

**11. znanstveni sastanak
Hrvatskog fizikalnog društva**

3.-5. listopada 2018.
Beli Manastir

KNJIGA SAŽETAKA

Suorganizatori i pokrovitelji:

Fizički odsjek, PMF, Sveučilište u Zagrebu
Odjel za fiziku, Sveučilište J. J. Strossmayera, Osijek
PMF, Sveučilište u Splitu
Sveučilište u Rijeci, Odjel za fiziku
Institut Ruđer Bošković, Zagreb
Institut za fiziku, Zagreb
Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti
Ministarstvo znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske

Znanstveni organizacijski odbor:

Vernesa Smolčić (predsjednica), PMF, Zagreb
Denis Stanić (predsjednik), OF, Osijek
Ticijana Ban, IF, Zagreb
Ante Bilušić, PMF, Split
Saša Ceci, IRB, Zagreb
Vlasta Horvatić, IF, Zagreb
Dario Hrupec, OF, Osijek
Marin Karuza, OF, Rijeka
Krešimir Kumerički, PMF, Zagreb
Maja Varga Pajtler, OF, Osijek

Lokalni organizacijski odbor:

Dario Hrupec, OF, Osijek
Mirna Jurković, OF, Osijek
Sandra Požar, PMF, Zagreb
Denis Stanić, OF, Osijek
Maja Varga Pajtler, OF, Osijek

Zahvaljujemo sponzorima, tvrtkama SCAN, Belmet97, Školska knjiga i Cedevisa

ISBN: 978-953-7178-17-8

Izdavač: *Hrvatsko fizikalno društvo, Zagreb, Hrvatska*

Godina izdanja: 2018.

Urednici: *Vernesa Smolčić, Denis Stanić, Ticijana Ban, Ante Bilušić, Saša Ceci, Vlasta Horvatić, Dario Hrupec, Marin Karuza, Krešimir Kumerički, Maja Varga Pajtler,*

Dizajn korica: *Vlasta Horvatić*

Slog: *Krešimir Kumerički + Python + coonf + L^AT_EX + 11 pt Minion Pro font*

Sadržaj

Program skupa	5
Popis postera	8
Sažeci pozvanih predavanja	11
Sažeci usmenih izlaganja	23
Sažeci postera	51
Indeks svih autora	79
Popis sudionika	85

Program skupa

Prvi dan — srijeda 3. listopada

12:45		registracija	
14:00		otvaranje 11. ZS HFD	
14:15	Larisa Zoranić , Martina Požar, Tomislav Primorac, Franjo Sokolić, Aurélien Perera	<i>Molekulske asocijacije u biološki važnim otapalima</i>	13
14:40	Arian Ivec , Iva Tolić, Nenad Pavin	<i>Ravnoteža sila i momenata sila diobenog vretena u aproksimaciji srednjeg polja</i>	25
14:55	Jakov Lovrić , Sara Kaliman, Michael A. Klatt, Gerd E. Schröder-Turk, Ana-Sunčana Smith	<i>Struktura epitelnog tkiva</i>	26
15:10	Josip Augustin Janeš , Henning Stumpf, Daniel Schmidt, Udo Seifert, Ana-Sunčana Smith	<i>Utjecaj proteinskih međudjelovanja na ponašanje biološke membrane</i>	27
15:25	Dalibor Paar	<i>Uloga fizičara u znanstvenom (STEM) obrazovanju od rane dobi za zanimanja i građane 21. stoljeća</i>	28
15:40		pauza	
16:30	Goran Pichler	<i>Fotoionizacija alkalijskih molekula</i>	29
16:45	Karolina Matejak Cveniće , Maja Platinčić	<i>Demonstracijski intervjui iz područja valne optike</i>	30
17:00	Juraj Krsnik	<i>Mnogočestična lokalizacija: dugovremenske korelacije gustoće naboja</i>	31
17:15	Petar Stipanović , Leandra Vranješ Markić, Andrii Gudyma, Jordi Boronat	<i>Univerzalno ponašanje sustava malog broja čestica</i>	32
17:30	Antonija Utrobičić	<i>Propagacija električnih proboja u GEM detektoru</i>	14
17:55	Darko Androić , Tomislav Ševa	<i>Precizna mjerenja elektroslabog djelovanja i fizika standardnog modela</i>	15
18:20		jednominutne prezentacije postera P1 do P20	

Drugi dan — četvrtak 4. listopada

9:00	Vlasta Bonačić-Koutecký	<i>Tuning Optical and Catalytic Properties of Ligated Noble Metal Clusters by Synergistic Role of Metallic and Organic Subunits</i>	16
9:25	Mihael S. Grbić , Hidekazu Tanaka, Mladen Horvatić, Masashi Takigawa	<i>Magnetski red u $Cs_2Cu_3SnF_{12}$ kagome spoju</i>	33
9:40	Tonči Cvitanić , Mihael S. Grbić, Yoko Hosokoshi, Miroslav Požek	<i>Proučavanje organskog haldaneovog sustava $m-NO_2PhBNO$</i>	34
9:55	I. Jakovac , M. Horvatić, S. Büchler-Paschen, A. Prokofiev, H. Mitamura, T. Sakakibara, M. Takigawa, M. S. Grbić	<i>Istraživanje stanja teških fermiona u $Ce_3Pd_{20}Si_6$ nuklearnom kvadrupolnom rezonancijom ^{105}Pd</i>	35

10:10	Danko Radić	<i>Spinski 'shuttle' NEMS</i>	36
10:25	J. Jačimović, Petar Popčević, A. Arakcheeva, P. Pattison, A. Pisoni, K. Katrych, K. Prša, H. Berger, Ana Smontara , L. Forro	<i>Utjecaj nesumjerljivo modulirane strukture na fizikalna svojstva $Fe_{1.35}Ge$</i>	37
10:40		pauza	
11:10	Mihael S. Grbić, Emil Tafra	<i>Predstavljanje projekta CeNIKS - Centar za Napredna Istraživanja Kompleksnih Sustava</i>	17
11:35	Hrvoje Skenderović , Mario Rakić, Eva Klarić Sever, Silvije Vdović	<i>Porast temperature u ljudskom zubu uslijed bušenja pomoću femtosekundnog lasera</i>	38
11:50	Filip Orbanić , Mario Novak, Bruno Gudac, Nikola Biliškov, Alix McCollam, Lucas Tang, Ivan Kokanović	<i>Magnetski moment sile u topološkim polumetalima</i>	39
12:05	Andreja Gajović , Ivana Panžić, Krunoslav Juraić, Nikša Krstulović, Vilko Mandić, Jelena Macan, Domagoj Belić, Milivoj Plodinec, Davor Gracin, Ana Šantić, Marc Gragor Willinger	<i>Utjecaj parametara pripreme na morfologiju, strukturu i opto-električna svojstva TiO_2 nanese-nog na ZnO nanostupice različitim postupcima: istraživanje svojstava za fotonaponsku primjenu</i>	40
12:20		jednominutne prezentacije postera P21 do P35	
12:45		ručak	
14:00	Pavla Šenjug, Mirta Rubčić, Jure Dragović, Matija Kalanj, Filip Torić, Damir Pajić	<i>Slojeviti metalo-organski multiferoici: magnetsko uređenje i potraga za magnetoelektričnim učinkom</i>	41
14:15	Nikolina Penić , Mladen Borovina, Marijana Đaković, Damir Pajić	<i>Supramolekulske arhitekture halogenidnih koordinacijskih spojeva bakra(II) s aminskim i laktamskim derivatima pirazina i pirimidina i magnetska svojstva</i>	42
14:30	Valentino Jadriško	TBA	
14:45	Borna Radatović	TBA	
15:00	Milko Jakšić , Natko Skukan, Veljko Grilj	<i>Ionski snopovi i detektori, ili može li se baviti eksperimentalnom fizikom u Hrvatskoj</i>	18
15:25	Marko Kralj	<i>Sinteza 2D materijala te fizikalna i kemijska modifikacija njihovih svojstava</i>	19
15:50		pauza	
16:25	Nikolina Novosel	<i>Kriogeni centar Instituta za fiziku</i>	20
16:50	Damir Aumiler	<i>Centar za napredne laserske tehnike (CALT)</i>	21
17:15		Okrugli stol	

Treći dan — petak 5. listopada

9:00	Vibor Jelić	TBA	
9:25	Bruno Šlaus , Vernesa Smolčić, i XXL konzorcij	<i>Radio funkcije luminoziteta unutar XXL-North polja</i>	43
9:40	David Prelogović , Vibor Jelić	<i>Poravnanje depolariziranih kanala u međuzvezdanoj materiji s magnetskih poljem naše galaksije</i>	44
9:55	Zoran Basrak	<i>Aberacija i relativistički Dopplerov pomak</i>	45

10:10	Saša Ilijić, Marko Sossich	<i>Kompaktni objekti u $f(T)$ proširenoj teoriji gravitacije</i>	46
10:25	Stefan Cikota	<i>Stelarne okultacije - suvremena metoda određivanja fizikalnih karakteristika Trans-Neptunskih objekata</i>	47
10:40		pauza	
11:10	Ana Bacelj , Željka Marija Bošnjak, Jochen Greiner, James Michael Burgess	<i>Istraživanje korelacija u bljeskovima gama-zračenja pomoću hijerarhijskog Bayesovog modela</i>	48
11:25	Suzana Szilner	<i>Proizvodnja neutronske bogatih jezgara</i>	22
11:50	Kristina Serec , Sanja Dolanski Babić, Silvia Tomić	<i>Utjecaj dvovalentnih kationa na strukturu i dinamiku deoksiribonukleinske kiseline (DNA)</i>	49
12:05		zatvaranje / proglašavanje nagrada	

Popis postera

P1	Bruno Gudac , Mario Novak	<i>Kvantne oscilacije u ZrSiS i HfSiS</i>	53
P2	Marko Kuveždić , Emil Tafra, Junfeng Hu, Mario Basletić, Amir Hamzić ¹ ,	<i>Magnetotransportna svojstva tankih filmova Heuslerovih slitina Co₂TiSn i Co₂Ti_{0.6}V_{0.4}Sn</i>	54
P3	Matko Mužević , Igor Lukačević, Maja Varga Pajtler, Sanjeev Kumar Gupta	<i>Utjecaj naprežanja i broja slojeva na optička svojstva 2D antimona, indija i aluminijska</i>	55
P5	D. Nurkić , M. Uroić, M. Milin, A. Di Pietro, P. Figuera, M. Fisichella, M. Lattuada, I. Martel, Đ. Miljanić, M. G. Pellegriti, L. Prepolec, A. M. Sanchez Benitez, V. Scuderi, N. Soić, E. Strano, D. Torresi	<i>Struktura lakih jezgara razmatrana putem reakcija ⁷Li+^{6,7}Li</i>	56
P9	Marko Bosiočić, Fabrice Bert, Sian E. Dutton, Robert J. Cava, Peter J. Baker, Miroslav Požek , Philippe Mendels	<i>Postoji li kvadrupolna nematska faza u frustriranome spinskom lancu LiCuSbO₄? – Pogled NMR-om</i>	57
P10	Viktor Cikojević , Leandra Vranješ Markić, Krešimir Dželalija, Petar Stipanović, Gregory Astrakharchik, Jordi Boronat	<i>Tekuća mješavina bozonskih atoma</i>	58
P11	Petra Čolović , Suzana Szilner, i članovi međunarodnih kolaboracija PRISMA, GALILEO, i MINIBALL	<i>Istraživanje neutronske bogatih jezgara u okolini ²⁰⁸Pb reakcijama prijenosa nukleona</i>	59
P12	Krešimir Dželalija , Viktor Cikojević, Leandra Vranješ Markić	<i>Bozonske mješavine u zamci proučene kvantnim Monte Carlo simulacijama</i>	60
P13	N. Vukman , N. Soić, M. Freer, T. Davinson, A. Di Pietro, M. Alcorta, D. Connolly, A. Lennarz, C. Ruiz, A. Shotter, M. Williams, A. Psaltis	<i>Proučavanje pobuđenih stanja jezgre ¹²Be raspada na izotope helija</i>	61
P14	Ana Puljas, Josipa Šćurla, Petra Pranić, Anton Kabaši, Ante Bilušić , László Forró	<i>Električna vodljivost kompozita SU-8 i grafena pri temperaturama višima od sobne</i>	62
P15	Branimir Mihaljević , Mario Basletić, Bojana Hamzić, Tomislav Ivek, Damir Altus, Silvia Tomić	<i>Nelinearna vodljivost tankih filmova manganita La_{1-x}Ca_xMnO₃, x ≥ 0.5</i>	63
P16	Marko Jerčić , Nikola Poljak, Filip Erhardt, Mirko Planinić, Antonija Utrobičić	<i>Primjena tehnika dubokog učenja u fizici teških iona</i>	64
P18	Danijel Buhin , Neven Šantić, Ivor Krešić, Domagoj Kovačić, Damir Aumiler, Ticijana Ban	<i>Hlađenje atoma frekventnim češljom</i>	65
P20	Mateo Forjan , Silvije Vdović	<i>Ultrabrza tranzijentna apsorpcija fotokemijskih reakcija</i>	66
P21	Josip Jakovac	<i>Računalno komponiranje i glazbene varijacije generirane kaotičnim preslikavanjem</i>	67
P22	Krunoslav Juraić , Domagoj Belić, Ivana Panžić, Jasper Plasie, Andreja Gajović	<i>Optimizacija tankih filmova barij titanata za primjenu u senzorima i solarnim ćelijama</i>	68

P23	Tonči Cvitanić , Marin Lukas, Michael S. Grbić	<i>Izrada dvoosnog rotatora za mjerenje monokristalnog uzorka Nuklearnom magnetskom rezonancijom</i>	69
P24	Mateo Kruljac , Ivor Krešić, Domagoj Kovačić, Damir Aumiler, Ticijana Ban	<i>Koherentni efekti u hladnom atomskom plinu</i>	70
P25	Borna Pelić , Joshua Hall, Vito Despoja, Iva Šrut Rakić, Marin Petrović, Ali Sohani, Carsten Busse, Thomas Michely, Marko Kralj	<i>Superstrukture sumpora na Ir(111) i gr/Ir(111)</i>	71
P27	Mihovil Jurdana , Valentino Jadriško, Borna Radatović, Marko Kralj	<i>APCVD growth of graphene and hBN heterostructures</i>	72
P28	Marta Čolaković-Bencerić , Petra Maruševac, Vibor Jelić	<i>Mogu li se sudari super-ljuski vidjeti pomoću LO-FAR radioteleskopa?</i>	73
P29	Katarina Rožman , Denis Sunko	<i>Dvočestične valne funkcije harmoničkog oscilatora</i>	74
P31	Marijana Ugrina , Leandra Vranješ Markić	<i>Kvantne Monte Carlo simulacije osnovnog stanja tetramera $^3\text{He}_3\text{Ca}$ i $^3\text{He}_3\text{Na}$</i>	75
P33	Marin Karuza	<i>Muon g-2 eksperiment: Sustav za kalibraciju</i>	76
P34	Nikola Šegedin , Kristina Serec, Valentina Karin-Kujundžić, Petra Kejla, Ljiljana Šerman, Sanja Dolanski Babić	<i>FTIR spektri humane DNA</i>	77
P35	Marko Škrabić , Marin Kosović, Marijan Gotić, Lara Mikac, Mile Ivanda, Ozren Gamulin	<i>Fotonički kristali od poroznog silicija kao SERS podloge za blisku infracrvenu pobudu</i>	78

Sažeci pozvanih predavanja

Molekulske asocijacije u biološki važnim otapalima

Larisa Zoranić¹, Martina Požar¹, Tomislav Primorac¹, Franjo Sokolić¹,
Aurélien Perera²

¹*Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Splitu, Ruđera Boškovića 33, 21000 Split, Hrvatska*

²*Sorbonne Université, Faculté des Sciences, Laboratoire de Physique Théorique de la Matière Condensée (UMR CNRS 7600), 4 Place Jussieu, F75252, Paris cedex 05, France*

Mikroheterogenost (MH) je strukturno svojstvo otopina koje opisuje lokalno nemiješanje pojedinih komponenti otopine tj. postojanje tranzijentnih asocijacija istih molekula. Posebno zanimljivu MH strukturu imaju vodene otopine amfilnih molekula kao što su npr. monoli, dioli i amini. Nastale asocijacije su varijabilne po svom obliku, broju molekula i vremenskom trajanju, što čini ovo lokalno uređenje zahtjevno za mjerenja. U našim istraživanjima, povezali smo MH uređenost sa signalom u atomskom (parcijalnom) strukturnom faktoru na malim udaljenostima valnog vektora [1]. Definirali smo da račun distribucije veličina klastera nije primjenjiv na sve tipove mikroheterogenog uređenja, npr. signal preferiranih klastera je prisutan kod domena etanola u benzenu, ali se ne opaža kod domena etanola u vodi [2].

U predavanju će se predstaviti rezultati simulacija metodom molekulske dinamike biološki važnog otapala trifluoretanola (TFE) u vodi. Kroz korelacijske funkcije i Kirkwood-Buff integrale definirat će se strukturna specifičnost TFE s naglaskom na dualnost koncentracijske ovisnosti. Naime, pri višim koncentracijama TFE otopina nema značajne fluktuacije koncentracije, pokazuje ponašanje slično idealnom sustavu, hidroksilne grupe se povezuju u klustere, te se gube asocijacije molekula vode. Za niže koncentracije TFE-a, vidljiv je porast fluktuacija koncentracije i javlja se signal domena koje grade molekule TFE-a. Najjači signal domena je u području koncentracija 30%-40% (v/v). Pri ovim koncentracijama TFE-a određeni proteini mjenjaju svoju sekundarnu strukturu [3]. Ideja prisutna u literaturi jest da TFE molekule okružuju protein te tako stvaraju hidrofobnu okolinu koja podržava vodikove veze između atoma proteina, čime se stabilizira sekundarna struktura, međutim sam mehanizam nije razjašnjen.

[1] M Požar et al. *Physical Chemistry Chemical Physics* 17 (2015) 9885

[2] M Požar et al. *Physical Chemistry Chemical Physics* 18 (2016) 23971

[3] K Gast et al. *Protein Science* 8 (1999) 625

Propagacija električnih proboja u GEM detektoru

Antonija Utrobičić¹

¹*Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek*

Plinski detektori dosada korišteni na velikim akcelaratorskim sustavima poput LHC-a (engl. Large Hadron Collider) i RHIC-a (engl. Relativistic Heavy Ion Collider) predstavljaju ograničenje u brzini prikupljanja podataka. Potreba za brzim detektorima visoke otpornosti na dugotrajnu izloženost intenzivnom zračenju, izvrsne prostorne i vremenske razlučivosti te radu pri visokom toku zračenja dovela je do razvoja novog tipa plinskih detektora tzv. MPGD (engl. Micro-Pattern Gaseous Detector) detektora. GEM (engl. Gas Electron multiplier) [1] je plinski detektor baziran na MPGD tehnologiji koji se sastoji od jedne ili više GEM folija u kaskadi, katode i segmentirane anode za očitavanje signala. Opaženo je da se tijekom rada pri nominalnim pojačanjima i oslobodenju velike količine naboja unutar rupa GEM folije može inducirati proboj plina [2]. Pročavanje proboja unutar GEM detektora dovelo je do otkrića tzv. propagirajućih proboja s vremenskim odmakom koji mogu oštetiti osjetljivu elektroniku za očitavanje podataka i samim time ugroziti stabilan rad detektora. Objašnjenje pojave propagirajućeg proboja s vremenskim odmakom te mehanizama njegovog nastanka vrlo je zahtjevno budući da u tom trenutku ne postoji pojačanje signala u rupama GEM folije. Nekoliko istraživačkih grupa proučavalo je problem, ali još uvijek nema uvjerljivog i općeprihvaćenog objašnjenja [3, 4]. Prezentacija će obuhvatiti istraživanje propagirajućih proboja na posebno projektiranom eksperimentalnom postavu s jednostupanjskim GEM detektorom gdje će se prikazati korelirana optička i električna mjerenja koja daju novo svjetlo na mogući fizikalni mehanizam odgovoran za propagaciju proboja s vremenskim odmakom.

[1] Sauli, Fabio. "GEM: A new concept for electron amplification in gas detectors." *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* 386.2 (1997): 531-534.

[2] Bachmann, S., et al. "Discharge studies and prevention in the gas electron multiplier (GEM)." *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* 479.2 (2002): 294-308.

[3] Wallmark, Monika, et al. "Operating range of a gas electron multiplier for portal imaging." *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* 471.1 (2001): 151-155.

[4] Iacobaeus, Christian, et al. "A novel portal imaging device for advanced radiation therapy." *IEEE Transactions on Nuclear Science* 48.4 (2001): 1496-1502.

Precizna mjerenja elektroslabog djelovanja i fizika standardnog modela

Darko Androić¹, Tomislav Ševa¹

¹*Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek*

Ekperimentalni programi iz područja nuklearne fizike i fizike elementarnih čestica pokušavaju pribaviti dokaze postojanja novih fizikalnih fenomena koji se ne mogu objasniti unutar postojećih, etabliranih, znanstvenih teorija. CERNovo otkriće Higgsova bozona kompletiralo je skup fundamentalnih čestica koje zatvaraju takozvani standardni model, fizikalnu teoriju koja najbolje opisuje ogroman broj dosadašnjih spoznaja vezanih uz elementarne čestice i njihova međudjelovanja; elektromagnetsko, slabo nuklearno i jako nuklearno.

Međutim standardni model ima i svoja ograničenja. Jedno od ograničenja teorije uključuju i neuspjeh u predviđanja nekih temeljnih parametara, kao što je na primjer masa Higgsovog bozona. Standardni model također ne pokazuje vitalnost u predviđanju fenomena koje je u nedavnim istraživanjima locirala moderna astrofizika. Ovdje spadaju problemi vezani uz pojmove tamne tvari i tamne energije, ili pak problem insuficijencije antimaterije u opažanom Svemiru. Fenomenologija gravitacijskih interakcija također nije pokrivena standardnim modelom. Sva ta ograničenja motiviraju nova fizikalna istraživanja, teorijska i eksperimentalna, izvan standardnog modela. Jednim od valjanih puteva istraživanja nakon otkrića Higgsova bozona ide CERN. Njihov program danas se nastavlja traženjem novih elementarnih čestica/rezonancija kroz visoko energijske sudare. Pored povećanja energije u centru mase sudara CERN povećava i svoju luminoznost i tako povećava vjerojatnost nalaženja eventualnih novih elementarnih čestica. To, na primjer, uključuje potragu za supersimetričnim česticama koje povezuju bozone s fermionima, ili potragu za leptokvarkovima koji miješaju temeljna svojstva kvarkova i leptona.

