

A K105149 számú
"Hangolható korrelált rendszerek nem egyensúlyi dinamikája"
című

NKFIH OTKA pályázat zárójelentése

Témavezető: Zaránd Gergely Attila

Összegzés

Kutatásaink során erősen korrelált rendszerek dinamikai tulajdonságait vizsgáltuk térelméleti illetve numerikus módszerek segítségével, több európai csoporttal illetve az MIT-Harvard Ultrahideg Atomi Központ elméleti és kísérleti csoportjaival együttműködve.

Kutatásunkat két fő irányvonal mentén végeztük: Az első kutatási vonal a kölcsönható rendszerekbeli kvantum kvencsekre koncentrált. Időfüggő folyamatok vizsgálatára alkalmas TEBD kódot fejlesztettünk, melynek segítségével kölcsönható rendszerek termalizációját vizsgáltuk, nem egyensúlyi munkaeloszlást, valamint korrelációs függvények és megfigyelhető mennyiségek teljes eloszlását és ultrahideg atomi rendszerek időfejlődését tanulmányoztuk térelméleti módszerek segítségével.

Projektünk másik fő céljaként korrelált rendszerek nem egyensúlyi zaj spektrumát vizsgáltuk, illetve kölcsönható rendszerek dinamikáját vizsgáltuk, valamint egzotikus kvantum rendszerek, például egy dimenziós Wigner kristály, kvantum pöttyök ill. spinor kondenzátumok dinamikáját és struktúráját tanulmányoztuk.

Kutatásaink eredményeképp többek között 1 Nature és egy Nature Physics publikáció, 8 Physical Review Letters közlemény, 3 (Nature) Scientific Reports közlemény, valamint mintegy 45 Physical Review A/B/E közlemény, valamint ezeken felül további 5, a projekthez kapcsolódó kéziratunk van elbírálás alatt. Ezekre a publikációkra körülbelül 400 idegen hivatkozás érkezett mind ez ideig.

A kutatásba 7 diákot vontunk be, akik munkája nyomán 5 Msc ill. BSc diplomamunka (Lovas Izabella, Sárkány Lőrinc, Werner Miklós, Galambos Tamás, Okvátovity Zoltán), és három PhD disszertáció (Kanász-Nagy Márton, Vajna Szabolcs, Sári Judit) született a projekt során. E mellett további két PhD disszertáció (Werner Miklós és Lovas Izabella) befejezése várható a következő év során.

A projekthez kapcsolódóan évi 6-10 meghívott előadást illetve kollokviumot tartottunk nemzetközi konferenciákon és iskolákon, nem számítva a meghívott tanszéki szemináriumokat és a nem meghívott konferencia-előadásokat.

Kiemelt eredmények:

A projekt számtalan eredménye közül talán hetet emelnék ki:

1. Az első projektév eredményei közül kiemelném Fortágh Józseffel és Frank Pollmannal közös munkánkat [Dora2013-2], amelyben meghatároztuk egy Luttinger folyadék ún. Loschmidt echo-ját és javaslatot is tettünk arra, hogy hogyan lehet ezt kísérletileg megmérni. Ez a mennyiség, mely egy kvantum rendszer időfejlődésének a Hamilton operátor apró változtatására való érzékenységét méri, a disszipatív folyamatok és a kvantum káosz jellemzésénél játszik kulcsszerepet. Javaslatunk szerint a Luttinger folyadékot egy hideg atomi rendszerrel lehetne előállítani, mely egy szupravezető fluxus kvantum bit mágneses teréhez csatolódik. A kvantum bitet manipulálva a Loschmidt echo mérhető. Ez a munkánk a Physical Review Letters

címoldalára került. Fortágh Józseffel együttműködve tervezzük ilyen csatolt rendszerek kísérleti vizsgálatát is.

2. A második projektév eredményei közül kiemelném az általánosított Gibbs-sokaság (GGE= Generalized Gibbs Ensemble) Gibbs-sokaság hipotézis kudarcára vonatkozó munkánkat [Pozsgay2014]. A GGE hipotézis szerint zárt rendszerekbeli kvantum kvencsek végállapota a szokásos Gibbs-sokasághoz hasonló, általánosított Gibbs-sokasággal írható le, ahol a sűrűség mátrix az *összes megmaradó töltés* segítségével épül fel. Csoportunk Frank Pollmannal együttműködve egy TEBD (Time Evolving Block Decimation) kódot fejlesztett. Ennek segítségével, Takács Gábor csoportjával együttműködve egy anizotrop spinlánc relaxációját vizsgáltuk, és ezt találtuk, hogy a GGE hipotézis *hibás* eredményt ad, még ha végtelen számú lokális megmaradó töltést használunk is. Erre a megjelenés óta körülbelül 150 hivatkozás érkezett.
3. Szintén a második projektévben jelent meg a Nature Physics folyóiratban az a munkánk [Keller2014], melyben David Goldhaber-Gordon (Stanford) csoportjával együttműködve, sikerült meggyőzően bizonyítanunk csatolt kvantum-pöttyökben (mesterséges molekulában) az ún. SU(4) állapot kialakulását egy általunk még 2007-ben javasolt kísérleti elrendezésben. A stanfordi csoport igen részletes pszeudospin (töltés) dI/dV spektroszkópiai méréseket végzett ezen a rendszeren, melyeket a modell paraméterek gondos kalibrálása után össze tudtunk vetni a hasonlóan részletes elméleti (numerikus renormalizációs csoport) számításokkal, és ki tudtuk mutatni az SU(4) állapot létrejöttét, valamint a korrelált állapot külső mágneses térbeli ill. pszeudospin (töltés) térbeli fejlődését.
4. A Standard-i csoporttal való együttműködés másik kimagasló eredménye az a munkánk, melyben egy kvantum-kritikus állapotot sikerült kísérletileg megfigyelni és elméletileg részletesen modellezni. Ebben a *Nature* hasábjain megjelent publikációnkban [Keller2015] részletes numerikus renormalizációs csoport számítások segítségével lehetségessé vált a paraméter térben az úgynevezett kvantum-kritikus vonalak azonosítása, ahol a mesterséges atom „szétporlaszt” minden rajta áthaladó elektront. Számításaink alapján lehetővé vált továbbá a kvantum-átalakulás környékén megfigyelhető viselkedés, az ún. univerzális átcsapás részletes megértése. Ez az eredmény fontos mérföldkönek tekinthető mind a kvantum-kritikus rendszerek fizikájában, mind pedig a nanotechnológiában.
5. Kiemelnék továbbá egy Inhomogén Luttinger-folyadékokra vonatkozó eredményt [Dora2015-1]. Ebben egy térben inhomogén kölcsönhatás pillanatszerű bekapcsolásának hatását vizsgáltuk az erősen korrelált rendszerek egy paradigmatis megvalósulásában, egy Luttinger-folyadékban. Egy térben inhomogén potenciálszórás bekapcsolásakor megmutattuk, hogy az Anderson-féle ortogonalitási katasztrófa nem lép fel, vagyis a sokrészes kiinduló és az időfejlesztett hullámfüggvény átfedési integrálja, a Loschmidt-echo hosszú idejű értéke véges marad. Javaslatot tettünk eredményeink kísérleti megfigyelésére is egy csatolt ultrahideg atomokból álló Luttinger-folyadék és szupravezető kvantum bit rendszerben.
6. Kiemelném továbbá a Physical Review Letters-ben közölt egyik munkánkat, melyben az ún. idő-nemrendezett korrelátor viselkedését vizsgáltuk [Dora2017-1]. A holografikus elméletekben megjelenő kvantum káoszt az idő-nemrendezett korrelátorral lehet jellemezni. Megvizsgáltuk ennek viselkedését egy paradigmatis szilárdtest-fizikai rendszerben, egy Luttinger-folyadékban, és a korrelátor viselkedésében sikerült tetten érni univerzális időbeli tartományokat.

