

A SZEMLÉLETESSÉG HATÁRAI A FIZIKÁBAN

A VALAMELY bonyolódottabb tényállást sikerül végre annyira tisztázni, hogy a kérdés minden vonatkozásával érthetővé válik előttünk, úgy mint egy kép“. A nyelvhasználat, mint e példa is mutatja, a megismerés egy tökéletesebb fokát a szemlélet, a látás képeivel jelzi és a szemléletesség jelzőjével illeti. A különféle vallások és filozófiai rendszerek a megismerés legmagasabb fokát gyakran szintén a „látás“ szóval jelzik. A költők és vallások nehezen érthető morális és lelki jelenségeket az érzéki világból vett „szemléletes“ képekkel és szimbólumokkal igyekeznek közel hozni és megérthetővé tenni.

A következő megfontolásokban. igyekezni fogunk a szemléletesség fogalmát elemezni és kimutatni szerepét az exakt természettudományokban, elsősorban a fizikában, mint amelyik a legátfogóbb módon képviseli ezeket a tudományokat.

A szemlélet eredeti értelmében a látható dolgok és azok térbeli rendjének és vonatkozásainak felfogását jelenti. A dolgok azonban minden logikai művelet előtt egy bizonyos térbeli rendben vannak adva és ez, valamint az események és lelki folyamatokra is kiterjedő időbeli rend megelőz minden tudományos gondolkozást, sőt annak előfeltétele. Ez Kant nagy és valóban korszakalkotó felfedezése. Az már további kérdés, hogy a szemlélet ezen formái teljesen változatlan, egyedülálló lehetőségek, avagy maguk is a lehetőségek sorának csak egyes esetei. Az újabb tudomány hajlandó az utóbbi felfogásnak adni előnyt és ennyiben kissé szűknek tekinti Kant felfogását, ki saját korának felfogásait a megillető érvényességi határokon túl abszolutizálta.

Már a szűkebb értelemből vett érzéki szemléletnek is különböző fokai vannak. Minden tudományos megfontolás előtt a dolgokat térbeli rendben látjuk, beszélünk távolságról, alakról, a tárgyak vonatkozásait számtalan kifejezéssel: nagyobb-kisebb, bent-kmt, összefüggő-különálló, jobb-bal, fent-lent, elül-hátul stb.-vel illetjük. Nagy lépés volt, midőn megkülönböztették a tárgyak „objektív“ vonatkozásait azoktól, ahogy nekünk látszanak, amidőn a „valódi“ térbeli rendet a dolgok látszólagos, perspektivikus rendjétől elkülönítették. Tehát már mikor ezt a lépést megtették, a tudományban a szemléletes dolgok felfogásának mélyreható átalakulása ment végbe.

Hogy milyen nehézséget okoz, ha olyan dolgok rendjével akarunk tisztába jönni, melyek nem tartoznak a mindennapi élet használati tárgyaihoz, arra a tudomány története több jellemző példát szolgáltat, így például már nagy nehézségeket okozott a föld gömbalakjának felismerése; az, hogy a laposnak látott föld gömbalakú. Azután ennek kapcsán az „antipódusok“ lehetőségének elgondolása; miért nem esnek le a földről az ott lakók? Ugyanis a naiv ember felfogásában a „lent“ egy kitüntetett irány, minden dolog lefelé esik, „természetes helyét keresi“ és ezt teljesen magától értetődőnek tekinti. Nagy lépés volt annak felismerése, — és ehhez már nagy absztrakcióra volt szükség — hogy ez az abszolútnak vett irány a Föld középpontjára vonatkoztatva relatív és továbbá, hogy minden más égitest környezetében a „lent“ az illető égitest középpontja felé van irányítva.

