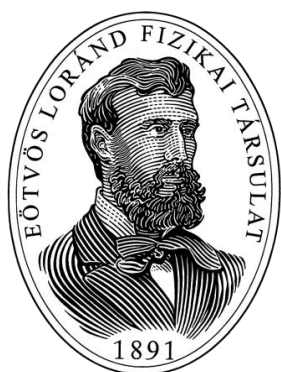


# MAGYAR FIZIKUS VÁNDORGYŰLÉS

VESZPRÉM

2022. augusztus 21–24.



## **Kedves Kollégák!**

Szerencsésen túljutottunk a koronavírus járvány életvitelünket megbénító nehéz szakaszain és visszatérhetünk megszokott tevékenységeinkhez. Nincs tehát akadálya, hogy az Eötvös Loránd Fizikai Társulat megrendezze a magyar fizikus közösség, a fizikatanárok és fizikus kutatók hagyományos seregszemléjét, a Magyar Fizikus Vándorgyűlést. A Vándorgyűlést 2022. augusztus 21. és 24. között rendezzük a Pannon Egyetem veszprémi kampuszán.

A konferencián plenáris előadásokon, szekció előadásokon, illetve posztereken a legkiválóbb magyar szakemberek ismertetik legújabb munkáikat, ezekből képet kapunk a világ és a magyar fizika új eredményeiről. A plenáris előadások, illetve a szervezés alatt álló szekciók honlapunkon látható listája alapján nagyon érdekes programot élvezhetnek majd a kedves résztvevők.

A Vándorgyűlés helyszíne szerencsés mind az intézmény, mind pedig a környezet tekintetében. A rendezvény társszervezője a Pannon Egyetem a hazai egyetemi közösség dinamikusan fejlődő tagja. Az egyetem alapja a Budapesti Műegyetem 1949-ben alapított vegyipari kara, ennek jogutódja az 1951-ben alapított önálló egyetem. Jelenleg több helyszínen és széles szakterületi palettán folyik az oktatás és a kutatás. A tudományos kutatás színvonala a műegyetemi gyökerek révén igen magas. Az élvonalbeli kutatás a nemrégiben alapított Multidiszciplináris Kiválósági Kutatóközpont keretében zajlik, itt számos, a fizikusok számára érdekes terület művelése folyik (pl. környezettudományok, nanotechnológia, komplex rendszerek), hasznos lehet a konferenciát megelőzően a részletek tanulmányozása (<https://kutatas.uni-pannon.hu/index.php/hu/bemutatkozas.html>).

Veszprém ideális helyszín a Vándorgyűlés megrendezésére: A hangulatos városban kellemes sétával elérhetőek a konferencia helyszínei, eközben gyönyörködhetünk a környezet szépségében. További szerencsés adottság a Balaton közelsége. Mondhatni természetes kulturális programot a vacsora egy Balaton-felvidéki borászatban, ez része is tervezett programunknak. Remélem, sikerült felkeltenem fizikus társaim érdeklődését, és minél több kollégával fogunk találkozni Veszprémben augusztus 21. és 24. között.

Ormos Pál



Energiatudományi  
Kutatóközpont



**A vándorgyűlés előadásainak színhelye:**  
2022.08.21. Pannon Egyetem, B épület - Aula  
2022.08.22-24. Pannon Egyetem, A épület  
8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

## **A vándorgyűlés programja**

**2022. augusztus 21. 14 óra:**  
*A nap levezető elnöke: Ormos Pál*

***Ünnepélyes megnyitás***

**Köszöntők**  
**A Társulat Érmének és díjainak átadása**

### **Nyitó előadások**

- 01. Kiss László** (Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont) *James Webb űrteleszkóp*
- 02. Ispánovity Péter** (Eötvös Loránd Tudományegyetem) *Mikronos skálájú földrengések fém mikrooszlop*

### **2022. augusztus 21. 16:15 óra**

- 03. Trócsányi Zoltán** (ELTE) *A részecskefizika helyzete 10 évvel a Higgs-bozon felfedezése után*
- 04. Dombi Péter** (ELI ALPS, ELI-HU Non-Profit Kft., Wigner FK) *Ultragyors elektron dinamika kondenzált rendszerekben*
- 05. Pósfai Mihály** (Pannon Egyetem) *A Balatonról: algavirágzás, foszfor, kristálykémia és kristályfizika nanométeres léptékű összefüggései*

**2022. augusztus 21. 19:00 óra:**

***Fogadás***

**2022. augusztus 22. 9 óra**

**Plenáris előadások 1.**

*A nap levezető elnöke: Sólyom Jenő*

- 1.1. Krasznahorkay Attila** (ATOMKI) *Új elemi részecske születik az ATOMKI-ban*
- 1.2. Tapasztó Levente** (Energitudományi Kutatóközpont, Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézet) *Grafénba zárt fény*
- 1.3. Oláh Éva** (Wigner Fizikai Kutatóközpont, Bozzay Pál Általános Iskola) *A STEM és a STEAM pedagógia a fizika tanításában*

**2022. augusztus 22. 11 óra**

**Szekció előadások**

**HDe1. A természettudományos oktatás útkeresése**

*Szekcióvezető Kirsch Éva*

- 1. Pesthy Sándor Gergely** - Pilot projekt a fizikatanítás helyzetfelméréséhez
- 2. Tóth Kristóf** - Kvantumszámítások középiskolában
- 3. Horváth Norbert Tamás, Oláh Éva Mária** - Kozmikus kincskeresés középiskolás fokon

**HDe2. Atomfizika és kvantumelektronika I.**

*Szekcióvezető Kiss Tamás*

- 1. Domokos Péter** - Optikai rezonátorban csapdázott atomok fázisátalakulása
- 2. Osvay Karoly** - Deuteron gyorsítás és fúziós neutron generálás néhány ciklusú lézerimpulzussal
- 3. Földi Péter** - Lézerimpulzusok által szilárdtestekben elmozdított töltések kiszámítása
- 4. Major Balázs** - Attoszekundumos extrém-ultraibolya források fejlesztése és alkalmazása atomi elektron dinamika vizsgálatára
- 5. Tibai Zoltán** - Részecskegyorsítás terahertzes impulzusokkal
- 6. Krizsán Gergő** - Újgenerációs terahertzes impulzusforrások térfogati holografikus rácsok alkalmazásával

**HDe3. Elméleti részecskefizika**

*Szekcióvezető Fejős Gergely*

- 1. Patkós András** - Sugárzási visszahatás az axion elektrodinamikában
- 2. Cynolter Gábor** - Higgsrobbanás
- 3. Péli Zoltán** - Vákuumstabilitás és skalártömegek a standard modell szupergyenge kiterjesztésében

**HDe4. Szilárdtestfizika I.**

*Szekcióvezető Koltai János*

- 1. Hagymási Imre** - Szimmetriasértő alapállapot a piroklórrácson értelmezett kvantum Heisenberg-modellben
- 2. Gurin Péter** - Anizotróp részecskék rendeződése szűk pórusban: lerágott csont a kvázi egydimenziós rendszerek esete?
- 3. Frank György** - Weyl-pont teleportáció

4. **Pintér Gergő** - Elektron-sávszerkezetek degenerációs pontjainak szingularitáselméleti leírása

**2022. augusztus 22. 14 óra**

**Szekció előadások**

**HDu1. Új eredmények a hazai felületfizikában**

*Szekcióvezetők Pécz Béla és Csík Attila*

1. **Csarnovics István** - Plazmonikai nanostruktúrák előállítása és vizsgálata fotonikai alkalmazásokhoz
2. **Pál Petra** - Ag és Au nanorészecskék alkalmazása felület erősített Raman-szórás vizsgálatához
3. **Óvári László** - Kétdimenziós hexagonális bór-nitrid kölcsönhatása fémekkel
4. **Szántó Géza Levente** - Fém nanorészecskék plazmonikai alapon működő érzékelőként
5. **Rácz Adél Sarolta** - Wofram-karbidban gazdag rétegek előállítása és tervezése

**HDu2. Atomfizika és kvantumelektronika II.:**

*Szekcióvezető Major Balázs*

1. **Erdei Gábor** - Spontán parametrikus lekonverzió alapuló egyedi fényforrások tervezése és készítése kvantumoptikai rendszerekhez
2. **Pápa Zsuzsanna** - Elektroneloszlások ultragyors optikai vizsgálata plazmongerjesztés során
3. **Nagy Mihály Roland Sándor** - Egyciklusú lézerrimpulzusok előállítása az ELI-ALPS-ban
4. **Kutasi Kinga** - Felületi-hullám mikrohullámú gázkisülések plazma-aktivált folyadékok keltésére
5. **Varró Sándor** - Préselt fotonszám-sajátállapotok
6. **Márton István** - A magasabb rendű diszperzió hatásának klasszikus elméleti megfontolásokkal történő tanulmányozása az ultragyors lézerrimpulzusok által létrehozott fotoionizáció esetén

**HDu3. Kísérleti részecskefizika:**

*Szekcióvezető László András*

1. **Vértesi Róbert** - A kvark-gluon plazma legkisebb cseppjeinek keresése nehéz kvarkokkal
2. **Varga Dezső** - Műográfiai műszerfejlesztés
3. **Csanád Máté** - HBT és Lévy-eloszlások a nagyenergiás fizikában

**HDu4. Szilárdtestfizika II.:**

*Szekcióvezető Koltai János*

1. **Füri Péter** - A lakossági hulladékégetés során keletkező aeroszolrészecskék vizsgálata
2. **Pálinkás András** - Kristályos rend a koszban - önrendeződő, szénhidrogén adszorbátum réteg van der Waals-anyagok felületén
3. **Vékony Vilmos** - Mágneses nanorészecske rendszerek vizsgálata hipertermiás alkalmazásokhoz

4. **Kandrai Konrád** - Kvantum spin-Hall állapot kimutatása Pt<sub>2</sub>HgSe<sub>3</sub>-ben, egy nagy tiltott sávú topologikus szigetelő a 2D anyagok családjában

**2022. augusztus 22. 16:15**

**Szekció előadások**

**HDu5. Ipari Fizika**

*Szekcióvezető Hülber Tímea*

1. **Szipőcs Róbert** - Diszperziókompenzáló eszköz fejlesztése szub-ps-os lézerhez
2. **Temesi Ottó** - Fém 3D nyomtatás anyagtudományi vonatkozásai
3. **Lovics Riku** - Ipari újítások a vákuumtechnika alkalmazásában
4. **G. Szabó István** - Kisvállalkozás egy nagy vállalkozásban – optikai rendszerek fejlesztése plazmadiagnosztikai és fúziós kutatásokhoz
5. **Vavrik Márton Bendegúz** - Schlieren képalkotás - okostelefonnal és pelletdiagnosztikaként

**HDu6. Általános relativitás és kísérleti asztrofizika**

*Szekcióvezető László András*

1. **Varga János** - A relativitáselmélet magyar megalapozói, továbbfejlesztői - Akiktől még Einstein is tanult. Az elektron relativisztikus mozgása-Einsteinnel kapcsolatos tévhitek
2. **Kovács Ádám** - Gömbszimmetrikusan besugárzott téridők vizsgálata geometriai optikai közelítésben.
3. **Pál András** - Nagyenergiás asztrofizika kisműholdakkal
4. **Raksányi Dániel** - Hiperbolikus-parabolikus kényszerek és kettős feketelyukak konstrukciója

**HDu7. Szilárdtestfizika III.**

*Szekcióvezető Koltai János*

1. **Kormányos Andor** - Nemlokális Andreev reflexió Andreev molekuláris állapotok felhasználásával
2. **Oroszlány László** - Elektromosan vezérelt szinglet-triplet átmenet triangulén S=1 láncokban
3. **Vancsó Péter** - Moiré mintázatok grafén/MoTe<sub>2</sub> heteroszerkezetben
4. **Udvarhelyi Péter** - Kvantum ponthibák első elvű vizsgálata szilíciumban

**2022. augusztus 22. 18:15**

**Poszter szekció**

A poszterek felsorolása a programfüzet 10-11. oldalán található

**2022. augusztus 23. 9 óra**

**Plenáris előadás 2.**

*A nap levezető elnöke: Vida Ádám*

- 2.1. **Tóth György** (Pécsi Tudományegyetem) *Terahertzes impulzusokkal történő elektron- és iongyorsítás*
- 2.2. **Kiss Tamás** (Wigner FK) *Fotonikus kvantumprotokollok és optikai kvantumszámítás*

**2.3. Major Balázs** (ELI-ALPS, ELI-HU Non-Profit Kft.) *Az ELI ALPS kutatási berendezései, tudományos eredmények*

**2022. augusztus 23. 11 óra**

**Szekció előadások**

**KDe1. Magfizikai alap kutatások eredményei**

*Szekcióvezető Kovács Péter*

1. **Barnaföldi Gergely Gábor** - Nehézionfizika az ALICE kísérletben és tovább
2. **Belgya Tamás** - Atommagadatok mérése az EK BNC-ben
3. **Csedreki László** - Kísérleti nukleáris asztrofizikai mérések Debrecenben
4. **Nagy Dénes Lajos** -  $^{57}\text{Co}$  Mössbauer-források gyártása válságos időkben
5. **Kovács Péter** - Neutroncsillagok tulajdonságai kiterjesztett lineáris szigma modellből
6. **Kiss Gábor** - Az asztrofizikai r-folyamat vizsgálata stabil és radioaktív nyalábokkal

**KDe2. Atomfizika és kvantumelektronika III.:**

*Szekcióvezető Tóth György*

1. **Erdélyi Miklós** - Kvantitatív optikai szuperrezolúciós mikroszkóp fejlesztése és alkalmazása
2. **Szipőcs Róbert** - Szub-ps-os lézerek nemlineáris mikroszkópiai alkalmazásokhoz
3. **Maák Pál** - Nagysebességű és nagyfelbontású akusztóoptikai pásztázó rendszerek kifejlesztése lézermikroszkópiai és egyéb alkalmazásokhoz
4. **Lenk Sándor** - Növénybiológiai minták fluoreszcencia lecsengési idejének vizsgálata
5. **Veres Miklós** - DNS-hibridizáció detektálása normál és felületerősített Raman-szórással
6. **Herczku Péter** - Űrbeli folyamatok laboratóriumi modellezése asztrofizikai szempontból érdekes jegek ionbombázásával

**KDe3. Korszerű anyagok, korszerű mérés technikák I.**

*Szekcióvezető Vida Ádám*

1. **Fábián Margit** - Radioaktív hulladéktároló üveg/acél/agyag mérnöki gátrendszer anyagainak egymásra gyakorolt hatása
2. **Tolnai István** - Szimulált folyékony radioaktív hulladék stabilizálása új típusú cementkeverékben és alkalmazásorientált vizsgálata
3. **Szabó István** - Mágneses nanorészecske rendszerek vizsgálata hipertermiás alkalmazásokhoz
4. **Tóth József** - Sörgyári melléktermékekkel létrehozott zöld technológiával szintetizált ezüst nanokompozitok felületi kémiai analízise
5. **Temesi Ottó** - Szívós-rideg átmenet korai átmeneti fémeket tartalmazó egyfázisú nagy entrópiás ötvözetekben

## II. KDe4. Korszerű anyagok, korszerű mérés technikák II:

*Szekcióvezető Windisch Márk*

1. **Windisch Márk** - Lézeres felületkezelés alkalmazása felületerősített Raman spektroszkópiában
2. **Guba Sándor** - Intelligens lágy anyagok kutatása a Pannon Egyetemen
3. **Korsós Ferenc** - Töltéshordozó rekombinációs élettartam meghatározása szilícium szeletekben állandó gerjesztés és kis perturbáció mellett.
4. **Bányász István** - Még mire jó egy tandetron?

**2022. augusztus 23. 14 óra**

***Szekció előadások***

### **KDu1. Kvantumelmélet és kvantuminformatika**

*Szekcióvezető Szalay Szilárd*

1. **Kovács István** - Kvantum összefonódás távolságfüggése kiterjedt részrendszerek között
2. **Koniorczyk Mátyás** - Kvantum annealerek kimenetének értékelése
3. **Zimborás Zoltán** - Az utazó ügynök probléma optimális implementációja QAOA eljárással
4. **Vértesi Tamás** - Ciklikus EPR-steering háromqubites rendszerekben
5. **Tóth Géza** - Bizonytalansági összefüggések a varianciával és a kvantum Fisher-információval a sűrűségmátrixok konvex dekompozíciói alapján

### **KDu2. Diffrakciós módszerek modern alkalmazásai**

*Szekcióvezető Jenei Péter*

1. **Ribárik Gábor** - Mikroszerkezetek jellemző paramétereinek meghatározása röntgen vonalprofil analízissel
2. **Dodony Erzsébet** - Diffraktált intenzitások korrekciója transzmissziós elektronmikroszkópiában
3. **Groma István** - Új lehetőségek a diszlokációk statisztikus tulajdonságainak meghatározására
4. **Juhász Laura** - Röntgendiffrakciós vizsgálatok a debreceni Anyagtudományi Kutatóhálózat laboratóriumában

### **KDu3. 60 éves a Sugárvédelmi Szakosztály**

*Szekcióvezető Pesznyák Csilla*

1. **Deme Sándor** - 60 éves a Sugárvédelmi Szakosztály
2. **Bujtás Tibor** - Atomerőművek sugárvédelme
3. **Hirn Attila** - Az Energiatudományi Kutatóközpont úrkutatói nagyprojektjei, avagy irány a Nemzetközi Űrállomás, a Hold és a Mars!
4. **Pesznyák Csilla** - Sugárvédelem az egészségügyben

**2022. augusztus 23. 16:15 óra**

***Borvacsora és pincelátogatás***



**2022. augusztus 24. 9 óra:**

**Plenáris előadások 3.**

*A nap levezető elnöke: Groma István*

**3.1. Imre Attila** (Bolyai János Gimnázium) *Szuperkritikus pszeudoforrás, azaz meddig folyadék a folyadék*

**3.2. Pályi András** (BME Fizikai Intézet, Elméleti Fizika Tanszék) *Szilárdtest-alapú kvantumbitek vezérlése és kiolvasása*

**3.3. Zoletnik Sándor** (ELKH Energiatudományi Kutatóközpont) *Magfúziós kutatások a reaktor tartományban*

**3.4. Sohler Dorottya** (Atommagkutató Intézet) *A stabilitási sávtól távoli egzotikus atommagok szerkezete*

**2022. augusztus 24. 11 óra**

**Szekció előadások**

**SzDe1. Termodinamika és mechanika**

*Szekcióvezető Kovács Róbert*

1. **Ván Péter** - Liu-eljárás és variációs elvek
2. **Pszota Máté** - Newtoni gravitáció és nemegyensúlyi termodinamika
3. **Kovács Róbert** - Nemlineáris hővezetési modellek
4. **Varga János** - Adalékok a hajítás fizikájához-új összefüggések
5. **Fehér Anna Éva** - Szobahőmérsékleten végzett nem-Fourier hőimpulzus kísérletek analitikus kiértékelése
6. **Tóth Balázs** - Kétmezős hp-verziós végeselem módszer kifejlesztése erősített termodinamikai modellek megoldására

**SzDe2. Neutron és szinkrotron sugárzás alkalmazása az anyagtudományban**

*Szekcióvezető Merkel Dániel*

1. **Merkel Dániel** - Játék a mágnességgel FeRh vékonyrétegben
2. **Szentmiklósi László** - Összetett minták roncsolásmentes lokális elemvizsgálata PGAI-NT módszerrel
3. **Németh Zoltán** - Új fejlesztésű laboratóriumi nagy energiafelbontású röntgenspektrométer és alkalmazásai
4. **Vankó György** - Ultragyors molekuladinamika vizsgálata XFEL-ekkel

**SzDe3. Járványok, klímaváltozás, társadalom statisztikus fizikus szemmel**

*Szekcióvezető Pollner Péter*

1. **Bartha Ferenc Ágoston** - Matematikai járványmodellezés: a COVID-19 második és harmadik hulláma Magyarországon
2. **Török János** - Az online szociális hálózatok dinamikája és a visszhang kamrák kialakulása
3. **Vincze Miklós** - a Drake-átjáró kinyílása: kísérlet, szimuláció, paleoklimatológia

## **Poszterek listája**

### **A természettudományos oktatás útkeresése**

- P1. Inczeffy Szabolcs** - Többpólusú (multipoláris) rendszerek
- P2. Nógrádi Zsófia** - Kutatói szemlélet formálása környezeti fizikai fogalmakkal a középiskolában

### **Atomfizika és kvantumelektronika**

- P3. Ábrók Levente** - Kripton fotoionizációját jellemző anizotropia paraméterek vizsgálata a belső héjak gerjesztéseinek energiatartományában
- P4. Illés Gergő** - Hátoldali reflexiós echelon terahertzes forrás optimalizálása numerikus számításokon keresztül
- P5. Nasi Luis** - Lítium niobát alapú néhány ciklusú terahertzes források
- P6. Sarkadi Balázs Róbert** - Terahertzes impulzusokon alapuló elektronforrás
- P7. Turnár Szabolcs** - Electron acceleration using a waveguide structure powered by low energy single-cycle THz pulse
- P8. Márton István** - A magasabb rendű diszperzió hatásának klasszikus elméleti megfontolásokkal történő tanulmányozása az ultragyors lézerimpulzusok által létrehozott fotoionizáció esetén
- P9. Mandula Gábor József** - Spektrális lyukégetés és kapcsolódó tanulmányok itterbiummal adalékolt lítium-niobát egykristályokban és nanokristályokban

### **Szilárdtestfizika**

- P10. Oroszlány László** - Elektromosan vezérelt szinglet-triplet átmenet triangulén S=1 láncokban
- P11. Kucska Nóra** - A spin-pálya kölcsönhatás szerepe lapos sávok létrehozásában
- P12. Meysam Mohseni** - Investigation quantum emitters in two-dimensional silicon carbide monolayers
- P13. Frank György** - Weyl-pont teleportáció
- P14. Grabarits András** - Symplectic speed-up of adiabatic quantum computation
- P15. Juhász Laura** - Aerogélek roncsolásmentes vizsgálata Alacsony Gyorsító Feszültségű Pásztázó Elektronmikroszkópia (LV-SEM) és Röntgendiffrakció (XRD) segítségével

### **Ipari Fizika**

- P16. Vavrik Márton Bendegúz** - Schlieren képalkotás - okostelefonnal és pelletdiagnosztikaként
- P17. G. Szabó István** - Small steps for a giant leap - Unique Optics for Plasma Diagnostics and ITER

### **Általános relativitás és kísérleti asztrofizika**

- P18. Fenyvesi Edit** - Infrahang mérése Atomki mikrofonokkal

### **Korszerű anyagok, korszerű mérés technikák**

- P19. Jáger Gabriella** -  $ZnAl_2O_4$  spinell nukleációja és növekedési kinetikája atomi rétegleválasztással előállított kristályos ZnO – amorf  $Al_2O_3$  kettősrétegekben
- P20. Vecsei Gergő** - Diffúziós vizsgálatok  $Al_2O_3/ZnO$  hengeres nanoszerkezetekben
- P21. Ormos Pál** - Bezárt aktív részecskék határfelületi szóródásának és térbeli eloszlásának kapcsolata
- P22. Csonti Katalin** - Nanoindentation and AFM to determine the micromechanical properties of biodegradable polymer-based packaging materials
- P23. Baranyai Viktor Zsolt** - A Na-K rendszer alacsony likvidusz hőmérsékletű sókeverékeinek keresése

### **Kvantumelmélet és kvantuminformatika**

- P24. Szalay Szilárd** - Egyparaméteres összefonódási tulajdonságok
- P25. Asbóth János** - Koherens és kiolvasási hibák a felületi kódokban

**P26. Naszvadi Péter** - Egy operációkutatási feladatosztály és az adiabatikus kvantumszámítógépek

**P27. Bene Erika** - Cyclic Einstein-Podolsky-Rosen Steering

**P28. Szombathy Dominik** - Theoretical modeling of the collective tunneling of a Wigner necklace

**P29. Pataki Dávid** - Egyelektron-kvantumbitek megosztott vezérlése: előnyök és hátrányok

**P30. Jakab Dávid** - A Werner- és izotropikus állapotok kvantum megoszthatósága

**P31. Tabi Zsolt** - Kvantumos optimalizáció teljesítményének vizsgálata M-MIMO feladatra

#### **Termodinamika és mechanika**

**P32. Ván Péter** - Liu-eljárás és variációs elvek

**P33. Boda Dezső** - The Dukhin number as a scaling parameter for selectivity in the infinitely long nanopore limit: extension to multivalent electrolytes.

#### **Nem sorolható be egyik szekcióba sem**

**P34. Horváth Benedek** - Ionizációs dinamika kapacitív csatolású neon gázkisülésekben

#### **Általános relativitás és kísérleti asztrofizika**

**P35. Östör János** - A kényszerek evolúciós alakja és kozmológiai alkalmazások

#### **Ipari Fizika**

**P36. G. Szabó István** - Contribution in Plasma Diagnostics Projects

**P37. G. Szabó István** - Neutron Imaging Facilities Designed and Manufactured for the BNC

*A programfüzetet szerkesztette: Deme Sándor (Energiatudományi Kutatóközpont)*

# Kivonatok

## Nyitó és plenáris előadások

### *01. A James Webb-űrteleszkóp*

**Kiss László**

Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont

Minden idők legnagyobb költségvetésű űrteleszkópja, a James Webb Space Telescope (JWST, James Webb-űrtávcső) 2022 elején került Nap körüli pályájára. Az első hat hónapban a beüzemelés alatt megtörtént a műszerek és adatgyűjtési módok teljeskörű tesztelése, a tesztadatok kalibrációja, az eszközök hatékonyságának kvantitatív jellemzése. 2022. július 12-én hozták nyilvánosságra az infravörös tartományban működő forradalmi űrtávcső első felvételeit, másnap pedig a beüzemelési hat hónap összes adatát. A mintegy 100 terabájtnyi korai adatkibocsátás betekintést ad abba, mit várhatunk a negyed évszázados fejlesztés, többszörös költségnövekedés és sok év csúszással megvalósult csillagászati csúcsműszertől.

Miért annyira érdekes az infravörös tartomány? Milyen műszaki és tudományos fejlesztéseket kellett végrehajtani a Webb sikeres elkészítéséhez? Mik a legnagyobb tudományos kihívások, melyekre a James Webbtől várjuk a válaszokat?

Hol vannak a magyar csillagászok a James Webb-univerzumban? Ezeket és a kapcsolódó kérdéseket járjuk körbe a szűk szakzsargonról garantáltan mentes előadásunkban.

### *02. Mikronos skálájú földrengések fém mikrooszlopokban*

**Ispánovity Péter**

Eötvös Loránd Tudományegyetem

A fémek maradandó alakváltozása általában különböző méretű gyors és lokális deformációs események sorozataként áll elő. Ezen események során a kristályrács vonalszerű hibái, a diszlokációk kollektív mozgása valósul meg a kristály egy lokális térrészében. Ennek a lavinaszerű jelenségnek a kísérleti vizsgálatát kezdetben tömbi mintákon végezték akusztikus emissziós (AE) mérések segítségével. Megállapítást nyert, hogy az egyedi események energiájának és amplitúdójának eloszlása is skála-független, ami a képlékeny deformáció kritikus természetére utal. Ezt a jelenséget később a jellemzően néhány um méretű mikrooszlopok összenyomásakor is kimutatták a feszültség-deformációs görbén jelentkező véletlenszerű ugrások vizsgálata alapján. Az előadásban e két kísérleti technika összekapcsolásának eredményeit mutatjuk be, melynek célja, hogy részletesebb képet kapjunk a diszlokációlavina dinamikájáról. Ennek érdekében Zn egykristályból készítettünk mikrooszlopokat fókuszált ionsugaras technikával. A mintákat egy AE szenzorhoz erősítettük, és egy erre a célra kialakított speciális eszközzel in situ összenyomtuk egy pásztázó elektronmikroszkópban. Azt találtuk, hogy a kompresszió során mért akusztikus események tökéletes korrelációban vannak az összenyomás során tapasztalt feszültségesésekkel. A két módszerrel kapott adatok statisztikai elemzése egyetlen feszültségesés összetett tér-időbeli dinamikáját tárta fel: egy diszlokációlavina számos kisebb eseményből áll, amelyek különböző fenomenologikus törvényszerűségeken keresztül mutatnak hasonlóságot a földrengésekkel. Ezek az eredmények, amelyeket diszkrét diszlokációdinamikai szimulációk is megerősítenek, megadják a hiányzó kapcsolatot az AE-vel mért mennyiségek és az egyes események mechanikai jellemzői között [1]. A kutatás folytatásaként a vizsgálatokat besugárzásnak kitett oszlopokon is elvégeztük annak érdekében, hogy a besugárzás során keletkezett rácshibák hatását is vizsgálni tudjuk [2]. Az előadáson kitérünk továbbá a mikromechanikai vizsgálatok további alkalmazási lehetőségeire is.

[1] PD Ispánovity, D Ugi, G Péterffy, M Knapék, Sz Kalácska, D Tüzes, Z Dankházi, K Máthis, F Chmelík, I Groma, Nature Communications 13, 10 (2022).

[2] D Ugi, G Péterffy, S Lipcsei, Zs Fogarassy, E Szilágyi, I Groma, PD Ispánovity, arXiv:2206.13906 (2022)

### **03. A részecskefizika helyzete 10 évvel a Higgs-bozon felfedezése után**

**Trócsányi Zoltán**

Eötvös Loránd Tudományegyetem

A Nagy Hadronütköztető ATLAS és CMS kísérletei 2012. július 4-én jelentették be az akkor már közel fél évszázada megírsolt, de hiába keresett Higgs-bozon megfigyelését. Az észlelés korszakalkotó jelentőségű volt. A különleges részecske felfedezése egyszerre adta a részecskefizikai standard modell helyességének végső bizonyítékát, és nyitott új távlatokat a nagyenergiás kísérleti és elméleti kutatásokban. Az elmúlt 10 év során mind a kísérleti, mind az elméleti kutatások jelentős lépéseket tettek a Higgs-bozon tanulmányozásán keresztül a mikrovilág pontosabb megértése felé. Milyen eredményeket hozott az évtized, hol tartunk ma és merre visz az utunk a természet megismerése felé a ma elérhető legkisebb méret és legnagyobb energiasűrűség skálákon?

### **04. Ultragyors elektron dinamika kondenzált rendszerekben**

**Dombi Péter**

Wigner Fizikai Kutatóközpont és ELI-ALPS

Ultragyors elektron dinamika kondenzált rendszerekben Az előadásomban két budapesti kísérlet eredményét mutatom be a fenti témakörben. Nemrég demonstráltuk dielektrikumok tranzienstémésedését femtoszekundumos lézeroszcillátor segítségével (Hanus et al., Optica 2021). A jelenséget továbbvizsgálva azonosítani tudtuk a dielektrikumban lejátszódó ultragyors elektrontranszport-folyamatokat, illetve kompakt, "on-chip" vivő-burkoló fázisdetektort is építettünk a jelenségre alapozva. Egy másik kísérlet során pedig elektronok nemadiabatikus alagutazását demonstráltuk nanooptikai környezetben (Lovász et al., Nano Lett. 2022). Az elektronok fotoemissziója ekkor egyidejűleg mutatott sokfotonos jelleget és az alagutazásra jellemző tulajdonságokat a kvantummechanika egy érdekes jelenségeként.

### **05. A Balatonról: algavirágzás, foszfor, kristálykémia és kristályfizika nanométeres léptékű összefüggései**

**Pósfai Mihály<sup>1</sup>, Molnár Zsombor<sup>1</sup>, Rácz Kornél<sup>1</sup>, Pekker Péter<sup>1</sup>, Istvánovics Vera<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Pannon Egyetem, Veszprém (PE-ELKH Környezeti Ásványtan Kutatócsoport)

<sup>2</sup>Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME-ELKH Vízgazdálkodási Kutatócsoport)

A Balaton állapota állandó beszéd- és sajtótéma Magyarországon. 2019 augusztusában egy váratlan és jelentős algavirágzás borzolta a kedélyeket, majd az idei nyáron is előfordultak kisebb-nagyobb virágzások a tó nyugati felében. Az algák limitáló tápanyaga, a foszfor az üledék ásványaihoz kötődik, és a környezet változásaitól függően mobilizálódhat. E folyamat részletei azonban nem ismertek. Mivel a foszfor tárolása szempontjából fontos üledékásványok – karbonátok és vas-oxidok – a vízből válnak ki, majd fázisátalakulásokon mennek át, és akár vissza is oldódhatnak, az ásványok, tápanyagok és mikroorganizmusok közötti kapcsolatok dinamikusak és bonyolultak. Ezeket a kapcsolatokat vizsgáljuk nanométeres léptékben, elsősorban transzmissziós elektronmikroszkópos módszerekkel. A tóban lejátszódó folyamatok megfigyelésén túl laboratóriumi kísérletekben szimuláljuk az ásványok kiválását és fázisátalakulásait, és próbáljuk nyomon követni a foszfor útját az ásványok, a víz és a mikroorganizmusok között. A kutatás – alkalmazott jellege ellenére – több alapvető kristálykémiai kérdést is érint, elsősorban a homogén vs. heterogén kristálycsíra-képződés (karbonátok és foszfátok kicsapódása) és a kationrendeződés (Mg és Ca rendeződése karbonátokban) tekintetében. Kristályfizikai érdekesség a sejten belül mágneses vas-

oxid nanokristályokat kiválasztó, a Föld mágneses teréhez igazodva úszó mágneses baktériumok jelenléte az iszapban. Mivel némelyik mágneses baktériumtörzsben óriási méretű polifoszfát zárványok fordulnak elő, felmerült, hogy a mágneses sejtek le-föl “liftezése” az oxikus/anoxikus határon keresztül mobilizálhatja az algavirágzáshoz szükséges foszfort – ezt a lehetőségét jelenleg vizsgáljuk. Bár az eredeti kérdésre – mi okozza az algavirágzást – még nem tudjuk a választ, a kutatás új megvilágításba helyezi a tó szervesetlen ásványai és élővilága közötti kapcsolatokat.

### ***1.1. Új elemi részecske születik az ATOMKI-ban***

**Krasznahorkay Attila**

ATOMKI

A  $^8\text{Be}$  a  $^4\text{He}$  és a  $^{12}\text{C}$  atommagok nagyenergiájú átmeneteinek tanulmányozásakor olyan új anomáliákat figyeltünk meg az ATOMKI-ben épített spektrométereinkkel, amiket egy új elemi részecske keletkezésével és elektron-positron párra történő bomlásával tudunk csak megmagyarázni. Kiderült, hogy ezek a kísérleti eredmények az első jelzések egy  $17 \text{ MeV}/c^2$  tömegű (X17) részecskére. A kísérleti eredményeink azt is valószínűsítik, hogy ez a részecske vektor jellegű, ami egy új, 5. alapvető kölcsönhatás bevezetését is szükségessé teheti. Az X17 részecske lehetséges kapcsolata a sötét anyaggal különösen nagy érdeklődést váltott ki a világ atommag- és részecskefizikusai körében. Az elmúlt években több száz elméleti fizikus próbálta meg értelmezni az X17 részecskét. A kísérleti fizikusok pedig új kísérleteket terveznek a részecske független kimutatására.

### ***1.2. Grafénba zárt fény***

**Tapasztó Levente**

Energiatudományi Kutatóközpont – Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézet

A fény és az anyag kölcsönhatásnak léteznek egy viszonylag ritka, de nagyon érdekes formája, amely során a fény rezgő elektromos tere egy összehangolt kollektív hullámmásra készíti az anyag elektronrendszerét. A fénynek az anyag elektronrendszerével történő sikeres összekapcsolódása plazmonokat eredményez, ám ezek létrejöttéhez csak bizonyos anyagok esetében adottak a feltételek. Mi azt a kérdést vizsgáltuk meg, hogy össze lehet-e kapcsolni a grafén különleges elektronrendszerét a látható fényvel, vagyis hogyan lehetséges látható tartományba eső frekvenciájú grafén plazmonokat létrehozni, illetve mire jók ezek. Megmutattuk, hogy látható grafén plazmonok olyan nagy érzékenységű optikai szenzorok alapját képezhetik, amelyek akár a levegőből is képesek kimutatni bizonyos szennyező molekulákat.

### ***1.3. A STEM és a STEAM pedagógia a fizika tanításában***

**Oláh Éva Mária**

Wigner Fizikai Kutatóközpont

Lassan annyit beszélünk, hallunk a fizika oktatás nehéz helyzetéről, hogy elveszítjük az érzékenységünket a téma iránt, de akkor sem adhatjuk fel, változásokra szükség van. Hinnünk kell abban, hogy a jövő mérnökeit, fizikusait mi, fizikatanárok indítjuk el a pályájukon, a fizika és a természettudományok iránti érdeklődés felkeltése rajtunk múlik. Az is biztos, hogy már nem lehet minden diákot az évtizedek alatt bevált módszerekkel fejleszteni, sokkal változatosabb módszerekkel kell megpróbálnunk átadni tudásunkat. Korunkban egyre nagyobb szerepet kapnak a kreatív problémamegoldó kompetenciák és az innovatív megoldások. A STEM/STEAM pedagógia lényege az élményalapú tanulás, ami nem választja el élesen az egyes tantárgyakat, hanem a körülöttünk lévő jelenségekre, a többrétegű tudásra koncentrálnak. Ezt az újszerű oktatási módszert és annak bevezetési lehetőségeit szeretném bemutatni előadásomban.

## ***2.1. Terahertzes impulzusokkal történő elektron- és iongyorsítás***

**Tóth György, Tibai Zoltán, Krizsán Gergő, Turnár Szabolcs, Pálfalvi László, Almási Gábor, Hebling János**

Pécsi Tudományegyetem

Az utóbbi nem egészen öt évben olyan új típusú, optikai egyenirányításon alapuló terahertzes sugárforrásokra tettünk javaslatokat, melyekkel lehetőség nyílik egy, vagy néhány ciklusú, akár 10 mJ energiát is meghaladó terahertzes impulzusok előállítására. Ilyen impulzusok kiválóak a mikrohullámú tartományon már alkalmazott, vagy attól eltérő megfontolásokon alapuló elektron-, illetve iongyorsítási technikák megvalósítására. A terahertzes impulzusok hosszú hullámvonulatának köszönhetően a terahertzes gyorsítási technikák jelentős előrelépést hozhatnak az optikai elektrongyorsítás területén.

## ***2.2. Fotonikus kvantumprotokollok és optikai kvantumszámítás***

**Kiss Tamás**

Wigner Fizikai Kutatóközpont

Az optikai eszközök és módszerek mindig fontos szerepet játszottak a fizikában és a távközlésben. A lézerek felfedezésével lehetőségünk nyílt a fény kvantumtulajdonságainak közvetlen manipulálására, nemklasszikus fény előállítására és felhasználására. A kvantuminformatika megjelenése óta a fotonikus protokollok alkalmazására egyre nagyobb figyelem irányul.

Előadásomban bemutatok néhány friss optikai kísérletet a kvantumszámítás és a titkosítás területéről. Az elmúlt évek nagy szenzációja volt a bozon-mintavételező típusú kísérletek sora, amellyel valamilyen értelemben meghaladták a klasszikus számítógépek számítási kapacitását. Az összenyomott fényt használó "Gaussian boson sampling" ötlete tette először praktikus is megvalósíthatóvá az optikai kvantum-előny elérését. A titkosítás területén idén júliusban adott hírt két csoport is az eszközfüggetlen kvantumos kulcsmegosztás megvalósításáról, amely az összefonódás kvantummechanikai tulajdonságain keresztül biztosítja a lehallgathatatlanságot.

Kitérek továbbá néhány saját eredményre is a kvantumos bolyongások és a nemlineáris kvantumprotokollok témaköréből. Az elméleti ötleteket több csoport különböző optikai technikákat alkalmazva valósította meg az elmúlt években. Ezek elemzése kapcsán jobban megérthetjük, hol is tart ma fotonikus kvantumprotokollok technikája.