7. Végül kiemelném az úgynevezett fél-félklasszikus elméletünket, melyet szintén a Physical Review Letters hasábjain közöltünk [Moca2017-2]. Ebben a munkánkban egy dimenziós rendszerek nem egyensúlyi kvantumdinamikájának leírására javasoltunk módszert, melyben a kvázirészecskék térbeli mozgását félklasszikusan kezeljük, míg belső szabadsági fokukat kvantumosan, szórási mátrixok segítségével írjuk le. Elméletünket elsőként csatolt kölcsönható Bose-kondenzátumok dinamikájának leírására alkalmaztuk.

A projekt egyéb eredmények részletes felsorolása

Az alábbiakban a kutatómunka további eredményeit időrendben, projektévekre bontva foglaljuk össze.

Az első, 2013-es projektév eredményei

Korrelált rendszerek dinamikája:

Egy véges hőmérsékletű kezdeti állapotból kvencselt Luttinger-modell Loschmidt-echoját, valamint a rendszeren végzett munka statisztikáját és az energiájának az eloszlását vizsgáltuk. A Loschmidt-echoiban megjelenő hőmérsékleti korrekció univerzális. A kiinduló hőmérséklettől függetlenül a rendszer sosem termalizálódik, jóllehet bizonyos energia tartományban termikus jellegű jeleket mutat [Bacsi2013].

A Loschmidt-echo időfejlődésében nem-analitikusságok jelennek meg, ha a hirtelen kvencs során átmetszünk egy egyensúlyi fázishatárt. Ez a jelenség a dinamikus fázisátalakulás. Megmutattuk, hogy dinamikus fázisátalakulás megjelenhet egyensúlyi megfelelője nélkül is, valamint fordítva [Vajna2013].

Megvizsgáltuk egy Luttinger-folyadékban a Loschmidt-echo. Numerikus szimulációkkal összevetve megmutattuk, hogy a Luttinger-modell jóslatai meglepően jó leírását adják egy kölcsönható egydimenziós rendszerben a numerikusan számított Loschmidt-echoinak [Dora2013-2]. Megmutattuk, hogy a Loschmidt-echo közvetlenül mérhető egy hideg atomi gázhoz csatolt SQUID segítségével.

5/2-es spinű alkáli földfém atomok versengő spinfolyadék fázisainak véges hőmérsékleti stabilitását vizsgáltuk méhsejt rácson. A szabadenergia hőmérsékletfüggését elemezve kritikus hőmérsékletet, mely fölött a spinfolyadék fázisok megolvadnak és a rendszer paramágnesessé válik. Megmutattuk, hogy az alacsony hőmérsékleti fázisban egy, az időtükrözési szimmetriát sértő királis spinfolyadék állapot valósul meg, valamint hogy a spin struktúra faktor az egyes fázisok esetében jellegzetes eltérést mutat, ezzel lehetővé téve az egyes fázisok kísérleti kimutatását [Sinkovicz2013].

A pálya szabadsági fok szerepének vizsgálatára javasolt, ultrahideg atomok rendszerével megvalósítható effektív modell jellemzőit tanulmányoztuk, egydimenziós optikai rácson, a hidrodinamikai határesetben. Általános spin esetében elemeztük a lehetséges gapes és gap nélküli fázisok szerkezetét, és megmutattuk, hogy bizonyos paramétertartományban a rendszer instabil véges impulzusú, ún. Fulde--Ferrell--Larkin--Ovchinnikov-párok megjelenésével szemben. 9/2-es spinű fermionok esetére alkalmazva az eredményeket meghatároztuk a rendszer teljes fázisdiagramját [Szirmai2013].

Az Elliott--Yafet (EY) és a Dyakonov--Perel (DP)-elméletet egyesítettük. Megállapítottuk, hogy a kis/nagy élettartamú EY szórás parametrikusan azonos eredményt ad a kis/nagy tiltott sávú DP relaxációval. Eredményeinket több, analitikusan kezelhető modellen végzett számolással is megerősítettük [Boross2013].

Alacsony dimenziós kvantum-rendszerek egzotikus fázisai:

Megmutattuk, hogy grafén kettősrétegben páratlan betöltés esetén, királis háromrétegben ± 1 , ± 2 , ± 4 , ± 5 betöltésnél, és királis négyrétegben ± 7 , ± 6 , ± 5 , ± 3 , ± 2 , ± 1 betöltésnél a kvantum Hall ferromágneses állapotok orbitális koherenciával rendelkeznek. Kettősrétegben ± 3 és ± 1 betöltésnél és négyrétegben ± 6 és ± 2 betöltésnél az alapállapotú $U(1)$ sokaság bifurkációt mutat a kölcsönhatás relatív erőssége függvényében [Toke13].

Megvizsgáltuk a Dirac-pontok összeolvadásakor létrejövő szemi-Dirac-pontban az elektron-elektron kölcsönhatás hatását, mellyel félfémes vagy szigetelő állapotot lehet létrehozni. Ez a mechanizmus tetszőleges dimenziós szemi-Dirac-pont esetére is igaz. Javaslatot tettünk jóslatunk kísérleti megfigyelésére is [Dora2013-1].

Nanoszerkezetek transzport tulajdonságai:

Tanulmányoztuk az erősen kölcsönható kvantum doton átmenő véges frekvenciájú hőtranszportot, különös tekintettel a dc és a magas frekvenciájú határesetekre, egzakt, nem-perturbatív formalizmus keretében, mely lehetővé teszi a differenciális termofeszültség szisztematikus vizsgálatát, bármely frekvencián. Megmutattuk, hogy a Kondo-tartományban az ac termofeszültség univerzális frekvenciafüggést mutat, és ezt az univerzális függvényt numerikusan meghatároztuk [Chirla2014]. Kidolgoztuk továbbá a spin pumpálás Fermi-folyadék elméletét egy erősen kölcsönható kvantum doton keresztül, és numerikus renormálási csoport számításokkal kombinálva megmutattuk, hogy a kevert valenciájú tartományban rezonanciák jelennek meg [Moca2013].

Vezetési jelenségek különleges topológiájú rendszerekben:

Megvizsgáltuk az 1-es pszeudospinű Dirac--Weyl-fermionok vezetőképességét potenciálszórás jelenlétében. A dc vezetőképesség nem vett fel univerzális értéket félig töltés esetén, mint a grafén esetében, hanem divergált. Eredményeinket általánosítottuk magasabb pszeudospin esetére is [Vigh2013].

