Az értelmezések fontosságáról, I. rész

1. Bevezetés

Ezzel a kis írással legfőbb célom az, hogy rámutassak a fizikában a logikai és matematikai összefüggések *értelmezésének* fontosságára és egyúttal veszélyeire.

A fizikusok nagy többsége lebecsüli a filozófiát, de ez a filozófia szűk területére vonatkozó értékelés. Ha a filozófiát egy átfogó tudományos világnézetnek tekintjük – aminek én gondolom – akkor bizony nem szabad lebecsülni. Mindenkire igaz az, hogy egy bizonyos szemszögből szemléli a világot, azaz tudva nem tudva kialakít magában egy jól-rosszul összeillesztett képet a világról, és ehhez a képhez próbálja illeszteni az új tapasztalatait. Ha ezt tudatosan teszi egy kutató, és igyekszik a tudomány valamennyi fontos felismerését felhasználni a teljes világkép, vagy annak egy-egy részletének kialakításában, akkor őt filozófusnak nevezem, bármilyen tudományterületet műveljen. [1] Ellenben, ha valaki nem formálja tudatosan a saját, mindenre kiterjedő világképét, akkor azt akkor sem tekintem filozófusnak, ha hivatalosan a filozófia valamely területének képviselője. Érdemes itt **Einsteint** idézni:

> *„Gyakran hangoztatják, és nem minden alap nélkül, hogy a természettudós csupán egy rossz filozófus. Akkor miért nem hagyja a fizikus a filozofálást a filozófusokra? Olyan korban, amikor egy alapfogalmakból és alaptörvényekből álló szilárd, kétségbevonhatatlan rendszer birtokosának érezheti magát, bizonyára meg is teheti ezt a fizikus, de nem egy olyan korban, mint ma, amikor a fizika alapja egészében problematikussá vált. Amikor a tapasztalat arra kényszeríti, hogy új, az eddiginél szilárdabb bázist keressen, az alapok vizsgálatát nem hagyhatja egyszerűen a filozófiára, mert a fizikus maga tudja és érzi leginkább, hogy hol szorít a cipő; új alapokat keresve az általa használt fogalmak jogosságát és szükségességét, amennyire erejéből telik, neki magának kell tisztáznia." (***Einstein***, Fizika és valóság)*

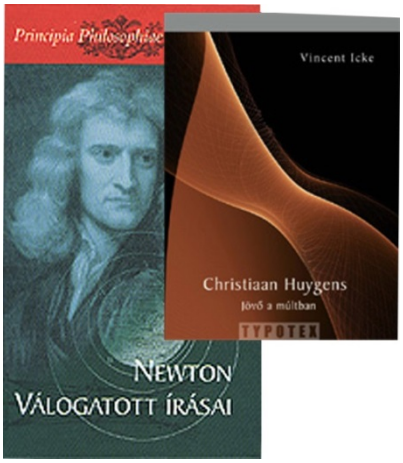
> *„Milyen helyzetet foglal el az elméleti fizikus világképe a lehetséges világképek között? Ez támasztja a legnagyobb követelményt az összefüggések visszaadásának szigorúsága és egzaktsága tekintetében, amit egyedül a matematikai nyelv használata biztosít. Annál szerényebbnek kell viszont lennie a fizikusnak anyag tekintetében, mert meg kell elégednie a tapasztalatnak hozzáférhetővé tehető legegyszerűbb folyamatok leképezésével, a bonyolultabb folyamatokat azonban az emberi szellem nem tudja azzal a finom pontossággal és következetességgel visszaadni, amelyet az elméleti fizika megkövetel. Maximális tisztaság, világosság és biztosság a teljesség rovására." (***Einstein***, A tudományos kutatás alapelvei)*

Miközben a matematikai modellek *értelmezésének* jelentőségéről írok, nem győzöm hangsúlyozni, hogy a tudományok bármely területén alkalmazott matematika *elsősorban matematika*, és csak másodsorban az a *jelentés*, amit az adott összefüggésben tulajdonítunk neki. Egy modell *értelmezése* alatt azt a folyamatot értem, amint a modellt egy meglévő ismeretanyagba illesztjük és ezzel új megvilágosításba helyezzük; hol tágabb, hol szűkebb jelentést tulajdonítva neki. A

