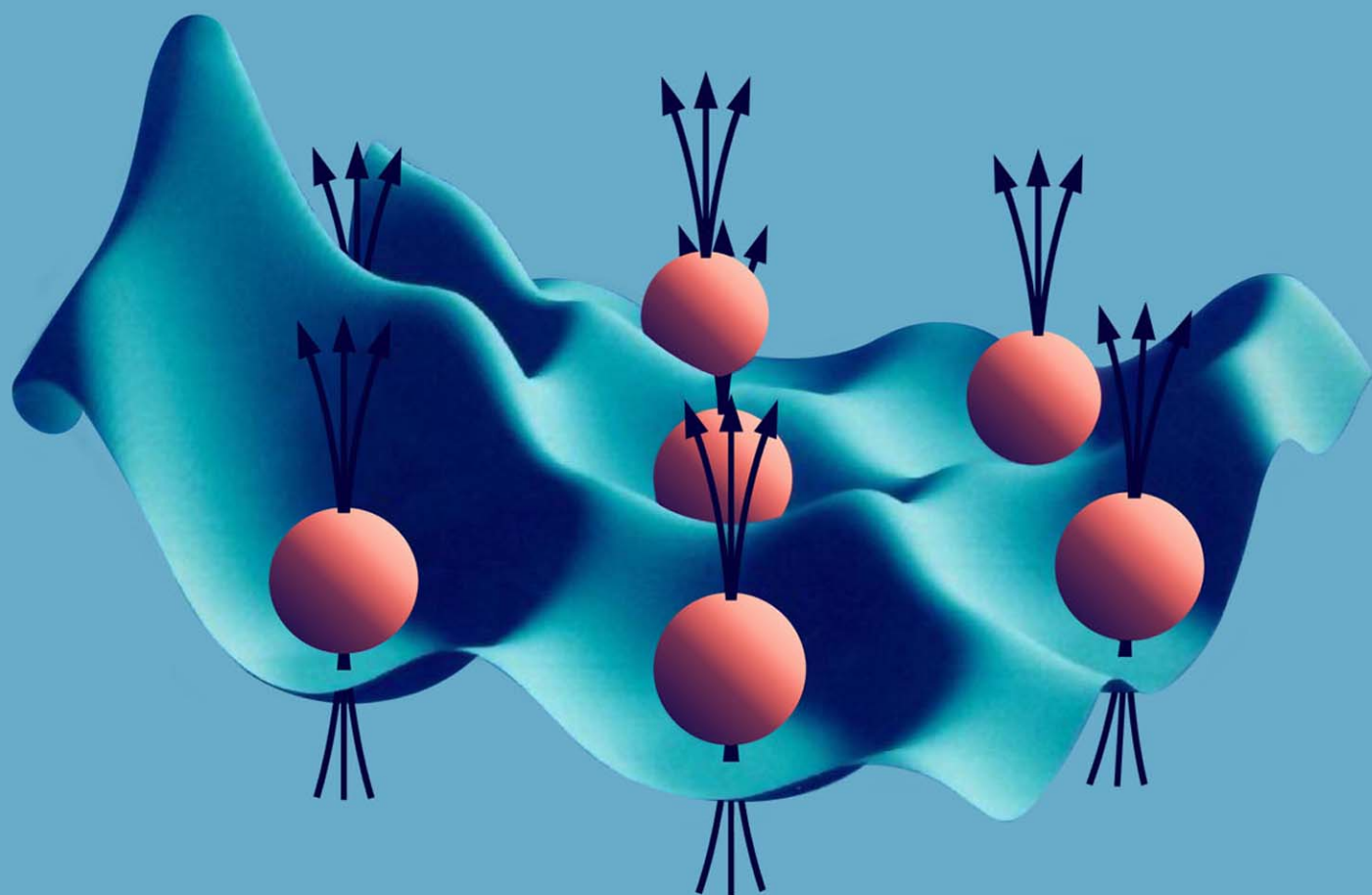


KNJIGA SAŽETAKA



9. znanstveni sastanak Hrvatskoga fizikalnog društva

Umag, 5. - 7. listopada 2015.

**Deveti znanstveni sastanak
Hrvatskog fizikalnog društva**

5–7. listopada 2015.
Umag

KNJIGA SAŽETAKA

Pokrovitelji i suorganizatori:

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

Organizacijski odbor:

Vernesa Smolčić (predsjednica), Zagreb
Ante Bilušić, Split
Maja Buljan, Zagreb
Igor Gašparić, Zagreb
Vlasta Horvatić, Zagreb
Krešimir Kumerički, Zagreb
Dubravka Kotnik-Karuza, Rijeka
Slobodan Milošević, Zagreb
Mirko Planinić, Zagreb
Miroslav Požek, Zagreb
Denis Stanić, Osijek
Silvia Tomić, Zagreb

Skup se održava pod visokim pokroviteljstvom predsjednice Republike
Hrvatske Kolinde Grabar-Kitarović

Zahvaljujemo sponzorima, tvrtkama Belmet i SCAN d.o.o.

ISBN: 978-953-7178-17-8

Izdavač: *Hrvatsko fizikalno društvo, Zagreb, Hrvatska*

Godina izdanja: *2013.*

Urednici: *Vernesa Smolčić, Ante Bilušić, Maja Buljan, Igor Gašparić, Vlasta Horvatić, Krešimir Kumerički, Dubravka Kotnik-Karuza, Slobodan Milošević, Mirko Planinić, Miroslav Požek, Denis Stanić, Silvia Tomić*

Dizajn korica: *Vlasta Horvatić*

Slog: *Krešimir Kumerički + Python + L^AT_EX*

Sadržaj

Program skupa	5
Popis postera	9
Sažeci pozvanih predavanja	11
Sažeci ciljanih predavanja	23
Sažeci usmenih izlaganja	33
Sažeci postera	63
Indeks svih autora	95
Popis sudionika	103

Program skupa

Prvi dan — ponedjeljak 5. listopada

12:45		registracija	
14:00		otvaranje 9. ZS HFD	
14:15	Ana Babić , Dijana Dominis Prester, Nikola Godinović, Dario Hrupec, Damir Lelas, Ivica Puljak, Tihomir Surić, Iva Šnidarić, Tomislav Terzić	<i>Visokoenergijska gama-astronomija teleskopima MAGIC</i>	13
14:45	Vibor Jelić	<i>Misteriozna međuzvezdana maglica naše galaksije</i>	26
15:05	Nikola Baran , Vernesa Smolčić, Dinko Milaković, Mladen Novak, Jacinta Delhaize, Fabio Gastaldello, Miriam Elizabeth Ramos-Ceja, Florian Pacaud, Steven Bourke, Chris Carilli, Stefano Etori, Greg Hallinan, Cathy Horellou, Elias Koulouridiis, Oskari Miettinen, Kunal Mooley, Marguerite Pierre, Emanuela Pompei, Eva Schinnerer	<i>Analiza područja povećane gustoće galaksija i radijskog kontinuuma superjata galaksija na crvenom pomaku $z=0.43$</i>	35
15:20	Mladen Novak , Vernesa Smolčić, Nikola Baran, Jacinta Delhaize, Ivan Delvecchio, Oskari Miettinen, Clotilde Lagle, Olivier Ilbert, Henry Joy McCracken, VLA COSMOS	<i>Prvi uvid u kozmičku povijest stvaranja zvijezda iz VLA-COSMOS pregleda neba na 3 GHz</i>	37
15:35	Neven Tomičić , Kathryn Kreckel, Eva Schinnerer, Brent Groves, Karin Sandstrom, Adam Leroy	<i>3D distribucija međuzvezdane prašine i atenuacija u M31</i>	38
15:50	Tomislav Jurkić , Dubravka Kotnik-Karuza	<i>Ćirkumstelarna prašina u simbiotskim novama</i>	39
16:05		pauza	
16:35	Ivančica Bogdanović Radović , Nikola Marković*, Zdravko Siketić, Dubravka Jembrih-Simbuenger, Marta Anghelone, Marta Anghelone, Milko Jakšić	<i>Masena spektrometrija sekundarnih molekularnih iona pomoću iona MeVskih energija (MeV SIMS) – nova metoda za karakterizaciju modernih slikarskih materijala</i>	16
17:05	Tomislav Marketin , Lutz Huther, Gabriel Martinez-Pinedo, Nils Paar	<i>Beta raspadi jezgara bogatih neutronima</i>	40
17:20	Vita Ilakovac	<i>Vanadat i kuprat pod svjetlom sinkrotrona</i>	18
17:50	Mario Novak , Filip Orbanić, Ivan Kokanović	<i>Diracovi sustavi - nasljednici grafena</i>	28
18:10	Stanko Popović	<i>Suvremena kristalografija - osvrt na Međunarodnu godinu kristalografije</i>	41

Drugi dan — utorak 6. listopada

9:00	Neven Barišić	<i>Dokazi dobrog metalnog ponašanja visokotemperaturnih supravodiča na bazi spojeva bakrenih oksida</i>	14
9:30	Ivan Balog , Gilles Tarjus, Matthieu Tissier	<i>Neperturbativni pristup faznim prijelazima s neredom</i>	25
9:50	Matija Čulo , Emil Tafra, Branimir Mihaljević, Mario Basletić, Amir Hamzić, Silvia Tomić, Martin Dressel, Bojana Korin-Hamzić	<i>Magnetotransportna svojstva α-(BEDT-TTF)$_2$I$_3$: istraživanje organskog vodiča s faznim prijelazom iz polumetalnog u stanje uređenja naboja</i>	42
10:05	Branimir Mihaljević , Anja Löhle, Matija Čulo, Emil Tafra, Mario Basletić, Amir Hamzić, Martin Dressel, Bojana Korin-Hamzić	<i>Magnetotransportna svojstva kvazi 1D organskih vodiča (TMTTF)$_2$ReO$_4$ i (TMTTF)$_2$BF$_4$</i>	43
10:20	Franjo Sokolić , Larisa Zoranić, Bernarda Lovrinčević, Martina Požar, Marijana Mijaković, Aurelien Perera	<i>Mikroskopski opis mješanja tekućina</i>	44
10:35		pauza	
11:05	Leandra Vranješ Markić , Henry Glyde	<i>Suprafluidnost, kondenzacija i dimenzionalnost 4He u nanoporama</i>	45
11:20	Martina Požar , Marijana Mijaković, Bernarda Lovrinčević, Franjo Sokolić, Aurelien Perera, Larisa Zoranić	<i>Strukturiranje u tekućim mješavinama s otapalima različite polarnosti</i>	46
11:35	Bernarda Lovrinčević , Aurelien Perera	<i>Evaluacija strukturnih korelacija u realnim tekućinama pomoću metode Integralnih Jednadžbi</i>	47
11:50	Damir Pajić	<i>Magnetoelektrični multiferoični sustavi</i>	48
12:05	Jair C. C. Freitas, Wanderla L. Scopel, Wendel S. Paz, Leandro V. Bernardes, Francisco E. Cunha-Filho, Carlos Speglich, Fernando M. Araújo-Moreira, Tonči Cvitanić, Damjan Pelc, Miroslav Požek	<i>Hiperfino magnetsko polje u feromagnetnom grafitu: DFT proračuni i NMR eksperimenti</i>	50
12:20		1-min prezentacije postera	
12:45		ručak	
14:15	Marko Kralj	<i>Epitaksijalni grafen i srodni 2D materijali</i>	19
14:45	Marin Petrović , Carsten Busse, Marko Kralj	<i>Adsorpcija cezija na epitaksijalni grafen na Ir(111)</i>	51
15:00	Predrag Lazić , Denis Sunko	<i>Evolucija lukova fermijeve plohe i mehanizam dopiranja u visokotemperaturnim supravodivima</i>	52
15:15	Damjan Pelc	<i>Supravodljiva perkolacija u kupratima</i>	53

15:30	Mihael S. Grbić , Steffen Krämer, Claude Berthier, Fabrice Trouselet, Olivier Cépas, Hidekazu Tanaka, Mladen Horvatić	<i>Svojstva singletnog osnovnog stanja "vjetrenjače" u $Rb_2Cu_3SnF_{12}$</i>	54
15:45		1-min prezentacije postera	
16:05		pauza	
16:35	Tena Dubček, Neven Šantić, Dario Jukić, Damir Aumiler, Robert Pezer, Karlo Lelas, Colin J. Kennedy, Wolfgang Ketterle, Marin Soljačić, Ticijana Ban, Hrvoje Buljan	<i>Sintetička magnetska polja za atome i fotone</i>	17
17:05	Petar Stipanović , Leandra Vranješ Markić, Ivana Bešlić, Jordi Boronat	<i>Univerzalnost kvantnih halo stanja</i>	31
17:25	Matko Maleš , Tomislav Živković	<i>Računanje vibracijskih spektara molekula LRM metodom</i>	55
17:40		okrugli stol grupe "Žene u fizici": Mogu li svi jednako napredovati?	

Treći dan — srijeda 7. listopada

9:00	Nikola Poljak	<i>Istraživanja kvarkovsko-gluonske plazme na LHC sudarivaču i neplanirani nusproizvod</i>	29
9:20	Željko Antunović, Vuko Brigljević, Nikola Godinović, Krešo Kadija, Marko Kovač , Damir Lelas, Jelena Luetić, Dunja Polić, Ivica Puljak, Lucija Sudić	<i>Mjerenje svojstava Higgsovog bozona</i>	27
9:40	Petar Čuljak , Krešimir Kumerički, Ivica Picek	<i>Proširena minimalna tamna tvar i mase neutrina na tropetljenom nivou</i>	56
9:55	Neven Soić	<i>Centar za detektore, senzore i elektroniku na IRB-u</i>	30
10:15		pauza	
10:45	Boris Podobnik	<i>Spontani oporavak u dinamičkim mrežama</i>	20
11:15	Ivica Martinjak , Damir Vučković	<i>Mandelbrotova invarijanta i L-stabilne distribucije u ekonofizičkim sustavima</i>	57
11:30	Vinko Zlatić , Michael Danziger, Sebastian Krause	<i>Perkolacija Izbjegavanja boja i njena primjena</i>	58
11:45	Janko Kajtez, Anastasia Solomatina, Maja Novak, Nenad Pavin, Iva Tolić	<i>Sile u diobenom vretenu</i>	21
12:15	Marcel Prelogović , Lora Winters, Iva Tolić, Nenad Pavin	<i>Uloga vezivnih proteina i kutne difuzije u stvaranju svežnjeva mikrotubula</i>	59
12:30	Mislav Cvitković , Ana-Sunčana Smith	<i>Plošna difuzija u membrani: vrludanje, skakanje, hvatanje — ili sva tri?</i>	60
12:45	Ines Vlahović , Matko Glunčić, Marija Rosandić, Vladimir Paar	<i>Usporedba periodičnih struktura višega reda u genomima čovjeka i neandertalca</i>	61

- 13:00 **Maja Novak**, Janko Kajtez, *Uloga premosnih mikrotubula u ravnoteži* 62
Anastasia Solomatina, Bruno
Polak, Kruno Vukušić, Ana
Milas, Patrik Risteski, Matko
Glunčić, Iva M. Tolić, Nenad
Pavin
- 13:15 **zatvaranje 9. ZS HFD**

Popis postera

P1	Nika Jurlin , Vernesa Smolčić	<i>Klasifikacija radio galaksije i studija njenog okruženja</i>	65
P2	Ramir Ristić , John Robert Cooper, Jovica Ivkov, Damir Pajić, Krešo Zadro, Emil Babić	<i>Amorfne slitine Cu-Ti,Zr,Hf: idealne čvrste otopine</i>	66
P3	Aleksandar Živković , Igor Lukačević	<i>Feroelastična nestabilnost magnezijevog fluorida</i>	67
P4	Krešimir Jakovčić , Milica Krčmar, Biljana Lakić	<i>IAXO – aksionski helioskop nove generacije</i>	68
P5	Jure Dragović , Damir Pajić, Danijela Luković Golić, Aleksandar Radojković	<i>Magnetska svojstva multiferoika $B_{1-x}Gd_xFeO_3$ ($x=0, 0.01, 0.03, 0.05, 0.10$)</i>	69
P6	Tonči Cvitanić , Mihael S. Grbić, Helmut Berger, Miroslav Požek	<i>Istraživanje $SeCuO_3$ nuklearnom kvadrupolnom rezonancijom</i>	70
P7	Dalibor Paar , Nenad Buzjak, Vanja Radolić, Stanislav Frančišković-Bilinski, Andreja Sironić, Nada Horvatinčić, Franci Gabrovšek	<i>Fizikalna istraživanja aktivnih i paleoekoloških procesa u jamama Dinarskog krša</i>	71
P8	Ivana Barišić , Peter Capak	<i>Accurate measurements of the dust properties in the 1 billion year old Universe</i>	72
P9	Marija Došlić , Damjan Pelc, Miroslav Požek	<i>Pojava radiofrekventnog drugog harmonika u vodljivosti na T_c u kupratima</i>	73
P10	Igor Marković , Damjan Pelc, Jair Freitas, Mihael Grbić, Miroslav Požek	<i>Dinamika domenskih zidova u feromagnetnom grafitu</i>	74
P11	Marija Majer , Željka Knežević, Saveta Miljanić, Liu Haikuan, Weihai Zhuo	<i>Optimizacija doza pri kompjuteriziranoj tomografiji za dječju populaciju</i>	75
P12	Toni Marković	<i>Atomic force mikroskopija (AFM) na monoslojnim sistemima</i>	76
P13	Marko Kuveždić , Tomislav Ivek, Marko Pinterić, Mario Basletić, Bojana Korinhamzić, Martin Dressel, Silvia Tomić	<i>Dielektrična svojstva α-(BEDT-TTF)$_2I_3$: feroelektrična priroda metalnoizolatorskog faznog prijelaza</i>	77
P14	Tomislav Ivek , Emil Tafra, Matija Čulo, Anja Löhle, Eva Rose, Sarika Singh, Rebecca Beyer, Rimma N. Lyubovskaya, Martin Dressel	<i>Uređenje naboja u kapa-fazi pod tlakom</i>	78
P15	Marina Skender , Giovanni Lapenta	<i>O evoluciji kvazi-ravnotežne strujne plohe i početku impulsivnog praštećeg magnetskog prespajanja</i>	79
P16	Ivana Jelovica Badovinac, Iva Šarić, Ivna Kavre Piltaver, Gabriela Ambrožić, Robert Peter , Mladen Petračić	<i>Narastanje tankih filmova titanovog nitrida i titanovog oksida korištenjem tehnike depozicije atomskih slojeva</i>	80

P17	Marina Poje , Vanja Radolić, Igor Miklavčić, Denis Stanić, Matko Mužević, Ivana Krpan, Branko Vuković	<i>Određivanje i mapiranje radonskog potencijala u RH na primjeru Osječko-baranjske županije (in situ mjerenja radonske koncentracije u tlu i permeabilnosti tla)</i>	81
P18	Marko Jerčinović , Maja Buljan, Nikola Radić, Ivančica Bogdanović Radović, Nikolina Novosel, Damir Pajić, Krešo Zadro, Pavo Dubček, Krešo Salamon, Sigrid Bernstorff	<i>Samouređeni rast niklenih nanočestica u amorfnoj matrici Al_2O_3</i>	83
P19	Nikolina Novosel , Michael Reissner, Michael Stöger-Pollach, Damir Pajić, Krešo Zadro, Marko Jerčinović, Maja Buljan, Nikola Radić	<i>Anizotropna magnetska svojstva kvazi-2D rešetke niklenih nanočestica u amorfnoj Al_2O_3 matrici</i>	84
P20	Igor Lukačević , Goranka Bilalbegović	<i>Rendgenski spektri nanočestica dijamanta oko zvijezda Elias 1 i HD 97048</i>	85
P21	Iva Šnidarić , Pierre Colin, Tihomir Surić, Ana Babić	<i>Emisija gama-zračenja i morfološke karakteristike proširenih izvora opaženih teleskopima MAGIC</i>	86
P22	Borna Pielić , Iva Šrut Rakić, Marko Kralj	<i>Sinteza 2D WS_2 na površini $Ir(111)$</i>	87
P23	Ante Bilušić , Marko Budimir, Paško Županović, Ivica Aviani, Zvonimir Domazet, Tonči Čakarić, Lucija Krce, Tonko Garma, Magdy Lučić Lavčević	<i>Predstavljanje projekta "Jačanje kapaciteta za primjenu i transfer tehnologije mikro-elektromehaničkih sustava na Sveučilištu u Splitu" (MEMSsplit)</i>	88
P25	Lucija Krce , Matilda Šprung, Nikša Krstulović, Ivica Aviani	<i>Utjecaj srebrnih nanočestica sintetiziranih laserskom ablacijom na <i>E. coli</i></i>	89
P26	Denis Stanić , Vanja Radolić, Marina Poje, Igor Miklavčić, Matko Mužević, Ivana Krpan, Ana Pavlačić, Branko Vuković	<i>Mjerenje radona na Sveučilištu u Osijeku i veleučilištima u Slavoniji</i>	90
P30	Filip Torić , Damir Pajić, Nikolina Novosel, Lidija Androš Dubraja, Marijana Jurić, Krešo Zadro	<i>Magnetsko ponašanje različitih faza $CaCr_2O_4$</i>	91
P31	Denis Stanić, Marko Šušak , Hrvoje Šušak, Stjepan Sabolek, Emil Babić	<i>Granica pojačanog zapinjanja domenskih zidova na površinskim domenama mekih feromagneta</i>	92
P32	Mario Vretenar , Velimir Labinac, Marko Jusup, Tarzan Legović	<i>Precizno mjerenje položaja i vremenskih intervala u pokusima iz mehanike</i>	93
P33	Robert Pezer	<i>Teorija vezanja optičkih modova i inženjerstvo faza</i>	94

Sažeci pozvanih predavanja

Visokoenergijska gama-astronomija teleskopima MAGIC

Ana Babić¹, Dijana Dominis Prester², Nikola Godinović³, Dario Hrupec⁴, Damir Lelas³, Ivica Puljak³, Tihomir Surić⁴, Iva Šnidarić⁴, Tomislav Terzić²

¹*Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilište u Zagrebu*

²*Odjel za fiziku, Sveučilište u Rijeci*

³*Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Splitu*

⁴*Institut Ruder Bošković, Zagreb*

Čerenkovljevi teleskopi su otvorili prozor za opažanje neba u području gama-zraka vrlo visokih energija (VHE, 50 GeV - 100 TeV). Na tim energijama, teleskopi MAGIC zajedno s teleskopima HESS i VERITAS otkrili su preko 150 galaktičkih i ekstragalaktičkih izvora. Većina otkrivenih ekstragalaktičkih izvora su aktivne jezgre galaksija (AGN), čiji je mlaz usmjeren prema opažaču (blazari). Dva blazara iz lokalnog svemira, Mrk 421 i Mrk 501, predmet su dugotrajnih (od 2009.) opažачkih kampanja u kojima se izvor istovremeno opaža na svim raspoloživim valnim duljinama, od radio do VHE gama-područja. Diskutirati će se uloga opažanja u VHE gama-području u okviru kampanja preko cijelog spektra (multiwavelength), te implikacije za razumijevanje fizikalnih uvjeta u mlazovima AGN-a. Sljedeća generacija VHE gama-opservatorija Čerenkov Telescope Array (CTA) je u fazi izgradnje. Hrvatska je član opservatorija CTA te je uključena u razvoj i izgradnju Large Scale Telescope (LST).

Dokazi dobrog metalnog ponašanja visokotemperaturnih supravodiča na bazi spojeva bakrenih oksida

Neven Barišić¹

¹*Institute of Solid State Physics, Vienna University of Technology, 1040 Vienna, Austria*

Supravodljivo stanje visokotemperaturnih supravodiča na bazi spojeva bakrenih oksida (kuprata) javlja se hlađenjem iz tzv. faze neobičnog metala. Ona je u blizini optimalnog dopiranja šupljinama karakterizirana ravninskim otporom velikog iznosa i linearnom temperaturnom ovisnošću u širokom rasponu. Ispod optimalnog dopiranja, na temperaturama nižim od T^* , postoji međufaza pseudoprocijepa koji djelomično cijepa Fermijevu površinu. Ova neobična svojstva potaknula su potragu za nestandardnim mehanizmima elektronskog raspršenja, odnosno čak i potpuno napuštanje kvazičestičnog pristupa kakvog je predložio Landau.

