

# A 2022-es fizikai Nobel-díjról

## Kritikus gondolatok

*„Alain Aspect, John Clauser és Anton Zeilinger úttörő kísérleteket végeztek összefonódott kvantumállapotokkal, amelyekben két részecske akkor is egyetlen egységként viselkedik, ha egymástól elválasztva vannak. Eredményeik megnyitották az utat a kvantuminformáción alapuló új technológia előtt.”*  
(Svéd Királyi Tudományos Akadémia)<sup>1</sup>

Kezdetben nem akartam kommentálni az idei fizikai Nobel-díj indoklásait, mert annyiszor és olyan sokszor írtam<sup>2</sup> már az összefonódásról, a Bell-egyenlőtlenségekről, a kvantumfizika nemteljességének kérdéséről, hogy fölöslegesnek gondoltam elismételni a meglátásaimat. Ámde, ha már a Nobel-díj indokainál is olyan értelmezésekről van szó, amelyekkel nem értek egyet, akkor nem felesleges, hanem nagyon is szükséges akár ezredszer is elismételni a kvantummechanika (QM) másfajta interpretációit. A kritikáim nem a QM tényeire, a most díjazottak nagyszerű munkáira vonatkoznak, hanem azok magyarázatára. Anders Irbäck, a fizikai Nobel-bizottság elnöke így fogalmazott a díjjal kapcsolatban: „Egyre világosabbá válik, hogy egy újfajta kvantumtechnológia van kialakulóban. Láthatjuk, hogy a díjazottak összefonódott állapotokkal kapcsolatos munkája nagy jelentőségű, még a kvantummechanika értelmezésének alapvető kérdésein túl is”<sup>3</sup>. Ebből a megfogalmazásból is látszik, hogy a díj odaítélésében fontos szerepet játszott a QM-jelenségek „megfejtése”. Fontos megjegyezni, hogy a kitüntetettek munkái nem elméletiek, hanem kísérletiek, és annyiban érintenek elméleti kérdést, hogy egy korábban vázolt matematika, a Bell-egyenlőtlenségek alapján cáfolják – hozzáteszem látszólag – a rejtett változók létét és ezáltal bizonyítottnak gondolják a QM-leírások teljességét. Minden kísérlet, minden mérés, minden tapasztalat előbbre visz, így a kitüntetettek munkái is, de az elméletek, az értelmezések között vannak, amelyek tévútra visznek, és az összefonódás jelenségének értelmezése, valamint a Bell-

---

<sup>1</sup> „Alain Aspect, John Clauser and Anton Zeilinger have each conducted groundbreaking experiments using entangled quantum states, where two particles behave like a single unit even when they are separated. Their results have cleared the way for new technology based upon quantum information.” Többek között ezek az indokok szerepelnek a Svéd Királyi Tudományos Akadémia weboldalán a 2022-es fizikai Nobel-díj odaítéléséről;

<https://www.kva.se/en/news/the-nobel-prize-in-physics-2022/>

<sup>2</sup> A teljesség igénye nélkül lásd az alábbi cikkeket:

<https://www.infinitemath.hu/archivum/egyeb/396-smolin-es-a-ter-kialakulasa>

<https://www.infinitemath.hu/archivum/egyeb/330-einstein-igaza-es-a-big-bell-test-tevedese>

<https://www.infinitemath.hu/archivum/filozofia/368-az-ertelmezések-fontossagarol-ii-resz>

<https://www.infinitemath.hu/archivum/matematika/356-egy-univerzalis-valoszinusegszamitas-fele-ii-resz>

<https://www.infinitemath.hu/filozofia/428-a-fizika-matematikaja-es-a-matematika-fizikaja>

<sup>3</sup> “It has become increasingly clear that a new kind of quantum technology is emerging. We can see that the laureates’ work with entangled states is of great importance, even beyond the fundamental questions about the interpretation of quantum mechanics.” (Anders Ribák) <https://www.kva.se/en/news/the-nobel-prize-in-physics-2022/>

egyenlőtlenségek bizony tévesek szerintem. Így tehát az a furcsa helyzet állt elő, hogy **Nobel**-díjjal jutalmaznak olyan – egyébként önmagukban hasznos – kísérleteket, amelyek *hamis* állításokkal vannak ellentmondásban. A **Bell**-egyenlőtlenségek téves volta viszont nem jelenti azt, hogy az őket cáfoló kísérletek igazolnák a rejtett változók létét, de semmiképpen sem jelentik a létük lehetetlenségét sem.