## ***2.3. Az ELI ALPS kutatási berendezései, tudományos eredmények***

**Major Balázs**

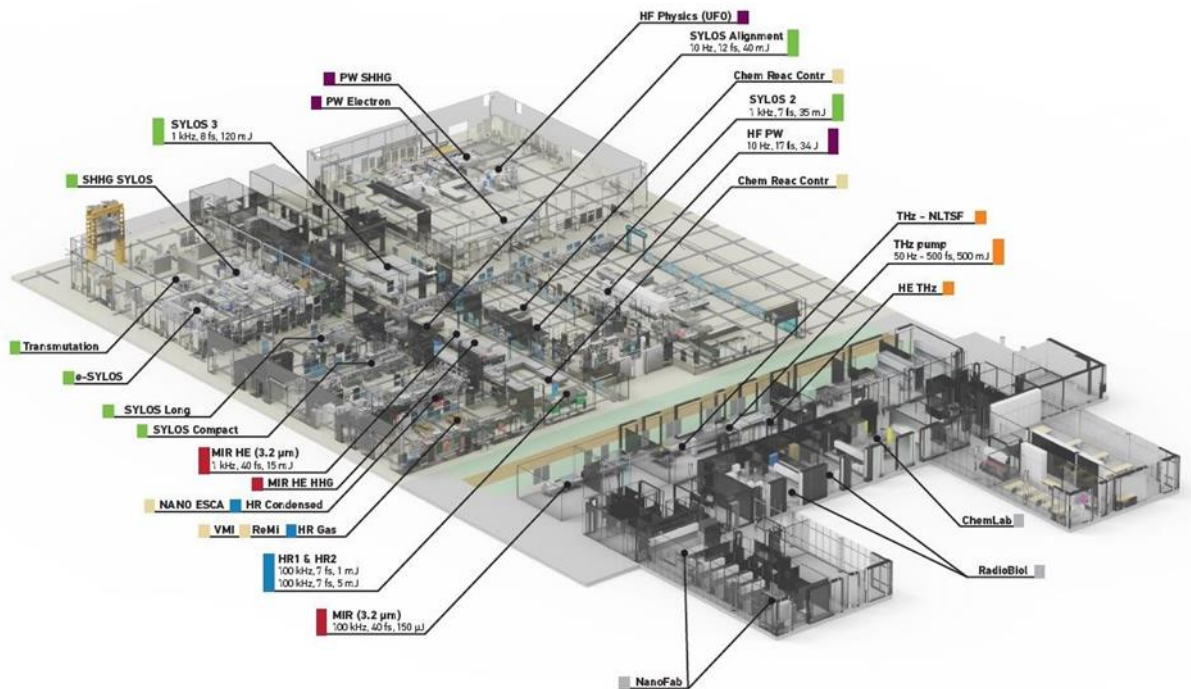
ELI-ALPS, ELI-HU Non-Profit Kft.

Az ELI ALPS (Extreme Light Infrastructure – Attosecond Light Pulse Source), az ELI ERIC<sup>1</sup> (European Research Infrastructure Consortium) magyar pillére. Egyedülálló működési modellel a kutatói közösséget felhasználói létesítményként kívánja szolgálni alap és alkalmazott lézeres kutatások körében fizikai, biológiai, kémiai vagy anyagtudományi extrém gyors folyamatok vizsgálatában.

Ezen cél elérése érdekében a speciális – nagy ismétlési frekvenciájú ultrarövid impulzusú – lézerforrások különböző nemlineáris kölcsönhatások révén frekvenciakonverziót vagy töltött részecskék gyorsítását táplálják, 12 különféle másodlagos forrást hozva létre. Ezáltal pumpa-próba kísérletekhez páratlan kombinációkban állnak rendelkezésre ultrarövid fény és részecske impulzusok, melyekkel az attoszekundumos időskálán vizsgálhatók atomok, molekulák, szilárd anyagok vagy plazmák ultragyors folyamatai<sup>2-3</sup>.

Az attoszekundumos másodlagos források magasrendű harmonikus keltésén<sup>4-6</sup> alapulnak, korszerű elrendezésekben. További másodlagos források THz sugárzást vagy részecske nyalábot

biztosítanak. Gáz, folyadék vagy szilárd halmazállapotú minták vizsgálatához a legkorszerűbb kísérleti állomások állnak rendelkezésre.



1. ábra: ELI ALPS Lézer és másodlagos források, és kísérleti állomások

Az ELI ALPS berendezéseinek beüzemelése 2023-ban fejeződik be, folyamatos a különböző kutatási technológiai berendezések üzembehelyezése, fokozatosan egyre több eszköz érhető el. Az előadás általános áttekintést ad a létesítmény megvalósítási állapotáról és a hozzáférési lehetőségekről, továbbá bemutatja a nagy átlagos teljesítményű, néhány ciklusú lézerimpulzusok által létrehozott attosekundumos impulzusok technikai vonatkozásait.

A projekt jelenlegi szakaszában az ELI-ALPS tudományos kísérletekre vonatkozó pályázatokat<sup>7</sup> fogad, amelyek támogatják a rendelkezésre álló fényforrások és kísérleti állomások beüzemelését. Az ELI-ALPS lézeridőt, valamint technikai és tudományos támogatást biztosít a kísérletekhez.

[1] <https://eli-laser.eu/>

[2] S. Chatziathanasiou et al., “Generation of Attosecond Light Pulses from Gas and Solid State Media”, *Photonics* **4**, No 26 (2017)

[3] M. Reduzzi et al., “Advances in high-order harmonic generation sources for time-resolved investigations”, *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena* **204**, Page 257-268 (2015)

[4] S. Kuhn et al., “The ELI-ALPS facility: the next generation of attosecond sources.”, *Topical Review, Journal of Physics B* **50** 132002 (2017)

[5] S. Mondal et al., “Surface plasma attosource beamlines at ELI-ALPS”, *JOSA B* **35**, A93-A102 (2018)

[6] P. Ye et al., “Attosecond pulse generation at ELI-ALPS 100 kHz repetition rate beamline”, *Journal of Physics B* **53**, No 154004 (2020)

[7] <https://www.eli-alps.hu/en/Users-2/User-Call-2>



### ***3.1. Szuperkritikus pszeudoforrás, azaz meddig folyadék a folyadék***

**Imre Attila**

Energiatudományi Kutatóközpont

Szuperkritikus nyomásokon – ez víz 22,06 Mpa, míg argonnál csak 4,863 Mpa – lehetőség van arra, hogy a hőmérséklet növelésével folyadékszerű állapotból gőzszerű állapotba jussunk úgy, hogy mindeközben nem történik forrás. Ezt a jelenséget, amely bizonyos mennyiségeket (pl. sűrűség vagy entalpia) vizsgálva a forrásnak egy véges hőmérséklet-tartományra elkent változatának tűnik, pszeudo-forrásnak nevezik, azt feltételezve, hogy ezeken a nyomásokon a forráshoz tartozó éles fázisátalakulást valamilyen ismeretlen hatás szétkeni. Az előadásban bemutatom, hogy ez a magyarázat nem helytálló; a nyomás növelésével az alacsony nyomásokon létező éles fázisátmenetek (forrás/kondenzáció) nem elkenődnek, hanem teljesen eltűnnek. Mindeközben viszont a stabil folyadék- és gőz állapotban is detektálhatóvá válnak a fluid állapotok stabilitási határaihoz tartozó úgynevezett spinodális anomáliák. A két (folyadék és gőz) stabilitási határhoz tartozó anomália a kritikus pontban egyesül, ezzel létrehozva a pszeudo-forrásért is felelős Widom-anomáliákat. Az előadásban emellett kitérünk a szuperkritikus fluidumok extrém tulajdonságaira is, mint pl. a gázhoz hasonló sűrűségű, de a folyadékhoz hasonlóan „összenyomhatatlan” állapotokra vagy az extrém nagy fajhőjű állapotokra.

### ***3.2. Szilárdtest-alapú kvantumbitek vezérlése és kiolvasása***

**Pályi András**

BME Fizikai Intézet, Elméleti Fizika Tanszék

A hagyományos, „klasszikus” számítógépek kifejlesztésében kulcsszerepet játszott és játszik a szilárdtestfizika: a bitek tárolása, kiolvasása, továbbítása, műveletek elvégzése mind-mind a szilárdtestfizikában feltérképezett fizikai jelenségekre épül. Ehhez hasonlóan a kvantumszámítógépek fejlesztésében is kritikus fontosságú a releváns fizikai mechanizmusok megértése és alkalmazása. Az előadásban bemutatom a félvezető-alapú egyelektron-quantumbitek vezérléséhez és kiolvasásához használatos elveket, és bemutatom a kutatócsoportunk közelmúltbeli releváns elméleti eredményeit [1,2].

[1] Zoltán György, András Pályi, Gábor Széchenyi, Electrically driven spin resonance with bichromatic driving, <https://arxiv.org/abs/2206.00399>

[2] Vahid Derakhshan Maman, M. F. Gonzalez-Zalba, András Pályi, Charge noise and overdrive errors in reflectometry-based charge, spin and Majorana qubit readout, Phys. Rev. Applied 14, 064024 (2020), <https://arxiv.org/abs/2006.12391>

### ***3.3. Magfúziós kutatások a reaktor tartományban***

**Zoletnik Sándor**

Energiatudományi Kutatóközpont

A magfúziós energiatermelés álma már közel 80 éves, de még mindig nincs energiát termelő reaktor. Az ok a folyamathoz szükséges extrém körülményekben keresendő: 100 millió fokal hőmérsékletű közeg, nagy hő- és sugárzási terhelés, komplex fizikai folyamatok és mérnöki megoldások. A standard fejlesztési vonal a tokamak nevű mágneses berendezés, melyben demonstrálták a reaktor tartomány közeli működést, és az épülő ITER tokamak berendezés a tervek szerint a folyamat fizikai-technológia demonstrációját is adja majd. A berendezés óriási mérete és az igényelt új technológiai eljárások miatt ez csak valamikor a 2030-as évek végén várható, bár az első kísérletek 5-6 év múlva már elindulnak. Ez után épülhetne meg az európai fúziós DEMO reaktor,

amely valamikor a 2050-es években, 30 év múlva adhatna villamos energiát. Alternatívát jelentenek a sztellarátor típusú berendezések, valamint a lézeres begyújtású fúzió, azonban ezek még ennél is hosszabb technológiai fejlesztést igényelnek. A globális felmelegedés, az energiakrízis számos alternatív fejlesztést hívott életre, jelentős részüket magánvállalkozásban. Ez a pezsgés új lendületet adhat a fejlesztésnek, ami talán már a szokásos 30 éves jóslásnál rövidebb idő alatt eredményre vezet. Az előadásban áttekintjük a fejlesztés jelenlegi állását, az energiatermelő reaktor koncepciókat és az alternatív elképzeléseket.

### ***3.4. A stabilitási sávtól távoli egzotikus atommagok szerkezete***

**Kunné Sohler Dorottya**

Atommagkutató Intézet

Az elmúlt évtized magszerkezet-kutatásaiban előtérbe került az extrém izopsinű atommagok szerkezetének a feltárása radioaktív ionnyalábokon végzett mérésekkel. Előadásomban a neutrongazdag atommagokban kialakuló egyrészeccskés és kollektív gerjesztések versengését, együttélését mutatom be. Ismertetem az erősen neutrontöbbletes kén és szilícium atommagokban a kollektív gerjesztések és a deformált magalakok megjelenésével kapcsolatos szerkezeti jellemzőket, valamint összefoglalom a stabilitási sávtól távoli páratlan réz izotópokban az egyrészeccske-energiák eltolódásának vizsgálatán keresztül a tenzor erő létének bizonyítására vonatkozó eredményeinket.

## Szekció előadások

### *HDe1.1. Pilot projekt a fizikatanítás helyzetfelméréséhez*

#### **Pesthy Sándor Gergely**

középiskolai fizika-kémia tanár, doktorandusz (ELTE Fizika Tanítása Doktori Program)

#### **Miltner Tímea**

matematika-fizika szakos középiskolai tanár, Szegedi Tömörkény István Gimnázium, Művészeti Szakgimnázium és Technikum

A fizika népszerűségének problémája nem újdonság, már 1995-ben kimutatták széleskörű attitűdvizsgálatok során (Csapó 1995). A probléma élesedése (tanárhiány, a természettudományos szakokra jelentkezők számának csökkenése) arra készítette a probléma szereplőit (egyetemek, munkáltatók) hogy erőteljesebb lépéseket tegyenek a helyzet javítása érdekében. Ezen lépések hatékonyabbá tételében, valamint az alapprobléma jobb körvonalazásában szeretnék segíteni kutatásommal.

Az elmúlt években kidolgozásra került egy kérdőív, mely segítségével a diákok fizika tantárggyal szembeni attitűdjét vizsgálható. Ebben a tanévben teszteltük a kérdőívet egy szegedi gimnázium kilencedik évfolyamán.

A kérdőív célja az volt, hogy azonosíthassuk azon faktorokat, melyek befolyásolják a tanulók attitűdjét a fizika tantárggyal szemben. Jelen mérés első sorban arra szolgált, hogy mielőtt nagyobb mintán használnánk, a kérdőív használhatóságát teszteljük, de előadásomban a jelenlegi eredmények is bemutatásra kerülnek.

### *HDe1.2. Kvantumszámítások középiskolában*

#### **Tóth Kristóf**

ELTE TTK Fizika Doktori Iskola, Fizika Tanítása Program  
Czuczor Gergely Bencés Gimnázium

Hazánkban a kvantummechanika hullám-részecske kettőségén történő bevezetése terjedt el. Magyarországon számos kiváló ismeretterjesztő könyv és jól felépített tananyag érhető el, amely ezen a tradíción alapul. Azonban az utóbbi évtizedben a nemzetközi fizika tanítás elkezdett foglalkozni a kvantummechanika másképpen történő bevezetésén is. Ezek azért kaptak kiemelt figyelmet, mert alkalmasak a kvantumszámítógépekhez szükséges alapvető fizikai fogalmak és matematikai formalizmus megértéséhez. Előadásomban egy ilyen tananyagot szeretnék bemutatni. Szeretném a közönség elé tárni, hogy egy diák a fénypolarizáció jelenségén keresztül, hogyan fedezheti fel a mikrovilág alapvető törvényeinek egy részét és matematikai struktúrájának egyszerűsített formáját egy modellben. Ezt az ún. modell kvantummechanikát a kutatások középiskolásoknak befogadhatónak ítélték, s jelentőségét nem csak a második kvantumos forradalom, de az új NAT hullámtant háttérbe szorító intézkedései is indokoltá tehetnek.

### *HDe1.3. Kozmikus kincskeresés középiskolás fokon*

#### **Horváth Norbert<sup>1</sup>, Oláh Éva Mária<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Baár-Madas Református Gimnázium

<sup>2</sup>Wigner Fizikai Kutatóközpont, Bozay Pál Általános Iskola

A Wigner Fizikai Kutatóközpont Nagyenergiás Fizikaosztályán hosszú évek óta működik a Kutatótanári Laboratórium, ahol középiskolai fizikatanároknak és az általuk delegált diákoknak lehetősége van bekapcsolódni az Innovatív Detektorfejlesztő Lendület Kutatócsoport munkájába. A sokszálas proporcionális kamrák építésében apróbb részfeladatokat vállalnak, műhelymunkákat

végeznek, segítenek, ahol tudnak. Mindeközben folyamatos elméleti képzésben is részesülnek az ott dolgozó fizikusok és mérnökök által, észrevétlenül gyarapítják műszaki és természettudományos ismereteiket. Az építési folyamatok elsajátítása mellett mérési feladatokkal is foglalkoznak és a professzionális detektálás középiskolás szinten is elsajátítható módszerével tereptárgyak megfigyelését is végzik. Az évek óta tartó úgynevezett kutatásalapú oktatás létjogosultságát a fizikusi és mérnöki pályára jelentkezők növekvő száma és az országos tanulmányi versenyeken szereplő kutatódiákok kiemelkedő eredménye bizonyítja.

### ***HDe2.1. Optikai rezonátorban csapdázott atomok fázisátalakulása***

**Domokos Péter**

Wigner FK, Kvantumoptika "Lendület" Kutatócsoport

A nagy jósági tényezőjű optikai rezonátor érzékeny mérőműszerként használható egy módusához erősen csatolt Rb atomfelhő időbeli megfigyelésére. Tiszta kvantumállapotban preparált atomok blokkolni képesek a rezonátor transzmisszióját. A nemlineáris fény-anyag kölcsönhatás következtében egy dinamikai fázisátalakulás következik be, melynek során megváltozik az atomok kvantumállapota, ezért a rezonátor transzmissziója ugrásszerűen megnő. Kísérletben sikerült nagy időfelbontással nyomon követni az átalakulást és az azt kísérő megnövekedett fluktuációkat a fototérben.

### ***HDe2.2. Deuteron gyorsítás és fúziós neutron generálás néhány ciklusú lézerimpulzussal***

**Osvay Károly**

Nemzeti Lézeres Transzmutációs Laboratórium  
Szegedi Tudományegyetem

A lézerimpulzusokkal történő ion gyorsítás és neutron előállítás a tématerület egyik forró témája. A hagyományos gyorsítókkal szemben a technikai előnyük, hogy nagyságrendekkel kisebb a helyigényük. A tudományos jelentőségüket és egyediségüket pedig az adja, hogy az elállított részecske-impulzus időben rendkívül rövid, azaz óriási pillanatnyi részecskeáram érhető el. A legtöbb eddigi kísérletben több száz Joule energiájú, vagy több száz TW csúcshintenzitású lézereket használtak. Ezen berendezések ismétlési frekvenciája ugyanakkor kicsi, így a másodpercenként előállított részecskeszám, az átlagos áram is kicsi.

A közelmúlt lézerfejlesztései következtében mostanra olyan, néhány tíz mJ energiájú, néhány optikai ciklusú (~10fs) impulzusok kelthetők kiváló optikai tulajdonságú lézernyalábokban, amelyekkel egy céltárgyon relativisztikus intenzitás érhető el. Egy ilyen lézer több tíz, vagy akár 1kHz ismétlési frekvenciával tartósan működhet, azaz a keltett átlagos részecskeáram további alkalmazások, például gyors neutronokkal történő izotóp készítés vagy kiégett nukleáris fűtőelemekben lévő aktinidák transzmutációja szempontjából érdekes lehet.

Az ilyen rövid impulzusokkal való iongyorsítás és neutron generálás fizikáját eddig kevésbé tanulmányozták. Az előadásomban az ELI-ALPS Lézeres Kutatóintézetben a SYLOS Experimental Alignment lézerrel végzett kísérleteink eddigi eredményét ismertetjük.

### ***HDe2.3. Intenzív lézerimpulzusok által szilárdtestekben elmozdított töltések kiszámítása***

**Földi Péter, Magashegyi István**

SZTE Elméleti Fizikai Tanszék és ELI-ALPS

Erős lézerimpulzusok és szilárdtestek kölcsönhatása során a lézertér gyors töltéscsillációkat kelt. Fémek esetén a kölcsönhatási tartományban keletkező zavar nagyságrendileg a Fermi-sebességgel terjed tovább. Ez időben gyorsan változó áramokat jelent, amelyek a jelenlegi módszerekkel közvetlenül nem detektálhatók, ugyanakkor időbeli integráljuk, azaz a lézerimpulzus által elmozdított töltés mérhető. Az előadás során egyelektronképet alkalmazva a legegyszerűbb, egydimenziós modellből kiindulva rámutatunk a probléma egyes paramétereinek (a gerjesztés időbeli és térbeli hossza, frekvenciája) a szerepére. Ez alapján a jelenség leírása gyakran jól közelíthető egy megfelelően választott ponderomotoros potenciállal [1]. Ezután az eredményeket kiterjesztjük az általános, minden sávot figyelembe vevő, háromdimenziós esetre [2].

[1] Magashegyi I., Szabó L. Zs., Földi P.: Ultrashort laser-pulse-driven currents in conductors: one-dimensional model for local excitation in the single-electron picture with quadratic dispersion, *JOSA B: OPT PHYSICS* 35, A116 (2018.)

[2] Magashegyi I., Oltyán K., Földi P.: Analytic expression for the charge carried by a locally excited Bloch state, *Phys. Rev. B* 103, 245204. (2021.)

### ***HDe2.4. Attoszekundumos extrém-ultraibolya források fejlesztése és alkalmazása atomi elektrondinamika vizsgálatára***

**Major Balázs**

ELI-HU Nonprofit Kft.

Az ultragyors lézertechnológia fejlesztése nem csak az ezért felelős kutatók számára jelent állandó kihívást, hanem azon tudósoknak is, akik ezeket a lézereket használják. Ahhoz, hogy ezen csúcstechnológiás lézereket hatékonyan tudjuk alkalmazni attoszekundumos impulzusok előállítására, számos fizikai aspektust kell figyelembe venni kezdve a megfelelő gázcéltárgyak kifejlesztésétől egészen a meghajtó lézerimpulzusok optimális tulajdonságainak kialakításáig. Ilyen megfontolásoknak köszönhetően az utóbbi években sikerült nagy intenzitású attoszekundumos impulzusokat biztosító forrásokat létrehozni [1-3], amelyek segítségével például többfotonos folyamatokat vizsgáltunk az extrém ultraibolya tartományban [4]. Előadásomban az attoszekundumos forrásfejlesztéssel kapcsolatosan fogok néhány elméleti megfontolást és gyakorlati példát mutatni az ELI ALPS lézeres kutatóintézetben, illetve más, attoszekundumos tudományban érdekelt európai kutatóintézetekben szerzett eredményeink alapján.

[1] B. Major, et al „Compact intense extreme-ultraviolet source”. *Optica* 8(7), 960-965 (2021).

[2] P. Ye, et al., „High-Flux 100 kHz Attosecond Pulse Source Driven by a High-Average Power Annular Laser Beam”. *Ultrafast Science* 2022, 9823783 (2022).

[3] L. Gulyás Oldal, et al., „All-Optical Experimental Control of High-Harmonic Photon Energy”. *Phys. Rev. Applied* 16, L011001 (2021).

[4] M. Kretschmar, et al., „Attosecond investigation of extreme-ultraviolet multi-photon multi-electron ionization”. *Optica* 9(6), 639-644 (2022).

## HeDe2.5. Részecskegyorsítás terahertzes impulzusokkal

Tibai Zoltán

Pécsi Tudományegyetem

Az előadásban három különböző terahertzes elektrongyorsító elrendezést ismertettünk, amelyeket a PTE Fizikai Intézetében vizsgálunk. Az első elrendezésnél gas-jetben keltett elektronokat gyorsítunk nagyenergiájú THz-es impulzusok segítségével. A második elrendezésben hullámvezetőben terjedő, néhány uJ energiájú THz-es impulzusokat használunk elektronok gyorsítására. Mindkét elrendezéssel néhány 10 keV energiájú elektronokcsomagokat lehet előállítani, melyek kiválóan alkalmasak lesznek elektrondiffrakciós kísérletekre. A harmadik elrendezés egy THz-lineáris gyorsító, melynek alkalmazásával az elektronok akár több MeV-ot is képesek gyorsulni néhány cm megtétele során. Az utógyorsított elektronokcsomagok felhasználhatók lesznek a flash radioterápiában, valamint űrelektronikai eszközök tesztelésére.

## HDe2.6. Újgenerációs terahertzes impulzusforrások térfogati holografikus rácsok alkalmazásával

Krizsán Gergő,<sup>1,2,3</sup> Tibai Zoltán,<sup>1</sup> Tóth György,<sup>1</sup> Almási Gábor,<sup>1,3</sup> Pálfalvi László<sup>1,3</sup> és Hebling János<sup>1,2,3</sup>

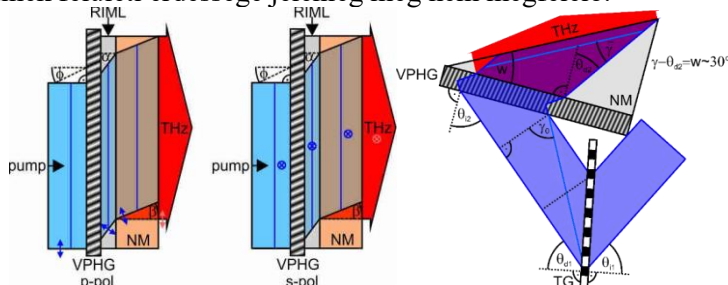
<sup>1</sup> Pécsi Tudományegyetem, Fizikai Intézet, Pécs, Magyarország

<sup>2</sup> Szentágotthai János Kutatóközpont, Pécs, Magyarország

<sup>3</sup> ELKH-PTE Nagy Térerősségű Terahertzes Kutatócsoport, Pécs, Magyarország

Mind lítium-niobát, mind félvezető anyagokban történő nagy hatásfokú THz-es impulzusok keltéséhez elengedhetetlen a dőlt impulzusfrontú pumpálás. Az impulzusfront dőlés rácsok segítségével hozható létre. Térfogati holografikus rácsok esetében az állandó törésmutatójú felületek megdöntésével akkor is nagy diffrakciós hatásfok érhető el, ha a Littrow elrendezéstől jelentősen eltérünk. Normális beesés alkalmazásánál az impulzusfrontdőlés szöge megegyezik a diffrakció szögével, ami lehetővé teszi a sík párhuzamos kristályok használatát, a leképző optikai elemek elhagyását, valamint az elrendezés korlátozó tényezők nélküli skálázhatóságát.

A hagyományos döntött impulzusfrontú pumpálást alkalmazó lítium-niobát (LN) alapú elrendezések szolgáltatták a legnagyobb energiájú terahertzes (THz) impulzusokat az alacsony THz-es frekvenciákon. Azonban az ilyen típusú források energiaskálázhatóságát és az előállított THz-es nyalábminőséget három tényező is korlátozza. Ezek a (i) nagy szögdiszperzió miatti korlátozott kölcsönhatási hossz, (ii) prizma alakú LN kristály nagy (~63°) ékszögével és a (iii) leképezési hibák. Az elmúlt években kutatócsoportunk több megoldást is javasolt a fent említett korlátozó tényezők csökkentésére vagy akár megszüntetésére. Ezek legtöbbje a nemlineáris anyag felszínének mikromegmunkálását igényli, mely technológia még nem kiforrott, így a megmunkált felszín felületi érdessége jelenleg még nem megfelelő.



1. ábra bal) Sík-párhuzamos félvezető THR-on keresztül pumpálva jobb) Hibrid elődöntést alkalmazó elrendezés

Az 1. bal ábra a félvezető alapú elrendezés sematikus rajzát mutatja. A pumpa merőlegesen esik a THR felszínére. A THR állandó törésmutatójú felülete meg van döntve  $\Phi$  szöggel, mely lehetővé teszi, hogy csak az egyik rendbe legyen nagy a diffrakciós hatásfok. Egyszerű geometriai megfontolással belátható, hogy a diffrakció szögével megegyező lesz az impulzusfrontdőlés szöge is.

A rács és a sík-párhuzamos félvezető BK7 törésmutató illesztő folyadék (TIF) van, a hatékony becsatolás érdekében. A TIF-félvezető határfelületén a pumpa megtörik és az első ábrán látható  $\beta$  szögben terjed tovább, mely kielégíti a sebességillesztés feltételét. A döntött impulzusfrontra merőleges keltődik a THz-es nyaláb, mely a kristályból merőlegesen lép ki. Az elrendezés (ii) és (iii) korlátozó tényezőktől mentes, valamint a diffrakciós rendek interferenciája sem korlátozza az optimális pumpáló intenzitást.

A 2. jobb ábra a hibrid elrendezés sematikus rajzát mutatja be. A nyaláb Littrow elrendezésben egy optikai rácsra esik be, mely elődönti az impulzusfrontot. Erre azért van szükség, mert egy THR önmagában nem tud akkora impulzusfront dőlést létrehozni, mely elegendő lenne a LN-beli sebességillesztéshez. Az elődöntés után a nyaláb egy THR-ra esik, mely BK7 TIF-k segítségével kontaktálva van a LN prizmához. A THR tovább dönti az impulzusfrontot. Megfelelő geometria megválasztása esetén az impulzushossz változás a nyaláb két oldalán (levegőben a 2. ábra szerinti bal oldal, míg a kristályban a jobb oldal) ugyanakkora lesz és megfelelő előcsörpöt használva, a rövid impulzushossz a kristályban a döntött impulzusfront mentén fog előállni.

### ***HDe3.1. Sugárzási visszahatás axion-elektrodinamikában***

**Patkós András**

ELTE Fizikai Intézet

A  $CP=-1$  tulajdonságú skalár axion-mező hipotetikus létezése kínálja az egyik legtermészetesebb mechanizmust a  $CP$ -szimmetria sérülésének elkerülésére a kvantumkromodinamikában. Az axion kvantumok észlelésére szolgáló detektorokat (haloszkópok) az axion-tér és a foton-tér közötti csatolásra építve konstruálják.

Az előadás az axion-csatolással kiegészített maxwell-i elektrodinamika energia-impulzusmegmaradási tételét az elmélet Hamiltoni formalizmusában elemzi. Azonosítom az elmélet elektromágneses és axion szektora közötti energia transzferért felelős mennyiséget. Speciális alkalmazásként kiszámítom az erős külső mágneses térben bekövetkező axion-foton konverzió (Primakoff-folyamat) teljesítményét és a fotonsugárzás visszahatását az axion-rezgésekre. A számszerű vizsgálatot az axion tömeg elméletileg preferált tartományában és a haloszkópokban megvalósítható mágneses terekre végzem el. A jellemző öncsillapítási idő a teljes tömegtartományban összemérhető az Univerzum életkorával.

Az előadásban bemutatandó elemzés használható a klasszikus elektrodinamikai bevezető előadást kiegészítő, a hallgatóság érdeklődését a modern részecskefizikai vonatkozások iránt felkeltő szemináriumi anyagként.

### ***HDe3.2. Higgsrobbanás***

**Cynolter Gábor**

ELTE Elméleti Fizikai Tanszék, ELKH-ELTE Elméleti Fizikai Kutatócsoport

A 125 GeV tömegű skalár Higgs-bozon 2012-es felfedezése óta tudjuk, hogy a részecskefizika standard modelljében nagy energiákon a csatolások elegendően kicsik, azaz a perturbációs számítás működik. Ennek ellenére a nagy számú Higgs-bozon keltését leíró perturbatív folyamatok már a legegyszerűbb (fagráf) rendben is tartogatnak meglepetéseket. Amint az energia elegendő sok skalár részecske keltésére a részecskehozam, hatáskeresztmetszet látszólag korlátlanul növekedik, és ez sértené az elmélet belső konzisztenciáját. Más, nem-perturbatív közelítésben számolva megmutattuk, hogy a részecskehozamot leíró keltési ráta nem exponenciálisan, hanem csak négyzetesen növekszik az energiával, ezáltal nem sérül az elmélet unitaritása.

### ***HDe3.3. Vákuumstabilitás és skalártömegek a standard modell szupergyenge kiterjesztésében***

**Péli Zoltán**

Debreceni Egyetem

Megfigyelések bizonyítják, hogy létezik új fizika, amely nem magyarázható a részecskefizika standard modelljével. A szupergyenge kiterjesztés a standard modellt egy új  $U(1)$  mértékszimetriával, egy komplex skalármezővel és három generáció steril neutrínóval bővíti ki abból a célból, hogy ezen megfigyeléseket részben vagy teljesen megmagyarázza. Megvizsgáljuk azt a paraméterteret, ahol a szupergyenge kiterjesztés vákuuma stabil, a csatolások perturbatívák és van vákuum várható értéke (VEV) az új skalármezőnek. Az új VEV egy új skalár részecske létezését is implikálja, ezért megvizsgálom, hogy kísérleti eredmények (mint a W-bozon tömegmérés és közvetlen keresések részecske gyorsítóknál) hogyan szorítják meg a megengedett paraméterteret.

### ***HDe4.1. Szimmetriasértő alapállapot a piroklórrácson értelmezett kvantum Heisenberg-modellben***

**Imre Hagymási<sup>1,2,3\*</sup>, Robin Schäfer<sup>4</sup>, Roderich Moessner<sup>4</sup> és David J. Luitz<sup>5</sup>**

1. Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie, Hahn-Meitner Platz 1, 14109 Berlin, Germany, 2. Dahlem Center for Complex Quantum Systems and Fachbereich Physik, Freie Universität Berlin, 14195 Berlin, Germany, 3. Wigner Research Centre for Physics, Budapest H-1525 P.O. Box 49, Hungary, 4. Max Planck Institute for the Physics of Complex Systems, Noethnitzer Str. 38, 01187 Dresden, Germany, 5. Physikalisches Institut, University of Bonn, Nussallee 12, 53115 Bonn, Germany

A piroklórrácson (csúcsaikban érintkező tetraéderek köbös elrendezése) antiferromágnesesen kölcsönható spinek rendszere régóta ismert, de mindmáig kevésbé megértett probléma. A rendszer frusztráltsága olymértékben erős, hogy még a nem kvantum Heisenberg-modell sem rendeződik mágnesesen. Az extrém kvantum határeset ( $S=1/2$ ) alapállapotát illetően több évtizedes vizsgálat ellenére sincs konszenzus. Sűrűségmátrixos renormálási-csoport algoritmus és numerikus csatolt-klaszter sorfejtés segítségével pontos becslést adunk az alapállapot energiára, valamint megmutatjuk, hogy az alapállapotban sérül az inverziós és  $C_3$  forgatási szimmetria. A kapott eredmények megkérdőjelezzik a korábban feltételezett spinfolyadék jellegű alapállapotot.

### ***HDe4.2. Anizotróp részecskék rendeződése szűk pórusban: lerágott csont a kvázi egydimenziós rendszerek esete?***

**Gurin Péter**

Pannon Egyetem

Két- és háromdimenzióban a különböző anizotróp alakú merev részecskék rendszerei tipikus példák az entrópi vezérelt fázisátalakulásokra, mint pl. a hosszúságú részecskék izotróp-nematikus fázisátalakulása. Ilyen rendszerek viselkedése egy- vagy kvázi egydimenzióban talán még érdekesebb, mert új rendezett, sőt rendezetlen struktúrák is megjelenhetnek, így az üvegszerű viselkedésre is példát szolgáltathatnak ezek az egyszerű, analitikus eszközökkel egzakt módon kezelhető modellek. Habár egydimenzióban igazi termodinamikai szingularitásokkal jellemezhető fázisátalakulások ritkán fordulnak elő, a különböző kvázi-rendezett fázisok közti átmenet nagyon hirtelen (habár matematikai értelemben analitikus függvényekkel leírható módon) mehetnek végbe, amelyeket kísérletileg akár meg sem lehet különböztetni a valódi fázisátalakulásoktól. Ilyen viselkedésre mutatunk néhány példát.



### ***HDe4.3. Weyl-pont teleportáció***

**Frank György**

BME Elméleti Fizika Tanszék

Ebben a munkában a Weyl-pont teleportáció jelenségét mutatjuk be. A Weyl-pontok általában folytonos mozgást végeznek egy kvantumrendszer konfigurációs paraméterterében a kontrollparaméterek folytonos változtatásának hatására. Azonban lehetnek speciális átmeneti pontjai a kontrolltérnek, ahol a Weyl-pontok folytonos mozgása megszakad. Ezekben az átmeneti pontokban egy kiterjedt degenerációs struktúra (degenerációs vonal vagy felület) jön létre, amely féregjáratként szolgál a Weyl-pontok számára, lehetőséget adva azok teleportációjára a konfigurációs térben. Egy karakterisztikus mellékhatása a teleportációnak a Weyl pontok mozgási szuszceptibilitásának divergenciája az átmeneti pont környezetében, mely divergenciát univerzális skálatörvény jellemzi. Ezeket a jelenségeket egy két-spin modellel és egy Weyl--Josephson-áramkör modelljével szemléltetjük. Arra számítunk, hogy az eredményeink általánosíthatók más rendszerekre is, mint pl. a topologikus félvezetők elektron-sávszerkezete.

### ***HDe4.4. Elektron-sávszerkezetek degenerációs pontjainak szingularitáselméleti leírása***

**Pintér Gergő**

BME Elméleti Fizika Tanszék

A szilárdtest-fizikából származó kvantumrendszereket paraméterfüggő Hamilton-operátorral modellezzük. A degenerációs pontok azok a paraméterértékek, melyekre két sajátérték (azaz két energiaszint) egybeesik. Háromdimenziós paraméterter esetén a generikus degenerációs pontok az ún. Weyl-pontok. Nemgenerikus degenerációs pontok megjelenhetnek egy rendszer finomhangolása során generikus állapotok közötti átmenetként, vagy szimmetriák által védett stabil mintázatként is. A nemgenerikus degenerációs pontok tetszőlegesen kis szimmetriasértő perturbáció hatására Weyl pontokra hasadnak fel. Előadásomban bemutatom, hogyan vezethetjük vissza a degenerációs pontok leírását szingularitáselméleti fogalmakra és összefüggésekre. A matematikai apparátus erejét illusztrálja eredményünk, miszerint egy nemgenerikus degenerációs pontból perturbáció hatására születő Weyl pontok száma nem lehet tetszőlegesen nagy, azaz minden degenerációs ponthoz tartozik egy "születési kvóta", mely a születő Weyl-pontok számát felülről korlátozza. Publikáció: <https://arxiv.org/abs/2202.05825>.

### ***HDu1.1. Plazmonikai nanostruktúrák előállításának és vizsgálatának fotonikai alkalmazásokhoz***

**I. Csarnovics<sup>1</sup>, A. Bonyár<sup>2</sup>, M. Veres<sup>3</sup>, P. Pál<sup>1</sup>, G. Szántó<sup>1</sup>, A. Csík<sup>4</sup>, L. Juhász<sup>5</sup>, S. Kökényesi<sup>6</sup>**

1. Kísérleti Fizikai Tanszék, Fizikai Intézet, Természettudományi és Technológiai Kar, Debreceni Egyetem

2. Elektronikai Technológiai Tanszék, Villamosmérnöki és Informatikai Kar, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

3. Alkalmazott és Nemlineáris Optika Osztály, Szilárdtestfizikai és Optikai Intézet, WIGNER Fizikai Kutatóközpont, Eötvös Lóránd Kutatási Hálózat

4. Anyagtudományi Laboratórium, Atommagkutató Intézet, Eötvös Lóránd Kutatási Hálózat

5. Szilárdtest Fizikai Tanszék, Fizikai Intézet, Természettudományi és Technológiai Kar, Debreceni Egyetem

6. Villamosmérnöki Tanszék, Fizikai Intézet, Természettudományi és Technológiai Kar, Debreceni Egyetem

Az előadás során különböző típusú plazmonikai nanorészecskék lehetséges fotonikai alkalmazási lehetőségeit, ezzel kapcsolatos kutatások eredményeit mutatom be. A kutatás során egyrészt megvizsgáltuk a lokalizált plazmon tér hatását a szerves és szervetlen fényérzékeny anyagokban lejátszódó fotoindukált változásokra, a felületi struktúrák kialakítására gyakorolt hatását, valamint az lokalizált felületi plazmon rezonancia (LSPR) és a felület erősített Raman szórás (SERS) effektusokon alapuló optikai érzékelők paramétereit, azok optimalizálási lehetőségeit.

Az üveg hordozón létrehozott arany nanorészecskék teljesítik a felületi plazmonrezonancia feltételeit a zöld-vörös spektrális tartományban, ahol a szervetlen, fényérzékeny, kalkogenidiek a legnagyobb érzékenységgel rendelkeznek. Az arany nanostruktúrák befolyásolják és stimulálják a kalkogenidekben megfigyelhető fényindukált optikai, szerkezeti és térfogati változásokat, és megnövelik az arany nanorészecskék/kalkogenid réteg szerkezetében az exciton képződés hozamát. Mindez kihatással van a felületi struktúrák kialakítására, azok paramétereire.

Emellett szerves fényérzékeny anyagok adalékolhatóak arany nanorészecskékkel. Az akrilát alapú anyagokat gyakran használják optoelektronikai elemek optikai, holografikus jelek rögzítésére a fényindukált szerkezeti átalakulások miatt. Kimutattuk, hogy az arany nanorészecskék plazmon tere kihatással van a holografikus rács írás folyamatára és a fotopolimerizáció mértékére, bizonyos esetben javítja ezek paramétereit.

