

TANULMÁNYOK

A valószínűség és a kvantummechanikai állapot ismeretelméleti kérdéseiről

MÜLLER ANTAL

A kvantummechanika eredményeinek, módszereinek, elveinek fizikai értékelésében és filozófiai interpretációjában egyaránt alapvető szerepet játszik az e körbe tartozó jelenségek — s így a leírás módjuk — statisztikus jellege, s ezzel szoros összefüggésben a véletlennek, illetve a valószínűségnek az e jelenségekben betöltött szerepe. Az egyes fizikai és filozófiai interpretációk főleg e kategóriák objektív tartalmának megítélésében térnek el egymástól, így a kvantumfizikához kapcsolódó idealista filozófiai kombinációk jó része is ezzel kapcsolatos. Nyilvánvaló, hogy a kvantumfizikai állapot lényegéről, a klasszikus fizikai állapottól való különbségéről — és így végső soron tulajdonképpen ez utóbbiról is — csak a fenti kategóriák kvantumfizikai szerepének tisztázása alapján lehet a tapasztalatot helyesen értelmező ismeretelméleti képet kialakítani. Végül pedig mindebből természetesen következni, hogy e kategóriákkal kapcsolatos annak vizsgálata is, hogy mely filozófiai kategóriákat — és mennyiben — kell módosítanunk, kibővítenünk ahhoz, hogy mikrofizikai tapasztalataink a dialektikus materializmus világgképébe beilleszthetők legyenek.

A kvantumfizika filozófiai interpretálása szempontjából lényeges előrelépést jelent, hogy az utóbbi időben az e témával foglalkozó szerzők nem elégszenek meg az egyes idealista irányzatok, tételek logikai cáfolatával, szembeállítva velük a dialektikus vagy egyszerűen csak az ösztönös természettudósi materializmus tételeit, elveit, hanem konkrét ismeretelméleti, illetve fizikai képet kívánnak a mikrofizikával kapcsolatban kidolgozni. Kétségtelen, hogy a fizikai idealizmus ellen harcoló materialista irányzatoknak a múltban az volt az egyik leglényegesebb hibájuk, hogy az idealizmus jól kiépített, a konkrét tudományos problémát is figyelembe vevő ismeretelméleti rendszerével csupán a materialista világszemlélet általános tételeit állították szembe, anélkül, hogy maguk is egy, a mikrofizikai eredményeket felhasználó, konkrét materialista ismeretelméleti rendszert dolgoztak volna ki, azaz a kvantumfizikai tapasztalatokat lényegében a klasszikus tudományos eredményekből általánosított filozófiai kategóriák alapján kívánták értelmezni. Ez természetesen ellentmondásokra vezetett.

Az idealista filozófiai interpretációkkal, illetve agnosztikus konklúziókkal csakis egy, a mikrofizika eredményeit pozitívan értékesítő, materialista kategóriák alapján felépített világgkép tudja sikeresen felvenni a versenyt. Az alábbiakban a kvantumfizikai állapotnak egy ilyen, dialektikus materialista ismeretelméleti képet kíséreljük meg felvázolni. Részletesen csupán a szemléletünk megalapozása szempontjából leglényegesebb fogalmakkal foglalkozunk, míg más, ugyancsak fontos, de itt csak futólag érintett fogalmak értelmezése, éppen az itt kifejtendő felfogás alapján, későbbi feladat lesz.

1. A véletlen kölcsönhatás lényege

Mivel a kvantumfizika statisztikus értelmezésében, illetve a klasszikus és a kvantumfizikai statisztikus leírás elhatárolásában a véletlen kölcsönhatásoknak — mint a valószínűségi értelmezés objektív alapjának — döntő szerepük van, elsősorban ezzel foglalkozunk.

Bevezetőül röviden tekintsük át a véletlen kölcsönhatásokkal kapcsolatos legtipikusabb felfogásokat, főleg azért, hogy a bennük rejlő szubjektívizmussal szemben az általunk a későbbiekben kifejtendő véletlen-felfogás objektív jellege egyértelműen kidomborodjék.

A klasszikus fizika statisztikus diszciplínáiban a véletlen erősen szubjektívizálódott formában jelentkezett, mivel a statisztikus megnyilvánulás mögött végső fokon szigorú determinizmust tételeztek fel, és a valószínűségi leírás szükségességét csupán nem kielégítő tudásunkból származtatták. A kölcsönhatások ismeretelméletinek tekintett véletlen jellegét tehát — legalább is elvileg — megszüntethetőnek vélték, mégpedig azzal, ha sikerül — például gázok esetén az egyes molekulák mozgását meghatározó — dinamikai paramétereket feltárni, aminek csupán a molekulák nagy számából eredő gyakorlati akadályát látták. A véletlen itt ilyenformán nem az objektív valósághoz, hanem a leírásmódhoz kapcsolódott — másodlagos — fogalom.

A klasszikus fizika meglehetősen egységes véletlen felfogásával szemben a kvantumfizikában két alapvető irány alakult ki. Az első, úgynevezett ortodox felfogás szerint a véletlen kölcsönhatások a mikrofizikában elvi szerepet játszanak, a kvantumfizikai folyamatok lényegéhez tartoznak. Mivel azonban ez a felfogás a fizikai megismerés elvileg lehetséges egész területét — és így a véletlen kölcsönhatásokét is —, tehát az egész ismeretelméleti problémát pusztán a mérő szubjektum és a mérendő tárgy viszonyára, azaz tulajdonképpen a mérőberendezésre szűkíti le, a véletlennek csak lát-szatra objektív felfogásáig jut el. Bizonyos mértékig e szubjektivista, idealista felfogás reakciójaként alakult ki a másik irányzat, mely a mikrojelenségeket szintén „determinista” alapon kívánja értelmezni — akárcsak a klasszikus fizika az ő körébe tartozó jelenségeket —, azaz a valószínűséget csak a leírás ismereteink korlátozottságából szükségszerűen fakadó mód-szerűnek tekinti. Természetesen e felfogásban is — éppúgy, mint a klasszikus fizika esetében — lényegében a véletlen kölcsönhatások objektivitásának tagadása rejlik. (E vonás jellemzi a kvantumfizika dialektikus materialista interpretációs kísérleteit is, aminek csak főként abban látjuk, hogy a marxizmus klasszikusai is ilyen véletlenfelfogást vallottak. Ismeretes például Engels példája, mely szerint az, hogy egy borsóhüvelyben öt, hat vagy hét szem van-e, addig marad véletlen, amíg nem tudják kimutatni, hogy mitől függ a szemek száma. Vagyis a véletlen jelleg itt sem az objektív dologhoz, hanem a róla szóló ismereteinkhez kapcsolódik.)¹

Mint láthatjuk, minden eddigi véletlenfelfogás jelentős szubjektív mozzanatokat tartalmaz, noha az egyes felfogások szerzői gyakran hangoztatják, hogy a valószínűséget, illetve a véletlent objektívnek tekintik.

Ezután térjünk át a véletlenfogalom részletes elemzésére, illetve kifejtésére. (A véletlen konkrét klasszikus és kvantumfizikai szerepét és a kettő viszonyát részletesen a 3. pontban elemezzük majd.)

¹ Engels: A természet dialektikája, Szikra, 1952. 229. o.

Minden dolog, jelenség számtalan belső és külső kölcsönhatás együttese. E kölcsönhatások azonban a kérdéses dolog vonatkozásában objektíve nem azonos jelentőségűek, nem egyenrangúak. Egy dolog alapvető minőségét — a külső kölcsönhatások egy része mint szükséges feltétel mellett — néhány belső *tartós* kölcsönhatás határozza meg; itt már *egyellen* — bármelyik — kölcsönhatás megváltozása kiváltja a dolog gyökeres minőségi megváltozását. E (kölcsön)hatások időbeli stabilitása egyértelmű összefüggésben van a kérdéses dolog minőségi stabilitásával. A többi — nem lényegi — összefüggések az adott dolgot csak alapvető meghatározottságán belül befolyásolják, mégpedig — a fentitől eltérő — oly módon, hogy *csak az összeségük* pillanatnyi konfigurációja dönti el a körükbe tartozó egyes hatások érvényre jutásának mikéntjét is. E nem lényegi, az adott dolog alapvető minőségi meghatározottságán kívül eső kölcsönhatások elemei az adott dolog vonatkozásában egymástól nagyjából függetlenek, csakis azáltal kerülnek kapcsolatba egymással, hogy kölcsönhatásban vannak az adott dologgal — ellentétben az alapvető kölcsönhatásokkal, melyek az adott dolog minőségi meghatározottságában szükségszerű, tartós kapcsolatban vannak egymással —, ezért fellépésük az adott dolog kölcsönhatás-együttesében esetleges. Mivel pedig a kérdéses dologra gyakorolt befolyásuk az együttes konfigurációjuktól függ, nyilvánvaló, hogy egyes elemeik hatása is esetleges. A kérdéses kölcsönhatás megléte vagy hiánya más és más következménnyel jár aszerint is, hogy az egyéb hatások milyen kombinációjával együtt lép fel.

