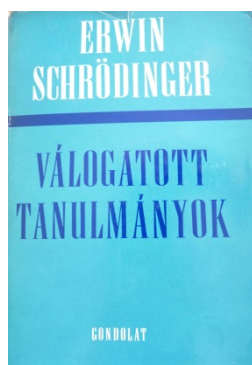


Kvantummacskák és más kvantumhuncutságok III. rész

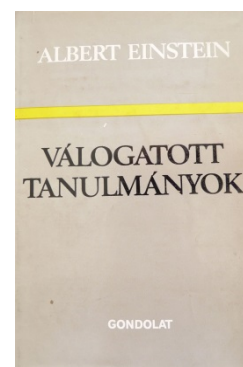
Az EPR gondolat kísérlet és a rejtett változók elmélete

1. Az EPR gondolat kísérlet és a „titokzatos” távolhatás

A kvantummechanikával kapcsolatban **Einsteint** több dolog zavarta, egyrészt az, hogy a leírás módja nem tükrözi a dolgok determinisztikus jellegét, másrészt valamiféle nem-lokalitásra¹ lehet következtetni belőle, és ez ellentmond eddigi tapasztalatainknak. Ellenérzéseit az elhíresült EPR gondolat kísérletben fogalmazta meg, melyet Boris **Podolsky**-val és Nathan **Rosen**-nel közösen publikált. Nagyon leegyszerűsítve ez a gondolat kísérlet arról szól, hogyha két kölcsönható részecske eltávolodik egymástól, akkor – a kölcsönhatásuk során „elszenvedett” – állapotváltozásuk miatt az egyik részecskén végzett mérés a másikkal is szolgáltat információt. Természetesen mindez csak akkor igaz, ha a részecskéket időközben más hatás nem éri, eltávolodásuk mértéke viszont nem számít. Ezt sokan úgy



értelmezik, mintha létezne egy „titokzatos” távolhatás, amellyel az egyikén végzett mérés a másikkal is hatással lenne. Nem minősítem a problémát, mert a kvantummacskáról szóló cikkemben² már megfogalmaztam értetlenségemet, hiszen ha **Schrödinger** macskájának gondolatjátékát egy kicsit megváltoztatjuk azzal, hogy a cicát és a gyilkos szerszámot az általunk is tudott, de eredményét tekintve ismeretlen interakciójuk után tetszőleges távolságra visszük egymástól, akkor állapotuk valószínűségeinek matematikai leírása mit sem változik addig, amíg valamilyen hatás nem éri a kettős rendszer bármelyikét. Az egyikükön végzett „mérés” pedig információt ad a másik állapotáról is. Az ember



nem lát ebben semmi problémát addig, amíg a kvantummechanika szakzsargonját bele nem keverjük, azaz arról beszélünk a részecskék hullámegyenletét tekintve, hogy a mérés során a hullámegyenlet „összeomlik”, és a részecske „beugrik” a mért állapotba, az ő mérése hatására pedig a másik részecskének is „be kell ugrania” a mérésből következtetett állapotába. Erről és általánosságban a mérési folyamatokról egy későbbi cikkben fogok részletesebben írni a Bell-egyenlőtlenségek kapcsán.

Véleményem szerint itt is hasonló a probléma ahhoz, amiről már írtam az entrópiával kapcsolatban. Ugyanis egy entrópia-számításkor két rendszer összenyitásánál mért entrópia-változásban nincs semmi különös, ha nem feledkezünk meg az „összenyitás” mozzanatáról, melyben az addig két különálló rendszer eggyé válva veszít a bonyolultságából, ami matematikailag kifejezve azt jelenti, hogy az entrópia nő. Ha úgy interpretáljuk a hőtan második főtételeit, amint sokan teszik – például: „spontán folyamatok esetében a magukra hagyott rendszerek entrópiája nem csökkenhet” – akkor épp a változás okozója marad

¹ Nem-lokalitás alatt általában az értendő, hogy a tér két pontja között valamiféle időtlen kapcsolat áll fenn.