HgBa₂CuO_{4+δ} (Hg1201) se može smatrati modelnim kupratom zbog njegove relativno jednostavne strukture, minimalnih učinaka nereda i, na optimalnom dopiranju, velike temperature supravodljivog prijelaza T_c od gotovo 100 K [1]. U našim istraživanjima pronašli smo da ravninska otpornost Hg1201 na temperaturama manjim od T^{**} ($T^{**} < T^*$) kvadratno ovisi o temperaturi, što je značajka Fermijeve tekućine [2]. Taj rezultat nas je motivirao na mjerenje optičke vodljivosti, koja su pokazala kvadratnu ovisnost o frekvenciji i temperaturno-frekvencijsko skaliranje konstante optičkog raspršenja, kakvo se očekuje za Fermijeve tekućine [3]. Nadalje, pokazali smo da za Hg1201, kao i za YBa₂Cu₃O_{6+δ}, magnetootpor zadovoljava Kohlerov zakon na temperaturama manjima od T^{**} [4]. Kombiniranjem naših rezultata za dc otpornost Hg1201 s objavljenim podacima za tri strukturno složenija kuprata dobili univerzalnu ravninsku otpornost kroz glavninu faznog dijagrama, koji se standardno daje u ovisnosti o temperatura i dopiranju. Tako smo došli do neočekivanog zaključka da se ponašanje poput onoga svojstvenog Fermijevim tekućinama proteže do vrlo malih dopiranja, blizu Mottovog izolatorskog stanja [2]. Protivno ranijim pristupima u kojima su se proširivale ideje razvijene za fazu neobičnog metala ($T > T^*$) na fazu pseudoprocijepa ($T < T^*$), mi ćemo raspraviti tu fazu neobičnog metala sa stajališta sada dobro dokumentiranih svojstava pseudoprocijepa i Fermijeve tekućine. Usporedna analiza ravninske dc otpornosti i mjerenja Hallovoeg efekta pokazuje da konstanta raspršenja koja određuje transportna svojstva ostaje kvadratna u temperaturi i iznad T^{**} i T^* , štoviše, da je neovisna o dopiranju i kemijskom sastavu konkretnog kuprata. Takvo univerzalno ponašanje sugerira postojanje standardnog mehanizma raspršenja preko čitavog faznog dijagrama [5]

- [1] N. Barišić *et al.*, Phys. Rev. B **78**, 054518 (2008).
- [2] N. Barišić *et al.*, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. **110**, 12235 (2013).
- [3] S. I. Mirzaei *et al.*, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. **110**, 5774 (2013).
- [4] M. K. Chan *et al.*, Phys. Rev. Lett. **113**, 177005 (2014).
- [5] N. Barišić *et al.*, arXiv:1507.07885 (2015).

Masena spektrometrija sekundarnih molekularnih iona pomoću iona MeVskih energija (MeV SIMS) – nova metoda za karakterizaciju modernih slikarskih materijala

Ivančica Bogdanović Radović¹, Nikola Marković*¹, Zdravko Siketić¹,
Dubravka Jembrih-Simbuerger², Marta Anghelone², Marta Anghelone³,
Mlko Jakšić¹

¹Laboratorij za interakcije ionskih snopova, Institut Ruđer Bošković, Bijenicka 54,
HR-10000 Zagreb, Croatia

²Institute of Science and Technology in Art, Academy of Fine Arts, Schillerplatz 3,
Vienna, Austria

³Institute of Chemical Technologies and Analytics, Vienna University of Technology,
Getreidemarkt 9/161, Vienna, Austria

Razvojem moderne industrije početkom prošlog stoljeća došlo je do pojave novih materijala, posebno sintetskih organskih veziva i pigmenata koje su umjetnici odmah počeli koristiti u svom radu. Kako se radi o relativno novim materijalima, njihovo ponašanje u kontaktu s drugim materijalima jednako kao i njihova stabilnost pod utjecajem različitih faktora iz okoliša (UV zračenja, temperature,...) trenutno nije dobro poznata. Kako bi umjetnička djela sačuvali od propadanja za buduće generacije, važno je proučavati te materijale i njihovu stabilnost korištenjem kemijskih i fizikalnih analitičkih metoda koje mogu dati informaciju o molekularnom sastavu kao što su plinska kromatografija/masena spektrometrija (GC/MS), piroliza-GC/MS, FTIR ili Raman spektroskopija.

U ovom radu istražuje se potencijal MeV SIMS-a za identifikaciju sintetskih organskih materijala koji se koriste u modernom slikarstvu. U tu su svrhu pripremljeni modelni uzorci (tzv. mock-ups) miješanjem različitih pigmenata sa alkidnim i akrilnim vezivima. Također pripremljeni su i uzorci komercijalno dostupnih boja. Uzorci su ubrzano stareni korištenjem pojačanih uvjeta UV zračenja i temperature u posebnoj komori za starenje. Stareni i nestareni uzorci analizirani su korištenjem analitičkih metoda na Akademiji likovnih umjetnosti u Beču (Raman, py-GC/MS) te MeV SIMS-om na Institutu Ruđer Bošković. Analizirana su tri različita seta uzoraka: nestareni, stareni 2 mjeseca (UV1) i stareni 4 mjeseca (UV2) te su gledane razlike u masenim spektrima. Također kombinacijom MeV SIMS-a i Skenirajuće Transmisijske Ionske Mikroskopije (STIM) razvijena je nova metoda za 2D molekularno mapiranje uzoraka sa submikronskom lateralnom rezolucijom. U predavanju će biti predstavljene rezultati istraživanja.

Ovo istraživanje omogućeno je potporom fonda Jedinstvo uz pomoć znanja (Ugovor br. 4/13).

* Trenutna adresa: Center for Nuclear Technologies, Technical University of Denmark, Riso Campus, DK-4000 Roskilde, Denmark

Sintetička magnetska polja za atome i fotone

Tena Dubček¹, Neven Šantić¹, Dario Jukić¹, Damir Aumiler², Robert Pezer³, Karlo Lelas⁴, Colin J. Kennedy⁵, Wolfgang Ketterle⁵, Marin Soljačić⁵, Ticijana Ban², Hrvoje Buljan¹

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

²*Institut za fiziku, Zagreb, Hrvatska*

³*Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak, Hrvatska*

⁴*Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, Hrvatska*

⁵*Department of Physics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, USA*

Predstaviti ćemo recentne rezultate naših grupa u brzo rastućem području sintetičkog magnetizma za atome i fotone. Rezultate možemo kategorizirati u tri skupine.

(i) Teorijsko predviđanje [1] i eksperimentalna realizacija [2] sintetičkog magnetskog polja, po prvi puta implementiranog u klasičnom plinu neutralnih hladnih atoma. Nova shema koju smo osmislili temelji se na sili tlaka zračenja [1,2]. Eksperiment je implementiran u ⁸⁷Rb Magneto-optičkoj klopki [2].

(ii) Prijedlog realizacije Weylovog Hamiltonijana i Weylovih fermiona s ultrahladnim atomima, u trodimenzionalnoj optičkoj rešetki s laserski potpomognutim tuneliranjem [3]. Ove rešetke u inverznom prostoru, u Brillouinovoj zoni, imaju tzv. Weylove točke. Weylove točke su sintetski magnetski monopoli, a u njihovoj blizini energija linearno ovisi o valnom vektoru [3]. Ukoliko su hladni atomi fermioni, s Fermijevom energijom na energiji Weylove točke, niskoenergetska pobuđenja u tom sustavu tvore Weylove fermione, jednu od tri vrste fermiona u relativističkoj kvantnoj fizici (uz Diracove i Majorana fermione). Međutim, u fizici čestica Weylovi fermioni još nisu opaženi. Weylove su točke vrlo robusne: mogu nestati samo ako dvije točke suprotnih kiralnosti budu anihilirane.

(iii) Konačno, prezentirati ćemo novi prijedlog za eksperimentalnu realizaciju sintetičkih magnetskih polja za fotone u jedno- i dvo-dimenzionalnim fotoničkim rešetkama [4]. Istraživanja financira UKF projekt 5/13.

[1] Tena Dubček, Neven Šantić, Dario Jukić, Damir Aumiler, Ticijana Ban, and Hrvoje Buljan, Synthetic Lorentz force in classical atomic gases via Doppler effect and radiation pressure, *Phys. Rev. A* **89**, 063415 (2014).

[2] Neven Šantić, Tena Dubček, Damir Aumiler, Hrvoje Buljan, Ticijana Ban, Experimental Demonstration of a Synthetic Lorentz Force by Using Radiation Pressure, poslano u tisak.

[3] Tena Dubček, Colin J. Kennedy, Ling Lu, Wolfgang Ketterle, Marin Soljačić, Hrvoje Buljan, Weyl points in three-dimensional optical lattices: Synthetic magnetic monopoles in momentum space, *Phys. Rev. Lett.* **114**, 225301 (2015).

[4] Tena Dubček, Karlo Lelas, Dario Jukić, Robert Pezer, Marin Soljačić, Hrvoje Buljan, The Harper-Hofstadter Hamiltonian and conical diffraction in photonic lattices with grating assisted tunneling, poslano u tisak, arXiv:1505.06690 [physics.optics]

Vanadat i kuprat pod svjetlom sinkrotrona

Vita Ilakovac¹

¹*Laboratoire de Chimie Physique - Matière et Rayonnement (LCP-MR) CNRS
UMR 7614 Université Pierre et Marie Curie 11, rue Pierre et Marie Curie, 75 231
Paris, France*

BaVS₃ je loš kvazi-jedno-dimenzionalni vodič, Sr₁₄Cu₂₄O₄₁ dvodimenzionalni supravodič kad je dopiran i pod tlakom. U oba sustava uređenje valova gustoće naboja dovodi do izolatorskog stanja. U BaVS₃ igra međudjelovanja između skoro-slobodnih i lokaliziranih elektronskih stanja na Fermijevom nivou dovodi do niza prijelaza koji smrzavaju prvo naboje a potom spinove. S druge strane, Sr₁₄Cu₂₄O₄₁ ne bi bio vodič da u njemu nema šupljina, mada one više vole biti na izolatorskim lancima nego na vodljivim ljestvicama. Dok se u BaVS₃ spinovi anti-feromagnetski (AFM) uređuju tek na niskoj temperaturi, Sr₁₄Cu₂₄O₄₁ pokazuje naklonost AFM uređenju već na sobnoj temperaturi. No, magnetska frustracija na ljestvicama dovodi do stanja spinske tekućine s takozvanim triplonskim ekscitacijama.

Apsorpcija, inelastično rezonantno raspršenje i rezonantna difrakcija sinkrotronskih X-zraka omogućile su nam odrediti AFM uređenje u BaVS₃, te disperziju triplona i raspodjelu šupljina u Sr₁₄Cu₂₄O₄₁. Ali, niti jedan od ta dva sistema još nije otkrio sve svoje tajne.

- [1] Ph. Leininger, V. Ilakovac, Y. Joly, E. Schierle, O. Bounau, J.-P. Pouget, and P. Foury-Leylekian, Phys. Rev. Lett. 106, 167203 (2011)
- [2] J. Schlappa, T. Schmitt, F. Vernay, V. N. Strocov, V. Ilakovac, B. Thielemann, H. M. Ronnow, et al. Phys. Rev. Lett. 103, 047401 (2009)
- [3] V. Ilakovac, C. Gougoussis, M. Calandra, N.B. Brookes, V. Bisogni, S.G. Chiuzbaian, J. Akimitsu, O. Milat, S. Tomić, and C. F. Hague, Phys. Rev. B 85, 075108 (2012)

Epitaksijalni grafen i srodni 2D materijali

Marko Kralj¹

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

Atraktivna intrinzična svojstva grafena mogu se prilagoditi za razne primjene pomoću modifikacija koje ciljano mijenjaju gustoću nosioca naboja na Fermijevoj energiji, odnosno utječu na linearne vrpce u njenoj okolini. Osim pomoću efekta električnog polja u tranzistorima, koncentracija nosioca naboja može se podešavati pomoću adsorpcije atoma ili molekula "iznad" ili "ispod" grafena, što je dodatno popraćeno promjenama u međudjelovanju s podlogom i modifikacijama višestrukih međudjelovanja u grafenu. Takve efekte lako je ostvariti u epitaksijalnim sistemima, gdje adsorpcija često vodi do interkalacije atoma i molekula između grafena i podloge [1]. U stvari, svojstva grafena i niza drugih slojevitih 2D materijala poput dihalogenida prijelaznih metala ili topoloških izolatora, mogu biti "krojena" postupkom interkalacije. Općenito, ciljanim odabirom i/ili kombinacijom grafena i novih 2D materijala u lateralnim ili vertikalnim heterostrukturama, te dodatnim umetanjem atoma u slojeve ili nametanjem mehaničkog naprezanja, moguće je ukloniti intrinzične nedostatke individualnih 2D slojeva i ostvariti specifične primjene npr. u optoelektronici, spintronici, sensorima.

Detaljni pogled na proces interkalacije atoma alkalijskih metala u epitaksijalni grafen na iridiju ostvaren je kombiniranom primjenom tehnika koje su osjetljive na svojstva u realnom i recipročnom prostoru: LEEM, STM, ARPES, LEED, vdW-DFT. Pronašli smo da su mikroskopski mehanizam i dinamika interkalacije podešeni van der Waalsovom međudjelovanjem, gdje je sama dinamika ovisna o naborima u grafenu [2]. Nabori grafena, točnije njihova struktura, makroskopsko uređenje i mehanizam formiranja karakterizirani su relevantnim tehnikama na mikro- i nano-skali [3]. Pokazat ćemo i mogućnost unošenja makroskopski usmjerenog naprezanja u epitaksijalni grafen i transfer takvih uzoraka na dielektričnu podlogu [4]. Konačno, demonstrirat ćemo kako se tehnike epitaksijalnog rasta uz proširenje kontroliranih uvjeta i prekursora mogu primijeniti za direktno dobivanje i drugih 2D materijala, primjerice dihalogenida, direktno na željenim podlogama [5].

[1] M. Kralj, *Nature Phys.* **11** (2015) 11-12

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

[3] M. Petrović, J.T. Sadowski, A. Šiber, M. Kralj, *Carbon* **94** (2015) 856-863

[4] I. Šrut Rakić, D. Čapeta, M. Plodinec, M. Kralj, submitted (2015)

[5] D. Čapeta, et al., in preparation

Spontani oporavak u dinamičkim mrežama

Boris Podobnik¹

¹*Sveučilište u Rijeci*

U teoriji kompleksnih mreža velik broj istraživanja razmatrao je strukturna svojstva i ranjivost mreža. Od posebnog su značaja iznenadni dinamički događaji koji uzrokuju razbijanje mreža na ireverzibilan način. Ipak, u mnogim fenomenima u stvarnom svijetu kao što su epi lepsija u neuroznanosti ili iznenadni lom tržišta u financijama nakon jednog neaktivnog perioda značajan dio mreže prodje kroz spontani oporavak i mreža ponovno postane aktivna. Kako bi modelirali oporavak mreže, uveli smo oporavak na nivou čvora i stohastično širenje zaraze i time pokazali da ti mehanizmi mogu dovesti do spontane pojave makroskopskog fenomena flipanja između stanja aktivnosti i neaktivnosti. Sustav pokazuje jaku histerezu analognu faznim prijelazima u blizini kritičnih točaka.

Sile u diobenom vretenu

Janko Kajtez¹, Anastasia Solomatina¹, Maja Novak², Nenad Pavin²,
Iva Tolić³

¹*Max Planck Institute of Molecular Cell Biology and Genetics, Dresden*

²*Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb*

³*Institut Ruđer Bošković, Zagreb*

U tijeku stanične diobe svaki se kromosom dijeli na dvije identične polovice, od kojih po jedna dospijeva u svaku stanicu kćer. Za tu podjelu odgovorni su nitasti proteini, tzv. mikrotubuli, koji se samoorganiziraju u diobeno vreteno. Polazeći od polova vretena, mikrotubuli se povezuju s posebnim proteinskim kompleksom na kromosomima, kinetohorom. Prije same podjele kromosoma sile na kinetohore proizvode k-vlakna, snopovi mikrotubula koji završavaju na kinetohorama. Zanimljivo je da su u nekim stanicama mikrotubuli koji ne završavaju na kinetohorama opaženi između sestrinskih kinetohora, ali je njihova funkcija nepoznata. Laserskim rezanjem k-vlakna u živim ljudskim stanicama pokazali smo da snop takvih mikrotubula, koji smo nazvali premosnim mikrotubulima, premošćuje sestrinska k-vlakna i uravnotežuje sile napetosti između sestrinskih kinetohora. Pronašli smo proteine PRC1 i EB3 u premosnim vlaknima, što ukazuje da se ona sastoje od antiparalelnih dinamičkih mikrotubula. Razvili smo teorijski model koji uključuje premosna vlakna, te pokazali da sile koje djeluju na kinetohore ovise o broju mikrotubula u premosnom vlaknu. Štoviše, naša teorija i eksperimenti pokazuju veću relaksaciju napetosti između kinetohora za rezove bliže kinetohori, što znači da napetost između kinetohora ovisi o duljini mikrotubula. Zaključujemo da premosna vlakna povezuju sestrinska k-vlakna, uravnotežuju napetost između sestrinskih kinetohora, te omogućuju zakrivljeni oblik diobenog vretena.

Sažeci ciljanih predavanja

Neperturbativni pristup faznim prijelazima s neredom

Ivan Balog¹, Gilles Tarjus², Matthieu Tissier²

¹*nstitute of Physics, P.O. Box 304, Bijenička cesta 46, HR-10001 Zagreb, Croatia*

²*LPTMC, CNRS-UMR 7600, Université Pierre et Marie Curie, boîte 121, 4 Pl. Jussieu, 75252 Paris cédex 05, France*

Pojave koje su rezultat kolektivnog ponašanja mnoštva konstituenata desetljećima zbunjuju i oduševljavaju istraživače. Razlog su tome poteškoće u poimanju pojava koje nastaju isključivo iz korelacija mnoštva i koje ne postoje u jednočestičnoj slici, kao i potreba za konstantnim razvijanjem i traženjem novih teorijskih koncepata koji bi nam mogli približiti takve pojave.

Trenutno najmoderniji pristup takvim problemima jest neperturbativna renormalizacijska grupa (NPRG) [1], koja je zadnjih godina u snažnom razvoju. Razlog interesa za ovaj pristup leži u općenitosti i samim tim mogućnosti primjena na brojne probleme, od klasičnih preko kvantnih faznih prijelaza pa sve do neravnotežnih pojava. Prednost NPRG-a nad ostalim teorijskim pristupima je, pored pružanja dubokih konceptualnih uvida, i mogućnosti objašnjenja efekata koji su dugo vremena predstavljali kompletne zagonetke u teorijskom smislu. Takvi efekti su obično rezultat rijetkih, ali bitnih događaja, prostornih nehomogenosti, ili kolektivnih fenomena izvan dosega klasične perturbativne renormalizacijske grupe.

Nakon kratkog uvoda u NPRG, prezentirat ću neke ilustrativne primjere. Rasvjetljena su neka fundamentalna pitanja vezana uz Isingov model u nasumičnom polju, koji predstavlja paradigmu faznih prijelaza s neredom jer opisuje fenomenologiju mnogih eksperimentalnih sustava. Neka od pitanja kojima smo ponudili odgovore jesu: klasa univerzalnosti prijelaza histereze [2], priroda aktiviranog kritičnog usporavanja [3]; kao i neke zaključke vezane uz lom dimenzijske redukcije [4], te predikcije koje je moguće testirati numeričkim metodama.

[1] J. Berges, N. Tetradis, and C. Wetterich, *Phys. Rep.* 363, 223 (2002).

[2] I.Balog, M.Tisser and G. Tarjus, *Phys. Rev. B* 89, 104201 (2014)

[3] I.Balog and G. Tarjus, *Phys. Rev. B* 91, 214201 (2015)

[4] I.Balog, M.Tisser and G. Tarjus, *J. Stat. Mech* P10017 (2014)

Misteriozna međuzvjezdana maglica naše galaksije

Vibor Jelić¹

¹*Ruder Bošković Institute, Bijenička cesta 54, 10000 Zagreb, Croatia*

U našoj galaksiji, međuzvjezdana tvar sastoji se uglavnom od mješavine plinova različitih temperatura i faza. Netermičku komponentu u fazi plazme čine većinom relativistički protoni i elektroni nastali pri eksplozijama masivnih zvijezda. Pri njihovom međudjelovanju sa sveprožimajućim magnetskih poljem naše galaksije se stvara sinhrotronsko zračenje koje možemo detektirati uz pomoć radioteleskopa. Nedavna promatranja s LOFAR radioteleskopom otkrila su vrlo neobične morfološke strukture u polariziranom sinhrotronskom zračenju naše galaksije [1]. Protežu se preko nekoliko stupnjeva na nebu i najvjerojatnije su nakupine ioniziranog plina u termodinamičkoj ravnoteži koji mijenja polarizacijski kut sinhrotronskog zračenja, tzv. Faradayeva rotacija. Njihovo točno porijeklo je prava zagonetka, te za cjelovito razumijevanje su potrebna dodatna promatranja na ostalim valnim duljinama. Za vrijeme predavanja prezentirat ću novootkrivene morfološke strukture i njihove fizikalne karakteristike, te ću diskutirati njihovo moguće porijeklo.

[1] Jelić et al., 2014, A&A, 568A, 101J

Mjerenje svojstava Higgsovog bozona

Željko Antunović², Vuko Brigljević³, Nikola Godinović¹, Krešo Kadija³,
Marko Kovač¹, Damir Lelas¹, Jelena Luetić³, Dunja Polić¹, Ivica
Puljak¹, Lucija Sudić³

¹*Sveučilište u Splitu, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split, Hrvatska*

²*Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Split, Hrvatska*

³*Institut Ruder Bošković, Zagreb, Hrvatska*

Mjerenje kvantnih brojeva spina i parnosti novootkrivenog bozona je bio važan korak prema provjeri slažu li se ta svojstva sa svojstvima koja karakteriziraju Higgsov bozon Standardnog modela. Kanal raspada $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$ najosjetljiviji je kanal kroz koji je pronađen novi bozon te je, uz raspad Higgsovog bozona u dva fotona i najprecizniji. Nadalje, kroz ovaj kanal je moguće najpreciznije izmjeriti svojstva novog bozona, poput mase i spina, što je i pokazano u najnovijim rezultatima objavljenim do sada. U ovom radu prikazani su rezultati mjerenja kvantnih brojeva nove čestice koristeći 5.1 fb^{-1} eksperimentalnih podataka na 7 TeV i 19.7 fb^{-1} na 8 TeV prikupljenih radom CMS detektora tijekom 2011. i 2012. godine. Postojanje signala statistički je potvrđeno sa značajnošću od 6.8 standardnih devijacija. Skalarna hipoteza spina i parnosti novootkrivenog bozona je u skladu s eksperimentalnim podacima, dok su sve ostale hipoteze odbačene s razinom pouzdanosti od 99% i više.

[1] Constraints on the spin-parity and anomalous HVV couplings of the Higgs boson in proton collisions at 7 and 8 TeV By CMS Collaboration Nov 12, 2014. 55 pp. Published in Phys.Rev. D92 (2015) 1, e- Print: arXiv:1411.3441

Diracovi sustavi - nasljednici grafena

Mario Novak¹, Filip Orbanić¹, Ivan Kokanović¹

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

U ovome predavanju želim predstaviti niz novih i uzbudljivih materijala kojima je zajednička karakteristika da posjeduju linearnu energijsku disperziju. Govoriti ću o topološkim izolatorima, trodimenzionalnim Diracovim i Weylovim metalima. Naglasak predavanja biti će stavljeni na sintezu monokristala navedenih materijala i njihova transportna mjerenja. Topološki izolatori su materijali koji su izolatori u unutrašnjosti, dok na površini postoje topološki zaštićena spin-polarizirana metalna stanja koja su opisana Diracovim hamiltonijanom za bezmasene čestice. Diracovi i Weyl metali se mogu predstaviti kao proširenje fizike grafena na tri dimenzije uz nova zanimljiva svojstva.

Istraživanja kvarkovsko-gluonske plazme na LHC sudarivaču i neplanirani nusproizvod

Nikola Poljak¹

¹*Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu*

ALICE (A Large Ion Collider Experiment) je jedan od glavnih eksperimenata na LHC (Large Hadron Collider) ubrzivaču na CERN-u [1]. Istraživanja ALICE grupe fizičkog odsjeka PMF-a u Zagrebu usmjerena su u dva pravca. S jedne strane, analizom podataka prvog perioda rada LHC ubrzivača izučavaju se izvori čestica koji iskazuju svojstva kvark-gluonske plazme. U tu svrhu razmatraju se parovi piona nastali u sudarima protona energije 7 TeV u centru mase. Nakon odvajanja sudara u kojima se čestice uglavnom nalaze u snopovima od onih u kojima su homogeno raspodijeljene u detektoru [2], pomoću korelacija takvih piona dobijamo informaciju o veličini izvora iz kojeg su izašli. Bit će prikazani rezultati ove analize, kao i kratak pregled budućih planiranih analiza.