Alternativa ovim visokoenergijskim istraživanjima su, s druge strane, indirektna, precizna mjerenja dobro predvidljivih i proračunljivih vrijednosti standardnih modela. Jedan primjer takva mjerenja je i eksperimentalno utvrđivanje slabog naboja protona koji definira jakost protonske interakcije s drugim česticama preko takozvane neutralne elektroslabe struje, dakle kroz izmjenu Z^0 bozona. S obzirom da je simetrija pariteta (invarijantnost na prostornu inverziju $(x, y, z) \rightarrow (-x, -y, -z)$) narušena samo u slaboj interakciji, ona pruža alat kojim se može izolirati slabu interakciju, pa time i mjeriti slab naboj protona. Mjerena vrijednost slabog naboja protona Q-weak kolaboracije iznosi $0,0719 \pm 0,0045$, pri čemu je nepouzdanost jedna standardna devijacija. Vrijednost je izvedena iz izmjerene asimetrije u raspršivanju polariziranih elektrona na protonu. Vrijednost te asimetrije je $-226,5 \pm 9,3$ dijelova na milijardu.

Mjerena vrijednost slabog naboja protona u izvrsnom je suglasju s standardnim modelom i zadaje neke uvijete budućim teorijama izvan standardnog modela na širokoj energijskoj ljestvici. Rezultat ovog eksperimenta pokazuje da se precizna mjerenja narušenja pariteta mogu uspješno koristiti za istraživanje fizike izvan standardnog modela i biti komplementarna s izravnim istraživanjima sudara u visokoenergetskim ubrzivačima. Zajedno s astronomskim promatranjima, ovakva se mjerenja mogu koristiti za uspješnu diskriminaciju teorijskih pretpostavki i modela.

[1] Nature **557** (2018) 207-211

[2] Nucl.Instrum.Meth. **A781** (2015) 105-133

Tuning Optical and Catalytic Properties of Ligated Noble Metal Clusters by Synergistic Role of Metallic and Organic Subunits

Vlasta Bonačić-Koutecký¹

¹*Center of excellence for science and technology—integration of Mediterranean region (STIM) at Interdisciplinary Center for Advanced Sciences and Technology (ICAST) at University of Split, Poljička cesta 35, 21000 Split (Croatia) Chemistry Department, Humboldt University of Berlin, Brook-Taylor-Strasse 2, 12489 Berlin (Germany)*

²*Chemistry Department, Humboldt University of Berlin, Brook-Taylor-Strasse 2, 12489 Berlin (Germany)*

Theoretical investigation of the linear and nonlinear optical properties of thiolate-protected low nuclearity noble metal clusters will be first presented. In this context, theoretical approaches for a reliable description of two-photon absorption spectra will be addressed. A goal is to design species exhibiting strong one-photon and/or two-photon absorption and emission in the UV-VIS spectral range. We will show that the optical properties can be tuned by creating the appropriate interplay between electronic excitations within the cluster core and selected prototype of ligands. Comparison with available experimental results will be discussed. We conclude that such low nuclearity protected noble metal clusters are promising for bio-labeling and imaging as alternatives to the standard fluorescent probes such as quantum dots or organic dyes.

Second, we present our study of small coinage metal hydride ligated nanoclusters showing their capability to release the hydrogen. We propose the concept of the synergistic role of ligand and substrate in catalysis on an example of formic acid. This new catalyst neatly fits into a zeolite which does not perturb reactivity, thus providing a unique example on how “heterogenization” of a homogeneous catalyst for the selective catalyzed extrusion of carbon dioxide from formic acid can be achieved, with important application in hydrogen storage and in situ generation of H₂. The above results motivated us to investigate the selective decomposition of formic acid driven by highly porous aluminum based metal-organic framework in order to design new materials for the heterogeneous catalysis.

Thus, we illustrated that the unique optical and reactivity properties of ligated noble metal clusters which can be tuned by the appropriate interplay between metallic and organic subunits have significant potential for different applications.

Predstavljanje projekta CeNIKS - Centar za Napredna Istraživanja Kompleksnih Sustava

Mihael S. Grbić¹, Emil Tafra¹

¹*Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek*

²*Institute Two*

Ove godine započela je izvedba projekta CeNIKS (ceniks.phy.hr) Fizičkog odsjeka PMF-a koji je financiran od strane Europskog fonda za regionalni razvoj. Projekt obuhvaća obnovu i proširenje istraživačkih kapaciteta Fizičkog odsjeka, a obzirom na vrstu financiranja, predviđeno je da nova oprema ima otvoren pristup za sve istraživače.

Projekt predviđa razvitak postojećih laboratorija:

- Laboratorij za mikrostrukturna istraživanja,
- Laboratorij za mjerenje transportnih i termodinamičkih svojstava,
- Laboratorij za niske temperature i jaka magnetska polja,
- Laboratorij za optičku atomsku spektroskopiju,
- Laboratorij za istraživanje magnetskih i električnih pojava,
- Laboratorij za NMR čvrstog stanja i visokofrekventna mjerenja,

razvitak novih laboratorija:

- Laboratorij za sintezu i pripremu uzoraka,
- Laboratorij za infracrvenu spektroskopiju i elipsometriju,

te pojačanje tehničke jedinice za kriogene tekućine.

Ovim predavanjem detaljno bismo prikazali nove kapacitete Fizičkog odsjeka te planiranu izvedbu projekta.

Ionski snopovi i detektori, ili može li se baviti eksperimentalnom fizikom u Hrvatskoj

Milko Jakšić¹, Natko Skukan¹, Veljko Grilj²

¹*Institut Ruđer Bošković, Zavod za eksperimentalnu fiziku, Bijenička cesta 54, Zagreb*

²*Columbia University, Center for Radiological Research, New York, United States*

Poznavanje pozicije i vremena ulaska svakog pojedinačnog brzog iona u detektor sa sub-mikronskom i nanosekundnom preciznošću, omogućilo je na IRB-u razvoj metode IBIC (ion beam induced charge) koja se danas primjenjuje u karakterizaciji svojstava najnovijih generacija poluvodičkih detektora. Uz pregled najvažnijih primjena metode IBIC posljednjih godina, posebno će se predstaviti rad na razvoju novih struktura dijamantnih detektora. Bit će opisani i potencijali novih eksperimentalnih linija na akceleratorском sustavu IRB-a u istraživanjima otpornosti detektorskih materijala na zračenje, a u kontekstu aktivnih Horizon 2020 projekata te financiranja eksperimentalnih istraživanja u Hrvatskoj.

Sinteza 2D materijala te fizikalna i kemijska modifikacija njihovih svojstava

Marko Kralj¹

¹Centar izvrsnosti za napredne materijale i senzore, Institut za fiziku, Bijenička cesta 46, 10000 Zagreb

Sinteza i karakterizacija grafena i ostalih 2D materijala, već su 10-ak godina jedan od glavnih fokusa istraživanja na Institutu za fiziku. Danas su ta istraživanja dio aktivnosti CEMS centra izvrsnosti te jedan od temelja za nova istraživanja u sklopu strateškog projekta RH u području znanstvene infrastrukture, CALT centra na Institutu za fiziku.

Početni interes za primjene grafena zbog njegovih fantastičnih intrinzičnih elektronskih, mehaničkih i optičkih svojstava, ubrzo je obogaćen potrebom da se modificiraju njegova svojstva, primjerice da se otvori procjep u elektronskoj strukturi, kako bi se ostvarila učinkovitija primjena u visokofrekvencijskoj elektronici. Stoga su naša istraživanja, pored same sinteze što kvalitetnijih atomski tankih materijala, od početka usmjerena na efekte fizikalnog i kemijskog inženjeringa njihovih svojstava. Tako smo u slučaju kemijskog dopiranja epitaksijalnog grafena razjasnili sam mehanizam interkalacije [1], karakterizirali povećano elektron-fonon međudjelovanje [2], opseg dobro definirane kiralnosti Diracovih elektrona [3] te pokazali kako se plazmonsko pobuđenje u grafenu može ostvariti u vidljivom dijelu spektra [4].

U daljnjim istraživanjima unutar šire obitelji 2D materijala, naš fokus je na 2D poluvodičima, gdje je predvodnik te skupine MoS₂. Primjenom inovativne tehnike optičke mikroskopije tijekom rasta CVD metodom, u mogućnosti smo kontrolirati veličinu i kvalitetu dobivenih uzoraka, što potvrđujemo i naknadnom karakterizacijom strukturnih i optičkih svojstava [5]. Nadalje, zahvaljujući velikoj osjetljivosti optičkog odgovora atomski tankih 2D poluvodiča na modifikacije u kristalnoj i elektronskoj strukturi, detaljno smo promatrali optički odziv u ovisnosti o dopiranju pomoću adsorpcije litijevih atoma [6] kao i mehanička svojstva granica domena u lateralno makroskopskim uzorcima [7]. Ta svojstva su od širokog značaja za CVD sintetizirani MoS₂ i njegove primjene u optoelektroničkim i nanomehaničkim uređajima.

[1] M. Petrović, et al., Nature Commun. **4** (2013) 2772

[2] I. Pletikosić, et al., Phys. Rev. B **85** (2012) 155447

[3] D. Dombrowski, et al., Phys. Rev. Lett. **4118** (2017) 116401

[4] S. Tanaka, et al., in preparation

[5] I. Delač Marion, et al., Nanotechnology **29** (2018) 305703

[6] N. Saigal, et al., Appl. Phys. Lett. **112** (2018) 121902

[7] I. Niehus, et al., 2D Materials **5** (2018) 031003

Kriogeni centar Instituta za fiziku

Nikolina Novosel¹

¹*Institut za fiziku, Bijenička cesta 46, 10000 Zagreb, Hrvatska*

Među najznačajnijim znanstvenim djelatnostima Instituta za fiziku ističu se istraživanja u području fizike kondenzirane materije i znanosti o materijalima koja su usko vezana uz tehnologiju postizanja vrlo niskih temperatura. Stoga je glavni cilj infrastrukturnog projekta *Kriogeni centar Instituta za fiziku* – KaCIF unaprjeđenje postojećih i razvoj novih kriogenih tehnika te modernizacija i nadogradnja znanstveno-istraživačke infrastrukture koja se koristi u temeljnim i primijenjenim istraživanjima u području fizike kondenzirane materije. Projektom KaCIF modernizirat će se infrastruktura Kriogenog postrojenja Instituta za fiziku, prvenstveno nabavom modernog ukapljivača helija, te će se nabaviti uređaji za razvoj cryogen-free tehnologije i vrhunska znanstveno-istraživačka oprema za istraživanje materije u širokom području uvjeta: ekstremno niskih temperatura (do ~ 10 mK), vrlo velikih magnetskih polja (do 20 T) i velikog primijenjenog tlaka (~ 10 GPa).

Projekt KaCIF financira se iz Europskog fonda za regionalni razvoj u sklopu Operativnog programa Konkurentnost i kohezija 2014.-2020., a financiranje projekta odobreno je unutar Poziva *Ulaganje u organizacijsku reformu i infrastrukturu u sektoru istraživanja, razvoja i inovacija*, KK.01.1.1.02. Provedba projekta KaCIF traje od 1. srpnja 2018. do 1. siječnja 2021., a ukupna vrijednost projekta iznosi 39.663.665,00 HRK, od čega su projektu dodijeljena bespovratna sredstva EU u iznosu 39.558.639,75 HRK.

Provedba projekta KaCIF omogućit će povećanje opsega i kvalitete fundamentalnih znanstvenih istraživanja u području fizike kondenzirane materije, koja se već dugi niz godina provode na Institutu za fiziku, te provođenje gospodarski motiviranih istraživanja materijala. Nova kriogena i cryogen-free infrastruktura osigurat će kontinuitet rada i novi iskorak u izradi specijaliziranih mjernih uređaja, razvoju inovacija, patenata i tehnoloških rješenja za industriju u suradnji s gospodarskim partnerima.

Centar za napredne laserske tehnike (CALT)

Damir Aumiler¹

¹*Institut za fiziku, Bijenička cesta 46, Zagreb*

Centar za napredne laserske tehnike – CALT (<http://calt.ifs.hr>) je strateški projekt Republike Hrvatske u području znanstveno-istraživačke infrastrukture financiran iz Europskog fonda za regionalni razvoj kroz Operativni program Konkurentnost i kohezija 2014. – 2020. u iznosu od 121.297.812,38 HRK. U okviru CALT projekta unaprijedit će se postojeća i razviti nova znanstveno-istraživačka infrastruktura temeljena na naprednim laserskim tehnikama. U potpunosti će se rekonstruirati zgrada I. krila Instituta za fiziku, na način da se prilagodi suvremenim zahtjevima znanstveno-istraživačkog rada, te će se zatim opremiti najmodernijom znanstvenom opremom temeljenom na naprednim laserskim i optičkim sustavima. Time će se stvoriti okruženje za uspješno odvijanje aktivnosti Centra za napredne laserske tehnike (CALT) koji će se osnovati na Institutu.

Temeljna aktivnost CALT-a bit će razvoj i primjena najsuvremenijih laserskih tehnika u četiri osnovne tematske jedinice: kvantne tehnologije, nano- i bio-sustavi, plazmene tehnologije i ultrabrza dinamika. One uključuju široko područje istraživanja međudjelovanja svjetlosti s materijom – od razvoja kvantnih senzora temeljenih na ultra-hladnim atomima, preko istraživanja dinamike biokemijskih reakcija i procesa na ultrakratkim vremenskim skalama, do nanomaterijala i bioloških uzoraka te novih plazmenih izvora svjetlosti i funkcionalnog tretiranja materijala plazmom. Inovativnom primjenom laserskih tehnika CALT će omogućiti interdisciplinarna istraživanja širokog spektra, od XUV do THz spektralnog područja, a u sklopu CALT-a osnovat će se i Nacionalni laboratorij za vrijeme i frekvenciju.

Uz znanstveno-istraživački rad aktivnosti CALT-a uključuju obrazovanje i stručnu edukaciju (studenski seminarski i diplomski radovi, disertacije, stručno usavršavanje, trening za korištenje opreme) te pružanje otvorenog pristupa laserskoj opremi. Stoga je CALT zamišljen i kao znanstveno-istraživački korisnički centar, gdje će sva infrastruktura i znanje biti otvoreni hrvatskoj akademskoj zajednici i gospodarstvu.

Proizvodnja neutronske bogatih jezgara

Suzana Szilner¹

¹Institut Ruđer Bošković, Bijenička cesta 54, Zagreb

Nedavno opažanje spajanja dvaju neutronske zvijezda, koje nedvojbeno povezuje konkretan astronomski događaj s proizvodnjom teških elemenata, pobudilo je posebnu pažnju nuklearnih i astrofizičkih zajednica. Uz poznavanje zvjezdanih parametara, za razumjevanje porijekla elemenata važno je i poznavanje svojstava atomskih jezgara, posebno teških neutronske bogatih jezgara, kako bi se odredio put odvijanja procesa brzog uhvata neutron u zemljovidu jezgara.

Među različitim nuklearnim reakcijama, reakcije prijenosa nukleona zauzimaju posebno mjesto jer se pravilnim odabirom projektila i mete, odnosno energije reakcije, ovim reakcijama mogu pobuditi jezgre bogate neutronima. Vrlo teške neutronske bogate jezgre u blizini olova eksperimentalno je iznimno teško proizvesti, te je znanje o strukturi tih jezgara vrlo manjkavo. Jedan od obećavajućih alata za proizvodnju neutronske bogatih teških jezgara je upotreba reakcija prijenosa mnogo nukleona na energijama bliskim kulonskoj barijeri. Kod sudara stabilnih projektila na teškim metama, značajan udarni presjek je u kanalima ogoljavanja protona i pobiranja neutrona, kojima se proizvode neutronske bogate jezgre oko lakšeg partnera reakcije. U sudarima s neutronske bogatim (nestabilnim) projektilima postaju važni i kanali pobiranja protona te ogoljavanja neutrona projektila - ti procesi odgovaraju proizvodnji neutronske bogatog teškog partnera.

U ovom radu bit će predstavljeni rezultati mjerenja nekoliko teškoionskih reakcija, uz upotrebu stabilnih i nestabilnih snopova: $^{40}\text{Ca}+^{208}\text{Pb}$, $^{40}\text{Ar}+^{208}\text{Pb}$, $^{94}\text{Rb}+^{208}\text{Pb}$ i $^{197}\text{Au}+^{130}\text{Te}$, kako bi se pokazalo da su reakcije prijenosa nukleona vrlo prikladan mehanizam za proizvodnju neutronske bogatih teških jezgara.

[1] S. Szilner, L. Corradi, G. Pollarolo, S. Beghini, B.R. Behera, E. Fioretto, A. Gadea, F. Haas, A. Latina, G. Montagnoli, F. Scarlassara, A.M. Stefanini, M. Trotta, A.M. Vinodkumar, Y. Wu: Multinucleon transfer processes in $^{40}\text{Ca}+^{208}\text{Pb}$, *Physical Review C* 71 (2005) 044610.

[2] D. Montanari, L. Corradi, S. Szilner, G. Pollarolo, E. Fioretto, G. Montagnoli, F. Scarlassara, A.M. Stefanini, S. Courtin, A. Goasduff, F. Haas, D. Jelavić Malenica, C. Michelagnoli, T. Mijatović, N. Soić, C.A. Ur, and M. Varga Pajtler: Neutron Pair Transfer in $^{60}\text{Ni}+^{116}\text{Sn}$ Far below the Coulomb Barrier, *Physical Review Letters* 113 (2014) 052501.

[3] T. Mijatović, S. Szilner, L. Corradi, D. Montanari, G. Pollarolo, E. Fioretto, A. Gadea, A. Goasduff, D. Jelavić Malenica, N. Mărginean, M. Milin, G. Montagnoli, F. Scarlassara, N. Soić, A.M. Stefanini, C.A. Ur, and J.J. Valiente-Dobón: Multinucleon transfer reactions in the $^{40}\text{Ar}+^{208}\text{Pb}$ system, *Physical Review C* 94 (2016) 064616.

[4] F. Galtarossa, L. Corradi, S. Szilner, E. Fioretto, G. Pollarolo, T. Mijatović, D. Montanari, D. Ackermann, D. Bourgin, S. Courtin, G. Fruet, A. Goasduff, J. Grebosz, F. Haas, D. Jelavić Malenica, S.C. Jeong, H.M. Jia, P.R. John, D. Mengoni, M. Milin, C. Montagnoli, F. Scarlassara, N. Skukan, N. Soić, A.M. Stefanini, E. Strano, V. Tokić, C.A. Ur, J.J. Valiente-Dobón, Y.X. Watanabe: Mass correlation between light and heavy reaction products in multinucleon transfer $^{197}\text{Au}+^{130}\text{Te}$ collisions, *Physical Review C* 97 (2018) 054606.

Sažeci usmenih izlaganja

Ravnoteža sila i momenata sila diobenog vretena u aproksimaciji srednjeg polja

Arian Ivec¹, Iva Tolić², Nenad Pavin¹

¹*Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek*

²*Institut Ruđer Bošković*

Diobeno vreteno je stanična struktura koja je odgovorna za raspodjelu genetskog materijala među stanicama kćeri, a sastoji se od mikrotubula i pridruženih proteina. Sile i momenti sila igraju ključnu ulogu u funkcioniranju vretena te su odgovorni za pomicanje kromosoma i održavanje njegove građe, a važnu ulogu igraju elastična svojstva mikrotubula. Međutim, sile i momente nije lako odrediti današnjim eksperimentalnih tehnikama. U ovom teorijskom istraživanju uvodimo model za ravnotežu sila i momenata sila u diobenom vretenu (ref. 1). Korištenjem aproksimacije srednjeg polja opisujemo sve mikrotubule u diobenom vretenu i sile koje djeluju na njih. Model daje predviđanja za oblik diobenog vretena. Dobivene rezultate planiramo usporediti s eksperimentalno određenim oblicima koje su dobili naši suradnici. Teorijska predviđanja dobivena ovim modelom, zajedno s eksperimentima, trebala bi odgovoriti na pitanje kolike sile djeluju u diobenom vretenu.

[1] The mitotic spindle is chiral due to torques generated by motor proteins, Novak et al., <https://www.biorxiv.org/content/early/2017/07/24/167437>

Struktura epitelnog tkiva

Jakov Lovrić¹, Sara Kaliman², Michael A. Klatt³, Gerd E. Schröder-Turk⁴,
Ana-Sunčana Smith¹

¹Zavod za fizičku kemiju, Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvatska

²PULS Group, Institut für Teoretische Physik and EAM Cluster of Excellence, FAU
Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Germany

³Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Institute of Stochastics, Karlsruhe, Germany

⁴Murdoch University, School of Engineering and IT, Murdoch, Australia

Strukturna svojstva popločenja prostora bitna su radi razumijevanja različitih problema u mnogim znanstvenim područjima. Jedno od otvorenih pitanja, poznatije kao *quantizer problem*, jest koje popločenje prostora maksimizira centralnost ploča. U ovom radu proučavamo stabilne lokalne maksimume *quantizer* problema primijenjujući Lloydov algoritam na različite neuređene slučajne točkaste procese. Zaključujemo da Lloydov algoritam konvergira prema sveopćoj neiskristaliziranoj strukturi s dugodosežnim redom. Također, ispitujemo ulogu centralnosti stanica u epitelnom tkivu. Primijećujemo da tkivo možemo poistovijetiti s popločenjem ravnine beziranom na obliku jezgara danih stanica. Nadalje, istražujemo međudjelovanje između učinaka konačnih veličina i Lloydove optimizacije i zaključujemo da je za vrijeme razvoja epitelnog tkiva centralnost potencijalan aktivan mehanizam stanica.

[1] S. Kaliman, C. Jayachandran, F. Rehfeldt, and A.-S. Smith, *Front. Physiol.* 7(2016)551

[2] M. Klatt, J. Lovrić, D. Chen, S. Kapfer, F. Schaller, P. Schönhöfer, B. Gardiner, A.-S. Smith, S. Torquato, and G. Schröder-Turk (2018), podnešen za izdavanje

Utjecaj proteinskih međudjelovanja na ponašanje biološke membrane

Josip Augustin Janeš¹, Henning Stumpf², Daniel Schmidt², Udo Seifert³,
Ana-Sunčana Smith¹

¹*Institut Ruđer Bošković, 10000 Zagreb, Croatia*

²*PULS Group, Institut für Theoretische Physik and Cluster of Excellence: Engineering of Advanced Materials, Friedrich Alexander Universität Erlangen-Nürnberg, 91052 Erlangen, Njemačka*

³*II. Institut für Theoretische Physik, Universität Stuttgart, 70569 Stuttgart, Njemačka*

Mehanička svojstva bioloških membrana često se određuju iz fluktuacija njihovog oblika. No, taj je zadatak značajno teži za membrane lokalno pričvršćene proteinima za druge biološke strukture, zbog netrivialnog utjecaja lokalnih pričvršćenja na fluktuacije. Nastavljajući se na uspješne modele slobodnih membrana, nalazimo analitički opis fluktuacija lokalno pričvršćenih membrana. Rezultate potvrđujemo Langevinovim simulacijama. Nadalje, modeliramo kako membranske fluktuacije utječu na frekvencije pucanja i stvaranja veza između membrana i drugih bioloških struktura, igrajući ključnu ulogu u raznim biološkim procesima.

