának tömege is van. Így kiderült, hogy a tömeg és energia ugyanannak a dolognak két különböző jelentkezési formája, s ezért az anyagi testek tömegének csökkenése nagy energiafelszabadulással jár.

A fizika nagyon eltávolodott a szemléletes világtól, amikor megalkotta a távolság és idő fogalmát, de az általános relativitás elméletben Einstein még tovább ment ezen a téren. Ha egy szobában lejátszódó eseményről van szó — például egy kislámpa felvillanásáról, — ennek helyét és idejét, kell a fizikusnak ismernie. A helyet meghatározhatjuk, ha megmondjuk, milyen messze van két egymással érintkező oldalfaltól. Nyugvó szobában merev méterrúddal ez a három távolság egyértelműen megmérhető. Még az kell ehhez, hogy egy nyugvó órával az esemény idejét is megmérjük. Az így megmért négy adat a tér-idő eseménynek — a lámpa felvillanásának — négy koordinátája. Ezeknek még van bizonyos szemléletes jelentésük. Változik azonban a helyzet, ha az általános relativitás elméletben a gravitációs erő hatását is figyelembe vesszük, amint szobánkban a Föld nehézségi ereje tényleg működik. Az elmélet megfontolásai azt mutatják, hogy a gravitációs térben a merev test pontjainak egymástól való távolsága és az óra járása függ a mérés helyétől. Ezért itt nem készíthető merev, változatlan méterrúd és jőljáró óra. Nem használhatjuk ezért ezeket a négy koordináta meghatározására. Ezekre a koordinátákra továbbra is szükség van, de ezek itt már pusztán számok lesznek, amelyekkel megjelöljük a tér-idő eseménypontjait, amint egy hatalmas raktárban is számjeleket használhatunk az elraktározott tárgyak megkülönböztetésére.

Mivel így a koordinátáknak nincs közvetlen fizikai jelentésük, a velük való meghatározás fizikailag látszólag teljesen tartalmatlan. De valamire mégis használhatók. Bármit jelent is a négy koordináta, ha ezek két eseménypontra megegyeznek, a két eseménypont biztosan összesik. Már pedig Einstein szerint a fizikában egyedül csak az eseménypontnak ilyen összesesését lehet és kell megállapítanunk. Ez már a rendszer állapotáról minden fizikailag lehetséges felvilágosítást megad. Ilyen összesesés van például, amikor a műszer mutatója a skála egy pont-

jára esik. Méréseknél — a fizika csak ezekkel törődik — mindig csak ilyen tapasztalatok fordulnak elő.

Ennek azonban egy másik érdekes következménye is van. Hogy két eseménypont összeesését megállapíthassuk, összes érzékszerveink közül csak egyik szemünkre van szükségünk, de arra sem egészen, hanem elég a szem ideghártyájának egy kis darabkája a feladat megoldására. Annyira összeszűkül tehát a mérhető fizikai világ, hogy mindaz kiszorul belőle, amit a többi érzékszervekkel állapíthatnánk meg. Nagyon pontos adatokat kapunk, de a szemléletes külső jelenségvilágból nagyon sok elvész számunkra. A sokféle szín helyett csak a fizikai mérés adataiból kapott hullámhossz marad meg, a különböző ízek helyett csak a kémiai méréssel meghatározható kémiai összetétel, stb. A változatos színpompa, a varázslatos melódia csak szubjektív jelenség lesz, ami kívül esik a fizika területén, pedig mindez kétségtelen valóság. Nemcsak mennyiségek, hanem minőségek is vannak a világban, de a fizika a maga sajátos módszerével ezekhez nem tud hozzáférközni.

Új szempontokat ad az eddigi elmondottakhoz a modern atomelmélet. Már régóta megvan a tudományban a törekvés, hogy a közvetlenül megtapasztalható, nagyméretű világ természetét a legkisebb részecskék tulajdonságaival magyarázzuk meg: a makrokozmoszt a mikrokozmoszsal. Vegyünk például egy darab vasat. Ennek van keménysége, színe, hideg vagy meleg, ha kifeszítjük, kissé megnyúlik, majd elszakad stb. Mindezeket atomjainak tulajdonságaival, az ezek között ható erővel igyekszünk megmagyarázni, s ez jórésben sikerült is.

