

## BÍRÁLÓI VÉLEMÉNY

VÉRTESI TAMÁS

### NEMLOKÁLIS KVANTUMKORRELÁCIÓK VIZSGÁLATA c. MTA doktori értekezéséről

Ismert volt eleitől fogva, hogy a klasszikus fizika lokalitásához, és a klasszikus statisztika korrelációihoz képest a mikroszkopikus rendszerekre érvényes kvantumelmélet valami mást, általánosabbat jósol. Ennek kísérleti vizsgálatához igen hosszú ideig hiányzott a megfelelő technika. Így volt ez, mikor John Stewart Bell megfogalmazta, szerinte mi pontosan az a klasszikus lokalitás-fogalom, amit megszoktunk, és amiből a ma Bell-egyenlőtlenségeknek nevezett megszorítások következnek egyes klasszikus korrelációs függvényekre. Ezeket az egyenlőtlenségeket sértik meg kvantumrendszerek korrelációs függvényei. Ezzel Bell szigorú értelmet adott a lokalitásnak és mértéket a nemlokalitásnak, megmutatva, hogy a kvantumrendszerek régóta emlegetett nemlokalitásán mit értsünk. A Bell-lokalitás nem azonos a térelméletben vagy a relativitáselméletben megszokott lokalitással. A kvantumelmélet nemlokalitásán technikailag azt értjük, hogy a kvantum-rendszerek bizonyos korrelációs függvényei Bell-egyenlőtlenségeket sértenek meg.

Bell felfedezése az első években alig keltett figyelmet, de például Wignerét igen. Magam is, még egyetemistaként, Wignernek egy esszékötetéből bukkantam rá, és - mi tagadás - el is felejtettem. Mint ahogy éveknek, évtizedeknek kellett eltelni, míg előbb a kísérleti ellenőrzés vált lehetővé, majd a Bell-egyenlőtlenségek és a Bell-nemlokalitás elméleti mélységeit a kutatás elkezdhetette vizsgálni, ma is fokozódó intenzitással. A lelkes korszak nyitányakor még együtt haladtam a fejleményekkel. Mára a Bell-féle nemlokális korrelációk vizsgálata oly mértékben specializálódott, hogy a bíráló bennfentes szakértőnek csak túlzással tekinthetné magát.

Eltérően sok, eleve bonyolult matematikájú elméleti kutatási témától, itt a kiinduló formalizmus, sőt Bell koncepciója elemi szintű, már-már középiskolás szinten is felfogható. Csakhogy rendkívüli matematikai és fizikai mélységek tárulnak fel bennük. Ebben a sorrendben mondom, mert, megintcsak eltérően sok más elméleti fizikai problémától, itt mindvégig egzakt matematikai módszerekkel dolgozhat a kutató.

Ezt teszi Vértesi Tamás is. A Bell-egyenlőtlenségek különféle mélységeit lépésről-lépésre egzakt matematikával tárgyalja. Munkáját mindvégig kíséri és motiválja a fizikus intuíciója - enélkül a bíráló sem értékelni nem tudná, de talán még becsülni sem kívánná az értekezést. Vértesi az adott tudományos közösségben

ismeretlenül debütált. Belépője egy olyan eredmény volt, amivel rögtön figyelmet keltett. Mára a Bell-egyenlőtlenségek nemzetközileg legtekintélyesebb szakértői közé került. Az MTA Atommagkutató Intézetben önállóan, sejtésem szerint előzmények nélkül választott kutatási témát. Mára saját kutatócsoportja lett, munkatársakkal, tanítványokkal. Eközben folynak közös és egyenrangú munkái neves nemzetközi műhelyekkel, kutatókkal.

A doktori mű egésze kiegyensúlyozott, pontos, jól olvasható, a belső és külső hivatkozások igen gondosak, a jelölések megnyugtatóan egységesek, a szöveg átgondolt, kiválóan olvasható. A téma történetére visszatekintő Bevezetés utáni 2. fejezet kiválóan foglalja össze a megértéshez szükséges alapokat, a Célkitűzések (3. fejezet) az új eredmények pontos és rövid összefoglalása. Az eredmények, Vértesi munkásságából három szelet, a mű hátralevő 4.-6. fejezete. A tizennégy tézisnyi eredmény mindegyike szélesíti a nemlokalitásról addig szerzett tudásunkat, hozzá mindig a világszerte folyó kutatás fő irányjaiban. Az új eredmények egyenkénti értelmezésétől és méltatásától eltekintek.

