AZ OKTATÁS KÉRDÉSEI

A Heisenberg-féle határozatlansági összefüggések pozitív filozófiai tartalmáról

A fizika filozófiai irodalmában — csak részben méltán — az egyik legtöbbet szereplő kérdéskör a Heisenberg-féle határozatlansági relációk. Mi most azzal a céllal akarjuk szaporítani az idevonatkozó fejtegetések számát, hogy a filozófia (és a fizika !) oktatása szempontjából kiemeljük a Heisenberg-relációk pozitív filozófiai tartalmát.

Véleményünk szerint az adott kérdésben a fizika egyetemi előadójának el kell jutnia a filozófiai következtetésekig, és a filozófia oktatójának érintenie kell a fizikai alapokat is. Átfedés történik így az oktatásban, de ez a fizika néhány legfontosabb filozófiai vonatozású problémájában egyelőre nemcsak megengedhető, hanem egyenesen kívánatos-hasznos is. Mivel témánkat viszonylagos teljességgel — mind a filozófus és a fizikus oktatók szempontjából kívántuk kifejteni, nem kerülhettük el, hogy szükségképpen mindkét szakos kollegák ne találkozzanak majd az alábbiakban trivialitásokkal.

Elöljáróban a fizikából levonható pozitív filozófiai következtetések lehetőségével általánosságban, elvileg szeretnék foglalkozni.

1. 1. A fizika filozófiai kérdései iránti érdeklődés napjainkban mind a fizikusok, mind a filozófusok részéről igen nagy. A fizika tárgyából, abból következően, hogy a fizika a legáltalánosabb tárgyú természettudomány, a fizikusok körében mindig is nagy volt a legáltalánosabb törvényszerűségek, a filozófiai kérdések iránti fogékonyság. Különösen így van ez a 20. sz.-ban, amikor a tudományos-technikai forradalmon belül a fizika fejlődése mind ütemét, mind jelentőségét tekintve minden korábbinál nagyobb. A 19. sz. végén a fizika lezárt, kiteljesedett, megmerevedett rendszernek tűnt, de már századunk első három évtizedében több olyan diszciplína született, amely túlhaladta a klasszikus fizikát (relativitáselmélet, kvantumelmélet). Sőt a legutóbbi egy-két évtizedben a klasszikus fizika után következő elméleti szint (a kvantumelmélet) hatókörének, érvényességének korlátai is kezdenek kibontakozni.

Az elméleti szintek e gyors egymásra következésének szükségképpen nemcsak ontológiai, hanem ismeretelméleti érdekessége, jelentősége is van.

1. 2. Korunk fizikájának a fejlődése gyorsuló ütemén kívül másik jellemzője az egyre nagyobb fokú behatolás más tudományágak területére (ezt jelzi olyan határtudományágak kialakulása, mint a biofizika, a geofizika, az asztrofizika stb.). Ez a tény még inkább erősíti azt a korábbi keletű irányzatot, amely a fizika ontológiai és ismeretelméleti tanulságait általános érvényű filozófiai eredményeknek tekinti. A fizika tárgyának a természettudományokon belüli általános jellegéből adódóan mindig is létezett a fizikát túláltalánosító törekvés, amely aztán a 20. sz.-ban különösen felerősödött.

Ennek objektív alapja, hogy ma valóban nem tudjuk megmondani:

konkréten mettől kezdve nem lehet a kémiai, biológiai stb. folyamatokat a mikrofizika segítségével magyarázni. (Ez azzal függ össze, hog bármely elmélet érvényességének körvonalai akkor rajzolódnak ki, ha már megvan a magasabb elméleti szint. E kérdés szorosan összefügg a mozgásformák osztályozásának problematikájával is.)

1. 3. Míg a 19. sz. végéig minden tudomány, beleértve a filozófiát is, a mechanikát tekintette példaképének, addig a 20. sz.-ban ezt a szerepet — mutatis mutandis — a fizika kezdi betölteni. Erre utal a többi között a „fizikai világkép" oly gyakran használt fogalma is; ezen ugyanis (a fizikai jelzőt a „tudományos" szinonimájának fogva fel) egészen általános ontológiai, természetfilozófiai nézeteket szoktak érteni, mintegy azt feltételezve, hogy a fizikán kívüli természettudományok mellőzhetők a világkép kialakításában. Az így felfogott „világképből" kiiktatódik a társadalomról alkotott nézetek összessége is — ami nélkül pedig nem v i l á g kép —, de éppen ezért is természetfilozófiainak sem teljes, hiszen a társadalomfelfogás a természetről alkotott nézeteket is befolyásolja.

