

Korrelált elektron- és spinrendszerek egyensúlyban és azon kívül

Hagymási Imre

Helmholtz-Zentrum Berlin

Pályázati anyag tudományos főmunkatársi beosztásra
a Wigner SZFI Erősen korrelált rendszerek csoportjába

CURRICULUM VITAE	2
KIEMELT PUBLIKÁCIÓK AZ ELMÚLT 5 ÉVBŐL	7
KOMPETENCIÁK	8
KUTATÁSI TERV	8

Curriculum Vitae

Imre Hagymási

Phone: +49 151 435 14043

Email: hagymasii@hotmail.com

Address: Stephensonstr. 25, 14482 Potsdam, Germany

Date of birth: 21 / 01 / 1987

Nationality: Hungarian



Profile

Physicist with 10+ years of experience in theoretical condensed matter physics and deep knowledge of numerical simulations and many-body quantum systems. Hands-on experience in data analysis/visualization, programming and solving complex problems.

Work experience

09/2021 -

Postdoctoral researcher & deputy group head

Helmholtz-Zentrum Berlin, Germany (group of Prof. Johannes Reuther)

- Numerical simulation of frustrated spin systems: pointed out enhanced symmetry-breaking tendencies for $S=1$ pyrochlores
- Explanation of the many-body surface state of rhombohedral graphite
- Usage of Python for data analysis, visualization, coding and bash scripts on HPC clusters to automatize job submissions

09/2019 - 08/2021

Postdoctoral researcher

Max Planck Institute for the Physics of Complex Systems, Dresden, Germany (group of Dr. David Luitz)

- First large-scale simulations of pyrochlore spin systems with matrix product states
- Strong evidence for symmetry breaking in quantum pyrochlore magnets (unsolved problem for more than 30 years)
- Usage of Python for data analysis, visualization, coding and bash scripts on HPC clusters to automatize job submissions
- IT/laptop responsible for the condensed matter division

09/2017 - 08/2019

Scholar of the Alexander von Humboldt Foundation

Ludwig-Maximilians-Universität, Munich, Germany (group of Prof. Ulrich Schollwöck)

- Demonstrated the vulnerability of topological phases in out-of-equilibrium situations
- Supervision of bachelor students within the framework of a quantum physics seminar
- Usage of Python for data analysis, visualization, coding and bash scripts on HPC clusters to automatize job submissions

- 06/2014 - 08/2017 **Research Fellow**
Wigner Research Centre for Physics, Budapest, Hungary (group of Prof. Örs Legeza and Prof. em. Jenő Sólyom)
- Numerical study of Anderson and Kondo lattice systems
 - Mean-field and density-matrix renormalization group study of graphene nanostructures
 - Usage of MATLAB and Mathematica for data analysis, visualization and coding scientific problems
- 07/2008 – 08/2008 **IAESTE internship**
University of Birmingham, Birmingham, United Kingdom (host: Dr. Elizabeth Blackburn)
- (magnetic) structure determination from neutron scattering data
 - usage of GSAS software for Rietveld refinement analysis

Education

- 09/2010 - 09/2014 **PhD in Physics** (grade: “summa cum laude”),
Eötvös Loránd University, Budapest, Solid State Physics Programme
Supervisor: Prof. em. Jenő Sólyom
Thesis’ title: “Heavy-fermion and mixed-valence behaviour in extended periodic Anderson models”
- Extension of the Gutzwiller Ansatz for extended Anderson lattices using analytical calculations
 - Numerical optimization of multivariable functions
 - Exact diagonalization of systems with C++ and SLEPc library
- 09/2005 - 06/2010 **MSc in Physics** (grade: “with honours”)
Eötvös Loránd University, Budapest, Solid State Physics Programme
Supervisor: Prof. József Cserti
Thesis’ title: “Quantum mechanical and semiclassical investigation of graphene-based Josephson junctions”
- Mostly analytical calculations of partial differential equations’ boundary-value problems
 - Searching for the roots of nonlinear equations

Computing skills

- Experienced in Python, MATLAB, bash scripts, Mathematica, LaTeX with IDE
- Some experience in C++, git
- Knowledge of Linux systems and SLURM workload managers on HPC clusters