Egy egy-dimenziós spin-Hall élállapotban perzisztens áram folyhat megfelelő geometria és mágneses tér esetén. Ennek viselkedését vizsgáltuk potenciál- és mágneses szórók jelenlétében, valamint véges hőmérsékleten. A különleges topológia ellenére a legtöbb mennyiség viselkedése megegyezett egy hagyományos, Schrödinger-egyenlettel leírható részecske viselkedésével [Sticlet2013].

A második, 2014-es projektév eredményei

Nanostruktúrák transzport tulajdonságai:

A Nature Physicsben megjelent, kiemelt eredményünk mellett pályaintegrál módszerek alkalmazásával zárt, analitikus eredményt vezetünk le egy SU(4) szimmetrikus Anderson modell ún. Kondo hőmérsékletére [Filippone2014]. Az SU(2) esettel szemben ebben az esetben a megjelenő prefaktor különleges módon függ a szennyezésen levő nívó (azaz a kapufeszültség) értékétől és a megjelenő SU(4) kevert valenciájú pontoktól. Analitikus eredményeinket numerikusan is ellenőriztük, numerikus renormálási csoport számítások segítségével.

Numerikus és szemiklasszikus módszerek segítségével megkonstruáltuk két, szupravezetőbeli mágneses szennyező fázisdiagrammját [Yao2014]. A Kondo-árnyékolás, szupravezetés és kicserélődési kölcsönhatás versenyének következtében különféle spinű 'sub-gap' állapotok és kvantum fázisok (pl. egy molekuláris dublett fázis) alakulnak ki. A subgap állapotok számításaink szerint RF spektroszkópiával megfigyelhetők.

Valós idejű funkcionális renormálási csoport módszerünket kiterjesztettük mágneses térben lévő mesterséges atomok esetére is [Moca2014], és meghatároztuk zajspektrumát. Megmutattuk, hogy a természetes, előfeszítésnek megfelelő frekvencia mellett szingularitások jelennek meg az $\hbar\omega \approx |eV \pm B|$ frekvenciákon is, melyek spin flip folyamatok eredményei.

Dinamikai fázisátalakulások és kvantum-kvencsek:

Dinamikai fázisátalakulások (DF) gyakran alakulnak ki globális kvantum-kvencs során. Ilyenkor a Loschmidt-echo alapján számított dinamikus szabadenergia, azaz a kezdeti és végállapot átfedése nem-analitikus viselkedést mutat [Vajna2014]. Analitikusan megvizsgálva az Ising modellt azt találtuk, hogy a dinamikai fázisátalakulások nem függenek közvetlenül össze az egyensúlyi

megfelelőjükkal. Olyan példákat sikerült találtunk, amikor a dinamikai fázisátalakulás olyan esetben alakul ki, amikor semmiféle egyensúlyi fázisátalakuláson nem megy keresztül a rendszer.

Megvizsgáltuk egy Luttinger folyadék kvencse során a munkastatisztika ún. kísérő eloszlásfüggvényét [Dora2014-1]. Megmutattuk, hogy ez egy univerzális $(|K_i - K_f| / (K_i + K_f))^a$ mennyiségtől függ, ahol a az escort eloszlás paraméter. Ennek segítségével meghatároztuk a diagonális Rényi entrópiát és a soktest inverz részvételi arányt (IPR) az időfejlődés során az időfejlesztett állapotok segítségével.

Egzotikus Kvantum-fázisok:

Az anyag új, egzotikus kvantum-fázisait kutatva egy replika térbeli Gauss-féle variációs módszert fejlesztettünk, és megvizsgáltuk egy kölcsönható, rendezetlen p-típusú szupravezető fázisdiagrammját [Crepin2014]. Módszerünk a rendezetlenséget, a szupravezető korrelációkat, és a kölcsönhatást egyaránt nem perturbatíván írja le. Két stabil fázist sikerült találnunk: egy topologikus szupravezető fázist és egy üvegszerű, nem topologikus lokalizált fázist, ahol a replika szimmetria sérült.

Két dimenzióban a kvadratikus sávkeresztezés esetén akármilyen kicsi taszító kölcsönhatás is egy kvantum anomális Hall-állapot (QAH) kialakulásához vezet. Általánosítottuk a kvadratikus sávkeresztezést arra az esetre, amikor a sáv keresztezést kizárólag forgatási szimmetria védi [Dora2014-2]. Azt találtuk, hogy parabolikus vagy lapos sávok kereszteződése esetén a kölcsönhatás indukálta nematikus fázis általában sikeresen versenyez a QAH szigetelő állapottal, és a fázisdiagramm bizonyos részein már gyenge csatolás esetén is dominánssá válik.

Tanulmányoztuk nagy mágneses térben, két szigetelővel elválasztott grafén lemezkén a korrelált töltéssűrűség hullám kialakulását is [Toke2014]. Korábban jóslták négyzetes és hexagonális töltéssűrűség buborékok kialakulását is. Mi azt találtuk, hogy az ezeknek megfelelő átalakulási hőmérsékletek a kísérletileg megfigyelhető tartományban vannak, és hogy a rétegek közötti korrelációk kialakulása negatív járulékot ad a rendszer kapacitásához.

Megvizsgáltuk szerves alpha-(BEDT-TTF)₂I₃ ötvözetekben egy két dimenziós elektron folyadék merőleges mágneses térbeli viselkedését [Sari2014]. Megmutattuk, hogy a Dirac-kúpok szöge különleges, a Fermi-felület völgyei közötti csillapodáshoz vezet. Azt is megvizsgáltuk, hogy a töltéshordozók tömege hogyan befolyásolja a rendszer választát, és hogy az alpha-(BEDT-TTF)₂I₃ dópólása hogyan vezet anizotrop árnyékoláshoz.

Megvizsgáltuk két, 3/2-es spinű ultrahideg atomokból álló, erősen csatolt láncának a van der Waals kölcsönhatás következtében kialakuló alapállapotát [Szirmai2014]. Leképezve ezt a kettős láncot egyetlen atomláncra meghatároztuk a kialakuló kvantum-fázisokat. Több térben inhomogén állapot, Valencia-kötés-állapot, illetve plakett-állapot versenyez egymással a betöltéstől és a szingulett ill. kvintett csatornabeli kölcsönhatási paraméterek erősségétől függően. Egy kiterjedt paramétertartományban Luttinger folyadék az alapállapot, de harmad illetve negyed töltöttség esetén nem triviális topológiai töltéssel rendelkező állapotok is megjelennek.

A harmadik, 2015-ös projektév eredményei:

A korábban kiemelt eredmények mellett a következő eredmények születtek:

Korrelált rendszerek dinamikája:

Korábbi munkánk kiterjesztéseként a feles spinű XXZ-modell relaxációját vizsgáltuk egy globális kvencs után. A korábbiakkal összhangban azt találtuk, hogy az általánosított Gibbs-sokaság segítségével a stacionárius állapot nem írható le megfelelően, azonban az ún. kvencs-hatás formalizmus nagy pontosságú eredményeket szolgáltat az ún. q-dimer kezdőállapot esetében is [Mestyán2015].

Megmutattuk, hogy a dinamikus szabadenergia időfejlődését lényegesen befolyásolja a kiinduló és végállapot Hamilton operátor alapállapotának topológiája [Vajna2015-1]. Dinamikus fázisátalakulás akkor következik be, amikor a topológia megváltozik a kvencs során. A topologikus szigetelők él/felületi állapotaihoz hasonlóan a dinamikus fázisátalakulások is lehetnek topologikusan védettek vagy nem védettek.

