



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

# TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Természettudományi Kar



2010. november 17.

**A 2010. évi Tudományos Diákköri Konferencia kapcsolódik a "Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen" c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását az ÚMFT TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 programja támogatja.**

# TARTALOMJEGYZÉK

NAPIREND .....	3
ANYAGTUDOMÁNYI SZEKCIÓ.....	7
OPTIKA SZEKCIÓ .....	19
KÍSÉRLETI FIZIKA SZEKCIÓ .....	27
ELMÉLETI FIZIKA SZEKCIÓ .....	37
MATEMATIKA SZEKCIÓ.....	47
NUKLEÁRIS TECHNIKA ÉS ENERGETIKA SZEKCIÓ.....	55
FÚZIÓS BERENDEZÉSEK SZEKCIÓ .....	65



## NAPIREND

Az előadások hossza 20 perc + 5 perc diskuszió!

### A hallgatók előadásai

09<sup>00</sup> - 13<sup>00</sup> A szekcióknál megadott helyszíneken

### Bizottsági ülés a szekcióelnökök részvételével

14<sup>00</sup> F ép. III. lph. mfszt. 1. (Fizikai Intézeti Szemináriumi szoba)

### Plenáris előadás

16<sup>00</sup> F ép. F29 terem

*„Grafén: a szén legújabb arca”*

**Meghívott előadó: dr. Nemes-Incze Péter**

tudományos segédmunkatárs

MTA KFKI Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet,  
Nanoszerkezetek Osztály

### Eredményhirdetés

17<sup>30</sup> F ép. F29 terem



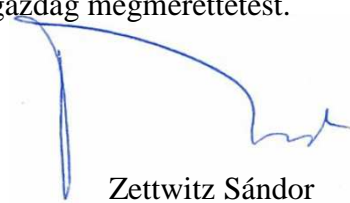
A 77 Elektronika Kft. nevében sok szeretettel köszöntöm a Természettudományi Kar TDK konferenciájának résztvevőit. Mivel cégünk eddigi története tanulságul szolgálhat a jövő szakemberei számára is, engedjék meg, hogy röviden bemutatkozzunk.

Cégünk 1986-ban alakult, egy kis bérelt lakásban. A vállalkozás a pár fős csapatból 300 fős vállalattá nőtte ki magát, amely jelenleg több mint 5000 négyzetméteres budapesti telephelyén fejleszti és gyártja világszínvonalú orvosi diagnosztikai termékeit, továbbra is 100 százalékos magyar tulajdonban. A növekedésünket jól demonstrálja, hogy árbevételünk, amely az első évben 600 ezer forint körül volt, 2010-ben elérte a 9.4 milliárd forintot. A 77 Elektronika forgalmának mintegy 40 százaléka belföldi eladásokból adódik, elsősorban az otthoni felhasználásra szánt vércukormérő rendszerekből. Emellett cégünk a világ több mint 70 országába exportálja termékeit, mind saját márkanév alatt, mind pedig ún. OEM konstrukcióban, piacvezető multinacionális nagyvállalatokon keresztül. Exportforgalmunk közel 70 százalékát a professzionális (kórházi, laboratóriumi) használatra tervezett vizeletmérők adják.

A vizeletmérő automaták 2007-ben történő piacra hozatala a vállalat jövőjét meghatározó lépés volt. Bár hasonló termékek már léteztek, a 77 Elektronika forradalmian új technológiával működő automata vizeletüledék analizátora átütő sikert aratott a nemzetközi piacon. Ezt mi sem jelzi jobban, mint hogy a magas értékű, csúcstechnológiát képviselő készülékek gyártásánál az eredetileg havi 40 db-ra tervezett kapacitást már 2008-ban a duplájára kellett emelnünk.

Mi magunk is egy folyamatos és nagyon éles versenyhelyzetben tevékenykedünk, egy olyan területen, ahol elengedhetetlen a friss és versenyképes tudás. Csak úgy érhetünk el sikereket, hogy mindig is alapvető prioritásként kezeltük ezen tudás megszerzését és alkalmazását. A 77 Elektronika stratégiájának alapja a folyamatos fejlesztés, innováció. Fő erősségünk a több mint 50 fős, dinamikus fiatalokból álló kutató és fejlesztő gárda. Árbevételünk 6-7 százalékát évről-évre fejlesztésre fordítjuk annak érdekében, hogy mindig világszínvonalú termékkel jelenjünk meg a piacon.

Mivel a TDK a jövő szakemberei közül a legelkötelezettebbek, legígéretesebbek számára nyújt lehetőségeket, nagy örömmel támogatjuk az idei konferencia megszervezését, és kívánunk minden indulónak eredményekben és tanulságokban gazdag megmérettetést.



Zettwitz Sándor  
ügyvezető igazgató



**77 Elektronika Kft.**





# ANYAGTUDOMÁNYI SZEKCIÓ

Helyszín: Z ép. fszt. 6.

- Zsúri elnök:** dr. Hárs György, egyetemi docens  
BME Fizikai Intézet, Atomfizika Tanszék
- Zsúri tagok:** dr. Jánossy András, egyetemi tanár  
BME Fizikai Intézet, Fizika Tanszék
- dr. Tapasztó Levente, tudományos munkatárs  
MTA KFKI Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet  
Nanoszerkezetek Osztály
- 09<sup>00</sup>** Fülöp Gergő, MSc II. évf., *Cooper-pár feltörő nanoáramkör továbbfejlesztése*  
Konzulens: dr. Csonka Szabolcs, BME Fizika Tanszék
- 09<sup>25</sup>** Kocsis Vilmos, MSc II. évf., *Szimmetria és rácsdinamika kapcsolatának optikai vizsgálata spinell kristályokon*  
Konzulensek: dr. Kézsmárki István és Bordács Sándor, BME Fizika Tanszék
- 09<sup>50</sup>** Kun Péter, VIII. évf., *Grafit nanorétegek előállítása és felhasználása kerámia alapú nanokompozitokban*, Konzulens: dr. Balácsi Csaba, MTA KFKI Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet
- 10<sup>15</sup>** Obreczán Vince, BSc IV. évf., *Egyedi és hálózatos szén nanocsövek gázérzékelése*  
Konzulensek: Dobrik Gergely és dr. Horváth Zsolt Endre, MTA KFKI Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet és dr. Kiss Gábor BME Atomfizika Tanszék
- 10<sup>40</sup>** 15 perc szünet
- 10<sup>55</sup>** Pósa László, MSc I. évf., *Atomi szintű önszerveződő struktúrák vizsgálata törőkontaktus módszerrel*, Konzulens: dr. Halbritter András, BME Fizika Tanszék
- 11<sup>20</sup>** Szaller Dávid, MSc II. évf., *GaV4S8 elektronszerkezetének vizsgálata optikai spektroszkópiával*  
Konzulensek: dr. Kézsmárki István és Bordács Sándor, BME Fizika Tanszék
- 11<sup>45</sup>** Szirmai Péter, BSc III. évf., *Átmeneti fémekkel dópolt titanát nanocsövek vizsgálata*  
Konzulensek: dr. Zlatko Micković és Prof. Forró László, EPFL Laboratoire de Physique de la Matière Complexe és dr. Simon Ferenc, BME Fizika Tanszék
- 12<sup>10</sup>** Tóth Mihály, IX. évf., *Cink-oxid nanoszálak létrehozása elektrosztatikus szálképzéssel vegyi- és bioérzékelő céljából*  
Konzulensek: dr. Nguyen Quoc Khánh, MTA KFKI Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet és dr. Hárs György, BME Atomfizika Tanszék
- 12<sup>35</sup>** Tóvári Endre, MSc II. évf., *Grafén nanoszalagok előállítása*  
Konzulens: dr. Csonka Szabolcs, BME Fizika Tanszék

# Cooper-pár feltörő nanoáramkör továbbfejlesztése

Fülöp Gergő, MSc II. évf.

Konzulens: dr. Csonka Szabolcs, BME Fizika Tanszék

Napjainkra a nanotechnológia lehetővé tette önálló elektron spinjének manipulációját, lehetőség nyílt arra, hogy az elektron spinjében kvantum információt tároljunk. Az elektronspinre, mint kvantum bitre épülő kvantumszámítógépek működésének elvi alapja az elektronok kvantummechanikai összefonódottsága. Ennek segítségével a jelenleginél hatékonyabb kvantum algoritmusok készíthetők. A szupravezetők összefonódott elektronok természetes forrásai, hiszen bennük a szupravezető áramot Cooper-párokat alkotó elektronok szállítják. A közelmúltban sikerült olyan nanoeszközöket gyártani, amik képesek Cooper-párok kontrollált feltörésére [1,2]. Ezek új utakat nyithatnak meg térben szeparált, összefonódott elektronok, ún. EPR (Einstein–Podolsky–Rosen) párok keltésére és kísérleti vizsgálatára.

TDK munkám során InAs nanopálcikában kialakított dupla kvantum doton alapuló Cooper-pár feltörő berendezéseket vizsgáltam nemegyensúlyi transzport mérésekkel. A mérések megmutatták, hogy a berendezés paraméterei távol vannak az elméleti optimumtól: az elektródák és a kvantum dotok közötti csatolás túl erős. Ezek javítására nanopálcikák lokális elvékonyítására épülő új geometriát javasoltam. Az új geometriájú berendezés létrehozására elektronsugaras litográfián és kémiai maráson [3] alapuló mintafabrikációs módszert dolgoztam ki. Ennek segítségével a nanopálcikák kontrollált helyen és mértékben elvékonyíthatóak. A módszerrel sikeresen gyártottam mintákat, amelyeket pásztázó elektronmikroszkóppal karakterizáltam, és alacsony hőmérsékletű transzportméréseket végeztem rajtuk. Kvantum dotok spektroszkópiái vizsgálatára mérésvezérlő programot készítettem. A mérési adatok segítségével meghatároztam az új kvantum dotok paramétereit, ezeket összehasonlítottam a korábbi módszerrel készítettekével. Az eredmények azt mutatják, hogy az új fabrikációs eljárás segítségével a Cooper-pár feltörő eszközök továbbfejleszthetők.

## Irodalom:

1. L. G. Herrmann, F. Portier, P. Roche, A. Levy Yeyati, T. Kontos, and C. Strunk „Carbon Nanotubes as Cooper-Pair Beam Splitters”, PRL 104, 026801 (2010)
2. L. Hofstetter, S. Csonka, J. Nygård and C. Schönenberger, „Cooper pair splitter realized in a two-quantum-dot Y-junction”, Nature 461, 960-963 (2009)
3. Ivan Shorubalko et al. „Self-Aligned Charge Read-Out for InAs Nanowire Quantum Dots”, Nano Lett., 2008, 8 (2), pp 382–385 (2008)

# Szimmetria és rácsdinamika kapcsolatának optikai vizsgálata spinell kristályokon

Kocsis Vilmos, MSc II. évf.

Konzulensek: dr. Kézsmárki István és Bordács Sándor, BME Fizika Tanszék

A krómoxid alapú  $ACr_2O_4$  spinell anyagcsalád néhány tagját ( $A=Ni, Cu$ ) az irodalom „ugráló kristály” néven említi. Ennek oka, hogy a  $Ni^{2+}$  és  $Cu^{2+}$  ionok pályadegenerációját az anyag egy alacsony hőmérsékletre felé bekövetkező strukturális fázisátalakulással (az ún. Jahn-Teller átalakulással) oldja fel a rácsszimmetria csökkentése révén. A nagy mértékű rácstorzulás következtében fellépő feszültségek hatására az átalakulásnál a kristályok „felugrása” figyelhető meg – innen ered az elnevezés. Az anyagcsaládról általánosan elmondható, hogy alacsony hőmérsékleti fázisuk összetett mágneses rendeződéssel bír, melynek legfőbb oka a piroklór rácson elhelyezkedő  $Cr^{3+}$  ionok közötti antiferromágneses kölcsönhatás frusztrációja.

A magnetoelaszticitás, ami kristályos anyagok esetén az elektronok és a kristályrács közötti kölcsönhatás egy egzotikus megnyilvánulása, napjaink anyagtudományának intenzíven kutatott területe. Egyes  $ACr_2O_4$  spinellekben ( $A=Fe, Cu$ ) megfigyelték, hogy a magnetoelaszticitás erőteljesebben megmutatkozik a rácstrengések dinamikájában, mint a kristály sztatikus torzulásában. Ezen rendszerekben ugyanis –a strukturális átalakuláson túl– a mágneses rendeződés is az optikai fonon módusok degenerációjának felhasadásával jár, azaz jelzi a rácsszimmetria csökkenését.

A strukturális és mágneses fázisátalakulásoknál bekövetkező szimmetria csökkenés hatását vizsgáltam  $NiCr_2O_4$  és  $MnCr_2O_4$  spinelleken optikai spektroszkópiával. Kiemelt célt volt a magnetoelaszticitás kulcsfontosságú paramétereinek feltérképezése az A rácshelyen található ion változtatásával.

$NiCr_2O_4$  kristály hűtése során tapasztalták, hogy a kezdeti köbös szimmetriájú spinell szerkezet a Jahn-Teller átalakulás hatására tetragonállissá módosul. Méréseim során az optikai vezetőképesség spektrumában tapasztaltam a fonon módusok felhasadását, mely megerősíti a  $NiCr_2O_4$  szerkezetében bekövetkező szimmetria csökkenést. Ellentétben az anyagcsalád többi tagjával,  $NiCr_2O_4$  esetén a tetragonális fázisban olyan különleges, újonnan megjelenő módusokat is megfigyeltem, melyek a köbös fázisban nem voltak jelen és nem felhasadás révén jöttek létre. Dolgozatomban ezen csendes módusok aktívvá válásának elméleti lehetőségét is igazolom a fononok szimmetriaanalízisének segítségével. Alacsony hőmérsékleten további felhasadásokat figyeltem meg, melyek oka a mágneses rendeződés során bekövetkező további szimmetria csökkenés. Másrészt a  $MnCr_2O_4$  (mely nem rendelkezik pályadegenerációval) alapállapotában is megtartja a magas hőmérsékleten is megfigyelhető köbös szimmetriát.

Eredményeim, az irodalmi előzményekkel összevetve, egyértelműen azt mutatják, hogy ebben az anyagcsaládban megfigyelhető kimagasló mértékű magnetoelaszticitás feltétele az  $A^{2+}$  ion pályadegenerációja. Ezen következtetés az anyagok szélesebb körében hozzájárulhat a magnetoelaszticitás mikroszkopikus mechanizmusának megértéséhez.

# Grafít nanorétegek előállítása és felhasználása kerámia alapú nanokompozitokban

Kun Péter, VIII. évf.

Konzulens: dr. Balázs Csaba, MTA KFKI Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet

A kerámia kutatás területén már régóta megfogalmazódott az az igény, hogy egy erősítő fázis adalékolásával, kompozitok előállításával igyekeznek feljavítani a kerámia mátrix mechanikai, elektromos és termikus paramétereit. A szénerősítésű kompozitok terén jelenleg a kutatás főleg a szén nanocsövekre irányul, kiváló mechanikai és elektromos tulajdonságaik miatt. Éppen ezért, az utóbbi években jelentősen megnőtt az érdeklődés a szén nanocső erősítésű kompozitok iránt. Ugyanakkor a grafít nanorétegek, valamint a nemrég felfedezett grafén is minden bizonnyal sikeresen alkalmazhatók kompozitok erősítő anyagaként, mivel fizikai tulajdonságai még a szén nanocsöveknél is jobbnak bizonyultak.

Nagy hatékonyságú mechanikai örlési kísérleteket végeztem grafít mintákon, eltérő örlőközegek, valamint különböző fordulatszámok alkalmazásával. Sikerült viszonylag tökéletes kristályszerkezetű grafít nanorétegeket, grafénszerű anyagokat előállítanom. Elvégeztem az elkészített minták széleskörű karakterizációját: pásztázó elektromikroszkóppal (SEM), röntgendiffrakciós módszerrel (XRD), atomi erőmikroszkóppal (AFM) és Raman spektroszkópiás módszerrel vizsgáltam.

A szén erősítésű szilícium-nitrid nanokompozitok elkészítésének célja az egyes összetevők előnyös tulajdonságainak ötvözése, így például az elektromos, tribológiai és hővezetési tulajdonságok javítása. A tudatosan alakított tulajdonságokkal rendelkező nanokompozitok tervezése és előállítása szempontjából lényeges tisztában lenni a különböző diszpergálási és szinterelési folyamatok során zajló jelenségekkel. Egyrészt azért, hogy sikerüljön megőrizni a nanoszerkezetek előnyös tulajdonságait, másrészt, hogy megfelelő szilárdságú és elektromos töltésvitelre képes mátrix és erősítő anyag közti határfelületeket alakítsunk ki. A nanografít por alapanyagból C/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> nanokompozit készül. Ebből az anyagból jól mérhető, szilárd hasáb rudak készülnek a szinterelést is magában foglaló előállítási eljárás végére. Ezeket szerteágazó vizsgálatokat lehet végezni, felderítve az anyag mechanikai, elektromos és hővezetési tulajdonságait.

## Irodalom:

1. C.N.R. Rao, A.K. Sood, K.S. Subrahmanyam, A. Govindaraj, "Graphene: The New Two-Dimensional Nanomaterial" *Angewandte Chemie International Edition*, Vol. 48, No. 42, 7752–7777 (2009)
2. C.C. Koch, "Synthesis of nanostructured materials by mechanical milling: problems and opportunities", *Nanostructured Materials*, Vol. 9, No. 1-8, 13-22 (1997)
3. Cs. Balázs, B. Fényi, N. Hegman, Zs. Kövér, F. Wéber, Zs. Vértesy, Z. Kónya, I. Kiricsi, L.P. Biro, P. Arató, "Development of CNT/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> composites with improved mechanical and electrical properties", *Composites Part B: Engineering*, Vol. 37, No. 6, 418-424 (2006)
4. Y. Fan, L. Wang, J. Li., J. Li, S. Sun, F. Chen, L. Chen, W. Jiang, "Preparation and electrical properties of graphene nanosheet/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composites", *Carbon*, Vol. 48, No. 6, 1743-1749 (2010)

# Egyedi és hálózatos szén nanocsövek gázérzékelése

Obreczán Vince, BSc IV. évf.

Konzulensek: Dobrik Gergely és dr. Horváth Zsolt Endre  
MTA KFKI Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet,  
dr. Kiss Gábor BME Atomfizika Tanszék

A szén nanocsövek (CNT) felfedezése [1] óta eltelt 19 évben sok olyan kísérleti eredmény született, ami ezen nanostruktúrák különleges elektromos, termodinamikai, és mechanikai tulajdonságaira mutatott rá. [2, 3] A jó elektromos vezetőképesség, a nagy szakítószilárdság és egyéb jellemzők tették lehetővé, hogy mára a szén nanocsövek számos gyakorlati alkalmazása ismert, és még több van kutatás alatt. Nanoelektronikai felhasználása igen sokrétű lehet, mivel különböző elektromos tulajdonságú (vezető, ill. félvezető) csöveket ismerünk.

A CNT-k elektromos tulajdonságai nagyon függenek a környezeti hatásoktól. A csőfalhoz, vagy a kontaktusokhoz adszorbeálódó gázcseppek lokálisan módosítják az elektronszerkezetet, mellyel a nanocső vezetőképessége számottevően változhat. A dolgozatomban arról a munkáról számolok be, melynek során ezen nanostruktúrák egyedi és hálózatos elektromos tulajdonságait vizsgáltam különböző gázok/gőzök áramoltatása mellett.

Ahhoz hogy ezt megtehessem, először fel kellett vinni a nanocsöveket egy SiO<sub>2</sub> hordozóra. A nanocsövek megkeresését atomi erőmikroszkóppal (AFM) végeztem. Miután kiválogattuk a megfelelő CNT-eket, az elektromos mérések elvégzésére elektromos kontaktusok elhelyezésére volt szükség, amit elektronlitográfiával készítettünk. Ezután a minta elektromos áramkörbe köthetővé vált.

Az elektromos mérések során célt az egyes áramoltatott gázok/gőzök hatásainak meghatározása, továbbá az egyedileg kontaktált nanocsövek, és a nanocső hálózatok eltérő viselkedésének kísérleti vizsgálata volt. A kísérletek rámutattak, hogy a gáz-/gőz áramoltatás mérhető eredménnyel jár.

Egyedi nanocsövek esetében csak a csőfalhoz adszorbeálódó gázcseppek hatása figyelhető meg, nanocső hálózatoknál a nanocsövek falához és a nanocső-nanocső kontaktusokhoz kötődő gázcseppek hatásával is számolni kell. A kétféle folyamat különböző mértékben módosítja a mért elektromos választ. Ezen görbék vizsgálatából meg lehet állapítani hogy a különböző rendszerekben mik a jelentősebb folyamatok. Dolgozatomban bemutatom, hogy míg az egyedi nanocsöveknél a nanocső falára adszorbeálódott gázmolekulák okozzák az elektromos jel megváltozását, addig a hálózatban lévő CNT-kenél jelentősebb a nanocső-nanocső kontaktusok hatása.

## Irodalom:

1. S. Iijima: Helical microtubules of graphitic carbon, Nature 354, 56-58 (1991)
2. M. Burghard: Electronic and vibrational properties of chemically modified single-wall carbon nanotubes, Surface Science Reports 58, 1-109 (2005)
3. F. Wakaya, K. Katayama, and K. Gamo: Contact resistance of multiwall carbon nanotubes, Microelectronic Engineering 67-68, 853-857 (2003)

# Atomi szintű önszerveződő struktúrák vizsgálata törőkontaktus módszerrel

Pósa László, MSc I. évf.

Konzulens: dr. Halbritter András, BME Fizika Tanszék

Atomi méretskálán sok érdekes önszerveződő folyamat játszódik le az anyagban, amelyek különböző nanostruktúrák kialakulását eredményezik. Ezen folyamatok következtében bizonyos anyagok (Au, Pt, Ir) szeretnek alacsony koordinációs számú konfigurációba rendeződni, széthúzásuk során például atomi láncokat képeznek [1]. Nagyobb keresztmetszeteknél ezen kívül különböző struktúrájú, stabil héjszerkezetek [2,3], és speciális atomi elrendeződésű nanovezetékek jöhetnek létre [4]. Ezen struktúrák egy részét nagy felbontású transzmissziós elektronmikroszkóppal is sikerült kimutatni [4,5,6], azonban az ezen technikával végzett méréseket rendkívül nehéz kivitelezni. Az atomi struktúrák könnyebb vizsgálata érdekében érdemes kifejleszteni olyan eljárásokat, amellyel egyszerű vezetőképesség mérésekkel lehet információt szerezni a különböző önszerveződő szerkezetekről.

Atomi méretű kontaktusok létrehozásának egyik gyakran alkalmazott módszere a különböző fémszálak szétszakításán alapuló törőkontaktus technika. A vezeték húzása során folyamatosan mérjük annak vezetőképességét. A kontaktus viselkedésének legalapvetőbb módszere a vezetőképesség hisztogram felvétele [7], amellyel kimutathatók a széthúzás során sűrűn előforduló stabil atomi konfigurációk. Azonban a hisztogram elkészítésével még nem tudunk semmit mondani a széthúzás dinamikájáról. Újszerű statisztikai módszerek bevezetésével további információt tudunk kinyerni a kontaktus viselkedéséről. Korrelációs vizsgálatok alkalmazásával meg tudjuk állapítani, hogy az egyes stabil konfigurációk milyen szabályok szerint következnek egymás után.