Egy másik hasonló lépés volt a határtalan tér elgondolása. A naiv ember az eget gömbnek tekinti, mely a világot lezárja és melyre a csillagok reá vannak erősítve, de nem kutatja, mi van a gömbön túl? Még Ptole-

maios feltétlenül tudományos jellegű vilásképe ezen az alapon áll. Óriási jelentőségű, egész világfelfogásunkra kiható lépés volt, midőn Copernicus nyomán egyrészt a bolygók mozgását a napra vonatkoztatva írták le, másrészt a zárt éggömb helyébe a végtelen világeteret tették, melyben a csillagok szabadon lebegnek és a föld vagy Nap nem foglal el kitüntetett helyet.

Mindkét esetben a szemléletesség egy közelfekvőbb, megszokottabb formájáról át kellett térnünk egy tökéletesebb, átfogóbb, de eleinte idegenszerűnek érzett formájára. Ez a folyamat a tudomány történetében azután tipikusan ismétlődik, a tudomány sok elvi lépése éppen a látszat elleni küzdelemben áll, amint arra még néhány jellegzetes példát látni fogunk.

A térbeli vonatkozások rendszerezése kapcsán alakult ki a külvilágra vonatkozó első exakt tudomány: a geometria. Ez természetesen nem ment a nélkül, hogy a geometriai viszonyok jellemzésére az elvont fogalmak és kategóriák nagy tömegét ne kellett volna bevezetni. Már Kant felismerte «ezt, midőn a szemlélet mellett a kategóriák nagy jelentőségét kiemelte, de itt is abba a szinte elkerülhetetlen egyoldalúságba esett, hogy az ő korában érvényesnek tekintett, részben még Aristotelestől és a skolasztikusoktól átvett, nagyon is múltó értékű kategóriarendszert abszolútnak vette épügy, mint ahogy a geometriának Euklidesztől eredő fogalmazását a szemlélet végső és változtathatatlan kifejezésének tekintette. EuWides geometriája az első nagyszabású kísérlet volt egy tudomány rendszeres és szigorú logikai felépítésére bizonyos axiómák alapján és mint ilyen, mintául szolgált más tudományok számára is. De miután közel 2000 évig azt hitték, hogy ezzel a geometria végső alapjait sikerült elérni, kiderült, hogy e rendszer még mindig szűk és több tekintetben speciális esete egy általánosabb felfogásnak. Így már a XIX. század elején az ú. n. párhuzamosak axiómájának a többi axiómából való levezetésére irányuló meddő kísérletek oda vezettek, hogy lehetséges olyan ellentmondásmentes geometria, melyben a párhuzamosakra vonatkozó tétel másképp hangzik és csak a tapasztalat döntheti el, hogy a valóságban melyik geometria van megvalósítva (Bolyai, Lobacsewskij, Gauss, Riemann). A különféle lehetséges geometriák közt az Euklides-féle annyiban különleges helyet foglal el, hogy a tér egy elegendő kis környezetében mindig ez van nagy megközelítéssel megvalósítva, épügy mint a Föld felületének kis része is mindig síknak tekinthető. Ellenben nagy eltérések lehetségesek, ha az egész teret vesszük tekintetbe. Így lehetséges olyan nem-euklideszi tér, mely ugyan véges térfogatú, de határa nincs és melyben egy irányba haladva ismét a kiindulási pontba érkezünk vissza és melyről a relativitás elve kapcsán még lesz szó. A nem-euklideszi geometriák felfedezésével ismét a szemléletesség hasonló krízise állott be, mint amelyet a Föld gömbalakjával kapcsolatban említettünk. E terek szokatlanok, csak elvont okoskodások segítségével ismerjük ki bennük magunkat és azért nem tekintjük őket szemléleteseknek, elfelejtve, hogy már az euklideszi tér sincs közvetlenül adva és hogy fejlődésre volt szükség, míg viszonyait átlátni sikerült.

