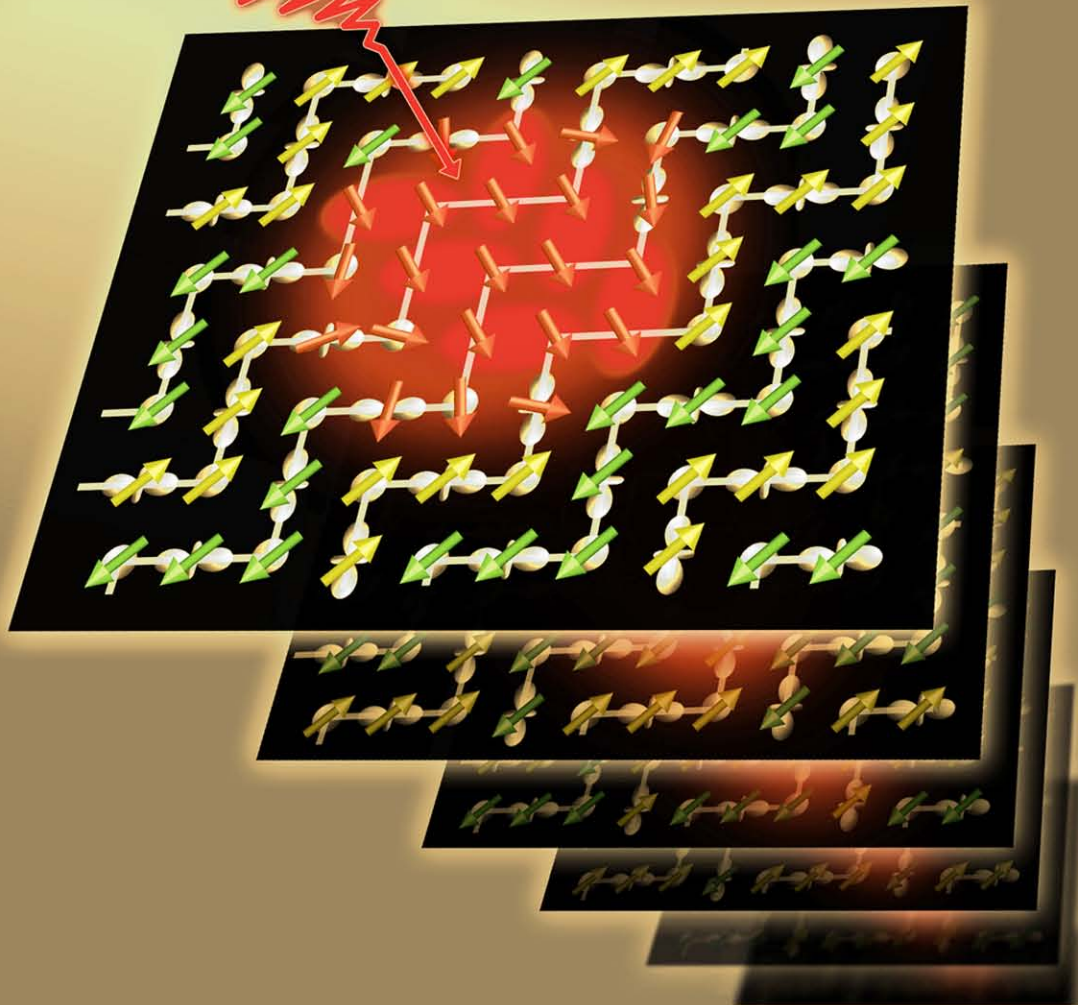


KNJIGA SAŽETAKA



10. znanstveni sastanak Hrvatskog fizikalnog društva

Baška, 11. - 13. listopada 2017.

**Deseti znanstveni sastanak
Hrvatskog fizikalnog društva**

11–13. listopada 2017.
Baška

KNJIGA SAŽETAKA

Suorganizatori i pokrovitelji:

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

Organizacijski odbor:

Vernesa Smolčić (predsjednica), PMF, Zagreb
Ticijana Ban, IF, Zagreb
Ante Bilušić, PMF, Split
Vlasta Horvatić, IF, Zagreb
Vibor Jelić, IRB, Zagreb
Marin Karuza, FO, Rijeka
Marko Kralj, IF, Zagreb
Krešimir Kumerički, PMF, Zagreb
Fabrizio Nesti, IRB, Zagreb
Denis Stanić, FO, Osijek

Zahvaljujemo sponzorima, tvrtkama Belmet97 i SCAN.

ISBN: 978-953-7178-21-5

Izdavač: *Hrvatsko fizikalno društvo, Zagreb, Hrvatska*

Godina izdanja: 2017.

Urednici: *Vernesa Smolčić, Ticijana Ban, Ante Bilušić, Vlasta Horvatić, Vibor Jelić, Marin Karuza, Marko Kralj, Krešimir Kumerički, Fabrizio Nesti, Denis Stanić*

Dizajn korica: *Vlasta Horvatić*

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

Sadržaj

Program skupa	5
Popis postera	8
Sažeci pozvanih predavanja	11
Sažeci usmenih izlaganja	25
Sažeci postera	57
Indeks svih autora	95
Popis sudionika	103

Program skupa

Prvi dan — srijeda 11. listopada

12:45		registracija	
14:00		otvaranje 10. ZS HFD	
14:35	Mladen Novak , Vernesa Smolčić, Jacinta Delhaize, Ivan Delvecchio, Clotilde Laigle, Eva Schinnerer, Gianni Zamorani	<i>Evolucija galaksija kroz kozmičko vrijeme iz radio perspektive</i>	13
14:40	Krešimir Tisanić	<i>Average radio spectral energy distribution of highly star forming galaxies</i>	27
14:55	Lana Ceraj , Vernesa Smolčić, Ivan Delvecchio, Jacinta Delhaize, Mladen Novak, (VLA-) COSMOS collaboration	<i>VLA-COSMOS 3 GHz Large Project: Radio luminosity functions of AGN with moderate-to-high radiative luminosities out to $z \sim 6$</i>	28
15:10	Saša Ceci , Alfred Švarc, Branimir Zauner	<i>Određivanje fizikalnih svojstava kratkoživućih čestica</i>	15
15:35		jednominutne prezentacije postera	
15:55		pauza	
16:25	Daniel Meljanac, Stjepan Meljanac, Salvatore Mignemi, Rina Štrajn	<i>Prostori Snyderovog tipa, zakretanje Poincareove algebre i zbrajanje impulsa</i>	29
16:40	Tomislav Marketin , Gabriel Martínez-Pinedo, Nils Paar	<i>Utjecaj zabranjenih prijelaza na spektar reaktorskih antineutrina</i>	30
16:55	Deni Vale , Nils Paar, Tamara Nikšić, Yifei Niu	<i>Kolektivna pobudjenja u jezgrama u okviru relativističkog nuklearnog modela s kontaktnim međudjelovanjem</i>	31
17:10	Vladivoj Valković	<i>Elementi u tragovima: Mogući ključ za utvrđivanje vremena i mjesta porijekla života</i>	32
17:25		jednominutne prezentacije postera	

Drugi dan — četvrtak 12. listopada

9:00	M. Herak , A. Zorko, M. Gomilšek, J. van Tol, M. Velázquez, P. Khuntia, F. Bert, P. Mendels	<i>Sniženje simetrije u kvantnom kagome antiferomagnetu herbertsmititu</i>	16
9:25	Marko Karlušić , Stjepko Fazinić, Zdravko Siketić, Maja Buljan, Kristina Tomić, Lukas Madauss, Lara Broeckers, Branko Šantić, Ivančica Bogdanović Radović, Milko Jakšić, Sigrid Bernstorff, Marika Schleberger	<i>Nanostrukturiranje površina i 2D materijala koristeći snopove brzih teških iona: osnove i primjene</i>	33
9:40	Tonči Cvitanić , Mihael S. Grbić, Helmuth Berger, Miroslav Požek	<i>Istraživanje SeCuO₃ nuklearnom magnetskom rezonancijom</i>	34
9:55	Danko Radić , Aleksa Bjeliš, Anatoly Kadigrobov	<i>Valovi gustoće naboja inducirani magnetskim poljem u HiTC materijalima</i>	35

10:10	Mihael S. Grbić , Hikaru Takeda, Hidakazu Tanaka, Mladen Horvatić, Masashi Takigawa	<i>Svojstva osnovnog stanja $Cs_2Cu_3SnF_{12}$</i>	36
10:25	Stanko Popović , Željko Skoko	<i>Istraživanje faznih pretvorbi rendgenskom difrakcijom</i>	37
10:40		pauza	
11:10	Marin Petrović	<i>2D heterostrukture heksagonalnog borovog nitrida i grafena: sinteza i mikrostrukturiranje</i>	17
11:35	Emil Tafra , Matija Čulo, Mario Basletić, Branimir Mihaljević, Silvia Tomić, Amir Hamzić, Bojana Korin-Hamzić	<i>Magnetotransportna svojstva predopiranih manjanita $La_{1-x}Ca_xMnO_3$: povijesno i vremenski ovisni fenomeni</i>	38
11:50	Ivana Levatić , Petar Popčević, Vinko Šurija, A Kruchkov, Helmuth Berger, Arnaud Magrez, Jonathan S. White, Henrik M. Ronnow, Ivica Živković	<i>Utjecaj hidrostatskog tlaka na stabilnost skirmiona u Cu_2OSeO_3</i>	39
12:05	Matija Čulo , Tomislav Ivek, Mario Basletić, Eduard Tutiš, Marko Kuvždić, Branimir Mihaljević, Emil Tafra, Silvia Tomić, Bojana Korin-Hamzić	<i>Metal-izolatorski prijelaz u α-(BEDT-TTF)$_2$I$_3$: značajke faznog prijelaza prvog i drugog reda</i>	40
12:20		jednominutne prezentacije postera	
12:45		ručak	
14:00	Borna Pelić , Joshua Hall, Thomas Michely, Marko Kralj	<i>Van der Waals epitaksija jednoslojnog MoS_2</i>	41
14:15	Lovro Basioli , Nikolina Nekić, Jordi Sacho Parramon, Sigrid Bernstorff, Stjepko Fazinić, Mile Ivanda, Maja Buljan	<i>Ge-metal jezgra-ljuska nanočestice u matrici od alumine: struktura, sastav i apsorpcija</i>	42
14:30	Damir Dominko , Vladimir Grigorev, Viktor Kabanov, Jure Demsar	<i>Ultrabrza dinamika i njena kontrola u pseudo Jahn-Teller sustavu $(NbSe_4)_3I$</i>	43
14:45	Petar Popčević, Ante Bilušić, Marija Zorić, Ana Smontara	<i>Znanstveni izazovi u toplinskom transportu i termoelektričnim materijalima</i>	44
15:00	Ante Bilušić , Petar Popčević, Ana Smontara	<i>Europski integrirani centar za razvoj novih metalnih slitina i spojeva – C-MAC</i>	45
15:15	Aleksandar Živković , Alberto Rolandan, Nora de Leeuw	<i>Enhancing the Electronic Properties of Copper Oxide Solar Cells</i>	46
15:30	Sanjin Marion , Sebastian J. Davis, Aleksandra Radenovic	<i>Kontrolirana translokacija jedne molekule DNA kroz nanoporu</i>	18
15:55		pauza	
16:30	Antonio Šiber	<i>Kondenzacija dugih DNA molekula: snopovi, klupka, užad i čvorovi</i>	19
16:55	Agneza Bosilj , Kruno Vukušić, Renata Buđa, Ana Milas, Iva Tolić, Nenad Pavin	<i>Teorijski opis sila koje razdvajaju kromosome u staničnoj diobi</i>	47
17:10	Larisa Zoranić , Yogesh Sonavane	<i>Molekulska dinamika antimikrobnih peptida</i>	48
17:25	Ivana Ban , Marcel Prelogović, Lora Winters, Iva Tolić, Nenad Pavin	<i>Pivotiranje mikrotubula i nakupljanje motornih proteina pokreće formiranje diobenog vretena</i>	49

Treći dan — petak 13. listopada

9:00	Tena Dubček, Marija Todorić, Bruno Klajn, Robert Pezer, Danko Radić, Dario Jukić, Marin Soljačić, Hrvoje Buljan	<i>Stvaranje sintetičkih magnetskih polja, Weylovih polumetala i anyona</i>	20
9:25	Marija Todorić , Dario Jukić, Danko Radić, Marin Soljačić, Hrvoje Buljan	<i>Kvantni Hallov efekt s Wilczekovim nabijenim cijevima magnetskog toka</i>	50
9:40	Viktor Cikojević , Krešimir Dželalija, Petar Stipanović, Leandra Vranješ Markić, Jordi Boronat	<i>Ultra rijetke kapljice dvokomponentne mješavine bozona</i>	51
9:55	Tena Dubček, Bruno Klajn, Robert Pezer, Hrvoje Buljan, Dario Jukić	<i>Raspodjela kvazimomenata i ekspanzija anyonskog plina</i>	52
10:10	Tena Dubček , Li Jing, Yichen Shen, John Peurifoy, Scott Skirlo, Yann Lecun, Max Tegmark, Marin Soljačić	<i>Duboko učenje i unitarne neuronske mreže</i>	53
10:25	Krešimir Dželalija , Frane Lunić, Leandra Vranješ Markić	<i>Jednodimenzionalni bozonski sustavi simulirani PIMC-om</i>	54
10:40		pauza	
11:10	Biljana Lakić	<i>Potruga za Sunčevim aksionima</i>	21
11:35	Loriano Bonora, Maro Cvitan, Predrag Dominis Prester, Stefano Giacari, Bruno Lima de Souza, Tamara Štemberga	<i>Jednopoljne efektivne akcije i viši spinovi</i>	55
11:50	Dinko Ferenček	<i>Potruga za teškim rezonancijama i tamnom materijom pomoću hadronskih mlazova na LHC-u</i>	22
12:15	Željka Bošnjak	<i>Ekstragalaktički bljeskovi gama zračenja i opažanja na GeV/TeV energijama</i>	23
12:40	Lovro Palaversa	<i>Istraživanje galaksije satelitom Gaia</i>	14
13:05	Neven Biškup	<i>Elektronska mikroskopija i spektroskopija sa atomskom rezolucijom: osnove i primjeri</i>	24
13:30		zatvaranje 9. ZS HFD	

Popis postera

P1	Ignacio Figueroa, Ramir Ristić , Ahmed Kuršumović, Katica Biljaković, Damir Staresinić, Damir Pajić, György Remenyi, Krešo Zadro, Emil Babić	<i>Izabrana svojstva $(TiZrNbCu)_{1-x}Ni_x$ metalnih stakala</i>	59
P2	Katarina Rožman , Ivica Martinjak	<i>Oscilacijske matrice modela na rešetki i hipermerennovih nizova</i>	60
P3	Filip Erhardt , Marko Jerčić, Mirko Planinić, Nikola Poljak, Goran Simatović, Antonija Utrobičić	<i>Kutne korelacije identificiranih parova hadrona pomoću ALICE detektora na LHC sudarivaču</i>	61
P4	Tomislav Smolčić , Goranka Bilalbegović, Dustin Ingram	<i>Istraživanje asteroida primjenom neuronskih mreža</i>	62
P5	Katarina Itrić , Damir Modrić	<i>Utjecaj raspršenja svjetlosti na oblik funkcije razmazivanja točke</i>	63
P6	Filip Orbanić , Mario Novak, Nikola Biliškov, Ivan Kokanović	<i>3D Diracov polumetal Cd_3As_2 - Sinteza i transportna mjerenja</i>	64
P7	Ines Vlahović , Matko Glunčić, Marija Rosandić, Ivica Martinjak, Vladimir Paar	<i>Periodičnosti višega reda u NBPF genima u kromosomu 1 čovjeka i neandertalca – sličnosti i različitosti u DUF1220 proteinskim domenama</i>	65
P8	Marko Kuveždić , Emil Tafra, Mario Basletić, Ramir Ristić, Ignacio A. Figueroa, Emil Babić	<i>Supravodljivost u slitinama visoke entropije $(TiZrNbCu)_{1-x}Ni_x$</i>	66
P9	Dalibor Paar , Nenad Buzjak, Stanislav Frančišković-Bilinski, Vanja Radolić, Franci Gabrovšek	<i>Perspektive fizikalnih istraživanja u okolišnim i geološkim studijama u hrvatskom kršu</i>	67
P10	Branimir Mihaljević , Mario Basletić, Tomislav Ivek, Bojana Hamzić, Damir Altus, Silvia Tomić	<i>Nelinearna vodljivost odabranih DCNQI organskih vodiča</i>	68
P11	Martina Vlaho, Igor Žutić, Velimir Labinac	<i>Frekvencijski opseg poluvodičkog spinskog lasera</i>	69
P12	Branka Babić-Stojić, Vukoman Jakanović, Dušan Milivojević, Miroslav Požek , Zvonko Jagličić, Darko Makovec, Katarina Arsikin, Verica Panunović	<i>Nove magnetske nanočestice kao pozitivni kontrasti u oslikavanju magnetskom rezonancijom (MRI)</i>	70
P13	Petar Kolar , Silvio Hrabar, Mihael S. Grbić	<i>Optimalna šumna svojstva prijemnog lanca NMR sustava</i>	71
P14	Bruno Gudac	<i>Sinteza i karakterizacija topoloških izolatora $BiSbTeSe_2$ i $BiSbTe_2S$</i>	72
P15	Anton Kabaši, Tonći Ćurković, Tonći Čakarić, Barbara Malič, Marko Budimir, Ante Bilušić	<i>Visokofrekventna linearna mreža ultrazvučnih izvora na debelom filmu – izrada i karakterizacija</i>	73
P16	Matko Glunčić, Ines Vlahović, Ivica Martinjak , Marija Rosandić, Vladimir Paar	<i>Usporedba struktura periodičnosti višeg reda alfa satelita u DNK sekvenci čovjeka, neandertalca i čimpanze - izrada baze podataka globalnih mapa</i>	74
P17	Bruno Šlaus	<i>Sinkrotronsko zračenje galaksija u XXL-North polju</i>	75

P18	Matko Mužević , Igor Lukačević, Maja Varga Pajtler, Sanjeev Kumar Gupta	<i>Elektronska i optička svojstva 2D indija i antimona</i>	76
P19	Ida Delač Marion , Davor Čapeta, Borna Pelić, Nataša Vujičić, Marko Kralj	<i>Karakterizacija atomskih defekata i elektronskih svojstava 2D MoS₂</i>	77
P20	Mihovil Jurdana , Marko Kralj, Ivančica Bogdanović Radović, Milko Jakšić	<i>Ionskom mikroprobom ocrtane matrice nanopora u 2D materijalima</i>	78
P21	Jadranko Gladić , Davorin Lovrić, Nazif Demoli	<i>Uporaba LCOS mikrozaslona kao 3D objekta za digitalnu holografiju</i>	79
P22	Ana Najev , Damjan Pelc, Miroslav Požek, Marija Vučković	<i>Potruga za novim elektronskim uređenjima u jako poddopiranim kupratima</i>	80
P23	M. Šušak , H. Šušak, D. Stanić, S. Sabolek, S. Zrnčić, P. Popčević, E. Babić	<i>Magnetiziranje mekih magneta: utjecaj površinskog tretiranja</i>	81
P24	Vanja Radolić , Marina Poje Sovilj, Denis Stanić, Igor Miklavčić, Branko Vuković	<i>Radon u tlu i geogenski radonski potencijal u Republici Hrvatskoj</i>	82
P25	Martina Dragičević , Mirta Herak	<i>Magnetska anizotropija multiferoika CuO</i>	83
P26	Marija Vučković , Damjan Pelc, Miroslav Požek	<i>NMR spektri i relaksacije LSCO-0.06 kristala – fazna separacija ispod 50 K</i>	84
P27	Mirta Herak, Nikolina Novosel , Željko Rapljenović, Martina Dragičević, Helmuth Berger	<i>Određivanje simetrije i spinske reorijentacije u antiferomagnetu SeCuO₃</i>	85
P28	Denis Sunko	<i>Temeljne invarijante Hilbertovog prostora N fermiona i problem predznaka</i>	86
P29	Andrii Gudyma , Leandra Vranješ Markić	<i>Monte Carlo istraživanje zarobljenih hladnih atoma sa spin-orbit vezanjem</i>	87
P30	Tomislav Primorac , Larisa Zoranić, Martina Požar, Franjo Sokolić, Jadran Vrabec	<i>Analiza termodinamičkog faktora u binarnim mješavinama</i>	88
P31	Leandra Vranješ Markić , Hrvoje Vrcan, Zuhrianda Zuhrianda, Henry R. Glyde	<i>⁴He u uskim nanoporama</i>	89
P32	Maja Strugačevac , Nina Bartels, Mona Plettenberg, Lisa Rohde, Constanze Wiek, Julia Kristin, Marcel Glaas, Jörg Schipper, Mathias Getzlaff	<i>Comparison of the cell morphology between healthy and cancerous oral mucosa</i>	90
P33	Marija Baljkas , Tomislav Primorac, Martina Požar, Franjo Sokolić, Larisa Zoranić	<i>Proračun energije solvatacije u simulacijama molekularne dinamike</i>	91
P34	Luka Zurak	<i>Eksperimentalno ispitivanje skalarne teorije ogiba</i>	92
P35	Filip Torić , Damir Pajić, Gordana Pavlović, Marina Cindrić, Krešo Zadro	<i>Utjecaj finih strukturnih promjena na magnetsko ponašanje tetranuklearnih kompleksa Ni(II) kurbana</i>	93

Sažeci pozvanih predavanja

Evolucija galaksija kroz kozmičko vrijeme iz radio perspektive

Mladen Novak¹, Vernesa Smolčić¹, Jacinta Delhaize¹, Ivan Delvecchio¹,
Clotilde Laigle², Eva Schinnerer³, Gianni Zamorani⁴

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

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

³*Max-Planck-Institut fur Astronomie, Heidelberg, Germany*

⁴*INAF - Osservatorio Astronomico di Bologna, Italy*

Radio opažanja zbog svoje velike valne duljine pružaju neometan uvid u galaktičke procese, inače skrivene gustim velom prašine. Korištenjem oko 400 sati opažanja COSMOS polja dobivenih Very Large Array (VLA) radio interferometrom, praćena je evolucija dviju glavnih populacija galaksija od trenutka kada je svemir bio star tek 1 Ggod pa do danas, 13 Ggod kasnije. Uz 8000 detektiranih radio galaksija koreliranih s optičkim izvorima, ova opažanja predstavljaju najdublji i najkvalitetniji radio uzorak dobiven preko 2 kvadratna stupnja neba. Bit će predstavljena kozmička povijest stvaranja zvijezda koja je idealna za praćenje izgradnje zvjezdane mase kroz kozmičko vrijeme, kao i osvrt na ulogu radio opažanja u budućim pregledima neba.

[1] *Astronomy & Astrophysics*, Volume 602, id.A1, 19 pp.

[2] *Astronomy & Astrophysics*, Volume 602, id.A5, 17 pp.

[3] *Astronomy & Astrophysics*, Volume 602, id.A6, 13 pp.

Istraživanje galaksije satelitom Gaia

Lovro Palaversa¹

¹*Institute of Astronomy, University of Cambridge*

Satelit *Gaia* Europske svemirske agencije ulazi u završnicu nominalno petogodišnje misije. Glavni cilj misije je precizna astrometrija: određivanje položaja, udaljenosti i gibanja približno 10^9 zvijezda.

Gaia se nalazi u Lissajousovoj orbiti oko L2 točke Sunce-Zemlja sustava, odakle kontinuirano opaža cijelu nebesku sferu. Tijekom misije, svaki dio neba će biti opažen u prosjeku 70 puta. Tri najvažnija instrumenta na satelitu su: instrument za astrometriju, spektrofotometar i spektroskop.

Zahvaljujući toj jedinstvenoj kombinaciji, *Gaia* će omogućiti detaljno modeliranje galaksije bazirano na podskupu od $\approx 1\%$ zvijezda i rasvijetliti njezino nastajanje i prošlost. Na primjer, udaljenosti za $2 \cdot 10^7$ zvijezda biti će izmjerene s preciznošću od 1% a za $2 \cdot 10^8$ zvijezda s preciznošću boljom od 10% (što uključuje i zvijezde u blizini središta Galaksije, $D \approx 8.5$ kpc). Osim položaja, brzina i sjaja zvijezda, zahvaljujući spektroskopiji i spektrofotometriji u katalogu će biti dostupne i vrijednosti efektivne temperature, gravitacije na površini, metaliciteta i ekstinkcije.