## 1. Az összefonódásról

Először az összefonódott (szuperponált) állapotról szeretném hangsúlyozni, hogy sokak véleményével ellentétben, a kvantummechanikában (QM-ben) csak térbeli és/vagy időbeli (téridőbeli) *sokaság* állapotára vonatkozhat, sohasem egyedi objektumokra. A QM „plusz” művelete, amellyel az összefonódást leírjuk, sokaság esetén valóban két- vagy többféle állapot *együttlétezését* jelenti, de egyedi objektumoknál a „plusz” jellel összekapcsolt állapot-valószínűségek „vagylagos” állapotokra vonatkoznak, sőt „kizáró vagyra”. Jó példa ez utóbbira Schrödinger macskájának esete, hiszen ekkor egyedi objektumról van szó, így az előbb elmondottakat rá alkalmazva semmilyen élő-holt összefonódás nincs a cicusnál, a cica kizárólag vagy élő, vagy holt állapotban létezik.

### Megjegyzés

A szuperpozíció valamely lineáris egyenletekkel leírható fizikai mennyiség, a QM-ben komplex állapotfüggvények *összegzésének* tulajdonsága. Amíg a klasszikus fizikában a *mérhető*, azaz *fizikai* mennyiségekre vonatkozik az összegzéseknek ez az elve, addig a QM-ben a *nem mérhető* hullámfüggvényre teljesül, ugyanis a *mérhető* valószínűségnek; a hullámfüggvény normanégyzetének összegzése nem lineáris egyenlethez vezet. Így megtévesztő „kvantummechanikai szuperpozícióról” beszélni, mert az általa megnevezett elv ugyan kvantummechanikai, de nem szuperpozíció klasszikus értelemben. Ha a komplex számok körében maradunk, tehát ha az *állapotok* komplex lineáris kombinációit tekintjük, akkor, és csak akkor beszélhetünk szuperpozícióról a QM-ben. Sajnos **Dirac**ig vezethető vissza a QM-beli tapasztalatok téves *értelmezése*. Szerintem **Dirac**nak nem volt igaza a fotonok önmagukkal való interferálásával kapcsolatban, mert az interferencia egyfajta *mérés*, így a matematikája sem a hullámfüggvényé, hanem az elemi eseményeket felnagyító, kvantumok sokaságát leíró formalizmusé, a valószínűségnek a hullámfüggvény amplitúdónégyzetével történő meghatározásáé. (Ezt nevezik a hullámfüggvény összeomlásának.) **Dirac** ugyanis a hullámfüggvényből nyerhető – és egyetlen fotonra vonatkozó – valószínűségi információkból indult ki és amellet kardoskodott, hogy a foton önmagával interferál, azaz a hullámfüggvény *egy* foton előfordulási helyére ad valószínűségi információt és nem fotonok lehetséges számára az adott helyen.<sup>4</sup> Sajnos ezek féligazságok, és a foton önmagával való interferálása szerintem hibás végkövetkeztetés. Ugyanis a  $\psi$  hullámfüggvény valóban vonatkozik egy fotonra, de mérni csak a  $|\psi|^2$ -et, másképp valószínűségi sűrűségét, vagyis *intenzitását* tudjuk mérni a fotonnak, ez pedig a gyakorlatban nem jelent mást, mint a fotonok gyakoriságának mérését, azaz a fotonok lehetséges számának megállapítását egy adott állapotban, azaz fotonok *sokaságáról* ad információt a mérés.<sup>5</sup>

Két (vagy több) részecske összefonódása esetén merül fel a lokalitással kapcsolatos problémakör, valamint a QM nemteljességének kérdése és ezzel együtt a **Bell**-egyenlőtlenségek ügye is. Nagyon leegyszerűsítve, a lokalitás/nemlokalitás kérdése arról szól, hogyha két kölcsönható részecske eltávolodik egymástól, akkor – a kölcsönhatásuk során „elszenvedett” – állapotváltozásuk miatt az egyik részecskén végzett mérés a másíkról is szolgáltat információt. Ezt sokan úgy értelmezik, mintha létezne egy titokzatos