Languages

- English (proficient)
- German (working knowledge)
- Hungarian (native)

Awards

- 2nd best oral contribution award on the Physics of Magnetism 2021 conference, Poland (2021)
- Youth Award of the Hungarian Academy of Sciences (2020) [*For outstanding achievements after my PhD*]
- Postdoctoral Fellowship of the Alexander von Humboldt Foundation (2016)
- National Excellence Award, Hungary (2015) [*Awarded for outstanding achievements during the predoctoral scholarship*]
- Ányos Jedlik predoctoral scholarship of the National Excellence Program, Hungary (2013)
- Best Poster Award in the Physics of Magnetism 2011 conference, Poland (2011)
- Pro Scientia Gold medal, Council of National Scientific Students' Associations, Hungary (2011) [*awarded for extraordinary achievements during MSc studies, the award is given biennially to ~40 people, including all disciplines*]
- Excellent Student of the Faculty of Natural Sciences (2010)
- 2nd place on the Rudolf Ortvy International Physics Competition (2009)
- Republican scholarship given by the Ministry of Education and Culture, Hungary (2008,2009)
- 3rd place on the Rudolf Ortvy International Physics Competition (2007)
- 1st prize on the 28th Students' National Scientific Conference, Council of National Scientific Students' Associations, Hungary (2007)

Scientometric data

- Number of publications in peer-reviewed journals: 24
- First or shared first author in 20 publications
- Total number of citations: 1025 (Google Scholar), 920 (MTMT) [10.05.2023]
- Total number of independent citations (only research articles): 793 (MTMT) [10.05.2023]
- Total number of independent effective citations (only research articles): 636,5 (MTMT) [10.05.2023]
- Cumulative impact factor: 140+
- *h*-index: 10 (Google Scholar), 9 (MTMT)

Publications

1. **I. Hagymási**, V. Noculak, and J. Reuther, Phys. Rev. B **106**, 235137 (2022).
2. **I. Hagymási**, M. S. M. Isa, Z. Tajkov, K. Mártly, O. László, J. Koltai, A. Alassaf, P. Kun, K. Kandrai, A. Pálinkás, P. Vancsó, L. Tapasztó, P. Nemes-Incze, Science Advances **8**, eabo6879 (2022).
3. **I. Hagymási**, R. Schäfer, R. Moessner, D. J. Luitz, Phys. Rev. B **106**, L060411 (2022).
4. **I. Hagymási**, R. Schäfer, R. Moessner, D. J. Luitz, Phys. Rev. Lett. **126**, 117204 (2021).
5. R. Schäfer, **I. Hagymási**, R. Moessner, D. J. Luitz, Phys. Rev. B **102**, 054408 (2020).
6. P. Vancsó, **I. Hagymási**, P. Castenetto, P. Lambin, Phys. Rev. Materials **3**, 094003 (2019).
7. **I. Hagymási**, C. Hubig, Ö. Legeza, U. Schollwöck, Phys. Rev. Lett. **122**, 250601 (2019).
8. **I. Hagymási**, C. Hubig, U. Schollwöck, Phys. Rev. B **99**, 075145 (2019).
9. **I. Hagymási**, Ö. Legeza, Phys. Rev. B **97**, 035142 (2018).
10. P. Vancsó, **I. Hagymási**, L. Tapasztó, 2D Materials **4**, 024008 (2017).
11. **I. Hagymási**, P. Vancsó, A. Pálinkás, Z. Osváth, Phys. Rev. B **95**, 075123 (2017).
12. **I. Hagymási**, Ö. Legeza, Phys. Rev. B **94**, 165147 (2016).
13. **I. Hagymási**, Ö. Legeza, Phys. Rev. B **93**, 165104 (2016).
14. **I. Hagymási**, J. Sólyom, Ö. Legeza, Advances in Condensed Matter Physics, Volume 2015, 614017 (2015).
15. **I. Hagymási**, J. Sólyom, Ö. Legeza, Phys. Rev. B **92**, 035108 (2015).
16. W. Brzezicki, **I. Hagymási**, J. Dziarmaga, Ö. Legeza, Phys. Rev. B **91**, 205137 (2015).
17. G. Zs. Magda, X. Jin, **I. Hagymási**, P. Vancsó, Z. Osváth, P. Nemes-Incze, C. Hwang, L. P. Biró, L. Tapasztó, Nature **514**, 608-611 (2014).