Prosječno 70 opažanja svakog detektiranog objekta rezultirati će i najopsežnijim katalogom promjenjivih zvijezda, među kojima posebnu ulogu imaju standardne svijeće poput Cefeida i RR Lira. Od posebne važnosti je precizno astrometrijsko određivanje udaljenosti do veće skupine Cefeida u Mliječnome putu. S obzirom da se Cefeide se mogu opažati i u galaksijama Lokalne skupine, kritičan su korak u kalibranju udaljenosti do supernova, koje su bitne za određivanje udaljenosti na kozmološkim skalama (npr. određivanje brzine širenja Svemira).

Također zahvaljujući vremenskoj rezoluciji u opažanjima te velikoj površini koju pretražuje, *Gaia* trenutno otkriva dvadesetak novih galaktičkih i ekstragalaktičkih tranzijenata tjedno (supernove, kataklizmičke promjenjive zvijezde, gravitacijske mikro-leće, itd.). U Sunčevom sustavu, *Gaia* će odrediti orbite stotinama tisuća asteroida te otkriti mnoštvo novih malih tijela Sunčevog sustava. Očekivano je i otkrivanje nekoliko tisuća ekstrasolarnih planeta kojima će biti određene mase i orbite.

U predavanju ću se osvrnuti na rezultate dostupne zahvaljujući prvoj objavi podataka (Data Release 1, DR1) i pokazati što možemo očekivati od sljedeće objave, očekivane u travnju 2018.

Određivanje fizikalnih svojstava kratkoživućih čestica

Saša Ceci¹, Alfred Švarc¹, Branimir Zauner²

¹*Institut Ruđer Bošković, Bijenička 54, 10 000 Zagreb, Republika Hrvatska*

²*Neovisni znanstvenik*

Atom pogođen fotonom koji ima odgovarajuću energiju može se pobuditi, provesti neko vrijeme u tom stanju, i onda emitirati natrag foton iste energije ili čak cijeli niz fotona s nižom energijom. Ovaj fenomen, čije je razumijevanje početkom dvadesetog stoljeća dovelo do otkrića kvantne mehanike, nije ograničen samo na atome. Gotovo svaki kvantni sustav koji je sastavljen od manjih dijelova može pokazivati slično ponašanje. Tako nukleon možemo pogoditi pionom i pobuditi ga u Δ rezonanciju. Dva piona mogu u sudaru napraviti nove rezonantne česticu - σ ili ρ mezone. Čak i elementarne čestice, poput Z bozona, nedvojbeno pokazuju ovakvo rezonantno ponašanje.

U predavanju će se predstaviti nepredak ostvaren u zadnjih nekoliko godina u istraživanjima svih ovih navedenih čestica. Najvažniji prodori napravljeni su u novim naprednim metodama za određivanja fizikalnih svojstava nukleonskih rezonancija [1,2]. Osim toga, pojasnit će se zašto neke od ovih čestica imaju dvostruke definicije za masu - koja je povezana s rezonantnom energijom, širinu - koja je obrnuto proporcionalna vremenu života tih kratkoživućih čestica, i omjer grananja - koji govori koja je vjerojatnost da se rezonancija raspadne u točno određeni skup lakših čestica [3].

Prema danas prihvaćenoj definiciji, postoji i dodatni fizikalni parametar koji pomalo nemaštovito nazivamo - faza reziduuma [3]. Faza reziduuma nema jasnu fizikalnu interpretaciju kao masa, širina i omjer grananja rezonancije. I tu će se pokazati zanimljive fizikalne ideje koje primjenjene na jednostavne modele sugeriraju moguću geometrijsku interpretaciju ovog neobičnog svojstva rezonancija [4]. Vidjet ćemo da je ono usko povezano sa spomenutim dvostrukim definicijama, kao i to kako nam razumijevanje procesa raspršenja različitih čestica u kojima se pojavljuju iste rezonancije, te nametanje fizikalnih uvjeta poput unitarnosti, može pomoći da još bolje razumijemo prirodu faze reziduuma, ali i ostalih fizikalnih svojstava rezonancija [5].

[1] S. Ceci, M. Korolija i B. Zauner, Phys. Rev. Lett. **111** 112004 (2013).

[2] A. Švarc, M. Hadžimehmedović, R. Omerović, H. Osmanović i J. Stahov, Phys. Rev. C **89**, 045205 (2014).

[3] C. Patrignani et al. (Particle Data Group), Chin. Phys. C **40** 100001 (2016).

[4] S. Ceci, M. Hadžimehmedović, H. Osmanović, A. Percan i B. Zauner, Sci. Rep. **7**, 45246 (2017).

[5] S. Ceci, M. Vukšić i B. Zauner, arXiv:1702.00659 [hep-ph]

Sníženje simetrije u kvantnom kagome antiferomagnetu herbertsmititu

M. Herak¹, A. Zorko², M. Gomilšek², J. van Tol³, M. Velázquez⁴, P. Khuntia⁵,
F. Bert⁵, P. Mendels⁵

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

²*Jožef Stefan Institute, Jamova c. 39, SI-1000 Ljubljana, Slovenia*

³*National High Magnetic Field Laboratory, Florida State University, Tallahassee, Florida 32310, USA*

⁴*CNRS, Université de Bordeaux, ICMCB, UPR 9048, 87 Avenue du Dr. A. Schweitzer, 33608 Pessac Cedex, France*

⁵*Laboratoire de Physique des Solides, CNRS, Univ. Paris-Sud, Université Paris-Saclay, 91405 Orsay Cedex, France*

Herbertsmitit je mineral u kojem je realizirana frustrirana kagome magnetska rešetka [1] i jedan je od materijala u kojima je potvrđeno postojanje egzotičnog stanja kvantne spinske tekućine [2]. U herbertsmititu su spinovi $S=1/2$ bakrovog iona Cu^{2+} smješteni na 2D kagome rešetci te su interakcije opisane izotropnim antiferomagnetskim Heisenbergovim hamiltonijanom. Međutim, kao i u svakom realnom materijalu, i u herbertsmititu postoje dodatne perturbacije poput anizotropije interakcija između spinova gdje se ističe anizotropna Dzyaloshinskii-Moriya interakcija [1,3]. Možda najvažnija perturbacija u ovom materijalu je prisustvo velikog broja nečistoća. Ioni bakra smještaju se u herbertsmititu na mjesta cinka u slojevima između kagome ravnina, no istovremeno postoji mogućnost smještanja iona cinka na mjesto bakra u kagome sloju, što narušava savršenost kagome rešetke te će imati utjecaja na osnovno stanje kvantne spinske tekućine [2].

Komplementarnim mjerenjima magnetskog momenta sile i elektronske spinske rezonancije nedavno smo pokazali da u herbertsmititu postoje dvije vrste defekata od kojih je jedna puno jače vezana za spinove u kagome rešetci nego druga [4]. Magnetski moment sile osjetljiv je na makroskopsku magnetsku anizotropiju te globalnu simetriju. Naši rezultati pokazuju da pri niskim temperaturama dolazi do sniženja globalne simetrije u herbertsmititu što može imati utjecaj na odabir osnovnog stanja u ovom materijalu [4].

Ovaj rad djelomično je financiran projektom Hrvatske zaklade za znanost HRZZ UIP-2014-09-9775 te bilateralnim HR-SLO projektom *Ključna uloga magnetske anizotropije u niskodimenzionalnim spinskim sustavima*.

[1] M. R. Norman, Rev. Mod. Phys. **88** (2016) 041002

[2] Yi. Zhou, K. Kanoda, Tai-Kai Ng, Rev. Mod. Phys. **89** (2017) 025003

[3] A. Zorko, S. Nellutla, J. van Tol, L.C. Brunel, F. Bert, F. Duc, J.-C. Trombe, M. A. de Vries, A. Harrison, P. Mendels, Phys. Rev. Lett. **101** (2008) 026405

[4] A. Zorko, M. Herak, M. Gomilšek, J. van Tol, M. Velázquez, P. Khunthia, F. Bert, P. Mendels, Phys. Rev. Lett. **118** (2017) 017202

2D heterostrukture heksagonalnog borovog nitrida i grafena: sinteza i mikrostrukturiranje

Marin Petrović¹

¹*Institut za fiziku, Zagreb, Hrvatska
Fakultet fizike, Sveučilište Duisburg-Essen, Duisburg, Njemačka*

Moderni 2D materijali, primjerice grafen (Gr), heksagonalni borov nitrid (hBN) i dihalogenidi prijelaznih metala, se ističu kao kandidati za brojne tehnološke primjene u budućnosti. Njihov značaj se povećava još više zahvaljujući heterostrukturama u kojima lateralno ili vertikalno spajanje individualnih 2D materijala omogućava formiranje novih kompozitnih sistema sa specifičnim svojstvima [1]. U ovom predavanju biti će prezentirano istraživanje lateralnih hBN-Gr heterostrukture na iridijevoj (111) površini.

Glavni alat korišten za dobivanje rezultata je elektronska mikroskopija niskih energija (*Low-energy electron microscopy*, LEEM). Ova tehnika omogućava *in situ* istraživanje površinskih fenomena u realnom vremenu s nanometarskom rezolucijom, te je kao takva idealna za istraživanje sinteze i modifikacije 2D materijala. Sinteza hBN-Gr heterostrukture se odvija na visokim temperaturama (~ 900 °C) u uvjetima ultra-visokog vakuuma unutar LEEM mikroskopa u dva sukcesivna koraka: (i) doziranjem borazina ($B_3H_6N_3$), što daje dobro definirane hBN otoke mikrometarskih dimenzija [2], i (ii) doziranjem etilena (C_2H_4), što rezultira rastom grafena na rubovima hBN otoka i u konačnici stvaranjem lateralnih 2D heterostrukture. Međutim, granica između hBN-a i Gr-a nije oštra već sadržava prijelaznu regiju koja pokazuje nova strukturna i elektronska svojstva. Mikro-difrakcijskom analizom te praćenjem koncentracije adsorbiranih atoma na površini iridija tokom sinteze, utvrđeno je da je prijelazna regija posljedica miješanja atoma ugljika s atomima bora i molekularnim fragmentima koji su zaostali nakon doziranja borazina i rasta hBN-a. Širina prijelazne regije može se kontrolirati temperaturom sinteze kao i tretiranjem uzorka kisikom između doziranja borazina i etilena. Nadalje, zbog nestabilnosti hBN-a na visokim temperaturama [2], zagrijavanje hBN-Gr heterostrukture iznad 1000 °C rezultira stvaranjem šupljih 2D struktura grafena čiji veličina i oblik ovise o dimenzijama inicijalnih hBN otoka. Ovakva procedura otvara nove mogućnosti za *in situ* mikrostrukturiranje grafena i proizvodnju novih sistema baziranih na grafenu.

[1] K. S. Novoselov, A. Mishchenko, A. Carvalho, i A. H. Castro Neto, *Science* **353**, aac9439 (2016)

[2] M. Petrović, U. Hagemann, M. Horn-von Hoegen, i F.-J. Meyer zu Heringdorf, *Appl. Surf. Sci.* **420**, 504 (2017)

Kontrolirana translokacija jedne molekule DNA kroz nanoporu

Sanjin Marion^{1,2}, Sebastian J. Davis¹, Aleksandra Radenovic¹

¹Laboratory of Nanoscale Biology, Institute of Bioengineering, School of Engineering, EPFL, 1015 Lausanne, Switzerland

²Centar izvrsnosti za napredne materijale i senzore, Institut za fiziku, Bijenička cesta 46, 10000 Zagreb, Hrvatska

Sintetičke nanopore, otvori nanometarskih dimenzija u membranama ili kapilarama, su se pokazale kao obećavajući alat za primjene u sekvenciranju DNA kao i eksperimentima na nivou jedne molekule [1]. Kombiniranje takvog sustava i vanjske kontrole, kao što je optička pinceta, omogućuje omogućuje kontroliranu translokaciju molekula DNA kroz otvore nanopora usporedive s 10 nm. U slučaju dsDNA na koju su vezani pojedinačni proteini, moguće je izmjeriti silu koja djeluje na DNA-protein kompleks tijekom kontrolirane translokacije i to tako da se jedan kraj DNA molekule drži optičkom pincetom, a drugi kraj pod utjecajem vanjskog električnog polja ubacuje u otvor pore [2].

Nedavno je prepoznato da kvarcne nanokapilare posjeduju bolji omjer signal i šuma od uobičajeno korištenih nanopora što omogućuje simultano mjerenje struje i sile na DNA tijekom translokacije [3], što je demonstrirano i detekcijom proteina EcoRI, RecA i RNA polimeraze vezanih na DNA [4]. Dobiveni profili sile imaju kvalitativno različito ponašanje od prijašnjih eksperimenata s nanoporama. Primjenom stohastičkog modela [1] pokazano je da sila na DNA-protein kompleks u nanokapilarama dominantno dolazi od usmjerenog elektrosmotskog toka otapala kroz otvor [4].

Primjena kontrolirane translokacije omogućuje i lokalizaciju točnih mjesta vezanja proteina na DNA uz simultano razlikovanje vezujućih proteina [5]. Korištenjem programabilnosti dCas9 proteina, kojeg se može podesiti za vezanje na određeno mjesto na DNA, konstruirano je "ravnalo" vezujućih mjesta u pravilnim razmacima. Mjerenjem i modeliranjem sile u ovisnosti o pomaku određen je neravnotežni rad uslijed translokacije te procijenjen naboj kompleksa korištenjem Jarzynskijeve jednadžbe. Time je omogućeno simultano razlikovanje i lokalizacija vezivnih mjesta različitih proteina na DNA u fiziološkim uvjetima.

[1] C. Dekker, Nat. Nanotechnol. 2, 209 (2007) .

[2] A. Spiering, S. Getfert, A. Sischka, P. Reimann and D. Anselmetti, Nano Lett. 11(7), 2978 (2011).

[3] R. D. Bulushev, L. J. Steinbock, S. Khlybov, J. F. Steinbock, U. F. Keyser and A. Radenovic, Nano Lett. 14(11), 6606 (2014).

[4] R. D. Bulushev, S. Marion and A. Radenovic, Nano Lett. 15(10), 7118 (2015)

[5] R. D. Bulushev*, S. Marion*, E. Petrova*, S. J. Davis*, S. J. Maerkl, and A. Radenovic, Nano Letters 16 (12), 7882 (2016)

Kondenzacija dugih DNA molekula: snopovi, klupka, užad i čvorovi

Antonio Šiber¹

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

DNA molekule nose u fiziološkim uvjetima velik naboj, veći od jednog negativnog elementarnog naboja po baznom paru. Zbog elektrostatskog samo-odbijanja koje je posljedica rasporeda naboja duž molekule, potrebne su velike sile da se DNA komprimira u mali volumen. Ipak, svaka od naših stanica sadrži velike količine DNA i to u vrlo malom prostoru stanične jezgre. Komprimacija DNA u organizmima moguća je zahvaljujući posebnim proteinima koji su evoluirali upravo za tu potrebu. U slučaju viših organizama radi se o izrazito pozitivnim proteinima koje zovemo histonima i koji kompaktiraju DNA u kromosome. Premda bakterije nemaju jezgru, i kod njih postoje specifični proteini namijenjeni kompaktiji DNA genoma. Virusi i bakterije, pored specifičnih proteina, često u te svrhe koriste i mnogovalentne pozitivne ione (npr. poliamine). Takvi kondenzacijski agensi mogu dovesti DNA u stanje samo-privlačenja, odn. DNA kondenzacije u kojoj je energetski povoljno da dijelovi DNA vrpce budu jedni uz druge, stvarajući tako snopove DNA. No, kako je, npr. u virusima, DNA tipično u jednom dugom komadu, usnoplavanje DNA mora biti nužno korelirano s mezoskopskim oblikom DNA koji npr. može sličiti torusu unutar kojeg je ista vrpca višestruko namotana. U predavanju će se posebno razmotriti oblici kondenzirane DNA molekule unutar virusa te način na koji prostorno ograničenje utječe na te oblike [1].

[1] A. Šiber "Shapes of minimal-energy DNA ropes condensed in confinement", *Sci. Rep.* 6, 29012 (2016).

Stvaranje sintetičkih magnetskih polja, Weylovih polumetala i anyona

Tena Dubček¹, Marija Todorčić¹, Bruno Klajn¹, Robert Pezer², Danko Radić¹,
Dario Jukić³, Marin Soljačić⁴, Hrvoje Buljan¹

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

²*Metallurški fakultet, Sveučilište u Zagrebu*

³*Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu*

⁴*Department of Physics, Massachusetts Institute of Technology*

Prezentirati ću nove rezultate naše grupe vezane za sintetičke topološke kvantne sustave [1]: (i) topološke faze u 3D optičkim rešetkama, konkretno naš prijedlog realizacije Weylovih polumetala sa ultrahladnim atomskim sustavima [2], te raščlambu određenih tema vezanih za anyonske sustave [3,4]. Pokazati ću jedan prijedlog kako realizirati kompozite načinjene od naboja vezanih za magnetski tok, koje je prve predložio Wilczek 1982. godine [3] u kontekstu kvantnog Hallovog efekta. Također ću otvoriti i dati neke odgovore na pitanje izvlačenja observabli iz anyonskih valnih funkcija [4]. Na primjer, može se pokazati da raspodjela impulsa koja je od presudne važnosti za raščlambu višestrukih bozonskih i fermionskih sustava, uopće nije dobra observabla za anyonske sustave [4].

[1] N. Goldman, G. Juzeliunas, P. Ohberg, I. B. Spielman, *Rep. Prog. Phys.* 77, 126401 (2014).

[2] 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).

[3] M. Todorčić, D. Jukić, D. Radić, M. Soljačić, and H. Buljan, The Quantum Hall Effect with Wilczek's charged magnetic flux tubes instead of electrons, in preparation

[4] Tena Dubček, Bruno Klajn, Robert Pezer, Hrvoje Buljan, Dario Jukić, Quasimomentum distribution and expansion of an anyonic gas, arXiv:1707.04712.

Potruga za Sunčevim aksionima

Biljana Lakić¹

¹*Institut Ruđer Bošković, Zagreb*

Aksioni su hipotetske neutralne pseudoskalarne čestice koje se pojavljuju u modelima kojima se može objasniti problem zašto narušenje CP simetrije predviđeno u kvantnoj kromodinamici nije eksperimentalno opaženo. Ako postoje, aksioni su mogli nastati u vrlo ranom svemiru, a mogu nastajati i danas u zvijezdama putem procesa koji se temelje na njihovom vezanju s fotonima, elektronima i nukleonima. S vremenom su predložene i teorije koje predviđaju postojanje niza čestica sličnim aksionima. Sve te čestice smatraju se i kandidatima za tamnu tvar svemira.

Glavnina eksperimentalnih potraga za aksionima i njima sličnim česticama temelji se na njihovom vezanju s fotonima. Helioskopi tragaju za aksionima i njima sličnim česticama koje bi mogle nastajati u Suncu pretvorbom termičkih fotona u elektromagnetskom polju nabijenih čestica Sunčeve plazme. Te čestice mogu se pretvarati natrag u fotone (X-zrake) primjenom magnetskog polja u laboratoriju što predstavlja princip rada helioskopa.

Eksperiment CAST (*CERN Axion Solar Telescope*) je trenutno najosjetljiviji aksionski helioskop. Do sada nije pronađen dokaz o postojanju aksiona i njima sličnih čestica, ali je postavljena najstroža gornja granica vrijednosti konstante vezanja aksiona i fotona u velikom području vrijednosti mase aksiona. Ovaj rezultat je važan i zbog toga što pokazuje da je eksperimentalna metoda dosegla stupanj osjetljivosti koji je važan za provjeru nekih teorijskih modela i astrofizičkih opažanja.

Eksperiment IAXO (*International Axion Observatory*), koji je u fazi tehničkog dizajna, predstavlja novu generaciju aksionskih helioskopa čiji je cilj ostvariti osjetljivost na konstantu vezanja aksiona i fotona 1 – 1.5 redova veličine bolju od eksperimenta CAST.

[1] V. Anastassopoulos *et al.* [CAST Collaboration], “New CAST Limit on the Axion-Photon Interaction”, *Nature Phys.* **13** (2017) 584

[2] E. Armengaud *et al.*, “Conceptual Design of the International Axion Observatory (IAXO)”, *JINST* **9** (2014) T05002

Potruga za teškim rezonancijama i tamnom materijom pomoću hadronskih mlazova na LHC-u

Dinko Ferenček¹

¹*Institut Ruđer Bošković, Zagreb*

Veliki hadronski sudarivač (LHC) je tvornica hadronskih mlazova koji nastaju hadronizacijom energetskih kvarkova i gluona. Hadronski mlazovi obično predstavljaju pozadinu koja otežava potrage za signalima nove fizike. Međutim, konačna stanja s hadronskim mlazovima su i sama osjetljiva na cijeli niz novih fenomena. U svojem izlaganju opisat ću najčešći kanal produkcije hadronskih mlazova s dva međusobno izbalansirana hadronska mlaza u konačnom stanju te predstaviti neke od najnovijih rezultata potrage za teškim rezonancijama i tamnom materijom u takvim konačnim stanjima zabilježenim CMS detektorom u proton-proton sudarima na energiji centra mase od 13 TeV na LHC-u.

[1] Phys.Lett. B **769** (2017) 520-542

Ekstragalaktički bljeskovi gama zračenja i opažanja na GeV/TeV energijama

Željka Bošnjak¹

¹*Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilište u Zagrebu*

Cherenkov Telescope Array (CTA) je novi opservatorij kojim će se istraživati ne-termički svemir pri energijama iznad 20 GeV do nekoliko stotina TeV. Izvori ekstragalaktičkih bljeskova gama zračenja (GRB) su u fokusu budućih istraživanja kao najsjajnije pojave u svemiru. U predavanju ću predstaviti rad na teorijskom modeliranju emisije bljeskova gama zračenja, te simulacije budućih opažanja.

[1] Bosnjak, Z. & Daigne, F. 2014, A&A, 568, idA45

Elektronska mikroskopija i spektroskopija sa atomskom rezolucijom: osnove i primjeri

Neven Biškup¹

¹*Imdea Nanotechnology, Madrid, Španjolska*

Moderna znanost o materijalima se u većini slučajeva oslanja na nanotehnologiju, odnosno manipulaciju materijalima kojima je barem jedna dimenzija u rangu od 1 do 100 nanometara. Za istraživanje na takvim, pa i manjim skalama, mora se koristiti mikroskopija vrlo velike razlučivosti. Elektronska mikroskopija je u zadnjih desetak godina napredovala do subatomske rezolucije i postala je neizostavan alat za istraživanje na atomskoj skali. Elektronski transmisijski mikroskop s korigiranim aberacijama je jedini eksperimentalni uređaj koji omogućuje uvid u atomsku strukturu čak i ispod površine materijala. Potpomognut sa spektroskopijom, poglavito sa spektroskopijom gubitaka energije elektrona (EELS, skraćeno po svom nazivu na engleskom), taj uređaj omogućuje detekciju kemijske i elektronske strukture na razini atoma. U prvom dijelu seminara dat ćemo kratki pregled osnova elektronskog transmisijskog elektrona i njegovog razvoja, a u drugom ćemo vidjeti dva primjera koji demonstriraju moć te tehnike. Prvi primjer se odnosi na feromagnetizam u epitaksijalnim tankim filmovima LaCoO_3 . Perovskitni materijal LaCoO_3 je na niskim temperaturama dijagnet, ali su epitaksijalni tanki filmovi feromagnetni. Koristeći mikroskopiju atomske rezolucije i EELS pokazali smo da je taj feromagnetizam posljedica uređenja kisikovih šupljina u zategnutom tankom filmu. Drugi primjer odnosi se na superstrukturu feromagneta i supravodiča i utjecaja epitaksijalnog naprežanja u tom sistemu. Otkrili smo da epitaksijalno naprežanje stvara nanometarska područja sa kristalnom strukturom koja ne postoji u makroskopskom obliku.