Végül az arany nanorészecskéket széles körben használják elektrokémiai és optikai érzékelő alkalmazásokhoz. Bár ezek a nanorészecskék többféleképpen is létrehozhatóak, talán az egyik legegyszerűbb módszer az üveg- vagy szilícium felületekre előre leválasztott vékonyrétegek hőkezelése. Ezzel a módszerrel a hőkezelési folyamat paramétereit (idő, hőmérséklet) és párologtatott fém vékonyréteg vastagsága befolyásolja és határozza meg a létrejövő nanorészecskék méretét és azok eloszlását. ezáltal optikai paramétereit. Az LSPR nagyon érzékeny optikai jelenség, és nagyon sokféle érzékelési célra használható (kémiai érzékelők, gázérzékelők, bioszenzorok stb.), amely nagy mértékben függ a nanostruktúrákat körülvevő közeg törésmutatójától. A SERS egy olyan analitikai módszer, amely jelentősen növelheti a fémes nanorészecskék felületén adszorbeált célmolekulák Raman-szórásának hozamát. Az LSPR és SERS alapú eszközök érzékenysége erősen függ az anyag típusától, valamint a fém nanorészecskék méretétől és geometriájától. Ezen paraméterek szabályozásával a plazmon elnyelés sávja hangolható és az érzékenység optimalizálható. Megvizsgáltuk az előállított arany nanorészecskék technológiai paramétereit, és megállapítottuk azok hatását a SERS-re és az LSPR érzékenységre. Tapasztalataink alapján elmondható, hogy az érzékenység a nanorészecskék méretétől és a részecskék közötti távolságtól függ. Ezen összefüggéseket mutatom be az előadásom során.

A kutatómunka az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíjának (BO/348/20) és az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-21-5 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának és a támogatásával készült.

## ***HDu1.2. Ag és Au nanorészecskék alkalmazása felület erősített Raman-szórás vizsgálatához***

**Pál Petra<sup>1</sup>, Veres Miklós<sup>2</sup>, Bonyár Attila<sup>3</sup>, Juhász Laura<sup>4</sup>, Csarnovics István<sup>1</sup>, Szalóki Melinda<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Kísérleti Fizikai Tanszék, Fizikai Intézet, Természettudományi és Technológiai Kar, Debreceni Egyetem, Debrecen

<sup>2</sup> Szilárdtestfizikai és Optikai Intézet, Wigner Fizikai Kutatóközpont, Budapest,

<sup>3</sup> Elektronikai Technológiai Tanszék, Villamosmérnöki és Informatikai Kar, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest,

<sup>4</sup> Szilárdtestfizikai Tanszék, Fizikai Intézet, Természettudományi és Műszaki Kar, Debreceni Egyetem, H-4026 Debrecen,

<sup>5</sup> Bioanyag- és Protetikai Fogászati Osztály, Fogorvostudományi Kar, Debreceni Egyetem, Debrecen

Ebben a munkában a felület erősített Raman-szórás (SERS) folyamatát tanulmányoztuk arany és ezüst nanorészecskéken. Különböző arany és ezüst nanostruktúrákon szisztematikus vizsgálatokat végeztünk annak érdekében, hogy a SERS fokozás hogyan függ a nanostruktúrák morfológiájától (részecskeméret, részecskék közötti távolság) és optikai paramétereitől (plazmon hullámhossz). Ebből a célból a fém nanostruktúrákat üveghordozóra, termikus vákuum párologtatással előállított arany és ezüst vékony rétegek hőkezelése révén hoztuk létre. A hőkezelés különböző hőmérsékleten (400 °C, 450 °C, 500 °C és 550 °C) és különböző ideig (15, 30, 60 és 120 perc) zajlott, ami különböző geometriai paraméterrel rendelkező nanorészecskék kialakulását eredményezte. (pl. részecskeátmérő, részecskék közötti távolság). A nanorészecskék paramétereit pásztázó elektronmikroszkóp és optikai spektrofotométerrel vizsgáltuk. A minták SERS képességeit három különböző hullámhosszúságú gerjesztő lézerrel vizsgáltuk benzofenon oldat segítségével. Megvizsgáltuk a fém nanorészecskék geometriai paramétereinek és a lézer hullámhosszának hatását a felületnövelt Raman folyamatra.

Továbbá tanulmányoztuk az analit hatását a felület erősített Raman-szórás (SERS) folyamatra. A mérésekhez analitként riboflavin és rodamin 6g oldatot használtunk. Az erősítést ugyanazon az arany nanorészecske szubsztrátumokon mértük, mindkét analit esetében két különböző gerjesztési hullámhosszon (532 és 633 nm). Mindkét analitra meghatároztuk a fokozási faktort, és megvizsgáltuk az analitok hatását.

### ***HDu1.3. Kétdimenziós hexagonális bór-nitrid kölcsönhatása fémekkel***

**Halasi Gyula,<sup>12</sup> Vass Csaba,<sup>2</sup> Vári Gábor,<sup>2</sup> Palotás Krisztián,<sup>1</sup> K. M. Yu,<sup>3</sup> B. Stadtmüller,<sup>3</sup> M. Aeschlimann,<sup>3</sup> Dombi Péter,<sup>1</sup> András Berkó,<sup>2</sup> Zoltán Kónya,<sup>24</sup> Óvári László<sup>12</sup>**

<sup>1</sup>ELI ALPS, ELI-HU Non-Profit Kft., Szeged

<sup>2</sup>ELKH-SZTE Reakciókinetikai és Felületkémiail Kutató Csoport, Szeged

<sup>3</sup>Department of Physics, Technical University of Kaiserslautern, Kaiserslautern, Germany

<sup>4</sup>SZTE Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszék, Szeged

Bizonyos átmeneti fémeken, például Rh(111)-en a hexagonális bór-nitrid (h-BN) monoréteg periodikusan korrugált nanohálót („nanomesh”) alkot a fém és a nitrid közötti rácsállandó eltérés és viszonylag erős kölcsönhatás miatt. Energetikailag az a legkedvezőbb, ha a N atomok a Rh atomok fölött helyezkednek el. Azokban a régiókban („pore”), ahol ez teljesül, a bór-nitrid közelebb van a fém felülethez. A rácsállandó eltérés miatt azonban ez nem mindenütt állhat fenn. E gyengébben kölcsönható („wire”) régiókban a bór-nitrid távolabb kerül a fémtől. Jelen munkában a bór-nitridet Au/Rh(111) felületi ötvözetten hoztuk létre bórazin (B<sub>3</sub>N<sub>3</sub>H<sub>6</sub>) magas hőmérsékletű bontásával, és azt vizsgáltuk, hogy a h-BN-nel gyengén kölcsönható arany hogyan befolyásolja a nanoháló strukturális és elektronszerkezeti tulajdonságait. Pásztázó alagútmikroszkópiával (STM) kimutattuk, hogy a hullámzó nanoháló morfológia még ~0.9 ML arany jelenlétében is kialakul, azonban nagyobb Au mennyiségeknél a h-BN kisimul. XPS mérések tanúsága szerint a h-BN szintézis során az arany atomok preferenciálisan a wire régiók alá rendeződnek. Ilyen módon a h-BN templátként viselkedik az alsó atomi rétegek vonatkozásában is. Az ELI-ALPS-nél működő NanoESCA berendezés mint momentum mikroszkóp segítségével kimutattuk, hogy az Au/Rh(111) felületi ötvözetten specifikus elektron állapotok (sávok) jönnek létre. Az arany rétegvastagság növekedésével az észlelt elektronszerkezet fokozatosan átmegy az Au(111)-re jellemző sávokba és felületi állapotokba. A Rh(111)-en létrehozott h-BN esetében egyrészt fellép a h-BN  $\pi$  sáv felhasadása a pore-wire kettősségnek megfelelően. Emellett azonban megfigyelhetőek a  $\sigma$  sávok másolatai („replica”) is a nanoháló szuperrács reciprok rácsvektoraival eltolódva. E nanohálóra jellemző bonyolult sáv szerkezet megfigyelhető az Au/Rh(111) felületi ötvözetten létrehozott h-BN esetében is ~0.9 ML Au borítottságig, azonban 1.5 ML Au esetén már a sík h-BN-re jellemző sáv szerkezet észlelhető. Emellett azonban láthatóvá válik egy olyan új sáv is, amely sem a h-BN-re, sem a felületi ötvözetre önmagában nem jellemző, csak a h-BN/Au/Rh(111) heterostruktúrára. E sáv tartalmaz

elektronállapotokat a h-BN tiltott sávjában is, így azt mondhatjuk, hogy a h-BN jelenléte erre az energia tartományra is hatással van.

Reference: M. Corso et al. Science 303 (2004) 217. I. Brihuega et al. Surf. Sci. 602 (2008) L95.

### ***HDu1.4. Fém nanorészecskék plazmonikai alapon működő érzékelőként***

**Szántó Géza Levente**

Debreceni Egyetem

Megfelelő frekvenciájú elektromágneses sugárzással gerjesztve a fém nanorészecskék vezetési elektronjainak kollektív oszcillációja hozható létre. Ezen elektronsűrűség-oszcillációhoz rendelt kvázirészecske a lokalizált felületi plazmon (LSP).

A plazmonrezonancia jelensége (LSPR) számos felhasználási lehetőséggel bír, ezek közül főleg a nanorészecskék körüli közeg lokális törésmutató-változásának észlelési lehetőségéről ejtek szót, ami felhasználható célmolekulák oldatban történő kimutatására.

Egy nanorészecske-rendszer érzékenysége a törésmutató megváltozására, a részecskék anyagától, méretétől, alakjától, elrendezésétől függ. A részecskék optikai tulajdonságai és érzékenysége is jól modellezhető az elektrodinamika eszközeivel, azonban a legegyszerűbb esetek kivételével a számításokhoz numerikus módszerek alkalmazása szükséges.

Szimulációimhoz a peremelem módszert alkalmazom, amelynek fő előnye, hogy más módszereknél kevésbé számításigényes, hiszen itt csak a részecskék felületét szükséges diszkrét elemekre bontani, szemben a többi numerikus módszer által megkövetelt térfogati felbontással szemben.

Előadásomban sokféle nanostruktúra szimulációjának végeredményét mutatom be, valamint összehasonlítást teszek a szimulációs és kísérleti eredmények között.

### ***HDu1.5. Wofram-karbidban gazdag rétegek előállítás és tervezése***

**A.S. Racz<sup>1a</sup>, Z. Fogarassy<sup>1</sup>, Z. Kerner<sup>1</sup>, U. Kentsch<sup>2</sup>, P. Panjan<sup>3</sup>, M. Menyhard<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Centre for Energy Research, Konkoly Thege M. út 29-33, 1121 Budapest, Hungary

<sup>2</sup>Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Bautzner Landstraße 400, 01328 Dresden, Germany

<sup>3</sup> Jožef Stefan Institute, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenia

A wolfram-karbid (WC) nagy keménységéről és jó kémiai ellenálló képességéről ismeretes. Ebben a munkában wolfram-karbidban gazdag rétegeket állítottunk elő C/W multiréteg (az egyes rétegek vastagsága 10-20 nm) szerkezetek nemesgázzal (argon és xenon) történő besugárzásával. Az alkalmazott energiák tartománya 40-110 keV, míg a fluencia  $0.07 - 6 \times 10^{16}$  ions/cm<sup>2</sup> volt. A komponensek mélységi koncentráció eloszlását Auger elektron spektroszkópia (AES) mélységi profilírozással határoztuk meg. Korábban megmutattuk, hogy a ballisztikus folyamatokon alapuló TRIDYN szimuláció alkalmas volt arra, hogy meghatározzuk C/Si multiréteg szerkezetek besugárzás utáni mélységi koncentráció eloszlását [1]. Egy olyan rendszeren, ahol az átlagos atomszám nagy (>20) ennek a szimulációnak az alkalmazhatósága kérdéses. Az előadásban megmutatjuk, hogy a TRIDYN szimuláció parametrizálásával meg tudtuk becsülni az elemek besugárzás utáni mélységi koncentráció eloszlását a C/W rendszerre is. A karbid mennyiséget egy egyszerű modellel számoltuk ki. A kísérleti és mélységi profilok közti jó egyezést egy nagy adathalmazon mutattuk ki, ahol változtattuk a besugározandó rétegszerkezeteket, ionokat, energiákat és fluenciákat. A jó egyezés lehetővé teszi a kísérleti munka jelentős csökkentését és a WC-ban gazdag rétegek tervezését, melyek védőréteggé alkalmazhatóak.

A munkát az EU H2020 Project No. 824096 "RADIATE", HZDR-Dresden és az Energiatudományi Kutatóközpont témapályázata támogatta.

## Referenciák

- [1] A.S. Racz, M. Menyhard, ACS Appl. Mater. Interfaces, 10 (2018) 22851.
- [2] A.S. Racz et al., Applied Surface Science, 582 (2022) 152385.
- [3] A.S. Racz et al., Applied Surface Science, 586 (2022) 152818.

## ***HDu2.1. Spontán parametrikus lekonverzió alapuló egyedi fényforrások tervezése és készítése kvantumoptikai rendszerekhez***

**Erdei Gábor, Holló Csaba Tamás, Galambos Máté\*, Barócsi Attila, Koppa Pál és Sarkadi Tamás**

BME Természettudományi Kar, Fizikai Intézet, Atomfizika Tanszék

\* BME Villamosmérnöki Kar, Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék

Napjaink speciális informatikai igényei óriási kihívások elé állítják az optikai/fotonikai ipart és kutatás-fejlesztést. A kvantumoptikai elven működő titkosító berendezések és számítógépek, valamint az ezekhez szükséges infrastruktúra (fotonállapot-teleportáló és ismétlő rendszerek) korábban nem létező optikai eszközök sokaságát hívták életre. Bár komolyabb kvantumoptikai kutatások már az 1980-as évek óta folynak, a folyton változó igények és a berendezések összetettsége valamint nem csekély instabilitása miatt a téma a mai napig aktívan kutatott.

Közös pont a kvantumoptikai eszközökben, hogy mindben különleges fényforrásokra van szükség, melyeknek vagy parancsra kell tudniuk egy fotonnyi energiát tartalmazó impulzusokat kibocsájtaniuk (on-demand sources), vagy időben korrelált fotonpárokat kell létrehozniuk. Ez utóbbi jelenség a közkeletű „kvantumösszefonódás” néven ismert. Bár számos szofisztikált megoldás létezik összefonódott fotonpárok előállítására (atomok, kristályhibák, kvantumpöttyök impulzusos gerjesztése), a legnagyobb fotonfluxust a mai napig a bizonyos nemlineáris kristályokban végbemenő ún. spontán parametrikus lekonverzió (SPDC) segítségével lehet elérni. Tanszékünk ilyen fényforrások fejlesztésébe fogott a korábbi HunQuTech projekt keretében, mely tevékenységét jelenleg a Kvantumtechnológiai Nemzeti Laboratórium finanszírozásában folytatja.

A 2022. évi Magyar Fizikus Vándorgyűlésen tartott előadásban bemutatjuk eddigi eredményeinket: egy szálcsatolt, idő-energia korrelált fotonpárok előállítására szolgáló forrást (széles- és keskenysávú hullámhossz-spektrummal); ennek egy továbbfejlesztett változatát, amelyben hullámfrontosztásos interferometrián alapuló eljárással polarizációs összefonódást is megvalósítottunk; valamint a nemlineáris kristályok pumpálására kifejlesztett lézeres megoldásainkat. Néhány, a forrásainkkal elvégzett érdekesebb mérés (pl. Hong-Ou-Mandel interferencia) eredménye is bemutatásra kerül.

## ***HDu2.2. Elektroneloszlások ultragyors optikai vizsgálata plazmongerjesztés során***

**Pápa Zsuzsanna**

ELI-HU Nonprofit Kft.

Az úgynevezett forró elektronok, amelyek például felületi plazmonok gerjesztését követő termalizációs folyamatok során keletkezhetnek, számos alkalmazásban játszanak fontos szerepet. Előadásomban azokat a kísérleteinket mutatom be, amelyek célja ezen elektronok időbeli viselkedésének és térbeli elhelyezkedésének meghatározása volt. Megmutatom, hogy spektroszkópiai ellipszometrián alapuló módszerünkkel a vizsgált rendszer dielektromos állandójában bekövetkező, plazmonokhoz köthető változások kellően nagy pontossággal mérhetők ahhoz, hogy következtethessünk a rendszer elektroneloszlásának változásaira [1]. Folytonos megvilágítás és pumpa-próba elrendezés segítségével a plazmongerjesztés, és a plazmonok jelenlétében lejátszódó elektrongerjesztési folyamatok különböző tulajdonságait sikerült feltárnunk. A <100 fs-os időbeli felbontást biztosító pumpa-próba ellipszometriai elrendezés lehetővé tette a plazmongerjesztést követő folyamatok időbontott vizsgálatát. Ezek során az energetikus elektronok először egymással,

majd pedig a ráccsal hatnak kölcsön, míg a rendszer termalizálódik. Folytonos megvilágítás esetén a gerjesztett forró elektronok mindvégig jelen vannak a vizsgált rendszerben, így a mérésekből meghatározott dielektromos függvény segítségével nemcsak a jelenlétüket sikerült igazolni, hanem a térbeli elhelyezkedésükről is információt nyertünk.

[1] J. Budai, Z. Pápa et al., Ultrasensitive probing of plasmonic hot electron occupancies, submitted

### ***HDu2.3. Egyciklusú lézerimpulzusok előállítása az ELI-ALPS-ban***

**Nagymihály Roland Sándor**,<sup>1</sup> **Tóth Szabolcs**,<sup>1</sup> **Seres Imre**,<sup>1</sup> **Lehotai Levente**,<sup>2</sup> **Csontos János**,<sup>1</sup> **Pajer Viktor**,<sup>1</sup> **Farkas Arnold**,<sup>1</sup> **Mohácsi Árpád**,<sup>1</sup> **Börzsönyi Ádám**,<sup>1</sup> **Osvay Károly**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ELI-ALPS Research Institute, ELI-HU Non-Profit Ltd., Wolfgang Sandner utca 3, 6728 Szeged

<sup>2</sup>National Laser-initiated Transmutation Laboratory, University of Szeged, Dugonics tér 13, 6720 Szeged

TW csúcsteljesítményű lézerimpulzusok vékony dielektrikum lemezekben történő utólagos időbeli összenyomását vizsgáltuk kísérleti és elméleti módszerekkel, amely eredményeként 3,7 fs időbeli hosszúságú és 3 TW csúcsteljesítményű impulzusokat értünk el 805 nm központi hullámhosszon.

### ***HDu2.4. Felületi-hullám mikrohullámú gázkisülések plazma-aktivált folyadékok keltésére***

**Kutasi Kinga**

Wigner Fizikai Kutatóközpont

A felületi hullám mikrohullámú kisüléseket tipikusan egy 0.5 mm átmérőjű kvarc csőben hozhatjuk létre széles nyomástartományban. A felületi hullám a plazma és a kvarc cső határfelületén terjed, miközben a teljesítménye a plazmába való becsatolás hatására csökken. Következésképpen, egy csökkenő elektronsűrűségű plazmaoszlopot kapunk, mely egy kritikus elektronsűrűségnél – amikor a felületi hullám már tovább nem tud terjedni – megszűnik. A plazmaoszlop mögött alakul ki az ún. utókisülési plazma, ahol már nem történik energiaközlés, így egy semleges, a kezdeti gázkeveréktől függően kémiaiilag is aktív plazmát kapunk [1].

Atmoszférikus nyomáson felületi hullám mikrohullámú kisülést tudunk fenntartani mind a kisülési csőben, mind a kisülési cső meghosszabbításában, ahol a felületi hullám a plazmaoszlop és a levegő határfelületén terjed. Ennek következtében egy plazmasugarat kapunk, amelynek összetétele hangolható a kezdeti gázkeverékkel, gázárammal és a betáplált teljesítménnyel. Ha a plazmasugarat kölcsönhatásba hozzuk folyadékkal, a plazmasugárban lévő nitrogén és oxigén tartamú részecskék, illetve az elektronok a folyadékba oldódnak és reaktív oxigén és nitrogén részecskéket (RONR) keltenek [2]. Az ily módon reaktív részecskékkel dúsított folyadékokat plazma-aktivált folyadékoknak hívjuk. A plazma-aktivált folyadékok a bennük lévő RONR-nek köszönhetően számos alkalmazásra lelnek a gyógyászatban („*plasma medicine*”) és az agráriumban („*plasma agriculture*”) [3].

A plazma-aktivált folyadékban keltett RONR között vannak rövid és hosszú élettartamú részecskék. Az alkalmazások a hosszú élettartamú részecskékre támaszkodnak, melyek jellemzően az NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> és H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. A plazma-aktivált folyadék összetételét a plazma-folyadék kölcsönhatási felületre érkező plazmarészecskék határozzák meg. Az előadásban ismertetjük a felületi hullám mikrohullámú kisülés tulajdonságait, illetve megvizsgáljuk hogyan hangolható a plazmasugár és a plazma-aktivált víz összetétele.

[1] K. Kutasi et al., *Plasma Sources Sci. Technol.* **25** (2016) 055014.

- [2] K. Kutasi *et al.*, *Plasma Sources Sci. Technol.* **28** (2019) 095010; K. Kutasi *et al.*, *Plasma Sources Sci. Technol.* **30** (2021) 045015.
- [3] K. Gierczik *et al.*, *Plasma Process. Polym.*, **17** (2020) e1900123; K. Kutasi, E Tombácz, *Plasma Process. Polym.*, **19** (2022) 2100077.

## **HDu2.5. Préselt fotonszám-sajátállapotok**

**Varró Sándor<sup>1,2</sup>**

Wigner Fizikai Kutatóközpont, Szilárdtesfizikai és Optikai Intézet, ELKH  
ELI-ALPS (Attosecond Light Pulse Source), ELI-HU Nonprofit Kft..

A kvantummechanikai harmonikus oszcillátor koherens [1] és préselt („squeezed”) állapotait [2] már Schrödinger (1926) és Kennard (1927) meghatározták, közvetlenül a hullámmechanika megszületése után. Ezek az állapotok a múlt század hatvanas éveitől a kvantumoptikában és informatikában is fontos szerepet játszanak pl. a lézerek és parametrikus folyamatok elméletében [3]. A préselt (koherens) állapotok az intenzív elektromágneses sugárzás és elektronok kölcsönhatásának nem-perturbatív leírásában is természetes módon megjelennek [4], pl. a magasrendű felharmonikusok keltésének vizsgálatakor, s így az attoszekundumos fizikában is jelentőséggel bírnak.

A préselt (általános) koherens állapotok fotonszám-eloszlása jól ismert [3], mondhatnánk tankönyvi anyag. A valószínűségi amplitúdókat a préselés  $S$  (Bogoljubov-transzformáció) és az eltolás  $D$  operátora szorzatának  $\langle m|SD|n \rangle$  típusú mátrixelemei határozzák meg, s ezek a klasszikus Hermite- ill. Laguerre-polinomok egyszerű kifejezései. Ugyanakkor az elmúlt több mint kilencven év igen kiterjedt irodalmában a préselt szám-sajátállapotokra vonatkozó,  $\langle m|S|n \rangle$  típusú, mátrixelemekre nem publikáltak hasonlóan kompakt kifejezést.

Nemrég megmutattuk [5], hogy a préselt fotonszám-sajátállapotok  $\langle m|S|n \rangle$  valószínűségi amplitúdói egyszerű zárt alakban kifejezhetők klasszikus Gegenbauer-polinomokkal. Az előadásban, ennek az eredménynek egyik alkalmazásaként, elemezzük a fekete sugárzásban lejátszódó parametrikus emissziós és abszorpciós folyamatokat. Végül röviden elemezzük az  $\langle m|S|n \rangle$  amplitúdók és a  $2+1$  dimenziós Lorentz-csoport irreducibilis ábrázolásainak kapcsolatát.

Irodalom.

- [1] Schrödinger E, Der stetige Übergang von der Mikro- zur Makromechanik. *Die Naturwissenschaft- en* **14**, 664-666 (1926).
- [2] Kennard E H, Zur Quantenmechanik einfacher Bewegungstypen. *Z. Physik* **44**, 326-352 (1927).
- [3] Dodonov V V, Nonclassical states in quantum optics: a squeezed review of the first 75 years. *J. Opt. B: Quantum Semiclass. Opt.* **4**, R1–R33 (2002).
- [4] Varró S, Quantum optical aspects of high-harmonic generation. *Photonics* **2021**, **8**, 269 (2021). [<https://doi.org/10.3390/photonics8070269> ].
- [5] Varró S, Coherent and incoherent superposition of transition matrix elements of the squeezing operator. *New Journal of Physics* **24**, 053035 (2022). [<https://doi.org/10.1088/1367-2630/ac6b4d>].

## **HDu3.1. A kvark-gluon plazma legkisebb cseppjeinek keresése nehéz kvarkokkal**

**Vértesi Róbert**

Wigner Fizikai Kutatóközpont

A CERN Nagy Hadronütköztetője (LHC, Large Hadron Collider) fő feladata a természet alapvető kölcsönhatásainak megismerése. Nehézionok nagysebességű összeütköztetésével képesek vagyunk létrehozni az anyag extrém forró és sűrű állapotát, az ún. kvark-gluon plazmát (QGP), amely a korai Világegyetemet kitöltötte. Az nagyenergiás nehézion-ütközésekben létrejövő QGP egy rendkívül forró és sűrű folyadék-cseppként viselkedik, amelynek szabadsági fokai a kvarkok.

Az LHC indulása utáni időszak egyik legnagyobb meglepetése volt, hogy nagy végállapotú multiplicitás esetén kis ütköző rendszerekben (pl. proton-proton ütközésekben) is megfigyelhetünk kollektív viselkedést. Máig nyitott kérdés, hogy ennek oka a kvark-gluon plazma jelenléte-e ezekben a kis rendszerekben. Azonban az újabb kutatások szerint a megjelenő kollektivitás vákuumbeli kvantumszindinamikai (QCD) folyamatokkal is magyarázható. A nehéz kvarkokkal végzett próbák és a háttéresemény összefüggései egyedi lehetőséget adnak arra, hogy a lágy és kemény folyamatok határán működő különböző QCD hatásokat elkülönítve megérthessük a kis rendszerekben jelen levő kollektivitás eredetét. Az LHC Run-2 periódusában a továbbfejlesztett detektorrendszerek és a megnövelt luminozítás korábban nem látott pontosságú nehézkvark-méréseket tettek lehetővé, amelyekkel a charm szektor részletesen feltérképezhető volt. A most induló Run-3 időszak pedig a precíziós charm mérések mellett a beauty kvarkokkal történő alapvető vizsgálatokat is lehetővé teszi. A Wigner FK-ban működő kutatócsoportunk aktív részese ezeknek a kutatásoknak mind kísérleti, mind az ezt megalapozó és értelmező elméleti oldalról. Az előadásban a témakör legérdekesebb eredményeit és a jövőbeli kilátásokat foglalom össze.

### ***HDu3.2. Müográfiai műszerfejlesztés***

**Varga Dezső**

Wigner Fizikai Kutatóközpont

A müográfia a kozmikus müonokkal való képalkotás gyorsan fejlődő tudományága. Az előadás a tudományos alapokat és alkalmazási területeket tekinti át, és igyekszik megválaszolni, hogy miért tartott egy fél évszázadig, hogy az alapgondolat tényleges tudományterületté nője ki magát. A müográfia a szó legrosszabb értelmében multidiszciplináris: a részecskefizika elvi alapjait és eszköztárát használja geofizikai, földtudományi és mérnöki alkalmazásokban. Az előadásban bemutatásra kerülnek a hazai tevékenységek, és fejlesztések, melyek 2022-től egy NKFIH Tématerületi Kiválósági projekt keretében zajlanak.

### ***HDu3.3. HBT és Lévy-eloszlások a nagyenergiás fizikában***

**Csanád Máté**

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Az Univerzum létrejötte utáni első néhány mikromásodperc java részében a teret a QGP, a kvarkokból és gluonokból álló "ősleves" töltötte ki. Az elmúlt két évtized eredményeinek tanúsága alapján részecskegyorsítóknál, nagy ütközési energiákon újra létrehozható a QGP. Ez aztán gyors tágulás és hűlés [nyomán](#) hadronikus anyaggá alakul. Az átalakulás egy néhány femtométeres térrészben (és az ennek megfelelő időskálán) megy végbe, így ennek téridőszerkezete szokványos módszerekkel nem ismerhető meg. Ugyanakkor a kvantumstatisztikus impulzuskorrelációk mérése lehetőséget biztosít erre, a csillagászatban HBT-effektusként ismert jelenség segítségével. A mért korrelációs függvények vizsgálata során sokáig Gauss-eloszlást tettek fel, ugyanakkor mára kiderült, ez nem feltétlenül mindig írja le jól az adatokat. Éppen ezért ennek általánosításaként Lévy-eloszlású forrást tehetünk fel. A Lévy-eloszlások kialakulásáért sokféle fizikai folyamat tehető felelőssé. Ebben az előadásban áttekintjük a kísérleti eredményeket és ezek lehetséges értelmezéseit, és megvizsgáljuk, segítségünkre lehet-e a korrelációk tanulmányozása akár a QCD kritikus pontjának keresésében is.



## ***HDu4.1. A lakossági hulladékégetés során keletkező aeroszolrészecskék vizsgálata***

**Füri Péter**

Energiatudományi Kutatóközpont

Az olyan hulladékok, mint például a különböző műanyagok, a rongyok, a gumiabroncsok égetése során számos olyan légszennyező anyag keletkezik, ami súlyosan károsíthatja az egészséget. Az égés során keletkezett aeroszolrészecskék egészségi hatása alapvetően függ attól, hogy a légutak mely részén milyen valószínűséggel ülepednek ki, továbbá, hogy milyen a kémiai összetételük. Kutatásunk során egy Optikai Részecskeszámláló és egy Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS) segítségével vizsgáltuk, hogy milyen a keletkezett aeroszolrészecskék méreteloszlása a lakosság által gyakran használt szilárd tüzelőanyagok (barnaköszén, tűzifa), illetve különböző hulladékok (pl. kerékpár gumibelső) egy öntöttvas kályhában történő égetésekor. Emellett kaszkád Impaktorral történő mintavételt követően TXRF; XANES; Raman módszerekkel megvizsgáltuk az aeroszolrészecskék elemösszetételét is. Elemi szén, szerves szén és levoglukozán mérése is megtörtént. Az OPC-vel és az SMPS-el meghatározott részecske méreteloszlásokat felhasználva a Sztochasztikus Tüdőmodellel kiszámítottuk a belélegzett aeroszolrészecskék légúti kiülepedésselőzlását is. A mérési és a szimulációs eredmények alapján kijelenthető, hogy a keletkezett aeroszolrészecskék túlnyomó többsége elegendően kicsi ahhoz, hogy lejusson a tüdő acináris légútjaiba is. Ugyanakkor a keletkezett aeroszolrészecskék méreteloszlása jelentősen függ a tüzelőanyagtól. Gumi égetésekor nagy mennyiségű ultrafinom részecske keletkezik, melyek légúti kiülepedési valószínűsége nagyobb, mint például a barnaköszén égetése során keletkező részecskéké. Eltérő továbbá az aeroszolrészecskék kémiai összetétele is. A lakossági hulladékégetés egészségi hatásának becsléséhez kulcsfontosságú tehát a különböző hulladékfajták égetése során keletkező aeroszolrészecskék méreteloszlásának és kémiai összetételének vizsgálata. E folyamatban egyedülálló lehetőséget nyújtanak a mérések és a részecskék légúti kiülepedésselőzlásának numerikus modellezése a Sztochasztikus Tüdőmodellel.

## ***HDu4.2. Kristályos rend a koszban - önrendeződő, szénhidrogén adszorbátum réteg van der Waals-anyagok felületén***

**Pálinkás András<sup>1</sup>, Kálvin György<sup>1</sup>, Vancsó Péter<sup>1</sup>, Kandrai Konrád<sup>1</sup>, Szendrő Márton<sup>1</sup>, Németh Gergely<sup>2</sup>, Németh Miklós<sup>3</sup>, Pekker Áron<sup>1</sup>, Pap József Sándor<sup>3</sup>, Petrik Péter<sup>1</sup>, Kamarás Katalin<sup>2</sup>, Tapasztó Levente<sup>1</sup> és Nemes-Incze Péter<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Energiatudományi Kutatóközpont, Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézet, Budapest, <sup>2</sup>Wigner Fizikai Kutatóközpont, Budapest, <sup>3</sup>Energiatudományi Kutatóközpont, Energia és Környezetbiztonsági Intézet, Budapest

Az egyre kisebb és kisebb méretű nanostruktúrák esetén a felületi jelenségek egyre nagyobb súllyal határozzák meg a vizsgált anyagok tulajdonságait. A grafén felfedezését követően, a változatos tulajdonságú van der Waals-anyagok családja esetén ezen jelenségek megértése különösen fontos, ugyanis ezekre az ún. valódi 2D anyagokra tekinthetünk úgy is, hogy azok csupán felületből állnak. A környezeti levegőből a szabad kristályfelületekre elkerülhetetlenül kirakódó szennyezők részletes tulajdonságait eddig nem ismertük; a kísérleti gyakorlatban általában megelégedtünk a „szénhidrogének és víz” laborszeng kifejezéssel.

Az előadásban bemutatom, hogy az ismeretlennek tekintett szennyezőrétegben néhány napos levegőn való tárolás után univerzális tulajdonságokkal rendelkező, önrendeződő molekularéteg alakul ki a különböző van der Waals-anyagok felületén. Atomerő-mikroszkópiával (AFM) megmutattuk, hogy a molekularéteg 3–4 nm periódusú sávokba rendeződik, továbbá alacsony hőmérsékletű pásztázó alagútmikroszkópiával (STM) ezen sávok belső szerkezetét is feltártuk. Megállapítottuk, hogy az önrendeződő molekularéteg 20–26 szénlánc hosszúságú, lineáris, telített normál alkánokból áll, a funkciós csoportok hiányát infravörös spektroszkópiával is megerősítettük.

Megmutattuk, hogy az önrendező, környezeti alkánréteg és a vdW-anyagok felületén gyakran tapasztalt doménszerű sűrűlódási anizotrópia között ok-okozati összefüggés van. A molekulák felületen való beállása AFM tüvel való pásztázással akaratlagosan átfordítható, így az általuk okozott sűrűlódási anizotrópia domének tervezhetővé válnak.

A kutatást a Nemzeti Kutatás Fejlesztési és Innovációs Hivatal K-134258, K-131515, FK-125063 és Élvonal KKP 138144 programjai támogatták. Köszönjük a Magyar Tudományos Akadémia Lendület LP2017-9/2/2017 sz. és a European H2020 GrapheneCore3 Project No. 881603 projektek támogatását.

### ***HDu4.3. Mágneses nanorészecske rendszerek vizsgálata hipertermiás alkalmazásokhoz***

**Vékony Vilmos**

Debreceni Egyetem

A mágneses nanorészecskéknek sok felhasználási területe van. Egyik a daganatos megbetegedések lokális kezelése (hipertermia). Ebben az esetben a kutatások középpontjában a külső változó térbe helyezett nanorészecskék által leadott hő mennyiségének a maximalizálása áll. A fajlagos hőfejlődés függ a külső gerjesztés módjától, a részecskék mágneses viselkedésétől és a részecskék közötti kölcsönhatástól. A folyamat elméleti leírására és az energiavesztés meghatározására a legelterjedtebb modell a sztochasztikus Landau-Lifshic-Gilbert modell (SLLG) [1]. A mágneses momentum átfordulása axiális anizotrópia esetén at két stabil állapot között diffúziós ugrásként írható le. Így hatékonyan szimulálható a részecskék közti dipól dipól kölcsönhatás nagyobb klaszterek esetén is. A folyamat kísérleti vizsgálatához elengedhetetlen a nanorészecske klaszterek anyagtudományi jellemzése. Ezt egy Nanoshuttle-PI anyag esetében végeztük el (amely vasoxid nanorészecskéket tartalmaz egy polimer mátrixban) TEM/STEM, AFM/MFM, Raman spektrométer és vibrációs magnetométer (VSM) segítségével.

### ***HDu4.4. Kvantum spin-Hall állapot kimutatása $Pt_2HgSe_3$ -ben, egy nagy tiltott sávú topologikus szigetelő a 2D anyagok családjában***

**Konrád Kandrai<sup>1</sup>, Péter Vancsó<sup>1</sup>, Gergő Kukucska<sup>2</sup>, János Koltai<sup>2</sup>, György Baranka<sup>1</sup>, Ákos Hoffmann<sup>1</sup>, Áron Pekker<sup>3</sup>, Katalin Kamarás<sup>3</sup>, Zsolt E. Horváth<sup>1</sup>, Anna Vymazalová<sup>4</sup>, Levente Tapasztó<sup>1</sup>, Péter Nemes-Incze<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Nanoszerkezetek Laboratórium, Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézet, Energiatudományi Kutatóközpont, 1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 29-33

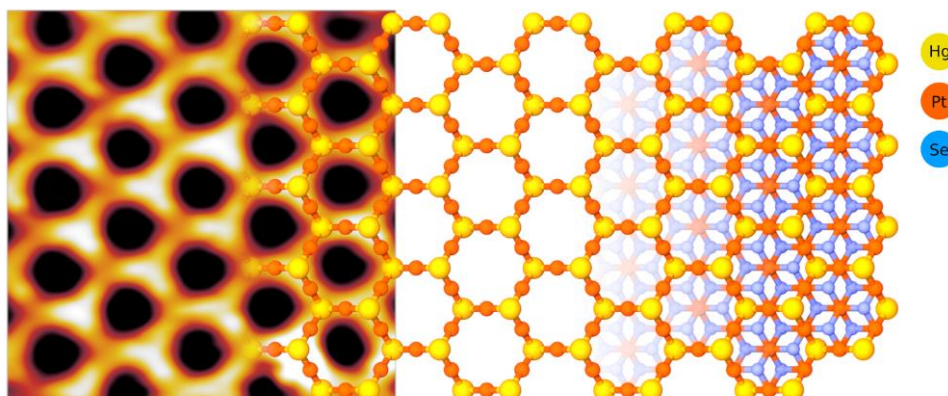
<sup>2</sup>ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Biológiai Fizika Tanszék, 1117 Budapest

<sup>3</sup>Wigner Fizikai Kutatóközpont, Szilárdtestfizikai és Optikai Intézet, 1121 Budapest

<sup>4</sup>Czech Geological Survey, 152 00 Prague, Czech Republic

A kvantum spin-Hall (KSH) szigetelők kétdimenziós topologikus anyagok, amelyek a közelmúltban óriási érdeklődést váltottak ki az alacsony fogyasztású elektronikától a kvantumszámításig terjedő alkalmazások ígéretének köszönhetően. Ezen a területen nagy kihívást jelent a nagy tiltott sávú KSH anyagok azonosítása, amelyek lehetővé tennék szobahőmérsékleten a disszipációmentes vezetést az élállapotokon. Megmutatjuk, hogy egy réteges ásvány, a Jacutingaite ( $Pt_2HgSe_3$ )<sup>[1]</sup> a KSH állapotot valósítja meg a Kane-Mele modell<sup>[2]</sup> keretein belül. Ultra-nagy vákuumú ( $5 \cdot 10^{-11}$  Torr) és alacsony hőmérsékletű (9K) pásztázó alagútmikroszkóp (STM) segítségével 110 meV-os tiltott sávot mértünk, és a tömbi kristály egyrétegű lépcsői mentén azonosítottunk az élállapotokat. A tiltott sáv topologikus természetére utal, hogy az STM mérésekben az élállapot mentén nem figyelhető meg visszaszórásra utaló kvázirészecske interferencia. A jacutingaite az első kísérleti megvalósítása a régóta kutatott

Kane-Mele szigetelőnek, amely ráadásul levegőn stabil és legalább két rétegig sikerült exfoliálnunk. Megmutattuk, hogy a jól bevált száraz-transzfer technikákkal heterostruktúrákba integrálható más kétdimenziós anyagokkal<sup>[3]</sup>. Ezáltal sikerült kiterjeszteni a rendelkezésünkre álló kétdimenziós anyagok tárházát egy nagy tiltott sávú KSH szigetelővel.



Jacutingaite ( $\text{Pt}_2\text{HgSe}_3$ ) atomi felbontású topográfiai STM képe (bal oldal) és  $\text{Pt}_2\text{HgSe}_3$  atomi szerkezete, felülnézetben a (001) síkon. A Pt és Hg atomok egy méhsejtrácsot alkotnak, ami a Kane-Mele szigetelő egyik alapfeltétele.