Osim analize podataka, grupa je usmjerena i na razvoj instrumentacije potrebne za buduće nadogradnje detektora. Specifično, prije trećeg planiranog prikupljanja podataka na LHCu, u detektor se namjeravaju ugraditi Gas Electron Multiplier (GEM) detektori [3,4], pomoću kojih bi se trenutne mogućnosti prikupljanja podataka ubrzale i do 50 puta. Za prikupljanje signala s GEM detektora potrebno je očitavati vrlo male struje koje njima teku (pA) dok ih se drži na visokom naponu (kV). Grupa je dizajnirala i izradila pikoampermetre koji zadovoljavaju sve potrebe prikupljanja signala, a uz to su i dovoljno univerzalni da se mogu iskoristiti i u drugim eksperimentalnim postavama. Uslijed velike trenutne potražnje u svijetu za takvim instrumentom, osnovali smo i tvrtku koja će se baviti njihovom izradom i daljnim nadogradnjama.

[1] ALICE Collaboration, The ALICE experiment at the CERN LHC, *Journal of Instrumentation* 3, S08002 (2008)

[2] ALICE Collaboration, Transverse sphericity of primary charged particles in minimum bias proton-proton collisions at $\sqrt{s}=0.9, 2.76$ and 7 TeV, *Eur. Phys. J. C*, 72:2124, (2012)

[3] H. Appelshaeuser et al., Technical design report of the alice tpc upgrade, *Tech. rep.* (2013)

[4] F. Sauli, GEM: A new concept for electron amplification in gas detectors, *Nucl. Instr. and Meth. A* 386 (2) 531–534 (1997)

Centar za detektore, senzore i elektroniku na IRB-u

Neven Soić¹

¹*Institut Ruder Bošković, Zagreb*

Moderni eksperimenti u nuklearnoj, čestičnoj i astro- fizici ovise o specijaliziranim i vrlo složenim sustavima detektora. Razvoj i izgradnja ovih unikatnih uređaja nužnih za značajna znanstvena postignuća, zahtjeva široki spektar znanja iz fizike, elektronike i računarstva. Institucije koje značajnije doprinose u tim aktivnostima imaju veliki ugled u znanstvenoj zajednici, veći utjecaj u znanstvenom programu, te su izgledni partneri za sudjelovanje u novim međunarodnim suradnjama. Te aktivnosti zahtjevu velika infrastrukturna ulaganja, ali često vode do značajnog tehnološkog napretka i povećanog potencijala za prijenos znanja u industriju, pozitivno utječući na lokalnu ekonomiju. Znanstvenici IRB-a surađuju s vrhunskim svjetskim institucijama u ovim područjima istraživanja i imaju potrebna znanja i iskustva u nužnim eksperimentalnim tehnikama, no IRB kao institucija nedovoljno doprinosi u razvoju i izgradnji opreme. Manji projekti, uglavnom financirani iz međunarodnih izvora, u nekim od laboratorija IRB-a omogućavali su razvoj nove istraživačke opreme na lokalnom akceleratorском postrojenju, te dijelova opreme korištene u međunarodnim istraživačkim institucijama. Važan iskorak u ispravljanju ove slabosti i povećanju relevantnog tehnološkog potencijala IRB-a i RH, bio je uspješno izvršen FP7 REGPOT projekt "Upgraded Facility for Development of Silicon and Diamond Particle Detector Systems", u suradnji grupa iz nuklearne i čestične fizike, i primjene snopova iona. Njime je postavljen temelj za stvaranje Centra za detektore, senzore i elektroniku. Daljne aktivnosti se poduzimaju kroz prijedlog projekta IRB-a za europske strukturne i investicijske fondove "Otvorene znanstvene infrastrukturne platforme za inovativne primjene u gospodarstvu i društvu", Znanstveni centar izvrsnosti za napredne materijale i senzore, H2020 ERA Chair projekt "Expanding Potential in Particle and Radiation Detectors, Sensors and Electronics in Croatia", te ostale projekte kao što je H2020 research infrastructures project "Advanced European Infrastructures for Detectors at Accelerators". Ukratko će se prikazati aktivnosti u tim projektima s naglaskom na ERA Chair projekt kojim su osigurana sredstva za zapošljavanje vrhunskih međunarodnih eksperata koji će objediniti sve dostupne resurse u Centar, nezavisnu ustrojbenu jedinicu IRB-a. ERA Chair, voditelj Centra, uključiti će se u upravljačku strukturu IRB-a kao integralna komponenta tekućih strukturnih promjena usklađenih s praksom najboljih svjetskih znanstvenih institucija, s ciljem podizanja znanstvene kvalitete i društvene uloge IRB-a. Centar će biti fokusiran na istraživanja u nuklearnoj, čestičnoj i astro-čestičnoj fizici, ali će podržavati aktivnosti iz širokog spektra znanstvenih istraživanja, osobito u znanosti o materijalima, elektronici i ICT, kao i tehnoloških primjena. IRB je osobito pogodna institucija za uspostavu Centra zbog svoje multidisciplinarnosti jedinstvene u RH. U skladu s praksom najboljih svjetskih institucija i novom politikom IRB-a, Centar će biti otvoren za suradnju sa svim institucijama i poslovnim subjektima u RH.

Univerzalnost kvantnih halo stanja

Petar Stipanović¹, Leandra Vranješ Markić¹, Ivana Bešlić¹, Jordi Boronat²

¹*Prirodoslovno-matematički fakultet u Splitu, Teslina 12, 21000 Split*

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

Prezentiramo rezultate istraživanja osnovnog stanja kvantnih halo sustava, odnosno slabo vezanih sustava koji zadiru duboko u klasično zabranjeno područje. Cilj nam je bio ispitivanje predviđene univerzalnosti kvantnih halo stanja dimera i trimera.

Bazirali smo se na atomske klasterne, koje tvore atomi $T\downarrow$, $D\downarrow$, ${}^3\text{He}$, ${}^4\text{He}$ i alkalijski elementi, jer su interakcije među tim česticama puno poznatije od onih u nuklearnoj fizici gdje postoje tradicionalni primjeri kvantnih halo stanja. Proučavanje realističnih sustava prošireno je korištenjem raznih modela interakcije kako bi se ispitala (ne)ovisnost osobina tih sustava o detaljima potencijala interakcije. Koristili smo metode koje nam omogućuju vrlo preciznu procjenu veličine i energije vezanja višečestičnih sustava, varijacijski i difuzijski Monte Carlo.

Koristeći bezdimenzionalne mjere energije i veličine klastera, proučene atomske klasterne uspoređujemo s drugim poznatim halo sustavima iz drugih područja fizike. U halo području svi dimeri te trimeri za veće iznose skalirane energije slijede gotovo istu univerzalnu liniju, dok je za niže energije bogatije ponašanje trimera. Naime, kako se skalirana energija vezanja snižava, Borromeanova linija se odvaja od tango linije. Nadalje, uspoređujemo strukturne osobine trimera koristeći razne razdiobe udaljenosti.

Sažeci usmenih izlaganja

Analiza područja povećane gustoće galaksija i radijskog kontinuuma superjata galaksija na crvenom pomaku $z=0.43$

Nikola Baran¹, Vernesa Smolčić¹, Dinko Milaković¹, Mladen Novak¹,
Jacinta Delhaize¹, Fabio Gastaldello², Miriam Elizabeth Ramos-Ceja³,
Florian Pacaud³, Steven Bourke⁴, Chris Carilli⁵, Stefano Ettori¹, Greg
Hallinan⁴, Cathy Horellou⁷, Elias Koulouridiis⁸, Oskari Miettinen¹,
Kunal Mooley⁴, Marguerite Pierre⁸, Emanuela Pompei⁹, Eva
Schinnerer¹⁰

¹*Sveučilište u Zagrebu - Prirodoslovno-Matematički Fakultet*

²*INAF-IASF Milano, Via Bassini 15, I-20133 Milano, Italija*

³*Argelander-Institut fuer Astronomie Auf dem Huugel 71 D-53121 Bonn, Njemačka*

⁴*California Institute Of Technology, Department of Astronomy, 1200 East
California Boulevard, Pasadena, CA 91125, SAD*

⁵*National Radio Astronomy Observatory, PO Box O, Socorro, New Mexico, 87801,
SAD*

⁶*INAF - Osservatorio Astronomico di Bologna, Via Ranzani 1, 40127, Bologna,
Italija*

⁷*Chalmers University of Technology, Department of Earth and Space Sciences,
Onsala Space Observatory, 439 92 Onsala, Švedska*

⁸*CEA Saclay, Service d'Astrophysique, L'Orme des Merisiers Bât 709, BP 2, 91191
Gif-sur-Yvette Cedex, Francuska*

⁹*European Southern Observatory, Alonso de Cordova 3107, Vitacura, 19001 Casilla,
Santiago 19, Čile*

¹⁰*Max Planck Institute for Astronomy Konigstuhl 17, 69117 Heidelberg, Njemačka*

Iznosimo rezultate opažanja radijskim teleskopom Karl G. Jansky Very Large Array (VLA) na frekvenciji 3 GHz, usmjerenih prema dijelu polja XXL-North, koje sadrži prvo superjato galaksija otkriveno unutar pregleda neba XXL. Za tu strukturu već je spektroskopski utvrđen crveni pomak $z = 0.43$ te raspon od $0^{\circ}35' \times 0^{\circ}1'$. Cilj ovoga rada je dvojaki. Prvo, opisujemo rezultate opažanja radijskog kontinuuma, snimku neba na 3 GHz, te katalog nadenih radijskih izvora. Drugo, detaljno analiziramo superjato u optičkom i radijskom dijelu elektromagnetskog spektra, koristeći fotometrijski određene crvene pomake iz pregleda CFHTLS te naše nove podatke iz pregleda VLA-XXL. Naša snimka ima razlučivost $3'' .2 \times 1'' .9$ i pokriva područje neba veličine $41' \times 41'$. Srednji *rms* nivo šuma je ispod $\sim 20 \mu\text{Jy beam}^{-1}$, dok unutar centralnog dijela snimljenog područja doseže do $\approx 11 \mu\text{Jy beam}^{-1}$. U snimci nalazimo 155 radijskih izvora koji imaju omjer signala i šuma veći od 6. Od tih 155 izvora, osam izvora su veliki te opisani pomoću više komponenti, a 123 (79CFHTLS W1. Primjenom tehnike Voronoi teselacije na područje oko superjata identificiranog u rentgenskom području nalazimo 16 područja povećane gustoće galaksija unutar raspona crvenog pomaka od 0.35 do 0.5. Za područja nađena Voronoi teselacijom nalazimo srednji fotometrijski crveni pomak od 0.43, a sedam već postoji i u XMM-Newton XXL podacima. Osam radijskih izvora je vjerojatno pridruženo jatu, ali

unutar područja povećane gustoće galaksija nema prisutnih velikih radijskih galaksija. Uvid u prostornu raspodjelu crvenih i plavih galaksija unutar područja nađenih Voronoi teselacijom sugerira da su ta jata dinamički mlada i nevirijalizirana, što bi bilo konzistentno sa hijerarhijskim rastom struktura kakav očekujemo u Λ CDM modelu svemira. Za potvrdu stanja dinamike u tim strukturama potrebni su daljnji spektroskopski podaci.

Prvi uvid u kozmičku povijest stvaranja zvijezda iz VLA-COSMOS pregleda neba na 3 GHz

Mladen Novak¹, Vernesa Smolčić¹, Nikola Baran¹, Jacinta Delhaize¹,
Ivan Delvecchio¹, Oskari Miettinen¹, Clotilde Laigle², Olivier Ilbert³,
Henry Joy McCracken², VLA COSMOS⁴

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

²*Institut d'Astrophysique de Paris, Université Pierre et Marie Curie, France*

³*Laboratoire d'Astrophysique de Marseille, France*

⁴*Međunarodna kolaboracija*

Kozmička povijest stvaranja zvijezda je idealna metoda praćenja rasta zvjezdane mase kroz kozmičko vrijeme. Predstaviti ću prvi uvid u funkciju luminoziteta galaksija koje dominantno stvaraju zvijezde kao i povijest stvaranja zvijezda koristeći radio opažanja iz VLA-COSMOS na 3 GHz. COSMOS polje je opažano 384 sata, podaci su reducirani te konačni mozaik ima osjetljivost od $2.3 \mu\text{Jy}$. Oko 6000 radio izvora je korelirano s fotometrijskim optičkim katalogom. Ovo je trenutno najdublji i najveći dostupni radio uzorak koji izravnim detekcijama može mjeriti stvaranje zvijezda do crvenog pomaka $z=4$.

[1] Novak et al. (u pripremi)

[2] Smolčić et al. (u pripremi)

[3] Ilbert et al. (u pripremi)

[4] Baran et al. (u pripremi)

[5] Delhaize et al. (u pripremi)

3D distribucija međuzvjezdane prašine i atenuacija u M31

Neven Tomičić¹, Kathryn Kreckel¹, Eva Schinnerer¹, Brent Groves²,
Karin Sandstrom³, Adam Leroy⁴

¹*Max Planck Institute for Astronomy, Heidelberg, Germany*

²*Australian National University, Canberra, Australia*

³*University of Arizona, USA*

⁴*National Radio Astronomy Observatory, Charlottesville, VA, USA*

Međuzvjezdani medij (Interstellar medium; ISM) sazdan od plina i prašine, igra važnu ulogu u razvoju zvijezda i galaksija. Prostorna distribucija i gustoća prašine utječe na prigušenje svjetlosti (ekstinkcija ili atenuacija) te mijenja omjere Balmerovih vodikovih linija emitiranih iz područja ioniziranog vodikovog plina. Uspoređivanjem ekstinkcije u vidljivom području sa prostornom gustoćom prašine, moguće je dokučiti prostornu distribuciju prašine usporedno sa zvijezdama. Kreckel et al. (2013) su promatrali tu ovisnost u obližnjim galaksijama, te usporedili rezultate sa postojećim modelima (Calzetti et al. 1994). U ovom radu smo promatrali 5 polja u Andromedinoj galaksiji (M31) sa boljom prostornom rezolucijom zbog njene blizine. Opažanja smo izvršili sa optičkom jedinicom integriranog polja (Integral Field Unit, IFU), izmjerili smo Balmerove linije i ekstinkciju iz omjera linija. Rezultirajuće mape ekstinkcije smo usporedili sa postojećim mapama površinske masene gustoće prašine (Draine et al. 2014). Rezultate smo usporedili sa rezultatima dobivenim za obližnje galaksije te sa modelima danim u Calzetti et al. (1994). Korelacija između prašine i ekstinkcije je manja nego u obližnjim galaksijama te rezultati upućuju na 'Foreground' model u kojem je prašina distribuirana ispred zvijezda, te prostorno nije pomješana sa zvijezdama.

[1] Calzetti et al., ApJ, vol. 429, no. 2 (1994), p. 582-601

[2] Draine et al. , ApJ, vol. 780, 2 (2014), 18 pp.

[3] Kreckel et al. , ApJ, vol. 771, 1 (2013),16 pp.

Cirkumstelarna prašina u simbiotskim novama

Tomislav Jurkić¹, Dubravka Kotnik-Karuza¹

¹*Odjel za fiziku, Sveučilište u Rijeci*

Poznavanje fizičkih svojstava i procesa u cirkumstelarnoj (CS) prašini ključni su za razumijevanje evolucije simbiotskih dvojnih sustava s hladnim divom tipa Mire. U ovom radu predlažemo model CS prašinate ljuske oko hladne komponente dviju simbiotskih nova, RR Tel i HM Sge izveden pomoću dugoročnih fotometrijskih opažanja u bliskom-IR, infracrvenih ISO spektara i interferometrijskih opažanja u srednjem-IR. Pulzacijska svojstva hladnog diva i dugoročna promjenjivost određeni su iz svjetlosnih krivulja u bliskom-IR pomoću PDM i DFT metoda, no nisu utvrđene bitnije promjene. Izuzetak su novo otkrivene dugoročne promjene sjaja na skali od 20-25 godina koje ne mogu biti uzrokovane orbitalnim gibanjem komponenata. Svojstva prašine su određena pomoću numeričkog koda DUSTY koji riješava prijenos zračenja kroz prašinu. Cirkumstelarna silikatna ljuska prašine srednje optičke dubine s temperaturom 900-1300 K na unutarnjem rubu ljuske u potpunosti može objasniti sva opažanja. RR Tel pokazuje prisustvo optički tanke CS ljuske i optički debelog područja prašine izvan dogleđnice u ekvatorskom području, a što je potvrđeno detaljnijom analizom 2D LELUYA numeričkim kodom. Pojave pomračenja u RR Tel moguće je objasniti povećanom optičkom dubinom uzrokovanom kondenzacijom prašine i stvaranjem kompaktne ljuske. HM Sge pokazuje kontinuirano pomračenje i prisustvo kompaktne ljuske promjenjive optičke dubine. Prisustvo većih zrnaca prašine (do 4 μm) ukazuje na rast zrna uslijed povećanog gubitka mase. Udaljenosti su određene pomoću infracrvenog bolometrijskog toka te iznosi 2.7 kpc za RR Tel i 2.5 kpc za HM Sge. Izmjereni gubici mase do $17 \cdot 10^{-6} M_{\odot}/\text{yr}$ znatno su veći nego kod srednjeperiodičnih individualnih Mira ali u suglasnosti s vrijednostima kod dugoperiodičnih AGB zvijezda bogatih kisikom.

HM Sge je uronjen u ovojnici prašine čak i u uvjetima izbačaja nove. Postojanje i opstanak takve ljuske prašine upućuje na slab utjecaj vruće komponente i snažnu zaštitu prašine od UV toka zračenja. Upotrebom fotoionizacijskog koda CLOUDY pokazali smo da područje plina visoke gustoće između dviju komponenata može efikasno zaustaviti većinu UV toka i zaštititi prašinu.

[1] Jurkić, T., Kotnik-Karuza, D. 2012, A&A, 544, 35

Beta raspadi jezgara bogatih neutronima

Tomislav Marketin¹, Lutz Huther², Gabriel Martinez-Pinedo², Nils Paar¹

¹*Department of Physics, Faculty of Science, University of Zagreb, 10000 Zagreb, Croatia*

²*Institut fuer Kernphysik (Theoriezentrum), Technische Universitaet Darmstadt, 64289 Darmstadt, Germany*

Jedno od trenutno najaktivnijih područja istraživanja u nuklearnoj astrofizici je sinteza elemenata težih od željeza putem procesa brzog uhvata neutrona, tzv. r-procesa. Iako nije poznato gdje se proces odvija, prihvaćeno je da se događa u eksplozivnoj okolini koja uključuje relativno visoke temperature (do 1 GK) i gustoće neutrona (do 10^{20} gcm^{-3}). Osim poteškoća uključenih u astrofizičkom modeliranju, simuliranje r-procesa predstavlja posebno velik izazov zbog broja jezgara koje uključuje. Zbog visokog toka neutrona, u procesu sudjeluju tisuće jezgara, od doline stabilnosti do granice vezanja, od kojih većinu nije moguće proizvesti u modernim eksperimentalnim pogonima. Jedno od ključnih svojstava jezgara koje ima izravan utjecaj na zastupljenost elemenata nakon nukleosinteze su vremena poluživota pri β raspadu nestabilnih jezgara u procesu [1].

Trenutačno je dostupan samo jedan potpun izračun vremena poluživota za sve jezgre koje sudjeluju u r-procesu [2]. S ciljem dobivanja nove, visoko precizne tablice svojstava β -raspada jezgara u procesu nukleosinteze teških elemenata, uspostavili smo i primjenili potpuno konzistentan teorijski okvir temeljen na relativističkom funkcionalu gustoće [3], gdje unutar istog modela opisujemo i dozvoljene i zabranjene prijelaze. Pokazuje se da predviđana korištenog modela imaju veliki utjecaj na zastupljenost elemenata u r-procesu, a pogotovo oko $A \approx 190$.

[1] K. Langange and G. Martinez-Pinedo, *Rev. Mod. Phys.* **75**, 819 (2003)

[2] P. Moeller, B. Pfeiffer, and K.-L. Kratz, *Phys. Rev. C* **67**, 055802 (2003)

[3] N. Paar, D. Vretenar, E. Khan, and G. Colo, *Rep. Prog. Phys.* **70**, 691 (2007)

Suvremena kristalografija - osvrt na Međunarodnu godinu kristalografije

Stanko Popović¹

¹*Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti i Fizički odsjek,
Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu*

Opća skupština Ujedinjenih naroda donijela je 2012. Rezoluciju 66/284 kojom se 2014. proglašava Međunarodnom godinom kristalografije (International Year of Crystallography, IYCr2014). Za tu je odluku lobirala i Stalna misija RH pri UN, na poticaj i prijedlog Hrvatske kristalografske zajednice. Odluka Opće skupštine UN nije slučajna, jer je kristalografija jedna od vodećih suvremenih prirodoslovnih disciplina. Otkriće difrakcije X-zraka u kristalu 1912. omogućilo je određivanje prvih kristalnih struktura. Tijekom burnoga razvoja kristalografije uvodile su se nove metode istraživanja i novi izvori snopova zračenja za ostvarenje difrakcijske slike kristala: elektronsko, neutronske i sinkrotronske zračenje. Kristaloграфи sudjeluju u složenim istraživanjima u fizici, kemiji, biologiji, medicini, znanosti o materijalima, arheologiji, geologiji, npr. izučavanje sastava i starosti ruktovorina starih desetke tisuća godina, sastava i starosti meteorita te stijena na Mjesecu i Marsu. Upravo zahvaljujući kristalografiji, koja je omogućila uvid u molekulske strukture proteina, nukleinskih kiselina i virusa, razvijen je projekt čovječjega genoma. Kristalografija omogućuje ciljano dizajniranje lijekova, te vrlo široku primjenu materijala u tehnologiji, u zelenoj kemijskoj industriji, proizvodnji hrane, u ostvarenju obnovljivih izvora energije. Otkrićima u kristalografiji razvijaju se novi materijali do sada nezamislivih svojstava. Kvantna računala temeljit će se upravo na takvim pametnim materijalima. Od uspostave Nobelove nagrade 1901., u području prirodnih znanosti i medicine, vezano uz otkrića temeljena na kristalografiji, 48 znanstvenika dobilo je Nobelovu nagradu, što ukazuje na široke domete te discipline u znanosti i primjeni. Tijekom IYCr2014 obilježena je u nizu država stogodišnjica suvremene kristalografije. Kristaloграфи u Hrvatskoj obilježili su IYCr2014 nizom događanja: znanstveni skupovi i radionice, zbornici radova, rječnik kristalografije, fizike kondenzirane tvari i znanosti o materijalima, predavanja u strukovnim udrugama, znanstvenim institucijama i školama, natjecanje učenika u rastu kristala, nastupi na radiju i televiziji, tekstovi u novinama. Izlaganje sadržava: osnovne metode istraživanja i suvremena instrumentacija u kristalografiji (rendgenska, elektronska i neutronska difrakcija, elektronska mikroskopija, spektroskopija), primjeri kristalografskih istraživanja (metalne slitine, metalni oksidi, poluvodiči, biominerali, organometalni spojevi, farmaceutici, proteini, fizika površina) preuzeti iz radova hrvatskih znanstvenika. U zaključku se navode mogućnosti suvremenih kristalografskih istraživanja s pomoću kojih se ostvaruje potpuni uvid u mikrosvijet.

Magnetotransportna svojstva α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$: istraživanje organskog vodiča s faznim prijelazom iz polumetalnog u stanje uređenja naboja

Matija Čulo¹, Emil Tafra², Branimir Mihaljević², Mario Basletić², Amir Hamzić², Silvia Tomić¹, Martin Dressel³, Bojana Korin-Hamzić¹

¹*Institut za fiziku, Bijenička 46, HR-10001 Zagreb, Hrvatska*

²*Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, HR-10002 Zagreb, Hrvatska*

³*1. Physikalisches Institut, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 57, D-70550 Stuttgart, Njemačka*

α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ pripada familiji spojeva temeljenoj na organskoj molekuli bis-(ethy-lene-dithio)-tetrathiafulvalene (BEDT-TTF) koja se u novije vrijeme intenzivno istražuje zbog nekonvencionalne supravodljivosti, uređenja naboja, elektronske feroelektričnosti, stanja kvantne spinske tekućine itd. [1]. Kao i ostali pripadnici ove familije, i α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ ima slojevit kristalnu strukturu koja uzrokuje kvazidvodimenzionalna elektronska svojstva. Pri atmosferskom tlaku α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ na visokim temperaturama pokazuje polumetalna svojstva s malim džepovima elektrona i šupljina, a na temperaturi $T_{CO} = 136$ K prelazi u stanje uređenja naboja (CO) s feroelektričnim oznakama [2].

Primjena tlaka uzrokuje postepeno potiskivanje CO faznog prijelaza, a pri određenim uvjetima i pojavu supravodljive faze ispod 7 K. Mjerenja Hallovo efekta i magnetootpora pri tlakovima većim od 1.5 GPa, kada je CO faza u potpunosti potisnuta, pokazuju da se koncentracija slobodnih nosioca naboja od 300 K do 2 K smanjuje 6 redova veličine, dok njihova pokretljivost raste 6 redova veličine. Ovi rezultati pokazuju da je α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ iznad 1.5 GPa poluvodič s nultim energijskim procjepom čiji se nosioci naboja ponašaju kao Diracovi fermioni [3] što je u skladu s najnovijim proračunima vrpce [4].