[1] J. A. Janeš, H. Stumpf, D. Schmidt, U. Seifert, A.-S. Smith - Statistical mechanics of an elastically pinned membrane: Static profile and correlations, arXiv:1806.05109 [physics.bio-ph]

[2] J. A. Janeš, D. Schmidt, U. Seifert, A.-S. Smith - Statistical mechanics of an elastically pinned membrane: Equilibrium dynamics and power spectrum, arXiv:1806.10490 [physics.bio-ph]

Uloga fizičara u znanstvenom (STEM) obrazovanju od rane dobi za zanimanja i građane 21. stoljeća

Dalibor Paar¹

¹D. Paar Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu

Nova aktivnost HFD-a je „Znanstveno (STEM) obrazovanje od rane dobi – prema suvremenom obrazovanju za zanimanja i građane 21. stoljeća“.

Današnji brzi razvoj umjetne inteligencije i automatizacija najavljuju budućnost u kojoj će roboti i softver značajno reducirati potrebu za ljudskim radnicima. Dok se otvara sve više radnih mjesta za zanimanja 21. stoljeća i samo u Europskoj uniji nedostaju milijuni stručnjaka u tom području, obrazovni sustavi educiraju za zanimanja prošlog stoljeća, a broj tih radnih mjesta pada.

U Europskoj uniji je velika zabrinutost da su obrazovani sustavi zastarjeli i ne uvažavaju činjenicu da su ogromne količine aktualnih znanja dostupne učenicima putem informacijskih tehnologija. Način na koji se znanost i tehnologija uče ima malo poveznica sa načinom na koji se znanost radi; znanost je prekrasna i zabavna, zahtijeva znatiželju, maštu i nezavisno razmišljanje. Zato je sukladno strategijama Europske komisije [1], znanstveno obrazovanje, posebice fiziku, potrebno uvesti od rane dobi u vrtiće [2] i u razrednu nastavu, a suvremene fizikalne sadržaje uvoditi u predmetnu nastavu i međupredmetne sadržaje uz interdisciplinarno povezivanje.

Znanost djeci otvara um čudima prirodnog svijeta, osposobljava ih kognitivnim i alatima za rješavanje problema koji će im koristiti u budućnosti. Motivacija i inspiracija su ključevi suvremenog obrazovanja. Glavni cilj treba biti da se već u ranoj dobi pobudi interes djece za fiziku i druga STEM područja.

Potreban je izlazak iz razmišljanja u okvirima predmetne nastave fizike na cjelokupno formalno, neformalno i informalno obrazovanje. Hrvatski fizičari kao znanstvenici i eksperti trebaju dati snažan poticaj suvremenom pristupu ranom učenju, djecu treba od rane dobi izložiti najaktualnijim temama današnje znanosti i tehnologije. Interferencija s neformalnim i informalnim obrazovanjem otvara brojne mogućnosti.

[1] Hazelkorn E., ed. (2015). Report to the European Commission of the Expert Group on Science Education. Science Education for Responsible Citizenship. European Union, Directorate-General for Research and Innovation. 85 pp.

[2] Trundle, C. K. and Sackes M. (ed.) (2015). Research in Early Childhood Science Education. Springer, 400 pp.

Fotoionizacija alkalijskih molekula

Goran Pichler¹

¹*Institut za fiziku, HAZU*

Visoko temperaturne alkalijske pare omogućavaju opažanje karakterističnih vrpca alkalijskih molekula [1-5]. Posebno se ističu homonuklearne i heteronuklearne alkalijske molekule. Heteronuklearne alkalijske molekule posjeduju trajni dipolni moment, što omogućuje razne primjene. Analiza opaženih apsorpcijskih ultraljubičastih spektara svih dvoatomskih alkalijskih molekula ukazuje na dva moguća objašnjenja njihovog postanka. U prvoj mogućnosti objašnjenja koristi se direktna fotoionizacija u molekularni ion, pri čemu se oslobađa slobodni electron određene energije. U drugoj mogućnosti uvodi se mogućnost dvostrukog elektronskog pobuđenja s energijom stanja iznad prvog potencijala ionizacije. Takvo dvostruko pobuđenje neutralne alkalijske molekule povlači mogućnost autoionizacije. Diskutirati ćemo izborna pravila za sve spektralne prijelaze u homonuklearnim (Cs₂, Rb₂) i heteronuklearnim (RbCs, KCs, KRb) alkalijskim molekulama. Na kraju ćemo prikazati mogućnost primjene u solarnim termionskim konvererima.

[1] M. Rakić, R. Beuc, N. Bouloufa-Maafa, O. Dulieu, R.Vexiau, G.Pichler, and H. Skenderović J Chem Phys 2016; 144: 204310 (7pp)

[2] G. Pichler, R. Beuc, J. Kokaj, D.Sarkisyan, N. Jose and M. Joseph, Photoionization and absorption spectrum of KCs molecule, to be published (2018)

[3] M. Rakić and G. Pichler, Structured photoionization bands of RbCs, to be published (2018).

[4] G Pichler, Y Makdisi, J Kokaj, N Thomas, J Mathew J Phys B: At, Mol and Opt Phys 48 (2015) 165002 (8pp)

[5] M. Rakić and G. Pichler, JQSRT 208 (2018) 39 (5pp).

Demonstracijski intervjui iz područja valne optike

Karolina Matejak Cvenić¹, Maja Planinić¹

¹Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb

Interferencija, ogib i polarizacija svjetlosti temeljne su pojave valne optike, dijela fizike koji se u hrvatskom školstvu obrađuje u završnim razredima srednjih škola. Dosadašnja istraživanja u području edukacijske fizike [1,2] pokazuju kako brojni učenici i studenti u raznim zemljama imaju problema s konceptualnim razumijevanjem ovih pojava i s njima povezanih pojmova.

Potaknuti tim rezultatima, odlučili smo istražiti razumijevanje ovih pojava i koncepata iz valne optike kod učenika završnih razreda zagrebačkih gimnazija korištenjem demonstracijskih intervjua. U tu je svrhu izabrano sveukupno 9 učenika iz tri različite gimnazije, jedne klasične i dvije opće. Svaku školu zastupalo je po troje učenika s ocjenama iz fizike od 3 do 5. Učenici su prethodno obradili valnu optiku u redovnoj nastavi fizike.

Pripremljena su pitanja koja prate četiri pokusa vezana uz polarizaciju svjetlosti, interferenciju svjetlosti na dvije pukotine, ogib svjetlosti na pukotini i ogib svjetlosti na optičkoj rešetci, te je pomoću njih provedeno devet polustrukturiranih demonstracijskih intervjua. Intervjui su zvučno snimani i kasnije transkribirani. Od učenika se tražilo aktivno sudjelovanje u njima, korištenjem think aloud tehnike. Učenici su davali svoja predviđanja ishoda pokusa, opažanja, te objašnjenja danih predviđanja i opažanja.

U izlaganju će se predstaviti rezultati intervjua, uočene učeničke konceptualne poteškoće u valnoj optici, te njihova usporedba s ranije pronađenim poteškoćama učenika iz drugih zemalja.

[1] Wosilait, Karen, et al. American Journal of Physics 67, S5 (1999)

[2] Ambrose, Bradley S., et al. American Journal of Physics 67, 146 (1999)

Mnogočestična lokalizacija: dugovremenske korelacije gustoće naboja

Juraj Krsnik¹

¹*Institut za fiziku, Zagreb*

Unutar modela mnogočestične lokalizacije korištena je aproksimacija reducirane baze za izračun korelacijskih funkcija. Razmatran je Heisenbergovog model lanca s neredom koji se mapira na fermionski model bez spina. Unutar njega je računata krutost nabojnih stupnjeva slobode te njena ovisnost o jakosti nereda. Krutost poprima konačne vrijednosti za jaki nered unutar neergodične faze dok nestaje u granici slabog nereda. Rezultati aproksimacije reducirane baze uspoređeni su s egzaktnim vrijednostima u različitim režimima parametara te su raspravljena pojedina tipična i netipična ponašanja metode u ovisnosti o konfiguracijama nereda. Posebice, aproksimacija reducirane baze pokazuje svoje prednosti pri računanju dugovremenskih korelacija za jače nereda, što omogućuje proučavanje sustava linearnih dimenzija koje nije moguće ispitati metodama egzaktno dijagonalizacije. Vrijednosti krutosti gustoće naboja dobivene egzaktnom dijagonalizacijom nadopunjene su vrijednostima krutosti gustoće naboja sustava većih linearnih dimenzija dobivenim u aproksimaciji reducirane baze te su ukupni rezultati skalirani na termodinamičku granicu. Rezultati skaliranja ukazuju da na jakim neredima krutost nabojnih stupnjeva slobode ostaje konačna kako linearna dimenzija sustava raste dok u granici slabog nereda iščezava, što sugerira pojavu mnogočestične lokalizacije, odnosno prijelaza iz ergodične u neergodičnu, lokaliziranu fazu za konačnu kritičnu vrijednost jakosti nereda i u termodinamičkoj granici.

Ključne riječi: mnogočestična lokalizacija, aproksimacija reducirane baze, krutost gustoće naboja, ergodičnost.

[1] Basko D. M.; Aleiner I. L.; Altshuler B. L. Metal–insulator transition in a weakly interacting many-electron system with localized single-particle states. // *Annals of Physics* 321, 5 (2006) 1126 - 1205

[2] Pal A.; Huse D. A. Many-body localization phase transition. // *Phys. Rev. B* 82, 174411 (2010)

[3] Barišić O. S.; Kokalj J.; Balog I.; Prelovšek P. Dynamical conductivity and its fluctuations along the crossover to many-body localization. // *Phys. Rev. B* 94, 045126 (2016)

[4] Nandkishore R.; Huse D. A. Many-body localization and thermalization in quantum statistical mechanics. // *Annual Review of Condensed Matter Physics* 6, 15 - 38 (2015)

[5] Prelovšek P.; Barišić O. S.; Mierzejewski M. Reduced-basis approach to manybody localization. // *Phys. Rev. B* 97, 035104 (2018)

Univerzalno ponašanje sustava malog broja čestica

Petar Stipanović¹, Leandra Vranješ Markić¹, Andrii Gudyma¹, Jordi Boronat²

¹*Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Ruđera Boškovića 33, HR-21000 Split, Hrvatska*

²*Departament de Física i Enginyeria Nuclear, Campus Nord B4-B5, Universitat Politècnica de Catalunya, E-08034 Barcelona, Španjolska*

Prezentiramo rezultate istraživanja osnovnog stanja kvantnih N -čestičnih sustava za $N \leq 5$. Proučavane su stabilne kombinacije čistih i miješanih sustava formiranih od izotopa spin-polariziranog vodika, helija, neona, argona, alkalijskih i zemnoalkalijskih elemenata te razni modelski sustavi. Korištenjem difuzijskoga Monte Carla s čistim estimatorima, procijenjene su energije i strukturne osobine.

U kontekstu univerzalnosti, literatura često stavlja poseban naglasak na 2- i 3-čestična halo stanja [1,2], odnosno na slabo vezane sustave koji zadiru duboko u klasično zabranjeno područje. Kako bi se usporedili halo sustavi iz različitih područja fizike, uvode se bezdimenzionalne mjere energije i veličine sustava. Promatraju se različite karakteristične duljine za koje odnos skalirane veličine i energije postaje jedinstven.

Cilj nam je bio poopćiti spomenuto skaliranje, odnosno učiniti ga primjenjivim ne samo za slabo-vezane, nego i jako-vezane sustave i sustave proizvoljnog broja čestica. Tako smo proširili istraživanje na tetramere i pentamere, krećući od halo stanja i prateći ponašanje daleko ispod halo područja prema jako vezanim sustavima. Dobiveni su jedinstveni odnosi skalirane širine i energije istočestičnih sustava te su određeni uvjeti primjenjivosti na miješane sustave.

Od izračunatih strukturnih osobina izdvajamo prostorne razdiobe helija u dimeru i trimerima [3]. Iste su nedavno izmjerene i eksperimentalno [4] Coulombovim eksplozijama difraktiranih klastera. Nadalje, prostorne razdiobe u helij-alkalijskim tetramerima [5] i pentamerima [6] ukazuju da najteži atom izranja na površinu. Fascinantno je što se za ovako mali broj čestica nazire ponašanje predviđeno teorijski i potvrđeno eksperimentalno pri dopiranju helijevih nanokapljica alkalijskim elementom [7].

[1] A. S. Jensen, K. Riisager, D. V. Fedorov, E. Garrido, *Rev. Mod. Phys.* **76**, 215 (2004); K. Riisager, *Phys. Scr.* **T152**, 014001 (2013).

[2] P. Stipanović, L. Vranješ Markić, I. Bešlić, J. Boronat, *Phys. Rev. Lett.* **113**, 253401 (2014).

[3] P. Stipanović, L. Vranješ Markić, J. Boronat, *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **49** 185101 (2016).

[4] J. Voigtsberger *et al.*, *Nature Communications* **5**, 5765 (2014); M. Kunitski *et al.*, *Science* **348**, 551 (2015); S. Zeller *et al.* *PNAS* **113**, 14651 (2016).

[5] P. Stipanović, L. Vranješ Markić, *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **51**, 155101 (2018).

[6] P. Stipanović, L. Vranješ Markić, *Few-Body Syst.* **59**, 45 (2018).

[7] O. Bunermann *et al.*, *J. Phys. Chem. A* **111**, 12684 (2007); F. Ancilotto *et al.*, *Int. Rev. Phys. Chem.* **36**, 621 (2017).

Magnetski red u $\text{Cs}_2\text{Cu}_3\text{SnF}_{12}$ kagome spoju

Mihael S. Grbić¹, Hidekazu Tanaka², Mladen Horvatić³, Masashi Takigawa⁴

¹Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska

²Department of Physics, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan

³Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses, LNCMI-CNRS (UPR3228), UJF, UPS, and INSA, Grenoble, Francuska

⁴Institute for Solid State Physics, University of Tokyo, Kashiwa, Chiba 277-8581, Japan

Obitelj kagome spojeva $(\text{Rb}_{1-x}\text{Cs}_x)_2\text{Cu}_3\text{SnF}_{12}$ je zanimljiv jer se dopiranjem može postići dugodosežan antiferomagnetski red za $x = 1$, te kvantni nered za $x = 0$. Kod zadnjeg najbliži spinovi bakra upareni su u singlet i tvore karakteristični uzorak vjetrenjače [1]. Ova drastična izmjena osnovnog stanja uzrokovana je promjenom jakosti Dzyaloshinskii-Moriya (DM) interakcije među spinovima, na koju je supstitucija iona najviše utjecala [2]. Dapače, takvo ponašanje je u skladu s teorijskim očekivanjima koji predlažu postojanje kvantnog kritičnog prijelaza za određenu vrijednost DM vektora.

Nakon što smo prethodno nuklearnom kvadrupolnom rezonancijom pronašli da u $x=1$ spoju $\text{Cs}_2\text{Cu}_3\text{SnF}_{12}$ na temperaturi od 187 K dolazi do strukturalnog prijelaza, sad smo se fokusirali na niske temperature. Magnetski red je lokalno proučen metodom nuklearne magnetske rezonancije $^{63,65}\text{Cu}$ jezgri (koje nose spin) u nultom polju. Pronašli smo dvije vrste momenata koji generiraju različita hiperfina polja i stvaraju kompleksan spektar u širokom pojasu frekvencija. Dugodosežni red se razvije brzo ispod temperature prijelaza ($T_N = 21$ K), atipično za klasične sustave. U skladu s time je i temperaturno ponašanje spinske relaksacije koja pokazuje ovisnost T^n gdje je n različit od onog u klasičnim sustavima. Usporedbom s mjerenjima dobivenih iz neutronske raspršenja [3], odredili smo iznose lokalnih magnetskih momenata.

[1] M. S. Grbić et al., Phys. Rev. Lett. **110**, 247203 (2013).

[2] Katayama et al., Phys. Rev. B **91**, 214429 (2015).

[3] K. Matan, privatna komunikacija

Proučavanje organskog haldaneovog sustava m-NO₂PhBNO

Tonči Cvitanić¹, Mihael S. Grbić¹, Yoko Hosokoshi², Miroslav Požek¹

¹Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu

²Department of Physical Science, Osaka Prefecture University, Osaka

Haldaneov jednodimenzionalni AFM lanac cjelobrojnih spinova $S = 1$ je tipičan niskodimenzionalni sustav: očituje se bogatstvom faznog dijagrama, egzotičnim fazama i kvantnim faznim prijelazima. Osnovno stanje ovog sustava je singlet, a pobuđenja su spinoni koji tvore tripletnu vrpcu odvojenu energetske procijepom od osnovnog stanja. Haldane je pokazao da procijep nastaje zbog kvantnog svojstva cjelobrojnog spina i ne postoji u lancima polucjelobrojnih spinova.[1] Pri djelovanju vanjskog magnetskog polja jedna grana tripletne vrpce se zbog Zeemanovog efekta spušta do osnovnog stanja i pri kritičnom polju B_{c1} (QCP)[2] zatvara procijep. Drugo kritično polje B_{c2} opisuje polarizirani sustav kod kojeg je cijela tripletna vrpca popunjena. Između te dvije kvantne kritične točke dolazi do dugodosežnog koherentnog 3D uređenja opisanog AFM-XY hamiltonijanom. Spinovi u takvom sustavu se mogu mapirati na Bose-Einsteinov kondenzat.[3] Iznad uređenog stanja pobuđenja su 1D spinoni opisani Tomonaga-Luttinger tekućinom (TLL).[4]

Organski spoj mNO₂PhBNO (BoNO) je dobar predstavnik Haldaneovog lanca budući da njegov spinski hamiltonijan ne sadrži nikakve anizotropne članove, jer je cjelobrojni spin kreiran molekulskom orbitalom, za razliku od d -orbitale iona prijelaznog metala. Također, sa jačinom interakcije $J \approx 10$ K, relativno visokom temperaturom uređenja $T_c \approx 2.7$ K i relativno niskim kritičnim poljima $B_{c1} \approx 1$ T, $B_{c2} \approx 30$ T predstavlja idealni spoj za proučavanje 1D lanca cjelobrojnog spina kao i cjelokupnog faznog dijagrama kondenzata.

Bit će prikazani rezultati mapiranja faznog dijagrama mjerenjem toplinskog kapaciteta u He3 VTlju ($T > 0.4$ K) i NMR mjerenja iznad $T > 1.6$ K na niskim poljima $B < 12$ T. Rezultati ukazuju na visoku anizotropiju i postojanje kvantne kritične točke na kritičnom polju B_{c1} . Mjerenja ukazuju na privlačnu interakciju u TLL režimu. Diskutirat će se BoNO sustav kao idealni haldaneov lanac.

[1] F. D. M. Haldane, *Phys. Rev. Lett.* **50**, 1153 (1983).

[2] S. Sachdev, *Quantum Phase Transitions*, 2nd. ed. (Cambridge University Press, Cambridge, 2011).

[3] V. Zapf, M. Jaime and C. D. Batista, *Rev. Mod. Phys.* **86**, 563 (2014).

[4] T. Giamarchi, *Quantum Physics in One Dimension* (Oxford University Press, Oxford, 2004).

Istraživanje stanja teških fermiona u $Ce_3Pd_{20}Si_6$ nuklearnom kvadrupolnom rezonancijom ^{105}Pd

I. Jakovac¹, M. Horvatić², S. Büchler-Paschen³, A. Prokofiev³, H. Mitamura⁴,
T. Sakakibara⁴, M. Takigawa⁴, M. S. Grbić¹

¹Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb

²LNCMI-CNRS (UPR3228), UJE, UPS and INSA, Grenoble, Francuska

³Institut für Festkörperphysik, TU Wien, Beč, Austrija

⁴Institute for Solid State Physics, University of Tokyo, Kashiwa, Chiba 227-8581, Japan

Konkurentne interakcije u materijalima pri niskim temperaturama rezultiraju pojavom brojnih faza - spinskih, nabojnih, orbitalnih uređenja. Kada je faznom prijelazu moguće pristupiti i pri nultoj temperaturi ugađajući tlak, magnetsko polje ili pak nešto treće, njemu je pridružena kvantna kritična točka (KKT)[1]. Fluktuacije u blizini kritične točke tada su u potpunosti kvantne prirode što u kombinaciji s iščezavajućom Fermijevom temperaturom rezultira pojavom kvantno kritične materije i univerzalnog opisa ovakvih prijelaza.

Sustavi teških fermiona su obećavajući materijali u istraživanju ovakvih prijelaza. Njihovo osnovno obilježje je rešetka lokaliziranih magnetskih f-momenata okruženih vodljivim elektronima, pri čemu je zanimljiva fizika uvjetovana konkurentnom Kondovom i RKKY interakcijom. Prolaz kroz KTT tipično rezultira divergencijom efektivne mase nosioca naboja, promjenom Fermijeve plohe (FP) te uspostavljanjem magnetskog uređenja. Dosad se smatralo kako je nagla promjena FP uzrokovana snažnim kvantnim fluktuacijama moguća samo u niskodimenzionalnim sustavima, te je otkriće istog fenomena u kubičnom sustavu i njegovo razumijevanje od iznimne važnosti.

