

Egyszerű összefonódott rendszerek geometriája és a fekete lyuk-qubit megfelelés

c. doktori értekezéséről

Lévay Péter a kvantummechanika és annak jellegzetes – többek közt az informatikai alkalmazások szempontjából is igen fontos – sajátosságának, az összefonódottságnak a geometriai vonatkozásairól írta doktori értekezését. A kérdéskörhöz kapcsolódó problémák iránti érdeklődés az elmúlt 30 év során robbanásszerűen megnőtt, aminek oka elsősorban az összefonódottságon alapuló kvantuminformatikai alkalmazások ígéretes lehetőségeinek föltárásában, másrészt az egyedi kvantumos objektumokkal végzett kísérletek sikereiben keresendő. A vizsgált terület, tehát igen aktuális és nagy érdeklődést kiváltó téma. Az a speciális törekvés pedig, amely a geometriai vonatkozások révén kívánja mélyebben megérteni a kvantumfizika jellegzetességeit egy sajátos, szép és egyedi kutatási irány, melynek Lévay Péter elismert képviselője.

A dolgozat 206 oldal terjedelmű 10 pontos betűmérettel és egyes sorközzel. A hosszát tekintve tehát akár két – a szokásosnál egyenként is nagyobb terjedelmű – értekezés is kijönne ennyiből, ami jócskán megnehezíti a bíráló feladatát. Különösebben részletes levezetéseket (nagyon helyesen) nem tartalmaz, a számozott formulák száma még így is 1088. 274 hivatkozást számoltam össze, a lábjegyzetek száma 286 (a 206 oldalon!), s ezek sokszor maguk is bonyolult, de ugyanakkor tömör matematikai definíciókkal és magyarázatokkal kívánnak hozzájárulni a jobb érthetőséghez.

Tartalmilag a munka két fő részre osztható: az első rész néhány egyszerűnek tekinthető qubit rendszer geometriájával foglalkozik két fejezetben (2. és 3.) mintegy 80 oldalon. Ezután következik egy rövid ismertető illetve átvezetés a fizikusok által kevésbé ismert Freudenthal-féle rendszerekről, majd egy újabb kb. 100 oldalas rész a magyarul FLYQM betűszóval rövidített téma a fekete lyukak és qubitek közötti megfelelésről (5-8 fejezet). A dolgozatot a 9. fejezet a mindkét nagy témakörre vonatkozó rövid kitekintéssel zárja. Nem ártott volna egyébként egy-egy kb. egyoldalas összefoglaló alpont minden fejezet végén, sajnálatos módon ilyen csak a 7-ik és 8-ik a fejezet végén található.

Amint a szerző a bevezetésben maga is jelzi: „A dolgozatban a tézispontokban kifejtett eredményeken túl jóval több anyag kapott helyet.” Ez rendben is lenne, hiszen egy doktori értekezésnek a saját eredményeken kívül az előzmények ismertetését is tartalmaznia kell. Sajnos azonban sokszor nem könnyű kihámozni, hogy az egyes fejezeteken belül meddig tart

az előzmények bemutatása és hol kezdődnek a saját kutatási eredmények. Így a bírálónak inkább úgy tűnik mintha egy monográfiát olvasna nem pedig egy olyan értekezést, ahol elsősorban a saját eredmények kiemelése a cél.