Dolgozatom keretében foglalkozom az atomi láncok kialakulásának módjával, annak elő- és utóéletével. Kimutatható, hogy a láncképződés valószínűsége függ attól, hogy a kontaktus korábban milyen konfigurációt vett fel, illetve a kontaktus eltérő módon viselkedik összenyomása során attól függően, hogy történt-e lánchúzás vagy nem. Az anyag speciális kezelésével a szakítás során további érdekes stabil atomi elrendeződések alakulnak ki, amelyeket korrelációs analízis alá vetve fontos információt nyerünk a széthúzás dinamikájáról.

## Irodalom:

1. A. I. Yanson et al., Nature, Vol. 395, 783-785 (1998).
2. A. I. Yanson et al. Nature 400, 144 (1999)
3. A. I. Mares et al. Physical Review B 70, 073401 (2004)
4. Y. Kondo and K. Takayanagi, Science 289, 606 (2000).
5. H. Ohnishi, Y. Kondo, and K. Takayanagi, Nature 395, 780 (1998).
6. Y. Kurui et al. PRB 77, 161403(R) (2008)
7. N. Agrait et al. Physics Reports 377, 81 (2003)

# GaV4S8 elektronszerkezetének vizsgálata optikai spektroszkópiával

Szaller Dávid, MSc II. évf.

Konzulensek: dr. Kézsmárki István és Bordács Sándor, BME Fizika Tanszék

Az elektronállapotok kiterjedtségét tekintve a kristályos anyagokat két fő csoportba sorolhatjuk. A szigetelőkben az elektronok jó közelítéssel az egyes iontörzsekhez kötöttek, azaz lokalizáltak, míg fémekben kiterjedt tartományokon mozoghatnak. Átmenetet jelentenek a két csoport között a szerves molekulakristályok, ahol - szigetelő esetben - a lokalizáció során az elektronok molekulapályákat töltenek be, azaz hullámfüggvényük kiterjedhet az egész molekulára. Szervetlen kristályok esetén is fennáll ennek a lehetősége, valós anyagokban azonban ez ritkán realizálódik.

Az AM4X8, ún. „lyukas” spinell szerkezetű anyagcsalád számos tagjánál a sáv szerkezet-számítások azt állítják, hogy az elektronállapotok leírására a fenti molekulapálya vagy klaszterpálya modell a legalkalmasabb. Ezt azonban az eddigi kísérleti eredmények csak közvetve támasztják alá.

Ezen hipotézis direkt, kísérleti ellenőrzésére GaV4S8 egykristályokon végeztem optikai spektroszkópiai vizsgálatokat széles fotonenergia tartományban, így a magasabb energiáknál látható elektrongerjesztéseket, és az alacsony energiás rácsrezgéseket is tanulmányoztam. A kristályok kis mérete (100-200  $\mu\text{m}$ ) kísérleti nehézségeket támasztott. Ennek megoldására optikai elemekből összeállítottunk egy közeli infravörös-ultraibolya tartományt lefedő 100 mikronos foltmérettel dolgozó mérőegységet, melynek építésében komoly szerepet vállaltam.

Az optikai vezetőképesség spektrum alacsony energiás tartományában az elektrongerjesztések hiánya egyértelműen mutatja, hogy a GaV4S8 egy keskeny tiltott sávú ( $\Delta=0.3$  eV) félvezető anyag. Az első elektrongerjesztéseket két –  $E=0,4$  eV és 1,5 eV energiánál megfigyelhető – optikai átmenet adja, melyek energiája jól megfelel az elméletileg jósolt klaszterpályák közti átmenetekének.

A távoli infravörös tartományban megfigyeltem, hogy az alacsony hőmérsékleten ( $T=44$  K) lezajló fázisátalakulást az optikai fonon módusok felhasadása kíséri, jelezve a kristályszimmetria csökkenését. Ez alátámasztja azt a korábbi hipotézist, hogy a fázisátalakulás egy ún. Jahn-Teller átalakulás, melynek kiváltó oka a klaszterpálya modellben jósolt pályadegeneráció.

Kísérleti eredményeim alapján megállapítható, a molekulapálya modell jól leírja ennek az anyagnak az elektronszerkezetét. Jövőbeni célom, hogy ezen kristályok magneto-optikai vizsgálatával megvizsgáljam, hogy az elektronszerkezet fenti modellje alkalmas-e az alacsony hőmérsékleteken megfigyelt különleges mágneses tulajdonságok (mágnesezettség platók) értelmezésére is.

# Átmeneti fémekkel dópolt titanát nanocsövek vizsgálata

Szirmai Péter, BSc III. évf.

Konzulensek: dr. Zlatko Micković és Prof. Forró László, EPFL Laboratoire de Physique de la Matière Complexe és dr. Simon Ferenc, BME Fizika Tanszék

A híg mágneses félvezetők (DMS), amelyekben a nem-mágneses rácspontok egy részét mágnesesekkel helyettesítjük, az évszázad elejétől a nanoszerkezetek vizsgálatának egyik legizgalmasabb területét jelentik. Az érdeklődést tovább ösztönzi felhasználásuk az elektronok alapvető jellemzőjén, a spinen alapuló technológiában, a spin elektronikában. A híg mágneses félvezetők nagymértékben spinfüggő tulajdonságai mágneses tér jelenlétében erősíthetők, lehetőséget teremtve a spin külső beállítására, ami a spintronikai alkalmazásokhoz elengedhetetlen.

Számos oxid-alapú híg mágneses félvezető szobahőmérsékletű ferromágnességet mutat. Különös figyelmet keltett a kobalttal dópolt titán-dioxid rendszer [1]. Az eddigi vizsgálatok alapján a Curie-hőmérséklet és a magnetizáció jelentősen függ az előállítás körülményeitől és a kobalt eloszlásától és koncentrációjától. A ferromágneses csatolás eredete még kérdéses, és néhány esetben kobaltklaszterek is okozhatják [2]. A dolgozatban egy lehetséges szintézisúttal nyert anyagokat vizsgálók.

Titanát nanoszálakat szintetizáltam hidrotermális eljárással. A koncentrációt széles skálán változtatva a prekuzort átmeneti fémekkel, mangánnal és kobalttal dópoltam, majd hőkezelttem. Röntgendiffrakcióval igazoltam, hogy a hőkezelés után a minták a titán-dioxid egy kristályos formájának, az anatáznak a szerkezetével rendelkeznek [1]. A nanocsövek megjelenését transzmissziós elektron mikroszkópiával támasztottuk alá. Az energiadiszperzív spektroszkópia segítségével megfigyeltük a dópolási koncentráció telítési görbéjét.

Az elektron spin rezonancia-mérések a kobalttal dópolt mintákon a kobaltionok erős kölcsönhatását mutatták [3]. A mangánnal dópolt hőkezeletlen nanoszálakon és a hőkezelt nanocsöveken is megfigyeltük a hiperfinom-szerkezetet, igazolva, hogy a  $Mn^{2+}$ -ion megjelenik a titanát mátrixában. Mind a dópolt, mind a dópolatlan mintáinkon illesztéssel világitottunk rá az oxigén vakanciák, a csapdázott lyukak és a csapdázott elektronok megjelenésére [4]. Sztatikus szuszceptibilitás mérések SQUID magnetométer felhasználásával mangánnal dópolt anyagainkat paramágnesesnek mutatták, a kobalt esetén gyenge ferromágneses hasadást tapasztaltunk.

## Irodalom:

1. Y. Matsumoto et al., „Room-Temperature Ferromagnetism in Transparent Transition Metal-Doped Titanium Dioxide”, Science, 2001, Vol. 291, No. 5505, 854-856
2. R. Janisch et al., „Transition metal doped  $TiO_2$  and  $ZnO$  - present status of the field”, Journal of Physics: Condensed Matter, 2005, Vol. 17, No. 27, R657-R689
3. A. Manivannan et al., „Nature of the reversible paramagnetism to ferromagnetism in cobalt-doped titanium dioxide”, Journal of Applied Physics, 2005, Vol. 97, 10D325
4. A. Riss et al., „Stability and Photoelectronic Properties of Layered Titanate Nanostructures”, Journal of the American Chemical Society, 2009, Vol. 131, No. 131, 6198-6206



# **Cink-oxid nanoszálak létrehozása elektrosztatikus szálképzéssel vegyi- és bioérzékelő céljából**

**Tóth Mihály, IX. évf.**

Konzulensek: dr. Nguyen Quoc Khánh, MTA KFKI Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet és dr. Hárs György, BME Atomfizika Tanszék

A cink-oxidot biokompatibilitásának köszönhetően rég óta használják mind a hétköznapi életben, mind az orvostudományban. A nanotechnológia fejlődésének köszönhetően újabb alkalmazási területek nyíltak meg, úgy mint optoelektronika, energetika és szenzorika. Az utóbbi alkalmazásban az érzékenység fokozására célszerű minél nagyobb fajlagos felületű aktív elemet kialakítani, azaz minél vékonyabb cink-oxid szálakat előállítani. Ilyen érzékelő tömeges használatának alapfeltétele, hogy az előállításához olcsó, egyszerű, és nagy kihozatalú technológiát alkalmazzunk. A munkámban elektrosztatikus fonással (electrospinning) polimer – cink-acetát nanoszálakat hoztam létre, amelyeket hőkezeléssel cink-oxid kerámia nanoszálakká alakítottam át. A szálak rendezettségének növelésére forgó mintatartót alkalmaztam. Megvizsgáltam a technológiai paraméterek hatását a szálak morfológiájára, rendezettségére, és így optimalizáltam a szál kialakításának folyamatát.

# Grafén nanoszalagok előállítása

Tóvári Endre, MSc II. évf.

Konzulens: dr. Csonka Szabolcs, BME Fizika Tanszék

A grafénről, vagyis az egyetlen atomi réteg vastagságú grafitról megjelent cikkek száma 2004-es felfedezése óta szinte exponenciálisan növekszik. Maga a tény, hogy gyakorlatilag kétdimenziós anyag stabilan létezhet, meglepő, emellett az elektronszerkezete is különleges. A Fermi-nívó környékén lineáris a diszperziós reláció [1], amiből többek között egy relativisztikus analógiájú jelenség, a Klein-alagutazás következik [2]. Diszperzió következtében az elektronok mozgékonyága még szobahőmérsékleten is kiemelkedően nagy, ami gyors elektronika létrehozását tenné lehetővé. Azonban jó minőségű grafén nagy mennyiségben történő előállítására még nem létezik hatékony eljárás, valamint nincs tiltott sáv az elektronszerkezetében. Mi ez utóbbi probléma megoldásával foglalkozunk. Gap-et például a rendszer behatárolásával, azaz szalagok készítésével nyithatunk. Az eljárások között van kemoszintézises, nanokatalizátoros és több litográfias módszer is [3]. A gap mellett a szalagperem minősége és típusa is lényeges, ugyanis a tapasztalatok szerint a szalagszélek egyenlenségei a vezetési tulajdonságokat döntően befolyásolják [4]; emellett a szalag peremének kristálytani iránya fémes vagy félvezető jelleget határoz meg, ráadásul elektron-elektron kölcsönhatást figyelembe vevő elméletek szerint a cikkcakk szélű szalagok esetében érdekes spin-polarizált élállapotok jelenhetnek meg [5].

Munkámban az elektronsugaras litográfia (EBL) és egy új hőkezelési módszer kombinációján dolgozom, mely ötvözi a két eljárás előnyeit. Az EBL gyors, de a szalagperemeken szabálytalanságokat eredményez, ami a gap értékének nagy szórásához vezet [4]. Az ún. carbothermal etching módszere szabályos, cikkcakk szélű, hatszöges lyukakat hoz létre, viszont ezen lyukak magját eddig csak atomierő-mikroszkóp (AFM) segítségével sikerült létrehozni [6], ami nagyon időigényes. Az ilyen hibahelyek keltésére litográfián és plazmázáson alapuló eljárást fejlesztettünk ki. A litográfiában használt rezisztbe lyukakat írunk, és ez a maszk hívatott megvédeni a grafén többi részét a plazma maró hatásától. A módszer egyik problémája, hogy a tiszta oxigénplazma a pereménél kezdi el oxidálni a grafént, nem belül. Ezért argonnal keverjük az oxigént, hogy a plazma a grafénon belül is hozzon létre hibahelyeket, melyek körül megindulhat az oxidáció. Egy másik probléma, hogy a plazmázás közben ne fogyjon el annyi EBL-reziszt, hogy túl nagy lyukak keletkezzenek. Vagyis fontos megtalálni a megfelelő O-Ar arányt és plazmázási teljesítményt.

Kísérleteinkkel demonstráltuk, hogy az új módszerrel nanoskálájú hibahelyek rendszere fabrikálható grafénben, illetve tanulmányoztuk a kialakult szalagok éleinek jellegét. Távolabbi célunk az ilyen szalagokból, illetve a hálózatukból felépülő áramkörök vezetési tulajdonságainak alacsony hőmérsékleti vizsgálata és összehasonlítása az elméleti várakozásokkal.

## Irodalom:

1. A. H. Castro Neto, F. Guinea, N. M. R. Peres, K. S. Novoselov, A. K. Geim: The electronic properties of graphene; RevModPhys Vol. 81, Jan.-March 2009
2. C. W. J. Beenakker: Andreev reflection and Klein tunneling in graphene; RevModPhys Vol. 80, Oct.-Dec. 2008
3. L. P. Biró, Ph. Lambin: Nanopatterning of graphene with crystallographic orientation control, CARBON 48 (2010) 2677–2689

4. M. Y. Han, B. Özyilmaz, Y. Zhang, P. Kim: Energy Band-Gap Engineering of Graphene Nanoribbons, PRL 98, 206805 (2007)
5. Son, Cohen, Louie: Half-metallic graphene nanoribbons, Nature Letters, Vol. 444, 16 November 2006
6. P. Nemes-Incze, G. Magda, K. Kamarás, L. P. Biró: Crystallographically selective nanopatterning of graphene on SiO<sub>2</sub>, Nano Research, Vol 3, Number 2, 110-116



# OPTIKA SEKCIÓ

Helyszín: Z ép. I. em. 110.

**Zsúri elnök:** dr. Füzessy Zoltán, professor emeritus  
BME Fizikai Intézet, Fizika Tanszék

**Zsúri tagok:** dr. Szarvas Gábor, műszaki igazgató  
Optimal Optik Kft.

dr. Ujhelyi Ferenc, tudományos munkatárs  
BME Fizikai Intézet, Atomfizika Tanszék

**09<sup>00</sup>** Fehér András, BSc III. évf., *Színes digitális hologramok párhuzamosított, gyorsított rekonstrukciója és feldolgozása*, Konzulensek: dr. Tökés Szabolcs, MTA SZTAKI és dr. Erdei Gábor, BME Atomfizika Tanszék

**09<sup>25</sup>** Gresits Iván, MSc I. évf., *Fehérfényű interferometrián alapuló topográf optikai terveinek elkészítése*, Konzulens: dr. Erdei Gábor, BME Atomfizika Tanszék

**09<sup>50</sup>** Héricsz Dalma, BSc II. évf., *Napelemek fényszórási tulajdonságainak kísérleti vizsgálata*, Konzulensek: dr. Koppa Pál és Sepsi Örs, BME Atomfizika Tanszék

**10<sup>15</sup>** Kurucz Máté, BSc II. évf., *Orvosdiagnosztikai mérőegység kalibrációjának algoritmizálása*, Konzulens: dr. Erdei Gábor, BME Atomfizika Tanszék

**10<sup>40</sup>** 15 perc szünet

**10<sup>55</sup>** Nagy Benedek, BSc III. évf., *Színes digitális hologram rekonstruálhatóságának vizsgálata különböző koherenciatulajdonságú fényforrások esetén*, Konzulensek: dr. Tökés Szabolcs, MTA SZTAKI és dr. Erdei Gábor, BME Atomfizika Tanszék

**11<sup>20</sup>** Varga-Umbrich Károly, BSc III. évf., *Frekvenciamodulált lézerimpulzusok előállítása, vizsgálata, és alkalmazása*, Konzulensek: dr. Kedves Miklós Ákos, MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet és dr. Lőrincz Emőke, BME Atomfizika Tsz.

# Színes digitális hologramok párhuzamosított, gyorsított rekonstrukciója és feldolgozása

Fehér András, BSc III. évf.

Konzulensek: dr. Tőkés Szabolcs, MTA SZTAKI és  
dr. Erdei Gábor, BME Atomfizika Tanszék

Az MTA SZTAKI Celluláris Érzékelő és Hullámszámítógépek Kutatólaboratóriumban folyó kutatás célja egy olyan színes, digitális, holografikus mikroszkóp megépítése, mely folyadékok biológiai összetételének vizsgálatára, minőségének meghatározására alkalmas [1].

Az én feladatom az elkészült színes digitális hologramok számítógépes feldolgozásának megvalósítása, optimalizálása volt. A megoldandó feladatok – a teljesség igénye nélkül – a következők voltak: a felvételhez használt rendszer optikai hibáinak korrigálása, a hologram terjesztése, a különböző mélységekben jelen lévő biológiai struktúrák detektálása, elkülönítése, valamint az in-line elrendezés következményeként jelentkező ikerkép eltüntetése.

A tudomány mai állása ezekre a feladatokra sok, változó hatékonysággal és megbízhatósággal működő algoritmust kínál. Ami közös ezekben az eljárásokban, az a rendkívüli számításigény, és ez a körülmény eddig jelentősen rontotta a módszerek gyakorlati alkalmazhatóságát.

Munkám során a hologramok terjesztésére a Rayleigh-Sommerfeld diffrakciós integrál közelítését alkalmaztam [2], a szegmentálást fókuszdetektálás [3] és egyszerű morfológiai eljárások segítségével végeztem el, az ikerkép-eltüntetésre Fienup fáziskinyerő algoritmusát használtam [4].

A hologramok rekonstrukcióját és feldolgozását végző rutinokat hatékonyságuk vizsgálata és javítása után grafikus kártyán implementáltam. A nagyfokú párhuzamosítást lehetővé tevő eszközt alkalmazva a CPU-n futó MATLAB kódokhoz képest nagyságrendi sebességnövekedést sikerült elérnem, ezzel közel valós idejű feldolgozást lehetővé téve.

Mérésekkel megállapítottam azt is, hogy a grafikus kártyák szimpla pontosságú számaábrázolási módja nem rontja számottevően az eredmény minőségét, a feldolgozás sikerességét.

Az említett algoritmusok GPU-n történő megvalósításával sikerült elérni, hogy a színes digitális holografikus mikroszkóp által készített képek kiértékelése megfeleljen az ipari felhasználás által támasztott követelményeknek.

## Irodalom:

1. Z. Göröcs, M. Kiss, V. Tóth, L. Orzó, Sz. Tőkés: „Multicolor digital holographic microscope (DHM) for biological purposes”, Proceedings of SPIE, pg. 75681P-75681P-10, (2010)
2. Kyoji Matsushima and Tomoyoshi Shimobaba, "Band-limited angular spectrum method for numerical simulation of free-space propagation in far and near fields", Opt. Express 17, 19662-19673 (2009)
3. Isabelle Bergoënd, Tristan Colomb, Nicolas Pavillon, Yves Emery and Christian Depeursinge, "Depth-of-field extension and 3D reconstruction in digital holographic microscopy", Proceedings of SPIE Vol. 7390
4. J. R. Fienup, "Phase retrieval algorithms: a comparison", Appl. Opt. 21, 2758-2769 (1982)

# Fehérfényű interferometrián alapuló topográf optikai terveinek elkészítése

Gresits Iván, MSc I. évf.

Konzulens: dr.Erdei Gábor, BME Atomfizika Tanszék

A felületalak mérés mind az optikában, mind a gépészetben fontos szerepet játszik. Nagyméretű (1-100 mm-es) felületek mérésére régóta kidolgozott mérőrendszerek vannak kereskedelmi forgalomban. Az utóbbi évtizedben mikromechanikai eljárásokkal lehetővé vált felületek finommegmunkálása is, gondoljunk például a video projektorokban alkalmazott mikrotükrös kijelzőkre, vagy CMOS képérzékelők felületén kialakított mikrolencse mátrixra. Mindkét előbbi példában a jellemző megmunkálási méret néhányszor 10 mikron a felület mentén, és néhány mikron a felületre merőlegesen. Többek között az ilyen apró jellemzők mérésére fejlesztették ki a fehér fényű interferometrián alapuló mérőrendszereket, amelyek a felületet egy fókuszfolttal letapogatva interferometrikus módon készítenek nagy (1-20 nm-es) pontosságú topogrammot.

Az Atomfizika Tanszéken a felületek nagy pontosságú mérése már hagyománynak tekinthető, (pl.: Fizeau interferométer, Form Talysurf, ill. pásztázó elektronmikroszkóp is található a Tanszék eszközparkjában). E vizsgálati módszerek köre ésszerűen a fentiekben leírt fehérfényű interferométerrel bővíthető. Mivel jelenleg nem áll módunkban ilyen műszer beszerzése, az én feladatom egy lehetséges példány optikai terveinek elkészítése. Ez a dolgozat a BSc. szakdolgozatom folytatása, amelyben összevettem a szóba jöhető interferométer elrendezéseket<sup>[1],[3]</sup>, és kiválasztottam a legmegfelelőbb a Linnik-féle rendszert. Ezt elméleti úton elemeztem, majd összeraktam a modellt a ZEMAX nevű optikai tervező program segítségével, hogy elvégezhessem az optikai rendszer tűrésanalízisét. A ZEMAX modell segítségével tetszőleges felület esetén meg tudom határozni a szimulált fehér fényű interferogrammot. A mérési eredményeket (felület topográfiát) a felület pontjaiban kapott interferogrammok kiértékelésével kapom meg, amihez statisztikus optikai módszereket is kell használnom<sup>[2]</sup>. TDK dolgozatom során az interferogram időbeli koherencia (autokorrelációs) függvényét keresem, melynek segítségével arra vagyok kíváncsi, hogy a detektor zajától hogyan függ a mérés pontossága.

## Irodalom:

1. Daniel Malacara: Optical Shop Testing (Second edition), 1992 León, Mexikó
2. Bahaa E. A. Saleh, Malvin Carl Teich: Fundamentals of photonics, 1991 John Wiley & Sons, Inc. ISBN: 0-471-2-1374-8
3. Michael Zecchino: "White Light Optical Profiling: Problem-Solving Metrology for Automotive Component Manufacturing",  
[http://www.veeco.com/pdfs/appnotes/AN501\\_57.pdf](http://www.veeco.com/pdfs/appnotes/AN501_57.pdf)

# Napelemek fényszórási tulajdonságainak kísérleti vizsgálata

Héricz Dalma, BSc II. évf.

