

A mérési kölcsönhatás mikrofizikai szerepéről

MÜLLER ANTAL

Egy korábbi tanulmányunkban¹ — a véletlen fogalmának, valamint a megismerési, illetve a mozgásszintek viszonyainak új értelmezése alapján — körvonalaztuk a kvantumfizikai állapotnak és ezen belül a véletlen kölcsönhatások és a mérőberendezés mikrofizikai szerepének egy lehetséges értelmezését. Ahhoz, hogy ez a kép viszonylagosan teljessé váljék, a következő — az előző tanulmányunkban csak röviden érintett — feladatokat kell még megoldani.

a) A kvantumfizikai állapotban szerepet játszó kölcsönhatás típusok összefoglalása és viszonyuk vizsgálata.

b) A mérőberendezések, illetve a mérési kölcsönhatás kivételes jelentőségű mikrofizikai szerepe miatt elengedhetetlen e fogalmak részletes elemzése.

c) A mérőberendezések, illetve a mérési kölcsönhatás mikrofizikai szerepéből adódó ismeretelméleti konklúziók levonása és esetleges általánosítása.

Ebben a tanulmányban a fenti feladatok megoldását tűztük ki feladatul. Mielőtt azonban a felvetett problémák elemzésére térnénk, röviden összefoglaljuk a véletlen kölcsönhatásról és a kölcsönhatási szintek viszonyáról az előző tanulmányban mondottak lényegét. (A részletes kifejtést illetően az említett tanulmányokra utalunk.)

A klasszikus felfogás a véletlent ismeretelméleti kategóriának fogta fel, eszerint (például a gázok statisztikus leírásánál) azért fordulunk ehhez a leírásmódhoz, mert a molekulák nagy száma miatt az — elvileg egyébként lehetséges — dinamikai („determinista”!) leírás gyakorlatilag nem alkalmazható. A véletlen tehát a megismeréssel kapcsolatos, és adott kölcsönhatás véletlen jellege a megismerés elmélyítésével (rejtett paraméterek!) legalábbis elvben megszüntethető. A kvantumfizika materialista értelmezőinek többsége is lényegében ugyanezt a véletlen felfogást kívánja alkalmazni a mikrofizikai jelenségekre. Az idealista interpretációk — bár hangsúlyozzák, hogy a véletlen a mikrofizikai folyamatok belső, lényegi sajátja — valójában nem ismerik el a véletlen objektivitását, mivel az egész interpretációt a szubjektíven értelmezett mérési kölcsönhatásra építik.

Az általunk kifejtett felfogás szerint a véletlen alapvetően nem ismeretelméleti kategória. Eszerint valamely kölcsönhatás véletlen jellege objektív és adott vonatkozásban abszolút; független attól, hogy más vonatkozásban szükségszerűségként jelenhet meg, illetve, hogy a megismerésben milyen mélyre jutottunk.

¹ Müller Antal: A valószínűség klasszikus és kvantumfizikai szerepéről. (Magyar Filozófiai Szemle, 1964/6.)

A kölcsönhatási szintek viszonyát illető felfogásunk lényege, hogy e szinteket — a közöttük levő sokoldalú, intenzív kapcsolatok ellenére — minőséileg objektíve önállóaknak tekintjük. Ez például azt jelenti, hogy bár a relativitáselmélet egyenletei, illetve törvényei határesetként tartalmazzák a klasszikus fizika törvényeit, és e mellett még sok másról is számot adnak — tehát igazságtartalmuk nagyobb, mint a klasszikus törvényeké —, a klasszikus fizikai folyamatok lényegét mégis a klasszikus, nem pedig a relativisztikus törvények fejezik ki. Ez látszik abból is, hogy ha a relativitáselmélet apparátusával egy klasszikus problémát akarunk leírni, éppen azokat a tényezőket kell határátmenetként elhanyagolni, amelyek a klasszikus és a relativisztikus folyamatokat megkülönböztetik. Hasonló megfontolás érvényes a kvantumfizika és a klasszikus fizika viszonyára is. E rövid áttekintés után térjünk át tulajdonképpen mondanivalónkra.

1. A mikrofizikában szereplő kölcsönhatás típusok

A klasszikus² kvantumfizikai jelenségek, illetve törvényszerűségek ismeretelméleti értelmezésénél a következő kölcsönhatás típusok szerepelnek.

a) *Az alapvető — belső — kölcsönhatások*, melyek stabilitásuk révén a mikrofizikai objektumok alapvető karakterének hordozói. Ezek a kölcsönhatások határozzák meg a mikroobjektum milyenségét, vagyis adják meg az objektumnak az elektron, proton stb. jelleget, karaktert.

Az alapvető kölcsönhatások stabilitása természetesen nem csak ismeretelméleti jellegű, hanem elsősorban fizikai. Ez világosan tükröződik a klasszikus kvantumfizikai szemléletben, mely szerint a részecskék száma és minősége adott. Itt annak a tapasztalatnak az általánosításával van dolgunk, hogy a klasszikus kvantumfizika által leírt folyamatokban szereplő kölcsönhatási energiák nem tudják megváltoztatni a kérdéses objektumok (pl. részecskék) alapvető minőségét, bár fizikai állapotukat intenzíven befolyásolják. (Mint ismeretes, később éppen az olyan folyamatok kerültek a fizikai kutatás előterébe, ahol a szereplő objektumok egymásba átalakulhatnak, számuk nem állandó stb. Az ilyen folyamatoknak a kvantumfizika szokásos elveivel és formális apparátusával való leírása azonban nehézségekbe ütközött.)