[1] Joggal mondhatja valaki, hogy nagyon szigorú vagyok a filozófusok megítélésében. Természetesen van bizonyos túlzás a filozófia-definíciómban, de ennek a torzításnak célja van. Kétféle szemlélet ellen szeretnék vele fellépni; egyrészt sok, a filozófia speciális területével foglalkozó filozófus szűklátókörűségével szemben, akik ítéleteikben azért hibáznak, mert ismereteik hiányosak a nagy egészet tekintve, másrészt olyan fizikusokkal, vagy a természettudomány egyéb területein alkotókkal szemben, akik fennen hirdetik, hogy a filozófiát szükségtelennek tartják a saját munkájukban, holott tudattalanul az ő eredményeiket is befolyásolja az általában fogyatékos világképük.

matematikai modellek értelmezése gyakran a verbális nyelvre való átfogalmazásukat jelenti, mert a környező tudásanyag sokszor csak verbális formában ismert. Ez az átfogalmazás azonban módosíthatja, és sajnos gyakran torzítja is az eredeti jelentést. Ez az oka annak, hogy a matematikai modellek, vagy hipotézisek megalkotásakor, de azok tényleges kontextusba helyezésekor is tudatosan kell eljárni, tudatában kell lenni annak a világképnek, azaz a globális modellnek, amely befolyásolja megítéléseinket.

2. Newton kontra Huygens – egy példa az értelmezés fontosságára



Olvasom, hogy miképp értelmezi **Newton** a fény tulajdonságairól feltártakat.[2] Cseréljük fel az alábbi idézetben a *hipotézis* szót az *értelmezés*sel, és jó példáját kapjuk annak, hogy **Newton** élesen megkülönbözteti a ténybeli *megállapítások*at azok *értelmezés*étől, és az előbbieket fontosnak, az utóbbiakat önmaga számára lényegtelennek tartja. Az értelmezéseket – **Newton** megfogalmazásában hipotéziseket – csak azért alkalmazta, hogy mások számára érthetővé tegye saját tudományos tényfeltárásait, és ezért megfelelőbb szó az adott kontextusban az *értelmezés* a *hipotézis* helyett.[3] Tulajdonképpen a matematikai, logikai összefüggéseket átfogalmazta a mások által ismertebb verbális nyelvre, illetve beillesztette a felfedezéseit egy tágabb képbe, ismertebb keretek közé. Magyarul tehát **Newton** is *értelmezi* – elsősorban mások számára – a ténybeli tapasztalatait.

> *„Mivel azonban megfigyeltem, hogy egyes természetkutatók füle csakis a hipotézisekre érzékeny – mintha ugyan fejtegetéseim hipotézisek általi magyarázatra szorulnának –, és úgy tapasztaltam, hogy némelyek, miután nem tudtam velük megértetni, mire gondolok, amikor elvontan beszélek a fény és a színek természetéről, könnyen felfogták azt, amikor fejtegetéseimet hipotézissel világítottam meg, ajánlatosnak tartottam tehát, hogy részletesen leírjam Önnek is ezt a feltevést, amely nagyban hozzájárul majd a most küldött írásaimban foglaltak megértéséhez. És ámbátor én magam nem fogadok el semmiféle hipotézist, sem ezt, sem mást, továbbá azt sem tartom szükségesnek, hogy törődjek vele, vajon a fény általam felfedezett tulajdonságai ezzel vagy a Hooke-félével, vagy esetleg más, erre alkalmas hipotézissel magyarázhatók-e, mégis az alább következő okfejtés folyamán a félreértések elkerülése és a könnyebb megértés végett úgy beszélek majd, mintha elfogadnám, és másoknak is elfogadásra javasolnám feltevésemet. Szükségesnek tartottam pedig mindezt előrebocsátani, nehogy valaki összekeverje ezt egyéb fejtegetéseimmel, s az egyik bizonyosságát a másikéval mérje; vagy netán úgy vélje, köteles vagyok válaszolni ezen írásommal szembeni ellenvetésekre.”*[4]

