

## Kvantuminformáció, kvantumkorrelációk, kvantumirreverzibilitás elméleti vizsgálata

OTKA-azon.: 49384

Szakmai zárójelentés

Kutatási területünk két évtizede monoton növekvő figyelmet kelt, amit napjainkban tovább fűt az a tény, hogy a nano-, sőt a mikro-objektumok kvantummechanikai viselkedése kísérletileg elérhetővé vált illetve válik. Ez új feladatokat jelent az elmélet számára, amely bizonyos területeken kísérleti megerősítés nélkül futott előre - pl. kvantum-számítógép, Penrose-Diósi kollapszusmodell -, máskor pedig kissé lemaradt az eredmények értelmezésében - pl. a nano-mechanikai súrlódás és hűtés, vagy a sok esetben sejthető nem-markovi időfüggés elmélete.

Kutatásaink négy, egymással összefüggő elméleti területre estek.

- 1) Kvantum-rendszerek időben folytonos monitorozása, nanoelektronikai töltésdetektálás
- 2) A kvantumos-klasszikus átmenet mechanizmusai – a gravitáció lehetséges szerepe
- 3) Kvantum opto-mechanikai kísérletek elméleti háttere
- 4) Kvantuminformáció

Sikeres kutatásunkat egyebek mellett megalapozta az egységes elméleti megközelítés és az ebből adódó hasonló matematikai módszerek a négy terület kutatásában. A témavezető korábbi sikeres kutatási folyamatába illeszkedett a program, ez is hozzájárult a jó teljesítéshez, mely összesen 13 megjelent referált folyóiratcikket eredményezett. A résztvevők 9 meghívott előadást tartottak nemzetközi konferencián, két meghívott előadást az MTA-n, két kollokviumot az ELTÉn, két nemzetközi konferenciát társszerveztek, szerkesztettek két konferenciakiadványt, két tankönyvet írtak, négy magyar nyelvű népszerűsítő cikket jelentettek meg, egy Ph.D. hallgatót és egy Ms.C. hallgatót vontak be a kutatásba - mindezeket a pályázat szorosán vett témáit propagálva itthon és külföldön. A visszajelzések közül néhány érdekesebbet a részletes szövegben megemlítünk.

- 1) Kvantum-rendszerek időben folytonos monitorozása, nanoelektronikai töltésdetektálás

Levezettük azokat az egyenleteket, amelyek markovi közelítésben lehetővé teszik, hogy leírjuk egy időben folytonosan megfigyelt kvantumrendszer állapotvektorának az időben folytonos (on-line) becslését [10].

Elemeztük egy kvantumpötty (kvantum-dot) töltésállapotának monitorozását egy csúcsérzékenységgű árammérő folyamatos leolvasásával. Megmutattuk, hogy a rendszer alkalmas a kvantummérés visszahatásának, ezen belül a kvantum-Zénon-effektusnak a kísérleti megfigyelésére [22].

Megvizsgáltunk egy másféle lehetőséget is félvezető nanorendszerek töltésállapotá-nak mérésére. Az általunk javasolt eszköz egy kettős kvantum-dot, amelynek rezonáns áramvezetését erősen modulálja a vele Coulomb-csatolásba kerülő közeli töltés [11].

A folytonos monitorozás relativisztikus illetve nem-markovi általánosítása évtizedes nyitott kérdés. Előbbiben kisebb, utóbbiban nagy lépést tettünk. A kvantumállapot-kollapszusnak egy speciális egyenletét formálisan képesek voltunk alkalmazni a töltések kvantum-elektro-dinamikai állapotára [8]. Magát a nem-markovi kollapszus egyenletet viszont először sikerült detektorokkal történő mérésenként interpretálni [23].

Az Elsevier kiadó felkérésére a témavezető írta az új Matematikai Fizika Enciklopédia fenti témával kapcsolatos ú.n. gyenge mérésre vonatkozó fejezetét [7].

