9. konferenca fizikov v osnovnih raziskavah

ZBORNIK POVZETKOV

Škofja Loka
12. november 2014

Organizatorja:

Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani
Institut Jožef Stefan

Programski odbor:

Janez Bonča	Gvido Bratina	Martin Čopič	Janez Dolinšek
Svjetlana Fajfer	Alojz Kodre	Peter Križan	Samo Kralj
Dragan Mihailović	Marko Mikuž	Igor Muševič	Rudolf Podgornik
Peter Prelovšek	Tomaž Prosen	Marko Zgonik	Tomaž Zwitter
Primož Ziherl	Nedjeljka Žagar	Matjaž Žitnik	Slobodan Žumer

Organizacijski odbor:

Miha Škarabot
Natan Osterman
Primož Ziherl

Urednika:

Natan Osterman
Miha Škarabot

Spletna stran:

konfor.fmf.uni-lj.si

Slika na naslovnici: Tomaž Prosen, Diagram prehodov, ki kodira konstrukcijo mnogodelčnega gostotnega operatorja močno neravnovesne Hubbardove verige.

Program 9. konference fizikov v osnovnih raziskavah

Škofja Loka, 12. 11. 2014

9.00-9.05	Pozdravni nagovor
	Moderator: Boštjan Golob
9.05-9.30	**A. Gomboc, "Opazovanja najmočnejših eksplozij v vesolju z optičnimi teleskopi"**
9.30-9.45	D. Fabjan, "Sunjajev-Zeldovičev učinek v kozmoloških simulacijah jat galaksij"
9.45-10.10	**J. Kamenik, "Izvor mase: Od temne snovi na velikem hadronskem trkalniku do Higgsovega bozona v zgodnjem vesolju "**
10.10-10.25	M. Nemevšek, "Masivni nevtrini in trkalniki"
10.25-11.00	Premor (kava, čaj, pecivo, sadje)
	Moderatorka: Mojca Čepič
11.00-11.25	**A. Mertelj, "Feromagnetne tekočekristalne suspenzije"**
11.25-11.50	**S. Čopar, "Topološka mehka snov"**
11.50-12.05	M. Ravnik, "Fluidika, fotonika in topološke strukture v kompleksnih nematskih tekočinah"
12.05-12.20	I. Urbančič, "O meritvah korelacij molekularnega gibanja in konformacijske entropije"
12.20-12.45	**J. Bonča, "Neravnovesna dinamika koreliranih elektronskih sistemov"**
13.00-14.25	Kosilo (gostilni Kašča in Starman)
	Moderator: Peter Prelovšek
14.25-14.40	R. Žitko, "Majoranovi fermioni v trdni snovi"
14.40-15.05	**T. Prosen, "Točne rešitve kvantnih transportnih problemov daleč od ravnovesja in novi ohranitveni zakoni"**
15.05-15.25	I. Vaskivskyi, "Ultrafast Switching to a Stable Hidden Quantum State in an Electronic Crystal"
15.25-15.40	M. Pregelj, "Vztrajna spinska dinamika v amplitudno moduliranih osnovnih magnetnih stanjih"
15.40-16.00	Premor (kava, čaj, pecivo)
	Moderator: Igor Muševič
16.00-16.15	R. Bohinc, "Dinamika disociacije kloriranih ogljikovodikov po resonančni vzbuditvi Cl(1s)→σ* z rentgensko svetlobo"
16.15-16.30	G. Žerovnik, "Uporaba eksperimenta upočasnjevanja nevtronov v svincu za validacijo jedrskih podatkov"
16.30-16.45	M. Gosak, "S teorijo kompleksnih mrež do razkritja modularne narave sincicija celic beta v trebušni slinavki miši"
16.45-17.00	J. Zavadlav, "Simulacija atomističnega proteina v vodi MARTINI z metodo adaptivne resolucije"
17.00-19.00	ogled plakatov
19.10	odhod avtobusa s študenti v Ljubljano
19.10-21.00	večerja (gostilna Kašča)
~21.00	predviden odhod avtobusa v Ljubljano

PREDAVANJA

Opazovanja najmočnejših eksplozij v vesolju z optičnimi teleskopi

Andreja Gomboc

Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

Približno enkrat na dan se v naključnih smereh neba pojavijo nenapovedljivi bliski gama svetlobe, ki presvetlijo vse ostale izvore sevanja gama na nebu in običajno po nekaj sekundah ali minutah ugasnejo. Ti *izbruhi sevanja gama* (angl. *Gamma Ray Burst - GRB*) so bili odkriti šele v dobi satelitov, konec 1960-tih. Danes je najpomembnejši satelit za njihovo opazovanje Nasin satelit Swift, ki po detekciji izbruha v manj kot minuti natančno določi njegov položaj na nebu in ga sporoči teleskopom na Zemlji. Z njimi karseda hitro opazujemo lokacijo izbruha in približno v polovici primerov opazimo na istem mestu tudi izvor vidne svetlobe, ki mu pravimo *optični zasij* (angl. *afterglow*) in ki tipično po nekaj urah ali dnevih ugasne. Prvih 30 let po odkritju so bili izbruhi sevanja gama popolna neznanka, danes pa vemo, da se dogajajo v oddaljenih galaksijah in da lahko nastanejo na dva načina: ob kolapsu sredice masivne, hitro vrteče se zvezde v črno luknjo ali magnetar ali pa ob zlitju dveh nevtronskih zvezd in/ali črnih lukenj. To pripelje do najbolj silovitih eksplozij po prapoku, v katerih se lahko v nekaj sekundah sprosti toliko energije, kot je bo Sonce oddalo v več milijonih ali milijardah let.

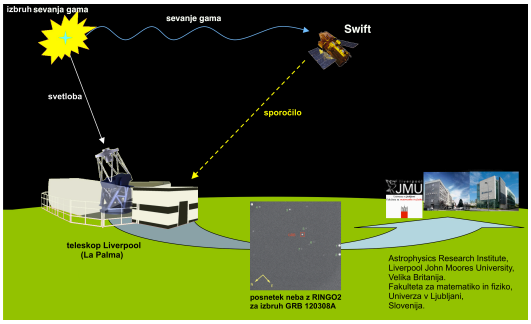
Zaradi njihove izjemne moči lahko izbruhe sevanja gama opazimo, kjerkoli v vesolju se zgodijo: doslej najbolj oddaljen znan izbruh sevanja gama se je zgodil pri kozmološkem rdečem premiku z=9,4, kar pomeni, da je svetloba od njega do nas potovala 13,3 milijarde let. Zato in tudi zaradi drugih razlogov so izredno zanimivi za astrofiziko in nam lahko služijo kot edinstvene kozmološke sonde pri raziskovanju zvezd in galaksij skozi celotno zgodovino vesolja. Zanimivi pa so tudi za širšo fiziko, saj gre za ultrarelativistične eksplozije, ki izvirajo iz območij z izredno močnim gravitacijskim in magnetnim poljem - omogočajo nam torej proučevanje fizikalnih zakonov v tako ekstremnih pogojih, kakršnih še zdaleč ne moremo ustvariti v laboratorijih na Zemlji.

V slovenski GRB skupini proučujemo izbruhe sevanja gama v tesnem sodelovanju z drugimi evropskimi astrofiziki in pri tem uporabljamo podatke s satelitov in teleskope na Zemlji: z 2-metrskim, največjim robotskim teleskopom Liverpool na observatoriju Roque de los Muchachos na La Palmi proučujemo lastnosti zgodnjih optičnih zasijev in vlogo magnetnega polja pri teh eksplozijah, z instrumentom X-shooter na 8-metrskem Zelo velikem teleskopu (Very Large Telescope - VLT) na observatoriju Paranal v Čilu pa proučujemo okolje, v katerem se dogajajo.

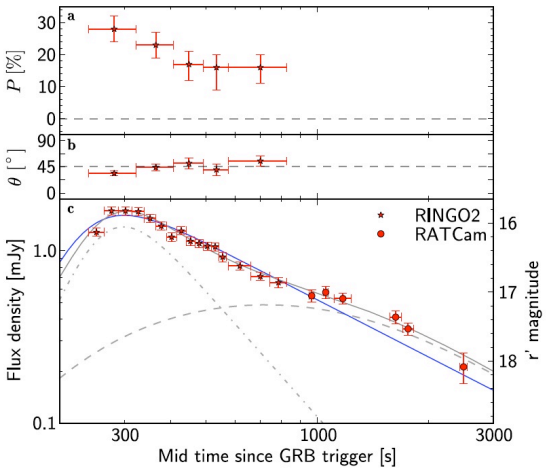
V predavanju bom predstavila lastnosti optičnih zasijev in nekaj naših nedavnih rezultatov:

- Za izbruh GRB 130427A smo ugotovili, da je, kljub temu, da se je zgodil v relativno bližnjem vesolju (pred "samo" slabimi 4 milijardami let), zelo podoben tistim, ki se dogajajo na večjih razdaljah. To priča, da je isti mehanizem odgovoren tako za relativno nedavne izbruhe kot tudi za tiste, ki so se zgodili v mladem vesolju [1].

- V primeru izbruha GRB 120308A smo že nekaj minut po samem izbruhu s polarimetrom RINGO 2 na teleskopu Liverpool izmerili do sedaj najvišjo stopnjo linearne polarizacije optičnega zasija in njeno spreminjanje s časom: približno štiri minute po začetku izbruha je stopnja polarizacije znašala 28%, v nadaljnih desetih minutah pa se je zmanjšala na 16%, pri čemer je polarizacijski kot ostal stabilen. To je prva časovno ločljiva meritev polarizacije tako zgodaj po izbruhu. Naše meritve izključujejo prisotnost magnetnega polja, ki bi izviralo iz lokalnih nestabilnosti v plazmi, in kažejo, da v izbruhih sevanja gama obstaja močno in globalno urejeno magnetno polje [2].
- Do presenetljivih rezultatov smo prišli z merjenjem cirkularne polarizacije optičnega zasija izbruha GRB 121024A, ki je bil oddaljen 11 milijard svetlobnih let. Z instrumentom FORS2 na Zelo velikem teleskopu VLT smo slabe tri ure po detekciji izbruha opazovali njegov optični zasij, ki je bil takrat 20. magnitude oz. 400.000-krat temnejši od zvezd, ki jih še lahko vidimo s prostimi očmi. Izmerjena vrednost cirkularne polarizacije, 0,6%, je nekaj velikostnih redov višja od teoretičnih napovedi in pomeni, da potrebujejo obstoječi teoretični modeli znatno prevetritev [3].



Slika 1: Potek opazovanja optičnih zasijev izbruhov sevanja gama z robotskim teleskopom Liverpool na kanarskem otoku La Palma.



Slika 2: Stopnja polarizacije P, polarizacijski kot θ in sij optičnega zasija GRB 120308A v odvisnosti od časa (štetega od začetka izbruha) [2].

[1] A. Maselli et al. vključno z A. Gomboc, J.Japelj in D. Kopač. *GRB 130427A: A nearby ordinary monster*, Science 343, 48 (2014).

[2] C. G. Mundell, D. Kopač, D. M. Arnold, I. A. Steele, A. Gomboc, S. Kobayashi, R. M. Harrison, R. J. Smith, C. Guidorzi, F. J. Virgili, A. Melandri in J. Japelj, *Highly polarized light from stable ordered magnetic fields in GRB 120308A*, Nature 504, 7478 (2013).

[3] K. Wiersema et al. vključno z A. Gomboc. *Circular polarisation in the optical afterglow of GRB121024A*, Nature, 509: 201-204 (2014).

Sunjajev-Zeldovičev učinek v kozmoloških simulacijah jat galaksij

Dunja Fabjan[1,2], Susana Planelles[2,3], Stefano Borgani[2,3,4]

1. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana
2. INAF – Istituto Nazionale di Astrofisica, Italija
3. Oddelek za fiziko, Univerza v Trstu, Italija
4. INFN – Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Italija

Jate galaksij so največje gravitacijsko vezane virializirane kozmične strukture v vesolju. Sestavlja jih pretežno temna snov, navadna snov pa je prisotna v obliki ioniziranega jatnega plina, v katerega je lahko vpredenih do tisoče galaksij. S proučevanjem jat lahko spremljamo razvoj vesolja in jih zato uporabljamo kot orodje za kozmologijo, saj so kozmološki parametri odvisni od razvoja masne funkcije jat in lastnosti kopičenja na velikih skalah. Istočasno pa predstavljajo te vesoljske strukture največje laboratorije, kjer raziskujemo astrofizikalne procese, ki lahko bistveno spremenijo porazdelitev plina in zvezd ter vplivajo na opazovane lastnosti jat [1].

Za uporabo jat galaksij v kozmološke namene je potrebno dovolj dobro določiti celotno maso jate. To je možno doseči z uporabo ustreznih opazovanih količin (angl. *"mass proxies"*), ki se jih da preprosto izmeriti in so povezane s skupno jatno maso preko skalirnih zvez [2,3]. Take količine morajo imeti dovolj majhno intrinzično razpršenost z maso jate in biti relativno neobčutljive na dinamično stanje jate.

Predstavila bom rezultate kozmoloških hidrodinamičnih simulacij jat galaksij s TreePM+SPH kodo Gadget3, kjer smo analizirali enega izmed največjih naborov jat galaksij, ki ga sestavlja več kot 160 jat z masami nad $4x10^{13}$ M_{Sonca}. Osredotočila se bom na opazovanja Sunjajev-Zeldovičevega (SZ) učinka, ki nastane ko se fotoni kozmičnega mikrovalovnega ozadja sipljejo na visokoenergijskih elektronih v jatnem plinu, zaradi česar pride do značilne deformacije v spektru prasevanja [4].

Prikazala bom razvoj skalirnih zvez povezanih z integriranim SZ učinkom in jih primerjala z najnovejšimi opazovanji ter pokazala kolikšen vpliv imajo na opazovane lastnosti astrofizikalni procesi kot so hlajenje plina, nastanek zvezd, povratni učinek supernov (SN) ter učinek aktivnih galaktičnih jeder (AGJ) na jatni plin.

[1] Kravtsov A.V. in Borgani S., Annual Review of Astrononomy and Astrophysics **50,** 353 (2012)
[2] Fabjan D. *et al.*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society **416**, 801 (2011)
[3] Ettori S. *et al.*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society **420**, 2058 (2012)
[4] Carlstrom J.E. *et al.*, Annual Review of Astronomy and Astrophysics **40**, 643 (2002)

Izvor mase: Od temne snovi na velikem hadronskem trkalniku do Higgsovega bozona v zgodnjem vesolju

Jernej F. Kamenik[1,2]

1. Odsek za teoretično fiziko, IJS, Ljubljana
2. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

Znotraj standardne teorije osnovih delcev (t.i. standardnega modela) nastopajo osnovni gradniki snovi, kvarki in leptoni, v treh generacijah, ki se med seboj razlikujejo le po sklopitvah s Higgsovim poljem. V povezavi s Higgsovim mehanizmom le-te uspešno opišejo izmerjene masne spektre osnovnih delcev ter hkrati zadostijo številnim preciznim meritvam šibkih procesov, ki razlikujejo med različnimi kvarkovskimi in leptonskimi okusi. Po drugi strani pa takšen minimalni opis ne razloži opaženih velikih hierarhij med fermionskimi masnimi parametri in z njimi povezanimi šibkimi procesi. Hkrati obstajajo prepričjivi eksperimentalni dokazi, da večino mase v vesolju sploh ne tvorijo znani gradniki snovi. Odtise morebitne nove fizike izven standardenga modela, ki bi razložila obe omenjeni uganki iščemo skozi procese, ki spreminjajo kvarkovske in leptonske okuse, v sledeh kozmološke temne snovi na Zemlji ter v kozmičnih žarkih, pa tudi preko meritev lastnosti in procesov Higgsovega bozona. Izpostavimo lahko nekaj ilustrativnih primerov: testi leptonske univerzalnosti v mezonskih razpadih lahko razkrijejo nestandardne sklopitve fermionov s Higgsovim poljem [1], ki jih lahko opazujemo tudi preko neposredne tvorbe kvarka t in Higgsovega bozona na velikem hadronskem trkalniku [2]; v redkih razpadih hadronov ter Higgsovega bozona lahko preverjamo prisotnost temne snovi ter jih tako povežemo z razvojem zgodnjega vesolja [3]; ali pa preverjamo kar neposredno tvorbo temne snovi na velikem hadronskem trkalniku preko njenih interakcij z delci različnih kvarkovskih ali leptonskih okusov [4].

[1] S. Fajfer, J. F. Kamenik, I. Nišandžić and J. Zupan, Phys. Rev. Lett. **109**, 161801 (2012);

[2] A. Greljo, J. F. Kamenik and J. Kopp, JHEP **1407**, 046 (2014).

[3] J. F. Kamenik and C. Smith, JHEP **1203**, 090 (2012); J. F. Kamenik and C. Smith, Phys. Rev. D **85**, 093017 (2012); A. Greljo, J. Julio, J. F. Kamenik, C. Smith and J. Zupan, JHEP **1311**, 190 (2013);

[4] J. F. Kamenik and J. Zupan, Phys. Rev. D **84**, 111502 (2011); E. Alvarez, E. C. Leskow, J. Drobnak and J. F. Kamenik, Phys. Rev. D **89**, 014016 (2014).

Masivni nevtrini in trkalniki

Miha Nemevšek

SISSA, Trst in INFN, Trst ter
Institut Jožef Stefan, Ljubljana

Odkritje Higgsovega bozona omogoča razumevanje dinamičnega izvora mas osnovnih delcev in se sklada z napovedmi standardnega modela. Hkrati isti model jasno napove, da nevtrini nimajo mase, kar je v nasprotju z dobro merjenimi oscilacijami nevtrinov. Ta paradoks ostaja eden izmed poglavitnih nerešenih problemov fizike osnovnih delcev.

V predavanju bodo predstavljeni možni signali na LHC, ki bi nam omogočali vpogled v izvor mase nevtrinov, predvsem v okviru levo-desno simetrične teorije. V tej teoriji so majhne mase nevtrinov preko gugalničnega mehanizma povezane z energijsko skalo spontane zlomitve parnosti, ki je lahko v dosegu energij trkov na LHC. "Zlati" kanal za detekcijo desno-ročnih interakcij je produkcija desno-ročnih Majorana nevtrinov preko Drell-Yan resonance [1]. Ta predstavlja enega izmed najbolj občutljivih kanalov za potencialno opažanje zlomitve leptonskega števila na LHC [2].

Privlačna lastnost levo-desnega modela je, da obstaja neposredna povezava med Majoranovim in Diracovim tipom mas nevtrinov [3]. Ta povezava omogoča, da z opazovanji v "zlatem" kanalu z rekonstrukcijo mas in mešalnih kotov desno-ročnih nevtrinov, napovemo mase Diracovega tipa. Tako postane levo-desno simetrični model celovita in prediktabilna teorija nevtrinskih mas. Hkrati poveže fiziko na LHC s signali na nizkih energijah, kot je npr. breznevtrinski beta razpad in električni dipolni moment elektrona.

Poleg problema neničelne mase nevtrina, obstaja v standardnem modelu tudi uganka majhne kršitve CP simetrije močnih interakcij. V nedavni študiji [4] smo poskušali razumeti to uganko v okviru levo-desno simetričnega modela in pokazali, da je ta kršitev izračunljiva in konsistentno majhna, kot to zahteva električni dipolni moment nevtrona. Hkrati je velikost kršitve direktno povezana s strukturo desno-ročnih interakcij, ki preko natančnih meritev CP kršitve kaonov postavi omejitev na energijsko skalo levo-desne simetrije.

Literatura

[1] W. Y. Keung and G. Senjanović, Phys. Rev. Lett. **50** (1983) 1427.

[2] M. Nemevšek, F. Nesti, G. Senjanović and Y. Zhang, Phys. Rev. D **83** (2011) 115014 V. Khachatryan *et al.* [CMS Collaboration], arXiv:1407.3683 [hep-ex].

[3] M. Nemevšek, G. Senjanović and V. Tello, Phys. Rev. Lett. **110** (2013) 15, 151802

[4] A. Maiezza and M. Nemevšek, arXiv:1407.3678 [hep-ph], accepted for publication in Phys. Rev. D, October 2014.

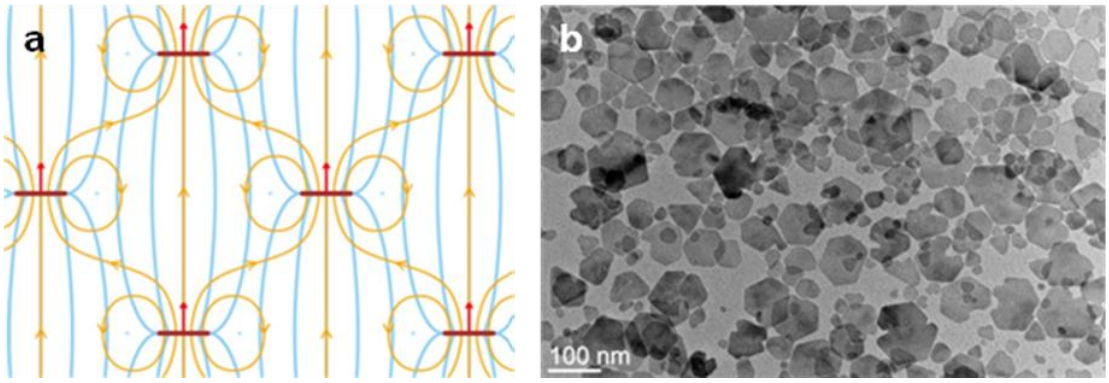
Feromagnetne tekočekristalne suspenzije

Alenka Mertelj[1], Natan Osterman[1], Darja Lisjak[2], Miha Drofenik[2,3] in Martin Čopič[1,4]

1. *Odsek za kompleksne snovi, IJS, Ljubljana*
2. *Odsek za sintezo materialov, IJS, Ljubljana*
3. *Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, UM, Maribor*
4. *Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana*

Pokazali smo, da v stabilni suspenziji magnetnih ploščic v nematičnem tekočem kristalu pride do pojava spontane magnetizacije, ki je v smeri nematičnega direktorja [1]. Suspenzija je prvi primer urejene tekočine, ki je tudi magnet. Za njeno stabilnost in magnetne lastnosti je ključna oblika magnetnih nanoploščic. Suspenzija ima značilne magnetne lastnosti: v njej so domene in domenske stene, ima magnetno histerezo in magnetizacijo lahko obračamo s spreminjanjem smeri polja.

Makroskopsko lahko suspenzijo popišemo z dvema sklopljenima ureditvenima parametroma: nematičnim direktorjem in spontano magnetizacijo. Sklopitev je posledica sidranja tekočekristalnih molekul na površino ploščic. Neposredno z električnim poljem vplivamo na orientacijo direktorja ter z magnetnim na orientacijo spontane magnetizacije. Zaradi sklopitve z električnim poljem posredno vplivamo tudi na smer magnetizacije, kar imenujemo obratni magnetoelektrični pojav, in podobno z magnetnim poljem posredno vplivamo na smer direktorja, kar se kaže kot močan magneto-optični pojav [2]. Ta nova pojava sta za uporabo najpomembnejši lastnosti kompozitne snovi.



Slika 1: (a) Ploščice (rdeče, pogled od strani) se v tekočem kristalu uredijo s svojo osjo v smeri ureditve tekočekristalnih molekul (modro). Okoli roba ploščic se pojavi linijski defekt (modre pike kažejo presek defekta). Magnetni momenti ploščic (rdeče puščice) so obrnjeni v isto smer in snov je feromagnet. Oranžno se prikazane silnice magnetnega polja. (b) Magnetne nanoploščice barijevega ferita dopiranega s skandijem posnete s TEM .

[1] A. Mertelj, D. Lisjak, M. Drofenik, and M. Čopič, Nature **504**, 237 (2013).
[2] A. Mertelj, N. Osterman, D. Lisjak, and M. Čopič, Soft Matter, 10.1039/C4SM01625D (2014).

Topološka mehka snov

Simon Čopar[1]

1. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

Topološko zanimive teme, kot so stabilizacija defektov in solitonov, spletanje in vozlanje značilnih struktur, kompleksno povezane površine ter samourejanje snovi, so uspešno raziskovalno področje v različnih panogah fizike. Med primere spadajo načrtna sinteza zavozlanih molekul [1], raziskave topologije v DNK in drugih polimerih [2], ter strukture v ureditvenih poljih svetlobe [3], feromagnetov in različnih faz mehke snovi.

Vzorčni primer snovi, ki omogoča topološko stabilizirane strukture, so nematski tekoči kristali. Zaradi obstoja točkastih in linijskih defektov, močnega odziva na optično in električno polje, ter enostavnosti opazovanja pod mikroskopom, so idealni za demonstracijo teorije vozlov in interakcij med defekti v eksperimentalni postavitvi.

Predstavil bom teoretične zakone spletanja in vozlanja nematskih defektov, ki uvedejo topološke invariante in pojasnijo strukture, videne v eksperimentih [4]. Prikazal bom obnašanje in nadzor spletanja defektov na 2D in 3D mrežah koloidnih delcev v tekočekristalnem mediju [5,6], v okolici delcev kompleksnih oblik [7], ter v kapljicah kiralnega nematika [8]. Primeri se razlikujejo po geometriji prostora, ki ga zapolnjuje tekoči kristal, in po simetrijskih lastnostih samega tekočega kristala. Predstavil bom geometrijske zanimivosti, ki so značilne za posamezne primere, in opisal možno razširitev uporabljenih prijemov na drugačne geometrije in druge faze tekočih kristalov.

Predstavljeno delo je bilo opravljeno v okviru oddelka za mehko snov na FMF, UL pod vodstvom prof. S. Žumra, delno v sodelovanju z laboratorijem prof. I. Muševiča na F5, IJS in z raziskovalci iz tujine.

[1] J. F. Ayme, J. E. Beves, D. A. Leigh, R. T. McBurney, K. Rissanen, D. Schultz, J Am. Chem. Soc. **134**, 9488-9497 (2012)
[2] C. Micheletti, E. Orlandini, ACS Macro Letters **3**, 876-880 (2014)
[3] M. R. Dennis, R. P. King, B. Jack, K. O'Holleran, M. J. Padgett, Nature Physics **6**, 118 - 121 (2010)
[4] S. Čopar, Phys. Rep. **538**, 1-37 (2014)
[5] U. Tkalec, M. Ravnik, S. Čopar, S. Žumer, I. Muševič, Science **333**, 62 (2011)
[6] S. Čopar, N. A. Clark, M. Ravnik, S. Žumer, Soft Matter **9**, 8203 (2013)
[7] A. Martinez, M. Ravnik, B. Lucero, R. Visvanathan, S. Žumer, I.I. Smalyukh, Nature Mater. **13**, 258-263 (2014)
[8] D. Seč, S. Čopar, S. Žumer, Nature Commun. **5**, 3057 (2014)

Fluidika, fotonika in topološke strukture v kompleksnih nematskih tekočinah

Miha Ravnik

Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana
miha.ravnik@fmf.uni-lj.si
http://miha.ravnik.si

Kompleksne tekočine zaradi svoje posebne mikroskopske strukture –orientacijskega in možnega pozicijskega reda- omogočajo posebne in velikokrat neprimerljive materialne lastnosti ter odzive na zunanja električna, magnetna, mehanska ali optična polja. Opazijo se pojavi, kot so molekularni spomin [1], topološki koloidi [2], negativni optični navor [3] in tvorba kompleksnih tridimenzionalnih nanostruktur na osnovi modrofaznih matrik [4].
V tem prispevku bomo predstavili nekatere izbrane teme, ki jih obravnavamo z numeričnim modeliranjem in teorijskimi pristopi v naši skupini za fiziko mehkih in delno urejenih snovi na FMF UL. Posebej bomo izpostavili tri ključne tematike: (i) tvorba struktur v kompleksnih tekočinah in topološka stanja, kot so npr koloidni kvazikristali in koloidni vozli [5,6], fluidiko aktivnih ter pasivnih kompleksnih tekočin z njihovimi tokovnimi stanji [7,8] in prve rezultate o kontroli toka svetlobe z optično dvolomnimi objekti ter fotosnki pasovi, kot so npr nematske disklincaije in dielektrično dopirane modre faze [9,10].

[1] T. Araki, M. Buscaglia, T. Bellini in H. Tanaka, Nat. Mater. **10**, 303 (2011).
[2] B. Senyuk, Q. Liu, S. He, R. D. Kamien, R. B. Kusner, T.C. Lubensky in I. I. Smalyukh, Nature **493**, 200 (2013)
[3] D. Hakobyan in E. Brasselet, Nat. Photon. **8**, 610 (2014).
[4] F. Castles, F. V. Day, S. M. Morris, D-H. Ko, D. J. Gardiner, M. M. Qasim, S. Nosheen, P. J. W. Hands, S. S. Choi, R. H. Friend in H. J. Coles, Nat. Mater. **11**, 599 (2012).
[5] J. Dontabhaktuni, M. Ravnik and S. Žumer, Proc. Natl. Acad. Sci. USA **111**, 2464 (2014)
[6] A. Martinez, M. Ravnik, B. Lucero, R. Visvanathan, S. Žumer, and I.I. Smalyukh, Nature Mater. **13**, 258–263 (2014)
[7] M. Ravnik and J. M. Yeomans, Phys. Rev. Lett. **110**, 026001 (2013).
[8] A. Sengupta, U. Tkalec, M. Ravnik, J.M. Yeomans, C. Bahr, and S. Herminghaus, Phys. Rev. Lett. **110**, 048303 (2013).
[9] M. Čančula, M. Ravnik and S. Žumer, Phys. Rev. E **90**, 022503 (2014).
[10] M. Štimulak and M. Ravnik, Soft Matter **10**, 6339 (2014).