#### Könyvészet

- [1] Vymazalova Anna et al, Can. Mineral. 50, 431–440 (2012)
- [2] Charles Kane & Eugene John Mele, Phys. Rev. Lett. 95, 226801 (2005)
- [3] Konrád Kandrai et al, Nano Lett. 20, 7, 5207–5213 (2020)
- [4] Sidi Fan et al, 2D Mater. 7 022005 (2020)
- [5] Antimo Marrazzo et al, Phys. Rev. Lett. 120, 117701 (2018)

### ***HDu5.1. Diszperziókompenzáló eszköz fejlesztése szub-ps-os lézerhez***

**Szipócs Róbert**

R&D Ultrafast Lasers Kft.

Az R&D Ultrafast Lasers Kft. 1997 óta foglalkozik ultragyors, azaz pikoszekundumos illetve femtoszekundumos lézerek kutatásával, fejlesztésével és kissorozatú gyártásával. A cég egy akadémiai kutatóintézetben, az MTA SZFKI-ban (jelenleg Wigner FK) szabadalmaztatott találmány, az ú.n. csörpölt tükrök hasznosítására jött létre. Az utóbbi években egyre fontosabb szerepet játszanak a szub-ps-os (0,5-1 ps) tartományban működő ultragyors lézerek a nemlineáris mikroszkópiában, azon belül is a CARS illetve optikai szálak átvitelt alkalmazó mikroszkópiában, miután ezen lézerek sávzélessége tipikusan az 1-2 nm-es tartományba esik, ami jól illeszkedik a molekuláris rezgések sávzélességéhez, illetve kevésbé érzékenyek az optikai szálakban fellépő diszperziós hatásokra. Előadásunkban egy olyan diszperziókompenzáló eszköz fejlesztéséről számolunk be, ami ezen lézerek megépítéséhez nélkülözhetetlenek, a korábban már említett csörpölt tükrös technológián alapulnak, ugyanakkor megfelelő mechanikai, elektronikai és szoftveres fejlesztéseket is igényelnek a szub-ps-os lézerekben történő alkalmazásukkor.

## ***HDu5.2. A fém 3D nyomtatás anyagtudományi vonatkozásai***

**Temesi Ottó**

H-ION Kft.

Napjaink egyik legdinamikusabban fejlődő gyártástechnológiája az additív gyártás vagy más néven 3D nyomtatás. Az alkalmazható anyagok skálája folyamatosan bővül a műanyagoktól indulva, a kompozitokon, kerámiákon keresztül egészen a fémekig.

A fém 3D nyomtatás esetén az alkalmazható alapanyagok alapvetően nem színfémek hanem ötvözetek.

A technológia felfutási szakaszban van, így alkalmazási területei is folyamatosan bővülnek, ahogy az alkalmazható anyagok is.

A bővülés alapját számos anyagtudományi, valamint technológiai kutatás-fejlesztés képezi.

Ezen alakadási technológia térhódítását alapvetően meghatározza - számos egyéb tényező mellett - az alkalmazható anyagok fajtszámának növekedése.

Itt is - mint sok helyen - az anyagtudomány és technológiai kutatás-fejlesztéseket ipari problémák indukálják azzal a céllal, hogy minél különlegesebb anyagokból, egyedi szerkezeteket, struktúrákat lehessen létrehozni. Ezenkívül a technológia előnyeit kihasználva, új anyagtulajdonságok vagy meglévő tulajdonságok optimalizálása legyen elérhető. Ezáltal lehetőséget biztosítva jelenlegi és jövőbeli technológia problémák megoldására vagy technológiai ugrások megvalósítására.

Néhány példa a kapcsolódó anyagtudományi és technológia kutatás-fejlesztési területekre, célokra:

- Nyomtatási technológia fejlesztése.
- Ötvözet tulajdonságok optimalizálása, javítása az eljárás alkalmazása során.
- Új generációs szuperötvözetek tervezése, előállítás és alkalmazása a fém 3D nyomtatásban.
- Más módon nem megmunkálható speciális vagy új generációs ötvözet típusok alakadás megvalósítása.
- Egyedi - akár inhomogén - tulajdonságú alkatrészek létrehozása
- Extrém körülmények (hőmérséklet, oxidáció, bioinertitás, sugárzás stb.) között alkalmazható anyagok, alkatrészek létrehozása

Tevékenységünk ezen célokra koncentrált határterületi szemléletmóddal anyagtudományi, fémfizikai, metallurgiai és kapcsolódó technológiai területeken.

## ***HDu5.3. Ipari újdonságok a vákuumtechnika alkalmazásában***

**Lovics Riku**

KON-TRADE+ Kft.

Az ipari 4.0 fejlesztések nem kerültek el a vákuum technika világát sem és az egyszerű szivattyú is okos lett. A kommunikáció segítségével plusz adatokat nyerhetünk ki a gépünk képességeiről és állapotáról. Jobban tervezhető karbantartási időkkel, és előre jelezhető meghibásodásokkal. A megnövekedett érzékelők és finomabb vételeknek hála az okos szivattyúk folyamata tervezhetővé válik és ezzel jelentős energia megtakarítás érhető el, frekvencia váltók mindennaposok lettek és még az egyszerű fűtőszálat is lehet okosan irányítani. A költségek kezelése és kordában tartása ugyan csak cél. Ezért is fontos, hogy olyan folyamatokat fejlesszünk melyek során az egyre dráguló hélium kiváltható és helyettesíthető.

## ***HDu5.4. Kisvállalkozás egy nagy vállalkozásban – optikai rendszerek fejlesztése plazmadiagnosztikai és fúziós kutatásokhoz***

**G. Szabó István**

OPTIKA Mérnökiroda Kft.

Az OPTIKA Mérnökiroda Kft. több mint másfél évtizede fejleszt és gyárt különböző optomechanikai rendszereket plazmadiagnosztikai és neutronos képalkotási kutatásokban való használatra.

Az elmúlt 3 évben több új, egyedi optikai rendszer készült a kisvállalkozás kivitelezésében, segítve ezzel végső soron a hazai kutatói részvételt a széleskörű nemzetközi összefogással megvalósítani tervezett fúziós energiatermelés nagy vállalkozásában. A rendszerek fejlesztése a Wigner FK és az EK hazai kutatócsoportok igényei alapján, a kutatókkal való szoros együttműködés keretében történt ill. történik.

A Japánban lévő JT60 SA nagyberendezéshez egy európai konzorcium keretén belül a Wigner FK-ban készült viedeodiagnosztikai portba került beépítésre a vállalkozás által tervezett és gyártott egyedi nagylátószögű (80 fokos) objektív 2019-ben.

2021-ben a Wendelstein W7-X berendezés nyalábemissziós spektroszkóp diagnosztikája számára készült egyedi széles spektrumon (340-930nm) működő objektív és hozzá illesztett, 132 db, egyenként 8m hosszú száloptikai szállal szerelt átviteli rendszer.

A Wigner FK-ban illetve a EK-ban az ITER nagyberendezés számára zajló SPI SHATTERED PELLETT diagnosztikai kísérleti berendezéshez egyedi 128db, mindkét végén rendezett száloptikai egység és extra nagy fényáramú (akár 26000 lm) LED megvilágítók segítik a több mint 2x-es hangsebességgel repülő fagyott H<sub>2</sub> pellet megfigyelését.

2022-ben egyedi száloptikai egység készült az OPD PELLETT diagnosztikához, valós idejű APD megfigyelés lehetővé tételéhez.

A Megújuló Energiák Nemzeti Laboratórium keretein belül az EK-ban zajló kutatásokhoz –mely szintén az emberiség jövőjét meghatározó nagy vállalkozás része- 2022-ben indul egy fejlesztési projekt a korábban a vállalkozás által épített NORMA neutronos képalkotó berendezés továbbfejlesztésével. A cél 30 mikrométer alatti térbeli felbontás elérése nagy fényerő és könnyű, a mérési időt lerövidítő kezelhetőség mellett.

## ***HDu5.5. Schlieren képalkotás - okostelefonnal és pelletdiagnosztikaként***

**Vavrik Márton**

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Schlieren képalkotással vizualizálhatóak a levegő sűrűségváltozásai, áramlásai, például egy gyertya lángja, izzóból felszálló meleg levegő, a lélegzet vagy köhögés maszkban és maszk nélkül, a kéz- és testmeleg, illetve bármilyen nagyobb, például dezodor vagy hajszárító által okozott légmozgás. A módszer alkalmas üveglapok, átlátszó műanyag eszközök különböző gyártási hibáinak felfedezésére is.

A módszer során egy fényforrás fényét egy parabolatükörrel fókuszáljuk, egy kamera szenzorára. Ha a parabolatükör előtt bármilyen törésmutatógradienst hozunk létre, az a kamerára térő nyalábot enyhén kitéríti. Ha a fénynyaláb egy részét kitakarjuk, például egy borotvapengével, az az eltérülő fénynyalábra jobban/kevésbé hat, így a kamerában intenzitásbeli változásokat észlelhetünk. Az előadásom során bemutatok gyorskamerás kísérletek videóit, és hogyan alkalmaznánk fagyasztott hidrogén pelletek hajtógázának vizsgálatára.

Ez az általában laborban elvégzendő kísérlet elvégezhető mindösszesen egy parabola tükörrel és egy okostelefonnal. Így könnyebben szállítható és egyszerűbben bemutatható, hisz egy testben van a szükséges fényforrás és kamera, illetve utóbbi kis apertúrája lehetővé teszi, hogy eltakarás sem

szükséges a kísérlet elvégzéséhez, mert ezt maga az apertúra végzi el. Mivel a főnyalábot érzékeljük, a kísérlethez nem szükséges sötétítés sem.

Előadásomban bemutatom a Schlieren képalkotó eljárás működését, az okostelefonos megközelítés előnyeit és hátrányait a tradicionális megközelítéshez képest, és lehetőség szerint előben (ha nem, akkor videón) néhány kísérletet, amit ezzel a módszerrel laboron kívüli eseményeken is be lehet mutatni.

## ***HDu6.1. A relativitáselmélet magyar megalapozói, továbbfejlesztői - Akiktől még Einstein is tanult.***

### ***Az elektron relativisztikus mozgása-Einsteinnel kapcsolatos tévhitek***

**Varga János**

Székesfehérvári Széchenyi István Műszaki Technikum

Sokan gondolják úgy, hogy a magyaroknak semmilyen tudományos hozzájárulásuk sincs a relativitáselméletekhez. Ez a kijelentés ebben a formában nem állja meg a helyét. A magyarok igen is sokat tettek egyrészt a relativitáselmélet megalapozása, másrészt annak további kutatása, továbbfejlesztése terén. Még a relativitáselmélet alapgondolata is egy magyar tudós, BOLYAI JÁNOS agyában fogant meg először, aki majdnem 80 évvel Einstein előtt leírja azt a gondolatát, miszerint a tér szerkezetét a gravitáció határozza meg. Ő dolgozta ki „a tér abszolút igaz tudományát”, megteremtette azt a matematikai módszert, az első nemeuklideszi geometriát, amelynek egy továbbfejlesztett változata képezi az általános relativitáselmélet matematikai alapját. EÖTVÖS LORÁND a második „alapozó”, aki 1913 körül megnyugtatóan bizonyítja, hogy a súlyos és a tehetetlen tömeg ugyanaz. Ez az egyenlőség az ekvivalenciaelv alapja, az általános relativitáselmélet egyik axiómája. A harmadik magyar „alapozó” BAY ZOLTÁN, aki hihetetlen pontossággal végrehajtott mérések, kísérletek alapján állapította meg, hogy a fénysebesség állandó, a fényforrás mozgásától, a mérő személytől, a fény erősségétől, színétől/frekvenciájától független. Ez a speciális relativitáselmélet egyik axiómája. LÁNCZOS KORNÉL matematikai fizikus, aki matematikailag igazolta, hogy az általános relativitáselméletnek nincs két fundamentális alapja, tudniillik az úgynevezett téregyenletek és mozgásegyenletek, hanem „a téregyenletekből a mozgásegyenleteket le lehet vezetni. Egy másik világraszóló eredménye pedig az volt, hogy sikerült neki a gravitáció-elektromágnesség-kvantummechanika összekapcsolása, egységes elméletbe ötvözése, és e terén magát Einsteint is megelőzte, DOBÓ ANDOR matematikus a speciális relativitáselméletbe bevitte a Bolyai-geometria „k” konstansát, bizonyítva, hogy ily módon többféle speciális relativitáselmélet létezik. A bolygó mozgás esetén a „k” értéke végtelen, ha a bolygó pályája nem fordul körbe a Nap körül. Ha a pálya a Nap körül forog, a „k” az egyhez közeli értéket vesz fel, valamint, hogy a görbült térben létezik a fénynél is nagyobb sebesség, még hozzá úgy, hogy az a görbületi „k” értéktől függ. TOPA ZSOLT fizikus kimutatta, ha a Bolyai-féle „k” értéke nagyobb, mint egy, akkor az egyenletek szerint anyag-antianyag részecskepár gerjed. GÁBOS ZOLTÁN romániai magyar fizikus az általános relativitáselmélet alapegyenletében szereplő kozmológiai állandó ( $\Lambda$ ) és a Bolyai féle „k” között talált összefüggést.

JÁNOSSY LAJOS fizikus pedig kidolgozott egy, a relativitáselmélet ismert formalizmusával egyenértékű matematikai formalizmust, de az ismert jelenségeket elemző tárgyalása attól bizonyos mértékben különbözik.

Einstein maga is tanult másoktól, többek között magyaroktól. Pl. SZILÁRD LEÓ magyarázta el neki az általa felfedezett nukleáris láncreakció elvet, KÁRMÁN TÓDORTól bizonyos áramlástan törvényeket tanult, SELÉNYI PÁL döntötte meg Einstein túsugárzás elméletét, bizonyítva, hogy a fénysugarak elektromágneses gömbhullámok és minden irányban, tehát nagy térszög esetén is interferenciaképesek.

*Az elektron relativisztikus mozgását az alábbi, szerző által levezetett egyenletek írják le:*

$$v(U)_{rel} = \frac{\sqrt{2eU\sqrt{e^2U^2+m_0^2c^4}-2e^2U^2}}{m_0c}$$

amelyben  $v(U)_{rel}$  = az elektron relativisztikus sebessége (m/s),  $e$  = az elektron töltésének abszolút értéke (C),  $m_0$  = az elektron nyugalmi tömege (kg),  $U$  = a gyorsítófeszültség(V),  $c$  = fénysebesség (m/s). Az  $e$ , és  $m_0$  konstansok beépítése után az alábbi

$$\text{egyenlet adódik: } v(U)_{rel[km/s]} = \sqrt{U\sqrt{0,046268 \cdot U^2 + 1,206 \cdot 10^{10}} - 0,6883 \cdot U^2}$$

Einsteinnel kapcsolatosan számtalan tévhit él a köztudatban és található a nyomtatott sajtóban, nem is beszélve az internetről, amelyik a könnyű elérhetőség, illetve letölthetőség révén igen hatékonyan járul hozzá ezek terjesztéséhez. Az előadás számos tévhitet cáfol meg. Erről részletesebben a szerző YouTube-on elérhető **Einsteinnel kapcsolatos tévhit**ek c. előadásában hallhatunk, amely 2022.07.02-án hangzott el Nagyenyeden, a XV. Tudomány- és Technikatörténeti Konferencián

### ***HDu6.1. Gömbszimmetrikusan besugárzott téridők vizsgálata geometriai optikai közelítésben.***

**Kovács Ádám**

Szegedi Tudományegyetem

Az általános relativitáselmélet a gravitációt téridő-görbületként kezeli. A gravitáció forrása minden anyag és energiaforma, melyek energia-impulzus tenzora az Einstein-egyenleten keresztül határozzák meg a gravitációt. A gömbszimmetria feltevése nagyban egyszerűsíti a tárgyalást. Az egyik legegyszerűbb energia-impulzus tenzor a null por, mely sugárzást ír le nagyfrekvenciás vagy geometriai optikai közelítésben. Ebben a közelítésben a sugárzás hullámhossza jóval kisebb a téridő görbületi sugaránál, így a sugárzási mező belső fejlődése nincs hatással a gravitáció dinamikájára. A null por tehát tetszőleges polarizációjú, egyirányú hullámok inkoherens szuperpozíciójának tekinthető, mely geometriai optikai közelítésben modellez elektromágneses vagy gravitációs hullámokat.

A null por által generált gömbszimmetrikus téridőt Prahalad Chunnilal Vaidya találta 1943-ben. Alakja emlékeztet az Eddington-Finkelstein koordinátákban felírt Schwarzschild-téridőre, azzal a különbséggel, hogy a tömeg helyét egy advanzsált vagy retardált időtől függő függvény veszi át. Előbbi esetben a tömegfüggvény monoton növekszik, amit befele haladó sugárzás okoz. Utóbbi esetben a tömegfüggvény csökkenő, a sugárzás kifelé halad, ez egy sugárzó égitest külső tartományát írja le.

Míg a Schwarzschild-téridő egyaránt felírható idő- és térkoordináta, null- és térkoordináta vagy két null koordináta segítségével, a Vaidya-téridő dupla null koordinátás alakja csak speciális (lineáris vagy exponenciális) tömegfüggvény esetén ismert. A dupla null alak fontossága a téridő kauzális szerkezetének vizsgálatában fontos.

A tanulmányban a Vaidya-téridő dupla null koordinátákba transzformálásának menetét vizsgálom, melynek részletei nem találhatók meg a szakirodalomban. Ennek célja kettős volt. Egyrészt szeretném megvizsgálni, hogy vannak-e más tömegfüggvények is, melyek esetén lehetséges a transzformáció. Másrészt szeretnék olyan tömegfüggvényt találni, aminél a transzformáció végrehajtható a Vaidya-téridő legegyszerűbb általánosításában, az elektromosan töltött Vaidya-téridőben. Ezek a vizsgálatok folyamatban vannak.

### ***HDu6.3. Nagyenergiás asztrofizika kisműholdakkal***

**Pál András**

Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont

A gravitációs hullámforrásokhoz kapcsolható, elektromágneses tartományban is megfigyelhető jelenségek közül az egyik legérdekesebb csoportot a gamma-kitörések adják. Ezen kitöréseket a földi légkör elnyelő hatása miatt csak a világűrben észlelhetjük. Az előadásban összefoglaljuk azokat magyar fejlesztésű és vezetésű műholdas projekteket - beleértve az első hazai asztrofizikai kisműholdat a GRBA $\alpha$ -t is - melyeknek célja ezen kitörések detektálása valamint technológiai demonstráció keretében egy későbbi műholdflotta megalapozása.

### ***HDu6.4. Hiperbolikus-parabolikus kényszerek és kettős feketelyukak konstrukciója***

**Raksányi Dániel**

Wigner Fizikai Kutatóközpont

Nemrégiben egy új felírását mutatta be az Einstein egyenletek kényszereinek Rácz István. A konformális módszerrel szemben, itt a változók megtartják a fizikai tulajdonságait a metrikának. Az új módszer lényege, hogy hiperbolikus-parabolikus egyenletrendszerekként írjuk fel a kényszereket, majd szuperponált feketelyukakra kezdeti határérték problémaként megoldjuk. Az előadás során a kettős feketelyuk-kezdőadat konstrukcióját ismertetjük.

### ***HDu7.1. Nemlokális Andreev reflexió Andreev molekuláris állapotok felhasználásával***

**Zsurka Eduárd, Plaszkó Noel, Rakyta Péter és Kormányos Andor**

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Kvantumosan összefonódott állapotban levő részecskéknek várhatóan fontos felhasználási területei lehetnek, pl a kvantumkommunikációban és kriptográfiában. Ezért fontos az olyan fizikai rendszerek tanulmányozása, amelyek segítségével ilyen összefonódott részecskék állíthatók elő. Szilárdtestfizikai rendszereket tekintve az egyik ígéretes javaslat összefonódott elektronállapotok keltésére az szupravezetőkben található Cooper-párok felhasításán alapul. Cooper pár felhasítás alatt az a folyamatot értjük, amely segítségével a Cooper párt alkotó két elektron térbelileg elválasztjuk oly módon, hogy továbbra is összefonódottak maradjanak. Ez legkönnyebben az ún. nemlokális Andreev reflexió időtükrözött folyamatoként valósulhat meg.

A legtöbb Cooper-pár felhasításra vonatkozó korábbi javaslat két kvantum pöttyön alapuló rendszereket használt. Grafén-szupravezető rendszert feltételező javaslat is született[1] és vonatkozó kísérleti eredmény is ismert[2]. Azonban a Ref[1]-ben található javaslat azt kívánja, hogy a grafén töltéssűrűségét nagyon pontosan lehessen kontrollálni, ami kísérletileg nehéz. Ez motiválja azt, hogy olyan elrendezéseket próbáljunk találni, amelyek kísérletileg könnyebben megvalósíthatóak.

Munkánkban egy olyan elrendezést tanulmányoztunk, amely két grafén rétegből áll, amelyek két oldalt szupravezetőkhöz csatlakoznak. Nagyon hasonló eszközt nemrégiben kísérletileg is megvalósítottak[3]. Ha a két grafén réteg közötti vertikális távolság kisebb, mint a szupravezető koherenciahossza, akkor az egyes grafén rétegekben létrejövő Andreev kötött állapotok hibridizálódni tudnak és ún. Andreev molekuláris állapotokat hoznak létre[4]. Feltételezzük tovább, hogy a felső és az alsó grafén réteghez is egy-egy normál elektróda kapcsolódik. Ebben a rendszerben tanulmányoztuk a nemlokális Andreev reflexió valószínűségét. Azt találtuk, hogy a nemlokális Andreev reflexió valószínűsége nagyobb lehet, mint egyéb, a Cooper-pár felhasítás szempontjából kedvezőtlen szórási folyamatok valószínűsége és ez az eredmény nem függ nagyon érzékenyen a grafén rétegben levő töltéssűrűségétől. Ilyen szempontból előnyös lehet az Ref[1]-ben javasolt rendszerhez képest.



- [1] J. Cayssol, Phys. Rev. Lett. 100, 147001 (2008).  
 [2] G.-H. Park, K. Watanabe, T. Taniguchi, G.-H. Lee, and H.-J. Lee, Nano Lett. 19, 9002 (2019).  
 [3] D. I. Indolese, P. Karnatak, A. Kononov, R. Delagrèze, R. Haller, L. Wang, P. Makk, K. Watanabe, T. Taniguchi, and C. Schönerberger, Nano Letters 20, 7129 (2020).  
 [4] J.-D. Pillet, V. Benzoni, J. Griesmar, J.-L. Smir, and C. O. Girit, Nano Letters 19, 7138 (2019).

## ***HDu7.2. Elektromosan vezérelt szinglet-triplet átmenet triangulén $S=1$ láncokban***

**Oroszlány László**

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Mishra és munkatársai a közelmúltban sikeresen szintetizáltak grafén alapú triangulén láncokat. Ezen rendszerek alacsonyenergiás mágneses gerjesztései nagy pontossággal írhatók le  $S=1$ -es spin láncok segítségével. Munkánk során ezen rendszerek mágneses gerjesztéseit vizsgáljuk a mágneses erőteltség segítségével. Első elvű számításokból meghatározzuk a spin láncokat leíró bilineáris és bikvadrátikus kicserélődési kölcsönhatásokat. Ezt követően, három lehetséges kísérletre teszünk javaslatot melyben a páratlan hosszú nyílt láncok alapállapotában triplett/szinglett átalakulás figyelhető meg.

## ***HDu7.3. Moiré-mintázatok $\text{MoTe}_2$ /grafén heteroszerkezetben***

**Péter Vancsó<sup>1</sup>, Trung T. Pham<sup>2</sup>, Márton Szendrő<sup>1</sup>, Krisztián Palotás<sup>3,4</sup>, Roshan Castelino<sup>2</sup>, Mehdi Bouatou<sup>5</sup>, Cyril Chacon<sup>5</sup>, Luc Henrard<sup>2</sup>, Jérôme Lagoute<sup>5</sup> and Robert Sporken<sup>2</sup>**

Institute of Technical Physics and Materials Science, Centre for Energy Research Budapest, Hungary

Namur Institute of Structured Matter (NISM), Department of Physics, University of Namur, Namur, Belgium

Institute for Solid State Physics and Optics, Wigner Research Center for Physics, Budapest, Hungary  
 MTA-SZTE Reaction Kinetics and Surface Chemistry Research Group, University of Szeged, Szeged, Hungary

Laboratoire Matériaux et Phénomènes Quantiques, CNRS-Université de Paris, Paris, France

A kétdimenziós anyagokból felépülő heteroszerkezetekben úgynevezett Moiré-mintázatok alakulhatnak ki, amelyek jelentős mértékben képesek befolyásolni a rendszer elektronszerkezeti tulajdonságait. A különböző elforgatási szöghöz tartozó Moiré-mintázatok vizsgálata mára egy önálló kutatási területté vált (twistronics), ennek az egyik legismertebb példája az elforgatott kétrétegű grafénban megfigyelt nem-konvencionális szupravezetés [1]. Előadásomban  $\text{MoTe}_2$ /grafén heteroszerkezetben megjelenő Moiré-mintázatok pásztázó alagútmikroszkóp (STM) és elektronszerkezeti számítások (DFT) segítségével feltárt tulajdonságait mutatom be. A molekulásugaras epitaxia (MBE) módszer segítségével grafénra növesztett  $\text{MoTe}_2$  mintákon végzett méréseink számos Moiré-mintázatot mutattak, amelyek jelentős mértékben függtek a mérésben alkalmazott feszültségtől. Számolásaink alapján sikerült értelmeznünk a megfigyelt Moiré-mintázatot, rámutatva a rétegek közötti csatolások jelentőségére, amely magasabb rendű Moiré-mintázatok megjelenéséhez vezet [2].

[1] Y. Cao et al., Nature 556, 43-50 (2018).

[2] T. T. Pham et al., NPJ 2D Mater. Appl. 6, 48 (2022).

## ***HDu7.4. Kvantum ponthibák első elvű vizsgálata szilíciumban***

**Udvarhelyi Péter<sup>1,2</sup>, Somogyi Bálint<sup>2</sup>, Thiering Gergő<sup>2</sup>, Gali Ádám<sup>1,2</sup>**

1 Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

2 Wigner Fizikai Kutatóközpont

A szilícium egy ideális hordozó anyag kvantum ponthibák számára. Nagy tisztaságú, izotópdúsított minták állnak rendelkezésre, valamint magas szintű mikro-megmunkálási technikák lehetővé teszik fotonikus eszközök integrálását ebbe az anyagi platformba. Ezek megnövelik a kvantum hibák spin és optikai tulajdonságainak minőségét. Számos kvantum emittert már évtizedekkel korábban felfedeztek szilíciumban, azonban csak a közelmúltban sikerült egyedi emittereket izolálni, ami elengedhetetlen feltétel a kvantum kommunikációs hasznosításukhoz. Mivel ezek ígéretes egyfoton források egylapkás (on-chip) optikai rendszerekhez, ezért újra feléledt az tudományos érdeklődés e ponthibák tulajdonságainak részletes vizsgálatára.

Magas szintű sűrűség funkcionál elméletet használva, numerikus számításokkal azonosítjuk különböző szilíciumbeli emittereket atomi konfigurációját és meghatározzuk az alkalmazások szempontjából fontos magneto-optikai paramétereiket. Továbbá mikroszkópikus modellekkel magyarázzuk a kísérletekben tapasztalt jelenségeket.

Kutatásunk során azonosítottuk a G [1] és W [2] egyfoton forrásokat szilíciumban. Az előbbi igazán ígéretes kvantum hiba a telekommunikációs O-sávban emittál, ahol az optikai szálak transzmissziós vesztesége minimális. Továbbá optikailag detektált mágneses rezonanciát (ODMR) is alkalmaztak a hiba tripllett állapotában. Mi meghatároztuk ennek a tripllett gerjesztett állapotnak az energia pozícióját és a zérustér felhasadási (ZFS) paramétereit, amik kulcsfontosságúak a kvantumbit manipulációjához. Valamint meghatároztuk a hiperfinom csatolási paramétereit közeli szilícium magspinekhez, amik kvantumregiszter alkalmazásokhoz lehetnek ígéretesek. Végül felfedtük a mikroszkópikus eredetét annak az optikai finomszerkezetnek, amit a hiba zérusfonon vonalában (ZPL) kísérletileg kimutattak. Megmutattuk, hogy ez a hiba rácsközi helyek között történő, forgás-szerű alagutazásával írható le. Továbbá a W színcentrumot a hármas szilícium intersticiális komplex egy kiterjedt konfigurációjával azonosítjuk, ami C3 pontszimmetriát mutat az {111} kristálytani irányokban. Megmutatjuk, hogy az ismert konfigurációk közül ennek a legkedvezőbb a képződési energiája, valamint egyedül ebben lehetséges optikai gerjesztés kötött exciton pár formájában. A számított zérusfonon energia, valamint a lokalizált rezgési módusok energiája jó egyezést mutat a kísérleti adatokkal.

[1] Identification of a telecom wavelength single photon emitter in silicon, P. Udvarhelyi et al., PRL, 127 (19), 196402 (2021)

[2] Detection of Single W-Centers in Silicon, Y. Baron et al., ACS Photonics (2022)

## ***KDe1.1. Nehézionfizika az ALICE kísérletben és tovább***

**Barnaföldi Gergely Gábor**

Wigner Fizikai Kutatóközpont

Új mérföldkőhöz érkeztek a Világegyetem korai pillanatait célzó nehézionfizikai kutatások. Az Univerzum őanyagát, azaz a forró sűrű kvark-gluon plazma (QGP) tulajdonságai vizsgáló kísérletek újraindultak az Európai Részecskefizikai Kutatóközpontban (CERN). Az elmúlt években megújult a CERN legnagyobb energiájú részecskegyorsítója, a Nagy Hadronütköztető (LHC), amely 2022. elejétől már folyamatosan működik. A most következő években az LHC 3. ún. Run-3 kísérleti programja folyik, amely a tervek szerint a 2026-os 3. Nagy Leállásig (LS3) tart.

Előadásomban bemutatom a strukturálisan megújult, az ultra-relativisztikus nehézionfizikai kutatásokat célzó, Nagy Ionütköztető Kísérleti (ALICE) berendezést, kiemelve a Magyar ALICE Csoport szerepét e kutatás-fejlesztésekben. Kitérek a új detektor nyújtotta mérési lehetőségekre, kutatási irányokra, és bemutatom a további ALICE3 fejlesztést is.

## KDe1.2. Atommagadatok mérése az EK BNC-ben

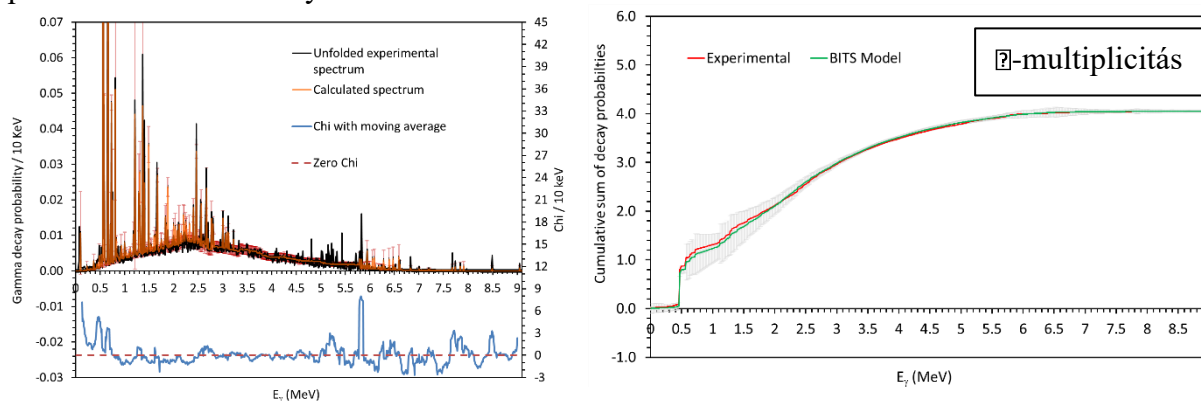
**Belgya Tamás és Szentmiklósi László**

Energiatudományi Kutatóközpont, Energia- és Környezetbiztonsági Intézet, Nukleáris Analitikai és Radiográfiai Laboratórium

A Budapesti Neutron Centrum (BNC) koordinálásával évtizedek óta folynak magszerkezet és atommagreakció kutatások a Budapesti Kutatóreaktor (BKR) neutronjainak felhasználásával. Az utóbbi két évtizedben Európai Unió (EFNUDAT, ERINDA, CHANDA)<sup>1)</sup> felhasználói programok támogatásával főként atommagadatmérésekre koncentráltunk. Jelenleg a magadatmérések oktatását támogató ARIEL<sup>2)</sup> programban veszünk részt.

Az uniós projektek mellett fontos partnerünk a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (IAEA), ahol legutóbb a fotonukleáris adatok és a foton erősség függvény (PSF) koordinált kutatásban működtünk közre<sup>3)</sup>. E kutatások még ma is folynak a Prompt Gamma Aktivációs Analitikai (PGAA) berendezésen mért sugárzásos neutron befogási spektrumok mérésével és modellezésével. A modellezést jelenleg egy saját fejlesztésű programmal végezzük, a detektor válaszfüggvénnyel korrigált spektrumokon<sup>4)</sup>. A modellező program pontos működésének publikálása folyamatban van.

Az előadásomban a teljes hibaszámítással kiegészített modell számítási eredményeit a  $^{113}\text{Cd}(n,\gamma)^{114}\text{Cd}$  spektrumon mutatom be. A modellhez Gogny-HFB + QRPA nívósűrűséget és a dipólus PSFs-eket Goriely és munkatársai cikkéből<sup>5)</sup> vettük.



- 1) European Facilities for Nuclear Data Measurements, EFNUDAT, <https://cordis.europa.eu/project/id/36434>  
European Research Infrastructures for Nuclear Data Applications; ERINDA, <https://cordis.europa.eu/project/id/269499> solving CHallenges in Nuclear Data, CHANDA, <https://cordis.europa.eu/project/id/605203>
- 2) Accelerator and Research reactor Infrastructures for Education and Learning, ARIEL, <https://cordis.europa.eu/project/id/847594/>
- 3) Coordinated Research Project on Photonuclear Data and Photon Strength Functions <https://www-nds.iaea.org/CRP-photonuclear/>
- 4) T. Belgya, L. Szentmiklósi, Monte-Carlo calculated detector response functions to unfold radiative neutron capture spectra, Nucl. Instruments Methods A 991 (2021) 165018. doi:10.1016/j.nima.2021.165018.
- 5) S. Goriely, S. Hilaire, S. Péru, The Gogny-HFB+ QRPA dipole strength function and its application to radiative neutron capture cross section, Phys. Rev.C. 98 (2018) 14327

### ***KDe1.3. Kísérleti nukleáris asztrofizikai mérések Debrecenben***

**Csedreki László**

Atommagkutató Intézet (ATOMKI)

A Debrecen-i Atommagkutató Intézet (ATOMKI) több évtizedes kutatómunkájának köszönhetően a világ élvonalához tartozó kísérleti nukleáris asztrofizikai vizsgálatok állandó szereplője. Ez részben az ATOMKI részecskegyorsító centrumának, részben a több évtizedes tudományos együttműködéseknek köszönhető olyan kutatóintézetekben, (többek között) mint a Japán RIEKEN Nishina Centrum, az olaszországi Gran Sasso Nemzeti Laboratórium vagy a németországi Felsenkeller Laboratórium.

Az ATOMKI asztrofizikai csoportja a csillagok energiatermelésében és a kémiai elemek keletkezésében kulcsszerepet játszó magreakciók széles skáláját kutatja. Az előadásom célja, hogy rövid áttekintést adjak ezekről az aktuálisan is folyó kutatásokról, rávilágítva az ATOMKI nemzetközi szintű szerepére a nukleáris asztrofizika területén.

### ***KDe1.4. <sup>57</sup>Co Mössbauer-források gyártása válságos időkben***

**Nagy Dénes Lajos, Bazsó Gábor, Bogdán Csilla, Péter László**

Wigner Fizikai Kutatóközpont

A Mössbauer-spektroszkópia az 1960-as években kialakult, a Mössbauer-effektuson alapuló, módszer, amelyet széleskörűen alkalmaznak az általános fizikában, szilárdtest-fizikában, mágnességtanban, kémiában, anyagtudományban, élettudományokban, földtudományokban, régészetben, sőt, az űrkutatásban is. Bár a módszer 1985 óta szinkrotronok mellett is gyakorolható, a mérések elsősorban többsége laboratóriumokban történik, és e tekintetben a jövőben sem várható változás.

A Mössbauer-spektroszkópia rohamos elterjedését az a véletlen körülmény motiválta, hogy a leghatékonyabban kezelhető Mössbauer-átmenet az <sup>57</sup>Fe magnak az első, 14,41 keV energiájú gerjesztett állapota és az alapállapot közötti,  $\frac{3}{2}^+ \frac{1}{2}^-$  (M1) átmenete. A 2012–2021 időszakban megjelent 8594 Mössbauer-publikáció 92 %-a ezt az átmenetet használta. Laboratóriumi mérések esetén ehhez <sup>57</sup>Co forrás szükséges, amelynek felezési ideje 271,8 nap, így az legfeljebb 3–4 éven át használható. Amennyiben az <sup>57</sup>Co elérhetősége – mint az 2022 februárja óta fennáll – igen sok országban nem biztosított, ez a tény válságos helyzetbe hozza a Mössbauer-spektroszkópikusok több mint felét (mintegy 1000 spektrométert, és az azokon dolgozó kb. 2500 kutatót).

Az <sup>57</sup>Co radionuklidot kis energiájú ciklotronokban lehet előállítani; olyanokban, amelyeket elsősorban orvosi radioizotópok gyártására használnak. <sup>57</sup>Co-ra vezető alternatív magreakciók, amelyekhez 18–20 MeV-es protonok, ill. 6,8 MeV-es deuteronok szükségesek:

<sup>58</sup>Ni(p,2p)<sup>57</sup>Co – a leggyakrabban használt magreakció,

<sup>58</sup>Ni(p,pn)<sup>57</sup>Ni  $\square$  36 h  $\square$  <sup>57</sup>Co,

<sup>56</sup>Fe(d,n)<sup>57</sup>Co – igen ritkán használt magreakció.

A forrásgyártás következő lépése az <sup>57</sup>Co radiokémiai elkülönítése a maradék nikkeltől (esetleg vastól); évtizedek óta ismert és publikált radio-, ill. komplexkémiai eljárás, amelynek terméke <sup>57</sup>CoCl<sub>2</sub> vizes oldat. Ezt az oldatot elektrokémiaileg kell egy alkalmas köbös fémfóliára (leggyakrabban Rh-ra) leválasztani, majd néhány órán át magas hőmérsékleten (Rh esetén 1100 °C-on) a fóliába diffundáltatni. E két utóbbi lépés részletei ugyan publikusak, de számos know-how-t is tartalmaznak.

Az előadásban szólnunk a jelenlegi helyzet geopolitikai vonatkozásairól, majd megvizsgáljuk azokat a lehetőségeket, amelyek egy összehangolt európai akció keretében e válsághelyzet kezelésére alkalmasaknak tűnnek. Példaként know-how-k alkalmazására bemutatunk egy általunk kifejlesztett eljárást az <sup>57</sup>Co források laterális aktivitáseloszlásának optimalizálására, amellyel a forrás rezonáns

önabszorpciója<sup>1</sup> jelentősen csökkenthető, és ezáltal annak effektív élettartama akár meg is kétszerezhető. Ez különösen bolygóközi missziók esetén lehet fontos, mivel az ott alkalmazott Mössbauer-spektrométerek<sup>2</sup> igen nagy aktivitású forrásokat használnak, és csupán pl. a Mars eléréséhez csaknem egy teljes felezési idő szükséges.