Illusztráljuk az elmondottakat egy példán. A tüzéségi lövésnél — a gravitációs teret adottnak (a fentebb említett szükséges külső hatásnak) feltételezve — három alapvető tényező, a csőnek a vízszintessel bezárt szöge, a lövedék tömege és a töltet robbanó ereje egyértelműen meghatározza azt, hogy a lövedék egy bizonyos területen, az ún. szórási ellipszisen fog lecsapódni. Arra azonban, hogy e területen belül az egyes lövések konkrétan hová fognak esni, csak valószínűségi kijelentéseket tehetünk. Ez ugyanis az alapvető meghatározottságon kívül eső kölcsönhatások pillanatnyi kombinációjától függ. Ilyen hatás például a levegőnek (a röppálya mentén szorosan váltakozó) sűrűsége, az egyes lövedékeknek (a gyártási szórás miatt csak közelítően azonos) átmérője stb. Ha tehát pl. egy adott lövés esetén meg is állapítjuk, hogy a lövedék a levegő sűrűségének adott állapota miatt csapódott az ellipszis konkrét pontjába, és ezt a következő lövésnél figyelembe is vesszük, még nem következik, hogy ez is ugyanoda csapódik majd. A más-más vonatkozásokban szükségszerű, de az adott vonatkozásban egymástól nyilvánvalóan független tényezők (példánkban a levegősűrűség ingadozása az adott helyen és időben, valamint a lövedék méretszórása) egymástól függetlenül módosulnak, hatásuk tehát egymással szintén szükségszerűen össze nem függő, azaz véletlen együttesük konfigurációjától függ.

Természetesen a valóságban nem két, hanem számtalan ilyen tényező van. *Az ilyen* — a kérdéses dolog alapvető meghatározottságán kívül eső —, az adott dolog vonatkozásában esetlegesen fellépő, a többi — hasonlóan nem tartós, nem lényegi — hatás pillanatnyi állapotától függően esetleges következményű kölcsönhatásokat nevezzük véletlennek. Igen lényeges aláhúzni tehát, hogy a vizsgált példánál a hárcm alapvető tényező megléte esetén a következmény mindig ugyanaz — tehát a lövedék a szórási ellipszisen esik —, attól függetlenül, hogy milyen más tényezők hatnak közre. A véletlen kölcsönhatások együttese viszont nem egyszer s mindenkorra adott, hanem állandóan vál-

tozik — ezért nem egyértelműen determinálja az esemény kimenetelét, hiszen minden elemnek hatása a kölcsönható, esetleges momentumok pillanatnyi együttesétől függ.

Ez utóbbi megállapítással kapcsolatban a következőket kell figyelembe venni. Az anyagi világban nincsenek sajátosan szükségszerű vagy sajátosan véletlenszerű kölcsönhatás-típusok. Valamely kölcsönhatás csak egy konkrét objektív vonatkozásban szükségszerű vagy véletlen. Attól, hogy a kölcsönhatások egy csoportja objektíve meghatározza egy dolog minőségét, vagyis attól, hogy e kölcsönhatások egymással belső, tartós kapcsolatba kerülnek, válik — az adott vonatkozásban — a kölcsönhatások más csoportja véletlen jellegűvé. Ugyanezek a kölcsönhatások más jelenséggel összefüggésben vagy más szinten szükségszerű kapcsolatok elemei is lehetnek.² A véletlen ilyen felfogása tehát nem jelenti a szükségszerűség és véletlen merev elválasztását, szembeállítását, sőt méginkább kiemeli objektív dialektikus viszonyukat. Részben ugyanis kizárják egymást, hiszen egy kölcsönhatás adott konkrét vonatkozásban vagy szükségszerű, vagy véletlen; másrészt feltételezik egymást, hiszen a kölcsönhatások egy csoportjának szükségszerű volta teszi a többi kölcsönhatást véletlenné az adott vonatkozásban. A véletlenszerű kölcsönhatások pillanatnyi együttese — mely végső fokon adott esemény konkrét kimeneteléért felelős — szükségszerűen változik, így pl. két egymást követő lövés esetén sem lehet azonos. Az a feltételezés ugyanis, hogy a véletlen kölcsönhatások kombinációja nem változik, vagy az adott rendszer teljes izoláltságát, vagy a rajta kívül eső világ — a véletlennek forrása — teljes mozdulatlanságát kívánná meg. Ez azonban természetesen a valóságban sosem teljesül.

Ugyancsak kívánatos a véletlenről adott kép teljessége kedvéért megjegyezni, hogy a véletlenszerű kölcsönhatások egy csoportja valójában a szükségszerű feltételek ingadozásaként jelentkezik — pl. a lövedékátmérő valamilyen mérete szükségszerű, de hogy a tolerancián belül éppen melyik érték valósul meg, az véletlen —, míg a véletlenek másik csoportja a szükségszerű feltételeken kívüli világgal való kapcsolat eredménye, pl. hogy röptében a lövedék ütközik-e egy rovarral vagy nem.

Az elmondottakból kitűnik, hogy az általunk adott véletlen-definíció bizonyos fokig eltér nemcsak a mechanikus materialista, hanem a szokásos dialektikus materialista véletlenfogalomtól is. *A szokásos felfogás szerint ugyanis — mint láttuk, még a dialektikus materializmusban is — a véletlen alapvetően ismeretelméleti jellegű.* Eszerint például gázok esetében a paraméterek nagy száma miatt alkalmazunk statisztikus leírást, de, legalábbis elvben, el lehet jutni a csak ismereteink korlátozottsága miatt véletlennek tekintett tényezők szükségszerű kapcsolatának felismeréséig, és ez megszünteti a véletlen jellegüket. Az általunk adott véletlenfelfogás ez utóbbi mozzanatot nem ismeri el. Ha ugyanis adott esetben igen nagy munka árán sikerülne is megadni mindazon paramétert, melyek például a lövedék becsapódását egyértelműen determinálják, vagyis amelyek ismeretében érthető lesz, hogy a lövedék miért éppen oda esett és nem máshová, ezzel nem szűnt meg e paraméterek — és együttesük — véletlen jellege, hiszen leg-

² Látható, hogy a véletlen ilyen felfogása annak elismerésén alapul, hogy a dolgok minőségi meghatározottsága objektív. Tehát nem szubjektív akarat, ismeret kérdése az, hogy a minőségi meghatározottság szempontjából mely kölcsönhatások alapvetőek és melyek véletlenek.

közelebb más eredményre vezetnek, mert más — ugyancsak esetleges — tényezők lépnek fel. (Ismételten hangsúlyozzuk, hogy a szükségszerű kapcsolatok egyik döntő különbsége a véletlenszerűekkel szemben, hogy míg ez utóbbiak kombinációja széles határok között változik — egyes elemeinek elmaradásától mások belépéséig — az adott dolog alapvető minőségének megváltozása nélkül, addig a szükségszerű kölcsönhatások együttesének megváltozása a minőség gyökeres megváltozásával jár együtt.) *Ilyen felfogásban a véletlen alapvetően lételméleti kategória.* Úgy véljük, a mikrofizika filozófiai interpretálásában sok nehézséget okozott éppen az, hogy a véletlen fogalmát ismeretelméletileg értelmezték, jóllehet az lételméleti fogalom.

A véletlen kölcsönhatások, mivel egy adott pillanatban a legkülönbözőbb módon hatnak, *bizonyos mértékig* kompenzálják egymást — a következmény tehát az, hogy például a vizsgált esetben az egyes lövések ugyan véletlenek, tehát a pontos becsapódási hely nincsen az alapvető kölcsönhatásokkal egyértelműen determinálva,³ az elméletileg várható becsapódási pont körül azonban meghatározott törvényszerűség szerint szórnak, így valószínűségi kijelentéseket lehet tenni az egyes lövések kimenetelére vonatkozóan. A lövések halmaza — a statisztikus sckaság — elég nagy szám esetén szigorú törvényszerűségnek megfelelően eszlik el az ellipszis területén.