Megvizsgáltuk a Loschmidt-echo-t egy Luttinger-folyadékban egy térben inhomogén kölcsönhatási kvencs után [Dora2015-1]. A potenciálszóró esetén fellépő hatványfüggvény lecsengéssel ellentétben az inhomogén kölcsönhatási kvencs után az átfedés végesnek és szinte időfüggetlennek adódik. Ebben az esetben nem következik be az Anderson-féle ortogonalitási katasztrófa.

Weyl félfémek nemegyensúlyi dinamikáját tanulmányoztuk egy dc elektromos tér bekapcsolása után. A kialakuló áram nem monoton függvénye az időnek, a kezdeti gyors növekedést egy hatványfüggvény lecsengés követi. A Schwinger-féle párkeltés miatt hosszú időkre az áram újra növekedni kezd. Analitikus eredményeinket összevetettük a Weyl-egyenlet numerikus integrálásából kapott adatokkal, és jó egyezést találtunk [Vajna2015-2].

A dinamikus szuszceptibilitás tipikusan Lorentz-függvény alakú a hagyományos anyagokban, melyeket gyenge spin-pálya csatolás jellemez. Megmutattuk, hogy különböző topologikus szigetelőkben a jelalak nem Lorentz-alakú, és erősen függ az erős spin-pálya csatolás szimmetriájától [Dora2015-2]. Eredményeink alkalmazhatóak a kölcsönható spin Hall-szigetelők állapotaira, két dimenziós Dirac elektronokra és Weyl-félfémekre.

Időfüggő perturbációk képesek megváltoztatni az anyag topologikus tulajdonságait a Floquet-sávstruktúrára keresztül. Megmutattuk, hogy ezek kvantumozott megfelelői (pl. kvantált elektromágneses tér) is képesek megváltoztatni egy spin Hall-szigetelő állapotának topológiáját. Egy Dicke-féle szuperradiáns fázisátalakulás során az elektronikus spektrumban tiltott sáv nyílik, és a kialakuló alapállapot sokaság topologikusan nem-triviális lesz [Gulacsi2015].

Nanoszerkezetek transzport tulajdonságai:

Az univerzális Fermi-folyadék nem Fermi-folyadék átcsapás megfigyelését és elméleti leírását [Keller2015] kiemelt eredményeink között mutattuk be.

Kiterjesztettük Nozieres Fermi-folyadék elméletét az Anderson modellre, és Bethe-ansatz valamint numerikus renormálási csoport számítások segítségével meghatároztuk az effektív térelmélet paramétereit [Mora2015], majd kiszámítottuk a Fermi-folyadék koefficiensek kísérletileg is meghatározható értékét az Anderson-modell paramétereinek függvényében.

Megvizsgáltuk egy nanoszemcsében a spin-pálya kölcsönhatás kialakulása miatt létrejövő lokális mágneses anizotrópia eloszlását. Rendezett szemcsék esetén az anizotrópia paraméterek szabályos térbeli struktúrát képeznek, míg szabálytalan szemcsék esetében véletlenszerű, univerzális eloszlási anizotrópiát találtunk [Szilva2015].

Véges méret skálázást végezve egy mágneses térbe helyezett két dimenziós rendezetlen rendszeren megmutattuk, hogy a diagonális ill. a Hall-vezetőképesség kétparaméteres skálázást mutat, és numerikusan reprodukáltuk a Pruisken-skálázást [Werner2015].

Alacsony dimenziós kvantum-rendszerek egzotikus fázisai:

Megmutattuk, hogy $S=1$ -es spinű nematikus szuperfolyadékban stabilizálni lehet egy Skymiont erős kölcsönhatás és optikai rács segítségével, az optikai csapda közepén Mott szigetelő magot kialakítva. A kialakuló Skymion megfigyelhető repülési idő mérések segítségével, a szuperfolyékony héj gerjesztési spektruma pedig tükrözi a Skymion csavarodását [KanaszNagy2015-2].

Tanulmányoztuk a bezárás hatását két, különféle hiperfinom spinnel rendelkező, kvázikétdimenziós bozon gáz esetében. Megmutattuk, hogy a bezárás hatására molekuláris rezonanciák jönnek létre, melyek a rétegek távolságának hangolásával új Feshbach-rezonanciákat és ezáltal hangolható kölcsönhatást eredményeznek [KanaszNagy2015-1].

A grafén $|n|=1$ Landau-szintjén fellépő tört kvantált Hall állapotok spin-polarizációját vizsgáltuk kis rendszerekre egzakt diagonalizációval, nagyobb rendszerekre kompozit fermion-elmélet segítségével, mind az alapállapotra, mind a gerjesztésekre kiterjedően. Azt találtuk, hogy a kompozit fermion-elmélet sikerrel értelmezi a megfigyelt törteket, de a kompozit fermionok közötti kölcsönhatás nem gyenge, hanem ferromágneses viselkedést okoz [Balram2015-3]. Ezért vitatjuk az $|n|=1$ Landau szint tört kvantált Hall állapotai között Amet et al. (Nat. Commun. 6, 5838) által a közelmúltban megfigyelt átmenetek spin-átmenet jellegét.

A párkorrelációs függvény Friedel-oszcillációinak számolásán keresztül meghatároztuk a kompozit fermionok Fermi-tengere állapotának Fermi hullámszámát $1/2$ és $1/4$ betöltés közelében [Balram2015-4]. Összhangban Kamburov et al. (PRL 113, 196801) kísérleti eredményeivel azt találtuk, hogy a Fermi hullámszám konzisztens a Landau szint kisebbségi töltéshordozóinak ($1/2$ betöltés alatt az elektronok, $1/2$ felett a lyukak) Fermi hullámszámával. Eredményeink szerint a Fermi gömb térfogata enyhén kölcsönhatásfüggő, azaz kívül eshet Luttinger tétele érvényességi körén.

Megvizsgáltuk, hogy a tört kvantált Hall tartományban okozhat-e a kompozit fermionok közötti reziduális kölcsönhatás további összenyomható állapotokat, amelyek kompozit fermionok tört kvantált Hall állapotaként értelmezhetők, azaz elektronok helyett kompozit fermionok között alakul ki erős korreláció [Balram2015-1]. Kiértékeljük ezen állapotok energiáját, és összegyűjtöttük lehetséges átmeneteiket. Ez utóbbiak összhangban vannak a grafében és kétdimenziós elektrongázban megfigyelt átmenetekkel.

Szisztematikusan kiértékeljük, milyen Zeeman-energia értékeknél lép fel fázisátalakulás az adott betöltési számhoz tartozó különböző spin-polarizáltságú tört kvantált Hall állapotok között grafénben [Balram2015-2]. Azt találtuk, hogy párhuzamos fluxuscsatolás esetén a kompozit fermionok elmélete Jain-Kamilla projekcióval jóslata jól egyezik a kísérletekkel, viszont az ellentétes fluxuscsatolással leírható állapotok esetében az egyezés csupán kvalitatív, az átmenetek jóslott paraméterei jelentősen eltérnek. Ez utóbbi tény a legalsó Landau-szintre történő projekciót közelítőleg megvalósító számítási módszerek nagy hibájával magyaráztuk ezen tört állapotok esetében.