Sažeci usmenih izlaganja

Average radio spectral energy distribution of highly star forming galaxies

Krešimir Tisanić¹

¹*Department of Physics, Faculty of Science, University of Zagreb, Bijenička cesta 32, 10000 Zagreb, Croatia*

The shape of the spectral energy distribution (SED) of galaxies in the radio is known to be influenced by synchrotron and free-free emission. The average radio SED can be used to better calibrate the (F)IR-to-radio correlation, but SEDs in the radio are as of yet poorly constrained. Here we present a study of the radio spectral index of an SFR-complete sample of highly star-forming galaxies ($SFR > 100 M_{\odot}/\text{yr}$) in the COSMOS field using the Survival analysis technique. We employ observations in the rest-frame frequency range from ~ 500 MHz to 15 GHz obtained by the GMRT and the (J)VLA telescopes. We further present previously unpublished data taken by the GMRT at observer-frame 325 MHz and ~ 610 MHz. We observe a flattening of the spectral index below 4 GHz compared to that above 4 GHz and discuss possible sources of the change in spectral shape.

VLA-COSMOS 3 GHz Large Project: Radio luminosity functions of AGN with moderate-to-high radiative luminosities out to $z \sim 6$

Lana Ceraj¹, Vernesa Smolčić¹, Ivan Delvecchio¹, Jacinta Delhaize¹, Mladen Novak¹, (VLA-) COSMOS collaboration²

¹*Faculty of science, Department of Physics, University of Zagreb*

²*Various Institutions*

We study the moderate-to-high radiative luminosity active galactic nuclei (HLAGN) within the VLA-COSMOS 3GHz Large Project. The survey covers the entire 2 square degree COSMOS field at 10 cm (3 GHz) with a 1 sigma sensitivity of 2.3 microJansky/beam across the field. This provides to-date the simultaneously largest and deepest radio continuum survey with an exquisite multi-wavelength coverage within the COSMOS project. The survey yields 10,830 radio sources with signal-to-noise ratios ≥ 5 . A subsample of 1,604 HLAGN is analyzed. These were selected by combining X-ray with mid-infrared data and by selecting AGN based on fitting their UV-IR spectral energy distributions. We derive luminosity functions for these AGN and constrain their cosmic evolution out to a redshift of $z \sim 6$, for the first time decomposing the star formation from AGN contributions to the radio continuum emission in the AGN. Making use of the depth of our survey, we study the evolution of number density and luminosity density finding a peak at $z \sim 1.5$ followed by the decrease out to a redshift $z \sim 6$.

Prostori Snyderovog tipa, zakretanje Poincareove algebre i zbrajanje impulsa

Daniel Meljanac¹, Stjepan Meljanac¹, Salvatore Mignemi², Rina Štrajn¹

¹*Institut Ruđer Bošković*

²*Univerita degli studi di Cagliari and INFN, Sezione di Cagliari*

Razmatramo generalizaciju Snyderovog modela kompatibilnu sa nedeformiranom Lorentzovom simetrijom i opisujemo je u okviru deformacije Heisenbergove algebre. Odgovarajući zbroj impulsa, operator zakretanja i R -matrica su izračunati u prvom redu parametra deformacije. Za poseban slučaj Snyderove realizacije, dobivena je analitička formula za operator zakretanja.

[1] D. Meljanac, S. Meljanac, S. Mignemi, R. Štrajn: Snyder-type spacetimes, twisted Poincaré algebra and addition of momenta, arXiv:1608.06207

Utjecaj zabranjenih prijelaza na spektar reaktorskih antineutrina

Tomislav Marketin¹, Gabriel Martínez-Pinedo², Nils Paar¹

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

²*GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung, Planckstraße 1, 64291 Darmstadt, Germany*

³*Institut für Kernphysik (Theoriezentrum), Technische Universität Darmstadt, 64289 Darmstadt, Germany*

Nuklearni reaktori su najintenzivniji umjetni izvori antineutrina i uključeni su u istraživanje od samih početaka neutrinske fizike. Sada su ključni u istraživanju svojstava neutrina, posebice neutrinskih oscilacija. Prilikom određivanja neutrinskih kuteva miješanja, informacija o toku reaktorskih antineutrina i njihovom spektru je kritična, i snažno utječe na konačne rezultate.

Tijekom analize podataka dobivenih u Double Chooz, RENO i Daya Bay eksperimentalnih postrojenja, primjećeno je da je mjereni spektar antineutrina niži od očekivanog. Reevalucija reaktorskog toka antineutrina je ukazala na razliku od 6% između mjerenog i predviđenog broja događaja - tzv. reaktorska antineutrinska anomalija. Daljnja ispitivanja su pokazala i postojanje neobjašnjene strukture u spektru antineutrina na energiji od 5 MeV. Međutim neodređenosti u teorijskim leptonskim spektrima su relativno velike i mogu znatno utjecati na anomaliju.

Kombiniranjem pojedinih elektronskih i antineutrinskih spektara za svaki pojedini prijelaz svakog fragmenta fisije, moguće je izračunati ukupan spektar leptona. U dosadašnjim računima, svi prijelazi su aproksimirani dozvoljenim prijelazima. Ali zabranjeni prijelazi mogu imati značajno različit oblik od dozvoljenog što može dovesti do primetne razlike u ukupnom spektru. Ovdje predstavljamo prvi potpuno teorijski račun ukupnog leptonskog spektra za ²⁴¹Pu koji uključuje i zabranjene prijelaze.

Kolektivna pobuđenja u jezgrama u okviru relativističkog nuklearnog modela s kontaktnim međudjelovanjem

Deni Vale¹, Nils Paar¹, Tamara Nikšić¹, Yifei Niu²

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

²*Extreme Light Infrastructure - Nuclear Physics (ELI-NP), Bucharest-Magurele, Romania*

Teorija nuklearnih energijskih funkcionala gustoće omogućuje vrlo uspješan opis atomskih jezgri kroz čitavi periodni sustav elemenata. Bazirana na relativno jednostavnom obliku funkcionala, koji su prilagođeni na fenomenološki način prema svojstvima beskonačne nuklearne materije i nekoliko jezgara [1], navedena teorija omogućava prilično precizan izračun mnogih nuklearnih podataka, od energije vezanja, radijusa i dr., ali i odziva jezgara na različita vanjska polja, što je omogućilo određivanje udarnih presjeka s neturinima, vremena poluživota beta raspada i dr. [2].

Teorijska istraživanja u okviru relativističke teorije srednjeg polja (RMF) zasnovana su na opisu nukleona kao točkastih čestica Diracova tipa. Međutim, za razliku od često korištenog modela Waleckinog tipa, gdje nukleoni međudjeluju izmjenom mezona konačne mase [3], ovdje će biti korišten model kontaktnog međudjelovanja koji ne uzima u obzir mezoske stupnjeve slobode, već međudjelovanje nultog dosega. Iako oblikom jednostavniji, pokazao se dosad jednako uspješnim u opisu raznih strukturnih i dinamičkih svojstava jezgri [1, 4].

Aproksimacija slučajnih faza (RPA) razvijena je pedesetih godina prošlog stoljeća kao rezultat napornog i dugotrajnog rada fizičara kako bi opisali efekte mikroskopskog kvantno-mehaničkog međudjelovanja elektrona u materiji. Idućih desetljeća razvijen je formalizam aproksimacije slučajnih faza u okviru teorije funkcionala gustoće, a ujedno je i uslijedila primjena navedene aproksimacije na području nuklearne fizike [5]. Time je omogućeno istraživanje dinamičkih svojstava jezgara, od kolektivnih i nekolektivnih pobuđenja, odnosno opis spektra pobuđenja i gigantskih rezonancija.

Predstaviti ćemo samosuglasni RMF plus kvazičestični RPA model s kontaktnim međudjelovanjem i izračune izoskalarnog monopolnog, izovektorskog dipolnog i izoskalarnog kvadrupolnog odziva. U okviru proton-neutron proširenja kvazičestične RPA izračunali smo snagu Gammow-Tellerove (GT) i izobarne analogne rezonancije (IAS) za nekoliko reprezentativnih jezgri. Također smo promotrili izotopnu ovisnost GT snage na primjeru jezgara kositra te učinak korelacija sparivanja na spektar za navedeni prijelaz [6].

[1] T. Nikšić, D. Vretenar i P. Ring, Phys. Rev. C **78**, 034318 (2008).

[2] N. Paar, D. Vretenar, T. Marketin i P. Ring, Phys. Rev. C **77**, 024608 (2008)

[3] T. Nikšić, D. Vretenar, P. Finelli i P. Ring, Phys. Rev. C **66**, 024306 (2002).

[4] T. Bürvenich, D. G. Madland, J. A. Maruhn i P.-G. Reinhard, Phys. Rev. C **65**, 044308 (2002).

[5] D. J. Rowe, "Nuclear collective motion - Models and theory", Methuen and Co. Ltd., London, (1970).

[6] D. Vale, N. Paar, T. Nikšić i Y. Niu, u izradi

Elementi u tragovima: Mogući ključ za utvrđivanje vremena i mjesta porijekla života

Vladivoj Valković¹

¹*Sagittarius Consulting, Kvintička 62, 10000 Zagreb*

Život kojega poznajemo, baziran elementima H-C-N-O, počiva na većim koncentracijama niza elemenata Na-Mg-P-S-Cl-K-Ca i elementima u tragovima Cr-Mn-Fe-Co-Ni-Cu-Zn-Se-Mo-W i vjerojatno Li-B-F-Si-V-As. Ti zahtjevi potječu od vremena kada su se krivulje iznosa koncentracija elemenata u tragovima Zadnjeg Univerzalnog Zajedničkog Pretka (Last Universal Common Ancestor, LUCA) i galatička krivulja iznosa koncentracija u Fe području koincidirale. Predlažemo ispitivanje evolucije koncentracija kemijskih elemenata u galaksijama u području pomaka $z = 0,5-4,7$ (približno $t = -5,2 \times 10^9$ do $-12,6 \times 10^9$ godina) i uporedbe s elementalnim sastavom LUCA-e. Određeni zaključci se mogu dobiti i proučavanjem Damped Lyman Alpha, DLA, sistema u tom području z vrijednosti. Treba imati na umu da su se karakteristična svojstva LUCA-e prenosila genetskim kodom dok se je krivulja vrijednosti koncentracija mijenjala zbog starenja galaksija. Kemijska svojstva (razmatrajući samo metalnost) čestica prašine u DLA sistemima ne zadovoljavaju potrebe LUCA-e za bitnim elementima u tragovima (Cr:Mn:Fe: Co:Ni:Cu:Zn:Se: Mo:I:W) za $z > 4,7$ (tj. prije cca. $-12,6 \times 10^9$ godina ili cca. 1.1×10^9 godina iza Big Banga). Zbog toga, $T =$ cca. $-12,6 \times 10^9$ godina predstavlja donju granicu za nastanak života, Tporijeklo, to je vrijeme kada se je zbila koincidencija krivulja iznosa koncentracija. Za bilo koje drugo vrijeme, T različito od Tporijeklo, ne može se dogoditi taj događaj. Dakle, možemo zaključiti, budući da Svemir stari život je nastao samo jedanput. LUCA je sigurno imao jednostavan metabolizam iako je obitavao u okolišu visokih ili niskih temperatura, magnetskog polja slabog intenziteta, izložen bombardiranju kozmičkim zrakama te je morao razviti mehanizme zaštite. Pretpostavlja se da je uloga kemijskog elementa bora, B, u procesu evolucije života bila osiguranje termičke i kemijske stabilnosti u takvom neprijateljskom okolišu. Iznosi koncentracija kemijskih elemenata u solarnom sistemu pokazuju niske koncentracije elemenata Li-Be-B (105x manje), dok su koncentracije elementa B upravo za taj faktor veće u galaktičkim kozmičkim zrakama. Izbor za život bitnih elemenata u tragovima ovisio je o koncentracijama tih elemenata kada je život nastajao. Život nije uzeo ovisnost o elementu kojega ima malo u okolišu (vidi K-Rb problem) pa zato, teško da je na Zemlji mogao izabrati B za osiguranje termičke i kemijske stabilnosti membrana. Postoji samo jedna mogućnost: rezonantno ponašanje koncentracionog faktora u funkciji intenziteta magnetskog polja. Mjerenje funkcionalne ovisnosti koncentracijskog faktora (omjera koncentracija u okolišu prema koncentraciji u organizmu) o intenzitetu magnetskog polja u području nekoliko nano-T do nekoliko mikro-T može pomoći u utvrđivanju svojstava okoliša u kojem je nastao život. U ovom će radu biti prikazani uređaj i preliminarni rezultati predloženog eksperimenta.

Nanostrukturiranje površina i 2D materijala koristeći snopove brzih teških iona: osnove i primjene

Marko Karlušić¹, Stjepko Fazinić¹, Zdravko Siketić¹, Maja Buljan¹, Kristina Tomić¹, Lukas Madauss², Lara Broeckers², Branko Šantić¹, Ivančica Bogdanović Radović¹, Milko Jakšić¹, Sigrid Bernstorff³, Marika Schleberger²

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

²*Fakultat für Physik and CENIDE, Universität Duisburg-Essen, D-47048 Duisburg, Germany*

³*Elettra-Sincrotrone Trieste, SS 14 km 163.5, 34149 Basovizza, Italy*

Zbog svoje velike kinetičke energije, brzi teški ioni mogu pravocrtno prodrijeti duboko u materijal. Ovo njihovo svojstvo je posebno pogodno za nanostrukturiranje površina [1-5] i 2D materijala [6,7] kada se zračenje vrši pod malim kutom u odnosu na površinu, čime se postiže veliki prijenos energije iona na određenu površinu. Uz kratak pregled dosadašnjih postignuća, u ovom doprinosu predstaviti će se i novi eksperimentalni rezultati nanostrukturiranja površina materijala koji su otporni na ionsko zračenje (MgO, Al₂O₃, MgAl₂O₄), te koncept grafen-polimer kompozitne nanomembrane proizvedene pomoću zračenja brzim teškim ionima i naknadnog jetkanja [6-8].

- [1] M. Karlušić, S. Akcöltekin, O. Osmani, I. Monnet, H. Lebius, M. Jakšić, M. Schleberger, Energy threshold for the creation of nanodots on SrTiO₃ by swift heavy ions, *New J. Phys.* 12 (2010) 043009.
- [2] M. Karlušić, R. Kozubek, H. Lebius, B. Ban-d'Etat, R.A. Wilhelm, M. Buljan, Z. Siketić, F. Scholz, T. Meisch, M. Jakšić, S. Bernstorff, M. Schleberger, B. Šantić, Response of GaN to energetic ion irradiation: conditions for ion track formation, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 48 (2015) 325304.
- [3] M. Karlušić, S. Bernstorff, Z. Siketić, B. Šantić, I. Bogdanović-Radović, M. Jakšić, M. Schleberger, M. Buljan, Formation of swift heavy ion tracks on rutile TiO₂ (001) surface, *J. Appl. Cryst.* 49 (2016) 1704.
- [4] M. Karlušić, C. Ghica, R.F. Negrea, Z. Siketić, M. Jakšić, M. Schleberger, S. Fazinić, On the threshold for ion track formation in CaF₂, *New J. Phys.* 19 (2017) 023023
- [5] M. Karlušić, M. Jakšić, H. Lebius, B. Ban-d'Etat, R.A. Wilhelm, R. Heller, M. Schleberger, Swift heavy ion track formation in SrTiO₃ and TiO₂, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 50 (2017) 205302
- [6] O. Ochedowski, O. Lehtinen, U. Kaiser, A. Turchanin, B. Ban-d'Etat, H. Lebius, M. Karlušić, M. Jakšić, and M. Schleberger, Nanostructuring Graphene by Dense Electronic Excitation, *Nanotechnology* 26 (2015) 465302.
- [7] H. Vázquez, E. H. Ahlgren, O. Ochedowski, A. A. Leino, R. Mirzayev, R. Kozubek, H. Lebius, M. Karlušić, M. Jakšić, A. V. Krashenninnikov, J. Kotakoski, M. Schleberger, K. Nordlund, and F. Djurabekova, Creating nanoporous graphene with swift heavy ions, *Carbon* 114 (2017) 511.
- [8] L. Madauss, J. Schumacher, M. Ghosh, O. Ochedowski, J. Meyer, H. Lebius, B. Ban d'Etat, M.E. Tomil-Molares, C. Trautmann, R. Lammertink, M. Ulbricht, M. Schleberger, Fabrication of Nanoporous Graphene/Polymer Composite Membranes, *Nanoscale* (2017) DOI: 10.1039/C7NR02755A

Istraživanje SeCuO_3 nuklearnom magnetskom rezonancijom

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

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

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

Niskodimenzionalni kvantni magnetizam je važna grana istraživanja u fizici čvrstog stanja. Materijali niskodimenzionalne magnetske strukture često imaju bogate fazne dijagrame kao posljedicu kvantnih fluktuacija te nude izvršnu platformu za testiranje teorijskih predviđanja. Spinski klasteri, poznati i kao kvazi-oD magneti, posjeduju jednostavne unutarklasterske interakcije koje se mogu dobro teoretski opisati i eksperimentalno potvrditi. Posebno je važna međuigra unutar i vanklasterskih interakcija koje vode do 3D uređenja koje je nezaobilazno u eksperimentu.

SeCuO_3 [1] predstavlja spinski klaster u kojem magnetizam proizlazi zbog jednog elektrona u posljednjoj $d_{x^2-y^2}$ orbitali. Dva neekvivalentna položaja bakra, Cu1 i Cu2 interagiraju preko superizmjene i tvore spinski klaster (tetramer) od četiri linearno poredana spina: Cu2 - Cu1 - Cu1 - Cu2. Parametri interakcije za Cu1 - Cu1 vezu i za Cu1 - Cu2 vezu imaju vrijednosti $J_{11} = 225$ K i $J_{12} = 160$ K.[2] Ispod $T_N = 8$ K SeCuO_3 se uređuje u 3D antiferomagnet. Širok temperaturni raspon 8 – 200 K niskodimenzionalne fizike je idealan za proučavanje kvantnih interakcija. Nekoliko eksperimentalnih tehnika su korištene da bi se razjasnio magnetizam u ovom spoju [2,3,4] budući da samo tetramerske interakcije nisu dovoljne za opis sustava iznad temperature uređenog stanja, već je očito da važnu ulogu imaju vantetramerske interakcije.

Metoda nuklearne magnetske rezonancije na jezgri bakra pruža direktan uvid u statičko i dinamičko ponašanje spina stoga je to nezaobilazna metoda u razjašnjavanju magnetskih interakcija i dinamike. Napravljen je rotacijski spektar te je uspoređen sa simulacijama kako bi se odredili nepoznati NMR parametri. Knightov pomak i spin-rešetka relaksacija su potom mjereni što nam daje direktan uvid u spinsku statiku i dinamiku.

Rezultati pokazuju nastanak spinskog singleta centralnih spinova u tetrameru (Cu1-Cu1) na temperaturama ispod J_{11} interakcije, te upućuju na potrebu razmatranja interklasterskih interakcija koji su odgovorni za ponašanje sustava na nižim temperaturama.

[1] H. Effenberger, Z. Kristallogr. **175**, 61 (1986)

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

[3] M. Herak *et al.*, Phys. Rev. B **89**, 184411 (2014)

[4] S. Lee *et al.*, Phys. Rev. B **95**, 054405 (2017)

Valovi gustoće naboja inducirani magnetskim poljem u HiTC materijalima

Danko Radić¹, Aleksa Bjeliš¹, Anatoly Kadigrobov²

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

²Ruhr Universitaet, Bochum, Germany

Brojni eksperimenti ukazali su posljednjih godina na čestu prisutnost uređenja s valovima gustoće naboja (CDW) u faznim dijagramima visokotemperaturnih (HiTC) kupratnih supravodiča. Kratkodosežni CDW s malim korelacijskim duljinama unutar i okomito na CuO_2 slojeve javlja se u takozvanom režimu pseudoprocijepa, na temperaturama većim od kritičnih temperatura za supravodljivost (SC), u istim područjima dopiranja tih slojeva šupljinama u kojima je i ona prisutna. U vanjskim magnetskim poljima okomitim na CuO_2 slojeve i dovoljno jakim ($>30\text{T}$) da eliminiraju SC uređenje, dolazi do nove stabilizacije uređenja CDW-a, koja ovaj puta pokazuje dugodosežne odlike, sa znatno većim korelacijskim duljinama. Unatoč brojnim istraživačkim doprinosima, pitanje mehanizma odgovornog za pojavu kratkodosežnog CDW-a na višim temperaturama još uvijek je u velikoj mjeri otvoreno, što je dio šireg izazova razumijevanja stabilizacije CDW-a u 2D sustavima sa zanemarivim mogućnostima ugnježnjenja dijelova Fermijeve površine.

Ovaj rad ograničava se na CDW u magnetskom polju. Predlaže se općeniti mehanizam njihove stabilizacije koji se u punoj mjeri može primijeniti i na konkretne realizacije Fermijevih površina u kupratima. U tom smislu ARPES mjerenja ukazuju na Fermijevu površinu s djelomično otvorenim procijepom tj. na egzistenciju dijelova Fermijeve površine ("Fermi arcs") na nodalnom dijelu i (pseudo)procijepa na antinodalnom. S druge strane, magneto-transportna mjerenja kvantnih oscilacija indiciraju postojanje malih zatvorenih džepova na Fermijevoj površini (3% izvorne). Strukturna mjerenja X-zrakama pokazuju pak valni vektor CDW uređenja takvog smjera i iznosa da povezuje krajeve Fermijevih lukova, ili džepova, duž kristalografskih smjerova a^* ili b^* . Snažno magnetsko polje kvantizira te džepove mehanizmom Landauove kvantizacije. Poznato je da Landauova kvantizacija, ovisno o popunjenosti Landauovih nivoa, u prosjeku podiže energiju elektronskog kondenzata. Uvođenjem periodičkog potencijala CDW-a, s valnim vektorom koji zatvorene džepove nosioca u recipročnom prostoru dovodi u dodir, otvara se energijski procijep Δ i Fermijeva površina podliježe rekonstrukciji. Nova Fermijeva površina otvorenog je tipa i nosioci su delokalizirani. Njihova energija sada je jednaka energiji elektrona u odsustvu magnetskog polja i Landauove kvantizacije, dakle prosječno se smanjuje. S druge strane, totalnu energiju sustava podiže tzv. "elastična energija" uspostavljanja CDW-a proporcionalna Δ^2 . Uz to, otvaranjem procijepa aktivira se i tuneliranje elektrona magnetskim probojem koji ih dodatno lokalizira i netrivialno ovisi o Δ . Izračun suptilnog balansa ova tri učinka indicira uspostavljanje CDW-a, ili pojačanje već postojećeg, u rangu eksperimentalno opaženih parametara.

Svojstva osnovnog stanja $\text{Cs}_2\text{Cu}_3\text{SnF}_{12}$

Mihael S. Grbić¹, Hikaru Takeda², Hidekazu Tanaka³, Mladen Horvatić⁴,
Masashi Takigawa²

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

²Institute for Solid State Physics, University of Tokyo, Kashiwa, Chiba 277-8581, Japan

³Department of Physics, Tokyo Institute of Technology, Tokijo, Japan

⁴Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses, LNCMI-CNRS (UPR3228), UJF,
UPS, and INSA, Grenoble, Francuska

Kagome spoj $\text{Cs}_2\text{Cu}_3\text{SnF}_{12}$ (CCSF) je sestrińska struktura spoja $\text{Rb}_2\text{Cu}_3\text{SnF}_{12}$ (RCSF) u kojem najbliži spinovi bakra upareni u singlete tvore karakteristični uzorak vjetrenjače. Pritom, singletni energijski procjep u nultom magnetskom polju iznosi 27 K, a u magnetskom polju se smanji do minimalnih 13 K [1]. Unatoč zadržavanju iste kristalne strukture, zamjena rubidija za cezij drastično promijeni osnovno stanje spoja CCSF i ono postane dugodosežni antiferomagnet. Naslućuje se da je ovako značajna promjena osnovnog stanja uzrokovana promjenom jakosti Dzyaloshinskii-Moriya (DM) interakcije među spinovima, na koju je supstitucija iona najviše utjecala [2]. Dapače, takvo ponašanje je u skladu s teorijskim očekivanjima koji predlažu postojanje kvantnog kritičnog prijelaza za određenu vrijednost DM vektora.