Az is látható a fentiekből, hogy a véletlen kölcsönhatások nem állíthatók szembe az oksági kölcsönhatásokkal, hiszen a véletlen hatásnak is van oka; a kérdéses dolog alapvető meghatározottságán kívül fellépő esetleges kölcsönhatások *kombinációja*. Nyilvánvaló, hogy a dolog alapvető kölcsönhatásainak — melyek a minőségét meghatározzák — és a vele kapcsolatos véletlen hatások halmazának intenzitási és időbeli stabilitási viszonyai döntik el, hogy a véletlen kölcsönhatások milyen mélységig és milyen időtartamban befolyásolják a kérdéses dolog állapotát.⁴ A klasszikus fizika azért tudta az általa tanulmányozott terület jó közelítésben adekvát leírását adni a laplace-i determinizmus koncepciója alapján, mert ezeken a terü-

³ Természetesen a szó laplace-i, mechanisztikus értelmében nincs determinálva. A laplace-i determinizmus ugyanis feltételezte, hogy ha valamely test mozgásállapotát adott időpillanatban ismerjük, ezt elvileg tetszőleges más időpontra is abszolút pontossággal kiszámíthatjuk, ami azt jelenti, hogy az adott pillanatban meglévő hatások szigorú egyértelműséggel meghatározzák a kérdéses dolog sorsát a véletlen kizárásával. Jóllehet ilyen determinizmus nem érvényes a statisztikus jellegű folyamatokban, minden pillanatnyi állapotot — az alapvető meghatározottságon belül — a véletlen kölcsönhatások együttese determinál, teret adva egyéb, esetlegesen fellépő kölcsönhatásoknak is. Vagyis itt a mechanisztikus, szigorú determinizmust egy szélesebb értelemben vett rugalmasabb determinizmus váltja fel, nem pedig valami abszolút értelemben vett indeterminizmus. Tehát a determinizmus fogalma bizonyos fokig feloldódik az oksági meghatározottság — vagy még inkább a szükségszerűség s véletlen dialektikus egységének — fogalmában. Minden természeti jelenség vagy változás okozatilag meghatározott, más anyagi változások, folyamatok következménye, de a véletlen kölcsönhatások objektív léte miatt a konkrét dolgok alakulásában többé kevésbé jelentős szerepet játszanak az esetleges elemek is.

⁴ Az okság és a véletlen kapcsolatáról itt elmondottakból következik, hogy nem érthetünk egyet Bohm ezzel kapcsolatos felfogásával, aki „Okság és véletlenség a modern fizikában” (Gondolat, 1960.) c. könyvében határozottan elhatárolja egymástól az oksági és a véletlen kölcsönhatásokat, illetve az általa okságinak nevezett dinamikai és statisztikus törvényeket. Mindezt azért tartottuk szükségesnek megjegyezni, mert az említett ellenvéleményunktől függetlenül — különösen a mikrofolyamatok és a háttér kapcsolatának kifejtésekor — messzemenően támaszkodtunk Bohm említett könyvére.

leteken a véletlen kölcsönhatások befolyása *objektíve* elhanyagolható. A laplace-i determinizmus alkalmazásával akkor kezdtek nehézségek mutatkozni, amikor a fizika túllépte a klasszikus makrovilág határait, vagyis egy mélyebb kölcsönhatási szint megismerésére tért át, ahol a véletlen kölcsönhatások jelentős szerepet játszanak.

2. A különböző kölcsönhatási szintek törvényeinek és leírásmódjainak viszonya

A véletlenfogalom mellett a később elmondandók megértése céljából szükséges még tisztázni a különböző kölcsönhatási szintek (különböző megismerési szintek, tudományos diszciplínák) törvényeinek és leírásmódjainak viszonyát. Itt lényegében az a kérdés, hogy mennyiben lehet egy szint természeti törvényeit egy általánosabb szinten érvényes törvények speciális eseteinek tekinteni.

Szokás például a newtoni dinamika törvényeit a relativisztikus törvényeknek a fénysebességhez képest kis sebességgel mozgó jelenségekre, testekre érvényes megközelítésének tekinteni. Ez formálisan valóban így van, mert ha a test mozgási sebessége sokkal kisebb, mint a fénysebesség, illetve ehhez képest elhanyagolható, akkor például a nyugalmi tömeg — az adott esemény lefolyása szempontjából — objektíve egyenértékű a mozgási tömeggel, vagy a transzformált idő egyenértékű lesz a transzformálás előttivel, s így tovább, ami összességében azt jelenti, hogy a relativisztikus mechanika átmegey a klasszikus mechanikába. Ez ismeretelméletileg azt jelenti, hogy a relativisztikus mechanika objektív igazságtartalma több mint a klasszikus mechanikáé, mert mint határesetet tartalmazza ezt, de ezen túl leírja olyan jelenségek törvényeit is, amelyek a klasszikus mechanika számára hozzáférhetetlenek. Helytelen volna azonban ebből a viszonyból arra következtetni, hogy a newtoni dinamika törvényeinek végső lényegét is a relativisztikus törvényekben találhatjuk, vagyis, hogy a relativisztikus és a klasszikus mechanika minőségileg azonos kölcsönhatási szinteket ír le. Az a tény ugyanis, hogy a relativisztikus effektusok a klasszikus mechanika által leírt folyamatoknál — mégpedig nem csupán valami szubjektív emberi megítélés szempontjából, hanem az e szinten szereplő egyéb kölcsönhatásokhoz viszonyítva objektíve — elhanyagolhatók, azt jelenti, hogy ezen a kölcsönhatási szinten nem a relativisztikus effektusok, illetve az ezekkel kapcsolatos törvényszerűségek játszzák a döntő szerepet, határozzák meg a folyamatok jellegét, hanem a klasszikus fizika által leírt kölcsönhatások, törvényszerűségek.

A fentihez teljesen hasonló megfontolás érvényes a kvantumfizika és a klasszikus fizika viszonyára is. Ehrenfest tétele ugyanis kimondja, hogy a kvantumfizikai mozgást leíró mennyiségek várható értékei — a Schrödinger-egyenlet következményeképpen — kielégítik a klasszikus fizika mozgásegyenleteit, a mért értékek eltérése a várható értéktől — a szórás — annál kisebb, minél inkább elhanyagolhatók a részecske állapotát befolyásoló véletlen kölcsönhatások, klasszikus esetben pedig — mikor a szórás értéke zérus — a várható értékek egyenlők a mért értékekkel, vagyis a kvantummechanikai Newton-egyenlet átmegey a „klasszikus” Newton-egyenletbe. Éppen a véletlen kölcsönhatások elhanyagolható, illetve nem elhanyagolható volta mutatja, hogy két különböző kölcsönhatási szintről van szó. *Az, hogy a mért értékek szórása a várható érték körül a klasszikus fizikára való átmenet esetén zérushoz tart, nem más, mint matematikai kifejezése annak az objektív*

ténynek, hogy a klasszikus fizika által leírt szinten a kvantumfizikai kölcsönhatások objektíve elhanyagolhatók, hogy ezen a szinten a klasszikus fizika törvényei fejezik ki a lényegét. (Természetesen e szintek minőségi önállósága nem jelenti azt, hogy függetlenek egymástól.)

Nyomatékosan kívánjuk hangsúlyozni, hogy mind a relativitáselmélet, mind a kvantumfizika mélyebb ismereteket nyújt az anyagi világról, mint klasszikus analogonjaik. *Ezt azonban nem azzal tesszük, hogy ugyanazon a kölcsönhatási szinten adnak egy „jobb” leírást a klasszikus fizikai leírás helyett, hanem azzal, hogy mélyebb megismerési szintre jutnak.* Hogy ez így van, formálisan is kitűnik abból, hogy ha a relativitáselmélettel vagy a kvantummechanikával klasszikus fizikai folyamatot kívánunk leírni, el kell végezni a már említett határátmeneteket, ami valójában a klasszikus leírásra való áttérést jelenti.