Megvizsgáltuk, milyen következményei vannak a csökkentett forgásszimmetriának a magnetooptikai átmenetekre a dölt tometgelen Dirac kúppal rendelkező szerves félvezetőkben és párhuzamos elektromos és merőleges mágneses térbe helyezett grafénben [Sari2015]. A nagyszámú megengedetté váló átmenet elemzésével mérési eljárást javasoltunk a Dirac kúpok dőlésének meghatározására.

A negyedik, 2016-os projektév eredményei:

Korrelált rendszerek dinamikája:

Kifejlesztettünk egy Baeriswyl-hullámfüggvényen alapuló variációs módszert magasabb dimenziós rendszerek dinamikájának leírására [Dora2016-2]. A két dimenziós négyzet rácson élő spintelen fermionok egyensúlyi és kvantum kvencs fázisdiagramját megbízhatóan le tudtuk írni ezzel a módszerrel. Eredményeinket 2D DMRG és egzakt diagonalizációs módszerekkel ellenőriztük.

Megvizsgáltuk egy Floquet-topologikus szigetelő sorsát disszipáció jelenlétében [Vajna2016]. Alacsony frekvenciákon egy kvantált fotoáram folyik a rendszer élei mentén, mely a frekvencia növelésével egy topologikus átalakuláson megy keresztül, és elveszti kvantált jellegét. Erős disszipáció esetén a kvantálás sérül.

Megvizsgáltunk egy Luttinger-folyadékot komplex előre szórási amplitúdó esetén. Megmutattuk, hogy a teljesen képzetes esetben a Luttinger-folyadék védetté vált lokális hátraszórásra és umklapp folyamatokra [Dora2016-4]. Meghatároztuk egy Luttinger-folyadék hullámszám térbeli összefonódási spektrumát és entrópiáját. A redukált sűrűségmátrix legnagyobb sajátértéke megegyezik Loschmidt-echo-val. Analitikus számolásainkat (nem-)integrálható modelleken teszteltük és tökéletes egyezést kaptunk.

Szemiklasszikus módszert dolgoztunk ki a sine-Gordon modell kvantum kvencs dinamikájának leírására. Az ún. univerzális limeszben számos – kísérletileg is mérhető – korrelációs függvényt sikerült analitikusan kiértékelnünk [Kormos2016].

Megmutattuk, hogy egy 2D kvadratikus sávkeresztesés hosszútávú kölcsönhatás esetén nematikus és kvantum anomális Hall-fázisok megjelenéséhez vezet, és bizonyos tartományban a nematikus fázis a domináns instabilitás. Egy kvantum kvencs után a nematikus fázis rendparamétere mindig véges marad, mely a sávkeresztesés nem-triviális Berry-fázisával magyarázható [Dora2016-1].

Kiszámoltuk egy 3D Weyl-félfémekben a hiperfinom kölcsönhatást. A Weyl-pontokhoz közelítve a pályák járuléka divergál, és ez lesz a domináns járuléka a relaxációs idő viselkedésének meghatározásában. Eredményeinket a TaP anyagon végzett kísérletek megerősítették [Okvatovity2016]

Nanoszerkezetek transzport tulajdonságai:

Numerikus renormálási csoport módszert alkalmazva megvizsgáltuk a spin-pálya kölcsönhatás hatását és kísérleti konzekvenciáit egy szén nanocsőben kialakított kvantum pötty transzport tulajdonságaira [Mantelli2016]. Megmutattuk, hogy a felhasadt Kondo-rezonancia struktúrája a külső mágneses tér irányának függvénye. Szintén numerikus renormálási csoportot használva megvizsgáltuk, hogy egy topologikus szupravezetőhöz csatolt kvantum dot, illetve ennek kölcsönhatása a topologikus szupravezetőben lévő Majorana-fermionnal hogyan befolyásolja a kvantum pötty spektrálfüggvényét. Utóbbi a mérhető transzport kísérletek segítségével, és egyértelműen mutatja a Majorana-fermionok jelenlétét [Chirla2016-2]. Megvizsgáltuk továbbá, hogy egy mikrohullámú rezonátor transzmisszióját hogyan befolyásolja egy a rezonátorba helyezett csatolt kvantum-pötty szupravezető rendszer. Megmutattuk, hogy rezonátor transzmissziója segítségével nyomon követhető az ún. Shiba fázisátalakulás [Chirla2016-1].

A 2017-es évi hosszabbítás alatt született eredmények

Korrelált rendszerek dinamikája:

A Luttinger-folyadékbeli idő-rendezetlen korrelátorra [Dora2017], valamint a kvantum kvencsek fél-félklasszikus leírására vonatkozó [Moca2017-2] Phys. Rev. Letters-ben megjelent eredményeinket a kiemelt eredmények között részleteztük.

Ezek mellett megvizsgáltuk egy $S=1$ -es sávkereszteszés optikai vezetőképességét. A völgyfelbontott Hall-vezetőképesség tetszőleges valós értékeket felvehetett, vagyis nem volt kvantált. Kvantálttá csak minkét völgy járulékaának figyelembevétele után vált [Kovacs2017].

Megmutattuk, hogy a Kondo modellben az idő-rendezetlen korrelátor a mágneses szennyező állapotától függően drámaian más viselkedést mutat [Dora2017-2]. Míg az egycsatornás Kondo-modellben a hosszú idejű határesetben eltűnik, addig a kétcsatornás, lokális nem-Fermi folyadék változatában egy véges, a maximálisan lehetséges értékhez tart. Analitikus eredményeinket numerikusan is ellenőriztük a "csak-spin" Kondo-modellel.

Ultrahideg atomok kvantum állapotainak jellemzésére javasoltuk új módszerként a repülési idő kép teljes statisztikájának elemzését [Lovas2017-1]. A módszert egy kölcsönható egy dimenziós Bose-gázon demonstráltuk, megmutatva, hogy a repülési idő kísérletben kimért abszorpciós képnek több univerzális tartománya van, melyek részletes információt nyújtanak a kvázi-kondenzátum kvantum-fluktuációiról. Nem-egyensúlyi állapotokat vizsgálva azt is megmutattuk, hogy a repülési idő kép teljes statisztikája tükrözi a kvantum kvencsek követő (pre-)termalizációs folyamatokat, és alkalmas lehet egzotikus kvantum állapotok jellemzésére. Ugyanezen vonal mentén haladva két dimenziós, harmonikusan csapdázott, kölcsönható Bose-gáz impulzus- korrelációit is vizsgáltuk numerikusan, $T=0$ hőmérsékleten, a részecskeszám- megőrző Bogoljubov-közelítést alkalmazva [Lovas2017-2]. Megmutattuk, hogy a kölcsönhatásból származó koherens kvantum-fluktuációk hatására kis impulzusok esetén antikorreláció alakul ki az ellentétes p és $-p$ impulzusok között. Ezzel szemben nagyobb impulzusoknál p és $-p$ között gyenge pozitív korrelációt tapasztalunk, összhangban a homogén kölcsönható kondenzátumokra vonatkozó Bogoljubov-eredménnyel.