Proučili smo spoj CCSF i njegovo osnovno stanja metodom nuklearne kvadrupolne rezonancije (NQR), promatrajući ponašanje NQR signala ^{63,65}Cu jezgri u paramagnetskom režimu i u uređenoj magnetskoj fazi. Na temperaturi od 187 K dolazi do strukturalnog prijelaza (kao i kod RCSF) i u NQR-u se jasno vidi pojavljivanje dvaju bakrenih pozicija. Njihove vrijednosti su karakterizirane modelom točkastih naboja, koji jako dobro reproducira izmjerene podatke. U uređenoj fazi je uočena pojava NMR signala, tj. cijepanja linija i njihovo ponašanje je modelirano s predviđenim teorijskim magnetskim uređenjem. Iz izmjerene temperaturne ovisnosti određeno je ponašanje magnetskog parametra uređenja.

Pored toga, promatrano je ponašanje osnovnog stanja i pod utjecajem tlaka do 6 GPa. NQR mjerenja pokazuju da tlak značajno pojačava strukturalni prijelaz, ali i da je pritom magnetizam potisnut.

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

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

Istraživanje faznih pretvorbi rendgenskom difrakcijom

Stanko Popović¹, Željko Skoko²

¹*Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb*

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

Agregatno stanje tvari mijenja se pri promjeni termodinamičkih i kinetičkih uvjeta. Posebno, kristalna struktura / mikrostruktura niza tvari mijenja se pri promjeni temperature i/ili tlaka. Takve pojave nazivamo faznim pretvorbama. Brzina/kinetika fazne pretvorbe ovisi o nizu faktora; npr. pretvorba koja se osniva na nukleaciji kristalne klice je spora, a fazna pretvorba koju uzrokuju mali pomaci atoma je brza. Tijekom fazne pretvorbe mijenjaju se fizička svojstva elementa / kemijskoga spoja. S obzirom na promjene termodinamičkih veličina definira se fazna pretvorba prvoga reda (koja uključuje latentnu toplinu; diskontinuitet prve derivacije slobodne energije po temperaturi/tlaku; primjer: nagla promjena obujma strukturnoga motiva kristala) i fazna pretvorba drugoga reda (kontinuirana; diskontinuitet druge derivacije slobodne energije po temperaturi/tlaku; primjer: prijelaz feromagnetik–paramagnetik). Promjenom termodinamičkih i drugih uvjeta nastaju različite fazne pretvorbe u čvrstome stanju: alotropska, polimorfna, rekonstrukcijska, bezdifuzna, eutektoidna, peritektička, spinodna, Peierlsova, prijelaz red–nered, pretvorba pomakom atoma, feromagnetska– paramagnetska... Istraživanjem faznih pretvorbi u zadanom sustavu određuje se njegov fazni dijagram koji je od iznimne važnosti za primjenu sustava u tehnologiji. Rendgenska difrakcija je najvažnija tehnika za istraživanje faznih pretvorbi u čvrstome stanju, uz prateću elektronsku mikroskopiju, termičku analizu i ostale tehnike. U priopćenju navode se primjeri vlastitih istraživanja faznih pretvorbi nekoliko sustava: indijev selenid (četiri fazne pretvorbe od niskih temperatura do tališta); slitine Al-Zn (precipitacijski procesi u prezasićenim čvrstim otopinama priređenim brzim kaljenjem s visoke temperature, fazne pretvorbe pri promjeni temperature, ovisnost mikrostrukture o termodinamičkoj povijesti sustava); titanov dioksid (postepena pretvorba anataza u rutil, ovisna o mehaničkoj povijesti sustava); prijelaz petrolkoka (neuređena slojevita struktura) u grafit (3D uređenost); termoodskočni kristali (iznimno velika promjena obujma strukturnoga motiva pri faznoj pretvorbi); biominerali (primjer: *Ostrea edulis*, kontinuirani prijelaz kalcit–aragonit–kalcit tijekom životnih stadija organizma).

Magnetotransportna svojstva predopiranih manganita $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$: povijesno i vremensko ovisni fenomeni

Emil Tafra¹, Matija Čulo², Mario Basletić¹, Branimir Mihaljević¹, Silvia Tomić², Amir Hamzić¹, Bojana Korin-Hamzić²

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

²Institut za fiziku, Zagreb, Hrvatska

$\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ pripada obitelji manganovih oksida, preciznije manganita, s općenitom kemijskom formulom $R_{1-x}A_x\text{MnO}_3$, gdje je R element rijetke zemlje, a A alkalni, zemnoalkalni metal ili Pb. Ovi spojevi se istražuju još od 1950. [1], ali postaju posebno interesantni 1994., zbog otkrića kolosalnog magnetootpora (CMR) [2]. Osim toga, manganiti imaju vrlo bogate fazne dijagrame, s mnogim zanimljivim fenomenima [3]. Istraživani spoj $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ ima tri najvažnija (i najveća) dijela faznog dijagrama: paramagnetsko (PM) izolatorsko stanje na visokom temperaturama, feromagnetsko (FM) metalno stanje za $0.2 < x < 0.5$ (koje je povezano s CMR) i antiferomagnetsko (AFM) izolatorsko stanje, popraćeno uređenjem naboja (CO) za $0.5 < x < 0.87$. Danas se vjeruje da u nekim dijelovima faznog dijagrama može doći do koegzistencije faza, posebno u blizini granice faza. Najzanimljivija je granica između FM metalnog stanja i AFM/CO izolatorskog stanja na $x = 0.5$. Nedavno [4] smo objavili naše rezultate istraživanja magnetotransportnih svojstva tankih filmova manganita $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$, za $x = 0.52, 0.58$ i 0.75 . Za koncentracije $x = 0.52$ i 0.58 , opazili smo pojavu CMR (karakterističnu za $x < 0.5$), a koju smo pripisali postojanju FM klastera u AFM/CO izolatorskom stanju. Efekt je najizraženiji za $x = 0.52$, gdje dolazi do prijelaza u metalno stanje pod utjecajem magnetskog polja. Inače, ovisnost otpornosti o temperaturi bez primjene magnetskog polja, za sve tri koncentracije i na nižim temperaturama ($T < T_{\text{CO}}$), slijedi režim trodimenzionalnog (3D) Mottovog preskoka promjenjivog dosega (VRH) [4]. Objavljeni rezultati su prošireni mjerenjima do nižih temperatura i jačih magnetskih polja, a također smo obuhvatili još različitih koncentracija, pri čemu su opažene i neke nove pojave: velike razlike između otpornih krivulja mjerenih u magnetskom polju, u slučajevima kad je uzorak hlađen u magnetskom polju (FC) i bez magnetskog polja (ZFC). Osim toga otporne krivulje pokazuju značajne efekte ovisne o povijesti mjerenja i neobične vremenske relaksacije.

Uzorke su proizveli F. Fischgrabe i V. Moshnyaga, s 1. Physikalisches Institut, Georg-August-Universität Göttingen, Njemačka.

[1] G. H. Jonker, J. H. Van Santen, *Physica* **16** (1950) 337

[2] S. Jin, T. H. Tiefel, M. McCormack, R. A. Fastnacht, R. Ramesh, L. H. Chen, *Science* **264** (1994) 413

[3] E. Dagotto, T. Hotta, A. Moreo, *Phys Rep.* **344** (2001) 1

[4] M. Čulo, M. Basletić, E. Tafra, A. Hamzić, S. Tomić, F. Fischgrabe, V. Moshnyaga, B. Korin-Hamzić, *Thin Solid Films* **631** (2017) 205

Utjecaj hidrostatskog tlaka na stabilnost skirmiona u Cu_2OSeO_3

Ivana Levatić¹, Petar Popčević^{1,2}, Vinko Šurija¹, A Kruchkov³, Helmuth Berger⁴, Arnaud Magrez⁴, Jonathan S. White⁵, Henrik M. Ronnow³, Ivica Živković^{1,3}

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

²*Institute of Solid State Physics, TU Wien, A-1040, Beč, Austrija*

³*Laboratory for Quantum Magnetism, EPFL, CH-1015, Lausanne, Švicarska*

⁴*Crytal Growth Facility, EPFL, CH-1015, Lausanne, Švicarska*

⁵*Laboratory for Neutron Scattering and Imaging, Paul Scherrer Institut, CH-5232 Villingen, Švicarska*

Termodinamički stabilne magnetske skirmione moguće je pronaći u malim dijelovima faznih dijagrama masivnih uzoraka kao što su vodljive B20 slitine i izolator Cu_2OSeO_3 . Budući da skirmionski džep zauzima tek oko 3% širine uređenog dijela faznog dijagrama u svim istraženim kubičnim kiralnim spojevima, njihova primjena u spintroničkim uređajima znatno je otežana. Obecavajuća metoda za nadvladavanje ovog ograničenja jest primjenom hidrostatskog tlaka. Predstavljamo ekstenzivnu studiju ovisnosti faznog dijagrama Cu_2OSeO_3 u okolici skirmionske faze o primjenjenom tlaku. Već i na najmanjem primjenjenom hidrostatskom tlaku ($p = 0.17$ GPa), površina skirmionskog džepa udvostručila se u odnosu na slučaj bez primjenjenog tlaka. Džep je mjerenjima ac susceptibilnosti identificiran kao skirmionska faza i površina mu se nastavlja povećavati s primjenom većih tlakova te se on prostire do gotovo 30 K na najvišem primjenjenom tlaku ($p = 2.3$ GPa). Za modeliranje veličine skirmionskog džepa korišten je prošireni Ginzburg-Landauov pristup te je anizotropija identificirana kao važan faktor u stabilizaciji skirmionske rešetke na temperaturama daleko od temperature uređenja.

[1] Levatić, I. et al. Dramatic pressure-driven enhancement of bulk skyrmion stability. *Sci. Rep.* **6**, 21347; doi: 10.1038/srep21347 (2016)

Metal-izolatorski prijelaz u α -(BEDT-TTF)₂I₃: značajke faznog prijelaza prvog i drugog reda

Matija Čulo¹, Tomislav Ivek¹, Mario Basletić², Eduard Tutiš¹, Marko Kuveždić², Branimir Mihaljević², Emil Tafra², Silvia Tomić¹, Bojana Korin-Hamzić¹

¹Institut za fiziku, Bijenička cesta 46, 10 000 Zagreb, Hrvatska

²Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Bijenička cesta 32, 10 000 Zagreb, Hrvatska

α -(BEDT-TTF)₂I₃, gdje BEDT-TTF označava organsku molekulu bis-(ethylenedithio)-tetrathiafulvalene, pokazuje mnoštvo intrigantnih fenomena kao što su metal-izolatorski prijelaz, uređenje naboja, elektronska feroelektričnost, nekonvencionalna supravodljivost, Diracovi fermioni itd. Prema faznom dijagramu α -(BEDT-TTF)₂I₃ pri atmosferskom tlaku na 135 K prelazi iz polumetalnog u stanje uređenja naboja (CO) što je popraćeno otvaranjem energijskog procjepa u nabojnom i spinskom sektoru. Mnoge fizikalne veličine doživljavaju skok na 135 K, a mjerenja specifične topline [1] pokazuju divergenciju toplinskog kapaciteta te postojanje latentne topline što je snažna indikacija faznog prijelaza prvog reda. S druge strane, intenzitet drugog harmonika u optičkim mjerenjima [2] i energijski procjep određen iz magnetske susceptibilnosti [3] ispod 135 K slijede slično temperaturno ponašanje kao i parametar uređenja u BCS teoriji što bi pak upućivalo na fazni prijelaz drugog reda. Ovakvi kontradiktorni zaključci ukazuju na potrebu dodatnih eksperimentalnih i teorijskih rezultata ne bi li se riješila očito vrlo kompleksna priroda CO faznog prijelaza u α -(BEDT-TTF)₂I₃.

Ovdje ćemo prikazati naše rezultate mjerenja dc otpornosti [4] na monokristalima α -(BEDT-TTF)₂I₃ visoke kvalitete duž sva tri kristalografska smjera u temperaturnom području 30-300 K koji pokazuju odlike i faznog prijelaza prvog i faznog prijelaza drugog reda. Naime, otpornost duž sva tri smjera na 135 K pokazuje skok od oko tri reda veličine, a daljnjim snižavanjem temperature se jasno može prepoznati doprinos aktivacijskog ponašanja s odgovarajućim energijskim procjepom koji slijedi sličnu temperaturnu ovisnost kao i parametar uređenja u BCS teoriji. Dobivene rezultate ćemo diskutirati u odnosu na druge eksperimentalne činjenice i u svjetlu najnovijih DFT računa [5].

[1] Fortune et al, Solid State Commun. **77** (1991) 265

[2] Yamamoto et al, J. Phys. Soc. Jpn. **77** (2008) 074709

[3] Rothaemel et al, Phys. Rev. B **34** (1986) 704

[4] T. Ivek, M. Čulo, M. Kuveždić, E. Tutiš, M. Basletić, B. Mihaljević, E. Tafra, S. Tomić, A. Löhle, M. Dressel, D. Schweitzer, and B. Korin-Hamzić, poslano u Phys. Rev. B

[5] Alemany et al, Phys. Rev. B **85** (2012) 195118

Van der Waals epitaksija jednoslojnog MoS_2

Borna Pielic¹, Joshua Hall², Thomas Michely², Marko Kralj¹

¹Institut za fiziku, Zagreb

²II. Physikalisches Institut, Köln

Otkrićem grafena porastao je interes znanstvene zajednice za istraživanjem dvodimenzionalnih (2D) van der Waalsovih (vdW) materijala. Posebnu klasu vdW materijala čine dihalogenidi prijelaznih metala (TMD), a 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 sa silicijem, ovi materijali imaju mogućnost primjene u tranzistorima s efektom polja. Štoviše, s prijelazom iz volumnog oblika na jednosloj dolazi do drastične modifikacije njihove elektronske strukture, pri čemu indirektni zabranjeni pojas prelazi u direktan, što ih čini pogodnim za primjenu u optoelektronici. U bogata svojstva njihovih elektronskih struktura ubraja se i spin-orbit cijepanje energetskih nivoa, koje nastaje uslijed loma inverzne simetrije kristala, a otvara vrata prema primjeni u spintronici i elektronici vrpčanih dolina. Ukoliko se lateralne dimenzije jednosloja MoS_2 smanjuju prema nanometarskim, sve izraženiji su efekti kvantnog zatočenja elektrona. Kvantne točke MoS_2 imaju brojne primjene, među kojima i u vodikovoj evolucijskoj reakciji (HER), bio-oslikavanju, sensorima, fotodetektorima, fotokatalizatorima, kao i katalizatorima za desulfurizaciju fosilnih goriva.

Kao podlogu za rast naših jednosloja MoS_2 , koristili smo dobro poznati sistem epitaksijalnog grafena na površini $Ir(111)$, a sinteza se odvijala u uvjetima ultra visokog vakuuma (UHV), gdje smo kao metodu sinteze koristili molekularnu epitaksiju snopom (MBE). Razvili smo jedinstvenu proceduru sinteze pri kojoj parcijalni tlakovi sumpora ne izlaze iz UHV režima te uspjeti dobiti uzorke vrlo visoke čistoće i kvalitete. Neznatnim modifikacijama u proceduri sinteze u stanju smo sintetizirati i druge TMD materijale, kao npr. WS_2 ili TaS_2 , koji je metalnog karaktera. Sistematskom kontrolom parametara sinteze, uspjeti smo dobiti jednoslojne otoke (kvantne točke) MoS_2 , njihovo sraštavanje u puni sloj te dvoslojne otoke. Karakterizacija uzoraka provedena je skenirajućom tunelirajućom mikroskopijom (STM) te difrakcijom elektronima niske energije (LEED). Epitaksijalni grafen na $Ir(111)$ ovdje ima ulogu vdW podloge koja znatno ublažava interakciju MoS_2 sa iridijem te uvodi tek neznatnu perturbaciju koja se demonstrira kao preslikavanje Moiré efekta, koji nastaje zbog nekomenzurabilnosti rešetke $Ir(111)$ i grafena. Iako je MoS_2 u pravilu poluvodič, moguće je, ovisno o sintezi, dobiti bogatu raspodjelu faza kao posljedicu konačnih dimenzija otoka i strukture linijskih defekata. Tako se uz istovremeno postojanje poluvodičke faze, na rubovima MoS_2 otoka javlja metalna, a na granicama domena pojavljuju se jednodimenzionalni valovi gustoće naboja (CDW).

Ge-metal jezgra-ljuska nanočestice u matrici od alumine: struktura, sastav i apsorpcija

Lovro Basioli¹, Nikolina Nekić¹, Jordi Sacho Parramon¹, Sigrid Bernstorff²,
Stjepko Fazinić¹, Mile Ivanda¹, Maja Buljan¹

¹*Institut Ruđer Bošković*

²*Eletra Sincrotrone, Trieste*

Istraživale su se germanijeve nanočestice (kvantne točke) s metalnim ljuskama (aluminij, tantal ili titan) u amorfnoj matrici od alumine (Al_2O_3). Proizvedeni su filmovi sa samouređenom superrešetkom nanočestica pomoću magnetronskog rasprašenja na 300°C . Deponirani su uzorci s različitim vrstama i količinama metala u ljusci te su mjereni metodama: "Elastic recoil detection" (ERDA), transmisijaska elektronska mikroskopija (TEM), raspršenje X-zraka pod malim kutem uz mali upadni kut (GISAXS), "X-ray absorption near edge structure" (XANES), Ramanova spektroskopija te elipsometrija. Prisutnost metalne ljuske debele samo par atoma pokazala se dovoljna da se drastično smanji oksidacija germanija, ali se pojavio miješani sloj Ge-metal ili Ge-metal-O u nanočesticama. Tako su veće količine metala uzrokovale gubitak čistog germanija, a također i gubitak samouređenja. Nadalje, ove metalne ljuske mijenjaju energiju vrha u apsorpciji duž relevantnog dijela sunčevog spektra radi čega su ovakvi materijali obećavajući za izradu raznih fotovoltaičnih uređaja.

Ultrabrza dinamika i njena kontrola u pseudo Jahn-Teller sustavu $(\text{NbSe}_4)_3\text{I}$

Damir Dominko¹, Vladimir Grigorev², Viktor Kabanov³, Jure Demsar²

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

²*Institut za fiziku, Sveučilište u Mainzu, 55099 Mainz*

³*Institut Jožef Stefan, SI-1000, Ljubljana*

$(\text{NbSe}_4)_3\text{I}$ je jednodimenzionalan poluvodič u kojem izolator-izolator pseudo Jahn-Teller prijelaz na 274 K [1, 2] uzrokuje lom centra inverzije i pojavu novih Raman aktivnih modova [2-4]. Pri tome pomaci Nb^{5+} iona u smjeru lanca uzrokuju uređenje koje je feroelektrično unutar lanaca i antiferoelektrično između lanaca. XRD, dielektrična, Raman i vremenski razlučiva spektroskopija pokazale su da je iznad 160 K dugodosežno uređenje potisnuto fluktuacijama, dok ispod 160 K [4] postoji dugodosežno antiferoelektrično uređenje.

U sklopu ultrabrze vremenski razlučive pumpno-probne (P-p) spektroskopije smo pobudom ultrakratkim laserskim pulsevima (60 fs) pokušali netermalno uništiti parametar uređenja, što je već uočeno u sistemima sa valom gustoće naboja (VGN) [5]. Gustoćom P pobude iznad 0.3 mJ/cm^2 uočeni su pomaci frekvencije glavnog mekog fononskog moda (12 cm^{-1}) do 25 % u crveno i brzi povratak u početno stanje na vremenskoj skali od reda 10 ps. Za pulseve dovoljno jake da zagriju uzorak iznad faznog prijelaza, svi meki modovi su i dalje Raman aktivni, što upućuje na ekstremno spor oporavak centra inverzije.

Kako bismo pratili vremensku evoluciju glavnog moda (stanja sistema) na vremenskoj skali duljoj od vremena njenog gušenja, koristili smo sekvence od tri pulsa [6]: uzorak je pobuđivan jakim D-pulsevima, te nakon vremena $t_{1,2}$ snimljen je tranzijent regularnim (slabim) dvo pulsni P-p sekvencama. Rezultati pokazuju periodičku modulaciju mekog moda u amplitudi i fazi s $t_{1,2}$. Pri ekscitacijama D-pulsom od 2 mJ/cm^2 modulacija je potpuna. Iako je slično ponašanje primjećeno i u VGN materijalima, opisani efekt u ovom sistemu nije moguće objasniti već poznatim mehanizmima [6].

[1] P. Gressier et. al, Mat. Res. Bull., 20 (1985) 539-548

[2] T. Sekine and M. Izumi, Phys. Rev. B, 38 (1988) 3

[3] D. Dvoršek et. al, Phys. Rev. B, 74 (2006) 085211

[4] D. Dominko et. al, Phys. Rev. B, 94 (2016) 104113

[5] A. Tomeljsek et. al, Phys. Rev. Lett., 102 (2009) 066404

[6] R. Yusupov et. al, Nat. Phys, 6 (2010) 681-684

Znanstveni izazovi u toplinskom transportu i termoelektričnim materijalima

Petar Popčević¹, Ante Bilušić², Marija Zorić³, Ana Smontara¹

¹*Institut za fiziku, Zagreb*

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

³*Tekstilno tehnološki fakultet, Zagreb*

U radu bit će razmatrana otvorena pitanja u termoelektričnim materijalima, od mehanizama fononskih raspršenja, do novih materijala i njihovog termoelektričnog ponašanja.

Europski integrirani centar za razvoj novih metalnih slitina i spojeva – C-MAC

Ante Bilušić¹, Petar Popčević², Ana Smontara²

¹*Prirodoslovno matematički fakultet u Splitu, Ruđera Boškovića 33, Split*

²*Institut za fiziku, Bijenička 46, Zagreb*

Europski integrirani centar za razvoj novih metalnih slitina i spojeva - C-MAC[1] je izrastao iz Europske mreže izvrsnosti kompleksnih metalnih spojeva (European Network of Excellence Complex Metallic Alloys, NoE CMA), u sklopu kojega se provode svjetski relevantna eksperimentalna i teorijska znanstvena istraživanja iz područja znanosti o materijalima. Centar okuplja dvadeset i jedno sveučilište odnosno istraživački institut s ukupno 25 laboratorija te jednu tvrtku iz trinaest europskih zemalja. U radu Centra sudjeluje ukupno oko 220 znanstvenika, od čega je njih oko 130 sa stalnim pozicijama, oko 50 poslijedoktoranada te oko 40 doktoranada. Partneri Centra imaju pristup vrhunskim eksperimentalnim resursima za istraživanja novih materijala: postavima za pripremu monokristalnih uzoraka visoke kvalitete, instalacijama za sinkrotronsku i neutronske difrakcije, elektronskoj mikroskopiji visokog razlučivanja, uređajima za difrakciju X-zraka, za nuklearnu magnetsku rezonanciju, karakterizaciju površina te električnih, toplinskih, magnetskih i mehaničkih svojstava na visokim i niskim temperaturama.

Jedna od aktivnosti Centra je Euroškola – ljetna škola za mlade znanstvenike, poslijedoktorande, doktorande te studente završnih godina diplomskog studija iz područja znanosti o materijalima. Nakon Ljubljane (od 2006. do 2010.), Toulousea (2011.), Dresdena (2012.), Bayroutha (2013.), Liverpoola (2014.), Bratislave (2015.) i Antwerpena (2016.), ovogodišnja je Euroškola održana u Splitu[2] koju ćemo ukratko predstaviti.

Hrvatski član Centra je Institut za fiziku iz Zagreba, a sudjelovanje u njegovom radu može biti od koristi i drugim hrvatskim institucijama te širokom spektru hrvatskih znanstvenika.