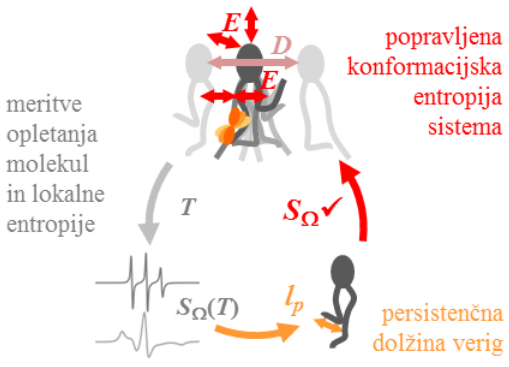
O meritvah korelacij molekularnega gibanja in konformacijske entropije

Iztok Urbančič[1], Ajasja Ljubetič[1] in Janez Štrancar[1]

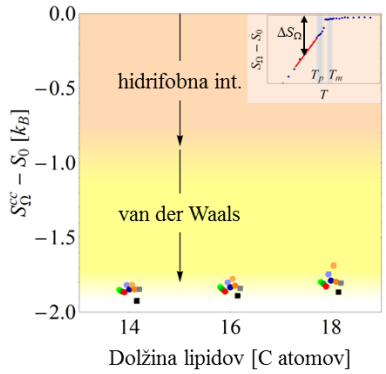
1. Laboratorij za biofiziko, Odsek za fiziko trdne snovi, IJS, Ljubljana

Termično opletanje bioloških makromolekul in drugih polimerov močno vpliva na njihove lastnosti in interakcije z okolico. Termodinamski učinek tega hitrega gibanja, ki nasprotuje urejanju molekul zaradi privlačnih interakcij, opišemo s konformacijsko entropijo (S_Ω). Četudi se je S_Ω že dodobra uveljavila kot uporaben teoretični koncept in so njene vplive opazili pri mnogih raziskavah struktur, funkcij in organizacije proteinov, DNK in lipidov, je njeno natančno določanje iz računalniških simulacij ali eksperimentov še vedno izjemno težavno. Poseben izziv predstavlja vrednotenje koreliranega gibanja vzdolž opazovane molekule, ki preprečuje seštevanje izmerjenih prispevkov S_Ω posameznih vezi. Za določitev čim bolj verodostojne celotne S_Ω so zato doslej potrebovali vrsto dodatnih referenčnih eksperimentov, zahtevnih numeričnih izračunov in empiričnih popravkov za vsak preiskovani sistem posebej [1].

Pred kratkim smo razvili način, kako lahko isti cilj dosežemo mnogo enostavneje: iz meritev temperaturne odvisnosti S_Ω lahko ocenimo persistenčne dolžine proučevanih verig, ta podatek o korelacijah molekularnega gibanja pa nato izkoristimo za popravek izmerjenih vrednosti S_Ω (Slika 1) [2]. Pristop smo ponazorili z meritvami elektronske paramagnetne resonance spinskih označevalcev v modelnih lipidnih membranah, kjer smo korelacije opletanja alkilnih verig lahko nadzirali s temperaturo, faznimi prehodi in dolžinami verig. Rezultate smo ovrednotili glede na nekaj osnovnih biofizikalnih pojavov in spremljajočih interakcij: hidrofobno in van der Waalsovo interakcijo pri sestavi membrane (Slika 2), spremembo entalpije in difuzijskega koeficienta pri faznem prehodu ter elektrostatsko interakcijo disociiranih maščobnih kislin z ioni. Metodo bo enostavno posplošiti tudi na določanje S_Ω drugačnih sistemov, denimo proteinov, DNK in drugih (bio)polimerov, ter prilagoditi drugim merilnim tehnikam, npr. jedrski magnetni resonanci ali polariziranim fluorescenčnim metodam.



Slika 1: Shema določanja S_Ω iz temperaturne serije spektrov EPR.



Slika 2: Primerjava izmerjene S_Ω in prispevkov interakcij pri sestavi membrane v gelski fazi.

[1] M. S. Marlow, J. Dogan, K. K. Frederick, K. G. Valentine in A. J. Wand, Nature Chemical Biology **6**, 352 (2010).

[2] I. Urbančič, A. Ljubetič in J. Štrancar, Journal of Physical Chemistry Letters **5**, 3593 (2014).

Neravnovesna dinamika koreliranih elektronskih sistemov

Janez Bonča

Institut Jožef Stefan, Ljubljana in
Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

Za korelirane sisteme več teles so značilna različna kolektivna osnovna stanja med katerimi so najbolj pogosta Mottov izolator, superprevodno stanje ter magnetno urejeno osnovno stanje. V zadnjem času postaja vsled napredka časovno odvisnih eksperimentalnih metod izjemno aktualno vprašanje vedenja koreliranih sistemov po tem, ko jih s pomočjo zunanjega električnega polja vzbudimo daleč izven ravnovesja.

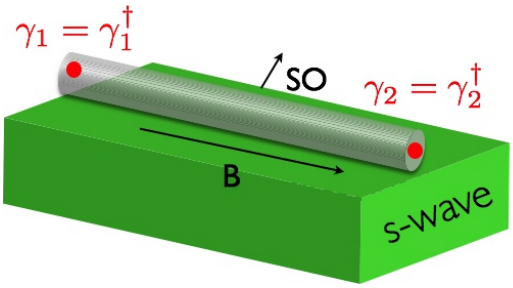
Predstavil bom fundamentalno študijo časovne dinamike vrzeli v nekaterih tipskih modelih koreliranih elektronov, ki se nahajajo pod vplivom zunanjega električnega polja. Pokazal bom, da je mogoče v okviru numerično točnega kvantno mehanskega računa določiti stacionarni tok nosilca naboja, ki je sklopljen z različnimi neelastičnimi prostostnimi stopnjami, kot so spinski valovi oziroma mrežna nihanja. Nadalje bom obravnaval tudi relaksacijo koreliranega sistema po vzbuditvi s kratkim električnim pulzom. Pokazal bom, da lahko foto vzbujeni nosilec naboja odda cca 1 eV energije spinskim ekscitacijam v času reda velikosti nekaj fs. V zaključku bom obravnaval relaksacijsko dinamiko v primeru sklopitve s spinskimi ter mrežnimi prostostnimi stopnjami.

Majoranovi fermioni v trdni snovi

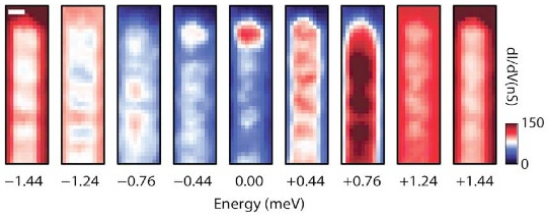
Rok Žitko[1,2]

1. Odsek za teoretično fiziko, IJS, Ljubljana
2. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

Majoranovi delci so fermioni, ki so sami svoji antidelci. V trdni snovi se lahko pojavijo kot vzbuditve (kvazidelci ali vezana stanja) v nehomogenih superprevodnikih in hibridnih nanostrukturah. V zadnjih dveh letih se je zvrstilo več poročil o izmerjenih spektralnih anomalijah pri napetosti nič, ki kažejo na obstoj Majoranovih vezanih stanj v polprevodniških nanožičkah z močno sklopitvijo spin-tir [1], nedavno pa tudi v adsorbiranih atomskih verigah železa na površini svinca [2]. Opisal bom osnovne ideje s tega področja: (1) preprost model Kitaeva za verigo, ki ima na svojih krajiščih vezana stanja z lastnostmi Majoranovih fermionov in (2) različne predloge za fizikalne sisteme, ki se lahko efektivno obnašajo kot veriga Kitaeva. Na kratko bom predstavil tudi svoje delo na tem področju, ki se nanaša na interpretacijo eksperimentalnih meritev v sistemih, kjer so zaradi močnih elektronskih korelacij poleg Majoranovih vezanih stanj znotraj superprevodniške energijske reže prisotne tudi resonance Yu-Shiba-Rusinova [3].



Slika 1: Majoranova vezana stanja na krajiščih polprevodniške nanožičke na površini superprevodnika.



Slika 2: Spektroskopske slike atomske nanožičke železa na površini svinca [2].

[1] V Mourik, K Zuo, SR Plissard, EPAM Bakkers, LP Kouwenhoven, Science **336**, 1003 (2012)
[2] SN Nadj-Perge, IK Drozdov, J Li, H Chen, S Jeon, J Seo, AH MacDonald, BA Bernevig, A Yazdani, Science (2014)
[3] R Žitko, JS Lim, R Lopez, R Aguado, arXiv:1405.6084

Točne rešitve kvantnih transportnih problemov daleč od ravnovesja in novi ohranitveni zakoni

Tomaž Prosen

Oddelek za fiziko, Fakulteta za matematiko in fiziko,
Univerza v Ljubljani

Anizotropna Heisenbergova veriga spinov 1/2 je osnovna paradigma sistema močno koreliranih elektronov v eni dimenziji (glej npr. [1]). Čeprav ravnovesne lastnosti modela dobro razumemo, so bile do nedavna odprta še zelo osnovna vprašanja v zvezi z neravnovesnimi, transportnimi lastnostmi, kot je npr. vprašanje [1,2], ali model dovoljuje balistični spinski transport pri končni temperaturi ali ne?

V predavanju bom na kratko orisal bistveni napredek na tem področju, ki ga je sprožilo odkritje točne rešitve kvantne master-enačbe za robno gnano Heisenbergovo verigo [3,4]. Stacionarna rešitev neravnovesne master enačbe namreč vodi do povsem novih kvazi-lokalnih ohranitvenih zakonov [3,7,10], ki posledično omogočajo strogo oceno balističnih transportnih koeficientov [6]. Takšen pristop 'neravnovesne integrabilnosti' deluje tudi za nekatere druge kvantne verige z močno interakcijo, kot je npr. Hubbardov model [8], ali Lai-Sutherlandov model verige spinov 1 [9].

Literatura

[1] X. Zotos in P. Prelovšek, "Transport in one dimensional quantum systems" poglavje v "Interacting Electrons in Low Dimensions", serija "Physics and Chemistry of Materials with Low-Dimensional Structures", Kluwer (2003)
[2] J. Sirker, R. G. Pereira in I. Affleck, Phys. Rev. Lett. **103**, 216602 (2009); Phys. Rev. B **83**, 035115 (2011)
[3] T. Prosen, Phys. Rev. Lett. **106**, 217206 (2011)
[4] T. Prosen, Phys. Rev. Lett. **107**, 137201 (2011)
[5] D. Karevski, V. Popkov in G. M. Schütz, Phys. Rev. Lett. **110**, 047201 (2013)
[6] E. Ilievski in T. Prosen, Commun. Math. Phys. **318**, 809 (2013)
[7] T. Prosen in E. Ilievski, Phys. Rev. Lett. **111**, 057203 (2013)
[8] T. Prosen, Phys. Rev. Lett. **112**, 030603 (2014)
[9] E. Ilievski in T. Prosen, Nucl. Phys. B **882**, 485 (2014)
[10] T. Prosen, Nucl. Phys. B **886**, 1177 (2014)

Ultrafast Switching to a Stable Hidden Quantum State in an Electronic Crystal

L. Stojchevska,[1] I. Vaskivskyi,[1] T. Mertelj,[1] P. Kusar,[1] D. Svetin,[1] S. Brazovskii,[2,3] D. Mihailovic[1,4]

1. Department of Complex Matter, IJS, Ljubljana
2. LPTMS-CNRS, UMR8626, Universite Paris-Sud, Orsay, France
3. International Institute of Physics, Rio Grande do Norte, Brazil
4. CENN Nanocenter, Ljubljana

Hidden states of matter may be created if a system out of equilibrium follows a trajectory to a state that is inaccessible or does not exist under normal equilibrium conditions. Accesing such hidden states may reveal completely new properties of the known materials [1]. We found a hidden (H) electronic state in a layered dichalcogenide crystal of 1*T*-TaS_2 reached as a result of a quench caused by a single 35-femtosecond laser pulse. Unlike usual photoinduced states with the lifetime shorter than 1us, this state is stable at low temperature and presumably is a kind of charge density wave (CDW) ordered state that is however different from the commensurate CDW Mott insulating state, that is the thermal state of 1*T*-TaS_2 at low temperatures.

In comparison to other states of the system, the H state exhibits a large drop of electrical resistance, strongly modified single-particle and collective-mode spectra, and a marked change of optical reflectivity. The H state is stable until a laser pulse, electrical current, or thermal erase procedure is applied, causing it to revert to the thermodynamic ground state.

[1]. D. Fausti et. al., Science **331**, 6014 (2011).

Vztrajna spinska dinamika v amplitudno moduliranih osnovnih magnetnih stanjih

Matej Pregelj[1], Andrej Zorko[1], Oksana Zaharko[2], Helmuth Berger[3] in Denis Arčon[1,4]

1. Odsek za fiziko trdne snovi, IJS, Ljubljana
2. Paul Scherrer Institute, Švica
3.Ecolé polytechnique fédérale de Lausanne,Švica
4. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

Eksotična osnovna magnetna stanja so pogosto posledica geometrijske frustracije. Nabor takih stanj v frustriranih sistemih se razteza od dinamičnih spinskotekočinskih faz do zamrznjenih spinskih stekel; v redkih primerih so bila opažena celo magnetno urejena stanja, s spremljajočo vztrajno spinsko dinamiko (persistent spin dynamics). Ker so poročila o soobstoju magnetne ureditve in spinske dinamike v osnovnem stanju zelo redka, celovitega opisa tega pojava še ni.

Predmet naše raziskave sta zato dva spinska sistema; plastovita spojina $FeTe_2O_5Br$, kjer so magnetni ioni Fe^{3+} (S = 5/2) [1] in kvazi-enodimenzionalna spojina β-$TeVO_4$ z magnetnimi V^{4+} (S = 1/2) ioni [2]. Obe spojini pri nizkih temperaturah kažeta več zaporednih magnetnih prehodov [2,3], ki končno vodijo do kompleksnega magnetnega osnovnega stanja z inkomenzurabilno modulacijo [3,4]. Omeniti velja še to, da je zaradi presenetljivo močnih izmenjalnih Fe-O-Te-O-Fe interakcij sistem $FeTe_2O_5Br$ potrebno obravnavati kot mrežo spinskih verig sklopljenih s šibkimi frustriranimi interakcijami [5]. Spinske verige tako predstavljajo osnovni gradnik v obeh omenjenih sistemih.

V našem prispevku bomo predstavili rezultate nevtronske difrakcije in mionske spinske relaksacije, ki kažejo, da spinska dinamika spremlja inkomenzurabilno amplitudno modulirano magnetno strukturo vse do najnižjih eksperimentalno dostopnih temperatur tako v $FeTe_2O_5Br$ [6], kakor tudi v β-$TeVO_4$ [4]. Naši rezultati kažejo, da je opaženo obnašanje splošnejša značilnost spinskih verig, ki s tem ponujajo dobro definiran okvir za študij soobstoja magnetne ureditve in vztrajne spinske dinamike.

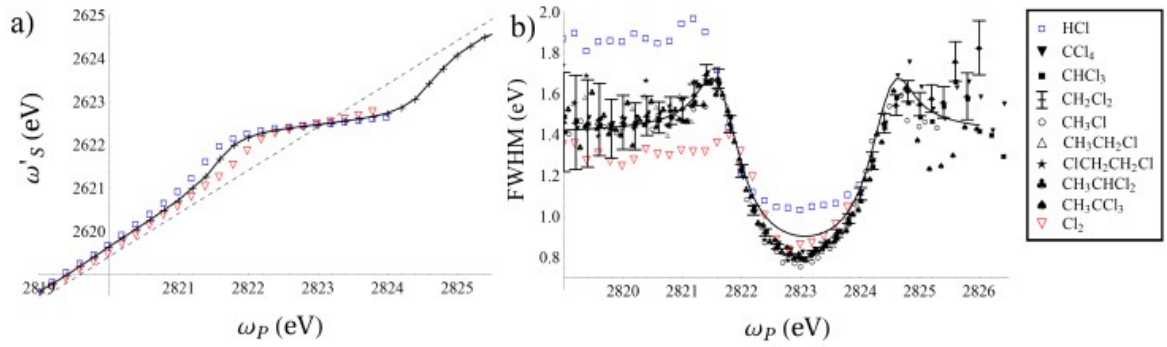
[1] R. Becker et al., Journal of American Chemical Society **128**, 15470, (2006).
[2] Y. Savina et al., Physical Review B **84**, 104447 (2011).
[3] M. Pregelj et al., Physical Review Letters 103, 147202 (2009).
[4] M. Pregelj et al. v delu.
[5] M. Pregelj et al., Physical Review B 86, 054402 (2012).
[6] M. Pregelj et al., Physical Review Letters 109, 227202 (2012).

Dinamika disociacije kloriranih ogljikovodikov po resonančni vzbuditvi Cl(1s)→σ* z rentgensko svetlobo

Rok Bohinc[1], Matjaž Žitnik[1,2], Klemen Bučar[1] in Matjaž Kavčič[1]

1. Odsek za fiziko nizkih in srednih energij, IJS, Ljubljana
2. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

Potencialne krivulje elektronskih stanj molekul z vrzeljo v notranji lupini in elektronom v σ* orbitali so v okolici ravnovesne lege osnovnega stanja značilno strme. Po resonančni vzbuditvi v takšno stanje se del razpoložljive energije naloži v kinetično energijo fragmentov, pri čemer molekula razpade. T.i. ultra-hitra disociacija poteče na časovni skali razpada notranje vrzeli, ki je v primeru vrzeli v klorovi lupini K tipično reda 1fs. Razpad molekule je tako mogoče opazovati z visoko ločljivostnimi rentgenskimi tehnikami, kot je resonančno neelastično sipanje rentgenske svetlobe. Vpliv disociacije se v spektralnih mapah kaže kot zožitev resonančnih črt in zlom linearne disperzije. Nedavno smo izmerili podobne hitrosti disociacije za celo skupino kloriranih ogljikovodikov [1]. To je na prvi pogled presenetljiv rezultat, saj je v preprostem dvokomponentnem modelu, pri katerem se klorov atom oddaljuje od togega preostanka molekule, hitrost odvisna od reducirane mase. Po drugi strani meritve na molekulah HCl in Cl_2 nakazujejo na očitno hitrejši, oziroma počasnejši razpad v primerjavi s kloriranimi ogljikovodiki (slika 1). Opažene razlike med hitrostmi disocijacije za omenjene molekule smo nedavno pojasnili s teoretičnim modelom disociacijske dinamike, ki temelji na razvoju po normalnih vibracijskih načinih osnovnega stanja [2]. Simulacije kažejo, da se v kratkem časovnem intervalu, ki ga določa razpad notranje vrzeli, povečuje le medatomska razdalja med vzbujenim klorovim atom in atomom na katerega je ta vezan, medtem ko ostali atomi v molekuli praktično mirujejo.



Slika 1: a) Izmerjene disperzijske krivulje in b) širine emisijskih črt K_α v odvisnosti od energije vpadnih fotonov za disociativno resonanco $K^{-1}\sigma^{*1}$ kloriranih halidov. Polni črti prikazujeta prileganje eksperimentalnim podatkom za molekulo CH_2Cl_2.

[1] R. Bohinc, M. Žitnik, K. Bučar, M. Kavčič, L. Journel, R. Guillemin, T. Marchenko, M. Simon in W. Cao, J. Chem. Phys. **139**, 134302 (2013)

[2] R. Bohinc, M. Žitnik, K. Bučar in M. Kavčič, J. Chem. Phys. **140**, 164304 (2014)

Uporaba eksperimenta upočasnjevanja nevtronov v svincu za validacijo jedrskih podatkov

Gašper Žerovnik[1,2], Andrej Trkov[1,3], Peter Schillebeeckx[4], Ivan Sirakov[5]

1. *Odsek za reaktorsko fiziko, IJS, Ljubljana*
2. *Katedra za jedrsko tehniko, FMF, Ljubljana*
3. *Nuclear Data Section, IAEA, Dunaj*
4. *Standards for Nuclear Safety, Security and Safeguards (SN3S), EC-JRC-IRMM, Geel*
5. *Institute for Nuclear Research and Nuclear Energy, Sofia*

Svinec je poleg bizmuta stabilna kovina z največjo atomsko maso, kar pomeni, da je povprečna izguba kinetične enegije nevtrona pri elastičnem sipanju bistveno manjša kot pri večini drugih materialov. Poleg tega ima svinec relativno majhen absorpcijski presek za nevtrone. V primeru monoenergetskega visokoenergijskega pulznega izvora (npr. 14 MeV DT izvora) obstaja močna korelacija med časom po pulzu in povprečno energijo nevtrona v napravi. Na ta način so omogočene diferencialne meritve reakcijskih presekov v izbranih materialih. Energijska ločljivost je sicer bistveno slabša kot pri diferencialnih meritvah s časom preleta nevtrona, vendar lahko pridobimo dodatne informacije v primerjavi z integralnimi (npr. aktivacijskimi) meritvami. V sicer redkih primerih je informacija, pridobljena s tovrstnim eksperimentom, lahko celo komplementarna diferencialnim meritvam.

V prispevku bo predstavljen princip delovanja eksperimenta in prikazani nekateri primeri uporabe za validacijo jedrskih podatkov.

S teorijo kompleksnih mrež do razkritja modularne narave sincicija celic beta v trebušni slinavki miši

Marko Gosak[1,2,4], Andraž Stožer[3,4], Rene Markovič[1], Jurij Dolenšek[3], Marko Marhl[1,2,4], Marjan Slak Rupnik[3,4,5]

[1]*Oddelek za fiziko, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Univerza v Mariboru*
[2]*Pedagoška fakulteta, Univerza v Mariboru*
[3]*Inštitut za fiziologijo, Medicinska fakulteta, Univerza v Mariboru*
[4]*Center za odprte inovacije in raziskave, Univerza v Mariboru*
[5]*Inštitut za fiziologijo, Medicinska univerza na Dunaju*

Teorija kompleksnih mrež se v zadnjih petnajstih letih vse pogosteje uporablja za preučevanje in razumevanje organizacijskih in funkcionalnih principov živih organizmov na najrazličnejših skalah [1]. V naši študiji se osredinimo na mrežno predstavitev funkcionalne povezanosti celic beta v Langerhansovih otočkih trebušne slinavke miši [2], katerih poglavitna naloga je proizvajanje in izločanje inzulina, ki igra ključno vlogo pri uravnavanju koncentracije glukoze v krvi. Zaradi njihove heterogenosti predstavlja medcelična signalizacija ključen mehanizem za zmanjšanje variabilnosti in njihovo koordinirano aktivnost na nivoju organa in s tem tudi regulirano eksocitozo inzulina. Celice beta smo stimulirali z glukozo, katere koncentracijo smo stopničasto povečevali v fiziološko relevantnih mejah in s konfokalnim mikroskopom z laserskim skenerjem beležili spremembe koncentracije znotrajceličnega kalcija posameznih celic. Funkcionalno povezanost med celicami smo določili na osnovi korelacij med izmerjenimi dolgimi časovnimi vrstami znotrajceličnih kalcijevih signalov in sprotno računali topološke lastnosti nastalih funkcionalnih mrež. Rezultati kažejo, da so funkcionalne mreže pri nizkih koncentracijah glukoze zelo redke, medtem ko pri visokih postanejo gosteje povezane. Poleg tega se izkaže, da se celice beta na vseh stopnjah stimulacije organizirajo v funkcionalno segregirane pod-enote (gruče) celic, kar v splošnem spodbuja zgolj njihovo lokalno koordinirano aktivnost. Vse bolj izražene lastnosti mrež malega sveta pri višjih koncentracijah glukoze pa pričnejo vpeljevati protiutež tej modularni naravi. Topološke lastnosti mrež se najbolj spreminjajo v območjih srednjih koncentracij glukoz, kar priča o največji plastičnosti funkcionalne povezanosti v fiziološko relevantnih območjih. Opažene nelinearne odvisnosti topoloških mer so skladne z izmerjeno fiziološko odvisnostjo izločenega inzulina od ravni glukoze v krvi [3]. Rezultati analiz nudijo nova spoznanja na področju fiziologije Langerhansovih otočkov in razkrivajo do sedaj njihovo neopaženo modularno naravo, kar brez naprednih analitičnih orodij ne bi bilo mogoče. Iz dinamike ekstrahirane topološke mere bodo prav tako uporabne za študij razlik med normalnim in bolnim tkivom.

[1] A.-L. Barabási, Nature Phys. 8 (2012) 14.
[2] A. Stožer, M. Gosak, J. Dolenšek, M. Perc, M. Marhl, M. S. Rupnik, D. Korošak, PLoS Comput. Biol. 9 (2013) e1002923.
[3] R. Markovič, A. Stožer, M. Gosak, J. Dolenšek, M. Marhl, M. S. Rupnik, poslano v Scientific Reports.

Simulacija Atomističnega Proteina v Vodi MARTINI z Metodo Adaptivne Resolucije

Julija Zavadlav[1] in Matej Praprotnik[1]

1. Laboratorij za Molekularno Modeliranje, Kemijski Inštitut, Hajdrihova 19, SI-1001 Ljubljana, Slovenija

Predstavljamo simulacijo proteina G v večskalni vodi z metodo adaptivne resolucije [1]. Atomistično vodo v okolici proteina sklapljamo z mezoskopsko vodo, kjer so štiri vodne molekule predstavljene z enim grobozrnatim delcem. Težavam, ki se pojavijo pri sklapljanju z grobozrnatimi modeli preko 4-1 preslikave, se izognemo z uporabo gručastega modela vode [2]. Pri tem modelu omejimo relativno gibanje vodnih molekul, ki pripadajo istemu grobozrnatemu delcu, s pol harmonskimi vezmi med atomi kisika. Tekom simulacije lahko vodne molekule prosto spreminjajo svojo resolucijo iz štirih molekul v en grobozrnat delec in obratno. Strukturne in dinamične lastnosti proteina se pri metodi adaptivne resolucije znotraj napake ujemajo z rezultati popolnoma atomistično solvatiranega proteina. Naš večskalni model je kompatibilen s pogosto uporabljenim poljem sil MARTINI in bo zato bistveno povečal obseg biomolekularnih simulacij.

[1] Zavadlav, J.; Melo, M. N.; Marrink, S. J.; Praprotnik, M., J. Chem. Phys. **140**, 054114 (2014)

[2] Zavadlav, J.; Melo, M. N.; Cunha, A. V.; de Vries, A. H.; Marrink, S. J.; Praprotnik, M. J. Chem. Theory Comput, **10**, 2591–2598 (2014)

PLAKATI

Fenomenologija elektrostatičnih interakcij v fiziki proteinov

Nataša Adžić[1], Rudolf Podgornik[1,2]

1. Odsek za teoretično fiziko, IJS, Ljubljana
2. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

Z vidika elektrostatskih interakcij so proteini zanimivi objekti, ker je naboj, ki ga nosijo, odvisen od okolja v katerem se nahajajo. To pomeni, da imajo proteini reguliran naboj, torej, da naboj makro-iona ni konstanten, ampak reagira na lokalne spremembe parametrov v raztopini, kot npr. lokalno pH vrednost, lokalni elektrostatični potencial, koncentracijo soli, spremembo dielektrične konstante pa tudi na prisotnost drugih nabitih funkcionalnih skupin. Ta občutljivost proteinskega naboja lahko privede do pojave eksotične elektrostatike, kot sta pred pol stoletja prva to pokazala Kirkwood in Shumaker (KS). Njun približen rezultat je, da med dvema elektronevtralnima proteinoma v vodni rastopini obstaja privlak dolgega dosega [1]-[2], ki se obnaša drugače kot van der Waals-ov privlak, tipičen za nevtralna telesa. Naš cilj je bil izpeljati eksaktno obliko KS interakcije, ki bi bila veljavna tudi v režimih kjer KS teorija ne velja. Zato smo morali formulirati problem v okviru klasične teorije polja. Začeli smo s preprostim modelom: dve negativno nabiti plošči z ravnima površinama, na katerih se nahajajo disociabilne skupine, ki lahko absorbirajo pozitivne ione, tako da naboj na ploščah fluktuira v intervalu $[-\sigma_0, 0]$. Sistem se po predpostavki nahaja v vodni raztopini, kjer je mogoče najti samo monovalentne pozitivne ione, ki prihajajo iz procesov disociacije na površinah. Izpeljana teorija za takšen sistem daje eksakten KS rezultat [3], in je splošna, tako da se v določenih limitah reducira na ustrezne rezultate, ki se nanašajo na podobne sisteme s fiksnim nabojem [4]. Uspeh te teorije je bil motivacija za nadaljevanje z opisom sistema reguliranega naboja, tako da smo formulirali problem v sferni geometriji in smo izpeljali teorijo za sisteme različne simetrije porazdelitve naboja na disociabilnih makroionih s krogelno simetrijo. Pokazali smo, da v vsakemu primeru, v izoelektrični točki obstaja privlak, ki je izključno fluktuacijske narave.

[1] J. Kirkwood, J.B. Shumaker, Proc. Natl. Acad. Sci. USA **38** 855 (1952)
[2] J. Kirkwood, J.B. Shumaker, Proc. Natl. Acad. Sci. USA **38** 863 (1952)
[3] N. Adžić, R. Podgornik, Eur. Phys. J. E **37** 49 (2014)
[4] A. Naji, M. Kanduč, J. Forsman, R. Podgornik, J. Chem. Phys. **139** 150901 (2013)

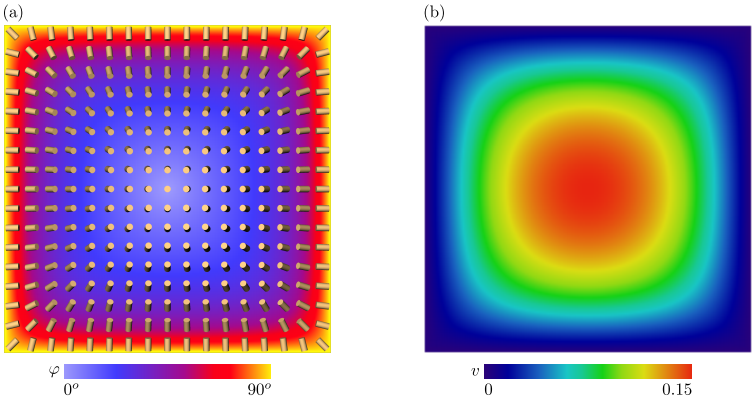
Nematska mikrofluidika v kompleksnih mikro-kanalih

J. Aplinc* in M. Ravnik

Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani

Tekoči kristali so močno anizotropne tekočine, njihova hidrodinamika pa je drugačna kot v izotropnih tekočinah. V tekočih kristalih je orientacijski red molekul sklopljen z njihovim translacijskim gibanjem, zato imajo efektivno anizotropno viskoznost [1]. Zaradi te sklopitve tok tekočine vpliva na deformacijo direktorja in obratno, spreminjanje direktorskega polja (z zunanjimi polji) lahko v nematiku požene tok - temu pojavu pravimo povratni tok [1]. Hitrostno polje v tekočih kristalih opišemo z Navier-Stokesovo enačbo, vendar jo je potrebno posplošiti z dodatnim napetostnim tenzorjem, saj je tudi direktor $\mathbf{n}$ hidrodinamska spremenljivka. Nematodinamiko s tenzorskim ureditvenim parametrom obravnava Beris-Edwardsov model [2], ki ga rešujemo z hibridno mrežno Boltzmannovo metodo [3, 4].