Budući da su zbog spomenutih izrazito zanimljivih fizikalnih svojstava magnetotransportna istraživanja u literaturi uglavnom provedena uz primjenu visokih tlakova, proveli smo mjerenja pri atmosferskom tlaku koja nedostaju: dc otpornost, anizotropija dc otpornosti, magnetootpor i Hallov efekt u temperaturnom intervalu 40–300 K i u magnetskim poljima do 5 T. Dobivene rezultate usporedit ćemo s rezultatima magnetotransportnih istraživanja α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ pod tlakom [3] kao i s našim rezultatima magnetotransportnih istraživanja srodnog spoja κ -(BEDT-TTF) $_2$ Cu $_2$ (CN) $_3$ [5] u kojem CO faza ne postoji.

[1] H. Seo et al., Chem. Rev. **104**, 5005 (2004)

[2] T. Takahashi et al., J. Phys. Soc. Jpn. **75**, 051008 (2006)

[3] N. Tajima et al., Europhys. Lett. **80**, 47002 (2007) i pripadne reference

[4] Y. Suzumura, J. Phys. Soc. Jpn. **80**, 104701 (2011)

[5] M. Čulo et al, Physica B **460**, 208 (2015)

Magnetotransportna svojstva kvazi 1D organskih vodiča $(\text{TMTTF})_2\text{ReO}_4$ i $(\text{TMTTF})_2\text{BF}_4$

Branimir Mihaljević¹, Anja Löhle², Matija Čulo³, Emil Tafra¹, Mario Basletić¹, Amir Hamzić¹, Martin Dressel², Bojana Korin-Hamzić³

¹*Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, HR-10002 Zagreb, Hrvatska*

²*1. Physikalisches Institut, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 57, D-70550 Stuttgart, Njemačka*

³*Institut za fiziku, Bijenička 46, HR-10001 Zagreb, Hrvatska*

$(\text{TMTTF})_2\text{ReO}_4$ i $(\text{TMTTF})_2\text{BF}_4$ pripadaju u skupinu takozvanih Fabreovih soli koje pri sobnoj temperaturi većinski pokazuju kvazi 1D metalnu vodljivost. Variranjem raznih parametara poput tlaka, temperature te vrste aniona, dobiven je vrlo bogat fazni dijagram Fabreovih soli u kojem su neka od mogućih stanja: metalno stanje, stanje uređenja naboja, spin-Peierlsovo stanje, supravodljivo stanje i stanje vala gustoće spina[1]. Od prije je poznato da navedena dva spoja pri sobnoj temperaturi pokazuju kvazi 1D metalnu vodljivost te da spuštanjem temperature ispod 230 K za $(\text{TMTTF})_2\text{ReO}_4$, odnosno 84 K za $(\text{TMTTF})_2\text{BF}_4$, oba spoja prolaze kroz metalizatorski fazni prijelaz u izolatorsko stanje uređenja naboja. Također, oba spoja spadaju u skupinu soli s nesimetričnim anionima pa daljnjim spuštanjem temperature ispod 157 K za $(\text{TMTTF})_2\text{ReO}_4$, odnosno 41.5 K za $(\text{TMTTF})_2\text{BF}_4$, dolazi do zamrzavanja orijentacije aniona i loma simetrije pa oba spoja prolaze kroz izolatorizatorski fazni prijelaz u stanje uređenja aniona[2].

U cilju boljeg razumijevanja transportnih mehanizama, mjerili smo otpornost i Hallov koeficijent R_H u ovisnosti o temperaturi. Otpornost je mjerena u smjeru najveće vodljivosti, kao i R_H (magnetsko polje je okomito na smjer struje) koji je mjereno AC kompenzacijskom metodom u magnetskim poljima do 9 T te za temperature $45\text{ K} < T < 300\text{ K}$. Oba spoja pri sobnoj temperaturi imaju približno jednaku vrijednost R_H koja je oko 3 puta veća od teorijski predviđene vrijednosti. R_H je u oba spoja pozitivan što je u skladu s činjenicom da su nosioci naboja šupljine. Fazni prijelaz u stanje uređenja naboja posebno je naglašen u $(\text{TMTTF})_2\text{ReO}_4$ gdje smo detektirali naglu promjenu predznaka R_H u uskom intervalu temperatura. Daljnjim opadanjem temperature ispod faznog prijelaza u stanje uređenja naboja, porast R_H u oba spoja prati eksponencijalni porast otpornosti što odgovara ponašanju izolatora kod kojih je ovakvo ponašanje posljedica smanjenja broja nosioca naboja sa snižavanjem temperature. Dobivene rezultate ćemo usporediti s rezultatima srodnih spojeva te interpretirati u okviru postojećih teorijskih modela.

[1] M. Dressel, *Naturwissenschaften* 94, 527 (2007).

[2] B. Köhler, E. Rose, M. Dumm, G. Untereiner, and M. Dressel, *Phys. Rev. B* 84, 035124 (2011)

Mikroskopski opis mješanja tekućina

Franjo Sokolić¹, Larisa Zoranić¹, Bernarda Lovrinčević¹, Martina Požar¹, Marijana Mijaković¹, Aurelien Perera²

¹*PMF Split*

²*LPTMC Université Pierre et Marie Curie*

Mješavina tekućina je prirodni medij u kojem se događa većina kemijskih procesa. Iako se one već dugo vremena izučavaju, nije u potpunosti poznato što se događa na mikroskopskom nivou. U posljednje vrijeme se došlo do spoznaje[1] da mješavine tekućina koje tvore vodikovu vezu nisu mikroskopski homogene, već tvore dinamičke strukture. Te strukture bitno utječu na fizikalno-kemijska svojstva tih sustava, kao što su toplinski kapacitet, brzina širenja zvuka, topivost treće komponente itd. Cilj naših istraživanja je da se klasificiraju te strukture prema svojim strukturnim i dinamičkim karakteristikama[2].

[1] Perera et. al., *Molecular Dynamics (Vol 2)*, (InTech, Rijeka) (2012)

[2] Požar et al., *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **17** (2015) 9885

Suprafluidnost, kondenzacija i dimenzionalnost ^4He u nanoporama

Leandra Vranješ Markić¹, Henry Glyde²

¹*Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet*

²*Sveučilište u Delawareu, SAD*

Prezentirat će se nedavna istraživanja ^4He adsorbiranog u nanoporama različitih dijametara. Istraživanja suprafluidnog udjela (SFU) i jednočestične matice gustoće (JMG) proveli smo metodom 'path integral' kvantnog Monte Carla (PIMC). Tekući ^4He u nanoporama predstavlja gustu Bose tekućinu reducirane dimenzije te ujedno neuređen sustav. Cilj je odrediti efektivnu dimenziju helija u porama te utvrditi mogu li se neke od iznenađujućih eksperimentalno utvrđenih osobina sustava, kao što su niska temperatura suprafluidnog prijelaza T_c u odnosu na bulk vrijednost T_λ , predvidjeti u okviru statičke PIMC simulacije. Korištenjem skaliranja, dobiveni PIMC rezultati pokazuju da je fluid jednodimenzionalan (1D) samo za vrlo male dijemetre nanopora, za koje ispunja samo 1D liniju u centru pore. U rasponu dijametara koji je karakterističan za većinu eksperimenata fluid, koji ispunja poru u dvodimenzionalnim (2D) cilindričnim slojevima, pokazuje 2D skaliranje SFU-a. T_c određena iz skaliranja SFU-a slaže se sa T_c koja je procijenjena iz Kosterlitz-Thouless uvjeta 2D skaliranja za JMG. Povećanjem dijametra dolazi do postepenog prijelaza u trodimenzionalno ponašanje. Dobiveni rezultati sugeriraju da opažena suprafluidnost u nanoporama nije samo dinamički efekt te da je niska T_c posljedica 2D prirode helija. Ograničenje ima manji utjecaj na kondenzaciju nego na suprafluidnost, osim za vrlo male dijemetre pora, za koje je dobiveno skaliranje svojstveno Luttingerovoj tekućini.

Strukturiranje u tekućim mješavinama s otapalima različite polarnosti

Martina Požar¹, Marijana Mijaković², Bernarda Lovrinčević¹, Franjo Sokolić¹, Aurelien Perera³, Larisa Zoranić¹

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

²*Zavod za javno zdravstvo Splitsko-dalmatinske županije, Split, Hrvatska*

³*Laboratoire de Physique Theorique de la Matiere Condensee, Universite Pierre et Marie Curie, Paris cedex 05, France*

U fizici tekućeg stanja posebno su interesantne otopine koje imaju netrivialnu prostornu organizaciju. Agregacije molekula u npr. vodenim otopinama alkohola su reda veličine međumolekularnih interakcija [1]. Biomakromolekule se samoorganiziraju u veće strukturne forme (npr. micelle), što postavlja pitanje kako povezati asocijacije malih molekula sa strukturama više razine, te je li moguće napraviti teorijski opis koji bi obuhvaćao različite skale asocijacija.

U ovom istraživanju opisujemo ponašanje dva tipa otapala za otoplenu tvar koja ima amfipatski karakter – promatramo promjene strukture ovisno o koncentraciji etanola u benzenu odnosno vodi [2][3]. Benzen kao inertno nepolaro otapalo nam neće sterička ograničenja, dok će privlačna vodikova veza definirati udruživanja molekula što rezultira u lokalnoj strukturnoj heterogenosti. Ovo svojstvo će utjecati i na fluktuacije koncentracije. Veličina koja je povezana s fluktuacijama koncentracije je Kirkwood-Buff integral (KBI), koji možemo izračunati iz simulacijskih podataka i termodinamičkih mjerenja. U KBI-ju su sadržani doprinosi termalnih fluktuacija i mikroheterogenosti te nije očigledno kako ih separirati. To je vidljivo iz usporedbe ovisnosti KBI-ja o koncentraciji etanola za oba proučavana otapala sa ponašanjem KBI-ja kod mješavine dvije Lennard-Jones tekućine. Heterogenost u strukturi se osim toga može promatrati i računanjem distribucije klastera. Funkcija distribucije klastera za etanol u benzenu pokazuje značajnu vjerojatnost pojavljivanja klastera veličine 3-10, što u vodenoj otopini nije slučaj. Vizualni oblik klastera pokazuje da etanol u benzenu gradi tzv. inverzne asocijacije gdje su hidrofilni dijelovi združeni, dok je u vodi suprotno - jezgre klastera su hidrofobne. Ovakvo ponašanje je slično samoorganizaciji većih makromolekula. Naime, stabilne nakupine koje stvaraju veće makromolekule povezuju se sa pre-peakom u strukturnom faktoru za male valne vektore (različite od nule). Ovakaj tzv. pre-peak je povezan s veličinom nastalih domena. Rezultati pokazuju da etanol u benzenu ima pre-peak, dok u vodi imamo samo rast funkcije strukturnog faktora kako se približavamo vrijednosti $k=0$.

[1] Perera et. al., Molecular Dynamics (Vol 2), (InTech, Rijeka) (2012)

[2] Zoranić et.al., J. Chem. Phys. **127** (2007) 024502-10

[3] Požar et al., Phys. Chem. Chem. Phys., **17** (2015) 9885

Evaluacija strukturnih korelacija u realnim tekućinama pomoću metode Integralnih Jednadžbi

Bernarda Lovrinčević¹, Aurelien Perera²

¹*Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Teslina 12, Split*

²*Laboratoire de Physique Théorique de la Matière Condensée (UMR CNRS 7600), Université Pierre et Marie Curie, 4 Place Jussieu, F75252, Paris cedex 05, France*

Struktura čistih realnih tekućina i njihovih mješavina može se proučavati pomoću eksperimenta, simulacijskih tehnika i teorijskih metoda. Računalne simulacije su vrlo koristan alat jer omogućavaju opis strukture sustava na molekularnoj razini. Međutim, pri opisu strukture tekućina čije se molekule povezuju posebnim vezama, kao što je vodikova veza kod vode i alkohola, nailaze na određene probleme koji se odnose na ograničeno vrijeme simulacije te veličinu simulacijske kutije [1]. To doводи do neadekvatnog opisa dugo-dosežnih korelacija te povezanih veličina, kao što je strukturni faktor u području malih valnih vektora. Alternativna metoda za proučavanje realnih tekućina su Integralne Jednadžbe [2]. Osnovna Integralna Jednadžba je Ornstein-Zernike jednadžba (OZ) koja je egzaktna i rješava se zajedno s tzv. "closure" jednadžbom koja sadržava aproksimaciju. OZ jednadžba se javlja u dvije forme: molekularnoj (MOZ) i "site-site" (SSOZ). Konkretno, rješavanje SSOZ jednadžbe daje opis korelacija između određenih parova atoma (ili skupina atoma) na dvije različite molekule, a to su važne informacije za razumijevanje molekularne strukture sustava. Iako se ne susreću s istim problemima kao simulacije, Integralne Jednadžbe ipak nisu oslobođene ograničenja. Njihov osnovni problem je to što sadržavaju aproksimaciju korelacija višeg reda pa ne mogu ispravno opisati fluktuacije, a to je posebno važno u blizini kritične točke [3]. Koje su granice primjenjivosti Integralnih Jednadžbi te je li moguće teoriju unaprijediti, neka su od pitanja na koja treba dati odgovor.

[1] M. Mijaković *et al.*, *J. Mol. Liq.* **164**, 66 (2011)

[2] J.-P. Hansen and I.R. McDonald, *Theory of Simple Liquids* (Academic Press, Elsevier, Amsterdam, 3rd ed., 2006)

[3] C. Caccamo, *Phys. Rep.* **274**, 1 (1996)

Magnetoelektrični multiferoični sustavi

Damir Pajić¹

¹*Fizički odsjek Prirodoslovno matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu,
Bijenička c. 32, Zagreb, Hrvatska*

Multiferoici su materijali koji istovremeno pokazuju barem dvije vrste uređenja, a veliko je zanimanje za magneto-električne multiferoike jer omogućavaju vezanje između magnetskih i električnih pojava, pa tako i utjecaj električnog polja na magnetizaciju te magnetskog polja na električnu polarizaciju.[1] Unatoč brojnim istraživanjima, nisu objašnjeni svi mikroskopski mehanizmi tog vezanja u različitim vrstama materijala, pa je to i dalje vruća tema u području kondenzirane materije. Osim toga, za učinkovitu primjenu magneto-električnih multiferoika (kao nove memorije, senzori, aktuatori signala) potrebno im je ugađati svojstva na temelju spoznaja o ponašanju pod različitim uvjetima.[2]

Među poznatijim feroelektricima je BaTiO_3 , i mnogo je pokušaja učiniti ga i magnetskim, te se jako često govori o multiferoičnosti uzrokovanoj zamjenom nekih iona željezovim. Međutim, pokazuje se da to nije intrinzična multiferoičnost [3], već posljedica separacije faza ili drugih nehomogenosti u drugačijim primjerima.[4]

Najpoznatiji sobnotemperaturni multiferoik je BiFeO_3 , u kojem spiralno antiferomagnetsko stanje dovodi do električne polarizacije, no ono nije najpogodnije za magnetski odziv, te se nastoji promijeniti blagom intervencijom u sastav i strukturu.[5]

Raznolike mogućnosti dizajna multiferoika pružaju metalo-organske mreže, hibridne strukture koje kombiniraju svojstva organskih uglavnom polarizabilnih i anorganskih uglavnom magnetskih sastavnih skupina.[6]

U ovom izlaganju bit će prikazana otvorena pitanja i noviji rezultati, te predstavljen projekt FerMaEl.[7]

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

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

[3] A. Zorko, M. Pregelj, M. Gomilšek, Z. Jagličić, D. Pajić, M. Telling, I. Arčon, I. Mikulska, M. Valant, Strain-Induced Extrinsic High-Temperature Ferromagnetism in the Fe-Doped Hexagonal Barium Titanate, *Scientific Reports* **5** (2015) 7703

[4] D. Pajić, M. Jagodič, Z. Jagličić, J. Holc, M. Kosec, Z. Trontelj, Competing AFM and local magnetic order in the bulk ceramic PZT-PFW multiferroic system: searching for the most promising ratio between PZT/PFW, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **46** (2013) 455001; Z. Jagličić, D. Pajić, Z. Trontelj, J. Dolinšek, M. Jagodič, Magnetic memory effect in multiferroic $\text{K}_3\text{Fe}_5\text{F}_{15}$ and $\text{K}_3\text{Cr}_2\text{Fe}_3\text{F}_{15}$, *Appl. Phys. Lett.* **102** (2013) 242410

[5] J. Dragović, Magnetska svojstva multiferoika BiFeO_3 dopiranog gadolinijem, Diplomski rad, Fizički odsjek PMF SuZ, 2015., i reference u njemu, <http://digre.pmf.unizg.hr/4109/>

[6] A. Stroppa et.al. Electric control of magnetization and interplay between orbital

ordering and ferroelectricity in a multiferroic metal-organic framework, *Angewandte Chemie Int.Ed.* **50** (2011) 5847

[7] FerMaEl: Multiferoični i magnetoelektrični sustavi, <http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dpajic/FerMaEl>, Uspostavni istraživački projekt broj UIP-2014-09-8276 financiran od Hrvatske zaklade za znanost

Hiperfino magnetsko polje u feromagnetskom grafitu: DFT proračuni i NMR eksperimenti

Jair C. C. Freitas¹, Wanderla L. Scopel², Wendel S. Paz¹, Leandro V. Bernardes³, Francisco E. Cunha-Filho³, Carlos Speglich³, Fernando M. Araújo-Moreira³, Tonči Cvitanić⁴, Damjan Pelc⁴, Miroslav Požek⁴

¹*Departamento de Física, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brazil*

²*Departamento de Física, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brazil &*

Departamento de Ciências Exatas, Pólo Universitário de Volta Redonda, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, RJ, Brazil

³*Departamento de Física, Universidade Federal do São Carlos, São Carlos, SP, Brazil*

⁴*Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb, Hrvatska*

Magnetski materijali na osnovi ugljika koji ne sadržavaju metalne elemente imaju velike mogućnosti primjene. Ti biokompatibilni materijali mogli bi se upotrijebiti npr. za ciljanu dostavu lijekova ili za oslikavanje magnetskom rezonancijom. Štoviše, za dizajn uređaja za grafensku spintroniku moglo bi biti od velike koristi dublje razumijevanje magnetizma i hiperfinih interakcija u ugljikovim materijalima. S teorijskog gledišta, magnetizam u grafenu i sličnim materijalima povezuje se s pojavom defekata kao što su vakancije ili rubna stanja. U materijalima koji ne sadržavaju prijelazne metale ili lantanoide, takav magnetizam povezuje se sa spinskom polarizacijom p orbitala uzrokovanom defektima.

Unatoč brojnim eksperimentalnim potvrdama da je magnetizam u ugljikovim materijalima intrinzičan, još postoji doza skepticizma utemeljenog na činjenici da u svim uzorcima postoji određena količina željeza ili drugih metalnih primjesa koje bi mogle uzrokovati magnetizam. Ako je magnetizam intrinzično svojstvo ugljikovih materijala s defektima, on bi morao imati utjecaj na lokalno magnetsko polje na mjestu jezgri ugljika. U materijalima s magnetskim uređenjem predviđa se jako mikroskopsko polje – hiperfino polje B_{hf} . Dakle, dokaz postojanja B_{hf} i mjerenje njegovih svojstava potrebno je za razumijevanje izvora magnetizma na lokalnoj razini. Zbog važnosti hiperfinih interakcija za primjenu grafena u spintronici i kvantnom procesiranju informacija provedeni su brojni teorijski proračuni i eksperimenti (ESR, μ SR...). Nijedno od tih istraživanja nije dalo nagovještaj prave vrijednosti B_{hf} .

U ovom radu predstavljamo izravno mjerenje lokalnog magnetskog polja na mjestu jezgre ^{13}C metodom nuklearne magnetske rezonancije bez primijenjenog vanjskog magnetskog polja. Time dokazujemo intrinzičnu prirodu ugljikova magnetizma, a usporedbom s rezultatima DFT proračuna pokazujemo da taj magnetizam potječe od strukturnih defekata, a ne od feromagnetskih primjesa.

Adsorpcija cezija na epitaksijalni grafen na Ir(111)

Marin Petrović¹, Carsten Busse², Marko Kralj¹

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

²*II. Physikalisches Institut, Sveučilište u Kölnu, Zùlpicher Strasse 77, 50937 Köln, Njemačka*

Razumijevanje međudjelovanja grafena s okolinom je veoma važno zbog potencijalnih primjena u različitim uređajima u kojima je grafen u direktnom kontaktu s drugim materijalima. U tu svrhu često se istražuje epitaksijalni grafen na metalnim podlogama među kojima se posebno ističe iridijeva (111) površina zbog očuvanja mnogih intrinzičnih svojstava grafena [1]. No, u slučaju grafena na Ir(111), kao i kod drugih epitaksijalnih sistema, javljaju se određena odstupanja od idealnog, slobodnostojećeg grafenskog sloja. Jedno od njih je tzv. moiré struktura koja se očituje u periodičnoj modulaciji grafena. Također, grafen na metalima pokazuje dopiranje čiji se iznos može dodatno mijenjati interkalacijom atoma između grafena i podloge [2]. Ovdje prezentiramo rezultate koji razjašnjavaju vezu između upravo spomenutih efekata i adsorpcije na epitaksijalni grafen.

Istražuje se adsorpcija atoma cezija na čisti i interkalirani grafen na Ir(111). Elektronska struktura je ispitana pomoću ARPES-a (*angle-resolved photoemission spectroscopy*) dok se STM (*scanning tunnelling microscopy*) mikroskopija koristi za dobivanje detaljnog uvida u morfologiju sistema. Adsorpcija atoma cezija rezultira odgovarajućim prijenosom negativnog naboja na grafen, ostavljajući adsorbirane atome s viškom pozitivnog naboja. Za dovoljno visoke koncentracije, adsorbirani cezijevi atomi tvore uređenu heksagonalnu strukturu. Pokazano je da razmještaj cezijevih atoma unutar takve strukture diktira njihovo međusobno Coulombovo odbijanje te prostorno modulirano međudjelovanje cezij-grafen inducirano moiré strukturom. Utjecaj elektronske strukture grafena na adsorpciju je istražen depozicijom cezija na djelomično interkalirani (a time i nehomogeno dopirani) grafen. Interkalacijom se efektivno mijenja izlazni rad grafena, čime se pak direktno utječe na energiju vezanja adsorbata na grafen [3].

[1] M. Kralj et al., Phys. Rev. B **84** (2011) 075427

[2] M. Petrović et al., Nat. Commun. **4** (2013) 2772

[3] S. Schumacher et al., Nano Lett. **13** (2013) 5013

Evolicija lukova fermijeve plohe i mehanizam dopiranja u visokotemperaturnim supravodicima

Predrag Lazić¹, Denis Sunko²

¹*Zavod za teorijsku fiziku, Institut Rudjer Boskovic, Zagreb*

²*Fizicki odsjek, Prirodoslovno matematički fakultet, Zagreb*

Ab initio metodama (teorijom funkcionala gustoće - DFT) izračunata je evolucija fermijeve površine $\text{La}(2-x)\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ (LSCO) pri dopiranju stroncijem. Računi pokazuju da standardna DFT+U metoda reproducira experimentalno opaženi metalizator prijelaz uz opazanje rasta luka fermijeve plohe. Analizom rezultata se otkriva mehanizam tzv. "zastite luka" fermi plohe te neadekvatnost slike krutih vrpca (rigid band). Zastita luka fermi plohe je posljedica simetrija valnih funkcija na fermijevoj nivou - prijelaza iz dvodimenzionalnosti (na nodalnoj točki) u trodimenzionalnu (na antinodalnoj). U LSCO-u ovakvo svojstvo valnih funkcija je ključno za fermijeve lukove i pseudogap koji se redovito pojavljuju u visokotemperaturnim supravodljivim kupratima.

[1] D. Pelc et al., *New J. Phys.* 17 083033 (2015)

[2] P. Lazić, and D. K. Sunko, arXiv:1409.1543

Supravodljiva perkolacija u kupratima

Damjan Pelc¹

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

Iako je mehanizam visokotemperaturne supravodljivosti u kupratnim supravodičima još uvijek zagonetan, sama supravodljiva faza se u principu ponaša u skladu s klasičnom makroskopskom Ginzburg-Landau teorijom. Važno je pitanje može li se i fluktuacijski režim iznad temperature supravodljivog prijelaza također opisati unutar Ginzburg-Landau okvira, ili se tamo javljaju nekonvencionalni efekti specifični za kupratnu supravodljivost. Ovdje će biti predstavljeni rezultati mjerenja linearne i nelinearne vodljivosti na različitim kupratnim sistemima u fluktuacijskom režimu, koji pokazuju kvalitativno neslaganje s Ginzburg-Landau teorijom. Međutim, mjerenja se mogu konzistentno opisati jednostavnim perkolacijskim modelom, u kojem glavnu ulogu igra mikroskopska nehomogenost. Model objašnjava ponašanje linearnog i nelinearnog odziva, kao i drugih proba - magnetizacije, optičkih eksperimenata, Seebeckovog efekta i slično - i pokazuje da je temperaturna skala fluktuacija različita od skale kritične temperature. Naime, pojavljuje se univerzalna perkolacijska skala $T_0 \sim 30$ K, koja je ista u svim kupratima bez obzira na strukturne razlike ili dopiranje. Takvi rezultati govore da je uloga nereda u kupratnoj supravodljivosti značajna, te da supravodljivost nastaje iz intrinzično nehomogenog normalnog stanja.