[1] URL: <http://www.eucmac.eu/>

[2] URL: <http://euroschoo2017.ifs.hr/>; <https://twitter.com/Euroschoo2017>

Enhancing the Electronic Properties of Copper Oxide Solar Cells

Aleksandar Živković¹, Alberto Roldan¹, Nora de Leeuw¹

¹*Cardiff University, School of Chemistry, Main Building Park Pl, Cardiff CF10 3AT, Wales, UK*

The expanding solar technology market has raised interest in exploring p-type semiconductors like cuprous oxide (Cu_2O) and cupric oxide (CuO). As a consequence, there is a need for acquiring knowledge about electronic and optical properties of such materials [1]. Both Cu_2O and CuO are promising materials for large-scale photovoltaic applications because of their suitable band gaps, respectively 2.17 eV and 1.30 eV. Apart from their almost ideal sunlight absorption potential, abundance and low extraction cost play a very important role in making copper oxides very attractive [2]. Also, theory predicts a maximum conversion efficiency of 20% for Cu_2O and 31% for CuO , while the highest currently experimental achieved efficiency falls far behind those values [3]. Our project focuses on using *ab initio* plane-wave pseudo-potential density functional theory to test how the process of doping can affect the electronic and optical properties of copper oxides. We produced a single model that is able to reproduce the aforementioned properties for both copper oxides. The absorption and reflectance curves have been calculated and compared directly with experimental data, and the dipole transition matrix has been evaluated in order to characterize band-to-band transitions. This allows a more comprehensive determination of properties that are crucial for the improvement of copper oxide based solar cells, in comparison to previous results.

[1] Heinemann, M., Eifert, B., Heiliger, C., *Band structure and phase stability of the copper oxides Cu_2O , CuO , and Cu_4O_3* , Physical Review B **87**, 115111 (2013).

[2] Peng, Y., Zhang, Z., Pham, T., Zhao, Y., Wu, P., Wang, J., *Density functional theory analysis of dopants in cupric oxide*, Journal of Applied Physics **111**, 103708 (2012).

[3] Zhong-Qian, J., Gang, Y., Xin-You, A., Ya-Jun, F., Lin-Hong, C., Wei-Dong, W., Xue-Min, W., *Electronic and optical properties of Au-doped Cu_2O : A first principle investigation*, Chin. Phys. B **23**, 5 (2014) 057104.

Teorijski opis sila koje razdvajaju kromosome u staničnoj diobi

Agneza Bosilj¹, Kruno Vukušić², Renata Buđa², Ana Milas², Iva Tolić², Nenad Pavin¹

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

²Zavod za molekularnu biologiju, Institut Ruđer Bošković, Bijenička cesta 54, 10000 Zagreb, Hrvatska

Tijekom stanične diobe, sile potrebne za razdvajanje kromosoma generiraju kinetohorna vlakna, tj. snopovi mikrotubula koji se protežu iz nasuprotnih polova diobenog vretena te su vezani za kromosome. Osim kinetohornih vlakana uočeno je postojanje prenosnih mikrotubula koji se protežu između sestrinskih kromatida te tako premošćuju sestrinska kinetohorna vlakna i uravnotežuju silu tenzije između sestrinskih kromatida [1]. Međutim, teorijski opis sila koje uzrokuju razdvajanje kromosoma u staničnoj diobi još uvijek ne postoji. Uveli smo teorijski model koji uključuje motorne proteine koji povezuju antiparalelne konfiguracije mikrotubula te pasivne proteine koji povezuju paralelne mikrotubule. Rezultati našeg modela pokazuju da motorni proteini generiraju sile koje razmiču antiparalelne prenosne mikrotubule te posljedično razmiču i sestrinska kinetohorna vlakna te na taj način omogućuju razdvajanje kromosoma. Taj smo zaključak provjerili eksperimentima laserskog rezanja i) kinetohornih vlakana blizu polova diobenog vretena te ii) prenosnih mikrotubula. Naši rezultati pokazuju da su sile koje nastaju u antiparalelnim preklapima dovoljne za razdvajanje kromosoma.

[1] Kajtez J., Solomantina A., Novak M., Polak B., Vukušić K., Rudiger J., Cojoc G., Milas A., Šumanovac Šestak I., Risteski P., Tavano F., Klemm A.H., Roscioli E., Welburn J., Cimini D., Glunčić M., Pavin N., Tolić I.M. (2016) Overlap microtubules link sister k-fibres and balance the forces on bi-oriented kinetochores. *Nat. Commun.* DOI: 10.1038/ncomms10298

Molekulska dinamika antimikrobnih peptida

Larisa Zoranić¹, Yogesh Sonavane¹

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

Istraživanje bioloških procesa nameće interdisciplinarni pristup, te usporedbu rezultata različitih metoda i tehnika mjerenja. Značajan je doprinos metode molekulske dinamike, iako ograničen modelima polja sila i dostupnom prostornom-vremenskom skalom.

U ovom radu predstaviti ćemo rezultate simulacija molekulske dinamike međudjelovanja antimikrobnih peptida s modelnim biološkim membranama [1]. Naime, gorući globalni zdravstveni problem je sve veća otpornost bakterijskih sojeva na standardne antibiotike, te antimikrobni peptidi, s nespecifičnim mehanizmom djelovanja su moguća alternativa.

Za dizajn novih antimikrobnih peptida, koji bi imali dobro antibiotsko djelovanje, ključno svojstvo jest selektivnost, visoka aktivnost prema bakterijskim stanicama i smanjena toksičnost prema eukariotima. Ovaj uvjet nije lako ispuniti, te je u kliničkoj upotrebi, samo tzv. 'last resort' antibiotik, peptid colistin.

Selektivnost može biti definirana svojstvima peptida, ali i svojstvima membrane. Na primjeru, novo dizajniranih antimikrobnih peptida nazvanih Kiadini, opisat će se fizikalno-kemijska svojstva peptida koji promiču bolju aktivnost. Predstaviti će se rezultati simulacija djelovanja maculatina 1.1 i modela membrana za eukariotske i bakterijske stanice te opisati kako svojstva lipida koji grade membranu utječu na selektivnost i aktivnost peptida. Napraviti će se poveznice simulacijskih rezultata s mjerenjima strukture, te biološkim i biofizikalnim mjerenjima aktivnosti i citotoksičnosti.

[1] T. Rončević, et al. PGLa-H tandem-repeat peptides active against multidrug resistant clinical bacterial isolates. *BBA Biomembranes*, **1859** (2) (2017) 228-237

Pivotiranje mikrotubula i nakupljanje motornih proteina pokreće formiranje diobenog vretena

Ivana Ban¹, 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, Zavod za molekularnu biologiju, Zagreb*

Tijekom stanične diobe, genetski material se dijeli u dva jednaka dijela pomoću diobenog vretena. Diobeno vreteno je visokoorganizirana struktura koja je sastavljena od kromosoma, mikrotubula te motornih proteina. U kvascu *Schizosaccharomyces pombe*, diobeno vreteno čine svežnjevi mikrotubula [1] koji imaju suprotne orijentacije i protežu se iz dva suprotna pola diobenog vretena, a za čije je formiranje nužno djelovanje motornih proteina. Pitanje na koje odgovaramo je koji su fizikalni principi formiranja diobenog vretena. U ovom radu kombiniramo teoriju i eksperiment kako bismo istražili proces formiranja diobenog vretena. Naš model uključuje nasumično pivotiranje, kutno gibanje mikrotubula oko polova diobenog vretena, uzrokovano termalnim fluktuacijama [2] i usmjerene sile kojima motorni proteini djeluju na mikrotubule [3]. Teorijski smo pronašli da pivotiranje omogućuje mikrotubulima da dođu blizu jedan drugom, nakon čega slijedi nakupljanje motornih proteina na mjestu preklopa mikrotubula. Sile koje generiraju motorni proteini zakreću mikrotubule prema antiparalelnom uređenju koje čini diobeno vreteno. Također smo eksperimentalno opazili da formiranju diobenog vretena prethodi pivotiranje mikrotubula te nakupljanje motornih proteina na području preklopa. Dobiveni rezultati objašnjavaju kako kutno Brownovo gibanje i motorni proteini omogućuju formiranje stabilnog diobenog vretena.

[1] Prelogović, M. et al. Pivot-and-bond model explains microtubule bundle formation. *bioRxiv* doi:10.1101/157719

[2] Kalinina, I. et al. Pivoting of microtubules around the spindle pole accelerates kinetochore capture. *Nature cell biology* 15, 82-87 (2013).

[3] Fu, C. et al. Phospho-regulated interaction between kinesin-6 Klp9p and microtubule bundler Ase1p promotes spindle elongation. *Dev Cell* 17(2): 257-67 (2009).

Kvantni Hallov efekt s Wilczekovim nabijenim cijevima magnetskog toka

Marija Todorić¹, Dario Jukić², Danko Radić¹, Marin Soljačić³, Hrvoje Buljan¹

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

²*Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, A. Kačića Miošića 26, 10000 Zagreb, Hrvatska*

³*Department of Physics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts 02139, USA*

Kompoziti formirani od nabijenih čestica i cijevi magnetskog toka, koje je prvi predložio Frank Wilczek, jedan su model za anyone - čestice koje slijede frakcionalnu statistiku. Mi predlažemo realizaciju takvih entiteta postavljanjem dvodimenzionalnog elektronskog sustava u magnetskom polju između dvaju polubeskonačnih blokova magnetskog materijala s velikom permeabilnošću i brzim vremenskim odgovorom. Potencijal slike elektronskog magnetskog momenta stvara efektivnu cijev magnetskog toka u ovom sustavu. Kad smo zanemarili Coulombove interakcije, izračunali smo Hallovu vodljivost koristeći mnogočestičnu valnu funkciju za anyone u ovom sustavu. Potpis nabijenih cijevi magnetskog toka jest blagi pomak platoa Hallove vodljivosti u cjelobrojnom kvantnom Hallovu efektu.

[1] M. Todorić, D. Jukić, D. Radić, M. Soljačić, H. Buljan, The Quantum Hall Effect with Wilczek's charged magnetic flux tubes instead of electrons, in preparation

Ultra rijetke kapljice dvokomponentne mješavine bozona

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

¹*Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Splitu, 21 000 Split, Hrvatska*

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

Izložiti ćemo svojstva ultra rijetkih kapljica sastavljenih od dvije vrste bozona s odbojnim interakcijama između iste vrste atoma, a privlačnim između različite. Rezultati za $T = 0\text{K}$ dobiveni su metodom difuzijskog kvantnog Monte Carla. U ovisnosti o broju atoma predviđamo kritičnu jakost privlačne interakcije potrebnu da se formira samovezana kapljica. Energije i ravnotežne gustoće su u skladu sa simulacijama Bose-Bose fluida. Kapljice pokazuju neuniverzalne osobine i značajno odstupanje od teorije srednjeg polja [1].

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

Raspodjela kvazimomenata i ekspanzija anyonskog plina

Tena Dubček¹, Bruno Klajn¹, Robert Pezer², Hrvoje Buljan¹, Dario Jukić³

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

²*Metalurški fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Aleja narodnih heroja 3, 44103 Sisak*

³*Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, A. Kačića Miošića 26, 10000 Zagreb*

Ističemo kako raspodjela momenata nije observabla za sustav anyona u dvije dimenzije. Ako promatramo anyone kao Wilczekove kompozite naboja i toka, to je posljedica činjenice da ortogonalne komponente operatora kinetičkog impulsa ne komutiraju u koordinati magnetskog toka, te zbog toga ne mogu biti dijagonalizirane u istoj bazi. Kao zamjenu za raspodjelu momenata anyonskog (prostorno lokaliziranog) stanja, predlažemo korištenje asimptotске jednočestične gustoće nakon slobodne ekspanzije anyona iz tog stanja. Ova definicija je identična standardnoj kada se statistički parametar približava bozonima ili fermionima. Pokazujemo egzaktne primjere dinamike u ekspanziji koji podupiru naš prijedlog, kao i observable koje se mogu koristiti za mjerenje anyonske statistike.

Duboko učenje i unitarne neuronske mreže

Tena Dubček¹, Li Jing², Yichen Shen², John Peurifoy², Scott Skirlo², Yann LeCun³, Max Tegmark², Marin Soljačić²

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

²Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, SAD

³New York University, Facebook AI Research. SAD

Neuronske mreže i duboko učenje [1] posljednjih su godina u potpunosti promijenili svijet umjetne inteligencije, a i šire. Računalni modeli velikog broja slojeva, u kombinaciji s novom arhitekturom procesorskih jedinica (*GPU*) i nepresušnim bazama podataka, omogućili su ovim mrežama prevlast u obavljanju zadataka koji su donedavno pripisivani isključivo čovjeku: prepoznavanje lica, prevođenje, itd. Ipak, zbog vrtoglavo brzo rastuće popularnosti, preostaje puno prostora za napredak, što u samoj arhitekturi dubokih neuronskih mreža, što u načinu i svrsi njihove primjene.

U svojem izlaganju ukratko ću uvesti u ovo područje. Zatim ću predstaviti rad [2] u kojem se, pristupom građenim u području fizike, predlaže nova unitarna parametrizacija dubokih neuronskih mreža, te time dolazi do rješenja jednog od bitnih otvorenih problema u dosadašnjim arhitekturama. Na poslijetku ću se dotaknuti i pitanja općenitog odnosa fizičara i ovog novog propulzivnog područja.

[1] Y. LeCun, Y. Bengio, i G. Hinton, *Deep learning*, *Nature* **521**, 436 (2015).

[2] L. Jing, Y. Shen, T. Dubček, J. Peurifoy, S. Skirlo, Y. LeCun, M. Tegmark, i M. Soljačić, *Tunable Efficient Unitary Neural Networks and their application to RNNs*, arXiv:1612.05231 (2017).

Jednodimenzionalni bozonski sustavi simulirani PIMC-om

Krešimir Dželalija¹, Frane Lunić¹, Leandra Vranješ Markić¹

¹*Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet*

Predstavljena su svojstva jednodimenzionalnih bozonskih sustava, jednokomponentnih i mješavina, određena metodom Monte Carlo integrala po stazama.

Procijenjena je suprafluidnost, jednočestična matrica gustoće i korelacijska funkcija para za homogeni slučaj bez vanjskog potencijala, s nečistoćom te s vanjskim potencijalom u obliku periodične i kvaziperiodične rešetke. Svojstva su procijenjena za različite gustoće i temperature te uspoređena s teorijskim predviđanjima za Luttingerovu tekućinu.

Jednopoljene efektivne akcije i viši spinovi

Loriano Bonora¹, Maro Cvitan², Predrag Dominis Prester³, Stefano Giaccari²,
Bruno Lima de Souza¹, Tamara Štemberga²

¹*International School for Advanced Studies (SISSA), Via Bonomea 265, 34136 Trieste, Italy, and
INFN, Sezione di Trieste*

²*Department of Physics, Faculty of Science, University of Zagreb, Bijenička 32, 10000 Zagreb,
Croatia*

³*Department of Physics, University of Rijeka, Radmile Matejčić 2, 51000 Rijeka, Croatia*

Istražuje se ideja da jednopoljena efektivna akcija slobodne masivne teorije polja vezane na vanjske izvore sadrži informaciju o klasičnoj dinamici izvora. Računaju se amplitude s dvije točke te je stoga jednopoljena efektivna akcija kvadratična, dok su jednadžbe gibanja linearne u vanjskom polju. Ilustrira se nekoliko primjera slobodne teorije polja (skalarna i fermionska) vezane na bozonske više spinove putem sačuvanih struja. Dobiveni rezultati uspoređuju se s Lagrangianima iz literature.

[1] L. Bonora, M. Cvitan, P. Dominis Prester, S. Giaccari, B. Lima de Souza and T. Štemberga, *One-loop effective actions and higher spins*, JHEP **1612** (2016) 084 doi:10.1007/JHEP12(2016)084 [arXiv:1609.02088 [hep-th]]

[2] L. Bonora, M. Cvitan, P. Dominis Prester, B. Lima de Souza and I. Smolić, *Massive fermion model in 3d and higher spin currents*, JHEP **1605** (2016) 072 doi:10.1007/JHEP05(2016)072 [arXiv:1602.07178 [hep-th]]

Sažeci postera

Izabrana svojstva ($TiZrNbCu$)_{1-x}Ni_x metalnih stakala

Ignacio Figueroa¹, Ramir Ristić², Ahmed Kuršumović³, Katica Biljaković⁴,
Damir Staresinić⁴, Damir Pajić⁵, György Remenyi⁶, Krešo Zadroz⁵, Emil
Babić⁵

¹*Institute for Materials Research-UNAM, Ciudad Universitaria Coyoacan, C.P. 04510, Mexico
D.F., Mexico*

²*Department of Physics, University of Osijek, Trg Ljudevita Gaja 6, HR-31000 Osijek*

³*Department of Materials Science and Metallurgy, University of Cambridge, UK*

⁴*Institute of Physics, Bijenička cesta 46, P.O.Box 304, HR-10 001, Zagreb, Croatia*

⁵*Department of Physics, Faculty of Science, Bijenička cesta 32, HR-10002, Zagreb*

⁶*Institut Neel, Universite Grenoble Alpes, F-38042, Grenoble, France*

Dosadašnje istraživanje elektronske strukture ($TiZrNbCu$)_{1-x}Ni_x (x ≤ 0.25) amorfnih visokoentropijskih slitina (a-HEA [1]) prošireno je do x=0.5 s namjerom da usporedimo ponašanje a-HEA i standardnih metalnih stakala (MG) s Ni. Uzorci su bile trakice oko 20 μm tanke, a amorfno stanje je provjereno termičkom analizom i difrakcijom X-zraka (XRD). XRD dijagrame upotrijebili smo za izračunavanje udaljenosti najbližih susjeda i lokalnog uređenja [1,2]. Točniju kompoziciju i distribuciju komponenata izučavali smo sa skenirajućim elektronskim mikroskopom (SEM) s dodatkom za energijski disperzivnu spektroskopiju (EDS). Ovdje istražujemo termičke parametre (temperature staklastog prijelaza T_g , temperature prve kristalizacije T_x , temperature taljenja T_m i temperature tekućeg stanja T_l), niskotemperaturni specifični toplinski kapacitet (LTSH [1]), magnetsku susceptibilnost χ_{exp} i Youngove module E . E smo mjerili za svježe napravljene i relaksirane trake (nakon kratkog aniliranja blizu T_g), a sva ostala svojstva mjerili smo samo na svježe napravljenim uzorcima. LTSH pokazuje da elektronska gustoća stanja na Fermijevom nivou $N(E_F)$ opada s povećanjem x, dok Debye-eva temperatura θ_D raste s x [1]. Slično ponašanje uočili smo u binarnim i ternarnim MG [2,3] između ranih prijelaznih (TE) i kasnih prijelaznih metala (TL) koje pokazuje da je $N(E_F)$ pretežno određena s TE d-elektronima. θ_D , E , T_x i T_l rastu s x pokazujući jačanje međuatomskih veza dodavanjem Ni (slično kao u binarnim TE-Ni MG [2,4]). Međutim T_x i T_l teže zasićenju za x ≥ 0.25 pa se čini da opisuju promjenu u lokalnoj strukturi oko x=0.25 koja slijedi iz analize XRD dijagrama. Uobičajeni parametri pridruženi sposobnosti ostakljivanja (GFA) pokazuju malu promjenu s x, no nema stvarne promjene u GFA kada idemo od a-HEA prema standardnim MG u promatranim sustavima. Kako smo i očekivali [1], pravilo smjese ne daje dobar opis za mnoga svojstva naših slitina.

[1] K. Biljaković et al, J. Alloys Compd. **895** (2017) 2661

[2] R. Ristić et al, J. Alloys Compd. **621** (2015) 136

[3] R. Ristić et al, Solid State Commun. **151** (2011) 1014

[4] R. Ristić, M. Stubičar, E. Babić, Phil. Mag. **87** (2007) 5629

Oscilacijske matrice modela na rešetki i hipermersennovih nizova

Katarina Rožman¹, Ivica Martinjak¹

¹*Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu*

Isingov model feromagnetizma jedan je od najpoznatijih egzaktno rješivih modela u statističkoj fizici. Bazira se na d -dimenzionalnoj rešetki magnetskih momenata, gdje je moment u točki i reprezentiran varijablom $\sigma = \pm 1$ (spin gore ili dolje). Prema modelu, energija ovisi o dva faktora: interakciji među spinovima i djelovanju vanjskog magnetskog polja. Dobro je poznato da je model egzaktno riješen za jednu i dvije dimenzije dok su otvorena pitanja za više dimenzije. Nedavno je dokazano da matrica koju formiraju korelacijske funkcije spinova ima svojstvo *potpune pozitivnosti* [1]. Ta fascinantna činjenica motivacija je za ovaj rad. Matrica M je potpuno pozitivna (ne-negativna) ako je svaka njena minora pozitivan (ne-negativan) realan broj. Teorija o potpunoj pozitivnosti je bogata i taj koncept je prisutan u više područja matematike i fizike uključujući grozdaste algebre, teoriju grafova i mehaniku [2]. Matrica je *oscilacijska* ako je potpuno nenegativna, dok su određene njene potencije potpuno pozitivne matrice.

U ovom radu prikazujemo novu klasu oscilacijskih matrica. Uvodimo pojam *hipermersennovih matrica*, čiji su elementi parcijalne sume Mersennovih brojeva. Hipermersennov niz brojeva r -te generacije $(M_n^{(r)})_{n \geq 0}$ definiramo na način $M_n^{(r)} = \sum_{k=0}^n M_k^{(r-1)}$, $M_n^{(0)} = M_n$, $M_0^{(r)} = 0$, gdje je M_n n -ti Mersennov broj. Dokazujemo više relacija za pojedine hipermersennove nizove kao i identitete u punoj općenitosti. Nadalje, izvodimo eksplicitnu formulu za determinantu hipermersennove matrice n -tog reda. Postavljamo hipotezu o potpunoj pozitivnosti hipermersennovih matrica i za matrice reda 3 dokazujemo tvrdnju.

[1] Marcin L., The Planar Ising Model and Total Positivity, J. Stat. Phys 166, (2017), 72-89

[2] Fomin S., Zelevinsky A.: Total Positivity: Tests and Parametrizations, Math. Intelligencer 22(1), (2000), 23-33

Kutne korelacije identificiranih parova hadrona pomoću ALICE detektora na LHC sudarivaču

Filip Erhardt¹, Marko Jerčić¹, Mirko Planinić¹, Nikola Poljak¹, Goran Simatović¹, Antonija Utrobičić¹

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

Proučavanje korelacija čestica u visokoenergetskim sudarima teških iona daje vrijedne informacije o kvantnokromodinamičkim procesima koji vode do proizvodnje čestica. Ovo se istraživanje bavi eksperimentalnim proučavanjem kutnih ($\Delta\eta\Delta\phi$) dvo-hadronskih korelacija prisutnih u proton-proton (pp) i proton-olovo (p-Pb) sudarima koristeći ALICE detektor na LHC-u. Jedna specifična struktura u korelacijama, tzv. “ridge” (greben), nastaje međudjelovanjima u kvarkovsko-gluonskoj plazmi (QGP) formiranoj nakon sudara te bi se mogla koristiti kao jedan pokazatelj postojanja QGP. Od varijabli koje opisuju svojstva korelacija, multiplicitet i sfericitet se koriste kao alat za uklanjanje velike pozadine koja proizlazi od mlazova čime se pojašnjava i naglašava prisutnost ridge strukture.

[1] ALICE Collaboration, Long-range angular correlations on the near and away side in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02\text{ TeV}$, *Physics Letters B* 719 (2013) 29–41

[2] CMS Collaboration, Measurement of Long-Range Near-Side Two-Particle Angular Correlations in pp Collisions at $\sqrt{s} = 13\text{ TeV}$, *Phys. Rev. Lett* 116 (2016) 172302

Istraživanje asteroida primjenom neuronskih mreža

Tomislav Smolčić¹, Goranka Bilalbegović¹, Dustin Ingram²

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

²*PromptWorks, Philadelphia, Pennsylvania*

Poznato je više od 750 000 asteroida i stalno se otkrivaju novi. Procjenjuje se da se samo između Marsa i Jupitera giba između 1.1 i 1.9 milijuna asteroida čiji je promjer veći od jednog kilometra i na milijune manjih. LSST (*Large Synoptic Survey Telescope*) koji će početi s radom 2022. godine, će povećati broj poznatih asteroida na oko 5 milijuna. Pri istraživanju asteroida dolazi se do vrlo velike količine podataka koji se moraju analizirati računalnim metodama. Zbog toga je razvoj metoda strojnog učenja vrlo značajan za ovo područje.