---

[2] **Isac Newton**, *„Különféle tanulmányaimban a fény tulajdonságairól mondottak magyarázatára szolgáló hipotézis”*, (*Isaac Newton válogatott írásai*, Typotex Kiadó, 2003, 2010)

[3] **Newton** *hipotézis* szóhasználata tehát félrevezető, hiszen a szövegkörnyezet alapján egyértelmű, hogy nem a dedukciós gondolkodás ellen szól, pontosabban nem a tapasztalatokon túlmutató elméletek ellen, melyek új tapasztalat, új tudás forrásai lehetnek. Még **Einstein**t is megtévesztette **Newton** fogalmazása, mert arról írt, hogy *„különösen világosan látszik, mekkorát tévednek azok az ismeretelméleti szakemberek, akik azt hiszik, hogy az elmélet induktív úton a tapasztalatból származik, mely tévedéstől Newton sem volt mentes [«Hipotézist nem állítok fel»]”* (**Einstein**, *Fizika és valóság*) **Newton** idézett szövege alapján viszont a *hipotézis* szó egyik szinonimája, az *értelmezés* jobban segíti **Newton** mondanivalójának megértését. A két kifejezés különbségét a következőképpen tudnám megfogalmazni; *hipotézis* az, ami egy cselekvést (kutatást) megelőz, és *értelmezés* az, ami egy cselekvés után következik, annak eredményét magyarázza.

[4] Az idézet forrását lásd a 2. lábjegyzetben.

A fentiek után az idézett tanulmányában **Newton** olyan elképzeléseket sorol fel, amelyek magyarázhatják ténybeli tapasztalatait a fénnyel kapcsolatban. Ezek az értelmezések tartalmazzák **Newton** éter-elképzeléseit és a fény korpuszkula-természetéről szóló meglátásait. Számomra az volt érdekes ezekben az elképzelésekben, hogy **Newton** ugyan részecskeáramként értelmezte a fénysugarat, de nem vetette el a hullámtulajdonságát sem, és a kettőt úgy próbálta összeegyeztetni, hogy a fényt az éterben mozgó részecskeként képzelte el, amely hullámot kelt a közegében, azaz az éterben. Figyelemre méltónak találtam azt is, hogy **Newton** a fény részecske-természetét elsősorban egyenes vonalú mozgására alapozta, szembeállítva a hanggal, amely nemcsak egyenes vonalban terjed, de behatol az árnyékterekbe is.

Megjegyzés

Mai ismereteink szerint a fényre is jellemző a diffrakció, tehát az a tulajdonság, hogyha egy viszonylag szűk résen hatol át, akkor az egyenes vonalú mozgás mellett a fénysugarak behatolnak abba a térbe is, amelyet a rés adta akadály árnyékol. A fénynek ezt a jellemvonását tartják az egyik érvnek a hullámtermészete mellett. Annak az oka, hogy a fény és a hang eltérő mértékben hatol be az árnyékterekbe az, hogy ez a jelenség a rés méretének és a hullámhossznak az arányától függ, ami a hang méteres nagyságrendű hullámhosszánál azt jelenti, hogy a környezetünk „nyílásainál” bejut az árnyéktérbe is, szemben a látható fénynek a milliméter milliomod részényi hullámhosszával, ami miatt csak igen parányi rések esetén jelenik meg a diffrakció.

Newton kortársa, **Huygens** a fény hullámtermészetét vallók nagy előfutára volt, de az elképzelései **Newton** tekintélye miatt csak jóval később terjedtek el a fizikusok körében. Hullámelméletének alapja a ma már nevével jelzett **Huygens**-elv, amely szerint egy hullámfelület minden pontja elemi hullámok kiindulópontja. A fénytörést például ezeknek az elemi hullámoknak – gömbhullámoknak – a segítségével magyarázta, amint érintőjüket megrajzolva egyenes vonalat kapott, és ennek helyzetével indokolta a fénytörést.