$Ce_3Pd_{20}Si_6$ (CPS) je metal kubičnog kristalnog uređenja s dva neekvivalentna atoma cerija na kristalografskim pozicijama (4a) i (8c), u kojem snažne kvantne fluktuacije uzrokuju izrazito veliku efektivnu masu vodljivih elektrona. Radi dvije pozicije cerija dolazi do neobičnog nadmetanja u formiranju osnovnog stanja te sustav prelazi najprije u antiferokvadrupolarni ($T_Q = 470$ mK) pa antiferomagnetski ($T_N = 300$ mK) red bez primijenjenog magnetskog polja. Dosadašnja su istraživanja [2,3] odredila da je od dva cerija Ce(8c) magnetski aktivna pozicija. Primjenom magnetskog polja 1 T potiskuje se AF red i nastupa KTT s naglom promjenom Fermijeve plohe. Ponašanje osnovnog stanja CPSa u nultom magnetskom polju istraživano je nuklearnom kvadrupolnom rezonancijom ^{105}Pd jezgri do 50 mK, te u polju od 6 T nuklearnom magnetskom rezonancijom ^{29}Si jezgara. Usporedba s rezultatima DFT proračuna pokazuje izrazito dobro slaganje. Dobiveni rezultati ukazuju da se magnetsko uređenje vjerojatno uspostavlja između lokaliziranih momenata Ce(4a) pozicija, koje pokazuju i jake elektronske korelacije.

[1] J. Custers, et al. Nat. Mat. 11, 181 (2012).

[2] P. P. Deen et al. Phys. Rev. B 81, 064427 (2010).

[3] P. Y. Portnichenko et al., Phys. Rev. B 94, 094412 (2015).

Spinski 'shuttle' NEMS

Danko Radić¹

¹*Fizički odsjek, PMF, Zagreb*

Električni otpor metala do skala mikrometra uglavnom je dobro opisan Ohmovim zakonom. Na manjim skalama kvantnomehanički efekti vode na različite nelinearnosti koje predstavljaju temelj funkcionalnosti nanouređaja. Metalna ili poluvodička kuglica nanometarskih dimenzija postavljena između dva električna kontakta, izvora i odvoda pod prednaponom, predstavlja jedan primjer nanouređaja. U režimu kulonske blokade (zabrane zapsjednuća kuglice više od jednim elektronom), koji se daje regulirati naponom vrata, ostvaruje se kontrolirano, sekvencijalno tuneliranje elektrona kroz ovakav nanospoj koji nazivamo "single-electron" tranzistor. Ako kuglici omogućimo mehaničko titranje, npr. u van der Waalsovom potencijalu između kontakata, ostvarujemo nanoelektromehanički sustav (NEMS). Postignemo li uvjete pod kojima te oscilacije, vezane s transportom elektrona kulonskom silom između kuglice i kontakata, počnu akumulirati energiju iz prednapona, ostvarili smo elektromehaničku nestabilnost zbog koje struja kroz NEMS poraste za nekoliko redova veličine. Ovaj fenomen naziva se (električni) "shuttling" jer pokretna kuglica sinkronizirano pospješuje električni transport prenošenjem naboja svojim mehaničkim gibanjem [1]. U ovom radu istražujemo analognu mogućnost transporta spina korištenjem magnetske interakcije izmjene umjesto kulonske interakcije na naboj [2]. Proučavani su utjecaj kulonske blokade i temperatura magnetskih kontakata na pojavu spinskog "shuttlinga".

[1] L. Y. Gorelik, A. Isacsson, M. V. Voinova, B. Kasemo, R. I. Shekhter, and M. Jonson, *Phys. Rev. Lett.* **80**, 4526 (1998)

[2] S. I. Kulinich, L. Y. Gorelik, A. N. Kalinenko, I. V. Krive, R. I. Shekhter, Y. W. Park, and M. Jonson, *Phys. Rev. Lett.* **112**, 117206 (2014)

Utjecaj nesumjerljivo modulirane strukture na fizikalna svojstva $\text{Fe}_{1.35}\text{Ge}$

J. Jačimović¹, Petar Popčević³, A. Arakcheeva¹, P. Pattison¹, A. Pisoni⁴, K. Katrych¹, K. Prša¹, H. Berger¹, Ana Smontara³, L. Forro¹

¹*Laboratory of Physics of Complex Matter, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, CH-1015 Lausanne, Switzerland*

²*ABB Corporate Research, Baden-Daettwil, Switzerland*

³*Institute of Physics, Bijenicka c. 46, HR-10000 Zagreb, Croatia*

⁴*Swiss-Norwegian Beamline, ESRF, BP-220, 38043 Grenoble, France and Crystallography Competence Center, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1015 Lausanne, Switzerland*

Međusobna povezanost kristalne strukture, elektronskih i magnetskih svojstava materijala bila je kamen temeljac fizike čvrstog stanja. Ovdje prikazujemo nesumjerljivo moduliranu strukturu feromagnetskog $\text{Fe}_{1.35}\text{Ge}$ koja je posljedica uređenja vakancija ovdje prisutnih u visokoj koncentraciji. Takva struktura povećava lokalizaciju slobodnih nosioca naboja koja rezultira gotovo temperaturno neovisnom električnom vodljivošću. Na sličan način takva struktura utječe i na širenje topline tako da temperaturna ovisnost toplinske vodljivosti metalnog $\text{Fe}_{1.35}\text{Ge}$ podsjeća na toplinsku vodljivost kvasiperiodičnih kristala. Mjerenja Seebeckovog koeficijenta također ukazuju na mogućnost elektronske lokalizacije u ovoj kristalnoj strukturi.

Porast temperature u ljudskom zubu uslijed bušenja pomoću femtosekundnog lasera

Hrvoje Skenderović¹, Mario Rakić¹, Eva Klarić Sever², Silvije Vdović¹

¹*Institute of Physics, Bijenička cesta 46, 10000 Zagreb, Croatia*

²*School of Dental Medicine, University of Zagreb, Gundulićeva 5, 10000 Zagreb, Croatia*

Uslijed povećane dostupnosti lasera s ultrakratkim pulsevima (USP) pojavile su se brojne studije koje se bave međudjelovanjem USP pulseva i tvrdih zubnih tkiva sa svrhom zamjene mehaničkog stomatološkog svrdla. Još uvijek su mehanička svrdla jeftinija i brža od lasera, ali neprijatne vibracije, mehanički i temperaturni šok, upotreba lokalne anestezije su značajke koje bi se mogle izbjeći uvođenjem novih tehnika. Alternativa mehaničkom bušenju bi trebala imati razumnu brzinu odstranjivanja zubnog materijala bez štete po okolna tkiva, najmanji mogući porast temperature, glatki površinski sloj izrađenog kaviteta radi što bolje adhezije materijala ispuna i bez potrebe za anestezijom. Prema nekim klasičnim studijama dentalan pulpa je izuzetno osjetljiva na varijacije temperature i svaki porast temperature veći od 5,6 C dovodi do nekroze u 15% slučajeva. Zbog toga je neophodno ograničiti porast temperature u kliničkoj upotrebi lasera.

Postoje brojne studije o upotrebi USP lasera za bušenje zuba i nešto manji broj radova koji proučava termalne efekte pri ovoj proceduri. U našem smo istraživanju koristili skenirajući tip eksperimenta i simultano s formiranjem kaviteta mjerili temperaturu pomoću termočlanka koji je bio postavljen na mjesto dentalne pulpe. Numerički smo modelirali prijenost topline sa svrhom određivanja sigurnih parametara za moguću upotrebu USP lasera za preparaciju tvrdih zubnih tkiva. U usporedbi s postojećim radovima, u našoj se studiji koriste manja repeticija i sporije skeniranje. Femtosekundni laserski snop je fokusiran pomoću mikroskopskog objektiva na uzorak zuba koji je montiran na xyz pomične sanjke. Uzorak je ekstrahiran ljudski kutnjak koji je prerezan longitudinalno u dvije polovice i pulpa je odstranjena. Tanki termočlanak je umetnut na mjesto pulpe, i dvije polovice su ponovno spojene. Izbušene su pravokutne rupe pomoću lasera s različitim brzinama skeniranja i različitim snagama lasera. Koristili smo analizu s konačnim elementima kako bi razvili puni 3D model prijenosa topline s pripadajućim rubnim uvjetima. Upadni toplinski tok je modeliran kao pomični volumetrijski izvor topline gdje je korištena poznata optička dubina prodiranja za dentin i Beer-Lambertov zakon za modeliranje toplinskog toka na površinu. Gubici topline s gornje površine su modelirani kao radijacijski gubici u okolinu dok je gubitak toplina s drugih graničnih površina određen koeficijentom prijenosa topline H koji je bio jedini prilagođeni parametar.

U zaključku, koristili smo fs laser kako bi formirali kavitete u uzorcima zuba, mjerili smo porast temperature i numerički modelirali prijenos topline. Utvrdili smo uvjete za siguran rad i provjerili ih mjenjajući prostorne dimenzije kaviteta, snage lasera i brzine skeniranja. Ovaj rad može doprinijeti procjeni korisnosti upotrebe fs lasera u restorativnoj stomatologiji.

Magnetski moment sile u topološkim polumetalima

Filip Orbanić¹, Mario Novak¹, Bruno Gudac¹, Nikola Biliškov², Alix McCollam³, Lucas Tang³, Ivan Kokanović¹

¹Fizički odsjek, Prirodoslovno matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Hrvatska

²Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvatska

³High Field Magnet Laboratory, Radboud University, Nijmegen, Nizozemska

Topološki polumetali su klasa 3D materijala u kojima se vodljiva i valentna vrpca dodiruju u diskretnim točkama (Diracovi polumetali) ili linijama (linijski Diracovi polumetali) i posjeduju linearnu (Diracovu) disperziju oko takvih sjecišta. Zbog netrivialne topologije energijskih vrpca i postojanja Diracovih točaka ili linija koje su zaštićene dodatnim kristalnim simetrijama, kvazičestična pobuđenja u takvim materijalima predstavljaju fundamentalno vrlo zanimljive Diracove ili Weylove fermione [1]. Jako magnetsko polje može uzrokovati otvaranje procjepa (zbog lomljenja simetrije) ili razdvajanje jedne Diracove točke na par Weylovih točaka.

Magnetski odgovor Diracovih i Weylovih fermiona u području kvantnog limita je različit pa ih se mjerenjem magnetskog momenta sile može razlikovati [2].

Na poljima ispod kvantnog limita u magnetskom momentu sile vidljive su kvantne oscilacije (de Haas-van Alphen efekt) čije frekvencije su određene oblikom Fermi površine. Na dovoljno visokim poljima može doći do tuneliranja elektrona između različitih područja Fermi površine odvojenih malim procjepom (magnetski proboj), a taj efekt će biti jasno vidljiv u kvantnim oscilacijama.

Magnetski moment sile mjereno je metodom piezo-poluge u poljima do 35 T u Diracovom polumetalu Cd_3As_2 i linijskim Diracovim polumetalima ZrSiS i HfSiS .

U Cd_3As_2 je uočeno anomalno ponašanje magnetskog momenta sile na poljima oko kvantnog limita, a anomalija snažno ovisi o kutu između polja i osi simetrije na kojoj se nalaze Diracove točke.

U ZrSiS i HfSiS izmjerene su kvantne oscilacije u magnetskom momentu sile. Fourierova analiza daje dvije grupe frekvencijskih doprinosa: u području od 8-1000 T i 8-17 kT u ZrSiS te 20-1000 T i 7-10 kT u HfSiS . Grupa visokih frekvencija može biti objašnjena efektom magnetskog proboja. Dio nižih frekvencija dolazi od različitih dijelova Fermi površine [3], dok su neke opet posljedica tuneliranja elektrona. Uočeno je i da visokofrekventni doprinos oscilacijama iščezava zakretanjem magnetskog polja od smjera kristalne c -osi za samo nekoliko stupnjeva.

[1] Wehling, T. O., Black-Schaffer, A. M., and Balatsky, A. V. (2014). *Advances in Physics*.

[2] Moll, P. J. W., Potter, A. C., Nair, N. L., Ramshaw, B. J., Modic, K. A., Riggs, S., ... Analytis, J. G. (2016). *Nature Communications*.

[3] Pezzini, S., Van Delft, M. R., Schoop, L. M., Lotsch, B. V., Carrington, A., Katsnelson, M. I., ... Wiedmann, S. (2018). *Nature Physics*.

Utjecaj parametara pripreme na morfologiju, strukturu i opto-električka svojstva TiO_2 nanosenog na ZnO nanostupice različitim postupcima: istraživanje svojstava za fotonaponsku primjenu

Andreja Gajović¹, Ivana Panžić¹, Krunoslav Juraić¹, Nikša Krstulović², Vilko Mandić³, Jelena Macan¹, Domagoj Belić¹, Milivoj Plodinec¹, Davor Gracin¹, Ana Šantić¹, Marc Gragor Willinger⁴

¹Institut Ruđer Bošković

²Institut za fiziku

³Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu

⁴ETH Zurich

Nanostrukturirani TiO_2 se koristi u perovskitnim i bojom senzitiviranim fotonaponskim ćelijama (PV) kao sloj za vođenje elektrona zbog prikladnog "band gap"-a za prihvaćanje elektrona iz aktivnog sloja PV. Kombinacija velike reaktivnosti TiO_2 i velike energije vezanja ZnO, u kompozitnom sustavu bi se mogao olakšati proces prijenosa elektrona. S ciljem pripreme nanostrukture TiO_2 @ZnO jezgra-ljuska ("core-shell"), u ovom se radu TiO_2 nanosio na ZnO nanostupice pulsnom laserskom depozicijom (PLD), magnetronskim rasprašenjem (MS) i rotiranjem kemijski pripremljenog TiO_2 na ZnO nanostupicama (ZNR). Istražili smo utjecaj parametara pripreme na kristalnu strukturu i morfologiju nanokompozita te ih povezali s optičkim i električnim svojstvima. ZNR su pripremljeni sol-gel postupkom i naknadnim žarenjem radi dobivanja kristaliničnosti. U cilju izbora najoptimalnijeg postupka depozicije, TiO_2 tanki filmovi nanoseni su na ZNR pomoću PLD, reaktivnog MS, te nanošenjem sol-gela od TiO_2 , nakon čega slijedi žarenje pri 400-450 C. Struktura TiO_2 je istražena pomoću mikro-Raman spektroskopije, dok je morfologija i kristalna struktura na nano-skali istražena pomoću transmisijske i skenirajuće elektronske mikroskopije visoke rezolucije. Optička svojstva su istražena pomoću UV-vis spektroskopije, a za električnu karakterizaciju se primjenila IS. Ramanski rezultati pokazuju da su pripremljeni TiO_2 tanki filmovi amorfnji. Temperatura žarenja potrebna za kristalizaciju strukture TiO_2 sanataze (koja ima najpovoljnija opto-električna svojstva) je optimizirana na 400 C. Pokazano je da morfologija TiO_2 slojeva dobivenih PLD-om značajno ovisi o atmosferi i broju pulseva, dok u slučaju MS-a ovisi o atmosferi reaktivnog magnetrona. U slučaju sol-gel postupka za pripremu TiO_2 , glavni parametar je broj slojeva koji su nanoseni na ZNR. Korelirana je struktura pripremljenih TiO_2 @ZnO jezgra-ljuska tankih filmova s parametrima pripreme te optičkim i električnim svojstvima. Optička i električna svojstva dobivenih materijala bit će diskutirana u odnosu na PV primjenu nanokompozita.

Zahvala: Ovaj rad je financirala Hrvatska zaklada za znanost projektom IP-2014-09-9419 i bilateralni Hrvatsko-Njemački DAAD projekt.

Slojeviti metalo-organski multiferoici: magnetsko uređenje i potraga za magnetoelektričnim učinkom

Pavla Šenjug¹, Mirta Rubčić², Jure Dragović¹, Matija Kalanj¹, Filip Torić¹,
Damir Pajić¹

¹Fizički odsjek Prirodoslovno matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

²Kemijski odsjek Prirodoslovno matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Multiferoici su materijali koji istovremeno pokazuju barem dvije vrste uređenja, a posebice je zanimljiva pojava magneto-električnog vezanja koja omogućava utjecaj električnog polja na magnetizaciju i magnetskog polja na električnu polarizaciju.[1] Unatoč brojnim istraživanjima, nisu objašnjeni svi mikroskopski mehanizmi tog vezanja u različitim vrstama materijala. S druge strane, za učinkovitu primjenu magneto-električnih multiferoika (nove memorije, senzori, pretvarači signala, nanoelektronika) potrebno im je ugađati svojstva na temelju spoznaja o ponašanju pri različitim uvjetima.[2]

Najpoznatiji sobnotemperaturni multiferoik je bizmutov ferit [2], u kojem spiralno antiferomagnetsko stanje dovodi do električne polarizacije, a među perovskitima naročito su zanimljivi i dvostruki perovskiti. Oni su i motivacija za sintezu metalo-organskih perovskita, u kojima se umjesto jednoatomnih ugrađuju višeatomni ioni.

Raznolike mogućnosti dizajna multiferoika pružaju slojevite hibridne metalo-organske mreže, kakva je recimo struktura etilamonijeva tetraklorokuprata. U tom materijalu pojavljuje se magnetsko uređenje slojeva Cu(II) u oktaedarskim okruženjima klora i električno uređenje organskih skupina koje povezuju te slojeve.[3] Posebnosti etilamonijeva tetraklorokuprata su anizotropija magnetizacije, antiferomagnetsko uređenje ispod 10.2K koje s primjenom umjerenog magnetskog polja postaje feromagnetsko, i magnetski fazni prijelazi iz 2D u 3D Heisenbergov te potom u 3D Isingov magnet. Pored toga uočili smo i promjene magnetizacije prilikom strukturnih transformacija koje se mogu povezati s indirektnim magneto-električnim učinkom.

Radi promjene magnetskih i električnih svojstava zamijenili smo etilamonijev kation različitim izomerima odabranog aromatskog amina, s iznenađujućom pojavom promjene magnetskih svojstava od paramagnetizma pa do antiferomagnetizma sličnog kao kod etilamonijeva tetraklorokuprata.

Predstavljeni sustav pokazao se zanimljivim među mnogim drugim istraživanim materijalima, posebice i zbog mogućnosti zamjene metalnih iona te organskih skupina.[4]

[1] D. Khomskii, *Classifying multiferroics: Mechanisms and effects*, Physics **2** (2009) 20

[2] G. Catalan, J. F. Scott, *Physics and applications of bismuth ferrite*, Adv. Mater. **21** (2009) 2463

[3] B. Kundys et.al., *Multiferroicity and hydrogen-bond ordering in $(C_2H_5NH_3)_2CuCl_4$ featuring dominant ferromagnetic interactions*, Phys. Rev. B **81** (2010) 224434

[4] Ovaj rad financiran je uspostavnim istraživačkim projektom *Multiferoični i magnetoelektrični sustavi* Hrvatske zaklade za znanost UIP-2014-09-8276

Supramolekulske arhitekture halogenidnih koordinacijskih spojeva bakra(II) s aaminskim i laktamskim derivatima pirazina i pirimidina i magnetska svojstva

Nikolina Penić¹, Mladen Borovina², Marijana Đaković², Damir Pajić¹

¹Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb

²Kemijski odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb

Kako bismo bili u mogućnosti dizajnirati kristalne materijale željenih fizikalnih i kemijskih svojstava potrebna su saznanja o prethodno dobro istraženim topologijama. Vodikove veze jedne su od najbolje istraženih međumolekulskih interakcija zbog velikog značaja u kristalnom pakiranju te su se kao takve pokazale kao vrlo dragocjen i neizbježan alat za dizajn i pripremu novih molekulskih kristala. Međutim, brojne supramolekulske sintetske strategije su razvijene samo za organske sustave, dok metalo-organski sustavi niti približno nisu toliko istraženi [1]. Danas, razvoj tehnologija nameće potrebu za sličnim strategijama za metalo-organske sustave jer omogućavaju direktan pristup svojstvima koja općenito nisu dostupna u organskoj sredini, kao što su to npr. magnetska svojstva. Nadalje, kako bismo bili u mogućnosti dizajnirati materijale željenih magnetskih svojstava potrebno je razumjeti magneto-strukturna svojstva; kako i na koji način kristalno pakiranje, geometrija molekule, vezne udaljenosti, kutevi veza i međumolekulske interakcije utječu na magnetska svojstva kao što je i potrebno razumjeti mikroskopske interakcije koje utječu na fizikalna svojstva materijala [2]. Sa gledišta molekulskog magnetizma mikroskopske interakcije se ostvaruju između magnetnih iona u kristalnoj rešetci, a upravo dominantnost tih interakcija određuje vrstu magnetskog uređenja. Vodeći se time pokušali smo istražiti potencijalni prijenos sintetskih strategija iz organskog u metalo-organski sustav, magnetska svojstva sintetiziranih spojeva kao i pripadajuću magneto-strukturnu korelaciju.

Priredjen je niz koordinacijskih polimera bakra(II) s pirimidin-4-onom (4-pym), pirazin-2-onom (2-pyz) i 2-aminopirazinom(2-NH₂pz) te kloridnim i bromidnim protuionima kao ligandima. Ustanovljeno je da je supramolekulski motiv lanca C(4) koji je općenito opažen u kristalnim strukturama amida održiv i u metalo-organskoj sredini neovisno o organskom ligandu, oksidacijskom stanju te koordinaciji bakra. Također, ustanovljeno je da spojevi čija su magnetska svojstva mjerena pokazuju ponašanje jednodimenzijskog spinskog antiferomagnetskog lanca. Uočen je utjecaj protuiona na antiferomagnetsko međudjelovanje superizmjene bakrovih(II) iona, kao što je uočena i korelacija kuta Cu-X...Cu i interakcije superizmjene $|\vec{J}|$.

[1] M. C. Etter, *Acc. Chem. Res* **23** (1990) 120

[2] O. Kahn, *Molecular magnetism*, Wiley-VCH, (1992)

Radio funkcije luminoziteta unutar XXL-North polja

Bruno Šlaus¹, Vernesa Smolčić¹, i XXL konzorcij²

¹Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Bijenička cesta 32, 10000 Zagreb, Hrvatska

²Extragalactic observation program of the space mission XMM Newton

Funkcije luminoziteta, odnosno prostorna gustoća opaženih izvora dana po intervalima luminoziteta, važan su način statističkog istraživanja unutar astrofizike. Oblik funkcija luminoziteta te njihova promjena kroz kozmičko vrijeme daju uvid i ograničenja na prirodu i evoluciju promatranih objekata. Posebno su zanimljive funkcije luminoziteta aktivnih galaktičkih jezgri. Aktivne galaktičke jezgre nastaju kada postoji prirast (akrecija) materijala na centralnu supermasivnu crnu rupu dane galaksije. Dominantan oblik zračenja aktivnih galaktičkih jezgri u radio području je sinkrotronsko zračenje, koje nastaje interakcijom magnetskog polja i relativistički ubrzanih nabijenih čestica. U ovome radu određujemo funkcije luminoziteta u radio području spektra, što je najdirektniji način mjerenja evolucije radio izvora te nam daje važan uvid u evolucijske modele galaksija. Promatranja su vršena na frekvenciji 610 MHz unutar XXL-North polja. Koristimo podatke koji dolaze od opažanja Giant Metrewave Radio Telescope (GMRT) radio teleskopom. Radi detekcijskog limita istraživanja uzorak opaženih izvora sastoji se poglavito od aktivnih galaktičkih jezgri. Koristeći podatke The NRAO VLA Sky Survey (NVSS) istraživanja na 1400 MHz računamo spektralne indekse detektiranih izvora. Crvene pomake određujemo iz fotometrijskog kataloga XXL kolaboracije. Posebna pažnja posvećena je spajanju s fotometrijskim katalogom, pri čemu računamo vjerojatnost podudaranja zasebno za svaki izvor na bazi njegove magnitude i položaja (*engl.* Likelihood Ratio method). Poznavajući pomake ka crvenome i spektralne indekse opaženih izvora, stvaramo funkcije luminoziteta računajući maksimalni volumen u kojem pojedini izvor može biti opažen, čime korigiramo sistematske efekte nepotpunosti uzorka (takozvana V/V_{max} metoda). Uspoređujemo stvorene funkcije luminoziteta s podacima ostalih istraživanja i modelom evolucije preuzetim iz literature te zaključujemo da su slaganja dobra. Važnost istraživanja leži u istovremenoj širini i dubini XXL-North polja, čime funkcije luminoziteta pokrivaju područja velikih luminoziteta te velikih pomaka ka crvenome.