A térformák általánosítása még más irányban is tovább fejlődött. Ehhez az az ú. n. analitikus geometria vezetett, melyben az egyenes egyes pontjait egy, a síkét két, a tér pontjait pedig három számadattal, ú. n. koordinátával jelöljük. Közelfekvő általánosítás, hogy olyan dolgokat is tekintetbe vegyünk, melyek meghatározására háromnál több számadatra van szükségünk. Ilyenek például azok az események, melyek a tér egy pontjában egy meghatározott időpillanatban történnek: itt a három térkoordináta-hoz mint negyedik az idő járul hozzá. Vagy például egy merev test helyzetének meghatározásánál 6 adatra van szükség; egy ilyen test összes lehetséges helyzetei egy hat-dimenziós halmazt vagy teret alkotnak. Így eljutottak a pontthalmazok fogalmára és megállapították, hogy ezek egészen úgy, mint a tér, alkalmasak

bizonyos dolgok rendjének és vonatkozásainak áttekintésére, sőt a geometria alapfogalmai, mint pont, távolság, szög, térfogat, sík, egyenes, felület stb. ezekre is átvihetők. Ezért ezeket a halmazokat többdimenziós tereknek is nevezik. A matematika és az elméleti fizika számos fejezetében ezek a terek nélkülözhetetlenek, bonyolult viszonyok áttekintését lehetővé teszik és ilyen értelemben annak számára, ki velük huzamosabb ideig foglalkozott, egy bizonyos szemléletességgel bírnak. A matematikailag nem képzett ember, ha ilyen dolgokról hall, rendesen kísérletet tesz arra, hogy egy ilyen teret a közönséges háromdimenziós térben képzeljen el, ami természetesen nem sikerülhet és azután csalódva veti el az egész gondolatmenetet. Természetesen ilyenfajta szemléletességről nincs szó, hanem csak arról, hogy a dolgok rendje a geometriai viszonyokhoz egy egészen határozott és részletes analógiát mutat. Természetesen nem lehet ezekről a dolgokról helyes képet adni addig, amíg róluk csak mintegy kívülről beszélünk, hanem szükséges, hogy velük behatóbban foglalkozunk, ami fáradtságos, lépésről-lépésre haladó tanulmányt igényel. Mivel más helyen (Matematikai és Fizikai Lapok, XLVII. kötet, 1940. ni—138. oldal) volt alkalmam bővebben foglalkozni az általánosított térformáknak a mai fizikában játszott szerepével, ezekre bővebben nem térek ki.

A relativitás elve, melyről főképp a húszas évék népszerű irodalmában is annyi szó esett, szintén a szemléletesség kríziséhez vezetett, de másrészt a többdimenziós és nem-euklideszi térformák jelentőségét kellő világitásba helyezte.

A fény terjedésével kapcsolatos jelenségek oda vezettek, hogy ráeszméltünk arra, hogy két különböző helyen történő esemény egyidejűségének fogalma problémát képez. Meg tudom állapítani közvetlenül, hogy két esemény közül, melyek engem érnek, melyik történt előbb és melyik később. De nem olyan egyszerű ez, ha a két esemény nem ugyanazon helyen történik, például, ha meg akarom állapítani, hogy egy esemény Amerikában az én óráim szerint mikor történt. Ezen megállapításnak elvileg csak egy módja van: küldöncöt küldök, ki hírt hoz az eseményről. Az esemény időpontja a küldönc elindulása és visszaérkezése közti időben van. Mentül gyorsabb a küldönc, annál kisebb ez az időköz. Mai tudásunk szerint a leggyorsabb küldönc a fény vagy rádióhullám és úgy látszik, hogy ennél nagyobb sebesség nem is lehetséges. Evvel a küldönccel a Föld felületének bármely két helyén történő esemény egyidejűsége a másodperc tört részein belül megállapítható.