² Lásd „Kvantummacskák és más kvantumhuncutságok I. rész”;

<http://infinitemath.hu/index.php/egyeb/item/205-quantummacsk%C3%A1k-%C3%A9s-m%C3%A1s-quantumhuncuts%C3%A1gok-i-r%C3%A9sz.html>

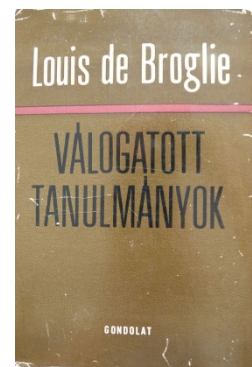
homályban. A példaként felhozott meghatározásban a „spontán folyamatok” szóhasználat fedi el a lényegét, azt, hogy *nyíltságot* feltételező kölcsönhatások *után* lezajló folyamatról van szó. A kezdőlépést jelentő nyíltság pedig nem jelent mást, mint a két rendszer egyesítését, és épp ez az okozója az entrópia-növekedésnek. Mivel abszolút zárt rendszer nincs, sőt a rendszerekre általában a fokozott nyitottság a jellemző, ezért a folyamatok többsége, tehát a *spontán folyamatok* valóban entrópia növekedéssel járnak.

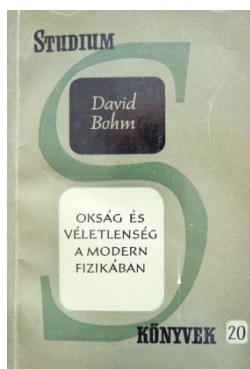
Az EPR által leírt kvantummechanikai rendszernél is kulcsfontosságú a részecskék kezdeti kölcsönhatásának mozzanata. Itt látszólag nem felejtkezünk el a közös múltjukról, hiszen az állapotukat leíró matematikai egyenlet épp ennek az interakciónak a lehetséges kimeneteit adja meg. A mérésnél megkapott „dupla” információ viszont zavart okoz, hiszen úgy tűnik, hogy az *egyetlen* részecskén végzett mérés *többlet* információt ad, ami végül is sérti a **Heisenberg**-féle határozatlansági elvet. A részecskéknek még felül nem írt kölcsönhatása eredményeképpen létrejött helyzet épp azt jelenti, hogy állapotuk csak közösen írható le. Nem csak közösen írhatóak le, de a rendszerükön végzett mérés mindkét részecskéről ad információt. Ha a matematikai leírást tekintem, akkor ez teljesen nyilvánvaló. Megjegyzem, hogy az információ *fizikai* jellegét erősíti meg számomra, hogy a *csak közösen leírható* fizikai rendszerből kinyert információ *kollektív* információ. Még egy nagyon fontos mozzanatot nem szabad figyelmen kívül hagyni; az egyik részecskén végzett méréshez hozzáadódik az az információ, hogy a két részecske korábban érintkezett egymással. Csak a két információ – az egyikén végzett mérés plusz a közös múlt – együttese ad információt a másik részecskéről. A kettős rendszert leíró matematika fogalmazza meg a részecskék kölcsönhatásának lehetséges kimeneteit valószínűségi szinten, és a mérés az, ami megmutatja, hogy a matematikailag leírt; szuperpozícióban összegzett kettősállapotok közül melyik valósult meg.

Véleményem szerint nagyon hiányzik az információ *fizikai* elmélete, értem ez alatt az információnak, mint minden objektumban *bennerejlő fizikai létezőnek* a leírását. Nem akarom lebecsülni **Shannon** kommunikáció-elméletét, minden bizonnyal fontos része lesz egy „igazi” információelméletnek. Egy ilyen igazi elméletnek magyarázatot kell adnia például az EPR kísérletben lezajló folyamatokra, és általában a kvantummechanika ma még érthetetlennek tűnő módszereire is.