Az alapvető kölcsönhatások — melyeket a továbbiakban *A* típusú kölcsönhatásoknak fogunk nevezni —, bár meghatározzák a kérdéses mikroobjektum jellegét, nem jelentik egyben egy határozott állapotát is, mivel a mikroobjektum számtalan véletlen kölcsönhatásnak is ki van téve.

b) *A véletlen kölcsönhatások* lényegében az *A* típusú kölcsönhatások által többé-kevésbé elhatárolt, önállóan létező mikroobjektumnak a környezettel való kapcsolatát testesítik meg. Míg azonban a klasszikus objektumoknak a környezettel való kapcsolata jó közelítésben elhanyagolható volt (abszolút individuális állapot!), addig a mikrofizikai objektumok állapotának alakításában a véletlen kölcsönhatások — a háttér — is döntő szerepet játszanak.

A véletlen kölcsönhatások döntő mikrofizikai szerepe sem csupán ismeretelméletileg nyilvánul meg. Az, hogy a kvantumfizika statisztikus elmélet, lényege-

² Klasszikus kvantumfizika alatt a kvantumelmélet fejlődésének azt a periódusát értjük, amely a jelenségek értelmezésénél még többé-kevésbé következetesen ragaszkodott a vizsgált részecskék számának és minőségének állandóságához.

gében a véletlen kölcsönhatások szerepének fizikai kifejezése. A mikroobjektum környezetének állandó változása következtében ugyanis a véletlen kölcsönhatásoknak mind újabb és újabb együttese, konfigurációja képviseli az adott objektumnak a környezettel való kapcsolatát, ami — figyelembe véve a véletlen kölcsönhatások lényegi szerepét — az objektum „állapotának” permanens változását vonja maga után. Ez más szóval azt jelenti, hogy az A típusú és a véletlen kölcsönhatások — melyeket a továbbiakban B típusú kölcsönhatásoknak fogunk nevezni — együttesen határozzák meg az objektum állapotát; ez az állapot azonban a B típusú kölcsönhatások konfigurációjának instabilitása, permanens változása miatt nem realizálódik, csak potenciálisan „van jelen”.

Az A és B típusú kölcsönhatások együttese — és ezt az együttest nevezzük tulajdonképpen a kvantumfizikai állapotnak — mint potenciálisan lehetségest a tényleges állapotok — vagyis sajátállapotok — egész sorát tartalmazza. Azt, hogy ezen potenciálisan lehetséges állapotok közül melyik realizálódik, valósul meg, a harmadik — a mérési típusú — kölcsönhatás dönti el.

A kvantumfizikai állapot — vagyis az A és B típusú kölcsönhatások együttes konfigurációja — természetesen ugyanolyan objektív realitás, mint pl. a klasszikus fizika bármelyik paramétere (tömeg, sebesség, gyorsulás, töltés stb.). Amikor tehát azt mondjuk, hogy az A és B típusú kölcsönhatások együttese tényleges állapotokat (sajátállapotokat) mint potenciálisan lehetségeket tartalmaz, nem a potencialitást kívánjuk a realitás elé helyezni. Általában a mikroobjektum nincs sajátállapotban, de megvan a lehetősége, hogy adott objektív körülmények között sajátállapotba kerüljön; csupán ebben az értelemben használjuk a potenciálisan lehetséges kifejezést.

c) *A mérési típusú kölcsönhatások segítségével, illetve következtében realizálódik a potenciálisan lehetséges állapotok valamelyike, s eközben a mérési típusú kölcsönhatás maga is — bizonyos értelemben — részévé válik ennek az állapotnak.* E kölcsönhatások — melyeket a továbbiakban C típusú kölcsönhatásoknak fogunk nevezni — funkciójukat tekintve lényegesen különböznek az A és B típusú kölcsönhatásoktól, amennyiben az ezek által potenciálisan képviselt valamelyik pillanatnyi állapotot mintegy stabilizálják vagyis realizálják. A B és a C típusú kölcsönhatások az adott objektumhoz viszonyítva egyaránt külsőek, a mikrofizikában játszott szerepük szempontjából azonban az eltérő funkciójukban megnyilvánuló különbségük áll előtérben.

Bár részletesen a következő fejezetben foglalkozunk vele, szükségesnek látjuk már itt megemlíteni, hogy *a tulajdonképpeni mérést az általunk mérési típusúaknak nevezett kölcsönhatások egy speciális esetének tekintjük.* Bár ismeretelméletileg a tényleges mérések játsszák a döntő szerepet, mégis indokolatlan a „potenciálisan realizáló” kölcsönhatások körét a tényleges mérésekre szűkíteni.

Természetesen a C típusú kölcsönhatások mikrofizikai szerepe is tükröződik a fizikai tapasztalatokban. A kvantumfizika egyik legsarkalatosabb pontja éppen a mérési folyamat állapotmeghatározó szerepe. Az, hogy a potenciálisan lehetségesek közül melyik állapot realizálódik, a három kölcsönhatás típus mindegyikétől függ; pontosabban attól, hogy a C típusú kölcsönhatás az A és B típusú kölcsönhatások milyen konfigurációjával koincidál. Ez a felfogásunk lényegében megegyezik Fok felfogásával,³ azzal az eltéréssel, hogy

³ Fok, V. A.: A kvantumfizika interpretációjáról. (A modern természettudományok filozófiai problémái c. gyűjtemény. Akad. Kiadó. 1962.)