A csillagok világában azonban ez a határozatlanság egyes esetekben akár évmilliókat tehet ki. Ezen és hasonló jelenségek pontos átgondolása arra vezetett, hogy két különböző helyen történő esemény egyidejűségét nem tekinthetjük egyértelműen meghatározhatónak, nem állíthatjuk, hogy melyik van előbb, melyik később, éppúgy mint nem állíthatjuk, hogy mi vagyunk fent, avagy az antipódusokon lakók. Épp ezen viszonyok áttekintésére nélkülözhetetlen, hogy egy négydimenziós halmazt, mely magába foglalja a közönséges teret és az időt, az ú. n. Minkowski-féle teret vezessük be, melynek keretében rögtön átláthatjuk, hogy milyen eseményeket tekinthetünk egyidejűnek és adott esetben mekkora az egyidejűség megállapíthatóságában fellépő határozatlanság. A matematikailag képzett ember számára ez rendkívüli könnyítést és nagyfokú szemléletességet jelent, mert e térre átviheti a geometria megszokott fogalmait. A relativitás elmélete elleni, főképp nem szakkörökből kiinduló ellenállás főképp innen eredt: megszokott fogalmakról kellett lemondani és a szemléletesség magasabb fokára áttérni. Ez persze nem megy bizonyos megerőltetés nélkül és addig nem érhető el, míg az új fogalmak nem válnak megszokottá. Ez a néhány sor szintén nem céloz mást, minthogy utaljon arra, hogy itt bizonyos figyelemreméltó dolgok és szempontok vannak, melyek átlátása azonban csak tanulmány eredménye lehet. E célból rendelkezésre állanak a népszerűség különböző fokán levő, kisebb-nagyobb elmélyedést igénylő, és kisebb-nagyobb belátást nyújtó igen kiterjedt irodalmi művek.

Még más szempontból is a szokott térfogatain kibővítésére utal a relativitás elméletéből kinőtt gravitáció-elmélet. Ennek az alap gondolata az, hogy a tér egy nem-euklideszi, ú. n. változó görbülettel bíró — Riemannról elnevezett — tér, melynek geometriai sajátosságait a tömegek eloszlása határozza meg. Egy ilyen tér lehet zárt, véges kiterjedésű, a nélkül azonban, hogy határai volnának. Nem igyekszem ezen állítás értelmének pontos kifejtésébe bocsátkozni, hanem csak egy analógiával akarom megvilágítani. Két dimenzióban a sík végtelen kiterjedésű, a sík egy darabja lehet véges, de van határa, a gömb felülete véges, zárt, de határai nincsenek. Már most, míg az euklideszi tér a sík háromdimenziós analagonja, addig a nem-euklideszi, ú. n. szférikus tér egy négy dimenziós gömb háromdimenziós felületének felel meg.

Még egy egészen más, jellegzetes és nagyfontosságú területen szeretnők a szemléletesség kérdését szóvátenni. Ez az atomisztika területe. Az anyag atomisztikus szerkezete ma már nem probléma: számtalan módszer áll rendelkezésünkre, hogy egy meghatározott anyag mennyiségben az atomok számát, tömegeit, elektromos töltését stb. pontosan meghatározzuk. A probléma az atomok sajátosságainak, viselkedésének, a reájuk vonatkozó alapvető természeti törvények meghatározása. Az atomoknak különben régi története van. Már a görögöknél és az indiai filozófusoknál is felmerült, de ezen a fokon még tisztán kvalitatív elgondolás, egy lehetőség más hasonló, de szintén csak általánosságban megfogalmazott lehetőség közt. Így szemben áll Aristoteles hylemorfiztikus felfogásával, mely biológiai analógiák szerint a fizikai világot úgy igyekszik felfogni, hogy az alakatlan anyagon kívül felvesz egy alakító tényezőt, mely az anyagot úgy formálja, mint a művész az anyagát egy bizonyos cél elérésére. Aristoteles felfogása a skolasztikában is uralkodóvá vált, de a természet megismerését nem igen mozdította elő és az újkor nagy természettudományi fellendülése ezzel szemben csak nehéz küzdelem árán bontakozott ki. Az atomisztikus felfogás a görögöknél szintén alig volt tudományos elméletnek tekinthető, hanem inkább csak általános felfogás volt, hogy a testek változatlan elemi részekből állanak és minden változás e részek egyesülésén, szétválásán és helyváltozásán alapul. De egy nagy előnye volt Aristoteles felfogásával szemben: sokkal világosabb, szemléletesebb volt és így alkalmas volt további tudományos predzirozásra és az újkor természettudományos fellendülés kapcsán óriási fejlődés kiindulópontjává vált.