#### **Hivatkozások**

1. R.L. Mössbauer, *Fizikai Szemle* **24**, 353 (1974).
2. G. Klingelhöfer et al., *Science* **306**, 1740 (2004).

### ***KDe1.5. Neutroncsillagok tulajdonságai kiterjesztett lineáris szigma modellből***

**Kovács Péter**

Wigner Fizikai Kutatóközpont

A mai modern asztrofizikai megfigyelések segítségével lehetőség van arra, hogy megvizsgáljuk, hogy létezhet-e kvarkanyag a legnehezebb neutroncsillagok belsejében. A csillag külső kisebb sűrűségű részének leírására egy ún. hadronikus modellből származó állapotegyenletet használunk, míg a csillag magjának a leírásához egy vektorokkal és axiálvektorokkal kiterjesztett konsztituens kvark - mezon modellt (lineáris szigma modell egy verzióját). Az így modellezett csillagokat hívjuk hibrid csillagoknak. A vizsgálatok során azt találtuk, hogy egy extra feltételt szükséges kiróni a paraméterek között, hogy biztosítsuk nagy sűrűségeken a királis szimmetria helyreállítását. A hibrid csillagok tömeg-sugár összefüggéseinek (M(R) görbék) vizsgálatával, különböző paraméter értékek esetén, megmutatjuk, hogy a csillag sugarának maximumára vonatkozó feltétel csak alacsony szigma tömeggel teljesíthető, valamint hogy a hadronikus és kvark állapotegyenletek összefűzésére használt paraméterekre kevésbé érzékeny a stabil hibrid csillagok maximális tömege. Továbbá az aktuális asztrofizikai mérések eredményeinek felhasználásával sikerült megszorítani, az amúgy máshonnan nem igazán ismert kvark-mezon csatolás ( $g_V$ ) értékét. Az úgy nevezett zsákállandó szerepét is megvizsgáltuk, és azt tapasztaltuk, hogy az általa okozott effektus kicsi a jelen modell esetén.

### ***KDe1.6. Az asztrofizikai r-folyamat vizsgálata stabil és radioaktív nyálábokkal***

**Kiss Gábor Gyula**

Atommagkutató Intézet

A vasnál nehezebb kémiai elemek stabil izotópjainak mintegy fele az asztrofizikai r-folyamatban neutroncsillagok összeolvadása, illetve szupernóvák robbanása során keletkezik.

Az elmúlt évek során a könnyű r-magok szintézise szempontjából kulcsfontosságú magreakciók hatáskeresztmetszeteit mértük az Atommagkutató Intézetben, illetve többszáz mag béta-bomlását jellemző paramétereket határoztunk meg a RIKEN Nishina központban. Eredményeink révén mintegy nagyságrenddel sikerült csökkenteni az r-folyamat modellek magfizikai eredetű bizonytalanságát [1,2].

Előadásom során a kísérletek technikai részleteit, a mérések magfizikai és asztrofizikai következményeit tervezem bemutatni.

[1] Kiss G. G. és mts, *The Astrophysical Journal* 908 (2021) 202.

[2] Kiss G. G. és mts, *The Astrophysical Journal* – közlésre elfogadva

## ***KDe2.1. Kvantitatív optikai szuperrezolúciós mikroszkóp fejlesztése és alkalmazása***

**Erdélyi Miklós**

Szegedi Tudományegyetem

Az optikai mikroszkópok térbeli feloldását a fény diffrakciója korlátozza, ezért hagyományos módszerekkel a diffrakciós küszöbnél kisebb struktúrákról nem tudunk képet alkotni. A lokalizációs mikroszkópia egy olyan eljárás, amely során az egyedi fluoreszcens molekulákat térben és időben szétválasztva detektáljuk és nagy pontossággal (<10nm) határozzuk meg a pozíciójukat. A lokalizált molekulák koordinátáinak együttese adja a szuperfeloldású végső képet. Az előadásban egy saját fejlesztésű lokalizációs mikroszkóp működését, alkalmazási és fejlesztési lehetőségeit mutatjuk be. Célunk olyan eljárások kidolgozása, amelyek a fluoreszcens molekulák 3D, polarizáció érzékeny, többszínű detektálását teszi lehetővé. A felvett képek kvantitatív kiértékelése jelentheti a struktúrák geometriai méretének, illetve a jelölt molekulák számának és térbeli eloszlásának meghatározását. Az előadásban mindkét megközelítést példán keresztül mutatjuk be: szarkomerben közel harminc fehérjét jelöltünk meg és határoztuk meg a relatív helyzetüket <5nm-es pontossággal. A nagy térbeli feloldás lehetőséget ad a szerkezet molekuláris szintű rendezettségének vizsgálatához, modellezéséhez. A röntgensugárzás hatására bekövetkező DNS kettőtörési fókuszok méretének, számának és sűrűségének meghatározásához a lokalizációs koordinátákon klaszteranalízist végeztünk. Statisztikus módszerekkel meghatároztuk a jelölt hisztonok számát és eloszlását, vizsgáltuk a dózistól és a kezelés után eltelt időtől való függését.

## ***KDe2.2. Szub-ps-os lézerek nemlineáris mikroszkópiai alkalmazásokhoz***

**Szipőcs Róbert**

Wigner Fizikai Kutatóközpont

A Wigner FK-ban 2010 óta foglalkozunk nemlineáris mikroszkópiás módszerek, úgy mint a többfoton abszorpciós fluoreszcencia, másodharmónikus keltés (SHG), és koherens anti-Stokes Raman szórás (CARS) alkalmazásával és továbbfejlesztésével, ami magába foglalja a használt ultragyors lézerek fejlesztését is. Az utóbbi egy-két évben fejlesztéseink középpontjában az 1-2 nm-es spektrális sáv szélességgel rendelkező, ún. szub-ps-os (~0.5 - 1 ps) lézerek vannak, mert ezek sáv szélessége megfelel a molekuláris rezgések tipikus sáv szélességének, illetve kevésbé érzékenyek pl. optikai szálakban (vagy akusztó-optikai eszközökben) fellépő diszperziós hatásokra, így elősegítik például az ultragyors lézerek és kézben tartható nemlineáris mikroszkópok szálintegrálhatóságát. Előadásunkban bemutatunk néhány új szub-ps-os lézerkonstrukciót és ezek nemlineáris mikroszkópiás alkalmazását a bőrgyógyászat illetve az idegtudományok területén.

## ***KDe2.3. Nagysebességű és nagyfelbontású akusztóoptikai pásztázó rendszerek kifejlesztése lézermikroszkópiai és egyéb alkalmazásokhoz***

**Maák Pál, Erdei Gábor, Barócsi Attila, Koppa Pál, Fehér András\*, Veress Máté\* és Rózsa Balázs\***

BME Természettudományi Kar, Fizikai Intézet, Atomfizika Tanszék

\* Femtonics Kft.

A tudományos kutatás fejlődése és új eredményei nagymértékben támaszkodnak a technológia fejlődésére. A kristálynövesztés, megmunkálás és rétegfelviteli technológiák fejlődésének eredményeképpen az akusztóoptikai eszközök paraméterei is javulnak, felhasználhatósági körük jelentősen bővül. Az akusztóoptikai effektuson alapuló fényelterítés számos előnyös tulajdonságát használják ki pásztázó rendszerekben: nincs szükség mozgó mechanikai elemekre (tükrökre), a fókuszpozíció-váltási idő független a fókuszpontok relatív helyzetétől, a legnagyobb pásztázási sebesség érhető el a konkurens lehetőségek között.

A 2022. évi Magyar Fizikus Vándorgyűlésen tartott előadásban bemutatjuk az akusztóoptikai eltérítők technológiai fejlesztési eredményeit, valamint az eltérítőkől kifejlesztett pásztázó rendszereket, amelyeket jelenleg elsősorban mikroszkópokban használunk. Az általunk fejlesztett akusztóoptikai pásztázó rendszer számos előnyös funkcióval rendelkezik és új pásztázási lehetőségeket biztosít: valósídejű háromdimenziós pásztázás, ultragyors pásztázás tetszőleges térbeli alakzatok mentén, egyidejű pásztázás több optikai hullámhosszon illetve ultrarövid impulzusok pásztázása.

A pásztázó rendszer fejlesztéséhez optikai modellt használunk, amelynek egyes részleteit kiemeljük az előadás keretei között. Bemutatjuk az akusztóoptikai pásztázón alapuló kétfoton mikroszkóp alkalmazási lehetőségeit különböző idegrendszeri vizsgálatokra, az akusztóoptikai elv és vezérlés által lehetővé tett, bizonyos biológiai összefüggések mérésére optimalizált metódusokat. Tárgyaljuk az egyes alkalmazási feladatok során elérhető optikai felbontást, pásztázási tartományt, mérési sebességet és ezek korlátait. Az elérhető paramétereket a mérési követelmények és a biológiai lehetőségek vonatkozásában tárgyaljuk.

#### ***KDe2.4. Növénybiológiai minták fluoreszcencia lecsengési idejének vizsgálata***

**Lenk Sándor, Illés Levente, Steinbach Ferenc, Mayer Péter, Barócsi Attila, Sági-Kazár Máté, Solymosi Katalin, Solti Ádám**

BME Atomfizika Tanszék

A növények fluoreszcens fénykibocsátása a fotoszintetikus fényhasznosítás egyik komplementer folyamata. A különböző gerjesztési intenzitásokra és annak időbeli változására kapott fluoreszcencia jel széles körben elterjedten használt a fotokémiai és nem-fotokémiai kioltási mechanizmusok becslésére. Az általunk fejlesztett módszer a nanoszekundum alatti impulzusgerjesztésre kisugárzott, tipikusan nanoszekundumnál rövidebb fluoreszcencia lecsengési idők mérésével foglalkozik, melyeket az előbb említett kioltási mechanizmusok csökkentettek le ebbe az időtartományba. Az előadásban olyan kísérleti eredmények kerülnek bemutatásra, melyeknél a fotoszintetikus működésben gátolt etioplasztisz, illetve növényi stresszkezelésekkel befolyásolt kloroplasztisz mintákat hasonlítottunk össze kontrollcsoportok mérési eredményeivel.

#### ***KDe2.5. DNS-hibridizáció detektálása normál és különböző morfológiájú plazmonikus szerkezeteken végzett felületerősített Raman-szórással***

**Veres Miklós, Rigó István, Kámán Judit, Bonyár Attila, Shireen Zangana, Holomb Román**

Wigner Fizikai Kutatóközpont

A Raman-szórás egy rugalmatlan szórási folyamat, melynek során a beeső foton energiájának egy része átadódik a közegnek és annak normálrezgéseit – pl. a molekularezgéseket – gerjeszti. Mivel az egyes rezgéseket befolyásolja a molekula összetétele, topológiája és a kötések atomi környezete, a Raman-spektrum egyfajta ujjlenyomatként lehetővé teszi a vizsgált mintában található összetevők azonosítását, de akár a kötésszerkezetben bekövetkezett változások kimutatását is.

Legújabb eredményeink azt mutatják, hogy Raman-spektroszkópia kiválóan használható DNS-szakaszok megkülönböztetésére, és érzékenysége a plazmonikus kölcsönhatáson alapuló felületerősített Raman-szórással (SERS) jelentősen megnövelhető. Ehhez polimer mikrogömbök felületére rögzített arany nanorészecskék, illetve arany nanoszigetek alkotta SERS-hordozókat fejlesztettünk, és megvizsgáltuk azok hatékonyságát a DNS-szakaszok Raman-rezgéseinek kiterjesztése során.

A Raman-spektroszkópia alkalmas a DNS-DNS-hibridizáció detektálására is. Ez az eljárás egy molekuláris-biológiai technika, ami két nukleotidszekvencia – a minta- és a tesztaszakasz – hasonlóságát vagy azonosságát képes kimutatni, és konkrét gének vagy DNS-szakaszok mintában való jelenlétének igazolására használható. Egyre szélesebb körben alkalmazzák genetikai

rendellenességek, génhibák kimutatására is. Az általunk kidolgozott módszer során alkincsoporttal jelölt DNS-tesztzakaszokat keverünk a mintához, és az alkincsoport Raman-csúcsában bekövetkezett változásokból következtettünk a tesztzakasszal teljesen vagy részben komplementer nukleotidszekvencia jelenlétére a mintában. Az eljárás hatékonyságát két, tumormarkerként ismert egynukelotid-polimorfizmus kimutatásával demonstráltuk.

A munkát a EU H2020 FET-Open 712821 NEURAM, az NKFIH-468-3/2021 NAPLIFE és a VEKOP-2.3.3-15-2016-00002 projektek támogatták.

## ***KDe2.6. Űrbeli folyamatok laboratóriumi modellezése asztrofizikai szempontból érdekes jegek ionbombázásával***

**Herczku Péter<sup>1</sup>, Biri Sándor<sup>1</sup>, Perry A. Hailey<sup>2</sup>, Sergio Ioppolo<sup>3</sup>, Juhász Zoltán<sup>1</sup>, Zuzana Kaňuchová<sup>4</sup>, Kovács T. S. Sándor<sup>1</sup>, Rahul K. Kushwaha<sup>1</sup>, Nigel J. Mason<sup>2</sup>, Robert W. McCullough<sup>5</sup>, Duncan V. Mifsud<sup>2</sup>, Paripás Béla<sup>6</sup>, Rácz Richárd<sup>1</sup>, Sulik Béla<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Atommagkutató Intézet, Debrecen

<sup>2</sup> Centre for Astrophysics and Planetary Science, School of Physical Sciences, University of Kent, Canterbury

<sup>3</sup> Queen Mary University of London, London

<sup>4</sup> Astronomical Institute, Slovak Academy of Sciences, Tatranská Lomnica, 059 60, Slovak Republic

<sup>5</sup> School of Mathematics and Physics, Queen's University Belfast, Belfast, BT7 1NN, UK

<sup>6</sup> Miskolci Egyetem, 3515 Miskolc-Egyetemváros

Az EUROPLANET 2024 Research Infrastructure projekt keretében a debreceni Atommagkutató Intézetben egy új kutatási irányt indítottunk el a University of Kent, a Queen Mary University of London és a Queen's University of Belfast kutatóival együtt. A laboratórium jelenleg két, különböző gyorsítókra telepített mérőberendezésből áll, melyek az EUROPLANET ún. „transnational access” projektrendszer keretében külső felhasználók számára is hozzáférhetők. Ezek a berendezések lehetőséget adnak számunkra, hogy a laboratóriumban létrehozott, alacsony hőmérsékletű, kevert jegekben - amelyek a külső Naprendszer bolygói és holdjain, valamint a csillagközi tér objektumain keletkezett jegekkel analógnak tekinthetők – a különböző ionizáló sugárzások hatására bekövetkező változásokat tanulmányozzuk, akár 20-K hőmérsékleten. A fizikai/kémiai változásokat infravörös spektroszkópiával tudjuk nyomon követni, az ionbombázással leszakított molekulákat és töredékeiket pedig tömegspektrométerekkel (QMS) azonosítjuk. A besugárzó részecskék főként ionok, de elektronokkal és UV fotonokkal is végzünk méréseket. Az ionok energiája a különböző gyorsítóknál eltérő, a Tandetron gyorsító egyik nyalábvégén található mérőberendezésben az energia 200 keV – 6 MeV tartományban, míg az ECR gyorsító nyalábvégén a 50 eV – 1 MeV közötti tartományban változtatható a töltésállapot függvényében. Az ATOMKI gyorsítói a Napból eredő teljes ionfajta és ionenergia tartományt le tudják fedni, a galaktikus eredetű kozmikus sugárzás „lágym” komponensével együtt.

Az előadásban ismertetjük az alkalmazott mérési és jégkészítési módszereket, és példaképpen bemutatunk néhány eddig elért eredményt. Vizsgáltuk a jég szerkezetének (kristályos vagy amorf) a besugárzás hatására végbemenő kémiai változásokra gyakorolt hatását. Kerestük az okát a Jupiter jeges holdjain megfigyelhető különösen nagy mennyiségű SO<sub>2</sub> jég eredetének. Mértük az összetett, aromás szerves molekulák ellenállóképességét az ionbesugárzással szemben. A berendezések lehetőséget adnak arra is, hogy megfigyelhessük a hőmérséklet változásának hatására bekövetkező kémiai reakciókat. A csillagközi térben megfigyelhető összetett molekulák létrejöttének megértésén túl, kutatásainknak az is meghatározó célja, hogy bővítsük a közelgő űrmissziók (JWST, JUICE) által szolgáltatott adatok jobb megértéséhez szükséges referencia adatbázisokat.



### **KDe3.1. Radioaktív hulladéktároló üveg/acél/agyag mérnöki gátrendszer anyagainak egymásra gyakorolt hatása**

**Fábián Margit, Tolnai István, Czömpöly Ottó, Osán János**

Energiatudományi Kutatóközpont

A nagyaktivitású radioaktív hulladékok tárolása napjaink egyik legfontosabb kutatási területe. A radioaktív hulladék-tárolók hosszútávú biztonságának érdekében többszörös mérnöki gátrendszer és a mélygeológiai tárolóknál természetes geológiai gát akadályozza meg a radioaktív anyagok környezetbe jutását. A mérnöki gátakra érvényesül a mélységi védelem elve, azaz a gátrendszer különböző elemei egymástól függetlenül is benntartják a radioaktív anyagokat, az egyik gát sérülése nincs hatással a többi védelemre. A mérnöki gátrendszer első két eleme, a radioaktív hulladékok kondicionálása valamilyen mátrixban – leggyakoribb a boroszilikát amorf mátrix –, a második elem a kondicionált hulladékot tartalmazó, hermetikusan zárt, korrózióálló és mechanikailag szilárd – leggyakrabban acélból készült – konténer. A gátrendszer harmadik eleme a tömedékelő anyag, amelyet a tárolókamra fala és a konténerek közötti rés kitöltésére használnak, stabilizáló funkciót is betöltve. A tároló konténerekkel kapcsolatban megfogalmazott követelmények országonként változnak, azonban közös elvárás, hogy akár százezer évig is megőrizzék épségüket, vagyis megakadályozzák a benne kondicionált formában tárolt radionuklidok kikerülését.

*Célkitűzésünk* a mérnöki gátrendszer anyagainak a határfelületek reakcióképességének időbeli vizsgálata üveg/acél/agyag kísérleti elrendezéssel. A hulladék kondicionálására 55%SiO<sub>2</sub>-10%B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-25%Na<sub>2</sub>O-5%BaO-5%ZrO<sub>2</sub> összetételű boroszilikát üveget alkalmaztunk, a tárolásra használt konténerek szimulálására Fe port használtunk, amelyeket porított bodai agyagkőbe (a tervezett magyar hulladéktároló befogadókőzete) kevertünk és a közeg telítettségét szintetikus pórúsvízzel biztosítottuk. A kísérleti elrendezést három példányban készítettük elő, amelyeket 80°C-on inkubátorban tartottunk 3, 7 és 12 hónapig. Az adott idő leteltével post-mortem vizsgálatokat végzünk az üveg/Fe/agyag felületeken.

*Eredmények:* Valamennyi kísérleti egység pórúsvízzel telített állapotban maradt. A 3, 7 és 12 hónapot követő post-mortem SEM vizsgálatokkal megállapítottuk, hogy a három alkalmazott anyagunk egymásra nem gyakorolt hatást. Az üvegre és agyagra jellemző elemek, valamint a Fe koncentrációit XRF és SEM-EDX analízissel határoztuk meg. Korróziós terméket nem azonosítottunk. A kísérletek után a folyadékfázis induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrometriai (ICP-OES) elemzése az üvegalkotók kioldódására adott választ, főleg a Si, B, Na esetén. Az ionkromatográfiás vizsgálat a fő anionok kiinduló koncentrációját adta vissza, tehát a Cl<sup>-</sup> és SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ionok koncentrációja a hosszú kísérlet esetén sem nőtt szignifikánsan.

A kísérletek során kapott eredmények hozzájárulnak a többkomponensű mérnöki gátrendszer elemei egymásra gyakorolt hatásának megértéséhez, amely adatok segítségével optimalizálhatjuk a tárolási koncepciót.

Köszönetnyilvánítás:

A munkát az H2020/EURAD-847593 projekt támogatta.

*Irodalomjegyzék*

- [1] S. Gin, P. Jollivet, M. Tribet, S. Peugot, S. Schuller, *Radiochim. Acta* 105(11), 927 (2017).
- [2] K. Lazar, Z. Mathe, Chapter 4., Ed. Dr. Marta Valaskova, University of Ostrava, ISBN: 978-953-51-0738-5, InTech (2012).
- [3] D. Breitner, J. Osan, M. Fabian, P. Zagyvai, Cs. Szabo, R. Dahn, M. M. Fernandes, I. E. Sajo, Z. Mathe, Sz. Torok, *Environ. Earth Sci.* 73(1), 209 (2014).

## ***KDe3.2. Szimulált folyékony radioaktív hulladék stabilizálása új típusú cementkeverékben és alkalmazásorientált vizsgálata***

**Tolnai István, Fábíán Margit, Kis Zoltán, Szilágyi Veronika**

Energiatudományi Kutatóközpont

A nyomottvízes reaktorokban hagyományosan bórsavat alkalmaznak neutronabszorbensként, melynek a folyékony radioaktív hulladékokban mérhető koncentrációja akár  $16 \text{ kg/m}^3$  is lehet, így ezek fizikai és kémiai tulajdonságait döntően meghatározza. A bórsavas hulladék leggyakrabban  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{51}\text{Cr}$  és  $^{60}\text{Co}$  radionuklidokat tartalmaz. A nagy térfogatban keletkező radioaktív hulladékok kezelése jelentős technológiai kihívást jelent, valamint környezeti hatásaival is számolni kell. Biztonságos és hosszútávon inert mátrixanyagokra van szükség, hogy stabilizálni lehessen a folyékony hulladékban lévő radioaktív izotópokat. A közepes aktivitású folyékony hulladékok megkötésére leggyakrabban a cementet használják, amelyben akár a kis mennyiségű bórsav jelenléte is jelentősen megnövelheti a kötési időt. Ez idő alatt a radionuklidok könnyedén távozhatnak a rendszerből. A kötési idő optimalizálására adalékanyagokat alkalmaznak. Munkánk során egy új típusú cementkeveréket vizsgáltunk a szimulált folyékony radioaktív hulladékok megszilárdítására és elvégeztük alkalmazásorientált vizsgálatát [1][2].

*Célkitűzés:* Portland alapú cementhez vízálló adalékanyagot kevertünk, amely a normál beton 70/30 makro/mikropórus arányát 3/97 arányra változtatta, növelve a kémiai stabilitást. A bórsav megkötésének vizsgálatára  $50 \text{ cm}^3$  hengeres betontesteket öntöttünk eltérő koncentrációjú bórsavat alkalmazva (50g/l, 150g/l és 250g/l), melyeket 28 napig,  $20^\circ\text{C}$  fokos hőmérsékleten tartottunk, elérve így a megszilárdulási formát, amelyet cementációnak nevezünk. A beton-testeken kioldódási próbát végeztünk az ASTM- C1308 szabvány alapján [3], a kioldódási folyadékok elemvizsgálatát egy induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrométeren (ICP-OES) végeztük. Mechanikai vizsgálatok során meghatároztuk a kompressziótűrési sajátságokat. A betontestekben lévő bórsav eloszlásáról neutrontomográfiás mérésekkel győződünk meg. Valamennyi vizsgálatot egyaránt elvégeztük a próbatesteken, valamint a kioldódási kísérletet követő áztatott próbatesteken is.

*Eredmények:* A kioldódási kísérlet során vételezett folyadékmintákból elemvizsgálatot végezve növekvő tendencia figyelhető meg a bór frakcióra nézve, a kiindulási bórsav koncentrációnak megfelelően. Mind a három mintasorozatra jellemző görbe telítésbe hajlik. Az áztatás előtti és utáni betontestek nyomószilárdságának eredményei arra utalnak, hogy a növekvő bór koncentráció nagyobb nyomószilárdsággal párosul. A kioldódás előtt és után végzett mechanikai tesztek nem mutattak kimutatható eltérést a betonszilárdság tekintetében. A tomográfiás szeletek készítése során fellépő, a nyaláb keményedéséből származó torzítást eltérő magasságú próbatesteken végzett neutronradiográfiás transzmissziós mérésekből számolt korrekciós függvénnyel korrigáltuk. A korrekciós függvényt a 250 g/l-es hengerre határoztuk meg és az eredmények alapján egyenletes a bór eloszlása a térfogatban. A kiáztatott minta esetében a neutrongyengítési tényező lecsökkent, de ennek mértéke túllépi a bór, mint kémiai elem veszteségéből származó gyengítéseszköket, mert tartalmazza a jelentős vízvesztéséből származó hatást is. Várhatólag az eltérő bórsav koncentrációk esetén is hasonló következtetésekre jutunk.

Vizsgálataink alapján a vízálló adalékanyaggal kevert Portland cement a különböző koncentrációjú folyékony bórsavat egyenletesen eloszlásban szilárdítja meg, amely biztosíthatja az egyenletes radionuklid megkötést is.

Hivatkozások:

- [1] A. Bruggeman *et al.*, "Processing of nuclear power plant waste streams containing boric acid

TECDOC-911," *Iaea-Tecdoc-911*, vol. 2, no. October, pp. 1–67, 1996.

- [2] M. B. Gergely, B. Imre, and F. Árpád, "A bór neutron befogásán alapuló sugárterápia hatékonysága az elpusztítandó áttétek méretének függvényében," pp. 12–18, 2010.
- [3] ASTM C-1308–21, Standard Test Method for Accelerated Leach Test for Measuring Contaminant Releases From Solidified Waste, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428–2959, United States.

### ***KDe3.4. Sörgyári melléktermékekkel létrehozott zöld technológiával szintetizált ezüst nanokompozitok felületi kémiai analízise***

**Neha Venkatesh Rangam<sup>1</sup>, Alcina Johnson Sudagar<sup>1</sup>, Artur Ruszczak<sup>1</sup>, Pawel Borowicz<sup>1</sup>, Tóth József<sup>2</sup>, Kövér László<sup>2</sup>, Dorota Michalowska<sup>3</sup>, Marek L. Roszko<sup>3</sup>, Krzysztof R. Noworyta<sup>1</sup> és Beata Lesiak<sup>1</sup>**

1 Institute of Physical Chemistry, (PAS), Varsó

2 Atommagkutató Intézet, (ELKH), Debrecen

3 Institute of Agriculture and Food Biotechnology, State Research Institute, (Varsó)

A sörgyártási melléktermékek: polyfenol, szénhidrát, cukor, szulfát, nitrogén- és szerves szénvegyületek, mint zöld kémiai anyagok vegyi folyamataival, a hőmérséklet és a reakció idő függvényében ezüst (Ag) vegyületek ionos oldatából Ag-nanokompozit készíthető. A gömbszerű nanorészecskék felületét elemeztük XPS, FTIRS, XRD, SEM-EDX, XRF módszerekkel. Az ATOMKI ESA-31-el végzett XPS-ESCA méréseket részletesen mutatjuk be: az Ag 3d, C 1s és O 1s belső atomi alhéjak elektron színeinek az elemzését részletezzük. A sörfőzdei hulladék és a sör végtermék vegyületeivel bevont kétféle Ag-nanokompozit az *Escherichia coli* bacilusokkal szemben hatékony antibakteriális anyagnak bizonyult.

### ***KDe3.5. Szívós–rideg átmenet korai átmeneti fémeket tartalmazó egyfázisú nagy entrópiás ötvözetekben***

**Temesi Ottó**

H-ION Kft.

A korai átmeneti fémek (Y, Ti, Zr, Hf, V Nb, Ta, W, Mo) nagy szerepet játszanak az újgenerációs hőálló, az orvosi implant valamint a hidrogén tároló nagy entrópiás ötvözetek (HEA) terén. Ezért fontos ezen alkalmazási területekhez a megmunkálható, képlékeny ötvözet összetételének megtalálhatósága, tanulmányozhatósága, tervezhetősége.

Az elasztikus állandók ( $c_{ij}$  paraméterek) elméleti - ab initio - számolások azt mutatják, hogy a  $c' = (c_{11} - c_{12})/2$  paraméter pozitívból negatívba megy át amikor a vegyérték elektronok koncentrációja (VEC) 4.1 környékre csökken. Célunk ennek az elméleti eredménynek a kísérleti ellenőrzése, igazolása.

Meghatároztuk azon vizsgálati módszertant amivel kísérletileg meghatározzuk a E (rugalmassági modulus), G (nyírás modulus), B (kompressziós modulus), illetve egyéb mechanikai-fizikai jellemzőket és ezekből számoljuk vissza a  $c_{ij}$  elasztikus paramétereket illetve korreláltatjuk az eredményeket. A kísérleteink során 9 összetételt vizsgáltunk a 3.75-5.5 értékű VEC tartományban.

Az E, G, B paraméterek meghatározáshoz hosszanti és transzverzális UH sebességet valamint sűrűséget mértünk. Ezenkívül mértük a keménységet is melynek a segítségével megjeleníthető a szívós-rideg átmenet. Az XRD mérések segítségével a szerkezeti jellemzőket vizsgáltuk és meghatároztuk.

## ***KDe4.1. Lézeres felületkezelés alkalmazása felületerősített Raman-spektroszkópiában***

**WindisAch Márk**

Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft

Az ultrarövid impulzuslézerek segítségével szilárdtestek felszínén létrehozott periodikus struktúrák –röviden LIPSS-ek (Laser Induced Periodic Surface Structures) – által a kezelt felület számos fizikai tulajdonsága módosítható és szabályozható. Felhasználva a femtoszekundumos lézeres megmunkálás előnyeit, szilícium egykristályon 50-100 nm nagyságú, ismétlődő egységekből felépülő morfológiát alakítottunk ki. A létrehozott struktúrát arannyal vontuk be, melyből felületerősített Raman-spektroszkópiában alkalmazott SERS (Surface-enhanced Raman Spectroscopy) hordozó készítését és fejlesztését kezdtük el.

Az előadás során röviden áttekintem az alkalmazott lézeres besugárzás, illetve az általa létrehozott LIPSS-ek főbb tulajdonságait, majd a készített SERS hordozó ismertetésén keresztül bemutatom annak Raman spektroszkópiai alkalmazását.

## ***KDe4.2. Intelligens lágy anyagok kutatása a Pannon Egyetemen***

**GUBA Sándor (PhD)<sup>1</sup>, HORVÁTH Barnabás (PhD)<sup>1</sup>, SZALAI István (DSc)<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Pannon Egyetem, Műszaki Tudományok Kutató-Fejlesztő Központ

<sup>2</sup>Pannon Egyetem, Mechatronikai Képzési és Kutatási Intézet

Az intelligens anyagok egyik nagy csoportját a lágy intelligens anyagok alkotják. Külső környezeti változás (mágneses tér, elektromos tér, hőmérséklet, pH stb.) hatására ezek az anyagok képesek megváltoztatni a makroszkopikus tulajdonságaikat. A Pannon Egyetem Mechatronikai és Méréstechnikai Kutatócsoportjában elsősorban a mágneses, illetve elektromos térrel manipulálható anyagrendszerekkel (elektroreológiai (ER), magnetoreológiai (MR)) foglalkozunk. Ezeknek az anyagoknak a különböző térfüggő tulajdonságainak ismerete, kísérleti és elméleti módszerekkel történő vizsgálata kiemelkedő fontosságú az ipari és a gyógyászati felhasználás szempontjából. Ezeknek az anyagoknak a tanulmányozása sokszor olyan speciális kísérleti módszereket igényel, amelyekre nincsenek kereskedelmi forgalomban kapható mérőműszerek, így a kutatómunka részét képezik a méréstechnikai fejlesztések is. A kísérleti eredményeinket igyekszünk saját elméleti modelljeink validálására is felhasználni.

Az egyik fő kutatási terület az ER és MR rendszerek mikroszerkezete és makroszkopikus tulajdonságai közötti kapcsolat felderítése, illetve a tér hatására lezajló szerkezetváltozás dinamikájának, és a rendszer válaszidejének vizsgálata, valamint, hogy ezek miként befolyásolhatóak külső tényezőkkel és az anyagi jellemzők szabályozásával.

ER rendszerek dielektromos permittivitásának és reológiai tulajdonságainak egyidejű mérésére egy nemlineáris dielektromos méréstechnikán alapuló mérőberendezést fejlesztettünk ki. A méréstechnika mágneses analógjának kidolgozásával létrehoztunk egy „time domain” szuszceptométert, amellyel lehetővé vált a mágneses térrel manipulálható lágy anyagok mikroszerkezetét kialakító folyamatok mágneses szuszceptibilitás alapján történő dinamikai jellemzése is. Ezeket a vizsgálatokat az egyszerűbb anyagrendszerek, mint pl. a mágneses folyadékok mellett (amelyek mágneses nanorészecskék stabil diszperziói és a szerkezetet csak a dipólus-dipólus kölcsönhatás és a hőmozgásból eredő diffúzió határozza meg) bonyolultabb anyagokra (mint pl. MR folyadékok, MR elasztomerek) is kiterjesztettük. Az MR elasztomerek esetén a szerkezetváltozás következtében reverzibilis alakváltozás megy végbe, amelynek külső tényezőktől való függését széles paraméterterben vizsgáltuk.

A kutatási tevékenységünk másik nagyobb területét a biokompatibilis MR rendszerek orvosi biológiai alkalmazhatóság szempontjából releváns tulajdonságok témaköre fedi le. Kísérleteket végeztünk mágneses folyadékcspekpek inhomogén mágneses térrel való manipulálhatóságára, amelyet

a nedvesítési tulajdonságok (pl. felületi feszültség) szabnak meg, valamint foglalkoztunk a folyadékcseppek és biológiai szövetek közötti kölcsönhatás (pl. fellépő erők) modellezésével is. A mágneses folyadékok orvosi célú hipertermiás effektusának jellemzésére (amelyet relaxációs folyamatok szabnak meg) kidolgoztunk egy erős váltakozó mágneses térben alkalmazható differenciális hőmérséklet mérési módszert, amely alkalmazásával egyszerű hőmérő szenzorok is használhatóak a hipertermiás hőmennyiség pontos mérésére.

### ***KDe4.3. Töltéshordozó rekombinációs élettartam meghatározása szilícium szeletekben állandó gerjesztés és kis perturbáció mellett***

**Korsós Ferenc<sup>1</sup>, Krisztián Dávid<sup>1,2</sup>, Paráda Gábor<sup>1</sup> és Tüttö Péter<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Semilab Zrt.

<sup>2</sup>Fizika Tanszék, Fizika Intézet, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

A félvezető anyagok egyik legfontosabb minőségi jellemzője a töltéshordozók rekombinációs élettartama. Ezt leggyakrabban a foto-vezetőképesség lecsengés módszerrel szokás meghatározni. A töltéshordozó élettartamnak az állandó gerjesztés mellett meghatározott értéke bír mélyebb fizikai tartalommal, mely jelentősen befolyásolja például a napelemek hatásfokát.

Méréstechnikai szempontból viszont az állandósult állapotra vonatkozó érték megbízhatósága az alkalmazott mozgékony modellek pontosságán múlik, mely nem egységes a szakirodalomban. Mivel a töltéshordozóknak mind az élettartama, mind pedig a mozgékonyága függ a minta gerjesztettségének aktuális szintjétől, a pontos mérés kihívást jelent. Alternatív megoldást jelent, ha állandó gerjesztés mellett gyenge perturbáló gerjesztést használunk, és az ehhez tartozó vezetőképesség-növekmény időbeli lecsengését vizsgáljuk. Azonban ezzel a módszerrel a mérés jóval körülményesebb, hosszadalmasabb.

Csapatunk elsőként épített egy olyan kísérleti mérőberendezést, melyben mindkét mérési módszer megvalósítható és ezáltal az eddigi megoldásoknál megbízhatóbb eredményt szolgáltat. Számos innovatív technikai megoldás alkalmazásával (megfelelő méretű és homogenitású fényfolt, továbbfejlesztett rádiófrekvenciás érzékelő) sikerült a töltéshordozók oldalirányú diffúziójának zavaró hatását elkerülni az érzékenység és stabilitás javításával együtt. A mérés pontosságát a két módszerrel mért töltéshordozó élettartamok jó egyezése támasztja alá. A készüléktől azt várjuk, hogy a modern napelem struktúrákra vonatkozó elektromos tulajdonságokat valós működési feltételek mellett (magas gerjesztettség és hőmérséklet) is nagy pontossággal meg tudjuk határozni.

### ***KDe4.4. Még mire jó egy Tandetron?***

**Bányász István**

Wigner Fizikai Kutatóközpont

Az utóbbi tíz évben lehetőségünk volt néhány napos kampányokban a Řež-i UJF Nukleáris Kutatóintézet High Voltage 4130 típusú tandetron részecskegyorsítójával dolgozni. Azon kívül, hogy a gyorsítóval számos ionból nagyenergiájú (10 - 20 MeV) makronyalábok is előállíthatók, a mi kutatásaink szempontjából a tipikusan 2 – 3  $\mu\text{m}$  átmérőjű mikronyaláb volt nagyon hasznos.

Korábban az RMKI (jelenleg Wigner FKK) és az Atomki régi Van de Graaff gyorsítóin végeztünk kísérleteket integrált optikai elemek ionsugaras technikákkal történő elvégzésére [1]. A cseh tandetron használatával mind a sík- mind a csatorna optikai hullámvezetők készítésében az új módszerekkel lényegesen jobb eredményeket értünk el. A nagyobb energiákon egyrészt a hullámvezető réteg mélységét tudtuk növelni, így az eszközök nagyobb hullámhosszakon (a távközlési C sávban is, 1550 nm-en) is jól működtek. Másrészt a domináns elektronikus kölcsönhatásnak köszönhetően a hullámvezetők elkészítéséhez a kisenergiás implantálásokhoz képest sokkal kisebb fluensre volt szükség, vagyis rövidebbek lettek az implantálási idők. A mikronyaláb lehetővé tette a csatorna hullámvezetők közvetlen beírását a céltárgyba [2].

Az előadásban a fenti kutatások legfontosabb eredményeit mutatjuk be.

1. S. Berneschi; G. Nunzi Conti; I. Bányász, A. Watterich *et al.*, "Ion beam irradiated channel waveguides in Er<sup>3+</sup>-doped tellurite glass", Applied Physics Letters, 90, 121136, (2007)  
<https://doi.org/10.1063/1.2717085>
2. István Bányász; Edit Szilágyi; Istvan Rajta; Gyula U.L. Nagy *et al.*, „Fabrication of low-loss optical channel waveguides for the telecom C band in rare-earth doped optical glass using microbeam of 11 MeV carbon ions”, Optical Materials: X, Volume 4, December 2019, 100035 (2019)  
<https://doi.org/10.1016/j.omx.2019.100035>

### ***KDu1.1. Kvantum összefonódás távolságfüggése kiterjedt részrendszerek között***

**Kovács István**

Wigner Fizikai Kutatóközpont

A kvantum összefonódás a kvantum rendszerek különleges tulajdonsága, melynek következtében a klasszikusnál erősebb korrelációk jelenhetnek meg. De vajon kölcsönható kvantum rendszerekben található-e erős kvantum korrelációt nagy távolságokon? Ehhez két távoli részrendszer között kell meghatározni az összefonódás mértékét. Ha csak egy részrendszert tekintünk, annak összefonódása jól ismert. Például, spinláncok fázisátalakulásakor az összefonódás tipikusan logaritmikusan növekszik a részrendszer méretével. Arról azonban kevesebbet tudunk, hogy két részrendszer közötti kvantum korrelációk hogyan viselkednek. Meglepő módon, olyan kvantum rendszerek, amik egy részrendszert tekintve azonosan viselkednek, nagyon eltérő eredményeket adnak amikor két részrendszer közötti korrelációkat vizsgálunk. A rendezetlen kvantum Ising modellben például a távolságfüggés nagyságrendekkel eltér az eddig egzaktan vélt analitikus eredményektől. A logaritmikus negativitás sokkal gyorsabban, míg a kölcsönös információ sokkal lassabban csökken a távolsággal véges részrendszerek között. Azonban, ha a részrendszerek méretét arányosan növeljük a távolságukkal, akkor mindkét mérték esetén univerzális kvantum korrelációt találunk, függetlenül a távolságtól. Kettő és három dimenzióban az eredményeknek még gazdagabbak: nem csak a távolságfüggés univerzális, hanem a részrendszer alakjától és relatív irányától való függés is.