Megjegyzés

Nagyon érdekesnek tartom, hogy a kvantumfizika egy igen eredeti matematikai modelljében, a **Feynman**-féle pályaintegrál-számításban az egyik faktor *„erősen emlékeztet arra, ahogy optikai diffrakcióban a hullámfrontot Huygens–Fresnel elve szerint a front minden pontjából kiinduló, a megfigyelés helyén egymással interferáló gömbhullámok eredője viszi tovább.”* (**Geszti**, *Kvantummechanika*)

Feynman pályaintegrál számítását még végig kell gondolnom, mert rendkívül érdekes módon kapcsolódik a komplex számok használatával a tér- és időértelmezéshez. A távolságot – azaz a teret – a komplex számok abszolútértékével, azaz normájával méri, és ami teljesen újszerű, hogy az időfogalom viszont a komplex szám argumentumához kapcsolódik. Tehát amíg én a komplex – és általában a kételeműek – **Descartes**-féle koordinátáit értelmeztem térnek és időnek, addig **Feynman** tulajdonképpen a komplexek polárkoordinátáihoz kapcsol tér- és időfogalmat. Igen nagy problémám az – túl a kvantummechanikai pályaintegrál-modell bonyolultságán –, hogy **Feynman** a differenciál- és integrálszámítást magas absztrakciójú szinten használja. Ez a komplex számok körében nem is jelent problémát, viszont a parabolikus és a hiperbolikus számok esetén ezek nem alkalmazhatóak automatikusan, és ezeknek a számköröknek az analízise még kidolgozatlan. A függvénytanuk kialakításának nagy akadálya, hogy norma-négyzeteik nemcsak valós pozitívak lehetnek, nem is beszélve arról, hogy szerintem a normákat mindhárom számkörben képzetesnek kellene értelmeznünk, ez pedig a komplexekre nézve is újfajta

matematikát igényel.[5] Reménykeltőnek tartom azonban, hogy amikor **Feynman** *értelmezi* a saját modelljét, amint ezt a lenyűgöző ismeretterjesztő könyvében[6] teszi, akkor a leírásában polárkoordinátaként értelmezhető elemek mindhárom kételemű számkörre érvényesnek látszanak. Annál is inkább, mivel a komplexek körében a tangens függvénnyel értelmezhető sebességfogalomból azonnal következik, hogy ebben a téridő-modellben nincs a sebességnek felső határa, szemben a hiperbolikus számsíkkal, ahol a hiperbolikus tangens függvénnyel definiálható sebességnek van maximuma. **Feynman** módszere szerint pedig kis távolságokra a fénysebesség bármekkora lehet, és csak nagyobb távolságokon oltják ki egymást azok a valószínűségek, amelyek a fénysebességnél kisebb illetve nagyobb sebességekhez tartoznak. Ez a modell így azt a reményt is kelti bennem, hogy választ ad arra, mitől függ, hogy egy jelenség leírásához melyik kételeműhöz tartozó téridő modellt kell alkalmazni.

3. Bohr-Einstein vita – egy példa a kvantumfizikai értelmezések különbözőségére

A XX. században még hangsúlyosabbá vált az értelmezések fontossága a fizika fejlődésében. A kvantumfizika hajnalán **Einstein** a fotoeffektust magyarázva bevezeti a foton fogalmát, és ezzel visszatér a köztudatba a fény részecskeértelmezése. Nagy fordulatot hoz **Louis de Broglie** munkája a hullám vs. részecske konfliktusban. A maxwelli elektrodinamika szerint E energiához E/c impulzus tartozik, ehhez **Einstein** hozzátette, hogy a hν energiájú fotonnak is van $p= h\nu/c = h/\lambda$ impulzusa. **De Broglie** pedig azt fedezte fel, hogyha fordítva, a $p=m_e\nu$ impulzussal mozgó elektront is valamiféle *anyaghullám*nak értelmezzük, és erre is alkalmazva az **Einstein** féle összefüggést; $\lambda=h/p$-t, akkor ez magyarázatot ad a **Bohr**-féle kvantumfeltételre[7]. Ezzel véglegesen teret nyert nemcsak a fény kettős természetének gondolata, de az a szemlélet is, hogy minden részecske hullám és minden hullám részecske is egyben.