## 2) A kvantum-klasszikus átmenet mechanizmusai – a gravitáció lehetséges szerepe

Évtizedekig a probléma fontosságát beárnyékolta, hogy kísérletileg nem volt megközelíthető. Az elméleti hipotézisek azonban megszülettek, és ezek közt az egyik vezető javaslat, hogy a nano- vagy mikro-skálán a newtoni gravitáció dekoherens és/vagy nemlineáris effektusokat okoz. Az ú.n. Newton-Schrödinger egyenlet (NSE) lehetséges szerepét a szuperpozíció elv hipotetikus sérülésében, ennek alternatív mechanizmusait vizsgáltuk. Egyebek mellett numerikusan meghatároztuk a NSE irreverzibilis verziójának szoliton-megoldását, megmutattuk, hogy létezhet mechanizmus, melyben a newtoni erőter a kvantumállapot kollapszusának a következménye [25]. Megvizsgáltuk a gravitációs önkölcsönhatás megjelenésének lehetőségét egy nanomechanikai oszcillátor mérhető rezgési spektrumában [20].

Kutatásaink nem nélkülözték a nemzetközi reflexiót. Penrose-zal közös gravitációs dekoherencia képletünkre alapozva végezték el az eddigi legnagyobb (földrajzi) távolságot áthidaló kísérletet a Bell-féle egyenlőtlenség sérülésének igazolására - erről a PRL szakfolyóirat mellett olyan fórumok is hírt adtak, mint a R&D Magazin, hangsúlyozva a témavezető és Penrose szerepét a Genfi Egyetemen elvégzett, csúcs-technológiát használó kísérlet motivációjában. Képletünk ellenőrzésére több más kutató csoport is készül.

[R&D Magazin, Tuesday, June 17, 2008;

<http://www.rdmag.com/News/2008/06/Quantum-Bell-test-requires-space--and-time-a-part/>]

## 3) Kvantum opto-mechanikai kísérletek elméleti háttere

Évről-évre több kísérlet célozza a kvantum-klasszikus átmenetek vizsgálatát. Számunkra elsősorban azok a kísérletek fontosak, ahol a feltételezett newtoni

gravitációs mechanizmus ellenőrizhetővé válik. Két munkánk is foglalkozott az interferometrikus opto-mechanikai kísérletekkel. Megmutattuk, hogy amíg a mikro-mechanikai tömeg rezgési frekvenciája - a megfelelő mikro-kelvines hűtés hiánya miatt - nem csökkenthető a kHz tartományig, addig a jelenleg is fejlesztés alatt álló kísérletek nem tudják a mikro-rezonátort kvantumozott összefonódott állapotba hozni - ami az eredményes kísérlet feltétele [6]. Rámutattunk, hogy a mikro-mechanikai rezonátor lézeres hűtésének váratlan korlátot szab a pumpáló lézer fáziszaja [24].

#### 4) Kvantuminformáció

Erről a modern diszciplináról a Springer kiadónál tankönyvet jelentettünk meg, mely számos új kutatói-pedagógusi megközelítést alkalmaz. A második, bővített kiadásra is megérkezett a felkérés [16].

Bevezettük az ún. kvantumkesztyű fogalmát. Ez egy olyan kvantumrendszer, amely a kiralitás kódolására képes, és ezt olyan gazdaságosan teszi, hogy más fölösleges információt nem hordoz. Erre csak kvantumrendszer képes, a klasszikus "kesztyű", akár pl. egy csavar vagy egy pörgettyű, a kiralitáson kívül sok egyéb térbeli információt is hordoz [1]. Ezt a munkánkat röviden szemlélte a Nature és a Magyar Tudomány. [Nature 436, 892 (18 August 2005); L.J., Magyar Tudomány, Nov. (2005)]

Konstruáltunk egy megoldható absztrakt kvantum-modellt termodinamikai entrópia produkcióra, és megjósoltuk a termodinamikai és a kvantumozott entrópiák azonosságát [9]. Az ezzel kapcsolatos - relatív entrópiákra vonatkozó matematikai sejtést ennek nyomán egzaktul be is bebizonyították.

[I.Csiszár, D.Petz, F.Hiai: J.Math.Phys. 48, 092102 (2007)]