### ***KDu1.2 Kvantum annealerek kimenetének értékelése***

**Koniorczyk Mátvász, Krzysztof Domino, Naszvadi Péter, Zbigniew Puchala**

Wigner Fizikai Kutatóközpont

A kvantum annealerek, mint például a D-Wave eszközök, az adiabatikus kvantumszámítógépek zajos, nem tökéletes megvalósításai. Feladatuk a korlát nélküli kvadratikus bináris optimalizálási feladatok heurisztikus megoldása, a célfüggvényt egy Ising-spinűveg alapállapotába kódolva, és ezt az állapotot adiabatikus időfejlődéssel közelítve. Az eszköz természeténél fogva a futtatás eredménye egy minta, amelyben különféle konfigurációk különböző számban fordulnak elő. Szerencsés esetben a mintában kapott legkisebb célfüggvény értékek az optimumot adják, vagy ahhoz közeli. Munkánk célja, hogy megbecsüljük, mennyire valószínű, hogy egy futtatás során ez a helyzet állt elő. Ezt statisztikai módszerekkel: a minta kumulánsainak becslésével, és egy statisztikus fizikai modellel való összevetéssel érjük el. Az előadásban konkrét számítási eredményeket is bemutatunk.

### ***KDu1.3. Az utazó ügynök probléma optimális implementációja QAOA eljárással***

**Zimborás Zoltán**

Wigner Fizikai Kutatóközpont

A kvantum közelítő optimalizálási algoritmus (angol nevén Quantum Approximate Optimization Algorithm, QAOA) az egyik legnépszerűbb kvantum keretrendszer optimalizálási problémák megoldására. Az  $n$  városhoz tartozó utazó ügynök problémára hagyományosan  $n^2$  qubiten egy  $n$  mélységű QAOA-t alkalmaznak. Korábban megmutattunk egy alternatív QAOA eljárást, ahol a qubitok száma csak  $n \log(n)$  volt, azonban a mélység megnőtt  $n^2$ -re [1]. Legújabb eredményünkkel ezt tovább optimalizáltuk:

$n \log(n)$  qubit mellett sikerült egy  $n$  mélységű QAOA-t konstruálnunk erre a feladatra. Az előadás során ezt az optimális megoldást mutatjuk be részletesen.

[1] A Glos, A Krawiec, Z Zimborás: Space-efficient binary optimization for variational quantum computing, npj Quantum Information 8, 1-8 (2021).

### ***KDu1.4. Ciklikus EPR-steering háromqubites rendszerekben***

**Vértési Tamás, együttműködők: Márton István, Nagy Sándor, Bene Erika**

Atommagkutató Intézet

Az Einstein-Podolsky-Rosen irányíthatóság (EPR-steering) egy olyan nemlokális jelenség, amely aszimmetriát mutat két megfigyelő, Alice és Bob között. Léteznek olyan kétrésztű állapotok, amelyek csak egyik irányba irányíthatók, azaz Alice irányíthatja Bob állapotát, de Bob nem tudja irányítani Alice állapotát. Jelen munkában ezen egyirányú EPR-steering jelenséget általánosítjuk három megfigyelő esetére. Az előadásban bemutatunk egy egyszerű osztályt a háromrésztű kvantumállapotoknak, amelyek rendelkeznek az úgynevezett ciklikus EPR-steering tulajdonsággal, abban az értelemben, hogy tetszőleges projektív mérések esetén bármely megfigyelő képes irányítani a tőle jobbra lévő megfigyelő állapotát, de a tőle balra lévő megfigyelőét nem.

Ezen jelenség példa a többrésztű nemlokális korrelációk ciklikus tulajdonságának a létezésére.

[I. Márton, S. Nagy, E. Bene, and T. Vértési, Cyclic Einstein-Podolsky-Rosen steering, Phys. Rev. Research 3, 043100 (2021).]

### ***KDu1.5. Bizonytalansági összefüggések a varianciával és a kvantum Fisher-információval a sűrűségmátrixok konvex dekompozíciói alapján***

**Tóth Géza** együttműködő: Florian Fröwis

Baszkföldi Egyetem (Spanyolország) és Wigner Fizikai Kutatóközpont

Egyenlőtlenségeket mutatunk be a Robertson-Schrödinger bizonytalansági relációhoz kapcsolódóan. Mindezen egyenlőtlenségekben figyelembe vesszük a sűrűségmátrix állapotok keverékére való felbontását, és felhasználjuk azt a tényt, hogy a Robertson-Schrödinger bizonytalansági reláció ezekre a komponensekre is érvényes. Ha a bizonytalansági reláció alsó határának konvex tetejét vesszük, a Fröwis et al. [Phys. Rev. A 92, 012102 (2015)] relációjának alternatív levezetését kapjuk, és számos olyan feltételt is felsorolhatunk, amelyek szükségesek a reláció telítéséhez. Bemutatjuk a Cramér-Rao határ megfogalmazását a variancia konvex tetejével. Ha kiszámoljuk a Robertson-Schrödinger bizonytalansági relációban az alsó határ konkáv tetejét a kevert állapotokra való dekompozíciók felett, akkor a Robertson-Schrödinger bizonytalansági reláció erősítését kapjuk. Hasonló technikákat vizsgálunk három varianciából álló bizonytalansági relációk esetén. Végül további bizonytalansági összefüggéseket mutatunk be, amelyek kétmódusú folytonos

változós rendszerek kanonikus pozíció- és impulzus-operátorainak varianciái alapján alsó határokat adnak a kétrészes kvantumállapotok metrológiai hasznosságára vonatkozóan.

Megmutatjuk, hogy ezekben a rendszerekben a Duan és munkatársai [Phys.

Rev. Lett. 84, 2722 (2000)] és Simon [Phys. Rev. Lett. 84, 2726 (2000)] által leírt jól ismert összefonódási feltételek megsértése arra utal, hogy az állapot metrológiaileg hasznosabb, mint az szeparálható állapotok bizonyos releváns részalmazai. Hasonló eredményeket mutatunk be a spinrendszerek impulzusmomentum-operátoraival kapcsolatos összefonódási kritériumokra vonatkozóan.

[G. Tóth and F. Fröwis, Uncertainty relations with the variance and the quantum Fisher information based on convex decompositions of density matrices, Phys. Rev. Research 4, 013075 (2022)]

## ***KDu2.1. Mikroszerkezetek jellemző paramétereinek meghatározása röntgen vonalprofil analízissel***

**Ribárik Gábor**

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Kristályos anyagok számos fizikai tulajdonságát alapvetően meghatározza a mikroszerkezet. A mikroszerkezet szemléltetésének fontos módszere az elektronmikroszkópia. A legalapvetőbb mikroszerkezeti tulajdonságok a kristályhibák típusa, sűrűsége és eloszlása valamint a szemcse-, illetve kristallit szerkezet. Az elektronmikroszkópia mellett az egyik legfontosabb alternatív módszer a röntgen vonalprofil analízis (RVPA). Ez a módszer alapvetően a következő mikroszerkezeti tulajdonságokról ad felvilágosítást: (i) kristallitok méretéről és méreteloszlásáról, (ii) kristallitok alak anizotrópiájáról, (iii) diszlokációk sűrűségéről, típusáról és eloszlásáról, valamint (iv) rétegződési hibák illetve ikerhatárok sűrűségéről és típusáról.

A CMWP módszer a különböző kristályhibák fizikai tulajdonságai alapján modellezi a röntgendiffrakciós vonalprofilokat. Ezeknek a modellezett vonalprofiloknak a mérésekkel való összevetéséből a teljes diffrakciós spektrum illesztésével megkaphatjuk a vizsgált anyag mikroszerkezeti paramétereit. Az előadás áttekinti a CMWP módszer elméleti alapjait, a mikroszerkezeti paraméterek meghatározásának lehetőségeit, illetve a paraméterek meghatározására alkalmazott algoritmusok numerikus stabilitását.

## ***KDu2.2. Diffraktált intenzitások korrekciója transzmissziós elektronmikroszkópiában***

**Dodony Erzsébet<sup>1</sup>, Dódonny István<sup>2</sup>, Sáfrán György<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Eötvös Lóránd Kutatói Hálózat, Energiatudományi Kutatóközpont, MFA

<sup>2</sup>Pannon Egyetem, NANOLAB

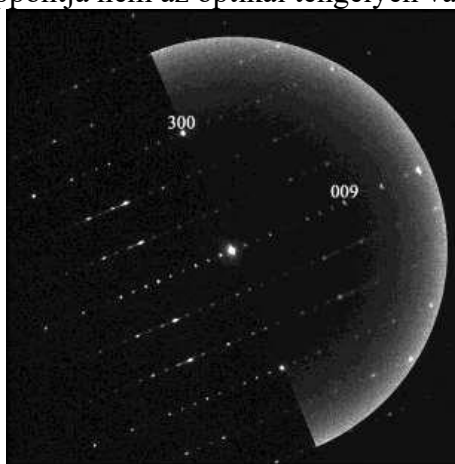
Napjainkban, a nanotechnológia fejlődésével egyre fontosabbá válik az újtechnológiás eszközök anyagainak atomi szintű megismerése. Ennek a mai napig egyik legfontosabb eszköze a transzmissziós elektronmikroszkóp (TEM). A TEM vizsgálattal nyert nagyfelbontású (HRTEM) képek és diffrakciós (ED) felvételek együttes elemzésével határozzuk meg a minta szerkezetét. A HRTEM képek és ED felvételek előzetes korrekcióra szorulnak, mert eltérnek a szóráselméletben megismert vetített-töltéssűrűségtől és a szerkezeti tényezők négyzetétől. A nagyfelbontású képek és a vetített-töltéssűrűség közti eltérést az elektronmikroszkóp jelátviteli jellemzői okozzák, a diffrakciós felvételeken mérhető intenzitásoknak a szerkezeti tényezők négyzetétől való eltérését a pedig az Ewald-gömb és a detektálás síkjának eltérése okozza.

A szerkezet meghatározásához a szerkezeti tényezők négyzetének ( $F_{hkl}^2$ ), azaz a diffraktált intenzitások ismerete szükséges. A diffrakciós felvételen a reflexiók intenzitása eltér ettől, az Ewald gömb és a reciprokrács sík adott reflexiói közti távolságának függvényében. Cowley (1992, in



Electron Diffraction Techniques, J.M. Cowley ed. Oxford Uni. Press. Vol. 1.) leírta a diffrakciós maximumok profiljának egyenletét, az azt befolyásoló változók függvényeként. Előadásunkban ennek a kísérleti adatainkra való alkalmazását mutatjuk be.

Egyes diffrakciós felvételnél akár több száz reflexióra kell külön-külön elvégezni a korrekciót, ami roppant időigényes feladat. A munka megkönnyítésére és meggyorsítására számítógépes programot készítettünk, amely az egész diffrakciós felvételre elvégzi a korrekciót, a mikroszkópállandó, a Laue zóna középpontja, és a direkt sugártól legtávolabbi, nulladrendű Laue zónába tartozó reflexió d-értékének ismeretében (**1.ábra**). Munkánkban arra az esetre is megoldást adunk mikor a Laue-zóna középpontja nem az optikai tengelyen van.



**1.ábra.** Balra korrigálatlan, jobbra Ewald-korrigált elektron diffrakciós felvétel

### ***KDu2.3. Új lehetőségek a diszlokációk statisztikus tulajdonságainak meghatározására***

**Groma István, Lipcsei Sándor, Ispánovity Péter Dusán, Dankházi Zoltán, \*Kalácska Szilvia**  
ELTE TTK Anyagfizikai Tanszék

\*CNRS, UMR 5307 LGF, Mines Saint-Étienne, Centre SMS

A kristályhibák nanométeres skálán történő feltárásának hagyományos eszköze a TEM. Ugyanakkor az utóbbi évtizedben a hagyományos EBSD mérés egy korábbinál sokkal részletesebb információt adó kiértékelési módja alakult ki (HR-EBSD), amely a szomszédos pontokról kapott diffrakciós ábrák keresztkorrelációs analízisén alapszik. Ez lehetővé teszi a mintában kialakuló disztorzió tenzornak a minta felületén való feltérképezését. Ez módot ad a kristályhibák következtében kialakuló belső feszültség, valamint az un. geometriailag szükséges diszlokációsűrűség tenzor felületi eloszlásának meghatározására is.

Az előadás első részében röviden összefoglaljuk a módszer alapjait, majd bemutatjuk összenyomott Cu egykristályokon, valamint mikrooszlopokon kapott diszlokáció cellaszerkezet és belsőfeszültség eloszlásokat. Az eredményeket kiegészítjük röntgen vonalprofil mérési eredményekkel is. A kapott diszlokáció szerkezetek alapvető fontosságúak a diszlokáció mintázatok kialakulását leíró, a közelmúltban kidolgozott elmélet, teszteléséhez.

## ***KDu2.4. Röntgendiffrakciós vizsgálatok a debreceni Anyagtudományi Kutatóhálózat laboratóriumában***

**Juhász Laura**

Debreceni Egyetem

A debreceni Anyagtudományi Kutatóhálózat laboratóriuma nem régiben két nagy berendezéssel is bővült, amelyek közül az egyik egy nagyteljesítményű (9kW) röntgenforrással felszerelt röntgendiffraktrométer. Az új diffraktrométer a nagyteljesítményű röntgenforrás és a 2D detektor révén új és gyors mérési lehetőségeket is kínál. A klasszikus mérések mellett, amelyek legtöbbször tömbi anyagokhoz optimalizáltak, vékonyrétegek vizsgálata is lehetővé vált (Súrlódó beesésű röntgendiffrakció = GI-XRD, Röntgenreflektometria = XRR).

Jelen előadásban néhány mérési eredményen keresztül bemutatom a berendezés segítségével elérhető vizsgálati lehetőségeket (in-plane mérés, réteg vastagság meghatározás, pólusábra stb.).

## ***KDu3.1. 60 éve alakult meg az ELFT Sugárvédelmi Szakcsoportja***

**Deme Sándor**

Energiatudományi Kutatóközpont

A sugárvédelemmel foglalkozó szakemberek képviselőiben Bozóky László és Fehér István 1962 elején azzal a kéréssel fordult az ELFT Elnökségéhez, hogy engedélyezze az ELFT Sugárvédelmi Szakcsoportjának megalakítását. Az Elnökség jóváhagyta a kérést.

1962. március 26-án volt az alakuló ülés, amelyet Szigeti György, az ELFT főtitkára vezetett. A szakcsoport alakuló létszáma 85 fő volt.

Az előadás ismerteti a Sugárvédelmi Szakcsoport (jelenleg Sugárvédelmi Szakosztály) múltbeli és jelenlegi tevékenységét.

## ***KDu3.2. Atomerőművek sugárvédelme***

**Bujtás Tibor**

MVM Paksi Atomerőmű Zrt.

Az atomerőművek sugárvédelmét szigorú nemzetközi előírások szabályozzák. Több sugárvédelemmel foglalkozó nemzetközi szervezet (IRPA, ICRP, IAEA, EU, WANO) ad ki szabályozásokat, útmutatókat

Az atomerőműben folyó sugárvédelmi tevékenység fő területei a munkahelyi sugárvédelem és a nukleáris környezetvédelem. A munkahelyi sugárvédelem alapfeladatai a dolgozók sugárterhelésének korlátozása, az indokolatlan sugárterhelések kizárása és a sugárterhelés optimalizálása. A munkahelyi sugárvédelmi tevékenységünk legfontosabb céljaként a sugárterhelés optimalizálását jelöltük meg. A munkahelyi sugárvédelem programjában meghatározó szerepet a személyi dozimetriai ellenőrzés, a dozimetriai engedélyezés, az ellenőrzött zóna sugárzási és kontaminációs viszonyainak rendszeres ellenőrzése, a dózistervezés, a fokozottan sugárveszélyes munkák kiemelt kezelése és a sugárvédelmi tapasztalatok visszacsatolása.

A munkahelyi sugárvédelemre vonatkozó legfontosabb sugárvédelmi mutatót, a dolgozók sugárterhelését a munkaterületek sugárzási viszonyai, az elvégzett munkák mennyisége, illetve a sugárvédelmi intézkedések hatékonysága befolyásolja. A sugárterhelés ellenőrzése kiterjedt mind a külső, mind a belső sugárterhelésre, illetve az atomerőműben munkát végzők teljes körére, tehát a külső vállalkozók dolgozóira is.

A paksi atomerőműben folyó sugárvédelmi tevékenység másik fő területe a nukleáris környezetvédelem. Alapvető sugárvédelmi cél, hogy a környezet vonatkozásában is érvényesítsük az optimalizálás követelményét, azaz a radioaktív anyagok kibocsátását és ezen keresztül a környezeti hatások nagyságát az ésszerűen elérhető legalacsonyabb szinten tartjuk.

A fentiekben megfogalmazott célok elérése érdekében a Sugár- és Környezetvédelmi Főosztály széles körű ellenőrzési és felügyeleti programot hajt végre, illetve szükség szerint intézkedéseket hoz. Az ellenőrzési programot kétszintű ellenőrzés jellemzi. A kibocsátás- és környezetellenőrzésben alkalmazott távmérőrendszerek mérési adatait a mintavételes ellenőrzéssel kapott izotópszelektív, és a kibocsátott izotópok kémiai-fizikai formáira is felvilágosítást adó mérési eredmények egészítik ki. A kibocsátás- és környezetellenőrzést az atomerőmű mellett a hatóságok is végzik. A kibocsátási korlátozási rendszer az atomerőműre meghatározott dózismegszorításból (90  $\mu\text{Sv}/\text{év}$ ) származtatott izotópspecifikus kibocsátási korlátokhoz hasonlítja mind a folyékony, mind a légnemű kibocsátásokat.

Az atomerőmű környezeti hatásairól a folyamatosan működő távmérőrendszerek mellett a mintavételes ellenőrzés szolgáltatott adatokat. A távmérések és a mintavételes ellenőrzés adatai egyaránt azt mutatják, hogy az atomerőmű üzemeltetésének hatása a környezetre sugárvédelmi szempontból elhanyagolható. A légköri és folyékony kibocsátásokból származó, a kritikus lakossági csoportra vonatkozó többlet lakossági sugárterhelés szinte jelentéktelen, ezt a lakosság minden tagja kb. 10 perc alatt megkapja a természetes háttérsugárzásból.

Az előadás ismerteti az atomerőmű sugárvédelmi tevékenységét.

### ***KDu3.3. Az Energiatudományi Kutatóközpont űrkutatási nagy projektjei, avagy irány a Nemzetközi Űrállomás, a Hold és a Mars!***

**Hirn Attila**

Energiatudományi Kutatóközpont

A hazai űrdozimetriai célú kutatás, módszer- és műszerfejlesztés több mint négy évtizedes múltra tekint vissza. Az Energiatudományi Kutatóközpont Űrkutatási Laboratóriumában és jogelődjeiben számos olyan, nemzetközileg is elismert detektorrendszert (Pille, TRITEL, passzív detektoros egységek) fejlesztettek, amelyek segítségével az űrhajósokat a világűrben folyamatosan érő ionizáló sugárzás dózisének becsülni lehet. A mérések eddig elsősorban az alacsony Föld körüli térségre (pl. Nemzetközi Űrállomás) korlátozódtak, viszont a súlypont a közeljövőben egyre inkább a Hold környéki (ciszlunáris), valamint a bolygóközi térség felé toódik.

Az EK Űrkutatási Laboratórium az Európai Űrügynökség felhívásain elnyerte annak lehetőségét, hogy az Artemis-program keretében a Hold körül építendő Gateway űrállomás, valamint a marsi talajmintavisszahozó küldetés MSR-ERO űrszondájának fedélzetére összetett dózismérő rendszereket fejlesszen. Az előadás ezen nagy projektek céljaiba és terveibe nyújt betekintést.

### ***KDu3.4. Sugárvédelem az egészségügyben***

**Pesznyák Csilla**

Országos Onkológiai Intézet

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Az egészségügyben hosszú évek óta kiemelt szerepe van a sugárvédelemnek. Egyszerre kell biztosítani a munkavállalók, a betegek és a kísérők védelmét is, amiről az elmúlt évszázad során különböző jogszabályok, rendeletek, hazai és nemzetközi ajánlások jelentek meg. Az egészségügy számos területén találkozhatunk ionizáló sugárzást előállító berendezésekkel, illetve radioaktív anyagokat tartalmazó készülékekkel.

Az egészségügyben csak megfelelő indokoltság esetén szabad különböző sugárzásokat alkalmazni diagnosztikai és terápiás céllal. A betegnek nagyobb haszna kell, hogy származzon, mint az a kockázat, amit egy ilyen vizsgálat vagy kezelés során előfordulhat. Amennyiben egy ultrahang vagy MRI vizsgálat diagnosztikai értéke megegyezik az ionizáló sugárzással vagy radioaktív anyag alkalmazásával kapott eredménnyel, akkor mindig a nem sugárzó módszert kell alkalmazni.

A képképző radiológia és nukleáris medicina területén alkalmazott berendezések esetén érvényes az az elv, hogy a lehető legkisebb dózissal kell megfelelő képminőséget biztosítani, tehát nem szabad a beteget túldozírozni, míg a terápiás alkalmazások esetén mind az alul dozírozás, mind a túldozírozás sugárbalesetet okozhat.

Az előadásban röviden bemutatásra kerülnek, a különböző diagnosztikai és terápiás módszerek, ezek sugárvédelmi szabályozása, illetve rövid történeti bemutatása.

## ***SzDe1.1. Liu-eljárás és variációs elvek***

**Ván Péter<sup>1,2,3</sup>**

<sup>1</sup>MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont.

2BME, Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék

2Montavid Termodinamikai Kutatócsoport

A fizika fejlődési egyenletei vagy ideálisak, vagy disszipatívak. A második fő tétel egyenlőtlensége nemcsak a kontinuumelméletek konstitutív függvényeire ró ki feltételeket, de a fejlődési egyenleteire is. Az entrópiamérleggel kapcsolatos feltételes egyenlőtlenségrendszer megoldására kidolgozott két módszer a Coleman-Noll-eljárás és a Liu-eljárás. Ezek pontosabbak a klasszikus irreverzibilis termodinamika heurisztikus módszereinél és megadják az entrópiatermelés kiszámításának feltételeit is [1].

Különösen érdekes az alkalmazásuk gyengén nemlokális, azaz az alapmezők térbeli deriváltjait magasabb rendben tartalmazó kontinuumokra. A hidrodinamikában legalább Van der Waals, illetve Korteweg óta ismertek ilyen elméletek, a rugalmasságtanban pedig általánosított kontinuumoknak nevezzük ezeket, ilyen például a Cosserat-elmélet. De gyengén nemlokálisok a fázismező elméletek (a homogén termodinamikai rendszerekhez képest), illetve a newtoni gravitáció is.

Ebben az előadásban összevetem a nemegyensúlyi termodinamika divergencialeválasztásos módszertanát a Liu-eljárással és néhány érdekes példát mutatok az alkalmazására. Egyik legfontosabb következménye a módszernek, hogy a fejlődési egyenletekben a variációs elvekre jellemző funkcionálderiváltak jelennek meg, tehát Euler-Lagrange formát kapunk variációs elvek nélkül, tisztán a második fő tételre alapuló megfontolásokkal [2].

Példaként a newtoni gravitációelméletre alkalmazva az eljárást annak egy érdekes disszipatív kiterjesztését kapjuk, amely egyrészt egyfajta klasszikus holografikus tulajdonsággal rendelkezik, mert a térfogati gravitációs erő egyúttal felületi erő is, illetve ideális vákuummegoldásai olyan módosított erő törvényt adnak, amely gömbszimmetrikus esetben a középponttól nagy távolságra a szokásos newtoni gravitációs erő, de közelebb a távolsággal fordítottan arányos. [3, 4]. A súrlóságban gyengén másodrendűen nemlokális folyadékok pedig meglepő módon szoros kapcsolatban vannak speciális kvantumrendszerekkel.

### HIVATKOZÁSOK

- [1] VÁN P., Nemegyensúlyi termomechanika, MTA doktori disszertáció, 2018.
- [2] P. VÁN AND R. KOVÁCS, Variational principles and nonequilibrium thermodynamics, Philosophical Transactions of the Royal Society A, 2020, V378/2170, p20190178, (arXiv:1908.02679).
- [3] P. VÁN AND S. ABE: Emergence of modified Newtonian gravity from thermodynamics, Physica A, 2022, V588, p126505, (arXiv:1912.00252).
- [4] ABE, S. AND VÁN, P., Crossover in extended Newtonian gravity emerging from thermodynamics, Symmetry, 2022, V14, p1048(7), (arXiv:2205.05170).

## ***SzDe1.2. Newtoni gravitáció és nemegyensúlyi termodinamika***

**Pszota Máté**

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

A modern kozmológiai megfigyelések szerint a galaxisok mért forgási sebesség- görbéi eltérnek a bennük lévő fényes anyag alapján a klasszikus newtoni gravitációs elméletből várható sebességeloszlástól. Ennek az ellentmondásnak a feloldására számos kutatás irányul. Az egyik legelterjedtebb elmélet a sötét anyag feltételezése, amelyet eddig csak gravitációs hatása alapján tudtak mérni.

Azonban a sötét anyaggal kapcsolatos megfigyelések magyarázata nem feltétlenül igényli valamilyen anyag jelenlétét, a gravitáció elmélete is indokolhatja. A MOND (Modified Newtonian Dynamics) például a dinamikai törvény gyorsulásfüggését feltételezi, illetve többféle elképzelés alapul gravitáció-termodinamika kapcsolattal motivált általánosításokon [1]. Az előadásban az egyik ilyen elmélet [2] egyenleteinek megoldását mutatom be egyszerű gömbszimmetrikus esetekben.

Az előadásban továbbá ismertetem a vonatkozó parciális differenciálegyenletek numerikus megoldására kapott eredményeket, és a megfigyelésből kapott sűrűségeloszlással kapható sebességgörbét az NGC 3198, NGC 925 és DDO 154 galaxisokra.

Hivatkozások

[1] Erik P. Verlinde. Emergent Gravity and the Dark Universe. *SciPost Phys.*, 2:016, 2017.

[2] Péter Ván and Sumiyoshi Abe. Emergence of modified newtonian gravity from thermodynamics, 2019. arXiv: 1912.00252.

## ***SzDe1.3. Nemlineáris hővezetési modellek***

**Kovács Róbert**

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

A klasszikus konstitúciós összefüggések, mint például a hővezetés Fourier-törvénye és a folyadékok Newton-törvénye, igen korlátos érvényességi körrel bírnak. Az irodalomban régóta ismertek erre vonatkozó kísérleti adatok, mint például a második hang és a ballisztikus terjedési jelenségek. Ezek egyaránt jellemzőek folyadékokra és szilárd testekre, valamint alacsony és szobahőmérsékletű körülményekre, természetesen eltérő tér és időskálákon tekintve. Azonban a kiterjesztett konstitutív összefüggések kevésbé ismert tulajdonsága, hogy az új paraméterek nem függetlenek egymástól. Ez a tulajdonság a termodinamika második főtételének egy közvetlen következményeként jelentkezik. Emiatt már a legegyszerűbb nemlinearitások, mint például a hőmérsékletfüggő hővezetési tényező megjelenése is komoly következményekkel jár a modell felépítésére vonatkozóan.

Az előadás részletesen tárgyal egy speciális, NaF kristályokra vonatkozó esetet, ahol az elméleti jóslatokat összevetjük a kísérleti eredményekkel, nemlineáris hővezetési egyenletet felhasználva.

## ***SzDe1.4. Adalékok a (ferde)hajítás fizikájához-új összefüggések***

**Varga János**

Székesfehérvári Szc Széchenyi István Műszaki Technikum

A továbbiakban a felesleges szóismétlések elkerülése miatt hajításon mindig a ferdén felfelé történő hajításra gondolunk, még akkor is, ha ezt nem mindig hangsúlyozzuk ki. A ferdén felfelé történő hajításnak is különböző módoszatai lehetségesek, melyek esetén újabb összefüggéseket, képleteket tudunk levezetni, illetve törvényeket kimondani. Az előadás ilyen, tankönyvekben, kézikönyvekben nem szereplő, ezért újnak gondolt ferdehajítási módokat, képleteket, törvényeket ismertet a részletes levezetések mellőzésével.

Alkalmazott jelölések: L = a hajítás távolsága (a vízszintes irányú eltávolodás maximális értéke), H = a hajítás magassága (az emelkedés maximális értéke),  $\alpha$  = a hajítás szöge,  $v_0$  = a hajítás kezdősebessége,

*A hajítási távolság-magasság arány törvénye:* A hajítás távolságának (L) és magasságának (H) hányadosa a hajítási szög kotangensének 4-szeresével egyenlő, és független a kezdősebességtől és a gravitációs gyorsulástól.

A ferdehajítás egyenlőtlenségrendszer:  $\alpha < 45^\circ$  esetén:  $\frac{L}{H} > 4$

$$\alpha = 45^\circ \text{ esetén: } \frac{L}{H} = 4$$

$$\alpha > 45^\circ \text{ esetén: } \frac{L}{H} < 4;$$

A ferdehajítás: - szöge:  $\alpha = \arctg \frac{L}{4H}$ ; kezdősebessége:  $v_0 = \sqrt{\frac{g}{8 \cdot H} (16 \cdot H^2 + L^2)}$ , ha L és H ismertek.

Az ugyanolyan kezdősebességű és ugyanolyan hajítási távolságú hajítást nevezzük ezután ikerpályás/pótszögű hajításnak, melyre igaz az alábbi törvény: Adott kezdősebességgel  $\alpha$  szög alatt elhajított tárgy ugyanolyan messze röpköd, mintha ugyanolyan kezdősebességgel  $90^\circ - \alpha$  szög alatt hajították volna el. (A két szög egymás pótszöge, innen a másik elnevezés.)

*Pótszögű hajítás magasság-törvénye:* Az ugyanolyan kezdősebességű pótszögű hajítás esetén a hajítások magasságának hányadosa a kisebbik szög kotangensének négyzetével egyenlő. (Pótszög: Valamely hegyesszöget  $90^\circ$ -ra kiegészítő másik hegyesszög.)

*Azonos hajítási szögű ferdehajítás „magasságvonala”:* Azonos hajítási szögű, de különböző kezdősebességű hajítások pályájának legmagasabb pontjai egy egyenesre, az ún. *magasságvonalra* esnek, melynek meredeksége a hajítási szögű –a kezdősebesség vektorra illeszkedő– egyenes meredekségének a fele. A magasságvonal egyenlete:  $y = \frac{tg\alpha}{2} x$ ; ahol  $\frac{tg\alpha}{2} = \text{meredekség} = m = tg\beta$ .

A *magasságvonal* vízszintessel bezárt szöge ( $\beta$ ) mindig nagyobb a hajítási szög felénél.  $\beta > \alpha/2$

A kezdősebesség vektorra illeszkedő egyenes egyenlete:  $y = tg\alpha \cdot x$ ; tehát, ha egy pálya legmagasabb pontjának vízszintes koordinátája x, akkor a hajítás magassága a kezdősebesség vektorra illeszkedő egyenes ezen x helyen vett függvényértékének felével egyenlő, azaz szakaszelezéssel is meghatározható. Így a szimmetria alapján megszerkeszthető (kijelölhető) a becsapódási pont (a pálya végpontja).

Azonos távolságú/ magasságú/ repülési idejű ferdehajítások feltétele.

*Négyzetes hajítás (L=H):* azonos hajítási magasságú és távolságú ferdehajítás.

Feltétele:  $\alpha = \arctg 4 = 75,96^\circ \cong 76^\circ$ .

Legnagyobb elmozduláshoz tartozó pályapont meghatározása szélsőérték számítással.

Két azonos repülési idejű ferdehajítás esetén a kezdősebességek aránya fordítva arányos a hajítási szögek szinuszaival.

*Kiindulási ponttól állandóan távolodó ferdehajítás feltétele:*  $\sin^2\alpha \leq \frac{8}{9}$ ,  $\alpha \leq 70^\circ 31' 43'' \approx 70,53^\circ$ ; ez az érték független a kezdősebességtől ( $v_0$ ) és a gravitációs gyorsulástól, és éppen megegyezik a tetraéder lapszögével. (Ez egy coincidencia, amely hasznos a szög értékének memorizálására.) Ekkor **L = 1,39·H**.

*A leghosszabb idejű hajítás:* az elhajított tárgy levegőben való tartózkodási ideje a legnagyobb. Feltétele:  $\alpha = 90^\circ$  (*Függőleges felfelé hajítás.*) Ekkor ez egyben a legmagasabbra való hajítás esete is.

Távolabbra, mint magasabbra hajítás (L > H): feltétele, hogy  $\alpha < 76^\circ$  teljesüljön.

## ***SzeDe1.5. Szobahőmérsékleten végzett nem-Fourier hőimpulzus kísérletek analitikus kiértékelése***

**Fehér Anna Éva, Kovács Róbert**

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

A klasszikus hővezetési egyenlet, a Fourier-egyenlet fontos szerepet játszik a mérnöki életben, azonban csak homogén anyagokra használható teljes körűen. Azonban a legtöbb anyag, melyet alkalmazunk a való életben heterogenitást tartalmaz, mint a porozitás, törések vagy több különböző anyag érintkezése.

Vizsgálatokat végeztünk hőimpulzus („flash”) mérési eljárással, amelyben közetek, szénhabok és egyéb heterogén mintadarabok hőtani tulajdonságait vizsgáltuk. A kísérlet során a minta előlapját éri egy hőimpulzus, melyet egy villanó lámpa generál, majd ezután a hátlapi hőmérsékletet mérjük termoelem segítségével. Ez egy standard eljárás a minták hőfokvezetési tényezőjének meghatározásához szobahőmérsékleten. A kísérletek alapján több minta esetén is eltérést találtunk a Fourier-egyenlet által modellezett hőmérséklet-lefutástól és az általa kapott hőfokvezetési tényezőtől. A mérési adatok kiértékelésénél egy nem-Fourier modell analitikus megoldását alkalmaztuk, a Guyer-Krumhansl egyenletet. Azt tapasztaltuk, hogy a mért adatsor együtt fut a mérési kiértékelés során használt megoldással. Ezen felül kapcsolatot találtunk a Fourier és a Guyer-Krumhansl egyenletben található paraméterek között.

## ***SzeDe1.6. Kétmezős hp-verziós végeselem módszer kifejlesztése erősített termodinamikai modellek megoldására***

**Tóth Balázs és Molnár Zsombor**

Műszaki Mechanikai Intézet, Miskolci Egyetem

A széles körben alkalmazott alacsonyabb rendű, lényegében az elemsűrítésre építő h-verziós végeselem-módszerek számos esetben - még instacionárius hővezetési feladatok megoldása során is - konvergencia-problémákhoz vezethetnek.

Ezek az ún. numerikus bemerevedési problémák olyan formában jelentkezhetnek, hogy például a szóban forgó fizikai mennyiség - jelen esetben a hőmérséklet és/vagy a hőáramvektor - relatív hibájának konvergenciája lelassul, és ezzel egyidejűleg egy magasabb hiba értékhez tart, vagy a legrosszabb esetben a relatív hiba növekedni kezd, a megoldás pontossága pedig jelentősen elromlik. Ekkor a megoldandó egyenletrendszer együttható mátrixa rosszul kondicionálttá válik.

A problémák egyik lehetséges megoldása olyan kétmezős mixed hp-verziós végeselem-módszer kifejlesztése, melyben mind a hőmérsékletmező mind a hőáramvektor független, approximálható változóként jelenik meg. Erre építve fogunk bemutatni egy hp-verziós végeselem-módszert, mely alkalmas a termodinamika erősített elméleteire épülő matematikai modellek nagy pontosságú megoldására. A bemutatásra kerülő módszer numerikus problémáktól mentes eredményeket biztosít mind h-, mind p-típusú approximáció esetén.

Ahogy azt vártuk is, a p-approximáció nagyságrendekkel növelte a módszer konvergencia-sebességét.

## ***SzeDe2.1. Játék a mágnességgel FeRh vékonyrétegben***

**Merkel Dániel**

Wigner Fizikai Kutatóközpont

A változatos mágneses és magnetokalorikus tulajdonságai miatt, a FeRh ötvözetrendszer fontos építőköve lehet a jövő információtechnológiai és más energia hatékony eszközeinek. Ehhez

elengedhetetlen az anyag mágneses tulajdonságainak minél kisebb méretskálán történő testreszabhatósága.

A kutatás során FeRh vékonyréteget állítottunk elő MgO hordozóra molekulanyaláb epitaxia alkalmazásával. Megmutattuk, hogy hőkezelés, illetve ionbesugárzás segítségével a réteg mágneses tulajdonságai ferromágneses és paramágneses állapot között reverzibilisen állíthatók. A kísérletsorozat eredményeit felhasználva, mágneses nanoszerkezeteket hoztunk létre lézer- és maszkolt ionbesugárzás használatával.

## ***SzeDe2.2. Összetett minták roncsolásmentes lokális elemanalízise PGAI-NT módszerrel***

**Szentmiklósi László, Maróti Boglárka, Kis Zoltán**

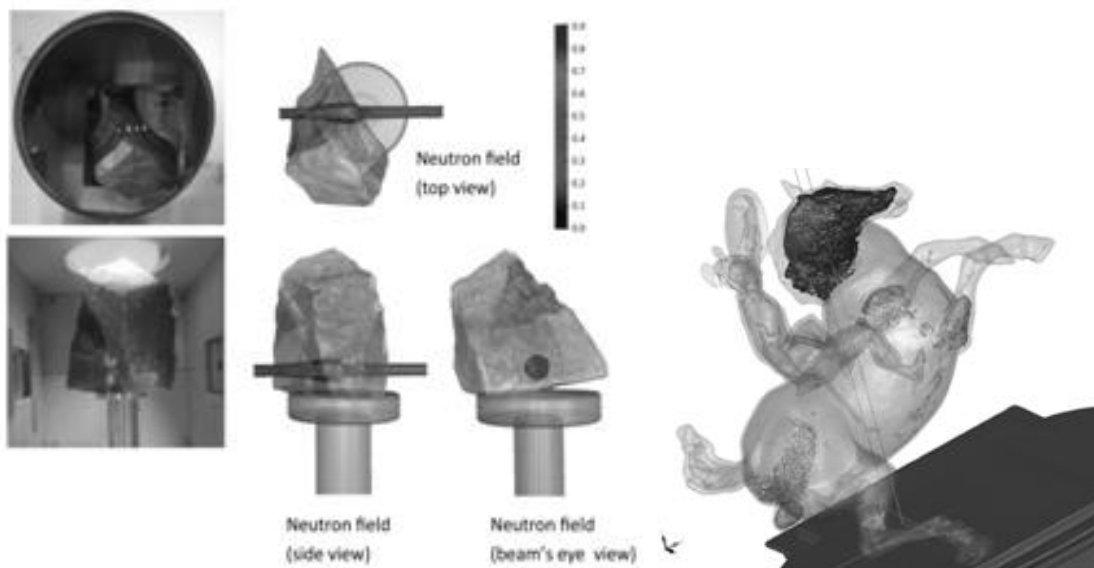
Energiatudományi Kutatóközpont, Nukleáris Analitikai és Radiográfiai Laboratórium

A prompt-gamma aktivációs analízis (PGAA) eredetileg kisméretű, homogén és szabályos alakú minták elemösszetételének meghatározására szolgáló roncsolásmentes nukleáris mérés technika. A Budapesti Neutron Centrum (BNC) PGAA és NIPS-NORMA mérőhelyén számos értékes, szabálytalan alakú, nagyméretű minta (geológiai minták, meteoritok, őskori kőeszközök, öntött bronz műtárgyak, mérnöki alkatrészek) tömbfázisra reprezentatív, illetve nem homogén tárgyak lokális elemösszetétel-mérése a feladatunk. Ez utóbbira fejlesztettük ki a PGAI-NT módszert, amely a neutron-alapú elemanalítika és radiográfias/tomográfias képalkotás kombinációja egy berendezésben. A nagyméretű és/vagy nem homogén minták esetén ugyanakkor jelentős a mátrixhatás, azaz a neutronok és gamma sugárzás mintán belüli gyengülése, amelyeket a megbízható analitikai eredményekhez korrekcióba kell venni.