Konzulensek: dr.Koppa Pál és Sepsi Örs, BME Atomfizika Tanszék

A napelemek hatásfokát alapvetően meghatározza a napelemben elnyelődött fény mennyisége. A celláról visszaverődő vagy a félvezető rétegen kívül elnyelődő fény optikai veszteséget okoz. Ennek kiküszöbölésére különböző mikroszkopikus felületi struktúrák használatosak amelyek csökkentik a reflexiót és fényszórás révén megnövelik a fény úthosszát a cellában. A fény útját először a fedőüveg milyensége határozza meg, így az üveg felületi struktúráinak vizsgálata és tökéletesítése komoly fejlesztési lehetőségeket rejt magában.

A dolgozat célja a napelem fedőüvegén lévő mikrostruktúrák fényszórási tulajdonságainak kísérleti vizsgálata, illetve a mérés eredményeinek összevetése modell-számításokkal. Az összehasonlítás célja a modell kísérleti ellenőrzése és paramétereinek kalibrálása. A munka során vastagréteg napelemekhez felhasznált üvegmintát vizsgáltam, amelynek az egyik oldala véletlenszerűen anizotróp módon strukturált, a másik oldala sík. A kísérlet során egy gonióméternek megfelelő elrendezésben a szórt intenzitást határoztam meg a szórési szög függvényében.

A szórási profil jellege megfelelt a várakozásaimnak: mind reflexióban mind transzmisszióban a  $0^\circ$ -nál lévő csúcstól gyors, közel exponenciális lecsengést tapasztaltam a nagyobb szögek felé. A nagyobb pontosság elérése érdekében az első mérések kiértékelése alapján a kísérleti elrendezést továbbfejlesztettem: csökkentettem a zajszintet, pontosítottam az elemek elhelyezkedését, meghatároztam az optimális mintavételezést és javítottam a minta rögzítését. A kalibrálás után több szempontból megvizsgáltam a fényszórás tulajdonságait. Ezek alapján megállapítottam, hogy a fény polarizációja lényegében nincs hatással a kapott szórási profilra. A reflexiós mérés esetén eltérő görbét kaptam az érdes oldalon és a sík oldalon belépő fény esetében. Feltártam ezen eltérés okát, továbbá a felületek egymástól való független mérése érdekében a minta sík oldalát elsötétítettem. Transzmissziónál ez a jelenség nem volt megfigyelhető. A szórt fény eloszlása a detektor síkjában erős anizotrópiát mutatott, ez megfelelt a felületi struktúra mikroszkopikus irányítottságának. Megfigyeltem, hogy a minta felületét különböző pontokban megvilágítva nem egyezik meg pontosan a szórt intenzitás értéke. Ez az inhomogeneitás a véletlenszerű struktúra jellegzetessége, az átlagos szórási profil meghatározásához több mérés átlagolására van szükség. A mért görbék ezen statisztikus jellegű eltérések erejéig jó illeszkedést mutatnak az elméleti görbékkel.

A mérést a jövőben felhasználom a modell kalibrálására, új mikrostruktúrák vizsgálatára. A várható nagy számú mérés miatt tervezzük a mérés automatizálását.

## Irodalom:

1. Nemcsics Ákos, „A napelem fejlesztési perspektívái”, Akadémiai Kiadó, Budapest (2001).
2. Á. Kerekes, E. Lőrincz, P.S. Ramanujam, S. Hvilsted „Light scattering of thin azobenzene side-chain polyester layer”, Optics Communicaions 206 57-65 (2002).
3. C. Rockstuhl.et al., „Comparison and optimization of randomly scattered surfaces in thin-film solar cells”, Optics Express, A335-A342 (2010).



# Orvosdiagnosztikai mérőegység kalibrációjának algoritmizálása

Kurucz Máté, BSc II. évf.

Konzulens: dr. Erdei Gábor, BME Atomfizika Tanszék

A vizelet paramétereiből az orvostudomány nagyon sok következtetést tud levonni a páciens egészségügyi állapotára vonatkozólag [1]. Az Atomfizika Tsz. ipari partnere többek között ilyen paraméterek mérésére szolgáló labor automatákat gyárt. Egy ilyen készülék a szokásos kémiai tesztek mellett a minta fizikai paramétereit, azaz a vizelet törésmutatóját (fajsúlyát), fényszórását (zavarosságát) és spektrális transzmisszióját (színét) is méri, egy az Atomfizika Tsz. által kifejlesztett optikai mérőegység segítségével.

TDK dolgozatomban a minta színének meghatározására szolgáló algoritmust terveztem és valósítottam meg. A műszer specifikációja szerint nem von le következtetést a mért színből (ezt az orvosra hagyja), hanem csupán a színezetet közli a felhasználóval. Erre a célra megfelelő mérőszámok a CIE (Commission internationale de l'éclairage, azaz Nemzetközi Megvilágítási Bizottság) 1931-ben definiált (X, Y, Z) tristimulus értékei, illetve az ebből származtatott (x, y) színkoordináták [2]. Az optikai mérőegység a szín megállapításához 4 különböző hullámhosszúságú LED-el megméri a vizelet transzmisszióját. A feladatom tehát az volt, hogy ebből a négy transzmisszióból határozzam meg a minta színkoordinátáit minél nagyobb pontossággal. Mivel az általunk alkalmazott LED-ek spektruma nem egyezik meg a CIE színillesztő függvények alakjával, kénytelenek vagyunk mesterségesen létrehozott lineáris függvényközelítéssel élni. Ilymódon vizelet mintánként három egyenletet kapunk, egyet-egyet X, Y, Z-re, amelyek mind ugyanazt a rendszerre jellemző 12 paramétert tartalmazzák. Az egyik algoritmusom egy többváltozós térben végez el egy optimalizációt, amely meghatározza a 12 paraméter értékét. Erre a célra kalibrációs színmintákat alkalmaztam: a valódi színkoordinátákat hasonlítottam össze az optikai mérőegységgel mért értékekkel. Ezen az úton a valódi színkoordináták meghatározása az első lépés. Ehhez ki kell kiszámítani a minta spektrális transzmissziójának és a CIE szabványban definiált három színillesztő görbe átfedési integrálját – ezt a feladatot végzi el a másik algoritmusom.

Az optimalizációt végző algoritmusom a legkisebb négyzetek elve alapján csökkentni a mért és valós színkoordináták közötti távolságot, a rendszert jellemző 12 paraméter automatikus változtatásával. A lineáris együtthatók meghatározása MATLAB szoftver segítségével történt, amellyel egy nemlineáris túlhatározott egyenletrendszerrel kellett megoldani. Ehhez megfelelő optimalizációs rutint kerestem. Több alternatíva kipróbálása után a legmegfelelőbbnek a Matlab honlapjáról letölthető „LMFsolve.m” nevű fájl bizonyult [3]. Ezt a Levenberg-Maquardt algoritmus Fletcher verziója segítségével dolgozó rutint használtam fel az algoritmusom kifejlesztéséhez..

## Hivatkozások:

1. [http://www.poc.roche.com/en\\_US/pdf/UA\\_Poster.pdf](http://www.poc.roche.com/en_US/pdf/UA_Poster.pdf)
2. [http://en.wikipedia.org/wiki/CIE\\_1931](http://en.wikipedia.org/wiki/CIE_1931)
3. <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/16063-lmfsolve-m-levenberg-marquardt-fletcher-algorithm-for-nonlinear-least-squares-problems>

# Színes digitális hologram rekonstruálhatóságának vizsgálata különböző koherenciatulajdonságú fényforrások esetén

Nagy Benedek, BSc III. évf.

Konzulensek: dr. Tőkés Szabolcs, MTA SZTAKI és  
dr. Erdei Gábor, BME Atomfizika Tanszék

Az MTA SZTAKI Celluláris Érzékelő és Hullámszámítógépek Kutatólaboratóriumában folyó kutatás célja egy olyan színes, digitális, holografikus mikroszkóp megépítése, mely folyadékok biológiai összetételének vizsgálatára, minőségének meghatározására alkalmas.

Az én kutatásom célja ezen mikroszkóp megvilágításának kikísérletezése, különböző koherenciájú, színes fényforrásokkal. Ehhez nagyobb koherenciahosszú, három színből összeállított lézer, illetve rövid, pár 10  $\mu\text{m}$ -es koherenciahosszú négy színű LED összeállításokat használtam. Többféle mikroszkóp elrendezést is alkalmaztam, vizsgálva a felvett hologram rekonstruálhatóságát a fényforrás függvényében. Egy működőképes, LED alapú megvilágítás jelentősen csökkentené a digitális holografikus mikroszkóp elállítási költségeit, az alacsony térbeli koherencia miatt a szemcsézettség sem lép fel.

Az eljárás során a mikroszkóppal felvett hologramokat digitálisan rögzítettem, majd azt a MATLAB program felhasználásával numerikus úton feldolgoztam, és terjesztettem. Az így élesre állított képet hasonlítottam össze a mikroszkóp optikája által engedett maximálisan éles képpel, és ebből vontam le következtetéseket.

Az eddig elért eredményekből látható, hogy a LED a rövid koherenciatulajdonságoknak köszönhetően tisztább képet ad, ám az alkalmazott megvilágító rendszer lényeges intenzitásvesztést okoz, így nagyon gyenge a használható fény. Ezzel ellentétben a szálba csatolt lézernyaláb nagy intenzitású, ám a magas térbeli koherenciája miatt a kép zajos.

## Irodalom :

1. M. Born, E. Wolf: „Principles of Optics”, Cambridge University Press, (1999)
2. L. Mandel, E. Wolf: „Optical Coherence and Quantum Optics”, Cambridge University Press, (1995)
3. F. Shen, A. Wang: „Fast-Fourier-transform based numerical integration method for the Rayleigh-Sommerfeld diffraction formula”, Applied Optics, Vol. 45, No. 6. (2006)
4. Z. Göröcs, M. Kiss, V. Tóth, L. Orzó, Sz. Tőkés: „Multicolor digital holographic microscope (DHM) for biological purposes”, Proceedings of SPIE, pg. 75681P-75681P-10, (2010)
5. J.-M. Desse, P. Picart, P. Tankam: „Digital three-color holographic interferometry for flow analysis”, Optics Express, 16(8), 5471-5480 (2008)
6. J. Zhao, H. Jiang, J. Di: „Recording and reconstruction of a color holographic image by using digital lensless Fourier transform holography”, Optics Express, 16(4), 2514–2519 (2008)

# Frekvenciamodulált lézerimpulzusok előállítása, vizsgálata, és alkalmazása

Varga-Umbrich Károly, BSc III. évf.

Konzulensek: dr. Kedves Miklós Ákos, MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet  
és dr. Lőrincz Emőke, BME Atomfizika Tanszék

Atomi kvantumállapotok közötti koherens folyamatok keltése lézerrel többféle módon lehetséges. Az adiabatikus átvitel előnyös tulajdonságú, mert kevésbé érzékeny a lézersugár intenzitásának és frekvenciájának pontos értékére. Ilyen átmenetet frekvencia modulált lézer impulzusokkal kelthetünk melyekben a frekvencia az impulzus alatt távolról indulva átsöpör az atomi átmenet frekvenciáján. Az ilyen lézer impulzusokat „csörpölt” (chirped) impulzusoknak nevezzük. Ezekkel az impulzusokkal folytattunk kísérleteket egy magnetooptikai csapdában összegyűjtött és lehűtött rubídium atomokon, koherens gyorsítás illetve atomi szintek közötti átvitel előidézésére és tanulmányozására.

Jelen dolgozatban csörpölt jelek előállítási módszereit és felhasználási lehetőségeit vizsgáljuk. Ilyen impulzusok előállítása és paramétereinek ismerete elengedhetetlen a velük való kísérletekhez. A méréseinkél nem csak a frekvenciát moduláltuk hanem úgy hoztuk a csörpöt létre hogy az egyik lézerünk áramát moduláltuk így mind a frekvenciája mind az amplitúdója szinuszosan változott. Ezt a jelet szeretnénk meghatározni, ami sok paramétertől függ. Tudni kell, hogy a lézer szinuszos frekvenciamenete az azt meghajtó modulációs áramhoz képest milyen fázisban van. Ezt úgy határoztuk meg hogy a modulált lézert egy modulálatlan lézerrel lebegtettük össze és az interferencia jelből kapott értékekből határoztuk meg az impulzus paramétereit. A modulált lézert még egy amplitúdó modulátoron is átengedjük így kivágva a jelből egy a számunkra megfelelő hosszúságú impulzust. Végeztünk méréseket úgy is hogy az árammal modulált lézernyalábot egy osztótükörrel kettéosztottuk az egyik részét amplitúdó modulátoron engedték át majd egymással lebegtettük. A jeleket oszcilloszkópon vizsgáltuk és az elmentett adatokból az interferencia paramétereinek meghatározása volt a cél. Ezt a jelek Fourier spektrumából illetve a maradék ismeretleneket illesztő algoritmusok segítségével határoztuk meg.

A mérésekhez Tektronix DPO 7104 oszcilloszkópot használtunk (1GHz-es sáv szélességű). Az elmentett adatokat a Matlab függvényábrázoló algoritmusával dolgoztuk fel. Ezen kívül néhány ábrázoló algoritmust C# program nyelvben Visual Studió környezetben írtunk.

## Irodalom:

1. G. P. Djotyan, J. S. Bakos, Zs. Sörlei, G. Demeter, N. Sándor, D. Dzsotjan, M. Á. Kedves, B. Ráczkevi, P. N. Ignác, J. Szigeti: „Frequency Chirped Laser Pulses in Atomic Physics: Coherent Control of Inner and Translational Quantum States”, Modern Optics and Photonics - Atoms and Structured Media, Eds. G. Yu. Kryuchkyan, G. G. Gurzadyan, A. V. Papodyan, World Scientific, Singapore, p.77-91, (2010).
2. C. E. Rogers III, J. L. Carini, J. A. Pechkis, and P. L. Gould: „Characterization and compensation of the residual chirp in a Mach-Zehnder-type electro-optical intensity modulator”, Optics Express, Vol 18, No.2, 1166 (2010).
3. J.S. Bakos, G.P. Djotyan, P.N. Ignác, M.Á. Kedves, B. Ráczkevi, Zs. Sörlei, J. Szigeti : „Generation of Frequency–chirped Laser Pulses by An Electro-optic Amplitude Modulator”, Optics and Lasers in Engineering , Vol. 47 , 19-23 (2009).



# KÍSÉRLETI FIZIKA SEKCIÓ

Helyszín: Z ép. I. em. 105.

**Zsúri elnök:** dr. Péczeli Imre, egyetemi docens  
BME Fizikai Intézet, Atomfizika Tanszék

**Zsúri tagok:** dr. Vannay László, egyetemi docens  
BME Fizikai Intézet, Fizika Tanszék  
dr. Halbritter András, egyetemi docens  
BME Fizikai Intézet, Fizika Tanszék

- 09<sup>00</sup>** Bardóczi László, MSc I. évf., *Spektrális kondenzáció dinamikájának vizsgálata 2-dimenziós elektrolit áramlásában*, Konzulensek: Berta Miklós, Széchenyi István Egyetem Győr, dr. Bencze Attila, MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet és dr. Varga Imre, BME Elméleti Fizika Tanszék
- 09<sup>25</sup>** Gubicza Ágnes, BSc III. évf. és Király Richárd, MSc II. évf., *Langmuir-szondás kísérlet az ESEO műhold fedélzetén*, Konzulensek: dr. Bencze Pál, MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet és dr. Bánfalvi Antal, BME Szélessávú Hírközlés és Villamosság Tan Tsz.
- 09<sup>50</sup>** Butykai Ádám, MSc I. évf., *Malária fertőzés nagy érzékenységű diagnosztizálása a hemozoin mágneses indukált kettőtörése révén*  
Konzulens: dr. Kézsmárki István, BME Fizika Tanszék
- 10<sup>15</sup>** Karácsony Zsuzsanna, VI. évf., *A Tris puffrendszer hatása a DPPC/víz modellmembrán szerkezetére*, Konzulensek: dr. Bóta Attila és dr. Mihály Judith, MTA-KK Nanokémia és Katalízis Intézet, Biológiai Nanokémia Osztály, dr. Noszticzius Zoltán, BME Fizika Tanszék
- 10<sup>40</sup>** 15 perc szünet
- 10<sup>55</sup>** Kolozsi Zoltán, MSc II. évf., *Kerámia fémhalogén lámpák fénytartásának vizsgálata*  
Konzulensek: Vargáné dr. Josepovits Katalin, BME Atomfizika Tanszék és dr. Tóth Zoltán, GE Hungary Kft.
- 11<sup>20</sup>** Kovács Noémi, MSc II. évf., *Flagellin adszorpció vizsgálata optikai bioszenzorral*  
Konzulensek: Horváth Róbert, MTA KFKI Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet és dr. Hárs György, BME Atomfizika Tanszék
- 11<sup>45</sup>** Orbánová Agnesa, Msc II. évf., *Fehérjék másodlagos szerkezetének meghatározása cirkuláris kettőtörés spektroszkópiával*, Konzulensek: dr. Kézsmárki István, BME Fizika Tanszék és dr. Vértessy Beáta, MTA Enzimológiai Intézet
- 12<sup>10</sup>** Siska Veronika, BSc II. évf., *Növényfluoreszcencia-mérő rendszer kiegészítése adatleolvasó és -kezelő felülettel*, Konzulens: dr. Barócsi Attila és Mayer Péter, BME Atomfizika Tanszék

# **Spektrális kondenzáció dinamikájának vizsgálata 2-dimenziós elektrolit áramlásában**

**Bardóczy László, MSc I. évf.**

Konzulensek: Berta Miklós, Széchenyi István Egyetem Győr,  
dr. Bencze Attila, MTA KFKI Rézecske- és Magfizikai Kutatóintézet és  
dr. Varga Imre, BME Elméleti Fizika Tanszék

Olyan homogén, izotróp, turbulens áramlásokban, amelyekben a gerjesztés után magukra hagyott rendszereket vizsgálják, az energia hullámszámterbeli viselkedése A. N. Kolmogorov fenomenológikus turbulencia elmélete szerint skálainvariáns az inerciális tartományban [1]. Az inerciális tartományban - a meghajtott és a disszipáló hullámszámok közötti tartományban - a spektrum alakja univerzális, semmilyen paramétertől nem függ, csak a hullámszámok közötti energiaáram sebességétől. R. H. Kraichnan elméleti úton megmutatta [2], hogy a 3-dimenziós áramlásokkal ellentétben 2-dimenzióban az energia inverz módon áramlik a nagy hullámszámoktól a kis hullámszámokba. A koherens örvények önszerveződésével az energia a peremfeltételek által megengedett legkisebb hullámszámban akumulálódik, amit spektrális kondenzációnak neveznek. Egy ilyen tranzienst folyamatban a nagy struktúrák hajtását a kis struktúrák biztosítják. Ezzel szemben az áramlást határoló edény fala egy kis hullámszámú energia nyelőként viselkedik a turbulens áramlásban. A stacionaritás feltétele az, hogy az adott hullámszámba energiát szállító áram sebessége egyensúlyba kerüljön az alacsony hullámszámokon végbemenő energia veszteséggel. Emiatt a súrlódás kritikus a kaszkád stabilitásában.

Szigorúan véve 2-dimenziós áramlások nem léteznek, de jó közelítéssel annak tekinthetők például a szappanhártyákban, a vékonyrétegekben és a fúziós plazmákban végbemenő áramlások. A közelmúltban sikerült kimutatni időben állandó gerjesztéssel hajtott vékonyrétegekben történő spektrális kondenzáció és fúziós plazmákban végbemenő alacsony és magas összetartási módok közötti fázisátmenet hasonlóságát [3]. E fázisátmenet a plazmát jobb összetartású állapotba viszi, amelyben csökken a fal irányába menő hő- és részecsketranszport. Az elméletek szerint ez zonális áramlások kialakulásával van kapcsolatban, ám a plazmafizikai diagnosztika nehézségei miatt ezt a kapcsolatot kísérletekkel még nem sikerült bizonyítani.

Dolgozatomban saját készítésű kísérleti berendezésben elektrolit rétegekkel végzett kísérleteimet és mérési eredményeimet mutatom be. Az energia nyelő erősségét a folyadékrétegek vastagságának változtatásával szabályoztam és vizsgáltam az inverz kaszkád időfejlődését és a stacionárius állapot tulajdonságait. Az áramlásokról videó felvételeket készítettem és PIV technikával meghatároztam a sebességmezőt. A sebességmező vizsgálatával kimutattam és jellemeztem a súrlódás hatását az inverz kaszkád dinamikájára, a spektrális kondenzációra, valamint jellemeztem és összehasonlítottam a részecsketranszportot az áramlás különböző fázisaiban.

## Irodalom:

1. A.N. Kolmogorov: Local structure of turbulence in an incompressible viscous fluid for very large Reynolds numbers. C.R. Acad. Sci., USSR, 30 301 538 (1941)
2. R. H. Kraichnan: Inertial Ranges in Two-Dimensional Turbulence, Physics of Fluids, 10 1417 (1967)
3. M.G. Shats et al: Spectral condensation of turbulence in plasmas and fluids and its role in low-to-high phase transitions in toroidal plasma, Physical Review E, 71 046409 (2005)

# Langmuir-szondás kísérlet az ESEO műhold fedélzetén

Gubicza Ágnes, BSc III. évf. és Király Richárd, MSc II. évf

Konzulensek: dr. Bencze Pál, MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet és  
dr. Bánfalvi Antal, BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságatan Tanszék

Az Európai Űrkutatási Hivatal (ESA) diákprogramjának keretében az ESEO (European Student Earth Orbiter) műhold fedélzetére Egyetemünk három hallgatói csoportja tervez berendezéseket, melyek közül az egyik az ionoszférát vizsgáló Langmuir szonda (LMP-Langmuir Probe). Az űrmisszió alapvető célja az európai egyetemi hallgatók űrkutatással kapcsolatos ismereteinek bővítése, a diákok "bevezetése" az űrkutatásba, valóságos űrkörnyezetben valóságos premisszák igazolásához épített berendezésekkel. Az LMP kísérlet részét képezi a misszió tudományos programjának, melynek keretében a műholdpályán a plazma töltéssűrűségét és a töltések hőmérsékletét monitorozza.

A dolgozat első része röviden összefoglalja az ionoszférának a szonda szempontjából alapvető fontosságú tulajdonságait, részletesen bemutatja a mérési célok kitűzésének hátterét. Ismerteti továbbá a szonda kialakításának és műholdon való elhelyezésének szempontjait, a várt mérési eredményekre vonatkozó számításokat.

A dolgozat további részében a berendezés két alkotó eleme, a detektor és a kiszolgáló elektronikai egység áramköri és mechanikus tervezését, anyag és alkatrész választás szempontjait foglaljuk össze.

Ismertetésre kerül a tervezés jelenlegi fázisában:

1. a mágnesezett plazmába merülő detektor mechanikus és elektromos kialakítása
2. a kiszolgáló elektronika részegységeinek blokkvázlat és áramkör szintű tervei az űrtechnológia követelményeinek figyelembevételével.