Ključne riječi: funkcije luminoziteta, aktivne galaktičke jezgre, sinkrotronsko zračenje, radio astronomija, evolucija aktivnih galaktičkih jezgri

Poravnanje depolariziranih kanala u međuzvezdanoj materiji s magnetskih poljem naše galaksije

David Prelogović¹, Vibor Jelić²

¹*Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek*

²*Institut Ruđer Bošković*

Nedavna mjerenja teleskopom LOFAR (Low Frequency Array) u radio-frekventnom području ($\sim 100 - 200$ MHz) ukazala su na bogatu morfologiju u polarizaciji galaktičkog sinkrotronskog zračenja. Iz mjerenih polarizacija u navedenom dijelu spektra, otkrivene su strukture primjenom "Rotation Measure" (RM) sinteze [1] (u suštini Fourierov transformat) koja se bazira na efektu Faradayeve rotacije polarizacije svjetlosti prilikom prolaska kroz ioniziranu međuzvezdnu materiju uz prisustvo magnetskog polja. Ovisnost Faradayeve rotacije o kvadratu valne duljine ključna je za raspletavanje promatranog zračenja po različitim Faradayevim dubinama. Faradayeva tomografija dijela neba centriranog oko radio izvora 3C196 [2], otkrila je vrlo duge i ravne depolarizirane kanale povezane s međuzvezdanom materijom naše galaksije. Zagonetka je zašto su nađene strukture toliko ravne i koje je njihovo porijeklo.

Za vrijeme predavanja prezentirat ćemo naše nedavno objavljene rezultate istraživanja [3], čiji je glavni cilj bio kvantitativno okarakterizirati depolarizirane kanale te usporediti njihovu orijentaciju s lokalnim magnetskim poljem naše galaksije i neutralnim HI filamentima detektiranim unutar istog dijela neba. U analizi smo, za detektiranje ravnih struktura i oblika, koristili rolling Hough transform algoritam [4]. Rezultati pokazuju da su većina depolariziranih kanala i HI filamenata orijentirani duž magnetskog polja naše galaksije, što upućuje na važnu ulogu magnetskog polja pri oblikovanju različitih faza međuzvezdane materije. Također, ravni depolarizirani kanali su najvjerojatnije rezultat specifične projekcije vrlo komplicirane trodimenzionalne morfologije međuzvezdane materije duž smjera gledanja.

[1] Brentjens, M. A. & de Bruyn, A. G. 2005, *A&A*, 441, 1217

[2] Jelić, V., de Bruyn, A. G., Pandey, V. N., et al. 2015, *A&A*, 583, A137

[3] Jelić, V., Prelogović, D., et al. 2018., *A&A*, 615, L3

[4] Clark, S. E., Peek, J. E. G., & Putman, M. E. 2014, *ApJ*, 789, 82

Aberacija i relativistički Dopplerov pomak

Zoran Basrak¹

¹*Institut Ruđer Bošković, Zagreb*

U svom fundamentalnom radu o specijalnoj teoriji relativnosti (STR) Einstein je izveo izraze za relativistički Dopplerov pomak (DP) i za aberaciju svjetlosti (AS) [1]. U suvremenoj notaciji izraz za DP valne duljine svjetlosti je

$$\lambda(\beta, \Theta) = \lambda = \lambda_o \gamma (1 - \beta \cos \Theta) \quad (1)$$

gdje je $\beta = |\mathbf{v}|/c$, a \mathbf{v} je relativna brzina svjetlosnog izvora koji emitira svjetlost valne duljine $\lambda_o = \lambda'$ u odnosu na opažača. Θ je kut koji zatvaraju \mathbf{v} i smjer opažanja, c je brzina svjetlosti u vakuumu, te $\gamma = 1/(1 - \beta^2)^{1/2}$. Crtane veličine se odnose na inercijalni sustav izvora svjetlosti S' , a necrtane na sustav opažača koji miruje u laboratorijskom sustavu S . Promjena valne duljine, DP, i smjera širenja AS su spregnute veličine jedinstvenog četverodimenzionalnog valnog vektora, a što je dosljedno provedeno u [2]. DP iznosi $\Delta\lambda_\Theta = \lambda - \lambda_o$, a kut AS je pomak kuta $\Delta\Theta = \Theta' - \Theta$.

U nerelativističkoj aproksimaciji $\beta \ll 1$ imamo

$$\lambda \approx \lambda_o \left(1 + \beta \cos \Theta + \frac{1}{2}\beta^2\right). \quad (2)$$

Iz ovog izraza je očigledno da je klasični član dominantan, a da je relativistički doprinos drugog reda. Na kutu $\pi/2$ klasični član isčezava i imamo $\Delta\lambda_{\pi/2} = \lambda_o \gamma \approx \frac{1}{2}\lambda_o \beta^2$.

Za ova opažanja β ne smije biti premali. Stoga je proteklo više od tri desetljeća prije Ivesove i Stilwellove provjere ovisnosti $\Delta\lambda$ o β [3]. Zanimljivo je istaknuti da su od tog prvog mjerenja iz 1938. godine brojni eksperimenti provjeravali valjanost STR koristeći samo DP, a da se niti jedno mjerenje nije pozabavilo problemom AS. Kod mjerenja AS za uobičajene vrijednosti β dostupne u laboratorijskim uvjetima potrebna je iznimno visoka rezolucija u kutu mjerenja.

U ovom radu na danoj relativnoj brzini β je istodobno proučavano ponašanje AS i DP u ovisnosti o kutu Θ . U blizini kuta $\pi/2$ za umjerene brzine $\beta \leq 0.2 \ll 1$ aberacija slijedi paraboličnu krivulju u ovisnosti o Θ . Kao posljedica pune simetrije inercijalnih sustava S' i S u STR uspostavljena je specifična povezanost vrijednosti pojedinog DP i pripadnog kuta AS za slučaj jednog detektora kao i za slučaj dva detektora spregnuta u konfiguraciju inspiriranu Ives-Stilwellovim smještajem detektora u naspramne kuteve. Osmišljen je i djelomično načinjen mjerni uređaj visoke preciznosti u pogledu definicije kuteva detekcije, a koji bi trebao omogućiti eksperimentalnu provjeru navedenih teorijskih predviđanja.

[1] A. Einstein, Ann. Phys. (Leipzig) **17** (1905) 891; vidi § 7.

[2] T. Ivezić, Foundations of Phys. Lett. **15** (2002) 27; vidi § 7.

[3] H. E. Ives i G. R. Stilwell, J. Opt. Soc. Am. **28** (1938) 215.

Kompaktni objekti u $f(T)$ proširenoj teoriji gravitacije

Saša Ilijić¹, Marko Sossich¹

¹*Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva (FER), Zavod za primijenjenu fiziku, Unska 3, HR-10 000 Zagreb, Hrvatska*

U ovom radu proučavamo statične sfernosimetrične konfiguracije idealnog fluida u kontekstu proširene gravitacije tipa $f(T)$. Konkretno, koristimo kovarijantnu formulaciju $f(T)$ gravitacije gdje je $f(T) = T + \frac{\alpha}{2} T^2$, te za fluid pretpostavljamo politropsku jednadžbu stanja s adijabatskim koeficijentom $\Gamma = 2$. Konstruirana rješenja imaju konačan polumjer (kao u OTR) te ih se može shvatiti kao model kompaktnih objekata. Funkcionalna ovisnost broja čestice o polumjeru zvijezde pokazuju da s pozitivnim (negativnim) parametrom α , manji (veći) broj čestica je potreban za formiranje zvijezde u odnosu na OTR. Za interpretaciju gustoće energije i tlakova unutar zvijezde koristimo analogiju s OTR gdje se učinci nastali zbog nelinearnosti $f(T)$ pokazuju kao $f(T)$ -fluid, koji zajedno s materijom doprinose ukupnom tenzoru energije i impulsa. Pronašli smo da za dovoljno veliki pozitivan parametar α dolazi do promjene predznaka (fazne tranzicije) gustoće energije i tlakova $f(T)$ fluida unutar zvijezde. Efektivni tenzor energije i impulsa unutar zvijezde je približno konstantan oponašajući nestlačivu jezgru. Taj zanimljiv fenomen nije pronađen u konfiguracijama s negativnim parametrom α .

[1] S. Ilijić and M. Sossich, "Compact stars in $f(T)$ extended theory of gravity", arXiv:1807.03068 [gr-qc]

[2] M. Krššák and E. N. Saridakis, "The covariant formulation of $f(T)$ gravity," Class. Quant. Grav. 33 no. 11, (2016) 115009, arXiv:1510.08432 [gr-qc]

Stelarne okultacije - suvremena metoda određivanja fizikalnih karakteristika Trans-Neptunskih objekata

Stefan Cikota¹

¹*Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zavod za primijenjenu fiziku, Unska 3, 10000 Zagreb, Hrvatska*

Najsuvremeniji optički teleskopi na svijetu, direktnim promatranjima najvećih Trans-Neptunskih objekata, zbog njihovih velikih udaljenosti i niskih albeda, u mogućnosti su razlučiti tek diskove. Razvojem CCD tehnologije proizašla je indirektna metoda određivanja fizikalnih karakteristika malih tijela Sunčeva sustava pomoću stelarnih okultacija.

Stelarne okultacije kratkotrajni su događaji u trajanju do najviše nekoliko desetaka sekundi u kojima objekt, primjerice malo tijelo Sunčeva sustava, prolaskom između zvijezde i promatrača blokira pristizanje svjetlosti sa zvijezde. Fotometrijsko mjerenje trajanja okultacije omogućuje precizno mjerenje veličine i oblika malih tijela Sunčeva sustava, pronalaženje atmosfera i ostalih fizikalnih značajki poput postojanja prirodnih satelita ili prstenja [1], i to s nekoliko redova veličine boljom razlučivošću od bilo koje druge postojeće zemaljske metode.

Predviđanje stelarnih okultacija Trans-Neptunskih objekata, zbog nepreciznosti orbitalnih parametara i zvjezdanih kataloga zahtijevaju posebnu pažnju. U ovom radu opisana je procedura predviđanja stelarnih okultacija Trans-Neptunskih objekata, te su predstavljeni atraktivni rezultati stelarne okultacije patuljastim planetom Haumea [2].

S ciljem dodatnog poboljšanja razlučivosti i promatranja struktura unutar do sada otkrivenog prstenja Trans-Neptunskih objekata, u pripremi je korištenje centralnog piksela teleskopa MAGIC (Major Atmospheric Gamma Imaging Cherenkov Telescopes) u svrhe promatranja stelarnih okultacija Trans-Neptunskih objekata.

[1] Cikota, S. et al. (2018), "Activity of (2060) Chiron possibly caused by impacts?", Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 475

[2] Ortiz, J. L. et al. (2017), "The size, shape, density and ring of the dwarf planet Haumea from a stellar occultation", Nature 550

Istraživanje korelacija u bljeskovima gama-zračenja pomoću hijerarhijskog Bayesovog modela

Ana Bacelj¹, Željka Marija Bošnjak², Jochen Greiner³, James Michael Burgess³

¹Sveučilište u Rijeci, Odjel za fiziku, 51000 Rijeka

²Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, 10000 Zagreb

³Max-Planck Institut za ekstraterestričku fiziku, 85748 Garching, Njemačka

Ekstragalaktički bljeskovi gama-zračenja (eng. *Gamma-Ray Bursts*, GRB) su kratki (traju od nekoliko ms do nekoliko stotina sekundi), intenzivni pulsevi gama-zraka (tipično između 10 keV i nekoliko MeV), koji dolaze sa kozmoloških udaljenosti i iz nasumičnih smjerova na nebu. Svjetlosne krivulje bljeskova gama-zračenja variraju na vrlo kratkim vremenskim skalama, a spektar im je ne-termički.

Ključna značajka spektara promptne emisije je opaženi odnos između trenutnog luminoziteteta i energije maksimuma zračenja νF_ν spektra. Ova korelacija, poznata kao Golenetskijeva korelacija, ima važne implikacije za fiziku GRBova i njihovu primjenu kao kozmoloških alata: korelacijom se opisuje svojstvo mehanizma emisije promptnog zračenja te se koristi za standardizaciju GRB energetike. Prezentirat ću hijerarhijski Bayesov model za proučavanje Golenetskijevine korelacije u referentnom sustavu izvora na uzorku od 26 bljeskova sa poznatim crvenim pomakom i svjetlosnim krivuljama oblika jednostavnog pulsa, detektiranih GBM (*Gamma-Ray Burst Monitor*) detektorom satelita Fermi, i predstaviti prednosti korištenja Bayesove metode.

[1] S. V. Golenetskii et. al., Correlation between luminosity and temperature in gamma-ray burst sources, *Nature*, 1983.

[2] James Michael Burgess, The rest-frame Golenetskii correlation via a hierarchical bayesian analysis, *MNRAS*, 2017.

[3] Stan Development Team, Stan modeling language users guide and reference manual, version 2.17.0. <http://mc-stan.org>, 2017. Accessed: 1.7.2018.

[4] Bob Carpenter, et. al., Stan: A probabilistic programming language, *Journal of Statistical Software*, 2017.

[5] Jeffrey D. Scargle, Studies in astronomical time series analysis. v. bayesian blocks, a new method to analyze structure in photon counting data, *The Astrophysical Journal*, 1998.

[6] Jake VanderPlas, Dynamic programming in python: Bayesian blocks. <https://jakevdp.github.io/blog/2012/09/12/dynamic-programming-in-python>, 2012. Accessed: 1.7.2018.

[7] D. Band et. al., BATSE observations of gamma-ray burst spectra. I - Spectral diversity, *The Astrophysical Journal*, 1993.

[8] Charles Meegan et. al., The fermi gamma-ray burst monitor, *The Astrophysical Journal*, 2009.

[9] Ryde, F., Svensson, R. 2002, *ApJ*, 566, 210

[10] Bosnjak, Z., Daigne, F. 2014, *A&A*, 568, A45

Utjecaj dvovalentnih kationa na strukturu i dinamiku deoksiribonukleinske kiseline (DNA)

Kristina Serec¹, Sanja Dolanski Babić¹, Silvia Tomić²

¹Zavod za fiziku i biofiziku, Medicinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 10 000, Hrvatska

²Institut za fiziku, Zagreb, 10 000, Hrvatska

Utjecaj dvovalentnih kationa na strukturu i dinamiku deoksiribonukleinske kiseline (DNA) istraživana je primjenom infracrvene spektroskopije s Fourierovom transformacijom na tankim filmovima DNA. Tanki filmovi DNA pripremljeni su iz niza otopina natrijeve soli DNA stalne koncentracije u prisustvu dodanih dvovalentnih kationa (magnezij ili mangan). Udio kationa izražen je preko omjera koncentracije kationa i fosfatnih skupina DNA, $[M]/[P]$ i ispitivani niz DNA otopina je u širokom području od 0,0067 do 30. Rezultati vibracijske spektroskopije na tankim filmovima Na DNA, Mg DNA i Mn DNA pokazuju da je, ovisno o tipu kationa i slanosti otopine, moguće razlučiti različite interakcije kationa i DNA [1,2]. Pri umjerenim koncentracijama dvovalentni kationi ostvaruju interakciju s DNA pretežno preko dugodosežnih nespecifičnih elektrostatskih interakcija, prvo na razini fosfatnih skupina, a kasnije i s bazama DNA te tako stabiliziraju B formu dvostruke uzvojnice [3]. S druge strane, velike koncentracije dodanih kationa uzrokuju jako Debyeovo zasjenjenje te perturbacije hidratacijske ljuske zbog čega dolazi do promjena u sekundarnoj strukturi DNA.

[1] K. Serec, S. D. Babić, R. Podgornik, and S. Tomić, *Nucleic Acids Res* 44, 8456 (2016).

[2] G. Ananyan, A. Avetisyan, L. Aloyan, and Y. Dalyan, *Biophys Chem* 156, 96 (2011).

[3] R. Ahmad, H. Arakawa, and H. A. Tajmir-Riahi, *Biophys J* 84, 2460 (2003).

Sažeci postera

Kvantne oscilacije u ZrSiS i HfSiS

Bruno Gudac¹, Mario Novak¹

¹*PMF Zagreb*

Postavljanjem materijala u magnetsko polje dolazi do degeneracije energetskih vrpca te promjena intenziteta magnetskog polja uzrokuje kvantne oscilacije u mnogim svojstvima. Prikazani su rezultati mjerenja magnetskog momenta ZrSiS i HfSiS kristala u kojima se vide kvantne oscilacije. Iz uočenih oscilacija određene su pripadajuće frekvencije te se iste mogu iskoristiti za rekonstrukciju Fermijeve površine. Također su određene efektivne mase nosioca naboja, Dingle temperatura te Berryjeva faza. Prikazana je usporedba vrijednosti u ovisnosti o kompoziciji materijala.

[1] D. Shoenberg, *Magnetic oscillations in metals*, 1984

Magnetotransportna svojstva tankih filmova Heuslerovih slitina Co_2TiSn i $\text{Co}_2\text{Ti}_{0.6}\text{V}_{0.4}\text{Sn}$

Marko Kuveždić¹, Emil Tafra¹, Junfeng Hu², Mario Basletić¹, Amir Hamzić^{1,2}

¹Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 10000 Zagreb, Hrvatska

²Fert Beijing Institute, BDBC, School of Electronic and Information Engineering, Beihang University, 100191 Peking, Kina

Heuslerove slitine na bazi Co privukle su veliki interes kao kandidati za primjenu u spintronici. Neki od ovih materijala karakteriziraju se kao polu-metalni (*half-metal*) feromagnetni s visokom Curievom temperaturom i polarizacijom spina struje [1]. Jedan od takvih je Co_2TiSn [2,3]. Za ovaj materijal teorijska istraživanja predviđela su postojanje topološkog semimetalnog stanja s Weylovim čvorovima koji se javljaju za određene smjerove magnetizacije, što bi trebalo rezultirati velikim magnetootporom i anomalnim Hallovim efektom [4] te da je glavni doprinos intrinzičnom anomalnom Hallovom efektu rezultat pojave Berryeve zakrivljenosti [5].

U ovom radu predstavljamo sistematsko istraživanje otpornosti, magnetootpora i Hallovog efekta Co_2TiSn i $\text{Co}_2\text{Ti}_{0.6}\text{V}_{0.4}\text{Sn}$ tankih filmova na više temperatura i za magnetska polja do 16 T primijenjena duž odabranih kristalografskih smjerova. Oba sustava pokazuju veliki anomalni Hallov efekt, ali ipak manji nego što je za neke standardne feromagnetske slitine. Izmjerena anomalna Hallova vodljivost za Co_2TiSn manja je od drugih rezultata [5], ali još uvijek u skladu sa teorijski izračunatom vrijednošću [5]. Za $\text{Co}_2\text{Ti}_{0.6}\text{V}_{0.4}\text{Sn}$ anomalna Hallova vodljivost je znatno niža. Za oba sustava dominantni doprinos anomalnom Hallovom efektu dolazi od intrinzičnog *side-jump* efekta, što je u skladu sa teorijskim predviđanjima [6] za sustave s visokom otpornošću.

Magnetootpor za oba sustava je malog iznosa (<1%); njegova ovisnost o magnetskom polju je tipična za feromagnetske sustave i ima standardnu sinusnu ovisnost o orijentaciji magnetskog polja u odnosu na struju. Anizotropije magnetootpora su male i temperaturno neovisne.

Iako naši rezultati ne pokazuju nedvojbeno jasan i specifičan potpis Weylovih čvorova, oni prepoznaju potencijal $\text{Co}_2\text{Ti}_x\text{V}_{1-x}\text{Sn}$ sustava za uporabu u spintroničkim uređajima.

[1] R. A. de Groot et al, Phys. Rev. Lett. **50** (1983) 2024

[2] M. Meinert et al, Phys. Rev. B **83** (2011) 064412

[3] L. Bainsla, K. G. Suresh, Curr. Appl. Phys. **16**(1) (2016) 68

[4] G. Chang et al, Sci. Rep. **6** (2016) 38839

[5] B. Ernst et al, arXiv:1710.04393 [cond-mat.mtrl-sci] (2017)

[6] N. Nagaosa et al, Rev. Mod. Phys. **82** (2010) 1539

Utjecaj naprezanja i broja slojeva na optička svojstva 2D antimona, indija i aluminijsa

Matko Mužević¹, Igor Lukačević¹, Maja Varga Pajtler¹, Sanjeev Kumar Gupta²

¹*Odjel za fiziku, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek*

²*Department of Physics and Electronics, St. Xavier's College, Ahmedabad, Indija*

2D materijali pokazuju se kao potencijalni kandidati u razvoju novih tehnologija uslijed mnogih pogodnih karakteristika, poput malih dimenzija, fleksibilnosti i lako promjenjivih elektronskih svojstava. Za moguću primjenu u optoelektroničkim uređajima, važno je poznavati optička svojstva korištenih materijala i načine njihove moguće modulacije. Kao jednostavan način modulacije svojstava 2D materijala proučavaju se naprezanje (koje se prirodno javlja u interakciji sa supstratom) te povećanje broja slojeva koji međudjeluju van der Waal-ovim silama. U ovom radu prikazujemo utjecaj različitih vrsta naprezanja i broja slojeva na elektronska i optička svojstva 2D alotropskih modifikacija antimonija, indija i aluminijsa.