ő nem különbözteti meg a kvantumfizikai állapoton belül az A és a B típusú kölcsönhatásokat, és csupán a mikroobjektum belső sajátosságairól, illetve a mérésről beszél.

A kvantumfizikai állapottal, illetve a mérési típusú kölcsönhatás szerepével kapcsolatos ismeretelméleti kérdéseket részletesen a harmadik pontban tárgyaljuk, a kölcsönhatás típusokról mondottak teljessége kedvéért azonban itt kell még néhány megjegyzést tenni.

Az A és B típusú kölcsönhatások együttesének permanens változása az individualitás dinamikus jellegének előtérbe jutását jelenti a mikrofizikában. Az A és B típusú kölcsönhatások együttese potenciálisan minden időpillanatban egy meghatározott állapotot képvisel — illetve a különböző mérési típusok szempontjából potenciálisan lehetséges állapotok adott együttesét —, de a realizálódáshoz még a C típusú kölcsönhatásra is szükség van. (A kvantumfizikai állapot individualitásának ezen sajátos jellege miatt vezettük be az idézett tanulmányban a „kvázi-individuális” állapot elnevezést, megkülönböztetésül az állapot klasszikus fogalmától.)

A kvantumfizikai állapotot nem lehet úgy felfogni, hogy nagyon rövid ideig tartó individuális állapotok sorozata; az A és B típusú kölcsönhatások együttese adott időpillanatban meghatározott individuális jelleget képvisel, s a C típusú kölcsönhatás jelenléte esetén mindig egy *meghatározott* — de e kölcsönhatás jellegét is magán viselő! — állapot realizálódik. Másrészt a B típusú kölcsönhatások kombinációjának, illetve végső soron a környezetnek a permanens változása miatt a potenciálisan lehetséges állapotok is állandóan váltják egymást.

Végül szükségesnek látjuk megjegyezni, hogy az A , B és C típusú kölcsönhatásokat — mivel a konkrét fizikai formájuk közömbös a filozófia számára — kizárólag filozófiai fogalomként használtuk, s ilyen formájukban alkalmasabbak az általánosításra.

2. A mérőberendezés és a mérési kölcsönhatás

A mérési folyamat, illetve a mérőberendezés kitüntetett mikrofizikai szerepe elengedhetetlenné teszi e fogalmak részletes elemzését. Tudománytörténeti tény, hogy erre a problémára az idealisták által adott negatív megoldások⁴ hívták fel a kvantumfizika dialektikus materialista értelmezőinek figyelmét. Az utóbbi másfél évtizedben már a kvantumfizika dialektikus materialista értelmezésében is jelentős helyet foglal el a mérőberendezés, illetve a mérési kölcsönhatás strukturális és funkcionális elemzése.⁵

A később kifejtendőkhöz mintegy összehasonlítási alapul foglaljuk össze a mérőberendezés, illetve a mérési kölcsönhatás mikrofizikai szerepével kapcsolatos idealista álláspontok közös lényegét. Ismeretes, hogy a kvantummecha-

⁴ Például Heisenberg, W.: Változások a természettudományok alapjaiban. (Egyetemi Nyomda, 1946.), vagy Born, M.: Kísérlet és elmélet a fizikában. (Egyetemi Nyomda, 1947.)

⁵ Ma már általános, hogy a mérőberendezés mikrofizikai szerepét nem globálisan értelmezik, hanem a struktúrája alapján, az egyes részeinek funkciójából eredő kölcsönhatásokból építik fel.

nikai leírás szerint a „magára hagyott” — tehát kölcsönhatásban nem levő⁶ — részecske nincs sajátállapotban; az őt reprezentáló hullámfüggvény időbeli változását a Schrödinger-egyenlet írja le. Ha azonban kölcsönhatásba kerül, például a mérőberendezéssel, sajátállapotba jut, vagyis felveszi a mérésmódnak megfelelő fizikai paraméternek a hullámfüggvény sajátértékei által kijelölt valamelyik értékét. Ezt a *tényt* kiegészítve azzal, hogy a mérőberendezések mintegy érzékszerveink meghosszabbításaként foghatók fel, és ilyen formán — állításunk szerint — a szubjektumhoz tartoznak, arra a következtetésre jutottak, hogy végső fokon a szubjektum befolyásolja, „teremti” a mikroobjektumot. Ezt az állítást többen is (például Fogarasi⁷) logikailag kielégítően cáfolták — rámutatva, hogy érzékszerveink maguk is objektív anyagi valóság részei, így a mérőberendezésekkel való bármilyen szoros kapcsolatuk sem ad ezeknek szubjektív jelleget —, a cáfolaton túlmenő, pozitív dialektikus materialista megoldás azonban elengedhetlenné teszi a mérési folyamat, illetve a vele kapcsolatos eszközök szerepének részletes elemzését.

Bár a mérési kölcsönhatás, illetve a mérőberendezés elemzése több dialektikus materialista szerzőnél megtalálható,⁸ mégis foglalkoznunk kell vele, mert a szokásos felfogástól eltérően lehetségesnek és szükségesnek látjuk — a tényleges mérést mint speciális esetet magában foglaló általánosabb fogalomnak — az úgynevezett *mérési típusú kölcsönhatások* fogalmának bevezetését. Ennek az általánosításnak a jogosultságát a mérési kölcsönhatás, illetve a mérőberendezés elemzése alapján kívánjuk igazolni.