18. **I. Hagymási**, J. Sólyom, Ö. Legeza, Phys. Rev. B **90**, 125137 (2014).
19. **I. Hagymási**, K. Itai, J. Sólyom, Journal of the Korean Physical Society **62**, 1423 (2013).
20. **I. Hagymási**, K. Itai, J. Sólyom, Phys. Rev. B **87**, 125146 (2013).
21. **I. Hagymási**, K. Itai, J. Sólyom, Phys. Rev. B **85**, 235116 (2012).
22. **I. Hagymási**, K. Itai, J. Sólyom, Acta Physica Polonica A **121**, 1070 (2012).
23. **I. Hagymási**, A. Kormányos, J. Cserti, Phys. Rev. B **82**, 134516 (2010).
24. J. Cserti, **I. Hagymási**, A. Kormányos, Phys. Rev. B **80**, 073404 (2009).

Teaching activity

- ‘Quantum mechanics’ seminar for bachelor students in the winter semester of 2018/2019 at LMU Munich [*Supervision of bachelor students.*]
- ‘Strongly correlated systems’ lecture series for MSc and PhD students in the fall semester of 2014/2015 at University of Szeged, Hungary [*In this course I gave the students an introduction to the problems of modern solid-state physics. This included the basic models (Hubbard, Kondo, Anderson lattice/impurity models) as well as approaches based on mean-field, perturbation, variational and exact diagonalization methods.*]

Scientific memberships, professional service

- Member of the Physics, Earth Science, Mathematics Committee of National Scientific Students’ Associations, Hungary
- Participant in the Hungarian Research Fund (OTKA) Grants K120569 and FK142985
- Member of the Society of Pro Scientia Medalists, Hungary
- Referee for Nature Communications, Physical Review Letters, Physical Review B, New Journal of Physics

International conferences

- Physics of Magnetism, Poznan, Poland (talk & poster, 2023)
- APS March Meeting, Las Vegas, USA (talk, 2023)
- Physics of Magnetism, Poznan, Poland (talk, 2021)
- Waiting for the conference on Highly Frustrated Magnetism 2021 (talk, 2021)
- Korrelierter Magnetismus: von Frustration zu Topologie (SFB 1143) Workshop (talk, 2020)
- Korrelationstage Workshop, Dresden, Germany (poster, 2019)
- Nano-M&D 2019, „Properties, Fabrication and Applications of Nanomaterials and Nanodevices“, Paestum, Italy (invited talk, 2019)
- International Conference on Frontiers of Correlated Electron Sciences, Tokyo, Japan (poster, 2019)
- Physics of Magnetism, Poznan, Poland (talk & poster, 2017)
- International Conference on Graphene and related materials: Properties and Applications, Paestum, Italy (talk, 2016)
- International Conference on Magnetism, Barcelona, Spain (talk, 2015)
- Physics of Magnetism, Poznan, Poland (talk, 2014)
- The new generation in strongly correlated systems (conference), Sestri Levante, Italy (poster, 2013)
- International Conference on Magnetism, Busan, Korea (poster, 2012)
- Physics of Magnetism, Poznan, Poland (poster, 2011)

References

- **David J. Luitz**, professor, Universität Bonn (dluitz@uni-bonn.de)
- **Roderich Moessner**, full professor, Max Planck Institute for the Physics of Complex Systems (moessner@pks.mpg.de)

- **Ulrich Schollwöck**, full professor, Ludwig-Maximilians-Universität, München, Germany
(schollwoeck@lmu.de)
- **Örs Legeza**, full professor, Wigner Research Centre for Physics, Budapest, Hungary
(legeza.ors@wigner.mta.hu)
- **Jenő Sólyom**, research professor emeritus, Wigner Research Centre for Physics, Budapest, Hungary
(solyom.jeno@wigner.mta.hu)

Kiemelt publikációk az elmúlt 5 évből

1. **I. Hagymási**, C. Hubig, Ö. Legeza, U. Schollwöck, *Dynamical topological quantum phase transitions in nonintegrable models*, Phys. Rev. Lett. **122**, 250601 (2019).