Legegyszerűbb a dolog a meleg eredeténél. Ennek hordozója egyszerűen a vas atomjainak rendezetlen rezgő mozgása. Ha ez nagyobb energiával történik, a vas melegebb, kisebb energia mellett hidegebb. tehát a meleget visszavezetjük az atomok mozgására, s mivel ezt szemléletesen tudjuk elképzelni — ha nem is látjuk közvetlenül, — azért azt mondjuk, hogy a meleg természetét, lényegét feltártuk. Dehát csakugyan olyan szemléletes dolog a legkisebb részecskéknél is a mozgás, mint egy látható golyónál, amelyikkel a kisgyermek játszik? Amikor jobban bele-mélyedünk az atomok világának tanulmányozásába, mindinkább nyilvánvaló lesz, hogy itt új problémával állunk szemben.

Megnyilvánult ez már a kezdetleges Bohr-féle atomelméletben is. Ez úgy gondolta el a hidrogénatom szerkezetét, hogy van egy pozitív töltésű magja — ez a proton — és e körül kering körpályán az elektron. Olyanformán, mint ahogy a Föld is kering a Nap körül. Azt mondta Bohr, hogy az elektronnak nemcsak egy körpályája van, hanem sok, amelyeknek különböző a sugaruk. Közönségesen a legbelső pályán kering az elektron, de ha elegendő nagy energiát kap kívülről, akkor kiugrik a következő, vagy a messzebb levő pályára, s azon folytatja keringését. Itt azonban nem sokáig marad, hanem visszazuhan a legbelső pályára, s közben energiája csökkenését fény alakjában sugározza ki. Mivel csak meghatározott pályákon keringhet, azért a kisugárzott fény hullámhosszára is csak meghatározott értéket kaphatunk. Ezeket ki lehetett az elméletből számítani, s az eredmények nagy pontossággal meg-

egyeztek a kísérletileg meghatározott értékekkel. Ez volt Bohr elméletének nagy erőssége.

De volt gyengéje is. Mindinkább nyilvánvaló lett, hogy az atom belsejében levő részecske természete nem egyezik meg a mi megszokott golyóink természetével, mozgása nem gondolható el ugyanúgy. Például semmiképpen sem sikerült valami értékes dolgot elképzelni, ami megmutatná, hogyan ugrik át az elektron egyik pályáról a másikra. Bohr elmélete szépen megmutatta, hogyan kering az elektron az egyik vagy a másik pályán, de hogy mi történik vele közben, hogyan „ugrik át”, arra nem tudott választ adni. Még jobban kimélyült ez a nehézség, amikor Bohr elméletét tökéletesebb, a tapasztalati adatokat jobban megmagyarázó elmélettel helyettesítették. Az atomok világában lefolyó jelenségek megfigyelési módjait elemezve, Heisenberg felismerte az úgynevezett határozatlansági relációt. Ez azt mondja ki, hogy egy elektron, proton stb. megfigyelésekor mi sohase tudjuk egyszerre pontosan megmérni ezek helyét és sebességét. Minél pontosabban meghatározzuk egy ilyen részecske helyét, annál kevesebbet tudunk a sebességéről és megfordítva. Ez arra mutat, hogy ezeknek az elemi részecskéeknek a tér-időben való viselkedése más, mint amit a látható golyócskáknál megszokunk. Ezeknek helyét és sebességét pontosan meg lehet mérni például egy kezdőpillanatban s ha ismerjük a rájuk ható erőket, ki tudjuk számítani, hol lesznek egy perc múlva. Ezt csinálja a tüvész, amikor ágyújával célba lö, s ezt alkalmazta Tell Vilmos, amikor fia fejéről lelőtte az almát. Már Bohr rámutatott arra, hogyha Tellnek nem almát, hanem protont kellett volna fia fejéről lelőni, s nyíl helyett elektront használt volna, teljesen hiába lett volna a célzása. Ha egy elektronnal mindent tudunk is, ami fizikailag meghatározható és ismerjük a ráható erőket, akkor sem tudjuk pontosan megmondani, hogy hol lesz egy másodperc múlva. Csak annyit tudunk, hogy valahol belül lesz egy 4 centiméteres közön. Azt gondolnók, hogy ez még elég nagy pontosság, de mindjárt kiderül az ellenkezője, ha az elektron méretére gondolunk. A bizonytalanság több mint egy billiószor akkora, mint az elektron nagysága. Mintha egy 1 centiméteres golyóról azt mondanók, hogy nem tudom ugyan pontosan, hol lesz egy másodperc múlva, de biztosan belül lesz egy billió centiméteres, vagyis 10 millió kilométeres közön. Ez bizony nem sokkal mondana többet a semminél.