Margenau munkája óta a mérőberendezést három alapvető részre szokás felosztani: 1. az előkészítő rész, 2. a munkarész (itt történik a tulajdonképpeni mérési kölcsönhatás), és 3. a regisztráló rész. Így például az elektrondiffrakció vizsgálatánál az elektronforrás és a nyaláboló elektródák az előkészítő rész, a diffrakciót előidéző rács (kristály) a munkarész, míg a fotólemez a regisztráló rész. (Egyes szerzőknél⁹ ettől eltérő felosztást is találhatunk, a különbség azonban az általunk vizsgált szempontból nem lényeges.) A továbbiakban a már joggal klasszikusnak tekinthető felosztás és a kvantumfizikai állapotról, illetve a benne szereplő kölcsönhatás típusokról korábban adott értelmezés alapján elemezzük a mérőberendezés részeinek szerepét.

Az *előkészítő részhez*. A mérőberendezés e részének feladata, hogy biztosítsa a tényleges mérési kölcsönhatás számára az azonos hullámfüggvényű részecskéket. Ezt általában bizonyos makroszkopikus feltételek állandó értéken tartásával éri el. Az ilyen előkészítés természetesen nem biztosítja, hogy utána valamennyi részecske *azonos* „állapotban” van,¹⁰ hanem csupán azt, hogy e részecskék viselkedését azonos hullámfüggvény írja le. Lényegében arról van szó, hogy a makroszkopikus feltételek azonos szinten tartásával azonos mértékig korlátozzuk a részecskéknek a környezettel való kölcsönhatását, más szóval: biztosítjuk a részecskék kvantumfizikai állapotában szereplő

⁶ Nyilvánvaló, hogy a „magára hagyott” részecske valójában intenzív kölcsönhatásban van a környezettel, ami éppen a hullámfüggvény valószínűségi eloszlás jellemben nyer kifejezést. A kölcsönhatásmentesség csupán a *C* típusú kölcsönhatások hiányát jelenti.

⁷ Fogarasi B.: Logika. Függelék. (Akadémiai Kiadó, 1957.)

⁸ Például Fok idézett cikke, vagy Pahomov: K opredeleniju panjatija „pribor”. (Filozofszkie Nauki, 1963/6.)

⁹ Pahomov: Id. cikk.

¹⁰ Mint korábban láttuk, a szó klasszikus értelmében itt nem is lehet állapotról beszélni.

B típusú kölcsönhatások adott konfiguráció spektrumát. Ha ugyanis a környezet csak azonos módon léphet kölcsönhatásba az egyes részecskékkel, úgy a környezet változása a mikrorészecskék kvantumfizikai állapotának (vagyis az A és B típusú kölcsönhatások együttesének) *statisztikusan azonos* ingadozását eredményezi. Mivel azonban a részecskék egymástól függetlenek, a mindnyájukra érvényes valószínűségi eloszláson belül *az adott időpillanatban reprezentált potenciálisan lehetséges állapotok eltérőek lehetnek*.

Nyilvánvaló az is, hogy a makroszkopikus körülmények állandó értéken tartása nem eredményezheti a B típusú kölcsönhatások egyértelmű konfigurációját, mivel adott makroszkopikus állapotban belül a mikroszkopikus elrendeződés még igen sokféleképpen alakulhat. A makroszkopikus feltételek ilyen stabilizálása nélkül azonban még a hullámfüggvény állandósága sem lenne biztosítva. Márpedig csakis a hullámfüggvény állandósága garantálja azt, hogy a mérési eredmények *tényleges* eloszlása adekvát tükröződése legyen a kérdéses mikroobjektumok potenciálisan lehetséges állapotai *valószínűségi eloszlásának*. A kérdéses objektumok *mérés előtti* állapotára ugyanis csak így lehet következtetni. Az elmondottak alapján hangsúlyozzuk azt a lényeges momentumot, hogy míg a mérési kölcsönhatás vonatkozásában a mért objektumot jellemző paraméter konkrét értékéről beszélhetünk (természetesen esetleg minden mérésnél más és más értéket találunk), addig *az objektum mérés előtti helyzete csakis a potenciálisan lehetséges állapotok valószínűségi eloszlásával jellemezhető*. A kvantumfizikai állapot általunk adott értelmezése alapján — mely szerint ez az állapot nem más, mint az A és B típusú kölcsönhatások permanensen változó együttes konfigurációja — a mért paraméter értékek és a mérés előtti állapot ilyen viszonya természetes. Világosan kitűnik az is, hogy a hullámfüggvény objektivitása nemcsak a tényleges mérési eredmények várható eloszlásának leírásában mutatkozik meg, hanem abban is, hogy a hullámfüggvény *a mérő-apparátusok által képviselt vonatkozási rendszerekben* egyúttal a mérés előtti „állapot” objektív jellemzője.

A munkarészhez. A mikroobjektumoknak a munkarésszel való kölcsönhatása az, amelyet — ha a tényleges mérésekre szorítkozunk — az előzőekben mint C típusú kölcsönhatást említettünk. Tehát, mint az előbbiekből láttuk, a C típusú kölcsönhatásnak s ezzel együtt a mérőberendezés munkarészének is az a szerepe, hogy az A és B típusú kölcsönhatások változó együtteseként értelmezett kvantumfizikai állapotban foglalt potenciálisan lehetséges állapotok valamelyikét realizálja. Ez lényegében azt jelenti, hogy a mérési kölcsönhatás az előkészítő rész által biztosított makroszkopikus állandóságon belül még tovább korlátozza az objektumnak a környezettel való kölcsönhatási lehetőségeit, legalábbis a mérőberendezés által reprezentált paraméter vonatkozásában. Más paraméterek vonatkozásában a kölcsönhatási lehetőség esetleg növekszik (például egy impulzusérték konkrét megmérése növeli a koordináta-érték határozatlanságát és viszont).