Svojstva singletnog osnovnog stanja "vjetrenjače" u $\text{Rb}_2\text{Cu}_3\text{SnF}_{12}$

Mihael S. Grbić¹, Steffen Krämer², Claude Berthier², Fabrice Trouselet³, Olivier Cépas³, Hidekazu Tanaka⁴, Mladen Horvatić²

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

²*Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses, LNCMI-CNRS (UPR3228), UJF, UPS, and INSA, Grenoble, Francuska*

³*Institut Néel, CNRS and Université Joseph Fourier, Grenoble, Francuska*

⁴*Department of Physics, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan*

Osnovno stanje kagome spoja $\text{Rb}_2\text{Cu}_3\text{SnF}_{12}$ je 12-čvorna krutina valentne veze (KVV) koju karakterizira oblik vjetrenjače. Iako je ovo stanje stabilizirano odgovarajućim deformacijama kristalne strukture, proučavanje KVV stanja je važno za razumijevanje fizikalnih svojstava osnovnog stanja izotropnih kagome spojeva. Prethodna studija neutronske raspršenjem je pronašla kako se u $\text{Rb}_2\text{Cu}_3\text{SnF}_{12}$ pri malim magnetskim poljima energijski procijep (Δ) između singleta i tripleta smanjuje s porastom polja [1]. To ukazuje da će se na višim poljima energijski nivoi križati i za osnovno stanje uspostaviti Bose-Einstein kondenzat. Kako bi se odredila mikroskopska svojstva osnovnog stanja "vjetrenjače" proučavali smo sustav putem $^{63,65}\text{Cu}$ nuklearne magnetske rezonancije (NMR) [2] u magnetskim poljima do 30 T.

Našli smo značajnu transversalnu polarizaciju spinova čija ovisnost o temperaturi i mag. polju (H) ukazuje na značajno miješanje singletnog i tripletnog stanja. Ovo je dodatno potvrđeno ovisnošću energijskog procijepa $\Delta(H)$, koje ukazuje anti-križanje nivoa s velikom vrijednosti rezidualnog procijepa $\approx \Delta(0)/2$. Nismo našli naznake faznog prijelaza sve do 1.5 K.

Analizom sustava uz pomoć egzaktne dijagonalizacije malih klastera, uspjeli smo objasniti da su uzrok anikrižanja nedijagonalni elementi g -tenzora zbog nagnutih CuF_6 oktaedara, što uzrokuje anizotropiju sličnu onoj kod Dzyaloshinski-Moriya interakcije. Dodatno, našli smo simetrijska svojstva spektra niskenergetskih pobuđenja kompatibilna potiskivanjem križanja nivoa.

Potpuno razumijevanje ovog sustava čini ga idealnim za proučavanje prelaska osnovnog stanja iz KVV u kojem ukupan lokalni moment iščezava u stanje dugodosežnog magnetskog reda (DMR). DMR je uočen u sestrinskom spoju $\text{Cs}_2\text{Cu}_3\text{SnF}_{12}$ kojeg smo također proučavali s NMR metodom. U ovom predavanju ćemo prezentirati važnost studije topljenja DMR-a u KVV i trenutne rezultate istraživanja.

[1] K. Matan et al., Nature Phys. **6** (2010), 865

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

Računanje vibracijskih spektara molekula LRM metodom

Matko Maleš¹, Tomislav Živković²

¹*Prirodoslovno - matematički fakultet, Split*

²*Institut Rudjer Bošković*

U radu je prezentirana primjena LRM (Low Rank Modification) metode [1] na proračun frekvencija out-of-plane vibracija i odgovarajućih amplituda pojedinačnih atoma vinil florida i nekih njihovih izotopno supstituiranih izomera. Prednost ove metode u odnosu na već postojeće, osim što daje egzaktne a ne samo aproksimativne rezultate, je što ne zahtijeva uključivanje polja sila. Rezultati dobiveni ovom metodom, prezentirani u ovom radu, jako se dobro slažu s eksperimentalnim podacima i rezultatima drugih, računski puno zahtjevnijih metoda.

[1] Živković T. P., „Exact treatment of finite-dimensional and infinite-dimensional quantum systems“, Nova Science Publishers, New York, 2010.

Proširena minimalna tamna tvar i mase neutrina na tropetljenom nivou

Petar Čuljak¹, Krešimir Kumerički¹, Ivica Picek¹

¹*Fizički odsjek, PMF, Sveučilište u Zagrebu*

Predlažemo model u kojem se neutrinске mase generiraju radijativno ($R\nu$), nakon uvođenja čestičnog kandidata za tamnu tvar [1]. Proširenje standardnog modela fermionskim 5-pletom i skalarnim 7-pletom hipernaboja $Y = 0$ iz modela minimalne tamne tvari (MDM) [2], uz prisutnost polja $2HDM$ i dodatnog skalarnog 5-pleta hipernaboja $Y = -2$, vodi na slučajnu Z_2 simetriju koja automatski stabilizira jedno od novih polja. Nova stabilna čestica je valjani kandidat za tamnu tvar. Istovremeno, ova kombinacija polja inducira neutrinске mase na tropetljenom nivou [3].

[1] E. Ma, Verifiable radiative seesaw mechanism of neutrino mass and dark matter, Phys. Rev. D 73, 077301 (2006) [hep-ph/0601225]

[2] M. Cirelli, N. Fornengo and A. Strumia, Minimal dark matter, Nucl. Phys. B 753, 178 (2006) [hep-ph/0512090]; M. Cirelli and A. Strumia, Minimal Dark Matter: model and results, Phys. Rev. D 80, 071702 (2009) [0905.2710 [hep-ph]]

[3] P. Culjak, K. Kumericki and I. Picek, Phys. Lett. B 744, 237 (2015) [arXiv:1502.07887 [hep-ph]]

Mandelbrotova invarijanta i L-stabilne distribucije u ekonofizičkim sustavima

Ivica Martinjak¹, Damir Vukičević²

¹*Sveučilište u Zagrebu, PMF, Fizički odsjek*

²*Sveučilište u Splitu, PMF, Matematički odjel*

Klasu distribucija čija je funkcija gustoće vjerojatnosti invarijantna na zbrajanje nezavisnih skupova slučajne varijable nazivamo L -stabilne distribucije. Karakteristična funkcija ove klase distribucija je definirana parametrima $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ koji imaju određene statističke interpretacije. Dominantni utjecaj na prirodu distribucije ima parametar α koji određuje osjetljivost na ekstremne događaje (debljinu repa). Tako vrijednosti $\alpha = 2$ kada dobivamo Gaussovske distribucije i $\alpha = 1/2$ kada dobivamo Cauchy-Lorentzovu distribuciju, definiraju dvije esencijalno različite vrste slučajnih procesa.

Primjetno je da se ne-Gaussovske distribucije pojavljuju u nekim makroskopskim sustavima, uključujući frekvencije potresa te naročito u ekonofizičkim sustavima. Istaknuta svojstva takvih distribucija su samosličnost i osjetljivost dugog ranga. Posebno se zapaža Mandelbrotova invarijanta, koja predstavlja rješenje problema cijena pamuka, a koja podrazumijeva invarijantnost na veličinu uzorka kao i na raspon kod vremenske serije podataka. U ovom radu istražujemo vremenske serije podataka koji opisuju tržište kapitala, s ciljem utvrđivanja njihove Paretovske prirode. Posebno, nastoji se odgovoriti na pitanje na kojem je najmanjem uzorku Mandelbrotova invarijanta još uvijek prisutna. U tu svrhu analiziramo vremenske serije za 60, 6 i 5-godišnje periode, i to za burzovne indekse, valutne tečajeve i kamatne stope. Zapažamo da, unatoč svoj kompleksnosti i dinamici promatranih ekonofizičkih sustava, samosličnost ostaje njihova trajna karakteristika te upućuje na fraktalnu prirodu ovih sustava.

[1] B. Mandelbrot, *The Misbehavior of Markets*, Basic Books, New York, **23** (2004)

[2] B. Podobnik, A. Valentinčić, D. Horvatić, E. Stanley, , *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **108** (2011) 17883-17888.

Perkolacija Izbjegavanja boja i njena primjena

Vinko Zlatić¹, Michael Danziger², Sebastian Krause¹

¹*Institute Rudjer Boskovic*

²*Bar-Illon university*

Privatnost i sigurnost interneta spada u glavne prioritete današnjice. U ovom izlaganju odgovorit ćemo na pitanje: može li se sigurna komunikacija održati i u slučajevima kada postoji prislušivač na svakom čvoru komunikacijske mreže? Kako bi odgovorili na ovo pitanje, promatramo obojanu mrežu u kojoj svaka boja označava drugog potencijalnog protivnika. Pametnim korištenjem "secure messaging" algoritama i perkolacije izbjegavanja boja koju predstavljamo u ovom izlaganju, moguće je uspostaviti potpuno sigurnu komunikaciju. U izlaganju također opisujemo i fazni prijelaz između komunikabilne i nekomunikabilne faze s egzaktno izračunatim kritičnim parametrima.

[1] Optimal redundancy against disjoint vulnerabilities in networks SM Krause, MM Danziger, V Zlatić arXiv preprint arXiv:1503.04058

Uloga vezivnih proteina i kutne difuzije u stvaranju svežnjeva mikrotubula

Marcel Prelogović¹, Lora Winters², Iva Tolić³, Nenad Pavin¹

¹*Sveučilište u Zagrebu, PMF, Fizički odsjek*

²*Max Planck Institute of Molecular Cell Biology and Genetics, Dresden, Njemačka*

³*Institut Ruđer Bošković, Zagreb*

Za vrijeme mitoze, mikrotubule (MT) tvore diobeno vreteno koje služi sa ispravno razdvajanje kromosoma. U stanicama kvasca *Schizosaccharomyces Pombe* diobeno vreteno je svežanj MT koje rastu iz dva pola i povezane su vezivnim proteinima [1]. Naš cilj je razumjevanje interakcija MT i vezivnih proteina, te njihovu ulogu u stvaranju svežnjeva MT. Predložili smo teorijski model vezanja MT koji opisuje kutno gibanje MT oko pola diobenog vretena uzrokovano termalnim silama [2] i silama koje proizvode vezivni proteini koje opisujemo kao elastične opruge. Slučajeve kad je vezanje MT u svežanj vjerojatnije nego njihovo razdvajanje nazivamo stabilnim svežnjevima. Naš model daje vjerojatnost vezanja u termodinamičkoj ravnoteži kao funkciju duljine MT i koncentracije vezivnih proteina, te predviđa za koje parametre su svežnjevi stabilni. Model također predviđa i prosječno vrijeme potrebno da se MT vežu u svežanj u ovisnosti o početnoj distribuciji MT i parametarima sustava. Ovi rezultati bi trebali dati objašnjenje kako kutno Brownovo gibanje i vezivni proteini utječu na stvaranje stabilnih svežnjeva MT.

[1] Grishchuk, E. L. and McIntosh, J. R. Microtubule depolymerization can drive poleward chromosome motion in fission yeast. *The EMBO Journal* **25** (2006)

[2] Kalinina, I., Nandi, A., Delivani, P., Chacon, M.R., Klemm, A.H., Ramunno-Johnson, D., Krull, A., Lindner, B., Pavin, N., and Tolic-Norrelykke, I.M. Pivoting of microtubules around the spindle pole accelerates kinetochore capture. *Nat. Cell Biol* **15** (2012)

Plošna difuzija u membrani: vrludanje, skakanje, hvatanje — ili sva tri?

Mislav Cvitković¹, Ana-Sunčana Smith²

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

²*Friedrich-Alexander-Universität Erlangen–Nürnberg, Institut za teorijsku fiziku I i Centar izvrsnosti: EAM, Erlangen, Njemačka*

Prijenos masti i bjelančevina unutar bioloških membrana jedan je od temeljnih procesa u stanicama. Premda je razvijeno mnoštvo modela koji objašnjavaju pojedina opažanja, ne postoji opći mikroskopski model koji bi objasnio temeljna fizička načela složene difuzije u membrani. Difuziju u napućenom okolišu membrane, koja sadrži mnogo sastojnica, ovdje modeliramo kao nasumični hod na dinamičnoj rešetci na kojoj šetači (ligandi) pri hodu upadaju u nepokretne zamke-parnjake (receptore) i iz njih se oslobađaju. Igra napućenosti, uhvata i združenog djelovanja u ovakvom okruženju određuje prirodu difuzije, ali i sama ovisi o difuziji. Da bismo istražili ovaj problem, razvili smo Monte–Carlo simulacije kojima smo na prostornoj ljestvici od 1 nm do 1 mm i vremenskoj od 1 μ s do 1 s pretražili cijeli parametarski prostor razapet četirima parametrima: gustoćama šetača i zamki te vjerojatnostima uhvata i oslobođenja. Uočili smo nekoliko (anomalno-)difuzijskih režima. Potom smo napravili teorijski model u kojem smo pokazali da difuzija u ovom sustavu na dugim vremenskim ljestvicama nije anomalna, nego reskalirana linearna difuzija. Izveli smo točan izraz za pojavni difuzijski koeficijent u granici velikih (realnih) vremena koji uračunava uhvate, međuizbjegavanje i združeno djelovanje. Rezultati modela u potpunosti se slažu s podacima iz simulacija.

[1] H. van Beijeren and R. Kutner, Phys. Rev. Lett. **55** (1985) 238

[2] F. Höfling and T. Franosch, Rep. Prog. Phys. **76** (2012) 046602

Usporedba periodičnih struktura višega reda u genomima čovjeka i neandertalca

Ines Vlahović¹, Matko Glunčić¹, Marija Rosandić², Vladimir Paar²

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

²*Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti*

Usporedbe genoma čovjeka, neandertalca i čimpanze zanimljiva je zbog njihove iznimne uloge u razumijevanju evolucijskih koraka koji su doveli do razvoja viših primata te kognitivnih i morfoloških razlika između ove tri vrste. Prethodno je dokazano[1] da se unatoč iznimnoj nukleotidnoj sličnosti genomi viših primata najčešće razlikuju u broju i strukturi tandemnih ponavljajućih elemenata koji se nalaze u nekodirajućim dijelovima sekvenci.

Cilj ovog istraživanja je kreiranje kataloga globalnih ponavljajućih elemenata za genome čovjeka, čimpanze i neandertalca te izrada evolucijske mape za strukture višega reda (HOR-ove) i duge ponavljajuće jedinice (LRU). U analizi ovih genoma koristimo Global Repeat Map (GRM) algoritam[2] koji mapira simboličku sekvencu u frekventnu domenu te na taj način identificira i analizira sve vrste ponavljanja bez obzira na duljine i moguće nukleotidske mutacije.

U ovom izlaganju predstaviti ćemo primjer strukture višega reda indentificirane u genomima čovjeka i neandertalca, koja se nalazi unutar NBPF obitelji gena povezanih s razvojem mozga te različitih oblika neuroblastoma. Prikazat ćemo njihove specifične strukture te analizirati razlike ovih HOR-ova između čovjeka i neandertalca u duljini, broju kopija, strukturi i različitim mutacijama. Ovaj HOR nije prisutan u genomu čimpanze što dodatno učvršćuje hipotezu da su strukture višega reda bitne u evolucijskom razvoju čovjeka, posebno razvoju mozga i kognitivnih sposobnosti koje ga najviše razlikuju od bliskih srodnika.

[1] Paar, V.; Glunčić, M.; Rosandić, M.; Basar, I.; Vlahović, I., Intragene higher order repeats in neuroblastoma breakpoint family genes distinguish humans from chimpanzees. *Mol Biol Evol.* **1877-92**. doi: [10.1093/molbev/msr009](https://doi.org/10.1093/molbev/msr009). (2011)

[2] Glunčić, M. and Paar, V., Direct mapping of symbolic DNA sequence into frequency domain in global repeat map algorithm. *Nucleic Acids Res.* **41(1):e17**. doi: [10.1093/nar/gks721](https://doi.org/10.1093/nar/gks721). (2012)

Uloga premosnih mikrotubula u ravnoteži sila diobenog vretena

Maja Novak¹, Janko Kajtez², Anastasia Solomatina², Bruno Polak³,
Kruno Vukušić³, Ana Milas³, Patrik Risteski³, Matko Glunčić¹, Iva M.
Tolić³, Nenad Pavin¹

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

²*Max Planck Institute of Molecular Cell Biology and Genetics, Dresden*

³*Zavod za molekularnu biologiju, Institut "Ruđer Bošković"*

Diobeno vreteno je precizan mikro-stroj, načinjen od mikrotubula, polarnih proteinskih vlakana [1]. Tijekom stanične diobe skupina mikrotubula, nazvani kinetohorni mikrotubuli, prenosi tenzijsku silu na kromosome preko kinetohora, proteinskih kompleksa vezanih na kromosome. Intrigantna je činjenica da se između sestrinskih kinetohora nalaze mikrotubuli, koje mi ovdje nazivamo premosni mikrotubuli, a čija je uloga još uvijek nerazjašnjena [2]. U ovom istraživanju uvodimo hipotezu da su premosni mikrotubuli ključni za uravnoteženje sila na kinetohorama te na polovima diobenog vretena. Razvili smo model koji uključuje kinetohorne i premosne mikrotubule, te sile koje djeluju na krajevima mikrotubula. Mikrotubuli su u modelu opisani kao tanki elastični štapovi koji se svijaju pod djelovanjem sila. Pokazali smo da premosni mikrotubuli omogućuju koegzistenciju sile kompresije u blizini polova te sile tenzije u blizini kinetohora. Također smo izračunali sile na polovima i u kinetohorama, te pokazali da one značajno ovise o broju premosnih mikrotubula, što smo potvrdili u našim eksperimentima. Na osnovu naših teorijskih i eksperimentalnih podataka smo zaključili da premosni mikrotubuli povezuju sestrinski par kinetohornih mikrotubula te tako uravnotežuju tenziju između sestrinskih kinetohora, dok je zakrivljeni oblik diobenog vretena posljedica kompresije na polovima.

[1] Sharp, D.J., Rogers, G.C. and Scholey, J.M., Microtubule motors in mitosis., *Nature* **407** (2000)

[2] Ohi, R., Coughlin, M.L., Lane, W.S., and Mitchison, T.J., An inner centromere protein that stimulates the microtubule depolymerizing activity of a KinI kinesin., *Dev Cell* **5** (2003)

Sažeci postera

Klasifikacija radio galaksije i studija njenog okruženja

Nika Jurlin¹, Vernesa Smolčić¹

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

Radio galaksija, čija sam svojstva i okruženje proučavala, nalazi se u COSMOS polju. COSMOS (Cosmological Evolution Survey) projekt je astronomski pregled neba koji se prostire na 2 kvadratna stupnja i dizajniran je za istraživanje formacije i evolucije galaksija kao funkcije kozmičkog vremena (crvenog pomaka) i lokalnog okruženja galaksija. COSMOS polje je promatrano u svim dostupnim valnim duljinama od rendgenskog zračenja do radiovalova, pomoću teleskopa poput Hubble Space Telescope, Spitzer, GALEX, XMM, Chandra, Herschel, NuStar, Keck, Subaru, VLA i mnogih drugih.

Svojstva radio galaksije su analizirana obradom radio kataloga dobivenih teleskopima Chandra i XMM-Newton (X-ray Multi-Mirror Mission), te optičkim podacima iz UltraVista i Subaru slika. Okruženje galaksije analizirano je metodom Voronoi teselacije, koja je primjenjena na optičkim podacima sa fotometrijskim crvenim podacima.

Gore opisana analiza je dovela do zaključka da je proučavana galaksija Fanarof Riley II (FR II) tipa te kako se ne nalazi u području zgušnjavanja.

Amorfne slitine Cu-Ti,Zr,Hf: idealne čvrste otopine

Ramir Ristić¹, John Robert Cooper², Jovica Ivkov³, Damir Pajić⁴,
Krešo Zadro⁴, Emil Babić⁴

¹*Odjel za fiziku, Sveučilište u Osijeku, Trg Ljudevita Gaja 6, 31000-Osijek*

²*Dept. of Physics, Cavendish Laboratory, J.J. Thomson Avenue, Cambridge
CB3-0HE, UK*

³*Institut za fiziku, Bijenička cesta 46, HR-10002 Zagreb*

⁴*Fizički zavod, Prirodoslovno-matematički fakultet, Bijenička cesta 32, HR-10002
Zagreb*

Naše ranije proučavanje svojstava amorfni nemagnetskih TL - TE slitina (TL = Ni, Cu; TE = Ti, Zr, Hf) u širokom području koncentracija (30 - 70 at % TL) omogućilo nam je da linearnom ekstrapolacijom podataka za slitine odredimo parametre vezane uz atomsku i elektronsku strukturu i svojstva čistih amorfni TE [1]. Ovdje pokazujemo da se u slučaju TL = Cu isti podaci mogu koristiti da se ekstrapolacijom odrede svojstva i atomska struktura čistog amorfni Cu (koji je eksperimentalno nedostupan). To je povezano sa iznenađujućim važenjem Vegardovog zakona za atomske volumene amorfni Cu - Ti, Zr slitina [2], koje smo proširili i na Cu - Hf slitine. Ovisno o svojstvu, vrijednosti za amorfni Cu su ili blizu onim za kristalni Cu (termodinamička ravnotežna svojstva) ili blizu onim za tekući Cu ekstrapoliranim na sobnu temperaturu (elektronska transportna svojstva). Pouzdanost dobivenih rezultata se ogleda i u tomu da se neovisno o izboru TE, sve ovisnosti proučavanih svojstava ekstrapoliraju u istu vrijednost za amorfni Cu [3]. Dobiveni rezultati su važni za razumijevanje amorfni TL - TE slitina (uključujući i razumijevanje uvjeta nastanka masivni metalni stakala u tim sustavima).

[1] R. Ristić, E. Babić, D. Pajić, K. Zadro, A. Kuršumović, I.A. Figueroa, H.A. Davies, I. Todd, L.K. Varga, I. Bakonyi, J. Alloys Compd. **504S** (2010) S194

[2] I. Bakonyi, Acta Materialia **53** (2005) 2509

[3] R. Ristić, J.R.Cooper, K. Zadro, D. Pajić, J. Ivkov, E. Babić, J. Alloys Compd. **621** (2015) 136

Feroelastična nestabilnost magnezijevog fluorida

Aleksandar Živković¹, Igor Lukačević¹

¹*Odjel za fiziku, Sveučilište J.J. Strossmayer, Osijek*

Magnezijev fluorid je najpoznatiji po svojim optičkim svojstvima [1,2], zbog kojih se upotrebljava za izradu leća i prizmi, te anti-reflektivnih slojeva. Netopljiv je u vodi zbog čega je dobar izvor za primjenu osjetljivu na kisik, kao što je proizvodnja metala [3]. Nedavno je zanimanje za magnezijev fluorid ponovno pobuđeno zbog pojave novih faza pod utjecajem visokog tlaka. Otkriven je meki fononski mod, koji uzrokuje fazni prijelaz drugog reda iz rutile u $CaCl_2$ strukturu [4]. Naši proračuni iz prvih principa pokazuju da se radi o posmičnom faznom prijelazu drugog reda, pri čemu grupa visokotlačne faze čini podgrupu niskotlačne faze. Budući da Raman aktivni meki fononski mod postane nestabilan tek nakon nestabilnosti s obzirom na homogenu elastičnu deformaciju, uočeni fazni prijelaz karakteriziramo kao feroelastični fazni prijelaz. Također, naši proračuni fononskog doprinosa Gibbsvoj slobodnoj energiji predviđaju da magnezijev fluorid posjeduje anomalni koeficijent toplinskog širenja, što ga može učiniti primamljivim za primjenu u industriji keramičkih materijala, te medicini. Relativno je nestlačiv, te je iz tih razloga, uz naredna istraživanja električnih i magnetskih svojstava, kandidat za multifunkcionalni materijal.

[1] M. J. Dodge, Applied Optics **23**, (1984)1980.

[2] M. W. Williams, R. A. MacRae and E. T. Arakawa, Journal of Applied Physics **38**, (1967) 1701.

[3] American Elements – The Material Science Company, Magnesium Fluoride; <http://www.americanelements.com/mgf.html> (23.03.2015.)

[4] J. Haines, J. M. Léger, F. Gorelli, D. D. Klug, J. S. Tse and Z. Q. Li, Phys. Rev. B **64** (2001) 134110.