Predstavili bomo rezultate simulacij toka nematskega tekočega kristala skozi mikrofluidne kanale različnih geometrijskih presekov, katerih površine vsiljujejo planarno ali pa homeotropno sidranje. V kanalih s planarnim sidranjem se zaradi nematskega toka direktor odkloni proti osi mikrofluidnega kanala. V primeru homeotropnega sidranja sta možni dve stanji direktorja, in sicer dva defekta s polovično močjo ali pa pobegla struktura. V mikro-kanalih dimenzije 2 μm, s katerimi se bomo ukvarjali, je energijsko ugodneje, da se direktor nahaja v slednjem stanju. Zaradi spremenljive orientacije direktorja v pobegli strukturi je efektivna viskoznost v mikro-kanalu odvisna od kraja, kar vpliva na tokovni profil.



Slika 1: Direktorsko in hitrostno polje v kvadratni cevi s homeotropnim sidranjem.

Literatura

[1] P. G. de Gennes in J. Prost, *The physics of liquid crystals*, Oxford University Press, Oxford, 1993.

[2] A. N. Beris in B. J. Edwards, *Thermodynamics of flowing systems: with internal microstructure*, Oxford University Press, New York, 1994.

[3] M. Ravnik in J. M. Yeomans, *Confined active nematic flow in cylindrical capillaries*, Phys. Rev. Lett. **110**, 026001 (2013).

[4] A Sengupta, U. Tkalec, M. Ravnik, J. M. Yeomans, C. Bahr in S. Herminghaus, *Liquid Crystal Microfluidics for Tunable Flow Shaping*, Phys. Rev. Lett. **110**, 048303 (2013).

*jure.aplinc@fmf.uni-lj.si

Meritev posplošenih polarizirnosti protona z virtualnim comptonskim sipanjem

Jure Beričič[1], Helene Fonvieille[2], Loup Correa[2], Meriem Ben Ali[2] in Simon Širca[1,3]

[1]Odsek za Fiziko Nizkih in Srednjih Energij, IJS, Ljubljana, Slovenija
[2]Laboratoire de Physique Corpusculaire, IN2P3, Clermont-Ferrand, Francija
[3]Fakulteta za Matematiko in Fiziko, UL, Ljubljana, Slovenija

Glavno vprašanje v fiziki osnovnih delcev ni več, kaj so osnovni gradniki nukleonov, temveč kako so ti gradniki povezani med sabo, zato nas zanima karakterizacija notranje strukture nukleona. Za nadaljnji razvoj teoretičnih modelov in za omejitev parametrov, ki jih ti modeli vsebujejo, je potrebnih več eksperimentalnih podatkov. Mednje sodijo tudi posplošene polarizirnosti protona, ki jih lahko določimo iz meritve virtualnega comptonskega sipanja.

Virtualno comptonsko sipanje je posplošitev realnega comptonskega sipanja. V nasprotju z realnimi fotoni lahko pri virtualnih fotonih neodvisno izbiramo njihovo energijo in gibalno količino. Tako imamo dodatno prostostno stopnjo, četverec prenosa gibalne količine Q^2, kar nam omogoča posplošitev statičnih polariznirnosti dobljenih pri realnem comptonskem sipanju v posplošene polarizirnosti, ki postanejo funkcije tega Q^2. Do virtualnega comptonskega sipanja lahko dostopamo preko procesa elektroprodukcije fotona $e + p \longrightarrow e' + p' + \gamma$, kjer začetni elektron in proton interagirata z izmenjavo virtualnega fotona. Sipalna amplituda za ta proces je koherentna vsota treh prispevkov: Bethe-Heitlerjevega, Bornovega in ne-Bornovega dela. Prva dva sta poznana in ju je mogoče natančno izračunati v okviru teorije kvantne elektrodinamike ob poznavanju elektromagnetnih oblikovnih faktorjev. Ne-Bornov del pa upošteva tudi deformacijo protona v elektromagnetnem polju in vsebuje iskane posplošene polarizirnosti.

Doslej so bile opravljene le štiri meritve virtualnega comptonskega sipanja na protonu [1-3], teoretični modeli pa za zdaj še ne pojasnijo vseh izmerjenih vrednosti. Zato smo na pospeševalniku MAMI v Mainzu v okviru kolaboracije A1 opravili meritve v treh novih kinematičnih postavitvah pri treh novih vrednostih Q^2. Za analizo podatkov uporabljamo dve metodi: LEX [4] in DR [5]. Pri analizi LEX razvijemo diferencialni sipalni presek za elektroprodukcijo fotona po potencah gibalne količine končnega fotona. Prvi člen razvoja je presek za Bethe-Heitlerjev in Bornov proces, naslednji člen pa vsebuje strukturni funkciji, iz katerih lahko izračunamo posplošeni polarizirnosti. Pri metodi DR pa presek izračunamo preko disperzivnih integralov, polarizirnosti pa sta neposredno parametrizirani z dvema prostima parametroma.

[1] J. Roche *et al.*, Physical Review Letters **85**, 708–711 (2000)

[2] G. Laveissière *et al.*, Physical Review Letters **93**, 122001 (2004)

[3] P. Bourgeois *et al.*, Physical Review Letters **97**, 212001 (2006)

[4] P.A.M Guichon, *et al.*, Nuclear Physics A **591**, 606 (1995)

[5] B. Pasquini, *et al.*, European Physical Journal A **11**, 185 (1995)

Study of double $c\bar{c}$ production in e^+e^- annihilation @ Belle experiment

Jyoti Prakash Biswal *
Experimental Particle Physics Division(F-9)
Institut "Jožef Stefan"

Abstract

The results from the Belle experiment indicate that double $c\bar{c}$ production from e^+e^- annihilation is much more significant than previously expected. This phenomenon requires more experimental studies and at the same time it prompts for modifications of theoretical calculations by taking higher order corrections into account.

One possible experimental method, which can be performed, is the study of double $c\bar{c}$ production, where the $e^+e^- \to c\bar{c}\ c\bar{c} \to D_{c(\bar{c})}\ D_{c(\bar{c})}\ X(=\text{Anything})$ events are tagged by reconstruction of two charmed mesons with the same charm content. When the charm quark and antiquark from produced $c\bar{c}$ pairs hadronise into pairs of charmed hadrons, these hadrons contain an opposite charm content, *i.e.* one of the hadrons contains a c quark— like D^0, $D^{(*)+}$ mesons or Λ_c^+ baryons and the other contains a $\bar{c}$ antiquark— like $\overline{D}^0$, $D^{(*)-}$ mesons or $\overline{\Lambda}_c^-$ baryons. Similarly, when four charmed hadrons are produced within the hadronisation of two $c\bar{c}$ pairs ($c\bar{c}\ c\bar{c}$), two hadrons containing a c quark are produced together with the two hadrons containing a $\bar{c}$ antiquark. Instead of reconstructing all four charmed hadrons in the latter processes, which is expected to result in a low detection efficiency, a partial reconstruction technique can be used. Namely, a detection of two charmed mesons with the same charm content like D^+D^+, $D^{(*)-}\ D^-$, $D^0D^{(*)+}$, ... should represent a clear signature for a double $c\bar{c}$ production in e^+e^- annihilation, even without explicit reconstruction of the rest of the event.

In the poster, I will present the above described reconstruction procedure of the two same flavoured D meson pairs namely D^+D^+, D^+D^0, D^0D^0 involving various decay modes of the D mesons and extraction of the corresponding cross-sections: $\sigma(e^+e^- \to D^+D^+X)$, $\sigma(e^+e^- \to D^+D^0X)$ and $\sigma(e^+e^- \to D^0D^0X)$.

*Email: jyoti.biswal@ijs.si

Topotaktične transformacije molibdenovega oksida Mo_4O_{11}

Miloš Borovšak[1,2], Petra Šutar[1] in Dragan Mihailović[1,2,3]

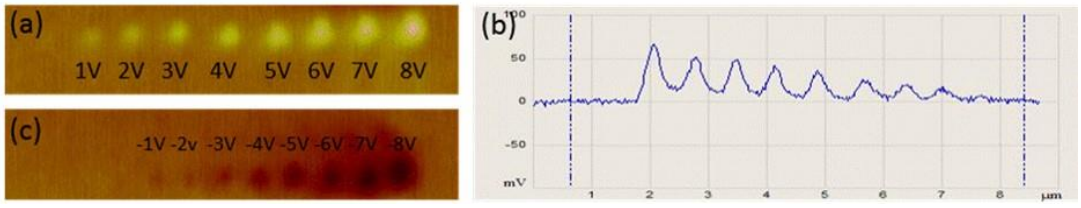
1. Institut "Jožef Stefan", Odsek za kompleksne snovi, Ljubljana
2. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana
3. Mednarodna podiplomska šola Jožef Stefan, Ljubljana

Potrebe računalniške industrije po novih hitrih spominskih enotah se zaradi bližanja limitom tehnologije temelječe na siliciju stalno povečuje. Ena od možnih tehnologij prihodnosti je kontrolirana uporaba faznih prehodov.

Molibdenovi oksidi obstajajo v različnih fazah. Poleg najbolj znanih MoO_2 in MoO_3 obstaja med njima cela vrsta suboksidov (Mo_4O_{11}, Mo_5O_{14}, Mo_8O_{23} in drugih), ki imajo strukturno formulo Mo_nO_{3n-1} [1]. Poleg strukture vplivajo na lastnosti kristalov tudi kristalne faze. Tako je MoO_2 v monoklinski fazi pri sobni temperaturi polkovina [2], MoO_3 v ortorombni fazi pa polprevodnik z vrzeljo velikosti 3,2 eV. Monoklinski Mo_4O_{11} je kovinski material [3]. Pod določenimi pogoji lahko prehajamo med različnimi molibdenovimi oksidi. Zanimive so topotaktične transformacije materiala. Gre za spremembe, pri katerih se transformacija kristalne strukture zgodi na račun dodajanja ali odstranjevanja materiala na način, da je transformirana kristalna struktura tesno povezana z izvorno strukturo.

Tu predstavljamo topotaktične transformacije na Mo_4O_{11}. Topotaktične spremembe povzročimo z napetostjo na konici mikroskopa na atomsko silo (AFM) v kontaktnem načinu delovanja mikroskopa. Dobimo tako imenovano elektrokemično reakcijo v nanoreaktorju med vzorcem, vodno plastjo in konico AFM. Spremembe opazujemo z merjenjem površinskega potenciala v Kelvin probe načinu. Pri tem opazimo spremembe površinskega potenciala, ne pa sprememb v topografiji. Podobne transformacije dosežemo tudi z osvetljevanjem vzorca s kontinuiranim laserskim žarkom.

Nadzorovane in reverzibilne transformacije materiala bi lahko vodile do uporabe pojava za kontroliranje faz in s tem lastnosti materiala, za spominske enote ali za memristorske naprave.



Slika 1: Spremembe površinskega potencial v odvisnosti od napetosti na konici AFM

[1] Kihlborg L., Acta Chemica Scanidinavica 13, 954-962 (1959).

[2] R. Srivastava, L.L. Chase, Solid State Commun. 11, 349 (1972).

[3] Gruber H., Krautz E., physica status solidi (a) 62, 615 (1984).

Exactly Solvable Current Statistics in Open Spin Systems

Berislav Buča[1] and Tomaž Prosen[1]

1. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

We study the full counting statistics for interacting quantum many-body spin systems weakly coupled to the environment [1]. In the leading order in the system-bath coupling we derive exact spin current statistics for a large class of parity symmetric spin-1/2 systems driven by a pair of Markovian baths with local coupling operators. Interestingly, in this class of systems the leading order current statistics are universal and do not depend on details of the Hamiltonian. Furthermore, in the specific case of symmetrically boundary driven anisotropic Heisenberg (XXZ) spin 1/2 chain we derive explicitly the third-order non-linear corrections to the current statistics.

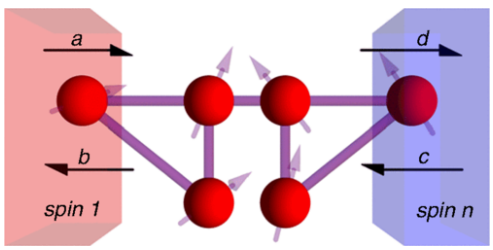


Figure 1: The spin transport model. Exemplar parity-symmetric system is coupled locally to two spin baths (represented by boxes), at spin sites 1 and n. The baths act on the system via jump operators with the corresponding rates (a, b, c, d). The arrows beneath the jump rates indicate the direction in which the spin current is being driven.

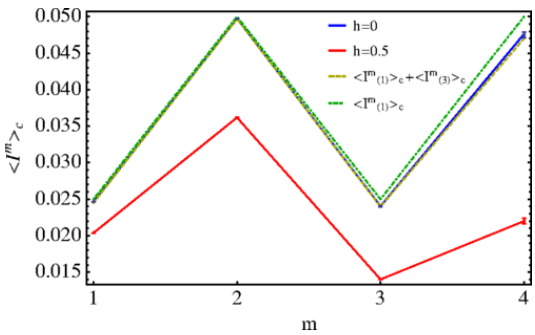


Figure 2: The first four current cumulants obtained numerically for the XXZ spin chain and staggered field XXZ spin model with field strength h, for n=4, Δ=0.5, μ=0.5, ϵ=0.1. Dot-dashed (dashed) lines indicate analytical results up to second (fourth) order in ϵ.

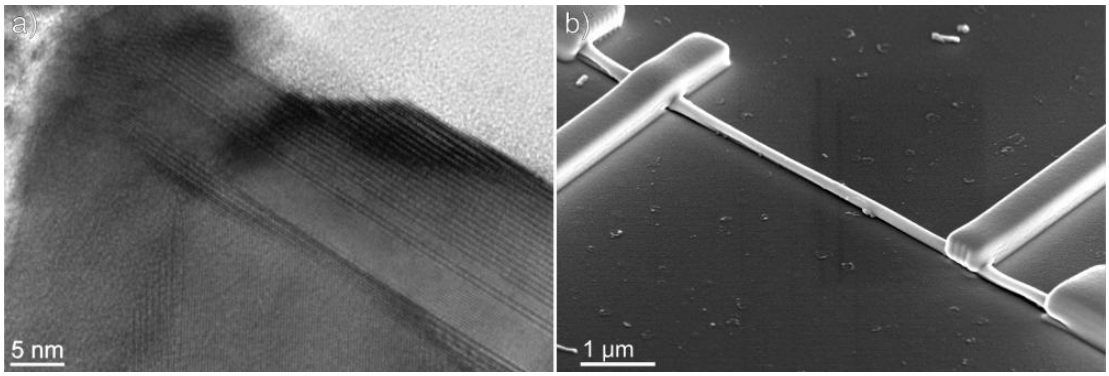
[1] B. Buča and T. Prosen, Physical review letters **112** (6), 067201 (2014)

Preiskava superprevodnih molibden nitridnih nanožic

J. Buh[1*], A. Kovič[1], A. Mrzel[1], Z. Jagličić[2], Srečo D. Škapin[3], D. Mihailovic[1,3]

[1] Institut Jožef Stefan, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenija
[2] IMFM & Fakulteta za Gradbeništvo, Jamova 2, Ljubljana, Slovenija
[3] CENN Nanocenter, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenija
[*]joze.buh@ijs.si

Molibden nitrind (MoN) je na zraku stabilna kovina z mnogimi uporabnimi lastnostmi, še posebej v obliki nanožic. MoN je med drugim moč uporabiti kot hibridno elektrodo v litijevi bateriji [1] in kot material za absorbcijo vodika [2]. Pojavlja se v več različnih fazah, med katerimi je δ3-MoN še posebej zanimiva zaradi relativno visoke temperature prehoda v superprevodno stanje (T_C=12-14 K [3]). MoN nanožice pripravimo s nitridacijo $Mo_6S_xI_{9-x}$ (MoSI) nanonožic, ki nam služijo kot prekurzor.
MoSI nanožice smo segrevali v eno conski pečici pri konstantnem pretoku NH_3/Ar. Pri različnih časih reakcije in pri različnih temperaturah in procentih amonijaka v NH3/Ar mešanici dobimo različne MoN faze [4]. Za kvantitativno analizo kristalografskih faz v končnem MoN materialu smo uporabili rentgensko praškovno difrakcijo. Poleg te metode pa smo z mikroskopo s fokusiranim ionskim žarkom pripravili vzorce za analizo z transmisijskim elektronskim mikroskopom. Informacije pridobljene s pomočjo XRD in TEM smo uporabili za optimizacijo sinteznega postopka.
δ_3-MoN nanožice smo nadalje analizirali s superprevodnim kvantnim interferometrom (SQUID) poleg tega pa smo opravili še temperaturno odvisne meritve električne prevodnosti na posamezni nanožici.



Slika 1. a) TEM slika s FIB-om pripravljene lamele. Različne kristalografske faze so jasno vidne. b) MoN naožica z štirimi merilnimo PT elektrodami.

Rezultati kažejo, da temperatura igra ključno vlogo pri sintezi MoN nanožic z visoko vsebnostjo δ_3 faze. Pri transformaciji temperature okoli 700 °C se le majhni del MoSI pretvori v željeno fazo: Slika 1.a kaže MoN žico z dvema različnima fazama; željeno δ_3-MoN in Mo_5N_6 fazo. Pri višjih temperaturah in višjih vsebnostih amoniaka je moč proizvesti nanožice, ki vsebujejo zgolj δ_3 fazo. Slika 1.b kaže δ_3-MoN žico s Pt elektrodami pripravljenimi s pomočjo ionskega žarka. Temperatura prehoda v superprevodo stanje je pri 10,8 K.

Ekstenzivna uporaba FIB mikroskopa je dala ključne informacije za uspešno sintezo δ_3-MoN nanožic. Kontakti narejeni z depozicijo platine s pomočjo ionskega žarka pa so se izkazali za zanesljivo alternativo bolj klasični metodi litografije z elektronskim žarkom [5].

Literatura

[1] S. Dong et. al., Chemical Communications 47 (2011) 11291
[2] A. Guerrero-Ruiz et. al, Langmuir 15 (1999) 4927
[3] J. M. Vandenberg et.al., Materials Research Bulletin 9 (1974)
[4] J. Buh et. al., Nanotechnology 25 (2014) 025601
[5] Avtorji bi se radi zahvalili CENN nanocentru za uporabo FIB mikroskopa.

Vpliv strukturnih sprememb na električno inducirane lastnosti relaksorskih polimernih sistemov

Goran Casar,[1] Xinyu Li,[2] Jurij Koruza,[1] Sebastjan Glinšek,[1] Xiaoshi Qian,[2] Qiming Zhang[2] in Vid Bobnar[1]

[1]*Institut Jožef Stefan in Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana, Jamova 39, SI-1000 Ljubljana, Slovenija*

[2]*Department of Electrical Engineering and Materials Reasearch Institute, The Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania 16802, USA*

Elektroaktivni relaksorski polimeri, ki temeljijo na poli(viniliden fluorid-trifluoroetilenskem) kopolimeru, P(VDF-TrFE), imajo velik potencial v širokem spektru uporabe zaradi njihovih hitrih odzivnih časov, velike dielektrične konstante in velike gostote električne energije, velike elektrostrikcije ter velikega elektrokaloričnega odziva.

Predstavili bomo vpliv strukturnih sprememb na dielektrične, elektromehanske in elektrokalorične lastnosti feroelektričnih in relaksorskih polimerov, temlječ na P(VDF-TrFE) kopolimeru (v primeru relaksorskih polimerov je red dolgega dosega verig preprečen z dodajanjem CFE monomera, ki vsebuje velike atome klora). Naše raziskave vključujejo polimere, ki so bili različno pripravljeni oz. obdelani z: (i) enoosnim raztegovanjem, (ii) obsevanjem z majhnimi in srednjimi dozami visokoenergijskih elektronov ter (iii) mešanjem relaksorskih in feroelektričnih polimerov. Predstavljene in razložene so znatne razlike v dielektričnem, elektromehanskem in elektrokaloričnem odzivu, torej, da (i) enoosno raztegovanje zaradi dodatnega urejanja polimernih verig poveča električno polarizacijo ter posledično elektromehanski odziv, ki je v relaksorskih sistemih izključno elektrostrikcijskega izvora (kar pomeni, da je sorazmeren s kvadratom inducirane polarizacije); (ii) obsevanje feroelektričnega P(VDF-TrFE) kopolimera z majhnimi in srednjimi dozami visokoenergijskih elektronov ustvari sistem s koeksistenco feroelektrične in relaksorske faze, kar posledično doprinese večji elektrokalorični odziv; (iii) podobno, kot pri obsevanju, mešanje relaksorskega P(VDF-TrFE-CFE) terpolimera s feroelektričnim P(VDF-TrFE) kopolimerom rezultira v sistemu s soobstojem feroelektrične in relaksorske faze, vendar brez stranskih učinkov, ki so prisotni pri obsevanju (npr. navzkrižne povezave polimernih verig ali formacija prostih radikalov). Mešanica polimernih sistemov je zato primerna kot model za spreminjanje različnih električno induciranih lastnosti feroelektričnih in relaksorskih polimerov.

Magnetno urejeni tekočekristalni elastomeri

Luka Cmok[1], Andrej Petelin[2], Sašo Gyergyek[2], Darja Lisjak[2] in Martin Čopič[1,2]

1 Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija

2 Inštitut Jožef Stefan, Ljubljana, Slovenija

Tekočekristalni elastomeri (LCE) so zanimivi materiali z nekaj edinstvenimi lastnostmi, kot sta mehka elastičnost in spontana deformacija. V materialu združimo ideji o urejenem redu tekočih kristalov in elastičnega odziva elastomera-gume. Standardna pot do dobro urejenih tekočekristalnih elastomerov vodi preko dvokoračne metode, ki sta jo razvila Küpfer in Finkellman [1]. Materiali sintetizirani po tej poti imajo nizko temperaturo steklastega prehoda, dobro urejenost in veliko spontano deformacijo ob faznem prehodu. Na žalost je sinteza precej zahtevna in lahko pripravimo samo majhne in debele trakce. Kadar želimo vzorce zahtevnejših oblik, uporabimo fotopolimerizabilne akrilatne tekočekristalne elastomere. Njihova slabost je, da imajo visoko temperaturo prehoda v steklasto fazo, zato so na sobni temperaturi trdi in krhki. Zadnji napredki v tiol-en klik kemiji[2] nam omogočajo, da lahko pripnemo mezogenske enote na polisiloksansko hrbtenico s pomočjo UV svetlobe, kar nam omogoča izdelavo zapletenih oblik, material pa ima kljub temu nizko temperaturo steklastega prehoda.

Metodo tiol-en klik kemije smo uporabili za sintezo tekočekristalnih elastomerov z enakomerno razporejenimi tankimi magnetnimi ploščicami [3]. Študirali smo vpliv zunanjega magnetnega polja med sintezo na urejenost tekočekristalnega elastomera. Vzorci zamreženi brez zunanjega magnetnega polja postanejo polidomenski s podobnimi lastnostmi kot vzorci pripravljeni na enak način brez magnetnih delcev. Sklopitev med magnetnimi ploščicami in tekočekristalnim mezogenom nam uredi celotno mešanico prekurzorjev tekočekristalnega elastomera, tako da postane po polimerizaciji vzorec monodomenski. Vzorci tako pridobijo permanentno magnetizacijo, ki je zapisana v samo strukturo tekočekristalnega elastomera.
Opazovali smo spremembo v magnetizaciji med natezanjem vzorca, prav tako pa smo izmerili spremembe optičnih in makroskopskih lastnosti urejenega vzorca ob izpostavitvi zunanjemu magnetnemu polju.

[1] Küpfer, J. et all, Die Makromolekulare Chemie, Rapid Communications, 1991, **12**, 717-726
[2] Yang, H, et all. Macromolecules, 2013, **46**, 3406-3416
[3] Mertelj, A. et all, Nature, 2013, **504**, 237

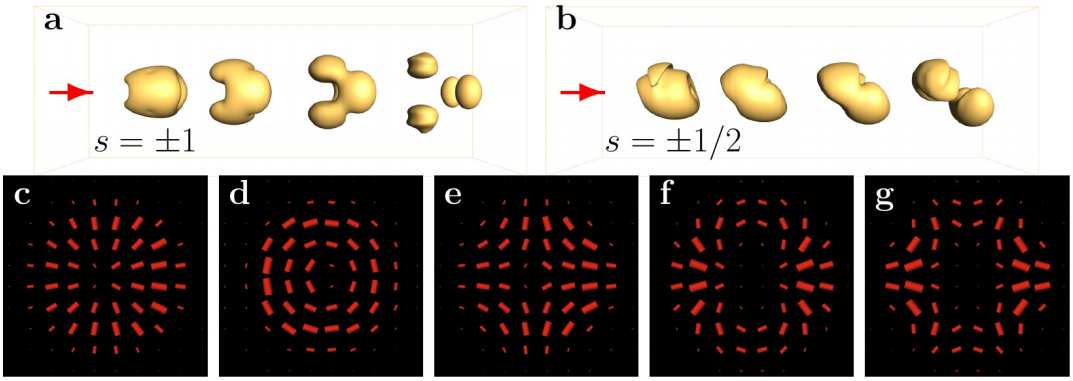
Modulacija vektorskih svetlobnih snopov na tekočekristalnih defektnih linijah

Miha Čančula[1], Miha Ravnik[1] in Slobodan Žumer[1,2]

1. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana
2. Odsek za fiziko trdne snovi, IJS, Ljubljana

Tekoči kristali so pomembni v sodobni optiki in fotoniki predvseem zaradi njihove dvolomnosti in možnosti zunanjega nadzora. V fotoniki so posebej zanimiva odstopanja nematskega reda na mikrometerski skali, ki naravno nastopajo ob nematskih defektih in koloidnih delcih [1,2]. Nedavno so pokazali, da singularnosti v tekočem kristalu lahko inducirajo singularnosti v svetlobi, če žarki potujejo vzdolž nematskih defektov [3].

V tem prispevku modeliramo širjenje svetlobe vzdolž različnih nematskih defektnih struktur z uporabo metode končnih diferenc v časovni domeni [4] (angl. Finite-difference time-domain, FDTD). Za ta namen smo razvili program, ki izračuna časovni razvoj električnega in magnetnega polja, tako da upošteva dve Maxwellovi enačbi s časovnimi odvodi polj na diskrenti mreži. Z uporabo numerične metode modeliramo širjenje svetlobnih snopov vzdolž defektnih linij z različnimi ovojnimi števili. Zanimiv je rezultat, da pri določeni dvolomnosti in dolžini defektne linije polarizacija svetlobe pridobi defekt, ki ima dvakrat večje ovojno število od defekta v tekočem kristalu, s čimer sklaplja topološke invariante obeh polj. Če je vpadna svetloba polarizirana krožno namesto linearno, opazimo defekte tako v polarizaciji kot v fazi svetlobe, ki lahko nosijo tudi polcela ovojna števila. Z modeliranjem kratkih laserskih sunkov pokažemo, da nematske defektne linije preoblikujejo intenzitetni profil sunkov in jih celo razdelijo na več delov. Nematske defektne linije torej omogočajo modulacijo intenzitete, polarizacije in faze svetlobe, zaradi lastnosti tekočih kristalov pa dovoljujejo natančen nadzor toka svetlobe z zunanjimi vplivi, kot sta temperatura ali električno polje.



Slika 1: Profili intenzitete in polarizacije svetlobe, pridobljeni s pošiljanjem kratkih laserskih sunkov (a,b) ali stalne laserske svetlobe (c-g) vzdolž nematskih defektnih linij z različnimi ovojnimi števili.

[1] J. Dontabhaktuni, M. Ravnik in S. Žumer, PNAS **111**, 7 (2014)
[2] U. Tkalec, M. Ravnik, S. Čopar, S. Žumer in I. Muševič, Science **333**, 62 (2011)
[3] C. Loussert, U. Delabre in E. Brasselet, Physical Review Letters **111**, 037802 (2013)
[4] M. Čančula, M. Ravnik in S. Žumer, Physical Review E **90**, 022503 (2014)

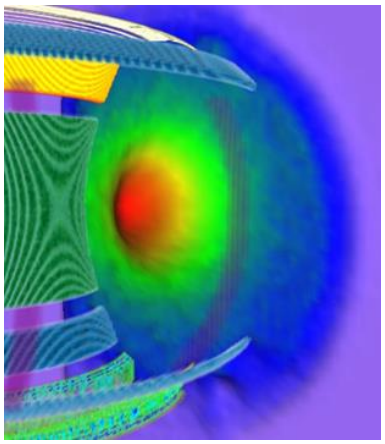
Določanje položaja plazme v tokamaku na osnovi detekcije nevtronov

Aljaž Čufar[1], Igor Lengar[1], Luka Snoj[1]

1. Odsek za reaktorsko fiziko, Institut Jožef Stefan, Ljubljana, Slovenija

Poznavanje položaja plazme v fuzijskem reaktorju tipa tokamak je pomembno tako s stališča nadzora (npr. za učinkovito gretje) kot s stališča varnosti oziroma zanesljivosti delovanja (dovolj nizki toplotni tokovi na prvo steno, da ne pride do poškodb). Trenutno se položaj plazme določa s sistemom, ki meri profil emisije nevtronov iz plazme, vendar pa je tak sistem relativno velik in zahteven za uporabo, poleg tega pa so za tak sistem nujna relativno velika okna v reaktor. Ena izmed bistvenih razlik med bodočimi fuzijskimi elektrarnami in eksperimentalnimi reaktorji je tudi ta, da bodo elektrarne imele bistveno manj sistemov za diagnostiko plazme, oziroma le toliko kot bo nujno potrebno za njihovo varno in zanesljivo obratovanje. Detektorski sistem, ki bi s pomočjo majhnega števila detektorjev nevtronov lahko meril moč in določal položaj plazme, bi bil tako zelo primeren.