A 124068 sz. OTKA projektünk keretében a PGAA technika versenyképesebbé tételét és annak legvonzóbb tulajdonságának, a roncsolásmentességnek tetszőleges formájú, méretű és mátrixú objektumra történő általánosítását tűztük ki célul. Ehhez 3D optikai szkennelés és/vagy a neutron/röntgentomográfiai adatok szegmentálása alapján meghatároztuk a mért tárgyak pontos geometriáját. Ez alapján egyrészt 3D nyomtatással egyedi mintatartókat készítettünk, másrészt a tárgy alakját és esetleges heterogenitását voxelizált formában átvihettük az MCNP6.2 Monte Carlo szimulációs keretrendszerbe, ahol a mérőberendezés főbb részegységeit (detektor, sugárvédelem, mintakamra), valamint a neutronnyaláb tulajdonságait (nyalábméret, energiaeloszlás, divergencia) is pontosan definiáltuk. Ezekkel a szimulációkkal reprodukálni tudjuk a neutronok és a gammasugarak komplex kölcsönhatásait a minta és a detektor anyagával, pontosan az adott mérési geometriára vonatkoztatva, így kvantitatívan korrigálhatjuk a mátrixeffektust.

Az analitikai módszert ismert geometriájú és összetételű 2D és 3D modell mintákon validáltuk, majd egy kb. 1 kg-os geológiai kőzetmintán (bal oldali ábra), tengeri sün fossziliákon, festett Sevres kerámia dísztálon, továbbá egy értékes, Japánból származó középkori fém homáron (középen) alkalmaztuk sikerrel. A Leonardo da Vinci-vel összefüggésbe hozott Budapesti Ló és Lovas kisbronz szobor adatainak feldolgozása pedig jelenleg is folyamatban van (jobbra).





### ***SzeDe2.3. Új fejlesztésű laboratóriumi nagy energiafelbontású röntgenspektrométer és alkalmazásai***

**Németh Zoltán, Mikeházi Antal, Jihad El Guettioui és Vankó György**

Wigner Fizikai Kutatóközpont

A laboratóriumi röntgenforrásokon alapuló nagy energiafelbontású spektrométerek reneszánszukat élik. Habár már a XX. század második felében is volt jónéhány próbálkozás ilyen röntgenspektrométerek összeállítására, azok gyenge hatékonyságuk miatt nem terjedtek el. A harmadik generációs szinkrotronok viszont olyan intenzív röntgenforrásként jelentek meg a 90-es években, hogy a nagy energiafelbontású spektroszkópiai módszerek, mint pl. a XANES (*X-ray Absorption Near Edge Structure*), az EXAFS (*Extended X-ray Absorption Fine Structure*) vagy az XES (*X-ray Emission Spectroscopy*) nagyon hamar kizárólag az ilyen és hasonló nagyberendezésekhez kötődő technikákként kerültek be a köztudatba. Míg e nagyméretű röntgenforrások nyilvánvalóan felülmúlják röntgensugárzás fényessége, energia hangolhatósága, polarizációja, impulzusos időszerkezete stb. tekintetében a hagyományos röntgensöveket, az utóbbi időben mégis sikerült bizonyítani, hogy a jóval elérhetőbb laboratóriumi sugárforrásokra alapozva is lehet és szükséges ezen módszercsaládot alkalmazni.

Az előadás során áttekintést adunk a Wigner FK-ban fejlesztett spektrométer alkalmazási területeiről, lehetőségeiről és további fejlesztési irányairól.

[1] Z. Németh, J. Szlachetko, É.G. Bajnóczi, G. Vankó, *Rev. Sci. Instrum.* 87(10), 2016, 103105.

[2] É.G. Bajnóczi, Z. Németh, G. Vankó, *Inorg. Chem.* 56(22), 2017, 14220.

[3] Z. Németh, É.G. Bajnóczi, Cs Bogdán, G. Vankó, *PhysChemChemPhys* 21(18), 2019, 9239.

[4] N. Popov, Z. Németh, et al., *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 152, 2021, 109929

[5] Z. Németh, A. Mikeházi, J. El Guettioui, G. Vankó, *J. Synch. Rad.* elfogadva

[6] Z. Németh, A. Mikeházi, G. Vankó, *JAAS* beküldve

### ***SzDe2.4. Ultragyors molekuladinamika vizsgálata XFEL-ekkel***

**Vankó Gy., Bajnóczi É., Keszthelyi T., Mikeházi A., Németh Z., Pápai M., Papp M., Rozgonyi T., Sárosiné Szemes D.**

Wigner Fizikai Kutatóközpont

Molekuláris rendszerek fényel kiváltott átalakulásai fontos szerepet játszanak a fizika, a molekuláris biológia, a kémia és az anyagtudomány különböző ágaiban. A fotoszintézis vagy a látás mechanizmusa jó példa a sokat vizsgált problémákra, de fontos megemlíteni a fényel aktiválható molekuláris eszközök és a fényhasznosító rendszerek létrehozására tett erőfeszítéseket is. Az ezekben lezajló jelenségek megértéséhez nélkülözhetetlen a fényel kiváltott molekuláris átalakulások elemi fizikai lépéseinek megértése. E folyamatok természetes időskálája femtoszekundumos, megfigyelésükhöz tehát olyan eszközökre van szükségünk, amelyek ilyen időfelbontással tudják vizsgálni az elektronok és a magok dinamikáját. Az ezirányú kutatásokban leggyakrabban alkalmazott kétimpulzusos (ún. pumpa-szonda) kísérletekben ultrarövid lézerimpulzusokkal gerjesztjük a tanulmányozott rendszert, majd az átalakulásokat választott időkülönbséggel érkező szondaimpulzusokkal vizsgáljuk. A szabadelektron-röntgenlézerek (XFEL-ek) femtoszekundumos impulzusait szondaként alkalmazva kihasználhatjuk a röntgentechnikák előnyeit, így röntgenspektroszkópiával feltérképezhetjük a töltés, a spin, ill. az atomi szerkezet változásait az átalakulások elemi lépéseiben, röntgenszórással pedig meghatározhatjuk az idő függvényében a rövid távú mellett a hosszabb távú szerkezet változását, valamint a molekula relaxációja során a környezetnek átadott energiát is. Az időbeli felbontás javulása lehetővé tette a részfolyamatok kísérleti elkülönítését, a magmozgás koherens dinamikájának megfigyelését; a kvantumkémiai és kvantumdinamikai modellezés segítségével pedig az átalakulások finom részleteit is megérthetjük. Az előadásban ezekre mutatunk néhány, átmenetifém-komplex vizsgálatából származó példát.

### ***SzeDe3.1. Matematikai járványmodellezés: a COVID-19 második és harmadik hulláma Magyarországon***

**Bartha Ferenc:**

Szegedi Tudományegyetem Bolyai Intézet

Az előadásban röviden vázoljuk néhány lehetséges módját a matematikai járványmodellezésnek majd bemutatjuk, hogyan kerültek ezek alkalmazásra a COVID-19 magyarországi modellezése / előrejelzése során a járványmatematikai és epidemiológiai munkacsoport által. A prezentációban a járvány második és harmadik hullámára fogunk koncentrálni országos és városi (Szeged) szinten, illetve egy országos lefedettséggel bíró üzleti partner kapcsolati hálózatán.

### ***SzeDe3.2. Az online szociális hálózatok dinamikája és a visszhang kamrák kialakulása***

**Török János**

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Életünk egyre nagyobb részét az online közösségi oldalakon éljük le. Így ez a szociológusok és hálózatkutatók aranybányájává vált. Az iWiW magyar online közösségi oldal életéről és haláláról fogok beszélni. Megmutatom, hogy az összeomlás a lavina hatások miatt következett be, mivel az emberek akkor hagyták el az oldalt, amikor barátaik körülbelül 50%-a inaktívvá vált. Továbbá megmutatom, hogy az online közösségi kapcsolatok hálózati struktúrájának elemzése során nyert információ nagyon eltérhet a valóstól, mivel ezek az oldalak nem triviális mintavételt végeznek a társadalomról. A végén bemutatom a közösségi hálózatok modelljét, és megmutatom, mi okozhatja visszhangkamrák kialakulását az emberi társadalomban.

### ***SzeDe3.3. A Drake-átjáró kinyílása: kísérletek, szimulációk, paleoklimatológia***

**Vincze Miklós**

ELKH-ELTE Elméleti Fizikai Kutatócsoport

A földtörténet egyik legmarkánsabb, geológiai léptékben rendkívül gyorsnak tekinthető klímaváltozása, egy "globális lehülés" zajlott le nagyjából 34 millió évvel ezelőtt, az eocén és oligocén korszakok határán. Innentől kezdve borítja állandó jégtakaró az Antarktisz, habár a déli kontinens már harminc millió évvel korábban lényegében elfoglalta jelenlegi, poláris helyzetét. Kutatásunkban azt vizsgáltuk, hogy mi állhatott e kataklizmikus klimatológiai "fázisátalakulásnak", globális átrendeződésnek a hátterében?

A közkeletű "klasszikus" elmélet szerint a Dél-Amerikát az Antarktisz-félszigettel összekötő földhíd szétválása, azaz a Drake-átjáró kinyílása játszott kulcsszerepet az esemény történetében, ezzel ugyanis létrejött bolygónk legnagyobb vízhozamú óceáni áramlata, az Antarktisz körbefutó cirkumpoláris áramlás. E vízkörzés megindulásával a déli sarkvidék elszigetelődött a trópusok melegét szállító óceáni áramlatoktól, ezáltal a Déli-óceán és az Antarktisz hőmérséklete csökkenni kezdett, míg végül megjelent az állandó jégtakaró.

Am a helyzet ennél lényegesen összetettebb lehetett: a Drake-átjáró kinyílása mellett ugyanis az eocén-oligocén korszakhatárt a paleoklimatológiai adatok szerint a légköri széndioxid-szint jelentős csökkenése is jellemzi, mely valamelyest megelőzte a cirkumpoláris vízkörzés kifejlődését. Vajon a lemeztectonikai folyamatok vagy az üvegházhatás csökkenése játszott fontosabb szerepet az ősi klímaváltozásban?

Az ELTE Fizikai Intézet Kármán Laboratóriumában illetve a cottbusi Brandenburgi Műszaki Egyetemen végzett minimálmodell-kísérleteink, illetve a PlaSim globális numerikus klímamodellben végzett szimulációink arra mutatnak, hogy a Drake-átjáró kinyílása önmagában nem lehetett volna elégséges az Antarktisz befagyásához, sőt, a Déli-óceán enyhe melegedéséhez is vezethetett volna, ha a széndioxid-szint nem lett volna elegendően alacsony ahhoz, hogy lehetővé tegye a jégképződést. Eredményeink tehát arra utalnak, hogy mindkét hatás jelenlétére szükség volt ahhoz, hogy az immár 34 millió éve fennálló "jeges Antarktisz" klímaállapot beállhasson.

Irodalom:

M. Vincze, T. Bozóki, M. Herein, I. D. Borcia, U. Harlander, A. Horicsányi, A. Nyerges, C. Rodda, A. Pál & J. Pálffy, The Drake Passage opening from an experimental fluid dynamics point of view, Scientific Reports 11, 19951 (2021) <https://www.nature.com/articles/s41598-021-99123-0>

## Poszterek

### ***P1. Többpólusú (multipoláris) rendszerek***

**Inceffy Szabolcs**

Bolyai János Gimnázium

Bizonyára mindenki számára ismerősek az északi sark közelében, hosszú expozíciós idővel készített égbolt fotók, amelyek a Föld forgását, vagy a csillagok relatív mozgását igazolják! Lásd az 1. ábrát!



1. ábra

A csillagok relatív (látszólagos) mozgásának egyik magyarázata az lehet, hogy a kamerához képest a csillagok körpályán mozognak (az 1. ábrán is ez látszik) egy centripetális erő hatására. Tekintettel arra, hogy a Föld (a forgása miatt) egy gyorsuló rendszer, azt mondhatjuk, hogy e rendszerben tehetetlenségi erők lépnek fel és ezek az erők, centripetális erőként, tartják körpályán az egyes csillagokat. Az eredő tehetetlenségi (centripetális) erő a Coriolis erőnek ( $F_{cor}$ ) és a centrifugális erőnek ( $F_{cf}$ ) a különbsége, azaz  $F_{cp} = F_{cor} - F_{cf} = 2m\omega^2 r - m\omega^2 r = m\omega^2 r$ . Itt  $m$  a csillag tömege,  $\omega$  a Föld szögsebessége és  $r$  a csillag távolsága a Földtől.

A poszteremben egy olyan koordináta (megfigyelő) rendszert szeretnék bemutatni, amelyben a csillagok látszólagos körmozgásához nincs szükség centripetális erőre! Ez egy olyan megfigyelő rendszer, amely középpontjából (centrumából) nézve, a testek centripetális gyorsulás nélkül is körpályán mozognak! Egy ilyen rendszer szög-, illetve ív-vektorok bevezetését igényli!

### ***P2. Kutatói szemlélet formálása környezeti fizikai fogalmakkal a középiskolában***

<sup>1,2</sup> **Nógrádi Zsófia**,<sup>3</sup> **Weidinger Tamás**

<sup>1</sup> ELTE Radnóti Miklós Gyakorló Általános Iskola és Gyakorló Gimnázium

<sup>2</sup> ELTE Fizika Tanítása Doktori Iskola

<sup>3</sup> ELTE Meteorológiai Tanszék

A kutatói szemlélet fejlesztése, kialakítása az egyik fontos célkitűzése a természettudományoknak, így a Nemzeti alaptantervben is kiemelt szerepet kap. Fontos, hogy az iskolai tevékenységek alatt is támogassuk a diákokat, hogy jó kísérletező, megfigyelő válják belőlük, akik tapasztaltak az egyéni tanulást és az informatikai eszközök használatában. A poszteren egy, a fentieknek megfelelő középiskolai fizika projekt bemutatása látható. A projekt központi témája a légnyomás, mint fogalom mélyebb megértése, és a befolyásoló tényezők kutatása, kiemelten a magasságfüggés kimérése. A diákok párokban dolgoztak a feladaton, ezzel fejlesztve a társaskapcsolatokat és a kooperációt, a mérést okostelefonon végezték, a mért értékeket pedig Excel segítségével értékelték ki. A mérésekből végül jegyzőkönyv készült, melyekben strukturáltan, megfogalmazottan kellett szerepelnie a mérésük eredményeinek. A jegyzőkönyv készítésénél a precíz, rendezett munka gyakorlása a figyelem irányítását is fejleszti. A plakáton helyt kap az elkészült

munkák értékelése, a diákok egyéni értékelése is. Az értékelési szempontok bemutatása és azok visszajelzésének módjai. Továbbá egy másik projekt bemutatásáról is szó esik, melyben a diákok a légszennyezettségre utaló jeleket kerestek adatsorokban és a fényerősség változásában. A méréseket különböző korcsoportok és különböző motivációs szinten álló diákok végezték, így ennek összehasonlítása motiváció szempontjából is fontos szerepet kap.

### ***P3. Krypton külső alhéjának fotoionizációját jellemző anizotrópia paraméterek viselkedése belső alhéj gerjesztések környezetében***

**Ábrók Levente<sup>1,2</sup>, Buhr T.<sup>3</sup>, Kövér Á.<sup>1</sup>, Varga D.<sup>1</sup>, Holste K.<sup>3</sup>, Borovik A. A. Jr.<sup>3</sup>, Schippers S.<sup>3</sup>, Müller A.<sup>3</sup>, Gulyás L.<sup>1</sup>, Ricz Sándor<sup>1</sup>, Orbán A.<sup>1</sup>**

Atommagkutató Intézet

Debreceni Egyetem, Fizikai Tudományok Doktori Iskola

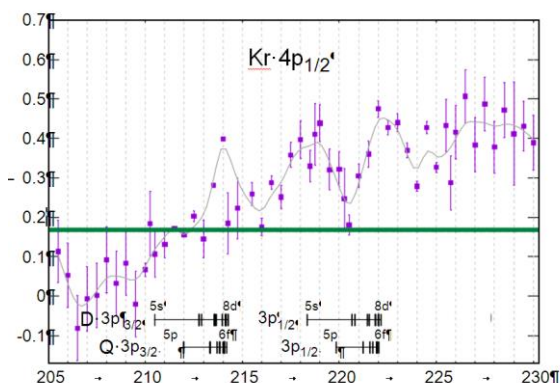
Justus-Liebig Universität Giessen

A fotoionizáció során emittált elektronok energia- és szögeloszlása fontos információkat hordoz a lejátszódó folyamatokról. Elméleti és kísérleti vizsgálatuk az atomok és molekulák viselkedésének mélyebb megértését teszi lehetővé.

A Kr 4p alhéjának ionizációját vizsgáltuk egy olyan fotonenergia tartományban, amelyben a 3p alhéj rezonánsan gerjesztett állapotai is jelen vannak [1]. A gerjesztett állapot egyik lehetséges bomlási csatornájának végállapota megegyezik a direkt ionizációval, így a két folyamat interferál egymással. Ezen csatorna kölcsönhatás megfigyelhető a teljes hatáskeresztmetszetekben és a fotoelektronok szögeloszlásában is [2].

A kísérlet a hamburgi szinkrotron forrás lineárisan polarizált, 205-230 eV energiájú fotonnyalábjában történt az ESA-22 elektronspektrométer alkalmazásával. A vizsgált szórás síkban az elektronokat 15°-onként detektáltuk, egyidejűleg. A mért szögeloszlásokat jellemző anizotrópia paramétereket határoztunk meg, nondipól járulékokat is figyelembe véve. Az eredmények értelmezéséhez egy olyan energiafüggő, Hartree- Fock alapú számolást készítettünk amely a direkt ionizáció mellett néhány gerjesztési csatornát is figyelembe vesz. A modell azt mutatta, hogy az interferáló folyamatoknak jelentős hatása van a szögeloszlások alakjára.

A kísérleti anizotrópia paraméterek energiafüggő viselkedése jelentős eltéréseket mutatott az általunk végzett és más kutatók által készített számításokhoz képest.



A Kr 4p alhéj ionizáció kísérleti (lila pont) és elméleti (zöld szaggatott vonal) anizotrópia paraméterének energiafüggő viselkedése. A fekete vonalak a 3p alhéj gerjesztéseit jelölik. L. Ábrók et al., Non-dipole anisotropy parameters in the photoionization of Kr in the region of deep inner shell excitations, Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena 258, 147209

Hivatkozások

- [1] L. Ábrók et al., Non-dipole anisotropy parameters in the photoionization of Kr in the region of deep inner shell excitations, Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena 258, 147209 (2022)

[2] S. Ricz et al., Interference effect in the dipole and nondipole anisotropy parameters of the Kr 4p photoelectrons in the vicinity of the Kr (3d)  $-1 \rightarrow np$  resonant excitations, Phys. Rev. A 81, 043416 (2010)

A szerzők köszönik az alábbi projektek anyagi támogatását: OTKA K128621, NKFIH 2018-1.2.1-NKP-2018-00010.

#### ***P4. Hátoldali reflexiós echelon terahertzes forrás optimalizálása numerikus számításokon keresztül***

**Illés Gergő<sup>1,\*</sup>, Krizsán Gergő<sup>1,2</sup>, Pálfalvi László<sup>1</sup>, Tibai Zoltán<sup>1</sup>, Almási Gábor<sup>1</sup>, Hebling János<sup>1,2,3</sup>, Tóth György<sup>1</sup>**

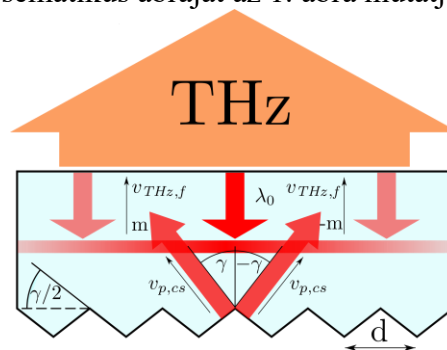
<sup>1</sup> Pécsi Tudományegyetem, Fizikai Intézet

<sup>2</sup> Szentágotthai János Kutatóközpont

<sup>3</sup> ELKH-PTE Nagy Térerősségű Terahertzes Kutatócsoport

Az optikai terahertzes források fejlődésével lehetőség nyílt arra, hogy 1 mJ nagyságrendű impulzusenergiákat állítsunk elő [1]. Ezt az impulzusenergiát a döntött impulzusfrontú gerjesztés módszerét (továbbiakban TPF) [2] használva sikerült elérni. Azonban a döntött impulzusfrontú gerjesztés módszerének számos korlátozó tényezője van. Ezen tényezők enyhítésére lehetőséget ad a hátoldali reflexiós elrendezés [3], [4].

Az elrendezés úgy működik, hogy a pumpaimpulzus a kristályra merőlegesen lép be, majd a kristály hátoldalához érve, a megmunkált felületen diffraktálódik. Ezen megmunkálásnak olyannak kell lennie, hogy a diffrakció következtében a kialakuló impulzusfrontdöntés megfeleljen a sebességillesztési feltételnek [2]. Amennyiben ez teljesül úgy hatékonyan fog keletkezni a terahertzes (továbbiakban THz-es) impulzus. Az keletkező THz-es impulzus a kristály belépő felületén fog távozni, haladási iránya pedig merőleges lesz erre a felületre, aminek következtében nagy hatásfokú lesz a kicsatolás. Az elrendezés sematikus ábráját az 1. ábra mutatja.



1. ábra: Hátoldali reflexiós echelon sematikus rajza

#### Irodalomjegyzék

[1] X. Wu, B. Zhang, J. Ma, and Y. Li, “1.4 mJ high energy THz radiation from lithium niobates,” in *2020 45th international conference on infrared, millimeter, and terahertz waves (IRMMW-THz)*, 2020, pp. 1–2.

[2] J. Hebling, G. Almási, I. Z. Kozma, and J. Kuhl, “Velocity matching by pulse front tilting for large-area THz-pulse generation,” *Optics Express*, vol. 10, no. 21, pp. 1161–1166, 2002.

[3] G. Krizsán, Z. Tibai, J. Hebling, L. Pálfalvi, G. Almási, and G. Tóth, “Lithium niobate and lithium tantalate based scalable terahertz pulse sources in reflection geometry,” *Optics Express*, vol. 28, no. 23, pp. 34320–34327, 2020.

[4] G. Tóth *et al.*, “Single-cycle scalable terahertz pulse source in reflection geometry,” *Optics Express*, vol. 27, no. 21, pp. 30681–30691, 2019.

## ***P5. Lítium niobát alapú néhány ciklusú terahertzes források***

**L. Nasi<sup>1,2</sup>, G. Illés<sup>1</sup>, G. Nazymbekov<sup>1</sup>, L. Pálfalvi<sup>1</sup>, J. Hebling<sup>1,2,3</sup>, Gy. Tóth<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>PTE TTK Fizikai Intézet

<sup>2</sup> PTE Szenthágotai Kutatóközpont

<sup>3</sup>MTA-PTE Nagyintenzitású Terahertzes Kutatócsoport

Közel egy ciklusú THz-es impulzusokat ma már széleskörben állítanak elő és használják különböző kísérleteknél. Néhány alkalmazás során azonban előnyösebbek a néhány ciklusú THz-es impulzusok. Jelen munkában numerikus számítások alapján különböző többciklusú THz-es forrásokat vizsgálunk.

Vizsgáljuk a hagyományos döntött impulzusfrontú, valamint a periódikusan polarizált lítium niobát kristályok esetét. A pumpáló impulzusként kétkomponensű, keskeny sávzélességű, illetve nagy sávzélességű, csörpölt impulzusokat feltételezünk. Az egyes esetekben a THz-es spektrumot és időbeli alakot ábrázoljuk, valamint a keltés határfokát. A THz-es impulzus időbeli alakja igen fontos a részecskegyorsító alkalmazások esetén.

## ***P6. Terahertzes impulzusokon alapuló elektronforrás***

**Sarkadi Balázs Róbert, Turnár Szabolcs, Hebling János, Tibai Zoltán**

Pécsi Tudományegyetem

Az elmúlt évtizedekben a terahertzes (THz) impulzusgenerálási technikák területén jelentős fejlődés volt látható, aminek köszönhetően a keltett impulzusok energiája közel 7 nagyságrenddel nőtt, ezzel elérve a mJ-os értéket. Az ilyen nagy energiájú THz impulzusok felhasználásának egyik legígéretesebb kutatási területe a részecskegyorsítás. A THz-es impulzusok hullámhossza közel két nagyságrenddel nagyobb, mint az infravörös vagy a látható tartományba eső lézereké. Ennek köszönhetően a terahertzes sugárzás kiválóan alkalmazható relatíve nagy töltéssel (néhány 100 fC - néhány pC), illetve akár pikoszekundumos tartományba eső időbeli hosszúsággal rendelkező elektroncsomók gyorsítására is. Az általunk vizsgált modellben két egymással szemben haladó és közel egyciklusú THz-es impulzusok segítségével gyorsítjuk a kripton-gáz ionizációja során keltett elektronokat vákuumban. A szimulációkat egy úgynevezett Particle-in-Cell (PIC) programmal, az EPOCH elnevezésű szoftverrel végeztem. A gyorsításért felelős THz-es impulzusok időbeli hossza 1,66 ps (FWHM), központi frekvenciájuk 0,3 THz és egyenként 1,3 mJ energiával rendelkeznek. A kezdeti elektronfelhő teljes töltése 800 fC. A részecskegyorsítás numerikus szimulációinak eredményeként kapott elektroncsomó időbeli hossza néhány 100 fs (FWHM) és átlagosan több 10 keV energiára tettek szert a gyorsítás során. A szimuláció által jósolt ultrarövid és kis energiabizonytalansággal rendelkező elektroncsomók alkalmasak lehetnek elektronspektroszkópiás, illetve elektrondiffrakciós mérésekben való alkalmazásra.

## ***P7. Electron acceleration using a waveguide structure powered by low energy single-cycle THz pulse***

**Szabolcs Turnár, Gergő Krizsán, János Hebling, Zoltán Tibai** (University of Pécs, Pécs)

Pécsi Tudományegyetem

Terahertz generation techniques and THz-driven compact acceleration schemes have been developed continuously over the past decade. In this work we present a waveguide-structure based electron acceleration setup powered by low energy single-cycle THz pulse. We assumed that photoelectrons are generated inside the structure by the 100 fs long pulses at the fourth harmonic (257 nm) of a 1030 nm wavelength laser. The horn-shaped metallic waveguide structure is used to focus the incoming linearly polarized single-cycle THz beam below the diffraction limit, hence increased the peak electric field inside the gap and exceeded the MV/cm peak electric field level at the electron

emission area. We experimentally verified the gain of the electric field and measured its shape through the horn-gun structure using electro-optic sampling technique. The procedure of the electron acceleration was simulated numerically by the CST Studio Suite software. According to the calculation using a single cycle THz pulse with 0.55 THz central frequency and 500 kV/cm peak electric field the acceleration of the electron bunch from rest up to ~ 8 keV was predicted. The energy spread of the bunch is 6.7 % (rms) and the beam duration is ~630 fs (FWHM=33  $\mu$ m). These values can be even smaller and shorter using a THz pulse-based electron compression stage.

### ***P9. Spektrális lyukégetés és kapcsolódó tanulmányok itterbiummal adalékolt lítium-niobát egykristályokban és nanokristályokban***

**Mandula Gábor József, Kis Zsolt, Lengyel Krisztián, Kocsor Laura, Szaller Zsuzsanna és Kovács László**

Wigner Fizikai Kutatóközpont

Most bemutatandó kutatásunk célja szaturációs spektroszkópia segítségével meghatározni és összehasonlítani néhány host kristályban egyes ígéretes adalékionok gerjesztési élettartamát és koherenciaidejét, hogy kiválasszuk közülük a nanokristályos formában egyfotonforrásként legcélszerűbben használhatókat.

Laboratóriumunkban egyfotonforrás céljából konfokális mikroszkópot építettünk, amihez mind a gerjesztendő ritkaföldfémionnal adalékolt nanokristályos mintákat, mind pedig a gerjesztéshez használandó stabilizált diódalézert is magunk fejlesztjük. A célunk az, hogy a konfokális mikroszkóp segítségével egyetlen nanokristály szemcsére fókuszáljuk a lézerünk igen keskeny vonalszélességű nyalábját, mely a szemcsében található néhány száz vagy néhány ezer adalékionból egyetlen egyet gerjeszt, és az igen rövid időn (néhány száz  $\mu$ s-on) belül kibocsát egy magányos fotont, melyet a konfokális mikroszkópból optikai szálon át kivezetünk detektálásra vagy kvantumoptikai kísérletre. A nanokristályokban az adalékionok elnyelési frekvenciája ugyanis nem csak az elemi cellán belüli helyétől, hanem annak térbeli helyétől is függ, mivel a közeli határfelület torzítja a rácsparamétereket.

A kristályok vizsgálatához egy sor pumpa-próba típusú szaturációs spektroszkópiai mérést végeztünk a populáció- és koherencia-relaxáció idejének meghatározására itterbiummal adalékolt lítium-niobát egykristályokon és nanokristály pasztillákon. A mérésekhez egy keskeny (~100kHz) vonalszélességű hangolható diódalézert használtunk kb. 980 nm hullámhosszon, az  $\text{Yb}^{3+}$  ion  $^2\text{F}_{7/2} \rightarrow ^2\text{F}_{5/2}$  átmenetére hangolva. Az adalékionnak egy keskeny (~1cm<sup>-1</sup>) inkoherezen kiszélesedett spektrumvonala van mind az elnyelési, mind a gerjesztési színekben.

A pumpa-próba kísérletünkben az első, több ms hosszúságú, rögzített frekvenciájú impulzus gerjeszti az adalékionoknak azon részét, melyek legfeljebb a természetes vonalszélességük néhányszorosával vannak elhangolódva a lézer frekvenciájától. Ennek a pumpáló impulzusnak a következményeként az inhomogénen kiszélesedett spektrumvonalban egy spektrális lyuk keletkezik. A következő, monotonon növekvő frekvenciájú impulzus végigpásztazza a spektrális lyukat, és az áteresztett intenzitás frekvenciafüggése visszaadja a spektrális lyuk alakját. E görbéből meghatározható a gerjesztés homogén vonalszélessége, a spektrális lyuk mélységének a késleltetési időtől való függése pedig megadja a gerjesztés élettartamát, azaz a populációrelaxációs időt.

Poszterünkön a mérések és eredményeinek ismertetése mellett diszkutáljuk a sajátos kettős – egy keskeny és egy széles komponensből álló – spektrális lyuk struktúra lehetséges okait. Bemutatunk továbbá néhány más potenciális kristályt egyfotonforrás céljára.

Ezt a kutatást a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatta a Kvantumtechnológia Nemzeti Kiválósági Program keretében (Project Nr. 2017-1.2.1-NKP-2017-00001).



## ***P10. Elektromosan vezérelt szinglet-triplet átmenet triangulén S=1 láncokban***

**Oroszlány László**

Eötvös Loránd Tudományegyetem

. Mishra és munkatársai a közelmúltban sikeresen szintetizáltak grafén alapú triangulén láncokat. Ezen rendszerek alacsonyenergiás mágneses gerjesztései nagy pontossággal írhatók le S=1-es spin láncok segítségével. Munkánk során ezen rendszerek mágneses gerjesztéseit vizsgáljuk a mágneses erőtétel segítségével. Első elvű számításokból meghatározzuk a spin láncokat leíró bilineáris és bikvadrátikus kicserélődési kölcsönhatásokat. Ezt követően, három lehetséges kísérletre teszünk javaslatot melyben a páratlan hosszú nyílt láncok alapállapotában tripllett/szinglett átalakulás figyelhető meg.

## ***P11. A spin-pálya kölcsönhatás szerepe lapos sávok létrehozásában***

**Kucska Nóra<sup>1,2</sup>, Gulácsi Zsolt<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Elméleti Fizikai Tanszék, Debreceni Egyetem

<sup>2</sup>Wigner Fizikai Kutatóközpont,

Az ötszög bázisú vezető polimerláncokra vonatkozó lapos sáv kondíciókat vizsgáltuk spin-pálya kölcsönhatás (SOI) jelenlétében. A SOI hiányában létrejövő lapos sáv kondíciók korábban már ismertek voltak [1]. Ezek nagy megkötést jelentenek azon fizikai rendszerekre, ahol lapos sáv érhető el. A cél az volt, hogy bemutassuk hogyan képes ezen a SOI enyhíteni. A lapos sáv kondíciók által rögzített paraméterektől eltérve kapott diszperzív sávokat a SOI képes ismét lapos sávokká alakítani [2]. Azt találtuk, hogy a lapos sáv kondíciók által meghatározott paraméter értékektől való 20-30% eltérést is lehetséges SOI értékekkel kompenzálni. A B mágneses tér jelenlétében ez az eltérés akár 80%-ot is elérhet. Számításokat mutatunk be továbbá kis nagyságú, intrinsic SOI esetén B=0 és B ≠ 0 esetben.

[1] Zs. Gulácsi, Exact Ground States of Correlated Electrons on Pentagon Chains, International Journal of Modern Physics B, 27(14), 1330009 (2013)

[2] N. Kucska, Zs. Gulácsi, Spin-orbit interactions may relax the rigid conditions leading to flat bands, Phys. Rev. B 105, 085103 (2022)

## ***P12. Investigation quantum emitters in two-dimensional silicon carbide monolayers***

**M. Mohseni<sup>1,2</sup>, I. Abdolhosseini Sarsari<sup>2</sup>, A. Gali<sup>1,3</sup>**

1) Wigner Research Centre for Physics

2) Department of Physics, Isfahan University of Technology

3) Department of Atomic Physics, Institute of Physics, Budapest University of Technology and Economics

Defects and impurities in semiconductors create special photonic and electronic properties, using as quantum technologies (quantum communication, quantum sensing, and quantum computers). The new generation of solids are known as two-dimensional (2D) materials. This type of material has recently received attention, especially in quantum emitters, due to their high quantum efficiency. [1-2].

Recently the 2D hexagonal silicon-carbide (SiC) is provided in experimental laboratories [3]. In this work, 2D-SiC with some point defects promising quantum technology applications are studied. We applied density functional theory (DFT) approach with the projector augmented wave (PAW)

method in the Vienna Ab-initio Simulation Package (VASP). Exchange correlation functional of Heyd, Scuseria and Ernzerhof (HSE06) was employed. For all calculations the  $8 \times 8 \times 1$  supercell were performed using a  $\Gamma$ -point.

We applied vacuum region of 24 Å in the z-direction for canceling all interactions between periodic images. The atomic positions were optimized to the point where the Hellman-Feynman forces acting on them were less than 0.01 eV/Å per atom, and a kinetic energy cutoff of 450 eV was used. Constrained DFT (CDFT) was employed for electronic transitions. The pristine 2D-SiC was optimized using HSE to give a lattice constant of  $a = 3.07$  Å and Si-C bond length of 1.77 Å, while in the experimental measurement, they are 3.1 Å and 1.79 Å, respectively. Thus, the errors are less than 1.0% [3].

The point defects in 2D-SiC, namely a vacancy ( $V_{Si}$ ) and two antisite-vacancy pairs ( $V_C-C_{Si}$  and  $V_{Si}-C_{Si}$ ), are examined using ab-initio techniques for their potential as single-photon emitters (SPEs). We first calculated the formation energies and charge transition levels. All defects are only stable in the negative and neutral charge states. We find that the  $V_C-C_{Si}$  in the negative charge state is simultaneously stable and may have an infrared emission. Therefore, we carried out a detailed ab-initio characterization of for this defect: ZPL energy is 0.75 eV, HR factor is 0.64 and DW factor is 52%. The radiative lifetime of the excited state of the defect is 138 ns. This defect has  $S=1/2$  spin state, so it is paramagnetic defect.

We systematically studied the basic properties of Si-vacancy type defects in 2D-SiC. We found that the negatively charged  $V_C-C_{Si}$  defect has promising magneto-optical properties for realizing single photon source with emission in the near infrared region.

[1] A. G. J. MacFarlane, J. P. Dowling, and G. J. Milburn, *Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 361, 1655 (2003).

[2] H.-K. Lo, M. Curty, and K. Tamaki, *Nature Photonics* 8, 595 (2014)

[3] S. Chabi, Z. Guler, A. J. Brearley, A. D. Benavidez, and T. S. Luk, *Nanomaterials* 11 (2021)

### ***P13. Weyl-pont teleportáció***

**Frank György**

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Ebben a munkában a Weyl-pont teleportáció jelenségét mutatjuk be. A Weyl-pontok általában folytonos mozgást végeznek egy kvantumrendszer konfigurációs paraméterterében a kontrollparaméterek folytonos változtatásának hatására. Azonban lehetnek speciális átmeneti pontjai a kontrolltérnek, ahol a Weyl-pontok folytonos mozgása megszakad. Ezekben az átmeneti pontokban egy kiterjedt degenerációs struktúra (degenerációs vonal vagy felület) jön létre, amely féregjáratként szolgál a Weyl-pontok számára, lehetőséget adva azok teleportációjára a konfigurációs térben. Egy karakterisztikus mellékhatása a teleportációnak a Weyl pontok mozgási szuszceptibilitásának divergenciája az átmeneti pont környezetében, mely divergenciát univerzális skálatörvény jellemzi. Ezeket a jelenségeket egy két-spin modellel és egy Weyl--Josephson-áramkör modelljével szemléltetjük. Arra számítunk, hogy az eredményeink általánosíthatók más rendszerekre is, mint pl. a topologikus félvezetők elektron-sávszerkezete.

## ***P14. Symplectic speed-up of adiabatic quantum computation***

**Grabarits András**

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

In adiabatic quantum computation, the Hamiltonian is continuously deformed to drive the system from a trivial quantum state to a complex quantum state of interest. The efficiency and speed of adiabatic quantum computation is, however, very sensitive to the structure of avoided level crossings. Many times, the states of interest are generated as the ground state of a system with time reversal invariance, belonging to the orthogonal class of Hamiltonians. We study how unitary and symplectic deformations of the Hamiltonian change the speed of adiabatic quantum computation.

In particular we concentrate on the protocol of interpolating between Gaussian orthogonal random matrices stabilized by unitary and symplectic deformations.

## ***P15. Aerogélek roncsolásmentes vizsgálata alacsony gyorsító feszültségű pásztázó elektronmikroszkópia (LV-SEM) és röntgendiffrakció (XRD) segítségével***

**Laura Juhász<sup>a</sup>, Krisztián Moldován<sup>b,c</sup>, Pavel Gurikov<sup>d</sup>, Csaba Cserhádi<sup>a</sup>, József Kalmár<sup>b</sup>**

a, Debreceni Egyetem, TTK, Szilárdtest Fizikai Tanszék

b, Összetett Homogén és Heterogén Fázisú Kémiai Reakciók Mechanizmusa Kutatócsoport, Debreceni Egyetem

c, Debreceni Egyetem, Kémiai Tudományok Doktori Iskola

d, Laboratory for Development and Modelling of Novel Nanoporous Materials, Hamburg University of Technology

A szigetelő tulajdonsággal rendelkező aerogélek roncsolásmentes vizsgálata mindig is kihívásokkal teli feladat volt. A pásztázó elektronmikroszkóppal végzett vizsgálataik során leggyakrabban néhány nanométer vastag vezető réteggel (Au, Ag, Pt, stb.) vonják be a szigetelő anyagokat. Szilika, poliimid, poliamid, kalcium-alginát és cellulóz aerogéleket alacsony gyorsító feszültségű pásztázó elektronmikroszkópiával (Low Voltage Scanning Electron Microscope = LV-SEM) vizsgáltunk fém bevonat nélkül és bevonattal is. Megmutattuk azt, hogy néhány nanométer vastag arany bevonat drasztikusan megváltoztatja az aerogélek szerkezetét. Az LV-SEM esetében egy speciális Trinity detektor rendszer lehetővé teszi a szekunder elektronok (secondary electron = SE) mellett a visszaszórt elektronok (Backscattered Electron = BSE) detektálását is egy in-lens detektor segítségével, így morfológiai információk mellett a nagy felbontású képeken rendszámkontraszt is megjeleníthető. Ez különösen érdekes lehet a fém nanorészecskéket tartalmazó karbongélek esetében, ahol a nagyobb rendszámú fém nanorészecskék „kiemelkednek” az alacsonyabb rendszámú szén mátrixból. Gyakran érdekes az is, hogy az aerogélek milyen kristályszerkezettel rendelkeznek. Ennek vizsgálatára a leggyakrabban a röntgendiffrakciót (X-ray Diffraction = XRD) használják.