Az elmondottakból következik, hogy nem tekinthetjük azonos mozgás-szintnek a molekulák halmazát, ha mint pontrendszert kezeljük és felírunk rá N számú dinamikai egyenletet — bár elvileg ez is lehetséges —, illetve, ha mint gázt vizsgáljuk — vagyis olyan objektív összefüggésben, ahol a molekulahalmaz gázként lép kölcsönhatásba más testekkel —, és statisztikus leírást alkalmazunk rá. Itt lényegében arról van szó, hogy a molekulahalmaz mint gáz makroszkopikus objektum, hiszen más makroszkopikus testekkel, folyamatokkal való kölcsönhatásai jellemzik, és ezeket vizsgáljuk. Ennek megfelelően a leírására szolgáló paraméterek is makroszkopikus jellegűek (nyomás, hőmérséklet, entropia stb.). Kétségtelen az, hogy ha lemondunk a molekulák dinamikai leírásáról, és e helyett, alkalmas valószínűségi feltevések alapján, statisztikai leíráshoz folyamodunk, nagy mértékben leszűkítjük a vizsgált objektumról szerezhető információk mennyiségét, hiszen például N „darab” molekula kinetikus energia értékének külön-külön történő megadása helyett egy átlag kinetikus energiáról beszélünk, amely csak egy elméleti középérték, s lehet, hogy adott pillanatban egyetlen molekulának sincs éppen ennyi kinetikus energiája. *Az is kétségtelen azonban, hogy az a kevés számú információ, amelyet a statisztikai leírás megenged, a molekulahalmazt mint gázt lényegesebb módon írja le, mint az elhanyagolt összes többi információ együttl.* Ugyanis a gáz makroszkopikus viselkedéséről a molekulák átlag kinetikus energiája, illetve a vele kapcsolatos makroszkopikus paraméterek igen sokat mondanak, gyakorlatilag azonban teljesen közömbös, hogy az egyes molekulák ténylegesen milyen kinetikus energiával rendelkeznek, vagyis hogy milyen komponensekből tevődik össze a kérdéses átlagérték. A két kölcsönhatási szint objektív különbségéből eredően minőségi különbség van az egyes molekulák konkrét mozgásának leírása és a gáz mint olyan leírása között.

Megjegyezzük, hogy a kölcsönhatási szintek fenti módon való megkülönböztetése nem szükségképpen azonos a mozgásformáknak a filozófiában szokásos megkülönböztetésével. Csupán azt az igen lényeges körülményt fejezi ki, hogy adott objektum különböző szintű kölcsönhatások eleme, és hogy minden kölcsönhatási szinten más-más törvényszerűségek, tulajdonságok jellemzik. *A molekulahalmaz tehát nem mint tárgy különbözik a gáztól, hanem abban, hogy a molekulaszinten folyó kölcsönhatásokat determináló paraméterek a gáz-szintű kölcsönhatások szempontjából mint véletlenek jelentkeznek, és itt új, a molekulák szintjén nem létező paraméterek, törvények jelennek meg.*

3. A valószínűségi leírás közös vonásai a klasszikus és a kvantumstatisztikában

A klasszikus és a kvantumfizikai statisztikai leírásmód között — esetleges *formális* hasonlóság elismerése mellett — általában az elvi különbséget szokták hangsúlyozni — és erre alapozzák a két megismerési szint ismeretelméleti megkülönböztetését is. Megítélésünk szerint vitatható a két szint szokásos elhatárolása, ezért ezt a kérdést kissé részletesebben kívánjuk megvizsgálni.

A klasszikus és a kvantumfizika statisztikus leírásmódjának lényegét a következőkben szokás megjelölni.

a) A statisztikus leírás klasszikus felfogása a következő. A gáz mint egyedi diszkrét molekulák halmaza is leírható, úgy hogy minden egyes molekulára felírunk egy mozgásegyenletet, s az így kapott egyenletrendszer — mely a gáz minden egyes molekulájának egy adott pillanatbeli valamennyi paraméterét tartalmazza — lehetővé tenné valamennyi molekula, tehát a gáz állapotának is tetszőleges időpontra való kiszámítását, előrelátását. E felfogás szerint a statisztikus leírásmódot tulajdonképpen csak gyakorlati korlátok miatt alkalmazzuk, mivel ugyanis a gázban rendkívül nagy számú molekula van, egy ilyen komplikált egyenletrendszer — gyakorlatilag — megoldhatatlan. Ezért tehát az egyes molekulák saját szintjén determinált — de a gáz szempontjából véletlen — mozgását átlagoljuk, és a kiindulási valószínűségi feltevések alapján számítjuk a gázt jellemző makroszkopikus paramétereket. Más szóval: a valószínűségi leírás e felfogásában érvényesül a laplace-i determinizmus.

b) A kvantumfizikai leírásmódnál a valószínűséget általában nem egy, a gyakorlati kényszer alapján bevezetett fogalomnak, hanem a mikrofolyamatok belső lényegéhez tartozó tényezőnek tekintik. Így itt csak valószínűségi leírás lehetséges, nem érvényes a laplace-i determinizmus. (Általában ugyanis feltételezik, hogy az elemi részecske nincs meghatározott állapotban, de a különböző lehetséges állapotokba adott valószínűséggel kerülhet, így nem egy konkrét állapot — mint a klasszikus fizikában —, hanem a valószínűségek eloszlása jellemzi az objektumot.)

Mielőtt e két leírásmód viszonyának az elemzéséhez fognánk, le kívánjuk szögezni: egyetértünk azzal a felfogással, hogy alapvető különbség van a klasszikus és a kvantumfizika statisztikus leírásmódja között. Azt azonban kétségbevonjuk, hogy e különbség lényege az lenne, hogy a kvantumfizika esetén a valószínűség objektíve a dolog lényegéhez tartozó, míg a klasszikus esetben csupán a túlzottan bonyolult — de egyébként lehetséges — mechanisztikus determinisztikus leírás elkerülésére szolgáló módszertani tényező.

Rátérve a két leírásmód viszonyának vizsgálatára, azonnal látható: a két felfogás közötti különbség egyik lényeges vonása, hogy a gázoknál nyilvánvaló volt annak a molekuláris mozgásszintnek a létezése — sőt bizonyos alapvető tulajdonságai is ismertek voltak —, amely a makroszkopikus gáztörvények valószínűségi alapját képezte. Továbbá: a molekuláris mozgásszint klasszikus leírásánál nyilvánvaló volt az is, hogy a jellegzetesen statisztikus mennyiségek a molekulásokaság egészére vonatkoznak, az egyes molekulákra csak valószínűségi kijelentéseket lehet tenni (átlag kinetikus energia, tartózkodási valószínűség stb.). Ezzel szemben a kvantumfizikában nem világos, hogy — jóllehet a leírásmód kétségtelenül statisztikus — pontosan milyen sokaság képezi a statisztika alapját: maguk az egyes atomi,

molekuláris stb. részecskék-e vagy egy halmazuk — a kvantummechanikai sokaság —, vagy valamely szubatomi szintnek a mozgása.⁵

Függetlenül attól, hogy hogyan döntenek a fizikusok a kvantumfizikai leírasmód alapját képező sokaság kérdésében, az tény, hogy a kvantumfizikai leírasmód statisztikus jellegű, hogy a kvantumfizikai mozgásszinten objektíve statisztikus törvényszerűségek érvényesek. Ez esetben pedig a kvantumfizikai szint kétségtelenül egy önálló mozgásszint, s ennek statisztikus jellegén az sem változtat, ha valamely szubkvantumfizikai szinten esetleg megtaláljuk valószínűségi alapját. (Emlékeztetünk itt az előző fejezetben mondottakra.)

Lényegében teljesen hasonló a helyzet a klasszikus statisztikai leírás esetében is. Az, hogy ismerjük a molekulák mozgásának szintjét, mely a termodinamikai mozgás valószínűségi alapjául szolgál, nem változtat azon a tényen, hogy a termodinamika fogalmai — hőmérséklet, nyomás, fajhő stb. — és törvényei a molekulahalmazokra vonatkoznak, és hogy e törvények minőségileg különböznek a klasszikus mozgástörvényektől. Ez azt jelenti, hogy a gáz — vagy szilárd test, folyadék, egyszóval makrotest — nem egyszerű dinamikai halmaza⁶ a molekuláknak, hanem minőségi saját-szerűséggel, minőségi többlettel bír hozzájuk képest.

Ha azonban ez így van, akkor a dinamikai leírás lehetőségére utaló elvet kell figyelmesebben megvizsgálni, mely a klasszikust megkülönbözteti a kvantumstatisztikai leírástól. E felfogás szerint egy molekula mozgás-állapotából ki lehet számítani, hogy a — szintén ismert mozgásállapotú — szomszédos molekulák közül melyikkel és hogyan fog ütközni, és azt is, hogy mi lesz az ütközés eredménye. Így ismét egy olyan helyzet áll elő, melyben minden molekulának ismerjük a mozgásállapotát, és a halmaz egész további sorsa ilyen determinált állapotok sorozatából tevődik össze. Vagyis ez azt jelenti, hogy ha feltételezzük a dinamikai leírasmód elvi lehetőségét minden molekulára, akkor a molekulahalmaz, illetve az egyes molekulák mozgásának vonatkozásában objektíve teljes determinizmus uralkodik — laplace-i értelemben is.