Namen našega dela je bil raziskati odziv preprostih komercialno dostopnih detektorjev nevtronov (npr. fisijskih celic) glede na položaj in obliko plazme v tokamaku ter s tem analizirati njihovo primernost za določanje položaja plazme v fuzijskih reaktorjih. Dodatno smo skušali določiti potrebne lastnosti detektorjev nevtronov za uporabo v takem sistemu ter pričakovane občutljivosti pri testiranju takšnega sistema na trenutno največjem tokamaku, Skupnem Evropskem Torusu v Veliki Britaniji.



Slika 1: Plazma tokamaka JET kot izvor nevtronov

Za izračune smo uporabili enostaven model tokamaka, narejen za program MCNP, ki se uporablja za simulacijo transporta nevtronov na osnovi metod Monte Carlo. Za ugotavljanje splošnih lastnosti odziva detektorja je močno poenostavljen model tokamaka še posebej primeren, saj tak model nima od naprave do naprave različnih detajlov in tako v njem vidimo samo splošne lastnosti odziva. Da smo se izognili še specifičnim karakteristikam detektorjev smo namesto dejanskih odzivov primerjali reakcijske hitrosti različnih reakcij, na osnovi katerih lahko zaznamo nevtrone. Primerjali smo absolutne in relativne odzive ter občutljivosti na spremembo vertikalnega položaja, velikega polmera, koničnega faktorja in položaja detektorjev. Rezultati so pokazali, da se, glede na lastnostih odziva, detektorji razporedijo v dve skupini, lastnost, ki pove v katero skupino sodi določen detektor, pa je prisotnost ali odsotnost pragovne energije za reakcijo, na osnovi katere deluje detektor. Predstavili bomo rezultate te analize, to so relativne in absolutne občutljivosti različnih detektorjev (predvsem fisijskih celic z različnimi materiali), ter oceno natančnosti meritve položaja plazme ob uporabi enega oziroma dveh detektorjev.

Matematično modeliranje vpliva nesteroidnih antirevmatikov na aspirinsko intoleranco astme

Andrej Dobovišek[1,2], Tadej Emeršič[1], Aleš Fajmut[1,3], Milan Brumen[1,2,3,4]

1. Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Koroška 160, 2000 Maribor
2. Univerza v Mariboru, Medicinska fakulteta, Taborska 8, 2000 Maribor
3.Univerza v Mariboru, Fakulteta za zdravstvene vede, Žitna ul. 15, 2000 Maribor
4. Inštitut Jožef Štefan, Jamova 21, 1000 Ljubljana

Približno 10% astmatičnih bolnikov je občutljivih na aspirin in druga zdravila s podobnim učinkovanjem, ki jih imenujemo nesteroidni antirevmatiki (NSAR). Že manjše doze NSAR lahko pri aspirinsko intolerantnih astmatikih sprožijo značilne simptome, kot so vnetje sluznice dihalnih poti, kožni izpuščaji in bronhokonstrikcija. Skupek teh simptomov je v klinični praksi poznan kot aspirinska intoleranca (AI), ki predstavlja redko, toda življenjsko ogrožajoče klinično stanje.

Pojav AI je povezan z učinkovanjem NSAR na presnovo arahidonske kisline (AA) v belih krvnih celicah. Presnova AA poteka po dveh poteh, ciklooksigenazni in lipoksigenazni. Po prvi poti se iz AA tvorijo prostaglandini po lipoksigenazni poti pa se iz AA tvorijo cisteinil levkotrieni. Cisteinil leukotrien C_4 (LTC_4) je izjemno agresiven bronhokonstriktor, ki sproži astmatični napad tako pri astmatikih kot tudi zdravih ljudeh. Prostaglandin E_2 (PGE_2) deluje kot zaviralec produkcije LTC_4.

Splošno znano je, da NSAR učinkujejo na encima prostaglandin H sintazi 1 in 2 (PGHS1 in PGHS2) v ciklooksigenazni poti in s tem zavirajo tvorbo prostaglandinov. S tem se zniža produkcija PGE_2, kar pa ima pozitiven učinek na produkcijo LTC_4. Povišana produkcija LTC_4 lahko vodi do pojava bronhokonstrikcije in ostalih simptomov AI ob zaužitju NSAR. Ker je mehanizem učinkovanja NSAR pri vseh ljudeh enak, se pojavi vprašanje, zakaj zaužitje NSAR ne vodi do bronhokonstrikcije pri vseh ljudeh ali vseh astmatikih, ampak le pri aspirinsko intolerantnih astmatikih.

Raziskave AI potekajo na treh ravneh. Raziskave na molekularni ravni kažejo, da so za pojav aspirinske intolerance ključnega pomena spremenjene ekspresije encimov levkotrien C_4 sintaze (LTC_4S), PGHS1 in PGHS2 ter prostaglandin E_2 sintaze (PGE_2S) v celicah. Raziskave na celični ravni kažejo, da bi ključno vlogo v razvoju bronhokonstrikcije pri AI lahko imele koncentracije PGE_2 in LTC_4. Tretja raven raziskav pa poteka na nivoju tkiv in organov, kjer raziskovalci s provokacijskimi testi določajo mejne doze zdravil, ki pri bolnikih sprožijo bronhokonstrikcijo ali druge simptome.

V predavanju bomo predstavili teoretični model, ki povezuje vse tri ravni raziskav AI. Kot vstopne podatke za modelne simulacije uporabimo eksperimentalne podatke o ekspresiji encimov LTC_4S, PGHS1, PGHS2 ter PGE_2S iz literature in definiramo različna modelna stanja, s katerimi opišemo hipotetične populacije aspirinsko intolerantnih in tolerantnih astmatikov ter neastmatikov. Nato z modelom, za različne modelne populacije, izračunamo teoretične napovedi časovnih potekov koncentracij PGE_2 in LTC_4 ob odsotnosti in prisotnosti zdravila v celici. Za različne populacije napovemo mejne doze različnih tipov NSAR ter čas trajanja bronhokonstrikcije. Predlagamo ter preučujemo tudi različne strategije, s katerimi bi aspirinsko intolerantnim astmatikom omogočili varno zaužitje NSAR ob vnetju in bolečinah, brez tveganja bronhokonstrikcije.

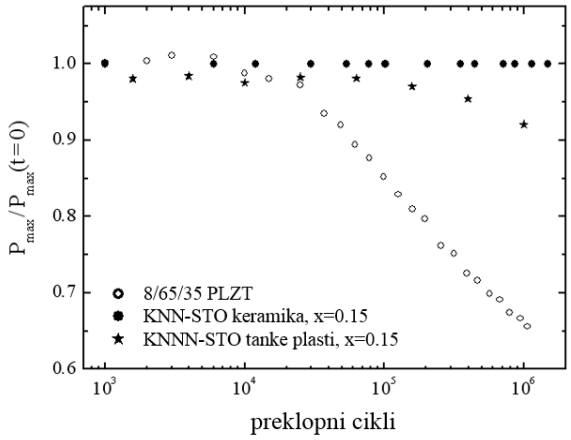
Stabilen dielektrični odziv v relaksorskih tankih plasteh $K_{0.5}Na_{0.5}NbO_3$-$SrTiO_3$

Andreja Eršte[1,3], Alja Kupec[2,3], Brigita Kmet[2], Barbara Malič[2,3] in Vid Bobnar[1,3]

1. Odsek za fiziko trdne snovi, Institut »Jožef Stefan«, Ljubljana
2. Odsek za elektronsko keramiko, Institut »Jožef Stefan«, Ljubljana
3. Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana, Ljubljana

Anorganski relaksorski sistemi kažejo velik dielektrični in elektromehanski odziv v širokem temperaturnem in frekvenčnem območju, zato so zelo zanimivi za razvoj aplikacij na področju elektronike. Žal pa ternarne spojine in trdne raztopine kot na primer $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ [PMN] in (Pb,La)(Zr,Ti)O_3 [PLZT] predstavljajo grožnjo za okolje zaradi toksičnosti svinca, ki ga vsebujejo. V zadnjem desetletju je bilo zato veliko raziskav opravljenih na okolju prijaznejših materialih, kot so trdne raztopine $K_{0,5}Na_{0,5}NbO_3$–$SrTiO_3$ [KNN-STO]. Rezultati dosedanjih raziskav so pokazali, da so dielektrične in elektromehanske lastnosti keramik KNN-STO primerljive z lastnostmi keramik PMN in PLZT.

Predstavili bomo rezultate strukturnih in dielektričnih raziskav ter študije časovno odvisnih efektov v tankih plasteh $K_{0,5}Na_{0,5}NbO_3$ [KNN] in $K_{0,5}Na_{0,5}NbO_3$–$SrTiO_3$ [KNN-STO]. [1] S strukturnimi raziskavami smo potrdili formacijo perovskidne trdne raztopine v vseh študiranih tankih plasteh, pri dielektričnih meritvah pa smo zaznali široke razpršene relaksorske maksimume v odzivu vzorcev z 15 molarnimi % STO, kjer je bila izmerjena za tanke plasti visoka vrednost ε'~330 pri ~210 K. Podatke o časovno odvisnih efektih tega relaksorskega vzorca smo primerjali s podatki keramik KNN-STO in PLZT ter pokazali, da so časovno odvisni efekti v tankih plasteh KNN-STO šibkejši kot v široko uporabljanih feroelektričnih in relaksorskih keramikah PLZT: medtem, ko pri utrujanju tankih plasti KNN-STO polarizacija rahlo pade po 3×10^5 preklopnih ciklih (Slika 1), pri staranju vzorca tudi po 10^6 s ne pride do opaznega zmanjšanja vrednosti dielektrične konstante.



Slika 1: Normalizirane vrednosti maksimalne polarizacije v tankih plasteh KNN-STO z 15 molarnimi % STO v odvisnosti od preklopnih ciklov, v primerjavi z vrednostmi v feroelektrični keramiki PLZT (iz vira 2) in keramiki KNN-STO z 15 molarnimi % STO (iz vira 3).

[1] A. Eršte, A. Kupec et. al, Journal of applied dielectrics **4**, 1450012 (2014)
[2] A. Levstik, V. Bobnar et. al, Journal of Physics D: Applied Physics **31**, 2894 (1998)
[3] V. Bobnar, J. Bernard in M. Kosec, Applied Physics Letters **85**, 994-996 (2004)

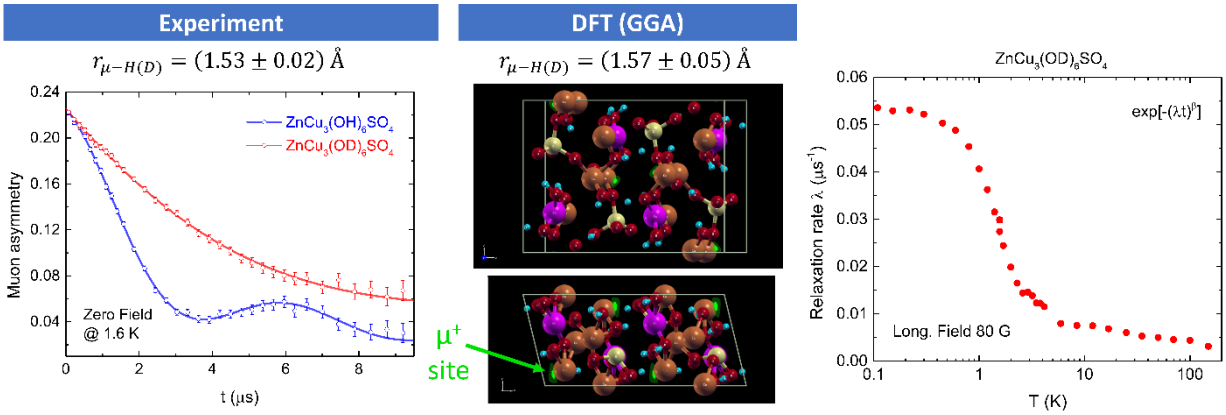
Raziskave osnovnega stanja spinske tekočine novega kvantnega kagome antiferomagneta $ZnCu_3(OH)_6SO_4$ na lokalnem nivoju

Matjaž Gomilšek[1], Andrej Zorko[1] in Qingming Zhang[2]

1. Odsek za fiziko trdne snovi, IJS, Ljubljana
2. Renmin University of China, Peking, Kitajska

Frustracija je nezmožnost sistema, da bi hkrati minimiziral energijo vseh parskih interakcij. V magnetizmu jo srečamo na primer v sistemih antiferomagnetno sklopljenih spinov s trikotnim motivom, saj je trikotna geometrija nezdružljiva z antiparalelno ureditvijo spinov. Medtem ko se spini v tipičnih magnetnih sistemih pod neko kritično temperaturo uredijo in »zamrznejo« (npr. v običajnem fero- ali antiferomagnetu), pa lahko frustracija ob prisotnosti kvantnih fluktuacij vodi do eksotičnih stanj, v katerih se spini ne uredijo in ostanejo dinamični vse do najnižjih temperatur kljub močni sklopitvi spinov. Takim stanjem pravimo spinske tekočine in imajo številne nenavadne lastnosti: med drugim kažejo kvantno prepletenost dolgega dosega, frakcionalne vzbuditve, makroskopsko degeneracijo itd. Frustracija je najmočnejša v nizko-dimenzionalnih sistemih z majhno vrednostjo spina in z malim številom sosednjih spinov. V 2D je najmočnejša pri kvantnih (spin $1/2$) kagome (satovje s trikotniki spinov namesto oglišč) antiferomagnetih, realizacije pa so žal zelo redke.

Nedavno odkrita spojina $ZnCu_3(OH)_6SO_4$ je nov kvanten kagome antiferomagnet, v katerem spini ne zamrznejo vsaj do 50 mK, in ki kaže nenavaden prehod med dvema različnima stanjema spinske tekočine brez energijske reže pri različnih temperaturah [1]. Razumevanje tega še nikoli prej videnega pojava prehoda je pomanjkljivo, saj ga uveljavljene teorije spinskih tekočin ne napovedo. Lokalne magnetne tehnike so posebej primerne za določitev narave obeh (višje in nižje temperaturnih) spinsko-tekočinskih režimov na mikroskopskem nivoju. Predstavili bomo nekaj rezultatov nedavnih komplementarnih meritev μSR (mionske spinske relaksacije) in NMR (jedrske magnetne resonance) na tej spojini, ki potrjujejo prisotnost dveh različnih spinsko-tekočinskih režimov in dinamično naravo le-teh.



Slika 1. Določitev mionskega mesta iz primerjave meritev μSR (levo) z numeričnimi izračuni (sredina) in rezultati meritev μSR v magnetnem polju (desno).

[1] Y. Li *et al.*, New J. Phys. **16**, 093011 (2014).

Absorpcijski spektri v območju robu *K* elementov skupine 3*p* v molekulah hidridov

Robert Hauko[1], Jana Padežnik Gomilšek[1], Alojz Kodre[2,3], Iztok Arčon[4,3] in Giuliana Aquilanti[5]

1. Fakulteta za strojništvo, UM, Maribor
2. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana
3. Institut Jožef Stefan, Ljubljana
4. Univerza v Novi Gorici
5. Elettra Sincrotrone Trieste, Bazovica, Trst, Italija

Rentgenski absorpcijski spektri prostih atomov so test teoretičnih modelov atoma. Oblike robov in drobnih struktur zaradi večelektronskih vzbuditev v območju nad robom, razčlenjene v posamezne interakcijske kanale, omogočajo vpogled v elektronske konfiguracije in njihove medsebojne interakcije znotraj atoma ter relaksacijske procese v atomu ob prisotnosti globokih vrzeli.

Z izjemo žlahtnih plinov in nekaterih hlapljivih kovin so čisti atomarni spektri eksperimentalno težko dosegljivi. Spektri molekul hidridov dajejo podobne informacije zaradi preprostih kemijskih vezi med centralnim atomom in lahkimi vodikovimi atomi ter zaradi šibkega sipanja izbitih fotoelektronov na sosednjih atomih. Molekulski spektri hidridov kažejo prehode med molekularnimi in atomskimi orbitalami, pri čemer so atomske orbitale rahlo modificirane glede na prosti atom, spremenijo se tudi naravne širine stanj. V splošnem prehode med stanji narekuje geometrijska simetrija molekule.

Na sinhrotronu Elettra v Trstu smo na širokem energijskem območju robu *K* izmerili spektre plinastih hidridov elementov skupine 3*p* fosforja, žvepla in klora: PH_3, H_2S in HCl. Posodobitev merilne linije XAFS z vgraditvijo dodatnega ravnega zrcala, ki iz žarka popolnoma odstrani višje harmonske komponente, omogoča zanesljivo merjenje rentgenskih absorpcijskih spektrov na spodnji energijski meji uporabljenega kristalnega monokromatorja Si111. Spektre smo primerjali z že izmerjeni analognimi spektri iz skupine 4*p* (AsH_3, H_2Se, HBr [1]) in z atomarnimi spektri naslednikov obeh skupin v periodnem sistemu Ar, K ter Kr, Rb.

Posamezni spektri molekularnih hidridov skupine elementov 3*p* so bili doslej že deloma analizirani [2-4], predvsem v območju pred robom in nekaj manj tik nad robom, nas pa zanimajo tudi globlje sovzbuditve, predvsem pa sistematični razvoj struktur v nizih elementov 3*p* in 4*p*. Dekonvolucija spektrov skupine 4*p*, kjer so naravne širine večje, olajša prepoznavo struktur in poudari analogije s serijo lažjih elementov, modeliranje izmerjenih struktur pa omogoča primerjavo relativnih energij pragov, širin in verjetnosti za prehode. Osnovni teoretični preračuni so narejeni s programskimi paketi GAMESS, ORCA in GRASP.

Eksperimentalno delo je bilo opravljeno na raziskovalni liniji XAFS sinhrotrona Elettra v Trstu, Italija (projekta 20120044 in 20115112). Zahvaljujemo se L. Oliviju za strokovno pomoč.

[1] R. Prešeren, doktorska disertacija, FMF UL (2000)
[2] A. Jürgensen, R. G. Cavell, Chem. Phys. **273**, 77 (2001)
[3] S. Bodeur, J.L. Marechal, C. Reynaund, D. Bazin, I. Nenner, Z. Phys. D – Atoms, Molecules and Clusters **17**, 291 (1990)
[4] J. Hormes, U. Kuetgens, I. Ruppert, J. Phys. Colloques **47**, C8-569 (1986)

Vpliv volumskih tokov na zaznavo možganskih tokov z JMR pri zelo nizkih frekvencah

Vojko Jazbinšek[1], Rainer Körber[2] in Martin Burghoff[2]

1. Oddelek za fiziko, IMFM, Ljubljana
2. Physikalisch Technische Bundesanstalt, Institut Berlin

Na PTB Institutu v Berlinu so razvili merski sistem za zaznavo jedrske magnetne resonance (JMR) pri zelo nizkih poljih (ZNP), pri katerem magnetiziramo vzorec s polarizacijskim poljem do 50 mT in potem s SQUID merilnikom posnamemo JMR signal, ki precesira v polju, ki je reda nekaj μT. S tem sistemom smo želeli pokazati, da je z njim možno neposredno zaznati možgansko aktivnost [1]. Magnetoencefalografske raziskave stimulirane možganske aktivnosti so pokazale, da lahko električno aktivnost nevronov opišemo s tokovnimi dipoli z momenti do 50 nAm. Z JMR ZNP sistemom smo preizkusili dve možnosti direktnega slikanja tokov. Pri prvem, tako imenovanem AC-pojavu, uporabimo hitro nevronsko aktivnost kot sunek, s katerim obračamo magnetizacijo. Pri tem mora Larmorjeva frekvenca sovpadati s frekvenco nevronske aktivnosti, ki je v območju od nekaj Hz do ~kHz. Pri drugem, tako imenovanem DC-pojavu, dolgotrajna možganska aktivnost premakne Larmorjevo frekvenco protonov v bližini aktivnih nevronov. Možganske signale smo simulirali z dipolarnim tokovnim izvorom v fizičnem fantomu v obliki krogle napolnjene z elektrolitom. Rezultati meritev so pokazali, da so najmanjši izvori, ki jih še zaznamo s tem merskim sistemom ~10 μAm za AC-pojav in ~50 nAm za DC-pojav, kar pomeni, da je le slednji potencialno uporaben za neposredno zaznavo možganskih tokov z JMR ZNP.

K signalom JMR ne prispevajo samo tokovi v vzbujenih nevronih, ampak tudi povratni volumski tokovi, ki se širijo po prevodni okolici in zmanjšajo izmerjeno vrednost. To smo demonstrirali tako, da smo kroglo tik pod dipolnim izvorom zapolnili z izolatorjem in pri DC-pojavu izmerili približno štirikrat večjo vrednost signala JMR. V tem prispevku bomo pokazali, kako računsko pokažemo vpliv volumskih tokov na izmerjeni signal JMR. V primeru idealne krogelne geometrije polje izračunamo analitično, medtem ko ga v primeru krogelne kapice, ki predstavlja z izolatorjem delno zapolnjeno kroglo, izračunamo numerično z metodo mejnih elementov. Za vsako točko smo določili še občutljivost sprejemne tuljave in izračunali celotni prispevek k signalu JMR. Rezultati kažejo, da prerazporeditev volumskih tokov zaradi izolatorja poveča signal JMR za faktor 1.55, medtem ko lahko preostalo povečanje pripišemo odstranitvi prevodnega prostora pod izvorom.

Ti rezultati kažejo na to, da bi za uspešno uporabo trenutne JMR ZNP tehnologije pri zaznavi DC-pojava možganskih tokov morali zmanjšati vpliv volumskih tokov. To bi na primer lahko dosegli z izbiro posameznih rezin, ki se uporablja pri slikanju z JMR.

[1] R. Körber, J.O. Nieminen, N. Höfner, V. Jazbinšek, H-J. Scheer. K. Kim, M. Burghoff. An advanced phantom study assessing the feasibiltiy of neuronal current imaging by ultra-low-field NMR. Journal of Magnetic Resonance **237**, 182-190 (2013)

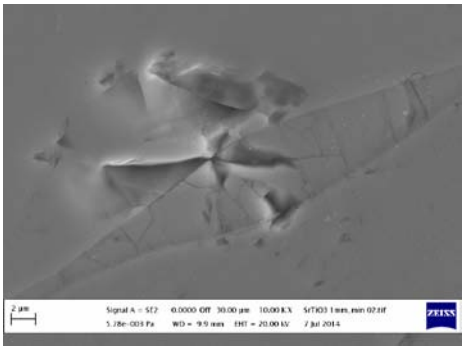
Uporabnost različnih vrst rezultatov vrstične elektronske mikroskopije (SEM) v fiziki

Andreja Jelen[1], Janez Dolinšek[1,2]

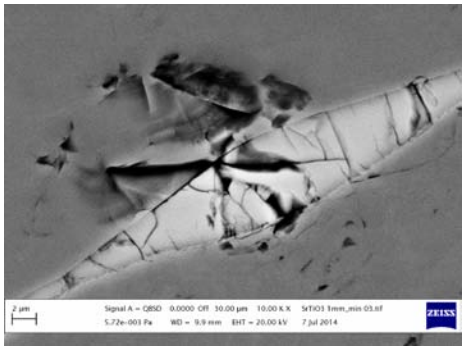
1. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana
2. Odsek za fiziko trdne snovi, IJS, Ljubljana

Pri eksperimentalnem delu v fiziki se šteje za veliko prednost, če predhodno poznamo morfologijo in kemijsko sestavo preiskovanega vzorca. Za pridobitev teh podatkov je pogosto uporabljen SEM (angl. *Scanning Electron Microscope*).

Pri SEM-u z elektronskim žarkom skeniramo po površini vzorca. Interakcija med elektronskim žarkom in vzorcem povzroči različne tipe emisij, ki jih zaznamo z različnimi detektorji, kateri so nameščeni na različnih pozicijah v komori mikroskopa. Morfološko/topološki kontrast dobimo z detektiranjem sekundarnih elektronov (SE - Secondary Electrons). To so elektroni z energijami manjšimi od 50 eV. Takšna slika je predstavljena na sliki 1. Na zgornji levi polovici vidimo vdolbine. Po sredini v diagonali je razpokan vključek. Da je ta vključek iz drugačnega materiala kot matrica, nam pove slika 2, ki je posneta z BS (backscatter) detektorjem. Kemijski ali Z-kontrast dobimo z detektiranjem elektronov z energijami večjimi od 50 eV. Ti se imenujejo povratno sipani ali angleško backscattered electrons (BSE). V nadaljevanju nas zanima v čem se razlikujeta matrica in vključek. Podatke o kemijski sestavi dajo rezultati detekcije karakterističnih X-žarkov. Te lahko predstavimo na več načinov, kvalitativno in kvantitativno. Prvo nam pove kateri element je prisoten na preiskovanem področju, drugo pa pove koliko posameznega elementa je prisotnega na posameznem področju. Slednje je predstavljeno na sliki 3 in v pripadajoči tabeli 1. Spekter 1 je posnet točkovno in spekter 2 v območju označenim z roza pravokotnikom. V tabeli so predstavljene vrednosti elementov v utežnih odstotkih.



Slika 1: SEM posnetek s SE elektroni.



Slika 2: SEM posnetek z BS elektroni.

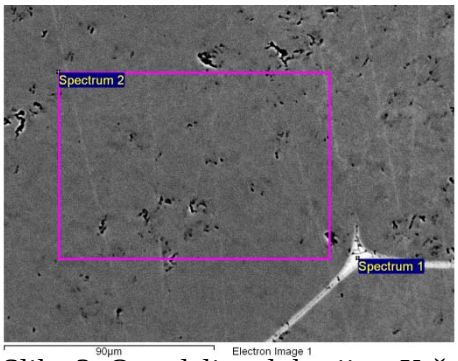


Tabela 1: vrednosti posameznih elementov v ut %.

Spectrum	In stats.	O	Ti	Sr
Spectrum 1	Yes	25.78	16.12	58.10
Spectrum 2	Yes	26.42	26.11	47.47
Mean		26.10	21.11	52.79
Std. deviation		0.45	7.07	7.52
Max.		26.42	26.11	58.10
Min.		25.78	16.12	47.47

Slika 3: Opredelitev lokacij za X-žarkovno analizo in pripadajoče vrednosti v tabeli 1.

Linearne membranske strukture

Urška Jelerčič[1], Saša Svetina[1,2], Primož Ziherl[1,3]

1. Odsek za teoretično fiziko, IJS, Ljubljana
2. Inštitut za biofiziko, Fakulteta za medicino, UL, Ljubljana
3. Oddelek za fiziko, Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

Linearne membranske strukture pogosto najdemo v vezikularnih sistemih, kjer je površina mnogo večja od prostornine (kar pomeni, da so strukture prazne) in velikokrat jih lahko opazimo v celičnih organelih (Golgijev aparat in endoplazmatski retikulum). Ob določenih pogojih (površinski napetosti, tlaku in zunanji sili) postanejo te strukture kvazi-tubularne in med seboj zelo različne.

V predstavljenem delu teoretično analiziramo omenjene tridimenzionalne linearne membranske strukture, pri čemer se ne omejujemo na kakršno koli specifično simetrijo ali periodičnost. Za izračun stabilnih oblik (s pomočjo minimizacije Helfrichove upogibne energije) uporabljamo numerični pristop (Surface Evolver) ter na podlagi pridobljenih rezultatov osnujemo analitične modele. Glede na različne zunanje pogoje lahko identificiramo morfološko zelo različne oblike, vsem pa je skupen dominanten cilindričen motiv (spiralna, kačasta oblika, cilindrične strukture s ploščatim in sferičnim rezervoarjem ter hibridi). Omenjene strukture lahko uporabimo kot morfološke modele za določene dele celičnih organelov, kot na primer cis ali trans Golgijevega omrežja.

Študij večelektronskih vzbuditev v okolici absorpcijskega roba K v Kr z rentgensko emisijsko spektroskopijo

M. Kavčič[1], M. Žitnik[1,2], D. Sokaras[3], T.-C. Weng[3], R. Alonso-Mori[3], D. Nordlund[3], J.-Cl. Dousse[4], J. Hoszowska[4]

1. Odsek za fiziko nizkih in srednjih enegij (F-2), IJS, Ljubljana
2. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana
3. SLAC National Accelerator Laboratory, Menlo Park, California 94025, USA
4. Department of Physics, University of Fribourg, CH-1700 Fribourg, Switzerland

Meritve rentgenskih absorpcijskih spektrov žlahtnih plinov se najbolj pogosto uporabljajo za preučevanje večelektronskih vzbuditev v atomih pri absorpciji posameznega fotona. Drobne strukture, ki ustrezajo signalu večelektronskih vzbuditev, so naložene na enoelektronski fotoionizacijski signal, ki prevladuje v spektru. V območju neposredno nad ionizacijskim pragom na energijsko odvisnost preseka za fotoionizacijo vplivata PCI (post-collision-interaction) efekt in relaksacija ostanka atomske sredice, kar otežuje natančno izolacijo prispevka najmočnejših večelektronskih vzbuditev, ki se nahajajo tik nad absorpcijskim robom. Prispevke večelektronskih vzbuditev lahko ločimo z uporabo visokoločljive rentgenske emisijske spektroskopije, kar v kombinaciji z vzbujanjem s sinhrotronsko svetlobo (spektroskopija RIXS) privede do natančne določitve poteka signala večelektronskih vzbuditev v okolici praga.