Vajjon mi az oka az elemi részecskék e rejtélyes viselkedésének? Semmit sem tudunk róluk, míg meg nem figyeljük, s nem tudunk megfigyelni, ha nem világítjuk meg őket. A rájuk bocsátott fénysugár pedig maga is úgy viselkedik, mint egy kis részecske, amelyik taszít egyet — sohasem tudhatjuk pontosan mekkorát — a megfigyelt kis tárgyon. Ezért nem ismerhetjük meg pontosan ennek helyét és sebességét. Gondolhatnók ugyan, hogy az elemi részecske meghatározott helyen van, és teljesen meghatározott módon mozog, de ha valamit ezekből tényleg meg akarunk tudni, fény kell, s a fénylökés miatt bizonytalan, elmosódott eredményt kapunk. Tehát a részecske állapotában csak addig lehetne meghatározottság, amíg nem tudunk róla semmit. Nyilvánvaló

azonban, hogy a fizika nem törődhetik olyan világgal, amelyről nem tudhat meg semmit. Ezért próbál megfigyelni, de ennek eredménye mindig csak elmosódott hely- és sebességmeghatározás lehet.

Ezt úgy is le szokták írni, hogy az elemi részecskéknek hullámtermészetük van. Ha ezt a hullámtermészetet matematikai egyenletekkel fejezzük ki, s ezekből próbáljuk kiszámítani a részecske mozgását, éppen olyan bizonytalanságot kapunk a részecske helyére és sebességére, mint amelyet Heisenberg határozatlansági relációja megkíván. Ez a hullámtermészet tehát nem engedi, hogy az elektron jövő életét pontosan meghatározhassuk, csak azt lehet kiszámítani, hogy mondjuk egy perc múlva mekkora valószínűséggel lesz az egyik vagy a másik helyen. Amint például ha azt kérdezik tőlünk, hol lesz barátunk — akinek életkörülményeit nagyon jól ismerjük — holnap déli tizenkét órakor, azt feleljük, hogy nagyon valószínűen az irodában. Biztos választ azonban nem adhatuk, mert barátunk szabad akarattal bíró lény, aki esetleg egy hirtelen ötlettel a fejébe veszi, hogy otthagyja a munkáját, és elmegy sétálni.

Kevés dolog van, amit lélektanilag olyan bizonyosnak érzünk, mint hogy szabad akarattal cselekszünk. Mielőtt a kezem felemelem, egészen bizonyos vagyok benne, hogy ez teljesen tőlem függ: ha akarom, felemelem, ha akarom, nem. Utána is világosan érzem, hogy feemeltem a kezem, de épp így megtehettem volna, hogy nem emelem fel. Ezzel szemben azonban igaz az is, hogy kezem, egész testem az anyagi világhoz tartozik, és épp úgy alá van vetve a fizikai törvényeknek, mint más anyag. Ha tehát az anyagi világban merev előre való meghatározottság uralkodnék, ha az anyagi részek mostani helye, sebessége, s a rájuk ható erők egész pontosan megszabnák, mi lesz az anyagi testekkel egy perc, egy óra, egy nap alatt, nehézség lenne, miképpen dönthetek én egy nap múlva szabadon, felemeljem-e a kezem, vagy nem? Igaz, hogy a tudat és a test kapcsolatáról a tudomány nem tud semmit, hogy miképpen hat az egyik a másikra, tehát itt mindenképpen megmaradna a lehetőség, hogy a tudatos akarat a maga közbelépésével más eredményt idézzon elő, mint amit a kizárólagos fizikai erők kívánnának. A fizika új fejlődése óta azonban még kedvezőbb a helyzet. Mivel a modern atomelmélet azt mondja, hogy a fizikai világban sincs az anyag jövő állapota mereven előre meghatározva, még kevesebb a nehézség a szabad akarat értelmezésében. Semmiképpen sem lehet tehát a szabad akaratot a fizikai törvényekre hivatkozva tagadni, mint azt a mechanikai materializmus megkísérelte.