---

<sup>4</sup> **Dirac**, *The Principles of Quantum Mechanics*, „What they did not clearly realize, however, was that the wave function gives information about the probability of *one* photon being in a particular place and not the probable number of photons in that place. ... The new theory, which connects the wave function with probabilities for one photon, gets over the difficulty by making each photon go partly into each of the two components. Each photon then interferes only with itself. Interference between two different photons never occurs.”

<sup>5</sup> Ezekről lásd részletesebben az alábbi cikkeket:

<https://www.infinitemath.hu/archivum/filozofia/368-az-ertelmezések-fontosságáról-ii-resz>

<https://www.infinitemath.hu/archivum/matematika/360-egy-univerzális-valószínűség-számítás-fele-ii-resz>

távolhatás, amellyel az egyiken végzett mérés a másikra is hatással lenne, azaz nem érvényesülne **Einstein** lokalitás, más szóval *közelhatás* elve.

### Megjegyzés

„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 értérelméletben 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)

Azért is értek egyet **Einstein**nel és kételkedem a nemlokalitásban, mert ez utóbbi a tér két különböző pontjának időtlen kapcsolatát feltételezi, amit végtelen sebességgént is jellemezhetek. Így nemcsak – sőt nem is elsősorban – a speciális relativitáselmélet miatt nem hiszek egy ilyen kapcsolat létében, hanem a hétköznapi tapasztalatainkra támaszkodva gondolom ezt, mivel végtelen *menyiséget* csak potenciálisan feltételezhetek.

## 2. A QM nemteljességének kérdése és a rejtett változók

A nemlokalitás feltételezését szükségtelenné tették azok az elméletek, amelyeket a *rejtett változók*<sup>6</sup> kifejezéssel illetnek. Ezeknek az elméleteknek az a legfontosabb közös vonása, hogy a hullámfüggvény által adott leírást nem tartják teljesnek, és olyan változókat feltételeznek a jelenségek leírásában, amelyeket eddig nem vettek számításba. A rejtett változókat feltételező eddigi elméletek – például **Louis de Broglie** vezérhullám elmélete, vagy **David Bohm** újfajta EPR<sup>7</sup>-paradoxona a spinre vonatkozóan – a kezdeti sikerek ellenére nem lettek időtállóak. Ma azonban már sok olyan tudás birtokába jutottunk, amelyek alapján újból érdemes a rejtett változók létét felvetni. Számomra a QM nemteljességének kérdését három – ráadásul a tudományok különböző területeiről érkező – tapasztalat és új elmélet támogatja meg<sup>8</sup>:

- Egyrészt az interferencia, amely a tapasztalat oldaláról, egyfajta *mérésként* épp azzal magyarázható, hogy a QM komplex-valószínűségei esetén nemcsak a komplex abszolútérték-négyzet, de az argumentum is meghatározója a valószínűségeknek.

### Megjegyzés

Még **Roger Penrose** is csak megkérdőjelezi, hogy vajon valóban csak a komplex abszolútérték-négyzet a meghatározója a QM-beli valószínűségeknek, pedig **Richard Feynman** a QED-et népszerűsítő kis könyvében miközben érthetően leírja, hogy miképp összegződnek egy adott kvantum-esemény különböző megvalósulásainak a valószínűségei, azt is világossá teszi, hogy miképp kell számításba venni a komplex amplitúdónégyzet mellett a komplex argumentumot is.<sup>9</sup>

Így a kvantummechanikai állapot leírására használt hullámfüggvény abszolútérték-négyzete, mint valószínűsűrűség nem ad teljes leírást a valószínűségről, magyarul a mai QM-leírások nemteljesek. (Nemcsak az interferencia, de a stacionárius hatás, másnéven **Hamilton**-elv

---

<sup>6</sup> Lásd erről részletesebben a következő cikket:

<https://www.infinitemath.hu/archivum/egyeb/207-kvantummacskak-es-mas-quantumhuncutsagok-iii-resz>

<sup>7</sup> Az EPR az a gondolat kísérlet, amelyet **Einstein** **Boris Podolsky**-val és Nathan **Rosen**-nel közösen publikált. Az EPR szerint a QM nem ad számot a részecskét egyszerre jellemző két fizikai mennyiségről, tehát nem teljes.