A klasszikus statisztikus leírás egyik alapfeltevése azonban éppen az, hogy a molekulahalmaz egésze, vagyis a gáz szempontjából az egyes molekulák mozgása — paramétereik ingadozása az átlag körül — véletlen jellegű, így erre csak valószínűségi kijelentéseket tehetünk. E valószínűségek alapján képzett átlagok azonban a gáz mint egész viselkedésére vonatkozóan egzakt kijelentéseket engednek meg. Ez azt jelenti, hogy a molekulák klasszikus dinamikai együttese és a gáz mint makroszkopikusan kölcsönható és leírható jelenség — az előző fejezetben mondottak szerint — nem azonos mozgásszintek, minőségi különbség van közöttük, illetve „molekulák klasszikus dinamikai együttese” a valóságban tulajdonképpen nem is létezik, mivel a molekulásokaság lényege az, hogy gáz. Ez abban is megnyilvánul, hogy a molekulahalmaz mint egész adott állapotához a molekulák különböző konkrét

⁵ Figyelemreméltó e kérdésben Fok felfogása, aki szerint nem maguk a mikroobjektumok, hanem a rajtuk végzett mérések eredményeinek a halmaza a kérdéses statisztikus sokaság; így a statisztikus leírás természetesen egyaránt vonatkozhat az atomi objektumok egy halmazára, de az egyes atomokra is.

⁶ Dinamikai halmazon a testek olyan mechanikai együttesét értjük, ahol a mechanikában előforduló kölcsönhatásoktól minőségileg különböző (például speciális kvantumfizikai) kölcsönhatás nem lép fel.

elrendeződése tartozhat. (A molekulásokaságban olyan új kölcsönhatások lépnek fel, melyek túlnőnek a dinamikai leírás keretein, s amelyek a gázok minőségét teszik. E sokaságra vonatkoztatva véletlen az egyes molekulák mozgása még akkor is, ha saját szintjükön — akár a Laplace-i értelemben is — determináltak. Persze a szigorúan vett Laplace-i determinizmus sehol sem érvényes.) A statisztikai — jelen esetben termodinamikai — törvények nem az egyszerű dinamikai törvényeket követő egyes molekulákra, hanem a gázra vonatkoznak.

Az elmondottakból adódik az a fontos következtetés, hogy mivel a gáz nem a molekulák egyszerű dinamikai halmaza, hanem sajátos minőségű, sajátos belső kölcsönhatásokkal rendelkező rendszer, a valószínűség ennek is éppen olyan belső, elválaszthatatlan eleme, mint azt a kvantumfizikai folyamatok esetében láttuk; vagyis a klasszikus statisztikai leírás nem csupán egy lehetséges (gyakorlatilag egyedül kivitelezhető!) leírási módszer, hanem a gázok objektív statisztikai törvényeinek adekvát tükröződése.

Nyomatékosan kívánjuk hangsúlyozni, hogy az elmondottak a kvantumfizikai és klasszikus statisztikai leírás ismeretelméleti hasonlóságát kívánták kiemelni, és távolról sem gondolunk valamiféle fizikai analógiára a két terület között. Azaz például egyáltalán nem szükségszerű a kvantumsokaság elemei számára valamiféle klasszikus értelemben vett determináltság, amilyent a gázt alkotó egyes molekulák esetében feltételeztünk. Lehetnek ezek az elemek a saját szintjükön statisztikailag meghatározottak is — vagyis olyan állapotban, amelyben a véletlen kölcsönhatások lényeges szerepet játszanak —, hiszen az egyes mozgásszinteket nem az különbözteti meg egymástól, hogy statisztikus vagy dinamikai törvényeknek vannak-e alávetve, hanem az e törvények által leírt objektív különbségek.⁷

Összefoglalva: láthatjuk tehát, hogy a molekulahalmaz dinamikai és statisztikus leírása objektíve nem egyenértékű a gáz objektív kölcsönhatásai vonatkozásában; a véletlen, a valószínűség, ugyanolyan elválaszthatatlan módon kapcsolódik a vizsgált folyamathoz, mint ahogy az a kvantumfizikában látszik. Ennek ellenére, illetve ezen túl a klasszikus statisztika — és általában a klasszikus fizika —, valamint a kvantumfizikai leírasmód között valóban lényeges minőségi különbség van. A továbbiakban vizsgáljuk meg, hogy milyen momentumok képezik a kétféle leírasmód közötti lényeges különbség objektív alapját.

4. A véletlen objektív szerepének minőségi különbsége a klasszikus és a kvantumfizikai állapotban

A véletlen fogalmának elemzésekor már említettük, hogy alapvető különbségek lehetnek az egyes mozgásszintek között aszerint, hogy a véletlen kölcsönhatások milyen mélyen és milyen időtartamban befolyásolják a kérdéses szint jelenségeinek minőségét. Ilyen vonatkozásban találunk lényeges különbséget a klasszikus fizikai és a kvantumfizikai terület között, ez okozza

⁷ Bár a kvantumfizikai leírás is és a gázok klasszikus leírása is statisztikus, látni fogjuk, hogy az előbbi még ezen túlmenő sajátosságokat is mutat. (Például a mérőberendezés különleges szerepe.) Így talán elfogadható az az álláspont, hogy a molekulák statisztikus leírása ismeretelméletileg a „tisztá” klasszikus és a kvantumfizikai leírás között foglal helyet.

elsősorban, hogy az állapot klasszikus fizikai fogalma nem alkalmazható kvantumfizikai jelenségekre.

Az állapot klasszikus fizikai fogalma mindenekelőtt a véletlen kölcsönhatások objektív elhanyagolhatóságán alapul. Minden mozgásszinten létezik viszonylagos nyugalom — ez teszi lehetővé a minőségi állandóságot —, amely a más szinteken folyó mozgások egyensúlyán alapszik. Így például egy makrotest vagy bármely makroszkopikus objektum minőségi stabilitása, állandósága — egyáltalán a jól definiált minősége — a molekuláris és mélyebb szintű mozgások egyensúlyának a következménye. Konkrétan például egy gáz átlagsűrűsége azért tekinthető adott körülmények között állandónak, mert a térfogategységbe egy másodperc alatt belépő és onnan kilépő molekulák száma jó közelítésben állandó. A valószínűségi leírás nyelvén megfogalmazva ez azt jelenti, hogy a molekulák tartózkodási valószínűsége a gázt befogadó edény egész térfogatában minden pontban azonos. Persze az ilyen statisztikus egyensúlyok körül valójában mindig tapasztalhatók bizonyos fluktuációk, ingadozások, ezek hatása azonban elhanyagolható a kérdéses gáz minőségi meghatározottságán belül. Ezért lehetséges a gáz statisztikai módszerekkel történő leírása anélkül, hogy a molekulák közötti konkrét kölcsönhatásokra — melyek nyilvánvalóan determinálják az egyensúly körüli ingadozást — tekintettel kellene lennünk. Azok a változások pedig, amelyek végül is minden makroobjektumnak megváltoztatják a minőségét, olyan lassúak a makroszkopikus leírásban szereplő időtartamokhoz képest, hogy általában nem kell figyelemmel lenni rájuk. Az állapot klasszikus fizikai fogalmának tehát — problémánk szempontjából — döntő eleme, hogy a környezeti hatások — intenzitási vagy időbeli viszonyaik miatt — az adott dolog minőségi stabilitása mellett objektíve elhanyagolhatók.

A probléma további megvilágítása céljából gondoljuk meg a következőket: Annak feltétele, hogy valamely rendszer állapota, adott pillanatban ismert paraméterei alapján, tetszőleges későbbi időpontra is meghatározható legyen az, hogy a rendszer teljesen izolált legyen, ne léphessenek fel olyan kölcsönhatások, melyek az ismert paraméteregyüttes információ-tartalmában nincsenek benne. Bár ilyen izolált — abszolút individuális — rendszerek a valóságban nincsenek, a klasszikus fizikában a testek — a makroszkopikus leírás szempontjából — jó közelítésben ilyennek tekinthetők, a környezeti, véletlen hatások fentebb említett elhanyagolhatósága miatt.