Az elektron jövő helyzetének bizonytalanságát hullámtermészetével tudjuk matematikailag leírni. Az itt szereplő hullámok azonban nem valami anyagi természetű hullámok, mint a víz hullámai, vagy a hanghullámok a levegőben, hanem csak a jövő valószínűségeinek hullámai. Matematikai természetüknek megfelelően csak a dolgok formális magatartását határozzák meg, és semmit sem mondanak a részecskék lényegéről. Az új elméletnek e folyton növekvő elvontsága, matematikai jellege miatt már sokan felemelték szavukat, hogy a fizika helytelen irányban terelődött, és vissza kellene térni a szemléletesebb tartalom, a köz-



vetlenül megtapasztalható világ felé. De ez nem olyan egyszerű dolog, amint egy példa jól mutatja. Amikor az elektromosság jelenségeiből már sok volt ismeretes, Maxwell matematikai elméletet készített a jelenségek gyökerének feltárására. Híres könyvének sok olvasója mondhatta a sok matematikai képlet láttára, hogy az már nem is fizika, és vissza kellene térni a szemléletes jelenségek elemzésére. Ma azonban már világosan látjuk, hogyha az elektromosságban és a fénytanban csak közvetlenül érzékelhető, szemléletes jelenségeknél maradtak volna, nem derült volna ki ennek a két jelenségcsoportnak kapcsolata, nem ismertük volna meg az elektromágneses hullámokat, nem lenne rádióink. Az anyagi világnak és a matematikának az a rejtélyes kapcsolata érvényesül itt is, amire fentebb már rámutattunk. Mindenesetre az exakt természettudomány eddigi fejlődésében kialakult módszert nem olyan könnyű otthagyni. Igazat kell adnunk Heisenbergnek, aki már idézett tanulmányában ezt mondja: „Bonyolult kísérleteinkben nem maga a természet jelenik meg, hanem a megismerést célzó tevékenységünk következtében megváltozott és átalakult természet. Aki ezen változtatni akarna, annak egész mai technikánkról és a vele kapcsolatos természettudományról le kellene mondani. Akárhogy vélekedünk is, annyi bizonyos, hogy a visszatérés lehetetlen; a mi korunknak az a feladata, hogy a megkezdett úton végigmenjen.”

Az új elmélet eredményei azonban egy másik szempontot is felvetnek. Fény nélkül nem tudunk megfigyelni, de az elemi részecskéknél már ez is durva eszköznek bizonyul. Hiszen, ha egy tárgyat megvilágítunk, a fénysugár úgy viselkedik, mint apró golyócskák raja, amely nekiverődik a testnek. Ha egy faldarabot nézünk, a nekiverődő fénygolyócskák nyomása még teljesen elhanyagolható, de nem így lesz ez akkor, ha már nagyon kicsiny testet vizsgálunk. Az elektronok tömege alig kisebb némely fénygolyócska tömegénél, ezért ha az atom elemi részeinek állapotát akarjuk megállapítani, az nem sikerülhet pontosan: a megfigyelés közben mindenféle irányban kapnak a fénygolyóktól lökéseket, ezért állapotuk erősen megváltozik. Olyanforma a helyzet, mintha sötét éjjel egy város házait ágyúgolyókkal akarnók kitapogatni. Az ágyúgolyók az utcákba eső házakat „kitapogatják”, de szét is rombolják, így bizony a város állapota a „tapogatás” után egészen más lesz, mint amit meg akartunk ismerni. Így van ez az atomok világában, ha fénnel világítjuk meg őket. Egy lényeges különbség azonban van. A város házait a sötétség elmultával a házakat meg nem rongáló fénysugarakkal is kitapogathatjuk, legalább is sok várossal ezt már megtettük, így van fogalmunk, milyen egy város állapota az ágyúgolyókkal való kitapogatás előtt. Az atom elemi alkotórészeit azonban a sugáraknál finomabb dolgokkal nem tudjuk megfigyelni, tehát a fénnel való kitapogatás előtti állapotról semmit sem tudhatunk meg. Így tehát a fény természete áthághatatlan határt szab az atom belső világának megismerésében, s a kutatást nem folytathatjuk határtalanul mindig finomabb részletek megismerése irányában.