Ez a publikáció a Humboldt-ösztöndíjas időszakom alatt született, ahol elsőként vizsgáltam azt különféle mátrixszorzat-állapoton alapuló technikák segítségével, hogy szimmetriavédett topologikus renddel rendelkező spin rendszerek miként viselkednek unitér időfejlődéssel leírható kvantumos kvencs során. Kiderült, hogy dinamikai kvantumos fázisátalakulási pontokban a topologikus rendet leíró sztring rendparaméter eltűnik és ezen fázisátalakulási pontokban a kétrácsponos kvantumos összefonódás felerősödik.

2. R. Schäfer, **I. Hagymási**, R. Moessner, D. J. Luitz, *Pyrochlore Heisenberg antiferromagnet at finite temperature*, Phys. Rev. B **102**, 054408 (2020).

A drezdai MPI PKS intézetben kezdtem el foglalkozni a kvantumos piroklórrácson kölcsönható spinrendszerekkel. Ebben a publikációban numerikus csatolt-klaszter sorfejtés (NLCE) és nagyskálás sűrűségmátrixos purifikáció segítségével vizsgáltuk ezen mágnesek véges hőmérsékleti tulajdonságait. Megbízható eredményeket sikerült kiszámítanunk több termodinamikai mennyiségre egészen $T \sim 0.25J$ (J a Heisenberg kicserélődési csatolás) hőmérsékletig.

3. **I. Hagymási**, R. Schäfer, R. Moessner, D. J. Luitz, *Possible Inversion Symmetry Breaking in the Pyrochlore Heisenberg Magnet*, Phys. Rev. Lett. **126**, 117204 (2021).

Következő lépésként az alapállapotú tulajdonságok meghatározása, legalábbis pontosítása volt a célunk. Ehhez NLCE és nagyskálás (20 000 állapot) SU(2) szimmetriát is kihasználó sűrűség-mátrixos renormálási-csoport algoritmust (DMRG) használtunk. Ez utóbbi számolásom volt – legjobb tudomásom szerint – az első alkalom, amikor a DMRG módszert háromdimenziós rendszerekre használták. Meggyőző numerikus bizonyítékot találtunk, hogy a C_3 forgatási és az inverziós szimmetria sérül a Heisenberg-modell alapállapotában.

4. **I. Hagymási**, R. Schäfer, R. Moessner, D. J. Luitz, *Magnetization process and ordering of the pyrochlore Heisenberg antiferromagnet in a magnetic field*, Phys. Rev. B **106**, L060411 (2022). (PRB Letter, korábbi Rapid Communication)

Ezt követően a modell mágneses térbeli viselkedését vizsgáltuk a DMRG módszerrel. Megmutattam, hogy megjelenik egy mágneses plató a fél szaturációs mágneszettségnél, amely kvantumfluktuációk mellett is stabil marad. Ebben az állapotban a C_3 forgatási szimmetria sérül, de az inverziós szimmetria megmarad. A szaturációs állapot alatt feltételezett 5/6 plató, ami lokalizált magnonokból áll, a numerikus számítások szerint instabil.

5. **I. Hagymási***, M. S. M. Isa*, Z. Tajkov, K. Mártly, O. László, J. Koltai, A. Alassaf, P. Kun, K. Kandrai, A. Pálinkás, P. Vancsó, L. Tapasztó, P. Nemes-Incze, Science Advances **8**, eabo6879 (2022). (*= egyenlő szerzői hozzájárulás)

Ebben a kísérleti-elméleti együttműködésben a romboéderes grafit egzotikus felületi állapotát vizsgáltuk. A kísérletek gapes (mágneses) és gap nélküli (nem mágneses) állapotok koegzisztenciáját mutatták ki a felületen. Átlagtér-elméleti számolásokkal kvantitatívan sikerült megmagyaráznom a gapes állapot létrejöttét és alacsony hőmérsékleti viselkedését, valamint kvantitatívan ennek hőmérsékletfüggését. Gap nélküli állapotot sem az átlagtér sem a DFT számítások nem eredményeztek. DMRG számításaim azonban a mágneses (gapes) állapot mellett egy energiában egzaktul degenerált állapotot is adtak, amely egy korrelált paramágneses állapotnak felel meg és a kísérletben fellépő gap nélküli állapottal azonosítható.