[1] Xu, R. Zou, X. Liu, B. Cheng, H.-M. *Materials Today* **21** (2018) 391

[2] Zhou, X. Hu, X. Yu, J. Liu, Sh. Shu, Zh. Zhang, Q. Li, H. Ma, Y. Xu, H. Zhai, T. *Adv. Funct. Mater.* **28** (2018) 170658

[3] Singh, D. Gupta, S. K. Sonvane, Y. Lukačević, I. J. *Mater. Chem. C* **4** (2016) 6386

[4] Singh, D. Gupta, S. K. Lukačević, I. Sonvane, Y. *RSC Adv.* **6** (2016) 8006

Struktura lakih jezgara razmatrana putem reakcija ${}^7\text{Li}+{}^{6,7}\text{Li}$

D. Nurkić¹, M. Uroić², M. Milin¹, A. Di Pietro⁴, P. Figuera⁴, M. Fisichella⁴, M. Lattuada⁴, I. Martel³, Đ. Miljanić², M. G. Pellegriti⁴, L. Prepolec², A. M. Sanchez Benitez³, V. Scuderi⁴, N. Soić², E. Strano⁴, D. Torresi⁴

¹Sveučilište u Zagrebu, PMF, Fizički odsjek, Zagreb, Hrvatska

²Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvatska

³Sveučilište u Huelvi, Huelva, Španjolska

⁴INFN-LNS, Catania, Italija

U ovom će radu biti prezentirana kratka analiza eksperimenta obavljenog na institutu LNS-INFN u kojem su kao projektil korištene jezgre ${}^7\text{Li}$ na energijama 30 i 52 MeV-a, dok su mete imale strukturu ${}^7\text{LiF}$ i ${}^6\text{LiF}$. Dakle, mjereni su produkti reakcija ${}^7\text{Li}+{}^{6,7}\text{Li}$ da bi se dobio uvid u različite strukture lakih jezgara u tom masenom području. Posebna je pozornost pridana potrazi za molekularnim stanjima u jezgrama ${}^{10}\text{B}$ i ${}^{10}\text{Be}$. Molekularna stanja su iznimno deformirana stanja jezgre koja se sastoje od jedne ili više inertnih sredica vezanih valentnim nukleonima. Uz to se naglasak stavlja i na istraživanje raznih strukturnih konfiguracija u jezgrama ${}^7\text{He}$, ${}^9\text{Be}$ i ${}^{10-12}\text{B}$.

Eksperimentalni postav se sastoji od četiri nuklearna teleskopa koji pokrivaju polarne kutove u rasponu od 20° do 90° i koji omogućavaju identifikaciju čestica korištenjem standardnih ΔE -E tehnika.

Ovaj rad sadrži prethodno objavljene¹ metode analize i spektre iz jednočestičnih detekcija kao i neke nove spektre iz koincidencejskih detekcija. Preostali planovi za analizu, također će biti prezentirani.

[1] M. Uroić, M. Milin et al., Eur. Phys. J. A (2015) 51: 93

Postoji li kvadrupolna nematska faza u frustriranome spinskom lancu LiCuSbO_4 ? – Pogled NMR-om

Marko Bosiočić¹, Fabrice Bert², Sian E. Dutton³, Robert J. Cava⁴, Peter J. Baker⁵, Miroslav Požek¹, Philippe Mendels²

¹Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Bijenička c. 32, Zagreb, Hrvatska

²Laboratoire de Physique des Solides, CNRS, Université Paris-Sud, Université Paris-Saclay, 91405 Orsay Cedex, France

³Cavendish Laboratory, University of Cambridge, JJ Thomson Avenue, Cambridge CB3 0HE, United Kingdom

⁴Department of Chemistry, Princeton University, Princeton, New Jersey 08544, USA

⁵ISIS Facility, STFC Rutherford Appleton Laboratory, Didcot OX11 0QX, United Kingdom

U $J_1 - J_2$ spinskim lancima teorijski su predviđene pojave multipolnih nematskih faza u magnetskom polju neposredno ispod saturacijskog polja [1]. Do danas takve multipolne nematske faze, koje bi predstavljale magnetski kvantni analogon tekućih kristala [2], još nisu nedvojbeno eksperimentalno dokazane.

Frustrirani jednodimenzionalni kvantni magnet LiCuSbO_4 spada među rijetke sustave $J_1 - J_2$ modela spinskog lanca. Dodatna prednost ovog spoja je što mu je u ranijim mjerjenjima saturacijsko magnetsko polje procijenjeno na 12 T [3], što je eksperimentalno lako dosežno.

Mi smo proveli opsežno eksperimentalno istraživanje na spomenutom spoju u širokom rasponu temperatura (30 mK - 300 K) i magnetskih polja (0 - 13.3 T) metodama mionske spinske rotacije (μSR), ^7Li nuklearne magnetske resonancije (NMR) i magnetske susceptibilnosti (SQUID) [4]. μSR mjerenja u malim magnetskim poljima pokazuju da nema dugodosežnog magnetskog uređenja sve do najnižih temperatura (30 mK). U području niskih polja (0 - 4 T), naša mjerenja magnetske susceptibilnosti zajedno s ranijim mjerjenjima toplinskog kapaciteta [3] sugeriraju postojanje kratkodosežno korelirane vektorske kiralne faze. U području srednjih polja (5-12 T), NMR mjerenja pokazuju da sustav ulazi u trodimenzionalno uređenu fazu vala gustoće spina s $0.75\mu_B$ po jednoj poziciji bakra. Na još višim poljima pokazujemo da je magnetizacija zasićena iznad 13 T, pri čemu i NMR mjerenja relaksacije spin-rešetka $1/T_1$ otkrivaju spinski procjep širine 3.2(2) K.

Ovom studijom suzili smo područje u kojem treba tražiti moguću kvadrupolnu nematsku fazu na magnetska polja između 12.5 T i 13 T.

[1] J. Sudan, A. Lüscher, and A. M. Läuchli, Phys. Rev. B **80**, 140402 (2009)

[2] F. Mila, Physics **10**, 64 (2017)

[3] S. E. Dutton et al., Phys. Rev. Lett. **108**, 187206 (2012)

[4] M. Bosiočić et al., Phys. Rev. B **96**, 224424 (2017)

Tekuća mješavina bozonskih atoma

Viktor Cikojević¹, Leandra Vranješ Markić¹, Krešimir Dželalija¹, Petar Stipanović¹, Gregory Astrakharchik², Jordi Boronat²

¹*Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Splitu, Split, Hrvatska*

²*Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spain*

Izlažemo rezultate difuzijskog Monte Carlo proračuna za Bose-Bose mješavine s odbojnim interakcijama iste vrste čestica $g_{11} = g_{22} > 0$ te privlačnim interakcijama različitih čestica $g_{12} < 0$ na $T = 0$. Računi su egzaktni unutar statističkog šuma i tako idu dalje od perturbativnih procjena [4]. Odredili smo kritičnu jakost privlačne interakcije potrebnu za formiranje samo-vezane kapljice te smo izračunali energije i profile gustoće u ovisnosti o broju čestica u kapljici. [1] Nadalje, koristeći različite potencijale interakcije odredili smo jednadžbu stanja tekućine koja je univerzalna u dva parametra, duljini raspršenja i doseg potencijala interakcije. Lee Huang Yang korekcije na teoriju srednjeg polja dovoljne su za opis bozonskih mješavina samo vrlo blizu granice vezanja u teoriji srednjeg polja $g_{12}^2 = g_{11}g_{22}$, nakon čega je potrebno poznavati efektivni doseg potencijala za njihov potpuniji opis. Predviđanja su relevantna za nedavne eksperimente [2,3] u kojima su opažene ultrarijetke bozonske kapljice.

[1] V. Cikojević, K. Dželalija, P. Stipanović, L. Vranješ Markić, and J. Boronat, Phys. Rev. B 97, 140502(R) (2018)

[2] C. R. Cabrera, L. Tanzi, J. Sanz, B. Naylor, P. Thomas, P. Cheiney, and L. Tarruell, Science 359, 301 (2018)

[3] G. Semeghini, G. Ferioli, L. Masi, C. Mazzinghi, L. Wolswijk, F. Minardi, M. Modugno, G. Modugno, M. Inguscio, and M. Fattori, Phys. Rev. Lett. 120, 235301 (2018)

[4] D. S. Petrov, Phys. Rev. Lett. 115, 155302 (2015)

Istraživanje neutronske bogatih jezgara u okolini ^{208}Pb reakcijama prijenosa nukleona

Petra Čolović¹, Suzana Szilner¹, i članovi međunarodnih kolaboracija PRISMA, GALILEO², i MINIBALL³

¹Institut Ruđer Bošković, Zagreb

²INFN, Laboratori Nazionali di Legnaro, Legnaro, Italija

³ISOLDE, CERN, Ženeva, Švicarska

Svojstva neutronske bogatih jezgara u okolini teške dvostruko-magične jezgre ^{208}Pb , ključna su za razumijevanje sinteze teških elemenata. Ovo područje je upravo zbog blizine zatvorenih ljuski, idealno za proučavanje međudjelovanja između nukleona. Međutim, neutronske bogate teške jezgre posebice je teško proizvesti, a jedan od mogućih mehanizama su reakcije prijenosa nukleona među teškim ionima [1,2]. U slučaju neutronske bogatog snopa, prijenos nukleona odvija se u smjeru neutronske bogatog područja u blizini teškog binarnog partnera.

Nedavno smo istražili potencijal mehanizma prijenosa nukleona u proizvodnji neutronske bogatih jezgara mjereći reakciju $^{94}\text{Rb}+^{208}\text{Pb}$ izazvanu neutronske bogatim nestabilnim snopom ^{94}Rb , energije 6.2 MeV/A, isporučene HIE-ISOLDE postrojenjem na CERN-u. Složeni MINIBALL spektrometar visoke rezolucije u kombinaciji s položajno osjetljivim silicijskim strip-detektorima omogućio je uspješan odabir kanala prijenosa nukleona i pridruženih elektromagnetskih prijelaza između pobuđenih stanja binarnih partnera reakcije. Analiza podataka ukazuje da je dominantan tok prijenosa neutrona u smjeru neutronske bogatijih izotopa olova. Zapaženi su novi elektromagnetski prijelazi koji će nam pomoći da bolje razumijemo evoluciju magičnih brojeva, te time omogućiti nadogradnju postojećih teorijskih modela. Ovi novi rezultati bitno će doprinjeti našem razumijevanju proizvodnje neutronske bogatih teških jezgara [3,4] i otkriti pravi potencijal reakcija prijenosa nukleona na energijama u blizini kulonske barijere u proizvodnji istih.

[1] L. Corradi, G. Pollarolo, S. Szilner, Multinucleon transfer processes in heavy-ion reactions. *Journal of Physics G - Nuclear and Particle Physics* 36 (2009) 113101

[2] P. Čolović, S. Szilner, T. Mijatović, L. Corradi et al., Stretched configuration of states as inferred from γ -ray angular distributions in $^{40}\text{Ar}+^{208}\text{Pb}$ neutron transfer reactions, *Eur. Phys. J. A* 53 16 (2017)

[3] F. Galtarossa, L. Corradi, S. Szilner, E. Fioretto, G. Pollarolo et al., Mass correlation between light and heavy reaction products in multinucleon transfer $^{197}\text{Au}+^{130}\text{Te}$ collisions, *Physical Review C* 97 (2018) 054606

[4] T. Mijatović, S. Szilner, L. Corradi, D. Montanari, G. Pollarolo et al., Multinucleon transfer reactions in the $^{40}\text{Ar}+^{208}\text{Pb}$ system, *Physical Review C* 94 (2016) 064616.

Bozonske mješavine u zamci proučene kvantnim Monte Carlo simulacijama

Krešimir Dželalija¹, Viktor Cikojević¹, Leandra Vranješ Markić¹

¹*Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet*

Proučene su dvije vrste interagirajućih bozona u trodimenzionalnoj harmoničkoj zamci korištenjem Monte Carlo simulacija pri apsolutnoj nuli (DMC) i pri konačnim temperaturama (PIMC).

Određena su svojstva sustava do 100 atoma. Predstavljene su gustoće komponenti i njihova suprafluidnost u ovisnosti o temperaturi. Udio suprafluida za pojedinu komponentu je procijenjen pomoću estimatora površine u sklopu Monte Carlo integrala po stazama.

Predstavljeni su rezultati za različite temperature te režime miješanja i separacije dviju komponenti. Primijećeno je podudaranje predviđanja DMC-a i PIMC-a pri niskim temperaturama.

[1] Kean Loon Lee, Nils B. Jørgensen, I-Kang Liu, Lars Wacker, Jan J. Arlt, Nick P. Proukakis, *Phys. Rev. A* **94**, 013602 (2016).

[2] V. Cikojević, L. Vranješ Markić, J. Boronat, accepted for publication in *New Journal of Physics*

[3] D. Ceperley, *Reviews of Modern Physics* **67**, 279 (1995).

[4] M. Boninsegni, N. Prokof'ev, and B. Svistunov, *Physical Review E* **74**, 036701 (2006).

[5] M. Boninsegni, N. Prokof'ev, and B. Svistunov, *Physical Review Letters* **96**, 070601 (2006).

[6] P. Sindzingre, M. L. Klein, D. Ceperley, *Physical Review Letters* **63**, 1601 (1989).

Proučavanje pobuđenih stanja jezgre ^{12}Be raspadima na izotope helija

N. Vukman¹, N. Soić¹, M. Freer², T. Davinson³, A. Di Pietro⁴, M. Alcorta⁵, D. Connolly⁵, A. Lennarz⁵, C. Ruiz⁵, A. Shotter⁵, M. Williams⁵, A. Psaltis⁶

¹*Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvatska;*

²*University of Birmingham, Birmingham, Ujedinjeno Kraljevstvo;*

³*University of Edinburgh, Edinburgh, Ujedinjeno Kraljevstvo;*

⁴*INFN Laboratori Nazionali del Sud, Catania, Italija;*

⁵*TRIUMF, Vancouver, Kanada;*

⁶*McMaster University, Hamilton, Kanada*

Lake jezgre, zbog malog broja relevantnih stupnjeva slobode, predstavljaju izvrstan sistem za proučavanje osnovnih principa nuklearne interakcije: od jedno-nukleonske dinamike i više-nukleonskih korelacija, preko pojave klasteriranja i evolucije samog efekta s porastom broja neutrona u jezgri, do egzotičnih struktura kao što su nuklearne molekule (prim. ^{10}Be). Struktura pobuđenih stanja jezgre ^{12}Be , koja se raspadaju u izotope helija, proučavana je do sada u više navrata, no eksperimentalnih je podataka za sada još malo, te pojedini ukazuju na međusobno kontradiktorne rezultate. Posljednjih je godina napravljen značajan pomak u teorijskim opisima i modelima, koji ukazuju prvenstveno na postojanje egzotičnog klasteriranja u jezgri ^{12}Be , naznačujući ponajviše mogućnost postojanja molekularne α - $4n$ - α strukture. Zbog važnosti samog ^{12}Be za razumijevanje strukturnih promjena u neutronske bogatim lakim jezgrama, eksperiment: "Examining the helium cluster decays of the ^{12}Be excited states by triton transfer to the ^9Li beam" (glasnogovornici: N.Soić, M.Freer), predložen je i napravljen na akceleratorom postrojenju TRIUMF, Vancouver, CA; kako bi sakupili precizne eksperimentalne podatke o internoj strukturi pobuđenih stanja ^{12}Be .

Prije samog eksperimenta, napravljene su Monte Carlo simulacije u AUSA kodu, razvijenom od strane Sveučilišta Aarhus, DK; kako bi optimizirali eksperimentalni postav (geometriju detektora) i osiguralni maksimalnu efikasnost detekcije izotopa helija za izvedbu kinematički potpunog mjerenja. Snop ^9Li , dostavljen od strane ISAC-II akceleratorskog postrojenja, udarao je na metu LiF, gdje su bila smještena dva seta YY1 (Micron Semiconductor Ltd.) detektora (ΔE -E) pozicioniranih u LAMP konfiguraciji unutar TUDA komore. Preliminarna analiza jasno ukazuje na postojanje koincidentno detektiranih izotopa helija ($^6\text{He}+^6\text{He}$, $^8\text{He}+^4\text{He}$) nastalih raspadom stanja $^{12}\text{Be}^*$, proizvedenih primarno reakcijama snopa na ^7Li ($Q>0$) ili u suprotnom na ^{19}F ($Q<0$). Zbog velike razlike u Q vrijednosti reakcija ta se dva slučaja mogu lako odvojiti u analizi.

Preliminarni rezultati, ostvareni do sada, biti će prezentirani i diskutirani.

Električna vodljivost kompozita SU-8 i grafena pri temperaturama višima od sobne

Ana Puljas¹, Josipa Šćurla², Petra Pranić², Anton Kabaši¹, Ante Bilušić²,
László Forró³

¹Sveučilište u Splitu, Poljička cesta 35, 21000 Split

²Prirodoslovno-matematički fakultet u Splitu, Ruđera Boškovića 33, 21000 Split

³Švicarska savezna politehnika u Lausannei (EPFL), CH-1015 Lausanne, Švicarska

SU8 je polimer koji se koristi u procesu optičke litografije, a posebno je pogodan pri proizvodnji mikro-elektromehaničkih (MEMS) sustava jer omogućava dobivanje mikrostrukture velikog omjera dubinske i lateralne dimenzije. Kao takav, da je kojim slučajem i dobar vodič električne struje i topline, bio bi izvrstan kandidat za proizvodnju elektroničkih mikrosklopova na čipu. Stvaranjem različitih kompozita nastoje se povećati električna i toplinska vodljivost SU8 uz istovremeno zadržavanje izvrsnih fotolitografska svojstva. Neuspješan primjer takvih kompozita su oni s mikročesticama zlata, srebra ili nikla koji doduše imaju prihvatljivu električnu i toplinsku vodljivost, ali su zbog raspršenja svjetlosti na mikročesticama narušena njihova fotolitografska svojstva.

U ovome radu prikazujemo električnu otpornost kompozita SU8 i grafena s različitim težinskim omjerima grafena (od 0,3% do 4%) proizvedenih na EPFL-u [1]. Dok vrijednost električne otpornosti na sobnoj temperaturi pokazuje vrlo veliku ovisnost o koncentraciji grafena (i do četiri reda veličine), temperaturna (T -) ovisnost je univerzalna: do otprilike 500 K je aktivacijska, $\rho(T) \propto \exp(T_0/T)$, nakon čega pri višoj temperaturi slijedi brži pad električne otpornosti s povećanjem temperature, $\rho(T) \propto \exp(T_1/T^2)$.

[1] Maryam Majida *et al.*, Carbon **80** (2014) 364–372

Nelinearna vodljivost tankih filmova manganita



Branimir Mihaljević¹, Mario Basletić¹, Bojana Hamzić², Tomislav Ivek²,
Damir Altus², Silvia Tomić²

¹Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska

²Institut za fiziku, Zagreb, Hrvatska

Familija manganita kemijske formule $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ ima vrlo bogat fazni dijagram u kojem se glavna linija razgraničenja nalazi na koncentraciji $x = 0.5$. Većina istraživanja na ovim sistemima bila je koncentrirana na tzv. poddopirane manganite ($x < 0.5$) zbog postojanja efekta kolosalnog magnetootpora [1]. Drugi dio faznog dijagrama, $x > 0.5$ (predopirani manganiti), je puno manje proučavan. Poznato je da u tom području dopiranja dolazi do formiranja kompleksnih (kolektivnih) osnovnih stanja za čije podrijetlo još uvijek ne postoji koncenzus u znanstvenoj literaturi [2], što je vjerojatno posljedica činjenice da su pojedine vrste interakcija - nabojne, spinske, orbitalne, fononske - usporedive po intenzitetu. Jedan od načina kojim možemo dobiti bolju uvid u karakter osnovnog stanja je proučavanje nelinearne električne vodljivosti, metode u kojoj se pobuđuju kolektivni modovi (fazoni). Npr. poznati su teorijski rezultati [3] koji predviđaju divergenciju, odnosno konačan porast graničnog električnog polja u CDW odnosno SDW stanju, kako se temperatura približava temperaturi prijelaza. Za mjerenje nelinearne električne vodljivosti koristimo nedavno razvijeni unaprijeđeni postav za mjerenje nelinearne električne vodljivosti [4] koji omogućuje mjerenje s puno većom osjetljivošću te na uzorcima puno većih otpora od ranijih mjerenja.

U ovom radu ćemo prezentirati mjerenja nelinearne električne vodljivosti na tankim filmovima manganita u području koncentracija $0.5 \leq x \leq 0.75$, pri električnim poljima do otprilike 50 V/cm. Dobiveni rezultati pokazuju da je nelinearnost prisutna u području koncentracija $x \leq 0.58$ u temperaturnom području ispod oko 295 K. Za ostale koncentracije nije zapažena ovisnost vodljivosti o primijenjenom električnom polju do na 0.2% što ukazuje na to da u njima ili nema nelinearne vodljivosti ili se pojavljuje pri većim električnim poljima. Također, opaženo je da granično polje E_T , koje je reda veličine 10 V/cm, na pojedinim temperaturama ne pokazuje ovisnost o magnetskom polju ($B \leq 5$ T), premda je poznato da se otpor znatno mijenja s magnetskim poljem. Navedene rezultate ćemo usporediti s postojećim teorijskim modelima.

[1] A. P. Ramirez, Journal of Physics: Condensed Matter 9, 39 (1997) 8171

[2] S. Mori, C. H. Chen, S. W. Cheong, Nature, 392 (1998) 473-476

[3] K. Maki, A. Virosztek, Phys. Rev. B 42 (1990) 655

[4] B. Mihaljević, M. Basletić, T. Ivek, B. Hamzić, D. Altus, S. Tomić, 10. znanstveni sastanak Hrvatskog fizikalnog društva, Baška, Hrvatska (2017)

Primjena tehnika dubokog učenja u fizici teških iona

Marko Jerčić¹, Nikola Poljak¹, Filip Erhardt¹, Mirko Planinić¹, Antonija Utrobičić¹

¹*Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek*

Tijekom posljednjih godina metode strojnog učenja uspješno su primijenjene na raznovrsne sustave u fizici teških iona. U takvim sustavima, s visokim brojem stupnjeva slobode, metode strojnog učenja mogu puno bolje djelovati u usporedbi s klasičnim metodama temeljenim na restrikciji velikog broja parametara događaja. Strojno učenje, a osobito tehnike dubokog učenja, omogućuju značajna poboljšanja u klasifikacijskim problemima uzimajući u obzir korelacije u podacima te učenjem optimalne selekcije na primjerima događaja iz Monte Carlo simulacija.

