



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,
Természettudományi Kar



2009. november 18.

NAPIREND

Az előadások hossza 20 perc + 5 perc diskusszió!

A hallgatók előadásai

08³⁰ - 13⁰⁰ A szekcióknál megadott helyszíneken
Az Elméleti Fizika - Matematika szekció 09³⁰ -kor kezdődik!

Bizottsági ülés a szekcióelnökök részvételével

14⁰⁰ F ép. III. lph. mfszt. 1. (Fizikai Intézeti Szemináriumi szoba)

Eredményhirdetés

17⁰⁰ F ép. F29 terem

A Természettudományi Kar TDK konferenciájának megszervezését a



cég támogatta.

ELMÉLETI FIZIKA - MATEMATIKA SZEKCIÓ

Helyszín: H ép. IV. em. 46.

Zsúri Elnök: dr. Kertész János, Egyetemi Tanár
BME Fizikai Intézet, Elméleti Fizika Tanszék

Zsúri Tagok: dr. Nagy Béla, Egyetemi Tanár
BME Matematika Intézet, Analízis Tanszék
dr. Etesi Gábor, Egyetemi Docens
BME Matematika Intézet, Geometria Tanszék

09³⁰ Mészáros Tamás (V.), S-extremális halmazrendszerek és Gröbner-bázisok
Konzulens: dr. Rónyai Lajos, BME Algebra Tanszék

09⁵⁵ Csire Gábor (IV. BSc), Alagutazási jelenségek vizsgálata
Bose-Einstein kondenzátumban, Konzulens: dr. Apagyi Barnabás, BME Elméleti Fizika
Tanszék

10²⁰ Farkas György és Kovács Péter (I. MSc), Másodosztályú részecskék szorzat
lökéshullám-eloszlásokban, Konzulensek: dr. Balázs Márton, BME Sztochasztika
Tanszék és Rákos Attila, MTA-BME Kondenzált Anyagok Elmélete Kutatócsoport

10⁴⁵ Fehér György (V.), Sine-Gordon modell form faktorainak vizsgálata véges térfogatban
Konzulensek: dr. Takács Gábor, MTA-ELTE Elméleti Fizikai Kutatócsoport és
dr. Zaránd Gergely, BME Elméleti Fizika Tanszék

11¹⁰ Kanász-Nagy Márton (VI.), Szupravezető és mágneses rend háromkomponensű
fermionikus rendszerekben, Konzulens: dr. Zaránd Gergely, BME Elméleti Fizika
Tanszék

11³⁵ Barta Zsuzsanna (I. MSc), Több fajtából álló ökológiai rendszerek vizsgálata
Konzulens: dr. Kiss Krisztina, BME Differenciálegyenletek Tanszék

12⁰⁰ Pajor-Gyulai Zsolt (VI.), Perturbációs megközelítés a végtelen várható értékű
skalázott típusú szemi-markov folyamatokra, Konzulens: dr. Szász Domokos, BME
Sztochasztika tanszék

12²⁵ Rédl István (III. BSc), Bolyongás periodikus közegben
Konzulens: dr. Vető Bálint, BME Sztochasztika Tanszék

S-extremális halmazrendszerek és Gröbner- bázisok

Mészáros Tamás, V.évf.

Konzulens: dr. Rónyai Lajos, BME Algebra Tanszék

A matematika egy alapvető problémája lokális tulajdonságokkal megadott struktúrák karakterizációja. Általában nehéz ilyen lokális tulajdonságok ellenőrzése, és így a struktúra vizsgálata is. A kutatás során egy kombinatorikai struktúra algebrai eszközökkel való leírását tűztük ki célul.

Azt mondjuk, hogy az $\{1,2,\dots,n\}$ alaphalmazon adott F halmazrendszer *szétzúz* egy rögzített S halmazt, ha annak minden részhalmaza kimetszhető belőle F -beli halmazokkal. Belátható, hogy egy F halmazrendszer legalább $|F|$ db halmazt szétzúz (Aharoni és Holzman; Pajor, 1985; Sauer, 1972; Shelah, 1972). Célunk azon ú.n. S-extremális halmazrendszerek leírása, melyek pontosan $|F|$ darab halmazt zúznak szét. Az F által szétzúzott halmazokat $Sh(F)$ jelöli (az angol *shatter*, azaz szétzúz szóból).

Amennyiben az F elemeire mint bináris vektorokra tekintünk, hozzárendelhetjük a halmazrendszerhez azon n változós polinomok ideálját, melyek eltűnnek a teljes F halmazrendszeren. Ha F ezt az $I(F)$ ideált vizsgáljuk, akkor segítségünkre lehetnek különböző algebrai eszközök, köztük az ideál Gröbner bázisai ill. standard monomjai különböző tagsorrendekre nézve. A dolgozat egyik fő eredménye az S-extremalitás új, algebrai (közelebről Gröbner-bázisokat alkalmazó) jellemzése. Az extremalitást többek közt garantálja egy speciális Gröbner bázis létezése, vagy az a tény is, hogy különböző tagsorrendekre a standard monomok megegyeznek. A dolgozat másik fő eredménye az előző következményeként egy $O(n^2|F|)$ futási idejű algoritmus, mely egy halmazrendszer extremálisát teszteli a standard monomok segítségével. Ezzel G. Greco egy korábbi algoritmusának $O(n|F|^3)$ idejét javítottuk meg [3]. Az algoritmus egyik alapja az a tény, hogy adott $I(F)$ ideálra a standard monomok gyorsan, lényegében lineáris időben számolhatóak [2].

A dolgozat másik felében az extremalitás és különböző, halmazrendszereken értelmezett műveletek hatásának kapcsolatát vizsgáljuk. Ezek közül is legtöbbit a „downshift”-tel foglalkozunk. Ezen műveletet már sokan tanulmányozták, jelentős alkalmazásai vannak, például a standard monomok is megkaphatóak egy megfelelő downshift sorozat eredményeként. Többek közt G. Greco néhány [3]-ban szereplő eredményét fogalmazzuk újra és adtunk rájuk egyszerűbb bizonyításokat. Ezek az eredmények az extremalitásnak gráf tulajdonságokkal történő megközelítésével foglalkoznak.

Nagyon sok helyen látszik lehetőség továbblépésre. Nyitott kérdés, hogy van-e lineáris idejű algoritmus az extremalitás tesztelésére.

Irodalom:

1. R.P.Anstee, L. Rónyai, A. Sali, „Shattering News”, *Graphs and Combinatorics*, Vol.18, 59-73 (2002)
2. B. Felszeghy, B. Ráth, L. Rónyai, „The lex game and some applications”, *Journal of Symbolic Computation*, Vol. 41, 663-681 (2006)
3. G. Greco, „Embeddings and trace of finite sets”, *Information Processing Letters*, Vol. 67, 199-203 (1998).

Alagutazási jelenségek vizsgálata Bose-Einstein kondenzátumban

Csire Gábor, BSc IV. évf.

Konzulens: dr. Apagyi Barnabás, BME Elméleti Fizika Tanszék

A kvantummechanika és statisztikus fizika eszköztárával belátható, hogy egy ideális Bose-gázban kondenzáció játszódik le az impulzustérben: a nulla impulzusú állapot körül makroszkopikus számú részecske gyűlik össze. Ezt a jelenséget hívjuk Bose-Einstein kondenzációnak (BEC). A jelenséget elméleti számolás alapján már 1924-ben megjósolták, de kísérletileg csak 1995-ben figyelték meg és igazolták a létét. Ezért 2001-ben Cornell, Ketterle és Wiemann Nobel-díjat kapott.

A kísérleti és elméleti fizikának is jelentős kutatási területévé vált a kölcsönható eset tanulmányozása. Ez azzal magyarázható, hogy a Bose-Einstein kondenzátumok rendkívül „gazdag” dinamikával rendelkeznek, aminek a vizsgálata rendkívüli hatással van az elméleti és kísérleti fizika egymástól látszólag távoli területeire: az optikára, a statisztikus fizikára, az atomi ütközések elméletére, a mezoszkopikus rendszerek viselkedésének kutatására, és napjainkban a kvantum informatikára.

A dolgozat célkitűzése az volt, hogy egykomponensű Bose-Einstein kondenzátumok dinamikáját tanulmányozzam két minimummal rendelkező külső potenciálban. Ilyen rendszerek dinamikai tulajdonságai vizsgálhatók az időfüggő Gross-Pitaevskii egyenlet segítségével. Levezettem az [1]-ben szereplő csatolt inga egyenleteket. Ezen egyenleteket tanulmányozva kimutatható, hogy két gyengén csatolt kondenzátum között Josephson-szerű oszcillációk alakulhatnak ki, illetve egy adott kritikus paraméter felett a részecskék már nem alagutaznak át a potenciálgáton. Ez az ún. self-trapping (öncsapdázás) jelensége, amelyet először 2005-ben figyeltek meg [2]. Megvizsgáltam, hogy az inga egyenletek hogyan változnak meg, ha a rendszer gyengén irreverzibilis. Számítógépes programot fejlesztettem ki, hogy a Gross-Pitaevskii egyenlet numerikus megoldásából reprodukáljam az [1] cikk eredményeit. A sajátértékek meghatározására (időfüggetlen Gross-Pitaevskii egyenlet megoldására) negyedrendű Runge-Kutta módszert alkalmaztam. Az időfüggő egyenletet a gyors Fourier-transzformáció (FFT) felhasználásával oldottam meg [3]. A létrehozott programcsalád kis mértékű általánosítással alkalmassá tehető kétkomponensű Bose-Einstein kondenzátumok tanulmányozására is.

Irodalom:

1. A. Smerzi, S. Fantoni, S. Giovannazzi, and S. R. Shenoy: „Quantum Coherent Atomic Tunneling between Two Trapped Bose-Einstein Condensates”, *Phys. Rev. Lett.* 79, 4950 (1997);
2. S. Raghavan, A. Smerzi, S. Fantoni, S. R. Shenoy.: „Coherent oscillations between two weakly coupled Bose-Einstein condensates: Josephson effects, π oscillations, and macroscopic quantum self-trapping”, *Phys. Rev. A* 59, 620 - 633 (1999)
3. M. Albiez, R. Gati, J. Fölling, S. Hunsmann, M. Cristiani and M. K. Oberthaler, *Phys. Rev. Lett.* 95, 010402 (2005)
4. J. Javanien, J. Ruostekoski: „Split-step Fourier methods for the Gross-Pitaevskii equation”, *arXiv, cond-mat/0411154* (2004)

Másodosztályú részecskék szorzat lökeshullám-eloszlásokban

Farkas György és Kovács Péter, MSc I. évf.

Konzulensek: dr. Balázs Márton, BME Sztochasztika Tanszék és
Rákos Attila, MTA-BME Kondenzált Anyagok Elmélete Kutatócsoport

Egydimenziós sztochasztikus kölcsönható rendszerek megfelelően átskálázva gyakran a nagy számok törvényének megfelelő, determinisztikus viselkedést mutatnak. Ebben az ún. hidrodinamikai limeszben a viselkedést egy parciális differenciálegyenlet(rendszer) írja le.

Ha a rendszernek egy megmaradási mennyisége van (pl. részecskeszám), akkor a differenciálegyenlet egy megmaradási egyenlet. Természetes esetekben ennek az egyenletnek konvex vagy konkáv a fluxusa. Ekkor a hidrodinamikában lökeshullámok jelennek meg, melyeket a parciális differenciálegyenletek módszereivel kezelni tudunk. Azonban a lökeshullámok mikroszkopikus megfelelői bonyolultak és sok esetben nem ismertek. Kivételesen ez alól néhány modell speciális paraméterű lökeshulláma, melyek mikroszkopikus szinten is egyszerű szerkezetűek, dinamikájuk is ismert: a sokk pozíciója egyszerű aszimmetrikus véletlen bolyongást végez. Ismert tény továbbá, hogy ezek a lökeshullám-eloszlások az ún. másodosztályú részecskékből nézve stacionáriusak.

A dolgozatban megvizsgáljuk a kétfajta eredmény kapcsolatát, annak lehetőségét, hogy maga a másodosztályú részecske végez véletlen bolyongást. Bemutatunk továbbá egy nem állandó részecskeszámú rendszert (az ún. BCRW modellt) is, melyben a megmaradó részecskeszámú modellekhez igen hasonló jelenség figyelhető meg.

Irodalom:

1. M. Balázs and T. Seppäläinen, „Exact connections between current fluctuations and the second class particle in a class of deposition models” *J. Stat. Phys.*, 127(2):431–455, 2007.
2. V. Belitsky and G. M. Schütz, „Diffusion and scattering of shocks in the partially asymmetric simple exclusion process” *Electron. J. Probab.*, 7(10):1–12, 2002.
3. K. Krebs, F. H. Jafarpour, and G. M. Schütz, „Microscopic structure of travelling wave solutions in a class of stochastic interacting particle systems” *New J. Phys.*, 5(145):1–14, 2003.

Sine-Gordon modell form faktorainak vizsgálata véges térfogatban

Fehér György, V. évf.

Konzulensek: dr. Takács Gábor, MTA-ELTE Elméleti Fizikai Kutatócsoport és
dr. Zaránd Gergely, BME Elméleti Fizika Tanszék

A munka célja az ún. csonkolt konform állapotér módszer (truncated conformal space approach, TCSA) adaptálása form faktorok meghatározására a sine-Gordon modellben. A Yurov és Zamolodchikov [1] által kifejlesztett TCSA eljárást Takács Gábor adaptálta a sine-Gordon modell spektrumának meghatározására [2]. Két éve Pozsgay Balázssal kifejlesztettek egy olyan módszert, amivel a TCSA felhasználható lokális operátorok mátrix elemeinek meghatározására, és ezt sikerrel alkalmazták a Lee-Yang, valamint az Ising modellben [3,4].

A jelen dolgozat ezt a módszert adaptálja a sine-Gordon modellre, ami a korábbiaktól abban különbözik, hogy abban a szórás nem diagonális (a részecskék belső kvantumszámuk alapján többdimenziós multiplettekbe sorolhatók; a sine-Gordon esetén ilyen a szoliton-antiszolon dublett). A közvetlen cél az eredmények összevetése a sine-Gordon bootstrap eljárással származtatott egzakt form faktor megoldásával. Ennek során a Pozsgay és Takács által kifejlesztett formalizmust általánosítani kell a nemdiagonális esetre. A későbbi kutatásokban ennek az általánosításnak további érdekes alkalmazásai várhatók korrelációs függvények kiszámítására, illetve peremes operátorok form faktorainak vizsgálatában.

Irodalom:

1. V.P. Yurov and A.B. Zamolodchikov: „Truncated Conformal Space Approach To Scaling Lee-Yang Model”, *Int. J. Mod. Phys.* **A5** (1990) 3221-3246.
2. G. Feverati, F. Ravanini and G. Takács: „Truncated conformal space at $c=1$, nonlinear integral equation and quantization rules for multi-soliton states”, *Phys. Lett.* **B430** (1998) 264-273.
3. B. Pozsgay and G. Takács: „Form factors in finite volume I: form factor bootstrap and truncated conformal space”, *Nucl. Phys.* **B788** (2008) 167-208.
4. B. Pozsgay and G. Takács: „Form factors in finite volume II: disconnected terms and finite temperature correlators”, *Nucl. Phys.* **B788** (2008) 209-251.

