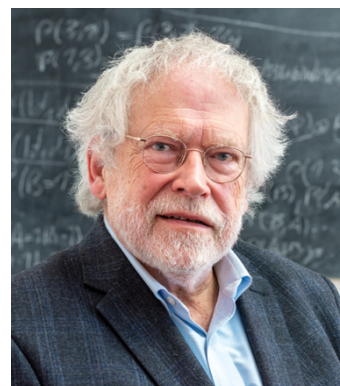


A fizikai Nobel-díjat 2022-ben **Alain Aspect** (1947, Franciaország), **John F. Clauser** (1942, USA) és **Anton Zeilinger** (1945, Ausztria) kapták „Az összegabalyodott fotonokkal végzett kísérleteik, a Bell-egyenlőtlenségek megsértésének megállapítása és az úttörő kvantuminformáció-tudományhoz való hozzájárulásuk miatt”.



Ahhoz, hogy megértsük, miért is kapta e három kutató a díjat, muszáj valamelyest megértenünk a problémát, amelyen évtizedekig dolgoztak. A kulcsszó a kvantummechanika. Mi is ez?

A kvantummechanika a fizika azon ága, amelyik a nanoszkopikus (lényegében atomi) méreteknél történő jelenségeket vizsgálja. A név abból a megfigyelésből származik, hogy bizonyos fizikai tulajdonságok egységnyi mennyiségként (latin: kvantum), nem pedig folyamatos (analóg) módon változnak. A kvantummechanika alapvetően négy jelenségre szolgáltat magyarázatot, amikre a klasszikus fizika (mechanika és elektrodinamika) nem: a kvantálás, a hullám-részecske kettősség, a határozatlansági reláció és a kvantum-összefonódás. Ezek közül a mostani Nobel-díj a kvantum összefonódáshoz, más szóval az „összegabalyodáshoz” kapcsolódik. A szó furcsának tűnhet, hiszen komoly emberek ritkán használják és főleg nem töltenek évtizedeket a tanulmányozásával. De ez csak a mi nem-atom világunkban van így, a kvantumok világában teljesen természetes, hogy minden furcsa. Az egyik furcsaság például az ún. szuperpozíció elve, miszerint, ha egy részecskének többféle állapota lehetséges, akkor ezek egyszerre, egymással „interferálva” is megjelenhetnek. Ha a kvantummechanikát a nagy tömegű testekre extrapoláljuk, nyilvánvaló lehetetlenségbe ütközünk: bár csábító lehetőségnek tűnik, hogy egyszerre két helyen legyünk, illetve, hogy saját magunkkal interferálva haladjunk át egyszerre két nyitott ajtón, ezek nyilvánvaló képtelenségek.

A kvantummechanika másik lényegi furcsasága akkor mutatkozik meg, ha legalább két részecske állapotát vizsgáljuk egyszerre. A szuperpozíció miatt a két részecske úgynevezett „összefonódott” állapotba kerülhet. Ilyenkor egy részecske állapota nem értelmezhető a másiktól függetlenül, még akkor sem, ha az állapot preparálását követően a két részecskét egymástól jó messzire eltávolítjuk. Összefonódott állapotban az egyik részecskén végzett méréssel a másik, akár távoli pontban lévő részecske állapotáról pillanatszerűen pontos információt nyerhetünk. Ez a lehetőség Einsteint nagyon zavarta, ezért egy 1935-ös, Podolskival és Rosennel írt cikkükben paradoxonként tekintettek a kvantummechanikának erre a következményére. Einstein nem fogadta el Niels Bohrnak a problémára adott magyarázatát sem, miszerint a valószínűség határozza meg a természetet, illetve azt, hogy amíg nem végzünk mérést, megfigyelést, addig a részecske tulajdonságai meghatározatlanok. Ekkor hangzott el Einsteintől az a sokat hangoztatott híres mondat: „Isten nem vet kockát”, mire kollégája azzal vágott vissza: ne mondja meg Istennek, hogy mit tegyen. Bohr tehát azt állította, hogy csak akkor válik valóságossá valami, ha megfigyeljük.