A kvantumfizikát még mai is nemcsak az interpretációk sokasága, de matematikai eszköztárának többfélesége is jellemzi. Nem tudom nem megismételni **Andrei Khrennikov**nak azokat a meglátásait, amelyeket már idéztem egy korábbi cikkemben[8]:

> *„Az elmúlt tíz évben volt szerencsém találkozni a kvantum-alapok irányadó szakértőivel, és megbeszélni velük a legérdekesebb problémákat. Mi lepett meg engem (legalábbis az első konferenciákon)? A vélemények és látásmódok óriási sokfélesége a nagyon alapvető és régi problémákkal kapcsolatban. Naiv volt az az elvárásom, hogy a kvantum-guruk meghívásával világos válaszokat kapok. Az első konferencia a „Bohm-i mechanika 2000” teljes kudarc volt: a*

---

[5] Ez egyrészt akadály, másrészt a megoldást is hozhatja a **Feynman**-módszer renormálási igényeire, amit **Feynman** nem véletlenül nevez „abnormálási” módszernek. A renormálás a végtelenek kezelését szolgálja, és a kételemű számok képzetes eleme egyfajta végtelent modellez, így a metrika imaginárisként való kezelése menekvést jelenthet ebből a problémából, csak még nem tudom, hogyan. A kételeműek imaginárius elemeinek végtelen értelmezése azt sugallja, hogy a kalkulusok matematikájában vissza kellene térni, ha nem is **Newton** fluxióihoz, de a modern matematika előtti infinitezimális-elképzeléshez. Értem ez alatt a jelenleg alkalmazott valós törteknél parányibb számok feltételezését, miközben megtartanánk a határérték-számítás jelenleg használt módszertanát is. A kérdés természetesen az, hogy mindezt hogyan.

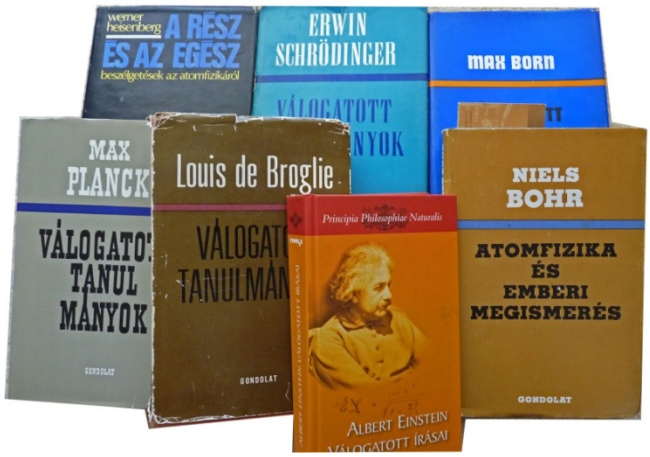
[6] **Richard Feynman**, *QED The Strange Theory of Light and Matter*, Princeton University Press, 1988. Magyarul: **Richard Feynman**, *QED – A megszilárdult fény*, Scolar Kiadó, 2003.

[7] A **Bohr**-féle *kvantumfeltétel* a következő: a körpályán keringő elektronoknak a folytonos sugárzást elkerülő stacionárius körpályáinak r sugarát az $L=pr= m_e\nu$ impulzushoz kapcsolódó $L=nh/2\pi\equiv n\hbar$ *kvantumfeltétel* választja ki a klasszikusan megengedett pályák közül.