Az összefoglalásban helyet kapnak a hároméves űrprogram fontosabb mérföldkövei és a kísérlet szempontjából legfontosabb tennivalók a közeljövőben.

## Irodalom:

1. Olena Bilyk – Probe diagnostics of low-temperature plasmas
2. ESA Space Standards: [www.ecss.nl](http://www.ecss.nl)
3. Radiation Hardness Assurance Issues for JPL Spacecraft Microelectronics

# Malária fertőzés nagy érzékenységű diagnosztizálása a hemozoin mágnesesen indukált kettőtörése révén

Butykai Ádám, MSc I. évf.

Konzulens: dr. Kézsmárki István, BME Fizika Tanszék

A malária fertőzés ma is népbetegségnek számít Afrikában, Ázsiában és Dél-Amerikában. Ezt bizonyítja a tény, hogy évente mintegy 300 millió megbetegedést regisztrálnak, melyből 2-3 millió halálos kimenetelű. A globális felmelegedés következtében az érintett területek száma növekszik: a dél-európai régió veszélyeztetetté vált és hazánkban is több helyen találtak már malária szúnyogot. A malária kórokozók gyógyszerekkel szembeni egyre növekvő immunitása miatt a megbízható diagnózis létfontosságú. A fejlődő országokban azonban a ma használatos diagnosztikai technikák rendszerint túl költségesek, kis érzékenységűek, vagy megfelelő orvosi szakértelem hiányában nem kivitelezhetőek. Ezért nagy számban lépnek fel rosszul diagnosztizált esetek, melyek súlyos következményekkel járnak.

Kutatásom során egy alternatív, széles körben alkalmazható optikai diagnosztikai eljárás lehetőségét vizsgáltam, mely a malária vérben felhalmozódó melléktermékének, az ún. hemozoin kristályoknak (közismert nevén malária pigmentnek) megjelenését mutatná ki. Mivel ezen szerves molekulakristályok csak a maláriával fertőzött egyének vérében találhatóak meg, és koncentrációjuk a fertőzés előrehaladásával egyre növekszik, így megfelelő célpontot nyújthatnak a malária diagnózisban. A hemozoin kristályok tulajdonságai –hosszúkás alakjuk következtében fellépő lineáris kettőtörés, valamint a bennük lévő vas ionok magas spinű állapotából fakadó paramágneses viselkedés– felvetik a magneto-optikai mérés technikával történő detektálás lehetőségét.

A Fizika Tanszék Optikai Spektroszkópia laborjában részt vettem egy lineáris és cirkuláris kettőtörés széles spektrumú mérésére alkalmas kísérleti berendezés összeállításában. A tipikusan mikronos méretű hemozoin kristályokból –melyet szintetikus úton állítottunk elő– vizes szuszpenziót készítettem, és megmértem a mágneses tér által indukált lineáris kettőtörését a közeli infravöröstől az ultraibolya tartományig ( $\lambda=1300-170\text{nm}$ ). Megmutattam, hogy az effektus arányos a hemozoin koncentrációval és specifikus mágneses tér függést mutat. Eredményeim alátámasztják a hemozoin mágneses és optikai viselkedéséről alkotott elméleti feltételezéseket, valamint megerősítik egy ilyen elven működő nagy érzékenységű diagnosztikai eszköz kifejlesztésének lehetőségét, melynek pontossága megközelíti a laboratóriumi méréseim szintjét. Az eszköz prototípusának megépítése jövőbeni terveim között szerepel.



# A Tris pufferrendszer hatása a DPPC/víz modellmembrán szerkezetére

Karácsony Zsuzsanna, VI. évf.

Konzulensek: dr. Bóta Attila és dr. Mihály Judith, MTA-KK Nanokémia és Katalízis Intézet, Biológiai Nanokémia Osztály, dr. Noszticzius Zoltán, BME Fizika Tanszék

A modellmembrán rendszerek a bonyolult sejtmembránrendszerek megértését szolgálják. Bármilyen összetett rendszert pufferoldatban szokás vizsgálni. A pufferrendszer jelenléte a kémiai komponensek szennyeződései által kiváltott zavaró hatásokat tompítja, szélsőséges esetben megszünteti. Ugyanakkor a pufferrendszerek típusa, koncentrációja befolyásolja – ahogy ez a dolgozatban is kiderül – az alaprendszer fizikai, fiziko-kémiai tulajdonságait. Ezek a pufferrendszer által kiváltott változások alapvető fontosságúak bármilyen összetett rendszer sajátosságainak megértésében.

Munkám során a dipalmitoil-foszfatidilkolin (továbbiakban DPPC) szerkezetét vizsgáltam különböző módszerekkel. Ez a foszfolipid az emberi sejtek membránjainak egyik fő alkotója. A valós rendszerek részletes tanulmányozása nem megoldható, ezért szintetikus lipidek és víz keverékét, illetve az azokból felépített liposzómák tulajdonságait tanulmányozzuk különböző koncentrációjú Tris-pufferben. A liposzómák kettősrétegei a modellrendszerben úgynevezett multilamelláris rétegekbe rendeződnek, gömbszimmetrikusnak tekinthető formában. Az egyes rétegek között a távolság állandó.

A differenciál pásztázó kalorimetriás (DSC) méréseket a fázisátmenetek hőmérsékletének meghatározására és az entalpiaváltozás mérésére használtam, a fázisok karakterisztikus hőmérsékleteit ez alapján határoztam meg. Szerkezetvizsgálati módszerem a kisszögű és nagyszögű röntgenszórás (SAXS, WAXS) volt. A kisszögű röntgendiffrakció eredményeiből a rétegszerkezet változásai, míg a nagyszögű mérésből az adott síkban hexagonális rácsba rendeződő lipidek távolsága (az alcella rácsállandója) állapítható meg. A rendszer fázisállapotainak megfelelő hőmérsékleteken (26°C, 38°C, 46°C) kapott eredmények az egyes fázisokban rétegszerkezet-változásokat mutatnak, melyek a pufferrendszer ionjainak hatására következnek be. A molekuláris szintű kölcsönhatásokat – a karakterisztikus csoportok rezgéseiben létrejövő változások alapján – teljes reflexiós infravörös spektroszkópiai (ATR-FTIR) módszerrel követtem. A Tris molekulák, illetve Na<sup>+</sup> és Cl<sup>-</sup> ionok okozta változások jelentkeznek a rezgési spektrumban. A morfológiai kép szemléltetésére fagyasztatással kombinált elektronmikroszkópiát használtunk.

Az egyes módszerekkel kapott eredmények egybehangzóan azt mutatják, hogy a széleskörűen használt Tris pufferrendszer perturbációt okoz a DPPC/víz rendszer szerkezetében.

## Irodalom:

1. D. E. Vance and J. E. Vance, Biochemistry of Lipids, Lipoproteins and Membranes, Vol. 31. Elsevier (1996).
2. L. A. Feigin and D. I. Svergun, Structure Analysis by Small-Angle X-Ray and Neutron Scattering, Ed.: D. W. Taylor, Plenum Press, New York (1987).
3. G. Cevc and D. Marsh, Phospholipid Bilayers: Physical Principles and Models, John Wiley & Sons, New York (1987).

# Kerámia fémhalogén lámpák fénytartásának vizsgálata

Kolozsi Zoltán, MSc II. évf.

Konzulensek: Vargáné dr. Josepovits Katalin, BME Atomfizika Tanszék és  
dr. Tóth Zoltán, GE Hungary Kft.

A kerámia fémhalogén lámpák (CMH) napjaink stabil, dinamikus fejlődő fényforráscsaládja. Kiváló fényhasznosításuk és színvisszaadási értékük, illetve nagy fényáramuk miatt mind bel-, mind pedig kültéri alkalmazásuk széles körben elterjedt. A lámpában lejátszódó folyamatok feltérképezése, megismerése és modellezése elengedhetetlen része a termékfejlesztésnek. A kerámia fémhalogén lámpák egyik fő kutatás-fejlesztési iránya a lámpa fényáram-tartásának növelése, azaz a kezdeti fényáram használat közbeni csökkenésének mérséklése. A csökkenés oka a használat során a falra rakódó volfrám réteg, ami blokkolja az ívben keletkezett fény kijutását.

A téma a GE Hungary Kft. kutatás-fejlesztési tevékenységével kapcsolatos. A TDK dolgozat keretében irodalomkutatást végeztem a tématerületen, megismerkedtem a mérési technikákkal, és feltáró méréseket végeztem a lámpán. A volfrám réteg felépülésének vizsgálatánál kulcsfontosságúak a különböző felületanalitikai módszerek.

Mivel ezek tartós lámpák, ezért több ezer órán át tartó tesztelésük nem gazdaságos, így a lámpa korai szakaszában (100 óra) vizsgáltam a lerakódott réteg szerkezetét. Kezdetben a volfrám kimutathatóságát vizsgáltam hosszú (2000 óra), majd rövid (100 óra) ideig égetett lámpán SIMS módszerrel. Ezt követően a kevésbé érzékeny XPS módszerre tértem át. Ez a módszer azon felül, hogy kvantitatív, lehetővé teszi a kerámia falra lerakódott réteg kötésállapotának elemzését is. Munkám során SEM és AFM segédméréseket is végeztem a lerakódás morfológiájának feltérképezése céljából.

A TDK munka további részében azt vizsgáltam, hogy hogyan lehetne megakadályozni a volfrám lerakódását a kerámia falra. Feltártam, hogy bizonyos lámpába tett adalékanyagok befolyással bírnak-e a réteg korai kialakulására.

## Irodalom:

1. Debreczeni Gábor, Dr. Kardos Ferenc, Dr. Sinka József, „Fényforrások”, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985.
2. O. Brümmer, J. Heydenreich, K.H. Krebs, H.G. Schneider, „Szilárd testek vizsgálata elektronokkal, ionokkal és röntgensugárzással”, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984.
3. W. van Erk, „Transport processes in metal halide gas discharge lamps”, Pure Appl. Chem, Vol. 22, No. 11, 2159--2166, 2000.
4. J. He, Z. Toth, T. Russell, US Patent Application 2009/0146570 A1

# Flagellin adszorpció vizsgálata optikai bioszenzorral

Kovács Noémi, MSc II. évf.

Konzulensek: Horváth Róbert, MTA KFKI Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet és dr. Hárs György, BME Atomfizika Tanszék

A TDK dolgozatom keretében korunk egyik legérzékenyebb, az optikai bioszenzorok közé sorolható OWLS (Optical Waveguide Lightmode Spectroscopy) technikával foglalkozom, és részletesen vizsgálom a flagellin fehérje adszorpcióját a szilárd folyadék határfelületen különböző körülmények és feltételek mellett.

Az optikai hullámvezető módus spektroszkópia (OWLS) biológiai folyamatok jelölésmentes, valós idejű követését teszi lehetővé. A szenzor alapja egy integrált optikai chip, melyben lézertérrel gerjeszthető diszkrét módusok terjednek. A gerjesztést a film felületén kialakított optikai rács megvilágítása jelenti, és a megvilágítási szög pontos mérése ad lehetőséget a film felületén található biomolekulák kimutatására  $\text{ng/cm}^2$ -es felbontással. A technika elméleti alapja, hogy a hullámvezető módusok terjedési állandója függ az evaneszcens tér által érzékelt, a chip felett áramló oldat és a chip felületén kialakuló adszorbeálódott réteg törésmutatójától, és ezáltal a felületen adszorbeálódott fehérjék mennyiségétől. Így a fehérje adszorpció kinetikájának vizsgálata és kvantitatív analízise is lehetővé válik. Információt kaphatunk a kitapadt réteg törésmutatójának, vastagságának, és tömegének időbeli alakulásáról.

A vizsgálataim során a flagellin fehérjével foglalkoztam. Ez a fehérje az építőeleme, monomere bizonyos baktériumok flagelláris filamentumainak. Ezen nanofilamentumok génmódosítás segítségével rendkívül nagy molekuláris kötőhelysűrűséggel ruházhatóak fel, így a módosított filamentumok bioszenzorok újszerű érzékelő mátrixaiként szolgálhatnak.

Kísérleteim során számos tényező hatását vizsgáltam az adszorpció mechanizmusának megértése érdekében. Változtattam a fehérje koncentrációt, a puffer ionerősségét, a felület hidrofobicitását és az áramlás sebességét.

A mérési eredmények azt mutatják, hogy az oldat fehérje koncentrációjának növelésével a kitapadt fehérjék mennyisége növelhető, a hidrofób felületek nagyban segítik a flagellin felületi adszorpcióját. Ezen megfigyelésünk összhangban van azzal, hogy a flagelláris filamentumok polimerizációja egy önszervező folyamat, amelyet főképp a flagellin hidrofób részei vezérelnek.

## Irodalom :

1. N. Kovacs, N. Orgovan, S. Kurunczi et al., „Flagellin based protein layers for biosensing”, poster presented at International NanoBio Conference (2010).
2. N. Kovacs, N. Orgovan, S. Kurunczi et al., „Flagellin adsorption on model surfaces”, poster presented at CIMST Interdisciplinary Summer School on Bio-medical Imaging (2010).
3. R. Horvath, J.J. Ramsden, „Quasi-isotropic analysis of anisotropic thin films on optical waveguides”, *Langmuir*, Vol. 23, No. 18, 9330-9334 (2007).
4. J. Vörös, J.J. Ramsden, G. Csúcs et al., „Optical grating coupler biosensors”, *Biomaterials*, Vol. 23, 3699-3710 (2002).

# Fehérjék másodlagos szerkezetének meghatározása cirkuláris kettőtörés spektroszkópiával

Orbánová Agnesa, Msc II. évf.

Konzulensek: dr. Kézsmárki István, BME Fizika Tanszék és  
dr. Vértessy Beáta, MTA Enzimológiai Intézet

A fehérjék háromdimenziós szerkezete fontos szerepet játszik funkciójuk betöltésében, a sejt biokémiai folyamataiban való részvételükben. Ennek megfelelően a szerkezetmeghatározás kulcsfontosságú eleme egy újonnan szintetizált fehérje teljes jellemzésének. A szerkezetmeghatározás általánosan alkalmazott mérés technikái a röntgen krisztallográfia és a mágneses magrezonancia. Ezen módszerek korlátait első esetben a fehérjekristályosítás nehézsége, a másodikban pedig – bizonyos fehérjék esetében – a túl nagy molekulatömeg jelenti.

A fenti vizsgálati módszereknél közvetettebb információt nyújt, de szinte minden fehérjemintánál kivitelezhető a cirkuláris kettőtörés (CD) spektroszkópia. Ennek alapelve, hogy a fehérjemolekulák, mint királis objektumok, eltérő arányban nyelik el a fény jobbra, ill. balra cirkulárisan polarizált komponenseit.

Dolgozatomban egy egyszerű számolás keretében bemutatom a cirkuláris kettőtörés spektroszkópia fizikai alapelvét, illetve azt, hogy speciálisan hogyan alkalmazható fehérjemolekulák másodlagos szerkezetének meghatározására. Munkám során egy uracil-DNS degradáló faktor (UDE) elnevezésű fehérjemolekula másodlagos szerkezetének meghatározása volt a célom. E napjainkban szintetizált fehérje érdekességét az adja, hogy feltehetőleg fontos szerepet játszik bizonyos rovarok egyedfejlődési stádiumainak átalakulásában a DNS-ükben megjelenő uracil felismerésén keresztül. Mivel a DNS-ben az uracil beépülése hibát jelent, így egy ilyen fehérje esetén komoly remény látszik arra, hogy használható DNS javítási folyamatokban.

Az UDE szerkezetének meghatározásához a teljes fehérje és mintegy 10 fragmense esetében mértem meg a CD spektrumot a peptidkötések gerjesztéseinek tartományában (170 – 260 nm). A spektrumokból meghatároztam az alapvető másodlagos szerkezeti elemek ( $\alpha$ -hélix,  $\beta$ -redő, kanyar stb.) arányát. A kapott eredmények azt mutatják, hogy az UDE rendezett szakaszai (az összes aminosav kb. 64%-a)  $\alpha$ -hélix formában stabilizálódnak. Ezen adatokat és az ismert aminosav szekvenciát egy neurális hálózati elven működő programmal összevetve javaslatot tettem az UDE teljes másodlagos szerkezetére.

# Növényfluoreszcencia-mérő rendszer kiegészítése adateleolvasó és -kezelő felülettel

Siska Veronika, BSc II. évf.

Konzulens: dr. Barócsi Attila és Mayer Péter, BME Atomfizika Tanszék

A BME Fizikai Intézet Atomfizika Tanszéke résztvevője a 2008. áprilisában indult EU-FP7 SPICY (Smart tools for Prediction and Improvement of Crop Yield) projektnek. A projekt célja eszközpark kifejlesztése haszonnövények molekuláris nemesítéséhez. Az eszközök a nemesítőket segítik az egyes genotípusok komplex jellegű mutató fenotípusos válaszában (külső jegyeinek) előrejelzésében különböző környezeti körülmények között. A modellnövény a paprika.

A növényi fluoreszcencia időbeli változása fontos információkat hordoz a külső jegek alapján történő fajtaszelekcióhoz. A növény által elnyelt fényenergia részben a fotoszintézist táplálja, részben hő és fluoreszcencia formában visszasugárzódik. Különböző növényfajok – ezen belül fajták – fluoreszcens válasza különböző, ami lehetőséget ad azok minősítésére adott – a fotoszintetikus rendszer határfokára is ható jellemzők (pl. termés hozam, produktivitás) szerint. Mivel azonban egy fajon belüli fajták fluoreszcens válasza között az eltérés igen csekély, szükséges a vizsgált egyedekről a lehető legtöbb információt rögzíteni, a lehetséges legtöbb ismétlés mellett. Vagyis a statisztikailag megbízható minta igen sok adatsor rögzítését és kezelését (válogatás, feldolgozás, stb.) teszi szükségessé. Ezért igen fontos, az egyes adatsorok pontos, lehetőleg automatizált azonosítása.

A TDK munka keretében fő célom volt, hogy egy olyan adateleolvasó és -kezelő felülettel egészítsem ki a projektben fejlesztett (több mérőfejet tartalmazó) fluoreszcencia-mérő rendszert, amely alkalmas az egyes mérőfejek és az általuk mért minták egy-egy értelmű azonosítására, valamint a kiolvasott adatsorok megfelelő formátumú, adatbázis-kész rögzítésére. A cél elérése érdekében a következő feladatokat végeztem el:

- Kétdimenziós, ún. QR-kód olvasására alkalmas adateleolvasó rendszerbe illesztése.
- Olyan protokoll kidolgozása, ami lehetővé teszi az egyes mérőfejekben aktuálisan mért minták felhasználóbarát, egy-egy értelmű összerendelését, valamint ezzel definiálja az aktuális mérés indításának előfeltételét.
- Az egy mérési sorozat tárolására alkalmas mérőfejekből az aktuális mérési adatsorok online kiolvasása és adatbázis-kész konverziója.
- A fenti kiegészített rendszerrel végzendő 2010. októberi üvegházi mérések adatainak vizsgálatával a tapasztalatok leszűrése.

## Irodalom:

1. Barócsi, Lenk, Kocsányi, „Lézerindukált fluoreszcencia mérés”, Fizika laboratórium 5 hallgatói mérésleírás
2. SPICY Grant Agreement KBBE-2008-211347, Annex I - “Description of Work”
3. Symbol DS6708 Digital Scanner Product Reference Guide



# ELMÉLETI FIZIKA SEKCIÓ

Helyszín: Z ép. I. em. 104.

**Zsúri elnök:** dr. Kertész János, egyetemi tanár  
BME Fizikai Intézet, Elméleti Fizika Tanszék

**Zsúri tagok:** dr. Udvardi László, tudományos főmunkatárs  
BME Fizikai Intézet, Elméleti Fizika Tanszék  
dr. Bíró Tamás Sándor, tudományos tanácsadó  
MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet,  
Elméleti Fizika Főosztály

**09<sup>00</sup>** Zábori Balázs, BSc III. évf., *Összefüggések a plazma effektusok és a kozmikus sugárzás között a TriTel-LMP együttes mérésekben az ESEO diákműhold küldetése során*, Konzulensek: dr. Hirn Attila, MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézet, dr. Bencze Pál, Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet és dr. Zagyvai Péter, BME Atomenergetika Tanszék

**09<sup>25</sup>** Boross Péter, MSc II. évf., *Rétegfelbontott kvantum Hall-effektus kétrétegű grafénben*  
Konzulens: dr. Dóra Balázs, BME Fizika Tanszék

**09<sup>50</sup>** Ladjángszki István, BSc III. évf., *A Hartree-Fock módszer skálázódásának javítása tenzordekompozíció alkalmazásával*  
Konzulens: dr. Kállay Mihály, BME Fizikai Kémia és Anyagtudományi Tanszék

**10<sup>15</sup>** Lencsés Máté, MSc II. évf., *Peremes operátorok mátrixelemei a sine-Gordon modellben*, Konzulensek: dr. Takács Gábor, ELTE Elméleti Fizika Tanszék és dr. Zaránd Gergely, BME Elméleti Fizika tanszék

**10<sup>40</sup>** 15 perc szünet

**10<sup>55</sup>** Mati Péter, VI. évf., *A Bloch-Nordsieck modell vizsgálata*  
Konzulens: dr. Jakovác Antal, BME Elméleti Fizikai Tanszék

**11<sup>20</sup>** Ujfalusi László, MSc I. évf., *Kvantum káosz egy dimenzióban?*  
Konzulens: dr. Varga Imre, BME Elméleti Fizika Tanszék

**11<sup>45</sup>** Vajna Szabolcs, MSc. I. évf., *A Bychkov-Rashba effektus csoportelméleti vizsgálata*  
Konzulens: dr. Szunyogh László, BME Elméleti Fizika Tanszék

**12<sup>10</sup>** Varjas Dániel, VI. évf., *Mágneses anizotrópia hatása klasszikus Heisenberg piroklór antiferromágnesben*, Konzulensek: Penc Karlo, MTA SZFKI és dr. Zaránd Gergely, BME Elméleti Fizika Tanszék

# Összefüggések a plazma effektusok és a kozmikus sugárzás között a TriTel-LMP együttes mérésekben az ESEO diákműhold küldetése során

Zábori Balázs, BSc III. évf.

Konzulensek: dr. Hirn Attila, MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézet, dr. Bencze Pál, Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet és dr. Zagyvai Péter, BME Atomenergetika Tanszék

Hazánk az egyik legjelentősebb résztvevője az Európai Űrügynökség támogatásában és az olasz Carlo Gavazzi Space űripari cég irányításával megvalósuló ESEO (European Student Earth Orbiter) diákműhold küldetésnek. A műhold energiaellátó rendszere mellett (EPS) hazai egyetemista diákok dolgoznak a küldetés két alapvető tudományos céljának – plazma és űrdozimetriai mérések a Föld körüli térségben – megvalósítása érdekében. A Langmuir Probe (LMP) csoport munkájának köszönhetően lehetőségünk nyílik majd az ESEO pályamagasságában (520 km) az elektronsűrűségekre vonatkozó mérésekre. A TriTel csoport készíti el az űrdozimetriai teleszkópot, mely három dimenzióban lesz képes érzékelni a bolygónk mágneses terén áthaladó vagy befogódott, elektromosan töltött részecskéket.

