

Magyar-német (TKA-DAAD) kutatócsere projekt

Záró beszámoló

A projekt adatai:

Nyilvántartási szám: 65049

Projektcím: *Kvantumos hálózatok dinamikája és kontrollja*

Magyar projektvezető neve: *Kiss Tamás*

Magyar intézmény neve: *MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont*

Német projektvezető neve: *Gernot Alber*

Német intézmény neve: *Technische Universität Darmstadt*

Támogatási időszak: 2015-2016

A. A projektidőszakban elvégzett munka összefoglalása (max. 2 oldal)

A projekt keretében a terveknek megfelelően folytattuk a koherens kvantumviselkedést mutató hálózatok közös elméleti vizsgálatát. A projekt lehetőséget adott mindkét csoport tagjainak (köztük német és magyar részről is több doktorandusznak és Msc hallgatónak), hogy a partnerhez látogasson és előadásokon mutassa be munkáját, illetve megismerje a partnernél alkalmazott módszereket és ötleteket.

Különösen jól sikerült a projekt mindkét évében általunk megszervezett 3. és 4. „Work Meeting on Quantum Information & Quantum Optics” rendezvény (<http://tab.mta.hu/pecsi-területi-bizottsag/események/4th-work-meeting-quantum-optics-information>), amelynek a Pécsi Egyetem Matematikai Intézete és a Magyar Tudományos Akadémia Pécsi Területi Bizottsága adott otthont. Itt, más nemzetközi és magyar résztvevők mellett, mindkét csoportból többen mutatták be a munkájukat. A rendezvény lehetőséget adott több hallgatónak, hogy szóbeli előadást prezentáljon. A rendezvények programját mellékelem a beszámolóhoz.

A projekt során néhány új ötlet is fölvetődött. Ezek közül kiemelném a következőt: a korábban a német kutatásvezetővel (prof. Gernot Alber) közösen kidolgozott iterált, nem-lineáris protokoll megvalósítására kezdtünk el elemezni egy üreg-kvantumelektrodinamikán alapuló sémát. A dinamikai viselkedés jobb megértése alapján sikerült megmutatnunk, hogy a protokoll alkalmas lehet kvantumállapotok megkülönböztetésére, ami az állapotmegkülönböztetés problémájának új megközelítését jelenti. Ezt az eredményünket poszteren mutattuk be a Workshop of Quantum Simulation and Quantum Walks 2016, 17th–20th November 2016, Prague, Czech Republic rendezvényen.

A projekt során több olyan kérdéssel is foglalkoztunk, amelyből egyelőre nem született publikáció, de ezek között van olyan probléma, amelyből várhatóan lesz megjelentethető eredmény. Ezek egyik része a kvantum folyamatok entrópia-produkciójára vonatkozik, különös tekintettel a közösen kidolgozott kaotikus protokollok ilyen módszerekkel való vizsgálatára. Egy további fontos témakör a Bell-egyenlőtlenségek szisztematikus vizsgálatára irányul. Az eszközfüggetlen kriptográfia szempontjából alapvetően szükséges a kvantum összefonódás tökéletesen detektorokkal is kimutatható megjelenési formáinak vizsgálata. Közös kutatásunk ebben a kérdésben arra irányul, hogy detektorhibákra kevésbé Bell-egyenlőtlenségeket keressünk diszkrét geometriai módszerekre épülő sztochasztikus algoritmusok segítségével.

A projekt hozzájárult több PhD hallgató doktori képzéséhez, a projekt 3 magyar résztvevője szerzett sikeresen PhD fokozatot (Kollár Bálint, Darázs Zoltán és Sinkovics Péter).