Naš predhodni študij dvoelektronskih vzbuditev s spektroskopijo RIXS v energijskem področju ~ 3-4 keV [1], smo razširili tudi v področje trdih rentgenskih žarkov in opravili meritve dvojnih fotoekscitacij v okolici absorpcijskega roba K v Kr [2]. V eksperimentu, ki je potekal na žarkovni liniji 6-2 sinhrotrona SSRL v Stanfordu, smo z emisijskim spektrometrom Johannovega tipa s sedmimi analizatorskimi kristali [3] posneli kompletni 2D spektralni mapi RIXS za področje ekscitacijskih in emisijskih energij, ki ustrezajo vzbuditvam [1s4p] in [1s3d]. Z uporabo emisijskega spektrometra smo uspešno ločili signal dvojnih vzbuditev od prevladujočega 1s fotoionizacijskega signala in pridelali izolirane spektre dvojnih fotoekscitacij [1s4p] in [1s3d] v Kr. Spektre dobro opišemo s preprostim modelom sestavljenih iz prispevka resonančnih dvojnih vzbuditev ter robovom, ki ustrezajo vzbuditvi enega ali obeh elektronov v kontinuum. Energije ter intenzitete posameznih spektralnih prispevkov smo primerjali z obstoječimi absorpcijskimi eksperimentalnimi vrednostmi ter nekaterimi teoretičnimi napovedmi.

[1] M. Kavčič et al., Phys. Rev. Lett. **102**, 143001 (2009).
[2] M. Kavčič et al., Phys. Rev. A **90**, 022513 (2014).
[3] D. Sokaras et al., Rev. Sci. Instrum. **84**, 053102 (2013).

Večstopenjska dinamika nastanka spinsko-mrežnega polarona

Jan Kogoj[1], Zala Lenarčič[1], Denis Golež[1], Marcin Mierzejewski[2], Peter Prelovšek[1,3] in Janez Bonča[1,3]

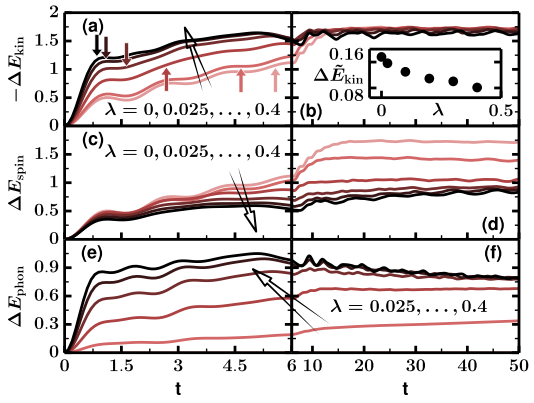
1. Odsek za teoretično fiziko, IJS, Ljubljana
2. Institut za fiziko, Univerza v Šleziji, Katowice, Poljska
3. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

V trdni snovi elektroni in mrežna nihanja, fononi, pogosto tako močno interagirajo, da jih lahko obravnavamo kot nove kvazidelce z imenom polaroni, točneje mrežni polaroni. Prav tako lahko na podoben način obravnavamo elektrone v spinskem ozadju v efektivem smislu kot kvazidelce, ki jih tokrat poimenujemo spinski polaroni.

S pomočjo femtosekundne spektroskopije so v nedopiranih kupratih opazili ultra hitro sproščanje s svetlobo vzbujenih nosilcev naboja [1-3]. Vzbujeni nosilci naboja se v času reda nekaj 10 fs skoraj povsem lokalizirajo, medtem ko spinski sistem in mreža za relaksacijo potrebujeta več časa.

V delu [4] obravnavamo nastanek spinsko-mrežnega polarona po nenadni kvantni vzbuditvi sistema, s katero simuliramo absorpcijo laserskih pulzov v eksperimentih s časovnim sledenjem. Zanima nas predvsem časovni odsek kmalu po vzbuditvi nosilcev naboja, ko se v sistemu tvorijo spinsko-mrežni polaroni.

Z uporabo numerične simulacije smo ugotovili, da sproščanje vzbujenih nosilcev naboja v tem časovnem okviru poteka v dveh stopnjah – v prvi se kinetična energija polarona približna ravnovesni vrednosti, v drugi, ponavadi daljši, pa poteka izmenjava energije med spinskim sistemom in mrežo, kjer nosilec naboja igra vlogo posrednika interakcije. Ta večstopenjski mehanizem je precej generičen in nastopi tudi, ko so nosilci naboja podobno močno sklopljeni z različnimi podsistemi.



Slika 1: Časovna porazdelitev delov energij

[1] K. Matsuda, I. Hirabayashi, K. Kawamoto, T. Nabatame, T. Tokizaki, and A. Nakamura, Phys. Rev. B 50, 4097 (1994)
[2] H. Okamoto, T. Miyagoe, K. Kobayashi, H. Uemura, H. Nishioka, H. Matsuzaki, A. Sawa, and Y. Tokura, Phys. Rev. B 82, 060513 (2010)
[3] S. Dal Conte, C. Giannetti, G. Coslovich, F. Cilento, D. Bossini, T. Abebaw, F. Ban, G. Ferrini, H. Eisaki, M. Greven, A. Damascelli, D. van der Marel, and F. Parmigiani, Science 335, 1600 (2012)
[4] J. Kogoj, Z. Lenarčič, D. Golež, M. Mierzejewski, P. Prelovšek, and J. Bonča, Phys. Rev. B **90**, 125104 (2014)

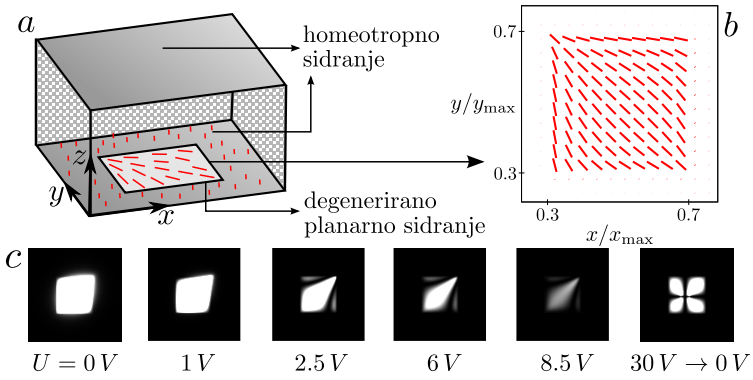
Nematske celice s površinskimi vzorci sidranja

Žiga Kos[1] in Miha Ravnik[1]

1. *Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana*

Nematski tekoči kristali so kompleksne tekočine, za katere je značilen orientacijski red molekul dolgega dosega. Ta se na makroskali izrazi v efektivno elastičnem obnašanju materiala. Hkrati pa so nematiki odzivni na zunanja polja in interakcije s površino. To se izkorišča v zaslonih, kjer se z električnim poljem preklaplja med različnimi načini ureditve v tekočem kristalu ter se tako vpliva na prepustnost za svetlobo [1, 2].

V opisanem prispevku predstavimo nematske celice s površinskim vzorci sidranja kot kompleksne zaslone, ki imajo na površini homeotropno sidranje ter vzorce degeneriranega planarnega sidranja (slika 2a) [3]. Osrednji metodološki pristop so numerične simulacije, ki temeljijo na minimalizaciji Landau-de Gennesove proste energije [4]. Anizotropija elastičnih konstant ima pomemben vpliv na kvalitativno obliko direktorskega polja v takšnih celicah (slika 2b). Slika 2c prikazuje, kako lahko z električnim poljem v z smeri spreminjamo nematsko polje ter posledično transmisijsko sliko preučevanih celic. Ob izključitvi močnega električnega polja se pojavi stanje z boojumom na območju degeneriranega planarnega sidranja. Takšna metastabilna stanja so po strukturi podobna skyrmionskim poljem. Tekom iterativnega postopka boojum razpade, možno pa ga je stabilizirati s primerno izbiro elastičnih konstant. Izkaže se, da pri tem igra pomembno vlogo tudi sedlasto-pahljačasta elastična konstanta.



Slika 1: a) Shema simuliranih nematskih celic s površinskim sidranjem na vodoravnih površinah ter periodičnimi robnimi pogoji v prečni smeri. b) Vodoravna komponenta direktorja na spodnji površini celic. c) Transmisijska slika pri različnih napetostih. Po izključitvi močnega električnega polja nastane metastabilno stanje z boojumom na spodnji površini.

[1] P. G. de Gennes in J. Prost, *The physics of liquid crystals*, 2. izd. (Oxford University Press, New York, 1993)

[2] J. Zhang, M. I. Boamfa, A. E. Rowan in T. Rasing, "Compartmentalized multistable liquid crystal alignment", Adv. Mater. **22**, 961 (2010)

[3] L. Cattaneo, Ž. Kos, M. Savoini, M. Ravnik in T. Rasing, "Micrometer-scale control of the liquid crystal director on patterned command layer", bo poslano v objavo v Adv. Mater. (2014)

[4] M. Ravnik in S. Zumer, "Landau–de Gennes modelling of nematic liquid crystal colloids", Liq. Cryst. **36**, 1201 (2009).

Teoretični model epitelijskih tkiv

Matej Krajnc[1], Nick Štorgel[1,2], Polona Mrak[3], Jasna Štrus[3], Primož Ziherl[1,2]

1. Odsek za teoretično fiziko, IJS, Ljubljana
2. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana
3. Biotehniška fakulteta, UL, Ljubljana

Razvijamo mehanski model enoslojnega epitelijskega tkiva, ki temelji na površinski napetosti celic. Celice so nestisljive in so na bazalni strani pritrjene na elastično bazalno membrano. Njihova energija vsebuje tri prispevke, ki izhajajo iz: (i) površinske napetosti v celičnem korteksu, (ii) diferencialne površinske napetosti zaradi asimetrije med bazalno in apikalno stranjo celice in (iii) adhezije med sosednimi celicami. Apikalni, bazalni in lateralnim stranicam celice pripišemo efektivne površinske napetosti [1]. Raziščemo fazni diagram oblik z minimalno energijo in definiramo 5 morfološko različnih epitelijskih oblik: kondenzirana, invaginirana, evaginirana, valovita in ravna. Rezultati opisujejo longitudinalno nagubana tkiva, ki se nahajajo predvsem v prebavnem traktu preprostejših živali. Izpeljemo tudi kontinuumsko teorijo enoslojnega epitelija. Elastični funkcional poleg upogibne in natezne energije vsebuje tudi člene povezane z debelino tkiva. Ta je v našem primeru primerljiva s polmerom ukrivljenosti in je zato ne moremo zanemariti. Izpeljemo Euler-Lagrangeve enačbe s katerimi pridemo do analitične zveze med lokalno ukrivljenostjo in lokalno debelino tkiva. Nato E-L enačbe rešimo pri ustreznih robnih pogojih in pokažemo, da kontinuumska teorija prav tako dobro opiše valovita tkiva kot diskretni model.

[1] M. Krajnc, N. Štorgel, A. Hočevar Brezavšček, Primož Ziherl, Soft Matter **9**, 8368 (2013)

Kubitne transformacije stanj dvoelektronske kvante pike v prisotnosti Rashbove sklopitve

Ambrož Kregar[1], Anton Ramšak[1,2]

[1] *Institut Jožef Stefan, Ljubljana, Slovenija*

[2] *Fakulteta za matematiko in fiziko, Ljubljana, Slovenija*

Elektronske kvantne pike, izdelane na stikih različnih polprevodnikov, so bile že zgodaj prepoznane kot primeren kandidat za izdelavo kvantnega računalnika.[1,2] Med drugim jih odlikuje dolg koherenčni čas spina elektronov v polprevodniku, dobro razvita tehnologija izdelave površinskih struktur v polprevodniku ter enostavno skaliranje sistema na večje število med seboj sklopljenih kvantih pik[2]. Za manipulacijo spina v takšnih strukturah tradicionalno uporabljamo magnetno polje, kar pa zaradi težavnega nadzora le-tega na majhnih skalah dostikrat omejuje njihovo uporabnost.

V našem delu teoretično preučujemo, kako bi lahko stanja spina in naboja v kvantni piki krmilili zgolj z električnim poljem. V modelu dvoelektronske kvadratne kvantne pike raziskujemo vpliv sklopitve spin-tir tipa Rashba, ki lahko za manipulacijo spina efektivno nadomesti magnetno polje. Jakost Rashbove sklopitve v piki je mogoče spreminjati prek električnega polja, ki ga krmilimo z dodatnimi elektrodami na površini polprevodnika.[3,4]

Ugotovili smo, da je v primerno izbrani bazi singletnih in tripletnih stanj dveh elektronov mogoče prek hitrega koherentnega časovnega razvoja doseči poljubno kubitno transformacijo v času ~ 1 ns. Os rotacije na Blochovi sferi in kot zasuka okrog nje sta določena z jakostjo Rashbove sklopitve in električnim potencialom v vogalih pike, ki ju v principu lahko enostavno spreminjamo z zunanjimi napetostmi na elektrodah. Elektrostatska interakcija med pari kvantnih pik omogoča tudi dvo-kubitne transformacije, kar daje opisanemu sistemu velik potencial za uporabo v procesiranju kvantih informacij.

---

[1] Loss, D. and DiVincenzo, D. P., Physical Review A **57** (1998) 120.

[2] Awschalom, D. D., Bassett, L. C., Dzurak, A. S., Hu, E. L., and Petta, J. R., Science **339** (2013) 1174.

[3] Nitta, J., Akazaki, T., Takayanagi, H., and Enoki, T., Physical Review Letters **78** (1997) 1335.

[4] King, P. D. C. et al., Physical Review Letters **107** (2011) 096802.

Elastokalorični odziv v nematskem tekočekristalnem elastomeru

Marta Lavrič[1], Blaž Zupančič[1], Boštjan Zalar[1] in Zdravko Kutnjak[1]

1. Odsek za kompleksno snov, IJS, Ljubljana

Tekočekristalni elastomeri (TKE) so v zadnjih letih pridobili veliko zanimanje zaradi njihovega velikega termomehanskega odziva, ki bi bil uporaben za umetne mišice in aktuatorje [1]. Prav tako bi lahko inverzni, elastokalorični odziv uporabili v novih, okolju prijaznih hladilnih napravah.

Elastokalorični odziv je mehanična analogija številnim drugim kaloričnim odzivom, kot so magnetokalorični, elektrokalorični in barokalorični. Elektrokalorični odziv lahko opazimo v feroelektrikih [2, 3]. Elastokalorični odziv je povezan z izotermno spremembo entropije oziroma adiabatno spremembo temperature, ki se zgodi v materialu, ko ga mehansko obremenimo oziroma razbremenimo. Odziv je posledica sklopitve zunanjega mehanskega polja in ureditvenega parametra preko polimerne mreže. V adiabatnih razmerah se sprememba ureditvenega parametra, t.j. nematska entropija sistema, nadomesti s spremembo termične entropije ali spremembo termičnih fluktuacij.

Predstavili bomo rezultate direktnega merjenja elastokaloričnega odziva v nematskih TKE, z mezogenimi skupinami v glavni verigi (main-chain TKE). Na naši eksperimentalni napravi, lahko izvajamo eksperimente, kjer spreminjamo dolžino vzorca[16], hkrati pa lahko merimo temperaturo vzorca in silo, s katero delujemo na vzorec. Meritve spremembe temperature vzorca ob mehanski obremenitvi izvedemo pri konstantni temperaturi v okolici faznega prehoda TKE. Pričakujemo, da bo odziv največji v okolici faznega prehoda prvega reda [17]. V main-chain TKE smo izmerili spremembe temperature velikostnega reda 1K.

[1] M. Warner and E. M. Terentjev, Oxford University Press: New York (2003).
[2] A. S. Mischenko et all., Science, **311**: 1270 (2006).
[3] B. Neese et all., Science, **321**: 821 (2008).
[4] E. Bonnot et all., Physical Review Letters, **100**: 125901 (2008).
[5] L. Mañosa et all., Functional Materials Letters, **2**: 73 (2009).

Vpliv anizotropnih nanodelcev na stabilizacijo modrih faz

Marta Lavrič[1], George Cordoyiannis[1,2], V. Tzitzios[3], S. Kralj[4], G. Nounesis[3], I. Lelidis[2] and Z. Kutnjak[1]

1. *Odsek za kompleksno snov, IJS, Ljubljana*
2. *Odsek za fiziko, Nacionalna in Kapodistrska univerza v Atenah, Grčija*
3. *Nacionalni center za znanstvene raziskave "Demokritos", Grčija*
4. *Fakulteta za naravoslovje in matematiko, UM, Maribor*

Stabilizacija modrih faz je v zadnjih 10 letih privabila veliko zanimanja zaradi možnosti različnih aplikacij v zaslonih in fotoniki [1]. Kot najboljši pristop za stabilizacijo se je doslej izkazala stabilizacija z nanodelci [2-4]. Prve študije so osredotočene predvsem na odzive mešanic kiralnih tekočih kristalov s sferičnimi nanodelci in kvantnimi pikami [2-6]. Nedavno pa je bilo odkrito, da imajo tudi mešanice z anizotropnimi nanodelci stabilizirane modre faze.

Pokazali bomo vpliv anizotropnih nanodelcev na stabilizacijo modrih faz. Uporabili smo različne nanodelce, kot so grafen, laponit in molibden disulfid. Vsi nanodelci so bili površinsko obdelani s fleksibilnimi verigami, ki so pripomogle k boljši razpršenosti ploščatih nanodelcev v tekočem kristalu. Za natančne meritve območij modrih faz je bila uporabljena kalorimetrija visoke ločljivosti, medtem ko je bila za prepoznavanje različnih tekstur modrih faz uporabljena polarizacijska optična mikroskopija. V nasprotju z manjšimi sferičnimi nanodelci, ki so vplivali predvsem na tretjo modro fazo (BPIII), so večji, ploščati nanodelci vplivali predvsem na bolj urejeno, prvo modro fazo (BPI) [7,8]. Predstavili bomo eksperimentalne rezultate, prav tako pa tudi kratek teoretični model, ki razloži opazovano vedenje [7-10].

[1] W. Cao et al., Nature Materials **1**: 111-113 (2002).
[2] H. Yoshida et al., Applied Physics Express, **2**: 121501 (2009).
[3] E. Karatairi et al., Physical Review E, **81**: 041703 (2010).
[4] G. Cordoyiannis et al., Liquid Crystals, **37**: 1419-1426 (2010).
[5] L. Wang et al., Small, **8**: 2189-2193 (2012).
[6] I. Dierking et al., Soft Matter, **8**: 4355-4362 (2012).
[7] M. Lavrič et al., Applied Optics, **52**: E47-E52 (2013).
[8] M. Lavrič et al., Applied Physics Letters, **103**: 143116 (2013).
[9] B. Rožič et al., European Physical Journal E, **34**: 17 (2011).
[10] G. Cordoyiannis et al., Soft Matter, **9**: 3956-3964 (2013).

Rekombinacija nabitih delcev v vzbujenem Mottovem izolatorju

Zala Lenarčič[1] in Peter Prelovšek[1,2]

1. Odsek za teoretično fiziko, IJS, Ljubljana
2. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

Z laserskim vzbujanjem Mottovih izolatorjev, ki so zaradi močnih elektronskih korelacij zanimivi že v ravnovesju, se v njih vzpostavi neravnovesna dinamika, ki lahko odkrije nove presenetljive lastnosti. Pri vzbuditvah prek Hubbardove energijske vrzeli se spremeni celo njihova izolatorska narava, saj so pri tem kreirani delci z efektivno pozitivnim in negativnim nabojem, ki se na femto-sekundni skali lahko obnašajo kovinsko. Kot je bilo opaženo pri t.i. „pump-probe“ eksperimentih ti delci na piko-sekundni skali rekombinirajo, zaradi česar izgine odziv, ki ga povzročajo [1,2].

Naš teoretični prispevek je mehanizem za opis rekombinacije, ki reproducira eksperimentalno izmerjene čase. Le ta za efektivno dvodimenzionalne sisteme sloni na kreaciji spinskih eksitacij, ki prevzamejo veliko energijo para (pozitivno in negativno nabitega delca). Na drugi strani pa so za to v enodimenzionalnih sistemih potrebne molekularne vibracije. Predstavila bom izpeljavo minimalnega modela, potrebnega za opis, numerične rezultate za rekombinacijske čase in efektivni model, ki te rezultate zaobjame analitično. Pri enodimenzionalnih sistemih bom posebno pozornost posvetila simetriji začetnega in končnega stanja in vlogi vibracij (fononov) pri spreminjanju le te [3,4].

[1] H. Okamoto et al, Physical Review B **113**, 125102 (2011)
[2] M. Mitrano et al, Physical Review Letters **112**, 117801 (2014)
[3] Z. Lenarčič in P. Prelovšek, Physical Review Letters **111**, 016401 (2013)
[4] Z. Lenarčič in P. Prelovšek, arXiv 1409.2347 (2014)

Simulacija $X(3872)$ v kromodinamiki na mreži

Luka Leskovec[1] in Sasa Prelovsek[1,2]

[1]Odsek za teoretično fiziko, Institut Jožef Stefan, Ljubljana, Slovenija
[2]Fakulteta za Matematiko in Fiziko, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija

$X(3872)$ je večkrat eksperimentalno potrjeno [1], dolgoživo, čarmoniju podobno stanje z maso $m_{exp} = 3871.69 \pm 0.17$ MeV [2], ki se pojavi zelo blizu pragu za sipanje mezonov D_0 in $\bar{D}_0^*$. Poleg močnih razpadov v kanal z mezonoma D_0 in $\bar{D}_0^*$ $X(3872)$ razpada tudi v končno stanje z izospinom nič – $J/\psi\omega$ in končno stanje z izospinom ena – $J/\psi\rho$. Kvantna števila $X(3872)$ so bila do nedavno neznana, dokler jih niso lani na velikem hadronskem trkalniku določili na $J^{PC} = 1^{++}$ [3].

Zanesljiva teoretična študija takega stanja je mogoča le v okviru kvantne kromodinamike na mreži, ki edina omogoča izračun hadronskih mas in razpadnih širin iz prvih principov. Pri pionski masi 266 MeV smo simulirali kanala s kvantnimi števili $I(J^{PC}) = 0(1^{++})$ ter $I(J^{PC}) = 1(1^{++})$ upoštevajoč tako $\bar{q}q$ prostostne stopnje kot tudi $D_0\bar{D}_0^*$ ter $J/\psi\omega$ oz. $J/\psi\rho$ [4]. Zaradi točne izospinske simetrije v simulaciji nismo opazili kandidata v kanalu $I(J^{PC}) = 1(1^{++})$, kar namiguje na to, da je razpad $X(3872) \to J/\psi\rho$ v naravi mogoč le zaradi zloma izospinske simetrije oz. razcepa med $D_0\bar{D}_0^*$ ter $D^+\bar{D}^{-*}$. V kanalu $I(J^{PC}) = 0(1^{++})$ pa smo našli kandidata za stanje $X(3872)$, ki se nahaja 11 ± 7 MeV pod pragom za sipanje mezonov D_0 in $\bar{D}_0^*$.

[1] Belle Collaboration, S. Choi *et al.*, Phys.Rev.Lett. **91**, 262001 (2003), [arXiv:hep-ex/0309032].

[2] Particle Data Group, K. Olive *et al.*, Chin.Phys. **C38**, 090001 (2014).

[3] LHCb, R. Aaij *et al.*, Phys.Rev.Lett. **110**, 222001 (2013), [arXiv:1302.6269].

[4] S. Prelovsek and L. Leskovec, Phys.Rev.Lett. **111**, 192001 (2013), [arXiv:1307.5172].

Optične lastnosti galijevega nitrida in aluminijevega nitrida v teraherčnem območju

Aleksej Majkić[1], Uroš Puc[2] in Marko Zgonik[1,3]

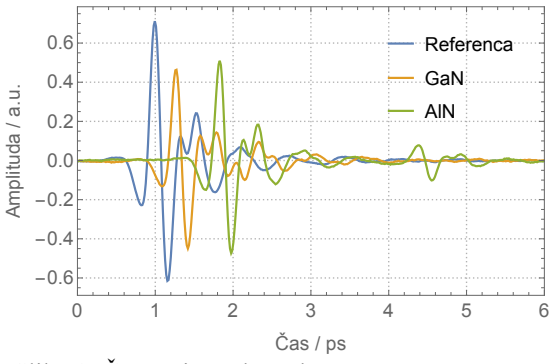
1. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana
2. Mednarodna podiplomska šola, IJS, Ljubljana
3. Odsek za kompleksno snov, IJS, Ljubljana

Elektromagnetno (EM) valovanje v teraherčnem območju (~1–10 THz) lahko koristno uporabimo za prepoznavanje kemične sestave ali nedestruktivno testiranje različnih materialov, ki so prosojni za teraherčno in neprosojni za infrardečo ali vidno svetlobo. Za generacijo teraherčnega valovanja se uporabljajo različni izvori, npr. fotoprevodne antene v kombinaciji s femtosekundnim laserjem, kvantni kaskadni laserji ali izvori na principu konverzije frekvence svetlobe. V okviru mednarodnega projekta *Nelinearna optika moduliranih GaAlN valovodov* [1] na FMF med drugim preučujemo optične lastnosti kristalov $Ga_xAl_{1-x}N$ ($0 \le x \le 1$) v teraherčnem območju, z namenom njihove uporabe pri konverziji koherentne vidne svetlobe v omenjeno območje EM spektra.

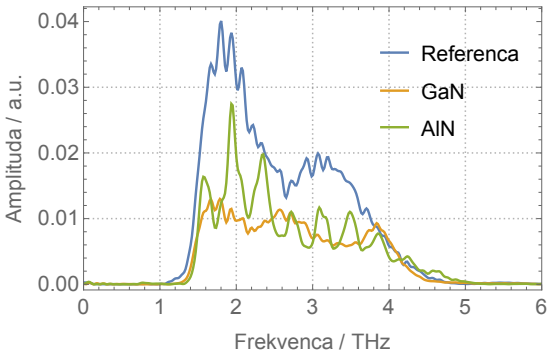
Predstavljene so naše meritve rednega lomnega količnika in absorpcijskega koeficienta za čista monokristala GaN in AlN v frekvenčnem območju 1–6 THz s teraherčno spektroskopijo v časovni domeni, to je s primerjavo časovnega poteka jakosti električnega polja širokospektralnega teraherčnega sunka po prehodu skozi spektrometer brez vzorca (referenca) in z vzorcem. Fourierjev obrat vzorca $E_v(\nu)$ in reference $E_r(\nu)$ sta medsebojno povezana s prenosno funkcijo

$$\frac{E_v(\nu)}{E_r(\nu)} = \frac{4n(\nu)}{(n(\nu)+1)^2} \frac{\exp\left(-\frac{\alpha(\nu)d}{2}\right)\exp\left(i(n(\nu)-1)k_0 d\right)}{1-\left(\frac{n(\nu)-1}{n(\nu)+1}\right)^2 \exp(-\alpha(\nu)d)\exp\left(2in(\nu)k_0 d\right)}, \qquad (1)$$

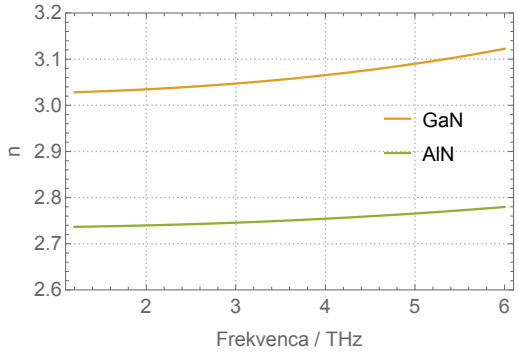
kjer je ν frekvenca, $n(\nu)$ realni del lomnega količnika, $\alpha(\nu)$ absorpcijski koeficient, d debelina vzorca ter k_0 valovni vektor v zraku. Iz izmerjenih absolutne vrednosti in faze kvocienta (1) smo določili najustreznejše vrednosti rednega lomnega količnika $n(\nu)$ in absorpcijskega koeficienta $\alpha(\nu)$ v obeh kristalih.



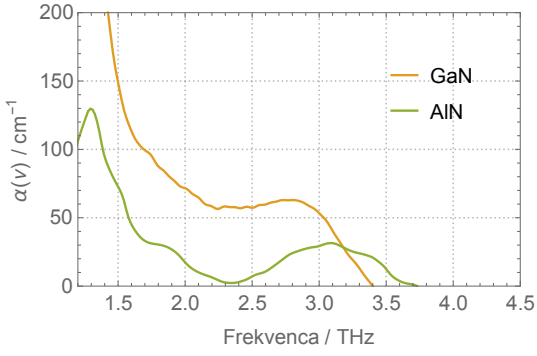
Slika 1: Časovni potek sunkov.



Slika 2: Izmerjeni spektri moči.



Slika 3: Lomna količnika, po Sellmeier-jevem modelu.



Slika 4: Ocena absorpcijskih koeficientov.

[1] M. Rigler, M. Zgonik, M.P. Hoffmann, R. Kirste, M. Bobea, R. Collazo, Z. Sitar, S. Mita, in M. Gerhold, Appl. Phys. Lett. **102**, 221106 (2013)

Študija radiativnih razpadov $D^0 \to V\gamma$

Tara Nanut

Institut Jožef Stefan
Belle Collaboration

November 2014

Na teoretičnem nivoju fiziko osnovnih delcev in njihovih interakcij razlaga teorija Standardnega modela (SM). Z eksperimentalnega vidika je na trenutno dosegljivih energijskih skalah SM zelo dobro preverjena teorija, saj so zadnja desetletja raziskav na pospeševalnikih z veliko natančnostjo potrdila teoretične napovedi. Kljub velikim uspehom pa ima SM določene pomanjkljivosti, zaradi katerih vemo, da ne more biti dokončna teorija. Veliko truda in virov v eksperimentalni fiziki osnovnih delcev je zato usmerjenih v iskanje in raziskave procesov izven SM oz. iz njegovih razširitev, s skupnim imenom Nova fizika (NF). Eden izmed pristopov k tem raziskavam je študija procesov, ki so v SM redki. V takih procesih so morebitni prispevki NF relativno pomembnejši in bi jih pri meritvah z dovolj visoko natančnostjo lahko zaznali.
Eno izmed področij, primernih za iskanje NF po omenjem principu, so natančne meritve redkih procesov z mezoni D. To so delci, ki vsebujejo kvark (ali antikvark) c ($\overline{c}$). Ena od podvrst teh procesov so radiativni razpadi mezonov D^0, torej razpadi, kjer je eden izmed delcev v končnem stanju foton (γ).