[8] Lásd: a *„A negatív hiperbolikus valószínűségektől egy új és egységes matematikai eszköztár felé”* című cikket; http://www.infinitemath.hu/egyeb/203-a-negativ-hiperbolikus-valoszinusegektol-egy-uj-es-egyseges-matematikai-eszkoztar-fele

Bohm-féle iskola két vezető képviselője, Shelly Goldstein és Basil Hiley két teljesen különböző értelmezését mutatta be a Bohm-i mechanikának. Végül azzal vádolták egymást, hogy félreértik Bohm nézeteit (mindketten nagyon szoros kapcsolatban álltak David Bohmmal). A diákjaim, akiket felkértem, hogy tanuljanak Bohm-féle mechanikát a teremtőitől, nagyon megzavarodtak. Az egyetlen hasznos információ, amit kinyertem a Bohm-i mechanikából az volt, hogy a Bohm-féle mechanika nem ad új kísérleti jóslatokat, összehasonlítva a hagyományos QM-mel. Így, bár formálisan (matematikailag) Bohm mechanikája tisztább leírását adja a mikro-folyamatoknak, lehetetlen olyan kísérleteket tervezni, amelyek megkülönböztetik Bohm mechanikáját QM-tól."[9]

A fent idézett cikkben **Khrennikov** még azt is megjegyzi, hogy kvantummechanika (QM) tárgyában rendezett sok konferencia tanulságaként *„Végül megértettem, hogy a különböző értelmezések száma legjobb esetben megegyezik a résztvevők számával."*[10]



A mellékelt képen olyan magyar nyelvű könyvek láthatóak, amelyek a kvantummechanikát megalapozó zseniális fizikusok tanulmányait, elsősorban filozófiai megfontolásaikat tartalmazzák. Ezzel a kis illusztrációval is szeretném érzékeltetni, hogy a XX. század fizikájában mennyire fontossá váltak a filozófiai megközelítések.

A téma tömérdek irodalma miatt még a legfontosabb értelmezésbeli különbségeket sem kísérlem meg felsorolni, ehelyett inkább kiemelek egyetlen nézetkülönbséget közülük; mégpedig **Bohr** és **Einstein** szelíd vitáját. E vita baráti jellege ellenére élesen különböző álláspontok polémiája volt, amely témáját tekintve máig sem veszített aktualitásából. A kétféle nézet eltérő jellege a kvantumfizika alapvetésének, a mérések valószínűségi jellegének az értelmezésében rejlik. **Einstein** szerint a kvantumfizika matematikája nem ad teljes képet, hanem csak egy kezdeti megközelítő leírása a mikrovilág jelenségeinek. Ezzel szemben **Bohr** – sok fizikushoz hasonlóan – azt a véleményt képviselte, hogy a kvantumvilág modellje teljes, a mikrokozmosznak nincsenek ismeretlen tulajdonságai, rejtett változói. E két különböző szemlélet leginkább a következtetéseiből ítélhető meg, és képviselői kimondott vagy kimondatlan filozófiáját is jól tükrözik a pro és kontra érveik. **Bohr**hoz hasonlóan a fizikusok többsége nyomasztónak tartaná a kvantummechanikai számításokra úgy tekinteni, mint valamiféle első megközelítésre, amit

---

[9] *„During the last ten years I have been lucky to meet the world leading experts in quantum foundations and discuss with them the most intriguing problems. What surprised me (at least at the first conferences)? It was the huge diversity of opinions and views on the very fundamental and old problems. My expectation that by inviting great quantum gurus I can get clear answers was naive. The first conference, Bohmian mechanics 2000, was the total fiasco: two leading representatives of Bohmian school, Shelly Goldstein and Basil Hiley, presented two totally different interpretations of Bohmian mechanics. Finally, they accused each other in misunderstanding of Bohm's views (both had very close connections to David Bohm). My students whom I invited to learn Bohmian mechanics from its creators were really confused. The only useful information which I extracted from Bohmian mechanics 2000 was that Bohmian mechanics does not give new experimental predictions comparing to conventional QM. Thus, although formally (mathematically) Bohmian mechanics provides a finer description of micro processes, it is impossible to design experiments which will distinguish Bohmian mechanics and QM."*
Khrennikov: "Einsteins Dream" – Quantum Mechanics as Theory of Classical Random Fields;
http://arxiv.org/abs/1204.5172

[10] *„Finally, I understood that the number of different interpretations is in the best case equal to the number of participants."*
Khrennikov: "Einsteins Dream" – Quantum Mechanics as Theory of Classical Random Fields;
http://arxiv.org/abs/1204.5172

majd valamikor egy sokkal precízebb kalkuláció követ. Megvallom, nekem idegen ez a teljesség- és befejezettség-igény, ami nemcsak itt a QM-ben figyelhető meg, de a fizika számos területén, például a „mindenség egyenletében” való reménykedésben, vagy valamiféle oszthatatlan végső építőkőben való bizakodásban.[11] Számomra az a természetes, hogy növekszik a tudásunk minden szinten, és így az első megoldásainkat mindig jobbak követik.