IAXO – aksionski helioskop nove generacije

Krešimir Jakovčić¹, Milica Krčmar¹, Biljana Lakić¹

¹*Institut Rudjer Bošković, Zagreb*

Jedan od glavnih pravaca istraživanja u današnjoj fizici elementarnih čestica usmjeren je na otkrivanje sastava tamne tvari koja prema najnovijim istraživanjima čini 26.8% svemira. Jedan od kandidata za tamnu tvar je aksion – lagani pseudoskalarni bozon koji se pojavljuje kao posljedica spontanog lomljenja tzv. $U(1)$ Peccei-Quinn simetrije koja je izvorno uvedena u teorije kojima se objašnjava odsustvo narušenja CP simetrije u jakim međudjelovanjima. Poopćenjem tog koncepta predviđeno je postojanje mnoštva čestica sličnih aksionima (ALP od eng. axion-like particles). Ako postoje, aksioni bi zbog vezanja s fotonima, elektronima i nukleonima mogli biti u velikom broju emitirani sa Sunca.

Glavnina eksperimentalnih potraga za aksionima temelji se na njihovom vezanju s fotonima budući da je to vezanje generička karakteristika aksiona te da postoje razne metode za detekciju fotona. Trenutno najperspektivnija i s tehničkog stajališta najrazvijenija metoda potrage za Sunčevim aksionima i njima sličnim česticama su tzv. helioskopi, gdje se primjenom jakog transverzalnog magnetskog polja u laboratoriju te čestice mogu pretvarati u fotone. Trenutno najosjetljiviji aksionski helioskop je CAST (CERN Axion Solar Telescope). U do sada provedenim analizama prikupljenih podataka aksionski signal nije opažen pa je kao rezultat postavljena najstroža eksperimentalna gornja granica vrijednosti konstante vezanja aksiona s fotonima u velikom području vrijednosti mase aksiona.

Eksperiment IAXO (International Axion Observatory) predstavlja najnoviju generaciju aksionskih helioskopa čiji je cilj da se znatno poboljša osjetljivost na konstantu vezanja aksiona s fotonima u odnosu na eksperiment CAST. IAXO će biti prvi helioskop s posebno napravljenim magnetom koji će imati znatno veći volumen od svih ranijih helioskopa što bi uz unapređenje optike i fotonskih detektora trebalo omogućiti da se postigne osjetljivost 1-1.5 redova veličine bolja od eksperimenta CAST. Kao dodatni program istraživanja IAXO planira istražiti i neke specifične modele aksiona i ALPova. Tako se, na primjer, planira tragati za aksionima i ALPovima koji bi mogli nastajati u Suncu u procesima koji se temelje na njihovom vezanju s elektronima kao što su npr. zakočno zračenje, Comptonovo raspršenje i aksiorekombinacija. IAXO će također moći istražiti i druge egzotične čestice poput parafotona i kameleona koje bi također mogle nastajati u Suncu. Predviđa se da će za izgradnju eksperimenta i njegovo puštanje u rad biti potrebno šest godina.

[1] I. G. Irastorza et al. (IAXO Collaboration), JCAP **1106** (2011) 013

[2] E. Armengaud et al. (IAXO Collaboration), JINST **9** (2014) 05002

[3] I. G. Irastorza et al., CERN-SPSC-2013-022

Magnetska svojstva multiferoika $\text{Bi}_{1-x}\text{Gd}_x\text{FeO}_3$ ($x=0, 0.01, 0.03, 0.05, 0.10$)

Jure Dragović¹, Damir Pajić¹, Danijela Luković Golić², Aleksandar Radojković²

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

²*Institut za multidisciplinarna istraživanja, Univerzitet u Beogradu, Kneza Višeslava 1, Beograd, Srbija*

Multiferoici su multifunkcionalni materijali koji pokazuju istovremeno više parametara uređenja. Međusobna povezanost tih uređenja, pogotovo feroelektričnog i magnetskog otvara mogućnost tehnološke upotrebe za nove vrste memorija, senzore, itd. U ovom radu istraživana su magnetska svojstva perovskitnog multiferoika BiFeO_3 dopiranog različitim postotcima gadolinija pomoću MPMS SQUID magnetometra u širokom temperaturnom intervalu od 2-800 K (standardno 2-380 K i sa posebnom dodatkom od 300-800 K).

BiFeO_3 dopiran gadolinijem dobiven je postupkom otparavanja iz otopine odgovarajućih nitratnih soli i razrijeđene dušične kiseline, te kalciniranjem suhog ostatka na 650 °C u toku 3 h. Keramika u obliku tableta dobivena je sinteriranjem na 870 °C tokom 6 h. Fazni sustav prahova utvrđen rendgenskom difrakcijskom analizom ukazao je na smanjenje sadržaja sekundarnih faza dopiranih uzoraka u odnosu na nedopirani BiFeO_3 .

BiFeO_3 je dobro poznati multiferoik koji pokazuje slabo magnetoelektrično vezanje na sobnoj temperaturi koje se pokušava povećati dopiranjem magnetskim ionima. Opažen je fazni prijelaz na 640 K koji opada do 635 K sa povećanjem koncentracije gadolinija te porast razdvajanja ZFC i FC krivulja koje potječe od slabog feromagnetskog uređenja. Magnetske histereze su mjerene do polja od 5 T gdje nije bilo znakova saturacije i reverzibilnosti. BiFeO_3 ima uske antiferomagnetske histereze sa malim koercitivnim poljima, dok dopirani uzorci pokazuju značajno proširenje krivulja histereze. Mjerenja u električnom polju nisu ukazala na zamjetljive promjene u ponašanju magnetizacije, ukazujući na čvrstu magnetsku strukturu.

Zahvaljujući razvoju slabog feromagnetizma $\text{Bi}_{1-x}\text{Gd}_x\text{FeO}_3$ ima veći magnetski moment od antiferomagnetskog, čistog BiFeO_3 , ali ni dopiranjem nije postignuto magnetoelektrično vezanje.

[1] K. F. Wang, J. -M. Liu, Z. F. Ren, Multiferroicity: the coupling between magnetic and polarization orders, *Adv. Phys.* **58** (2009) 321 - 448

[2] D. Lebeugle et al., Electric-field-induced spin flop in BiFeO_3 single crystals at room temperature, *Phys. Rev. Lett* **100** (2008) 227602

[3] G. Catalan, J. F. Scott, Physics and applications of bismuth ferrite, *Adv. Mater* **21** (2009) 2463 - 2485

[4] V. V. Lazenka et al., Structural transformation and magnetoelectric behaviour in $\text{Bi}_{1-x}\text{Gd}_x\text{FeO}_3$ multiferroics, *J. Phys. D: Appl. Phys* **45** (2012) 125002

Istraživanje SeCuO_3 nuklearnom kvadrupolnom rezonancijom

Tonči Cvitanić¹, Mihael S. Grbić¹, Helmuth Berger², Miroslav Požek¹

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

²*Institute of Physics of Complex Matter, EPFL, Lausanne, Switzerland*

Niskodimenzionalni sustavi su zanimljivi za istraživanje zbog razrade analitičkih rješenja teorijskih razmatranja koja se mogu provjeriti na stvarnim materijalima gdje je dimenzionalnost magnetskih interakcija snižena. Usporedbom eksperimenta i teorije možemo ispitati i dopuniti naše razumijevanje kvantne fizike i magnetizma jako koreliranih sustava. Potpuno poznavanje fizike niskodimenzionalnog magnetizma će dovesti do novih materijala primjenjivih u tehnologiji budućnosti, npr. spintronike i kvantnih računala.

Monoklinski spoj SeCuO_3 je kvazi nula-dimenzionalan magnetski sustav. U prvoj aproksimaciji predstavljen je modelom magnetskog seta četiri interagirajuća spina $S = 1/2$. Spinovi su vezani u linearni tetramer s antiferomagnetskim interakcijama $J \approx 200$ K, a cijela interakcija je opisana Heisenbergovim hamiltonijanom [1].

Ispod temperature $T_N = 8$ K sustav prelazi u 3D antiferomagnetsko uređenje. U ovom radu predstavljamo istraživanje SeCuO_3 sustava metodom nuklearne kvadrupolne rezonancije. Promatrana je rezonancija jezgre bakra, na kojoj se nalazi magnetski moment, te prikupljeni podaci direktno govore o prirodi osnovnog stanja. Iz spektra $^{63,65}\text{Cu}$ odredili smo temperaturnu evoluciju parametra uređenja i kritični eksponent oko T_N . Dobiveni rezultati su uspoređeni s rezultatima neutronske difrakcije [2] na istom spoju kako bi se ustanovila magnetska struktura u uređenoj fazi. Također, ispitali smo spinsku dinamiku preko spin-rešetka relaksacije ispod i iznad temperature prijelaza, i usporedili s drugim niskodimenzionalnim sustavima.

[1] I. Živković *et al.*, Phys. Rev. B **86**, 054405 (2012)

[2] V. Šurija *et al.*, *to be published*.

Fizikalna istraživanja aktivnih i paleookolišnih procesa u jamama Dinarskog krša

Dalibor Paar¹, Nenad Buzjak², Vanja Radolić³, Stanislav Frančičković-Bilinski⁴, Andreja Sironić⁴, Nada Horvatinčić⁴, Franci Gabrovšek⁵

¹*Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Bijenička c.32, 10000 Zagreb*

²*Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek, Marulićev trg 19/II, Zagreb*

³*Odjel za fiziku, Sveučilište u Osijeku, P.P. 125, Osijek*

⁴*Institut Ruder Bošković, Bijenička c.54, Zagreb*

⁵*Inštitut za raziskovanje krasa, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Titov trg 2, SI-6230 Postojna*

Krš predstavlja izuzetan prirodni resurs Hrvatske, a čije su osobine i potencijali nedovoljno istraženi. Krš je kompleksni sustav u kome se odvija niz procesa u interakciji površine i podzemlja uz prirodne i moguće antropogene utjecaje. Špilje su prirodni laboratoriji u kojima je moguće jasno definirati i proučavati te procese, pridružiti im fizikalne varijable i promatrati njihovu prostorno-vremensku dinamiku. Uloga fizičara u tom razmatranju je razlučiti ključne varijable te primijeniti fizikalne modele speleogeneze i morfogeneze, toka topline i mikrokline podzemlja. Ove studije trebaju pratiti odgovarajuća geološka, geomorfološka i hidrografska istraživanja kojim se doprinosi interpretaciji promatranih procesa. Značaj krša u tom razmatranju postaje u zadnjem desetljeću globalno važniji budući da špiljski sedimenti sadrže jedinstvene arhive paleo- i recentnih klimatskih promjena. Oni imaju dugačke intervale nastanka i široku geografsku rasprostranjenost, a u podzemlju mogu biti konzervirani bez značajnih vanjskih utjecaja. Ključna informacija u njima nalazi se u višestrukim obilježivačima (proxy records) koji su direktno i indirektno vezani na klimatske, geomorfološke i hidrogeološke uvjete. Pri tome je posebno važno što špiljski sedimenti imaju, pored dobro definiranih uvjeta nastanka vezanih uz razumijevanje speleogeneze i utjecaja klimatskih uvjeta na površini, izuzetno dobru očuvanost u odnosu na denudaciju i bioturbaciju nakon taloženja, što često nije slučaj sa površinskim sedimentima.

U Dinarskom kršu u Hrvatskoj ima veliki broj špilja pogodnih za ova istraživanja. U okviru višegodišnjih istraživanja izrađuje se baza podataka vrijednosti fizikalnih varijabli koje definiraju ove procese. Stavljanjem u vremenske okvire te geokemijskim i strukturnim analizama geoloških materijala utvrđuje se prisutnost obilježivača prirodnih procesa, a detektirane vremenske promjene daju osnovu za daljnja istraživanja i interpretaciju. Dio ovih istraživanja izveden je u okviru bilateralnog projekta Fizikalna istraživanja aktivnih i paleookolišnih procesa u jamama Dinarskog krša (PMF-IZRK SAZU).

Accurate measurements of the dust properties in the 1 billion year old Universe

Ivana Barišić¹, Peter Capak²

¹*Physics Department, University of Zagreb, Bijenicka cesta 32, 10002 Zagreb,
Croatia*

²*Caltech/IPAC, 1200 East California Boulevard, Pasadena, California 91125, USA*

Prezentiramo slike 10 normalnih galaksija na visokom crvenom pomaku ($z \sim 5-6$) snimane sa Hubble Space Telescope Wide Field Camera 3 Infrared (HST WFC-3 IR), visoke rezolucije. Uspoređujemo ih sa slikama kontinuuma te C[II] dinamike galaksija snimanih ALMA teleskopima. Novi podatci omogućuju preciznija mjerenja spektralnog nagiba β galaksija u UV dijelu spektra (sustavu mirovanja galaksija), u odnosu na originalnu analizu. Očekujemo da će novi podatci smanjiti sistematske efekte u mjerenjima s obzirom da se prijasnije analize temelje na podacima koji su prikupljeni zemaljski baziranim teleskopom. Također, novi podatci će nam omogućiti istraživanje gradijenta crvenjenja i odstupanja od pozicije između izvora UV i FIR emisije. Moci ćemo istražiti vezu između UV morfologije u sustavu mirovanja galaksija te njihove dinamike.

[1] Capak, P. L., Carilli, C., Jones, G., et al. 2015, Nature, 522, 455

Pojava radiofrekventnog drugog harmonika u vodljivosti na T_c u kupratima

Marija Došlić¹, Damjan Pelc¹, Miroslav Požek¹

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

U većini materijala vrijedi Ohmov zakon - odgovor na relativno slaba pobudna polja je linearan. Nelinearni odziv upućuje na netrivialno ponašanje sustava, poput korelacija višeg reda, i čest je u blizini kritičnih pojava. U slučaju izmjenične pobude nelinearnost odziva uzrokuje deformaciju sinusoidnog signala, koja se može detektirati, pomoću fazno osjetljivih pojačala, kao viši harmonici. Pogotovo su zanimljivi parni harmonici, odnosno signali na parnim višekratnicima pobudne frekvencije, jer se javljaju pri lomu nekih simetrija. Zbog geometrije eksperimentalnog postava koji koristimo, pojava drugog harmonika u našem mjerenju označava narušenje simetrije inverzije vremena u materijalu. Mjerenjem na uzorcima visokotemperaturnih supravodiča iz porodice kuprata ustanovljeno je postojanje univerzalnog signala na drugom harmoniku u okolini temperature prijelaza, što ukazuje na lom simetrije inverzije vremena u supravodljivom stanju. Prijašnja mjerenja nelinearnog odziva oko T_c signal su uglavnom pripisivala efektima vrtloga, što smo isključili mjerenjima u vanjskom magnetskom polju. Pokazalo se da je intenzitet signala (skaliran na veličinu uzorka) ovisi samo o dopiranju te da je neovisan o polju, a ispod temperature prijelaza i o temperaturi. Zaključujemo kako drugi harmonik ne opisuje dinamiku prijelaza, već odražava svojstva samog supravodljivog stanja.

Dinamika domenskih zidova u feromagnetskom grafitu

Igor Marković¹, Damjan Pelc¹, Jair Freitas², Mihael Grbić¹, Miroslav Požek¹

¹*Fizički odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu*

²*Department of Physics, Federal University of Espirito Santo (UFES)*

Feromagnetski materijali bazirani na ugljikovim skstrukturama bez primjesa metalnih atoma su atraktivni zbog brojnih potencijalnih primjena, od biorazgradivih magneta s primjenama u medicini do spintroničkih elemenata na bazi grafena. Kao nastavak na prijašnje promatranje feromagnetskog grafena NMR-om u čvrstom stanju [1], izmjerene su karakteristike spektralnih linija uzorka uz primjenjeno vanjsko magnetsko polje 0 - 0.5 T. Mjerene su relaksacije longitudinalne i transverzalne komponente nuklearne magnetizacije te ovisnost signala o kutu zakretanja magnetizacije mijenjanjem snage pobudnog RF polja. Iz dobivenih rezultata koji pokazuju dva karakteristična mjesta C atoma u domenskim zidovima, je postavljen model koji opisuje strukturu i dinamiku domenskih zidova u feromagnetskom grafitu. Teorijska predviđanja i pripadni računalni modeli su postavljeni po uzoru na teoriju NMR mjerenja u tipičnim feromagnetskim uzorcima [2] te je usporedba s rezultatima potvrdila predloženi model.

[1] Freitas, Jair C. C., et al., Hyperfine magnetic field in ferromagnetic graphite. arXiv, 1406.1119, (2014).

[2] Stearns, M. B., Spin-Echo and Free-Induction-Decay Measurements in Pure Fe and Fe-Rich Ferromagnetic Alloys: Domain-Wall Dynamics. Phys. Rev. 162, 496 (1967).

Optimizacija doza pri kompjuteriziranoj tomografiji za dječju populaciju

Marija Majer¹, Željka Knežević¹, Saveta Miljanić¹, Liu Haikuan²,
Weihai Zhuo²

¹*Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvatska*

²*Institute of Radiation Medicine, Fudan University, Šangaj, Kina*

Primjena ionizirajućeg zračenja u medicini iznimno je važna za dijagnosticiranje, praćenje i liječenje brojnih bolesti, no budući da zračenje može oštetiti zdrave stanice i uzrokovati neželjene učinke prije svake primjene treba usporediti rizik i korist [1]. Poseban oprez zahtijeva zračenje djece jer su, u odnosu na odrasle, djeca osjetljivija na zračenje i očekuje se da će živjeti puno duže od latentnog razdoblja nakon zračenja. Za procjene rizika potrebni su podaci o dozama koje prime pojedini organi bolesnika i stoga se želi dobiti veza između tih podataka i različitih dozimetrijskih veličina koje daju radiološki ili radioterapijski uređaji da bi se mogli usporediti i naći optimalni protokoli zračenja [2].

Optimizacija doza pri kompjuteriziranoj tomografiji (CT) za dječju populaciju tema je bilateralne suradnje između Instituta Ruđer Bošković i Fudan University. U radu su prikazani rezultati mjerenja doza radiofotoluminescentnim detektorima u organima antropomorfnih fantoma koji predstavljaju petogodišnje i desetogodišnje dijete tijekom CT-snimanja glave te usporedba s rezultatima Monte Carlo simulacija koristeći vokselizirane modele fantoma. Mjerenja su napravljena na 16-slojnom CT-simulatoru koji se koristi za oslikavanje i radioterapijsko simuliranje u sklopu pripreme onkoloških bolesnika za radioterapiju linearnim akceleratorom ili neuroradiokirurgiju gama nožem (GN). Za štitnjaču, pluća i grudi mjerene doze uspoređene su s vrijednostima izmjerenim tijekom jednog GN-postupka i procijenjeni su rizici. Najveći rizik procijenjen je za pojavu karcinoma štitnjače uzrokovan zračenjem petogodišnjih djevojčica: za 10^5 ozračenih djevojčica pojava karcinoma štitnjače tijekom života očekuje se kod njih 115 što je dobiveno na temelju izmjerene doze od 27.5 mGy. Udio CT-doze u GN-dozi za štitnjaču iznosio je 12% za petogodišnji i 6% za desetogodišnji fantom.

[1] D. J. Brenner, E. J. Hall, N. Engl. J. Med. **357** (2007) 2277

[2] J. Popić Ramač, Ž. Knežević et al. Radiat. Meas. **55** (2013) 46

Atomic force mikroskopija (AFM) na monoslojnim sistemima

Toni Marković¹

¹*Institute for Complex Systems –Biomechanics, Forschungszentrum Juelich*

²*PMF - Fizički odsjek, Zagreb*

Keratin je važna komponenta citoskeleta stanica kože (keratinocita). Smatra se da ima značajnu ulogu kod mehaničkih svojstava keratinocita. Neke od bolesti kože koje se manifestiraju ljuštenjem i slabljenjem kožnog sloja koji je potreban za zaštitu organizma smatraju se da su povezane sa keratinskim defektima. Cilj ovog rada bio je simulirajući slojeviti raspored keratinocita u koži istražiti elastičnost jednog sloja. Mutantima sa različitim razinama keratinskih defekata je ispitana elastičnost pomoću AFM-a. Značajno smanjenje Youngovog modula (u Hertzovom modelu) i prividne elastičnosti (u modelu slobodne prilagodbe) je određeno za keratinske mutante u odnosu na zdrave stanice. Time je pokazano da keratinski defekti doprinose slabljenju elastičnosti stanica i pogoršanju mehaničkih svojstava.

[1] L. Ramms and G. Fabris et al. PNAS, doi: 10.1073/pnas.1313491110 (2014)

Dielektrična svojstva α -(BEDT-TTF)₂I₃: feroelektrična priroda metalno-izolatorskog faznog prijelaza

Marko Kuveždić¹, Tomislav Ivek², Marko Pinterić³, Mario Basletić¹,
Bojana Korin-Hamzić², Martin Dressel⁴, Silvia Tomić²

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

²Institut za fiziku, Bijenička 46, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

³Fakulteta za gradbeništvo, Univerza v Mariboru, Smetanova 17, 2000 Maribor,
Slovenija

⁴1. Physikalisches Institut, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 57, D-70550
Stuttgart, Njemačka

Organske soli predstavljaju važan dio fizike čvrstog stanja čija raznolika struktura, reducirana dimenzionalnost i jako korelirani elektronski sustav omogućuju uvid u niz zanimljivih i složenih fizikalnih pojava.

Zanimljiv pripadnik organskih soli koji se intenzivno istražuje je spoj α -BEDT-TTF₂I₃, baziran na organskoj molekuli *bis*-(ethylenedithio)-tetrathiafulvalene (BEDT-TTF). Kao i drugi spojevi bazirani na ovoj molekuli, α -BEDT-TTF₂I₃ posjeduje slojevitou strukturu te pokazuje kvazidvodimenzionalna svojstva. Na sobnoj temperaturi pri atmosferskom tlaku ovaj spoj je polumetal s malim džepovima elektrona i šupljina oko Fermijeveg nivoa, a na temperaturi $T_{MI} = 135$ K se javlja metalno-izolatorski fazni prijelaz [1]. Ispod ovog prijelaza dolazi do uspostave stanja uređenja naboja [2], koje pokazuje feroelektrični karakter [3,4]. Priroda ovog uređenja naboja je nedavno opisana u vidu modela kooperativnog vala gustoća naboja i veza (eng. *cooperative bond-charge density wave*) [5].

U ovom radu bit će prezentirana eksperimentalna tehnika dielektrične spektroskopije i rezultati mjerenja dielektrične funkcije α -BEDT-TTF₂I₃ u ovisnosti o temperaturi. Posebna pažnja bit će posvećena feroelektričnim svojstvima metalno-izolatorskog faznog prijelaza na $T_{MI} = 135$ K te usporedba eksperimentalnih rezultata s "Curie-Weiss" teorijom.

[1] K. Bender et. al., Mol. Cryst. Liq. Cryst. **108** (1984) 359

[2] T. Takahashi et al., J. Phys. Soc. Jpn. **75** (2006) 051008

[3] T. Kakiuchi et al., J. Phys. Soc. Jpn. **76** (2007) 113702

[4] K. Yamamoto et al., Appl. Phys. Lett. **96** (2010) 122901

[5] T. Ivek et. al., Phys. Rev. B **83** (2011) 165128

Uređenje naboja u kapa-fazi pod tlakom

Tomislav Ivek¹, Emil Tafra², Matija Čulo¹, Anja Löhle³, Eva Rose³,
Sarika Singh³, Rebecca Beyer³, Rimma N. Lyubovskaya⁴, Martin
Dressel³

¹*Institut za fiziku, Zagreb*

²*Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb*

³*1. Physikalisches Institut, Universität Stuttgart, Njemačka*

⁴*Institute of Problems of Chemical Physics, Chernogolovka, Rusija*

Dimerizirani organski vodiči iz obitelji κ -(BEDT-TTF)₂X su uvriježeni primjer Mottove fizike u dvije dimenzije. Unutar polupopunjene vrpce prisutne su jako frustrirane elektron-elektron interakcije uslijed kojih nastaju raznolika osnovna stanja poput supravodljivosti $X = \text{Cu}[\text{N}(\text{CN})_2]\text{Br}$, izolatorske spinske tekućine $X = \text{Cu}_2(\text{CN})_3$, ili antiferomagnetskog izolatora $X = \text{Cu}[\text{N}(\text{CN})_2]\text{Cl}$. Fazne dijagrame tih spojeva općenito dobro opisuje Hubbardov model s elektronskim odbijanjem U na istom čvoru.[1] S druge strane, noviji dodatak obitelji, $X = \text{Hg}(\text{SCN})_2\text{Cl}$, pokazuje fazni prijelaz u stanje uređenja naboja na 30 K, pri atmosferskom tlaku. No, u sklopu Hubbardovog modela uređenje je naboja potpuno neočekivano kao osnovno stanje.[2]

Fazni prijelaz u egzotično stanje uređenja naboja u κ -(BEDT-TTF)₂Hg(SCN)₂Cl popratili smo mjerenjima otpora i vibracijske infracrvene reflektivnosti pod hidrostatiskim tlakom do 11 kbar i na temperaturama od 10 do 300 K. Praćenjem molekulske vibracije $\nu_{27}(\text{B}_{1u})$ osjetljive na naboj te kritične temperature u otporu u mogućnosti smo izgraditi p - T fazni dijagram. Razmotrit ćemo efekte tlaka na uređenje naboja uzimajući u obzir elektronsko odbijanje prvih susjeda unutar modela sparenog elektronskog kristala.