Szupravezető és mágneses rend háromkomponensű fermionikus rendszerekben

Kanász-Nagy Márton, VI. évf.

Konzulens: dr. Zaránd Gergely, BME Elméleti Fizika Tanszék

A hideg atomos kísérletek az 1970-es évek óta népszerű kísérleti területet jelentenek. Ilyen rendszerekben többek között sikerült az eddig ismert legtisztább formájában Bose-Einstein-kondenzátumot előállítani. Ezekben a kísérletekben többnyire alkáli atomok ritka gázát hűtik le lézeres és ún. párologtatásos hűtéssel akár nK-es hőmérséklet-tartományba, és csapdázzák őket. Ilyen alacsony hőmérsékleten az atomok különböző hiperfinom energiaszintjei között elhanyagolhatóak az átmenetek, ezért egy félegész hiperfinom spinű alkáli atom gázában a különböző energiaszinteken tartózkodó atomi populációk úgy tekinthetők, mintha külön fermionikus komponenseket alkotnának.

A kísérleti technika lehetővé teszi, hogy ezekben a rendszerekben különböző erősen kölcsönható szilárdtestfizikai modelleket teszteljenek rugalmas módon. Ún. optikai rácson pl. kísérletileg megvalósítható a Hubbard-modell, amiben az atomok közötti kölcsönhatás is „hangolható”. Ilyen kísérletekben sikerült már megfigyelni kétkomponensű fermiongáz szuperfolyadék-fázisát és szuperfolyadék-Mott-szigetelő-átmenetet is. Az utóbbi években lehetővé vált háromkomponensű fermionikus rendszerek csapdázása is.

Én egy eddig kísérletileg még meg nem valósított lehetőséget vizsgálok: háromkomponensű fermionikus rendszer szupravezető fázisainak megvalósulását. Egy ilyen fázist úgy lehet elképzelni, hogy a három komponensből kettő szupravezető (szuperfolyadék) állapotba kapcsolódik, ami mellett a harmadik komponens makroszkopikus populációban marad. Ez a szupravezető rend „ferromágneses” renddel is társul.

A TDK-dolgozatomban azt vizsgálom, hogy a szupravezető fázis illetve a ferromágneses rend tulajdonságai hogyan függenek a három komponens kémiai potenciáljától. (A komponensek „unbalanced mixture”-t alkotnak.) Ennek megvizsgálásához a szupravezető és mágneses rendparaméterre soktestproblémás technikával gapegyenletet írok fel, és levezetek egy Ward-azonosságot, ami megszorítást jelent a rendparamétereken keresztül a fázisokra. Ezek után a gapegyenlet megoldásait numerikusan keresem meg, és analizálom ennek a furcsa szupravezető fázisnak a kvázirészecske spektrumát.

Irodalom:

1. R. W. Cherng, G. Rafael and E. Demler: „Superfluidity and Magnetism in Multicomponent Ultracold Fermions”, *Phys. Rev. Lett.* **99**, 130406 (2007).
2. C. Honerkamp and W. Hofstetter: „Ultracold Fermions and the SU(N) Hubbard Model”, *Phys. Rev. Lett.* **92**, 170403 (2004).
3. Á. Rapp, G. Zaránd, C. Honerkamp and W. Hofstetter: „Color Superfluidity and ”Baryon” Formation in Ultracold Fermions”, *Phys. Rev. Lett.* **98**, 160405 (2007).

Több fajból álló ökológiai rendszerek vizsgálata

Barta Zsuzsanna, Msc 1. évf.

Konzulens: dr. Kiss Krisztina, BME Differenciálegyenletek Tanszék

A ragadozó-zsákmány interakció már régóta foglalkoztatja a tudósokat. A matematikai vizsgálata Lotka és Volterra munkáihoz köthető, modelljeik a legtöbb mai modell alappilléret képezik. Manapság is számos új cikk illetve könyv jelenik meg a témával kapcsolatban. Az irodalomban általában alacsonyabb dimenziós modelleket vizsgálnak, hiszen magasabb dimenzióban mind a kvalitatív vizsgálat, mind a számítógépes szimuláció nehézkes. Ebben a dolgozatban magasabb dimenziós pontszerű és térbeli arányfüggő modelleket vizsgálunk. Mindvégig törekszünk arra, hogy a matematikai tételek biológiai interpretációját is részletesen megadjuk és ezeket *Mathematica 7.0* alkalmazásával készült számítógépes szimulációval illusztráljuk.

Először a stabil együttlés matematikai vizsgálatához szükséges eszközöket ismertetjük, különös tekintettel az előjel-stabilitás elméletre, mely a gráfelmélet alkalmazásának egy szép példája a differenciálegyenletek területén.

Összefoglaljuk az [1]-ben szereplő eredményeket egy zsákmányfaj és több ragadozófaj esetére, majd megalkotjuk egy olyan ökológiai rendszer matematikai modelljét, melyben egy ragadozófaj és a táplálékaiként szolgáló „ n ” különböző zsákmányfaj él együtt, feltételezve, hogy a zsákmányfajok között nincs interspecifikus verseny, azaz egymás életterét nem befolyásolják. Igazoljuk a pontszerű és a térbeli modell biológiai relevanciáját.

Általánosítjuk az Allee-zóna fogalmát. Megállapítjuk, hogy az olyan stabilis egyensúlyi állapotok, amelyek nagyrészt csak az egyes paraméterek előjelei által meghatározottak, ún. előjel-stabilisak, az Allee-zónán kívül helyezkednek el.

Figyelembe vesszük a fajok térbeli mozgását is Fick törvénye szerint, ún. reakció-diffúzió modelleket vizsgáltunk. Ismert, hogy a diffúzió bevezetése általában stabilizálja a rendszert, ám bizonyos esetekben ún. diffúzionális vagy Turing instabilitás léphet fel. A kérdés az, hogy a mi esetünkben felléphet-e ez a jelenség. Megmutatjuk, hogy abban az esetben, amikor a fajok együttlésére jellemző interakciós mátrix előjelstabilis, Turing instabilitás nem léphet fel. Továbbá szükséges feltételeket adunk meg Turing instabilitáshoz. A fajok mozgékonyaságára jellemző diffúziós együtthatók megváltoztatása destabilizálhatja az addig stabilis rendszert. Bizonyos esetekben, az egyik faj diffúziós állandóját választva bifurkációs paraméternek, a kritikus érték kiszámítására is sikerült eljárást adni, amely segítségével meghatározható az a küszöbérték, ahol a stabilitásvesztés végbemegy.

A továbbiakban olyan modelleket vizsgálunk, amelyekben több zsákmány- és több ragadozófaj is jelen van. Kimutajuk, hogy a fenti többdimenziós modellek tulajdonságai bizonyos esetekben megjelennek ezeknél a modelleknél is.

Irodalom

1. Kiss K.: „ n -dimensional ratio-dependent predator-prey systems with diffusion”, *Applied Mathematics and Computation*, **205**, 325-335., 2008
2. Cavani M., Farkas M.: „Bifurcations in a Predator-Prey Model with Memory and Diffusion II: Turing Bifurcation”, *Acta Math. Hungar.* **63** (4), 375-393., 1994

Perturbációs megközelítés a végtelen várható értékű skálázott típusú Szemi-Markov folyamatokra

Pajor-Gyulai Zsolt, VI. évf.

Konzulens: dr. Szász Domokos, BME Sztochasztika tanszék

A regulárisan változó valószínűség-eloszlások újabban számos modern alkalmazásban alapvetőek, ilyenek pl. az internetnél a várakozási idők eloszlása, vagy a részvények árainak eloszlása. A Szemi-Markov folyamatok fogalmát P.Lévy, W.Smith és L.Takács vezette be 1954-1955-ben. Számos szerző alkotott a témában, de úgy tűnik egyik sem foglalkozott a végtelen várható érték esetével. A konstrukció egyszerű. Független felújítási időink egy olyan eloszláscsaládból származnak, amelyet egy paraméter jellemez, és az egymást követő paraméterek sorozata egy rekurrens Harris lánc trajektóriája.

Manapság a Szemi-Markov folyamatokat széles körben alkalmazzák sztochasztikus modellezésre különféle témakörökben. Többek között ide tartozik a közgazdaságtan, humán erőforrás modellek, biztosítás, pénzügy, megbízhatóság analízis, szimulációk, sorban állási modellek, elágazó folyamatok, orvostudomány (túlélési statisztikák), társadalomtudomány, nyelvtudomány, szeizmikus kockázat-analízis, biológia, számítástudomány, kromatográfia és a folyadék-mechanika.

Cél ezen folyamatok aszimptotikus viselkedésének tanulmányozása, pl. meghatározni a t időben aktuális állapot (azaz a t -ben aktuális felújítási idő paramétere) valószínűségének határértékét. Különösen érdekes az az eset, amikor a felújítási idők eloszlásai regulárisan vagy lassan változnak és nincs várható értékük. Ebben az esetben akkor van remény szép eredmény elérésére, amikor a felújítási idők eloszlásai adott eloszlás skálázottjai.

Persze tárgyalásra kerül az az eset is, amikor a felújítási idők várható értéke véges, pontosabban, a különböző állapotokhoz tartozó felújítási idők várható értéke összegezhető/integrálható. Ebben az esetben általánosítjuk a klasszikus felújítási tételt.

Ezen kívül a vizsgálat tárgyát képezi a folyamatokhoz tartozó életkor-folyamat aszimptotikájának vizsgálata is, azaz, hogy nagy t -re a t -beli felújítás mióta tart.

A bizonyítások egy kulcslemmán alapszanak, melynek bizonyítása olyan perturbációs módszerrel történik, amellyel úgy tűnik még nem foglalkoztak a Szemi-Markov folyamatok elméletében.

Irodalom:

1. R. Durrett: „Probability: Theory&Examples”, *Duxbury Press*, 3rd Edition
2. W. Feller: „An introduction to probability theory and its applications”, Volume II, 2nd Edition John Wiley&Sons, Inc.
3. V.S. Barbu, N. Limnios, „Semi-Markov Chains and Hidden Semi-Markov Models toward Applications, Their Use in Reliability and DNA Analysis”, Springer (ISBN978-0-387-73171-1), 2008

Bolyongás periodikus közegben

Rédl István, BSc III. évf.

Konzulens: dr. Vető Bálint, BME Sztochasztika Tanszék

A véletlen közegben történő bolyongások (a továbbiakban RWRE, Random Walk in Random Environment) az utóbbi három évtizedben meglehetősen aktív kutatások tárgyát képezik [1]. Ennek egyik alapvető oka, hogy jóval komplexebb problémákat rejtő témakör, melynek vizsgálatához többnyire új technikai apparátus szükséges. Az RWRE egy érdekes, ugyanakkor természetesen adódótulajdonsága, hogy benne a bolyongó sebessége és a konvergencia is lassabb, mint egyszerű bolyongás esetén.

Általánosan, leegyszerűsítve elmondható: az RWRE esetben a bolyongónak minden egyes lépésben egy véletlenszerűen kisorsolt környezetet adunk, ami meghatároz egy átmenetvalószínűséget. Ezek segítségével a bolyongást egy olyan Markov lánc írja le, amelynek átmenetvalószínűségei lépésről lépésre véletlenszerűen változnak. Ennek egytermészetes módosítása, amit a dolgozat is vizsgál, mikor a bolyongót periodikus közegbe helyezük (RWPE).

Célunk, olyan bolyongások asszimptotikus viselkedésének leírása, amelyek periodikus közegben történnek és valamilyen drifttel rendelkeznek, ebben az esetben az asszimptotikus viselkedés ún. ballisztikus lesz, vagyis az asszimptotikus sebesség nem nulla (m.b. konstans) [2]. Ehhez reverzibilis Markov láncokat tekintünk és a potenciálfüggvény [3] asszimptotikus irányát az elmozdulás asszimptotikus irányával hasonlítjuk össze. A kapcsolat megfelelő feltárása azért is fontos, mert a potenciálfüggvényből ugyan nem írhatók le egyértelműen az átmenetvalószínűségek, viszont fontos információt hordozhatnak a mozgás általánosabb irányáról. Meglepő lenne, ha ezek nem egy irányúak is lehetnének, esetleg magasabb dimenzióban.

Egy dimenzióban a vizsgálat valamelyest ugyan egyszerűbb, de mindenképp tanulságos. Itt felbukkan pl. a tönkremenési problémakör. Érdekesebb viszont a helyzet $d=2$ esetben, ugyanis ekkor a potenciálfüggvény nem is mindig létezik, ehhez szükséges a reverzibilis környezet kialakítása. Sejtésünk szerint driftes bolyongás esetén a gradiens nem zárhat be tompa szöveget a bolyongás asszimptotikus irányával. Elképzelhető ugyanakkor, hogy a derékszöghöz bizonyos feltételek mellett közel lehet kerülni. Munkánk során szimulációkat is végeztünk.

Irodalom:

1. Zeitouni, O.: „Lecture Notes on Random Walks in Random Environment.” *Lecture Notes in Mathematics*, vol. 1837 pp. 190-312. Springer, Heidelberg (2004)
2. Takenami, T.: „Local limit theorem for random walk in periodic environment”. *Osaka J. Math.* vol. 39, 867-895 (2002)
3. Tóth, B.: „Markov chains on finite state space.” *Lecture notes:*
http://www.math.bme.hu/~balint/oktatas/markov_lancok/jegyzet/Markov_chains.pdf

KÍSÉRLETI FIZIKA SZEKCIÓ

Helyszín: F ép. III. lph. II. em. 13.
(Hallgatói labor)

Zsúri Elnök: dr. Füzessy Zoltán, Professor Emeritus
BME Fizikai Intézet, Fizika Tanszék

Zsúri Tagok: dr. Hárs György, Egyetemi Docens
BME Fizikai Intézet, Atomfizika Tanszék
dr. Kamarás Katalin, Tudományos Tanácsadó
MTA KFKI, Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézet
Kísérleti Szilárdtestfizikai Osztály

08³⁰ Álmosdi Péter (V.), Emissziós anyagok előállításakor alkalmazott hőbontási folyamatok optimalizálása, Konzulensek: Vargáné dr. Josepovits Katalin, BME Atomfizika Tanszék és Somogyvári Zoltán, General Electric Zrt.