A poszter prezentáció során a szerzők bemutatják az aerogélek roncsolásmentes vizsgálatának (LV-SEM, BSE, XRD) lehetőségeit, valamint hangsúlyozzák a megfelelő és gondos SEM vizsgálatok fontosságát szigetelő tulajdonságú aerogél minták esetében.

Hivatkozások

[1] Juhász, L.; Moldován, K.; Gurikov, P.; Liebner, F.; Fábrián, I.; Kalmár, J.; Cserhádi, C. False Morphology of Aerogels Caused by Gold Coating for SEM Imaging. *Polymers* 2021, 13, 588. <https://doi.org/10.3390/polym13040588>.

## ***P16. Schlieren képalkotás - okostelefonnal és pelletdiagnosztikaként***

**Vavrik Márton**

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Schlieren képalkotással vizualizálhatóak a levegő sűrűségváltozásai, áramlásai, például egy gyertya lángja, izzóból felszálló meleg levegő, a lélegzet vagy köhögés maszkban és maszk nélkül, a kéz- és testmeleg, illetve bármilyen nagyobb, például dezodor vagy hajszárító által okozott légmozgás. A módszer alkalmas üveglapok, átlátszó műanyag eszközök különböző gyártási hibáinak felfedezésére is.

A módszer során egy fényforrás fényét egy parabolatükörrel fókuszáljuk, egy kamera szenzorára. Ha a parabolatükör előtt bármilyen törésmutatógradienst hozunk létre, az a kamerára térő nyalábot enyhén kitéríti. Ha a fényaláb egy részét kitakarjuk, például egy borotvapengével, az az eltérülő fényalábra jobban/kevésbé hat, így a kamerában intenzitásbeli változásokat észlelhetünk. Az előadásom során bemutatok gyorskamerás kísérletek videóit, és hogyan alkalmaznánk fagyasztott hidrogén pelleték hajtógázának vizsgálatára.

Ez az általában laborban elvégzendő kísérlet elvégezhető mindösszesen egy parabola tükörrel és egy okostelefonnal. Így könnyebben szállítható és egyszerűbben bemutatható, hisz egy testben van a szükséges fényforrás és kamera, illetve utóbbi kis apertúrája lehetővé teszi, hogy eltakarás sem szükséges a kísérlet elvégzéséhez, mert ezt maga az apertúra végzi el. Mivel a főnyalábot érzékeljük, a kísérlethez nem szükséges sötétítés sem.

Előadásomban bemutatom a Schlieren képalkotó eljárás működését, az okostelefonos megközelítés előnyeit és hátrányait a tradicionális megközelítéshez képest, és lehetőség szerint élőben (ha nem, akkor videón) néhány kísérletet, amit ezzel a módszerrel laboron kívüli eseményeken is be lehet mutatni.

## ***P17. Small steps for a giant leap -Unique Optics for Plasmadiagnostics and ITER\****

**G. SZABÓ István, PÁPAI Lőrinc, POLNAUER Cecília (OMI OPTIKA Ltd); NAGY Domonkos Ferenc (EK-CER); SÜTŐ Martin Dániel, HAVRILÓ Balázs (BME MOGI)**

Wide spectral range (340-930nm) objective system for Wendelstein W7-X Beam Emission Spectroscopy and coupled 132 channel, 8m long coherent fiber optics bundle; Coherent (ordered) fiber optics including 128 channels and extra high power LED illuminators for high speed imaging used in the Shattered Pellet Injector test laboratory (EK-CER) for ultra fast observation of frozen H2 pellets flying with a speed of Mach2;

## ***P18. Infrahang mérése Atomki mikrofonokkal***

**Fenyvesi Edit**

Wigner Fizikai Kutatóközpont

A gravitációs hullámok 2015-ben történt közvetlen észlelése óta a detektorok érzékenységét minden egyes megfigyelési időszakot követően jelentősen javították, ennek köszönhetően a legutolsó megfigyelési időszakban már 35 összeolvadó kettősrendszerrel származó jelet sikerült detektálni. A jelek korai detektálása céljából a detektorok alacsony frekvenciás zaját csökkenteni kell. Ennek érdekében olyan mérőeszközök kifejlesztése szükséges, amikkel a zajok forrásait tudjuk megfigyelni.

Az alacsony frekvenciás zajok egyik típusát a levegőben terjedő infrahanghullámok okozzák. Ezek mérésére infrahangmikrofonokat fejlesztettek ki a debreceni Atommagkutató Intézet mérnökei, amik közül egy az olaszországi adVirgo gravitációshullám-detektor környezetében monitorozza az infrahang háttérzajt. Bemutatjuk, hogy milyen források mekkora mértékben befolyásolják a háttérzajt az adVirgo központi épületében, valamint a Mátrai Gravitációs és Geofizikai Laboratóriumban,

88 méterrel a földfelszín alatt. A két helyszín háttérzajának összehasonlításával új ismereteket adunk a gravitációshullám-detektorok földfelszín alá történő telepítésének előnyeiről, valamint a földalatti zajszint csökkentése terén várható kihívásokról.

### ***P19. ZnAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> spinell nukleációja és növekedési kinetikája atomi rétegleválasztással előállított kristályos ZnO – amorf Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kettősrétegekben***

**Jáger Gabriella<sup>1\*</sup>, Tomán János<sup>1</sup>, Juhász Laura<sup>1</sup>, Vecsei Gergő<sup>1</sup>, Erdélyi Zoltán<sup>1</sup>, Cserhádi Csaba<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Szilárdtest Fizikai Tanszék, Debreceni Egyetem

Kiváló optikai, elektronikus és katalitikus tulajdonságaik miatt az utóbbi időben jelentős érdeklődést váltottak ki a spinell szerkezetű anyagok, amelyek közül katalizátorként és optikai anyagként különös érdeklődés övezi a cink-aluminát (ZnAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) spinellt. Ennek egy igen finoman szabályozható előállítási módja gyakorlatilag bármilyen alakú 3D nanoszerkezetben az eltávolítható sablonra történő atomi rétegleválasztás (ALD). Az így születő kristályos ZnO és amorf Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> vékonyrétegek alkotta kettősrétegekben a megfelelő hőkezelések során szilárdtest-reakció játszódik le, amelynek terméke a kristályos ZnAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> fázis. Munkánk során kísérleti úton vizsgáltuk ezt a folyamatot, sík geometriában. A keletkező új fázis azonosítására röntgendiffrakciót (XRD) alkalmaztunk, növekedését pedig elektronmikroszkópos felvételeken keresztül figyeltük meg. A felvételek alapján megállapítottuk, hogy az új fázis két lépésben alakul ki: első lépésben szigetekben nukleálódik a határfelületen és főként azzal párhuzamosan nő, második lépésben az összenőtt szigetek alkotta folytonos réteg vastagodik tovább. A meghatározott vastagságnövekedési kinetika arra enged következtetni, hogy a folyamatban kiemelt jelentősége van a szemcsehatár-diffúzióknak.

### ***P20. Diffúziós vizsgálatok Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZnO hengeres nanoszerkezetekben***

**G. Vecsei, L. Juhász, Z. Erdélyi, Cs. Cserhádi**

Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Fizika Intézet, Szilárdtest Fizikai Tanszék

Reaktív diffúziós vizsgálatok történtek Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZnO hengeres nanoszerkezetekben. Atomik rétegleválasztásos (ALD) módszerrel fém-oxid rétegeket választottunk le polimer nanoszálakra. Vizsgáltuk, hogy a rétegzés sorrendje miként befolyásolja a reaktív diffúziós folyamatokat. Ennek érdekében hőkezeléseket végeztünk levegő atmoszférán különböző időtartamokig. A reakció terméket röntgen diffrakciós (XRD) mérésekkel azonosítottuk, mint ZnAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, míg annak növekedését pásztázó elektronmikroszkópos, valamint pásztázó transzmissziós elektronmikroszkópos módszerrel követtük. Az eredményekből kimutattuk a rétegzési sorrend hatását.

### ***P21. Edénybe zárt aktív anyag határfelületi szóródásának és térbeli eloszlásának kapcsolata***

**Búzás András<sup>1</sup>, Ormos Pál<sup>1</sup>, Roberto di Leonardo<sup>2,3</sup>, Vizsnyiczai Gaszton<sup>1,4</sup>**

1 ELKH, Szegedi Biológiai Kutatóközpont, Biofizikai Intézet

2 Dipartimento di Fisica, Sapienza Università di Roma

3 NANOTEC-CNR, Soft and Living Matter Laboratory, Institute of Nanotechnology

4 Szegedi Tudományegyetem, Biotechnológia Tanszék

A mostanában érdeklődést kiváltó aktív anyagokat olyan aktívan mozgó részecskék alkotják, amelyek a mozgásukhoz szükséges energiát külső forrásból nyerik. A koncepciót eredetileg élő rendszerek sokaságának leírására dolgozták ki, nagyon különböző méretű egyedek (baktériumok,

madarak, halak, emberek, stb.) jellemzésére nyújt általános keretet. Számos mesterséges rendszert is kidolgoztak. Az aktív anyagot a nem egyensúlyi statisztikus fizika módszereivel lehet leírni, és akár gyakorlati hasznosításuk is lehetséges (pl. mikrotranszport, ön-pumpáló folyadékok) [1-3]. A részecskék egymással, illetve környezetükkel zajló kölcsönhatása eredményeként újfajta jelenségek figyelhetők meg. Edénybe zárt aktív részecskék mozgása irányítható a bezáró edény geometriája által [4-5].

Itt bemutatott munkánkban azt vizsgáljuk, hogyan oszlanak el a részecskék kétdimenziós edényekben, mik az általános feltételei a részecskék irányított mozgásának, illetve összegyűjtésüknek. Korábban ilyen vizsgálatokat mechanikai falakkal határolt edényekben végeztek élő és mesterséges rendszereken, ezekben jellemzően a falhoz simuló mozgást tapasztaltak, e hatás határozta meg az általános viselkedést [4-5]. Munkánkban a kérdéskör általánosabb jellemzését végeztük el: Különböző határfelületi kölcsönhatásokat, szórást modelleztünk numerikus szimulációkkal. Új kísérleti rendszert is kifejlesztettünk, ahol fototaxissal mozgó algákat (*Euglena gracilis*) csapdáztunk fényel kialakított tetszőleges mintázatú kétdimenziós térrészekben. E részecskék nem falhoz simuló szórást mutatnak. A korábbi, valamint saját méréseinket összehasonlítottuk szimulációinkkal. Ezen felül elkészítettünk és kvantitatívan értékeltünk egy új analitikai modellt, amellyel a bezárt aktív részecskék térbeli eloszlását tudjuk általánosan értelmezni.

1. Nature Active Matter Collection, <https://www.nature.com/collections/hvczfmjzfl>
2. Gompper, Gerhard, et al. "The 2020 motile active matter roadmap." *Journal of Physics: Condensed Matter* 32.19 (2020): 193001.
3. Varghese, M., Baskaran, A., Hagan, M. F., & Baskaran, A. (2020). Confinement-induced self-pumping in 3D active fluids. *Physical Review Letters*, 125(26), 268003.
4. Galajda, P., Keymer, J., Chaikin, P., & Austin, R. (2007). A wall of funnels concentrates swimming bacteria. *Journal of bacteriology*, 189(23), 8704-8707.
5. Katuri, J., Caballero, D., Voituriez, R., Samitier, J., & Sanchez, S. (2018). Directed flow of micromotors through alignment interactions with micropatterned ratchets. *ACS nano*, 12(7), 7282-7291.

## ***P22. Nanoindentation combined with AFM to determine the micromechanical properties of biodegradable polymer-based packaging materials***

**Katalin Csonti<sup>1,2,\*</sup>, Pál Patrik Dézsi<sup>3</sup>, Gábor Gulyás<sup>1</sup>, Alexandra László<sup>1</sup>, Krisztián Bali<sup>1</sup>, Mercédesz Horváth<sup>1</sup>, Gergő Mészáros<sup>1</sup>, Márta Dorogi<sup>1,2</sup>, Zsuzsanna Heiner<sup>4</sup>, Katalin Pappné Sziládi<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Semilab Semiconductor Physics Laboratory Co. Ltd

<sup>2</sup>University of Szeged, Department of Optics and Quantum Electronics

<sup>3</sup>University of Szeged, Faculty of Engineering

<sup>4</sup>Humboldt-Universität zu Berlin

Biodegradable polymers – the most popular of which is polylactic acid (PLA) – are polymers that degrade when they are left in the environment [1]. Biodegradable polymers offer a possible solution to waste disposal problems [2] since they can be returned to the soil and enrich it by being composted with microorganisms [3].

Nanoindentation with Atomic Force Microscope (AFM) was investigated as a method for determining the micromechanical properties of different types of materials. Nanoindentation has been recognized as a powerful tool for measuring nano- and micro-scale mechanical properties in natural and synthesized biomaterials, especially those with hierarchical microstructures. The nanoindentation investigations on natural biomaterials have contributed significantly to biomimetics and the development of new composite materials. [4]

Semilab offers Nanoindenters with wide working range in terms of applied force and measured depth. As a complementary analytical and optical testing instrument, Semilab offers AFM for precise and fast mapping of surface topography of the specimen on a sub-nanometer scale for a wide variety of solids.

During our research, we modified biodegradable PLA samples with acetic anhydride at room temperature. The modified, as well as the untreated samples were being interacted with different food products. Some of our samples were prepared via the mechanical pressing of PLA granules. Since the surface of the samples had not become homogeneous during this aforementioned process, we used prefabricated PLA covers later on. Nanoindentation measurements have complications arise when there is substantial adhesion between the sample and the indenter tip, as it is often the case with “softer” materials including polymers and soft tissues. In the course of our research, we also aimed to refine nanoindentation measurements and to develop an instrument manufactured by Semilab. The material structural analysis has been complemented by AFM during which we obtained morphological information about the surface of the samples in a 0,001  $\mu\text{m}$  spatial resolution.

### ***P23. A Na-K rendszer alacsony likvidusz hőmérsékletű sókeverékeinek keresése***

**Baranyai Viktor Zsolt**

Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft.

A sóolvadékok kiemelt fontosságúak az ionos folyadékok között, lévén hogy számos elektrokémiai eljárás fontos elemei. Ezen technológiák gazdaságos megvalósíthatóságához olcsó és alacsony olvadáspontú összetételeket kell keresni.

Jelen kutatás során többkomponensű Na-, K- és Na-K-sókat vizsgáltunk a FactSage szoftvert és sóolvadék adatbankjait felhasználva.

### ***P24. Egyparaméteres összefonódási tulajdonságok***

**Szalay Szilárd, (együtműködő: Tóth Géza)**

Wigner FK, SzFI

UPV/EHU, Bilbao, Spanyolország

A kvantumozott rendszerek korrelációja sokkal erősebb lehet a klasszikusakénál, ennek egy fontos megnyilvánulása a kvantum összefonódás. Két részű összetett rendszer állapotai csak korreláltak vagy korrelálatlanok (illetve összefonó vagy szeparálható) lehetnek, míg ez a helyzet sokkal bonyolultabbá válik kettőnél több részrendszer esetében, ahol a különböző korrelációs és összefonódási tulajdonságok száma a részrendszerek számával exponenciálisnál is gyorsabban nő. A permutáció invariáns korrelációs és összefonódási tulajdonságok kevesebben vannak, de számuknak skálázódása hasonló, és struktúrájuk hasonlóan bonyolult. Ezért érdemes ezeknek címkéin, megfelelő generátor függvények szintvonaláival, permutáció invariáns korrelációs és összefonódási tulajdonságok egyparaméteres családjait megadni, melyek valamilyen szempontból sorba rendezik és összecsomagolják a nagyon bonyolult kapcsolatban álló tulajdonságokat. A korábban kidolgozott nevezetes egyparaméteres permutáció invariáns korrelációs és összefonódási tulajdonságok, az összefonódási/korrelációs szélesség, mélység és nyújthatóság, természetes módon illeszkednek ebbe a keretbe.

Ezeket felül további érdekes egyparaméteres családokat vezetünk be, a hozzájuk tartozó korrelációs és összefonódási mértékekkel együtt.

## ***P25. Koherens és kiolvasási hibák a felületi kódban***

**Asbóth János és Márton Áron**

BME / Wigner FK

A kvantum hibajavítás mindenképp szükséges ahhoz, hogy a kvantumszámítógépek beválthassák a hozzájuk fűzött reményeket: utat mutat, hogyan lehet a kvantumbitek számát megnövelve kompenzálni a kvantum logikai kapuk hibáit. A módszer csak akkor működik, ha a logikai kapuk elég pontosak, hibájuk az ún. küszöbérték alatt van. A pillanatnyilag legígéretesebbnek tartott kvantum hibajavító eljárás, az ún. felületi kód [1], a (fizikai) kvantumbitek topologikusan rendezett állapotait használja a (logikai) kvantumbitek kódolására. A környezeti fluktuációkból származó, ún. inkoherens hibák jól javíthatók a felületi kóddal, viszont a kalibrációs hibákból adódó, ún. koherens hibák hatása kevésbé jól megértett. Munkánkban [2] a koherens hibák és a kiolvasási hibák együttes hatását vizsgáltuk a felületi kódon, egy nemrég javasolt szimulációs módszerrel [3], mely a fermionikus lineáris optikára épít. Azt találtuk, hogy a hibák ilyen kombinációja esetén is van küszöbérték, és ez kicsit alacsonyabbnak (kedvezőtlenebbnek) adódik, mint abban az esetben, amikor inkoherens és kiolvasási hibák vannak.

[1]: AG Fowler, M Mariantoni, JM Martinis, AN Cleland, Phys. Rev. A 86, 032324 (2012)

[2]: Á. Márton: Kvantumos hibajavítás a felületi kódban. - Koherens hibák és kiolvasási hibák vizsgálata. TDK (2021)

[3]: S Bravyi, M Englbrecht, R Koenig, N Peard, npj Quantum Information, vol. 4, no. 55 (2018)

## ***P26. Egy operációkutatási feladatosztály és az adiabatikus kvantumszámítógépek***

**Naszvadi Péter**

Wigner Fizikai Kutatóközpont

A kvantum annealerek (pl. DWave) elérhetővé válása miatt különösen érdekes a kvadratikus bináris megszorítás nélküli optimalizálási feladatok (QUBO) strukturális vizsgálata. A QUBO feladat ekvivalens egy feles spinekből álló Ising spinüveg alapállapotának megkeresésével. A spinüveg párkölcsönhatásait jellemző gráf fontos szerepet játszik a probléma strukturájában. Például a gráf összefüggő komponensei lehetővé teszik a feladat kisebb feladatokra bontását, illetve ezt a gráfot kell kvantum hardver használatkor a fizikai eszköz adott gráfjába indukált részgráfként beágyazni.

Munkánkban ezen gráf kapcsolatát vizsgáltuk a QUBO feladat standard linearizációjával. Ismert, hogy QUBO problémák egyértelműen átalakíthatóak lineáris 0-1 vegyes egészértékű (MIP) feladattá (v.ö. Fortêt, R., Revue Française de Recherche Opérationelle 4, pp. 17-26. (1960).). Megmutatjuk, hogy ezen standard linearizáció megengedettségű egész poliéderét egyértelműen leírja a QUBO - feladathoz rendelt gráf, mégpedig a lehetséges gráfizomorfizmus osztályokkal való faktorizálásig egyértelműen, ami értelemszerűen indukál alkalmas sor/oszlop permutációkkal való faktorizálást. A ténylegesen különböző feladatok és a csúcssorszám nélküli összefüggő egyszerű gráfok, (mint invariánsok tere) közötti természetes bijekció segíthet megérteni a QUBO feladatok sokszínűségét, illetve vizsgálni a tényleges implementációkkal történő megoldásokat.

## ***P27. CIKLIKUS EINSTEIN-PODOLSKY-ROSEN KORRELÁCIÓK***

**<sup>1</sup>Márton István, <sup>1</sup>Bene Erika, <sup>2</sup>Nagy Sándor, <sup>1</sup>Vértesi Tamás**

<sup>1</sup>Atommagkutató Intézet, MTA ATOMKI Lendület Kvantumkorrelációk Kutatócsoport

<sup>2</sup>Debreceni Egyetem, Elméleti Fizika Tanszék



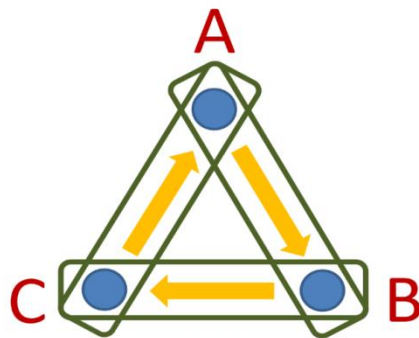
Az Einstein-Podolsky-Rosen (EPR) steering a kvantumkorrelációk sajátos jelensége. Két résztvevő esetén a jelenség lényegét az adja, hogy bizonyos összefonódott kvantumállapotok megosztása során az egyik résztvevő (Alice) az általa végzett méréseken keresztül befolyásolni, mintegy irányítani képes a másik résztvevő (Bob) kvantumállapotát. Az EPR-steering egyik legfőbb jellegzetessége az egyes kvantumrendszerekre jellemző aszimmetria. Alice irányíthatja Bob állapotát, de Bob nem tudja irányítani Alice állapotát. Munkánkban ezt az egyirányú EPR-steering jelenséget általánosítjuk három résztvevő esetére, amit ciklikus EPR-steering jelenségnek nevezünk [1]. Ennek bemutatásához egy jól megválasztott három kvantumbites állapot szabad paramétereit optimalizáljuk. A heurisztikus keresés eredményeként sikerült háromrésztű kvantumállapotokat találnunk, amelyek a következő tulajdonságokkal rendelkeznek:

A rendszer bármely két kvantumbijének redukált állapota csak egy irányban mutat EPR-steering jelenséget tetszőleges projektív mérés esetén, ahol az egyirányú EPR-steering korrelációk alátámasztására a Nguyen et al. [2] által kifejlesztett numerikus módszereket használtuk.

A három kvantumbit állapota ciklikusan irányítható abban az értelemben, hogy ha a rendszer háromszög alakban van elrendezve, akkor a szomszédos résztvevők csak egy irányban (pl. az óramutató járásával megegyező irányban) tudnak EPR-steering korrelációkat kelteni. Ez azt jelenti, hogy Alice irányíthatja Bob állapotát, ahogy Bob irányíthatja Charlie állapotát, és Charlie is tudja irányítani Alice állapotát, de a másik irányban nem lehetséges az EPR-steering, ahogyan azt az alábbi ábra mutatja.

Ezzel a háromrésztű kvantumkorrelációk olyan sajátosságos tulajdonságára mutattunk rá, amely nem jelenik meg sem a kvantum-összefonódottságban, sem a standard Bell-féle nemlokalitás jelenségében.

1. I. Márton, S. Nagy, E. Bene, and T. Vértesi, Cyclic Einstein-Podolsky-Rosen steering, Phys. Rev. Research 3, 043100 (2021).
2. H. C. Nguyen, H.-V. Nguyen, and O. Gühne, Geometry of Einstein-Podolsky-Rosen Correlations, Phys. Rev. Lett. 122, 240401 (2019).



## ***P28. Theoretical modeling of the collective tunneling of a Wigner necklace***

**Dominik Szombathy[1\*], Pascu Moca Catalin[1\*, 2\*], Miklós Antal Werner[1\*], Gergely Zaránd[1\*]**

[1\*] - Institute of Physics, Budapest University of Technology and Economics

[2\*] - Department of Physics, University of Oradea

Recently, Prof. Shahal Ilani's research group managed to create and investigate one-dimensional Wigner crystals consisting of a handful of electrons in carbon nanotubes [1]. The electrons in this Wigner crystal become localized due to the large Coulomb-interaction between them, which is so strong that quantum fluctuations cannot melt this quantum crystal. Collective tunneling of the electrons can, however, be observed when small Wigner crystals, consisting of an odd number of

electrons, and placed in a double-well potential [1]. In course of such collective tunneling, all the other electrons' position in the crystal change when one electron jumps from one side of the double-well potential to the other. In our work, we use semi-classical and Monte Carlo methods as well as density matrix renormalization group (DMRG) calculations to investigate this process numerically. To characterize the tunneling process, we determine the Gamov factor associated with the collective instanton trajectory, determine the role of transverse quantum fluctuations, and compare the results with experimental as well as with exact diagonalization and DMRG results.

[1] Shapir, I., Hamo, A., Pecker, S., Moca, C. P., Legeza, Ö., Zarand, G., & Ilani, S. (2019). *Imaging the electronic Wigner crystal in one dimension. Science, 364(6443), 870-875.*

## ***P29. Egyelektron-kvantumbitek megosztott vezérlése: előnyök és hátrányok***

**Pataki Dávid**

BME Elméleti Fizika Tanszék

A félvezetőkben létrehozott egyelektron-kvantumbitek mérete kicsi, 10-100 nm [Hendrickx], így ezekből elvileg akár  $10^{10}$  darab is elférhet egy  $1 \text{ cm}^2$ -es csipen. Egy ilyen sűrű kvantumbit-regiszter ideális platformot biztosíthatna egy több millió kvantumbites kvantumszámítógéphez. Ennek a félvezető-alapú, az elektronok spinjét használó kvantumbit-technológiának további előnye a hosszú koherenciaidő, a nagy pontosságú univerzális vezérelhetőség, illetve az, hogy a továbbfejlesztését jelentősen megkönnyíti a félvezetőipar sok évtizedes tapasztalata. A felskálázhatóságot viszont gyakorlati szempontból megnehezíti a szükséges vezérlőelektródák számának növekedése a kvantumbitek számának növelésével. Az általunk vizsgált kétdimenziós crossbar architektúra erre a problémára kínál megoldást: a kivezetések geometriájából adódóan egy chipen akár több millió kvantumbit is vezérelhető néhány ezer elektróda segítségével [Li]. Az architektúra egyik hátránya, hogy minden vezérlő kapuelektróda sok kvantumbittel van kapcsolatban, így egy adott kvantumbit szándékos vezérlése nyomán egy elektróda hibákat okozhat a szomszédos, vagy akár távoli kvantumbitekben is. A poszteren az így kialakuló hibamintázatokat jellemezzük, és bemutatjuk, hogy hogyan érdemes az ilyen típusú hibákat csökkenteni.

[Hendrickx] N. W. Hendrickx et al. A four-qubit germanium quantum processor, *Nature* 591 (2021)  
[Li] R. Li et al. A crossbar network for silicon quantum dot qubits, *Science Advances* 4, 7 (2018)

## ***P30. Werner- és izotropikus állapotok kvantummos megoszthatósága***

**Jakab Dávid**

Wigner Fizikai Kutatóközpont

A kvantummechanika egyik alapvető kérdése, a kvantum marginális probléma, azzal foglalkozik, hogy egy összetett kvantumrendszer egymással átfedő részrendszereinek állapotai mikor kompatibilisek egymással. A kvantummos megoszthatóság ennek a problémának egy permutáció-szimmetrikus alesete. Ebben egy összetett kvantumrendszert két különálló alrendszerre bontunk, és azt szeretnénk tudni, hogy egy adott  $\rho$  kétrészi kvantumállapot felléphet-e egyszerre a teljes rendszer állapotának minden, mindkét alrendszerrel átfedő párra való kétpont redukciójaként. Szükséges és elégséges feltételeket adunk a megoszthatóságra az unitér szimmetrikus Werner és a konjugált unitér szimmetrikus izotropikus állapotok esetére.

### ***P31. Kvantumos optimalizáció teljesítményének vizsgálata M-MIMO feladatra***

**Tabi Zsolt**

Eötvös Loránd Tudományegyetem

A kvantum annealing vonzó megoldást kínál a nagyméretű optimalizálási problémák kezelésére. A közelmúltban jelent meg az új D-Wave Advantage eszköz. Ennek teljesítménye várhatóan javulni fog a korábbi generációs D-Wave 2000Q annealerhez képest, a megnövekedett qubitszám és az új Pegasus topológia miatt. Ebben a munkában egy összehasonlító tanulmányt mutatunk be Maximum Likelihood (ML) csatornadekódoló problémákon keresztül M-MIMO esetekben, centralizált rádió-hozzáférési hálózati (C-RAN) architektúrákban. Az ML dekóderek egzakt optimalizálásának fő kihívása a magasabb adatátviteli sebességek egyre növekvő igénye mellett a megoldási tér exponenciális növekedése a probléma méretével. A kiterjesztett QUBO-képletek új annealer architektúráján történő megvalósításával megmutatjuk a korszerű kvantumoptimalizálás korlátait a masszív MIMO ML dekóderre vonatkozóan. Beszámolunk az új architektúra előnyeiről, és tárgyaljuk a 64-QAM kiterjesztésből megismert korlátozó tényezőket.

### ***P32. Liu-eljárás és variációs elvek***

**Ván Péter<sup>1 2 3</sup>**

1MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont.

2BME, Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék

3Montavid Termodinamikai Kutatócsoport

A fizika fejlődési egyenletei vagy ideálisak, vagy disszipatívak. A második fő tétel egyenlőtlensége nemcsak a kontinuumelméletek konstitutív függvényeire ró ki feltételeket, de a fejlődési egyenleteire is. Az entrópiamérleggel kapcsolatos feltételes egyenlőtlenségrendszer megoldására kidolgozott két módszer a Coleman-Noll-eljárás és a Liu-eljárás. Ezek pontosabbak a klasszikus irreverzibilis termodinamika heurisztikus módszereinél és megadják az entrópiatermelés kiszámításának feltételeit is [1].

Különösen érdekes az alkalmazásuk gyengén nemlokális, azaz az alapmezők térbeli deriváltjait magasabb rendben tartalmazó kontinuumokra. A hidrodinamikában legalább Van der Waals, illetve Korteweg óta ismertek ilyen elméletek, a rugalmasságtanban pedig általánosított kontinuumoknak nevezzük ezeket, ilyen például a Cosserat-elmélet. De gyengén nemlokálisok a fázismező elméletek (a homogén termodinamikai rendszerekhez képest), illetve a newtoni gravitáció is.

Ebben az előadásban összevetem a nemegyensúlyi termodinamika divergencialeválasztásos módszertanát a Liu-eljárással és néhány érdekes példát mutatok az alkalmazására. Egyik legfontosabb következménye a módszernek, hogy a fejlődési egyenletekben a variációs elvekre jellemző funkcionálderiváltak jelennek meg, tehát Euler-Lagrange formát kapunk variációs elvek nélkül, tisztán a második fő tételen alapuló megfontolásokkal [2].

Példaként a newtoni gravitációelméletre alkalmazva az eljárást annak egy érdekes disszipatív kiterjesztését kapjuk, amely egyrészt egyfajta klasszikus holografikus tulajdonsággal rendelkezik, mert a térfogati gravitációs erő egyúttal felületi erő is, illetve ideális vákuummegoldásai olyan módosított erő törvényt adnak, amely gömbszimmetrikus esetben a középponttól nagy távolságra a szokásos newtoni gravitációs erő, de közelebb a távolsággal fordítottan arányos. [3, 4]. A súrlóságban gyengén másodrendűen nemlokális folyadékok pedig meglepő módon szoros kapcsolatban vannak speciális kvantumrendszerekkel.

#### **HIVATKOZÁSOK**

[1] VÁN P., Nemegyensúlyi termomechanika, MTA doktori disszertáció, 2018.

- [2] P. VÁN AND R. KOVÁCS, Variational principles and nonequilibrium thermodynamics, *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 2020, V378/2170, p20190178, (arXiv:1908.02679).
- [3] P. VÁN AND S. ABE: Emergence of modified Newtonian gravity from thermodynamics, *Physica A*, 2022, V588, p126505, (ar- Xiv:1912.00252).
- [4] ABE, S. AND VÁN, P., Crossover in extended Newtonian gravity emerging from thermodynamics, *Symmetry*, 2022, V14, p1048(7), (arXiv:2205.05170).

### ***P33. A scaling parameter for selectivity in the infinitely long nanopore limit: extension to multivalent electrolytes***

**M. Valiskó, Zs. Sarkadi and D. Boda**

Modeling and Simulation of Complex Molecular Systems Research Group, Center for Natural Sciences, University of Pannonia

Scaling of the behavior of a nanodevice means that the device function (selectivity, in this work) is a unique function of a scaling parameter that is an appropriate combination of the device parameters. Although nanopores facilitate the transport of ions through a membrane of finite length, if the pore is long compared to the pore radius, we deal with an important limiting case, the infinitely long nanopore (nanotube).

In this case, device parameters are the pore radius, the electrolyte concentration, the surface charge density on the nanopore's wall, and ionic valences. We showed that the Dukhin number is an appropriate scaling parameter in the nanotube limit for 1:1 electrolytes [1], in this work obtain the Dukhin number from first principles on the basis of the Poisson-Boltzmann (PB) theory and generalize it to electrolytes containing multivalent ions as well. We show that grand canonical Monte Carlo simulations for charged hard spheres in implicit solvent give results that are similar to those obtained from the PB theory with deviations that are the consequences of ionic correlations (including finite size of ions) beyond the mean-field level of the PB theory.

Such a deviation occurs when charge inversion is present, in 2:2 and 3:1 electrolytes, for example. Scaling, therefore, can be viewed as a mean-field phenomenon the deviation from which indicates the importance of ionic correlations [2].

#### **REFERENCES**

- [1] Zs. Sarkadi, D. Fertig, Z. Ható, M. Valiskó, D. Boda, *J. Chem. Phys.*, 2021, **154**(15):154704.  
 [2] Zs. Sarkadi, D. Fertig, M. Valiskó, D. Boda, *J. Mol. Liq.* 2022, **357**:119072.

### ***P34. Ionizációs dinamika kapacitív csatolású neon gázkisülésekben***

**Horváth Benedek<sup>1</sup>; Derzsi Aranka<sup>1</sup>; Schulze, Julian<sup>2,3</sup>; Hartmann Péter<sup>1</sup>; Korolov, Ihor<sup>2</sup>; Donkó Zoltán<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Wigner Fizikai Kutatóközpont

<sup>2</sup>Ruhr Egyetem

<sup>3</sup>Dalian Technológiai Egyetem

Az alacsony nyomású rádiófrekvenciás gázkisülések az alap kutatás és technológiai terén egyaránt elterjedt laboratóriumi plazmaforrások. A rendszert rádiófrekvenciás feszültséggel gerjesztik, aminek eredményeképp stacionárius, periodikusan modulált plazma jön létre. A gázkisülés működésének alapja az ionizációs dinamika, aminek tér- és időbeli mintázata alapján definiáljuk a kisülés működésmódját. A kutatásban neon gázkisülések működésének tanulmányozására párhuzamosan használtunk kísérleti és szimulációs módszereket. A fázisfelbontott optikai emissziós spektroszkópia (Phase-resolved Optical Emission Spectroscopy, PROES) segítségével a Ne atom 2p1 vonalának alapállapotból történő gerjesztési rátáját mértük tér- és időfelbontással, a Particle-in-

Cell/Monte Carlo Collisions (PIC/MCC) részecskeszimulációval pedig számos plazmajellemző mellett a gerjesztési és ionizációs ráta tér- és időbeli eloszlását számoltuk. Az elektronok energiafelvételi mechanizmusait és az ionizációs dinamikát széles paramétertartományban vizsgáltuk. A Ne  $2p1$  atomi állapot alapállapotból történő gerjesztésének tér- és időbeli eloszlására a szimuláció és a kísérlet egymással jól egyező eredményeket produkált, azonban a kísérlettel verifikált szimuláció megmutatta, hogy az ionizációs dinamika alacsony frekvencia és/vagy nagy nyomás esetén jelentősen különbözhet a gerjesztés tér- és időbeli eloszlásától. Ennek oka, hogy az elektronok keltette gerjesztés és az ionizáció hatáskeresztmetszete eltérő energiafüggést mutat a gázkisülésben jelenlévő elektronok energiatartományában (néhány eV-tól néhány 100 eV-ig), és az elektródák felszínéről ionok által kiváltott jelentős számú másodlagos elektron ( $\gamma$ -elektronok), melyek a tértöltött rétegben gyorsulva nagy energiára tesznek szert, nagyobb valószínűséggel okoznak ionizációt, mint gerjesztést. Ezen túlmenően a szimulációk és a kísérletek egyaránt különböző működési módok közötti átmenetet mutattak a nyomás növelésével, rögzített gerjesztő frekvencia és feszültségamplitúdó mellett.

### ***P35. A kényszerek evolúciós alakja és kozmológiai alkalmazások***

**Östör János**

Wigner FK

Az általános relativitáselmélet kezdőérték-problémaként való tárgyalásakor kifejezetten fontos a precíz és fizikailag reális kezdőadatok előállítása. Ez hagyományos esetben a Lichnerowicz-York féle konformis átskálázást követően egy elliptikus rendszer megoldását jelenti.

Újabban viszont egy alternatív megoldási módszer is matematikailag helyesnek bizonyult: megfelelő geometriai változók bevezetésével a kényszerek átírhatók egy evolúciós (perem-, és kezdőérték) problémává. Ez igen előnyös lehet, hiszen így a kezdőadatok generálásaok bizonyos fizikai jellemzők felett explicit befolyást gyakorolhatunk. Ebben az új formalizmusban kerestünk térszerűen kompakt  $\Lambda$ -vakum kozmológiai megoldásokat.

	Aug. 21. Vasárnap	Aug. 22. Hétfő				Aug. 23. Kedd				Aug. 24. Szerda		
8:00-		REGGELI				REGGELI				REGGELI		
9:00-		Krasznahorkay Attila - Új elemi részecske születik az ATOMKI-ban				Tóth György - Terahertzes impulzusokkal történő elektron- és iongyorsítás				Imre Attila - Szuperkritikus pszeudoforrás, azaz meddig folyadék a folyadék		
		Tapasztó Levente - Grafénba zárt fény				Kiss Tamás - Fotonikus kvantumprotokollok és optikai kvantumszámítás				Pályi András - Szilárdtest-alapú kvantumbitek vezérlése és kiolvasása		
		Oláh Éva - A STEM és a STEAM pedagógia a fizika tanításában				Varjú Katalin - Az ELI ALPS kutatási berendezései, tudományos eredmények				Zoletnik Sándor - Magfúziós kutatások a reaktor tartományban		
										Sohler Dorottya - A stabilitási sávtól távoli egzotikus atommagok szerkezete		
10.30-		Kávészünet				Kávészünet				Kávészünet		
11:00-	REGISZTRÁCIÓ	A természettudományos oktatás útkeresése	Atomfizika és kvantum-elektronika I.	Elméleti részecskefizika	Szilárdtest-fizika I.	Magfizikai alapkutatások eredményei	Atomfizika és kvantum-elektronika III.	Korszerű anyagok, korszerű mérés technikák I.	Korszerű anyagok, korszerű mérés technikák II.	Termodinamika és mechanika	Neutron és szinkrotron sugárzás alkalmazása az anyagtudományban	Járványok, klímaváltozás, társadalom statisztikus fizikus szemmel
13:00-	EBÉD	EBÉD				EBÉD				EBÉD		
14:00-	Megnyitó és díjátadó	Új eredmények a hazai felületfizikában	Atomfizika és kvantum-elektronika II.	Kísérleti részecskefizika	Szilárdtest-fizika II.		Kvantumelmélet és kvantuminformatika	Diffrakciós módszerek modern alkalmazásai	60 éves a Sugárvédelmi Szakosztály			
	Kiss László - James Webb űrteleszkóp											
	Ispánovity Péter - Mikronos skálájú földrendések fém mikrooszlopokban											
16:00-	Kávészünet	Kávészünet				Kávészünet						
16:15-	Trócsányi Zoltán - A részecskefizika helyzete 10 évvel a Higgs-bozon felfedezése után	Ipari Fizika	Általános relativitás és kísérleti asztrofizika	Szilárdtest-fizika III.	Szervezett buszos kirándulás Szentantalfára, a Dobosi Birtokközpontba (pincelátogatás és borvacsora)							
	Dombi Péter - Ultragyors elektrondinamika kondenzált rendszerekben											
	Pósfai Mihály - A Balatonról: algavirágzás, foszfor, kristálykémia és kristályfizika nanométeres léptékű összefüggései											
18:15-		Poszter szekció										
19:00-	FOGADÁS											
22:00												