Sokan szokták a makroszkopikusan leírható mérőberendezést magát is egy mikrofizikai sokaságnak tekinteni,¹¹ ezzel mintegy arra utalva, hogy minden mérés lényegében mikroobjektumok kölcsönhatása. A mikrofizikai folyamatokban szereplő kölcsönhatás típusokról mondtak szerint azonban nyilvánvaló, hogy a mérőberendezést alkotó elemi részek, atomok — azon kölcsönhatások miatt, melyek együttesüket makroszkopikus tárggyá teszik — nincse-

¹¹ Blohincev, D: A kvantummechanika alapjai. (Tankönyvkiadó, 1952.)

nek kvantumfizikai állapotban. Így a mérendő objektumnak a mérőberendezéssel való kölcsönhatása (makroszkopikus mérőberendezés esetén) nem tekinthető azonosnak például két mikroobjektum kölcsönhatásával. Ezt azért tartottuk szükségesnek hangsúlyozni, mert a makroszkopikus mérőberendezés mikrosokaságként való felfogása olyan következtetésekre ösztönöz, mintha a mikroobjektumok leírásánál a klasszikus fogalmaktól — legalábbis elvben — el lehetne tekinteni. *Ha azonban a mérőberendezést egyúttal a leírás, a megismerés vonatkoztatási rendszerének fogjuk fel, a klasszikus fogalmaktól való elvonatkoztatásról természetesen szó sem lehet.*

Az eddigiekben általában makroszkopikus mérőberendezésekről esett szó. Emellett természetesen elismerjük olyan esetek lehetőségét is, mikor a munkarész maga is mikroobjektum,¹² sőt esetleg azonos magával a mérendő objektummal. Nyomatékosan ki szeretnénk azonban emelni, hogy az előzőekben definiált és alkalmazott *C* típusú kölcsönhatás filozófiai fogalom; a lehetséges konkrét fizikai mérési kölcsönhatások bármelyikével való azonosítása helytelen, e fogalom tartalmának leszűkítését jelentené. A *C* típusú kölcsönhatás lényege, mint láttuk, az, hogy bár az *A* típusú kölcsönhatások konfigurációját (vagyis az objektum alapvető minőségét) nem képes megváltoztatni, ugyanakkor képes a *B* típusú kölcsönhatások körét olyan mértékig korlátozni, hogy ezzel az objektum egy paramétere határozott értéket nyerhet. Lényegében tehát az egyik lehetséges érték valószínűségét a bizonyossáig növeli, a többi rovására. Az, hogy valamely mikroobjektumot az ilyen típusú kölcsönhatás hol éri, valamely emberi mérőeszköz munkarészében-e, vagy természetes körülmények között, lényegtelen, illetve csak annyiban lényeges a filozófia számára, hogy világos képet ad a mérőberendezések mikrofizikai szerepéről. Természetesen ennek a problémának éppen az ismeretelméleti oldala a leglényegesebb, hiszen a kvantumfizikai objektumok leírásánál alapul szolgáló mérési eredmények igazságértékéről van szó. Ezért a *C* típusú kölcsönhatásokat célszerű mérési típusú kölcsönhatásnak nevezni. Így kiemeljük a mikrofizikai megismerés problémáját, ugyanakkor elkerüljük a konkrét méréssel való azonosítás veszélyét.

Az elmondottak alapján lehetőség kínálkozik a hullámfüggvény kvantumfizikai szerepének összefoglaló értelmezésére. Már láttuk, hogy — az általunk adott felfogásban — a hullámfüggvény az objektum potenciálisan lehetséges állapotainak valószínűségi eloszlását, illetve ennek változását írja le. Mivel — ha az *A* típusú kölcsönhatások együttesét adottnak tételezzük fel (azaz a részecske minősége változatlan!) — a potenciálisan lehetséges állapotok valószínűségi eloszlása lényegében a *B* típusú kölcsönhatásoktól függ, *a hullámfüggvény végső soron a B típusú kölcsönhatások konfigurációjának, vagyis az objektum környezettel való kölcsönhatásainak változását írja le.* Ez a leírás — e változások véletlen jellegének megfelelően — természetesen statisztikus.

A regisztráló részhez. A mérőberendezés, tehát a tényleges mérési folyamat elengedhetetlen része a regisztrálás. Feladata a munkarészben végbement kölcsönhatás eredményének az ember számára is hozzáférhető (adekvát!) változással való kifejezése. Természetesen felvetődik a kérdés: hogyan lehet adekvát a regisztráló rész változása a mérendő objektumnak a munkarész utáni állapotával, mikor maga a regisztráló rész is szükségképpen kölcsönhatásában van a vizsgált objektummal, és így (esetleg) lényegesen befolyásolhatja annak

¹² Pahomov: Id. cikk.