Sokáig az volt a kérdés, hogy vajon az összegabalyodott pár részecskéi rejtett változókat, utasításokat tartalmaznak-e, amelyek megmondják, milyen eredményt kell adniuk egy kísérlet során. Az 1960-as években John Bell ír fizikus matematikai egyenlőtlenség formájába öntötte a paradoxont: felső határt adott a két részecskén végrehajtott mérési eredmények közötti korreláció klasszikusan lehetséges mértékére. Egy 1982-ben végrehajtott úttörő mérést követően azonban – melyet éppen a most

díjazottak egyike, Alain Aspect végzett el – az 1990-es évek közepétől kezdve nagyon pontos mérésekkel sokszorosán igazolták, hogy a Bell-egyenlőtlenség sérül, azaz a térben eltávolított két részecske között valóban erős, "kvantumkorreláció" áll fenn, amelyet semmilyen klasszikus valószínűségi folyamattal nem lehet értelmezni. A mérés tehát Bohr elméletét támasztotta alá.

A három fizikus alapvetően azon dolgozott, hogy kísérleti bizonyítékát adják a kvantum összefonódásnak, felülírva ezzel a Bell-egyenlőtlenséget. Méréseikhez a fotont használták, ami az elektromágneses sugárzások, többek között a fény elemi részecskéje, legkisebb egysége, kvantuma.

John Clauser (J.F. Clauser & Assoc., Walnut Creek, CA, USA) olyan kalciumatomokat használt, amelyek összegabalyodott fotonokat bocsátanak ki, miután speciális fényel megvilágították őket. Mindkét oldalon szűrőt állított fel a fotonok polarizációjának mérésére. Egy sor mérés után sikerült kimutatnia, hogy megsértették a Bell-egyenlőtlenséget.

Alain Aspect (Institut d'Optique Graduate School – Université Paris-Saclay és École Polytechnique, Palaiseau, Franciaország) fejlesztette tovább ezt a kísérletet, az atomok gerjesztésének új módját alkalmazva, így azok nagyobb sebességgel bocsátottak ki összegabalyodott fotonokat. Ezenkívül úgy sikerült váltania a különböző beállítások között, hogy a rendszer nem tartalmazott semmilyen előzetes információt, amely befolyásolhatta volna az eredményeket.

Anton Zeilinger (University of Vienna, Ausztria) is a Bell-egyenlőtlenségekkel kapcsolatban végzett kísérleteket. Összegabalyodott fotonpárokat hozott létre úgy, hogy egy lézert megvilágított egy speciális kristályon, és véletlen számokat használt a mérési beállítások közötti váltáshoz. Sőt, az egyik kísérletben távoli galaxisokból származó jeleket használtak a szűrők vezérlésére és annak biztosítására, hogy a jelek ne befolyásolják egymást.

Jogos a kérdés, hogy mindez biztosan nagyon fontos, de mire lehet jó nekünk? Három dolgot szoktak emlegetni, melyek mind a kvantummechanikán alapulnak: a kvantumszámítást (a kvantum számítógépeket), a kvantuminformációk átvitelének és tárolásának a lehetőségét (ezt hívják kvantum teleportációnak), valamint a kvantumtitkosítási algoritmusokat. Ezek közül nyilván a kvantum számítógép lehet leginkább érdekes számunkra, már csak azért is, mert 2017-ben a Rigetti nevű startup cég gyártóüzemet nyitott kvantumszámítógép hardverének gyártására.

Források:

To the winners, the spoils. The Economist, October 8 2022

<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/>

<https://wigner.hu/quantumtechnology/hu/node/23>

<https://www.termvil.hu/archiv/otka/bacsardi.pdf>

http://www.epa.hu/02900/02926/00001/pdf/EPA02926_termeszet_vilaga_2013_01_02-06.pdf

<https://hu.wikipedia.org/wiki/Kvantummechanika>

<https://hu.wikipedia.org/wiki/Foton>

<https://www.origo.hu/tudomany/20180401-ha-nem-nezunk-a-holdra-akkor-az-nem-is-letezik.html>

<https://mek.oszk.hu/00500/00571/html/s12.htm>

Podmaniczky László

2022 november