08⁵⁵ Bardóczi László (III. BSc), Inverz energia-kaszád kísérleti vizsgálata mágnesezett elektrolitban, Konzulensek: dr. Berta Miklós, Széchenyi István Egyetem Győr és dr. Bencze Attila, MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet

09²⁰ Berze Noémi (III. BSc), LuYSiO₅ (LYSO) szcintillátor egykristályok optikai tulajdonságainak vizsgálata, Konzulens: dr. Lőrincz Emőke, BME Atomfizika Tanszék

09⁴⁵ Kis Csaba, Tinódi Péter és Weszelovszki Gábor (III. BSc), Nagy CCD pixelek korlátozó hatása a digitális holográfiában, Konzulens: dr. Gyimesi Ferenc, BME Fizika Tanszék

10¹⁰ Magda Gábor (IV. BSc), Grafén megmunkálása kémiai marásos módszerekkel Konzulensek: Nemes-Incze Péter, MTA KFKI Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet és dr. Csonka Szabolcs, BME Fizika Tanszék

10³⁵ Piszter Gábor (IV. BSc), Kék boglárkalepkék faj szerinti azonosítása reflexiós spektrumuk alapján, Konzulensek: dr. Biró László Péter, MTA KFKI Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet és dr. Barócsi Attila, BME Atomfizika Tanszék

11⁰⁰ Pósfay Péter és Szirmai Péter (II. BSc), A véges nyalábméret hatásának követése a kisszögű szórásban, Konzulensek: Wacha András, MTA Kémiai Kutatóközpont ; dr. Bóta Attila, MTA Kémiai Kutatóközpont ; Halbritter András, BME Fizika Tanszék

11²⁵ Tóth Mihály (VIII.), Hidroxiapatit alapú nanostruktúrális biokompatibilis kompozitok előállítása és vizsgálata, Konzulens: dr. Balácsi Csaba, MTA KFKI Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet

Emissziós anyagok előállításakor alkalmazott hőbontási folyamatok optimalizálása

Álmosdi Péter, V. évf.

Konzulensek: Vargáné dr. Josepovits Katalin, BME Atomfizika Tanszék és
Somogyvári Zoltán, General Electric Zrt.

A kereskedelmi fényforrásipar nagy hányadát teszi ki a fénycső, vagyis a fluoreszcens alacsonynyomású higanygőzlámpa gyártása. A fénycsövekben fontos van az emissziós anyagoknak, hogy a katódnak a kilépési munkáját csökkenthessék. Ezáltal nagyobb hatásfokkal működtethető a lámpa, és technikai okok miatt is szerencsésebb az alkalmazásuk. Az emissziós anyagoknak a jelen esetben használt ún. hármass-oxid típusát egy hőkezelési eljárásnak kell alávetni, hogy a gyártási folyamat során a katódra felvitt emissziós anyag átalakulhasson a kilépési munkát csökkentő módosulatába.

Az emissziós anyag hőbontása a gyártás során a katód árammal való ohmikus felfűtése során történik meg. A fokozott hőmérséklet hatására egy kémiai reakció zajlik le, ami során jól észlelhető szén-dioxid mennyiség keletkezik. E folyamat segítségével vizsgáljuk a keletkező végbemenetelét. A reakcióhoz szükséges fűtést alacsony nyomású térbe zárt árammal fűtött katóddal biztosítjuk, ami hasonlatos a lámpatestben való gyártásnak a körülményekhez.

Ezen kívül a hőbontási folyamatot termodinamikai megfontolások alapján modelleztük is, és ez alapján több, elkülöníthető bomlási pontot is várunk. Az eredeti, optimalizálatlan fűtési séma sem egyszerű, lineáris hőmérsékletemelkedést alkalmazott, úgyhogy most is egy többfokozatú eljárást szeretnénk kidolgozni.

Kristálytani jelenségek is szerepet játszanak, aminek következtében szintén többlépcsős reakciót várunk. A fűtési kísérleteket hőmérséklet és nyomásméréssel kísérjük a pontos reprodukálhatóság érdekében. Figyelembe vesszük továbbá a nagyon magas hőmérsékleteken lezajló bárium párolgást is, ami ronthatja a lámpa működését, ha túl magas hőmérsékleten fűtenénk.

A mérések és számítások során figyelembe vesszük a kémiai reakciókat, a kristálymorfológiát, az elektromos tulajdonságokat, a termodinamikát, és mindezt egy gyártási körülmények között is értelmezhető és alkalmazható formában találjuk.

Irodalom:

1. R. Cortenraad, A.W. Denier van der Gon, H.H. Brongersma, G. Gartner, A. Manenschijn "Quantitative LEIS analysis of thermionic dispenser cathodes", *Applied Surface Science* 146. (1999).
2. Elenbaas W. "Fluorescent Lamps", *Crane, Russak & Company, New York*, (1971).
3. Giber János és társai, „Szilárdtestek felületfizikája”, *Műszaki Könyvkiadó, Budapest*, (1987)

Inverz energia-kaszád kísérleti vizsgálata mágnesezett elektrolitban

Bardóczy László, BSc III. évf.

Konzulensek: dr. Berta Miklós, Széchenyi István Egyetem Győr és
dr. Bencze Attila, MTA KFKI Rézecske- és Magfizikai Kutatóintézet

A turbulens áramlások fizikájában sok olyan jelenséggel találkozhatunk, amelyeket részben vagy egészben nem tudjuk tudományos igényvel megmagyarázni. Ilyen például a 2-dimenziós áramlások inverz energia-kaszádja. Míg a 3-dimenziós áramlásokban az energia direkt módon áramlik a kis hullámszámok felől a nagy hullámszámok fele, addig a 2-dimenziós áramlások esetében az energia inverz módon, a nagy hullámszámok felől áramlik a kis hullámszámok felé. Olyan körülmények között, amikor az áramlás 2-dimenziósnak tekinthető – mint például fúziós berendezésekben, vagy vékony folyadékrétegek esetében – a turbulencia struktúrák nemlineáris módon gerjesztenek nagy struktúrákat, melyeket zonális áramlásoknak nevezünk. Az idő múlásával a kis struktúrák elhalnak és energiájuk a nagy struktúrákban halmozódik fel. A természetben több helyen a spontán kialakuló zonális áramlások a turbulencia csillapításán keresztül hatással vannak a közegben zajló transzportfolyamatokra. Például egy fúziós reaktorban javítják ez által a plazma összetartásának minőségét.

A nagy berendezéseken elvégzett kísérletek költségesek és sok nehézséggel járnak. A jelenségek hasonlóságát megragadva, a zonális áramlások laboratóriumi körülmények között tanulmányozhatók elektromágneses térbe helyezett vékony elektrolitrétegek áramlásában.

Dolgozatomban részletesen leírok egy olyan általam épített kísérleti eszközt, mely nemlineáris áramlások rutinszerű előidézését teszi lehetővé. Kísérleteimben elektromágneses térben áramló elektrolitban kialakuló turbulencia-struktúrák egyesülésével – inverz energia-kaszád révén - kialakuló zonális áramlásokat tanulmányoztam. A kísérletekhez egyszerűen kivitelezhető sebességmérési módszert fejlesztettem, és széleskörű adatfeldolgozó rutinokat írtam MATLAB-ban. A sebességmezőt a mért adatokból PIV technikával nyertem ki, és a sebességmezőből matematikai úton származtattam más mennyiségeket, melyekkel a megfigyelt jelenségeket jellemeztem.

Mérési eredményeim a turbulenciának, az energia hullámszámtérben való eloszlásának és a részecske-transzportnak a jellemzése köré csoportosulnak. A dolgozat végén ismertetek egy olyan egyszerű, a kísérleti tapasztataimon nyugvó, részben elektrodinamikán, részben áramlástanon alapuló fizikai modellt, mely segítségével az áramlásban kialakuló diszkrét örvényméreteket megmagyarázhatók

Irodalom:

1. P. Tabeling et al, „Experimental study of freely decaying two-dimensional turbulence”, *Phys. Rev. Lett.* 67, 3772-3775 (1991);
2. O. Cardoso et al, „Quantitative experimental study of the free decay of quasi-two-dimensional turbulence”, *Phys. Rev. E* 49, 454 - 461 (1994);
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 plasmas”, *Phys. Rev. E.* 71, 046409 (2005).

LuYSiO₅ (LYSO) szcintillátor egykristályok optikai tulajdonságainak vizsgálata

Berze Noémi, BSc III. évf.

Konzulens: dr. Lőrincz Emőke, BME Atomfizika Tanszék

A cériummal adalékolt LuYSiO₅ (LYSO) egykristályt jó fényhasznosítása miatt előszeretettel alkalmazzák szcintillátor anyagként elsősorban pozitron emissziós tomográf (PET) detektorában. [1] Az utóbbi időben felmerült a LYSO egykristályok lézeres alkalmazásának lehetősége is itterbium adalékolás mellett. [2] A LYSO egykristály tulajdonságai azonban csak részlegesen ismertek a szakirodalom alapján. Raman-spektroszkópiai és röntgendiffrakciós vizsgálatok segítségével az utóbbi időben felderítették szimmetria tulajdonságait, meghatározták elemi cellájának méretét és a kötéstávolságokat. [3] A LYSO kéttengelyű anizotrópiával rendelkezik Irányfüggő törésmutatója, vagy polarizációfüggő abszorpciós tulajdonságai azonban még nem ismertek. Felhasználásakor és kutatásakor nem veszik figyelembe az anizotrópia hatását. [4] Pl. a PET alkalmazásokhoz fontos olcsó gyártástechnológia (pl. kémiai maratás) alkalmazásának vizsgálatánál nem definiálják a kiinduló felület orientációját, eltekintenek az anizotrópia hatásától a detektorhoz való csatolás vizsgálatánál is. A lézeres alkalmazásokhoz a LYSO optikai paramétereinek egzakt ismerete szintén fontos lenne.

Vizsgálataim célja a kéttengelyű anizotróp kristály hullámhosszfüggő törésmutatóinak meghatározása volt. A szakirodalomból megismert mérési módszerek közül a legpontosabb eredmény a legkisebb eltérés módszerének alkalmazásával várható, amihez szögmásodperc mérési pontosságú eszköz szükséges. Az Atomfizika Tanszéken rendelkezésre álló goniométert át kellett alakítani a mérés elvégzéséhez. A korábbi fehér fényű megvilágító rendszert hároszínű LED-es megvilágításra cseréltük. A különböző orientációjú LYSO egykristály prizmaminták méréséből a kristály törésmutatóit három tizedesjegy pontossággal sikerült meghatároznom a LED hullámhosszakon, ami összevetve a szakirodalom korábbi eredményeivel, igen pontosnak mondható.

A törésmutatók ismerete lehetővé teszi a kristály optikai tulajdonságainak további vizsgálatait, például meghatározhatók a polarizációfüggő abszorpciós tulajdonságok, valamint vizsgálható az anizotrópia hatása a fényhasznosításra.

Irodalom:

1. C. M. Pepin, Ph. Bérard, A.-L. Perrot, C. Pépin, D. Houde, R. Lecomte, Ch. L. Melcher, and H. Dautet, "Properties of LYSO and Recent LSO Scintillators for Phoswich PET Detectors", *IEEE Transactions on Nuclear Science*, VOL. **51**, NO. 3, 789-79 (2004).
2. W. Li, S. Xu, H. Pan, L. Ding, and H. Zeng, "Efficient tunable diode-pumped Yb:LYSO laser", *Optics Express*, Vol. **14**, No. 15, 6681-6686 (2006).
3. D. Chiriu, N. Faedda, A. G. Lehmann, P. C. Ricci, A. Anedda, S. Desgreniers and E. Fortin, „Structural characterization of Lu_{1.8}Y_{0.2}SiO₅ crystals”, *Physical Review B*, **76**, 054112 (2007).
4. R. Mao, L. Zhang, R.-Y. Zhu, „Optical and Scintillation Properties of Inorganic Scintillators in High Energy Physics”, *IEEE Transactions on Nuclear Science*, VOL. **55**, NO. 4, 2425-2431 (2008)

Nagy CCD pixelek korlátozó hatása a digitális holográfiában

Kis Csaba, Tinódi Péter, Weszelovszki Gábor, BSc III. évf.

Konzulens: dr. Gyimesi Ferenc, BME Fizika Tanszék

A holográfia egy speciális képrögzítési és rekonstruáló eljárás. Elvét Gábor Dénes dolgozta ki 1948-ban. A hagyományos fényképek csak a tárgy intenzitásvizonyait tudják rögzíteni, így a térbeli információk, a fázisviszonyok, elvesznek. A hologram képes ezt is rögzíteni: a fázisviszonyokat intenzitásvizonyokká alakítja a tárgy- és a referencianyaláb interferenciája révén.

Ahhoz, hogy ezt az interferenciaképet rögzíteni tudjuk megfelelő felbontású érzékelőt kell alkalmazni. A hagyományos holográfiában ez az érzékelő a holografikus lemez, amely egy nagy felbontású (5000 vonalpár/milliméter) fotólemez. Segítségével nagy tárgyról készíthetünk felvételt, továbbá a tárgy- valamint a referencianyaláb akár 180° -os szöget is bezárhat egymással.

A digitális holográfiában a modern fényérzékelők (CCD, CMOS) felváltják a hagyományos fotólemezt és ezek segítségével a hologramot egyenesen a számítógépben rögzítjük. A hologram rekonstruálása is a számítógépben történik: numerikus diffrakció számítással. Előnye a rugalmas rekonstruálási lehetőség, mivel a rekonstrukció során könnyen változtathatók a bemeneti adatok. Hátránya viszont az, hogy az érzékelők mérete kicsi és a CCD-mátrixot alkotó pixelek mérete nagy.

A viszonylag nagy CCD pixelméretek miatt a látószög (esetünkben a tárgy- és a referencianyaláb által közrezárt szög) erősen korlátozott [1]. A látószög egy adott tárgy-CCD távolság esetén meghatároz egy látótérét. Optikai szempontból, a tárgy- és a referencianyaláb interferenciájából keletkező holografikus rács a CCD-vel felbontható kell legyen. Ezt egyfelől a Shannon-Nyquist mintavételezési törvény szabályozza, amely szerint minimum 2 pixel kell, hogy egy sötét és egy világos csíkot különállóként rögzítsünk. Ez a látótér az elfogadott a digitális holográfiát alkalmazók körében [1,2] (esetünkben ez az elméleti látótér). Másrészt, a diszkrét Fourier-transzformációból pont az előzőleg meghatározott látótér méretének a dupláját kapjuk [1]. Ezt igazolják a Fizika Tanszék Holográfia Csoportjának kísérletei is [3], a látótérrel ezáltal az elméletileg meghatározott méret kétszeresére kiterjesztve.

Ha kilépünk a látótérből, akkor a hologram interferencia csíkjai nagyon besűrűsödnek. Amennyiben a csíkrendszer a 2-szeres pixelméretnél sűrűbb, akkor az egyes pixelek a rájuk eső intenzitást átlagolják. Az elmélet szerint [1] ebben az esetben lecsökken a hologram kontrasztja vagy eltűnik a hologram. A tapasztalat ezzel szemben azt mutatja, hogy ilyen esetekben is rekonstruálható a tárgy hologramja [3-5]. A Fizika Tanszéken megszülettek az ezt igazoló előkísérletek.