Egy fermionikus vagy bozonikus Mott szigetelőben létrehozott lyuk nem-egyensúlyi dinamikáját tanulmányoztuk az atomi határesetben, mikor a Mott-szigetelő egy degenerált spin-rendszerrel ekvivalens. Megmutattuk, hogy ez a rendszer meglepő viselkedést mutat: a korrelálatlan, végtelen hőmérsékletű spin-fürdőben egyetlen lyukat létrehozva, a lyuk mozgása során erős, hosszú ideig

fennmaradó korrelációk épülnek ki a spinek között [KanászNagy2017]. Nem-kölcsönható esetben ezek a spin-korrelációk tisztán kvantum-interferenciából származnak, és az egyensúlyi Nagaoka-effektussal ellentétben mind pozitív, mind negatív korrelációk kialakulnak.

Kétfenekű potenciálban csapdázott, csatolt egymódusú kondenzátumok összefonódási entrópiájának időfüggését vizsgáltuk $T=0$ hőmérsékleten [Lovas2017-3], numerikus eredményeket és analitikus közelítéseket kombinálva. Megmutattuk, hogy rövid időskálákon a közel lineáris entrópia-növekedés felett entrópia-oszcillációk jelennek meg a kondenzátumok koherens oszcilláció miatt, míg az entrópia hosszú idejű viselkedése a rendszer szemi-klasszikus dinamikáját tükrözi. A rendszer nem-egyensúlyi állapotának ellenére az entrópia végül stacionáriussá válik, és értéke jól közelíthető egy klasszikus mikrokanonikus leírás segítségével.

A kvantumbitek manipulációjához kapcsolódóan két új eredményünk született. Félvezetőbe ültetett donatoratomok magspinje hosszú élettartamú kvantumbitként használható. A Physical Review-hoz benyújtott munkánkban [Boross2017] javaslunk és kvantitatíven elemzünk egy olyan elrendezést, amelyben a magspin váltóáramú elektromos térrel vezérelhető. A magspinek általunk leírt elektromos vezérlése egybites és kétbites kvantum-logikai műveletek hatékony elvégzését teszi lehetővé. Másik, szintén a Physical Review B-hez benyújtott munkánkban [Széchenyi2017] egy kísérletileg releváns, realiztikus nanoszerkezetet írunk le, amelyben két elektron között vonzó kölcsönhatást létesít egy nanomechanikai rezonátor rezgési módusa. Ez a vonzó kölcsönhatás esélyt kínál "mesterséges szupravezetők" létrehozására, azaz szupravezető nanoszerkezetekre jellemző elektromos transzport-jelenségek megfigyelésére olyan nanoáramkörökben, amelyek nem tartalmaznak szupravezetőt.

Nanoszerkezetek transzport tulajdonságai:

A projekt során korábban kifejlesztett Fermi folyadék elmélet segítségével tanulmányoztuk egy normál-kvantum dot-szupravezető rendszer nem lineáris zaj spektrumát. Ennek segítségével ugyanis meghatározható az inelasztikus folyamatok effektív töltése. A Physical Review Letters-hez benyújtott munkánkban azt a meglepő eredményt kaptuk, hogy ebben a rendszerben, amiben a töltéshordozóknak nincs kvantált töltése, a kölcsönhatások nem renormálják az effektív töltést, és az lényegében a Cooper párok $2e$ töltése marad [Moca2017-1].

Egy a Harvarddal közös munkánkban két dimenziós szerkezetek zajspektrumát vizsgáltuk, és megmutattuk, hogy egy gyémánt N vakancia segítségével detektálható egy két dimenziós rendszer vagy egy mágneses szennyező mágneses (ill. áram) zaj spektruma, a szennyezőt térben mozgatva ugyanis különböző frekvenciatartományokat lehet vizsgálni [Agarwal2017].

Alacsony dimenziós kvantum-rendszerek egzotikus fázisai:

Meghatároztuk egy véges hőmérsékletű Luttinger-folyadék redukált sűrűségmátrixát a jobbra menő elektronokra vonatkozóan. Az összefonódási gap a hőmérséklet növelésével eltűnt. Megmutattuk, hogy a von-Neumann entrópiából meghatározott Sommerfeld-együttható univerzális, és az összefonódási Hamilton operátor ugyanolyan univerzális, mint a fizikai partnere [Dóra2017-3].

Zárt alakban felírjuk egy mágneses térbe helyezett töltött részecske termális sűrűségmátrixát (euklideszi propagátorát) a tóruszon általános határfeltételek mellett [Galambos2017]. Ezt az eredményt időtükrözési szimmetria-sértő rendszerek fázis rögzített pályaintegrál Monte Carlo szimulációjában lehet felhasználni, amilyenek pl. a kvantált Hall rendszerek és forgó Bose-Einstein kondenzátumok.

Egy a Scientific Reports-hoz benyújtott munkánkban [Werner2017] olyan kísérleti elrendezést javaslunk (selective final state spectroscopy), melyben rendezetlen optikai potenciálba helyezett

ultrahideg atomok segítségével megfigyelhető a lokalizációs átmenet kritikus állapota. Számításaink azt mutatják, hogy az általunk javasolt módszerrel megfigyelhető a kritikus állapot – eddig csak numerikus szimulációkkal meghatározott – multifraktál spektruma.

A Phys. Rev. B-ben megjelent munkánkban [Sarkany2017] a Wigner kristály kialakulását vizsgáltuk felfüggesztett nanocsövekben. Részletes mikroszkopikus analízisből kiindulva modelleztük a nanocsövek viselkedését, és megmutattuk, hogy egy korábbi, Deshpande és Bockrath nevéhez kötődő kísérlet valóban értelmezhető a Wigner kristály indirekt bizonyítékaként.

Budapest, 2017. Október 6.

Zaránd Gergely
Témavezető

2013:

- [Bacsi2013] Ádám Bácsi, Balázs Dóra, Quantum quench in the Luttinger model with finite temperature initial state Phys. Rev. B 88, 155115 (2013).
- [Boross2013] Peter Boross, Balazs Dora, Annamaria Kiss, Ferenc Simon: A unified theory of spin-relaxation due to spin-orbit coupling in metals and semiconductors, Sci. Rep. 3, 3233 (2013).
- [Dora2013-1] Balázs Dóra, Igor F. Herbut, Roderich Moessner, Coupling, merging, and splitting Dirac points by electron-electron interaction, Phys. Rev. B 88, 075126 (2013).
- [Dora2013-2] Balázs Dóra, Frank Pollmann, József Fortágh, Gergely Zaránd, Loschmidt echo and the many-body orthogonality catastrophe in a qubit-coupled Luttinger liquid, Phys. Rev. Lett. 111, 046402 (2013).
- [Moca2013] C. P. Moca, A. Alex, A. Shnirman, G. Zarand, Fermi liquid theory of resonant spin pumping, Phys. Rev. B 88, 241404(R) (2013).
- [Sinkovicz2013] P. Sinkovicz, A. Zamora, E. Szirmai, M. Lewenstein, G. Szirmai, Spin liquid phases of alkaline-earth-metal atoms at finite temperature, Phys. Rev. A 88, 043619 (2013).
- [Sticlet2013] Doru Sticlet, Balázs Dóra, Jérôme Cayssol, Persistent currents in Dirac fermion rings Phys. Rev. B 88, 205401 (2013).
- [Szirmai2013] E. Szirmai, Two-orbital physics of high spin fermionic alkaline earth atoms confined in a one-dimensional chain, Phys. Rev. B 88, 195432 (2013).
- [Toke2013-1] Csaba Tóke, Particle-hole symmetry and bifurcating ground-state manifold in the quantum Hall ferromagnetic states of multilayer grapheme, Phys. Rev. B 88, 241411(R) (2013).
- [Vigh2013] Máté Vigh, László Oroszlány, Szabolcs Vajna, Pablo San-Jose, Gyula Dávid, József Cserti, Balázs Dóra, Diverging dc conductivity due to a flat band in disordered pseudospin-1 Dirac-Weyl fermions, Phys. Rev. B 88, 161413(R) (2013).