Egészen más a helyzet a kvantumfizika szintjén. Itt a környezeti hatások — és mint a későbbiekben látni fogjuk, ezek közé számítanak a mérési effektusok is — nem elhanyagolhatók az adott objektum minőségét alapvetően meghatározó kölcsönhatások mellett, sem intenzitásukat, sem pedig időbeli viszonyaikat illetően. Így egyrészt a környezet változása az adott objektum szüntelen minőségi változását vonja maga után, az alapvető összefüggések által meghatározott — meglehetősen tág — korlátok között. Másrészt az alapvető meghatározottságban szereplő idők egyenlő nagyságrendűek a környezet minőséget befolyásoló változásainak hatásidejével, ami az általunk vizsgált szinten a klasszikusan jól definiált stabilis állapot hiányában mutatkozik meg.⁸ Természetesen lehetséges, hogy az atomok,

⁸ Amikor a stabilitás hiányáról beszélünk, a mikroobjektumok — vagy sokaságaik — azon helyzetéről van szó, mikor nincsenek sajátállapotban. A sajátállapot — például az atom elektronhéjában kötött elektron energia-sajátállapota vagy a mérés által előidézett koordináta-sajátállapot — időben stabil; a mikrofizika értel-

molekulák „állapothiánya” a napjainkban feltáruló elemi rész és magfizikai folyamatok időnagyságrendjéhez képest ugyanolyan stabilis, mint jelenleg a makroállapot a mikrofizikai állapothoz képest. Mivel a kvantumfizikai állapot általunk kifejtett felfogása nem egyeztethető össze az individuuum, illetve az individuális állapot klasszikus fizikai fogalmával, de nem lehet az individuális jelleg teljes feloldásáról sem beszélni, célszerű ezt az állapotot a *kvázi-individuális* jelzővel illetni, amely elnevezés jól elhatárolja mind a klasszikus individuuum fogalmától, mind az önálló karakter teljes hiányának „állapotától”.

Az elmondottakból látható, hogy a klasszikus fizikai és a kvantumfizikai állapot között — a véletlenszerű környezeti hatások objektíve eltérő jelentősége miatt — a döntő különbség az állapot időbeli stabilitásában van. Azért kívántuk ezt még egyszer kihangsúlyozni, mert a környezeti hatások ilyen jelentősége mellett joggal vetődik fel a kérdés, hogy lehet-e egyáltalán a mikrofizikai objektumok (elektron, proton stb.) önálló minőségéről beszélni.

Az nyilvánvaló az elmondottak szerint, hogy a klasszikus fizika fogalmainak megfelelő állapotról itt valóban nem lehet beszélni. Az önálló minőség elhatárolására mégis objektív alapot ad az, hogy bár a szereplő kölcsönhatások egy nagyságrendbe esnek, egy csoportjuk mégis állandó, tartós elemét képezi a kérdéses dolognak. Emlékeztetünk arra, hogy az első pontban kifejtettek szerint a véletlen jellegű és az alapvető kölcsönhatásoknak intenzitás szempontjából nem szükségképpen kell különbözniük. Éppen a *véletlen kölcsönhatások döntő szerepe adja meg az úgynevezett kvantumfizikai állapotnak sajátos jellegét.*

E problémakörrel kapcsolatos az a kérdés is, hogy a mikrofizikai objektumok relatíve nagyfokú instabilitása mellett hogyan jöhet létre a makrovilágban tapasztalt stabilitás. Ez igen bonyolult, fizikai és filozófiai vonatkozásban is alapvető kérdés. Részletes elemzés helyett itt csak utalunk a megoldáshoz vezető néhány gondolatra. Adott makrofizikai állapot sok különböző mikrofizikai kombináció alapján valósulhat meg. Ez azt jelenti, hogy az elemi részek vagy kombinációjuk változása nem szükségképpen vonja maga után a makroobjektum megváltozását. A véletlen kölcsönhatásról mondottak szerint az alkotórészek állapotváltozásainak az az összetevői, amelyekről itt szó van, a makroszkopikus kölcsönhatási szinthez viszonyítva véletlen jellegűek, s mint ilyenek kiegyenlítődési tendenciát mutatnak. A makroszkopikus objektumok pedig az alkotó elemi részek viselkedésének, változásainak statisztikus átlagát tükrözik saját makroszkopikus tulajdonságaikként. Ezen túlmenően, mint a korábbiakban is láttuk, a kvantumfizikai objektumok is bizonyos karaktert mutatnak tartós, belső kölcsönhatásaik állandósága miatt. (Végül a következő fejezetben foglaltakra utalva itt említjük meg a következőt: az a tény, hogy egy elemi rész egy makroobjektum alkotó része, a fellépő erős kölcsönhatásck révén eleve stabilizálja annak kvantumfizikai állapotát.)

mezésében azonban általában nem a sajátállapot, hanem ennek a hiánya okozta az ismeretelméleti problémákat. Az általunk kifejtett gondolatmenetben éppen ez utóbbi helyzetet nevezzük kvantumfizikai állapotnak, megkülönböztetendő a sajátállapottól.

5. A mérőberendezés és a mérési kölcsönhatás lételméleti és ismeretelméleti szerepe a mikrofizikában

A kvantumfizikai állapot fentebb adott értelmezésébe természetes módon beilleszthető a mérőberendezések, helyesebben a mérési folyamat mikrofizikailag kivételesen fontos szerepe is anélkül, hogy az ortodox interpretációban megtalálható szubjektívizáláshoz hasonló következtetésekre alapot szolgáltatna.

Mint láttuk, a kvantumfizikai objektum állapota a környezeti, véletlen jellegű kölcsönhatások pillanatnyi konfigurációjának megfelelően ingadozó állapotsorozatból tevődik össze. Azt is láttuk azonban, hogy a klasszikus állapot időbeli stabilitását — s ezzel a minőségi állandóságot, jól definiált-ságot — néhány — úgynevezett alapvető — kölcsönhatásnak az összes többivel szemben kitüntetett intenzitási és időbeli stabilitási viszonyai biztosítják. E felfogás szerint a kvantumfizika azon tapasztalata, hogy a mérés-vizsi sajátállapotba a mikroobjektumot, a következőképpen értelmezhető.

Már a véletlen fogalmának kifejtésénél említettük, hogy azon nagyszámú kölcsönhatás, mely egy adott dolog alapvető meghatározottságán kívül esik, és amelyeket összefoglalóan háttérnek vagy környezetnek nevezünk, túlnyomórészt egymástól független hatásokból áll, melyeknek azonban a kérdéses dologra való hatását együttes pillanatnyi konfigurációjuk határozza meg. Éppen mivel a háttéralkotó kölcsönhatások többnyire függetlenek egymástól, az egyes háttérkonfigurációk — melyek az adott mikroobjektumhoz tartozó alapvető kölcsönhatások csoportjával együtt meghatározzák a pillanatnyi kvantumfizikai állapotot — egyenlő valószínűséggel alakulhatnak ki. Más szóval: a sajátállapotok széles csoportja mint potenciálisan lehetséges benne rejlik a kvantumfizikai állapotban. A háttéralkotó többi kölcsönhatásoknál lényegesen intenzívebb mérési kölcsönhatás — saját minőségi jellegének megfelelően — megváltoztatja a mikroobjektum valószínűségi állapotát (ti. azzal, hogy a háttérkonfigurációk egy csoportjának megnöveli a valószínűségét a többi rovására), s így a megvalósuló saját állapotok már a mérőberendezésre, illetve a mérési kölcsönhatásra is jellemző valószínűségi eloszlást fognak mutatni. Vagyis a mérési aktus — de minden az átlagosnál lényegesen erősebb objektív kölcsönhatás — determinálólólag hat az objektum minőségére, mintegy stabilizálja azt a mérés tartamára. Ez tulajdonképpen a mikroobjektum saját állapota, mely bizonyos mértékig már klasszikus paraméterekkel jellemezhető.⁹

Emlékeztetünk az első pontban mondottakra: a szigorú determinizmus a környezettől való teljes elszigeteltséget tételez fel, vagyis a testeket abszolút individuumoknak tekinti. Ez a klasszikus testek esetében jó közelítésben feltehető, a mikroobjektumok esetében nem. Ha azonban a mikroobjektum egy, az átlagosnál lényegesen intenzívebb — például mérési — kölcsönhatásba kerül, ez mintegy kiemeli a környezeti kölcsönhatásokból, individuális jelleggel ruhazza fel. Például, ha egy atom befog egy elektront, ezzel ez energiasajátállapotba kerül, mert az atomban fellépő kölcsönhatások, melyek az adott elektronpálya energiaszintjét meghatározzák, olyan fokig stabilizálják az elektron energiáját, hogy ezt a környezettel való kölcsönhatásból eredő

⁹ A sajátállapot kialakulása szempontjából a mérési kölcsönhatással teljesen analóg módon értelmezhető például egy perturbáló jellegű — potenciállal leírható — kölcsönhatás következménye is.

energiaingadozás alapvetően nem befolyásolja. (Nem az atomot gerjesztő kölcsönhatásra gondolunk, mely más energia sajátállapotba viszi az elektront, hanem az esetleges egyéb kölcsönhatásokra, pl. atomot polarizáló külső erőterre.)