TDK-munkánkkal ennek a jelenségnek a megvizsgálására vállalkoztunk. Először számítógépes szimuláció segítségével megvizsgáltuk, hogyan változik a tárgy hologramjának rekonstrukciója, ha a tárgyat a referencianyalábtól egyre távolabb helyezzük el. A tárgy-referencianyaláb távolságot fokozatosan növelve az elméleti látótéren, valamint a Holográfia Csoport által kiterjesztett látótéren is túlhaladva vizsgáltunk. A szimuláció során kapott eredmények azt mutatják, hogy a látótéren kívül nagy távolságokban is jó minőségben (szinte változatlan felbontásban) tudtuk rekonstruálni a tárgy hologramját. Mindezt a holografikus asztalon a gyakorlatban is elvégeztük. A kísérletek eredménye igazolta a szimuláció során kapott eredményeket.

Irodalom:

1. Schnars, U. és Jüptner, W., „Digital holography”, Springer-Verlag, 2005.
2. Meeser, T. et al., „Digital holographic recording of large scale objects for metrology and display”, *Conference Fringe 2009*, eds. Osten, W., Kujawinska, M., p.501-504 (2009)
3. Gyimesi F. et al., „Half-magnitude extension of resolution and field of view in digital holography by scanning and magnification”, publikáció alatt az *Applied Optics* c. folyóiratban.
4. Kelly, D.P. et al., „Resolution limits in practical digital holographic systems”, *Optical Engineering*, vol. 48, no. 9, 095801-1–13 (2009)
5. Kelly, D.P. et al., „Fresnel and Fourier digital holography architectures: a comparison”, *Conference Fringe 2009*, eds. Osten, W., Kujawinska, M., p.304-308 (2009)

Grafén megmunkálása kémiai marásos módszerekkel

Magda Gábor, BSc IV. évf.

Konzulensek: Nemes-Incze Péter, MTA KFKI Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet és dr. Csonka Szabolcs, BME Fizika Tanszék

A grafén a szén hatszöges kristályrácsba rendeződött allotrópjja, felfogható egy grafitrács egyetlen lapjaként. Felfedezése óta eltelt közel négy év kutatási eredményeit követően, a grafén vizsgálata az anyagtudomány és a szén nanoszerkezetek kutatásának egyik legizgalmasabb területeként bontakozott ki. Az évek során sok izgalmas új alapvetési eredménynek lehettünk tanúi, ami elsősorban a grafén különleges sáv szerkezeti és mechanikai tulajdonságainak köszönhető [1]. Továbbá, a grafén kiváló elektromos tulajdonságai egészen újszerű elektronikai alkalmazásokat tesznek lehetővé [2]. Az elektronikai alkalmazásokat erősen hátráltató tényező az, hogy a grafén elektronszerkezetében nincs tiltott sáv, így ebben az esetben nem alkalmazható a kétdimenziós elektrongázoknál használatos módszer, ahol litográfiával és kapufeszültségek alkalmazásával alakítható az elektrongáz geometriája, viselkedése. A tiltott sáv hiányának másik következménye, hogy grafénből csak olyan tranzistor hozható létre, melynek nincs zárt állapota, amikor a forrás-nyelő áram nulla, ami alkalmatlanná teszi digitális jelfeldolgozásra. Mindkét problémára megoldás jelent, ha a grafénből szalagokat vágunk, melyek szélessége nem haladja meg a néhány nanométert, ilyenkor ugyanis már tiltott sáv jelenik meg a sáv szerkezetben [3]. Jelen pillanatban ilyen szalagok létrehozása még nem megoldott gyors és reprodukálható módszerrel. Egy ilyen módszer kidolgozásával foglalkozik jelen dolgozat

Sikerült elérni, hogy a grafén, mely előállításakor egy szigetelő (SiO_2) rétegre kerül, $700\text{ }^\circ\text{C}$ körüli hőmérsékleten kémiai reakcióba lépjen az őt tartó SiO_2 réteggel. Kimutattam, hogy ennek a reakciónak sebessége erősen függ a grafén kristálytani irányától, aminek eredményeként azonos kristálytani orientációjú hatszöges lyukak jönnek létre a grafén felszínén. Ha két hatszöges lyuk megfelelő irányból elegendően közel kerül egymáshoz, akkor a köztük lévő terület a létrehozni kívánt grafén szalag lesz.

Atomerő mikroszkóp segítségével vizsgáltam a grafén oxidációját a légkörben található oxigéngáz, valamint oxigénmentes környezetben a grafén és a grafént hordozó felület (SiO_2) között végbemenő reakciót, magas hőmérsékletű kezelés esetében.

Irodalom:

1. Katsnelson, M. I., „Graphene: carbon in two dimensions”, *Materials Today* 10, 20-27 (2007).
2. Stampfer, C.; Schurtenberger, E.; Molitor, F.; Güttinger, J.; Ihn, T.; Ensslin, K., „Tunable graphene single electron transistor”, *Nano Lett.* 8, 2378-83 (2008).
3. Tapasztó, L.; Dobrik, G.; Lambin, P.; Biró, L. P., „Tailoring the atomic structure of graphene nanoribbons by scanning tunnelling microscope lithography”, *Nature nanotechnology* 3, 397-401 (2008).

Kék boglárkalepkék faj szerinti azonosítása reflexiós spektrumuk alapján

Piszter Gábor, BSc IV. évf.

Konzulensek: dr. Biró László Péter, MTA KFKI Műszaki Fizikai és Anyagtudományi
Kutatóintézet és dr. Barócsi Attila, BME Atomfizika Tanszék

A biológiai evolúció számos olyan szerkezetet hozott létre, amelyek irigylésre méltóak az anyagtudomány és a fizika szemszögéből közelítve. Számos rovar és lepkefaj fejlesztett ki esetenként még dinamikus viselkedést is mutató fotonikus nanoarchitektúrákat a szín általi kommunikáció/védekezés megvalósítására. Ezek a szerkezetek az élőlény (egyed) és a faj szempontjából is meghatározó életfunkciókra vannak hatással, ezért erős szelektációs nyomásnak voltak kitéve az evolúció évmilliói alatt. Így joggal feltételezhető, hogy sokmillió mérnökórának megfelelő optimalizációs munka fekszik bennük, amelyet kár lenne kihasználatlanul hagyni a mesterséges fotonikus szerkezetek tervezése során. Az így nyert információ eredményesen felhasználható az ún. bioinspirált szerkezetek létrehozására, amelyek nem „egy az egyben” másolatai az élő rendszereknek, hanem az azokból kinyert információk és ötletek alapján kreatív gondolkodással létrehozott mesterséges nanoarchitektúrák.

Jelen munka célja annak megvizsgálása, hogy az azonos élettérben előforduló, szabad szemmel hasonló kék színűnek érzékelt boglárkalepkék spektrális jellemzőiben, illetve időbeni előfordulásukban elégséges különbségek figyelhetők-e meg ahhoz, hogy a fajtársak színük alapján választhassák ki a megfelelő fajhoz tartozó párt.

A cél fontosságát az adja, hogy – különösen a boglárkalepkék estében – a szakértők a fonák bonyolult mintázata alapján azonosítják az egyes fajokat. Ugyanakkor valószínűtlennek tűnik, hogy a lepkék viszonylag kisméretű agya elégséges adatfeldolgozási kapacitással rendelkezne ahhoz, hogy röptükben képesek lennének azonosítani a fajtársakat e bonyolult mintázat alapján. Ennél egy sokkal egyszerűbb adatfeldolgozási feladat, ha a szín spektrális jellemzői alapján történik az azonosítás. Ez esetben, optikai spektrumok alapján egyszerűen beazonosítható valamely egyed faj szerinti hovatartozása.

Megvizsgáltam több *Polyommatus* (boglárka) lepkefaj szárnyának színét integráló gömbös és merőleges beesésű spektrumok felvételével. Merőleges mérésekhez egy új, roncsolásmentes és gyors mérést lehetővé tevő eszközt használtam. A mért, több mint 100 példány spektrális adataiból olyan statisztikai paramétereket határoztam meg, melyek alkalmasak voltak a spektrumok kvantitatív jellemzésére. Az így kinyert adatokat neurális hálózat segítségével hasonlítottam össze egymással. Az egyedek egyik felével a hálózat betanítását végeztem, másik felével a fajok közti spektrális különbségek létezését mutattam ki, 96%-os pontossággal. Bemutatom, hogy az azonos élőhelyen élő, spektrálisan hasonló fajok nem repülnek egy időben. A dolgozat nagy hangsúlyt fektet a korábbi eredmények továbbfejlesztésére, az egyes műveletek (merőleges mérés, előfeldolgozás és kvantifikálás) gyorsítására, automatizálására és arra, hogy a vizsgált egyedek mérés közben ne szenvedjenek mechanikai roncsolódást. A jellegzetes spektrumokban feltárt különbségek (nano)szerkezeti elemekre történő visszavezetéséhez további kísérleti és modellezési munka szükséges.

A véges nyalábméret hatásának követése a kisszögű szórásban

Pósfay Péter és Szirmai Péter, BSc II. évf

Konzulensek: Wacha András, MTA Kémiai Kutatóközpont ;
dr. Bóta Attila, MTA Kémiai Kutatóközpont ; Halbritter András, BME Fizika Tanszék

Napjainkban a nanométeres nagyságrendbe eső szerkezetek vizsgálatának egyik legelterjedtebb indirekt módszere a kisszögű röntgen- illetve neutronszerzés (Small-Angle X-ray Scattering, SAXS; Small-Angle Neutron Scattering, SANS). E módszerek előnyei, hogy roncsolásmentesek, jól automatizálhatóak, valamint a vizsgálandó mintából általában kis mennyiség is elég (pár mm³). A röntgenszerzés kisebb laboratóriumokban is kivitelezhető, nem szükséges hozzá nagyműszeres felszereltség (szinkrotron vagy atomreaktor).

A laboratóriumi röntgenberendezéseken azonban a kutatók gyakran szembesülnek azzal a ténnyel, hogy a mintájuk túlságosan „gyengén szór”: a mintával való kölcsönhatás során csak a beérkező röntgenfotonok igen kis hányada szóródik, így a detektor egy adott pixelére egységnyi idő alatt csak kevés foton esik be. Értékelhető eredmények rövidebb időn belül való eléréséhez, valamint a jel-zaj viszony javításához nagyobb intenzitásra van szükség a detektorban, amit általában azzal érnek el, nagyobb méretű (kb. 0.5×20 mm²-es) röntgennyalábot használnak. Ezzel azonban a szerzési kép torzulást szenved, melyet a szakirodalom „slit smearing” vagy „line-focus effect”-nek nevez.

A vonalfókusz hatásának kiküszöbölésére az irodalomban sok, úgynevezett „desmearing” módszer ismert. Mindegyiknek közös hátránya, hogy a probléma rosszul kondicionált, így a mérési hibákat, statisztikus fluktuációkat nagymértékben fölnagyítják.

Munkánk célja a vonalfókusz-elkenés behatóbb tanulmányozása volt. A nyaláb méretének és általában a röntgenberendezés paramétereinek hatását kísérletileg követtük. A paraméterek hatásának figyelembevételére egy programot fejlesztettünk ki, mely különféle szerzési geometriák és modell-szerzőközegek esetén elméleti úton ki tudja számolni az elkent szerzési görbét, így lehetőséget ad a különféle nyaláb-alakok hatásának vizsgálatára és értelmezésére. Méréseinket ezüst-behenáton végeztük, mely a röntgenberendezések egyik legelterjedtebb kalibrálóanyaga. A különböző nyalábméretetek mellett felvett szerzési képeket összehasonlítottuk szinkrotron mérőállomáson, a vonalfókuszú kamerához képest ideális pontfókuszúnak tekinthető nyalábbal végzett mérések eredményeivel.

Munkánk nem csak vonalfókusz, hanem bármilyen véges méretű nyaláb alkalmazása esetén is hasznosítható.

Irodalom:

1. Masao Kakudo and Nobutami Kasai, “X-ray diffraction by polymers”, *Kodansha, Tokyo* (1972).
2. Singh, M.A., Ghosh, S.S. and Shannon Jr, R. F., “A Direct Method of Beam-Height Correction in Small-Angle X-ray Scattering.” *J. Appl. Cryst.* No. 26, 787-794 (1993).
3. Glatter, O. “A New Iterative Method for Collimation Correction in Small-Angle X-ray Scattering.” *J. Appl. Cryst.* No. 7, 147-153 (1974).

Hidroxiapatit alapú nanostruktúrális biokompatibilis kompozitok előállítása és vizsgálata

Tóth Mihály, VIII. évf

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

A hidroxiapatit (HAP) a csontok és a fogak egyik fő alkotóeleme. Kiváló mechanikai tulajdonságai és biokompatibilitása miatt ideális csontokban keletkezett sérülések javítására, pótlására, implantátumok készítésére. A mi célunk nanoszerkezetű, nagy fajlagos felületű HAP szálak előállítása, amelyet később kerámia mátrixba juttatva, növelve ezzel a biokompatibilitását, csontimplantátumként lehet majd felhasználni.

A dogozatom első része más-más eljárással előállított HAP-nanostruktúrák vizsgálatáról szól. Az előállításnál „soft chemistry” módszereket alkalmaztunk, nem használtunk mérgező anyagokat és nem termeltünk nem újrahasznosítható hulladékot. A kiindulási alapanyag hőkezelt tojás héj illetve kagylóhéj volt, az őrlést nagy teljesítményű attritorral és bolygó golyósmalommal végeztük, a mintáinkat utólagosan különböző hőmérsékleten hőkezeltük. A végső mintáinkat Röntgen-diffrakciós (XRD) és Fourier-transzformációs infravörös (FTIR) spektrumanalízissel továbbá pásztázó elektronmikroszkóp (SEM) felvételekkel elemeztem.

A második rész electrospinninggel készített HAP tartalmú polimerszálak vizsgálatával foglalkozik. Az electrospinning (elektro-fonás) eljárás régóta ismert mikro és nano mérettartományba eső polimerszálak létrehozására. A kívánt nagy fajlagos felületet és a mechanikai stabilitást HAP nanoszálak létrehozásával akarjuk elérni, ezért polimer-HAP keverék nanoszálakat hoztunk létre, amelyek hőkezelésével remélhetőleg megkapjuk a kívánt csak HAP tartalmú struktúrát. A minták elemzését SEM-mel, és a benne található energia-diszperziós spektroszkópiával illetve Röntgen- analízissel (EDS/EDAX) végeztük el.

Irodalom:

1. Aisha Bishop, Csaba Balázsi, Jason H. C. Yang, Pelagia-Irene Gouma “Biopolymer-hydroxyapatite composite coatings prepared by electrospinning” *Polymers for Advanced Technologies*, Volume 17 Issue 11-12, Pages 902 - 906, 2006
2. Yiquan Wu, Larry L. Hench, Jing Du, Kwang-Leong Choy, Jingkun Guo, “Preparation of Hydroxyapatite Fibers by Electrospinning Technique”, *Journal of the American Ceramic Society*, Volume 87 Issue 10, Pages 1988 - 1991, 2005
3. Csaba Balázsi, Aisha Bishop, Jason Yang, Katarína Sedláčková, Ferenc Wéber, Pelagia Irene Gouma, “Biopolymer-Hydroxyapatite Nanocomposite from Eggshell for Prospective Surgical Applications”, *Materials Science Forum* (Volume 589), Materials Science, Testing and Informatics IV, 2008
4. Seeram Ramakrishna, Kazutoshi Fujihara, Wee-Eong Teo, “An Introduction to Electrospinning and Nanofibers”, 2005

NUKLEÁRIS TECHNIKA ÉS ENERGETIKA SZEKCIÓ

Helyszín: R ép. IV. em. 438.