Kik azok, akik a fizika szerepét így túláltalánosítják? Nehéz lenne valamilyen kategorizálást végezni. A marxisták nincsenek ezen az álláspontón, de a marxista irodalomban is bőven található a „fizikai világkép" kifejezés kellőképpen át nem gondolt használata.

Biztosan tudatosan vallja a fizika ontológiai és ismeretelméleti tanulságainak egyetemes jellegét korunk sok élvonalbeli fizikusa, illetve közülük a fizikai idealizmussal rokonszenvezők. Nem állítható, hogy a fizika túláltalánosítása feltétlenül fizikai idealizmushoz vezetne, de kétségtelenül igaz, hogy korunk fizikai idealizmusának gyakran módszere, hogy a fizika egyes — esetleg még problematikus — tételeinek túláltalánosításából von le idealista következtetéseket.[1]

1. 4. Közismert tény, hogy a fizika filozófiai irodalma marxista oldalról legnagyobbrészt polemikus jellegű: bírálja a fizikára hivatkozó idealista következtetéseket; és jóval kisebb a száma a témákat pozítivan kifejtő munkáknak. Ebben, véleményünk szerint, egyebek közt fontos szerepet játszik a fizika túláltalánosításától való félelem, mondván: a marxista filozófia nem *egyes* tudományágak *egyes* eredményeiből, hanem a tudományok összességének eredményeiből von le filozófiai állításokat.

Kultúrtörténeti tény, hogy a gondolkodásnak a valóságtól való elszakadása idealizmushoz vezet, az emberiség ismereteinek viszonylag alacsony szintjén azonban nem egyszer jelentős, igaznak bizonyult sejtések kimondását is eredményezte. A tudományos ismeretek kb. a 19. sz. derekán érték el azt a szintet, amelytől kezdve az idealizmusnak ez a viszonylagos létjogosultsága megszűnt, és ugyanezen fejlődés folyamányaként jött létre a 19. sz. derekán a marxista filozófia: a dialektikus és történelmi materializmus.

A dialektikus és történelmi materializmusnak, ahogy azt a marxizmus klasszikusai oly sokszor hangsúlyozták, a szaktudományok fejlődésével együtt kell fejlődnie. Ami ezen belül a fizika fejlődését illeti: nem lehet elegendő a fizika fejlődését kísérő negatív jelenségek bírálata, elengedhetetlen az új eredmények pozitív filozófiai hasznosítása is. Ennek során természetesen feltétlenül el kell

[1] E sorok írójának Heisenberggel kapcsolatban volt alkalma ezt kimutatni. Lásd: *A mai fizika vagy a mai fizikai idealizmus világképe. Magyar Filozófiai Szemle* 1957/1—2.sz.

kerülni a fizika túláltalánosításának a veszélyét, de ennek nem szabad magától a fizika filozófiai „alkalmazásától" is elriasztania.

Mondanivalómat az alábbiakban egyetlen közismert példa, a Heisenberg-féle határozatlansági összefüggések kapcsán szeretném konkretizálni és illusztrálni.

2. 1. Itt most nem akarunk a kvantumelmélet körüli polémiákba bekapcsolódni, csak utalni szeretnénk arra, hogy e viták gyökerei a kvantumelmélet kialakulástörténetéből is erednek.

A 19. és 20. század fordulójától kezdve két és fél évtizeden keresztül gyűlnek a kísérleti tények, amelyek nem illeszthetők be a klasszikus fizika zárt rendszerébe, az új egységes elméleti értelmezés azonban várat magára. Planck 1900-ban a fekete-test sugárzás értelmezésére bevezeti a kvantumhipotézist. Ezt néhány év múlva Einstein sikeresen alkalmazza a fényelektromos jelenségre. Majd Bohr 1913-ban az anyag atomi felépítésének a kísérletekkel összehangban történő magyarázatára feltételezi az atomkötelékbe tartozó elektron energiájának és impulzusmomentumának a kvantáltságát.

