

## 2. félévi beszámoló

Portik Attila (portikattila@student.elte.hu)

Statisztikus Fizika, Biológiai Fizika és Kvantumrendszerek Fizikája PhD program

Témavezető: Kálmán Orsolya

A dolgozat címe: Kvantuminformatikai protokollok tervezése és dinamikájának vizsgálata

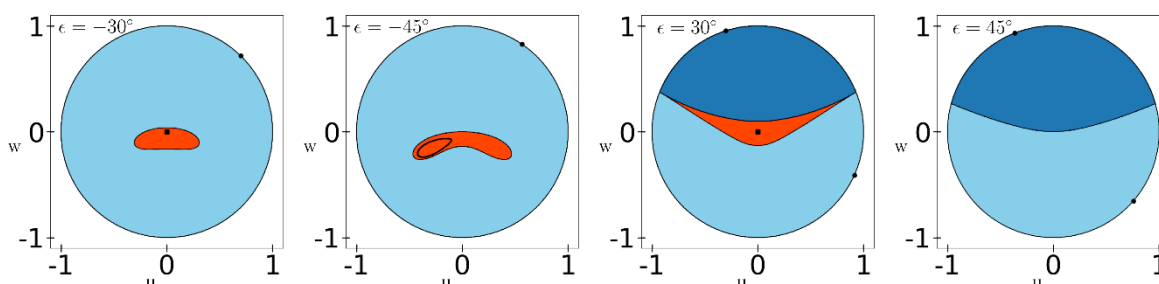
### Bevezetés

A zaj és a dekoherencia jelenti a legnagyobb fenyegetést bármely kvantumprotokoll számára. Az iterált nemlineáris kvantumprotokollok különösen érzékenyek lehetnek a különböző típusú zajokra, mivel a nemlineáris időfejlődés exponenciális érzékenységet eredményezhet a kvantumállapotok kis változásaira, míg az ismétlődő struktúra felerősítheti a fellépő koherens hibákat. Az előző félévben elkezdtem vizsgálni a Hadamard-kapu koherens hibájának egy speciális kvadratikusan iterált kvantumprotokollra gyakorolt hatásait. A kialakuló koherens kapuhiba következményeit az időfejlődést leíró differenciaegyenlet-rendszer és a hozzá tartozó dinamika alapvető tulajdonságainak analízisével vizsgáljuk.

### Az aktuális félévben elvégzett kutatások ismertetése

A doktori képzésem második félévében főleg a már megkezdett kutatást folytattam. A korábbi eredményeim alapján már tudjuk, hogy a protokoll kimenetét tetszőleges kezdőállapotról meghatározó fraktál struktúra, ami a különböző végállapotok vonzástartományának határa, nem csak a preparálási zajnak, de a koherens kapuhiba hatásának is ellenáll, amíg azok mértéke nem halad meg egy kritikus értéket. Ugyanakkor azt is megállapítottam, hogy a protokoll bizonyos tulajdonságaira, így a preparálási zajjal szembeni ellenállóképességet tükröző fázisátalakulásnak a kritikus pontjára a koherens hiba nagysága hatással van. Jelentős nagyságú koherens hiba esetén a dinamika tulajdonságai nagymértékben megváltoznak. A félévben végzett kutatásom részben ezen jelenség vizsgálatára fókuszált. Meghatároztam a protokoll olyan jellemző tulajdonságait, melyek megváltozása, vagy eltűnése a protokoll viselkedésének szemszögéből szignifikáns különbséget jelentenének, másrészt érzékenyek a koherens hiba nagyságára. Numerikus számításokkal vizsgáltam ezen tulajdonságok megváltozását a koherens hiba nagyságának függvényében és kerestem azt a határt, ahol a koherens hiba már olyan mértéket ölt, hogy az adott tulajdonság alapjaiban változik meg. A vizsgált speciális protokollhoz rendelt dinamika legfontosabb ilyen tulajdonságai a két különböző tiszta vonzó állapot megléte, a maximálisan kevert állapot vonzó jellege és a belső taszító fixpont létezése. Mindhárom kiemelt tulajdonság szoros kapcsolatban van a korábban már felismert fázisátalakulás jellegű folyamattal. A belső fixpont tisztasága határozza meg ennek a folyamatnak a kritikus pontját. Meglepő módon azt tapasztaltam, hogy a dinamika másképpen reagál az azonos nagyságú de különböző előjelű, forgatásként leírva különböző irányú, koherens hibákra. Attól függően, hogy alul- vagy túlforgatás történt az ideálishoz képest a protokoll más és más tulajdonságai változnak meg először, így a protokoll koherens hibával szembeni tűrőképessége sem csak a hiba abszolút nagyságától függ. Azt találtam, hogy ez a speciális protokoll jobban tűri a Hadamard-kapu alulforgatásként leírható koherens hibáját.