Zsúri Elnök: dr. Makai Mihály, Egyetemi Tanár
BME Nukleáris Technika Intézet, Nukleáris Technika Tanszék

Zsúri Tagok: dr. Balásházy Imre, Tudományos Főmunkatárs
MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézet
Sugárvédelmi és Környezetfizikai Laboratórium

dr. Dóczi Rita, Egyetemi Docens
BME Nukleáris Technika Intézet, Nukleáris Technika Tanszék

08³⁰ Cserkaszkzy Áron (I. MSc), Grafikus kártyán futtatott PET/CT képalkotás
Konzulens: dr. Légrády Dávid, BME Nukleáris Technika Tanszék

08⁵⁵ Elter Zsolt (I. MSc), A fűrólyuk geometriai paramétereinek hatása, és azok csökkentése γ - γ szondákra, Konzulens: dr. Czifrus Szabolcs, BME Nukleáris Technika Tanszék

09²⁰ Ferenczy Máté (IV.), A HPLWR sokszorozási tényezőjének vizsgálata görbült kazetta esetén, Konzulensek: dr. Fehér Sándor és Reiss Tibor, BME Nukleáris Technika Tanszék

09⁴⁵ Gregus Zoltán (IV. BSc), Nagykiégésű, felfűvódott VVER üzemanyagköteg hűthetőségének számítógépes vizsgálata, Konzulens: Csige András, BME Nukleáris Technika Tanszék

10¹⁰ Jeszencsák Péter (IV. BSc), Folyékony ólom-bizmut eutektikum fűtött henger körüli áramlásának CFD vizsgálata, Konzulensek: dr. Aszódi Attila, BME Atomenergetika Tanszék és Kiss Attila, BME Nukleáris Technika Tanszék

10³⁵ Kovács Noémi (I. MSc), Gamma-kamera képjellemzőinek függése a kollimátor-rendszer paramétereitől, Konzulens: dr. Czifrus Szabolcs, BME Nukleáris Technika Tanszék

11⁰⁰ Lantos Judit (V.), PET berendezés modellezésére alkalmas Monte-Carlo program kidolgozása és verifikációja, Konzulens: dr. Czifrus Szabolcs, BME Nukleáris Technika Tanszék

15 PERC SZÜNET

11⁴⁰ Perkó Zoltán (VI.), A GFR600 üzemanyagciklusának elemzése
Konzulens: dr. Fehér Sándor, BME Nukleáris Technika Tanszék

12⁰⁵ Sziujártó Rita (I. MSc), Függőleges fűtött pálca körül kialakuló természetes cirkuláció vizsgálata PIV/LIF technikával, Konzulensek: dr. Aszódi Attila és Yamaji Bogdán, BME Atomenergetika Tanszék

Grafikus kártyán futtatott PET/CT képalkotás

Cserkaszky Áron, MSc I. évf.

Konzulens: dr. Légrády Dávid, BME Nukleáris Technika Tanszék

A TeraTomo projekt keretein belül az NTI egy PET/CT berendezés fejlesztésében vesz részt több más intézménnyel együtt. A fő célkitűzés a gyors 3D képalkotást lehetővé tevő szoftverek és az ezeket alkalmazó berendezés előállítás.

A munkám során a PET/CT MonteCarlo módszerrel történő modellezését és aképalkotáshoz szükséges tomográfiai rekonstrukciót implementáltam grafikuskártyára az NVIDIA CUDA technológiájának segítségével. Az MC módszerrel elvégzett u.n. előrevetítés által szolgáltatott detektor válaszokat közvetlenül használja fel a rekonstrukció u.n. visszavetítés, mely a képalkotás előtt a feltételezett forráseloszlásból kapott értékek és a tényleges mért értékek összehasonlítása segítségével ad egy jobb becslést a forráseloszlásra. Így az eredmény az előre- és visszavetítések iterálódó lépései során konvergál a valódi forráseloszláshoz.

A dolgozatom lényege az, hogy a képalkotó szoftvert grafikuskártyára írtammal a mai CPU-k teljesítménye nem teszi lehetővé a gyors és megfelelő felbontású 3D rekonstrukciót, így kénytelenek vagyunk a nehezebben programozható, de akár két nagyságrenddel is gyorsabb, a grafikuskártyák számítási magját jelentő GPU-kat (Graphical Processing Unit) használni erre a célra.

A munkám során implementáltam a pozitronemissziós tomográfia számítási modelljét és rekonstrukcióját a CUDA technológia segítségével NVIDIA grafikuskártyákra. Az iteráció mindkét lépése jól illeszkedik a GPU-k nyújtotta párhuzamos architektúrába. Az előrevetítés során a fotonpárokat egymástól függetlenül külön programszál kezeli, a visszavetítés során pedig a vonalválaszok szerint párhuzamos a programom. Így a legfőbb nehézséget a memóriakezelés jelentette, a CPU és GPU architektúra egyéb figyelembe veendő különbsége pedig optimalizációs kompromisszumok megkötését igényelte.

Általános tapasztalataim szerint a nagy aritmetikai sűrűsége törekvés csak kis mértékben határozza meg a GPU programok sebességét, leginkább a memória és regiszter használat optimalizálásával érhető el lényeges javulás, illetve romlás amennyiben adatok bekérésére, tárolására illetve kiadására kényszerülünk. Nagyon sok problémát okozott a globális memória illetve a gyorsítótárazott textúra memória különböző paraméterek esetén való használata, mivel nagyon eltérő tulajdonságokkal rendelkeznek és ez a gyorsítótár és a teljes rendelkezésre álló szabad memória függvényében nagyságrendi különbségeket jelenthet.

A dolgozatom egyik fő témája az iterációs lépések hosszának és mennyiségének optimalizálása az adott idő alatt elvégezhető képrekonstrukció minőségének javítása érdekében. Ehhez szorosan hozzátartozik a különböző fizikai jelenségek és számításigényes műveletek hatásának vizsgálata képminőségre. A valós alkalmazásban fontos, hogy ne órák nagyságrendben legyen mérhető egy mérés rekonstrukciója.

A fejlesztett program jelenlegi verziója képes tetszőleges forráseloszlás figyelembevételével, megadott anyagokat tartalmazó fantomban a fotonpárok útjának pontos végigkövetésére és kiérve egy henger geometriájú detektorokon a koincidenziák figyelembevételével a detektálásra és ezen adatok feldolgozásával az iteratív képrekonstrukcióra, illetve a megadott geometria segítségével a képalkotást elvégezni valódi mért adatok megadásával.

A fúróluk geometriai paramétereinek hatása és azok csökkentése γ - γ szondákra

Elter Zsolt, MSc I. évfolyam

Konzulens: dr. Czifrus Szabolcs, BME Nukleáris Technika Tanszék

Az alkalmazott geofizikai kutatások során az egyik legfontosabb cél megfejteni, hogy mi található a föld alatt. Köztudott, hogy a Föld ismert szén-, illetve kőolajkészletei egyre erősebben csökkennek, valamint manapság már több helyen lép fel vízhiány. Emiatt a mélyfúrési vizsgálatok jelentősége is megnőtt, így érdemes foglalkozni a felhasznált eszközök fejlesztésével, vizsgálatával.

A mélyfúrési geofizika során egyre gyakrabban alkalmaznak nukleáris módszereket. A nukleáris szondák használatának igen nagy előnye az, hogy viszonylag olcsók, és könnyen kezelhetők. Hátrányuk viszont, hogy nehéz kalibrációt végezni rajtuk tág sűrűségintervallumban. Jelen dolgozat is egy geofizikai sűrűségmérő szonda vizsgálatát mutatja be áll. A szonda egy két detektoros γ - γ szonda, mely azt jelenti, hogy a szondában egy γ -forrást és két γ -detektort (például NaI szcintillációs kristályt) helyeznek el.

A γ - γ szondák elméletét már viszonylag régen megalkották, valamint a gyakorlatban is korán megjelentek az első ilyen eszközök. A két detektoros konstrukció valamivel fiatalabb. Az elméleti levezetések és fizikai megfontolások azt mutatják, hogy a detektorok számlálási sebessége, illetve a szondát körülölelő közeg sűrűsége között összefüggés van.

A vizsgálat célszerűségét – a már említett kalibrációs problémákon kívül – az okozza, hogy a szondát fúrólukban kell elhelyezni, ami nagyon erős hatást jelent a detektorok jelében, így a közetsűrűség-számlálási sebesség elméleti összefüggés nem feltétlen teljesül. Ez esetben viszont szükség van korrekciók elvégzésére. A fúrólukokban a legerősebb hatást a lyuk falára, a beomlás ellen elhelyezett béléscső, illetve a lyukba töltött, a mélyben uralkodó nyomásviszonyokat ellensúlyozó fúróiszapok mellett a fúróluk geometriai paramétereik okozzák. Ezalatt értjük azokat az eseteket is, mikor a szonda és a fúróluk helyzete eltérhet az elméleti levezetések során feltételezett ideális helyzettől, mikor az eszköz simul a lyuk falához.

Ezen hatásokat a valóságban csak körülményesen lehet vizsgálni, hiszen rengeteg mérésre lenne szükség, különböző körülmények között, ami nem valósítható meg, mivel egy fúróluk elkészítése, és kiépítése igen költséges feladat. Ehelyett érdemes modellezni a szondát, illetve a fúrólukat. Mivel az adott problémában egy fotonteret kell vizsgálnunk, így a legcélszerűbb a modellezést Monte-Carlo módszerekkel végezni, melynek elmélete már jól kidolgozott. A dolgozat elkészítése során erre a célra Monte-Carlo elven működő MCNP kódot használtam. A kód alkalmas a geometria leírására (jól megfontolt egyszerűsítések, illetve közelítések megállapítása mellett), illetve a számítási idő jelentős lecsökkentésére, különböző, ún. szóráscsökkentő eljárások használatával. A kód használatának másik előnye, hogy bármilyen anyagú közeget vizsgálhatunk. Ezen vizsgálatok elvégzésével a valóságos mérések kiértékelését lehet elősegíteni, illetve könnyíteni. A dolgozatban bemutatott eredmények a gyakorlatban hasznosíthatók a szonda fúrólukban való elfordulásának figyelembe vételénél, illetve egy, a szonda köré szerelhető, a negatív hatásokat csökkentő árnyékolás elkészítésénél.

A HPLWR sokszorozási tényezőjének vizsgálata görbült kazetta esetén

Ferenczy Máté, IV. évf.

Konzulensek: dr. Fehér Sándor és Reiss Tibor, BME Nukleáris Technika Tanszék

Napjainkban a növekvő energiaigény, a fosszilis energiatartalékok csökkenése és az üvegházhatású gázok okozta klímaváltozás a világot alternatív energiatermelési módszerek kidolgozására ösztönzi. A megújuló energiaforrások mellett kiemelt szerepet kap a nukleáris energia minél jobb hasznosítása is, mint szén-dioxid kibocsátásmentes alternatíva.

A ma üzemelő második generációs atomerőműveket fokozatosan helyettesítik a már kidolgozott harmadik generációs típusokkal. Utóbbiakat a kutatási-tervezési fázisban lévő negyedik generációs erőművek fogják követni, melyektől több területen (gazdaságosság, biztonság, hulladéktermelés) is minőségi javulást remélünk. Egy 2002-ben elkészült nemzetközi tanulmány hat fő technológiát jelöl meg, melyek közül az egyik a Szuperkritikus Nyomású Vízhűtéses Reaktor (SCWR, [1]). E reaktortípusnál a hűtőközeg a víz termodinamikai kritikus nyomása felett üzemel ($p_c = 22,1$ MPa). A magas hőmérsékletnek köszönhetően egy ilyen reaktor hatásfoka elérheti a 44%-ot, míg a mai könnyűvízes reaktorok esetén ez az érték 33-35%. További előny, hogy a hűtőközeg halmazállapota folytonosan változik a 280 °C-tól 500 °C-ig való melegítés során, így elkerülhető a forráskrízis, valamint több, a forralóvízes reaktorokban szükséges elem elhagyható. Erre a technológiára épül a HPLWR (High Performance Light Water Reactor) reaktor, illetve az azonos elnevezésű európai projekt, mely a tervezés során felmerülő tudományos problémákat tanulmányozza és a reaktor műszaki kivitelezhetőségét vizsgálja.

TDK munkám a HPLWR reaktor zónájának hőtechnikai tervezéséhez kapcsolódik. A BME NTI és a németországi Forschungszentrum Karlsruhe kutatói egy evaporátor kazetta falának hőmérsékletét, és az inhomogén hőmérséklet-eloszlásból adódó kazettagörbülést szimulálták, ahol a legnagyobb kitérés 4 mm körüli értéknek adódott [2,3]. Dolgozatomban megvizsgálom e görbület hatását a reaktor főbb fizikai paramétereire (elsősorban a sokszorozási tényezőjére), illetve részletes paramétervizsgálattal azonosítom azt a tartományt, ahol ennek az effektusnak jelentős szerepe van. A szimulációkat az MCNP nevű Monte Carlo programmal végeztem. A szükséges bemeneti fájlok létrehozására és az eredmények feldolgozására C nyelvű programokat írtam.

Irodalom:

1. Generation IV International Forum, „Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems”, *Report*, (2002).
2. Reiss T., Schulenberg T., Starflinger J., „Bending of the HPLWR Outer Assembly Box”, *Internal report*, (2008).
3. Heinecke J., „Subchannel Analysis of Mixing Inside Assemblies”, *Thermal Core Design for the HPLWR – Year 1, HPLWR Phase 2, Deliverable D2-01-Y1*, pp. 128-143, (2007).

Nagykiégésű, felfúvódott VVER üzemanyagköteg hűthetőségének számítógépes vizsgálata

Gregus Zoltán, BSc IV. évf.

Konzulens: Csige András, BME Nukleáris Technika Tanszék

Az elkövetkezendő évtizedekben az atomerőművek szerepe a világ energiaellátásában a jelenleginél is nagyobb hangsúlyt kap. Az egyre kifinomultabb műszaki eljárásoknak és technológiáknak köszönhetően a nukleáris energiában rejlő potenciált jobban kihasználhatjuk, javuló biztonsági mutatók mellett. Jól mutatja ezt a folyamatot az a tendencia, hogy az üzemanyagciklus világszerte hosszabbodik, a világ atomerőműveiben egyre nagyobb kiégési szintet engedélyeznek az üzemanyagra. A jövőben alkalmazott nagykiégésű fűtőelemek üzemzavari viselkedését az OECD Halden Reactor Project vizsgálta. A kísérletek megállapították, hogy a 80-90 MWnap/kgU kiégésű pálcák esetén a felfúvódás során a pasztillák összetöredeznek, és a törmelék a felfúvódás feletti részből visszahullva a felfúvódás helyén gyűlik össze. Ez a jelenség lokális teljesítménycsúcsot eredményez a köteg azon szakaszán, ahol a felfúvódás miatt az átáramlási keresztmetszet egyébként is jelentősen csökkent. A dolgozat célja a jelenség irodalmának vizsgálata, a fűtőelem köteg hűthetőségének igazolása az APROS termohidraulikai rendszerkód segítségével. Az MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézetben épített kísérleti berendezést modellezve számítógépes úton is igazolható a lokális teljesítménycsúccsal rendelkező, felfúvódott pálcaszakasz hűthetősége még alacsony hűtőközeg forgalmak esetén is, illetve a számított és mért eredményeket összevetve megállapítható a termohidraulikai kód alkalmassága a folyamat modellezésére.