A hylemorfizmus nem részesült ilyen kiépítésben, habár azt hiszem, a mai fizikában létező néhány elv, mely azt mondja, hogy a jelenségek úgy folynak le, hogy bizonyos mennyiség maximum vagy minimum lesz, mint a Fermat-féle elv, a Hamilton-féle elv, vagy az entrópia, tulajdonképpen a hylemorfizmus gondolatának modern megfogalmazása. Természetesen ezek az elvek semmiféle ellentétben nincsenek az atomizmussal. Ma ismét divatba jött az arisztotelizmus, a skolasztika és a hylemorfizmus is. Azonban a filozófusok többnyire megmaradnak a határozatlan általánosságok területén, óvakodnak tételeiket pontosabban megfogalmazni, azokból határozott következtetéseket levonni és az általános elvből egy részletes elméletet felépíteni. Ez persze egészen másrendű teljesítmény, mely nemcsak nehéz szellemi munkát, a tapasztalat széleskörű ismeretét tételezi fel, hanem azt is megkívánja, hogy valódi megismeréshez vezessen, új összefüggésekre mutasson rá, határozott, a tapasztalattal ellenőrizhető tényekre engedjen következtetni. Egy ilyen munka messze túlhaladja a legkiválóbb egyén teljesítőképességét, s úgy mint a nagy tudományos elméletek, csak egyes nagy egyének döntő impulzusára, sokak közreműködésével végezhető el. Ma már a tudományos elméletek iránt támasztott igények mások, mint Aristoteles idejében: általános elvek felelőtlen — mert nem ellenőrizhető — hangoztatását nem tekintjük elméletnek.

A természettudományok fellendülése az újkor elején a nagy csillagászati felfedezések és az előítéletmentes tapasztalat elvének éivényrejtésével indul meg és az atomisztika gondolata, eleinte meglehetősen határozatlan formában, újra felmerül. Csak midőn a kellő előfeltételek, tehát a részletes fizikai és kémiai tapasztalatok megvoltak, lépett ki egy általános elv határozatlanságából és vált egy nagy teória kiindulópontjává. Első nagy eredménye a XIX. század elején a kémia alapvető tapasztalatának értelmezése volt. Tudjuk, hogy a kémiai elemek vegyületeket nem mindenféle tömegarányban, hanem csak meghatározott számok egészszámú többszörösei arányában képeznek. Ezt azonnal megértjük, ha feltesszük, hogy minden elem meghatározott tömegű, egymás közt egyenlő atomokból áll, a vegyidet pedig úgy jön létre, hogy az atomok meghatározott száma egy új konfigurációt, egy molekulát képez, tehát a molekula mindig egész számú atomból áll. Így az atomelmélet a kémia alaptörvényének rendkívül szemléletes értelmezését adja. Később találtak olyan vegyületeket, melyekben az egyes elemek atomjainak száma ugyan megegyezik, de a vegyületek sajátságai mégis egészen eltérők. Ezek az ú. n. izomér vegyületek. Erről is számot tud adni az atomelmélet: az ilyen molekulákban az atomok elrendezése, a kémiai szerkezet más. A kémiai szerkezet megállapítása a kémiai kutatás egyik fő feladata és fokép sok atomot tartalmazó organikus vegyületeknél sokszor igen nehéz feladat. Hogy milyen mélyen sikerült itt a szerkezet felderítésébe behatolni, arról ama számtalan új vegyidet és műanyag tanúskodik, melyet a kémiai ipar tervszerűen szinte naponta hoz létre.