A dolgozat nagyon hangsúlyosan a matematikai-fizika témaköréhez tartozik, sőt sok helyen tisztán matematikai jellegű, noha amint azt a szerző maga is megemlíti, formailag nem követi az ott szokásos: tétel, bizonyítás stb. tagolást, bár bizonyos publikációiban erre is van példa. Ez a stílus olvasmányosabbá teszi az amúgy sokrétűsége és szerteágazó volta miatt elég nehezen követhető szöveget, másrészt viszont néhol nehéz kihámozni, hogy melyek is pontosan azok az állítások, amelyeket a szerző bizonyít, mert magában a dolgozatban a tézispontok nem szerepelnek kiemelten, s így minduntalan a téziszűzethez kell fordulni a tételes kijelentésekhez. Mindazonáltal látható, hogy Lévay Péter nagyon szerteágazó és alapos geometriai, algebrai illetve csoportelméleti ismeretek birtokában nyúlt az összefonódottság témaköréhez. Ennek megfelelően igen sok tekintetben új megvilágításba helyezte ezt a kvantumelméletben mind az elvi alapok, mind a kvantum információ kezelésének szempontjából lényeges területet, noha az informatikai vonatkozások esetleges alkalmazására vonatkozóan nincs lényeges utalás a dolgozatban. Láthatólag a szerzőt jobban izgatta annak az analógiának a kérdése, ami a qubitek összefonódása és a húrelméletek bizonyos típusai között a 2000-es évek elején vált divatos témává (FLYQM), de a kezdeti lelkesedés után ez az irányvonal azóta magának a szerzőnek a véleménye szerint is veszített vonzerejéből. Ennek fényében az a terjedelem (a második kb. 100 oldal), amit Lévay Péter ennek a témakörnek a kibontására szentel a dolgozatban rövidebb is lehetett volna. Ez természetesen csupán a bíráló szubjektív véleménye.

A dolgozat számomra leginformatívabb részét a nem megkülönböztethető objektumok, azon belül is a fermionikus rendszerek összefonódására vonatkozó meggondolások képezik. A feketelyuk-qubit megfelelés, ami a dolgozat teljes második felét tölti ki sokkal inkább matematikai jellegű, és fizikai relevanciája – amint azt a szerző is elismeri a bevezetésben – megkérdőjelezhető.

További megjegyzések és kérdések:

1) Ismeretes-e esetleg olyan rendszer, amelynél az összefonódást illetően a harmadik nemtriviális Hopf-fibrálás játszik szerepet, ahol a fibrált nyáláb az S^{15} gömbfelület az S^8 bázistér fölött?

2.) Kevert állapotok összefonódásáról egy rövid szakasz (2.3) szól az értekezésben, de lényegében nincs szó ezek geometriájáról. A kvaterniós Hopf nyálábra vonatkozó meggondolások kiterjesztése az ott föllépő gömbök belsejére (golyókra), adhat-e valamilyen iránymutatást ez irányban?

3. Honnan származik a Borromeo gyűrűk és a $|W\rangle$ illetve a $|GHZ\rangle$ állapotok összefonódásának analógiája?

4. A twisztorok kapcsolata a három qubites rendszerrel segíthet-e a twisztorelmélet eredeti célkitűzésének megvalósítása, a téridő kvantálásának irányába tehető lépések felé?

5. A második fejezetben a három majd négy qubites megkülönböztethető rendszerekre vonatkozó meggondolásokat követő általános N qubites rész túlságosan tömör, célszerű lett volna inkább ezt alaposabban részletezni, majd ennek alapján kifejteni részletezni az előző alfejezetek speciális eseteit.

6. Lehetséges-e valamilyen egyszerű magyarázatot adni a fermionos összefonódás esetén a 6 és 7 egyrészecske állapotok kitüntetettnek látszó szerepére? A Fano sík általánosítása adhat-e újabb szempontot az összefonódás kérdésköréhez több egyrészecske állapot esetén?

A fenti kérdésekre adandó válaszoktól és az előzőekben felsorolt – elsősorban formai szempontokat érintő – kritikai észrevételektől függetlenül a dolgozatban, az azokhoz kapcsolódó publikációkban illetve a tézispontokban leírtakat lényeges új tudományos eredményeknek tartom. A dolgozat nyilvános vitára bocsátását javaslom, és az MTA doktora cím odaítélését támogatom.

Szeged, 2018. május 1.

Benedict Mihály
az MTA doktora