Mindezek a sikerek azonban csak ötletszerű és ad hoc hipotézisekre épültek. Nem megnyugtatóbban bizonyító erejű de Broglie hipotézise sem, amely matematikai analógia alapján feltette, hogy minden részecskének van hullámsajátossága is — ahogy a fényhullám mutat részecske jelleget is. Önkényes feltevések, ad hoc hipotézisek és matematikai analógiák után történelmi szükségszerűség volt a sok-sok szétszórt ténynek egységes elmélet keretében történő értelmezése. Ezt nyújtotta az 1925 és 1927 között egymástól függetlenül kidolgozott (Heisenberg, Schrödinger) kétféle matematikai apparátussal létrejövő kvantumelmélet. Ez a történelmi fejlődés azt is magával hozta, hogy előbb volt meg a matematikai apparátus, semmint formalizmusa fizikai tartalmának az értelmezése.

Így érthető, hogy a matematikai apparátus körül folyó interpretációs viták a Heisenberg-relációkkal kapcsolatban mindenekelőtt arról folytak, hogy e relációk az alapját képezik-e a kvantumelméletnek, vagy belőle következnek.

Ma már könnyen kimutatható, hogy a kvantumelmélet apparátusából matematikailag dedukálhatók a Heisenberg-összefüggések.[2] (Persze akkor még mindig megmaradnak a kvantumelmélet formalizmusának tartalma körüli összes további interpretációs problémák.)

2. 2. A Heisenberg-féle határozatlansági összefüggések jelentése a következőképpen foglalható össze.

Ha egy mikroobjektum Δt-nél hosszabb ideig E energia-állapotban van, akkor energiája legalább $h/\Delta t$ számértéknyivel határozatlan. Vagyis az energia-határozatlanság $\Delta E \geq h/\Delta t$, másképpen $\Delta E . \Delta t \geq h$. (A h univerzális állandó az ún. Planck-állandó). Ez az egyik határozatlansági összefüggés. A másiknak a matematikai alakja: $\Delta x \cdot \Delta p_x \geq h$, ahol Δx egy mikroobjektum helyhatározatlansága, Δp_x pedig a hozzá tartozó impulzus-határozatlanság. Vagyis: a mikroobjektum hely- és impulzus-határozatlanságán a szorzata számérték szerint legalább akkora, mint a Planck-állandó.

Az első határozatlansági összefüggés másképpen úgy fogalmazható meg, hogy csak annak az objektumnak lenne teljesen határozott az energiája ($\Delta E = 0$), amely végtelen ideig létezik ($\Delta t = \infty$). A második összefüggés pedig:

[2] Lásd pl. Marx Gy.: *Kvantummechanika*. Műszaki Könyvkiadó, 1964. 141—46. o.

a mikroobjektum helye és impulzusa egyidejűleg határozatlan mennyiségek. Azt mondhatnók, hogy a Heisenberg-relációk a határozatlan mennyiségpárok törvényszerűségeit jelentik; az energia és az idő, illetve az impulzus és a hely határozatlan mennyiségpárok.

2. 3. Ha a klasszikus fizika fogalmaival akarjuk leírni a Heisenberg-összefüggések fizikai tartalmát, akkor azt mondhatjuk, hogy a mikrorészecskék olyan objektumok, amelyek térben nem élesen lokalizáltak, mert rájuk nézve $\Delta x \neq 0$, azaz térbeli elhelyezkedésüknek van határozatlansága. Az pedig, hogy $\Delta t \neq 0$, azt jelenti, hogy időben sem éles a létük. Összefoglalva: térben és időben „elkent" objektumok. A klsszikus fizika objektumai, a makroobjektumok, térben és időben lokalizáltak: adott időpontban adott helyen vannak. Ezek a klasszikus fizika úgynevezett részecskéi.

Ismer a klasszikus fizika térben és időben elkent mennyiségeket is: pl. a klasszikus hullám nem egyéb, mint valamely rezgés térben és időben való (precízen szólva végtelen) tovaterjedése. A klasszikus hullámjelenségre: $\Delta x = \infty$ és $\Delta t = \infty$, akkor pedig $\Delta p = 0$ és $\Delta E = 0$, azaz a klasszikus hullám energiája és impulzusa éles, határozott értékű.

