

# Féléves doktori beszámoló

ELTE TTK Fizikai Intézet - Fizika Doktori Iskola  
2020/2021 tanév, 4. félév

**Név:** Solymos Adrián

**Elérhetőség:** solymos.adrian@wigner.hu

**Doktori program:** Statisztikus fizika, biológiai fizika és kvantumrendszerek fizikája

**Témavezető:** Dr. Zimborás Zoltán, Wigner FK

**A dolgozat várható címe:** Entanglement properties of mixed states

**Bevezetés:** A kutatásom témája a kvantum-információelmélet területére helyezhető, azon belül is kvantumállapotok összefonódottságával kapcsolatos, melyet matematikai fizikai módszerekkel vizsgálok. [1–4]

Az összefonódás jellemzésére több különböző mérték is létezik. Ezek közül az eddigi kutatásom során a megoszthatóságra [5] koncentráltam, mely a következőt jelenti: egy a  $\mathcal{H}_A \otimes \mathcal{H}_B$  Hilbert-téren lévő  $\rho$  kvantumállapot  $(k, l)$ -megosztható, amennyiben létezik  $\rho_{kl}$  kvantumállapot a  $\mathcal{H}_A^{(1)} \otimes \dots \otimes \mathcal{H}_A^{(k)} \otimes \mathcal{H}_B^{(1)} \otimes \dots \otimes \mathcal{H}_B^{(l)}$  Hilbert-téren, melyre teljesül, hogy bármely  $\mathcal{H}_A^{(i)} \otimes \mathcal{H}_B^{(j)}$  párra megszorítva az állapotot visszakapjuk az eredetit. Képletben:

$$\text{Tr}_{\substack{\mathcal{H}_A^{(p)}, \mathcal{H}_B^{(q)} \\ \forall p \neq i, \forall q \neq j}} (\rho_{kl}) = \rho \quad \forall i \in \{1, \dots, k\}, \quad \forall j \in \{1, \dots, l\}, \quad (1)$$

ahol  $\text{Tr}$  alatt itt parciális trace-t értünk. Az, hogy egy állapot maximálisan mennyire megosztható jellemzi, hogy mennyire összefonódott. A nem-összefonódott állapotok végtelenszer megoszthatóak, míg a maximálisan összefonódottak egyáltalán nem. A megoszthatóság egyik előnye, hogy jól számolható kevert állapotokra is amennyiben azok rendelkeznek valamiféle szimmetriával.

A kutatásom során olyan kvantumállapot-családokkal foglalkoztam amelyek rendelkeznek valamiféle szimmetriával [6], pl. Werner-állapotok [7], OO-állapotok [8]. Ezekre a bipartit állapot-családokra az jellemző, hogy egy rögzített  $\mathcal{G}$  Lie-csoport (általában  $U(n)$  vagy  $O(n)$ ) rögzített  $\Phi_\lambda, \Phi_{\lambda'}$  ábrázolásokban lévő összes elemével felcserélnek. Képletben:

$$[\rho, \Phi_\lambda(g) \otimes \Phi_{\lambda'}(g)] = 0, \quad \forall g \in \mathcal{G}. \quad (2)$$

Ezen állapotok általában kevés paraméterrel jellemezhetőek és csoportelméleti módszerekkel megállapítható, hogy a paraméterterük mely tartományában  $(k, l)$ -megoszthatóak [9].

### Az előző három félévben elért kutatási eredmények összegzése:

- Megállapítottam a  $\mathbb{C}^n \otimes \mathbb{C}^2$  Hilbert-téren lévő  $\Phi_{(n-1)/2} \otimes \Phi_{1/2}$  ábrázolásra nézve  $SU(2)$ -invariáns általánosított Werner-állapotok  $(k, l)$  megoszthatóságának feltételét.
- Megállapítottam a  $\mathbb{C}^3 \otimes \mathbb{C}^3$  Hilbert-téren lévő  $\Phi_1 \otimes \Phi_1$  ábrázolásra nézve  $O(3)$  invariáns állapotok  $(1, 2)$  megoszthatóságának feltételeit.
- A témavezetőm másik doktoranduszával, Jakab Dáviddal együtt a  $\mathbb{C}^n \otimes \mathbb{C}^n$  Hilbert-téren lévő,  $\Phi_{\square} \otimes \Phi_{\square}$  ábrázolásra nézve  $SU(n)$  invariáns Werner állapotok  $(k, l)$  megoszthatóságán dolgoztunk. Itt az  $n = 3$  esetre meghatároztuk a megoszthatóság feltételét. Általános  $n$ -re egy felső határt állapítottunk meg a paramétertartományban, amiről az a sejtésünk, hogy egyben alsó határ is. Ez utóbbi bizonyítása még várat magára.