B. A közös projekt eredményei (max. 2 oldal)

1., A terveknek megfelelően kiterjesztettük a qubitek komplex káoszára vonatkozó matematikai modellünket. Meghatároztuk a kezdőállapotok terében kialakuló Julia halmazok fontosabb tulajdonságait, vagyis hogy mikor lesznek összefüggőek vagy teljesen szétesőek. Mivel éppen ezek a kezdőállapotok vezetnek instabil, kaotikus viselkedéshez, így fontos megérteni, hogy a kezdőállapotok között milyen mértékben vannak jelen. Azonban a Julia halmazok szerkezete nem triviális, fraktál szerű. Ennek fényében érthető, hogy fontos az az észrevételünk, amely szerint egy speciális paraméterértékre a leképezés úgynevezett Lattès map, amelynek speciális tulajdonsága, hogy a hozzá tartozó Julia halmaz két dimenziós. Esetünkben ez azt jelenti, hogy minden kezdőállapotra instabil, kaotikus dinamikát kapunk. A komplex káosz fontos tulajdonsága, hogy valódi érzékenységet mutat a kezdőállapotra, kvantummechanikai értelemben, eltérően más a kvantumkáosz témakörében vizsgált rendszerektől. A kezdőállapotra való érzékenység a kvantummechanikában azonban csak egy sokaság esetén értelmezhető kísérletileg, a mérés statisztikus jellege miatt. Esetünkben az időfejlődés során a vizsgált sokaság mérete csökken. Beláttuk, hogy ez egy szükségszerű jelenség. A kvantumállapotok megkülönböztetőségére vonatkozó tételt alkalmazva alsó korlátot adtunk a szükséges sokaság átlagos méretére tetszőleges kezdőállapotra érzékeny kvantumprotokoll esetén.

Eredményünket a Scientific Reports szaklapban tettük közzé.

2., A kezdőállapotra érzékeny, nem-lineáris protokoll kísérleti megvalósítására két javaslatunk is született. Egyrészt egy szabad térben terjedő fotonok optikai manipulálásán alapuló sémát javasoltunk. Ez az elrendezés várhatóan alkalmas lesz az alapjelenség demonstrálására. Több lépést ebben a sémában a szükséges optikai elemek számának növekedése miatt nem praktikus megvalósítani. A másik javaslat a német csoport rezonátoros kvantumelektronika területén felhalmozott tudásán alapul. Ők munkájuk során több kvantuminformatikai protokoll megvalósíthatóságát elemezték ilyen rendszerekben. A rezonátorokon áthaladó atomok kvantumállapotában bekövetkező változás segítségével hozható létre összefonódás az atomok között. A közös munkában kidolgoztuk egy ilyen protokoll működését analitikusan számolható közelítések mellett. Meghatároztuk a kialakuló nemlineáris dinamika főbb tulajdonságait, így például a stabil fixciklusokat a paraméterek függvényében. Ennek alapján egy kvantumállapotok megkülönböztetésére szolgáló protokollt javasoltunk, ami az állapotmegkülönböztetés új megközelítését jelenti, alkalmas arra, hogy kis gerjesztettségű kétállapotú atomok gerjesztett állapota amplitúdójának előjelét megkülönböztesse.

Eredményünk a Phys. Rev. A folyóiratban elbírálás alatt van.

3., Általánosítottuk a klasszikus Markov láncokra vonatkozó Kac-féle lemmát iterált, nyílt kvantumrendszerekben való visszatérés esetére. A dinamika minden lépése után egy projektív mérés történik, amelyben a kezdőállapotba való vizsgálatát végezzük. Eredményünk szerint a kezdőállapot súlya az állandósult állapotban kvantumcsatornák egy nagyobb osztályára megadja a kezdőállapotba való visszatérés várható idejét.

Eredményünket a Phys. Rev. A folyóiratban publikáltuk.

4., A Diósi által nemrég bevezetett rezervoármodellt elemeztük. A modell eddig ismert aszimptotikus viselkedését kiterjesztettük olyan rezervoár-állapotokra, amelyek nem egyenletesen súlyozottak. Sikerült analitikusan megadnunk ezen állapotok viselkedését a termodinamikai limeszben. A termodinamikai limeszben olyan új rendszerállapotokat találtunk, amelyek Helmholtz-féle szabadenergiája megegyezik az eredeti Gibbs-állapot szabadenergiájával.

Eredményünk a J. Math. Phys. Folyóiratban elbírálás alatt van.

C. Az együttműködés további szempontjai: (max. 3 oldal)

1. Mennyiben alapulnak a projekt elért eredményei a német-magyar együttműködésen?

A felsorolt eredmények mindegyikében volt szerepe az együttműködésnek. Az 1., eredményünk a német projektvezetővel való korábbi közös munkán alapul, a jelen projekt keretében végzett konzultációk segítettek az eredmények interpretálásában. A 2., eredmény teljesen közös munka, már a kérdésfeltevés és a megoldáshoz vezető ötlet is a projekt alatt alakult ki, mindkét csoportból többen társszerzők. A 3., eredménynél kisebb volt az együttműködés szerepe, de itt is segített az eredmények értelmezésénél. A 4., eredmény szintén a projekt során kialakult problémafelvetésből született, a két csoport tagjainak közös munkája.