állapotát. Ez általában így is van, és elsősorban ennek a következménye, hogy például Fok szerint a mérési eredmény ténylegesen a regisztráló részben jön létre. Az eredmény azonban mégis tükrözi az objektumnak a munkarésszel való kölcsönhatás következtében kialakuló sajátállapotát, ami annak a következménye, hogy a regisztrálási kölcsönhatás eredménye szükségképpen függ attól is, hogy a regisztrálás pillanatában milyen állapotban volt a vizsgált objektum. Itt lényegében arról van szó, hogy — pl. az elektron diffrakció esetén — a regisztráló berendezés típusa dönti el azt, hogy az elektronnak a korpuszkuláris vagy a hullám tulajdonságát mérjük-e. Nyilvánvaló azonban, hogy az e típusokon belül mérhető konkrét paraméter érték az objektum regisztrálás előtti állapotától is függ.

Lényeges különbség van a munkarésszel és a regisztráló résszel való kölcsönhatás között. A munkarész általában egy nem sajátállapotban levő objektummal lép kölcsönhatásba, és a sajátállapot éppen e kölcsönhatás eredményeként alakul ki. Ezzel szemben a regisztrálási kölcsönhatás vagy a már sajátállapotba került objektumra hat, így — legalább is a mért paraméterek szempontjából — klasszikusnak tekinthető, vagy pedig a munkarész által már eldöntött konkrét paraméter értéket realizál. Így pl. az említett diffrakciós kísérletnél a munkarész (a rács) után még választhatunk, hogy milyen módon, tehát milyen paraméter értéket regisztráljunk, a diffrakciót szenvedett elektronok paraméterei — pl. térbeli lokalizációjuk — azonban a ráccsal történt kölcsönhatás által már adottak.

Vannak természetesen egyszerűbb esetek is, például amikor a munkarész maga a vizsgált objektum (pl. spontán bomlás esetén), és csupán a regisztrálás történik mesterséges eszközökkel.¹³

Az elmondottak alapján látható, hogy a regisztrálás útján nyert mérési eredményeket meghatározó azon motívumok, melyek következtében ez az eredmény jellemző a munkarésszel való kölcsönhatás által realizált állapotra, már a regisztrálás előtt adottak. *Maga a regisztrálás legfeljebb megváltoztatja a már meglevő sajátállapotot, de nem feltétele a létrejöttének.* Ez pedig azt jelenti, hogy jöllehet a mikrovilágról szóló ismereteink igazságértékének megítélésénél lényeges a regisztráló berendezés szerepe, a kvantumfizikai állapotban rejlő potenciálisan lehetséges állapotok realizálódásánál nem. Így a mérési folyamattal, a mérési kölcsönhatással kapcsolatos szubjektivista konklúziók eleve elesnek, mivel egy konkrét állapot létrejöttének a mérés — amely szükségképpen magában foglalja a regisztrálást is — nem feltétele, hanem csupán a *mérési típusú kölcsönhatás*, mely létrejöhet a tényleges mérőberendezés munkarészeiben, vagy az embertől teljesen független körülmények között is.

3. *A mérőberendezés és a mérési kölcsönhatás mikrofizikai szerepének néhány ismeretelméleti konklúziója*

A mérési típusú kölcsönhatások mikrofizikai szerepének, illetve a kvantumfizikai állapotnak a kifejtett értelmezéséből egyrészt közvetlenül adódik néhány fontos filozófiai következtetés, másrészt fontos általánosítások adódnak belőle.

Mindenekelőtt a véletlen kölcsönhatásoknak a tudományos megismerésben játszott szerepével kapcsolatos szokásos felfogás szorul némi módosításra.

¹³ Uo.

A dialektikus materialista filozófiai irodalomban a véletlen kölcsönhatásokat Engels óta¹⁴ — ismeretelméletileg — úgy tekintik, mint amelyeket a tudománynak csupán azért kell vizsgálnia, hogy mögülük kihámozza a lényegi, törvényszerű összefüggéseket. Más szóval, e felfogás szerint a véletlen kölcsönhatás nem önmagáért érdekli a tudományt, sőt határozottan *negatív szerepet játszik*, hiszen elfedi a jelenségekben rejlő törvényszerűségeket. A véletlen kölcsönhatások ilyen ismeretelméleti értelmezése lényegében azt a klasszikus tudományos tapasztalatot tükrözi, hogy a dolgok és jelenségek alapvető kölcsönhatásaik által annyira determináltak, individuálisan annyira jól elhatároltak (abszolút individuumok!), hogy a környezettel való kapcsolatuk, illetve általában a nem alapvető összefüggéseiket reprezentáló véletlen kölcsönhatások változása nem érinti lényegüket, ezektől el lehet (sőt el is kell!) tekinteni.

A mikrofizikai kutatás tapasztalatai, illetve az előző pontokban kifejtett felfogásunk szerint a véletlen kölcsönhatások — pontosabban a pillanatnyi kombinációjuk — ugyanolyan lényeges szerepet játszanak az objektum kvantumfizikai állapotának kialakításában, mint az alapvető kölcsönhatásai. Vagyis a kvantumfizikában a véletlen kölcsönhatások is az objektív valóság lényegéhez tartoznak — így, ha nem is az egyes véletlen kapcsolatokat, de az objektum állapotának alakulásában szerepet játszó véletlen kombinációk valószínűségi eloszlását a tudománynak *mint pozitív megismerési mozzanatot* kell felfogni.