### Az aktuális félévben elvégzett kutatások ismertetése:

- Megállapítottam a  $\mathbb{C}^n \otimes \mathbb{C}^n$  Hilbert-téren lévő  $\Phi_{\square} \otimes \Phi_{\square}$  ábrázolásra nézve  $O(n)$  invariáns állapotok  $(1, 2)$  megoszthatóságának feltételeit.
- Idén egy új párhuzamos projektbe is kezdtem. A bécsben kutató Kyrlyo Simonov megkereste a témavezetőmet egy projekt-tervvel mely során 'indefinit kauzális struktúrák' hatását vizsgálánk a kvantum-információelmélet területeire, kiváltaképp a kvantumtermodinamikára és a kvantumszámításra. A projekt kialakításában aktívan részt vettem, mely abban kulminált, hogy Kyrlyo Simonov és Kozsik Tamás beadott egy Magyar-Osztrák nemzetközi együttműködésen alapuló kutatási témapályázatot melynek egyik írója voltam. (A projekt tagjai továbbá a témavezetőm csoportja és Diósi Lajos is.) A pályázat jelenleg bírálás alatt van, de ez adott motivációt a témakör jobb megismerésére. Jelenleg témavezetőmmel és a posztdokjával, Cristhiano Duarte-vel az ún. folyamatmátrix-formalizmus [10, 11] adta általánosítási lehetőségek megvizsgálásán dolgozunk a kvantum-darwinizmus területére [12]. Ez a projekt jelenleg még kezdeti állapotban jár, a tanulmányaim és a komplex vizsgám miatt még nem tudtam sok időt szánni rá.

**Publikációk:** Az eddigi eredményeimet még nem publikáltuk, azonban már publikálásra érettek. A megfelelő formábaöntés és precíz leírásuk van még hátra, reményeim szerint ezt a nyár alatt véghezviszem.

**Tanulmányi tevékenység az aktuális félévben:** A félév során egy kurzust hallgattam:

- Diósi Lajos: Nyitott kvantumrendszerek elméletei (FIZ/3/066). Amelyből a szerzett jegyem: jeles (5).

A kurzus kitekintést adott arra, hogy miként kezelhetünk nyílt kvantumrendszert és ezáltal hozzájárult ahhoz, hogy teljesebb képem legyen a kvantumelméletről.

**Konferenciák a képzés alatt:** A koronavírus járvány okozta nehézségek a kutatási/tanulmányi teljesítményen túl főleg a konferenciák hiányában mutatkozik meg, hiszen az elmúlt másfél év legtöbb konferenciáját eltörölték vagy esetleg csupán online tartották meg. A következőket emelném ki:

- International Conference of Physics Students 2019 - Köln, Németország:  
A minden évben megrendezett, fizikushallgatóknak szóló konferenciára 12 perces előadást vittem, melynek címe: "The monogamy of entanglement". Ebben az összefonódás és a megoszthatóság alapjairól beszéltem amivel megnyertem a legjobb előadásnak szóló díjat.
- Magyar Fizikus Vándorgyűlés 2019 - Sopron, Magyarország:  
A háromévente megszervezett hazai fizikusok és fizikatanárok találkozásán poszterrel szerepeltem, melynek címe: "Shareability of generalised Werner states". Ezen a  $\mathbb{C}^3 \otimes \mathbb{C}^2$  Hilbert-téren lévő SU(2) invariáns általánosított Werner-állapotok  $(k, l)$  megoszthatóságának feltételét mutattam be.
- 5th International Conference for Young Quantum Information Scientists 2019 - Sopot, Lengyelország:  
A pályakezdő kutatók számára megrendezett konferencián megismerkedhettem a kutatási területem korombeli, nemzetközi művelőivel és a témáikkal. A konferencián poszterrel szerepeltem, melynek címe: "Shareability of generalised Werner states". Ezen a poszteren azonban már a  $\mathbb{C}^n \otimes \mathbb{C}^2$  Hilbert-téren lévő SU(2) invariáns általánosított Werner-állapotok  $(k, l)$  megoszthatóságának feltételét mutattam be. Nagy örömmre szolgált, hogy kifejezetten nagy érdeklődést tapasztaltam a poszterem témája iránt és többekkel is felmerült a jövőbeli kollaboráció lehetősége.
- GPU Day Workshop: Quantum Programming, 2020 - Online:  
A magyar szervezésű online workshop az IBM online elérhető kvantumszámítógépeinek programozásába vezette be a résztvevőket. Csupán mint hallgató vettem részt.
- QIP 2021, Tutorial + Workshop, 2021 - Online:  
A konferencia a kvantumszámítás, kvantumtitkosítás és kvantum-információelmélet elméleti oldalait mutatta be. Csupán mint hallgató vettem részt.