2. Hogyan befolyásolta a támogatás a projekt előmenetelét?

A közös munka nem lett volna lehetséges a kölcsönös látogatások nélkül.

3. Hogyan csatlakozott a második évi munka az első év eredményeihez?

A második évben végzett munka szerves folytatása volt az első évnek, a több problémánál most sikerült publikálható formába hozni az eredményeket. A 4., eredmény teljes egészében a második évben vetődött fel és került kidolgozásra. Megjegyezném, hogy több olyan problémakörön dolgoztunk a második évben, amelyek további közös vizsgálatát tervezzük. A két csoport együttműködését a jövőben is folytatni kívánjuk. Igéretesnek tűnik a Bell-politópokkal kapcsolatban közösen kidolgozott numerikus programcsomag, amelynek segítségével várhatóan publikálható eredményeink szülehetnek a közeljövőben.

4. Milyen szempontból volt jelentős a projekt a fiatal kutatók tapasztalatszerzése, szakmai fejlődése szempontjából?

A projektben mindkét csoportból több fiatal kutató vett részt, doktoranduszok és Msc hallgatók is. A mindkét évben megrendezett mini-workshop (ahol a német fél részvételét részben a projekt finanszírozta) kiváló alkalmat teremtett a fiatal kutatóknak eredményeik prezentálására szóbeli előadás formájában. A projektben résztvevő 3 magyar doktorandusz (Kollár Bálint, Darázs Zoltán és Sinkovicz Péter) sikeresen védte meg PhD értekezését, ehhez a közös munka jelentősen hozzájárult.

5. Sorolja fel azokat a hazai vagy külföldi tudományos közleményeket és publikációkat, amelyek az együttműködés eredményeként jelentek meg!

1. *Exponential Sensitivity and its Cost in Quantum Physics*
András Gilyén, Tamás Kiss and Igor Jex,
Scientific Reports 6, Article number: 20076 (2016)
2. *Generalized Kac lemma for recurrence time in iterated open quantum systems*
P. Sinkovicz, T. Kiss, and J. K. Asbóth,
Phys. Rev. A 93, 050101(R) (2016) - Published 9 May 2016
3. *Measurement-induced chaos in an iterated Tavis-Cummings scheme*
Juan Mauricio Torres, József Zsolt Bernád, Gernot Alber, Orsolya Kálmán, Tamás Kiss,
arXiv:1609.09775 [quant-ph], submitted to Phys. Rev. A
4. *On the limit relation for the quantum relative entropy*
J. Z. Bernád, A. B. Frigyik,
arXiv:1612.01179 [math-ph], submitted to J. Math. Phys.

6. Milyen akadályokat vagy problémákat érzékelt a projekt végrehajtása során?

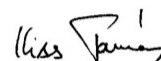
A projekt által nyújtott finanszírozás nem fedezi az utazások költségeit. Emiatt más forrásokból kellett társ-finanszírozni az utazásokat.

7. Mi a legjelentősebb szakmai eredmény, amit kiemelne a projektgyűttműködés kapcsán?

A kezdőállapotra érzékeny, nem-lineáris protokoll kísérleti megvalósítására két javaslatunk is született. Ez a probléma a két témavezető korábbi közös munkáján alapul. Most újabb jelentős lépést sikerült megtennünk. Kimutattuk, hogy a nem-lineáris iterált protokollok alkalmasak a kvantumállapot-megkülönböztetés újfajta megközelítésére. Eredményeinket egyrészt a Scientific Reports folyóiratban publikáltuk, másrészt a Physical Review A folyóiratba küldtük be.

8. Van-e olyan javaslat, amivel módosítaná a pályázati felhívás és végrehajtás szempontjait a jövőre nézve?

A finanszírozást érdemes lenne a látogatások valós költségeihez igazítani. Az utazási átalánydíj esetünkben a valós költség kevesebb mint felét (de esetenként csak egynegyedét) fedezte. A napidíj pedig Darmstadtban nem volt elég még a legolcsóbb hotelben sem a szállásköltségre. Nem szerencsés, hogy csak más forrásokkal kiegészítve válik lehetővé a tényleges együttműködés.



Aláírás

Kelt: 2016-12-13