A tudományos műszerek fejlesztése során merült fel a lehetősége az egyidejű méréseknek, melyeket arra használhatunk fel, hogy az elektronsűrűség változékonyságának eredetével kapcsolatos kutatásokat végezzünk az ionoszféra F2-rétegében. Az LMP segítségével regisztrálhatjuk az elektronsűrűség változásait és az F2-réteg anomáliáit az ESEO pályamagasságában. A TriTel teleszkóp mérései alapján számításokat végezhetünk az univerzumból és a Napunkból érkező részecskesugárzás ionizáló hatására vonatkozóan és elsőként nyílna lehetőségünk ezt összehasonlítani a Nap elektromágneses sugárzásának intenzitásával, melynek számításához a Beer-Lambert-Bouguer törvény alapján sikeresen levezettem egy formulát. Figyelembe vettem az elektronsűrűség változását leíró kontinuitási egyenletet, mely alapján három meghatározó folyamatot kell megemlítenünk: a rekombinációt, az ambipoláris diffúziót és az ionizációt. Részletes kutató munkát végeztem a három folyamat meghatározó jellemzőivel és a számítási módjokkal kapcsolatban. A kutatásom során sikerült módszert kidolgoznom a részecskesugárzás által előidézett ionizáció erősségének számítására a TriTel spektrumai segítségével, melyet felhasználva elsőként vonhatunk majd le következtetéseket a rekombináció és a diffúzió nagyságáról az 520 km-es magasságban.

Az IRI 2007, MSIS-E-90 légköri modellek, illetve a SPENVIS és CREME96 programcsomagok alkalmazásával előzetes nagyságrendi becsléseket végeztem ezen meghatározó folyamatok viszonyáról. Ezen becsléseim alapján a domináns folyamat a részecskesugárzás által előidézett ionizáció, mely jelentősen változhat attól függően, hogy a műhold a bolygó mágneses terében mely régióban halad éppen (a Dél-atlanti anomália és a Sarkkörök kiemelkedőek). Közvetlenül ezt követi erősség alapján a diffúzió, melynél két nagyságrenddel gyengébb a rekombináció ebben a magasságban. Az elektromágneses sugárzás által előidézett ionizáció pedig közelítőleg azonos nagyságrendbe esik a rekombinációval. Az egyidejű mérésekre kidolgozott tudományos koncepciót a nyár folyamán bemutattam a 38. COSPAR konferencián Brémában a nemzetközi tudományos közösség előtt egy poszter előadás formájában, mely több nemzetközi kapcsolatot is hozott a számomra. A koncepcióról szóló publikáció az *Advances in Space Research* folyóiratnál van benyújtva.

## Irodalom:

1. B. Zabori, A. Hirn, P. Bencze: The relationship between plasma effects and cosmic radiation studied with TriTel-LMP measurements during the ESEO mission, *J. Adv. Space Res.* (benyújtva)



# Rétegfelbontott kvantum Hall-effektus kétrétegű grafénben

Boross Péter, MSc II. évf.

Konzulens: dr. Dóra Balázs, BME Fizika Tanszék

A kétdimenziós grafit (grafén) előállítására 2004-ben új, izgalmas fejezetet nyitott a szilárdtestfizika történetében. A grafén szénatomjai egy atom vastagságú, stabil hatszöggrácst alkotnak. Bár a grafén szénatomjai között mozgó elektronok nem relativisztikusak, kölcsönhatásuk a szénatomok hatszöggrácsával olyan kvázirészecskéket hoz létre, melyek félig töltés közelében a Schrödinger-egyenlet helyett a (2+1) dimenziós tömegtelen Dirac-egyenletnek engedelmeskednek, ahol a fénysebesség szerepét a Fermi-sebesség tölti be. Az új kvázirészecskék tömeg nélküli Dirac fermionok, melyek transzportja anomális, félegész kvantum Hall-effektust mutat, mely már szobahőmérsékleten is megfigyelhető. A grafén tulajdonságai lényegesen megváltoznak, ha nem csak egy szénatomból álló síkot tekintünk, hanem kettő csatolt réteget veszünk figyelembe. A Dirac-egyenletben Schrödinger-féle, tömeget tartalmazó tagok jelennek meg. A kétrétegű grafén szintén anomális kvantum Hall-effektust mutat, hiszen kvázirészecskéi királisak és  $2\pi$  Berry fázissal bírnak.

Dolgozatom első részében áttekintem az egyrétegű grafén alacsony energiás leírását, és megmutatom, hogy a kétatomos elemi cellája miatt a spektrum közelíthető a Dirac-egyenlettel, valamint ennek sajátérték problémáját mágneses térben, a Landau nívók szerkezetét. Bemutatom, hogy a lineáris válasz elmélet segítségével, valós időben számolva, hogyan kapható meg a Hall-vezetőképesség értéke. Ezek a számolások kétrétegű grafén esetében is megismételhetők az alacsonyenergiás határesetben, az effektív 4-sáv illetve 2-sáv modell figyelembe vételével.

Dolgozatom második felében megvizsgálom a rétegfelbontott Hall-vezetőképességet kétrétegű grafénen, melynél csak az egyik rétegre kapcsolt feszültség a másikban indukál Hall áramot. Alacsonyenergiás határesetben az áramoperátor meghatározásával ez a szokásos Hall-vezetőképességgel hozható kapcsolatba. Az eredményül kapott kvantum Hall-effektus új lépcsőket mutat, és szokatlan tulajdonsága miatt remélhetőleg a kísérleti kutatások célpontjává válik.

## Irodalom:

1. A. H. Castro Neto et al.: The electronic properties of graphene. Rev. Mod. Phys. 81, 109–162 (2009)
2. E. McCann, and V. I. Fal'ko: Landau-Level Degeneracy and Quantum Hall Effect in a Graphite Bilayer. Phys. Rev. Lett. 96, 086805. (2006)

# A Hartree-Fock módszer skálázódásának javítása tenzordekompozíció alkalmazásával

Ladjánszki István, BSc III. évf.

Konzulens: dr. Kállay Mihály, BME Fizikai Kémia és Anyagtudományi Tanszék

A kvantumkémia legfontosabb közelítő eljárása a Hartree-Fock Self-Consistent-Field módszer (HF-SCF). Ezt gyakorlatban a Roothaan által javasolt módon a Hartree-Fock-Roothaan-egyenleteken (HFR) keresztül oldjuk meg. Ennek lényege, hogy az időfüggetlen Schrödinger-egyenlet megoldását szorzatfüggvény alakjában keressük, és a szorzat egyes tagjait Gauss-függvények – a továbbiakban bázisfüggvények – lineáris kombinációjaként írjuk fel. Molekuláris rendszereket vizsgálva az elektromosan töltött alkotórészek egymáshoz viszonyított potenciális energiáinak figyelembe vétele jelenti a legnagyobb nehézséget. Ez a kvantumkémiaiban is széles körben alkalmazott Born-Oppenheimer-közelítés miatt az elektron-elektron taszító kölcsönhatásban nyilvánul meg. A megoldás fent vázolt matematikai alakja miatt azonban a vonatkozó algoritmusok komplexitását és tárigényét nem az elektronok, hanem sokkal inkább a bázisfüggvények száma határozza meg. A bázisfüggvények száma az elektronok számánál akár két három nagyságrenddel is nagyobb lehet. Emiatt kis méretű molekulákat tekintve – melyek néhány atomot tartalmaznak csupán – a bázisfüggvények száma akár több ezres nagyságrendet is elérhet. A numerikus megoldás során a HFR-egyenleteket fixpont iterációval oldjuk meg. A sebesség- és tárigény-meghatározó lépés az ún. Fock-mátrix felépítése és az ehhez szükséges integrálok előállítására vagy tárolására. Ez a bázisfüggvények számának negyedik hatványával skálázódik. Így kis molekulákat tanulmányozva is hamar a több tíz gigabájt lapozó fájl használó, napokig futó algoritmusok területére érünk. Ezen körülmények miatt munkám célja a bonyolultság és a tárigény skálázódásának javítása a HFR-algoritmus leginkább processzoridő és merevlemez igényes lépésében.

Kutatásaink során megvizsgáltuk az integrálokat tartalmazó tenzor spektrumát. Ezzel bizonyítottuk, hogy a tenzornak sok igen kis járuléku altere van, amelyeket elhagyva a számításból a végeredmény pontossága alig változik. Ezen eredményeket felhasználva számos módszert megvizsgáltunk a probléma dimenzionalitásának csökkentésére. A tenzor dekompozícióját egymás után elvégzett Cholesky- és szinguláris érték felbontásokkal végeztük. Ebben az esetben a komplexitást és a tárigényt is sikerült a bázisfüggvények számának negyedik hatványa alá szorítani. A módszer további előnye, hogy a skálázódás mértéke a megkívánt pontosság függvényében adaptívan változtatható. A fenti tenzordekompozíciós eljárások mellett megvizsgáltuk a mesterséges neurális hálózatok felhasználásának lehetőségét a Hartree-Fock módszer számításigényének a csökkentésére. A közelítés a többrétegű perceptron hálózat (MLP) alkalmazásával kerüli meg a nagy komplexitású tenzorműveletek analitikus elvégzését. Az algoritmus reális lehetőséget mutat a tárigény negyedik hatványról négyzetesre való csökkentésére, míg a komplexitás negyedik hatványról harmadikra redukálására. Ennek segítségével az eddig csak merevlemez felhasználásával kiszámolható algoritmusok akár pusztán a RAM bevonásával is futtathatókká válnának, míg a sebességben legalább egy nagyságrendbeli növekedés érhető el.

## Irodalom:

1. Attila Szabó, Neil S. Ostlund, „Modern Quantum Chemistry Introduction to Advanced Electronic Structure Theory”, Dover Publications, Inc., Mineola, New York, (1996).
2. H. Koch, A. S. De Meras, and T. B. Pedersen, „Reduced scaling in electronic structure calculations using Cholesky decompositions”, J. Chem. Phys., 118, 9481, (2003).

# Peremes operátorok mátrixelemei a sine-Gordon modellben

Lencsés Máté, MSc II. évf.

Konzulensek: dr. Takács Gábor, ELTE Elméleti Fizika Tanszék és  
dr. Zaránd Gergely, BME Elméleti Fizika tanszék

A lokális operátorok mátrixelemei (form faktorok) fontos szerepet játszanak korrelációs függvények meghatározásában. A fizikailag megvalósuló esetekben a megfelelő elméletek peremmel rendelkezhetnek, ezért a peremre lokalizált operátorok mátrixelemeinek meghatározása is elengedhetetlen feladat.

A peremes form faktorok elméleti meghatározására kidolgozott módszer az ún. peremes form faktor bootstrap. Ezen elméleti jóslatok ellenőrzésére a BTCSA (boundary truncated conformal state approach) módszer form faktorok meghatározására alkalmas adaptációja ad kezünkbe egy lehetséges eszközt. Az eljárást eredetileg különböző elméletek spektrumának meghatározására fejlesztették ki, majd továbbfejlesztették mátrixelemek kiszámítására. Az alapvetően véges méret effektusokon alapuló módszer sikeresnek bizonyult később peremes elméletekre (Lee-Yang) vonatkozó form faktor jóslatok igazolására.

Jelen munka célja a BTCSA módszer alkalmazása peremes sine-Gordon modellre. Takács 2008-ban készült cikkében található egzakt jóslatok a peremes sinh-Gordon modell form faktoraira (mely elmélet ekvivalens a peremes sine-Gordon modellel, hiszen annak analitikus folytatása komplex csatolási állandóval).

Amennyiben sikerül igazolni a sine-Gordon modellre vonatkozó form faktor jóslatokat, további bizonyíték adódna a form faktor bootstrap eljárás helyességére. Ezáltal közelebb kerülhetünk a form faktorok tulajdonságainak mélyebb megértéséhez, ami a későbbi alkalmazások során elengedhetetlen.

## Irodalom:

1. V.P. Yurov and A.I.B. Zamolodchikov, „Truncated conformal state approach to scaling Lee-Yang model”, Int. J. Mod. Phys., A5 (1990) 3221-3246.
2. P. Dorey, A. Pocklington, R. Tateo and G. Watts, „TBA and TCSA with boundaries and excited states”, Nucl. Phys., B525 (1998) 641-663.
3. Z. Bajnok, L. Palla and G. Takács, „On the boundary form factor program”, Nucl. Phys., B750 (2006) 179-212, hep-th/0603171.
4. M. Kormos and G. Takács, „Boundary form factors in finite volume”, Nucl. Phys., B803 (2008) 277-298, arXiv: 0712.1886 [hep-th].
5. G. Takács, „Form factors of boundary exponential operators in the sinh-Gordon model”, Nucl. Phys., B801 (2008) 187-206, arXiv: 0801.0962 [hep-th].

# A Bloch-Nordsieck modell vizsgálata

Mati Péter, VI. évf.

Konzulens: dr. Jakovác Antal, BME Elméleti Fizikai Tanszék

Kvantum-térelmeletekben a többpont-függvények kiszámítására nem létezik egzakt analitikus módszer. Kis csatolásoknál perturbációszámításhoz folyamodhatunk, amely sok esetben valóban célravezető. Olykor azonban a perturbációszámítás infravörös divergenciákhoz vezet. Ezek a divergenciák lehetnek valódi fizikai jelenségek hírnökei (pl. másodrendű fázisátalakuláskor), de lehet a perturbációszámítás rossz konvergenciájának is a jele. Ilyen esetekben ezért meg kell próbálni a divergencia környékén a perturbációszámítás átrendezésével (azaz újraösszegezéssel) a rossz konvergenciát „megjavítani”.

A dolgozat célja egy olyan modell vizsgálata, ahol az újraösszegezés különböző szinteken végezhető el. Ez a Bloch-Nordsieck modell, amely egyetlen fermionikus szabadsági fokot tartalmaz, valamint egy  $U(1)$  mértékteret. Ez a modell tekinthető a kvantum elektrodinamika „játék-modelljének”.

A dolgozatban a fermion propagátor különböző közelítéseit vizsgáljuk:

- fa-gráf: ez a szabad propagátor közelítésnek felel meg
- 1-hurok kifejtés: a standard perturbációszámítással számolt sajátenergiát tartalmazza
- 2PI felösszegezés: itt önkonzisztens fermion propagátorral számoljuk ki a sajátenergiát, megfelel a „szivárvány felösszegezésnek”
- Bloch-Nordsieck felösszegezés: tetszőleges számú foton vonalat összegezzük a fermion propagátorhoz

A fenti módszerek alkalmazhatók továbbá a fermion-foton vertex közelítésére is. A dolgozat fő célja tehát a fermion propagátorra kapott különböző közelítések kidolgozása és azok összehasonlítása, a különbségek értelmezése és a fizikai következtetések levonása.

## Irodalom:

1. Bogoliubov N.N., Shirkov D.V.: Introduction to the theory of quantized fields
2. Michael E. Peskin, Daniel V. Schroeder: *An Introduction to Quantum Field Theory*
3. Ashok Das: Lectures on Quantum Field Theory

# Kvantum káosz egy dimenzióban?

Ujfalusi László, MSc I. évf.

Konzulens: dr. Varga Imre, BME Elméleti Fizika Tanszék

A véletlen mátrix elmélet (RMT) és a kaotikus dinamikai rendszerek között teremt kapcsolatot Bohigas-Giannoni-Schmit sejtése (BGS sejtés)<sup>1</sup>:

"Az időtükrözésre invariáns generikus klasszikusan kaotikus rendszerek kvantálásával kapott rendszerek Hamilton operátorának spektruma olyan statisztikai tulajdonságokkal rendelkezik, mint a Gauss eloszlású véletlen mátrixok kiterjesztett sajátértékei."

Dolgozatomban a sejtés megfordítását vizsgálom, vagyis a véletlen mátrixokhoz hasonló spektrumú kvantum rendszerek klasszikus határesetben kaotikusak-e?

Ezen problémával először Wu, Vallières, Feng és Sprung<sup>2</sup> foglalkozott. Megpróbálták megcáfolni a BGS-sejtés megfordítását egy ellenpéldával. Kerestek egy olyan egydimenziós, RMT spektrumú kvantum rendszert, melynek klasszikus határesetre viszont Liouville tétele miatt integrálható.

A probléma – annak inverze jellege miatt – analitikusan gyakorlatilag megoldhatatlan, ezért egy iterációs numerikus megoldást használtak. Ennek lényege, hogy egy a potenciálra adott jó kezdeti „tipp” után az iteráció során olyan potenciált konstruáltak, melynek sajátértékei az előre megadott RMT spektrumhoz tetszőlegesen közel kerültek. Munkám során először én is az ő módszerüket valósítottam meg. Az eredmények ellenőrzését később egy inverz szóráson alapuló másik numerikus eljárással (Dressing transformation) elvégeztem.

Általában egy korlátos potenciálnak várhatóan végtelen sok elemből áll a spektruma. Azonban numerikusan csak véges sok számot tudunk kezelni, ezért olyan potenciált kerestem, melyek első  $N$  energiaszintje egyezik meg az előre adott spektrummal. Ezt követően megvizsgáltam, hogy hogyan változnak kapott potenciálok  $N$  növelésével, és megpróbáltam következtetéseket levonni az aszimptotikus,  $N \rightarrow \infty$  határesetre. Erre vonatkozik ugyanis a BGS sejtés megfordítása.

Dolgozatomban először bővebben vázolom a kérdéskört, majd bemutatom a két numerikus módszert. Ezeket összehasonlítom pontosság illetve sebesség szempontjából. Majd kiemlem a kapott egydimenziós potenciálokat, és összehasonlítom a két különböző módszerrel kapott eredményeket. A különböző numerikus eljárások által meghatározott potenciálok tulajdonságai kvalitatíve megegyeznek. Az analízis alapján megállapítható, hogy aszimptotikusan a potenciál nem deriválható, tehát a klasszikus határeset nem létezik. Így módon ellenpéldát a BGS sejtés megfordítására nem találtunk.

## Irodalom

1. I.O. Bohigas, M. J. Giannoni, and C. Schmit, Phys. Rev. Lett. 52, 1 (1984).
2. 2H. Wu, M. Vallières, D. H. Feng, and D. W. L. Sprung, Phys. Rev. A 47, 1027 (1990).

# A Bychkov-Rashba effektus csoportelméleti vizsgálata

Vajna Szabolcs, MSc. I. évf.

Konzulens: dr. Szunyogh László, BME Elméleti Fizika Tanszék

Bizonyos fémes felületeken kialakulhatnak olyan elektronállapotok, ahol az elektron térbeli kiterjedése gyakorlatilag egy atomi vastagságú kétdimenziós tartományra koncentrálódik. A relativisztikus spin-pálya kölcsönhatás következtében ezen állapotok felhasadnak. Felfedezőiről ezt a jelenséget Bychkov-Rashba effektusnak nevezzük [1,2], az általuk javasolt modell a diszperziós reláció izotróp felhasadását eredményezi. A kísérleti, valamint a szimulációs eredményeket a szakirodalomban többnyire az izotróp Bychkov-Rashba modell segítségével próbálták interpretálni, ugyanakkor nyilvánvalóvá vált, hogy a helyes leíráshoz túl kell lépni ezen a közelítésen. Anizotróp felhasadást tapasztaltak pl. a Bi/Ag(111) és a Bi/BaTiO<sub>3</sub>(001) felületi állapotaiban [3,4].

Az anizotróp felhasadás leírására bevezettem egy 2x2-es hullámszámfüggő effektív Hamilton mátrixot, ami tükrözi a felület szimmetriáit. Belátható, hogy egy hullámszámban elsőrendű Hamilton mátrix C<sub>3v</sub> és C<sub>4v</sub> szimmetriák esetén az izotróp Rashba Hamiltonit adja vissza. Ebből következően a hullámszámban magasabb rendű kell elmenni az anizotropia leírásához. Ennek érdekében különböző pontcsoportokra megkonstruáltam a hullámszámban harmadrendű Hamilton mátrixokat.

A hullámszámban elsőrendű Hamilton mátrixok alakjait összehasonlítottam a szakirodalomban található eredményekkel. Munkám megmutatja az [5] cikk pontatlanságait a C<sub>3v</sub> és a C<sub>1h</sub> szimmetriák esetén, és kiegészíti azokat. A harmadrendű modellt teszteltem C<sub>2v</sub> és C<sub>3v</sub> szimmetriájú felületi állapotok, szilárdtest elektronszerkezeti számításokkal kapott diszperziós relációira történő illesztések segítségével, rendre az Au(110), valamint az Au(111) és Bi/Ag(111) felületeken.

Az effektív Hamilton mátrix paraméterei az illesztésen kívül meghatározhatók valamely mikroszkópikus modellel is. Én a  $k \cdot p$  perturbációs számítást alkalmaztam. Célom, hogy C<sub>2v</sub> és C<sub>3v</sub> szimmetriák esetén igazoljam a csoportelméleti megfontolások helyességét a hullámszámban harmadrendű. Ezenfelül fontos megállapításokat lehet tenni, hogy a felületi és bulk állapotok milyen kombinációja eredményezi a Hamilton mátrix magasabb rendű paramétereit.

## Irodalom:

1. E.I. Rashba, Sov. Phys. Solid State 2, 1109 (1960)
2. Y.A. Bychkov and E.I. Rashba, JETP Lett. 39, 78 (1984)
3. C.R. Ast, J. Henk, A. Ernst, L. Moreschini, M.C. Falub, D. Pacilé, P. Bruno, Kl. Kern, and M. Grioni, Phys. Rev. Lett. 98, 186807 (2007)
4. H. Mirhosseini, I.V. Maznichenko, Samir Abdelouahed, S. Ostanin, A. Ernst, I. Mertig, and J. Henk, Phys. Rev. B 81, 073406 (2010)
5. T. Oguchi and T. Shishidou, J. Phys.: Condens. Matter 21, 092001 (2009)

# Mágneses anizotrópia hatása klasszikus Heisenberg piroklór antiferromágnesben

Varjas Dániel, VI. évf.

Konzulensek: Penc Karlo, MTA SZFKI és  
dr. Zaránd Gergely, BME Elméleti Fizika Tanszék

Az antiferromágneses Heisenberg-modell piroklór rácson erősen frusztrált, sőt a klasszikus esetben alapállapota makroszkopikusan degenerált. A frusztráció geometriai eredetű, a rácsot alkotó szabályos tetraédereken nem tud létrejönni minden bond energiáját minimalizáló alapállapot.

A degenerációt reziduális kölcsönhatások feloldhatják, és így szokatlan alapállapotok alakulhatnak ki. Valós anyagokban fontos szerepet játszik a spin-rács kölcsönhatás, amely többek között a degenerációt is feloldja. Hatására mágneses térben mágnesezettségi plató alakul ki, mint amilyet a  $\text{CdCr}_2\text{O}_4$ -ban észleltek.