Ezek mellett még több kisebb, szakmailag releváns 'online talk'-on vettem részt. Remélhetőleg a közeljövőben már lesznek élő konferenciák is, jelenleg a szeptemberben tartandó bécsi VQF-CON 2021 az amelyiken szívesen részt vennék, ezen már az új eredményemmel az OO-invariáns állapotok  $(1, 2)$ -megoszthatóságáról.

**Szakmai közéleti tevékenység:** Itt is jellemző, hogy a koronavírus járvány miatt több esemény elmaradt. A következőket emelném ki:

- 2019: Kutatók Éjszakája, támogató-szervező.

- 2020: Fizika Mindenkié 6.0 főszervező. (elmaradt)
- 2020: NYIFFF főszervező. (elmaradt)
- 2020: Témavezető (nyertes) OTKA pályázatának megírásában való segédkezés.
- 2020: Kutatók Éjszakája (online), előadó: „A kvantumállapotok szokatlan világa”.
- 2021: Kyrlyo Simonov és Kozsik Tamás Magyar-Osztrák nemzetközi együttműködésen alapuló kutatási témapályázat megírásában való segédkezés.
- 2019-2021: Fizikushallgatói életben való segédkezés (pl. élő és online kvízek szervezése, lebonyolítása)

**Elismerések:** Az International Conference of Physics Students 2019 diákkonferencián a közönségsvavazatok alapján megnyertem a legjobb előadónak járó díjat a doktori témám alapjairól szóló előadásomért.

**Köszönetnyilvánítás:** Szeretnék köszönetet nyilvánítani témavezetőmnek, Zimborás Zoltán-nak a kiváló témavezetői munkájáért továbbá Jakab Dávidnak és Cristhiano Duarte-nek a közös munkáért.

2021.06.01.

Solymos Adrián

## Hivatkozások

- [1] Adrian Solymos. Entanglement and shareability of generalized Werner states. Master's thesis, Eötvös Loránd University, 2019.
- [2] Adrian Solymos. 1. félévi beszámoló. [https://physics.elte.hu/media/1a/ed/0d2f8755aa2163c28f0bda7461887055fa4ee5a5aaf1396bc259f5ff041c/PHYS\\_Solymos\\_1.pdf](https://physics.elte.hu/media/1a/ed/0d2f8755aa2163c28f0bda7461887055fa4ee5a5aaf1396bc259f5ff041c/PHYS_Solymos_1.pdf), 2019/2.
- [3] Adrian Solymos. 2. félévi beszámoló. [https://physics.elte.hu/media/67/ee/6edc4716bb9a35eb7b6381490f4b56e154cfbf7906c4ab58c72b105b8983/PHYS\\_Solymos\\_2.pdf](https://physics.elte.hu/media/67/ee/6edc4716bb9a35eb7b6381490f4b56e154cfbf7906c4ab58c72b105b8983/PHYS_Solymos_2.pdf), 2020/1.
- [4] Adrian Solymos. 3. félévi beszámoló. [https://physics.elte.hu/media/44/56/ae6248c8716d8cf36349192745662f41867a09cb48d32198df19ee49ead7/PHYS\\_Solymos\\_3.pdf](https://physics.elte.hu/media/44/56/ae6248c8716d8cf36349192745662f41867a09cb48d32198df19ee49ead7/PHYS_Solymos_3.pdf), 2020/2.
- [5] Andrew C Doherty. Entanglement and the shareability of quantum states. *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, 47:424004, 2014.

- [6] K. G. H. Vollbrecht and R. F. Werner. Entanglement measures under symmetry. *Phys. Rev. A*, 64:062307, Nov 2001.
- [7] Reinhard F. Werner. Quantum states with Einstein-Podolsky-Rosen correlations admitting a hidden-variable model. *Physical Review A*, 40:4277–4281, 1989.
- [8] Michael Keyl. Fundamentals of quantum information theory. *Physics Reports*, 369:431–548, 02 2002.
- [9] Peter Johnson and Lorenza Viola. Compatible quantum correlations: Extension problems for Werner and isotropic states. *Physical Review A*, 88, 2013.
- [10] Ognjan Oreshkov, Fabio Costa, and Časlav Brukner. Quantum correlations with no causal order. *Nature Communications*, 3(1):1092, Oct 2012.
- [11] Felix A. Pollock, César Rodríguez-Rosario, Thomas Frauenheim, Mauro Paternostro, and Kavan Modi. Non-markovian quantum processes: Complete framework and efficient characterization. *Phys. Rev. A*, 97:012127, Jan 2018.
- [12] Fernando G. S. L. Brandão, Marco Piani, and Paweł Horodecki. Generic emergence of classical features in quantum darwinism. *Nature Communications*, 6(1):7908, Aug 2015.