A fénygolyócskák lökdöése miatt csak bizonytalan, elmosódott helyet és sebességet tudunk az elemi részecskéknél meghatározni. En-

nek a határozatlanságnak felel meg az anyag új hullámelmélete, ez tehát olyan fejlődési fok, amelyen túl már nem igen vezet az út, bár maga a hullámelmélet még tökéletesedhetik. Ebhez járul még, hogy az atomfizika már eljutott az anyag mélyén rejtőző utolsó erőforráshoz, az atomenergiához. Ezért Heisenberg is vallja, hogy „az a terület, amelyet a természettudomány és a technika segítségével fel lehet kutatni, csak véges lehet”.

De a természettudomány teljesen feltárt területe se foglalja magában mindazt, ami valóság. A tudomány fejlődésének megindulásakor úgy látszott, hogy csak a megkezdett utat kell követni, s minden kérdésre választ kapunk. Most már tudjuk azonban, hogy a természet több, mint első pillantásra látszott. Vannak mélységei, rejtélyes oldalai, amelyeket az exakt természettudomány módszerének egyoldalúsága miatt feltárni nem tud. Érdekes, hogy ezt milyen világosan meglátta már Platon, amikor *Phaidon* című dialógusában Anaxagorast kritizálja. Arról beszél ebben a dialógusban Sokrates, hogy Anaxagoras egyik könyvében kijelenti: az ész mindennek intézője és oka. Ezért Sokrates azt várta, hogy a világ berendezésének észszerű voltára kap tőle feleletet, de Anaxagoras világmagyarázatában az ésszt nem szerepelteti, hanem csak levegőt, aethert, vizet stb. hoz fel ok gyanánt. „Úgy rémlett hát — folytatja Sokrates —, egészen olyanformán járt el, mintha valaki azt állítaná, hogy Sokrates mindent ésszel tesz, amit tesz, s aztán, abba fogva, hogy mindennek okát adja, amit teszek, azt mondaná, hogy itt is (t. i. a börtönben kivégzése előtt) azért ülök, mert testemet csontok és inak tartják össze... s ilyenformán, amennyiben a csontok mozoghatnak izületeikben, az inak meglazulása vagy megfeszítése képessé tesz most engem, hogy tagjaimat hajlíthassam, s ez az oka annak, hogy most meghajlított lábszárral itt ülök. Vagy teszem, ha a köztünk folyó beszélgetésnek adná hasonló okát, s hangokat, levegőt, hallást és más efféle emlegetne, az igazi okot azonban mellőzné, tudniillik azt, hogy az athéniak jónak láttak engem elítélni, s azért aztán én meg jónak és igazságosnak láttam itt ülve maradni, s bevárni a büntetést, amelyet rám szabtak... Ha azt mondaná valaki, hogy mindazon testrészek, csontok, inak és máseffélék nélkül nem tehetném azt, amit akarok, ebben igaza volna; de hogy ezek miatt teszem, amit teszek, s azért cselekszem észszel, nem pedig azért, mert mindig a legjobbat választom, ez ugyancsak felületés állítás lenne.”