A Heisenberg-relációk egyik szélső esete: $\Delta x = 0$ és $\Delta t = 0$, ez a klasszikus részecske. A másik szélső eset: $\Delta x = \infty$ és $\Delta t = \infty$, ez a klasszikus hullám.

A klasszikus fizika részecske-megnyilvánulást és hullámmegnyilvánulást ismer. És — a kísérleti tények alapján — felállította azt az ellentmondást, hogy bizonyos objektumok *egyszer* hullám-, *máskor* részecske-megnyilvánulásúak, egyszer részecskék, máskor hullámok. Ismeretes például, hogy a fénykibocsátás és elnyelés csak kvantumosan értelmezhető, vagyis úgy, hogy a fény fotonrészecskékből áll; ezzel szemben a fényelhajlás, fényinterferencia, polarizáció csak a hullámfelfogás segítségével magyarázható. A fény tehát egyszer hullám, máskor korpuszkula. Az ilyen megállapítások képezik a tartalmát az ún. hullám-korpuszkula dualizmusnak. Ahol is a „kettősség" összeegyeztethetetlen, mert amelyik kísérlet a hullámfelfogással értelmezhető, az a korpuszkulárissal nem, és viszont.[3]

2. 4. A határozatlansági relációk a klasszikus fizika hullám-korpuszkula ellentmondásának bizonyos megoldását nyújtják. Utaltunk rá, hogy a Heisenberg-relációk segítségével értelmezve a klasszikus részecske és a klasszikus hullámfelfogás pusztán szélső esetek. A határozatlansági relációk szerint a $\Delta x = 0$, $\Delta t = 0$, valamint a $\Delta x = \infty$, $\Delta t = \infty$ két szélső eset közt számtalan közbülső lehetséges, amikor is a hely- (illetve idő-) határozatlanság sem nem zérus, sem nem végtelen. A végtelen kicsi és végtelen nagy határozatlanság közt számtalan előfordulás lehetséges. Ezen közbülső esetek leírására a klasszikus fizikának nincsen fogalma, és a köznyelvvel sem szemléltethető. De a határozatlansági relációk szerint (a kvantumelmélet szerint) a mikroobjektumok nem *vagy* részecskék, *vagy* hullámok (sőt, ezek a szélső esetek elvileg soha nem is fordulnak elő), hanem olyan objektumok, amelyek leírására éppen nem elégségesek a klasszikus fizika hullám-, illetve részecske-fogalmai.

A határozatlansági relációk alapvető fizikai tartalma éppen ebben a felismerésben rejlik. Abban, hogy mintegy kijelölik a klasszikus fizikai törvények,

[3] Nem értünk egyet a marxista irodalomban elterjedt azon állítással, amely szerint a hullám-korpuszkula dualizmus a természet objektív ellentmondásosságát fejezné ki. Állításunkat a későbbi fejtegetéseinkkel indokoljuk.

fogalmak érvényességi körét. A határozatlansági relációk a klasszikus fizikai tárgyalás lehetőségének kvantitatív korlátait adják meg.[4]

Ez a negáció önmagában is igen jelentős mind a fizikai, mind az ismeretelméleti tartalom szempontjából. De a Heisenberg-relációk ennél jóval többet is tartalmaznak. Ennek feltárása érdekében ábrázoljuk a határozatlansági relációkat a következő koordináta-rendszerben: az abszcissza legyen a hely-, illetve az impulzus- (vagy az idő-) és az energia-érték), az ordináta pedig ezek előfordulási gyakorisága, valószínűsége. Ha $\Delta x = 0$, akkor egy bizonyos x érték megvalósulása biztos, és $\Delta p_x = \infty$, vagyis minden p_x megvalósulása teljesen bizonytalan.