2014:

- [Chirla2014] Razvan Chirla, Catalin Pascu Moca: Finite-frequency thermoelectric response in strongly correlated quantum dots, Phys. Rev. B 89, 045132 (2014).
- [Crepin2014] François Crépin, G. Zaránd, and Pascal Simon, Nonperturbative phase diagram of interacting disordered Majorana nanowires, Phys. Rev. B 90, 121407(R) (2014).
- [Dora2014-1] Balázs Dóra, Escort distribution function of work done and diagonal entropies in quenched Luttinger liquids, Phys. Rev. B 90, 245132 (2014).
- [Dora2014-2] Balázs Dóra, Igor F. Herbut, Roderich Moessner, Nematic, topological and Berry phases when a flat and a parabolic band touch, Phys. Rev. B 90, 045310 (2014).
- [Filippone2014] Michele Filippone, Cătălin Pașcu Moca, Gergely Zaránd, and Christophe Mora, Kondo temperature of SU(4) symmetric quantum dots, Phys. Rev. B 90, 121406(R) (2014).
- [Keller2014] A.J. Keller, S. Amasha, I. Weymann, C.P. Moca, I.G. Rau, J.A. Katine, H. Shtrikman, G. Zaránd, and D. Goldhaber-Gordon, Emergent SU(4) Kondo physics in a spin-charge-entangled double quantum dot, Nature Physics 10, 145 (2014).
- [Moca2014] C. P. Moca, P. Simon, Chung-Hou Chung, and G. Zaránd, Finite-frequency-dependent noise of a quantum dot in a magnetic field, Phys. Rev. B 89, 155138 (2014).
- [Pozsgay2014] B. Pozsgay, M. Mestyán, M. A. Werner, M. Kormos, G. Zaránd, and G. Takács, Correlations after Quantum Quenches in the XXZ Spin Chain: Failure of the Generalized Gibbs Ensemble, Phys. Rev. Lett. 113, 117203 (2014).
- [Sari2014] Judit Sári, Csaba Tóke, and Mark O. Goerbig, Magnetoplasmons of the tilted anisotropic Dirac cone material α -(BEDT-TTF)₂I₃, Phys. Rev. B 90, 155446 (2014).

[Szirmai2014] E. Szirmai, and H. Nonne, Competing valence bond states of spin-3/2 fermions on strongly coupled ladder, Phys. Rev. B 90, 245135 (2014).

[Toke2014] Csaba Tőke and Vladimir I. Fal'ko, Charge-density-wave states in double-layer graphene structures at a high magnetic field, Phys. Rev. B 90, 035404 (2014).

[Vajna2014] Szabolcs Vajna, Balázs Dóra, Disentangling dynamical phase transitions from equilibrium phase transitions, Phys. Rev. B 89, 161105 (2014).

[Yao2014] N. Y. Yao, C. P. Moca, I. Weymann, J. D. Sau, M. D. Lukin, E. A. Demler, and G. Zaránd, Phase diagram and excitations of a Shiba molecule, Phys. Rev. B 90, 241108(R) (2014).

2015:

[Balram2015-1] Ajit C. Balram, Csaba Tőke, A. Wójs, J. K. Jain, Phase diagram of fractional quantum Hall effect of composite fermions in multicomponent systems, Phys. Rev. B 91, 045109 (2015).

[Balram2015-2] Ajit C. Balram, Csaba Tőke, A. Wójs, J. K. Jain, Fractional quantum Hall effect in graphene: Quantitative comparison between theory and experiment, Phys. Rev. B 92, 075410 (2015).

[Balram2015-3] Ajit C. Balram, Csaba Tőke, Arkadiusz Wójs, Jainendra K. Jain, Spontaneous polarization of composite fermions in the $n=1$ Landau level of graphene, Phys. Rev. B 92, 205120 (2015).

[Balram2015-4] A. C. Balram, Cs. Tőke, J. K. Jain, Luttinger theorem for the strongly correlated Fermi liquid of composite fermions, Phys. Rev. Lett. 115, 186805 (2015).

[Dora2015-1] B. Dóra, F. Pollmann, Absence of orthogonality catastrophe after a spatially inhomogeneous interaction quench in Luttinger liquids, Phys. Rev. Lett. 115, 096403 (2015).

[Dora2015-2] B. Dóra, F. Simon, Unusual spin dynamics in topological insulators, Sci. Rep. 5, 14844 (2015).

[Gulacsi2015] B. Gulácsi, B. Dóra, From Floquet to Dicke: Quantum spin-Hall insulator in quantized electromagnetic field, Phys. Rev. Lett. 115, 160402 (2015).

[KanaszNagy2015-1] M. Kanász-Nagy, E. A. Demler, G. Zaránd, Confinement-induced interlayer molecules: A route to strong interatomic interactions, Phys. Rev. A 91, 032704 (2015).

[KanaszNagy2015-2] M. Kanász-Nagy, B. Dóra, E. A. Demler, G. Zaránd, Stabilizing the false vacuum: Mott skyrmions, Sci. Rep. 5, 7692 (2015).

[Keller2015] A. J. Keller, L. Peeters, C. P. Moca, I. Weymann, D. Mahalu, V. Umansky, G. Zaránd, D. Goldhaber-Gordon, Universal Fermi liquid crossover and quantum criticality in a mesoscopic system, NATURE 526, 237 (2015).

[Mestyán2015] M. Mestyán, B. Pozsgay, G. Takács, and M.A. Werner, Quenching the XXZ spin chain: quench action approach versus generalized Gibbs ensemble, J. Stat. Mech. 2015, P04001 (2015).

[Mora2015] Christophe Mora, Catalin Pascu Moca, Jan von Delft, Gergely Zarand, Fermi-liquid theory for the single-impurity Anderson model, Phys. Rev. B 92, 075120 (2015).

[Sari2015] Judit Sári, Mark O. Goerbig, Csaba Tőke: Magneto-optics of quasirelativistic electrons in graphene with an inplane electric field and in tilted Dirac cones in α -(BEDT TTF)(2)I-3, Phys. Rev. B 92, 035306 (2015).

[Szilva2015] Szilva A, Balla P, Eriksson O, Zaránd G, Szunyogh L: Universal distribution of magnetic anisotropy of impurities in ordered and disordered nanograins, Phys. Rev. B 91, 134421 (2015).

[Vajna2015-1] Sz. Vajna, B. Dóra, Topological classification of dynamical phase transitions, Phys. Rev. B 91, 155127 (2015).