A fizika területén az első részletes atomisztikus elmélet a gázok kinetikai elmélete volt, mely a gáztörvények egyszerű értelmezését nyújtotta. E felfogás szerint a gázok atomjai egyenesvonalú pályákon mozognak és ha két atom igen közel ér egymáshoz, összeütköznek és más irányban folytatják mozgásukat. A gázoknak az edény falára gyakorolt nyomása az atomok ütközéséből ered. A hő nem más, mint az atomok mozgása: magasabb hőmérsékleten ugyanis a részek sebessége nagyobb.

A szilárd testek atomisztikus elmélete csak jóval később épült ki. Rájöttek arra, hogy az atomok helyhez vannak kötve és csak e hely körül végeznek rezgő mozgást. A röntgensugarak felfedezése lehetővé tette az atomok elrendezésének részletes tanulmányozását a kristályokban.

Később főképp az elektromos sugárzások, mint a katódsugarak és a rádióaktivitás jelensége arra vezetett, hogy az atomokat sem tekinthetjük végső felbonthatatlan egységeknek. Ma az anyagnak a következő elemi építőköveit ismerjük: a protont, mely pozitív elektromos töltéssel bír, a vele kb. egyenlő tömegű neutron, melynek nincs töltése és az elektront, ami a protonnal egyenlő nagy, de negatív töltéssel bír és tömege a proton tömegének 1850-ed része. Azonkívül újabban ezekhez járult a pozitron, vagy pozitív elektron és a mezon, vagy nehéz elektron és a meglehetősen hipotetikus neutrino.

Ezeket tekintik ma az anyag építőköveinek. Sőt sikerült az atom felépítéséről részletesebb képet is alkotni: az atom egy nehéz magból áll, mely protonokból és neutronokból van felépítve, úgyhogy pozitív töltése van. A mag körül a negatív elektronok rendszere kering, mint a bolygók a Nap körül. Ez igen szemléletes kép, de ha az anyag sajátságait valóban értelmezni akarjuk, nem elég megmondani, hogy az atom milyen és hány elemi részből van felépítve, hanem azt is, hogy azok hogyan viselkednek, milyen törvényeknek vannak alávetve. Ez már sokkal nehezebb és népszerűsítésre kevésbé alkalmas feladat, de e nélkül az atomisztika époly határozatlan és meddő kép volna, mint a régi természetfilozófiai elgondolások. Azért néhány szóval szeretném általánosságban jellemezni ezeket is. A fentebb vázolt ú. n. Bohr-féle elgondolásban az elektronok úgy keringenek

az atommag körül, mint a bolygók a Nap körül, megközelítőleg elliptikus pályákon. Az erő is ugyanolyan, a távolság négyzetével fordítva arányos vonzás. De már az elemek által kibocsátott fény spektrumának értelmezésére két új feltevést kellett tenni, mely a klasszikus mechanika kereteit túllépi; először nem minden, a mechanika szerint lehetséges pálya van megvalósítva, hanem csak olyan pályák, melyek bizonyos feltételek eleget tesznek. Másodszor a sugárzás úgy jön létre, hogy az elektron az egyik pályáról egy másikra ugrik át. Az elektron energiája az egyes pályákon állandó, de különböző és az ugrásnál az energiakülönbséget kisugározza, még pedig úgy, hogy az energiakülönbség osztva egy állandóval, a sugárzás rezgésszámát adja. Evvel a két egyszerű feltevéssel, mely természetesen matematikai alakban is kifejezhető, sikerült az elemek spektrumainak sokszor igen bonyolult törvényszerűségeit értelmezni, s ez kétségkívül az újabb fizikának egyik legnagyobb felfedezése.