Kompetenciák

Módszerek, fejlesztés. – A doktori képzésem során kezdtem el foglalkozni az erősen korrelált spin- és elektronrendszerekkel. Elsajátítottam a variációs Gutzwiller-hullámfüggvény használatát majd ezt általánosítottam úgy többsávós rendszerekre, hogy a sávokon belüli és azok közötti Coulomb-kölcsönhatások is figyelembe vehetők legyenek. Ekkor készítettem saját egzakt diagonalizációs kódot is, melyet elsősorban korrelált elektronrendszerekre használtam. A doktori képzés befejeztével a mátrixszorzat állapotokon alapuló módszerekkel ismerkedtem meg, valamint a kvantuminformáció-elmélet elemeivel. Ekkor kezdtem el az átlagtér-elméleti kódom fejlesztését is, amivel flexibilis elemi cellájú, többsávós egy és kétdimenziós rendszerek is tanulmányozhatók zérus és véges hőmérsékleten is. Külföldi posztdoktori éveim alatt a kvantum rendszerek véges hőmérsékleti és egyensúlyon kívüli leírásával foglalkoztam a mátrixszorzat állapotokon alapuló módszerek segítségével. Ezt követően a DMRG módszer nagyskálás alkalmazásaira fókuszáltam (a HPC architektúrákon történő effektív számítások és párhuzamosítás), amelyek lehetővé tették, hogy 20000 blokkállapotot tudjak megtartani bizonyos rendszerekben, ami a jelenlegi csúcok között van. Ez azért volt szükséges, hogy lehetséges legyen olyan háromdimenziós rendszerek vizsgálata is, ahol a kvantum Monte Carlo módszerek nem működnek.

Modellezés. – Az eddigi tudományos pályafutásom alatt igen sokféle területén kutattam az elméleti szilárdtestfizikának és különféle kvantum rendszereknek: grafén-szuprevezető rendszerek, nehézfermionos és Kondo-rácsmodellek elmélete, szimmetriavédett topologikus fázisok spin és fermion rendszerekben, nemegyensúlyi fizika kvantum kvencsekben, grafén és átmenetifém-dikalkogénid nanoszerkezetek mágnessége, frusztrált kvantumágnesek elmélete. Az eredményekből eddig született 24 publikáció közül 20-ban első vagy megosztott első szerző vagyok, ami jelzi, hogy a projektek kidolgozásában és megvalósításában meghatározó szerepem volt. Több kísérleti-elméleti együttműködésben az elméleti számításaim és ötleteim kulcsfontosságúnak bizonyultak.

Szerepvállalás a tudományos életben, oktatás. – 2014/2015-ös tanév őszi félévében egyetemi kurzust tartottam fizikus mesterszakos és PhD hallgatók számára a SZTE-n „Erősen korrelált elektronrendszerek” címmel. Ezt a kurzust kellő érdeklődő esetén újra megtartanám. A müncheni LMU-n töltött időszak alatt fizikus BSc hallgatókat mentoráltam, hogy különböző kvantummechanikai témaköröket fel tudjanak dolgozni és ebből előadást tartsanak. Számos magyarországi TDK és PhD dolgozat bírálatában vettem részt. 2014 óta (a Pro Scientia Aranyéremesek Társasága által delegált) tagja vagyok az Országos Tudományos Diákköri Tanács (OTDK) Fizika, Földtudományok és Matematika Szakmai Bizottságának. Magyarországi pályafutásom alatt kétszer is zsűritag voltam az OTDK-n, és 2014 óta (külföldi tartózkodásom alatt is) folyamatosan részt veszek az OTDK minőségbiztosításában és a fizika zsűrik összeállításában.