Alábbiakat emelem ki.

A Werner-állapotok nemlokalitásának egyszerű paraméteres feltételéről sokáig nem volt ismert, hogy végleges, vagy élesíthető. Vértesi áttörte ezt a falat és megszigorította a feltételt.

Az elnevezést is megelőzve, dimenziótanút elsőként Vértesi szerkesztett, ráadásul elegáns módszerrel, Fejes-Tóth egy diszkrét geometriai eredményére támaszkodva.

Peres sejtése szerint, melyet a kutatások inkább igazolni, mint cáfolni látszottak, a nemlepárolható összefonódott állapotok Bell-lokálisak. Vértesi 15 év után cáfolatul egyértelmű ellenpéldákat mutatott.

Kérdéseim:

1) A mű megemlíti (26. old.), hogy Gisin talált olyan állapotot, amely lokális, de lokális szűréssel nemlokálissá lesz. Tehát a szűretlen statisztika lokális, a szűrt már nem. Azt gondolnám, a korrelációk nemlokalitása abból keletkezik, hogy egyes mérési adatok a szűrés miatt kiesnek. De ha ez megtehető, vagyis a mért statisztika előválogatható, akkor még egy teljesen korrelálatlan állapoton is kaphatnánk korrelációt, nemlokálisat is. A szűrt statisztika nemlokalitásából tehát nem következik az eredeti állapot nemlokalitása - szemben azzal, amit a példa sugallni látszik. Hányadik lépése hibás gondolatmenetemnek?

2) A mű csökkent hatékonyságú detektálás esetére mutat dimenziótanút (67. old.). Az ilyen detektálás, az előző kérdésben hivatkozott Gisin-féle szűréshez hasonlóan, inkonkluzív mérésekre is vezet. Most azonban Vértési a hatékonysággal paraméterezve módosítja a Bell-egyenlőtlenséget és (a doktori mű ezt nem említi, csak az eredeti [153] publikáció) az inkonkluzív mérési eredményeket kipótolja konstans  $-1$ -gyel. Ebben az esetben tehát meg van oldva, hogy a teljes statisztikát nem kell redukálni. Tehát elhárulnak az előző kérdésben felvetett kétségeim. Tudná-e Vértési értelmezni, mi az itteni és a Gisin-féle statisztikacsökkenés viszonya, kell-e összevetnem őket, vagy nincs köze egyiknek a másikhoz?

3) A mű a Popescu-Rohrlich-dobozt idézi (20. old.), hogy a neki megfelelő - mai tudásunk szerint szürreális - nemlokális korrelációk elképesztő erejű kommunikációs erőforrások lehetnének. A gyengébb, de kvantumrendszerekben realizálható nemlokális korrelációkról magukról, tehát a mű által is használt eszközfüggetlen módon, bizonyítható-e, hogy bárminek is erőforrásai?

4) Bell mértéket is adott a nemlokalitásra. A mérték, az egyenlőtlenségek sérülésének értéke, mindaddig csupán egy heurisztikus skála, amíg a sérülés értékét nem tudjuk valamely független tulajdonság értékéhez hozzákötni. Van-e ilyen eredmény, legalább kilátás fél évszázaddal Bell felfedezése után?

Összefoglalva, Vértési Tamás hazai kutatóközösségünkben kiemelkedő eredményességgel, rangot jelentő nemzetközi elismertséggel kutatja a leginkább a kvantuminformatikához sorolható elméleti területet. A doktori mű hiteles adatokat tartalmaz, a T1-T14 tézisek mindegyike új tudományos eredmény, a doktori mű nyilvános vitára alkalmas. Támogatni fogom az MTA doktora cím odaítélését.



Diósi Lajos  
MTA Doktora

egyetemi magántanár

Budapest, 2019. október 28.