U ovom radu istražujemo primjenu metoda dubokog učenja za detekciju asteroida u Sloanovom digitalnom pregledu neba (*Sloan Digital Sky Survey*, SDSS). Koristimo programski jezik Python i njegove pakete za numerički rad te programsku biblioteku za strojno učenje TensorFlow. Istražujemo optimalnu strukturu neuronske mreže.

Utjecaj raspršenja svjetlosti na oblik funkcije razmazivanja točke

Katarina Itrić¹, Damir Modrić¹

¹*Grafički fakultet Sveučilište u Zagrebu*

Svaki proces otiskivanja, od laserskih pisača do rotogravure, pokazuje efekt prirasta rastertonske vrijednosti te je odavno prepoznat kao jedan od najkritičnijih faktora asociran s kvalitetom tiska. Prirast rastertonske vrijednosti se sastoji od dviju komponenti, mehaničkog prirasta, koji je direktna posljedica tehnike tiska, te kemijskih i fizikalnih svojstava bojila i podloge, i optičkog prirasta, tzv. Yule-Nielsenovog efekta, koji je uzrokovan lateralnim raspršenjem svjetlosti u podlozi. Jedna od funkcija koja nam može dati informacije upravo o stupnju lateralnog raspršenja svjetlosti je funkcija razmazivanja točke (FRT). Naime, dokazano je da je za optički prirast rastertonske vrijednosti odgovoran gubitak optičke koherencije. U radu smo predložili novu eksperimentalnu metodu za određivanje optičke komponente funkcije razmazivanja točke papirne podloge proučavajući interakciju kolimirane svjetlosti i neotisnute papirne podloge pri čemu je korišten He-Ne laser valene duljine 632,8 nm. Dobivena funkcija razmazivanja točke je pokazala bolje slaganje s Lorentzovom funkcijom dobivenom Monte Carlo simulacijom za identičnu valnu duljinu upadne svjetlosti u usporedbi s Gaussovom, koja se uobičajeno koristi u opisu funkcije razmazivanja točke. Nakon određivanja oblika optičke FRT-e, snimljeni su i analizirani FT-IR spektri uzoraka s ciljem utvrđivanja korelacije između zastupljenosti kemijske i/ili mehaničke pulpe i oblika optičke FRT-e.

3D Diracov polumetal Cd_3As_2 - Sinteza i transportna mjerenja

Filip Orbanić¹, Mario Novak¹, Nikola Biliškov², Ivan Kokanović¹

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

²Institut Ruđer Bošković, Zagreb

3D Diracove polumetale karakterizira postojanje dodirnih točaka između valentne i vodljive vrpce (Diracove točke) oko kojih postoji linearna disperzija vrpce u sva tri smjera u k-prostoru (3D analogni grafena) [1]. Zbog netrivialne topologije energijskih vrpce i postojanja Diracovih točaka ti materijali posjeduju vrlo zanimljiva transportna svojstva (velika mobilnost, linearni magnetootpor, kvantne oscilacije i druga) [2,3]. Cd_3As_2 je, u zadnje vrijeme, intenzivno istraživani 3D Diracov polumetal. U ovom radu prikazan je proces sinteze monokristalnih uzoraka Cd_3As_2 dobivenih modificiranom metodom kristalizacije iz plinovite faze. Na monokristalnim uzorcima napravljena su transportna mjerenja u magnetskom polju do 16 T. Pokazano je da Cd_3As_2 posjeduje veliki linearni magnetootpor (povećanje otpora na 16 T za dva reda veličine) te su uočene kvantne oscilacije (Subnikov de Haas oscilacije) u magnetootporu iz kojih su određeni parametri Fermijeve površine u Diracovom polumetalu Cd_3As_2 .

[1] A. A. Burkov, Nat. Mat. **15** (2016) 1145.

[2] J. Feng et al, Phys. Rev. B **92** (2015) 081306.

[3] J. Hu et al, Sci. Rep. **6** (2016) 18674.

[4] P, J. W. Moll et al, Nat. **535** (2016) 266

Periodičnosti višega reda u NBPF genima u kromosomu 1 čovjeka i neandertalca – sličnosti i različitosti u DUF1220 proteinskim domenama

Ines Vlahović¹, Matko Glunčić¹, Marija Rosandić², Ivica Martinjak², Vladimir Paar²

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

²Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, 10000 Zagreb, Hrvatska

S dostupnošću DNK sekvence genoma neandertalca, imamo priliku identificirati periodičnosti višeg reda i razlike na molekularnom nivou u nama bliskoj vrsti. Mi proučavamo periodičnosti višeg reda tzv. HOR-ove (ponavljanja tandema - uzorka nizova nukleotidnih baza u DNK u tzv. "tail to head" stilu) pomoću računalne metode „Global Repeat Map“ – GRM¹ razvijene u našoj grupi. U ovom radu prikazat ćemo sličnosti i razlike između HOR-ova identificiranih u NBPF obitelji gena, čije aberacije mogu utjecati na razvoj neurodegenerativnih bolesti kao što su šizofrenija, autizam, mikrocefaleja i makrocefaleja². Ti identificirani HOR-ovi zasnovani na tandemu duljine 1540 bp (monomer) tvore HOR strukture 4770 bp. Dobivene divergencije konsenzusnih HOR struktura u NBPF genima između čovjeka i neandertalca je 3.92%, dok su divergencije istih tipova monomera u čovjeka od 0.92. do 2.61% te u neandertalca od 2.32 do 8.49%. Uzimajući prefiks i sufiks dijelove DNK sekvence duljine 2000 bp od NBPF gena u čovjekovom prvom kromosomu, odredili smo četiri odgovarajuća NBPF gena u neandertalca za koje smo uspoređivali sekvence DUF1220 proteinskih domena. Pomoću Blastx – algoritam za pretragu proteinske baze podataka pomoću translahirane nukleotidne sekvence kao upita, odredili smo divergencije između proteinskog dijela sekvence. Ustanovili smo da pojedini tip monomera pripada pojedinom tipu DUF1220 domena (HLS1-HLS3 - human lineage specific) te da glavnina razlika između ljudskih i neandertalskih DUF1220 domena, amino kiselina, se nalazi u trećem tipu (HLS3) 6.24%, dok je na razini nukleotidne sekvence ta divergencija za sva tri tipa monomera prosječno oko 2.73% (bez ljudskih monomera iz niza NBPF10). Ukupan broj DUF1220 domena, bez ne podudarajućih nizova HOR-ova, čovjek ih ima 135 (bez niza NBPF19), a neandertalac 149 te prema², možemo zaključiti da se skoro sve ljudske DUF1220 domene nalaze u nizovima HOR-ova te da za sparane NBPF nizove, neandertalac ima veći broj tih domena što bi moglo upućivati na odgovor na pitanje zašto je neandertalac imao veću glavu u odnosu na čovjeka, prema prethodnim istraživanjima o mikrocefaleji i makrocefaleji² tj. da one mogu voditi do pojedinih fenotipskih razlika.

[1] Matko Glunčić, Vladimir Paar. Direct mapping of symbolic DNA sequence into frequency domain in global repeat map algorithm. *Nucleic Acids Research*, Vol.41, NO.1, doi:10.1093/nar/gks721. (2013).

[2] Majesta O’Bleness et.al. 2014. Finished sequence and assembly of the DUF1220-rich 1q21 region using a haploid human genome. *BMC Genomics* 387.

Supravodljivost u slitinama visoke entropije

$(\text{TiZrNbCu})_{1-x}\text{Ni}_x$

Marko Kuveždić¹, Emil Tafra¹, Mario Basletić¹, Ramir Ristić², Ignacio A. Figueroa³, Emil Babić¹

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

²Odjel za fiziku, Sveučilište u Osijeku, Osijek, Hrvatska

³Institute for Materials Research-UNAM, Ciudad Universitaria Coyoacan, Mexico

Većina konvencionalnih slitina sastoji se od jednog, ili u rijetkim slučajevima dva, osnovna metala kojima se dodaju male količine drugih metala i/ili nemetala kako bi se poboljšala njihova svojstva. U posljednjih nekoliko godina veliku pažnju pak privlači novi tip slitina, tzv. slitine visoke entropije (eng. *High-entropy alloys* - HEA). Ove slitine su građene od velikog broja (≥ 5) elemenata u približno ekvimolarnom omjeru [1,2]. Ovakva građa otvara potencijal za istraživanje velikog broja novih slitina raznih struktura i svojstava [3].

Nedavno su objavljeni rezultati [4] opsežnih istraživanja četiri $(\text{TiZrNbCu})_{1-x}\text{Ni}_x$ ($x \leq 0.25$) amorfnih slitina visoke entropije (a-HEA). Pokazano je njihovo amorfno stanje rendgenskom difrakcijom, a proučena su površinska morfologija, sastav i distribucija komponenti, temperatura tališta, nisko-temperaturna specifična toplina, magnetska susceptibilnost i Youngov modul.

U ovom radu predstavljamo prvo sistematsko istraživanje supravodljivosti u amorfnim slitinama visoke entropije $(\text{TiZrNbCu})_{1-x}\text{Ni}_x$ ($x \leq 0.5$). Mjerena je ovisnost otpornosti o temperaturi od sobne temperature do 300 mK i u magnetskim poljima do 16 T. Svi mjereni uzorci pokazuju porast otpora padom temperature te postaju supravodljivi s $T_c = 1.57$ K za $x = 0.125$ do $T_c = 0.52$ K za $x = 0.5$. Osim toga, odredili smo i ovisnost gornjeg kritičnog magnetskog polja H_{c2} o temperaturi za sve uzorke, koji se pri najnižim temperaturama kreće od $H_{c2} = 2.5$ T za $x = 0.125$ do $H_{c2} = 0.4$ T za $x = 0.5$. Iz $(dH_{c2}/dT)_{T_c}$ i otpornosti, odredili smo "pojačanu" elektronsku gustoću stanja $N_\gamma(E_F)$ za sve proučavane slitine.

[1] J.-W. Yeh, S.-K. Chen, S.-J. Lin, J.-Y. Gan, T.-S. Chin, T.-T. Shun, C.-H. Tsau, S.-Y. Chang, *Adv. Eng. Mater.* **6** (2004) 299

[2] B. Cantor, I. T. H. Chang, P. Knight, A. J. B. Vincent, *Mat. Sci. Eng. A* **375-377** (2004) 213

[3] E. J. Pickering, N. G. Jones, *Inter. Mater. Rev.* **61** (2016) 183

[4] K. Biljaković, G. Remenyi, I. A. Figueroa, R. Ristić, D. Pajić, A. Kuršumović, D. Starešinić, K. Zadro, E. Babić, *J. Alloys Compd.* **695** (2017) 2661

Perspektive fizikalnih istraživanja u okolišnim i geološkim studijama u hrvatskom kršu

Dalibor Paar¹, Nenad Buzjak², Stanislav Frančišković-Bilinski³, Vanja Radolić⁴, Franci Gabrovšek⁵

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

²Geografski odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu

³Institut Ruđer Bošković, Zagreb

⁴Odjel za fiziku, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku

⁵Inštitut za raziskovanje krasa, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Postojna, Slovenija

Razvoj eksperimentalnih tehnika u fizici i manje cijene uređaja, odnosno analiza, omogućuju širu primjenu u različitim područjima prirodnih znanosti. Razumijevanje aktualnih klimatskih i geoloških procesa te paleoklime i paleoprocesa, čini okosnicu današnjih geoznanstvenih istraživanja. Perspektivne lokacije na kojima su mogu izvoditi ta istraživanja su špilje i jame. Špiljski sedimenti, posebice siga, dragocjene su arhive paleo- i recentnih klimatskih promjena jer imaju dugačke intervale nastanka i široku geografsku rasprostranjenost. U njima su pohranjene informacije u obliku elemenata, odnosno izotopa koji su ugrađeni u kalcitnu strukturu siga. Oni su direktno i indirektno vezani na klimatske, geomorfološke i hidrogeološke uvjete u trenutku taloženja.

U dubokim jamama Sjevernog Velebita proučavamo mikroklimu, radon, ugljikov dioksid, led i vodu u svrhu razumijevanja prirodnih procesa koji se danas odvijaju u njima te procesa koji su se odvijali milijunima godina na površini Zemlje i na dubinama i preko 1000 m. Špiljski sedimenti imaju, pored dobro definiranih uvjeta nastanka vezanih uz razumijevanje speleogeneze i utjecaja klimatskih uvjeta na površini, izuzetno dobru očuvanost i stabilne uvjete nastanka. Površinski sedimenti izloženi su različitim procesima (denudacija, bioturbacija i dr.) što otežava analizu i povezivanje s uvjetima nastanka.

Brojne su perspektive primjene različitih fizikalnih metoda u okolišnim i geološkim studijama siga i drugih špiljskih sedimenata, od strukturnih analitičkih tehnika do NMR čvrstog stanja. Hrvatski krš je većinom dio Dinarskog krša, najvećeg krškog područja u Europi s brojnim prirodnim fenomenima. Njegova posebnost je što su na relativno malom području različite klimatske, geološke, geomorfološke i pedološke zone i procesi koji utječu na speleogenezu te posebice na rast i sastav siga. Naša istraživanja orijentirana su na različitosti u svojstvima siga između različitih lokacija koje mogu biti metoda utvrđivanja obilježivača pogodnih za proučavanje paleoklimatskih i drugih okolišnih procesa. Koncentracija pojedinih elemenata ili izotopa može, na vremenskoj skali, ovisiti o temperaturi, količini oborina, površinskom ekosustavu i tlu u trenutku taloženja. Dio ovih aktivnosti vezan uz NMR čvrstog stanja potpomognut je projektom IP-11-2013-2729 LOMEDY.

[1] D. Paar, S. Frančišković-Bilinski, N. Buzjak et al, J. Geochem. Explor. 167 (2016) 20-37.

Nelinearna vodljivost odabranih DCNQI organskih vodiča

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

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

²Institut za fiziku, Zagreb, Hrvatska

Još od 1987. mnogo istraživanja posvećeno je proučavanju familije organskih vodiča (R_1 , R_2 -DCNQI)₂M (gdje je DCNQI skraćenica od dicijanokuinonediimina, M je anorganski kation poput Ag, Li, Cu itd., a $R_1, R_2 = CH_3, CH_3O, Cl, Br$ itd.) [1]. Fizikalna svojstva ove familije spojeva moguće je kontrolirati raznim vanjskim parametrima poput tlaka, magnetskog polja i temperature, ali i unutarnjim parametrima poput dopiranja ili supstitucije izotopa [1-3]. Na primjer, poznato je da sistem gdje je $M=Cu$ te $R_1=R_2=CH_3$ pokazuje metalno ponašanje u cijelom rasponu temperatura od sobne pa do najnižih temperatura, dok u istom sistemu primjenom relativno malog tlaka ili nakon djelomičnog deuteriranja, na nižim temperaturama dolazi do naglog metalno-izolatorskog prijelaza (Mott-Peierlsovog prijelaza) u stanje vala gustoće naboja (CDW), gdje točna temperatura prijelaza ovisi o stupnju deuteracije te o primijenjenom tlaku.

Važne informacije o karakteru osnovnog stanja mogu se dobiti proćavanjem nelinearne električne vodljivosti, metode u kojoj se pobuđuju kolektivni modovi (fazoni). Npr. poznati su teorijski rezultati [5] koji predviđaju divergenciju, odnosno konačan porast graničnog električnog polja u CDW odnosno SDW stanju, kako se temperatura približava temperaturi prijelaza. U tu svrhu razvijena je pulsna metoda mjerenja, koja omogućuje primjenu jakog električnog polja u kratkim pulsevima, čime se izbjegava potencijalno zagrijavanje uzorka. Osim toga, naš mjerni postav za mjerenje nelinearne električne vodljivosti dodatno smo unaprijedili uvođenjem diferencijalnog sljedila, uređaja zamišljenog i konstruiranog na Institutu za fiziku, kojim se rješava problem (pre)velike impedancije uzorka u odnosu na mjerne instrumente. U ovom radu bit će prikazana svojstva i mogućnosti našeg eksperimentalnog postava te rezultati mjerenja nelinearnosti na odabranim materijalima DCNQI familije spojeva.

[1] H.P. Werner, J.U. von Schütz, H.C. Wolf, R. Kremer, M. Gehrke, A. Aumuller, P. Erk, S. Hünig, *Solid State Commun.* 65, 809 (1988).

[2] S. Tomić, D. Jerome, A. Aumuller, P. Erk, S. Hünig, J.U. von Schütz, *J. Phys. C* 21, L203 (1988).

[3] R. Kato, H. Sawa, S. Aonuma, M. Tamura, M. Kinoshita, H. Kobayashi, *Solid State Commun.* 85, 831 (1993).

[4] M. Pinterić, T. Vuletić, M. Lončarić, S. Tomić, J.U. von Schütz, *Eur. Phys. J. B* 16, 487–493 (2000).

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

Frekvencijski opseg poluvodičkog spinskog lasera

Martina Vlaho¹, Igor Žutić², Velimir Labinac¹

¹*Odjel za fiziku, Sveučilište u Rijeci*

²*Department of Physics, University at Buffalo*

Rad konvencionalnog poluvodičkog lasera temelji se na efektu kvantne jame. Aktivno područje lasera je poluvodička heterostruktura u kojoj tanki sloj, najčešće GaAs, ima različitu širinu direktnog energijskog procjepa od poluvodiča koji ga okružuju. Na taj način stvara se potencijalna jama s energijskim razninama potrebnim za rad lasera. Spojimo li metalne, feromagnetske elektrode na aktivno područje, ulazna struja elektrona ili šupljina postaje spinski-polarizirana, a njihovom rekombinacijom generira se lijevo ili desno kružno-polarizirana svjetlost [1, 2].

Za opis procesa u aktivnom području lasera koristili smo jednadžbe za vremensku promjenu gustoće elektrona i gustoće fotona (rate equations). Dinamiku šupljina nismo razmatrali jer smo računali s uobičajenom pretpostavkom da je vrijeme relaksacije spina za šupljine veoma malo, približno jednako nuli. Usporedili smo rezultate za konvencionalne i spinske lasere.

Analiza rada lasera u stacionarnom stanju pokazala je da za prag laserske akcije dobivamo ulaznu struju koja je niža za spinske nego za konvencionalne lasere [3]. Navedeni rezultat dobili smo ponajviše zbog pretpostavke da je vrijeme relaksacije spina za elektrone puno veće od vremena rekombinacije elektrona [2].

Dinamičko ponašanje poluvodičkih lasera promatrali smo u režimu malih, harmoničkih signala (ulaznih struja). Računali smo frekvencijski odziv koji je definiran kao iznos omjera promjene gustoće fotona i promjene gustoće ulazne struje, a veoma je sličan frekvencijskom odzivu pogonjenog prigušenog oscilatora. Pomoću frekvencijskog odziva pokazali smo da spinski laseri imaju širi frekvencijski opseg od konvencionalnih lasera [3].

Niži prag laserske akcije i širi frekvencijski opseg pogodna su svojstva za optoelektroničke uređaje. No, iako se teorijsko područje koje pokriva rad spinskih lasera ubrzano razvija, primjene još uvijek dosta zaostaju jer su nužni eksperimenti koji će potvrditi i proširiti teoriju.

[1] Handbook of Spin Transport and Magnetism, edited by E. Y. Tsybal and I. Žutić (Taylor and Francis Group, Boca Raton, 2012).

[2] I. Žutić, J. Fabian, and S. Das Sarma, Spintronics: Fundamentals and applications, Rev. Mod. Phys. 76, 323 (2004).

[3] M. Vlaho, Bandwidth enhancement in spin lasers, diplomski rad, Odjel za fiziku Sveučilište u Rijeci, 2017.

Nove magnetske nanočestice kao pozitivni kontrasti u oslikavanju magnetskom rezonancijom (MRI)

Branka Babić-Stojić¹, Vukoman Jokanović¹, Dušan Milivojević¹, Miroslav Požek², Zvonko Jagličić³, Darko Makovec⁴, Katarina Arsikin⁵, Verica Paunović⁵

¹*Institut nuklearnih nauka Vinča, Univerzitet Beograd, Beograd, Srbija*

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

³*Institut za matematiko, fiziko in mehaniko, Ljubljana, Slovenija*

⁴*Odsek za sintezo materialov, Institut Jožef Stefan, Ljubljana, Slovenija*

⁵*Institut za mikrobiologiju i imunologiju, Medicinski fakultet, Univerzitet Beograd, Beograd, Srbija*

Oslikavanje magnetskom rezonancijom (MRI) danas je jedna od najsnažnijih dijagnostičkih metoda zbog svoje neinvazivne prirode i visokog prostornog razlučivanja. Najveći nedostatak MRI je relativno mala osjetljivost koja rezultira slabim kontrastom između različitih tkiva. Da bi se to nadvladalo, kontrast se pojačava uporabom različitih kontrastnih agenasa (CA) koji mijenjaju karakteristična vremena T_1 i T_2 magnetske relaksacije protona. Pozitivni CA skraćuju više T_1 nego T_2 i time pojačavaju intenzitet signala. Negativni CA skraćuju više T_2 nego T_1 i time doprinose zatamnjenju slike.

U ovom radu prikazujemo istraživanja u svrhu razvoja novih pozitivnih CA temeljenih na vrlo sitnim nanočesticama. Istraživanje obuhvaća cijeli niz, od sinteze magnetskih nanočestica, ispitivanja magnetskih svojstava, određivanja NMR relaksacijskih vremena, ispitivanja toksičnosti, pa sve do in-vivo ispitivanja kontrastnih svojstava za MRI.

[1] B. Babić-Stojić et al., J. Nanoparticle Res. 16, 2663 (2014)

[2] B. Babić-Stojić et al., J. Magn. Magn. Mater. 403, 118 (2016)

Optimalna šumna svojstva prijemnog lanca NMR sustava

Petar Kolar¹, Silvio Hrabar², Mihael S. Grbić¹

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

²Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilište u Zagrebu, HR

Jedna od manje poznatih primjena antene petlje jest u sustavima nuklearne magnetske rezonancije (NMR) u eksperimentalnoj fizici. NMR spektroskopija iskorištava interakciju atomskih jezgara sa svojom okolinom, koristeći jezgre kao veoma osjetljive senzore na atomskoj razini. Sa stajališta antenskog inženjera sustav NMR spektroskopije sastoji se od odašiljačkog i prijemnog lanca, koji su preko dupleksera (tzv. *T/R switcha*) spojeni na istu antenu (kriogenički ohlađena antena petlja na koju je spojena LC prilagodna mreža). Jedan od težih inženjerskih problema u NMR spektroskopiji jest postizanje dobre osjetljivosti prijemnog lanca. Nedavno istraživanje pokazalo je da šumna svojstva prijemnog lanca ne ovise samo o dobrom rezonantnom prilagođenju antene. U navedenom istraživanju analiziran je ukupan faktor šuma prijemnog lanca uz pretpostavku savršenog prilagođenja svih elemenata lanca. Kao glavni zaključak, pokazano je da se osjetljivost prijemnog lanca može znatno poboljšati smanjenjem gubitaka elemenata na početku lanca (*T/R switch*, duplekser i kabel koji spaja antenu i prijemni lanac).

U posljednje vrijeme napravljen je pomak u analizi šumnih svojstava prijemnog lanca i to razvojem numeričkog modela lanca koji omogućuje preciznu procjenu i optimizaciju osjetljivosti sustava. Model se temelji na mjernim rezultatima dobivenima apriornom eksperimentalnom karakterizacijom svih elemenata sustava. Na taj način model u obzir uzima sve nesavršenosti poput neprilagođenja ili nelinearnosti elemenata sustava. Pokazano je da ponekad nije dovoljno koristiti niskošumna, kriogeno ohlađena predpojačala kako bi se popravila šumna svojstva i osjetljivost sustava, nego da ona uvelike ovise i o šumnim svojstvima spektrometra. Da bi se šumna svojstva sustava približila svome optimumu, potrebno je povećati odnos signal-šum na samoj anteni, izraditi ekstremno niskošumno pojačalo velikog pojačanja i ekstremno niskošumni duplekser.