A kvantummechanika teljességét vallók alkotják a fizikus közösség többségét, sőt ma ez az uralkodó elképzelés. Ellenben olyan következtetések származnak belőle, amelyek számomra elfogadhatatlanok, például az indeterminizmus és ezzel az okság[12], valamint a lokalitás hiánya. Ez utóbbi végtelen sebességű információ-átadást jelent egyúttal. Épp ezek a következmények azok, amelyek miatt a fizikusok egy kisebb csoportja – gyakran be nem vallottan – feltételezi a rejtett változók létét, a jelenlegi kvantummechanika nem-teljességét. **Einstein**, mint a relativitáselmélet atyja, nem hihetett a fénysebességnél gyorsabb jelterjedésben, így számára már csak ezért is elfogadhatatlanok voltak a lokalitást tagadó és a QM teljességére vonatkozó állítások. Érdekesnek találom, amint **Einstein** az egyik írásában odáig megy a lokalitás melletti érveiben, hogy a „közelhatás elvét” univerzálisnak gondolja.

> *„Az egymástól térbelileg távol eső* A *és* B *dolgok viszonylagos függetlenségére az alábbi elgondolás a jellemző:* A *külső befolyásolásának nincs* közvetlen *hatása* B*-re. Ezt a „közelhatás” elvének nevezzük, s csak az erőtérelméletben alkalmazzák következetesen. Ennek az alapelvnek a teljes feladása lehetetlenné tenné a (kvázi-) lezárt rendszerek létezésére vonatkozó elgondolásokat, s a szokásos értelemben lehetetlenné válnék empirikusan ellenőrizhető törvények felállítása.” (**Einstein**, A kvantummechanika és a valóság)*

4. Záró megjegyzések

Közhellyé váltak **Galilei** szavai arról, hogy a természet a matematika nyelvén beszél. A matematikai nyelv használatának a sikere azonban ma még nem jelenti a verbalitás nélkülözését, mivel emberi kommunikációnk még szóalapú, és felhalmozott tudásunk nagyobb része is szavakban fogalmazódott meg. Miközben elfogult vagyok a matematika iránt, sőt kis túlzással mai püthagoreusnak tekintem magam, rendkívül fontosnak tartom a matematika alkalmazása során az *értelmezések* megfogalmazását, ami nem más, mint a matematikai összefüggések kommunikálása mások számára, valamint egy tágabb, verbális környezetbe illesztése. Nem kevésbé fontos tudni a különbséget a matematikával leírt tapasztalat és annak értelmezése között.

(A cikk folytatásában saját QM értelmezéseimről írok majd.)

---

[11] Egy idézet erről: „*Sok kutató azonban, ezek között magam is, boldogabbnak érzi magát abban a reményben, hogy az anyag tanulmányozásában «elérünk majd egy végső pontot», és a jövő fizikusai minden tudhatót tudni fognak az anyag belső szerkezetéről.*” (**George Gamow**, *A fizika története*)

[12] „Valóban, a hatáskvantum létezésével összefüggő *véges kölcsönhatás az objektumok és a mérőberendezések között* azzal jár, hogy – mivel nem tudjuk ellenőrizni az objektum visszahatását a mérőeszközökre, ha azt akarjuk, hogy az utóbbiak rendeltetésüknek megfeleljenek – véglegesen le kell mondanunk a klasszikus oksági ideálról, és a fizikai valóság problémájával szemben elfoglalt álláspontunkat teljesen revideálnunk kell.” (**Bohr**, *Vita Einsteinnel az atomfizika ismeretelméleti problémáiról*)