Látunk kell azonban, hogy a sajátállapotba kerülés bizonyos fokig eltérést jelent a tipikus kvantumfizikai állapottól. Lényegében arról van szó, hogy a mikrofizikai objektum a mérőberendezés elemeivel lép kölcsönhatásba, s a mérőberendezés az így kialakuló viszonylag stabil állapot paramétereit fordítja le a klasszikus fizika nyelvére.

Itt két megjegyzést kell tenni.

Először: az a tény, hogy a mérőberendezés a sajátállapot kialakításával eltéríti a mikroobjektumot a tiszta kvantumfizikai állapottól, és hogy ezt a sajátállapotot többé-kevésbé klasszikus paraméterekkel jellemzi, nem jelenti azt, hogy a tiszta kvantumfizikai állapot egyáltalán nem férhető hozzá számunkra. Mert bár a mérési aktus valóban sajátállapotba hozza a mérendő objektumot, ez a sajátállapot azonban a mérési kölcsönhatáson kívül nyilvánvalóan attól is függ, hogy a mérés milyen kvantumfizikai állapotban találta az objektumot. Ez pedig — ha a klasszikus fizika fogalmait szerintem nem is beszélhetünk stabil állapotról — a benne szereplő szükségszerű kapcsolatban levő kölcsönhatások miatt, az állandó jellegű véletlen ingadozások ellenére, kvantumfizikailag bizonyos karaktert mutat. Ennek megfelelően más és más lesz az azonos mérési elrendezés által kiváltott sajátállapot is. Ennek alapján pedig következtetni lehet a sajátos kvantumfizikai paraméterekre. (Éppen ezen megfontolás alapján nyer realitást Fok felfogása, amely szerint a mérési sorozatok eredményeinek eloszlására alkalmazott valószínűségi leírás alapján következtetni lehet a mikroobjektumok klasszikustól eltérő sajátosságaira.)

Másodszor: a mérőberendezés klasszikusan leírható objektum, melynek a mérés során lezajló mikrofolyamatokról szóló elsődleges, közvetlen információi maguk is klasszikus nyelven vannak megfogalmazva. Így van ez már a klasszikus kvantumfizikában is, még inkább így lesz az esetleges szubkvantumfizikai szinten, mivel innen szerzendő ismereteink még közvetettebbek lesznek. Ez más szóval azt jelenti, hogy — bár van lehetőség a sajátos kvantumfizikai paraméterek megismerésére — a mikrovilágot nem írhatjuk le a klasszikus fogalmak teljes kizárásával. Tehát a mérőberendezés valóban fontos, ismeretelméletileg döntő szerepet játszik a mikrovilág megismerésében. De mint láttuk, a mikrovilágban uralkodó indeterminizmusnak — vagyis a Laplace-i értelemben vett determinizmus hiányának — éppen nem a mérőberendezés az oka, hanem a kvantumfizikai szint specifikus véletleningadozásai, melyek e szint objektív tulajdonságai, ezektől függ, hogy a mérés milyen kvantumfizikai állapotot talál, vagyis hogy milyen sajátállapot jön létre. Ilyenformán tehát a mérőberendezés mind fizikailag, mind ismeretelméletileg elvi jelentőségű szerepet játszik, és nyilvánvaló e szerep objektív jellege is, hiszen a mérési eredmények, illetve halmazuk véletlen ingadozását, mely a statisztikus leírás módja, végső fokon a mikroobjektum állapotának véletlenszerű — a méréstől független — ingadozása határozza meg.¹⁰

¹⁰ A mérőberendezés, a mérési kölcsönhatás ilyen sajátos ismeretelméleti szerepe alapján úgy véljük — egyetértésben Fok álláspontjával —, hogy meddő minden olyan törekvés, mely az esetleges szubatomi szinten a kvantumfizikai leírás valamiféle klasszikus értelemben determinált alapját kívánja megtalálni.

A teljesség kedvéért szükségesnek tartjuk megjegyezni, hogy a véletlenek és a kvantumfizikai állapotnak itt adott felfogása nem a rejtett paraméterek elméletének egy változata, legalábbis nem abban az értelemben, ahogyan ezt az elmúlt időkben értettük. Bár kétségtelen, hogy a kvantumfizikai állapot valószínűségi törvényeinek és leírásának objektív alapját a véletlen kölcsönhatások, a háttér képezi, e kölcsönhatások paraméterei azonban — a véletlenről, illetve a kölcsönhatási szintek viszonyáról mondottak szerint — önmagukban semmit sem mondanak arról a szintről, amelyet a statisztikus leírás tükröz. Más szóval: a véletlen kölcsönhatások szintjének paraméterei nem az általunk statisztikusan leírt jelenségek determinista leírásának lehetőségét rejtik magukban, hanem csupán a saját szintjüket jellemzik. E paraméterek feltárása — például napjainkban a magfizikai és elemi rész jelenségek problémája — már egy más megismerési szintre való áttérést jelent. Lényegében tehát arról van szó, hogy a rejtett paraméterek elmélete a kvantumfizika statisztikus leírás módját a *saját* szintjén nem tekintette kielégítőnek, vagyis a rejtett paraméterek létét nem azért tételezte, hogy a megismerésben a kvantumfizika szintjénél mélyebbre jusson, hanem, hogy a kvantumfizikai leírást tegye teljesebbé. Az általunk kifejtett felfogás szerint is lehetségesek a kvantumfizikai szint mellett vagy annál mélyebben lejátszódó folyamatok, sőt ezek intenzív kölcsönhatásban is lehetnek a kvantumfizikai folyamatokkal, de a mélyebb folyamatok paramétereinek a megismerése nem szünteti meg a kvantumfizikai leírás statisztikus jellegét, legfeljebb mélyebb megismerési szintre juthatunk általa.

6. A kvantumfizikai állapot klasszikustól eltérő jellegének filozófiai interpretációja

Az elmondottak — a véletlenre a kölcsönhatási szintek objektív önállóságára és a kvantumfizikai állapotra vonatkozóan általunk kifejtett szemlélet — alapján lehetőséget látunk a Fok és a Bohm által kifejtett álláspont bizonyos fokig egységes interpretációvá való összekapcsolására, annak e. lenére, hogy egymástól alapvetően eltérő koncepcióból indulnak ki.¹¹ Az előző fejezetekben a kvantumfizikai állapot tartalmának kifejtésekor használt alapvető fogalmakat jórészt Bohmnál is megtaláljuk, rá kell azonban mutatnunk a Bohm-féle szemlélet és a saját felfogásunk néhány fontos különbségére.

a) Más értelemben használtuk a véletlen fogalmát. Míg Bohm ezt határozottan megkülönbözteti az okság fogalmától, mi a véletlen kölcsönhatások adott pillanatban fellépő kombinációját az adott időpontban fellépő állapot-ingadozás okának tekintjük. Ennek megfelelően nem fogadhatjuk el a statisztikus és az úgynevezett oksági törvények szembeállítását sem, hiszen a dinamikai és a statisztikai leírás, illetve törvények között a véletlen kölcsönhatások adott szinten való érvényességi fokában van eltérés, nem oksági vonatkozásban.

b) Míg Bohm a szintelméletre alapozott fizikai elgondolásaiban — véleményünk szerint — végső célként lényegében a kvantumfizikai indeterminizmus valamiféle materialista, laplace-i értelemben vett determinista értelmezésére törekszik, mi ebből csak a materialista értelmezésre való törekvést

¹¹ D. Bohm: Okság és véletlenség a modern fizikában. Gondolat, 1960.; V. A. Fok: A kvantummechanika interpretációjáról. (A modern természettudományok filozófiai problémái c. gyűjtemény, Akadémiai Kiadó, 1962.)

fogadjuk el, viszont az „indeterminizmust” — vagyis a laplace-i determinizmus hiányát — a kvantumfizikai szint objektív tulajdonságának tekintjük, és e szint leírása szempontjából nem látjuk szükségesnek valamiféle külön, újabb oksági leírással kiegészíteni.