A spin-spin kölcsönhatást leíró effektív elméletben a vezető rendű izotróp Heisenberg-kölcsönhatás mellett megjelenhet az antiszimmetrikus Dzyaloshinsky-Moriya kölcsönhatás. Ez a tag lerontja a spintér-beli forgásszimmetriát, és gyökeresen megváltoztatja az alapállapoti sokaság struktúráját. Mivel ez a legalacsonyabb rendű anizotróp korrekció, valódi anyagok leírása szempontjából fontos kérdés, hogy jelenléte hogyan módosítja az izotróp esetben kapott eredményeket.

Dolgozatomban a klasszikus spinek esetét vizsgálom, mágneses rendeződés esetén ez a megközelítés jól leírja a tényleges viselkedést. Nulla hőmérsékleten egzakt számolással igazolom a négy-alrács rend stabilitását, a lineáris és izotróp mágnesezettség – külső tér függést. Analitikus és numerikus eszközökkel vizsgálom az alapállapoti sokaság struktúráját a külső tér függvényében, és megadom a klasszikus spinhullám spektrumot a különböző alapállapotokban.

Véges hőmérsékleten a spinhullám-szabadenergia eltérő a különböző alapállapotokban, így a rendezetlen hőmozgás kiválasztja a nulla hőmérsékleten degenerált alapállapotok közül azokat, melyek körül a legtöbb alacsony energiás gerjesztés van. Ez az úgynevezett „order-by-disorder” effektus orientációs fázisátalakuláshoz, és a mágnesezettség – külső tér függvényben anomáliák kialakulásához vezet.

## Irodalom:

1. M. Elhajal, B. Canals, R. Sunyer and C. Lacroix, Phys. Rev. B 71, 094420 (2005)
2. K. Penc, N. Shannon, Y. Motome, H. Shiba, J. Phys.: Condens. Matter 19, 145267 (2007)
3. R. Moessner and J. T. Chalker, Phys. Rev. Lett. 80, 2929–2932 (1998)





## MATEMATIKA SEKCIÓ

Helyszín: Z ép. II. em. 208.

**Zsúri elnök:** dr. Rónyai Lajos, egyetemi tanár, tanszékvezető  
BME Matematika Intézet, Algebra Tanszék

**Zsúri tagok:** dr. Györfi László, egyetemi tanár, intézetigazgató  
BME Matematika Intézet

dr. Székely Balázs, adjunktus  
BME Matematika Intézet, Sztochasztika Tanszék

**09<sup>00</sup>** Borbély Gábor, MSc I. évf., *Statisztikus viselkedés a kétrészcskés hulló golyók rendszerében*, Konzulens: dr. Bálint Péter, BME Differenciálegyenletek Tanszék

**09<sup>25</sup>** Holló László, MSc I. évf., *A Galilei-csoportok projektív ábrázolásai*  
Konzulens: dr. Andai Attila, BME Analízis Tanszék

**09<sup>50</sup>** Markó Zoltán, BSc III. évf., *Müntz-típusú tételek súlyozott  $L_2(0, \infty)$  téren multipllicitással*, Konzulens: G. Horváth Ágota, BME Analízis Tanszék

**10<sup>15</sup>** Nagy Attila László, MSc II. évf., *Reakciósebességi együtthatók becslésére szolgáló új algoritmus matematikai vizsgálata*, Konzulensek: dr. Tóth János, BME Analízis Tanszék és dr. Turányi Tamás, ELTE Kémiai Intézet

**10<sup>40</sup>** 15 perc szünet

**10<sup>55</sup>** Nagy Ákos, MSc I. évf., *Az elektrodinamikai partíciós függvény modularitása és az  $S$ -dualitási sejtés*, Konzulens: dr. Etesi Gábor, BME Geometria Tanszék

**11<sup>20</sup>** Stippinger Marcell, MSc II. évf., *A CDO termékek Compound Poisson modellen alapuló hatékony árazása*, Konzulens: dr. Kertész János, BME Elméleti Fizika Tsz.

**11<sup>45</sup>** Szabó Péter, MSc II. évf., *Kantorelmélet*  
Konzulens: dr. Koós Krisztiánné Szilágyi Brigitta, BME Geometria Tanszék

# Statisztikus viselkedés a kétrészecskés hulló golyók rendszerében

Borbély Gábor, MSc I. évf.

Konzulens: dr. Bálint Péter, BME Differenciálegyenletek Tanszék

A dolgozat témája a fent említett dinamikai rendszer tanulmányozása ergodelméleti szempontból.

A rendszert a Wojtkowski által bevezetett koordináták segítségével tanulmányozom. Részben Wojtkowski munkájából tudjuk, hogy a rendszer ergodikus és hiperbolikus, így természetes módon vetődnek fel a finomabb statisztikus tulajdonságokra (pl. keverési sebességre, határeloszlástételekre) vonatkozó kérdések. A vizsgálat során egy Chernov és Zhang által, polinomiális korreláció-lecsengés bizonyítása céljából kidolgozott eljárást követek, melynek egyik fontos feltételét már a szakdolgozatomban leellenőriztem. További feltételeket vizsgálok, amelyekkel lényegében bebizonyosodik a remélt  $\log^3(n)/n^2$ -es lecsengés, és így a centrális határeloszlástétel is. A teljes bizonyításhoz még szükséges néhány, elsősorban a dinamika második deriváltjának regularitására vonatkozó technikai részlet tisztázása. Ezen további feltételek ellenőrzéséről, melynek kidolgozása folyamatban van, szintén beszámolok a dolgozatomban. Az eddigi számolások alapján a rendszer minden szükséges feltételt bőven teljesít.

# A Galilei-csoportok projektív ábrázolásai

Holló László, MSc I. évf.

Konzulens: dr. Andai Attila, BME Analízis Tanszék

A kvantummechanika axiómái szerint az eseményeket egy Hilbert-tér projektorainak tekintjük, a fizikai mennyiségeket pedig ezen Hilbert-tér projektor-hálóján ható önadjungált operátoroknak. Ebben a matematikai modellben szükségünk van a téridő szimmetriacsoportjának irreducibilis projektív ábrázolásaira. Amennyiben ismerjük az összes irreducibilis reprezentációt megtudhatjuk, hogy az adott téridő-modellben az elemi részecskék milyen tulajdonságokkal rendelkeznek. Az  $n$  térdimenziós nemrelativisztikus téridő-modell szimmetriacsoportját nevezzük  $n$ -térdimenziós Galilei-csoportnak.

Ismert tény, hogy a három térdimenziós nemrelativisztikus kvantummechanikában minden elemi részecskét két paraméterrel jellemezhetünk, az egyik a részecske tömege, ami egy pozitív valós szám, a másik pedig a részecske spinje, ami egy félegész szám. Egy és két térdimenzió esetén viszont ez már nem igaz. Grigore 1996-ban megjelent cikkében megadta a két térdimenziós Galilei-csoport irreducibilis projektív ábrázolásait, amiből kiderült, hogy egy elemi részecskének van egy harmadik jellemző paramétere, egy saját belső mágneses fluxusa, amit azóta kísérletileg is igazoltak.

A szakirodalomban eddig a fent említett három esetet dolgozták fel. A dolgozatomban megadom az eddig még nem tárgyalt négy- és több térdimenziós Galilei-csoport összes folytonos irreducibilis projektív ábrázolásait, amiből kiderül, hogy egy elemi részecskét milyen paraméterekkel jellemezhetünk. További eredményként megadom a szabad részecske Hamilton-operátorát a valós- és az impulzus-térben, valamint csupán a téridő szimmetriáiból levezetem a Schrödinger-egyenletet.

## Irodalom:

1. V. S. Varadarajan, Geometry of Quantum Theory, Second Edition, Chapter 8, Springer, New York, (2007).
2. Matolcsi T., Székely S., Matematikai fizika I., VI-VII felyezet, Tankönyvkiadó, Budapest, (1980)
3. D. R. Grigore, „The projective unitary irreducible representations of the Galilei group in 1+2 dimensions”, Journal of Mathematical Physics, Vol. 37, no. 1, pp. 460-473. (1996)
4. Andai Attila, diplomamunka, A kvantummechanika matematikai alapjairól, ELTE, Természettudományi Kar, Alkalmazott Analízis Tanszék, (1998)
5. Kristóf J., A matematikai analízis elemei IV, ELTE, Budapest, (1998)

# Müntz-típusú tételek súlyozott $L_2(0, \infty)$ téren multiplicitással

Markó Zoltán, BSc III. évf.

Konzulens: G. Horváth Ágota, BME Analízis Tanszék

A matematikában (sokszor fizikai motivációval) fontos lehet bizonyos függvények közelítése olyanokkal, melyek „szebb” tulajdonságokkal rendelkeznek (pl. végtelen sokszor differenciálhatóak stb.). Az ilyen közelítésekkel foglalkozik az approximációelmélet. Ennek egyik legfontosabb alapkérdése, hogy adott függvénytéren mely függvényosztály elemeivel lehetséges az approximáció, ami azzal ekvivalens, hogy egy függvényosztály elemei sűrű alteret alkotnak-e a térben. Az első ilyen tétel Weierstrass nevéhez kötődik: approximációs tétele szerint a polinomok sűrű alteret alkotnak  $C[0,1]$ -en a szokásos szuprémumnormával. Később több általánosítás is született: Bernstein 1912-ben felvetett problémájára teljes megoldást adott Ch. H. Müntz, 1914-es dolgozatában szükséges és elégséges feltételt mutatott a  $[0,1]$  intervallumon a polinomok általánosításaként felfogható rendszer (Müntz-polinomok) sűrűségére. Az ilyen jellegű tételeket azóta Müntz-típusú tételeknek nevezzük.

A függvények tartójának végtelenre való kiterjesztésével felmerül a tér súlyozásának kérdése. Dolgozatomban a súlyfüggvények egy rendkívül általános osztályával súlyozott  $L_2(0, \infty)$  téren igazolok Müntz-típusú tételeket, G. Horváth Ágota és E. Zikkos cikkei által motiválva. Előbbi Müntz-polinomokra igazolt ilyen tételeket meglehetősen általános súlyfüggvényekkel, utóbbi pedig a sorozatok egy multiplicitással ellátott osztálya által definiált alterre tette ugyanezt, de speciálisabb súlyfüggvényekkel. A multiplicitással ellátott sorozatok bizonyos értelemben előrelépést jelentenek a hagyományos sorozatokkal szemben, a legszembetűnőbb tulajdonságuk pl. az, hogy a sorozat elemeinek multiplicitása tarthat végtelenhez.

A mostani munka egyesíti a fent említett két cikk előnyeit: a súlyfüggvények általánosabbak, mint Zikkos cikkében, ugyanakkor megjelennek a multiplicitással ellátott sorozatok. A dolgozatban 3 tételt bizonyítok be, illetve a bizonyítás általános jellegéből adódóan egy negyediket mondok ki, mely teljesen hasonlóan belátható. A bizonyítások alapvetően analitikusak, legfontosabb sarokkövük a funkcionálanalízisből ismert Hahn–Banach-tétel egy következménye, Riesz Frigyes reprezentációs tétele, valamint a félsíkon reguláris függvények növekedésének vizsgálata.

Ily módon tehát új approximációs tételeket nyerünk, melyek általánosabbak az eddig hasonló témakörben tárgyaltaknál, mind súlyfüggvény, mind alter szempontjából. A bizonyítások technikája kapcsán további kérdéseket is felvetek, mint pl. a tételek esetleges érvényessége általános súlyozott  $L_p(0, \infty)$  terek esetén.

## Irodalom:

1. Á. P. Horváth, „Müntz-type Theorems on the Half-line with Weights” (2010), manuscript.
2. F. Riesz and B. Sz.-Nagy, „Functional Analysis”, Dover Publications, Inc., New York, (1990).
3. E. Zikkos, „Completeness of an Exponential System in Weighted Banach Spaces and Closure of its Linear Span”, J. Approx. Theory 146, 115-148 (2007).

# Reakciósebességi együtthatók becslésére szolgáló új algoritmus matematikai vizsgálata

Nagy Attila László, MSc II. évf.

Konzulensek: dr. Tóth János, BME Analízis Tanszék és  
dr. Turányi Tamás, ELTE Kémiai Intézet

Számos módszert dolgoztak ki reakciókinetikai modellek paramétereinek kísérleti adatokon alapuló becslésére, azonban ezek a (többdimenziós) minimalizációs eljárások csak a lokális minimum(ok) helyét azonosítják be [1, 3]. Léteznek ugyan globális módszerek is [4, 5], de ezek nem nyújtanak információt a becslt paraméterek együttes eloszlásáról.

Zsély és mtsai [6] olyan új, reakciósebességi együtthatók becslésére szolgáló eljárást javasoltak, amely egy (többdimenziós) normális eloszlást illeszt a becslt paramétertérre, és amennyiben az algoritmus konvergens, akkor információt ad nemcsak a becslt paramétervektor várhatóérték-vektoráról, hanem a kovarianciamátrixról is, amely normális esetben az együttes eloszlást is meghatározza.

A dolgozat a fent említett eljárás részletes matematikai vizsgálatát tartalmazza: megmutatjuk, hogy az általános lineáris esetben a módszer – a kezdeti értékek megválasztástól függetlenül – konvergens. A határértéket statisztikailag interpretáljuk, és az eddigi eredményt felhasználva kiterjesztjük a bizonyítást az első nemtriviális nemlineáris esetre (kvadratikus alakok). Végül áttérünk, megfelelő simaság feltételezése mellett, az általános nemlineáris esetre. Ekkor lokális analízist és hibabecslést alkalmazunk, amelyet követően megpróbálunk globális állításokat megfogalmazni. Rámutatunk az eredmények statisztikai vonatkozásaira, kitekintést teszünk, és levonjuk a megfelelő konklúziókat.

Ezen módszer, az alkalmazásokat tekintve igen fontos szerepet töltött be, hiszen ezzel határozták meg bizonyos elemi reakciólépések *Arrhenius* paramétereinek becslését közvetett és közvetlen mérések alapján [6]. A [2] poszter bemutatta előzetes eredményeinket.

## Irodalom:

1. D. Bertsimas, J. Tsitsiklis, „Simulated annealing”, *Statistical Science*, 8, 10–15 (1993).
2. A. L. Nagy, B. Szabó, T. Turányi, J. Tóth, „A new global parameter estimation method for chemical kinetics”, Poster presented at the 1st Annual Meeting of the CM0901 Cost Action (Detailed Chemical Models for Cleaner Combustion), 15–17 September 2010 ENSIC, Nancy, France (2010).
3. G. A. F. Seber, C. J. Wild, „Nonlinear regression”, J. Wiley and Sons, New York, (1989).
4. A. B. Singer, J. W. Taylor, P. I. Barton, W. H. Green, „Global dynamic optimization for parameter estimation in chemical kinetics”, *J. Phys. Chem. A*, 110, 971–976 (2006).
5. A. S. Tomlin, T. Turányi, M. J. Pilling, „Mathematical tools for the construction, investigation and reduction of combustion mechanisms”, in: „Low temperature combustion and autoignition”, Szerk. M. J. Pilling, G. Hancock, Elsevier, 293–437 (1997).
6. I. Gy. Zsély, B. Szabó, I. Sedyó, T. Nagy, A. Zempléni, H. Curran, T. Turányi, „Determination of Arrhenius parameters of elementary reactions based on both direct and bulk measurements”, WIP Poster No. W2P014, 33rd International Symposium on Combustion, Beijing, 1–6 August (2010).

# Az elektrodinamikai partíciós függvény modularitása és az S-dualitási sejtés

Nagy Ákos, MSc I. évf.

Konzulens: dr. Etesi Gábor, BME Geometria Tanszék

A dolgozatban az elektrodinamikai partíciós függvény moduláris tulajdonságait vizsgáljuk kompakt, illetve aszimptotikusan lokálisan lapos (ALF) Riemann 4-sokaságok ("gravitációs insztantonok") fölött. A matematikában a moduláris függvények az analitikus számelméletben jelentek meg. A kvantum Yang--Mills-elméletek partíciós függvényeinek moduláris tulajdonságaiban ez elmélet elektromos-mágneses dualitási (más néven S-dualitási) sejtéssel kapcsolatos tulajdonságaik tükröződnek.

Először is a partíciós függvény értelmezésének nem triviális kiterjesztését adjuk meg kompakt sokaságokról a (nem kompakt) ALF-terekre. Ezután azt találjuk, hogy a partíciós függvény általában nem invariáns S-dualitási transzformációval szemben. A partíciós függvény moduláris súlyaihoz az E. Witten által kapott topologikus tagokon kívül nem triviális görbületi, vagyis geometriai eredetű kifejezések is járulékot adnak.

Számolásaink a matematikailag rosszul értelmezett Feynmann-integrálok zeta-függvényes regularizációján, illetve a Laplace-operator hőmagjának rövid távú aszimptotikus kifejtésen alapulnak.

## Irodalom:

1. Gilkey, P.B.: Invariance theory, the heat kernel, and the Atiyah-Singer index theorem, CRC Press, Boca Raton, Florida (1995)
2. Montonen, C., Olive, D.I.: Magnetic monopoles as gauge particles?, Phys. Lett. B72, 117-120 (1977);
3. Witten, E.: On S-duality in Abelian gauge theory, Selecta Math. 1, 383-410 (1995)

# A CDO termékek Compound Poisson modellen alapuló hatékony árazása

Stippinger Marcell, MSc II. évf.

Konzulens: dr. Kertész János, BME Elméleti Fizika Tanszék

A Collateralized Debt Obligation (CDO) egy származtatott strukturált tőzsdei termék, biztosítás, amely alaptermékek egy portfóliójának kockázatát hivatott csökkenteni. A 2007-2008-as gazdasági válság rávilágított arra, hogy a CDO és más derivatívák növelhetik az alaptermék kockázatát és árának volatilitását ahelyett, hogy diverzifikálva csökkentenék a kockázatot. Kiemelten fontossá vált a CDO-k helyes árazása.

A jelen TDK dolgozat a CDO szerződéshez kötődő ki- és befizetések elemzésével foglalkozik, az alaptermékekben bekövetkező csődeseményeket Compound Poisson modellel írja le. A vizsgálat módszere a Monte Carlo szimuláció melynek eredményeit egyszerű, elméletileg megoldható modellek analitikus formuláival veti össze.

A ki- és befizetések várható értéke megkapható úgy is, hogy a valóságtól eltérő paraméterekkel generálunk eseménysorokat, amelyeknek valóságos megvalósulási valószínűségét számítjuk és ezekkel az egyes kimeneteket súlyozzuk (Monte Carlo reweighting). Ilyen módon a várható érték konvergenciájához szükséges idő csökkenthető. A jelen dolgozat javaslatot tesz az egyes valóságos modell-paraméterekhez tartozó optimális szimulációs paraméterek kiválasztására a be- és kifizetések szórásának elemzésén keresztül.

A kutatás a Budapest Morgan Stanley Business and Technology Centre és a BME együttműködésében zajlik.

## Irodalom:

1. W. Paul and J. Baschnagel, „Stochastic Processes – From Physics to Finance”, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, (1999).
2. F. A. Longstaff, A. Rajan, „An empirical analysis of the pricing of collateralized debt obligations”, The Journal of Finance, Vol 63, Issue 2, 529–563. (2008).

# Kantorelmélet

Szabó Péter, MSc II. évf.

Konzulens: dr. Koós Krisztiánné Szilágyi Brigitta, BME Geometria Tanszék

Dolgozatom a kantorokkal, ezekkel a geometriai-algebrai objektumokkal foglalkozik. Kutatásomat fizikai analógiák motiválták, például a tömegpont-rendszerek mechanikájának alkalmazhatósága a geometriában, valamint az erők és forgatónyomatékok kapcsolata. A kantorok, mint matematikai tömegpontok hasznosnak bizonyultak számos geometriai feladat megoldásában. A kantorok tere egy speciális szemléletet adó vektortérként fogható fel, mely egy valós vektorteret tömegekkel ruház fel és végtelen távoli pontokkal bővít ki. Így nem is meglepő, milyen sok kapcsolatot mutat a projektív geometriával.

Az alapfogalmak bevezetése után dolgozatomban szeretnék rátérni a kantrikus bázis fogalmára és annak speciális eseteire. A kantrikus koordinátázás után a kantortér egy közönséges vektortérre válik, ám kapcsolata a kiindulási vektortérrel érdekes kérdéseket vet fel. Az egyik legfontosabb az általános távolságképlet felírása, mely a kantrikus koordináták és a valós euklideszi távolság kapcsolatát adja meg.

Síkbeli alkalmazásként részletesen kitérek a háromszögek nevezetes pontjainak jellemzésére kantorokkal. Ez alapján az Euler-egyenesnek szép leírása adható meg. Bevezetek néhány új fogalmat -mint például a kerületi pont, kerületi vonalak-, melyek szervesen illeszkednek a kialakult képbe.

A kantortéren definiálok egy "skalárszorzást", mely nem rendelkezik a megszokott tulajdonságok mindegyikével, de nagyban hozzájárul a kantortér szerkezetének megértéséhez, segítségével komolyabb tételek fogalmazhatók meg. Egyik fő eredményem az  $n$  dimenziós pontrendszer köré írható gömb sugarára vonatkozó összefüggés. Dolgozatom végén kitérek még a projektív dualitás leírására.

A kantorelmélet tehát más szemszögből vizsgálja a jól ismert geometriai alakzatokat és meglepően sok esetben hatékony eszköznek bizonyul. A matematikai területeken kívül alkalmazható a mechanikában és a fizika más ágaiban is. Így hozzájárulhat egy egységes szemlélet kialakításához. A további alkalmazási területek keresése még folyamatban van. Munkám során szép számmal akadtak nyitott kérdések, melyek további kutatásra adhatnak okot.



# NUKLEÁRIS TECHNIKA ÉS ENERGETIKA SZEKCIÓ

Helyszín: Z ép. II. em. 205.