A másik szélső eset: egy p_x biztos előfordulású ($\Delta p_x = 0$), de minden x lehetséges ($\Delta x = \infty$). Az ábra még két közbülső esetet mutat, de a görbék hegyessége, illetve lapultsága folytonosan változhat az egyetlen vonallá hegyesedett két szélső eset közt. A számtalan (végtelen sok) közbülső állapot: sem nem részecske-, sem nem hullámállapotok. Nincs elnevezésünk ezen közbülső állapotokra, de a valóság, a mikroobjektumok „felveszik" ezen közbülső állapotokat. A valóság gazdagabb, mint a klasszikus fizikai fogalomrendszer. Azokat a rugalmasabb fogalmakat és törvényeket, amelyeket a megismerés előrehaladásával be kell vezetni a valóság hívebb leírására, adott problémakörben csak a matematika adja számunkra éppen a Heisenberg-relációkban.

2. 5. A határozatlansági összefüggések ontológiai tartalma is az előző grafikonról olvasható le a legszembetűnőbben. A Heinsenberg-relációk rugalmas fogalomalkotása ugyanis a valóságnak azt a sajátságát tükrözi, hogy az objektumok megnyilvánulásai a részecske- és a hullám-előfordulás közt végtelen sokfélék. Az adott összefüggésben tehát a Heisenberg-relációk a világ minőségi végtelenségét jelentik.

„A világ végtelen" kevéssé pontos, gyakran használt állítás alatt egyrészt a világ tér- és időbeli végtelenségét szokták érteni,[5] de jelenti a világ minőségi végtelenségét is. Azt, hogy az anyagi világ dolgainak, jelenségeinek, folyamatainak az előfordulása minőségileg végtelen, az objektív dialektika olyan törvényeivel lehet kapcsolatba hozni, mint a jelenségek egyetemes összefüggése, a dolgok szakadatlan mozgása-változása stb. Általános filozófiai tételt megfelelően általános bizonyítási eljárással lehet csak igazolni. De ugyanakkor didaktikai szempontból nélkülözhetetlen az általános filozófiai törvények speciális területeken való megnyilvánulásaival is foglalkozni. Mint láttuk, a Heisenberg-relációk a világ minőségi végtelenségének bizonyos vonatkozásait tükrözik.

A Heisenberg-relációk ezzel együtt úgy adják a klasszikus fizika hullámkorpuszkula ellentmondásának a megoldását, hogy megmutatják: ilyen ellentmondás nincs. A világ jelenségei végtelenül gazdagabbak, semhogy beleférnének a klasszikus fizika említett merev dobozaiba. A hullám és a részecske a világ végtelen minőségi sokféleségének két lehetséges megnyilvánulása csupán.

*

[4] Ennek pontos tárgyalását lásd Marx Gy.: *id. mű* 149—51. o.

[5] A világ térbeli és időbeli végtelenségének problémáját is célszerű egymástól határozottan megkülönböztetetten tárgyalni. Az időbeli végtelenség a megmaradási törvények összességéből következik, és a legszorosabban összefügg a filozófia alapvető kérdésével, az anyag vagy a tudat történeti elsődlegességének a kérdésével. A világ térbeli kiterjedtségének a problémája ezzel szemben egyre inkább kezd szaktudományos kérdéssé válni, ahogy például ma már az anyag atomi felépítettségének kérdése is határozottan a szaktudományos, nem pedig filozófiai kutatás tárgya.

Véleményünk szerint a kvantumelmélet fontos részeredményének, a határozatlansági relációknak a jobb megértetését érjük el, ha jelentésüket az említett ismeretelméleti és lételméleti filozófiai általánosítási szintig megmutatjuk. Ugyanakkor tudománytörténeti, ismerettörténeti szempontból való tárgyalásuk bizonyos filozófiai tételek tartalmasabb megértését szolgálhatja.

Tehát a *fizikát* szolgálja, ha bizonyos pozitív *filozófiai* konzekvenciákig is elmegyünk a fizika oktatása során. És a *filozófiát* szolgálja, ha bizonyos konkrét *fizikai* tényanyagig is elmerészkedik a filozófia oktatója. Mindkét részről azonban szem előtt kell tartani, hogy filozófiai tétel és fizikai törvény nem következhet egymásból; vigyázni kell tehát, hogy az általános és a különös ne keveredjék össze fejtegetéseinkben, hanem mindegyik elemzésével igyekezzünk a másik jobb megértését is előmozdítani.

Biró Gábor