V prispevku bom predstavila študijo radiativnih razpadov $D^0 \to V\gamma$, kjer je V mezon $\phi, \overline{K}^{*0}$ ali ρ^0, z detektorjem Belle. Eksperiment Belle poteka na pospeševalniku KEKB v Tsukubi na Japonskem. Tako Belle kot sorodni eksperiment BaBar sta v preteklosti opazila razpade z mezonoma ϕ in $\overline{K}^{*0}$ ter izmerila razvejitveno razmerje. Razpadi preko ρ^0 še niso bili izmerjeni, saj je bil takratni vzorec podatkov premajhen. Sedaj imamo na voljo bistveno večji vzorec, ki nam omogoča, da izmerimo iskana razvejitvenena razmerja z večjo natančnostjo (oz. v primeru ρ^0 dobimo prvo meritev). Drugi cilj študije je meritev kršitve simetrije CP v obravnavanih razpadih, ki še ni bila izvedena, glede na teoretične napovedi pa lahko upamo, da bo signifikantno prispevala k razumevanju kršitve simetrije CP v sistemu mezonov D.

Ultrahitra lokalizacija nosilcev naboja v psevdoreži v kupratnih superprevodnikih

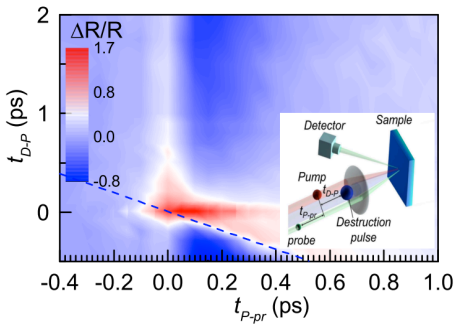
I. Madan[1,2], J. Novak[1], T. Kurosawa[3], Y. Toda[4], M. Oda[3], T. Mertelj[1,2], D. Mihailović[1,2]

1. Odsek za kompleksno snov, IJS, Ljubljana, Slovenija
2. Mednarodna podiplomska šola, IJS, Ljubljana, Slovenija
3. Department of Physics, Hokkaido University, Sapporo, Japan
3. Department of Applied Physics, Hokkaido University, Sapporo, Japan

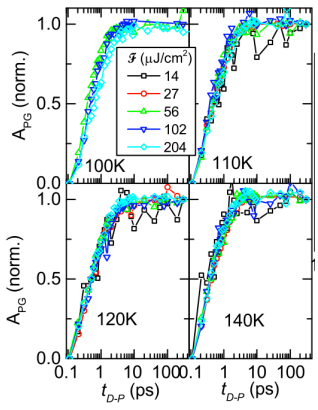
Psevdoreža je izraz za minimum gostote elektronskih stanj na Fermijevim nivoju, ki je dovolj velik, da stanja postanejo lokalizirana[1]. Nastane lahko bodisi zaradi Coulombskega odboja med elektroni na istem atomu bodisi zaradi energijske reže v neurejeni snovi ali zmesi obeh pojavov[2].

Pojav psevdoreže je po dosedajšnjih predvidevanjih povezan z nastankom visokotemperaturne superprevodnosti. Nedavno so našli tudi povezavo med psevdorežo s kolektivnimi stanji, kot sta charge density wave (periodična modulacija gostote naboja) in spin density wave (periodična modulacija elektronskih spinov). V časovno povprečenih poskusih ta stanja kažejo koherenčno dolžino nekaj angstromov, v časovno ločljivih poskusih pa so opažena kolektivne eksitacije, ki kažejo na dolgorazsežno ureditev na ultrahitrih časovnih skalah.

Kot prvi smo opazovali dinamični prehod v stanje psevdoreže v prototipnem visokotemperaturnem superprevodniku $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$ s pomočjo kratkih laserskih pulzov. Odkrili smo jasno odsotnost kolektivnega urejanja, ki bi seglo preko razdalje nekaj koherenčnih dolžin na kratkih časovnih skalah. Naše meritve namesto tega kažejo na opis psevdoreže kot stanja, ki ga opišemo s kratkosežnimi koreliranimi lokaliziranimi nosilci naboja.



Slika 1: Tipični rezultati tri-pulznega eksperimenta. Uničenje (črtkana črta) in povrnitev (t_{D-p} >0) odziva psevdoreže v pump-probe poskusih



Slika 2: Povrnitev stanja psevdoreže po destrukciji stanja s kratkim laserskim sunkom kot funkcija fluence pri različnih temperaturah.

[1] MOTT, N. F. Metal-Insulator Transition. *Rev. Mod. Phys.* **40,** 677–683 (1968).

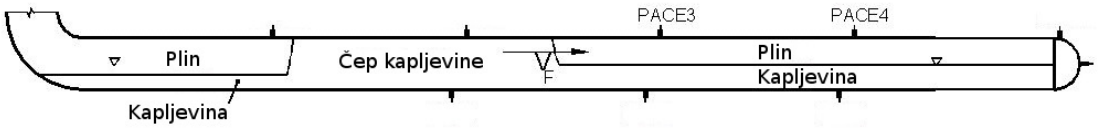
[2] Norman, M. R., Pines, D. & Kallin, C. The pseudogap: friend or foe of high Tc ? Adv. Phys. 54, 715–733 (2005).

Simulacije nastanka in pospeševanja čepa kapljevine v horizontalni cevi

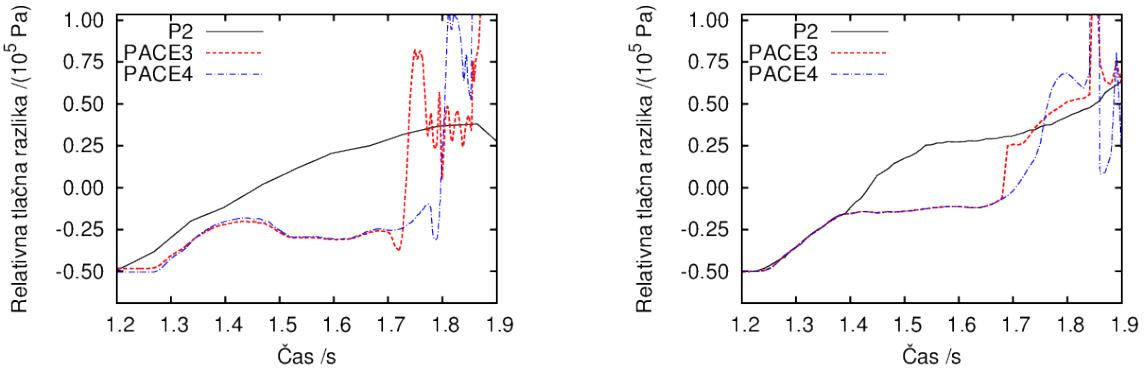
Jure Oder[1], Matej Tekavčič[1] in Iztok Tiselj[1]
[1] Odsek za reaktorsko tehniko, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana

Martin in sod. [1] so med letoma 2000 ter 2001 izvedli poskuse nastajanja ter pospeševanja kapljevinastega čepa v cevi. Namen poskusov je bilo proučevanje pogojev pod katerimi pride do pojava hidravličnega udara. S tridimenzionalnimi simulacijami smo izračunali čas nastanka ter hitrost čepa v pogojih, kakršni so bili izmerjeni v poskusu.

Čepast tok je tok dveh tekočin v katerem je plinasta faza zbrana v večjih mehurjih ločenimi s kapljevinastimi čepi. V poskusu je testna cev napolnjena z mirujočo, hladno kapljevino. Ko jo pričnemo polniti z vročim plinom pride do pojava Kelvin-Helmholtzeve nestabilnosti. Zaradi strižne hitrosti na površini med kapljevino in plinom postane površina valovita, amplituda valov pa se s časom veča. V nekem trenutku postane eden izmed valov dovolj velik, da zapolni celoten presek cevi. Nastali čep razdeli domeno plina v dva dela (slika 1). V delu cevi, kjer je plin izoliran od pritoka plina (desno na sliki 1), zaradi kondenzacije na površini med kapljevino in plinom tlak pada. V drugem delu (levo na sliki 1) pa zaradi dovajanja plina tlak raste (slika 2). Nastala tlačna razlika preko čepa le-tega pospešuje. Ob primernih pogojih kondenzacija povzroči pospeševanje čepa do stene cevi, kjer pa se mora tekočina hipno ustaviti. To privede do tlačnega udara, ki lahko poškoduje cev ali ostale konstrukcije.



Slika 1: Shematski prikaz testne cevi eksperimentalnega aparata. Prikazani sta mesti tlačnih senzorjev PACE3 in PACE4.



Slika 2: Leva slika prikazuje tlake (v primerjavi z zunanjim, normalnim tlakom), izmerjenih s senzorji P2, PACE3 ter PACE4. Desna slika prikazuje izračunane tlake na mestih teh senzorjev. Senzor P2 je nameščen izven testne cevi in ni v stiku s kapljevino. Iz slike lahko opazimo, da čep nastane ob času $1{,}4\,\mathrm{s}$, ki ob času $1{,}7\,\mathrm{s}$ prečka senzor PACE3 ter ob času $1{,}8\,\mathrm{s}$ senzor PACE4.

[1] C. S. Martin, R. Brown in J. Brown. *Condensation-Induced Hydraulic Shock, Final Report*. Del. por. ASHRAE 970–RP, 2007.

Spinske resonance v modelu Kondove mreže

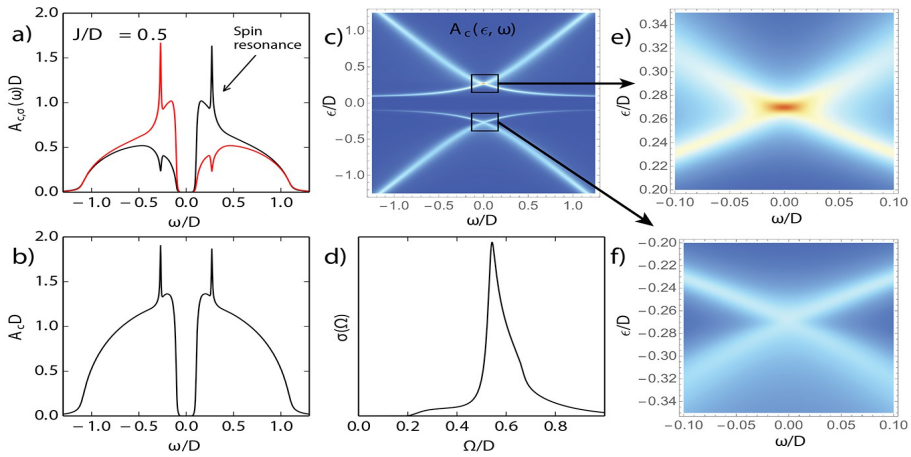
Žiga Osolin[1] in Rok Žitko[1, 2]

1. Oddekek za teoretično fiziko, IJS, Ljubljana
2. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

Mnogo materialov lahko opišemo s približkom skoraj neodvisnih valenčnih elektronov. Med te ne spadajo snovi z ozkimi pasovi (posledica majhnega prekrivalnega integrala med atomi) in velikim odbojem med valenčnimi elektoroni, kjer so korelacije pomembne. Pomemben izmed predstavnim močno koreliranih materialov so težki fermioni. Poleg velike ojačitve mase kvazidelcev (tudi do 1000-krat mase prostih elektronov) so v njih odkrili tudi nekonvencionalno superprevodnost, zanimive magnetne lastnosti in na splošno zelo bogat fazni diagram.

V teoretičnem delu se ukvarjamo z verjetno najenostavnejšim modelom, ki opiše osnovno fiziko težkih fermionov – z modelom Kondove mreže. V njem imamo na vsakem mestu dve orbitali: prva opisuje skoraj proste elektrone, ki so na vsakem mestu sklopjeni s spini s konstanto J. Pri polovični zasedenosti med seboj tekmujeta Kondo fizika, ki želi ustvariti singlet med spinom in prevodnimi elektroni, ter nasprotujoča RKKY interakcija, posledica katere je antiferomagnetna ureditev.

S pomočjo teorije dinamičnega teoretičnega polja in numerične renormalizacijske grupe kot reševalec nečistoč smo obravnaval model Kondove mreže. V spinsko odvisno spektralni funkciji smo v atiferomagnetni fazi poleg ostrega robu ob vrzeli opazili še dodatno strukturo – spinsko resonanco. Analizirali smo odvisnost njene velikosti in pozicije od velikosti sklopitvene konstante J. Ugotovili smo, da je najbolj izrazita blizu prehoda iz antiferomagneta v Kondov izolator, vendar se pojavi samo v antiferomagnetu. Prav tako se pojavi v Kondovem izolatorju, če v model dodamo dovolj veliko magnetno polje; rešitev je tam spet antiferomagnet transverzalno na magnetno polje, kar obudi spinske resonance. Spinske resonance so verjetno posledica nekohorentnega sipanja.



a) Spinska resonanca v antiferomagnetni fazi. b) Tudi po spinskem povprečenju spektralne funkcije ostaja resonanca. c) Prikaz pasov . d) Optična prevodnost. e,f) Povečave pasovne strukture blizu spinske resonance

Graphene-induced Enhancement of N-type Mobility in Perylenediimide Thin Films

Egon Pavlica, Srinivasa Rao Pathipati, Raveendra Babu Penumala, and Gvido Bratina

Laboratory of Organic Matter Physics, University of Nova Gorica,
Vipavska 13, SI-5000 Nova Gorica, Slovenia.
egon.pavlica@ung.si

Charge transport in graphene exhibits high mobility although it is outstandingly sensitive to the adsorbed molecules [1]. On the other hand, when the semiconducting polymer is blended with e.g. photochromic molecules, it retains the semiconducting behavior [2]. Therefore, graphene flakes blended with semiconducting molecules represent a novel compound, combining high charge carrier mobility of graphene and functionality of polymers such as energy gap, light sensitivity, temperature stability. Potential application of these blends includes ink-jet printed multifunctional electronic circuits, such as solar cells, thin film transistors or sensors [3].

Organic thin-film transistor (OTFT) transfer characteristics and time-of-flight (TOF) photoconductivity measurements were used to investigate the effect of the addition of liquid-phase exfoliated graphene nanoflakes (GNs) on the electron mobility in thin films of N,N'-1H,1H-perfluorobutyl dicyanoperylene-carboxydi-imide (PDIF-CN2). Transfer characteristics measurements reveal that the charge carrier mobility of GN:PDIF-CN2 blends increases by almost three orders of magnitude relative to pristine PDIF-CN2. TOF photocurrent measurements confirm that the GNs improve the charge carrier transport in PDIF-CN2. We have found a strong dependence of the TOF-determined electron mobility on the excitation wavelength and obtained a maximum mobility of 0.17 cm^2/Vs for charge carriers produced in GN: PDIF-CN2 blends, using photon energy of 5.9 eV. This value is in good agreement with the field-effect mobility of 0.2 cm^2/Vs determined from data recorded in the low-voltage region of an OTFT transfer characteristics.

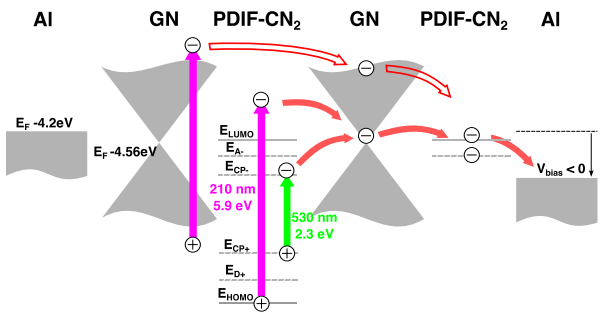


Figure 1: Diagram of photoconductivity in a layer blended between GNs and PDIF-CN2 between two Al electrodes after the excitation of 2.3 eV or 5.9 eV photons. Excitation at 210 nm (5.9 eV) generates charge carriers in GNs and in PDIF-CN2. These carriers proceed towards biased Al electrode following either fast (hollow arrows) or slow paths (solid arrows). Photoexcitation of the GNs generates hot electrons, which drift towards an electrode relatively fast, since the relaxation of such hot electrons is slow. Hollow arrows schematically present their path. Photogenerated carriers on PDIF-CN2 molecules immediately enter into GNs or relax to E_{A-}, the energy of a negatively charged molecule. Subsequent hopping is decelerated due to the energy difference between E_{LUMO} and E_{A-}. In contrast, 530 nm (2.3 eV) photons produce bound charge pairs, which are represented as two particles occupying the levels E_{CP}. Their energies are reduced due to a strong Coulomb interaction. After dissociation, these carriers drift towards biased electrode occupying E_{LUMO} and E_{A-} levels.

[1] S. R. Pathipati, E. Pavlica, E. Treossi, R. Rizzoli, G. P. Veronese, V. Palermo, L. Chen, D. Beljonne, J. Caif, R. Fasel, P. Ruffieux, G. Bratina, Organic Electronics **14**, 1787 (2013)
[2] E. Orgiu, N. Crivillers, M. Herder, L. Grubert, M. Pätzel, J. Frisch, E. Pavlica, D. T. Duong, G. Bratina, A. Salleo, N. Koch, S. Hecht, P. Samorì, Nature Chemistry **4**, 675 (2012)
[3] A. Schlierf, P. Samorì and V. Palermo, J. Mater. Chem. C **2**, 3129 (2014)

Analiza kemijskega stanja lahkih elementov z meritvijo PIXE spektrov z visoko energijsko ločljivostjo

M. Petric[1], M. Kavčič[1], M. Žitnik[1,2], K. Bučar[1], J. Szlachetko[3]

1. Odsek za fiziko nizkih in srednjih energij (F-2), IJS, Ljubljana
2. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana
3. Paul Scherrer Institute,Villigen, Switzerland

Rentgenska analitska metoda PIXE (Proton Induced X-ray Emission) bazira na uporabi polprevodniških detektorjev, ki omogočajo določitev elementnih koncentracij v vzorcu z visoko občutljivostjo, žal pa njihova energijska ločljivost ne omogoča hkratne analize kemijske vezave elementa. Najbolj uveljavljena spektroskopska metoda za analizo kemijskega stanja je rentgenska absorpcijska spektroskopija (XAS), ki uporablja energijsko nastavljivo, monokromatsko rentgensko svetlobo iz sinhrotronskih izvirov. Alternativno možnost predstavlja rentgenska emisijska spektroskopija (XES) z uporabo Braggovih kristalnih spektrometrov, ki jo lahko kombiniramo z manjšimi laboratorijskimi izviri in različnimi tipi vzbujanja. Vkolikor je energijska ločljivost spektrometra primerljiva z ločljivostjo monokromatorja na žarkovni liniji sinhrotrona, emisijski spektri omogočajo tudi analizo kemijske okolice elementa v vzorcu [1].

V našem delu smo z Braggovim kristalnim spektrometrom v Johanssonovi geometriji optimiziranim za meritve rentgenskih emisijskih spektrov v področju 2-6 keV [2], izmerili karakteristične spektre Kα in Kβ različnih spojin fosforja, žvepla in klora pri vzbujanju z MeV protoni. Eksperimentalna ločljivost je znašala ~ 0,5 eV, kar je primerljivo z naravno širino merjenih spektralnih črt. Izmerjeni spektri razločno kažejo vpliv kemijske vezave elementa v snovi in omogočajo določitev oksidacijskega stanja elementa ter preučevanje lokalne kemijske okolice. Natančnejša interpretacija izmerjenih rezultatov je mogoča na podlagi kvantno kemijskih računov za molekule s programskim paketom StoBe-deMon [3] na osnovi teorije gostotnih funkcionalov (DFT).

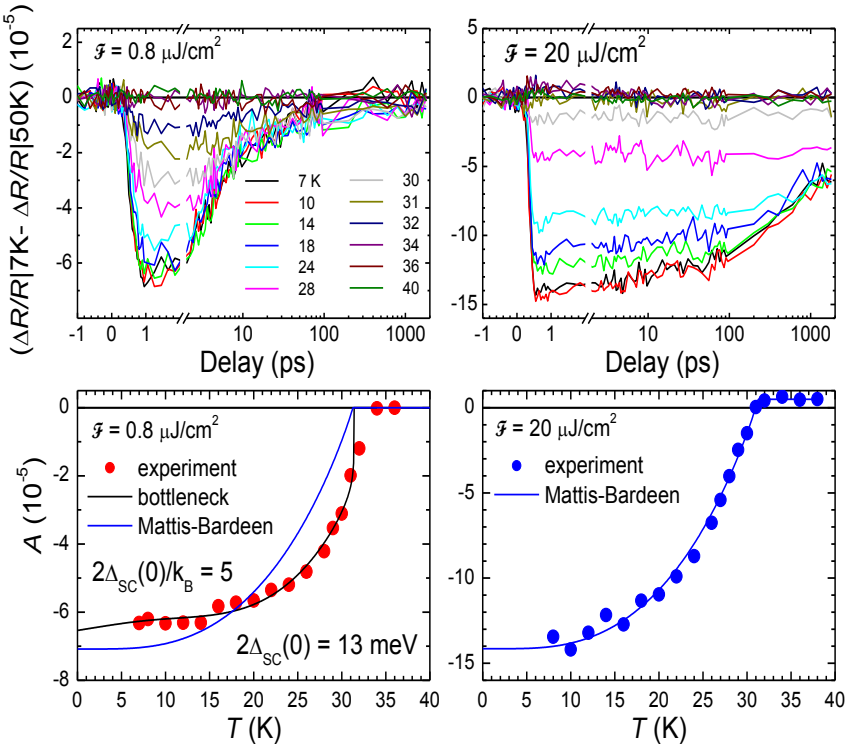
[1] A. L. Ankudinov,W. T. Elam, J. R. Sieber and J. J. Rehr, X-Ray Spectrom. 35, (2006), 312.
[2] M. Kavčič, M. Budnar, A. Mühleisen, F. Gasser, M. Žitnik, K. Bučar, and R. Bohinc, Rev. Sci. Instrum. 83 (033113), 2012.
[3] StoBe-deMon. (Stockholm-Berlin version of deMon, a Density Functional Theory (DFT) molecule/cluster package), version 3.0; June 2006, StoBe2005.

Bottleneck relaxation dynamics in photoexcited iron pnictide superconductor

A.Pogrebna[1,2], T.Mertelj[1], Z. Ye[3], D. L. Feng[3], and D.Mihailovic[1,4]

[1]Complex Matter Dept., Jozef Stefan Institute, Jamova 39, Ljubljana, SI-1000, Slovenia
[2]International postgraduate school, Jamova 39, Ljubljana 1000, Slovenia
[3]Department Fudan University, Shanghai 200433, People's Republic of China
[4]CENN Nanocenter, Ljubljana, Slovenia

We report on ultrafast optical reflectivity measurements of the superconducting gap in optimally doped $BaFe_2(As_{0.7}P_{0.3})_2$ iron pnictide in a weak and strong excitation regimes. The temperature evolution of the transient response in the strong excitation regime is consistent with a total destruction of the superconducting state on the sub picosecond time scale. The temperature dependent transient reflectivity amplitude is well described by the Mattis-Bardeen theory. In the weak excitation regime the behavior is different and corresponds to the Rothwarf-Taylor bottleneck dynamics. The effective superconducting gap magnitude, $2\Delta_{SC}(0)$ = 13 meV, obtained from a bottleneck-model fit in the low excitation regime is consistent with ARPES.



Predlog merjenja medplastnih interakcij v antiferoelektričnih tekočih kristalih

Maja Poklinek Čančula[1], Chia Yuee Lum[2] in Mojca Čepič[1,3]

1. Pedagoška fakulteta, UL, Ljubljana
2. Penang Medical College, Penang, Malazija
3. Odsek za teoretično fiziko, IJS, Ljubljana

Za antiferoelektrične tekoče kristale so značilne različne faze, pri katerih so poleg vijačne modulacije z dolgo periodo prisotne še modulacije z različnimi periodami, ki se raztezajo čez nekaj plasti. Modulacije s kratkimi periodami so posledica vplivov več medplastnih interakcij različnega izvora, kot so entropijska pseudosila zaradi difuzije med plastmi, privlačne van der Waalsove interakcije, elektrostatične dipolne in kvadrupolne interakcije ter piezoelektrične in fleksoelektrične sklopitve. Njihov doprinos k prosti energiji lahko zapišemo s členi, v katerih nastopajo nagib oz. usmerjenost molekul v smektični plasti in polarizacijski red. Členi upoštevajo medmolekularne interakcije znotraj plasti in med plastmi. Dipolne interakcije lahko eliminiramo s postopkom minimizacije, prosto energijo pa lahko nato poenostavljeno eksplicitno zapišemo kot

$$F = \sum_{j=1}^{N} \left(\sum_{k=1}^{3} \frac{1}{2} a_k \left(\boldsymbol{\xi}_j \cdot \boldsymbol{\xi}_{j+k} \right) + \sum_{k=1}^{2} \frac{1}{2} f_k \left(\boldsymbol{\xi}_j \times \boldsymbol{\xi}_{j+k} \right)_z + \frac{1}{4} b_q \left(\boldsymbol{\xi}_j \cdot \boldsymbol{\xi}_{j+1} \right)^2 \right)$$

kjer je $\boldsymbol{\xi}_j$ dvodimenzionalni parameter reda nagiba v *j*-ti smektični plasti, ki mu je dodana ničelna komponenta za enostavno predstavo kiralnih medplastnih interakcij. Koeficienti a_k in f_k predstavljajo efektivne biliniearne kiralne in nekiralne interakcije. Njihove vrednosti so določene z entropičnimi, van der Waalsovimi, elektrostatskimi, piezoelektričnimi in fleksoelektričnimi interakcijami med sosednjimi plastmi. Vsota upošteva vse plasti v vzorcu [1]. Zadnji člen predstavlja kvadrupolno sklopitev, ki pri negativnem b_q povzroči, da se perioda modulacije ujema 3, 4 ali 6 plastmi [1 in viri v 1], pri pozitivnem b_q pa prepreči nastanek modulacij s komenzurabilnimi periodami. Ker kvadrupolna sklopitev deluje podobno kot druge interakcije, podane s koeficienti a_k in f_k, njenega vpliva na strukturo ne moremo ločiti od ostalih.

V tem prispevku predlagamo eksperimentalno metodo, pri kateri omejimo študij vpliva interakcij zgolj na sosednje plasti. To dosežemo pri tankem filmu, v katerem sta prisotni samo dve smektični plasti in zato nastopajo le interakcije med sosednjima plastema. Takšni sistemi omogočajo:

- določanje predznaka koeficienta kvadrupolne sklopitvene konstante b_q,
- oceno razmerij med b_q in koeficienti a_k in f_k,
- optično proučevanje materialov ki omogočajo kvantitativno meritev vrednosti koeficienta b_q.

[1] H. Takezoe, E. Gorecka, M. Čepič, *Rev. Mod. Phys.* **82**, 897 – 937 (2010)

Večskalne simulacije vodnega toka vzdolž objektov velikostnega reda nanometra

Aleksandar Popadić[1] in Matej Praprotnik[1]

[1]*Laboratorij za molekularno modeliranje, Kemijski inštitut, Hajdrihova 19, 1001 Ljubljana*

Predstavljamo simulacije vodnega toka vzdolž objektov velikostnega reda nanometra, npr. fulerenov in membran iz ogljikovih nanocevk, z uporabo Navier-Stokesovih enačb in robnega pogoja z delnim zdrsom [1]. Diskretizacija Navier-Stokesovih enačb s končnimi volumni je sklopljena z robnim pogojem z delnim zdrsom, kjer so zdrsne dolžine dobljene s simulacijami molekularne dinamike, ki vodni tok opišejo na nanoskali. Fizikalne količine pridobljene s trenutnim hibridnim pristopom se dobro ujemajo z rezultati simulacij molekularne dinamike, medtem ko so pridobljene z nekajkrat manjšo računsko zahtevnostjo. Manjša računska zahtevnost predstavljene metode tudi omogoča simulacije sistemov velikosti, ki so nedosegljive trenutnim sposobnostim simulacij molekularne dinamike.

---

[1] A. Popadić, J. H. Walther, P. Koumoutsakos, in M. Praprotnik, New J. Phys. **16**, 082001 (2014).

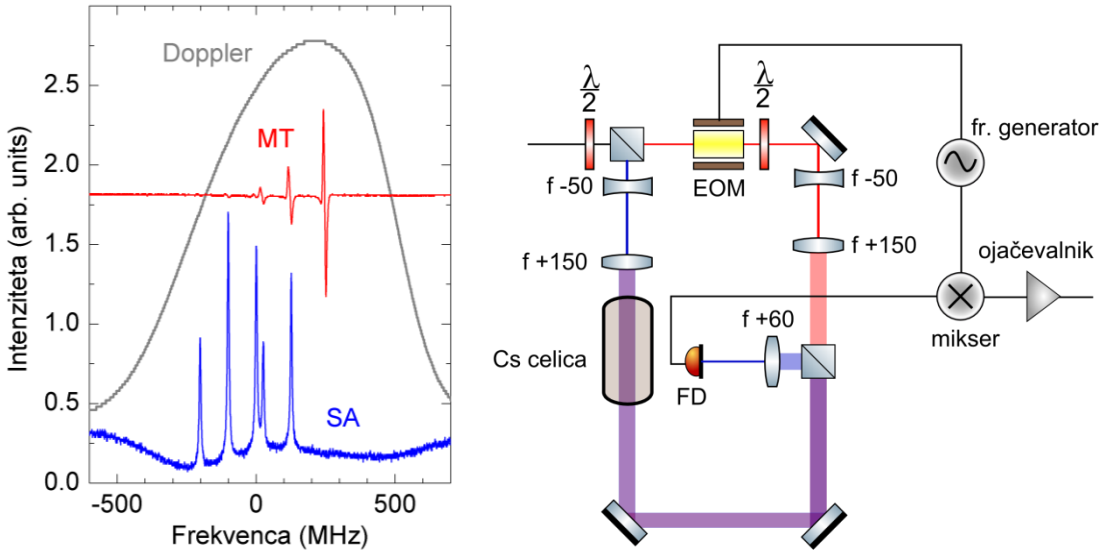
»Doppler-free« spektroskopija cezijevih atomov

Nejc Rosenstein, Pavel Kos, Nejc Janša, Erik Zupanič in Peter Jeglič

Odsek za fiziko trdne snovi, Institut Jožef Stefan, Ljubljana

Za učinkovito lasersko hlajenje atomov in opazovanje Bose-Einsteinovega kondenzata potrebujemo svetlobo s frekvenco, ki ustreza prehodu med dvema izbranima energijskima stanjema atoma. Frekvenco lahko stabiliziramo z merjenjem absorpcije laserske svetlobe v stekleni celici napolnjeni s plinom atomov. Pri sobni temperaturi so zaradi gibanja atomov hiperfini prehodi Dopplersko razširjeni. Ker tipična razširitev znaša več 100 MHz, s preprosto absorpcijsko spektroskopijo ne moremo razločiti posameznih hiperfinih prehodov [1].