- [1] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, John Wiley and Sons, SAD, 1982.
- [2] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Wiley and Sons, SAD, 2011.
- [3] A. Abragam, *The Principles of Nuclear Magnetism*, Oxford at the Clarendon Press, UK, 1961.
- [4] C. P. Slichter, *Principles of Magnetic Resonance*, Springer-Verlag, Njemačka, 1990.
- [5] E. Fukushima i S. B. W. Roeder, *Experimental Pulse NMR: A Nuts and Bolts Approach*, Addison-Wesley Publishing Company Inc., Kanada, 1981.
- [6] A. Gafner, *Construction of NMR equipment to be used in the Physical Properties Measurement System (PPMS, Quantum Design)*, doktorska disertacija, University of Zurich, Švicarska, srpanj 2000.
- [7] O. Nalcioglu i Z. H. Cho, *Limits to signal-to-noise improvement by FID averaging in NMR imaging*, Phys. Med. Biol., 1984, Vol. 29, No. 8, 969-978, UK
- [8] P. Kolar, S. Hrabar i M. S. Grbić, *Towards Optimal Noise Properties of NMR Antenna-Receiver Chain*, Proceedings on EuCAP 2017, 1057-1059, Francuska, 2017.

Sinteza i karakterizacija topoloških izolatora $BiSbTeSe_2$ i $BiSbTe_2S$

Bruno Gudac¹

¹PMF-Fizički odsjek

Topološki izolatori predstavljaju novo kvantno stanje tvari karakterizirano specijalnim, vodljivim rubnim ili površinskim stanjima. Otvaraju nove kvalitativne aspekte u kvantnoj mehanici. Navedena je motivacija za izbor materijala za karakterizaciju. Prezentirana je sinteza monokristala $BiSbTeSe_2$ i $BiSbTe_2S$ te postupak kako se izdvajaju i pripremaju uzorci za karakterizaciju debljine $10\ \mu m$. Prikazani su rezultati analize rendgenskom difrakcijom i struktura u kojoj materijali kristaliziraju. Izvršena su mjerenja električnog transporta bez prisustva magnetskog polja i u jakom magnetskom polju do 16 T te je izmjeren magnetootpor i Hallova otpornost materijala. Uz električna transportna mjerenja mjeren je i Seebeckov koeficijent te je izvršena komparacija rezultata. Pokazalo se da temperature na kojima pada Seebeckov koeficijent i počinje linearno prilaziti nuli odgovaraju temperaturama na kojim otpornost materijala prestaje rasti.

Visokofrekventna linearna mreža ultrazvučnih izvora na debelom filmu – izrada i karakterizacija

Anton Kabaši¹, Tonći Ćurković¹, Tonći Čakarić¹, Barbara Malič², Marko Budimir³, Ante Bilušić¹

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

²*Institut Jožefa Stefan, Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana, Slovenija*

³*Institut za nuklearnu tehnologiju – INETEC, Dolenica 28, 10250 Zagreb, Hrvatska*

Predstaviti ćemo rezultate strukturne i električne karakterizacije debelog filma olovo magnezij niobat-olovo titanata (PMN-PT) debljine približno $30\mu\text{m}$ proizvedenog sol-gel tehnikom te njegovog djelovanja kao ultrazvučnog izvora. Ovo je samo početna faza istraživanja koje za cilj ima razvoj fazno usklađene visokofrekventne mreže ultrazvučnih mikroizvora s potencijalnom primjenom u oftalmološkoj dijagnostici. Ideja za istraživanje je potekla od činjenice da je traumatizirano ljudsko oko zamagljeno pa je ultrazvuk i dalje nezamjenljiva dijagnostička tehnika, a glavna manjkavost trenutno korištenih ultrazvučnih oftalmoloških tehnika je nemogućnost detekcije mikrostruktura u prednjem dijelu oka.

Ovo je istraživanje omogućeno istraživačkim potencijalima izgrađenim projektom MEM-Split (RC.2.2.08-0052) kojega je financirao Europski fond za istraživanje i razvoj.

[1] B.P. Zhu *et al.*, *Ceramics International* **39** (2013) 8709–8714

Usporedba struktura periodičnosti višeg reda alfa satelita u DNK sekvenci čovjeka, neandertalca i čimpanze - izrada baze podataka globalnih mapa

Matko Glunčić¹, Ines Vlahović¹, Ivica Martinjak², Marija Rosandić², Vladimir Paar²

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

²Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, 10000 Zagreb, Hrvatska

Usporedba struktura periodičnosti višeg reda alfa satelita u DNK sekvenci čovjeka, neandertalca i čimpanze - izrada baze podataka globalnih mapa U genomu čovjeka alfa sateliti su jedne od najzastupljenijih DNK periodičnosti, u obliku tandema ili periodičnosti višega reda – HOR-ova, te zauzimaju oko 5% cjelokupnog ljudskog genoma. Alfa sateliti u čovjeka su uvelike proučavani zbog svoje funkcionalne i strukturalne uloge u centromeri, koja je bitna za segregaciju kromosoma u mitozu i mejozi, sparivanju s homolognim kromosomima, formiranju kinetohornih struktura itd... ¹ Alfa sateliti su također pogodni i za proučavanje evolucije kao rezultat usklađene evolucije (concerted evolution) – procesa u kojemu su paralogne sekvence sličnije unutar iste vrste nego kod svojih srodnih vrsta, bez obzira što su se duplikacije prethodile procesu specijacije. Pomoću naše računalne metode Global Repeat Map – GRM razvijene u našoj grupi², kao rezultat naših prethodnih istraživanja alfa satelita ³, stvorili smo bazu podataka u sklopu novog projekta u koju smo pohranili sve identificirane sekvence alfa satelita iz genoma čovjeka, čimpanze te nedavno sekvencioniranog genoma neandertalca, naše bliske izumrle vrste. Iz analiziranih alfa satelita možemo zaključivati da li postoje razlike ili sličnosti u kromosomima u njihovim pripadajućim HOR strukturama između ove tri vrste, razlike u broju monomera koji tvore HOR-ove, divergencijama između konsenzusa. Svi prikupljeni podaci iz tih analiza, pošto se za alfa satelite u čovjeka smatra da su nedavno dodane u obliku periodičnosti višega reda u genom, dati će nam tragove o njihovim mogućim razlikama u njihovoj funkcionalnosti u ove tri proučavane vrste proučavanjem CENP-B box pJ ³ distribucije motiva u njima.

[1] H. F. Willard, *Curr. Opin. Genet. Dev.* 8 (1998) 219-225

[2] Matko Glunčić, Vladimir Paar. Direct mapping of symbolic DNA sequence into frequency domain in global repeat map algorithm. *Nucleic Acids Research*, Vol.41, NO.1, doi:10.1093/nar/gks721. (2013).

[3] Matko Glunčić, Marija Rosandić, Denis Jelovina, Krešimir Dekanić, Ines Vlahović, Vladimir Paar. Global Repeat Map Method for Higher Order Repeat Alpha Satellites in Human and Chimpanzee Genomes (Build 37.2 Assembly). *Croat. Chem. Acta* 85 (3) (2012) 327–351.

Sinkrotronsko zračenje galaksija u XXL-North polju

Bruno Šlaus¹

¹*Department of Physics, Faculty of Science, University of Zagreb, Bijenička c. 32, 10000 Zagreb, Croatia*
Institute One

Sinkrotronsko zračenje, koje nastaje interakcijom magnetskoga polja i relativistički ubrzanih nabijenih čestica, dominantan je oblik zračenja galaksija u radio području. Promatramo sinkrotronsko zračenje na frekvenciji 610 MHz unutar XXL-North polja. Koristimo podatke koji dolaze sa GMRT radio teleskopa. Podatke korigiramo eliminacijom efekta kromatske aberacije te odvajamo razlučene od nerazlučenih izvora. Sve detekcije čija je međusobna udaljenost manja od 60 lučnih sekundi smatramo istim izvorom, koji se sastoji od više komponenti. Računamo spektralne indekse detektiranih izvora pozivajući se na oblik spektra sinkrotronskog zračenja. Pritom koristimo podatke NVSS istraživanja na 1400 MHz. Radi različitih detekcijskih limita dvaju istraživanja javljaju se sistematska odstupanja. Nakon eliminacije ovih odstupanja crtamo histograme spektralnih indeksa. Uočavamo različitosti u profilima histograma razlučenih i nerazlučenih izvora. Činjenicu da nerazlučeni izvori u prosjeku posjeduju veći broj ravnih spektara objašnjavamo time da je emisija nerazlučenih izvora u pravilu dominirana zračenjem iz njihove sredine, dok razlučeni izvori zrače iz svojih izbočina. Koristeći dodatne podatke u optičkom području, određujemo pomak ka crvenome detektiranih radio izvora. Poznavajući pomake ka crvenome, u stanju smo proizvesti funkcije luminoziteta za promatrano polje.

- [1] Bondi M., Ciliegi P., Schinnerer E., et al. *Apj* **681** (2008) 1129
- [2] Bondi M., Ciliegi P., Zamorani G., et al. *A&A* **403** (2003) 857
- [3] Condon J.J., *ARAA* **30** (1992) 575
- [4] Condon J. J., Cotton, W. D., Greisen, E. W., et al. *AJ* **115** (1998) 1693
- [5] Intema H. T., Jagannathan P., Mooley K. P., et al. *A&A* (2016)
- [6] Kimball A. E., Ivezić Ž., *Apj* **136** (2008) 684
- [7] Miley G., , *ARAA* **18** (1980) 165
- [8] Miller N. A., Bonzini M., Fomalont E. B., et al. *ApjS* **205** (2013) 13
- [9] Prandoni I., Gregorini L., Parma P., et al., *A&A* **146** (2000) 31
- [10] Smolčić V., Novak M., Bondi M., et al. *A&A* (2017)
- [11] Tasse C., Röttgering H.J.A., Best P.N. et al., *A&A* **471** (2007) 1105

Elektronska i optička svojstva 2D indija i antimona

Matko Mužević¹, Igor Lukačević¹, Maja Varga Pajtlar¹, Sanjeev Kumar Gupta²

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

²*St. Xavier's College, Ahmedabad, Indija*

Dvodimenzionalni materijali inspirirali su veliki broj istraživanja, kako eksperimentalni tako i teorijskih, oko njihovih svojstava i moguće primjene u različitim tehnologijama [1, 2]. U analogiji s grafenom, u istraživanju se koncentriramo na jednoslojne strukture - monolayer - sastavljene od atoma indija ili antimona. Njihove 2D alotropske modifikacije pokazuju posebne strukture elektronskih vrpca koje uzrokuju raznolika optička svojstva ovisna o polarizaciji, u rasponu od relativno visokog refrakcijskog koeficijenta sve do vrlo visoke selektivne reflektivnosti [3, 4, 5].

[1] M. Bernardi, M. Palumbo, J. C. Grossman, *Nano Lett.*, **13** (2013) 3664

[2] Shaoliang Yu, Xiaoqin Wu, Yipei Wang, Xin Guo, Limin Tong, *Adv. Mater.* **29** (2017) 1606128

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

[4] D. Singh, S. K. Gupta, I. Lukačević, M. Mužević, Y. Sonvane, *Optical properties of 2D Indiene Allotropes*, in progress

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

Karakterizacija atomskih defekata i elektronskih svojstava 2D MoS₂

Ida Delač Marion¹, Davor Čapeta², Borna Pelić¹, Nataša Vujičić¹, Marko Kralj¹

¹Institut za fiziku, Bijenička 46, 10000 Zagreb

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

Značajni znanstveno-tehnološki interes za dvodimenzionalne (2D) materijale očituje se ponajviše kroz činjenicu da su današnji mikroelektronički uređaji praktički 2D arhitekture. Uz najpoznatiji, a ujedno i najistraživaniji 2D materijal, grafen, danas se pažnja sve više okreće i prema drugim 2D materijalima, osobito onima s intrinzičnim poluvodičkim svojstvima. Jedan od takvih materijala upravo je monosloj molibden disulfida (MoS₂), koji dolazi iz obitelji dihalogenida prijelaznih metala.

U ovom radu proučena su strukturna i elektronska svojstva monosloja MoS₂ sintetiziranog metodom kemijske depozicije para na silicijskoj podlozi. Uspostavljena je metoda prijenosa monosloja na različite podloge koja otvara put prema mogućim primjenama. Strukturna kvaliteta dobivenog monosloja usporediva je sa kvalitetom monoslojeva dobivenih iz prirodnog MoS₂ [1], gdje se kvaliteta mjeri gustoćom atomskih defekata. Istražena je priroda atomskih defekata uz pomoć skenirajuće tunelirajuće mikroskopije te usporedbom s teorijskim predviđanjima [2]. Elektronska svojstva, odnosno specifično širina poluvodičkog pro-cjepa, dobivena je iz fotoluminiscencijskih mjerenja i skenirajuće tunelirajuće spektroskopije.

[1] P. Vancsó et al., Sci. Rep. **6** (2016) 29726

[2] C. González et al., Nanotechnology **27** (2016) 105702

Ionskom mikroprobom ocrtane matrice nanopora u 2D materijalima

Mihovil Jurdana¹, Marko Kralj¹, Ivančica Bogdanović Radović², Milko Jakšić²

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

²*Institut Ruđer Bošković, Bijenička cesta 54, 10000 Zagreb*

NanoporeArray projekt ima za cilj provjeru metode za dobivanje i samu izradu prototipne polimer/2D materijal membrane sa matricom pristupnih otvora i nanopora. Ova je membrana neophodan element novog uređaja za sekvenciranje DNA. Sekvenciranje molekula DNK koje translociraju (prolaze) kroz nanometarske pore bazira se na mogućnosti elektroničke identifikacije različitih baza koje čine sekvencu bez dodatnog i skupog označavanja i enzimatskih reakcija. Nanopore je potrebno izvesti u nekom od modernih dvodimenzionalnih (2D) materijala, jedan ili nekoliko atomskih slojeva tankih – primjerice grafen ili MoS_2 , koji se sintetiziraju i na Institutu za fiziku u Zagrebu. Naime, pri prolasku DNK lanca kroz nanoporu pojedine baze DNK, koje su debljine jedan atom, trebaju se poravnati sa ravninom 2D materijala, radi električnog očitavanja. Zasad se eksperimentalni sustavi baziraju na testiranju rada pojedinih pora, dok je istovremeni rad sa mnoštvom pora – paralelizacija ili integracija sustava, neupitan tehnološki iskorak kako bi sekvenciranje nanoporama postalo konkurentna tehnologija.

U ovom projektu korištena je ionska mikroproba koja čini dio Tandem Van de Graaff akceleratora smještenog na IRB-u kako bi u polimernim folijama ostvarili pristupni otvori mikronskih veličina korištenjem tehnike zvane "latent ion track etching". Potencijal ovakvog postava je mogućnost kontroliranog zakretanja ionskog snopa kako bi se odabrala točka u kojoj će ion udariti u foliju[1]. Ozračene membrane potom su jetkane aparaturom izrađenom na IF-u mjereći pritom ionsku struju čija pojava označava trenutak otvaranja kanala kojim ioni mogu prelaziti s jedne strane folije na drugu. Transferom 2D materijala (MoS_2 , Grafen) na takvu foliju uzorak se postavlja u ćeliju kako bi se elektrokemijskom reakcijom na mjestu intrinzičnog defekta u 2D materijalu ostvarila rupa nanometarskih dimenzija[2].

[1] R.W. Smith, M. Karlušić, M. Jakšić, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, **227**, pp 140-144

[2] J. Feng et al., Nano Lett., 2015, **15** (5), pp 3431–3438

Uporaba LCOS mikrozaslona kao 3D objekta za digitalnu holografiju

Jadranko Gladić¹, Davorin Lovrić¹, Nazif Demoli¹

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

Opisana je nova primjena LCOS mikrozaslona temeljena na dinamičkom preslikavanju visine 3D objekta u vrijednosti fazne modulacije LCOS-a.

Na LCOS mikrozaslonu prikazan je tlocrt 3D objekta, dok je visina 3D objekta (dimenzija okomita na ravninu zaslona) jednoznačno preslikana u 256 vrijednosti razine sivog, tako da minimumu odgovara crna, a maksimumu bijela boja. Time prikaz na LCOS-u postaje 3D objekt u postavi za digitalnu holografiju, budući da valna fronta reflektirana s njega doživljava iste fazne promjene kao da je reflektirana sa stvarnog fizičkog objekta.

Izmjerena su svojstva našeg LCOS uređaja. Pronađeno je optički ravno područje u središtu LCOS mikrozaslona koje uzrokuje minimalno izobličavanje valne fronte. Određena je baždarna krivulja ovisnosti fazne modulacije reflektiranog vala o razini sive boje na mikrozaslonu, pri čemu su korišteni vlastiti numerički algoritmi određivanja faze interferencijske slike. Temeljem toga je definirana tablica (LUT) korištena za prikaz visine površine 3D objekta pomoću razina sivog na LCOS-u, kako bi se linearizirala krivulja fazne modulacije u danom rasponu faza.

Opisana metoda primijenjena je na numerički generiranu oscilirajuću membranu.

Rezultati pokazuju da je moguće optički detektirati i analizirati (vremenski usrednjenom digitalnom holografijom) dinamički promjenljive vrijednosti visine površine objekta, čak i kad te promjene višekratno premašuju puni interval (2π) krivulje fazne modulacije koju daje LCOS.

Potruga za novim elektronskim uređenjima u jako poddopiranim kupratima

Ana Najev¹, Damjan Pelc¹, Miroslav Požek¹, Marija Vučković¹

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

Izrađena je osjetljiva proba za diferencijalno mjerenje malih toplinskih kapaciteta ispod sobne temperature [1]. U potrazi za novim elektronskim uređenjima jako poddopiranih kuprata provedena su kalorimetrijska mjerenja na uzorcima $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ dopiranja $x=1.5\%$, 2% , 2.5% , 3% i 3.5% . Posebnim postupkom modeliranja pozadine [2] omogućena je detekcija malih vrhova faznih prijelaza iz dobivenih podataka. Pronađeni su diskontinuiteti u toplinskom kapacitetu navedenih uzoraka za koje postoje indicije da su povezani s novim teorijski predviđenim feronematskim uređenjem [3]. Postojanje takvog uređenja ponudilo bi detaljnije objašnjenje ponašanja dopiranih šupljina i njihovog utjecaja na elektronska uređenja u ovim spojevima.

[1] A. Schilling, O. Jeandupeux, Phys. Rev. B **52** (1995) 9714

[2] Nohara et al., Phys. Rev. B **52** (1995) 570

[3] Capati et al., Nat. Commun. **6** (2015) 7691

Magnetiziranje mekih magneta: utjecaj površinskog tretiranja

M. Šušak¹, H. Šušak¹, D. Stanić², S. Sabolek¹, S. Zrnčić¹, P. Popčević¹, E. Babić¹

¹Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Bijenička cesta 32, HR-10002 Zagreb, Hrvatska

²Odjel za fiziku, Sveučilišta J. J. Strossmayera, Trg Ljudevita Gaja 6, HR-31000 Osijek, Hrvatska

Vlastiti model [1,2] utjecaja površinskim poljem (statičkim H_p , ili dinamičkim H_{p_0}) pojačanog zapinjanja domenskih zidova unutarne (glavne) domenske strukture mekih magnetskih vrpca na površinskim domenama je nedavno poboljšan uvođenjem graničnog (maksimalnog) pojačanja zapinjanja kod određene vrijednosti površinskog polja. Pokazali smo da ta popravka modela dobro opisuje mjerenja magnetizacije sa H_p i H_{p_0} . Nadalje, sustavno smo proučavali utjecaj grebanja površine vrpca pod različitim kutovima u odnosu na os vrpce. Pokazalo se da takvo tretiranje nemonotono utječe na zapinjanje domenskih zidova i koercitivno polje (što pruža mogućnost optimalizacije postupka), te općenito smanjuje negativan utjecaj površinskim poljem pojačanog zapinjanja domenskih zidova glavne domenske strukture. Nadalje, površinsko tretiranje smanjuje ovisnost koercitivnog polja o frekvenciji magnetizirajućeg polja, što može biti povoljno za primjene.

[1] S.Sabolek, E.Babić, I.Kušević, M.Šušak, D.Posedel, D.Stanić FIZIKA A15 (2006) 1

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

Radon u tlu i geogeni radonski potencijal u Republici Hrvatskoj

Vanja Radolić¹, Marina Poje Sovilj¹, Denis Stanić¹, Igor Miklavčić¹, Branko Vuković¹

¹Odjel za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Trg Ljudevita Gaja 6, 31000 Osijek

Koncentracija radona u tlu u Republici Hrvatskoj mjeri se ionizacijskim komorama (AlphaGUARD i RM-2 mjernim sustavima) od 2005. godine dok se permeabilnost tla mjeri od 2015. godine, Radon-JOK uređajem. Mjerenja oba parametra izvršena su na više od 400 lokacija u desetak županija, najčešće u blizini škola i vrtića. Prosječna koncentracija radona s pripadnom standardnom devijacijom iznosila je $48 \pm 52 \text{ kBq m}^{-3}$, no uočena su područja s koncentracijama i do 550 kBq m^{-3} .

Geogeni radonski potencijal (GRP) izračunat je iz empirijske relacije (kontinuirane vrijednosti) zasnovane na tzv. "češkom" pristupu i definiciji radonskog potencijala, a uvedena je i nova subklasifikacija (diskretne vrijednosti GRP) sa sedam razreda (1- vrlo nizak, 2 – nizak, 3 – niži srednji, 4 – viši srednji, 5 – visok, 6 – vrlo visok, 7 – ekstremno visok). Izračunate vrijednosti GRP-a od 28 ± 29 odnosno $3,30 \pm 0,96$ (razredi) klasificiraju tlo Republike Hrvatske kao tlo srednjeg geogenog radonskog potencijala.

Izrađeni su odgovarajući zemljovidi korištenjem geostatističkih interpolacijskih metoda (IDW, Kriging). Koncentracije radona u tlu i pripadni GRP-ovi su korelirani s geološkim i geomorfološkim karakteristikama lokacija, kao i s vrijednostima koncentracije radona u unutrašnjosti objekta, a sve s ciljem boljeg definiranja radonu pogodnih područja u skladu s odgovarajućom EU direktivom.

Magnetska anizotropija multiferoika CuO

Martina Dragičević¹, Mirta Herak¹

¹*Institut za fiziku, Bijenička c. 46, 10 000 Zagreb*

Multiferoici su materijali u kojima istovremeno postoji magnetsko i feroelektrično uređenje te su stoga potencijalno tehnološki važni. Međutim, postojeći multiferoični materijali imaju to svojstvo samo pri temperaturama značajno manjim od sobne. Stoga je jedan od izazova pronalazak materijala koji je multiferoičan pri sobnoj temperaturi. CuO je polazni materijal u sintezi visokotemperaturnih supravodiča – kuprata, a ujedno je multiferoič s dosad najvećom izmjerenom temperaturom prijelaza od svih materijala u kojima je električna polarizacija inducirana dugodosežnim magnetskim uređenjem [2]. Teorijska predviđanja pokazala su da bi ovaj materijal mogao biti multiferoič i pri sobnoj temperaturi pod utjecajem visokih tlakova [3]. CuO ima tri magnetski uređena stanja: ispod $T_{N_1} = 213$ K je kolinaerni antiferomagnet (AFM), između $T_{N_1} < T < T_{N_2}$ ($T_{N_2} = 229.3$ K) je nesumjerljivi spiralni AFM i multiferoič, a između $T_{N_2} < T < T_{N_3}$ ($T_{N_3} = 230$ K) je nesumjerljivi kolinearni AFM. Prijelaz pri T_{N_3} je tek nedavno uočen [4].