A fizika, a természettudomány sok értékes, hasznos eredményt hoz napfényre, de nem szabad azt gondolnia, hogy az ő világa a teljes világ. A fizikai jelenségeken túl ott vannak a lelki jelenségek, s ezek között a lelkiismeret, amelyet senki fizikai okokból levezetni nem tud, de azért a tapasztalás szerint nem kevésbé létezik, mint az anyagi világ.

Ez egyúttal arra is rávezet bennünket, hogy a fizika világa nem csak korlátozott, de — ha elveit kizárólagosan akarja érvényesíteni — hibás értékeléshez is vezet. A Föld például a tudomány eredményei szerint a világmindenségnek csak egy porszeme, s az ember még ehhez viszonyítva is jelentéktelen semmiség. De mégis sok igazság van Eddington szavaiban: „Az ember néhány olyan kvalitás vagy illúzió

öre, amelyek a dolgok fontosságába vágnak. Ő jelenti a szándékot a véletlenek szervesen világában. Igazságot, becsületességet, önfeledőzést képviselhet. Néhány rövid évig benne pislognak az isteni szellem szikrái. Ezek is oly keveset számítanak a világmindenségben, mint Ő?" Ha egy Szent Ferencet, vagy Newtont összehasonlítunk valami tökéletes gépezettel, értéküknek, jelentőségüknek elbírálásakor nyilván nem a fizikából vesszük az érveket.

Goethe színelméletének függelékében, a hatásokat, amelyeket tapasztalataink során észreveszünk, felfelé haladó rangsorba osztja: véletlen, mechanikai, fizikai, kémiai, organikus, pszichikai, etikai, vallásos és genialis. Heisenberg azt mondja, hogy a modern természettudomány az első négy területet kissé másképp nevezné meg, de kétségtelen, hogy a világot sok egybekapcsolódó tartományra kell osztanunk, s ezek közül csak egyik a természettudomány területe. Ettől tehát nem várhatjuk, hogy minden nagy kérdésre válasz tud adni, hiszen még az anyagi világ teljes gazdagságát sem tudja kimeríteni: a természettudós világa nem azonosítható egyszerűen a közönséges ember külső, szemléletes világával. De ezen a külső, érzéki tapasztaláson kívül még más is van. Közvetlen tapasztalás vezet rá az embert a külső, anyagi világ elfogadására, de ugyanilyen közvetlen tapasztalásaink vannak például a vallásos élet terén is. Azt mondhatá ugyan valaki, hogy a külső világot mindenki tapasztalja, a vallás világot azonban nem. De mindenestre jóval többben, mint például az atomok világát tapasztalják, és azt mégse vonja kétségbe senki. Ha teljes világképet akarunk kapni, abból semmit sem zárhatunk ki, ami valamilyen formában megtapasztalható. Egyidőben ezt a megtapasztalást csak a fizikai, természettudományi tapasztalásra akarták korlátozni. Most már világosan látjuk, hogy ez mesterséges összeszűkítést jelentene. Még a teljes anyagi világot sem zárná magába. Pedig az anyagi világ még nem minden. Fölötte ott van a szellem, a lélek világa. Ebbe a világba tartozik a művészet, de a lelkiismeret és a vallás igénye is. Ezek mind hozzátartoznak az emberi élet teljességéhez, s csak csonkítással volnának belőle eltávolíthatók.

Pasteur Litréről szóló emlékbeszédében a következőket mondja: „Beszélük, hogy Faraday, a híres angol fizikus, a londoni Royal Institutionban tartott felolvasásában sohasem ejtette ki Isten nevét, noha mélyen vallásos volt. Egy napon véletlenül megemlítette e nevet, s rögtön a rokonszenves helyeslés mozgalma támadt a hallgatóságban. Faraday észrevette és megszakítván előadását, ezeket mondá: Megleptem önöket, midőn Isten nevét ejtettem ki e helyen. Ha ez még eddig nem történt, ez onnét van, mert e felolvasásokban a kísérleti tudomány képviselője vagyok. De Isten fogalma és tisztelete oly úton kerülnek elémbe, mely épp oly biztos, mint azok, melyek fizikai igazságokhoz vezetnek el bennünket.”