E két nagyon lényeges szemléletbeli különbségtől eltekintve az általunk adott kép fizikai tartalma¹² messzemenően analóg Bohm felfogásával. Filozófiai vonatkozásban azonban Fok felfogását látjuk mélyebbre mutatónak, jobban elhatároltnak, mely emellett az általunk adott szemléletben jól illeszkedik a fizikai tapasztalatokhoz.

Fok filozófiai felfogása alapvetően a potenciálisan lehetséges és a megvalósult kategóriáján nyugszik. Lényegében e filozófiai kategóriák viszonyával azonosítja a kvantumfizikai állapot és a mérési eredmények, vagyis — az általunk használt fogalmak szerint — a kvantumfizikai állapot és a sajátállapot viszonyát. (Minden sajátállapot a jellemző paraméterek egy csoportjával ekvivalens.) E felfogásnak megfelelően a kvantumfizikai állapot mint potenciálisan lehetségest tartalmazza a sajátállapotok vagy, ami ugyanaz, a paraméterek összetartozó értékeinek egy csoportját, melyek közül egyik vagy másik — attól függően, hogy milyen a mérési aktus, és hogy ez milyen kvantumfizikai állapotban találja az objektumot — megvalósul a mérés során. A kvantumfizikai leírás alapját képező statisztikus sokaságot a megvalósult mérések paraméteregyütteseinek sokasága képezi, ezek várható eloszlására tehetünk valószínűségi kijelentéseket. Megítélésünk szerint Fok e felfogásában nagyon mély gondolat rejlik, hiszen az elmondottak szerint a mérési eredményeket, illetve az eloszlásukat a mikroobjektum kvantumfizikai állapota nem önmagában, hanem a mérési kölcsönhatással együttesen határozza meg, úgy ahogy azt a mérési aktus szerepének elemzésénél láttuk. Így az a törekvés, hogy a statisztikus sokaságot mindenáron magukban a mikroobjektumokban találják meg, ellentmond a mérési aktus — azaz általában a sajátállapotba vivő objektív kölcsönhatás — döntő szerepéről szóló felfogásnak, illetve tapasztalatoknak. Nem is szólva arról, hogy a Fok-féle felfogás megnyugtatóan rendezi azt a kérdést, hogy a statisztikus leírás az egyes részecskékre vagy a halmazukra vonatkozik-e.

Bár az ilyen interpretáció igen sok lényeges kérdésre megnyugtató választ ad, így például a klasszikus és a kvantumfizikai állapot minőségi különbségének mibenlétére, a statisztikus leírás alapját képező sokaság kérdésére, a mérőberendezés szerepére a kvantumfizikai megismerésben stb., éppen ez utóbbi mozzanat, vagyis a mérőberendezések szerepe, a konkrét kvantumfizikai problémán túl általános ismeretelméleti kérdésként is felvetődik. Alapjában véve a következőkről van szó. Az ember csakis a makroszkopikusan leírható műszerek segítségével tud információkat szerezni a mikrovilágról. Más szóval ez azt jelenti, hogy a mikroobjektum mindig csak egy makroszkopikus kölcsönhatással kapcsolatos sajátállapotban jelenik meg előttünk. Nem vitás az, hogy a mikroobjektumnak az ilyen „mikro-makro” kölcsönhatásában — mint fentebb kifejtettük — érvényre jutnak a sajátos kvantumfizikai jellemzői is, mi azonban csak a mérőberendezés makroszintű változásait érzékeljük, és a kvantumfizikai paraméterekre logikai úton követ-

¹² Bár mi itt kifejezetten ismeretelméleti kép kialakítására törekedtünk, annak természetesen van bizonyos objektív fizikai tartalma is — mint ahogyan minden fizikai interpretáció tartalmaz ismeretelméleti elemeket —, és csakis ebben az értelemben beszélünk az általunk elmondottak és a Bohm-féle fizikai felfogás közötti hasonlóságról

keztetünk. Ilyenformán látni kell, hogy — bár az ortodox kvantumfizikai interpretáció szubjektívizálásai helytelenek — a mikrovilág megismerésére való áttérés ismeretelméletileg új helyzetet teremtett, aminek le kell vonni a konzekvenciáit. Ezt bizonyos értelemben megtette Fok is, amikor hangsúlyozta, hogy a kvantumfizikai leírás fogalmába a mérési kölcsönhatás szervesen, elválaszthatatlanul beletartozik. Ezt úgy fogalmazhatnánk meg, hogy a mérőberendezés sajátos szerepe a mikrofizikai leírást elválaszthatatlanul összekapcsolja a klasszikus leírással, a klasszikus fogalmakkal, hiszen a kvantumfizikai sajátosságok is csak ezeken keresztül tükröződhetnek. Természetesen, ha ismerjük és elismerjük a mérőberendezés mikrofizikai szerepének objektív jellegét, úgy a kvantumfizikai leírás semmiféle szubjektívnek tűnő vonást nem tartalmaz. A fentiekből következően jogosan feltehetjük, hogy a mérési kölcsönhatásnak a kvantumfizikai megismerésben betöltött sajátos szerepe még döntőbben jut érvényre az esetleges szubkvantumfizikai szinten. Éppen ebben rejlik ennek a felfogásnak a legfőbb heurisztikus ereje, mert előre megmutatja minden olyan törekvés céltalanságát, amely a makroszkopikus viszonyoktól teljesen független, tiszta mikrofizikai leírásra törekszik.

О ГНОСЕОЛОГИЧЕСКИХ ВОПРОСАХ ВЕРОЯТНОСТИ И КВАНТОВОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Антал Мюллер

В осмыслении особенностей квантовофизического состояния, отличающих его от классического, решающую роль играет понятие случайности и вероятности, а также отношения отдельных уровней взаимодействия. В процессе анализа этих понятий автор подчеркивает объективный и относительный характер случайных взаимодействий, а также качественную самостоятельность уровней взаимодействия. Далее, оперируя предварительно определенными понятиями, автор приходит к выводу о том, что в классическом статистическом описании вероятность представляет собой такой же решающий элемент действительности, как и в случае квантовой физики. Основа коренного различия между двумя областями состоит в том, что на уровне квантовой физики интенсивность случайных взаимодействий больше, и что измерительные процессы играют на этом уровне особую роль.

Во второй части работы автор делает попытку дать конкретную теоретикопознавательную картину квантовофизического состояния. По его мысли, это чрезвычайно нестабильное состояние (в связи с постоянным изменением случайных зависимостей), которое стабилизирует на более или менее длительное время только какое-либо более сильное взаимодействие, например, измерение. Складывающиеся стабильные состояния — так называемые собственные состояния — одинаково зависят как от особенностей измерительного устройства, так и от квантовофизических характеристик измеряемого объекта.

В своей работе автор широко использовал труды Д. Бомы и В. А. Фока. Целью его было создание в соответствующей диалектическому материализму форме единой теоретикопознавательной картины квантовой физики путем объединения двух концепций. Существенные концепциональные отклонения, имеющиеся в позициях упомянутых авторов, он попытался преодолеть на основании данного в первой части работы формулирования основных понятий.

Заключительный теоретикопознавательный вывод работы: хотя и возможны адекватные информация о микромире, его описание, совершенно независимое от классических понятий — в связи с особенной ролью измерительных процессов — невозможно.

THE EPISTEMOLOGICAL QUESTIONS OF PROBABILITY AND THE STATE OF QUANTUM MECHANICS

by Antal Müller

In the interpretation of the new features of the state of quantum physics the concepts of change and probability and the relation of the different stages of interpenetration are important. In analyzing these concepts the author stresses the objective and relative character of chance interpenetrations and the qualitative independence of these levels. Through the formerly defined concepts he concludes that reality has the same decisive role in the classical statistical description of probability as in quantum physics. The basis of the radical difference between the two fields is partly the relative intensity of chance interpenetration on the level of quantum physics and partly the special role of the measuring process.

In the second part of the study the author attempts to give a concrete epistemological picture of the state of quantum physics. In his view because of the constant change of chance interpenetrations its state is extremely unstable and it may be stabilized at times only by a relatively strong interpenetration, as measurement. The stable conditions formed thus, the conditions possessed, are therefore equally dependent on the characteristics of measuring instruments and on the quantum physical properties of the measured object.

In expounding his views the author is greatly indebted to D. Bohm and V. A. Fok. His objective is a dialectical materialistic unification of these stands in order to form a uniform epistemological picture of quantum physics. In the first part of the study he attempts to bridge the important differences in the conceptions of these two authors by re-defining the fundamental concepts.

The final epistemological conclusion is that although we can acquire sufficient knowledge of the micro-world it is impossible to describe them entirely without the use of classical concepts because of the particular role of measuring processes.