Folyékony ólom-bizmut eutektikum fűtött henger körüli áramlásának CFD vizsgálata

Jeszencsák Péter, BSc IV. évf.

Konzulensek: dr. Aszódi Attila, BME Atomenergetika Tanszék
és Kiss Attila, BME Nukleáris Technika Tanszék

A negyedik generációs ólomhűtésű atomreaktorok hőtechnikai, termohidraulikai tervezésének fontos eszközei lehetnek a számítógépes numerikus áramlástani (CFD) kódok. A jelenleg rendelkezésre álló CFD eszközeink a legtöbb ipari esetben bizonyítottan képesek a lejátszódó hő- és áramlástani folyamatok modellezésére [1]. A folyékony ólom és ólom-bizmut eutektikum esetében azonban nem áll még rendelkezésre akkora terjedelmű validációs kísérleti tanulmány, mely alapján ki lehetne jelenteni, hogy kezünkben vannak az ólomhűtésű reaktorok tervezése során alkalmazható CFD eszközök.

A folyékony ólom és ólom-bizmut eutektikum fizikai tulajdonságai igen eltérőek a mérnöki gyakorlatban megszokott hűtőközegek – például víz, levegő – tulajdonságaihoz képest. Ezen tulajdonságaiból adódóan számos nehézségbe ütközhetünk az ilyen közegek CFD modellezése során. Ezen tulajdonságokat a korábbiakban TDK-dolgozat formájában részletesen ismertettük. Jelen dolgozatban egy konkrét mérési eset validációs számításait végezzük el, teljesszűrésen vizsgálva a folyékony ólom és ólom-bizmut eutektikum áramlási- és hőtani sajátosságait, és az ebből fakadó modellezési sajátosságokat. Emellett röviden foglalkozunk a CFD modellezések – az ólom-bizmut eutektikum szempontjából – legsarkalatosabb „részegységének”, a turbulencia modellek áttekintő ismertetésével.

A validációs vizsgálatokhoz kiválasztott mérést a német Forschungszentrum Karlsruhe (FZK) végezte. A mérés során egy függőlegesen elhelyezett csőben a csővel abban koaxiálisan elhelyezett hengert fűtöttek. A fűtött henger körül függőlegesen felfelé ólom-bizmut eutektikum áramlott. Az FZK a méréseket cikk [2] formájában publikálta. Jelen dolgozatban az általunk készített validációs CFD számítások eredményeit összehasonlítjuk az FZK által végzett számítások eredményeivel is.

Irodalom:

1. ANSYS, „ANSYS CFX-Solver, Release 11.0 Theory Guide”, (2006).
2. A. Batta, J. Zeininger, R. Stieglitz, “Experimental and Numerical Investigation of Turbulent Liquid Metal Heat Transfer along a Heated Rod in Annular Cavity” *International Congress on Advances in Nuclear Power Plants*, Tokyo, Japan. (2009).

Gamma-kamera képjellemzőinek függése a kollimátor-rendszer paramétereitől

Kovács Noémi, MSc I. évf.

Konzulens: dr. Czifrus Szabolcs, BME Nukleáris Technika Tanszék

A TDK dolgozatom keretében a nukleáris medicinában alkalmazott SPECT (Single Photon Emission Tomography) berendezéssel foglalkozom, és részletes vizsgálatokat folytatok a berendezés detektorrendszerének modellezésével és a képalkotásának szimulációjával kapcsolatban.

A SPECT eljárás a nukleáris medicina egyik diagnosztikai módszere, mely során a beteg testébe bevitt gamma-sugárzó radioaktív izotóp térbeli eloszlását egy vagy több (álló vagy mozgó) Anger kamerával (más néven gamma-kamerával) vizsgálják. A pontos diagnózis érdekében elengedhetetlen, hogy jól ismerjük a kamera fizikai jellemzői és a készített kép jellemzői (felbontóképesség, kontraszt, jel-zaj viszony) közötti kapcsolatokat. Ennek a megismerését nagyban segítik a számítógépes szimulációk, amik általában Monte-Carlo módszerre épülnek. A figyelmemet különösképpen a csillagosodás jelenségének vizsgálatára fordítottam. Az effektus csillapítása az úgynevezett hidegpontok felderítését könnyítheti meg, hiszen a pontforrás képének csillagformát öltő alakja olyan zajt ad az alacsony beütésszámú helyekre, amely nagyban megnehezíti a forrásmentes helyek felismerését egy gamma-sugárzó területen. Ezek a problémák például pajzsmirigy vizsgálatok során merülnek fel. A helyes diagnózis felvételéhez szükséges egy olyan gamma-kamera megkonstruálása, melyben a csillagosodás minimálisan jelenik meg.

A modellemet MCNP és saját kiegészítő program segítségével építettem fel. A Monte-Carlo módszer lényege, hogy a sugárzást véletlenszerű események egymás utániságának tekintjük, amit véletlenszámok sorsolásával modellezünk. Elegendően sok részecske útját követve, a valóságnak megfelelő eloszlást kapunk. Több lehetséges modellel próbálkoztam, és azok eredményeit összehasonlítottam. Elsőként egy, a szcintillációs kristályban létrehozott rácsban detektáltam a beérkező fotonokat. Másodikként az MCNP ptrac funkcióját kihasználva végigkövettem a részecskék útját, és figyelembe véve azokat az eseményeket, melyek hatására a kristályban energia leadás történik, meghatároztam a detektor által érzékelt helyét a fotonok becsapódásának. Ahhoz, hogy ez az utóbbi gyorsan, és jól működjön, szükséges volt magának az MCNP programnak a kismértékű módosítása. Így létrejött egy olyan célprogram, mely kifejezetten a gamma-kamera vizsgálatára lett optimalizálva a gyorsabb, hatékonyabb szimuláció érdekében.

Szimulációkkal az Anger kamera szabadon választható paramétereit vizsgáltam, hogy azok hogyan befolyásolják a képalkotás jellemzőit, és a csillagosodás megjelenését. A szimulációkból egyértelműen látszik, hogy az optimális értékek meghatározása csak konkrét alkalmazásokra és csak kompromisszumokkal lehetséges, mert a képjellemzők egymás ellen dolgoznak.

PET berendezés modellezésére alkalmas Monte-Carlo program kidolgozása és verifikációja

Lantos Judit, V. évf.

Konzulens: dr. Czifrus Szabolcs, BME Nukleáris Technika Tanszék

A PET (pozitron-emissziós tomográfia) olyan funkcionális képalkotó eljárás, amely pozitron sugárzó izotópokkal jelölt molekulák segítségével képes a szervezet biokémiai folyamatait ábrázolni. Így az egyes betegségek még a szervek anatómiai elváltozása előtt, azok működésének megváltozásából diagnosztizálhatók.

Az irodalomból megállapítható, hogy PET berendezések szimulációját legelterjedtebben a GEANT4 alapú GATE Monte-Carlo kód segítségével végzik, melyet speciálisan orvosi diagnosztikai berendezések fizikai viselkedésének vizsgálatára fejlesztettek ki. A GEANT4 mellett az MCNP programcsalád az egyik legelterjedtebb általános célú Monte-Carlo kód, mely számos területen validált, s nemzetközileg referenciaként szolgál. Hátránya, hogy a bomlások időbeliségét nem kezeli, így közvetlenül nem alkalmas PET berendezések szimulációjára, hiszen nem értelmezi az aktivitás, a holtidő, a koincidencia-esemény fogalmát.

A dolgozat célja, hogy az MCNP által szimulált nyers kölcsönhatási adatok utólagos feldolgozásával alkalmassá tegyük ezt a kódot PET szimulációkra. Ehhez felépítettük egy kisállat-PET berendezés MCNP modelljét, illetve kifejlesztettünk egy C nyelvű kódot, mely többek között azonosítja a szcintillációs események helyét, modellezi a detektorok bénítható holtidejét illetve az energia- és idődetektálás bizonytalanságából adódó szétkenődést, kiválogatja a koincidencia-eseményeket.

A dolgozatban ismertetjük az MCNP modellt, illetve az adatfeldolgozó láncot. Vizsgáljuk egy adott berendezés single és koincidencia rátáját üres látómezejű és Na-22 pontforrást tartalmazó esetben. Rekonstruáljuk egyszerű források (pont és vonal), valamint egy matematikai fantom képét. A National Electrical Manufacturers Association által kifejlesztett NEMA NU 4 szabvány mérőszám [1] elvei alapján szimuláljuk az axiális érzékenységprofil, illetve patkány fantom esetén a berendezés NEC (noise equivalent count rate, zaj-ekvivalens számlálási sebesség) értékét. A modell és a szűrőprogram verifikálásához az eredményeket összehasonlítjuk GATE-tel végzett szimulációs és valós mérési eredményekkel.

Irodalom:

1. National Electrical Manufacturers Association. NEMA Standards Publication NU 4-2008, 2008.

A GFR600 üzemanyagciklusának elemzése

Perkó Zoltán, VI. évf.

Konzulens: dr. Fehér Sándor, BME Nukleáris Technika Tanszék

A hat IV. generációs atomerőmű-konceptió egyike a gázhűtéses gyorsreaktor (GCFR). A tervek mind gyors neutron-spektrummal, zárt üzemanyagciklussal rendelkező, gázzal hűtött reaktorokra vonatkoznak, melyek közül referencia reaktornak a 600MW termikus teljesítményű, hélium-hűtésű, a Francia Atomenergia Ügynökség (CEA) által tervezett GFR600-as reaktort választották [1].

Ezen reaktor üzemanyagkazettái lemezes elrendezésűek, bennük a hasadóanyag UPuC formájában van jelen. Mivel a reaktor gyors neutronspektrummal rendelkezik, alkalmas lehet más, elsősorban a mai könnyűvízes reaktorok kiégett üzemanyagában található másodlagos aktinidák (MA) elhasítására, érdemes ezért megvizsgálni, milyen hatásai és potenciális előnyei vannak ezen MA-k üzemanyagba keverésének.

A tervek szerint a GFR600 teljes aktinida újrahasznosítással működne: az új ciklus üzemanyagának gyártásakor a saját kiégett üzemanyagából hűtés és reprocessálás után nyert minden aktinidát felhasználnának. Fontos így annak elemzése is, hogy különböző üzemanyag-felhasználási stratégiák mellett hogyan alakul a reaktor izotópháztartása (különös tekintettel az U és Pu izotópok, illetve a MA-k mennyiségének változására), reaktivitása, továbbá más fontos paraméterei az egymást követő ciklusok során.

TDK munkám során 3 különböző üzemanyag-felhasználási stratégiát vizsgáltam meg:

- Az urán-stratégia során az új üzemanyag gyártásakor kizárólag uránt keverünk a reprocessált aktinidákhoz.
- Az állandó másodlagos aktinida tartalom stratégiája során annyi MA-t keverünk az üzemanyagba, amennyit az előző ciklus során elhasítottunk, a hasadóanyag hiány fennmaradó részét pedig uránnal pótoljuk.
- Az állandó reaktivitás stratégiája mellett MA-k és urán olyan keverékét adjuk a reprocessált aktinidákhoz, hogy a reaktor reaktivitása a ciklusok elején ugyanannyi legyen (így értelmezve az üzemanyagciklus zártságát).

Az eredmények alapján elmondható, hogy az első két stratégia kiválóan működik: egyrészt a reaktor kritikussága biztosítható tisztán urán felhasználásával több cikluson keresztül, másrészt folyamatosan lehetséges a más reaktorokból származó másodlagos aktinidák elhasítása. A harmadik stratégia során azonban nehézségekbe ütközünk, további, pontosabb és bonyolultabb modellekre van szükség ahhoz, hogy a reaktor kezdeti reaktivitásának üzemanyag összetételtől való függését meghatározzuk [2].

Irodalom:

1. Conti, A., Bosq, J.C.: „600MWth GFR cores containing plates CERCER”, CEA, (2004).
2. Perko, Z.: „Fuel cycle analysis of GFR600”, TU Delft, Reactor Institute Delft, Physics of Nuclear Reactors, Internal Report, (2009).

Függőleges fűtött pálca körül kialakuló természetes cirkuláció vizsgálata PIV/LIF technikával

Szijártó Rita, MSc I. évf.

Konzulensek: dr. Aszódi Attila és Yamaji Bogdán, BME Atomenergetika Tanszék

A BME NTI Oktatóreaktor zónatartójának szerkezeti kialakítása lehetővé teszi, hogy az aktív zóna hűtése természetes cirkulációval is működhessen. A reaktorban 369 db pálca függőlegesen, 17 mm rácsállandójú négyzetrácsban helyezkedik el. A pálcák átmérője 10 mm, aktív hossza 500 mm, melyet felül és alul 100-100 mm hosszú inaktív hossz határol. A reaktortartályban állandóan jelenlévő 8,5 m³ víz biztosítja a biológiai védelmet és a pálcák hűtését.

A BME Nukleáris Technikai Intézetében kutatás folyik a fűtőelempálca körül kialakuló természetes áramlás kísérleti vizsgálatára. Az elkészült kísérleti berendezés tartalmazza az oktatóreaktor fűtőpálcájának 1:1 arányú modelljét, melynek teljesítménye 0-500 MW között változtatható. A pálca függőlegesen helyezkedik el egy 1 m magas üvegakváriumban, melynek méretezése az oktatóreaktor adatain alapszik.

A kísérletek során kétdimenziós áramlási és hőmérsékleti képet vizsgáltunk PIV (Particle Image Velocimetry) és LIF (Laser Induced Fluorescence) technikával.

A PIV mérés technika az áramlás kétdimenziós síkjában képes meghatározni a sebességprofil. A közeghez apró szemcséket kevernek, melyek homogénean vegyülnek el a vízben. A közeget adott síkban lézerpulzusok megvilágításával és a szemcséken szóródott fény detektálásával a szemcsék sebessége meghatározható.

A LIF mérés hőmérsékleti profil felvételére képes kétdimenziós síkban. A vízhez fluoreszcens anyagot kevernek, és lézerral világítják meg a detektálni kívánt területet. A fluoreszcens anyag a lézerefényt elnyelésével gerjesztődik, majd a hőmérséklettel arányos intenzitású fény kibocsátása közben alapállapotba jut. A kibocsátott fényintenzitás detektálásával a közeg hőmérséklete mérhető.