- Zsúri elnök:** dr. Makai Mihály, egyetemi tanár  
BME Nukleáris Technika Intézet, Nukleáris Technika Tanszék
- Zsúri tagok:** dr. Légrády Dávid, egyetemi docens  
BME Nukleáris Technika Intézet, Nukleáris Technika Tanszék
- dr. Koblinger László, főigazgató helyettes  
Országos Atomenergia Hivatal
- Szécsényi Zsolt, fizikus csoportvezető  
Paksi Atomerőmű Zrt.
- 09<sup>00</sup>** Gerényi Anita, MSc. II. évf., *Röntgenemissziós spektometria folyamatainak modellezése anyagok elemi összetételének meghatározására*  
Konzulens: dr. Szalóki Imre, BME Atomenergetika Tanszék
- 09<sup>25</sup>** Halász Máté Gergely, BSc III. évf., *A GFR600 reaktor üzemanyagciklusának matematikai modellezése*, Konzulensek: dr. Fehér Sándor, BME Nukleáris Technika Tanszék és Szieberth Máté, BME Atomenergetika Tanszék
- 09<sup>50</sup>** Kéri Annamária, BSc III. évf., *A PorTL rendszer, mint személyi dózismérő kalibrálása az IEC 61066 szabvány alapján*, Konzulensek: Szántó Péter, MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézet és dr. Zagyvai Péter, BME Atomenergetika Tanszék
- 10<sup>15</sup>** Papp Ildikó, BSc IV. évf., *Humán fantomok a nukleáris medicinában*  
Konzulensek: dr. Czifrus Szabolcs és dr. Szacszy Mihály, BME Nukleáris Technika Tsz.
- 10<sup>40</sup>** 15 perc szünet
- 10<sup>55</sup>** Radócz Gábor, BSc III. évf., *Spallációs neutronforrásban keletkező neutronok közötti korrelációk vizsgálata az MCNPX kóddal*  
Konzulens: Szieberth Máté, BME Atomenergetika Tanszék
- 11<sup>20</sup>** Szijártó Rita, MSc. II. évf., *Új típusú adatfeldolgozó módszer fejlesztése és alkalmazása kétdimenziós PIV mérésekhez*, Konzulensek: dr. Aszódi Attila, BME Atomenergetika Tanszék és dr. Ralf Kapulla, Paul Scherrer Institute, Svájc
- 11<sup>45</sup>** Vágó Tamás, MSc. II. évf., *TRATEL termohidraulikai berendezés üzembe helyezése*  
Konzulensek: dr. Aszódi Attila és Szabó Bálint, BME Atomenergetika Tanszék
- 12<sup>10</sup>** Zábori Balázs, BSc III. évf., *A TriTel háromdimenziós űrdozimetriai teleszkóp az Európai Űrügynökség ESEO programjában*, Konzulensek: dr. Hirn Attila, MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézet és dr. Zagyvai Péter, BME Atomenergetika Tanszék

# Röntgenemissziós spektrometria folyamatainak modellezése anyagok elemi összetételének meghatározására

Gerényi Anita, MSc. II. évf.

Konzulens: dr. Szalóki Imre, BME Atomenergetika Tanszék

Az anyagok elemi összetétele meghatározásának egyik hatékony és roncsolásmentes eszköze a röntgenemissziós spektrometriára alapozott analízis. A félvezető detektorok technikájának az elmúlt 15 évben bekövetkezett látványos fejlődése és a kis teljesítményű, léghűtéses röntgensövek kifejlesztése lehetővé teszi olyan hordozható röntgen spektrométerek építését, amelyek alkalmasak laboratóriumi és terepi analízisek végzésére. A TDK munka egy félvezető szilícium-drift detektorra (Canberra, X-PIPS) és egy kis teljesítményű röntgensőre (AMPTEK, Mini-X Ag), mint gerjesztő sugárforrásra alapozott spektrométer kifejlesztéséhez kapcsolódik, amely eszköz alkalmas tetszőleges összetételű, szilárd anyag elemi összetételének kvantitatív analízisére.

A TDK munka keretében, a vonatkozó szakirodalomban már publikált eredményekre alapozva [1] kidolgoztuk az analizált anyagok alkotó elemei koncentrációjának meghatározására alkalmas számítási modellt és annak általános megoldó algoritmusát. Az eljárás az *alapvető paraméterek módszere* (FPM) [2] néven ismert, amelynek alapegyenleteit a kísérleti megvalósításhoz rendelkezésre álló, folytonos spektrummal rendelkező gerjesztő röntgenforrás és félvezető detektor mérés technikai jellemzőinek megfelelően módosítottunk. A módosított FPM modell figyelembe veszi a primer röntgennyaláb és a vizsgált anyag atomjai között lejátszódó folyamatok hatását az elemek röntgen-fluoreszcens sugárzásának intenzitására, illetve az u. n. belső gerjesztési jelenségekre. A számításokhoz szükség volt az SD detektor detektálási hatásfok-függvénye és a gerjesztő röntgenső kimenő spektruma ismeretére, amely paramétereket kísérleti úton határoztunk meg. MATLAB környezetben szoftvert írtunk a vizsgált anyagok összetételének a módosított FPM szerinti számítására. Az eljárást ismert összetételű, etalon ötvözeteken végzett mérésekkel hitelesítettük.

## Irodalom:

1. I. Szalóki, A. Somogyi, M. Braun, A. Tóth, Investigation of geochemical composition of lake sediments using ED-XRF and ICP-AES techniques, X-Ray spectrometry, 28, 399-405, 1999.
2. Osán János, Kurunczi Sándor, Török Szabina, Varga Imre, Röntgenfluoreszcens spektrometria, elemanalitika korszerű módszerei, szerk.: Záray Gyula, Akadémiai Kiadó, 2006.
3. Rene E Van Grieken Andrzej A. Markowicz, Handbook of X-Ray Spectrometry: Methods and Techniques (Practical Spectroscopy, Vol 14), Marcel Dekker, 2002.

# A GFR600 reaktor üzemanyagciklusának matematikai modellezése

Halász Máté Gergely, BSc III. évf.

Konzulensek: dr. Fehér Sándor, BME Nukleáris Technika Tanszék és  
Szieberth Máté, BME Atomenergetika Tanszék

A 2030 utáni években üzembe állítani tervezett, ún. negyedik generációs atomreaktorok egyike a gázhűtésű gyorsreaktor (Gas-cooled Fast Reactor, GFR). A neutronokat lelassító moderátor-anyag hiányában ebben a reaktortípusban különösen nagy energiájú neutronspektrum alakítható ki, ami kedvező az üzemanyag-tenyésztés és a másodlagos aktinidák transzmutációja szempontjából is. Így egy ilyen reaktor az energiatermelésen túl alapvető szerepet tölthet be az üzemanyagciklusban is, melynek vizsgálatára az egész atomerőmű parkot és a teljes üzemanyag-ciklust magában foglaló modellre van szükség.

Az üzemanyagciklus modellezésének problémája, hogy a reaktorokból kikerülő használt üzemanyag összetételét csak összetett kiégés-számításokkal lehet meghatározni, melynek során megfelelő időlépésben újra és újra meg kell határozni az aktuális izotóp-összetételnek megfelelő neutronspektrumot és reakciósebességeket. Az ilyen – általában Monte Carlo módszeren alapuló – szimulációs számítások időigénye olyan nagy, hogy nem integrálhatóak az üzemanyagciklus modellbe, ezért egyszerűbb modelleket kell kidolgozni.

A TDK munka célja a GFR600 reaktor üzemanyagciklusának modellezésére szolgáló, a Bateman-egyenleteken alapuló hatékony és gyors számítási eljárás kidolgozása. A hatékonyság úgy növelhető jelentősen, ha az egyenletekben szereplő hatáskeresztmetszeteknek a szimulációs számításokban használt időigényes meghatározási módszerét valamilyen gyorsabb eljárással helyettesítjük. Ilyen megoldást jelenthet a hatáskeresztmetszetek izotóp-összetételtől való függésének analitikus függvényekkel történő leírása.

A 600 MW-os GFR koncepció esetében a SCALE kódrendszerrel készített nagyszámú korábbi kiégés-számítás eredményeinek statisztikai kiértékelése teremtett lehetőséget arra, hogy összefüggéseket állítsunk fel a reakciósebességek és az izotóp-összetétel között. Ennek első lépéseként a hatáskeresztmetszetek és az egyes izotópok relatív magssűrűsége közötti korrelációkat térképeztük fel. A vizsgálat során kiderült, hogy az egyes hatáskeresztmetszeteket csupán kis számú izotóp relatív magssűrűsége befolyásolja jelentősen, és analitikus függvényekkel jól közelíthető a hatáskeresztmetszeteknek az üzemanyag izotóp-összetételétől való függése. A TDK munka részét képezi ezen függvénykapcsolatok előállítás, és a Bateman-egyenletrendszer numerikus megoldására szolgáló módszer kidolgozása, valamint annak FORTRAN nyelvű implementálása is.

## Irodalom:

1. Perkó, Z.: Investigating the fuel cycle and the transmutational capabilities of Gas-Cooled Fast Reactors; Master thesis, BME-NTI, 2010
2. Ralston, A., Wilf, H.S.: Runge-Kutta methods for the solution of ordinary differential equations; In: Mathematical Methods For Digital Computers; Wiley, New York/London, 1960, pp.110-120.

## **A PorTL rendszer, mint személyi dózismérő kalibrálása az IEC 61066 szabvány alapján**

**Kéri Annamária, BSc III. évf.**

Konzulensek: Szántó Péter, MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézet és  
dr. Zagyvai Péter, BME Atomenergetika Tanszék

A sugárforrások elterjedésével elkerülhetetlenül együtt járt a sugárvédelem fejlődése, így ma már olyan eszközök is rendelkezésünkre állnak, melyek képesek különböző sugárzás fajtákat széles intenzitástartományában mérni. A környezeti és személyi dózismérésre az egyik általánosan elfogadott és széleskörűen alkalmazott mérési módszer a termolumineszcens (TL) dozimetria.

Míg a hagyományos TL kiolvasó berendezés nagyméretű, ezért helyhez kötött, addig a KFKI Atomenergia Kutatóintézet (KFKI AEKI) által kifejlesztett PorTL rendszer egy kisméretű, könnyű, hordozható TL kiolvasóból és a hozzá tartozó környezetálló dózismérőkből áll. A PorTL dózismérő rendszer legfontosabb előnyei közé sorolható az egyszerű, a mérés helyén elvégezhető kiértékelés, amit a kiolvasóba beépített akkumulátorról való tápellátás biztosít. Alkalmazása még azért is előnyös, mert a mérésekhez különféle TL anyagok használhatóak, amik lehetővé teszik különböző, akár kevert sugárzási terek mérését. A rendszer mérési tartománya 10  $\mu\text{Sv}$  – 100 mSv, ami alkalmassá teszi mind környezeti, mind személyi dozimetriai célokra.

TDK munkám a PorTL dózismérők dozimetriai jellemzőinek tanulmányozásából áll. Megvizsgáltam a PorTL rendszer linearitását, valamint energia- és irányfüggését az IEC 61066 szabvány szerinti Röntgen tartományban. A mérések során Cs-137 gamma- illetve Röntgen-sugárforrást használtam. Dolgozatomban a dózismérők által mutatott személyi dózisegyenértékeket kiértékeltem és összevettem a szabványban meghatározott értékekkel.

### Irodalom:

1. „Thermoluminescence dosimetry systems for personal and environmental monitoring”, IEC 61066, 2nd Ed. (2006)
2. „X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and for determining their response as a function of photon energy—Calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence”, ISO 4037-3, 1st Ed, (1999)
3. „Sugárvédelem”, Szerk. Fehér I., Deme S., ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, (2010).

# Humán fantomok a nukleáris medicinában

**Papp Ildikó, BSc IV. évf.**

Konzulensek: dr. Czifrus Szabolcs és dr. Szacsy Mihály, BME Nukleáris Technika Tanszék

A nukleáris medicinában használt humán fantomok fontossága egyre kiemelkedőbb napjaink új képalkotó eljárásainak tesztelése szempontjából. Dolgozatom első részében áttekintem a már létező gammakamera-rendszereket, részletesen megvizsgálom az eddig elkészült stilizált illetve tomográfiás fantomokat. A dolgozat második részében az MCNP programcsomag segítségével megépítetek egy úgynevezett CSG (Constructive Solid Geometry – alaptestekből felépített geometria) fantomot. A létrehozott fantom segítségével kiszámítom a fantom RTG-képét, valamint meghatározom egy véletlenül lenyeléssel inkorporált izotóp által létrehozott dózisteret. Ezen túlmenően modellezem, hogy a csontokba juttatott izotóp milyen képet adna egy izotóp-diagnosztikai planár kamerán.

## Irodalom:

1. Emission Tomography: the fundamentals of PET and SPECT Tomography, Miles N. Wernick, John N., Aarsvold San Diego, California, USA, 2004, ISBN 0-12-744482-3
2. Handbook of Anatomical Models for Radiation Dosimetry, Xie George Xu Keith F. Eckerman, United States of America, 2010, ISBN 978-1-4200-5979-3, Series in medical physics and biomedical engineering

# Spallációs neutronforrásban keletkező neutronok közötti korrelációk vizsgálata az MCNPX kóddal

Radócz Gábor, BSc III. évf.

Konzulens: Szieberth Máté, BME Atomenergetika Tanszék

A gyorsítóval hajtott szubkritikus rendszerek (ADS) egyik alapvető részegysége a spallációs neutronforrás. A részecskegyorsítóból érkező nagy energiájú protonok a céltárgyba (pl.: ólom, higany) ütközve az ún. spallációs folyamatok során nagyszámú neutronot keltenek, amelyek felhasználhatóak a szubkritikus reaktor forrásaként. A termikus reaktorokkal ellentétben, ahol az üzemanyagtól függően hasadásonként csak néhány neutron keletkezik (2-7 n/hasadás), a spallációs reakciókban keletkező neutronok átlagos száma jóval nagyobb is lehet (~10-60 n/spalláció), amely nagymértékben függ a céltárgy (target) anyagától illetve a proton nyaláb energiájától.

Míg a legtöbb reaktorfizikai számításhoz a keletkező neutronok átlagos számának illetve a  $\chi(E)$  ún. egy-részecske spektrum ismerete elegendő, a neutronzaj, vagyis a neutronok fluktuációjának vizsgálatához az eloszlások második momentumára is szükség van, amelynek számításához már a  $\chi(E1,E2)$  két-részecske spektrum ismerete szükséges. A  $\chi(E1,E2)$  meghatározásához szükségünk van a keletkező neutronok számának  $p(q)$  eloszlásra, valamint az adott neutron számhoz ( $q$ ) tartozó  $f_q(E)$  energiaeloszlásra. Ezekre a paraméterekre az irodalomban nem lehet adatokat találni, pedig szükségesek a spallációs neutronforrással hajtott szubkritikus rendszereken végzett neutronzaj mérések (pl.: Feynman- $\alpha$ , Rossi-  $\alpha$ , stb.) értelmezéséhez, amelyek segítségével a rendszer reaktivitása és más fontos paraméterei meghatározhatóak.[1]

A TDK munkám elsődleges célja az  $f_q(E)$  eloszlásfüggvények becslése, hogy a különböző spallációs események során keletkező neutronok száma és azok energiája közötti korreláció meghatározható legyen, ezáltal a szubkritikus

rendszer neutronfluktuációinak megbízható leírása lehetővé váljon. A feladat megoldására a nagy-energiás részecske transzport szimulálására kifejlesztett MCNPX kódot használom, amelybe beépített fizikai modellek alkalmasak a spallációs folyamatok során az atommagokon belüli kaszkád folyamatok (modellek: Bertini, Isabel, INCL, stb.) illetve az azt követő ún. evaporációs folyamatok modellezésére (modellek: Dresner, ABLA). Az eloszlásfüggvényeket meghatározom vékony céltárgy esetében és különböző valós geometriáknál is. További célom a különböző modellek által kapott eredmények összevetése, valamint a további kutatáshoz optimális modellek kiválasztása.

## Irodalom:

1. I. Pázsit et al.: On the significance of the energy correlations of spallation neutrons on the neutron fluctuations in accelerator-driven subcritical system, Nucl. Instr. and Meth. A, 452, pp. 256-265 (2000)

# Új típusú adatfeldolgozó módszer fejlesztése és alkalmazása kétdimenziós PIV mérésekhez

Szijártó Rita, MSc. II. évf.

Konzulensek: dr. Aszódi Attila, BME Atomenergetika Tanszék és  
dr. Ralf Kapulla, Paul Scherrer Institute, Svájc

A PIV (Particle Images Velocimetry) mérés technika átlátszó közegek sebességének mérésére alkalmas technika, mely segítségével az áramlási képet két dimenzióban tudjuk meghatározni [1]. A mérés technika alapja, hogy részecskéket keverünk az áramló közeghez, melyek sűrűsége és mérete olyan, hogy együtt mozognak a közeggel. A folyadék átlátszó tartályban mozog, melybe síkba konvertált lézertérrel világítunk be. A síkra merőlegesen kamerát helyezünk el, a kamera lencséje előtt olyan szűrőt alkalmazunk, mely csak a lézer hullámhosszán enged át, így csak az áramláshoz adagolt részecskékről visszaverődött fényt fogjuk detektálni. Két képet készítve, a részecskék elmozdulását vizsgálva, valamint a két kép között eltelt idő ismeretében a sebességkép kétdimenzióban határozható meg.

Az adatok feldolgozására a klasszikus módszer korrelációs technikákon alapul [1]. Ennek során a detektált síkot ún. interrogációs területekre osztjuk, melyek nagysága alapvetően határozza meg a sebességkép felbontását. Ahhoz, hogy a korrelációs csúcsok észrevehetőek legyenek, nem alkalmazható tetszőlegesen kicsi felbontás [2]. Többek között ezen hiányosságok kiküszöbölésére alkalmazták PIV képek feldolgozására az ún. optikai áramlás módszerét [3]. Az optikai áramlás technikája a szürkeintenzitás látszólagos mozgásának eloszlását határozza meg képek sorozata között. Eredetileg a módszer fényképeken lévő objektumok mozgásának vizsgálatára volt kifejlesztve, majd először Quénot [2] alkalmazta sikeresen PIV képek feldolgozására.

A dolgozatban bemutatásra kerül a PIV mérés technika a BME NTI-ben elvégzett méréseimen keresztül [4]. Szerepel benne az optikai áramlás módszerének részletes tárgyalása, az alkalmazott MATLAB program leírása, valamint a kód fejlesztésére tett lépések, mely munka a svájci PSI-ben töltött szakmai gyakorlatomhoz kötődik. A dolgozat eredményei között az új technikát az elvégzett méréseken alkalmazom, bemutatom annak előnyeit, és összehasonlítom a korrelációs adatfeldolgozó módszerrel.

## Irodalom:

1. M. Raffel, C. Willert, S. Wereley, J. Kompenhans, „Partical Image Velocimetry (A Partical Guide)”, Springer, Berlin, Heidelberg, New York (2007).
2. G. M. Quénot, J. Pakleza, T.A. Kowalewsky, “PIV with Optical Flow”. Exp. Fluids Vol. 25, 177-189 (1998).
3. B.K.P. Horn, B.G. Schunck, “Determining Optical Flow”, Artif Intel, Vol. 17, 185-203, (1981)
4. R. Szijártó, B. Yamaji, A. Aszódi, “Study of Natural Convection Around a Vertical Heated Rod Using PIV/LIF Technique”, CFD4NRS-3, OECD/IAEA Workshop, 14-16 Sept 2010, Washington DC, USA

# TRATEL termohidraulikai berendezés üzembe helyezése

Vágó Tamás, MSc II. évf.

Konzulensek: dr. Aszódi Attila és Szabó Bálint, BME Atomenergetika Tanszék

Jelen TDK dolgozat célja a BME Nukleáris Technikai Intézetben található termohidraulikai kísérleti berendezés (**TRATEL** – **TR**Ansperental Thermal-hydraulics **TE**st **L**oop) üzembe helyezése, működtetése és a működtetés tapasztalatainak bemutatása.

2009 év elején került a NTI tulajdonába a TRATEL, amely a Paksi Atomerőmű primerkörét hivatott modellezni. Ezen modell segítségével betekintést nyerhetünk a primerköri áramlásokba az üvegcsöveknek köszönhetően. Így olyan üzemzavari körülményeket is tudunk vizuálisan vizsgálni, mint a hűtőközegvesztéses balesetek során (LOCA – Loss of Coolant Accident) lejátszódó kétfázisú áramlások. Az atomerőművek biztonsági elemzéseinek egyik fontos területe a hűtőközegvesztés során lejátszódó folyamatok vizsgálata mind kísérleti berendezések, mind számítógépi kódok segítségével.

A dolgozatban ismertetjük a kísérleti berendezés felújítását és üzembe helyezését. Bemutatjuk a rendszer felépítését és az üzemeltetés mikéntjét. Különböző hűtőközegvesztéses tranziensek termohidraulikai folyamatait demonstráljuk. Egyrészt tudjuk a törés helyét változtatni (meleg ág/ hideg ág) szelepek segítségével, másrészt a törések méretét a toldások átmérőjének változtatásával. A kísérletek során végigkövethetjük a teljes berendezés leürülését a térfogatkompenzátortól kezdve az aktívzónán át a gőzfejlesztőig. Ezek során jól megfigyelhető az egy- és kétfázisú áramlási rezsimek közötti különbségek.

A dolgozat bemutatja a berendezés üzembe helyezési munkáit, a szerzett tapasztalatokat, valamint a berendezés segítségével demonstrálható egy- és kétfázisú fő termohidraulikai folyamatokat.



# A TriTel háromdimenziós űrdozimetriai teleszkóp az Európai Űrügynökség ESEO programjában

Zábori Balázs, BSc III. évf.

Konzulensek: dr. Hirn Attila, MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézet és  
dr. Zagyvai Péter, BME Atomenergetika Tanszék

Magyarország az egyik legjelentősebb résztvevője az Európai Űrügynökség támogatásában és az olasz Carlo Gavazzi Space űripari cég irányításával megvalósuló ESEO (European Student Earth Orbiter) diákműhold küldetésnek. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem is csatlakozott ehhez a projekthez több kutatócsoport felállításával. Az egyik diákcsoport az ESEO-TriTel Team, melynek az irányítása és a koordinálása közel egy éve az én feladatom. A TriTel háromdimenziós szilícium űrdozimetriai teleszkóp fejlesztése évekkel ezelőtt kezdődött az MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézetben az Űrdozimetriai Kutatócsoport gondozásában a kozmikus sugárzás dozimetriai célú vizsgálatára. Várhatóan a következő év során – az ESEO küldetés indítása előtt – a TriTel felkerülhet a Nemzetközi Űrállomás (ISS) Európai Columbus moduljára, illetve az orosz irányítás alatt álló szegmensekre is.

Az ESEO-TriTel diákcsoport feladata kifejleszteni mérőműszer TriTel-S elnevezésű, műholdra szánt verzióját. Az ESEO jóval magasabban fog repülni a Föld körül (~520 km), mint az ISS. Ebben a magasságban a bolygó mágneses tere más tulajdonságokkal rendelkezik (ez a magasság felel meg az ionosféra F2 rétegének) és a kozmikus sugárzás összetétele is eltérő jelleget mutat. Az ESEO küldetés jelenleg érkezett el az egyik fő fázisának lezáráshoz, melynek során számos fejlesztési problémával kellett megküzdenem a csoport vezetése során.

A jelen dolgozatomban a fejlesztés során az Európai Űrügynökség szakértőinek részéről az elmúlt egy évben felmerült főbb kérdéseket és ezek megoldását részletezem. Az egyik kérdés a küldetés során várható részecskefluxusra és ez alapján az optimális detektor árnyékolás kiválasztására irányult. A korábbi sugárzási övekre vonatkozó kutatások során kiderült, hogy az ESEO magasságában alapvetően (mintegy három nagyságrenddel) a befogott részecskék fluxusa dominál. Felhasználva a SRIM 2010 szoftvert, illetve a SPENVIS programcsomagban található AP-8 és AE-8 befogott proton és elektron modelleket, meghatároztam a várható fluxust a keringés során. Az eredmények alapján pedig arra a következtetésre jutottam, hogy az optimális árnyékolás 1,2 mm alumínium lenne, melynek további nagy előnye, hogy egyenértékű egy tipikus űrruha védelmével, így egy különleges tudományos célt is ad a méréseinknek.

