

### 3. félévi beszámoló

Portik Attila (portikattila@student.elte.hu)

Statiztikus Fizika, Biológiai Fizika és Kvantumrendszerek Fizikája PhD program

Témavezető: Kálmán Orsolya

A dolgozat címe: Kvantuminformatikai protokollok tervezése és dinamikájának vizsgálata

#### Az aktuális félévben elvégzett kutatások ismertetése

A doktori képzésem harmadik félévében tovább folytattam az iterált nemlineáris kvantumprotokollok tulajdonságait és alkalmazási lehetőségeit vizsgáló kutatásomat. Ismeretes, hogy az egyszerűbb kvantumáramkör, amely egy CNOT kapuból, egy Hadamard kapuból és az egyik kimeneten végzett mérésből áll, kaotikus dinamikához vezet, ha iteratív módon alkalmazzuk egy azonos állapotban lévő qubit-sokaságból alkotott párokon. Ezen iteratív protokoll és a hozzá tartozó dinamika tulajdonságainak megváltozásait vizsgáljuk a folyamat során fellépő zaj hatására.

Az eddig elvégzett kutatás során megvizsgáltam az egy-qubites kvantumkapuk koherens hibáinak hatását a fent említett iterált másodfokú nemlineáris kvantumprotokollra. Azt az esetet vizsgáltam, ahol a koherens hiba a protokoll minden lépésében alkalmazott Hadamard kaput érinti. A kutatás részeként modelleztem a koherens hibát a protokollban szereplő Hadamard kapu egymást követő forgatásokra történő felbontása révén. A különböző forgatásokat végrehajtó kvantumkapuk fizikai megvalósítását figyelembe véve kiderül, hogy a z-tengely körüli forgatás megvalósítható virtuális, ezáltal hibamentes módon. Ennek értelmében az általam vizsgált esetben a koherens hiba, mint egy x-tengely körüli nem kívánt, extra forgatás jelenik meg. A megjelenő koherens hibát, ily módon, egy nem kívánt forgatásként leírva sikerült számos, az ilyen típusú hibák hatására vonatkozó, eredményt elérni. Ezekből azt a fontos következtetést tudtuk levonni, hogy a protokoll ellenállóan viselkedik a szisztematikus zajjal szemben, legfontosabb tulajdonságai nem változnak meg egészen addig, amíg relatíve kis mértékű pontatlanságok lépnek csak fel a protokoll megvalósítása során. Megvizsgáltam azt is, hogy a relatíve nagy koherens hibák hogyan befolyásolják a dinamikát, és meghatároztam a koherens hiba küszöbértékeit mind a túl-, mind az alulforgatásoknál, amelyekre a dinamika már nem mutat hasonlóságokat az eredeti dinamikával. A félév során végezett munkám jelentős részét képezte a témához kötődő kutatási eredményeket tartalmazó cikk írása, melynek alapját a kutatással párhuzamosan készült kéziratom képezte. Az elkészült cikk már elérhető az arXiv-on, (Robustness of chaotic behavior in iterated quantum protocols Attila Portik, Orsolya Kálmán, Igor Jex, Tamás Kiss, <https://arxiv.org/abs/2311.13280> ) továbbá elbírálás alatt van a Physical Review A folyóiratnál.

Az egy-qubites kvantumkapuk hibájának vizsgálatát a több-qubites kvantumkapuk koherens hibájának vizsgálata irányában kezdtem el folytatni. Mivel ezen kapuk előállíthatóak egy-

qubites kapukkal és CNOT kapukkal ezért elsősorban az említett két-qubites kapu hibáját tervezem modellezni és vizsgálni.

A koherens kapuhibák esetére alapozva elkezdtem vizsgálni a véletlenszerű hibák által előidézett változásokat a protokollhoz rendelhető dinamika tulajdonságaiban. Első lépésként, a korábbi esethez hasonlóan, az egy-qubites Hadamard kapu forogatóként modellezhető hibájára fókuszáltam, azzal a lényeges különbséggel, hogy most az ideálshoz képest nem egy kicsi, de rögzített szöggel történik a túl- vagy alulforgatás, hanem a szög értéke véletlenszerűen változik egy adott tartományban. Érdekes kérdésnek tartom, hogy ebben az esetben is létezik-e egy hiba paraméter tartomány, melyen belül a protokoll tulajdonságai még nem változnak és, ha igen, ez hogyan viszonyul a koherens hibák esetéhez. A problémát numerikusan, a korábbi szimulációk kiegészítésével kezdtem vizsgálni. Az eddigi eredmények azt mutatják, hogy ellentétben a szisztematikus hibával, kismértékű de véletlenszerű hiba is elrontja a kvantumállapotok konvergenciáját.

A félév során a korábbi vizsgálatok folytatása mellett, röviden vizsgáltam az általunk tanulmányozott kvantumáramkörök implementálási lehetőségeit szétosztott kvantumszámítási rendszerekben, azaz olyan formában, hogy az áramkör adott részeit különböző kvantum processzorok valósítják meg. A kvantumáramkörök szétosztott megvalósítására több megközelítés is létezik már. Ezek közül az úgynevezett „Quantum Circuit Cutting”-ot találtam a legígéretesebbnek, hiszen kihasználva az áramkörünk iteratív szerkezetét, az említett módszernek megfelelően könnyen több kisebb áramkörre bonthatjuk az eredetit, melyek futtatásához kevesebb kvantumprocesszorra van szükségünk és elméletben az aláramkörök futtatásával kapott eredményeket postprocessing révén egyesítve visszakaphatjuk az eredeti kvantumáramkörnek megfelelő mérési eredményeket. A módszert a gyakorlatban ki is próbáltam a legegyszerűbb két-qubites protokoll egy lépése esetén, azonban az ilyen típusú implementáció hasznosságának megítéléséhez további vizsgálatokra van szükség, de amennyiben több iteratív lépésre is jól alkalmazható, akkor több iteratív lépést tudunk tesztelni a jövőben.

A félév során megpályáztam és sikeresen elnyertem a Kooperatív Doktori Program Doktori Hallgatói Ösztöndíjat (KDP-2023). Az pályázat keretei között a kutatásom során vizsgált nemlineáris protokollok zajos kvantumszámítógépek benchmarkolására történő alkalmazási lehetőségét vizsgáljuk.

## **Tanulmányi tevékenység az aktuális félévben**

Az harmadik félévben az alábbi kurzuson vettem részt:

- FIZ/1,3/050E Soktestprobléma II.

## **Hivatkozások**

- [1] A. Ortega, O. Kálmán, és T. Kiss, „Testing quantum computers with the protocol of quantum state matching”, *Phys. Scr.*, köt. 98, sz. 2, o. 024006, 2023, doi: 10.1088/1402-4896/acb2ff.
- [2] A. Portik, O. Kálmán, I. Jex, és T. Kiss, „Iterated nth order nonlinear quantum dynamics with mixed initial states”, *Physics Letters A*, köt. 431, o. 127999, ápr. 2022, doi: 10.1016/j.physleta.2022.127999.
- [3] M. Malachov, I. Jex, O. Kálmán, és T. Kiss, „Phase transition in iterated quantum protocols for noisy inputs”, *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, köt. 29, sz. 3, o. 033107, 2019.
- [4] A., Eddins, M. Motta, T. P. Gujarati, S. Bravyi, A. Mezzacapo, C. Hadfield, S. Sheldon, 2022. Doubling the Size of Quantum Simulators by Entanglement Forging. *PRX Quantum* 3, 010309.