<sup>8</sup> Lásd erről részletesebben a következő cikket:

<https://www.infinitemath.hu/filozofia/428-a-fizika-matematikaja-es-a-matematika-fizikaja>

<sup>9</sup> **Richard P. Feynman**, *QED – A megszilárdult fény*, Skolar Kiadó, 2003. Lásd még a következő cikk 9. oldalát:

<https://www.infinitemath.hu/archivum/egyeb/372-hilbert-1-es-es-6-os-problemajanak-osszekapcsolasa>

értelmezésében is kulcsszerepe van az argumentumnak.)

- Másrészt az információ fizikai jellegének felismerése elvezet ahhoz a felismeréshez, hogy az információ, mint speciális energia<sup>10</sup> és mint a dolgokban való *bennelévőség* éppúgy részt vesz a fizikai folyamatokban, mint az egyéb energiafajták, és ezért számolni kell velük, amint a klasszikus energiákkal is. E gondolatok vezetnek el a rejtett változók mibenlétének megértéséhez, ahhoz, hogy az információtartalmak matematikai megfelelői azok a rejtett változók, amelyekkel nem számol a jelenlegi QM, pontosabban téves matematikai modellt alkalmaz ezekre a változókra, amikor rejtett változót feltételez. Így hibázott **Neumann János**<sup>11</sup> és **J. S. Bell** is.
- Harmadrészt ma már jól látszik, miképp válik háromfelé a valószínűségszámítás<sup>12</sup> aszerint, hogy mely kételemű szám segítségével írható le az adott valószínűség, így a komplex számok a QM valószínűségszámításában jelennek meg, a parabolikus (duális) számokról csak most derült ki, hogy a klasszikus kolmogorovi valószínűségszámítás alapelemei, és megjelent a hiperbolikus QM lehetősége is, elsősorban **Andrei Khrennikov**nak köszönhetően.

### Megjegyzés

**Andrei Khrennikov** hiperbolikus kvantummechanikája, és egyúttal hiperbolikus valószínűségszámítása felvetette a kérdést, hogy van-e egyáltalán a fizikának olyan területe, amelyet jellemezhet a hiperbolikus modell. Véleményem szerint ez adhat matematikai keretet egy új *fizikai* információelméletnek. **Khrennikov** is ebbe az irányba fordul, amikor a kvantum-valószínűségek módszerét társadalmi, gazdasági, politikai kérdésekre próbálja használni, például a következő cikkben: <https://arxiv.org/pdf/physics/0702250.pdf>

Ezek az összefüggések ismeretlenek voltak akkor, amikor **Bell** 1964-ben megfogalmazta azt a matematikát, amely segítségével cáfolhatóvá tehető a rejtett változók kérdése. Sajnos nemcsak **Bell** idején, de ma is alig ismert a hiperbolikus valószínűségszámítás területe, én is csak **Andrei Khrennikov** munkáiban találkoztam a komplex valószínűségekkel szembeállított hiperbolikus valószínűségekkel, de még **Khrennikov** sem fedezte fel a harmadik kételemű szám, a parabolikus számok kapcsolatát a klasszikus kolmogorovi valószínűségszámítással, pedig ezzel válik teljessé a valószínűségszámítások komplett elméleti rendszere.

## 3. A Bell-egyenlőtlenségekről

Többek szerint **Bell** 1964-ben megjelent, a rejtett változókról szóló cikke a QM második forradalmát hozta.