2. A rejtett változók elmélete

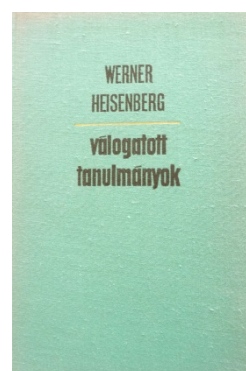
Einstein problémáira gyógyírt hoztak azok az elméletek, melyeket a *rejtett változók* kifejezéssel illetnek. Ezeknek az elméleteknek az a legfontosabb közös vonása, hogy a hullámfüggvény által adott leírást nem tartják teljesnek. Az elsők között **de Broglie** anyaghullám elmélete jelent meg ebben a témában, aki mind a hullámot, mind a részecskét valóságosnak tekintette, és a kettősükkel értelmezte a jelenségeket. Szimpatikus számomra ebben az elméletben az, hogy abból indult ki, amit tapasztalunk; hiszen ugyanazon objektumra vonatkozóan mind részecskékre, mind hullámokra jellemző tulajdonságokat figyelhetünk meg. Tökéletesen logikus és természetes gondolat ebből arra következtetni, hogy a természet ezzel a duális tulajdonsággal rendelkezik. Ebben a gondolatban pedig benne rejlik, hogy egy *hullámegyenlet* nem lehet teljes, azaz nem elégséges a kvantummechanikai tapasztalataink leírására. Mindezt igazolni látszanak a méréseink is, ahol a hullámegyenlet mintegy összeomlik egy részecske észlelésénél.



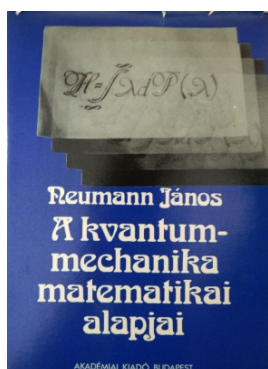


Érdekes az is, amit **David Bohm** tett hozzá a rejtett változók elméleteihez, aki az EPR gondolat kísérletet a részecskék spinjére fogalmazta meg, és ezzel hangsúlyosabbá vált a koppenhágai értelmezés tarthatatlansága. A spin-ötlet azért volt zseniális, mert a spin jól meghatározhatóan viselkedik két részecske kölcsönhatásában, így az egyik részecskén ezt megmérve, pontosan tudjuk a másik részecske spinjét is, ami ellentmond a koppenhágai felfogásnak. Ez utóbbi klasszikusnak nevezhető kvantummechanika ideológiája szerint a spin iránya nem egyértelműen meghatározott, és csak a mérés során nyilvánul meg. A kettős rendszer egyik elemén végzett spin-mérés úgy ad információt a másik részecske spinjéről, hogy azon nem volt mérés, a spinnek tehát valóságos, a méréstől függetlenül létező tulajdonságnak kell lennie.

A rejtett változók feltételezése azt az igényt fejezi ki, hogy a jelenleginél pontosabb leírást szeretnénk kapni a mikro-folyamatokról, hiszen a kvantummechanikai leírások jelenleg önmagukban tartalmazzák a pontatlanságot. **Neumann János** a hullámcsomag időbeli fejlődését két részre bontva írta le; 1-es folyamatnak nevezte azt, amikor klasszikus szintre nagyítunk, azaz mérünk, és 2-es folyamatnak nevezte azt a részt, ami nem más, mint a **Schrödinger**-egyenlet által leírt determinisztikus fejlődése a hullámfüggvénynek. Az 1-es szakasszal, azaz a méréssel kapcsolatban **Heisenberg** fogalmazta meg a határozatlansági elvet, azaz egy részecske helyét és sebességét (impulzusát) csak egy jól meghatározott hibával, azaz limitált pontossággal mérhetjük meg. A 2-es szakasz pedig hiába determinisztikus, ha pontatlan mérések adják meg a kezdőfeltételeit.



A témánkkal, azaz a rejtett változókkal kapcsolatos elgondolások nagy vesztesévé a kvantummechanika axiomatizálásának nagy klasszikusa, **Neumann János** vált. A rejtett paraméterek létét cáfoló bizonyítását hosszú évtizedekig készpénznek vették, és a fizikusok jelentős többsége a rejtett változók elméleteit meg sem fontolta **Neumann** bizonyításának eredménye miatt. Végül egy-két ember komolyabban átnézte a bizonyítást, és felfedezte, hogy az vitatható. Ennek a vitathatóságnak sokféle magyarázatával találkoztam³. **Geszti Tamás** igen udvarias megfogalmazással a könyvében⁴ ezt írta:



„Neumann János készített egy bizonyítást a rejtett paraméterek lehetetlenségéről, ez azonban csak olyan súlyos matematikai megszorításokkal volt érvényes, hogy a fizikai valóságból szinte semmire sem alkalmazható.”