[1] M. Dressel, J. Phys.: Condens. Matter **23**, 293201 (2011).

[2] N. Drichko, R. Beyer, E. Rose, M. Dressel, J. A. Schlueter, S. A. Turunova, E. I. Zhilyaeva, R. N. Lyubovskaya, Phys. Rev. B **89**, 075133 (2014).

O evoluciji kvazi-ravnotežne strujne plohe i početku impulsivnog praštećeg magnetskog prespajanja

Marina Skender¹, Giovanni Lapenta²

¹*National Institute for Astrophysics – Astronomical Observatory Capodimonte,
Salita Moiarello 16, 8131 Napulj, Italija*

²*Centre for Mathematical Plasma-Astrophysics – Catholic University of Leuven,
Celestijnenlaan 200b - bus 2400, 3001 Leuven, Belgija*

Dugačka dvodimenzionalna rekonektirajuća strujna ploha sa X-tipom nultočke numerički je postavljena po prvi puta. Različite simulacijske postavke korištene su kako bi se pratilo evoluciju strujne plohe: dvije vrste početnog ravnotežnog stanja, Harissovo i “force-free”, dvije vrste rubnih uvjeta, periodički i otvoreni, s postavljenim uniformnim i neuniformnim gridom. U svim simuliranim scenarijima pronadjeno je kvalitativno isto ponašanje u kojem strujna ploha polagano evoluira kroz niz kvazi-ravnotežnih stanja, na kraju se fragmentirajući i ulazeći u fazu brzog impulsivnog prespajanja magnetskih silnica. Kako bi se stekao uvid u narav i karakteristike nestabilnosti koja se zbiva, fizičke karakteristike simulirane strujne plohe povezane su s njezitim geometrijskim svojstvima. Pri usvojenom Lundquistovom broju $S = 10^4$ i Reynoldsovom broju $R = 10^4$, omjer duljine i širine formirane strujne plohe polagano u vremenu raste, dosežući maksimalnu vrijednost pri kojoj se započinje fragmentirati. Nadalje, pokazano je da i uz dodatnu turbulenciju unesenu u sustav kvazi-ravnotežna strujna ploha i dalje evoluira u kvalitativno istim koracima, no sa skorijim početkom fragmentacije i pri manjem omjeru duljine i širine strujne plohe.

[1] Skender, M., Lapenta, G., On the instability of a quasiequilibrium current sheet and the onset of impulsive bursty reconnection, *Phys. of Plas.*, Vol 17, 2, 022905 11 pp. (2010).

[2] Priest, E., Forbes, T., *Magnetic Reconnection*, Cambridge University Press, (2000).

Narastanje tankih filmova titanovog nitrida i titanovog oksida korištenjem tehnike depozicije atomskih slojeva

Ivana Jelovica Badovinac¹, Iva Šarić¹, Ivna Kavre Piltaver¹, Gabriela Ambrožić¹, Robert Peter¹, Mladen Petravić¹

¹Odjel za fiziku i Centar za mikro i nano znanosti i tehnologije, Sveučilište u Rijeci

Jedan od najčešće korištenih materijala u biomedicini i stomatologiji (npr. za izradu ortopedskih implantata, stentova ili žica za ortodontske aparate) jest nitinol, legura nikla i titana. Nitinol ima čitav niz jedinstvenih svojstava, poput pamćenja oblika, superelastičnosti ili otpornosti na izvijanje [1]. Ipak, prisutnost nikla u ovoj leguri na površini materijala ili njegovo ispuštanje iz samog materijala u ljudski organizam, predstavlja značajan problem, prvenstveno zbog toksičnosti i alergenskih svojstava nikla [2]. Zbog toga je modifikacija površine nitinola u svrhu povećanja njegovih antikorozivnih svojstava i biokompatibilnosti značajna za biomedicinsku primjenu ovoga materijala. Jedan od načina sprječavanja ispuštanja nikla jest stvaranje zaštitnih, biokompatibilnih filmova na površini nitinola, poput titanovog nitrida (TiN) ili titanovog dioksida (TiO_2). Dok se TiO_2 filmovi mogu dobiti relativno lako različitim metodama, uključujući i termalnu [3], TiN je veoma teško ostvariti zbog visoke reaktivnosti Ti s kisikom. U ovom radu predstavljamo metodu narastanja tankih filmova kontrolirane debljine na nanometarskoj skali TiN i TiO_2 na različitim podlogama, uključujući nitinol, korištenjem uređaja za depoziciju atomskih slojeva (ALD tehnike). Fizička i kemijska svojstva narastanih filmova ispitivana su spektroskopijom fotoelektrona rentgenskim zrakama (XPS), pretražnim elektronskim mikroskopom (SEM) i masenim spektrometrom sekundarnih iona (SIMS).

[1] Y. Huang, J. F. Kong, S. S. Venkatraman, *Acta Biomater.* 10, 1088 (2014).

[2] J. P. Thyssen, T. Menne, *Chem. Res. Toxicol.* 23, 309 (2010).

[3] M. Petravac, M. Varasanec, R. Peter, I. Kavre, M. Metikos-Hukovic, Y.W. Yang, *J. Appl. Phys.* 115, 243703 (2014).

Određivanje i mapiranje radonskog potencijala u RH na primjeru Osječko-baranjske županije (in situ mjerenja radonske koncentracije u tlu i permeabilnosti tla)

Marina Poje¹, Vanja Radolić¹, Igor Miklavčić¹, Denis Stanić¹, Matko Mužević¹, Ivana Krpan¹, Branko Vuković¹

¹*Odjel za fiziku Sveučilišta u Osijeku, Trg Ljudevita Gaja 6, 31 000 Osijek*

U Europi je u tijeku projekt mapiranja geogenog radonskog potencijala (GRP), kao dijela europskog atlasa prirodnog zračenja čiju izradu koordinira Združeni istraživački centar Europske komisije (Joint Research Centre – JRC EC) [1]. Radonski potencijal osnovni je parametar za radiološko opisivanje tla, koji je glavni izvor radona u zraku u zatvorenim objektima, neovisno o vrsti gradnje, starosti i stanju objekta, te životnom stilu ljudi koji borave u njemu. Nastajanje radona u tlu i permeabilnost tla dva su najvažnija parametra za određivanje GRP-a. Zemljovidi geogenog radonskog potencijala mogu poslužiti u identifikaciji područja s povišenom razinom radona u kućama. Važno je imati na umu da je ulazak radona iz tla u kuću isključivo uvjetovan građevinskim karakteristikama objekta. Stoga, se izrađeni zemljovidi radonskog potencijala ne koriste za određivanje radonske koncentracije u pojedinoj kući. Protokol za određivanje GRP-a podrazumijeva tri uzorkovanja na mjernoj lokaciji, od kojih se kao referentna uzima maksimalna vrijednost radonske koncentracije u tlu određene radonskim detektorom RM-2, i prosječna vrijednost permeabilnosti koja je mjerena RADON-JOK mjernim sustavom za in situ mjerenja. Konstrukcija GRP-a temelji se na dva različita empirijska pristupa. U tzv. matičnom pristupu [2], permeabilnost tla je podijeljena u tri, a koncentracija radona u tlu u pet razreda, te se GRP konstruira u šest različitih razreda od niskog (1) do visokog (6). U drugom se pristupu empirijski dobivenom formulom radonski potencijal egzaktno računa [3]. Statističkim metodama evaluirana su oba pristupa. U radu će biti prikazani rezultati mjerenja u Osječko-baranjskoj županiji, u obliku zemljovida koncentracije radona u tlu, permeabilnosti tla i GRP-a, korištenjem različitih geostatističkih metoda. Dobivene rezultate ćemo usporediti s ranije konstruiranim vrijednostima GRP-a za područje RH drugačijeg geološkog sastava (krš) [4].

[1] Gruber, V., Bossew, P., De Cort, M., Tollefsen, T.; The European map of the geogenic radon potential, *Journal of Radiological Protection*; 33, 1, 2013.

[2] Kemski J, Klingel R, Siehl A. Classification and mapping of radon affected areas in Germany. *Environm. Int.*; 22, 1: 789-798, 1996.

[3] Neznal, M., Neznal, M., Matolin, M., Barnet, I., Miksova, J; . The New Method for Assessing the Radon Risk of Building Sites. In: *Czech Geol. Survey Special Papers*, vol. 16. Czech Geol. Survey, Prague. 2004.

[4] Radolić, V.; Miklavčić, I.; Stanić, D.; Poje, M.; Krpan, I.; Mužević, M.; Petrincec, B.; Vuković, B. Identification and mapping of radon-prone areas in Croatia— preliminary results for Lika-Senj and the southern part of Karlovac Counties., *Radiation*

protection dosimetry. 162, 1-2; 29-33, 2014.

Samouređeni rast niklenih nanočestica u amorfnoj matrici Al_2O_3

Marko Jerčinović¹, Maja Buljan¹, Nikola Radić¹, Ivančica Bogdanović Radović¹, Nikolina Novosel², Damir Pajić², Krešo Zadro², Pavo Dubček¹, Krešo Salamon³, Sigrid Bernstorff⁴

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

²*Prirodoslovno-matematički fakultet, Bijenička cesta 32, 10000 Zagreb, Hrvatska*

³*Institut za fiziku, Bijenička cesta 46, 10000 Zagreb, Hrvatska*

⁴*Elettra-Sincrotrone Trieste, SS 14 km 163.5, 34149 Basovizza, Italija*

Nanočestični feromagnetski nikal intenzivno je proučavan zbog interesa temeljne znanosti i mogućih primjena za katalizatore, magnetske memorije, ferrofluide, višeslojne kondenzatore i dr. U ovom radu predstavljeno je formiranje uređene tro-dimenzionalne rešetke niklenih nanočestica u amorfnoj matrici Al_2O_3 kroz proces samouređenja. Samouređeni rast postignut je naizmjeničnom (ko)depozicijom višesloja $(\text{Ni}\pm\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{Al}_2\text{O}_3$ u komori za magnetronsko rasprašenje. Struktura dobivenih višeslojeva istražena je raspršenjem rendgenskih zraka uz mali upadni kut (GISAXS + GIWAXS), dok je koncentracija elemenata provjerena spektroskopijom elastično izbijenih iona mjerenjem vremena proleta (TOF-ERDA). Magnetski odziv proučen je korištenjem SQUID magnetometra. Pojava samouređenja objašnjena je kombinacijom utjecaja difuzije i površinske morfologije [1]. Proučen je utjecaj različitih parametara depozicije na veličinu, razmak i kvalitetu uređenja Ni nanočestica u 3D rešetku [2], te posljedično na magnetski odziv takvog sustava nanočestica. Dobiveni rezultati važni su za razumijevanje procesa samouređenja metalnih nanočestica u amorfnim matricama radi mogućih primjena takvih materijala.

[1] M. Buljan *et al.*, Phys. Rev. B **79** (2009) 035310.

[2] M. Jerčinović *et al.*, J. Nanopart. Res. **16** (2014) 2296.

Anizotropna magnetska svojstva kvazi-2D rešetke niklenih nanočestica u amorfnoj Al_2O_3 matrici

Nikolina Novosel¹, Michael Reissner¹, Michael Stöger-Pollach¹, Damir Pajić², Krešo Zadro², Marko Jerčinović³, Maja Buljan³, Nikola Radić³

¹*Institute of Solid State Physics, Vienna University of Technology, 1040 Vienna, Austria*

²*Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Bijenička 32, 10000 Zagreb, Hrvatska*

³*Institut Ruđer Bošković, Bijenička 54, 10000 Zagreb, Hrvatska*

Kvazi-dvodimenzionalan sustav niklenih nanočestica unutar izolatorske Al_2O_3 matrice pripremljen je u obliku tankog filma metodom naizmjenične magnetronske depozicije $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Ni}$ i Al_2O_3 slojeva na Si(100) supstratu. Niklene nanočestice nastaju mehanizmom samoorganiziranog rasta pod utjecajem difuzije i površinske morfologije. Strukturna istraživanja pokazala su usku raspodjelu veličina Ni čestica te njihov pravilan razmještaj u 3D rešetku. Mjerenja magnetskih svojstava ukazuju na kompleksnu dinamiku magnetskog momenta na niskim temperaturama uključujući blokiranje magnetskog momenta i ireverzibilnost. Također, uočena je značajna anizotropija magnetskih svojstava prilikom mjerenja s primjenjenim magnetskim poljem paralelno, odnosno okomito na površinu tankog filma. Anizotropija je objašnjena nezanemarivim magnetskim dipol-dipol međudjelovanjem između Ni čestica, koja također utječe i na dinamiku sustava. Utjecaj dipol-dipol međudjelovanja na magnetsko ponašanje sustava potvrđeno je simulacijama $M(H)$ krivulja, koje su provedene pomoću Monte Carlo metode.

Rendgenski spektri nanočestica dijamanta oko zvijezda Elias 1 i HD 97048

Igor Lukačević¹, Goranka Bilalbegović²

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

²*Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu*

Poznato je da su nanočestice dijamanta vrlo zastupljene u nekim meteoritima [1]. Izotopski sastav takvih meteorita pokazuje da su nanodijamanti formirani izvan Sunčevog sustava. Atomi na površinama nanočestica dijamanta imaju slobodne veze koje se zasićuju atomima vodika. Tako nastaju dijamantoidi: $C_{10}H_{16}$, $C_{14}H_{20}$, $C_{18}H_{24}$, $C_{22}H_{28}$,..., ugljikovodici čija se mreža ugljikovih atoma može preslikati na rešetku dijamanta. Infracrvene vrpce na 3.43 i 3.53 μm u spektrima Herbigovih Ae/Be zvijezda Elias 1 i HD 97048 su objašnjene vibracijskim modovima hidrogeniziranih nanočestica dijamanta [2,3]. No, većina istraženih Herbigovih Ae/Be zvijezda nema vrpce na 3.43 i 3.53 μm [4]. Pretpostavlja se da se nanodijamanti formiraju u protoplanetarnim diskovima vruće zvijezde pod utjecajem rendgenskog zračenja emitiranog od njenog dvojnog partnera. Primjenom metoda kvantne teorije funkcionala gustoće računamo rendgenske spektre malih nanočestica dijamanta i uspoređujemo rezultate s astronomskim opažanjima [5]. Rezultati će poslužiti pri interpretaciji svojstava, oblika i sastava diskova kozmičke prašine oko zvijezda.

- [1] Lewis R. S., Ming T., Wacker J. F., Anders E., Steel E., *Nature* **326** (1987) 160
- [2] Van Kerckhoven C., Tielens A. G. G.M., Waelkens C., *Astron. Astrophys.* **384** (2002) 568
- [3] Goto M. et al., *Astrophys. J.* **693** (2009), 610
- [4] Acke B., van den Ancker M. E., *Astron. Astrophys.* **457** (2006) 171
- [5] Becke A. D., *J. Chem. Phys.* **301** (2014) 5648

Emisija gama-zračenja i morfološke karakteristike proširenih izvora opaženih teleskopima MAGIC

Iva Šnidarić¹, Pierre Colin², Tihomir Surić¹, Ana Babić³

¹*Institut Ruder Bošković*

²*Max-Planck-Institut für Physik, D-80805 München, Germany*

³*Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb*

Teleskopi MAGIC (Major Atmospheric Gamma-ray Imaging Cherenkov) su dva Čerenkovljeva teleskopa koji opažaju kozmičko gama-zračenje vrlo visokih energija od nekoliko desetaka GeV do nekoliko desetaka TeV. Opservatorij MAGIC (zajedno s VERITAS i H.E.S.S.) jedan je od vodećih IACT (Imaging Atmospheric Cherenkov Telescope) opservatorija za gama-astronomiju visokoenergijskog zračenja (eng. Very High Energy, VHE) u svijetu. U počecima razvoja visokoenergijske gama-astronomije, zbog slabe osjetljivosti instrumenata i slabe kutne rezolucije, proučavali su se samo točkasti izvori (za koje je bila potrebna informacija o točnoj lokaciji izvora). Razvojem tehnologije poboljšala se osjetljivost instrumenata pa se i broj visokoenergijskih gama-izvora znatno povećao (od svega nekoliko do današnjih ~ 150). Za veći broj galaktičkih izvora pokazano je da imaju konačnu kutnu veličinu (eng. extended sources) u području visokoenergijskog gama-zračenja. Za ovakav tip izvora, korištenjem nestandardnih metoda analize, proučavaju se morfološke karakteristike i povezanost tih karakteristika s energijom opaženog VHE zračenja. U mnogo slučajeva radi se o još neidentificiranim izvorima (opaženi samo u VHE gama-području), premda u nekim slučajevima postoje indikacije da se radi o ostacima supernova (eng. Supernova Remnants, SNR). U ovom radu bit će predstavljen jedan takav izvor HESS J1858+020. Ostaci supernova predstavljaju najizglednije kandidate odgovorne za akceleraciju galaktičkih kozmičkih zraka pa je njihovo proučavanje u VHE području važno za razjašnjavanje podrijetla galaktičkih kozmičkih zraka.

[1] HESS very-high-energy gamma-ray sources without identified counterparts, Aharonian, F. et al., *A&A* 477 p353-363 (2008)

[2] MAGIC reveals a complex morphology within the unidentified gamma-ray source HESS J1857+026, *A&A* 571, A96 (2014)

Sinteza 2D WS_2 na površini Ir(111)

Borna Pelić¹, Iva Šrut Rakić¹, Marko Kralj¹

¹*Institut za fiziku, Bijenička 46, HR-10000 Zagreb*

Otkrićem grafena porastao je interes znanstvene zajednice za istraživanjem dvodimenzionalnih (2D) materijala. Kroz zadnjih 10 godina, razvile su se mnoge metode sinteze, transfera, detekcije, karakterizacije te manipulacije svojstava grafena. Te metode s vremenom su se primijenile i na druge slojevite van der Waalove materijale (vdW) koji su bili sintetizirani u 2D obliku. Posebnu klasu vdW-a čine dihalkogenidi prijelaznih metala (eng. transition metal dichalcogenides, TMD), odnosno spojevi prijelaznih metala s halkogenim elementom. Velik interes među njima usmjeren je prema poluvodičkim materijalima, kao što su MoS_2 i WS_2 . Zbog mogućnosti postojanja u 2D obliku te sličnosti zabranjenog pojasa sa silicijem, ovi materijali imaju mogućnost primjene u tranzistorima s efektom polja. S prijelazom iz volumne analogije na jednojsloj javlja se modifikacija elektronske strukture TMD-a pri čemu indirektni zabranjeni pojas prelazi u direktan, što te materijale čini pogodnim za primjenu u optoelektronici. Dodatna karakteristika koja se javlja kod 2D TMD-a trigonalne prizmatične koordinacije, jest lom inverzne simetrije, posljedica čega je spin-orbit vezanje putem Rashba efekta. To ih čini primjenjivim u spintronici, a ovisnost spina elektrona o dolini (eng. valley) u kojoj se nalazi, otvara vrata prema valley-tronici. Nanoklasteri MoS_2 i WS_2 koriste se kao katalizatori pri desulfurizaciji fosilnih goriva.

Superiorna fizikalna svojstva motivacija su za sintezu TMD-a. Među dosadašnjim istraživanjima vrlo malo pažnje je bilo posvećeno sintezi WS_2 u vakuumu. U ovom radu proučen je rast 2D WS_2 nanostruktura na površini Ir(111) u uvjetima ultra-visokog vakuuma. Korištene tehnike su pretražna tunelirajuća mikroskopija te difrakcija elektronima niske energije. Najprije je karakteriziran rast volframovih otoka na površini Ir(111). Pripremljene su razne pokrivenosti volframa na uzorku uz specifične morfologije koje ovise o parametrima napanjanja. Kao prekursor sumpora korišten je plin H_2S te sulfidni mineral pirit. Adsorpcijom sumpora iz piritu došlo je do formiranja superstrukture $2 \times \sqrt{3}$ u odnosu na Ir(111). Također, sinteze s upotrebom piritu pokazale su da je moguće formirati jednoslojne i višeslojne WS_2 nanostrukture karakterističnog trokutastog oblika, s tim da je za jednoslojnu pokrivenost bilo moguće prirediti potpunu pokrivenost površine. Iz STM slika izmjerena je konstanta rešetke WS_2 , $a_{WS_2} = (0.301 \pm 0.002)nm$. LEED mjerenjima utvrđeno je postojanje heksagonalne strukture WS_2 čija se rotacija poklapa sa periodičnosti Ir(111). Analizirane su visine otoka, čije debljine jednosloja mogu varirati u skladu promjenom elektronske gustoće stanja na Fermijevom nivou. Uočeni su svijetli STM kontrasti rubova otoka, koji dolaze zbog hibridizacije elektronskih stanja kod otoka s nezanemarivim udjelom rubnih atoma. Ograničena orijentacija WS_2 otoka od ključalne je važnosti pri njihovom sraštanju u jednosloj; na taj se način minimizira udio defekata te maksimizira mobilnost nocioa naboja.

**Predstavljanje projekta "Jačanje kapaciteta za
primjenu i transfer tehnologije
mikro-elektromehaničkih sustava na Sveučilištu u
Splitu" (MEMSplit)**

Ante Bilušić¹, Marko Budimir², Paško Županović¹, Ivica Aviani¹,
Zvonimir Domazet³, Tonći Čakarić³, Lucija Krce³, Tonko Garma⁴,
Magdy Lučić Lavčević⁵

¹*Prirodoslovno-matematički fakultet u Splitu*

²*Institut za nuklearne tehnologije - INETEC d.o.o., Lučko*

³*Sveučilište u Splitu*

⁴*Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split*

⁵*Kemijsko-tehnološki fakultet, Split*

Projekt "Jačanje kapaciteta za primjenu i transfer tehnologije mikro-elektromehaničkih sustava na Sveučilištu u Splitu" (MEMSplit) financira Europski fond za regionalni razvoj (EFRR), u sklopu Operativnog programa regionalna konkurentnost 2007. – 2013. Nositelj projekta je Sveučilište u Splitu, a partner je tvrtka Institut za nuklearne tehnologije (INETEC) d.o.o. iz Lučkog. Ukupna vrijednost projekta je 5,934.686,00 kuna.

Ciljevi projekta su uspostava laboratorija za proizvodnju tankih filmova te definiranje mikrostrukture na njima pri Sveučilištu u Splitu te, kroz razvoj i izradu dvaju laboratorijskih modela – mreže fazno usklađenih ultrazvučnih mikrosenzora te mikrosone s površinskim akustičnim valom, pokazati operativnost novouspostavljenih istraživačkih kapaciteta.

Utjecaj srebrnih nanočestica sintetiziranih laserskom ablacijom na *E. coli*

Lucija Krce¹, Matilda Šprung¹, Nikša Krstulović², Ivica Aviani¹

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

²*Institut za fiziku, Zagreb, Hrvatska*

Laserska ablacija u tekućini je jedinstvena tehnika za proizvodnju nanočestica bez kemijskih nusprodukata koji mogu utjecati na rezultate istraživanja. Srebrne nanočestice, dobivene na ovaj način, trebale bi također pokazati antimikrobnu aktivnost. U našem laboratoriju proizveli smo srebrne koloidne nanočestice u vodi koristeći nanosekundni Nd:YAG laser valne duljine 1064 nanometara, izlazne energije 100 mJ te frekvencije 5 Hz. Distribuciju promjera nanočestica dobili smo iz snimaka napravljenih pretražnikom atomskih sila (AFM). Prosječni promjer srebrnih nanočestica iznosio je oko 10 nanometara uz relativno usku distribuciju. Stabilnost koloida ispitivali smo analizom apsorpcijskog spektra. Dobiveni koloid pokazao se stabilnim tokom nekoliko mjeseci iz čega možemo zaključiti da su dobivene nanočestice dobro raspršene. Koristeći ovaj koloid istraživali smo antimikrobne efekte srebrnih nanočestica na sojevima *E. coli* bakterija promatrajući promjene bakterijske membrane također pomoću AFM-a. U ovom radu predstavljamo inicijalne rezultate istraživanja.