U ovom radu prikazan je princip rada dubokih neuralnih mreža, algoritama temeljenih na radu ljudskog mozga, koje u posljednje vrijeme doživljavaju ogroman razvoj. Uz to, prikazani su primjeri uspješne primjene tehnika strojnog učenja u fizici teških iona kao što su klasifikacija b-mlazova [1], klasifikacija topologije događaja [2] i određivanje jednadžbe stanja kromodinamičke tvari [3]. Konačno, predstavljene su nove ideje u kojima bi se koristile duboke neuralne mreže za što efikasniju analizu potpisa kvarkovsko-gluonske plazme u sudarima teških iona i sudarima protona.

[1] Rüdiger Haake; Machine and deep learning techniques in heavy-ion collisions with ALICE, PoS (EPS-HEP2017) 498

[2] Thong Q. Nguyen, Daniel Weitekamp III, Dustin Anderson, Roberto Castell, Olmo Cerri, Maurizio Pierini, Maria Spiropulu, Jean-Roch Vlimant; Topology classification with deep learning to improve real-time event selection at the LHC; arXiv:1807.00083

[3] Long-Gang Pang, Kai Zhou, Nan Su, Hannah Petersen, Horst Stöcker, Xin-Nian Wang; An equation-of-state-meter of quantum chromodynamics transition from deep learning, Nature communications **9** (2018) 210

Hlađenje atoma frekventnim češljom

Danijel Buhin¹, Neven Šantić¹, Ivor Krešić¹, Domagoj Kovačić¹, Damir Aumiler¹, Ticijana Ban¹

¹*Institut za fiziku, Bijenička c. 46, 10000 Zagreb, Hrvatska*

Lasersko hlađenje atoma jedno je od najrevolucionarnijih metoda u području atomske i molekulske fizike sa širokim spektrom primjena. Primjene laserkog hlađenja protežu se od atomske interferometrije, optičkih frekventnih standarda, visoko precizne spektroskopije, sve do ultrahladne kemije te simulacija kompleksnih sustava u fizici čvrstog stanja.

Unatoč činjenici da je lasersko hlađenje vrlo istražena metoda, još je uvijek ograničena na mali broj atoma s jednostavnom energijskom strukturom. Jedna od najvećih prepreka je nedostupnost laserskih izvora kontinuiranog zračenja u UV spektru. Rješenje problema predstavlja se u obliku frekventnog češlja, koji posjeduje visoku vršnu snagu potrebnu za efikasnu konverziju frekvencije putem nelinearnih efekata. Nadalje, frekventni češalj je predložen kao laserski izvor za atome i molekule s kompleksom energijskom strukturom te simultano hlađenje više atomskih vrsta.

U ovom radu predstavljamo lasersko hlađenje atoma ⁸⁷Rb s frekventnim češljem centralne frekvencije oko 780 nm te frekvencije repeticije 80,5 MHz. Rb atomi su predhlađeni u magneto-optičkoj stupici u standardnoj geometriji sa 6 zraka do temperature oko 250 μK. Frekventni češalj interagira s hladnim atomima u 1D geometriji s kružno polariziranim laserskim zrakama. Istražili smo ovisnost temperature o frekventnom pomaku linije frekventnog češlja od rezonantnog prijelaza u atomu ⁸⁷Rb, ovisnost o vremenu interakcije s frekventnim češljom te intenzitetu po liniji frekventnog češlja.

Ultrabrza tranzijentna apsorpcija fotokemijskih reakcija

Mateo Forjan¹, Silvije Vdović¹

¹*Institut za fiziku, Zagreb*

Metodom ultrabrze tranzijentne apsorpcije proučena je ultrabrza dinamika molekule rodamina B ($C_{28}H_{31}ClN_2O_3$) te dvolomnost inducirana Kerr efektom u benzenu i otopini vode i acetonitrila (C_2H_3N). Molekule rodamina B otopljene u acetonitrilu pobuđivane su femtosekundnim laserskim pulsevima valne duljine 267nm (pumpni puls) koji su dobiveni u postavu za stvaranje trećeg harmonika dok je njihova apsorpcija kao funkcija vremena ispitivana probnim pulsevima čiji je spektar superkontinuum generiran u kalcij-fluoridnoj (CaF_2) pločici. Mjerenjima je dobiven signal visoke vrijednosti koji se sastojao od pozitivnog i negativnog dijela. Pozitivan dio uzrokovan je apsorpcijom višeg stanja u koje su molekule pobuđene pumpnom zrakom dok je negativan signal uzrokovan stimuliranom emisijom i izbjeljivanjem osnovnog stanja što je zaključeno promatranjem emisijske i apsorpcijske krivulje molekule rodamina B. Mjerenjem dvolomnosti inducirane Kerr efektom proučeno je trajanje te raspored spektralnih komponenti probnog pulsa u vremenu. Zaključeno je da je puls uvelike proširen u vremenu u odnosu na fundamentalni te da posjeduje pozitivan cvrkut (niže frekvencije se nalaze u vodećem krilu pulsa). Dobiveni rezultati pokazuju da je korišten postav moguće koristiti za buduća proučavanja raznih uzoraka metodom ultrabrze tranzijentne apsorpcije.

[1] Boyd, R. W. *Nonlinear Optics*. 2nd ed. San Diego: Elsevier Science, 2003.

[2] Marburger, J. H. Self-focusing: Theory // *Prog. Quantum Electron.* Vol. 4, (1975), str. 35–110

[3] M. Ricci, M.; Wiebel, S.; Bartolini, P.; Taschin A; Torre, R. Time-resolved optical Kerr effect experiments on supercooled benzene and test of mode-coupling theory // *Philosophical Magazine*, Vol. 84, (2006), str. 1491-1498

[4] Malý, P.; Ravensbergen J.; Kennis, J. T. M.; van Grondelle, R.; Croce, R.; Mančal, T.; van Oort, B. Polarization-controlled optimal scatter suppression in transient absorption spectroscopy // *Scientific Reports*, Vol. 7, (2017), 43484

Računalno komponiranje i glazbene varijacije generirane kaotičnim preslikavanjem

Josip Jakovac¹

¹*Fizički odsjek, Bijenička 32, 10000 Zagreb, Hrvatska*

Postoje razni računalni algoritmi (temeljeni na npr. Markovljevim lancima, generativnoj gramatici, petrijevim mrežama...) pomoću kojih je moguće komponirati glazbu, te varirati gotove glazbene sekvence. Na temelju članka [1] sam razvio algoritam (C programski jezik) koji koristi rješenja IFS (Iterated Function System) diskretnih kaotičnih modela za glazbenu kompoziciju, a rješenja Lorentzovog atraktora za varijaciju na glazbenu temu, oboje po zadanim parametrima glazbene teorije. Izlaz algoritma u oba slučaja daje raw MIDI datoteku, koju sam pomoću prikladnog alata [2] pretvorio u slušljivu datoteku ekstenzije .mid.

Na generiranim kompozicijama sam izvršio melodijsku glazbenu analizu (objektivnu [1] i subjektivnu [2]), te rezultate usporedio sa pravilima klasične glazbene teorije, dok sam na generiranim varijacijama na zadanu temu usporedio odstupanja zadane teme od novo generirane sa alteracijom varijacijskog parametra algoritma.

[1] Coca, Andres E., Tost, Gerard O., Zhao, L.: Characterizing chaotic melodies in automatic music composition : CHAOS 20, 2010

[2] Earola, T., Toiviainen P. : MIDI Toolbox 1.1 : MATLAB Tools for Music Research, Department of Music, University of Jyväskylä, Finland, 2016.

Optimizacija tankih filmovi barij titanata za primjenu u senzorima i solarnim ćelijama

Krunoslav Juraić¹, Domagoj Belić¹, Ivana Panžić¹, Jasper Plasie², Andreja Gajović¹

¹Institut Ruđer Bošković, Bijenička cesta 54, 10000 Zagreb, Hrvatska

²Sincrotrone Trieste, SS 14, km 163.5, Basovizza (TS), Italija

Barij titanat ($BaTiO_3$) pripada skupini tzv. oksidnih perovskita. To su keramički materijali koji sadrže titan, kisik i barem jedan dodatni metal kao npr. Sr, Ba, Ca. Zbog dobrih feroelektričnih i piezoelektričnih svojstava imaju potencijalnu primjenu u elektronici (kondenzatorima, mikrofonima, uređajima za digitalnu pohranu podataka i sl.). Među njima, barij titanat, pored dobrih feroelektričnih svojstava ima i dobra optička svojstva. Tako, tanki filmovi $BaTiO_3$ imaju potencijalnu primjenu u fotovoltaičima. Nedavno je $BaTiO_3$ u formi tankog filma (kao čisti materijal ili kao kompozit s TiO_2) npr. korišten kao elektroda u solarnim ćelijama s organskom bojom (DSSC). Također je pokazano da se s dodatnim tankim slojem $BaTiO_3$ mogu poboljšati svojstva senzora plinova baziranih na CuO.

$BaTiO_3$ se može pripremiti s kemijskim metodama (hidroliza, hidrotermalno, sol-gel procesiranje) ali i fizikalnim metodama kao što su laserska ablacija, sprej piroliza i magnetronsko rasprašenje. Magnetronsko rasprašenje je jedna od opće-prihvaćenih fizikalnih metoda za pripremu tankih filmova. Metoda se zasniva na procesu bombardiranja mete (katode) pozitivnim ionima radnog plina iz plazme. Tako izbijeni atomi mete formiraju sloj materijala na podlozi postavljenoj nasuprot mete. Izborom materijala od kojeg je napravljena meta ovom metodom se mogu pripremiti tanki filmovi metala, oksida, poluvodiča i keramika.

U ovom radu metodom magnetronskog rasprašenja bit će pripremljeni tanki filmovi $BaTiO_3$. Parametri pripreme će biti optimizirani u svrhu dobivanja slojeva pogodnih optičkih i električnih svojstava za primjenu u solarnim ćelijama i senzorima plinova. Istražit će se veza strukture dobivenih slojeva s optičkim i električnim svojstvima.

Izrada dvoosnog rotatora za mjerenje monokristalnog uzorka Nuklearnom magnetskom rezonancijom

Tonči Cvitanić¹, Marin Lukas², Mihael S. Grbić¹

¹Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu

²InTenX Solutions, St. Lucas d.o.o., Jabukovac 1, Zagreb

U eksperimentalnoj fizici čvrstog stanja materijali na kojima se vrši fizikalno mjerenje su najčešće monokristalni uzorci sa dobro definiranim osima. Mnoga fizikalna mjerenja poput transporta, mehaničkih i optičkih svojstava ovise o orijentaciji uzorka. Magnetske interakcije unose dodatne anizotropije: fero- i antiferomagnetsko uređenje, "single-ion" anizotropija i Dzjalošinski-Moriya interakcija su samo neki od primjera. Neke metode mjerenja uvode i vlastite anizotropije, poput smjera struje u odnosu na magnetsko polje u transportnom mjerenju Hallovog efekta ili poput nuklearne magnetske rezonancije (NMR) koja je osim makroskopskih anizotropija osjetljiva i na lokalne anizotropije gradijenta električnog polja i lokalne okoline promatrane jezgre. Zbog ovisnosti eksperimenta o orijentaciji uzorka potrebno je u fizikalnim mjerenjima biti u mogućnosti rotirati uzorak *in-situ*. Rotacijskim mjerenjima se mogu odrediti tenzori anizotropije, a pravilnom orijentacijom duž visoke simetrije kristala anizotropija se može i reducirati kako bi mjerenja bila jasnija.

Različiti eksperimentalni postavi uvjetuju različitu izradu rotatora uzorka. U NMR metodi uzorak se orijentira u odnosu na smjer vanjskog magnetskog polja. Zbog aksijalne simetrije u odnosu na vektor polja, rotacija uzorka po dvije nezavisne osi je dovoljna da se postignu sve moguće orijentacije. Uzorci korišteni u NMRu čvrstog stanja su najčešće malih dimenzija (1 mm^3), a zbog potreba NMR metode oko uzorka mora biti usko namotana električna zavojnica. Uvjeti kojima se izlaže uzorak i njegova okolina su najčešće jaka magnetska polja ($1 \text{ T} < B < 12 \text{ T}$) i niske temperature ($T > 1.6 \text{ K}$).

Prilikom dizajna i izrade posebna je pozornost posvećena gore navedenim uvjetima u kojima će rotator morati raditi te na preciznosti rotacije u obje osi. Rotator je dizajniran u suradnji sa vanjskim suradnikom Marinom Lukasom (mag. ing. mech.). Zupčanici i pužni prijenosi su kupljeni a svi precizni dijelovi su izrađeni u mehaničkoj radionici sa preciznim erozimatom sa žicom ("wire-EDM"). Manji potporni djelovi su izrađeni u radionici fizičkog odsjeka.

Izrada ovog rotatora predstavlja dobar primjer suradnje znanosti i tehnologije na dobrobit objiju strana.

[1] T. Shiroka *et. al.*, *Rev. Sci. Ins.* **83**, 093901 (2012)

[2] Suzuki *et. al.*, *Cryogenics* **37**, 275 (1997)

Koherentni efekti u hladnom atomskom plinu

Mateo Kruljac¹, Ivor Krešić¹, Domagoj Kovačić¹, Damir Aumiler¹, Ticijana Ban¹

¹*Institut za fiziku*

Proučavani su koherentni efekti u hladnom atomskom plinu izotopa rubidija ⁸⁷Rb uslijed interakcije s dvama laserima. Koherentni efekti do sada su istraženi korištenjem dvaju lasera kontinuiranog zračenja [1], dok je u ovome radu cilj istražiti ih korištenjem femtosekundnog lasera čiji se spektar sastoji od niza uskih frekventnih linija, tj. spektar čini frekventni češalj. Predstavljena je teorijska pozadina interakcije dvaju lasera s atomom u lambda konfiguraciji, pri čemu je jedan laser kontinuiranog zračenja, a drugi femtosekundni (pulsni) laser [2]. Oda-brani su prijelazi rubidija $5^2S_{1/2}(F=1) \rightarrow 5^2P_{3/2}(F'=2)$ i $5^2S_{1/2}(F=2) \rightarrow 5^2P_{3/2}(F'=2)$.

Rezultati su dobiveni mjerenjem sile laserskog zračenja na hladni oblak rubidija, kao i mjerenjem laserski inducirane fluorescencije oblaka uslijed interakcije s laserima. Mjerenja su uspoređena s teorijom pri čemu su naglašena slaganja eksperimenta i numeričkih modela, kao i glavna ograničenja mjerenja.

[1] M. Fleischhauer, A. Imamoglu, J. P. Marangos, *Rev.Mod.Phys.* **77** 633(2003)

[2] D. Felinto et al., *Optics Communications* **215** 1-3(2003) 69

Superstrukture sumpora na Ir(111) i gr/Ir(111)

Borna Pelić¹, Joshua Hall², Vito Despoja¹, Iva Šrut Rakić¹, Marin Petrović¹,
Ali Sohani², Carsten Busse³, Thomas Michely², Marko Kralj¹

¹Centar izvrsnosti za napredne materijale i senzore, Institut za fiziku, Bijenička 46, 10000
Zagreb

²II. Institute of physics, Zùlpicher Str. 77, 50937 Cologne, Germany

³Department Physik, Universitat Siegen, 57068 Siegen, Germany

Sinteza slojevitih dvodimenzionalnih (2D) van der Waals (vdW) materijala sa superior-
nim intrinzičnim svojstvima izazov je koji stoji pred znanstvenom zajednicom. Posebnu klasu
slojevitih vdW materijala čine dihalogenidi prijelaznih metala (TMD), odnosno spojevi pri-
jelaznih metala s halogenim elementima, a velik interes među njima usmjeren je prema polu-
vodičkim materijalima, kao što su MoS_2 i WS_2 . Jedan od mogućih „bottom-up“ pristupa sin-
teze jest epitaksija molekulskim snopom (MBE) u uvjetima ultra visokog vakuuma. U svrhu
sinteze slobodnostojećih 2D materijala, kao podloga za rast koriste se drugi 2D materijali sinte-
tizirani na metalnoj podlozi, primjerice gr/Ir(111) ili gr/Au(111) [1]. Zbog nedovoljne katalitičke
aktivnosti metalne podloge u slučaju kada se na njoj već nalazi neki 2D materijal, potrebno je
primijeniti alternativne prekursore sumpora, kao što je pirit, za razliku od standardno korište-
nog H_2S plina. Pri izlaganju Ir(111) ili gr/Ir(111) podloge sumporu sublimiranom iz pirita, nas-
taju superstrukture sumpornih atoma koje ovise o doziranju i temperaturi podloge. U ovom
radu su uz pomoć skenirajuće tunelirajuće mikroskopije (STM) te difrakcije elektronima ni-
skih energija (LEED) karakterizirane sumporne superstrukture ($\sqrt{3} \times \sqrt{3}$), $c(4 \times 2)$ te (2×2)
sumporni lanci adsorbirani na čistom Ir(111) i/ili kao interkalacija sistema gr/Ir(111). Proučeni
su karakteristični linijski defekti koji nastaju na granicama domena superstrukture $c(4 \times 2)$,
koje mogu imati tri moguće rotacije u odnosu na podlogu. Nadalje, analizirana je promjena
strukturne korugacije ovisno o kojoj se sumpornoj superstrukturi radi. Eksperimentalne re-
zultate potkrijepili smo računom teorije funkcionala gustoće (DFT), kojim smo odredili ad-
sorpcijske energije sumporovih atoma u danim superstrukturama te istražili njihov utjecaj na
elektronsku gustoću stanja sustava gr/Ir(111). Preduvjet za uspješnu sintezu TMD materijala
na takvoj podlozi jest izbjeći interkalaciju sumpora u slučaju pune pokrivenosti grafenom, što
smo i realizirali u daljnjim eksperimentima [1].

[1] J. Hall, B. Pelić, C. Murray, W. Jolie, T. Wekking, C. Busse, M. Kralj and T. Michely; Mole-
cular beam epitaxy of quasi-freestanding transition metal disulphide monolayers on van der
Waals substrate: A growth study, *2D Materials* 5, 025005 (11pp) (2018)

APCVD growth of graphene and hBN heterostructures

Mihovil Jurdana¹, Valentino Jadriško¹, Borna Radatović¹, Marko Kralj¹

¹*Institut za Fiziku, Bijenička 46, 10000 Zagreb*

In this work lateral heterostructures consisting of graphene and hBN have been synthesized and investigated. The hBN has a wide band gap of around 6 eV, is only one atom layer thick and has no dangling bonds in the out of plane direction. This makes it an ideal substrate for graphene thus forming a vertical heterostructure. In addition, low lattice mismatch (1.8%) between hBN and graphene can also be utilized to grow so called BCN alloy structures that are predicted to have variable band gap relative to the stoichiometry of boron, carbon and nitrogen atoms. Here we present a research where graphene and hBN are grown on metal catalyst using atmospheric pressure chemical vapor deposition (APCVD) with former grown from a gas precursor (methane) and latter using solid phase precursor (ammonium borane). By controlling the ratio of precursor supply, different sets of lateral graphene and hBN heterostructures and BCN alloy samples have been fabricated. Samples were transferred from growth substrate to dielectric ones for further characterization by means of AFM, Raman spectroscopy and mobility measurements to verify properties of synthesized heterostructures.

Mogu li se sudari super-ljuski vidjeti pomoću LOFAR radioteleskopa?

Marta Čolaković-Bencerić¹, Petra Maruševac¹, Vibor Jelić²

¹*Sveučilište u Zagrebu*

²*Institut Ruđer Bošković*

Na temelju magnetohidrodinamičkih simulacija sudara super-ljuski kao reprezentacije turbulentne međuzvezdane materije (Ntormousi et al. (2017)), istražili smo mogu li se super-ljuske vidjeti pomoću LOFAR radioteleskopa.

Istraživanje smo proveli za tri slučaja. U prvom slučaju polarizirano sinkrotronsko zračenje dolazi samo iz pozadine, u drugom dolazi iz pozadine i srednjeg dijela simuliranog prostora, dok u trećem slučaju je sav simulirani prostor ispunjen sinkrotronskim zračenjem.

Pokazano je da u sva tri slučaja LOFAR može detektirati pojedine dijelove super-ljuski, koji Faradayevom rotacijom zakrenu polarizirani kut sinkrotronskog zračenja barem za $1 \text{ rad}/m^2$. To su ujedno ionizirani dijelovi super-ljuski s većom gustoćom elektrona i jačim magnetskim poljem.

[1] Ntormousi et al., A&A 599, A94 (2017)

Dvočestične valne funkcije harmoničkog oscilatora

Katarina Rožman¹, Denis Sunko¹

¹Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Bijenička cesta 32,
10000 Zagreb, Hrvatska

Polazeći sa stajališta funkcionalne analize, valne funkcije obično shvaćamo kao vektore u Hilbertovom prostoru kvantnih stanja. Kad je broj identičnih čestica veći od jedan, pojavi se specifična algebarska struktura, tako da je isti Hilbertov prostor graduirana algebra nad prstenom simetričnih polinoma (bozonskih pobuđenja).

Generatori algebre (vakuumi) su od prije poznati u Kartezijevoj bazi, a u ovom radu ih prevodimo u bazu dobrog zakretnog impulsa za poseban slučaj dvije čestice. Tada tri generatora (Ψ_1, Ψ_2, Ψ_3) čine vektor osnovnog stanja, a četvrti $\Psi_4 = \Psi_1\Psi_2\Psi_3$ je pseudoskalar i nalazi se među dvostruko pobuđenim stanjima, kojih ima 28.

Kad se sva ta stanja napišu u obliku bozonskih pobuđenja vakuuma i u bazi dobrog zakretnog impulsa, otkrije se da je Ψ_4 komponenta određenog pobuđenog stanja zakretnog impulsa $l=3$ i projekcije $m = \pm 2$. Time se to stanje identificira kao glava vrpce pobuđenih stanja drugačije simetrije od vrpce koja nastaje pobuđivanjem osnovnog stanja.

Kvantne Monte Carlo simulacije osnovnog stanja tetramera

${}^3\text{He}_3\text{Ca}$ i ${}^3\text{He}_3\text{Na}$

Marijana Ugrina¹, Leandra Vranješ Markić¹

¹*Odjel za fiziku, Prirodoslovno-matematički fakultet u Splitu, Ruđera Boškovića 33, 21000 Split, Hrvatska*

U posljednjih par desetljeća vezana stanja malog broja atoma helija, ali i helija s alkalij-skim i zemnoalkalijskim metalima, posebno su intrigantna znanstvenicima jer odstupaju od klasičnog poimanja molekula, u kojima su atomi vezani prvenstveno kombinacijom ionske ili kovalentne veze. Za neke se od njih pretpostavlja da tvore i kvantna halo stanja, koja se definiraju kao vezana stanja s vjerojatnošću većom od 50% da se nađu u klasično zabranjenom području. Međutim, teško ih je eksperimentalno proučavati zbog njihovog difuznog karaktera i malih energija vezanja pa većina informacija o njima proizlazi iz teorijskih izračuna.