Számomra az volt a furcsa **Neumann** leírásában⁵, hogy miközben szépen megfogalmazta a klasszikus mechanikában és a kvantummechanikában talált statisztikus kijelentések közötti különbséget, ugyanakkor a rejtett változókat úgy próbálta definiálni és kezelni a kvantummechanikában, amint az ismeretlen változókat a klasszikus mechanika használja.

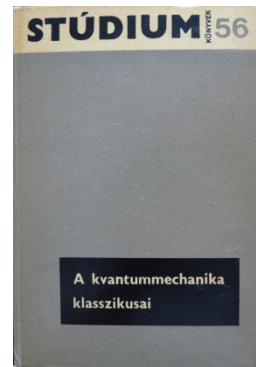
³ **John Gribbin** könyve (*Számolás kvantummacskákkal – A számológépektől a számítógépekig, a Colossustól a kubitekig*) – ami kis írásaimhoz az ötleteket adta – „Neumann ostoba hibájaként” két okot is megnevez. Egy helyütt azt írja, hogy **Neumann** az előfeltevésekben tévedett, és nem matematikai hibát vétett, másutt pedig még egy egyszerű példán be is mutatja, hogy **Neumann** az átlagolásban hibázott, ami azért matematikai vétség.

⁴ **Geszti Tamás**, *Kvantummechanika* – Typotex, Budapest, 2007. 226. oldal 18. lábjegyzet

⁵ Az általam ismert leírás helye: **Neumann János**, *A kvantummechanika matematikai alapjai*, Akadémia Kiadó, Budapest 1980, 121-122. oldal és 185-186. oldal

Pontosabban **Neumann** „kétféleképpen is használta a rejtett paraméter fogalmát”, ahogy egy kvantummechanikai gyűjteményben⁶ fogalmaztak a szerkesztők⁷:

„Az első részben vezeti be a rejtett paraméter fogalmát, a második részben bizonyítja be a létezésének lehetetlenségét. Az első részben azonban a rejtett paramétereket úgy definiálja, hogy azok a Φ állapot-adat melletti további koordinátákat jelentenének, amelyek tehát Φ -vel együtt a rendszer állapotát determinisztikusan rögzítik. Ilyen paraméter nyilván nem létezhet, hiszen Φ -nek értelemváltoztatást – természetesen! – nem ad a bizonyításhoz, így azonban Φ szükségképpen marad statisztikus karakterű állapot-paraméter. ... **Neumann** a bizonyítás során nem is ilyen értelemben használja a rejtett paramétert, hanem úgy bizonyít, hogy megmutatja: nem lehet olyan Φ állapotot találni, amelyben minden mechanikai mennyiség értéke rögzített, szórásmentes, tehát a kvantumelmélet kizárja azon állapotokat, amelyek valamennyi mechanikai mennyiségnek egyszerre sajátállapotai.”⁸



Egy szó, mint száz **Neumann** úgynevezett „bizonyítása” ellentmondásos. Ennek a következménye az, hogy mindenki másképp értelmezi, van, aki körköröséget⁹ lát benne, mások pedig hibás összegzési módszert, és ezek mindegyike jogos kritika szerintem.

Jóllehet a rejtett változók **Neumann**-cáfolatának első kritikája, **Grete Hermann** 1935-ben publikált felfedezése visszhangtalan maradt, de tőle függetlenül és harminc évvel később **John Bell** is rámutatott a hibára. Az ő munkáját már nagy érdeklődés övezte, és elméletét izgalmas kísérletek követték. Erről a következő írásom szól majd.

⁶ *A kvantummechanika klasszikusai* – Stúdium Könyvek, Gondolat Kiadó, Budapest, 1966

⁷ Itt megjegyzem, hogy az első rész az, amelyre én úgy utaltam, hogy klasszikus módon próbálta a rejtett változókat bevezetni, ez a 5. lábjegyzetben jelzett könyvben a 121-122. oldalon található. A második rész, maga a „bizonyítás” a könyv 185-186. oldalán olvasható.

⁸ Lásd a 6. lábjegyzetben hivatkozott könyv „*A kvantummechanika lezáratlan kérdései*” című cikkben a 226-227. oldalt.

⁹ A matematikus **Grete Hermann** találta ezt hibának. Írását nem ismerem, de **GianCarlo Ghirardi** olasz fizikus könyvében olvastam róla; *Sneaking a Look at God's Cards, Unraveling the Mysteries of Quantum Mechanics* 198. oldal.