Mjerenje radona na Sveučilištu u Osijeku i veleučilištima u Slavoniji

Denis Stanić¹, Vanja Radolić¹, Marina Poje¹, Igor Miklavčić¹, Matko Mužević¹, Ivana Krpan¹, Ana Pavlačić¹, Branko Vuković¹

¹*Odjel za fiziku Sveučilišta u Osijeku, Trg Lj. Gaja 6, 31000 Osijek*

Radon (Rn-222) je plemeniti radioaktivni plin koji nastaje alfa raspadom radija (Ra-226) koji se nalazi uglavnom u tlu i građevinskom materijalu. Radon difundira u atmosferu i sa svojim kratkoživućim potomcima predstavlja najvažniji izvor prirodnog zračenja u zraku. Dulje ekspozicije radonu i njegovim potomcima, alfa emiterima, povećavaju rizik za pojavu plućnog karcinoma među populacijom koja boravi u prostorima s povećanom razinom radona [1]. U ovom radu istražujemo doze koje prime studenti i djelatnici Sveučilišta u Osijeku i veleučilišta u Požegi, Slavonskom Brodu i Vukovaru.

Koncentraciju radona u zraku mjerili smo pasivnom metodom, razvijenom na Odjelu za fiziku Sveučilišta u Osijeku, korištenjem odvojivih (engl. strippable) detektora nuklearnih tragova LR-115 tip II (proizvođač Kodak-Pathé, Francuska). Nakon izlaganja od godine dana, detektori su jetkani u standardnim uvjetima, a potom su tragovi alfa čestica brojani pomoću brojača iskri, AIST-2V. Na sastavnicama Sveučilišta u Osijeku i veleučilištima u Slavoniji (ukupno 24 ustanove) postavili smo ukupno 320 detektora, što u prosjeku iznosi 13 detektora po ustanovi. Ukupno smo prikupili i obradili 308 detektora ili 96 %. Rezultati pokazuju da srednja vrijednost koncentracije radona niti na jednoj ustanovi ne prelazi 300 Bq m^{-3} , što je preporučena referentna vrijednost po EU BSS [2]. Srednja efektivna doza za djelatnike koji na radnom mjestu godišnje provedu 2000 sati iznosi 0,8 mSv, a za studente 0,3 mSv uz pretpostavku o godišnjem boravku na fakultetu od 900 sati (prosječno 6 sati dnevno) [3]. Međutim, na četiri institucije u pojedinim prostorijama, uglavnom u prizemlju, izmjerene su vrijednosti koncentracije radona veće od 300 Bq m^{-3} . Koncentracije radona u spomenutim prostorijama kreću se od 305 do 1077 Bq m^{-3} , što odgovara srednjoj efektivnoj dozi od 2,7 do 9,5 mSv. Stoga predlažemo ponavljanje mjerenja u institucijama s povećanom koncentracijom radona u pojedinim prostorijama.

[1] Planinić J, Faj D, Vuković B, Faj Z, Radolić V, Šuveljak B. Radon exposure and lung cancer, *J Radioanal Nucl Chem* 2003; 256: 349-352.

[2] Council directive 2013/59/EURATOM of laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation. *Office Journal of the European Union*, 5 December 2013; L13:1-73.

[3] International Commission on Radiological Protection (ICRP). Protection against Radon-222 at Home and at Work. Pergamon Press, ICRP Publication 65. 1994.

Magnetsko ponašanje različitih faza CaCr_2O_4

Filip Torić¹, Damir Pajić¹, Nikolina Novosel¹, Lidija Androš Dubraja²,
Marijana Jurić², Krešo Zadro¹

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

²Institut Ruder Bošković, Zagreb

U ovom radu istraživano je magnetsko ponašanje mješovitog metalnog oksida CaCr_2O_4 koji postoji u α - i β -fazi. Helikoidno magnetsko uređenje α -faze općenito ne pogoduje feroelektričnom uređenju, međutim teorijski se predviđa mogućnost magnetoelektričnih vezanja višega reda. U β -fazi poznato namreškanje spinskih ljestvi objašnjava se Dzyaloshinskii-Moriya interakcijom, što ukazuje na moguću magnetoelektričnu vezu^[1,2]. Zbog svih tih neispitanih mogućnosti detaljno smo istražili magnetska svojstva CaCr_2O_4 pri različitim uvjetima.

Termičkom razgradnjom novog kompleksa $[\text{CaCr}_2(\text{bpy})_2(\text{C}_2\text{O}_4)_4]_n \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (bpy = 2,2'-bipiridin) pri 1100°C u struji dušika, u jednom koraku, bez dugotrajnih i višestrukih postupaka grijanja i usitnjavanja, pri temperaturama nižim u odnosu na standardne postupke u čvrstoj fazi^[2], priređen je mješoviti metalni oksid β - CaCr_2O_4 . Ako se temperatura grijanja povisi na 1400°C, produkt termičke obrade prekursora je smjesa dvaju polimorfa: α - i β - CaCr_2O_4 ^[3].

Izvršena su magnetska mjerenja SQUID magnetometrom na čiji je nosač nadograđena mogućnost primjene električnog polja. Dobiveni rezultati pokazuju vrlo složeno magnetsko ponašanje s prijelazima u različita magnetska uređenja te je ispitana mogućnost utjecaja električnog polja na magnetizaciju.

Ovaj rad je financirala Hrvatska zaklada za znanost projektom broj UIP-2014-09-8276, Multiferoični i magnetoelektrični sustavi

[1] F. Damay, C. Martin, V. Hardy, A. Maignan, G. André, K. Knight, S. R. Giblin, L. C. Chapon, Phys. Rev. B 81, 214405, (2010)

[2] S. E. Dutton, E. Climent-Pascual, P. W. Stephens, J. P. Hodges, A. Huq, C. L. Broholm, R. J. Cava, Phys. Rev. B 83, 024409 (2011)

[3] L. Androš, M. Jurić, J. Popović, D. Pajić, K. Zadro, K. Molčanov, D. Žilić, P. Planinić, European Journal of Inorganic Chemistry 33; 5703-5713 (2014)

Granica pojačanog zapinjanja domenskih zidova na površinskim domenama mekih feromagneta

Denis Stanić¹, Marko Šušak², Hrvoje Šušak², Stjepan Sabolek², Emil Babić²

¹*Odjel za fiziku, Sveučilišta J.J. Strossmayera, Trg Ljudevita Gaja 6, HR-31000 Osijek, Hrvatska*

²*Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Bijenička cesta 32, HR-10002 Zagreb, Hrvatska*

Nedavno je primijenjen vlastiti fenomenološki model [1,2] utjecaja površinskim poljem (H_p) pojačanog zapinjanja domenskih zidova unutrašnje (glavne) domenske strukture na površinskim domenama na rezultate sustavnog istraživanja utjecaja statičkih i dinamičkih H_p na magnetske histereze i njihove parametre netretirane i površinski tretirane meke amorfnе feromagnetske vrpce VITROVAC 6025Z. Pokazalo se određeno nesuglasje između rezultata utjecaja statičkih i dinamičkih H_p i opisa pomoću modela koji predviđa linearni rast jakosti zapinjanja sa H_p . Detaljno razmatranje pokazuje da je uzrok nesuglasja zanemarenje činjenice da postoji granično, maksimalno pojačanje zapinjanja domenskih zidova na površinskim domenama, te da daljnjim porastom H_p nakon graničnog pojačanja, zapinjanje domenskih zidova ne raste. Uzevši u obzir tu plauzibilnu pretpostavku dobili smo dobar, samosukladan opis svih rezultata izvršenih mjerenja.

[1] S.Sabolek, E.Babić, I.Kušević, M.Šušak, D.Posedel, D.Stanić FIZIKA A 15 (2006)1

[2] P. Popčević, E. Babić and S. Sabolek, IEEE Transactions on Magnetics, 44 (2008) 2095

Precizno mjerenje položaja i vremenskih intervala u pokusima iz mehanike

Mario Vretenar¹, Velimir Labinac¹, Marko Jusup², Tarzan Legović³

¹*Odjel za fiziku, Sveučilište u Rijeci*

²*Faculty of Sciences, Fukuoka, Japan*

³*Institut "Ruder Bošković", Zagreb*

U pokusima iz mehanike u kojima se objekti gibaju, često je potrebno precizno mjeriti položaj objekta i vremenske intervale. Izmjereni podaci služe za provjeru teorijskog modela i/ili za određivanje neke od fizičkih veličina. Uobičajeno, preciznija mjerenja iziskuju skuplju opremu. Osmislili smo jednostavan način preciznog praćenja objekata u gibanju koji zahtjeva ulaganje od, otprilike, 100 kn ili manje. Pored računala standardne procesorske snage, u našem slučaju računala s Intel Core i3 procesorom, još je potrebna web-kamera s povećanim brojem sličica po sekundi (fps). Preko eBay servisa, kupili smo web-kameru sa 120 fps za 60 kn čime smo točnost mjerenja položaja sveli na 1 mm, a vremena na otprilike 10 ms.

Izradili smo poseban software koji prepoznaje označene objekte na sličicama u filmu iz čega se može odrediti položaj i vrijeme objekta u gibanju. Software ima mogućnost iskoristiti sve resurse računala i pratiti objekt u realnom vremenu što ima posebnu edukativnu vrijednost. Ovakav način praćenja primijenili smo na gibanje fizičkog njihala s trenjem, dvostrukog fizičkog njihala, gibanja kuglice unutar sfere i na druge poznate primjere iz mehanike. Složenija i brža gibanja zahtjevaju skuplje kamere s većim fps. U tu smo svrhu iskoristili GoPro kamere s 250 ili više fps.

Software za praćenje objekta na snimljenim filmovima kojeg smo izradili postaviti ćemo za besplatno preuzimanje s Interneta. Na taj smo način, uz jeftinu opremu, dobili savršenu kombinaciju za metodičke pokuse iz mehanike u srednjoškolskim praktikumima.

[1] S. T. Thornton and J. B. Marion, *Classical Dynamics of Particles and Systems*, 5th ed. (Thomson Brooks/Cole, Belmont, CA, 2004).

[2] Roger A. Bach and Kenneth W. Trantham, "Automated two-dimensional position measurements with computer vision," *Am. J. Phys.* **75** (2007).

Teorija vezanja optičkih modova i inženjerstvo faza

Robert Pezer¹

¹*Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet*

Pokazujem da je u pogodno dizajniranoj optičkoj rešetki moguće ostvariti dinamiku valova svjetlosti koja omogućava simuliranje gibanja čestica u složenim sustavima čvrstog stanja koje je vrlo teško eksperimentalno opažati. Program je ostvaren dinamički evoluiranjem standardnog početnog uvjeta u pažljivo dizajniranoj 2D rešetki (u granici teorije vezanih modova) gdje efektivno vezanje valovoda omogućava stvaranje bogatog skupa različitih kvantnomehaničkih hamiltonijana. Kao jedan od zanimljivih potpisa opažena je 2D stožasta difrakcija.

[1] H. A. Haus, W. P. Huang, S. Kawakami, and N. A. Whitaker, *J. Lightwave Technol.* **5** (1987) 16-23

[2] Ofer Manela et al, *New J. Phys.* **12** (2010) 053017

[3] W. Hamilton, *Trans. R. Irish Acad.* **17** (1837) 1

Indeks svih autora

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

Gabriela Ambrožić	80
Lidija Androš Dubraja	91
Marta Anghelone	16*, 16*
Željko Antunović	27*
Fernando M. Araújo-Moreira	50*
Damir Aumiler	17*
Ivica Aviani	88, 89
Ana Babić	13*, 86
Emil Babić	66, 92
Ivan Balog	25*
Ticijana Ban	17*
Nikola Baran	35*, 37*
Ivana Barišić	72
Neven Barišić	14*
Mario Basletić	42*, 77, 43*
Helmuth Berger	70
Leandro V. Bernardes	50*
Sigrid Bernstorff	83
Claude Berthier	54*
Ivana Bešlić	31*
Rebecca Beyer	78
Goranka Bilalbegović	85
Ante Bilušić	88
Ivančica Bogdanović Radović	83, 16*
Jordi Boronat	31*
Steven Bourke	35*
Vuko Brigljević	27*

Marko Budimir	88
Hrvoje Buljan	17*
Maja Buljan	83, 84
Carsten Busse	51*
Nenad Buzjak	71
Peter Capak	72
Chris Carilli	35*
Olivier Cépas	54*
Pierre Colin	86
John Robert Cooper	66
VLA COSMOS	37*
Francisco E. Cunha-Filho	50*
Tonči Cvitanić	50*, 70
Mislav Cvitković	60*
Tonči Čakarić	88
Petar Čuljak	56*
Matija Čulo	42* , 43* , 78
Michael Danziger	58*
Jacinta Delhaize	35*, 37*
Ivan Delvecchio	37*
Zvonimir Domazet	88
Dijana Dominis Prester	13*
Marija Došlić	73
Jure Dragović	69
Martin Dressel	42*, 77, 43* , 78
Pavo Dubček	83
Tena Dubček	17*
Stefano Ettori	35*
Stanislav Frančičković-Bilinski	71
Jair C. C. Freitas	50*, 74
Franci Gabrovšek	71
Tonko Garma	88

Fabio Gastaldello	35*
Matko Glunčić	61*, 62*
Henry Glyde	45*
Nikola Godinović	13*, 27*
Mihael S. Grbić	54*, 70, 74
Brent Groves	38*
Liu Haikuan	75
Greg Hallinan	35*
Amir Hamzić	42*, 43*
Cathy Horellou	35*
Mladen Horvatić	54*
Nada Horvatinčić	71
Dario Hrupec	13*
Lutz Huther	40*
Vita Ilakovac	18*
Olivier Ilbert	37*
Tomislav Ivek	77, 78
Jovica Ivkov	66
Krešimir Jakovčić	68
Mlko Jakšić	16*
Vibor Jelić	26*
Ivana Jelovica Badovinac	80
Dubravka Jembrih-Simbuerger	16*
Marko Jerčinović	83, 84
Dario Jukić	17*
Marijana Jurić	91
Tomislav Jurkić	39*
Nika Jurlin	65
Marko Jusup	93
Krešo Kadija	27*
Janko Kajtez	62*, 21*
Ivna Kavre Piltaver	80
Colin J. Kennedy	17*

Wolfgang Ketterle	17*
Željka Knežević	75
Ivan Kokanović	28*
Bojana Korin-Hamzić	42*, 77, 43*
Dubravka Kotnik-Karuza	39*
Elias Koulouridiis	35*
Marko Kovač	27*
Marko Kralj	87, 51*, 19*
Steffen Krämer	54*
Sebastian Krause	58*
Lucija Krce	88, 89
Milica Krčmar	68
Kathryn Kreckel	38*
Ivana Krpan	81, 90
Nikša Krstulović	89
Krešimir Kumerički	56*
Marko Kuveždić	77
Velimir Labinac	93
Clotilde Laigle	37*
Biljana Lakić	68
Giovanni Lapenta	79
Predrag Lazić	52*
Tarzan Legović	93
Damir Lelas	13*, 27*
Karlo Lelas	17*
Adam Leroy	38*
Anja Löhle	43*, 78
Bernarda Lovrinčević	46*, 47*, 44*
Magdy Lučić Lavčević	88
Jelena Luetić	27*
Igor Lukačević	67, 85
Danijela Luković Golić	69

Rimma N. Lyubovskaya	78
Marija Majer	75
Matko Maleš	55*
Tomislav Marketin	40*
Igor Marković	74
Nikola Marković*	16*
Toni Marković	76
Gabriel Martinez-Pinedo	40*
Ivica Martinjak	57*
Henry Joy McCracken	37*
Oskari Miettinen	35*, 37*
Branimir Mihaljević	42*, 43*
Marijana Mijaković	46*, 44*
Igor Miklavčić	81, 90
Dinko Milaković	35*
Ana Milas	62*
Saveta Miljanić	75
Kunal Mooley	35*
Iva M. Tolić	62*
Matko Mužević	81, 90
Mario Novak	28* , 35*, 37* , 62* , 21*
Nikolina Novosel	83, 84 , 91
Filip Orbanić	28*
Dalibor Paar	71
Nils Paar	40*
Vladimir Paar	61*
Florian Pacaud	35*
Damir Pajić	66, 69, 48* , 83, 84, 91
Nenad Pavin	62*, 21*, 59*
Ana Pavlačić	90
Wendel S. Paz	50*
Damjan Pelc	50*, 53* , 73, 74

Aurelien Perera	46*, 47*, 44*
Robert Peter	80
Mladen Petravić	80
Marin Petrović	51*
Robert Pezer	94, 17*
Ivica Picek	56*
Borna Pielić	87
Marguerite Pierre	35*
Marko Pinterić	77
Boris Podobnik	20*
Marina Poje	81, 90
Bruno Polak	62*
Dunja Polić	27*
Nikola Poljak	29*
Emanuela Pompei	35*
Stanko Popović	41*
Martina Požar	46*, 44*
Miroslav Požek	50*, 70, 73, 74
Marcel Prelogović	59*
Ivica Puljak	13*, 27*
Nikola Radić	83, 84
Aleksandar Radojković	69
Vanja Radolić	71, 81, 90
Miriam Elizabeth Ramos-Ceja	35*
Michael Reissner	84
Patrik Risteski	62*
Ramir Ristić	66
Marija Rosandić	61*
Eva Rose	78
Stjepan Sabolek	92
Krešo Salamon	83
Karin Sandstrom	38*
Eva Schinnerer	35*, 38*

Wanderla L. Scopel	50*
Zdravko Siketić	16*
Sarika Singh	78
Andreja Sironić	71
Marina Skender	79
Ana-Sunčana Smith	60*
Vernesa Smolčić	65, 35*, 37*
Neven Soić	30*
Franjo Sokolić	46*, 44*
Marin Soljačić	17*
Anastasia Solomatina	62*, 21*
Carlos Speglich	50*
Denis Stanić	81, 90 , 92
Petar Stipanović	31*
Michael Stöger-Pollach	84
Lucija Sudić	27*
Denis Sunko	52*
Tihomir Surić	13*, 86
Neven Šantić	17*
Iva Šarić	80
Iva Šnidarić	13*, 86
Matilda Šprung	89
Iva Šrut Rakić	87
Hrvoje Šušak	92
Marko Šušak	92
Emil Tafra	42*, 43*, 78
Hidekazu Tanaka	54*
Gilles Tarjus	25*
Tomislav Terzić	13*
Matthieu Tissier	25*
Iva Tolić	21* , 59*

Neven Tomičić	38*
Silvia Tomić	42* , 77
Filip Torić	91
Fabrice Trouselet	54*
Ines Vlahović	61*
Leandra Vranješ Markić	31* , 45*
Mario Vretenar	93
Damir Vukičević	57*
Branko Vuković	81 , 90
Kruno Vukušić	62*
Lora Winters	59*
Krešo Zadro	66 , 83 , 84 , 91
Weihai Zhuo	75
Vinko Zlatić	58*
Larisa Zoranić	46* , 44*
Aleksandar Živković	67
Tomislav Živković	55*
Paško Županović	88

Popis sudionika

Ana Babić	Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb
Lucija Bajan	Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Ivan Balog	Institut za Fiziku, Zagreb
Ivana Ban	Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Nikola Baran	Prirodoslovno-matematički Fakultet, Fizički Odsjek, Zagreb
Ivana Barišić	Prirodoslovno matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Neven Barišić	TU Wien
Mario Basletić	Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Ante Bilušić	Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet
Ivančica Bogdanović Radović	Institut Ruđer Bošković, Zagreb
Vuko Brigljević	Institut Ruđer Bošković, Zagreb
Hrvoje Buljan	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Tonči Cvitanić	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Mislav Cvitković	Institut Ruđer Bošković & Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg, Zagreb
Petar Čuljak	Prirodoslovno-Matematički Fakultet u Zagrebu - Fizički odsjek, Zagreb
Matija Čulo	Institut za fiziku, Zagreb
Jacinta Delhaize	PMF, University of Zagreb, Zagreb
Zvonimir Domazet	Sveučilište u Splitu, Split
Miroslav Dorešić	IRB bivsi, Zagreb

Marija Došlić	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Jure Dragović	Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb
Tonko Garma	FESB, Split
Zvonko Glumac	Odjel za fiziku, Sveučilište u Osijeku, Osijek
Mihael Grbić	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb
Vita Ilakovac	LCP-MR, UPMC, Pariz
Tomislav Ivek	Institut za fiziku, Zagreb
Krešimir Jakovčić	Institut Ruder Bošković, Zagreb
Vibor Jelić	Institut Ruder Boskovic
Ivana Jelovica Badovinac	Odjel za fiziku i Centar za mikro i nano znanosti i tehnologije, Rijeka
Marko Jerčinović	Institut Ruder Bošković
Tomislav Jurkić	Odjel za fiziku Sveučilišta u Rijeci, Rijeka
Nika Jurlin	PMF, Zagreb
Dubravka Kotnik-Karuza	Odjel za fiziku Sveučilišta u Rijeci, Rijeka
Marko Kovač	Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split
Ana-Marija Kožuljević	Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Marko Kralj	Institut za fiziku, Zagreb
Lucija Krce	Sveuciliste u Splitu, Split
Ivana Krpan	Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku, Osijek
Danijela Kuveždić	Odjel za fiziku, Osijek
Marko Kuveždić	Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Predrag Lazić	Rudjer Boskovic Institute, Zagreb

Bernarda Lovrinčević	Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Splitu, Split
Igor Lukačević	Odjel za fiziku, Sveučilište J. J. Strossmayer, Osijek
Marija Majer	Institut Ruđer Bošković, Zagreb
Matko Maleš	Prirodno - matematički fakultet, Split
Tomislav Marketin	Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb
Igor Marković	Fizički odsjek PMF-a Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
Toni Marković	PMF. Fizički odsjek, Zagreb
Ivica Martinjak	Sveučilišta u Zagrebu, PMF, Fizički odsjek
Branimir Mihaljević	Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Igor Miklavčić	Odjel za fiziku Sveučilišta u Osijeku, Osijek
Dinko Milaković	Fizicki odsjek Sveucilista u Zagrebu, Zagreb
Hrvoje Miloloža	Odjel za fiziku, Osijek
Matko Mužević	Odjel za fiziku, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek
Maja Novak	Fizički odsjek, PMF, Zagreb
Mario Novak	Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Mladen Novak	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek
Nikolina Novosel	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Filip Orbančić	PMF-Fizički odsjek, Zagreb
Dalibor Paar	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Damir Pajić	Fizički odsjek Prirodoslovno matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb

Damjan Pelec	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Robert Peter	Odjel za fiziku Sveučilišta u Ri- jeci, Rijeka
Mladen Petravić	Sveučilište u Rijeci
Marin Petrović	Institut za fiziku, Zagreb
Robert Pezer	Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Sisak
Borna Pelić	Institut za fiziku, Zagreb
Boris Podobnik	Sveučilište u Rijeci
Marina Poje	Odjel za fiziku Sveučilišta u Osi- jeku, Osijek
Nikola Poljak	Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Stanko Popović	Fizički odsjek, Prirodoslovno- matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
Martina Požar	Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Splitu, Split
Sandra Požar	Fizički odsjek PMF, Zagreb
Miroslav Požek	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Marcel Prelogović	Sveučilište u Zagrebu, PMF, Fi- zički odsjek, Zagreb
Vanja Radolić	Odjel za fiziku Sveučilišta u Osi- jeku, Osijek
Ramir Ristić	Odjel za fiziku, Sveučilište u Osi- jeku, Osijek
Zvezdana Roller- Lutz	Medicinski fakultet, Rijeka
Marina Skender	Istituto Nazionale di Astrofisica - Osservatorio Astronomico di Capodimonte, Napoli
Vernesa Smolčić	PMF
Neven Soić	Institut Ruder Bošković, Zagreb
Denis Stanić	Odjel za fiziku, Sveučilište u Osi- jeku, Osijek

Petar Stipanović	Prirodoslovno-matematički fakultet u Splitu, Split
Jelena Strišković	Odjel za fiziku Osijek, Osijek
Denis Sunko	Fizički Odsjek, Prirodoslovno- matematički fakultet
Iva Šnidarić	Institut Ruđer Bošković, Zagreb
Antonio Štrkalj	PMF-Fizički odsjek, Zagreb
Marko Šušak	Fizički odsjek PMF-a, Zagreb
Emil Tafra	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Iva Tolić	Institut Ruđer Bošković, Zagreb
Neven Tomičić	Max Planck Institute for Astro- nomy, Heidelberg
Silvia Tomić	Institut za fiziku, Zagreb
Filip Torić	PMF - Fizički odsjek, Zagreb
Ines Vlahović	Prirodoslovno-matematički fa- kultet, Sveučilište u Zagrebu Fizički odsjek, Zagreb
Leandra Vranješ Markić	Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Split
Toni Vrdoljak	Prirodoslovno - matematički fa- kultet, Sveučilište u Splitu , So- lin
Mario Vretenar	Odjel za fiziku Sveučilište u Ri- jeci, Rijeka
Branko Vuković	Odjel za fiziku, Sveučilište J.J.Strossmayera, Osijek
Vinko Zlatić	Institut Rudjer Boskovic, Zagreb
Aleksandar Živković	Sveučilište J.J.Strossmayera, Odjel za fiziku, Osijek
Paško Županović	Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Split

ISBN: 978-953-7178-17-8

Hrvatsko fizikalno društvo
Bijenička 32, 10000 Zagreb
www.hfd.hr