Azonban mégis kiderült, hogy ez a nagyon szemléletes Bohr-féle elgondolás, legalább az eredeti, fent vázolt alakjában nem teljesen kielégítő. Nemcsak hogy nem egészen egységes felépítésű, — hiszen a klasszikus mechanika van itt kombinálva az idegenszerű két Bohr-féle feltevéssel — hanem, mert a tüzetesebb meggondolás kimutatta, hogy a szemléletből nyert fogalmaink olyan kis részekre, mint az elektronok, nem vihetők át minden esetben. Amint a világtérre alkalmazva szemléletünk krízise állott be, amiről előbb már szó volt, úgy az igen kis részek esetében is beállott a szemléleti krízis. A tüzetesebb meggondolás ugyanis kiderítette, hogy az atomok elektronjainak pályáiról nem beszélhetünk. Ugyanis, hogy egy pályát meghatározhassunk, több egymásután következő időpillanatban meg kellene határozni az elektron helyzetét. Ez elvileg lehetséges volna olyan mikroszkóppal, mely elég rövid hullámhosszúságú fényre van berendezve. Fennáll egy optikai tétel, mely szerint egy mikroszkóp felbontóképességének határa a fény félhullámhossza, azaz ennél közelebb levő tárgyak képei összefolynak, azok nem különböztethetők meg. Másrészt a fény az elektronokra hatást gyakorol, amely hatás annál nagyobb, mentül kisebb a hullámhossz. Hogy egy oly kis méretű pályát, mint az atommag körül keringő elektron pályáját ki tudjuk mérni, rendkívül rövid hullámhosszúságú fényt kellene alkalmazni, ennek pedig olyan hatása volna az elektronra, hogy azt pályájából kidobná. Amint körülményesebb és általánosabb meggondolás mutatja, semmiféle eljárás nem vezethet az elektronpálya ismeretéhez, amit tehát elvileg meg nem határozhatónak kell tekintenünk.

Ezért azonban a Bohr-féle elmélet korszakalkotó tartalma nem vész el, csak szemléletességéből veszít. Sőt fel lehetett építeni egy sokkal egységesebb és átfogóbb, de elvontabb elméletet, a kvantummechanikát, mely a régi, klasszikus mechanikát is magában foglalja, épügy, mint a fent említett Bohr-féle feltételeket és a sugárzás jelenségeiről minden részletben számot ad. Itt nem beszélünk elektronpályákról, hanem elektronállapotokról, melyeket egy függvény jellemez, mely meghatározza a valószínűségét annak, hogy az elektron valamely helyen található.

A kvantummechanika számot tud adni arról a meglepő jelenségről is, hogy a fény részben úgy viselkedik, mint egy hullám, részben mint egy korpuszkula. Még meglepőbb volt, hogy egy korpuszkulából álló sugárzás, például egy elektron nyaláb megint olyan sajátságokat is mutat, mint egy hullám, így a hullámokra jellemző interferencia jelenséget mutatja. Úgy mondjuk, hogy a fény is és a korpuszculák is, kettős, duális természettel bírnak. Hullám és korpuszkula azonban szemléletünkben olyannyira különböző dolgok, hogy teljesen reménytelen egy fénysugarat szemléletesen egyszerre korpuszkulának és hullámnak is elgondolni. Azért fent a tényállást óvatosan úgy írtam körül, hogy részben úgy viselkedik mint korpuszkula, részben mint hullám. A dolgok mélyebb átértése csak az elvont matematikai

elmélet alapján lehetséges, mely nélkülözi ugyan a köznapi értelemben vett szemléletességet, ellenben bír egy fajta magasabb értelemben vett szemléletességgel, midőn a térfogalomnak már előbb említett általánosításai jutnak szerephez.

Teljes mértékben érzem, hogy a laikust ezek az eszmefuttatások nem elégíthetik ki, mert legjobb esetben csak sejtetik azt, amiről szó van. Mélyebben behatolni csak fokozatosan, lépésről-lépésre lehet, az elvont gondolkodás fokozatos elsajátítása útján. Az elméleti fizika és a matematika nagymértékben ezoterikus tudományok, melyek csak kis mértékben alkalmasak népszerűsítésre és a népszerűsítésnél többnyire épp a leglényegesebb gondolatok csak csonka alakban közölhetők.

ORTVAY RUDOLF