Mnogi od teorijskih izračuna napravljeni su koristeći kvantne Monte Carlo simulacije kao što su varijacijski i difuzijski Monte Carlo. Ove metode pokazale su se pouzdanima u rješavanju višečestične Schrödingerove jednadžbe i određivanju ravnotežnih svojstava kvantnih sustava u osnovnom i pobuđenim stanjima. U ovom radu pomoću kvantnih Monte Carlo simulacija proučavano je osnovno stanje tetramera ${}^3\text{He}_3\text{Ca}$ i ${}^3\text{He}_3\text{Na}$. Izračunate su neke njihove geometrijske osobine kao što su razdiobe međusobnih udaljenosti atoma i profili gustoće atoma u odnosu na centar mase i geometrijski centar te je ustvrđeno tvore li kvantno halo stanje.

Muon g-2 eksperiment: Sustav za kalibraciju

Marin Karuza¹

¹*Odjel za fiziku, Sveučilište u Rijeci*

Precizno mjerenje anomalnog magnetskog momenta miona je cilj Muon g-2 eksperimenta smještenog u Fermilabu, Batavia (IL), SAD. Mjerenje se nadovezuje na prethodne eksperimente, a prsten za skladištenje miona jednoga od njih i koristi. Očekuje se da će se uz poboljšanja u detektorima, elementima za fokusiranje snopa miona i sustava za kalibraciju preciznost povećati nekoliko puta, te staviti konačan zaključak na prirodu razlike između teorijskog predviđanja i trenutnog eksperimentalnog rezultata. Potvrđivanje razlike ukazalo bi na moguće postojanje fizike izvan Standardnog modela, dok bi njezino smanjivanje potvrdilo njegovu valjanost. U Laboratoriju za kvantnu i nelinearnu optiku Sveučilišta u Rijeci testiran je jedan od mogućih elemenata sustava za kalibraciju. Iako predloženi sustav nije uporabljen u eksperimentu, neka rješenja su ostala i trenutno se koriste u mjerenjima u Muon g-2 eksperimenta.

FTIR spektri humane DNA

Nikola Šegedin¹, Kristina Serec¹, Valentina Karin-Kujundžić², Petra Kejla³,
Ljiljana Šerman², Sanja Dolanski Babić¹

¹Zavod za fiziku i biofiziku, Medicinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu

²Zavod za medicinsku biologiju, Medicinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu

³Klinička bolnica „Merkur“, Zagreb

⁴Znanstveni centar izvrsnosti za napredne materijale i senzore, Istraživačka jedinica Novi
funkcionalni materijali

⁵Znanstveni centar izvrsnosti za reproduktivnu i regenerativnu medicinu, Istraživačka jedinica
Biomedicinsko istraživanje reprodukcije i razvoja (CERRM)

Istraživanja vibracijskih svojstava deoksiribonukleinske kiseline (DNA) infracrvenom spektroskopijom s Fourierovom transformacijom (FTIR) datiraju još od 60-ih godina prošlog stoljeća. Interes istraživača je velik jer je metoda nedestruktivna i pogodna za ispitivanje vibracijskih svojstava, koja su usko povezana sa strukturnim svojstvima DNA. Uzorci su najčešće kratki fragmenti DNA te komercijalne genomske DNA izolirane iz lososovih testisa ili teleće žlijezde timusa. Broj znanstvenih radova na DNA izoliranoj iz bioloških tkiva je vrlo malen [1], a još manji na humanim DNA [2]. FTIR spektar DNA u području valnih brojeva od 4000 do 400 cm^{-1} ima 40-tak apsorpcijskih linija koje povezujemo s njezinom strukturom. Od posebnog interesa je područje od 1800 do 800 cm^{-1} jer sadrži najveći broj vibracija koje dijelimo na dvije osnovne grupe: vibracije baza i vibracija okosnice DNA [3].

Tanki filmovi DNA otopina su pripravljeni iz DNA izolirane iz humanih posteljica uređnih trudnoća (arhivski uzorci CERRMa). FTIR spektar tankog filma u transmisivskom modu dobiven je od 64 akumuliranih skenova u području od 650-4000 cm^{-1} s rezolucijom 4 cm^{-1} i automatskom korekcijom vode. Normiranje spektara i podešavanja baselinea je učinjeno pomoću programskog paketa Kinetics u sklopu Matlaba te u programu eFTIR. Tako obrađeni spektri omogućiti će nam asignaciju karakterističnih vrpca i usporedbu s relevantnim podacima što predstavlja temelj daljnjim spektroskopskim istraživanjima patoloških humanih posteljica.

[1] P. Zucchiatti, K. Latella, G. Birarda, L. Vaccari, B. Rossi, A. Gessini, C. Masciovecchio, and F. D'Amico, *J Raman Spectrosc* **49**, 1056 (2018).

[2] Y. Nishida, S. Yoshida, H. J. Li, Y. Higuchi, N. Takai, and I. Miyakawa, *Biopolymers* **62**, 22 (2001).

[3] K. Serec, S. D. Babić, R. Podgornik, and S. Tomic, *Nucleic Acids Res* **44**, 8456 (2016).

Fotonički kristali od poroznog silicija kao SERS podloge za blisku infracrvenu pobudu

Marko Škrabić¹, Marin Kosović², Marijan Gotić³, Lara Mikac³, Mile Ivanda³, Ozren Gamulin¹

¹Zavod za fiziku i biofiziku, Medicinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu

²Odjel za fiziku, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Splitu

³Laboratorij za molekulska fiziku i sinteze novih materijala, Zavod za fiziku materijala, Institut Ruđer Bošković

Površinski pojačano Ramanovo raspršenje (SERS) je izrazito osjetljiva spektroskopska tehnika koja se pokazala izuzetno korisna za identifikaciju i strukturnu karakterizaciju molekula u biofizici, biomedicini, znanosti o materijalima, forenzici i analizi kvalitete hrane. Zbog jeftine i jednostavne proizvodnje, učinkovite i reproducibilne SERS podloge mogu se napraviti deponiranjem metalnih nanočestica na površinu poroznog silicija. Porozni silicij je poluvodički materijal jedinstvenih svojstava s nano/mikro porama koji se najčešće dobiva elektroemijskim jetkanjem. U svrhu dobivanja SERS efekta uz bliskoinfracrvenu (NIR) pobudu, potrebno je napraviti fotoničke kristale od poroznog silicija s jakom refleksijom u NIR području koja sprječava inherentnu međuvrpčanu fotoluminiscenciju kristalnog silicija. Fotonički kristali od poroznog silicija izrađuju se pomoću računalno-upravljanog strujno-naponskog izvora čija programirana gustoća struje određuje dubinski profil poroznosti, a time i periodičku promjenu indeksa refrakcije dielektrične strukture.

U ovom radu prikazujemo optimizaciju izrade fotoničkih kristala od poroznog silicija s različitim jačinama i položajima refleksije u bliskom infracrvenom području variranjem više parametara: dopiranosti pločica kristalnog silicija, koncentracije fluorovodične kiseline, jačine minimalne i maksimalne gustoće struje, perioda signala te ukupnog vremena jetkanja. Izrađeni fotonički kristali koriste se kao SERS podloge za lasersku pobudu u bliskom infracrvenom području. Istraženi su optimalni uvjeti za deponiranje zlata, srebra i bakra na porozni silicij čime se dobiva veliko pojačanje signala probnih molekula rodamina 6G i methyl-violet 10B. U cilju detekcije što nižih koncentracija ispitivanih molekula sintetizirani su zlatni nanoštapići s longitudinalnim plazmanskim rezonancijama u bliskoinfracrvenom području u svrhu preklopanja njihove plazmonske linije s laserskom pobudom za FT Raman (1064 nm). Preliminarni rezultati pokazuju visoku SERS osjetljivost s limitom detekcije od 10⁻⁷ M probnih molekula.

[1] Bandarenka H.V. et al., *Materials* 2018, 11; 852

[2] Kosovic M. et al., *Applied Spectroscopy*, 69 (2015), 12; 1417-1424

[3] Sharma B. et al., *Materials Today* 15, 1-2 (2012); 16-25

[4] Lorenzo E. et al., *Applied Optics* 44, 26 (2005); 5415-5421

[5] Scarabelli L. et al., *J. Phys. Chem. Lett.*, 2015, 6 (21); 4270-4279

Indeks svih autora

Masno otisnuti brojevi stoje uz autora koji izlaže rad, a normalni brojevi uz koautore. Zvezdica označava usmena priopćenja.

M. Alcorta	61
Damir Altus	63
Darko Androić	15*
A. Arakcheeva	37*
Gregory Astrakharchik	58
Damir Aumiler	65, 21* , 70
Ana Bancelj	48*
Peter J. Baker	57
Ticijana Ban	65, 70
Mario Basletić	54, 63
Zoran Basrak	45*
Domagoj Belić	68, 40*
H. Berger	37*
Fabrice Bert	57
Nikola Biliškov	39*
Ante Bilušić	62
Vlasta Bonačić-Koutecký	16*
Jordi Boronat	32*, 58
Mladen Borovina	42*
Marko Bosiočić	57
Željka Marija Bošnjak	48*
S. Büchler-Paschen	35*
Danijel Buhin	65
James Michael Burgess	48*
Carsten Busse	71
Robert J. Cava	57
Viktor Cikojević	58 , 60
Stefan Cikota	47*
D. Connolly	61
Tonči Cvitanić	34* , 69

Marta Čolaković-Bencerić	73
Petra Čolović	59
T. Davinson	61
Vito Despoja	71
A. Di Pietro	56, 61
Sanja Dolanski Babić	77, 49*
Jure Dragović	41*
Sian E. Dutton	57
Krešimir Dželalija	58, 60
Marijana Đaković	42*
Filip Erhardt	64
P. Figuera	56
M. Fisichella	56
Mateo Forjan	66
L. Forro	37*
László Forró	62
M. Freer	61
Andreja Gajović	68, 40*
Ozren Gamulin	78
Marijan Gotić	78
Davor Gracin	40*
Mihael S. Grbić	17*, 33*, 34*, 35*, 69
Jochen Greiner	48*
Veljko Grilj	18*
Bruno Gudac	53, 39*
Andrii Gudyma	32*
Joshua Hall	71
Amir Hamzić ¹	54
Bojana Hamzić	63
Mladen Horvatić	33*, 35*
Yoko Hosokoshi	34*
Junfeng Hu	54
Saša Ilijić	46*
Mile Ivanda	78
Arian Ivec	25*
Tomislav Ivek	63
J. Jačimović	37*

Valentino Jadriško	72
I. Jakovac	35*
Josip Jakovac	67
Milko Jakšić	18*
Josip Augustin Janeš	27*
Vibor Jelić	44*, 73
Marko Jerčić	64
Krunoslav Juraić	68, 40*
Mihovil Jurdana	72
Anton Kabaši	62
Matija Kalanj	41*
Sara Kaliman	26*
Valentina Karin-Kujundžić	77
Marin Karuza	76
K. Katrych	37*
Petra Kejla	77
Eva Klarić Sever	38*
Michael A. Klatt	26*
Ivan Kokanović	39*
Marin Kosović	78
Domagoj Kovačić	65, 70
Marko Kralj	19*, 71, 72
Ivor Krešić	65, 70
Juraj Krsnik	31*
Nikša Krstulović	40*
Mateo Kruljac	70
Sanjeev Kumar Gupta	55
Marko Kuveždić	54
M. Lattuada	56
A. Lennarz	61
Jakov Lovrić	26*
Igor Lukačević	55
Marin Lukas	69
Jelena Macan	40*
Vilko Mandić	40*
I. Martel	56
Petra Maruševac	73

Karolina Matejak Cvenić	30*
Alix McCollam	39*
Philippe Mendels	57
Thomas Michely	71
Branimir Mihaljević	63
Lara Mikac	78
M. Milin	56
Đ. Miljanić	56
i MINIBALL	59
H. Mitamura	35*
Matko Mužević	55
Mario Novak	53, 39*
Nikolina Novosel	20*
D. Nurkić	56
Filip Orbanić	39*
Dalibor Paar	28*
Damir Pajić	41*, 42*
Ivana Panžić	68, 40*
P. Pattison	37*
Nenad Pavin	25*
M. G. Pellegriti	56
Nikolina Penić	42*
Aurélien Perera	13*
Marin Petrović	71
Goran Pichler	29*
Borna Pielić	71
A. Pisoni	37*
Maja Planinić	30*, 64
Jasper Plasie	68
Milivoj Plodinec	40*
Nikola Poljak	64
Petar Popčević	37*
Martina Požar	13*
Miroslav Požek	34*, 57
Petra Pranić	62
David Prelogović	44*
L. Prepolec	56

Tomislav Primorac	13*
i članovi međunarodnih kolaboracija PRISMA, GALILEO	59
A. Prokofiev	35*
K. Prša	37*
A. Psaltis	61
Ana Puljas	62
Borna Radatović	72
Danko Radić	36*
Mario Rakić	38*
Katarina Rožman	74
Mirta Rubčić	41*
C. Ruiz	61
T. Sakakibara	35*
A. M. Sanchez Benitez	56
Daniel Schmidt	27*
Gerd E. Schröder-Turk	26*
V. Scuderi	56
Udo Seifert	27*
Kristina Serec	77, 49*
A. Shotter	61
Hrvoje Skenderović	38*
Natko Skukan	18*
Ana-Sunčana Smith	26*, 27*
Vernesa Smolčić	43*
Ana Smontara	37*
Ali Sohani	71
N. Soić	56, 61
Franjo Sokolić	13*
Marko Sossich	46*
Petar Stipanović	32*, 58
E. Strano	56
Henning Stumpf	27*
Denis Sunko	74
Suzana Szilner	22*, 59
Ana Šantić	40*
Neven Šantić	65
Josipa Šćurla	62

Nikola Šegedin	77
Pavla Šenjug	41*
Ljiljana Šerman	77
Tomislav Ševa	15*
Marko Škrabić	78
Bruno Šlaus	43*
Iva Šrut Rakić	71
Emil Tafra	17*, 54
Masashi Takigawa	33*, 35*
Hidekazu Tanaka	33*
Lucas Tang	39*
Iva Tolić	25*
Silvia Tomić	49*, 63
Filip Torić	41*
D. Torresi	56
Marijana Ugrina	75
M. Uroić	56
Antonija Utrobičić	14*, 64
Maja Varga Pajtler	55
Silvije Vdović	38*, 66
Leandra Vranješ Markić	32*, 58, 60, 75
N. Vukman	61
M. Williams	61
Marc Gragor Willinger	40*
i XXL konzorcij	43*
Larisa Zoranić	13*

Popis sudionika

Darko Androić	PMF Zagreb	dandroic@phy.hr
Damir Aumiler	Institut za fiziku	aumiler@ifs.hr
Ana Bacelj	Sveučilište u Rijeci, Odjel za Fiziku	abacelj@student.uniri.hr
Mario Basletić	Fizički odsjek, PMF	basletic@phy.hr
Zoran Basrak	Institut "Ruđer Bošković"	basrak@irb.hr
Domagoj Belić	Institut Rudjer Boskovic	Domagoj.Belic@irb.hr
Ante Bilušić	Prirodoslovno-matematički fakultet u Splitu	bilusic@pmfst.hr
Vlasta Bonačić-Koutecký	Sveučilište u Splitu (Centar izvrsnosti-STIM)	vbk@cms.hu-berlin.de
Danijel Buhin	Institut za Fiziku	dbuhin@ifs.hr
Saša Ceci	Institut Ruđer Bošković	sasa.ceci@irb.hr
Viktor Cikojević	Prirodoslovno-matematički fakultet u Splitu	cikojevic.viktor@gmail.com
Stefan Cikota	Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva	stefan.cikota@fer.hr
T. Cvitanić	Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek	tonci.cvitanic@gmail.com
Tonči Cvitanić	Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek	tcvitanic@phy.hr
Marta Čolaković-Bencerić	PMF fizički odsjek, Sveučilište u Zagrebu	marta.colakovibenceric@gmail.com
Petra Čolović	Institut Ruđer Bošković	petra.colovic@irb.hr
Sanja Dolanski Babić	Medicinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu	sanja.dolanski.babic@mef.hr
Krešimir Dželalija	Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Splitu	kdzalalija@gmail.com
Mateo Forjan	Institut za fiziku	mateoforjan25@gmail.com
Andreja Gajović	Institut Ruđer Bošković	gajovic@irb.hr
Zvonko Glumac	Odjel za fiziku, Sveučilište u Osijeku	zglumac@fizika.unios.hr
M. Grbić	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek	mgrbic@phy.hr

Mihael Grbić	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek	mgrbic@phy.hr
Bruno Gudac	PMF Zagreb, Fizički odsjek	bgudac@phy.hr
Luka Gulin	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek	lgulin@phy.hr
Dario Hrupec	Odjel za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku	dario.hrupec@fizika.unios.hr
Arian Ivec	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek	ivec.arian@gmail.com
Valentino Jadriško	Institut za fiziku	vjadrisko@ifs.hr
Ivan Jakovac	Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek	ivan.jakovac2@gmail.com
Josip Jakovac	Fizički odsjek, PMF Zagreb	josip.jakovac@gmail.com
Milko Jakšić	Institut Ruđer Bošković	jaksic@irb.hr
Josip Augustin Janeš	Institut Ruđer Bošković	jjanes@irb.hr
Vibor Jelić	Institut Ruđer Bošković	vibor@irb.hr
Marko Jerčić	Prirodoslovno-matematički fakultet - Fizički odsjek	mjercic@phy.hr
Krunoslav Juraić	Institut Ruđer Bošković	kjuraic@irb.hr
Mihovil Jurdana	Institut za fiziku	mjurdana@ifs.hr
Marin Karuza	Odjel za fiziku, Sveučilište u Rijeci	mkaruza@uniri.hr
Marin Kosović	Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Splitu	marin.kosovic@pmfst.hr
Domagoj Kovačić	Institut za fiziku	dkovacic@ifs.hr
Marko Kralj	Institut za fiziku	mkralj@ifs.hr
Ivor Krešić	Institut za fiziku	ikresic@ifs.hr
Juraj Krsnik	Institut za fiziku	krsnik.juraj@gmail.com
Mateo Kruljac	Institut za fiziku	mkruljac95@gmail.com
Jakov Lovrić	Institut Ruđer Bošković	lovric@irb.hr
Igor Lukačević	Sveučilište Josip Juraj Strossmayer u Osijeku, Odjel za fiziku	ilukacevic@fizika.unios.hr
Irena Lukanović	Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku	ilukanovic@fizika.unios.hr
Ivana Martić	Odjel za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku	imartic@fizika.unios.hr

Petra Maruševac	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno - matematički fakultet, Fizički odsjek	petra256993@gmail.com
Karolina Matejak Cvenić	Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu	karolina@phy.hr
Branimir Mihaljević	Fizički odsjek, PMF, Sveučilište u Zagrebu	bmihalje@phy.hr
Igor Miklavčić	Odjel za Fiziku Sveučilište u Osijeku	igor.miklavcic@fizika.unios.hr
Matko Mužević	Odjel za fiziku, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku	mmuzevic@fizika.unios.hr
Nikolina Novosel	Institut za fiziku	nnovosel@ifs.hr
Deni Nurkić	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek	dnurkic@phy.hr
Gloria Odak	Prirodoslovno-matematički fakultet u Splitu	gloria.odak@gmail.com
Filip Orbančić	PMF-Fizički odsjek	forbanic@phy.hr
Dalibor Paar	Fizički odsjek, PMF, Sveučilište u Zagrebu	dpaar@phy.hr
Damir Pajić	Fizički odsjek Prirodoslovno matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu	dpajic@phy.hr
Ana Pavlačić	Odjel za fiziku	apavlacic@fizika.unios.hr
Mario Pecimotika	Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku	mpecimotika@fizika.unios.hr
Nikolina Penić	Fizički odsjek Prirodoslovno matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu	peniceva@hotmail.com
Goran Pichler	Institute of Physics	pichler@ifs.hr
Borna Pielić	Institut za fiziku	bpielic@ifs.hr
Nikola Poljak	Prirodoslovno-matematički fakultet, fizički odsjek	npoljak@phy.hr
Miroslav Požek	Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno-matematički fakultet	mpozek@phy.hr
David Prelogović	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek	david.prelogovic@gmail.com
Borna Radatović	Institut za fiziku	bradatovic@ifs.hr
Danko Radić	Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek	dradic@phy.hr
Vanja Radolić	Odjel za fiziku Sveučilišta u Osijeku	vanja@fizika.unios.hr

Katarina Rožman	Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet u Zagrebu	krozman93@gmail.com
Kristina Serec	Medicinski fakultet	kristinaserec@gmail.com
Hrvoje Skenderović	Institut za fiziku	hrvoje@ifs.hr
Vernesa Smolčić	Fizički odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveucilista u Zagrebu	vs@phy.hr
Ana Smontara	Institut za fiziku	asmontara@ifs.hr
Marko Sossich	Fakultet elektrotehnike i računarstva (FER), Sveučilište u Zagrebu	marko.sossich@fer.hr
Denis Stanić	Odjel za fiziku Sveučilišta u Osijeku	dstanic@fizika.unios.hr
Petar Stipanović	Prirodoslovno-matematički fakultet u Splitu	pero@pmfst.hr
Denis Sunko	Fizički Odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet SuZ	dks@phy.hr
Suzana Szilner	Institut Ruđer Bošković	szilner@irb.hr
Nikola Šegedin	Medicinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu	nikola.segedin@mef.hr
Marko Škrabić	Medicinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu	marko.skrabic@mef.hr
Bruno Šlaus	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek	bruno.slaus@gmail.com
Emil Tafra	Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu	etafra@phy.hr
Marijana Ugrina	Prirodoslovno-matematički fakultet u Splitu	mugrina@pmfst.hr
Antonija Utrobičić	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek	antonija@phy.hr
Maja Varga Pajtler	Odjel za fiziku, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku	mvarga@fizika.unios.hr
Nikola Vukman	Institut Ruđer Bošković	nvukman@irb.hr
Branko Vuković	Sveučilište J.J.Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku	branko@fizika.unios.hr
Larisa Zoranić	Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet	larisaz@pmfst.hr