A másik általam vizsgált kérdés a műszer hőháztartása. Elsőként igyekeztem rekonstruálni a műhold várható termodinamikai környezetét, majd ebből meghatározni a műszer várható hőmérsékleti tartományát. Ehhez első modell közelítésként önálló szűrketestként kezeltem a berendezést. A közelítés alkalmas arra, hogy a legszélsőségesebb eseteket modellezze és levonhattam a következtetést, hogy MLI (Multi Layer Insulation, többrétegű szigetelés) borítás alkalmazására lesz szükség a küldetés során.

A műszer fejlesztését és a kidolgozott sugárzási környezet, valamint a termodinamikai modellt a 61. Nemzetközi Asztronautikai Kongresszuson szóbeli előadás formájában mutattam be a nemzetközi tudományos közösség előtt.

## Publikáció:

1. B. Zabori, A. Hirn: TriTel 3 dimensional space dosimetric telescope in the ESEO project of ESA, IAC-10-A1.4.4, 61. Nemzetközi Asztronautikai Kongresszus, 2010. szeptember 27 – október 1., Prága, Csehország



# FÚZIÓS BERENDEZÉSEK SEKCIÓ

Helyszín: Z ép. II. em. 203.

- Zsúri elnök:** dr. Veres Gábor, tudományos főmunkatárs  
MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet  
Plazmafizikai Főosztály
- Zsúri tagok:** dr. Kardon Béla, nyugdíjazott tanácsadó  
MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet  
Plazmafizikai Főosztály
- dr. Pór Gábor, egyetemi docens  
BME Nukleáris Technika Intézet, Nukleáris Technika Tanszék

- 09<sup>00</sup>** Guszejnov Dávid, BSc III. évf., *A RENATE atomnyaláb szimuláció általánosítása és alkalmazása az ITER diagnosztikai nyalábjára*, Konzulensek: dr. Pokol Gergő, BME Nukleáris Technika Tanszék és Pusztai István, Chalmers University of Technology
- 09<sup>25</sup>** Horváth László, BSc II. évf., *Bikoherencia rutin fejlesztése és fúziós plazmadiagnosztikai alkalmazása*, Konzulensek: dr. Pokol Gergő és Papp Gergely, BME Nukleáris Technika Tanszék
- 09<sup>50</sup>** Kómár Anna, BSc III. évf., *A TEXTOR tokamak 35keV-es Li-BES optikai rendszer beállítási hibáinak hatása a térbeli kalibrációra*, Konzulensek: dr. Petravich Gábor, MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet és dr. Pokol Gergő, BME Nukleáris Technika Tanszék
- 10<sup>15</sup>** Lazányi Nóra, MSc I. évf., *ELM-ekhez kapcsolódó módusok vizsgálata az ASDEX Upgrade tokamakon*, Konzulens: dr. Pokol Gergő, BME Nukleáris Technika Tanszék
- 10<sup>40</sup>** 15 perc szünet
- 10<sup>55</sup>** Magyarkuti András, BSc III. évf., *Alacsony frekvenciás fűrészfog prekursor módus vizsgálata az ASDEX Upgrade tokamakon*  
Konzulensek: dr. Pokol Gergő és Papp Gergely, BME Nukleáris Technika Tanszék
- 11<sup>20</sup>** Bardóczi László, MSc I. évf., *Oscilláló zonális áramlások kimutatása és kísérleti vizsgálata fúziós plazmában*, Konzulensek: dr. Zoletnik Sándor, MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet és dr. Pokol Gergő, BME Nukleáris Technika Tanszék

# A RENATE atomnyaláb szimuláció általánosítása és alkalmazása az ITER diagnosztikai nyalábjára

Guszejnov Dávid, BSc III. évf.

Konzulensek: dr. Pokol Gergő, BME Nukleáris Technika Tanszék és  
Pusztai István, Chalmers University of Technology

A fúziós plazmák viselkedésének tanulmányozásában fontos szerepet töltenek be az atomnyaláb diagnosztikák (Beam Emission Spectroscopy - BES) [1]. Ennek lényege, hogy a plazmába egy nagyenergiájú semleges nyalábot lőnek, aminek atomjai a plazmarészecskékkel ütközve felgerjesztődnek, majd spontán emisszió során karakterisztikus hullámhosszokon fényt bocsátanak ki. Ennek mérésével a plazma sűrűségének időbeli és térbeli változásaira lehet következtetni.

Tokamakok Li BES rendszereinek modellezésére a BME NTI-ben kifejlesztették a RENATE szimulációs kódot [2]. A program eredeti verziója azonban csak több erős megkötés mellett tudott atomnyaláb diagnosztikai rendszereket modellezni, így nem volt alkalmas a fúziós kutatások szempontjából legfontosabb tokamakok, az ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) és a JET (Joint European Torus) rendszereinek modellezésére.

Munkám során a RENATE-t alkalmassá tettem hidrogén és deutérium nyalábok nyalábevolúciójának kiszámítására, továbbá tetszőleges irányú, formájú és árameloszlású diagnosztikai nyalábok modellezésére. Ezzel kiterjesztettem a RENATE felhasználhatóságát toroidálisan kiterjedt nyalábokat (pl. fűtőnyalábokat) megfigyelő diagnosztikák szimulációjára. Továbbá a diagnosztikák megfigyelőrendszereinek modellezéséhez készítettem egy optikai modult, ami már lehetővé teszi tetszőleges térbeli megfigyelési konfiguráció szimulációját.

A BES diagnosztikák központi szerepet játszanak a fúziós plazmák sűrűségfluktuációinak vizsgálatában. Az ezen sűrűségperturbációk által a diagnosztikában keltett válasz kiszámításához készítettem a RENATE-hoz egy térbeli sűrűségfluktuáció-választ számító programmodult. Ez egy olyan átviteli mátrixot szolgáltat, aminek segítségével kiszámítható tetszőleges perturbációnak a mért jelre gyakorolt hatását.

A tervek szerint az ITER DNB (Diagnostic Neutral Beam) nyalábját a plazma sűrűségfluktuációinak mérésére is fel fogják használni, a töltéscserés diagnosztika (Charge Exchange Spectroscopy) optikai periszkópján keresztül, BES technikákat felhasználva [3]. A munkám során végzett fejlesztések által a RENATE képessé vált ezen diagnosztikai rendszer működésének szimulációjára.

## Irodalom:

1. B. Schweer - Application of atomic beams for plasma diagnostic, Fusion Science and Technology, Vol.49, 404-411 (2006)
2. D. Guszejnov, G. Pokol, D. Réfy, G. Anda, G. Petravich, D. Dunai, I. Pusztai: A COMPASS tokamakra építendő atomnyaláb diagnosztika tervezésének támogatása szimulációk segítségével, Nukleon, Vol. 3, 61 (2010)
3. G. Pokol, T. Baross, S. Zoletnik, V. Szabó: Az ITER töltéscsere diagnosztikájának fejlesztése, Nukleon, Vol. 3, 59 (2010)

# Bikoherencia rutin fejlesztése és fúziós plazmadiagnosztikai alkalmazása

Horváth László, BSc II. évf.

Konzulensek: dr. Pokol Gergő és Papp Gergely, BME Nukleáris Technika Tanszék

A bikoherencia – a normált bispektrum – segítségével másodrendű, nemlineáris kölcsönhatásokat vizsgálhatunk. Amennyiben egy jelben megjelenő három módus frekvenciái és fázisai kielégítik az  $\omega_1 + \omega_2 = \omega_3$  és a  $\theta_1 + \theta_2 = \theta_3 + konstans$  egyenleteket, akkor fáziscsatolásról beszélünk [1]. A bikoherencia segítségével kimutathatóak a jelben található fáziscsatolások, így képet kaphatunk arról, hogy egy folyamatot milyen nemlineáris kölcsönhatások befolyásolnak.

Munkám során IDL nyelven egy programot írtam, mely kiszámítja a feldolgozandó jel bikoherenciáját. A módszert stacioner jelszakaszokra lehet alkalmazni. Ezen elsőként blokkonként Fourier transzformációt hajtunk végre, majd a további számítások elvégzésének eredményként egy kétdimenziós mátrixot kapunk, melyet két független frekvenciaváltozó függvényében ábrázoltam. A függvény által felvett értékek 0 és 1 közé esnek és megadják a csatolás mértékét. Tehát, ha valamely frekvenciák között nemlineáris kölcsönhatás áll fenn, akkor abban a pontban a függvény értéke 1-hez közeli értéket vesz fel. Ahol nincs másodrendű kölcsönhatás, ott az érték nullához tart [2].

A rutin megírását tesztelés követte. Programomat elsőként harmonikus oszcillátorok összegeként generált jelek bikoherenciájával teszteltem. Ezután két, csatolt van der Pol oszcillátor viselkedését tanulmányoztam. A csatolt oszcillátorokat leíró differenciálegyenlet-rendszert numerikusan oldottam meg, és az így kapott jel bikoherenciáját vizsgáltam. A tesztjelekhez minden esetben zajt adtam. Ennek oka, hogy a valós jeleink minden esetben zajjal terheltek, másrészt elkerülhetőek a numerikus számításokból adódó hibák. A tesztek minden esetben a várt eredményt adták.

Valós életbeli alkalmazásként fúziós plazmadiagnosztikai jeleket elemeztem a megírt rutin segítségével. A vizsgált méréseket az ASDEX Upgrade (AUG) tokamak lágy röntgen diagnosztikájával végezték. Az AUG jelenleg Németország legnagyobb fúziós kísérlete, előnye, hogy mágneses geometriájában nagyon hasonlít az ITER-re [3]. Dolgozatomban Papp Gergely cikke [4] nyomán a plazmában megjelenő fűrészfog oszcilláció prekursor szakaszában feltűnő módusok közti nemlineáris kölcsönhatásokat elemeztem.

## Irodalom:

1. B. Ph. van Milligen, E. Sánchez, T. Estrada, C. Hidalgo, B. Brañas, B. Carreras, and L. García: Wavelet bicoherence: A new turbulence analysis tool. *Physics of Plasmas*, Vol. 2, pp. 3017 (1995)
2. Y. C. Kim and E. J. Powers: Digital bispectral analysis and its applications to nonlinear wave interactions. *Plasma Science, IEEE Transactions on*, Vol. 7, pp. 120 (1979)
3. A. Herrmann and O. Gruber: ASDEX Upgrade introduction and overview. *Fusion Science and Technology*, Vol. 44, num. 3 (2003)
4. G. Papp, G. Pokol, G. Por, V. Igochine and ASDEX Upgrade team: Analysis of sawtooth precursor activity in ASDEX Upgrade using bandpower correlation method. *Europhysics Conference*, Vol. 33E, P1.157 (2009)

# A TEXTOR tokamak 35keV-es Li-BES optikai rendszer beállítási hibáinak hatása a térbeli kalibrációra

Kómár Anna, BSc III. évf.

Konzulensek: dr. Petravich Gábor, MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet és  
dr. Pokol Gergő, BME Nukleáris Technika Tanszék

A mágneses összetartású plazmákban a plazmaszéli fizikai folyamatok tanulmányozására használt egyik eljárás a Li-BES (Lithium-Beam Emission Spectroscopy, lítium atomnyaláb-diagnosztika). A plazmába lítium atomokból álló nyalábot lönek, melyek a plazmarészecskékkel való ütközések miatt gerjesztődnek, amit spontán fotonemisszió (Li 2p-2s) követ. A kibocsátott fény intenzitásának nyalábmenti eloszlásából (fényprofil) következtetni lehet a plazmasűrűség térbeli (a plazma szélén) és időbeli eloszlására.

A TEXTOR (Tokamak Experiment for Technology Oriented Research) tokamakban ezt a fényprofil két detektor is rögzíti, a fény egy nyalábosztón keresztül jut az APD (Avalanche Photo Diode) detektorsorhoz, ill. a CCD (Charge-Coupled Device) kamerához. Munkám során a megfigyelőrendszer CCD kamerához tartozó ágával foglalkoztam.

A megfigyelőrendszer optikája két részből áll, amelyből az egyik a tokamakon belül helyezkedik el [1]. A megfigyelés nem merőleges [2], ami miatt értelmezni kell a kapott képet. Továbbá a beépített és a külső rendszer optikai tengelye egymástól független, nem esik pontosan egybe, aminek hatását szintén vizsgálni kell.

A nyalábról kapott képek értelmezéséhez a megfigyelőrendszer térbeli kalibrációja szükséges, melyet a tokamakba betolható kalibráló rúd különböző helyzeteiben készített képek kiértékelésével végeznék [2]. Ebbe a munkába kapcsolódtam be.

A feladat az optikai rendszer egyszerűsített modelljének leírása egyenletekkel, ill. az azoknak megfelelő számítógépes programok megírása volt IDL nyelven. Munkám során a megfigyelőrendszert egy három vékonylencséből álló rendszerrel modelleztem, és a tárgyoldali (beépített) lencse helyzetét tekintettem bizonytalannak. Megvizsgáltam a nem merőleges megfigyelés – azaz a megfigyelőrendszer optikai tengelye és a tárgy síkja a merőlegetől eltérő szöget zár be – képtorzító hatását. Numerikus számítások segítségével vizsgáltam a képpontok változását az első lencse állásának függvényében.

Munkám eredményeinek segítségével sikerült megérteni, hogyan befolyásolják a megfigyelőrendszer sajátosságai az optikai rendszer által alkotott képet. A kapott összefüggéseket a TEXTOR megfigyelőrendszerére alkalmazva, azok elősegítik a sűrűségszámoláshoz szükséges kalibrált fényprofil előállítását.

## Irodalom:

1. G. Anda et al., 35th EPS Conference on Plasma Physics, *Europhysics Conference Abstracts*, **32D**, P-5.076 (2008).
2. G. Petravich et al., 36th EPS Conference on Plasma Physics, *Europhysics Conference Abstracts*, **33E**, P-1.187 (2009).

# ELM-ekhez kapcsolódó módusok vizsgálata az ASDEX Upgrade tokamakon

Lazányi Nóra, MSc I. évf.

Konzulens: dr. Pokol Gergő, BME Nukleáris Technika Tanszék

A dolgozat a tokamak típusú fúziós plazmafizikai berendezésekben az ún. plazmaszéli módusok (ELM: edge localised mode) térbeli szerkezetének vizsgálatával foglalkozik. Az ELM-ek a fúziós plazmák H-módjának (jó összetartású üzemmód) alapvető instabilitásai, melyek során a plazma széléből nagy mennyiségű anyag és energia áramlik ki. Az anyagkilökődés pillanatszerű és lokális, ezért az adott helyen károsíthatja a berendezést. Az ELM-ek teljes kiküszöbölése azonban nem kívánatos, mivel ez a folyamat a szennyezőktől is megtisztítja a plazmát, ami a berendezés folyamatos működését segíti elő. Az ELM-ek tulajdonságainak minél részletesebb megismerése ezért fontos feladat.

A dolgozatban egy, a módusszámok becslésére szolgáló módszert mutatok be, és használom ELM-ekhez köthető módusokra. A módszer alapja az [1] cikkben olvasható. Az eljárás háttere az a tény, hogy a magasabb módusszámú módusok térben hamarabb lecsengenek, mint az alacsonyabb módusszámú módusok. Radiálisan több helyen mérve a mágneses teret, a tér lecsengéséből a módusszám megbecsülhető. A németországi ASDEX Upgrade tokamakon 2 mágneses szonda van olyan pozícióban, hogy jelük alkalmas a módusszámok becslésére. A jelek wavelet-transzformáltjának abszolút értékének lecsengését vizsgálva az idő-frekvencia felbontás megőrzése mellett kapunk módusszámokat. Mivel csak 2 szonda állt rendelkezésre, a módszert ismert módusszámú módust tartalmazó jelekkel kalibrálni kellett.

A toroidális mágneses szondagyűrű jeleinek fázisviszonyaiból történő módusszám-meghatározással könnyen megkülönböztethetjük a közeli módusszámokat, de nagyon eltérő módusszámok hasonló eredményt adhatnak. Ezzel szemben az új módszerrel jó nagyságrendi becslést kapunk, ezért a két módszer jól kiegészíti egymást.

A fent bemutatott módszerrel egy szisztematikus elemzést végeztem az ELM-ekhez kapcsolódó és ELM-ek alatti globálisan koherens módusok szerkezetéről waveletekkel történő feldolgozással [2], nemcsak természetes, de pelletekkel keltett ELM-eket is vizsgálva. Az elemzés során néhány ELM előtt megfigyelhetőek voltak az ún. mosódeszka módusok (egy alaplómódus és ennek felharmonikusai növekvő módusszámokkal), továbbá az, hogy ezek az ELM-prekursor módusok nem érnek véget az ELM kezdetén, hanem folytatódnak az ELM alatt is.

## Irodalom:

1. J. A. Snipes et al., „The quasi-coherent signature of enhanced D-alpha H-mode in Alcator C-Mod”, Plasma Physics and Controlled Fusion, Vol. 43, L23-L30 (2001).
2. S. Mallat, „A wavelet tour of signal processing”, Academic Press, second edition (2001).

# Alacsony frekvenciás fűrészfog prekursor módus vizsgálata az ASDEX Upgrade tokamakon

Magyarkuti András, BSc III. évf.

Konzulensek: dr. Pokol Gergő és Papp Gergely, BME Nukleáris Technika Tanszék

A fűrészfog oszcilláció egy régóta vizsgált, a tokamakokon tapasztalható jelenség, melynek során periodikusan anyag és energia áramlik a plazma közepéből a külsőbb rétegekbe. A fűrészfog instabilitás mechanizmusának alaposabb megismerése döntő fontosságú lehet a mágneses összetartással működő fúziós energiatermelés megvalósítása során.

Munkám során az ASDEX Upgrade tokamakon megfigyelt fűrészfog összeomlásokat vizsgáltam, főként a lágy röntgen diagnosztika jeleit felhasználva. Vizsgálatom középpontjában az alacsony frekvenciás fűrészfog prekursor módus állt, amely jellemzően igen alacsony energiával rendelkezik, azonban közvetlenül az összeomlás előtt megerősödik. Nevét onnan kapta, hogy a frekvenciája a fűrészfog összeomlásokkor domináns hurok módus frekvenciájánál alacsonyabb. Bizonyos elképzelések szerint a két módus kölcsönhatása lehet fűrészfog összeomlás kiváltó oka [1]. Az elemzések szerint 50% körüli a korreláció a vizsgált módusok sávteljesítményei között az összeomlások előtt [2]. A jelenség alaposabb megértéséhez szükség lett volna az alacsony frekvenciás módus módusszámainak meghatározására is, azonban a [2] -ben vizsgált lövések esetében a diagnosztika hiányosságai miatt ezt nem lehetett elvégezni.

Az ASDEX Upgrade diagnosztikáit folyamatosan fejlesztik, ennek köszönhetően a 2007 október utáni lövésekben lehetőség nyílt a fűrészfog összeomlások prekursor módusainak alaposabb vizsgálatára. Munkám során olyan lövéseket azonosítottam, melyekben, a módusszámok meghatározhatóak. Ezeken az összeomlásokon is elvégeztem a sávteljesítmény-korrelációs analízist, melynek segítségével sikerült bebizonyítani, hogy a dolgozatomban elemzett lövésekben megjelenő alacsony frekvenciás módus viselkedése megegyezik a már korábban vizsgált esetekkel. Az újabb, jobb minőségű lágy röntgen jelekből sikerült meghatároznom az alacsony frekvenciás módus toroidális illetve poloidális módusszámát. A toroidális módusszáma minden vizsgált esetben megegyezett a hurok móduséval.

## Irodalom:

1. V. Igochine, O. Dumbrajs, H. Zohm and the ASDEX Upgrade Team: Transition from quasiperiodicity to chaos just before sawtooth crash in the ASDEX Upgrade tokamak, Nuclear Fusion 48 062001 (2008)
2. G. Papp, G. Pokol, G. Por, V. Igochine and ASDEX Upgrade team: Analysis of sawtooth precursor activity in ASDEX Upgrade using bandpower correlation method, Europhysics Conference Abstracts, Vol. 33 E, P1.157 (2009)



# Oscilláló zonális áramlások kimutatása és kísérleti vizsgálata fúziós plazmában

Bardóczi László, MSc I. évf.

Konzulensek: dr. Zoletnik Sándor, MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet és dr. Pokol Gergő, BME Nukleáris Technika Tanszék

Fúziós plazmákban a plazma turbulencia miatt a radiális hő és részecske transzport az egyrészecske ütközéseken alapuló elméleti számításoknál magasabb. Ennek oka a plazma kollektív turbulens viselkedése, melyet anomális transzportnak neveznek [1]. A különböző mechanizmusok által hajtott, a berendezések méreteivel összemérhető korrelációs hosszú, ún. zonális áramlások az anomális transzportot okozó turbulenciát nyírással csillapítják, ezáltal a transzportot közvetve szabályozzák.

Az elmúlt évtizedekben széles nemzetközi összefogással kutatott áramlásokról mára már számos kísérleti tapasztalat összegyűlt [2,3], azonban a kísérletekből, az elméletekből és a szimulációkból levonható következtetések máig nem vezették még egységes nézetre a kutatókat.

Dolgozatomban a zonális áramlások oszcilláló ágának, a Geodesic Acoustic Mode-nak (GAM) a kísérleti vizsgálatával foglalkozom, amely a plazma poloidális áramlási sebességének modulációját okozza. A méréseket a TEXTOR tokamakon három különböző diagnosztikai eljárással végeztük.

A bemutatott kísérleti eredményekhez Li-atomnyaláb spektroszkópiai mérésekből származó fény fluktuációs jelek, Langmuir-szonda mérésekből származó lebegő potenciál és ion szaturációs áram jelek, valamint mikrohullámú reflektometria mérésekből származó visszavert hullám fázis jelek feldolgozásával jutottunk.

A TEXTOR tokamakon az oszcilláló zonális áramlásokat kimutattuk mindhárom diganosztika által mért mennyiségek jeleiben. Az adatfeldolgozásban többféle független módszerrel ellenőriztük a számításokat. A módszerek között vannak már ismertek és saját fejlesztésűek is. A diagnosztikák és az adatfeldolgozási technikák által biztosított lehetőségeket kihasználva, az áramlás térbeli és időbeli viselkedését kísérleti úton jellemeztük.

A jelek numerikus modellezése segítségével következtetést vontunk le az egyedi GAM oszcillációk tér- és időfejlődéséről.

## Irodalom:

1. A. Fujisawa: A review of zonal flow experiments. Nuclear Fusion, 49 013001 (2009).
2. A. Krämer-Flecken et al.: Investigation of geodesic acoustic modes and related zonal flows at TEXTOR. Plasma Physics and Controlled Fusion, 51 015001 (2009)
3. Y. Xu et al: Investigation of long-distance toroidal correlation of edge turbulence at TEXTOR. Physics of Plasmas, 16 110704 (2009)