»Doppler-free« spektroskopija je metoda, s katero se znebimo razširitve hiperfinih prehodov zaradi Dopplerjevega pojava. Predstavljeni bosta dve različici spektroskopije [2], s katerima lahko opazujemo hiperfine prehode in tako frekvenco svetlobe iz laserja s pomočjo povratne zanke stabiliziramo na frekvenco prehoda z natančnostjo pod 1 MHz. Oba tipa spektroskopije že uporabljamo v Laboratoriju za hladne atome, kjer želimo atome cezija ohladiti v območje nK in doseči Bose-Einsteinovo kondenzacijo [3].



Slika 1: [Levo] Meritve absorpcije v stekleni celici, napolnjeni s cezijevim plinom. Modra in rdeča krivulja predstavljata MT (»modulation transfer«) spekter ter SA (»saturation absorption«) spekter. Vrhovi v izmerjenem spektru predstavljajo prehode med hiperfinimi stanji cezija. Siva krivulja predstavlja Dopplersko razširjen spekter. [Desno] Shema MT spektroskopije. Oznaka FD predstavlja fotodiodo, kratica EOM pa elektrooptični modulator.

[1] C. J. Foot, Atomic Physics (Oxford University Press, Oxford, 2005).
[2] D. J. McCarron, S. A. King in S. L. Cornish, Modulation transfer spectroscopy in atomic rubidium, Meas. Sci. Technol. **19,** 105601 (2008).
[3] Spletna stran Laboratorija za hladne atome: ultracool.ijs.si

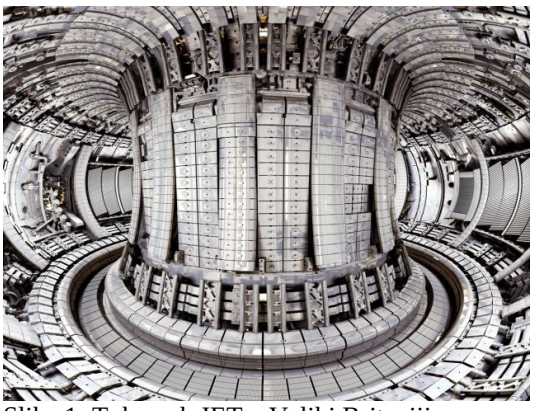
Monte Carlo transport nevtronov in fotonov v fuzijskih in fisijskih reaktorjih

Luka Snoj[1,2], Igor Lengar[1,2] Aljaž Čufar[1], Žiga Štancar[1], Vladimir Radulović[1] in Gašper Žerovnik[1,2]

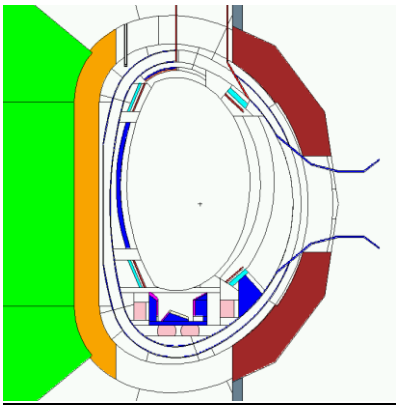
1. Odsek za reaktorsko fiziko, IJS, Ljubljana
2. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

Uporaba metod za Monte Carlo (MC) transport nevtronov in fotonov v fuzijskih in fisijskih reaktorjih v zadnjih letih narašča predvsem zaradi znatne pocenitve in povečanja računalniških zmogljivosti. Na odseku za reaktorsko fiziko Instituta Jožef Stefan se ukvarjamo s razvoje metodologije za uporabo metod MC kot podporo osnovnim raziskavam na fisijskih v zadnjem času pa vse bolj tudi na fuzijskih reaktorjih. Na področju fizike fisijskih reaktorjev se ukvarjamo z eksperimentalno verifikacijo računskih modelov, programov in jedrskih podatkov ter v sklopu mednarodnega projekta pod okriljem OECD/NEA (Organisation for economic cooperation and development, Nuclear Energy Agency) sodelujemo pri pripravi najobsežnejše obsežne zbirke referenčnih eksperimentov, ki služijo zgoraj navedenim aktivnostim. Metode MC uporabljamo za izvedbo občutljivostih študij ter za analizo eksperimentalnih negotovosti referenčnih eksperimentov. Poleg tega v sodelovanju s CEA (Comisariat Energy Alternative) metode MC uporabljamo za razvoj in razumevanje naprednih samonapajalnih detektorjev nevtronov.

Na odsek za reaktorsko fiziko že od leta 2007 s centrom za fuzijsko energijo v Culhamu (CCFE- Culham Centre for Fusion Energy) sodelujemo v evropskem fuzijskem programu, v sklopu katerega razvijamo metodologijo za kalibracijo detektorjev nevtronov, ki se uporabljajo za merjenje fuzijske moči reaktorjev, najpomembnejšega parametra reaktorja. V letih 2009 -2013 smo se osredotočali na kalibracijo z nevtroni, ki nastajajo pri zlivanju devteronov (E=2.4 MeV), v letih 2014 – 2018 pa se bomo osredotočili na nevtrone višjih energij (E=14,1 MeV), ki nastanejo pri zlivanju devteronov in tritonov. Poleg tega metode MC uporabljamo za analize odziva detektorjev nevtronov, analizo eksperimentalnih in računskih negotovosti, osnovnih raziskav na področju transporta nevtronov v tokamakih, razvoj novih metod za diagnostiko plazme, itd. Pomembno je poudariti, da področji nevtronskih preračunov fisijskih in fuzijskih reaktorjev nista ločeni, ampak sta pogosto komplementarni, saj znanja z obeh področij združujemo. V prispevku bomo natančneje predstavili zgoraj omenjene raziskave in najpomembnejše rezultate.



Slika 1: Tokamak JET v Veliki Britaniji



Slika 2: Računski model tokamaka JET.

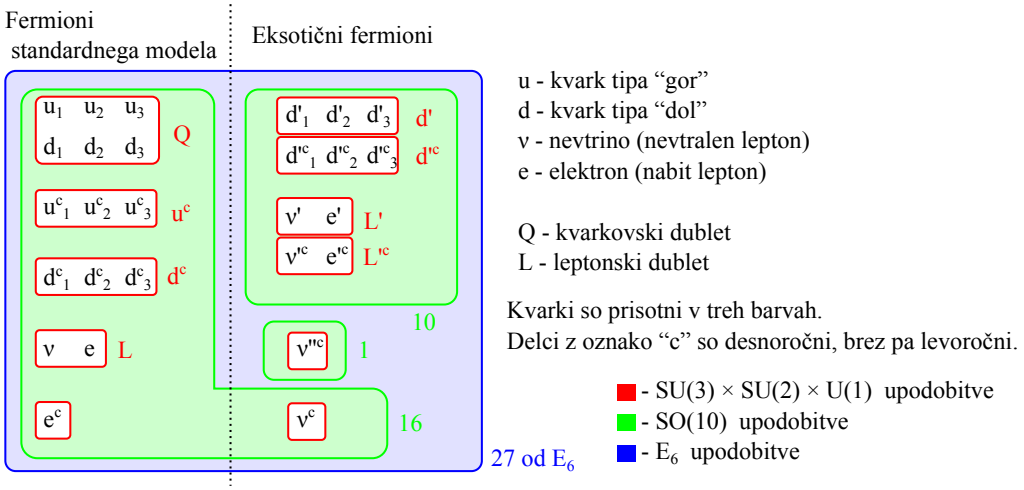
Minimalni modeli v teorijah poenotenja z grupo E_6

Borut Bajc[1] in Vasja Susič[1]

[1] *Institut Jožef Stefan, Ljubljana, Slovenija*

Standardni model osnovnih delcev uspešno opisuje močno, šibko in elektromagnetno interakcijo prek umeritvene simetrije $\mathrm{SU}(3) \times \mathrm{SU}(2) \times \mathrm{U}(1)$. Za razlago kvantizacije električnega naboja in opis nevtrinskih mas predstavljajo zanimivo in obetavno razširitev standardnega modela teorije poenotenja, kjer se omenjene interakcije pri visokih energijah ($\sim 10^{16}\,\mathrm{GeV}$) poenotijo v en sam tip interakcije, kar opišemo s povečano simetrijsko grupo. Generični napovedi teorij poenotenja sta protonski razpad in obstoj magnetnih monopolov. Med najobetavnejšimi kandidati za grupo poenotenja so grupe $\mathrm{SU}(5)$, $\mathrm{SO}(10)$ in E_6.

V našem delu smo študirali renormalizabilne supersimetrične modele z umeritveno grupo E_6. Grupa E_6 je ena od petih t.i. izjemnih Lie-jevih grup in je med njimi najprimernejši kandidat za grupo poenotenja, a zaradi njene sorazmerne kompleksnosti — $\mathrm{SU}(5)$ in $\mathrm{SO}(10)$ sta namreč njeni podgrupi — v literaturi za teorije poenotenja do zdaj ni bila podrobno študirana. Osnovna upodobitev grupe je 27 razsežna, nadaljnje najmanjše upodobitve pa so 78, 351 in $351'$. Za opis ene generacije fermionov (kvarkov in leptonov) standardnega modela uporabimo osnovno upodobitev 27, ki poleg vseh delcev standardnega modela ene generacije vsebuje tudi eksotična stanja, in sicer vektorski par kvarkov tipa d in vektorski par leptonskih dubletov, ter dva samostojna desnoročna nevtrina. Za opis fermionov treh družin zato potrebujemo tri kopije upodobitve 27. Ločen sektor upodobitev nato uporabimo za spontani zlom simetrije z E_6 na grupo standardnega modela, v tem sektorju pa se prav tako nahaja tudi Higgsov dublet standardnega modela. Realistični opis torej vključuje uspešen spontani zlom E_6, primeren masni spekter fermionov (delci standardnega modela so lahki, eksotični pa težki; mešanje okusov prisotno), ter en lahek Higgsov bozon. Ugotovili smo, da sta najmanjša kandidata za realističen model v razredu renormalizabilnih supersimetričnih modelov opisana s sektorjem zloma $2 \cdot 27 + 2 \cdot \overline{27} + 351' + \overline{351'}$ ali $27 + \overline{27} + 351' + \overline{351'} + 78$.



Slika 1: Delci posamezne generacije v osnovni 27-razsežni upodobitvi grupe E_6.

Literatura

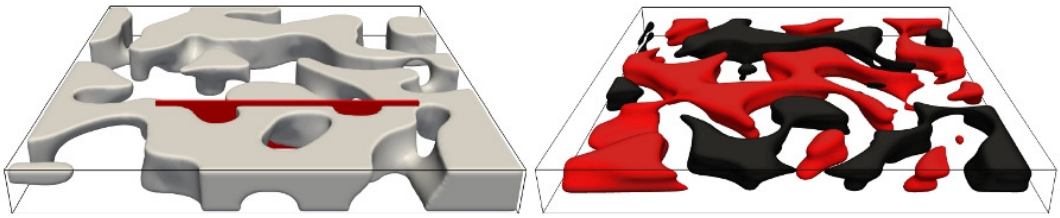
B. Bajc in V. Susič, "Towards the minimal renormalizable supersymmetric E_6 model," JHEP **1402** (2014) 058.

Hidrodinamsko posredovani preklop domen v nematiku - pripravljen za eksperiment

Janez Turk[1] in Daniel Svenšek[1]

1. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

Obravnavamo dinamiko pojava »kick-back« [1,2] v nematskem tekočem kristalu, do katerega pride, ko izključimo primarno električno polje. S sekundarnim električnim poljem ga nato ojačimo, kar vodi do nastanka obratnih domen z nasprotno orientacijo direktorja. Z numerično hidrodinamiko pokažemo [3], da je formacija obratnih domen robusten pojav, do katerega ne pride zgolj v očiščenem enodomenskem primeru, ampak je prisoten tudi v kompleksnem primeru večih Freedericksovih domen nepravilne oblike v treh dimenzijah, ki nastopajo v realni eksperimentalni situaciji (tekočekristalna celica). Pojav je uporaben kot orodje, s katerim lahko v homogeno tekočekristalno polje samodejno vnašamo lokalizirane lupinaste strukture.



Originalne in preklopljene obratne domene v realistični 3D geometriji tekočekristalne celice

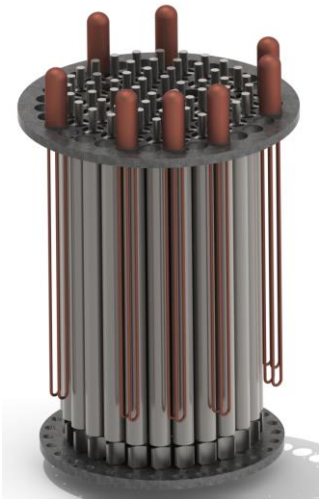
[1] D. W. Berreman, Journal of Applied Physics **46**(9), 3746 (1975).
[2] D. Svenšek in S. Žumer, Liquid Crystals **28**, 1389 (2001).
[3] J. Turk in D. Svenšek, Physical Review E **89**, 032508 (2014).

Računska analiza meritev profila moči v reaktorju TRIGA

Žiga Štancar, Luka Snoj

Odsek za reaktorsko fiziko, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana

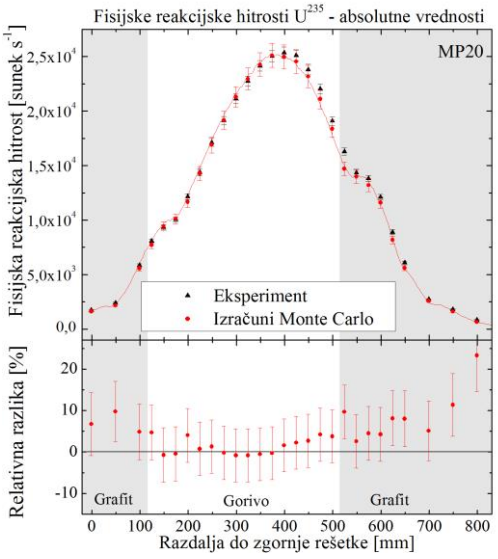
V zadnjih letih se je uporaba računskih programov za Monte Carlo transport nevtronov močno razširila. Natančen Monte Carlo računski model reaktorja TRIGA Mark II, ki deluje pod okriljem Instituta "Jožef Stefan", je v neprestanem razvoju, njegova vloga v raziskovalnih projektih pa se povečuje. Vsak računski model je potrebno validirati, pogosto preko primerjave z eksperimentalnimi podatki. V prispevku bomo predstavili glavne korake validacijskega procesa računskega modela reaktorja TRIGA.



Slika 1: Model sredice reaktorja z električnimi grelci.

Izračuni fizikalnih količin, kot sta na primer fluks nevtronov ali reakcijska hitrost, so normalizirani na izvorni nevtron. Izračunane količine je zato potrebno normalizirati na število sproščenih nevtronov v reaktorju, da jih lahko primerjamo z izmerjenimi vrednostmi. Normalizacijski faktor je linearno odvisen od termične moči reaktorja, ki jo merimo z izvensrediščnimi detektorji. Slednje kalibriramo s kalorimetrično metodo, ki smo jo izboljšali tako, da smo vodo namesto s toploto, sproščeno pri obratovanju reaktorja na konstantni moči, greli z uporabo električnih grelcev natančno poznane in merjene moči. Odziv jedrske instrumentacije pa je poleg moči odvisen tudi od položaja detektorjev ter kontrolnih palic. Z izračuni Monte Carlo smo ocenili tudi te popravke ter na ta način znatno zmanjšali negotovost umeritve detektorjev ter posledično tudi normalizacijskega faktorja.

V drugem delu bomo predstavili validacijski eksperiment, katerega glavni cilj je bil potrditi ustreznost računskega modela preko primerjave meritev profilov fisijskih reakcijskih hitrosti znotraj sredice reaktorja TRIGA z Monte Carlo izračuni. Meritve reakcijskih hitrosti so bile izvedene z dvema absolutno kalibriranima fisijskima celicama, ki sta vsebovali nanos z različnimi masnimi deleži uranovih izotopov 235 in 238. S celicama smo na devetih radialnih položajih izmerili aksialne profile reakcijskih hitrosti fisije ter izvedli primerjavo z izračuni. Ujemanja meritev in izračunov so znotraj ocenjenih negotovosti, s čimer smo potrdili ustreznost računskega modela reaktorja.



Slika 2: Primerjava med meritvami in izračuni reakcijskih hitrosti za merilno pozicijo 20.

Characterization of the Hamamatsu MPPC S11834 as Photon Sensor for RICH

Elvedin Tahirović[1], Samo Korpar[2,1], Peter Križan[3,1] and Rok Pestotnik[1]

[1]Jožef Stefan Institute
[2]Faculty of Chemistry and Chemical Engineering, University of Maribor
[3]Faculty of Mathematics and Physics, University of Ljubljana

Ring Imaging Cherenkov (RICH) counters are used in high energy physics experiments for particle identification. Silicon photomultipliers (SiPM) are novel photon sensing devices with promising characteristics, such as high gain at a low operating voltage, high photon detection efficiency and operation in a high magnetic field. SiPMs were successfully tested as a position sensitive sensors of Cherenkov photons [1,2].

The principal disadvantage of SiPMs is a high dark count noise. However, Hamamatsu Photonics developed recently a novel 64-channel multi-pixel photon counter (MPPC) S11834, which is an 8×8 array of SiPMs with a rather low dark count noise. To increase the geometric acceptance of this device, the light concentrators were employed (Fig. 1, left). The ability of the MPPC as single photon sensor in RICH was demonstrated in a beam test at DESY (Fig. 1, middle and right) [3]. The number of detected photons increased by a factor of 1.9 with the light concentrators on. However, this factor was smaller than expected and tests were made in a laboratory set-up with pulsed diode laser in order to understand the causes of loss.

[1] S. Korpar, et al., Nucl. Instr. and Meth. A 613 (2010) 195
[2] R. Pestotnik, et al., Nucl. Instr. and Meth. A 639 (2011) 99
[3] S. Korpar, et al., Nucl. Instr. and Meth. (2014) DOI: 10.1016/j.nima.2014.05.074

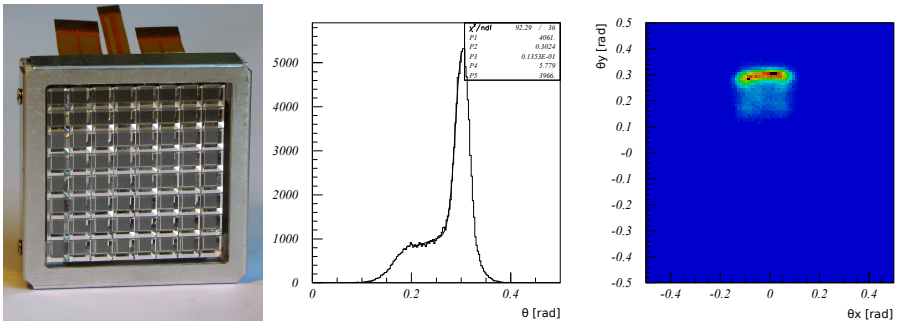


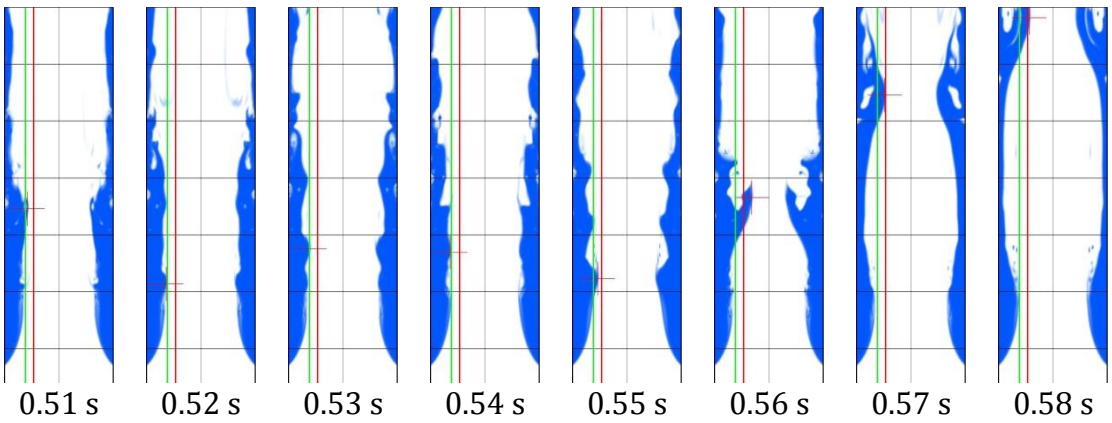
Figure 1: MPPC and light concentrator assembled together (left). The distribution of the photon hits with respect to the Cherenkov angle (middle) and accumulated hits in Cherenkov space (right).

Simulacija poplavnih valov v raztrganem toku vode in zraka v navpični cevi

Matej Tekavčič[1], Boštjan Končar[1] in Ivo Kljenak[1]

1. Odsek za reaktorsko tehniko (R4), IJS, Ljubljana

Pri izlivni nezgodi v tlačnovodnem jedrskem reaktorju, kjer pride do izgube tlaka v primarnem sistemu in se del hladila upari, je poplavljanje ali omejitev protitoka kapljevine eden od pomembnih pojavov z vidika varnosti. V navpični cevi lahko tok pare, ki teče v osrednjem delu cevi, omejuje tok filma kapljevine, ki teče navzdol ob steni cevi in jo hladi. Do omejitve proti-toka kapljevine pride v primeru zelo visoke hitrosti pare, ki povzroči vzbujanje in prekinjanje kapljevinskega filma ob steni: para lahko potiska kapljevino nazaj - navzgor po cevi in tako onemogoča hlajenje sten. Lokalna napoved pojava v poljubni geometriji in pri poljubnih pogojih zahteva dobro razumevanje in poznavanje začetnih mehanizmov poplavljanja. Raztrgan tok v navpični cevi lahko obravnavamo kot prehodni tokovni režim med čepastim in kolobarjastim tokom in je tesno povezan z mehanizmi pojava poplavljanja. Za raztrgan tok so značilni veliki poplavni valovi kapljevine, ki periodično potujejo navzgor v smeri toka plina. V prispevku smo naredili simulacijo poplavnih valov v raztrganem toku vode in zraka v navpični cevi. Za popis dvo-faznega sistema voda-zrak smo uporabili dvo-fluidni model s kompresijsko metodo ostrenja medfazne površine v programu ANSYS CFX. Privzeli smo izotermni tok brez prenosa toplote in mase, ter nestisljivi fazi, ki se med seboj ne mešata. Gibalni enačbi dvo-fluidnega modela sta med seboj sklopljeni s silo medfaznega trenja, ki se izračuna iz lokalne gostote medfazne površine in relativne hitrosti med fazama. Vpliv površinske napetosti smo modelirali s t.i. »Continuum Surface Model«. Turbulenco smo modelirali s $k-\varepsilon$ modelom. Osno simetrična računska domena predstavlja testni del navpične cevi z notranjim premerom 19 mm ob poroznem tekočinskem dovodu tipične eksperimentalne postavitve. Rezultate smo primerjali z eksperimentalnimi podatki iz literature [1]. Simulacija dobro napove kritično in največjo amplitudo poplavnih valov. V nekaterih primerih pride do odstopanja pri napovedi frekvence.



Slika 1: Primer časovnega razvoja porazdelitve deleža kapljevine v cevi nad dovodom kapljevine. Eksperimentalna kritična in največja amplituda sta označeni z zeleno in rdečo navpično črto.

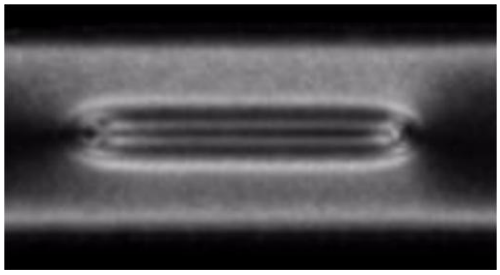
[1] K. Wang, B. Bai, B. Yang, C. Xie "Properties of Flooding Waves in Vertical Churn Flow", Proc. NURETH-14, Toronto, Ontario, Canada, 25-30 September 2011

Mikrofluidika nematskih mezofaz

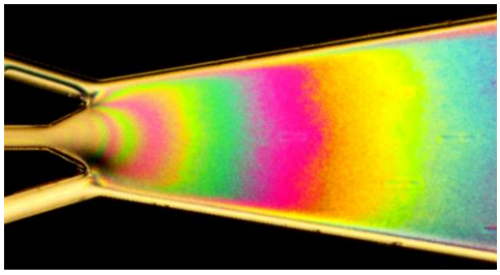
Uroš Tkalec[1,2,3], Anupam Sengupta[4], Miha Ravnik[5], Stephan Herminghaus[4] in Christian Bahr[4]

1. Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Univerza v Mariboru, Maribor
2. Odsek za teoretično fiziko, Institut Jožef Stefan, Ljubljana
3. Inštitut za biofiziko, Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani, Ljubljana
4. Max-Planck-Institute for Dynamics and Self-Organization, Göttingen
5. Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani, Ljubljana

Predstavil bom nedavne eksperimentalne raziskave hidrodinamskega toka nematskih tekočih kristalov v mikrofluidnih kanalčkih. Dinamika toka anizotropnih tekočin na mikroskali je izjemno občutljiva na spremembe viskoznosti in elastičnosti tekočekristalnega medija, površinske lastnosti ograjujočih sten ter predvsem na sklopitev med molekularnim orientacijskim poljem in določeno smerjo toka. Uporabili smo različne geometrije mikrofluidnih vezij in robne pogoje na stenah kanalčkov, tok nematika smo nadzorovali z zunanjo mikrofluidno črpalko, samo dinamiko toka pa smo analizirali z metodami polarizacijske optične mikroskopije, konfokalne mikroskopije in z numeričnimi simulacijami. Ugotovili smo, da navedene lastnosti anizotropnih tekočin bistveno vplivajo na razvoj in kontrolo dinamike toka, saj omogočajo oblikovanje nastavljivih tokovnih profilov, tvorbo in transport topoloških defektov ter tlačno ali temperaturno modulacijo hitrostnih profilov in optičnih lastnosti nematskih mezofaz. Raziskani pristopi so potencialno uporabni za optično detekcijo majhnih sprememb hitrosti oziroma tlaka in transport koloidnih delcev v mikrofluidnih vezjih, saj omogočajo nov način manipulacije, ki ne potrebuje integriranih črpalk in drugih kontrolnih elementov.



Anihilacija defektov v mikrofluidnem kanalčku.



Tok nematika v divergentnem kanalčku.

[1] J. G. Cuennet, A. E. Vasdekis, L. De Sio, D. Psaltis, *Nature Photonics* **5**, 234 (2011).
[2] A. Sengupta, U. Tkalec, C. Bahr, *Soft Matter* **7**, 6542 (2011).
[3] A. Sengupta, S. Herminghaus, C. Bahr, *Appl. Phys. Lett.* **101**, 164101 (2012).
[4] Y.-K. Kim, B. Senyuk, O. D. Lavrentovich, *Nature Communications* **3**, 1133 (2012).
[5] A. Sengupta, C. Bahr, S. Herminghaus, *Soft Matter* **9**, 7251 (2013).
[6] A. Sengupta, U. Tkalec, M. Ravnik, J. M. Yeomans, C. Bahr, S. Herminghaus, *Phys. Rev. Lett.* **110**, 048303 (2013).
[7] J. G. Cuennet, A. E. Vasdekis, D. Psaltis, *Lab Chip* **13**, 2721 (2013).
[8] A. Sengupta, S. Herminghaus, C. Bahr, *Liq. Cryst. Rev.*, accepted (2014).

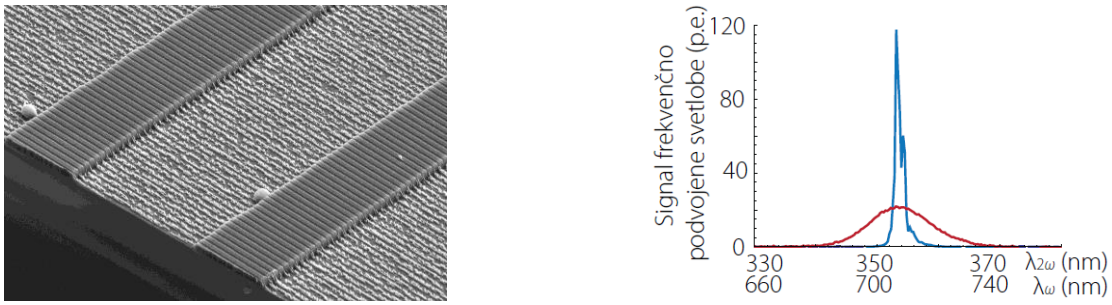
Linearna in nelinearna optična karakterizacija polarno kontroliranih AlGaN valovodov za integrirano optiko

Tinkara Troha[1], Martin Rigler[1] in Marko Zgonik[1,2]

1. *Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana*
2. *Inštitut Jožef Štefan, Ljubljana*

Polprevodniški laserski izvori v UV področju bi bili zelo uporabni, tehnologija njihove izdelave pa se srečuje z mnogimi izzivi, kot so visoka črpalna moč, pomanjkanje prozornih in obstojnih UV materialov, velika občutljivost na defekte v kristalu, površinska hrapavost itd. Nedavne raziskave polarnih lastnosti III-nitridnih polprevodnikov kažejo velik potencial za uporabo GaN in AlN v laserskih izvorih v UV območju s pomočjo podvajanja frekvence svetlobe, to je nelinearne optične pretvorbe modrega laserja v UV svetlobo [1]. Pri tem je ujemanje faz med svetlobnima valoma pri osnovni frekvenci in pri podvojeni frekvenci ključno za doseganje visokih izkoristkov. Žal konvencionalne tehnike ujemanja faz ne moremo uporabiti v tankih AlGaN filmih. Najučinkovitejša metoda je kvazi fazno ujemanje, ki uporabi periodično modulacijo nelinearnega koeficienta v kristalu. S tem dosežemo relativno ujemanje faze v ponavljajočih intervalih, ne da bi se pri tem ujemali fazni hitrosti osnovne in podvojene svetlobe. Periodične strukture AlGaN so narejene tako, da je orientacija kristalografske c-osi vzdolž valovoda periodično invertirana, kar je pogojeno s pripravo substrata (slika 1) [2].