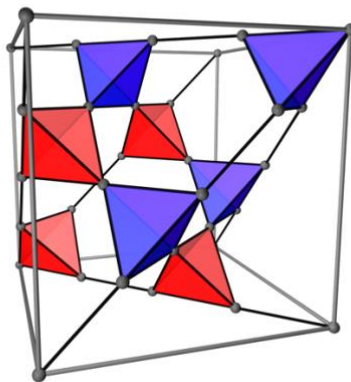
Kutatási terv

Általános célkitűzések. – A kutatási területem az elméleti szilárdtestfizika és nemegyensúlyi kvantum rendszerek területét, valamint a kvantuminformáció-elmélet szilárdtestfizikai alkalmazásait öleli fel. A „Sólyom Jenő iskola” legfiatalabb és talán utolsó növendékeként céлом egyrészt az elméleti szilárdtestfizikai vonal megerősítése az intézetben, mivel a terület neves művelői közül többen nyugdíjba vonultak, másrészt a meglévő intézeti együttműködések (Legeza Örs és csoportja) megerősítése, és újak kialakítása különösképpen a kvantuminformáció-elmélet területén kutatókkal. A Németországban eltöltött hat évem alatt egy széles kollaborációs hálózatot (LMU München, MPI PKS Drezda, Helmholtz-Zentrum Berlin) sikerült kiépítenem, amelyből az intézet és kutatói is tudnak profitálni visszatérésem után. A lentebb ismertetett témákhoz tervezek egyetemi hallgatókat (TDK, BSc, MSc diplomamunka) is bevonni, ami együtt az intézet egyetemi kapcsolatait is tovább erősítené.

Frusztrált mágneses anyagok elmélete. – Mágneses frusztrációról akkor beszélünk, ha egy spinrendszer energiáját nem tudjuk lokális spinbeállások rögzítésével minimalizálni, s ez egy makroszkopikus alapállapotú degenerációhoz vezet. Tipikus példa az antiferromágnesesen kölcsönható $S=1/2$ spinek esete a kagomérácson (két dimenzióban) és a piroklórrácson (három dimenzióban). Ezekben a rendszerekben a

jelenlegi tudásunk szerint a kvantumfluktuációk olyan erősek, hogy meggátolják a hosszútávú mágneses rend kialakulását és egy erősen összefonódott, rendezetlen kvantumállapot jön létre, amit spinfolyadéknak hívnak. Ennek kísérleti megvalósulását régóta keresik a fizikusok, viszont ezen állapotot pusztán kísérletileg rendkívül nehéz azonosítani és az elméleti alátámasztás elengedhetetlen.

A kvantumpiroklór mágnesek fizikája elméletileg és kísérletileg is aktívan kutatott terület. Habár a problémafelvetés egészen Andersonig nyúlik vissza¹, a piroklórrács (ami az egyik geometriailag leginkább frusztrált rács, lásd az 1. ábrát) értelmezett kvantum Heisenberg-modell viselkedése a mai napig nem megértett.



1. ábra A piroklórrács szemléltetése: csúcsaikban érintkező tetraéderek hálózata

Számos olyan anyag ismert, ami ezzel a modellel írható le, pl. $\text{NaCaNi}_2\text{F}_7$ $S=1$ Heisenberg-modellre valószínűleg. A kísérletek szerint ez az anyag alacsony hőmérsékleten sem rendeződik mágnesesen és az általános vélekedés szerint valamilyen egzotikus kvantumállapot jön létre. A probléma nehézsége elméleti szempontból abban rejlik, hogy a háromdimenziós frusztrált rendszerekre jól működő módszerek tárháza meglehetősen szűk, ugyanis a kvantum Monte Carlo módszer az előjel probléma miatt nem használható, egyéb soktest módszerek pedig vagy nem jól kontrollálhatók, vagy csak nagyon kis rendszerméretekre működnek. Az általános vélekedés 2020-ig az volt, hogy az extrém kvantum ($S=1/2$) határesetben az alapállapot spinfolyadék jellegű (amit már régóta keresnek a fizikusok), s az alapállapotban nem sérül semmilyen szimmetria. Ennek az ellenkezőjére (a szimmetria sérülésére) találtunk meggyőző bizonyítékot, amit a 3. kiemelt publikációban részleteztem.