A tőrés határok meghatározása mellett vizsgáltam a hiba hatásaként kialakuló egyedi dinamika tulajdonságait is. Mivel ezekben az esetekben az eredeti dinamikai rendszernek legalább egy-egy karakterisztikus tulajdonsága nagymértékben megváltozik, így számos érdekes új jelenséget tapasztalhatunk. Nagy alulforgatás esetén például a maximálisan kevert állapot elveszíti vonzó jellegét, ugyanakkor megjelenik egy belső vonzó fix ciklus, melyet a numerikus számítások alapján folytonosan sok állapot alkot (lásd 1. ábra). Így azon zajos állapotok, amelyek a protokoll hatására már nem tudnak kitisztulni, ezen ciklushoz fognak konvergálni.



1. ábra: A dinamika invariáns síkjának szerkezete a vonzástartományok szerint. A kék színek jelölik a tiszta állapotok vonzástartományait, míg pirossal a maximálisan kevert állapot van feltüntetve. Az  $\epsilon$  paraméter a nem kívánt forgatás nagyságát jellemzi.

A korábban elkezdett kutatás folytatásának egy másik lehetőségével is elkezdtem foglalkozni, mégpedig a több-qubites logikai kapuk koherens hibájának vizsgálatával. A gyakorlatban a két-qubites kapuk hibája gyakran meghaladja az egy-qubites kapuk hibáját, így fontos, hogy az analízist kiterjesszem ezen kvantum kapukra is. Az egy-qubites kapuk koherens hibájának vizsgálatához hasonlóan a CNOT kapu koherens hibáját is kis szöggel történő forgatásokként írnám le. A kutatás ezen részével a következő félévekben tervezek részletesebben foglalkozni.

A már megkezdett kutatás folytatásán kívül, új, a témához tartozó lehetőségekkel is elkezdtem foglalkozni. A kutatócsoportban folyó, az iterált nemlineáris protokollok benchmark célokra történő alkalmazását vizsgáló kutatásba kezdtem el bekapcsolódni. A félév során számos, a kutatáshoz tartozó egyéb tevékenységet is végzettem, úgymint konferencián és workshopon való részvétel, poszter bemutatók, előadások tartása, valamint a meglévő eredményeket tartalmazó cikk írása.

## Tanulmányi tevékenység az aktuális félévben

Az második félévben az alábbi kurzusokon vettem részt:

- FIZ/3/042E Semleges atomok lézeres hűtése és csapdázása
- FIZ/3/060E Kvantuminformáció-elmélet
- FIZ/3/070E Kvantumelektrodinamika rezonátorban

## Szakmai közéleti tevékenység

A félév során a következő eseményeken vettem részt:

- ICTP - Quantinuum Quantum Hackathon ICTP, Trieszt, Olaszország (Best team project)
- GPU Day 2023, Budapest 2023 (Előadás: Iterated nth order nonlinear quantum dynamics)
- Kvantuminformatikai Nemzeti Laboratórium Workshop, Budapest 2023 (Poszter: Effect of Coherent Errors on Iterated Quantum Protocols)
- Central European Workshop on Quantum Optics (Poszter: Effect of Coherent Errors on Iterated Quantum Protocols) – (tervezett részvétellel: Július 3-7)

## 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.