Predstavljeni so rezultati meritev lomnega količnika III-polarnih in N-polarnih tankih $Al_xGa_{1-x}N$ ($0.0 < x < 1.0$) filmov s spektroskopsko elipsometrijo in sklapljanjem svetlobe v valovod s prizmo [3,4]. Izgube pri posameznih propagacijskih načinih v $Al_xGa_{1-x}N$ valovodih z različnimi prečnimi preseki in deležem Al so bile izmerjene pri večih valovnih dolžinah. Nazadnje je bilo izmerjeno optično frekvenčno podvajanje svetlobe v vidnem in UV območju na GaN in AlN valovodih z metodo ujemanja faz s pomočjo disperzije valovnih načinov. Poznavanje izmerjenih optičnih lastnostih $Al_xGa_{1-x}N$ valovodov je bistveno za razvoj integriranega UV laserskega izvora.



Slika 1: (levo) AlN valovod s periodično strukturo N-polarnih in III-polarnih domen. Valovodi so visoki 5 μm in široki 0.5 μm. (desno) Spekter svetlobe, ki je posledica nelinearnih procesov v valovodu (modra krivulja). Spekter vzbujevalnega sunka prikazuje rdeča krivulja.

[1] H.Morkoc, *Nitride Semiconductors and Devices* (Springer, New York, 1999).
[2] S. Mita, R. Collazo, and Z. Sitar, J. Cryst. Growth **311**, 3044 (2009).
[3] M. Rigler, M. Zgonik, M.P. Hoffmann, R. Kirste, M. Bobea, R. Collazo, Z. Sitar, S. Mita, and M. Gerhold, Appl. Phys. Lett. **102**, 221106 (2013).
[4] M. Rigler, doktorska disertacija (2014)

Magnetne meritve in modelska študija antiferomagneta $KFeF_4$

[1,2,3]T.Čadež, [4]D. Pajić, [1]Z. Jagličić, [3]G. Tavčar in [1]Z. Trontelj

[1]*Inštitut za matematiko, fiziko in mehaniko, Ljubljana* , [2]*Beijing Computational Science Research Center, Peking, Kitajska,* [3]*Inštitut J. Stefan, Ljubljana*
[4]*Fizički odsjek, PMF, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb,*

$KFeF_4$ je poznan kot plastni (2D) antiferomagnetni (AFM) material, ki ga sestavljajo plasti oktaedrov FeF_6 v ravninah (***a***,***b***) s skupnimi stičišči v ogliščih[1]. Te ravnine so ločene z ravninami K^+ ionov. Neelova temperature je 136 K. Natančne direktne meritve magnetnih lastnosti smo naredili na prahu in na monokristalu submilimetrskih dimenzij, ki ima pri sobni temperaturi ortorombsko simetrijo. Meritve magnetizacije v odvisnosti od temperature M(T) in zunanjega magnetnega polja M(H) potrjujejo fazni prehod pri 136 K. Ugotovili smo še dve anomaliji v nizkotemperaturnem področju (7 K in 70 K). Magnetne meritve jasno kažejo na prisotnost anizotropije.

Kvazi 2D struktura magnetno zanimivih oktaedrov in Fe atomov v centrih oktaedrov nam omogoča, da uporabimo Isingov model za opis obnašanja magnetizacije, ko je zunanje magnetno polje vzdolž osi ***c.*** Uporabili smo kvadratno mrežo (od 16x16 do 128x128) in uvedli antiferomagnetno interakcijo med najbližjimi sosedi. Prisotni sta anizotropna podmrežna magnetizacija in zunanje magnetno polje, ki ga numerično simuliramo s klasičnim Monte-Carlo algoritmom. Pri kritičnem zunanjem polju B/J ~ 4 magnetno polje prevlada nad antiferomagnetno interakcijo. Pri manjših magnetnih poljih in pri nižjih temperaturah so spini urejeni antiferomagnetno. Prikazana je primerjava izračunanih in izmerjenih rezultatov.

[1] H. Keller and I. M. Savic, Physical Review B **28**, 2638-2652 (1983).

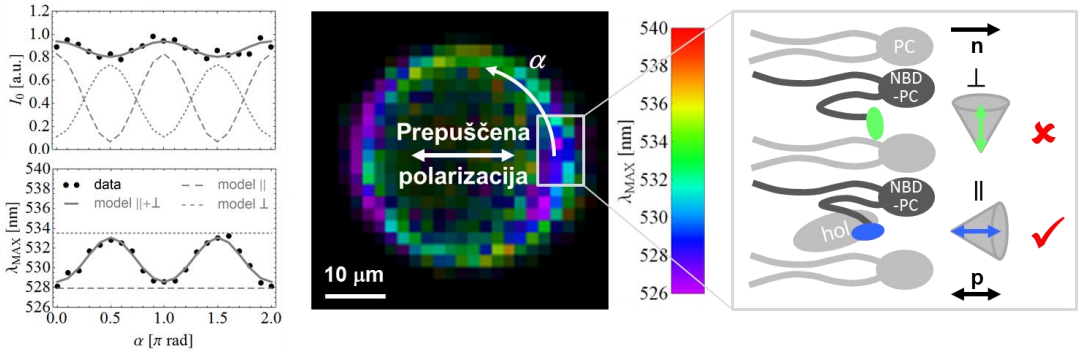
Razločevanje soobstoja molekularnih konformacij pod optično krajevno ločljivostjo

Iztok Urbančič[1], Ajasja Ljubetič[1], Zoran Arsov[1] in Janez Štrancar[1]

1. Laboratorij za biofiziko, Odsek za fiziko trdne snovi, IJS, Ljubljana

Mnoge molekularne in celične strukture so zaradi svoje majhnosti (10–100 nm) in kratkoživosti (ns–µs) današnjim merilnim metodam še vedno ne dostopne. V zadnjem času se zato silovito razvijajo nove in kombinirane tehnike, med katerimi so zaradi izjemno občutljive detekcije, primernosti za poskuse z živimi celicami ter ugodnih oken občutljivosti (ns, nm) najobetavnejše nadgradnje fluorescenčne mikroskopije. Pred kratkim smo tako razvili sistem za fluorescenčno mikrospektroskopijo (FMS), ki omogoča, da v vsaki točki slike posnamemo tudi obliko izsevanega spektra [1] in s tem pridobimo informacije o fizikalno-kemijskih lastnostih neposredne molekularne okolice barvila. S posebnim načinom zajemanja signala in natančno analizo meritev lahko tudi na mikroskopskih vzorcih zanesljivo zaznavamo nanometrske premike spektralnih vrhov (< 2% FWHM) celo ob uporabi svetlobno neobstojnih barvil [2].

Pri enem najpogosteje uporabljanih okoljsko občutljivih fluorescenčnih označevalcev, katerega emisijski spekter se spreminja glede na lokalno polarnost, smo v homogenih membranah opazili pravilno spreminjanje jakosti fluorescence in lege spektralnega vrha po obodu liposomov (Slika 1). Če je prvo znana posledica urejanja dipolov barvila v membrani in polarizirane detekcije, lahko drugo razložimo le s soobstojem različnih konformacij označevalcev pod optično krajevno ločljivostjo. Z ustreznim modelom molekularnega gibanja smo opisali lastnosti teh konformacij in določili njihove deleže, ki so močno odvisni od sestave membran, še posebno od prisotnosti holesterola [3]. Ker je slednje značilnost lipidnih raftov in nanodomen, ki naj bi bili odgovorni za pravilno delovanje mnogih membranskih proteinov, a so zaradi v uvodu omenjenih lastnosti še razmeroma neraziskani, se nadejamo, da bomo z razvitim pristopom lahko pomembno prispevali k razjasnitvi njihovih lastnosti in vlog.



Slika 1: S polarizirano spektralno občutljivo detekcijo lahko iz spreminjanja jakosti fluorescence (I_0) in lege spektralnega vrha (λ_{MAX}) po obodu liposoma določimo soobstoj molekularnih konformacij označevalcev pod krajevno ločljivostjo mikroskopije.

[1] Z. Arsov, I. Urbančič, M. Garvas, D. Biglino, A. Ljubetič, T. Koklič in J. Štrancar, Biomedical Optics Express **2**, 2083 (2011).
[2] I. Urbančič, Z. Arsov, A. Ljubetič, D. Biglino in J. Štrancar, Optics Express **21**, 25291 (2013).
[3] I. Urbančič, A. Ljubetič, Z. Arsov in J. Štrancar, Biophysical Journal **105**, 919 (2013).

STED v tekočih kristalih

Maruša Vitek[1], Igor Muševič[1,2]

1. Odsek za fiziko trdne snovi, IJS, Ljubljana
2. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

STED (ang. stimulated emission depletion) označuje pojav izpraznjenja vzbujenega stanja molekule s procesom stimulirane emisije. Pojav dosežemo z zaporednima laserskima pulzoma različnih valovnih dolžin. Z ekscitacijskim pulzom molekule barvila vzbudimo. Preden se molekule uspejo zrelaksirati v osnovno stanje prek fluorescence, eksictacijskemu pulzu sledi STED pulz z večjo valovno dolžino. Ta povzroči izpraznjenje vzbujenega stanja s procesom stimulirane emisije, zato se intenziteta fluorescence močno zmanjša.
Princip STED-a se je uveljavil v mikroskopiji kot ena od metod izboljšanja resolucije pod uklonsko limito [1], mi pa želimo ta pojav raziskati v kontekstu tekočekristalnih vzorcev in ga uporabiti za manipulacijo svetlobe v tekočekristalnih mikroresonatorjih. Predstavili bomo eksperimentalno postavitev s katero smo opazovali učinek STED-a na intenziteto fluorescence v odvisnosti od različnih parametrov. Prikazani bodo rezultati eksperimentov, ki kažejo, da je intenziteta fluorescence v smektični in nematski fazi odvisna od smeri polarizacije eksitacijskega pulza, v izotropni fazi pa neodvisna od polarizacije. Učinek STED-a je odvisen od valovne dolžine STED pulza in zamika med ekscitacijskim ter STED pulzom. Prikazali bomo tudi kotno odvisnost učinka STED-a od polarizacije le-tega v različnih tekočekristalnih fazah. Princip STED-a lahko uporabimo za hitro optično preklapljanje fluorescence na nanosekundni skali.

[1] S. W. Hell in J. Wichmann, *Opt. Lett.* **19**, 780-782 (1994)

Zadrževanje devterija v poškodovanem volframu

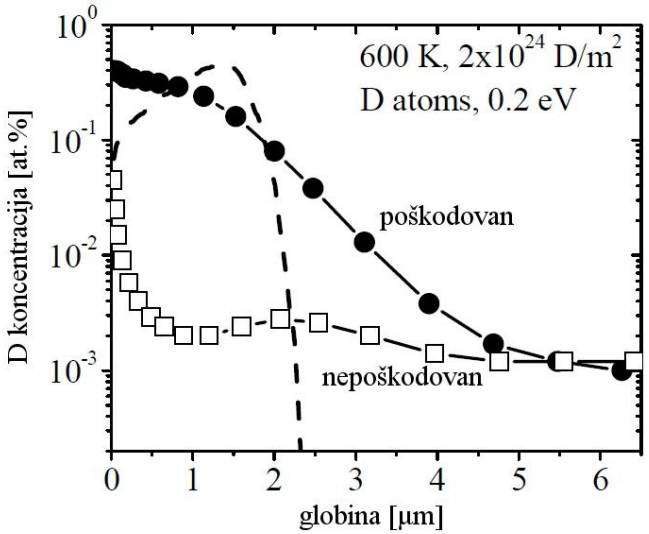
Sabina Markelj[1], Anže Založnik[1], Iztok Čadež[1], Primož Pelicon[1], Primož Vavpetič[1], Olga Ogorodnikova[2] in Thomas Schwarz-Selinger[2]

1. Odsek za fiziko nizkih in srednjih energij, IJS, Ljubljana
2. Max-Planck-Institut für Plasmaphysik EURATOM Association, Garching, Germany

V prihodnjih fuzijskih napravah z magnetnim omejevanjem plazme (npr. ITER) bo v spodnjem delu fuzijske naprave, t.i. divertorju, zaradi dobre toplotne prevodnosti, visokega tališča in nizke erozivnosti uporabljen volfram (W). Absorpcija in zadrževanje vodika v W sta izjemno nizka, kar pa je pomembno zaradi varnostnih razlogov (radioaktivnost tritija) in izgub fuzijskega goriva. Med delovanjem fuzijske naprave pri fuzijski reakciji nastajajo ^{4}He in visokoenergijski nevtroni (14.1 MeV). Slednji z neprestanim obsevanjem poškodujejo material, kar lahko poslabša njegove lastnosti. Poškodbe v W delujejo kot dodatna vezavna mesta za vezavo vodika, ki se tako lažje absorbira in zadržuje v materialu.

Za simulacijo poškodb nevtronskega sevanja se uporabljaja izpostavitev materiala W ionom z energijami 20 MeV, kar kreira poškodbe do globine 2.5μm. Za določitev zadrževanja devterija (D) v poškodovanih vzorcih so nato le-ti izpostavljeni D atomom pri različnih temperaturah. Vsebnost D na površini in v notranjosti materiala po izpostavitvi merimo z metodo NRA (Nuclear Reaction Analysis), kjer vzorec obsevamo s ^{3}He ionskim žarkom različnih energij in analiziramo energijo protonov, ki nastajajo pri jedrski reakciji ^{3}He(D,p)^{4}He. Tako lahko določimo globinski profil koncentracije D v materialu do globine 7μm.

Poškodovan material zadržuje v sebi precej več D kot nepoškodovan, Slika 1. Naše delo obsega proučevanje zadrževanja D v poškodovanem W v odvisnosti od obsega poškodb in temperature materiala. Eksperimentalno določamo globinske profile koncentracije D v poškodovanih vzorcih med samo izpostavitvijo vzorca D atomom, s simulacijo difuzije atomov v trdnini pa poskušamo bolje razumeti kinematiko D v materialu.



Slika 1: Globinski profil D v poškodovanem (●) in nepoškodovanem (□) W. Profil poškodb je prikazan s črtkano črto.

Mozaični kvazikristali

Tomonari Dotera[1], Tatsuya Oshiro[1] in Primož Ziherl[2]

1. Univerza Kinki, Osaka, Japonska
2. Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani, in Institut Jožef Stefan, Ljubljana

V preteklem desetletju so kvazikristalno ureditev opazili v dendritičnih micelah, v zvezdastih in tetrabločnih talinah ter v dvobločnih in surfaktantskih micelah. Nastanek kvazikristalov v tako številnih in raznolikih makromolekularnih micelarnih sistemih daje slutiti, da jih stabilizira generični mehanizem in ne specifična kemijska sestava. Tu smo teoretično pojasnili povezavo med mehkim odbojem med micelami in kvazikristalnim redom. Raziskali smo obnašanje dvorazsežnih trdih diskov z dodatnim stopničastim odbojem, ki ustreza npr. mehki alkilni lupini okoli aromatskega jedra dendritičnih micel. Odkrili smo družino kvazikristalov z 10-, 12-, 18- in 24-številno simetrijo, ki izhaja iz mozaika enakostraničnih in enakokrakih trikotnikov. Ti liki so značilni za lokalni sklad delcev s stopničastim odbojem, ki se zlagajo tako, da se dotikajo bodisi trde sredice bodisi mehke lupine sosedov. Parska interakcija, ki vodi do teh faz, opozarja na vlogo lokalne geometrije za tvorbo kvazikristalov v mehki snovi. Kvazikristalni mozaiki imajo tudi praktični pomen, saj bi jih lahko uporabili za vrsto aplikacij od izboljšane reprodukcije slik do sodobnih fotonskih materialov [1].

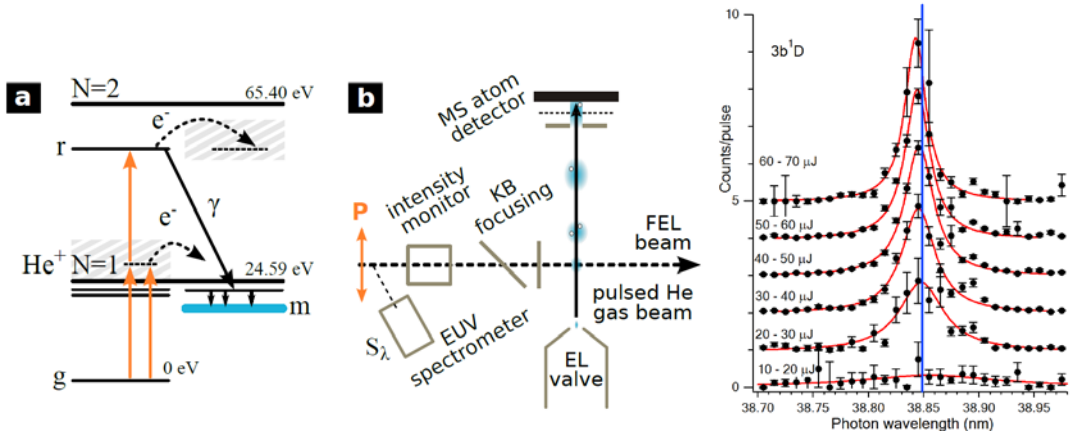
[1] T. Dotera, T. Oshiro in P. Ziherl, Nature **506**, 208 (2014)

Visokoločljiva multifotonska spektroskopija z laserjem na proste elektrone

M. Žitnik[1,2], A. Mihelič[1], K. Bučar[1], M. Kavčič[1], J.-E. Rubensson[3], M. Svanquist[3], J. Söderström[3], R. Feifel[3,4], C. Såthe[5], Y. Ovcharenko[6], V. Lyamayev[7], T. Mazza[8], M. Meyer[8], M. Simon[9], L. Journel[9], J. Lüning[9], O. Plekan[10], M. Coreno[10], M. Devetta[10], M. Di Fraia[10], P. Finetti[10], R. Richter[10], C. Grazioli[10], K. C. Prince[10,11], C. Callegari[10]

[1]*Institut Jožef Stefan, Jamova cesta 39, SI-1000 Ljubljana, Slovenia*
[2]*Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani, Jadranska 19, SI-1000 Ljubljana, Slovenia*
[3]*Uppsala University, Department of Physics and Astronomy, Box 530, S-75121 Uppsala, Sweden*
[4]*University of Gothenburg, Department of Physics, SE-412 96 Gothenburg, Sweden*
[5]*MAX IV Laboratory, Lund University, Box 118, 22100 Lund, Sweden*
[6]*Technische Universität Berlin, Institut für Optik und Atomare Physik, Eugene-Wigner-Building Hardenbergstrasse 36 D-10623 Berlin*
[7]*Department of Physics, University of Freiburg, Hermann-Herder-Str. 3, D-79104 Freiburg, Germany*
[8]*European XFEL GmbH, Hamburg, Germany*
[9]*Sorbonne Université, UPMC Univ Paris 06, UMR 7614, LCPMR, 75005 Paris, France*
[10]*Elettra-Sincrotrone Trieste, Strada Statale 14 – km 163, 5, I-34149 Basovizza, Trieste, Italy*
[11]*eChemistry Laboratory, Faculty of Life and Social Sciences, Swinburne University of Technology, Hawthorn, Melbourne, Victoria 3122, Australia*

Poročamo o procesih, pri katerem helijevi atomi v osnovnem stanju absorbirajo 2 fotona z energijama okrog 32 eV in preidejo v dvojno vzbujena stanja z dipolno prepovedano simetrijo. Za vzbujanje smo uporabili svetlobne pulze laserja na proste elektrone z zvezno nastavljivo valovno dolžino (FERMI), vzbuditve pa smo z odličnim kontrastom identificirali preko meritve pridelka metastabilnih atomov, ki z relativno majhno verjetnostjo nastanejo pri razpadu resonance. Spektralna profila najnižje ležečih resonanc $(-1,0)^+$ $^1S^e$ in $(0,1)^0$ $^1D^e$ kažeta energijski premik, ki je velikostnega reda nekaj meV in je odvisen od intenzitete laserskega pulza, približno tako kot ponderomotivni energijski premik, ki ga prosti elektron kaže v laserskem polju. Opažanja pojasnimo z efektivnim dvonivojskim modelom, ki temelji na izračunanih dvofotonskih Rabijevih frekvencah in razpadnih verjetnostih [1].



Slika 1: a) Energijski diagram dvofotonske vzbuditve in razpad resonančnega stanja. g – osnovno stanje, r – resonanca, m – metastabilna stanja. b) Shema eksperimenta. c) Pridelek metastablnih atomov na energijskem področju resonance 3b $^1D^e$ v odvisnosti od energije laserskega pulza.

[1] M. Žitnik et al., accepted for publication in Phys. Rev. Lett.

Seznam plakatov

P1	Nataša Adžić	Fenomenologija elektrostatičnih interakcij v fiziki proteinov
P2	Jure Aplinc	Nematska mikrofluidika v kompleksnih mikro-kanalih
P3	Jure Beričič	Meritev posplošenih polarizirnosti protona z virtualnim comptonskim sipanjem
P4	Jyoti Prakash Biswal	Study of double ccbar production in e+e- annihilation @ Belle experiment
P5	Miloš Borovšak	Topotaktične transformacije molibdenovega oksida Mo4O11
P6	Berislav Buča	Točno rešljiva statistika tokov v odprtih spinskih sistemih
P7	Jože Buh	Preiskava superprevodnih molibden nitridnih nanožic
P8	Goran Casar	Vpliv strukturnih sprememb na električno inducirane lastnosti relaksorskih polimernih sistemov
P9	Luka Cmok	Magnetno orientirani tekočekristalni elastomeri
P10	Miha Čančula	Modulacija vektorskih svetlobnih snopov na tekočekristalnih defektnih linijah
P11	Aljaž Čufar	Določanje položaja plazme v tokamaku na osnovi detekcije nevtronov
P12	Andrej Dobovišek	Matematično modeliranje vpliva nesteroidnih antirevmatikov na aspirinsko intoleranco astme
P13	Andreja Eršte	Stabilen dielektrični odziv v relaksorskih tankih plasteh K0.5Na0.5NbO3-SrTiO3
P14	Matjaž Gomilšek	Raziskave osnovnega stanja spinske tekočine novega kvantnega kagome antiferomagneta ZnCu3(OH)6SO4 na lokalnem nivoju
P15	Robert Hauko	Absorpcijski spektri v območju robu K elementov skupine 3p v molekulah hidridov
P16	Vojko Jazbinšek	Vpliv volumskih tokov na zaznavo možganskih tokov z JMR pri zelo nizkih frekvencah
P17	Andreja Jelen	Uporabnost različnih vrst rezultatov vrstične elektronske mikroskopije (SEM) v fiziki
P18	Urška Jelerčič	Linearne membranske strukture
P19	Matjaž Kavčič	Študij večelektronskih vzbuditev v okolici absorpcijskega roba K v Kr z rentgensko emisijsko spektroskopijo
P20	Jan Kogoj	Večstopenjska dinamika nastanka spinsko-mrežnega polarona
P21	Žiga Kos	Nematske celice s površinskimi vzorci sidranja
P22	Matej Krajnc	Teoretični model epitelijskih tkiv
P23	Ambrož Kregar	Kubitne transformacije stanj dvoelektronske kvante pike v prisotnosti Rashbove sklopitve
P24	Marta Lavrič	Elastokaloričnі odziv v nematskem tekočekristalnem elastomeru
P25	Marta Lavrič	Vpliv anizotropnih nanodelcev na stabilizacijo modrih faz
P26	Zala Lenarčič	Rekombinacija nabitih delcev v vzbujenem Mottovem izolatorju
P27	Luka Leskovec	Simulacija X(3872) v kromodinamiki na mreži
P28	Aleksej Majkić	Optične lastnosti galijevega nitrida in aluminijevega nitrida v teraherčnem območju
P29	Tara Nanut	Študija radiativnih razpadov D^0 -> V γ

P30	Jure Novak	Ultrahitra lokalizacija nosilcev naboja v pseudoreži v kupratnih superprevodnikih
P31	Jure Oder	Simulacije nastanka in pospeševanja čepa kapljevine v horizontalni cevi
P32	Žiga Osolin	Spinske resonance v modelu Kondove mreže
P33	Egon Pavlica	Graphene-induced Enhancement of N-type Mobility in Perylenediimide Thin Films
P34	Marko Petric	Analiza kemijskega stanja lahkih elementov z meritvijo PIXE spektrov z visoko energijsko ločljivostjo
P35	Anna Pogrebna	Bottleneck relaxation dynamics in photoexcited iron pnictide superconductor
P36	Maja Poklinek Čančula	Predlog merjenja medplastnih interakcij v antiferoelektričnih tekočih kristalih
P37	Aleksandar Popadić	Večskalne simulacije vodnega toka vzdolž objektov velikostnega reda nanometra
P38	Nejc Rosenstein	»Doppler-free« spektroskopija cezijevih atomov
P39	Luka Snoj	Monte Carlo transport nevtronov in fotonov v fuzijskih in fisijskih reaktorjih
P40	Vasja Susič	Minimalni modeli v teorijah poenotenja z grupo E6
P41	Daniel Svenšek	Hidrodinamsko posredovani preklop domen v nematiku - pripravljen za eksperiment
P42	Žiga Štancar	Računska analiza meritev profila moči v reaktorju TRIGA
P43	Elvedin Tahirović	Characterization of the Hamamatsu MPPC S11834 as Photon Sensor for RICH
P44	Matej Tekavčič	Simulacija poplavnih valov v raztrganem toku vode in zraka v navpični cevi
P45	Uroš Tkalec	Mikrofluidika nematskih mezofaz
P46	Tinkara Troha	Linearna in nelinearna optična karakterizacija AlGaN valovodov za integrirano optiko
P47	Zvonko Trontelj	Magnetne meritve in modelska študija antiferomagneta KFeF4
P48	Iztok Urbančič	Razločevanje soobstoja molekularnih konformacij pod optično krajevno ločljivostjo
P49	Maruša Vitek	STED v tekočih kristalih
P50	Anže Založnik	Zadrževanje devterija v poškodovanem volframu
P51	Primož Ziherl	Mozaični kvazikristali
P52	Matjaž Žitnik	Visokoločljiva večfotonska spektrometrija z laserjem na proste elektrone

Seznam udeležencev

1. Nataša Adžić
2. Tomaž Apih
3. Jure Aplinc
4. Jure Beričič
5. Jyoti Prakash Biswal
6. Vid Bobnar
7. Rok Bohinc
8. Janez Bonča
9. Miloš Borovšak
10. Berislav Buča
11. Klemen Bučar
12. Jože Buh
13. Goran Casar
14. Luka Cmok
15. Aleksandra Cvetinović
16. Miha Čančula
17. Mojca Čepič
18. Simon Čopar
19. Aljaž Čufar
20. Andrej Dobovišek
21. Andreja Eršte
22. Dunja Fabjan
23. Svjetlana Fajfer
24. Jernej Fesel Kamenik
25. Boštjan Golob
26. Andreja Gomboc
27. Matjaž Gomilšek
28. Marko Gosak
29. Darko Hanžel
30. Robert Hauko
31. Vojko Jazbinšek
32. Peter Jeglič
33. Andreja Jelen
34. Urška Jelerčič
35. Luka Jeromel
36. Matjaž Kavčič
37. Martin Klanjšek
38. Jan Kogoj
39. Žiga Kos
40. Matej Krajnc
41. Ambrož Kregar
42. Marta Lavrič
43. Zala Lenarčič
44. Luka Leskovec
45. Aleksej Majkić
46. Alenka Mertelj
47. Igor Muševič
48. Tara Nanut
49. Miha Nemevšek
50. Jure Novak
51. Jure Oder
52. Žiga Osolin
53. Natan Osterman
54. Jana Padežnik Gomilšek
55. Egon Pavlica
56. Primož Pelicon
57. Marko Petric
58. Anna Pogrebna
59. Maja Poklinek Čančula
60. Aleksandar Popadić
61. Gregor Posnjak
62. Matej Praprotnik
63. Matej Pregelj
64. Peter Prelovšek
65. Tomaž Prosen
66. Miha Ravnik
67. Nejc Rosenstein
68. Luka Snoj
69. Vasja Susič
70. Daniel Svenšek
71. Miha Škarabot
72. Samo Štajner
73. Žiga Štancar
74. Elvedin Tahirović
75. Matej Tekavčič
76. Uroš Tkalec
77. Tinkara Troha
78. Zvonko Trontelj
79. Iztok Urbančič
80. Igor Vaskivskyi
81. Jelena Vesic
82. Mojca Vilfan
83. Maruša Vitek
84. Anže Založnik
85. Julija Zavadlav
86. Erik Zupanič
87. Gašper Žerovnik
88. Rok Žitko
89. Matjaž Žitnik
90. Slobodan Žumer

9. konferenca fizikov v osnovnih raziskavah

Zbornik povzetkov

Izdala: Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani

Urednika: Natan Osterman in Miha Škarabot

Natisnila: tiskarna Littera picta v nakladi 100 izvodov

Ljubljana, 2014

Brezplačen izvod za udeležence

Izvedba konference je bila omogočena s podporo Fakultete za matematiko in fiziko in Instituta Jožef Stefan.

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

53(082)

KONFERENCA fizikov v osnovnih raziskavah (9 ; 2014 ; Škofja Loka)
Zbornik povzetkov / 9. konferenca fizikov v osnovnih raziskavah, Škofja Loka, 12. november 2014 ; [organizatorji Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani [in] Institut Jožef Stefan ; urednika Natan Osterman in Miha Škarabot]. - V Ljubljani : Fakulteta za matematiko in fiziko, 2014

ISBN 978-961-6619-16-5
1. Osterman, Natan 2. Fakulteta za matematiko in fiziko (Ljubljana) 3. Institut Jožef Stefan
276353536