### Megjegyzés

Bell írásainak gyűjteményes kötete fellelhető olvasható formában az interneten:

<https://archive.org/details/J.S.BellSpeakableAndUnspeakableInQuantumMechanics/mode/2up?view=theater>

---

<sup>10</sup> Erről lásd a következő cikk 1.pontját: <https://www.infinitemath.hu/egyeb/420-informaciorol-tudasrol-es-hitrol-csanyi-vilmos-egyik-eloadasanak-kapcsan>

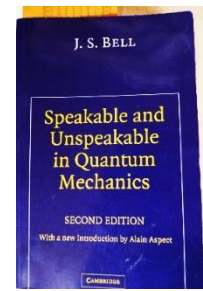
<sup>11</sup> Erről lásd a következő cikket:

<https://www.infinitemath.hu/archivum/egyeb/207-kvantummacskak-es-mas-kvantumhuncutsagok-iii-resz>

<sup>12</sup> Lásd erről a következő cikket:

<https://www.infinitemath.hu/archivum/egyeb/201-szeljegyzetek-andrei-khrennikov-hiperbolikus-kvantummechanikajahoz>

A sokat vitatott rejtett változók létének lehetőségeit vizsgálta **J. S. Bell**, amikor olyan matematikai korlátot vélt felfedezni, amely eleget tett **Karl Popper** falszifikálhatósági feltételének, azaz tesztelhető és cáfolható állítássá tette a rejtett változók létének kérdését. **Bell**, miután hibásnak találta **Neumann** ellenérveit a rejtett változókra; abból a feltevésből indult ki, hogy léteznek rejtett paraméterek, és ezekkel teljes leírása adható a mérésnek. Úgy gondolta, hogy e rejtett változókat a részecske hordozhatja, illetve a mérőberendezés elrendezése. Ezekkel a kiegészítő paraméterekkel a mérések eredményét korlátozó egyenlőtlenséghez jutott, amelyet aztán cáfoltak azok a kísérletek, amelyekért az ezévi fizikai **Nobel**-díjat adták, és ebből arra a következtetésre jutottak, hogy rejtett változók nincsenek, és a QM leírása teljes.



**Bell** tulajdonképpen hasonló hibát követett el, mint az általa is bírált **Neumann**-cáfolat a rejtett változókra. Hallgatólagosan **Bell** is feltételezte, hogy a rejtett változók tulajdonságai ugyanazzal a matematikai apparátussal írhatók le, mint a valószínűségek általa ismert összefüggései. A tájékozatlansága érthető, hiszen egyrészt a XX. század hetvenes éveitől annak a számkörnek – a hiperbolikus számsíknak – a tulajdonságai még feltáratlanok voltak, és jórészt még ma is azok, másrészt a *fizikai* információelmélet sem merült fel még akkor. Ha a rejtett változó egyfajta tárolt információ matematikai megfelelője, akkor figyelembe kell venni, hogy – a klasszikus energetikai folyamatokkal ellentétben – az információra nincs megmaradási törvény, az információ folyamatosan keletkezik, és ezt a rájuk alkalmazott matematikai összefüggéseknek is tükrözniük kell. Egyelőre csak feltételezés, de a tapasztalattal jól megtámogatott feltételezés, hogy az információs folyamatoknál a hiperbolikus valószínűségekre felírtak igazak, mivel e valószínűségszámításban megjelenő hiperbolikus koszinusz függvény mindenütt pozitív, ellentétben a QM komplex valószínűségeit meghatározó koszinusz függvényvel.

Megjegyzem, hogy a **Bell**-egyenlőtlenségek helyett csak akkor dolgozható ki helyes és tapasztalatilag ellenőrizhető matematikai modell, és ezzel a QM matematikája akkor tehető teljessé, ha a különböző valószínűségi modellek együtt-kezelhetőek lesznek, így például megismerjük azt a bővebb számkört, amelynek mindhárom kételemű számsík a részét képezi.

## 4. Összegzés

Vannak tehát **Nobel**-díjjal jutalmazott kísérleti munkák, amelyek a fentiek alapján nem bizonyítják azt, amiért **Nobel**-díjat érdemeltek. Sebaj, ha kidolgozásra kerül a különböző valószínűségszámítás-modellek összegzésének matematikája, továbbá a vázlatában már létező, de részleteiben is megfogalmazásra kerül egy fizikai információelmélet, akkor nagyon hasznosak lesznek a díjazottak kísérletei az új matematikák tesztelésében.