[Vajna2015-2] Sz. Vajna, B. Dóra, R. Moessner, Nonequilibrium transport and statistics of Schwinger pair production in Weyl semimetals, Phys. Rev. B 92, 085122 (2015).

[Werner2015] M. A. Werner, A. Brataas, F. von Oppen, G. Zarand, Anderson localization and quantum Hall effect: Numerical observation of two-parameter scaling, Phys. Rev. B 91, 125418 (2015).

2016:

[Chirla2016-1] R. Chirla, A. Manolescu, C.P. Moca, Transmission of a microwave cavity coupled to localized Shiba states, Phys. Rev. B 93, 155110 (2016).

[Chirla2016-2] R. Chirla, C.P. Moca, Fingerprints of Majorana fermions in spin-resolved subgap spectroscopy, Phys. Rev. B 94, 045405 (2016).

[Dora2016-1] B. Dóra, I.F. Herbut, Quadratic band touching with long-range interactions in and out of equilibrium, Phys. Rev. B 94, 155134 (2016).

[Dora2016-2] B. Dóra, M. Haque, F. Pollmann, B. Hetényi, Quantum quench in two dimensions using the variational Baeriswyl wave function, Phys. Rev. B 93, 115124 (2016).

[Dora2016-3] B. Dóra, R. Lundgren, M. Selover, F. Pollmann, Momentum-Space Entanglement and Loschmidt Echo in Luttinger Liquids after a Quantum Quench, Phys. Rev. Lett. 117, 010603 (2016).

[Dora2016-4] B. Dora, R. Moessner, Luttinger liquid with complex forward scattering: Robustness and Berry phase, Phys. Rev. B 93, 075127 (2016).

[Kormos2016] M. Kormos M, G. Zarand, Quantum quenches in the sine-Gordon model: A semiclassical approach, Phys. Rev. E 93, 062101 (2016).

[Mantelli2016] D. Mantelli, C.P. Moca, G. Zarand, M. Grifoni, Kondo effect in a carbon nanotube with spin-orbit interaction and valley mixing: A DM-NRG study, Physica E 77, 180 (2016).

[Okvatovity2016] Z. Okvatovity, F. Simon, B. Dóra, Anomalous hyperfine coupling and nuclear magnetic relaxation in Weyl semimetals, Phys. Rev. B 94, 245141 (2016).

[Vajna2016] Sz. Vajna, B. Horovitz, B. Dóra, G. Zaránd, Floquet topological phases coupled to environments and the induced photocurrent, Phys. Rev. B 94, 115145 (2016).

2017:

[Agarwal2017] Kartiek Agarwal, Richard Schmidt, Bertrand Halperin, Vadim Oganesyan, Gergely Zaránd, Mikhail D. Lukin, Eugene Demler, Magnetic noise spectroscopy as a probe of local electronic correlations in two-dimensional systems, Phys. Rev. B 95, 155107 (2017).

[Boross2017] Péter Boross, Gábor Széchenyi, András Pályi, Hyperfine-assisted fast electric control of dopant nuclear spins in semiconductors, submitted to Phys. Rev. B, <https://arxiv.org/abs/1707.00581>.

[Dora2017-1] Balázs Dóra, Roderich Moessner, Out-of-time-ordered density correlators in Luttinger liquids, Phys. Rev. Lett. 119, 026802 (2017).

- [Dora2017-2] Balázs Dóra, Miklós Antal Werner, Catalin Pascu Moca, Information scrambling at an impurity quantum critical point, Phys. Rev. B, közlésre elfogadva (arXiv:1703.09465).
- [Dora2017-3] Balázs Dóra, Izabella Lovas, Frank Pollmann, Distilling momentum-space entanglement in Luttinger liquids at finite temperature, Phys. Rev. B 96, 085109 (2017).
- [Galambos2017] Tamás Haidekker Galambos, Csaba Tóke, The thermal density matrix of a charged particle in an external magnetic field in twisted periodic boundary conditions, submitted to Phys. Rev. B, arXiv:1702.01710 (2017).
- [KanaszNagy2017] M. Kanász-Nagy, I. Lovas, F. Grusdt, D. Greif, M. Greiner, E. Demler, Quantum correlations at infinite temperature: the dynamical Nagaoka effect, Phys. Rev. B 96, 014303 (2017).
- [Kovacs2017] Áron Dániel Kovács, Gyula Dávid, Balázs Dóra, József Cserti, Frequency dependent magneto-optical conductivity in the generalized α -T3 model, Phys. Rev. B 95, 035414 (2017).
- [Lovas2017-1] I. Lovas, B. Dóra, E. Demler, G. Zaránd, Full counting statistics of time of flight images, Phys. Rev. A 95, 053621 (2017).
- [Lovas2017-2] I. Lovas, B. Dóra, E. Demler, G. Zaránd, Quantum fluctuation induced time of flight correlations of an interacting trapped Bose gas, Phys. Rev. A 95, 023625 (2017).
- [Lovas2017-3] I. Lovas, J. Fortágh, E. Demler, G. Zaránd, Entanglement and entropy production in coupled single-mode Bose-Einstein condensates, Phys. Rev. A 96, 023615 (2017).
- [Moca2017-1] Catalin Pascu Moca, Christophe Mora, Ireneusz Weymann, Gergely Zarand, Noise of a chargeless Fermi liquid, submitted to Phys. Rev. Lett., arXiv:1701.06215.
- [Moca2017-2] Catalin Pascu Moca, Marton Kormos, Gergely Zarand, Semi-semiclassical theory of quantum quenches in one dimensional systems, Phys. Rev. Lett. 119, 100603 (2017).
- [Sarkany2017] Lorinc Sarkany, Edina Szirmai, Catalin Pascu Moca, Leonid Glazman, Gergely Zarand, Wigner crystal phases in confined carbon nanotubes, Journal-ref: Phys. Rev. B 95, 115433 (2017).
- [Széchenyi2017] Gábor Széchenyi, András Pályi, Matthias Droth: Electron-electron attraction in an engineered electromechanical system, <https://arxiv.org/abs/1703.06481>.
- [Werner2017] Miklós Antal Werner, Eugene Demler, Alain Aspect, Gergely Zaránd, Selective final state spectroscopy and multifractality in two-component ultracold Bose-Einstein condensates: a numerical study, submitted to Scientific Reports, arXiv:1709.08993.

Diplomamunkák, szakdolgozatok:

- [Sarkany2013] Sárkány Lőrinc, Wigner-kristály elméleti vizsgálata félvezető szén nanocsövekben, MSc. diplomamunka, BME 2013.
- [Werner2013] Werner Miklós, Rendezetlen Hall-rendszerek vizsgálata, MSc. diplomamunka, BME 2013.
- [Lovas2014] Lovas Izabella, Csapdázott kölcsönható Bose-gázok kinetikus energiaeloszlásának vizsgálata kvantum kvencs során, MSc Diplomamunka, BME 2014.
- [Okvatovity2016] Okvatovity Zoltán, Weyl-félfémek spindinamikája, BSc Szakdolgozat, BME 2016.
- [Galambos2017] Haidekker Galambos Tamás, Development of Path integral Monte Carlo simulations in magnetic field, MSc Diplomamunka, BME 2017.