A második igen fontos — és megítélésünk szerint teljes általánosságban kimondható — következtetés a mikroobjektumok világáról szerzett ismereteink igazságértékére vonatkozik. Az emberiség egész eddigi tudományos tapasztalata azt mutatja, hogy ismereteink, pontosabban az objektív valóság leírására szolgáló foglmaink, az egyes folyamatok jellemzésére használt paraméterek stb. csak akkor nyernek értelmet, ha meghatározott vonatkoztatási rendszerben alkalmazzuk őket. Nincs semmi értelme például annak a kijelentésnek, hogy valamely test pályája kör, ha nem adjuk meg a vonatkoztatási rendszert stb. Egyebek között erre a tapasztalatra is épít a dialektikus materializmus, amikor kimondja az ismereteink relatív és abszolút voltáról szóló tételét. Valóban, ismereteink relatívak, hiszen meghatározott vonatkoztatási rendszerben érvényesek, de abszolútak is, hiszen az objektív valóság egy konkrét megnyilvánulási formáját, illetve egy oldalát lényegi módon tükrözik. Tulajdonképpen ezt a dialektikus materialista ismeretelméleti tételt alkalmazza Fok¹⁵ a mikrofizika konkrét esetére, amikor kimondja, hogy valamely mérés-sorozat eredményeként kapott valószínűségi eloszlás nem *önmagukban* jellemzi az objektumokat, hanem a különböző típusú műszerekhez való viszonyukban. A mikrofizikai ismereteink igazságértékével kapcsolatos megítélés teljes általánossága megkívánja, hogy a vonatkoztatási rendszer fogalmát ne szűkítsük le a koordináta rendszer fogalmára. Ez azért igen lényeges, mert a fizikában például többnyire koordináta rendszerről beszélünk, amely egy *passzív* vonatkoztatási rendszer, míg a valóságban inkább arról van szó, hogy a dolgot valamely ismerve egy másik dologgal való kölcsönhatásában jellemzi, ahol természetesen a kérdéses „vonatkoztatási rendszer” — vagyis a másik dolog — *aktívan* hat a vizsgált paraméterrel jellemzett dologra, részt vesz ennek a paraméternek a kialakításában. A mérőberendezés mikrofizikai szerepe

¹⁴ Engels: A természet dialektikája. Marx—Engels Művei. 20. köt. Bp. 1963. 494 o.

¹⁵ Fok: Id. cikk.

a vonatkoztatási rendszernek ebbe az általánosabb fogalmába illeszthető be.

A fent elmondottak alapján egyáltalán nem indokolt, hogy sokan az adekvát leírás kritériumának tekintik a mérőberendezéstől, illetve a mérési kölcsönhatástól független paraméterekkel történő jellemzést. Mint láttuk, egészen általánosan elmondhatjuk, hogy az objektív dolgokat egyetlen paraméterük sem jellemzi önmagukban, kölcsönhatásaiktól függetlenül, hanem csakis ezeken keresztül.¹⁶ Miért lennének ez alól kivételek a mikrofizikai objektumok, illetve a mérési kölcsönhatás? Probléma csak akkor jelentkezik, ha a mérési kölcsönhatást szubjektivizáljuk. Valójában a mikrofizika nemcsak hogy nem kivétel a fenti ontológiai elv alól, hanem éppen a legkarakterisztikusabb kifejezője. A tudunktól függetlenül létező objektív dolgok azon tulajdonsága, hogy mindig valamely kölcsönhatáson keresztül nyilvánulnak meg, a mikrofizika estében különösen fontos szerephez jut (vagy inkább: különösen éles kifejezés nyer), mégpedig — a mérési kölcsönhatás adott szinten determináló jellege miatt — annyiban, hogy az e terület jelenségeiről szerzett tudásunk elkerülhetetlenül magán viseli a mérési kölcsönhatás nyomát. (Természetesen nem a mérő szubjektum nyomát!) Ez azonban csupán ezen ismeretek — adekvát tartalmuk mellett is — relatív voltát emeli ki, de nem kölcsönöz nekik semmiféle szubjektív jelleget.

Egyébként az, hogy a megismerés eszköze bizonyos módon és bizonyos fokig befolyásolja a szerzett ismereteket, nem egyedül a mikrofizika sajátja. Általában is igaz az, hogy a rendelkezésünkre álló természetes és mesterséges¹⁷ megismerő apparátusok — adott időpillanatban — bizonyos mértékig meghatározzák a szerezhető ismeretek mennyiségét és minőségét.¹⁸ Ugyanakkor ezek az eszközök — mind a természetesek, mind a mesterségesek — az embernek a természettel való szoros kölcsönhatásában fejlődtek ki, és alakulnak, fejlődnek állandóan. Így tehát a megismerés változó, dinamikus folyamata során sokoldalúságában és mélységében is bővül az elérhető adekvát ismeretek köre — de az említett korlátoktól az emberi megismerés természetéből kifolyóan sohasem lehet mentes. Ezen általános korlát egyik konkrét megnyilvánulását fogható fel a mérőberendezés speciális „közvetítő” szerepe a mikrofolyamatok megismerésében.