A mérések kiegészítéseként elkészült a kísérleti berendezés CFD (Computational Fluid Dynamics) modellje az ANSYS CFX program segítségével. A szimulációk során a kísérletek körülményei reprodukálódhatnak, így lehetővé válik a kísérletek és a számítógépes modellezés összehasonlítása, végeredményben a CFD kód validálása. Ennek eredményeként a továbbiakban a modellel bonyolultabb esetek és geometriák és vizsgálhatóvá válnak.

Irodalom:

1. M. Raffel, C. Willert, S. Wereley, J. Kompenhans, „Particle Image Velocimetry (A Particle Guide)”, *Springer, Berlin, Heidelberg, New York* (2007).
2. BME Oktatóreaktor Végleges Biztonsági Jelentés, NTI – VBJ – 01 - 1.1 / 2008.

FÚZIÓS BERENDEZÉSEK SEKCIÓ

Helyszín: D ép. II. em. 224.

Zsúri Elnök: dr. Veres Gábor, Tudományos Főmunkatárs
MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet
Plazmafizikai Főosztály

Zsúri Tagok: Bede Ottó, Okl. Gépészmérnök, Osztályvezető
MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet
Plazmafizikai Főosztály

dr. Szalóki Imre, Tanszékvezető Helyettes, Egyetemi Docens
BME Nukleáris Technika Intézet, Atomenergetika Tanszék

08³⁰ Guszejnov Dávid (II. BSc), A COMPASS tokamakra építendő atomnyaláb diagnosztika tervezésének támogatása szimulációk segítségével
Konzulens: Pokol Gergő, BME Nukleáris Technika Tanszék

08⁵⁵ Lampert Máté (I. MSc), Az EDICAM intelligens CMOS videokamera vizsgálata
Konzulensek: dr. Kocsis Gábor és dr. Zoletnik Sándor, MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet ; dr. Légrády Dávid, BME Nukleáris Technika Tanszék

09²⁰ Lazányi Nóra (III. BSc), Pellet által keltett tranziens MHD módusok toroidális módusszám-meghatározása wavelet alapon, Konzulens: Pokol Gergő, BME Nukleáris Technika Tanszék

09⁴⁵ Magyarkuti András (II. BSc), Az ASDEX Upgrade tokamakon detektált plazmaközepi MHD módusok frekvenciamodulációjának kinyerése lágy röntgen jelekből
Konzulensek: Pokol Gergő és dr. Pór Gábor, BME Nukleáris Technika Tanszék

10¹⁰ Náfrádi Gábor (VI.), Eseménydetektálás korrelációs együtthatók számításával digitális kamera pixeleinek idősorából, Konzulens: dr. Pór Gábor, BME Nukleáris Technika Tanszék

10³⁵ Réfy Dániel Imre (VI.), A TEXTOR tokamak atomnyaláb diagnosztika optika modelljének integrálása a RENATE szimulációs programba
Konzulensek: Pokol Gergő és dr. Pór Gábor, BME Nukleáris Technika Tanszék

11⁰⁰ Bardóczi László (III. BSc), Sebességmérési módszerek plazma turbulenciában
Konzulens: dr. Zoletnik Sándor, MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet

11²⁵ Aradi Mátyás (III. BSc), Ionpályák numerikus számítása TOKAMAK mágneses terében, Konzulensek: dr. Berta Miklós, Széchenyi István Egyetem Győr, Fizika és Kémia Tanszék és dr. Bencze Attila, MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet

A COMPASS tokamakra építendő atomnyaláb diagnosztika tervezésének támogatása szimulációk segítségével

Guszejnov Dávid, BSc II. évf.

Konzulens: Pokol Gergő, BME Nukleáris Technika Tanszék

A COMPASS (COMPact ASSEmblY) tokamakot 2008-ban az angliai Culhamból Prágába szállították, ahol újbóli üzembe helyezése után többek között a plazmaszéli fizikai folyamatokat fogják részletesen tanulmányozni [1], aminek részletesebb megismerése elengedhetetlen a fúziós energiatermelés jövőbeli alkalmazásához. Ehhez nélkülözhetetlen az atomnyaláb diagnosztika (Beam Emission Spectroscopy – BES) használata, amit a COMPASS számára a KFKI-RMKI épít meg. Ennek lényege, hogy a plazmába egy nagyenergiájú atomnyalábot lönek, aminek atomjai a plazmarészecskékkel ütközve gerjesztődnek, majd spontán emisszió során karakterisztikus hullámhosszon fényt bocsátanak ki, amit a diagnosztika optikai rendszere érzékel. Az így rögzített nyalábmenti intenzitás-eloszlásból (fényprofilból) visszakövetkeztethető a sűrűség térbeli és időbeli eloszlása.

Munkám során a diagnosztika tervezésének különböző fázisait segítettem a BES diagnosztikák szimulációjára készített RENATE kód [2] segítségével. Az első szimulációk során kapott fényprofilok alapján meghatároztam a diagnosztikák által megfigyelendő nyalábszakaszt, majd a szimulációs kód segítségével kiszámítottam a lehetséges működési paraméterek esetén a detektorokat érő fotonszámokat. Ez a diagnosztika által használandó detektortípus kiválasztásánál egy fontos szempont, hisz a végzett mérések pontossága szempontjából lényeges, hogy az emittált fény detektálásához olyan detektorokat használjunk fel, amelyek a lehetséges mérési körülmények között a lehető legkisebb hibával dolgoznak. A kód által adott eredmények pontosságának megismeréséhez a RENATE kódot validáltam a TEXTOR (Tokamak EXperiment for Technology Oriented Research) tokamakon végzett mérés adatainak felhasználásával, és ezen eredményeket figyelembe vettem a COMPASS tokamakra végzett szimulációk interpretálásánál. Az így kapott eredmények alapján megállapítottam, hogy az adott mérési paraméterek esetén a lehető legkisebb zaj/jel arányú, a BES diagnosztikához használható detektortípus a lavina fotodióda (APD) lenne, ami közel 0,002-0,01 zaj/jel aránnyal lenne képes dolgozni.

Irodalom:

1. R.Pánek, O.Bilyková, V.Fuchs, M.Hron, P.Chráska, P.Pavlo, J.Stöckel, J.Urban, V.Weinzettl, J. Zajac, F.Žáček : „Reinstallation of the COMPASS Tokamak in IPP ASCR”, *Czechoslovak Journal of Physics*, Vol.56 B125-127
2. Pusztai I.: „Fúziós berendezések atomnyaláb diagnosztikájának modellezése”, *diplomamunka*, BME 2007

Az EDICAM intelligens CMOS videokamera vizsgálata

Lampert Máté, MSc I. évf.

Konzulensek: dr. Kocsis Gábor és dr. Zoletnik Sándor, MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet ; dr. Légrády Dávid, BME Nukleáris Technika Tanszék

A mai fizikai mérések megkövetelik, hogy nagy idő és térbeli felbontású mérőeszközöket fejlesszenek ki. A kereskedelmi forgalomban már kaphatók olyan eszközök, melyek megfelelő felbontással mintavételeznek, viszont a keletkezett nagy mennyiségű (tipikusan terabyte) adat tárolása és feldolgozása sokszor problémába ütközik.

A plazmában található atomok és ionok vonalas és folytonos sugárzást bocsátanak ki a látható hullámhossz tartományban, így azt fényképezve méréseket készíthetünk. Ha ez alatt egy folyamatos üzemű gyors (megaframe/s) kamerát használunk jó felbontással, akkor a generált adatmennyiség olyan nagy, hogy a tárolása és a későbbi feldolgozása nehéz, időigényes feladat.

Az EDICAM (Event Detection Intelligent Camera) képes felismerni előre definiált eseményeket, majd elvégezni a hozzá definiált utasítást. Így képes például repülő objektumokat felismerni, majd lekövetni azt, vagy egy intenzitásküszöb túllépése esetén biztonsági trigger jelet küldeni. Ezen kívül képes arra is, hogy csak a kiértékelés szempontjából fontos képeket mentse el, ezzel megkönnyítve a tárolást és a feldolgozást.

A munkám első felében a videódiagnosztikák alapvető felépítésével és az EDICAM rendszer működésével ismerkedtem meg. A második felében felépítettem egy univerzális mérőkörnyezetet, melynek segítségével bármilyen kamera tesztelése lehetséges, és így meghatározhatóak a fontosabb paraméterei. A méréseim során az EDICAM első prototípusának fejegységét vizsgáltam a kiépített mérési összeállítás segítségével.

Irodalom:

1. A. Szappanos és társai, *Fusion Engineering and Design* **83** 370–374, 2008

Pellet által keltett tranziens MHD módusok toroidális módusszám-meghatározása wavelet alapon

Lazányi Nóra, BSc III. évf.

Konzulens: Pokol Gergő, BME Nukleáris Technika Tanszék

Napjaink növekvő energiaigénye miatt egyre nagyobb szükség van tiszta és nagy mennyiségben rendelkezésre álló energia előállítására, melynek egyik lehetséges módja a fúzió, azaz a kis rendszámú atommagok egyesítésével nyerhető energia. Energianyereség és kivitelezés szempontjából a deutérium és trícium reakciója a legmegfelelőbb, melyben ^4He és egy neutron keletkezik 17,6 MeV energia-felszabadulás mellett. A működés során fogyó deutériumot és tríciumot fagyasztott állapotban, pelletként lövik be a plazmába, ami tranziens perturbációkat okoz, és gyakran nagyobb instabilitásokhoz vezet, ezért fontos a perturbációk térbeli struktúrájának ismerete. Mágneses összetartású berendezésekben (pl. tokamak és sztellarátor) a plazmához közeli kis mágneses szondákkal, melyek jó felbontással érzékelik a mágneses tér időbeli változását, érzékelhető a perturbáció térbeli struktúrája, melyet toroidális és poloidális módusszámokkal jellemzünk.

Dolgozatomban a garchingi ASDEX-Upgrade tokamak (AUG) toroidális síkban elhelyezett mágneses szondáinak jeleit vizsgáltam, a kiértékelést pedig wavelet alapú (már rendelkezésre álló) kiértékelő programokkal végeztem, melyeket helyenként tovább is fejlesztettem. A wavelet alapú jelfeldolgozás [1] tranziens jelek esetén előnyös, mivel más technikákkal szemben itt nem átlagoljuk ki (tüntetjük el) a jelenség időfejlődését. Ezen kiértékelő programok segítségével elkészítettem az egyes szondák által mért skálagramokat (az idő-frekvencia síkon waveletek segítségével számolt energiasűrűség-eloszlásokat), kiszámítottam a wavelet minimum és átlagos wavelet koherenciát, majd különböző feltételek mellett (pl. adott koherencia vagy energia limit feletti módusok) ábrázoltam a számított módusszámokat az idő-frekvencia síkon a [2] cikkben végzett feldolgozáshoz hasonlóan.

Feladatomban az AUG két olyan kisülésének vizsgálata volt, ahol az egyikbe tiszta (csak deutériumot tartalmazó), míg a másikba dopolt (szénnel szennyezett deutérium) pelleteket lőttek. Az összes szonda skálagramjának vizsgálatával megállapítottam, hogy mind az 5 toroidális szonda jól működött, így jeleiket felhasználtam a későbbi számításokban. A részletes elemzés nem mutatott jelentős különbséget a kétféle pellet által keltett perturbációkban. A pellet előtt és után minden esetben jelen volt egy 70-90 kHz közötti $n = -6$ toroidális módusszámú módus, mely az [2] cikk értelmében valószínűleg TAE (toroidicitás által okozott Alfvén-sajátmódus), illetve a pelletbelövés ideje alatt mindkét esetben megfigyelhető volt egy 100 kHz körüli nagy energiájú módus, melynek módusszáma szintén $n = -6$ volt. A fent említett módusokon kívül más koherens struktúrákat is megfigyeltünk, de ezek valószínűleg nem állnak kapcsolatban a pelletekkel.

Irodalom:

1. S. Mallat, „A wavelet tour of signal processing”, *Academic Press, 2nd edition* (2001).
2. T. Szepesi, S. Kálvin, G. Kocsis, K. Lackner, P.T. Lang, M. Maraschek, G. Pokol, G. Pór, „Investigation of pellet-driven magnetic perturbations in different tokamak scenarios”, *Plasma Physics and Controlled Fusion*, accepted (2009).

Az ASDEX Upgrade tokamakon detektált plazmaközei MHD módusok frekvenciamodulációjának kinyerése lágy röntgen jelekből

Magyarkuti András, BSc II. évf.

Konzulensek: Pokol Gergő és dr. Pór Gábor, BME Nukleáris Technika Tanszék

A fúzió során egy deutérium és egy trícium atommag egyesül egy hélium atommaggá, a folyamat közben nagy energia és egy neutron szabadul fel, ezt az energiát lehetne hasznosítani például elektromos áram előállítására. Mivel a fúziós erőműben lejátszódó folyamat végterméke nem radioaktív, így egy hatékony és környezetbarát energiaforrás lehet majd a jövőben.

A fúzió létrejöttéhez körülbelül 10^8 K hőmérsékletre van szükség, ekkora hőmérsékleten a reaktorban lévő anyag plazma halmazállapotba kerül. Az ASDEX Upgrade tokamak (AUG) egyike azon fúziós reaktoroknak, melyeken a plazma viselkedését kutatják. A plazmában elektromosan töltött részecskék vannak jelen, mozgásuk során fékezési sugárzást bocsátanak ki, aminek a frekvenciája a plazma közepén a lágy röntgen tartományba esik. A diagnosztikai berendezések ezt a sugárzást mérik, ebből lehet visszakövetkeztetni a plazma hőmérsékletére, sűrűségére az adott pontban. Tipikusan a lágy röntgen diagnosztikával vizsgált folyamat az úgynevezett fűrészfog oszcilláció, melynek során periodikusan energia és anyag lökődik ki a plazma belsejéből a külsőbb rétegekbe. Papp Gergely korábbi vizsgálatának eredménye, hogy a fűrészfog összeomlást egy alacsony frekvenciás módus megjelenése előzi meg [1]. A fűrészfog oszcilláció további vizsgálatára lenne lehetőség, ha pontosan ismernénk a frekvencia időbeli változását. Ebből a célból írtam egy programot, ami kinyeri a lágyröntgen jel időbeni frekvenciaváltozását.

A lágyröntgen jelet a rövid idejű Fourier transzformáció (STFT) segítségével bontottam fel az idő-frekvencia síkon, majd ábrázoltam az ebből számolt idő-frekvencia energia-sűrűség eloszlást, a spektrogramot. A pillanatnyi frekvenciát a spektrogram lokális maximuma határozza meg [2], tehát a frekvenciamoduláció kinyeréséhez a spektrogram gerincét kellett megkeresnem egy megfelelő algoritmus segítségével. A gerinckeresés egy módja, hogy minden időpillanatban kiválasztom a spektrogram legnagyobb értékét, azonban a detektált lágy röntgen jelek tartalmaznak valamekkora zajt is, ami jelentősen eltérítheti ezt a gerinckereső algoritmust. Végül P. Varela cikkének [3] ötletéből kiindulva egy gráfelméleti algoritmus segítségével próbáltam gerincet keresni.