Ezt az irányvonalat tervezem folytatni a jövőben, amelynek során tárgyalnám azokat a modelleket, amelyeknél a másod- és harmadszomszéd csatolás is jelen van, valamint a kísérletileg szintén releváns $S=1$ és $S=3/2$ spinek esetét. Ebben a témában a meglévő kollaborációs partnereken felül (J. Reuther, R. Schäfer, R. Moessner, D.J. Luitz) Penc Karloval is tervezek együttműködni, aki szintén sokat foglalkozott a piroklór mágnesek elméletével.

A későbbiekben más frusztrált rácsokat is tervezek vizsgálni, ilyen például a hiperkagomérács, amely szintén kísérletileg motivált és alacsony hőmérsékleti viselkedése nem ismert.

Kétdimenziós kölcsönható elektronrendszerek. – Az utóbbi 5-8 évben lényeges előrelépés történt a kétdimenziós kölcsönható elektronrendszerek szimulációját tekintve. A DMRG módszer a masszív párhuzamosítással, az iPEPS (infinite projected entangled pair states) és a Legeza Örs csoportjában fejlesztett DMRG+módustranzformáció komplementer és effektív technikákká váltak. Legeza Örssel együttműködésben célom, hogy a fenti technikákkal vagy ezek egyéb házasításával Kondo- és Anderson-rácsmodelleket vizsgáljunk két dimenzióban, építve a korábbi ismereteimre ezen a téren. Az említett két modell már egy dimenzióban is egzotikus fizikát produkált, ezek kétdimenziós viselkedése jelenleg kevésbé ismert.

Együttműködés kísérleti kollégákkal kétdimenziós és réteges anyagok vizsgálatában. – Tapasztó Levente (EK MFA) és Nemes-Incze Péter (EK MFA) csoportjaival 2013 óta együttműködök a kétdimenziós anyagok

¹ P. W. Anderson, Phys. Rev. **102**, 1008 (1956).

² K.W. Plumb *et al.* Nat. Phys. **15**, 54 (2019).

kutatásában (grafén nanoszalagok és kvantum dotok mágnessége, MoS₂ szalagok viselkedése). A legutóbbi közös projektünk során (5. kiemelt publikáció), a romboédeses grafit lapos sávja miatt létrejövő különleges felületi állapotot tanulmányoztuk. Ez egy sokkal egyszerűbb rendszer, mint a mostanában divatos „magic-angle” grafén³, és a benne lévő lapos sáv miatt hasonló korrelált jelenségek tárháza rejlik benne. Következő lépésként a romboédeses grafitban fellépő rétegződési hibák szerepét tervezzük vizsgálni elméleti és kísérleti úton. Szintén tervben van a romboédeses grafit dópolása – most zajlanak a kísérleti előkészületek – és ennek hatása az elektronszerkezetre, amit elméleti úton fogok vizsgálni, első körben az átlagtérelmélet keretein belül. Az előző pontban említett soktest módszerek szintén alkalmazhatók és hasznosak lesznek ezeknél a problémáknál, különösen, ha átlagtérelméleten és DFT-n túlmutató jelenségeket kell értelmezni, mint ahogy ez már a romboédeses grafit (dópolatlan) felületi állapotánál is felmerült.

Nemegyensúlyi kvantumrendszerek. – A müncheni éveim alatt kölcsönható kvantumrendszerek uniter időfejlődésével foglalkoztam, különös tekintettel a kvantumos kvencsokra. Abban az esetben, ha a kvencs során egy kvantumos fázisátalakuláson keresztül vesszük át a rendszert, akkor az időfejlődés során dinamikai kvantumos fázisátalakulás léphet fel.⁴ Az, hogy ez miként tükröződik a megfigyelhető mennyiségekben egy sokat vizsgált, de továbbra sem megértett témakör. A kvantuminformáció-elmélet eszközeit felhasználva céloim megvizsgálni, hogy mi történik ezen kritikus időpillanatok közelében és a többrészecskés összefonódás itt milyen szerephez jut. Ebben a projektben együttműködést tervezek Szalay Szilárdal.

³ A. Kerelsky *et al.* Nature **573**, 91-95 (2019).

⁴ M. Heyl Rep. Prog. Phys. **81**, 054001 (2018).