Látható az elmondottak alapján, hogy az emberi ismeretszerzés ilyen dinamikus korlátainak — ezek között a mérőberendezés mikrofizikai szerepének — elismerése egyáltalán nem jelent agnoszticizmust. Hiszen a megismerő szubjektum eszközeinek a megismerési kölcsönhatásban létrejövő fejlődése magában rejti a megismerés végtelen lehetőségét. Itt tehát egy elvi korlát és a megismerés végtelenségének elvi lehetősége dialektikus egységben jelentke-

¹⁶ Egyes felfogások szerint a fizikai objektumoknak vannak olyan tulajdonságaik, amelyek az objektumokat a kölcsönhatásaiktól függetlenül is jellemezhetik (pl. tehetetlenség, töltés stb.), s így mintegy a többi tulajdonság hordozóiként foghatók fel. E kérdéssel itt részletesen nem foglalkozunk, mivel egyes tulajdonságok ilyen módon való esetleges elhatárolása nem érinti a vonatkoztatási rendszer szerepét az összes többi tulajdonságokkal kapcsolatban.

¹⁷ Az ember érzékszervei és gondolkozási, logikai képessége mint természetes, az általa készített vagy felhasznált eszközök, műszerek mint mesterséges megismerési eszközök foghatók fel.

¹⁸ Ezt konkrétan a fizikai elvekre és a matematikai apparátus fizikai szerepére vonatkozóan lásd: Müller Antal: A modern fizika eredményeinek filozófiai interpretálásáról. Magyar Filozófiai Szemle, 1963/6.

zik. A korlátok tagadása a relatíve adekvát ismeretek abszolutizálásához, a megismerési folyamat végtelenségének tagadása pedig agnoszticizmushoz vezet.

Mindaz, amit itt elmondottunk, a klasszikus kvantumfizikai folyamatok illetve eredmények ismeretelméleti modellje kíván lenni; tehát nem veszi, tekintetbe azokat a kölcsönhatás típusokat, amelyek során a mikroobjektumok száma változik, egymásba átalakulhatnak stb.

Mégis az általunk adott ismeretelméleti kép alapján eléggé kézenfekvő a következő gondolatmenet. A klasszikus kvantumfizika azért operálhatott az elemi részecskék minőségének és számának változatlanságával, mert az általa leírt kölcsönhatási szinten nem léptek fel olyan intenzív effektusok, amelyek a mikroobjektum alapvető karakterét meghatározó kölcsönhatások (A típusú kölcsönhatások) stabilitását érintették volna. Ezzel szemben az úgynevezett elemi részek kölcsönhatásait leíró modern elméletben olyan effektusok is vannak, amelyek az alapvető karaktert hordozó A típusú kölcsönhatások stabilitását megbontják, átrendeződéseket hoznak létre stb. Ezek a kölcsönhatások nyilvánvalóan nem tartozhatnak az általunk definiált A, B és C típusba, hanem ezektől eltérőeknek kell lenniük. Ez azonban már egy más kölcsönhatási szint, így a klasszikus kvantumfizika körében nem definiálható.

О МИКРОФИЗИЧЕСКОЙ РОЛИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Антал Мюллер

В первой главе работы автор систематизирует типы взаимодействия, наблюдаемые в «классической» квантовой физике — т. е. предполагающей постоянным внутри данной системы число и качество частиц —, анализируя роль этих типов в складывании состояния микрообъекта. Автор приходит к выводу, что квантово-физическое состояние микро-системы в качестве потенциальной возможности содержит в себе целый ряд собственных состояний, и тот факт, какое из этих состояний реализуется в данном случае, зависит и от характера взаимодействия измерительного типа. Введенное автором понятие взаимодействия измерительного типа гораздо шире понятия действительного физического измерения и содержит в себе это последнее в качестве специального случая.

Вторая глава исследует роль отдельных компонентов измерительного оборудования в отношении микрофизического познания. Автор принимает классическое тройственное разделение и приходит к выводу о том, что подготовительная часть необходима для получения частиц систем тождественной волновой функции, тогда как в рабочей части решается вопрос о характере реализующегося собственного состояния. Регистрирующая часть в некоторых случаях может влиять на собственное состояние, но не является необходимой для его возникновения.

Третья глава посвящена гносеологической стороне проблематики. Автор подчеркивает позитивную роль вероятностного распределения случайных взаимодействий в микрофизическом познании. Зависимость наших знаний о микрофизической системе от измерительного устройства понимается автором как специальный случай зависимости всякого знания от соотносительной системы. На основании изложенного — в качестве конечного заключения — автор отвергает независимость от измерительного устройства как критерий адекватного описания.

THE ROLE OF THE RECIPROCAL EFFECT OF MEASUREMENT IN MICROPHYSICS

by A. Müller

In the first chapter of the study the author systematizes the types of reciprocity occurring in "classical" quantum physics. Here classical refers to those mentioned types

which presume the constant number and quality of particles within one system. Then he analyzes the role of these types in the change of state of a microobject. He concludes that the quantum physical state of a microsystem includes a series of own states as a potential possibility and which of these becomes realized in a given case is also dependent on the nature of the measureable type of interpenetration. This type of interpenetration which the author introduces is a much broader concept than actual physical measurement and contains this latter as its special case.

The second chapter examines the individual components of measuring devices in connection with microphysical cognition. The author accepts the classical three-fold division and concludes that the preparatory part is indispensable for the production of particles (systems) with identical wave function, while the practical part determines the nature of the own state being realized. The registered section may influence the own state but it is not indispensable for this state coming into being.

The third chapter treats the epistemological aspects of the associated problems, emphasizes the positive role of the distribution of the probability of the interpenetrations in microphysical cognition. The dependence of our knowledge about the microphysical system on measuring devices is regarded as the special case of the dependence of all our knowledge on the system of reference. Consequently he rejects the independence from measuring devices as the criterion of adequate description.