A gráfelméleti algoritmus lényege, hogy a spektrogram minden pontját egy gráf egy csúcsának felelteti meg. Az időben szomszédos csúcsok között éleket hoz létre, melyek súlya két tag összegeként áll elő. Az első tag értéke arányos a két csúcsnak a spektrogramon megfelelő két pont frekvenciabeli távolságával, a második tag pedig fordítottan arányos az amplitúdóval a spektrogram azon pontjában, amelynek megfelelő csúcsba mutat az adott él. Végül legrövidebb utat keres az így létrehozott gráfban.

Munkám során teszteltem a gerinckereső algoritmust, meghatároztam a paraméterek ideális értékeit, majd a program segítségével sikerült kinyerni az időbeli frekvenciamodulációt az AUG-on mért valós lágy röntgen jelekből.

Irodalom:

1. Papp Gergely: „Az ASDEX Upgrade tokamak fűrészfog oszcillációihoz kötődő MHD módusainak vizsgálata” *diplomamunka* BME 2009
2. Stéphane Mallat: „A wavelet tour of signal processing.” Academic Press, second edition 1998
3. P.Varela: „Automatic time-frequency analysis for plasma density profile evaluation from microwave reflectometry” *Doktori dolgozat*, Universidade Técnica de Lisboa 2002

Eseménydetektálás korrelációs együtthatók számításával digitális kamera pixeleinek idősorából

Náfrádi Gábor, VI. évf.

Konzulens: dr. Pór Gábor, BME Nukleáris Technika Tanszék

A munka célja fúziós és egyéb sugárzással terhelt környezetben használt digitális kamera sugárkárosodásának a vizsgálata, a kamera saját készítésű statikus képei alapján. Ezekhez a vizsgálatokhoz egy saját készítésű MATLAB programot használunk, melyet a KFKI RMKI-ban fejlesztett EDICAM gyorskamera sugárkárosodási vizsgálatai során készült képeken futtattunk.

A program célja események detektálása kamera képeken. A program digitális kamera statikus képeivel dolgozik. A képeknek ismert a készítési időpontja. Az egyes képek egy-egy mátrixként foghatók fel, ahol minden mátrixelem a digitális kamera egy pixelének az értékét reprezentálja a kiolvasás pillanatában. A készítési időpontok szerinti sorba rendezés után, egy 3 dimenziós tömbbe töltjük a képek mátrixát, ahol az első két dimenzió a mátrix két koordinátája, a harmadik az idő koordináta. A harmadik koordináta mentén vizsgálva a tömb elemeit az egyes pixelek idősorait kapjuk meg. A pixel idősorok közti korrelációs együtthatókat [1] kiszámítva és ezekből mátrixot képezve, megkaphatjuk a korrelációs együttható mátrixát. Mivel a korrelációs mátrix egy eleme csak két pixel idősorai között ad információt ezért bevezettük az úgynevezett átlagos korrelációs együtthatót, ami a korrelációs együttható mátrix sorain vagy oszlopain vett átlagolást jelenti a diagonális elem kihagyásával. Továbbá számítjuk az átlagos korrelációs együttható szórását is. A korrelációs együtthatók számítását háromféle módon végeztük: a képen csak egy oszlopba eső pixelek idősorai közt, a képen csak egy sorba eső pixelek idősorai közt, egy kiterjedt téglalap tartomány összes pixele közt. Az eseménydetektálás egy diszkriminációs szint beállításával történhet, vagy ábrázolva az átlagos korrelációs együtthatókat és a szórásukat, mint egy képet, egy alkalmas alakzatfelismerő eljárással is történhet. Az eddig ismertetett módon az esemény helyét tudjuk megállapítani a képeken. Az esemény kezdeti és végső időpontjának megállapításához az idősorokon csúsztatott számítások szükségesek.

A tesztelést az EDICAM már említett sugárkárosodási vizsgálatai során készült képeim végeztük. A kamera képek preparálása után megállapítottuk, hogy a program, paramétereinek a detektálandó eseményhez történő illesztése után, alkalmas ilyen események helyének detektálására. Az is kiderült, hogy a módszer segítségével lehetne egy „beragadt pixel” kereső eljárást is készíteni. Ehhez egy külső fényforrásra is szükség van, mellyel megvilágítva a kamerát a „normális pixelek” nagyobb intenzitással világítanak, míg a „beragadtak pixelek” maradnának az előző szinten, és ez az átlagos korrelációs mátrixban kimutatható.

Irodalom:

1. Szatmáry Zoltán: „Mérések kiértékelése” *Egyetemi jegyzet*, Budapest 2005, 55. oldal

A TEXTOR tokamak atomnyaláb diagnosztika optika modelljének integrálása a RENATE szimulációs programba

Réfy Dániel Imre, VI. évfolyam

Konzulensek: Pokol Gergő és dr. Pór Gábor, BME Nukleáris Technika Tanszék

A mágneses összetartású plazmák tipikusan külső régiói vizsgálatának egyik módszere az úgynevezett nyaláb emissziós spektroszkópia (Beam Emission Spectroscopy – BES). A mérés lényege az, hogy megfelelő optikai rendszer és detektor(ok) segítségével fotonokat detektálunk, melyek a nyalábatomok és a plazmarészecskék ütközése során fellépő gerjesztődés utáni spontán emissziójából származnak. A rögzített fényprofil (emisszió nyaláb menti eloszlása) alapján következtethetünk bizonyos plazmaparaméterek tér és időbeli eloszlására, ehhez viszont a berendezés, az atomfizikai folyamatok és a megfigyelés teljes modellezése szükséges.

A megfigyelőrendszer régi modellje megfelelt egy camera obscura-nak, azaz egy idealizált, pontszerű detektort feltételezett. A valóságban a TEXTOR tokamak BES diagnosztikájának megfigyelőrendszere egy összetett optikai rendszert és 1×3 cm-es APD (Avalanche Photo Diode) detektorokból álló detektorsort is tartalmaz, mely nem tekinthető pontszerűnek. A detektorok által látott tartományok átfednek egymáson, valamint a megfigyelt tartomány különböző helyeiről kiinduló fotonok detektálási hatásfoka is helyfüggő. A fentebb vázolt pontszerű detektor közelítésben ezek az effektusok nem vehetőek figyelembe, ezért egy új modell kifejlesztése vált szükségessé. Rendelkezésünkre állt a megfigyelőrendszer optikai terve, amelyet a ZEMAX nevű optikai tervezőprogramban készítettek. A ZEMAX program lehetőségeinek kihasználásával egy olyan eljárást fejlesztettünk ki, mellyel előállítható a rendszer optikájának átviteli mátrixa. Ennek lényege, hogy egy megfelelő felbontású hálóval lefedjük azt a tartományt, ahonnan a fényemissziót várjuk, majd a háló pontjaiból fénynyalábokat indítunk a belépő apertúra irányába, és figyeljük, hogy az elindított, nagyszámú nyalábból mennyi érkezik meg az adott detektor felületére. Az így kapott szám lenormálva az indított nyalábok számával megadja, hogy az adott pontból érkező fényt mekkora hatásfokkal detektálja a rendszer. Az összes pontra elvégezve az eljárást előáll a rendszer átviteli mátrixa, melyet ez után bármilyen optikai rendszerre elő tudunk állítani, melynek rendelkezésre áll a ZEMAX terve. Az átviteli mátrix ismeretében a RENATE szimuláció képes a valódi optika hatását figyelembe venni, így jelentősen javítottam a számolás pontosságát.

A továbbfejlesztés egyik lehetősége a CCD detektor modellezése a nyalábszámolás toroidális korrekciójával párhuzamosan, a hullámhossz-függő átviteli mátrix előállítására, mellyel az optikai szűrő is figyelembe vehető.

Sebességmérési módszerek plazma turbulenciában

Bardóczi László, BSc III. évf.

Konzulens: dr. Zoletnik Sándor, MTA KFKI Rézecske- és Magfizikai Kutatóintézet

Az energia az emberiség jóléte szempontjából kulcsfontosságú kérdés. Sok lehetőség kínálkozik az energiatermelésre, ezek közül a szabályozott magfúzió a legígéretesebb a rohamosan növekvő energiaigény kielégítésére tervezhető és környezetbarát módon, kedvező áron és az emberiség létével összemérhető időtávlatban.

A magfúzió egyik fejlesztési ága a fúzióhoz szükséges magas hőmérsékletű plazma mágneses elszigetelése a környezettől. Az energiatermelés lehetséges, ha a plazma összetartásának minősége megfelelő, amely azt jelenti, hogy a hő- és részecsketranszport kellően alacsony. A transzport meghatározza a kialakuló sűrűség és hőmérséklet profilokat. Ezen intenzív mennyiségek térbeli inhomogenitásai mikroinstabilitásokat, turbulenciát gerjesztenek, melyek mezostrukturákat, zonális áramlásokat, hoznak létre és energiát adnak át nekik. A zonális áramlások egyik fajtájának – melyeket Geodesic Acoustic Mode-nak neveznek – jellemzője, hogy meghatározott frekvenciával modulálja a plazma áramlási sebességét. Mivel a turbulenciával kölcsönható zonális áramlások visszahatnak a transzportra, kísérleti vizsgálatuk a plazmafizika egyik fő kutatási területét képezi. Ennek alapvető követelménye a sebességmérés.

Munkám során olyan statisztikus alapokon nyugvó sebességszámítási módszereket fejlesztettem, és találtam ki magam is, melyek segítségével fluktuáló mennyiségek két pontban vagy egy pontban mért jelei alapján a plazma áramlási sebessége meghatározható, feltéve, hogy a turbulencia terjedési sebességét a plazma áramlása határozza meg. A módszerek között vannak direkt térben és Fourier-térben számoló, egy pontos és két pontos módszerek. A munka fő részeit a mérési adatok vizsgálata, a számítási módszerek tesztelését lehetővé tevő teszt jelek előállítás, a tesztelések és a módszerek érzékenységi tartományainak meghatározása alkotják. A számítási módszerek optimalizálása során meghatároztam a paraméterek terének azt a tartományát, amelyben a módszerek a lehető legjobban működnek. A tesztelések eredményeiből kiderült, hogy már 5%-os relatív amplitúdójú sebességmodulációk akár 200% relatív zajszintben is megtalálhatók.

A módszereket a németországi Textor tokamakokon elvégzett egy pontos és két pontos atomnyaláb-spektroszkópiai mérésekből származó jelekre alkalmazva sikerült kimutatnom a zonális áramlások GAM ágának jelenlétét.

A dolgozatban bemutatom a módszerek működési elveit, a teszteléseket és részletezem az érzékenységüket. Összehasonlítom a már ismert, de általam fejlesztett és az általam kitalált módszereket. A dolgozat végén sor kerül a leírt módszerekkel valós adatokból kinyert eredmények bemutatására.

Irodalom:

1. M. Jakubowski et al, „Wavelet-based time-delay estimation for time-resolved turbulent flow analysis”, *Rev. Sci. Instrum.* 72, 996 (2001);
2. C. Holland et al, „Investigation of the time-delay estimation method for turbulent velocity inference”, *Rev. Sci. Instrum.* 75, 4278 (2004);
3. A. Krämer Flecken et al, „Investigation of geodesic acoustic modes and related zonal flows at Textor”, *Plasma Phys. Control. Fusion*, 51015001 (2009).

Ionpályák numerikus számítása TOKAMAK mágneses terében

Aradi Mátyás, BSc III. évf.

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

Napjainkban az Európai Unió egyik jelentősen támogatott fizikai kutatási iránya a termonukleáris fúzió alapuló energiatermelés. Az eljárás előnyét környezetbarát mivolta és a nyersanyagok egyenletes, bőséges eloszlása adja.

Mai tudásunk alapján a folyamat megvalósítása erős mágneses térrel (1-2 T) összetartott, magas hőmérsékletű plazmában lehetséges. A mágneses tér mintegy tartály tartja össze a plazmát. A berendezések egyik fő típusát képviseli az ún. tokamak, amiben a mágneses tér csavart-tórusz alakú. A tokamakokon végzett kutatások legígéretesebbek a fúziós energiatermelés szempontjából, ezért Dél-Franciaországban, nemzetközi együttműködés keretében, épül a legnagyobb ilyen berendezés, az ITER.

Fúziós berendezések esetében fontos és érdekes probléma az ELM-ek problémaköre. Ezek a plazma szélének instabilitásai. A folyamat során a plazmaszegély mágneses terének hirtelen megváltozása miatt magas hőmérsékletű plazma kerül a berendezés falára, ami - a berendezésben tárolt energiától függően - károsíthatja a berendezés szerkezeti elemeit. Az ITER-ben a jelenség elkerülendő, hatásának mértéke redukálendő. A mágneses tér változásaiból gyakran előre jelezhető az ELM megjelenése. Az ELM-ek fizikájának pontos megismerése kulcsfontosságú a jövőbeni fúziós reaktorok szempontjából.

A plazma vizsgálata, fizikai tulajdonságai miatt, speciális diagnosztikai eszközöket igényel. Egyik gyakori diagnosztikai módszer a nyalábdiaosztika. Ennek során egy atomnyalábot juttatnak a plazmába. Az eljárás folyamán mérik a nyaláb sebességének, alakjának, ionizáció fokának megváltozását, és ezekből visszakövetkeztetnek a plazma lokális paramétereire.

Dolgozatom témája egy új plazmadiagnostika, az ún. Atomic Beam Probe (ABP), kidolgozásában és megvalósításában való részvétel. Az eszköz a prágai COMPASS nevű tokamak berendezésén kerül majd először kipróbálásra. Az eljárás során Li-atomnyalábot lövünk a plazmába, ami egy adott pontban egyszeresen ionizálódik, majd az ionok eltérült pályán elhagyják az összetartott plazma tartományát. A kilépő ionnyalábot detektáljuk. Mérjük majd az ionok pályájának paramétereit, valamint a kilépő ionok áramát.

Mindehhez, a mágneses tér paramétereit felhasználva, kifejlesztettünk egy numerikus ionpálya számoló MATLAB kódot (ABPIons). Segítségével kiderült, hogy csak lítiumnyalábot érdemes használni. Az iondetektor elhelyezéséről is nélkülözhetetlen információkat kaptunk a kifejlesztett kód alapján. Kiszámoltuk, milyen sebességgel szükséges belőni a részecskéket, hogy azok a megfelelő helyen hagyják el az összetartott plazma tartományát.

A plazmaszegélyen fellépő plazmaáram perturbációt (amely összefügg az ELM-ek megjelenésével), korábbi mérések alapján, realiztikusan szimuláltuk. Ez alapján érzékenységi analízist tudunk végezni az ABP diagnosztika várható mérési képességeit illetően. Az adatok ismeretében kidolgoztuk a detektorkoncepciót. A számítások azt mutatják, hogy nincs elvi akadálya az ELM-ek által okozott plazmaáram perturbációk detektálásának.