Multiferoično nesumjerljivo spiralno stanje dosad je detaljno proučavano u literaturi, dok niskotemperaturnom osnovnom kolinearnom AFM stanju nije posvećena tolika pažnja. Neriješeno je i pitanje koji su mehanizmi odgovorni za postojanje tih stanja iako je poznato da su za uspostavljanje spiralnog stanja odgovorne anizotropne magnetske interakcije. Metodom mjerenja magnetskog momenta sile ispitivali smo makroskopsku magnetsku anizotropiju monokristalnog CuO u niskim magnetskim poljima ($H < 1$ T). Naši rezultati potvrđuju postojanje sva tri magnetska prijelaza te otkrivaju da postoji rotacija magnetskih osi ispod prijelaza u kolinearno AFM stanje. Pri niskim temperaturama pojavljuje se porast anizotropije susceptibilnosti koji može dolaziti od defekata, što su prvi na ovim uzorcima pokazali M. Prester i suradnici [5] svojim mjerenjima ac magnetske susceptibilnosti. Druga moguća interpretacija je da je magnetsko uređenje ispod T_{N_1} egzotičnije od jednostavnog kolinearnog.

Zahvaljujemo Mladenu Presteru s Instituta za fiziku koji nam je skrenuo pozornost na ovaj zanimljiv uzorak te dao uvid u svoje nepublicirane rezultate [5] i Alexandru Bushu sa Moscow State Institute of Radioengineering, Electronics, and Automation koji je sintetizirao uzorke. Ovaj rad u potpunosti je financiran od strane Hrvatske zaklade za znanost (projekt HrZZ UIP-2014-09-9775) te Ministarstva znanosti RH (COGITO projekt *Teorijska i eksperimentalna istraživanja magnetskih i multiferoičnih materijala*).

[1] D. Khomskii, *Physics* **2**, 20 (2009).

[2] T. Kimura et al., *Nature Materials* **7**, 291 (2008).

[3] X. Rocquefelte et al., *Nature Communications* **4**, 2511 (2013).

[4] R. Villareal et al., *Phys. Rev. Letters* **109**, 167206 (2012).

[5] M. Prester, Đ. Drobac, Ž. Marohnić, neobjavljen rad.

NMR spektri i relaksacije LSCO-0.06 kristala – fazna separacija ispod 50 K

Marija Vučković¹, Damjan Pelc¹, Miroslav Požek¹

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

$\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ (LSCO) je jedan od najistraživanijih visokotemperaturnih supravodiča, ali kao ni za druge kuprate, prijelaz iz uređenog antiferomagneta u supravodič nije popuno istražen. Nova eksperimentalna metoda omogućila nam je NMR mjerenja na kraćim vremenskim skalama od standardnih, čime je dijelom izbjegnuto wipeout efekt koji se javlja pri mjerenima na niskim temperaturama na jezgrama bakra. Frekventni spektri poddopiranog kristala LSCO-0.06 su snažno potisnuti i prošireni ispod 50 K, što je znatno iznad temperature supravodljivog prijelaza. Mjerenja relaksacijskog vremena T_2 kroz liniju upućuju na moguću faznu separaciju, pri čemu se javljaju “brza” komponenta u središtu linije i “spora” komponenta koja se proteže u širem frekventnom području. Relaksacijsko vrijeme T_2 mjereno u središtu linije raste s padom temperature, što znači da uzrok nestanka signala nije ubrzana relaksacija cijelog sustava, nego postupno razdvajanje faza u realnom prostoru, pri čemu s hlađenjem raste udio “brze” faze.

Određivanje simetrije i spinske reorijentacije u antiferomagnetu SeCuO_3

Mirta Herak¹, Nikolina Novosel¹, Željko Rapljenović¹, Martina Dragičević¹,
Helmuth Berger²

¹*Institut za fiziku, Zagreb, Hrvatska*

²*École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Švicarska*

Magnetska rešetka monoklinskog spoja SeCuO_3 sastoji se od izoliranih kvantnih spinskih tetramera [1]. Slabo međudjelovanje između tetramera rezultira dugodosežnim antiferomagnetskim uređenjem na temperaturama manjima od $T_N = 8$ K [1-3]. Ranijim istraživanjama uočeno je da anizotropija magnetske susceptibilnosti ispod T_N pokazuje ponašanje tipično za jednoosni Néelov antiferomagnet [1,2]. Međutim, slaba rotacija magnetskih osi ispod T_N ukazuje na složenije magnetsko uređenje u ovom spoju [1-3] koje zahtjeva detaljnije istraživanje.

U ovom radu rezultati mjerenja magnetskog momenta sile, eksperimentalne metode određivanja magnetske anizotropije, u magnetskom polju < 5 T analizirani su pomoću jednostavnog fenomenološkog modela magnetokristalne anizotropije. Na taj način određena je orijentacija magnetskih osi u antiferomagnetskom stanju SeCuO_3 u odnosu na kristalne osi u odsustvu vanjskog magnetskog polja. Nadalje, usporedbom rezultata mjerenja s teorijskim modeliranjem reorijentacije spina u konačnom magnetskom polju određena je simetrija antiferomagnetskog stanja i reorijentacije spinskih osi u različitim kristalnim ravninama [4].

Ovaj rad u potpunosti je financirala Hrvatska zaklada za znanost unutar projekta HrZZ UIP-2014-09-9775.

[1] I. Živković, D. M. Djokić, M. Herak et al., Phys. Rev. B. 86 (2012) 054405

[2] M. Herak, A. Grubišić Čabo et al., Phys. Rev. B 89 (2014) 184411

[3] S. Lee et al., Phys. Rev. B. 95 (2017) 054405

[4] N. Novosel, Ž. Rapljenović, M. Dragičević, H. Berger, M. Herak, u pripremi

Temeljne invarijante Hilbertovog prostora N fermiona i problem predznaka

Denis Sunko¹

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

Hilbertov prostor valnih funkcija za N identičnih čestica se može shvatiti kao konačno dimenzionalna algebra. To znači da se bilo koja valna funkcija (npr.) N fermiona može napisati pomoću konačnog broja, točno $N!^{d-1}$ antisimetričnih funkcija, koje čine bazu te algebre. Objavljen je općenit ali neučinkovit algoritam koji može generirati sve funkcije baze kao zatvorene analitičke izraze [1].

Ovdje se predstavlja kvalitativno različit i bitno učinkovitiji algoritam, koji može generirati bazu za fermione u neparnom broju dimenzija, što uključuje najzanimljiviji slučaj $d = 3$. On daje dodatnu strukturu bazi algebre fermionskog mnogočestičnog prostora, a u kojoj se vektori baze prikazuju kao čvorovi određene rešetke. Time se fermionski problem predznaka može identificirati kao problem degeneracije te rešetke, tj. činjenice da više puteva vodi do istog čvora. Ova struktura već omogućuje potpuno rješavanje problema predznaka za $N \leq 5$ fermiona sistematskim odstranjivanjem viška puteva u rešetci. Raspravlja se što bi dalje trebalo učiniti da se problem predznaka praktično riješi na razini Monte Carlo uzorkovanja za proizvoljno zadani broj fermiona.

[1] D. K. Sunko, Physical Review A **93** (2016) 062109

Monte Carlo istraživanje zarobljenih hladnih atoma sa spin-orbit vezanjem

Andrii Gudyma¹, Leandra Vranješ Markić¹

¹*Faculty of Science, University of Split, Rudera Boškovića 33, HR-21000 Split, Croatia*

Nedavna eksperimentalna realizacija sintetičkih baždarnih polja u hladnim atomima omogućila je realizaciju novih sustava poput spin-orbit vezanih bozona i potakla interes za njihovim opisom.

Promatramo harmonički zarobljene sustave malog broja hladnih atoma s kontakt interakcijom te Rashba i Dresselhaus spin-orbit vezanjem. Predstavljamo razvijene kvantne Monte Carlo algoritme te dobivene osobine osnovnog stanja promatranih sustava.

Analiza termodinamičkog faktora u binarnim mješavinama

Tomislav Primorac¹, Larisa Zoranić¹, Martina Požar¹, Franjo Sokolić¹, Jadran Vrabc²

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

²*Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Warburger Str. 100, 33098 Paderborn, Germany*

Simulacijama molekulske dinamike smo proučavali binarne tekuće mješavine koje pokazuju specifično strukturno uređenje. Postoji razlika između kompleksnog nereda (complex disorder) / mikroheterogenosti, definiranog prostornim asocijacijama molekula, te jednostavnog nereda (simple disorder), koji karakterizira posve homogene mješavine. Ova strukturna svojstva su povezana s ponašanjem Kirkwood-Buff integrala (KBI) [1]. KBI su definirani kao integrali radijalnih distribucijskih funkcija i kao takvi se mogu izračunati iz simulacija. Također, mogu se mjeriti preko termodinamičkih svojstava. Najzanimljivija opservabla je termodinamički faktor, koji je indikator stabilnosti mješavine. U ovom radu ispitujemo pouzdanost dva pristupa: računanja termodinamičkog faktora iz KBI-ja te suviška Gibbsove slobodne energije. Počinjemo s jednostavnim sustavom, dvokomponentnom Lennard-Jones mješavinom, a potom prelazimo na realističnije modele, poput mješavine alkohol+benzen. Rezultati za obje metode pokazuju kvalitativno slaganje.

[1] JG Kirkwood, F Buff (1951) J. Chem. Phys. 19, 774

^4He u uskim nanoporama

Leandra Vranješ Markić¹, Hrvoje Vrcan¹, Zuhrianda Zuhrianda², Henry R. Glyde²

¹*Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet, 21 000 Split, Hrvatska*

²*Department of Physics and Astronomy, University of Delaware, Newark, Delaware 19716-2593, USA*

Prezentiramo osobine ^4He u uskim nanoporama dobivene kvantnim Monte Carlo metodom: jednadžbu stanja, udio suprafluida ρ_s/ρ , jednočestičnu matricu gustoće, $n(x)$, funkciju razdiobe parova, $g(x)$ i statički strukturni faktor, $S(q)$. U slučaju kada se adsorbirani atomi ^4He nalaze u lancu u centru uske nanopore dobiva se ponašanje Luttingerove tekućine. U promatranom rasponu gustoća, Luttingerov parametar K mijenja se od $K > 2$ na niskim gustoćama, do $K < 0.5$, kada je predviđena krhka suprafluidnost i maksimumi u $S(q)$ koji odgovaraju kvazi-krutini. U prisutnosti nereda ρ_s/ρ se ne skalira prema predviđanjima Luttingerovih tekućina. Kod malog povećanja radijusa nanopore opažamo prijelaz od LL režima na niskim gustoćama na 2D-nalik ponašanje pri većim gustoćama, kad atomi više nisu ograničeni na pravac u centru nanopore, već počinju formirati cilindrični jednoatomske sloj uz rub nanopore.

Comparison of the cell morphology between healthy and cancerous oral mucosa

Maja Strugačevac¹, Nina Bartels¹, Mona Plettenberg¹, Lisa Rohde¹, Constanze Wiek², Julia Kristin², Marcel Glaas², Jörg Schipper², Mathias Getzlaff¹

¹*Institute of Applied Physics, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Germany*

²*Düsseldorf University Hospital, Department of Otorhinolaryngology, Germany*

Our group is developing new, alternative, cell-selective treatment strategies for squamous cell carcinoma of the head-neck area based on the different mechanical properties of the cells. One of the first steps is the comparison of different carcinoma and non-tumor cells to obtain more information about cell morphology and physical properties of cells.

In order to investigate differences between cell lines fluorescence microscopy is used. Cytoskeleton staining kits [1] allow us to highlight actin filaments and microtubules which play a significant role in cell elasticity. In tumor cells actin filaments are accumulated in cortical layer what is not observed in non-tumor cells. Additional differences in cytoskeleton filaments of different cell lines will be shown in this contribution.

Morphology of the cells was investigated using cell nucleus and cell membrane staining kits. Confocal laser-scanning microscope enables us to create a three-dimensional images of cell nuclei. Using these images we were able to measure the size of cell nuclei. The differences in nucleus size between our investigated cell lines were observed and the correlation between cell nucleus size and tumor localization will be discussed as well.

[1] G. Lukinavicius, Stefan W. Hell, Kai Johnsson et al.: Fluorogenic probes for live-cell imaging of the cytoskeleton

Proračun energije solvatacije u simulacijama molekularne dinamike

Marija Baljkas¹, Tomislav Primorac¹, Martina Požar¹, Franjo Sokolić¹, Larisa Zoranić¹

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

Sve brži napredak tehnologije je doprinio da se računalne simulacije prometnu u bitan aspekt znanstvenog rada, usporedo teorijskim i eksperimentalnim metodama. Simulacije molekularne dinamike daju uvid u mikroskopsko ponašanje sustava koje u eksperimentu opažamo preko mjerivih makroskopskih veličina. U ovom radu metodom termodinamičke integracije računala se energija solvatacije alkana [1], s ciljem razumijevanja otapanja nepolarnih molekula u polarnom i amfifilnom mediju.

Korišten je programski paket za molekularnu dinamiku Gromacs [2]. Simulirani su alkani: metan, etan, propan i butan u vodi i u metanolu. TIP4P/2005 [3] model za vodu se pokazao najboljim u reproduciranju kvalitativnog ponašanja ovisnosti slobodne energije solvatacije o veličini alkana, što je u skladu s podacima iz literature [4]. Vrlo su zanimljivi trendovi ponašanja otapanja alkana u vodi, budući da ne pokazuju monotonost.

Krivulja ovisnosti energije solvatacije o temperaturi alkana u metanolu pokazuje maksimum, što ukazuje na kompeticijske doprinose. Maksimum je najuočljiviji za metan te s produljenjem lanca alkana postaje sve manje izražen i pomaknut prema višim temperaturama. Ovi rezultati također pokazuju da se veći alkani lakše otapaju u metanolu što se može objasniti formiranjem lančastih struktura metanola unutar samog sustava. Simulacije i eksperimentalni rezultati pokazuju kvalitativno slaganje.

[1] Frenkel, D. & Smit, B. Understanding Molecular Simulation. Understanding Molecular Simulation 638 (2002). doi:10.1016/B978-012267351-1/50006-7

[2] Gromacs, About Gromacs, July 2017. , http://www.gromacs.org/About_Gromacs

[3] Abascal, J. L. & Vega, C. A general purpose model for the condensed phases of water: TIP4P/2005. The Journal of chemical physics 123, 234505 (2005).

[4] Vega, C. & Abascal, J. L. F. Simulating water with rigid non-polarizable models: a general perspective. Physical Chemistry Chemical Physics 13, 19663 (2011).

Eksperimentalno ispitivanje skalarne teorije ogiba

Luka Zurak¹

¹*Odjel za fiziku, Sveučilište u Rijeci*

U radu se razmatra ogib monokromatskog elektromagnetskog vala na poluravnini i pukotini. Uz usporedbu teorijskih rezultata s izmjerenim podacima cilj je i međusobno usporediti rezultate tri teorijske formule dobivene postavljenjem različitih rubnih uvjeta na vrijednosti upadnog vala i njegove derivacije u smjeru normale. Kako bi se teorijska analiza pojednostavila rezultati su dobiveni korištenjem skalarne teorije. Temelje skalarne teorije ogiba postavio je Kirchhoff korištenjem Greenove funkcije i Greenova drugog identiteta. Uz, naravno, nužno poznavanje geometrijskih svojstava prepreke na kojoj se ogib događa primjena formula skalarne teorije zahtjeva poznavanje svojstava upadnog elektromagnetskog vala koji je u ovom slučaju laserska zraka. Kako bi se zraka profilirala i ogibni uzorci snimili, podaci o intezitetu električnog polja prikupljeni su korištenjem CMOS senzora digitalnog fotoaparata. Teorijske vrijednosti inteziteta ogibnih uzoraka izračunate su numeričkim metodama korištenjem programa Mathematica 11.0.

Utjecaj finih strukturnih promjena na magnetsko ponašanje tetranuklearnih kompleksa Ni(II) kubana

Filip Torić¹, Damir Pajić¹, Gordana Pavlović², Marina Cindrić³, Krešo Zadro¹

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

²Tekstilno-tehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu

³Kemijski odsjek, Prirodoslovno-matematički fakulter, Sveučilište u Zagrebu

Polinuklearni kompleksi od posebnog su zanimanja za znanstvenu zajednicu radi temeljnog istraživanja međudjelovanja izmjene magnetskih centara i radi mogućih primjena kao osnovnih građevnih jedinica molekularnih magneta. Sintaza novih kompleksa uznapredovala je na način da je moguće dizajnirati spojeve željene strukture. Poseban je izazov proučavati vezu između strukture i magnetskih svojstava.

U ovom radu sintetiziran je niz od 13 novih tetranuklearnih kompleksa Ni(II) kubana, $[\text{Ni}_4\text{L}_4(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH})(\text{C}_m\text{H}_{2m+1}\text{OH})]$ ($n, m=1, 2, 3, 4, 5$; L je organski ligand) te je istraživana utjecaj finih strukturnih promjena na magnetsko ponašanje. Kod nekih od kompleksa opažen je neobično visoki maksimum krivulje $\chi T(T)$ (preko 20 emuK/molOe). Magnetsko ponašanje modelirano je spinskim hamiltonijanom koji uključuje međudjelovanje izmjene, cijepanje energijskih razina bez prisutnosti polja (ZFS) i međudjelovanje molekula. Numeričkom prilagodbom i simulacijama utvrđeno je da opaženi visoki maksimumi krivulja $\chi T(T)$ potječu od osnovnog doprinosa ZFS te su dobiveni i drugi parametri magnetskih međudjelovanja.

Pokazane su korelacije između parametara magnetskih međudjelovanja i tri strukturna parametra: prosječnog Ni1-O-Ni2 kuta, prosječnog kuta između O-Ni-O ravnina i prosječnog kuta između O-Ni1-O ravnine i Ni1-Ni2 vektora. Utvrđeno je da se finom promjenom strukture ugradnjom različitih liganada može utjecati na parametre magnetskih međudjelovanja i promjenu osnovnog stanja.[1]

[1] Ovaj rad financiran je projektom Hrvatske zaklade za znanost (UIP-2014-09-8276)

Indeks svih autora

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

Damir Altus	68
Katarina Arsikin	70
Emil Babić	59, 66, 81
Branka Babić-Stojić	70
Marija Baljkas	91
Ivana Ban	49*
Nina Bartels	90
Lovro Basioli	42*
Mario Basletić	66, 38*, 68, 40*
Helmuth Berger	34*, 39*, 85
Sigrid Bernstorff	33*, 42*
F. Bert	16*
Goranka Bilalbegović	62
Nikola Biliškov	64
Ante Bilušić	73, 44*, 45*
Katica Biljaković	59
Neven Biškup	24*
Aleksa Bjeliš	35*
Ivančica Bogdanović Radović	33*, 78
Loriano Bonora	55*
Jordi Boronat	51*
Agneza Bosilj	47*
Željka Bošnjak	23*
Lara Broeckers	33*
Marko Budimir	73
Renata Buđa	47*
Hrvoje Buljan	20*, 52*, 50*
Maja Buljan	33*, 42*
Nenad Buzjak	67
Saša Ceci	15*

Lana Ceraj	28*
Viktor Cikojević	51*
Marina Cindrić	93
(VLA-) COSMOS collaboration	28*
Tonči Cvitanić	34*
Maro Cvitan	55*
Tonći Čakarić	73
Davor Čapeta	77
Matija Čulo	38*, 40*
Tonći Ćurković	73
Sebastian J. Davis	18*
Ida Delač Marion	77
Nora de Leeuw	46*
Jacinta Delhaize	28*, 13*
Ivan Delvecchio	28*, 13*
Nazif Demoli	79
Jure Demsar	43*
Predrag Dominis Prester	55*
Damir Dominko	43*
Martina Dragičević	83, 85
Tena Dubček	20*, 53*, 52*
Krešimir Dželalija	54*, 51*
Filip Erhardt	61
Stjepko Fazinić	33*, 42*
Dinko Ferenček	22*
Ignacio Figueroa	59, 66
Stanislav Frančišković-Bilinski	67
Franci Gabrovšek	67
Mathias Getzlaff	90
Stefano Giaccari	55*
Marcel Glaas	90
Jadranko Gladić	79
Matko Glunčić	65, 74
Henry R. Glyde	89
M. Gomilšek	16*
Mihael S. Grbić	36*, 34*, 71
Vladimir Grigorev	43*

Bruno Gudac	72
Andrii Gudyma	87
Joshua Hall	41*
Amir Hamzić	38*
Bojana Hamzić	68
M. Herak	16*, 83, 85
Mladen Horvatić	36*
Silvio Hrabar	71
Dustin Ingram	62
Katarina Itrić	63
Mile Ivanda	42*
Tomislav Ivek	68, 40*
Zvonko Jagličić	70
Milko Jakšić	33*, 78
Marko Jerčić	61
Li Jing	53*
Vukoman Jokanović	70
Dario Jukić	20*, 52*, 50*
Mihovil Jurdana	78
Viktor Kabanov	43*
Anton Kabaši	73
Anatoly Kadigrobov	35*
Marko Karlušić	33*
P. Khuntia	16*
Bruno Klajn	20*, 52*
Ivan Kokanović	64
Petar Kolar	71
Bojana Korin-Hamzić	38*, 40*
Marko Kralj	41*, 77, 78
Julia Kristin	90
A Kruchkov	39*
Sanjeev Kumar Gupta	76
Ahmed Kuršumović	59
Marko Kuveždić	66, 40*
Velimir Labinac	69
Clotilde Laigle	13*
Biljana Lakić	21*

Yann LeCun	53*
Ivana Levatić	39*
Bruno Lima de Souza	55*
Davorin Lovrić	79
Igor Lukačević	76
Frane Lunić	54*
Lukas Madauss	33*
Arnaud Magrez	39*
Darko Makovec	70
Barbara Malič	73
Sanjin Marion	18*
Tomislav Marketin	30*
Gabriel Martínez-Pinedo	30*
Ivica Martinjak	60, 65, 74
Daniel Meljanac	29*
Stjepan Meljanac	29*
P. Mendels	16*
Thomas Michely	41*
Salvatore Mignemi	29*
Branimir Mihaljević	38*, 68, 40*
Igor Miklavčić	82
Ana Milas	47*
Dušan Milivojević	70
Damir Modrić	63
Matko Mužević	76
Ana Najev	80
Nikolina Nekić	42*
Tamara Nikšić	31*
Yifei Niu	31*
Mladen Novak	28*, 64, 13*
Nikolina Novosel	85
Filip Orbanić	64
Dalibor Paar	67
Nils Paar	30*, 31*
Vladimir Paar	65, 74
Damir Pajić	59, 93
Lovro Palaversa	14*

Verica Paunović	70
Nenad Pavin	49 [*] , 47 [*]
Gordana Pavlović	93
Damjan Pelc	80, 84
Marin Petrović	17 [*]
John Peurifoy	53 [*]
Robert Pezer	20 [*] , 52 [*]
Borna Pelić	41 [*] , 77
Mirko Planinić	61
Mona Plettenberg	90
Marina Poje Sovilj	82
Nikola Poljak	61
Petar Popčević	39 [*]
P. Popčević	81, 44 [*] , 45 [*]
Stanko Popović	37 [*]
Martina Požar	88, 91
Miroslav Požek	70, 34 [*] , 80, 84
Marcel Prelogović	49 [*]
Tomislav Primorac	88, 91
Aleksandra Radenovic	18 [*]
Danko Radić	35 [*] , 20 [*] , 50 [*]
Vanja Radolić	67, 82
Željko Rapljenović	85
György Remenyi	59
Ramir Ristić	59, 66
Lisa Rohde	90
Alberto Roldan	46 [*]
Henrik M. Ronnow	39 [*]
Marija Rosandić	65, 74
Katarina Rožman	60
S. Sabolek	81
Jordi Sacho Parramon	42 [*]
Eva Schinnerer	13 [*]
Jörg Schipper	90
Marika Schleberger	33 [*]
Yichen Shen	53 [*]
Zdravko Siketić	33 [*]

Goran Simatović	61
Scott Skirlo	53*
Željko Skoko	37*
Tomislav Smolčić	62
Vernesa Smolčić	28*, 13*
Ana Smontara	44*, 45*
Franjo Sokolić	88, 91
Marin Soljačić	20*, 53*, 50*
Yogesh Sonavane	48*
D. Stanić	81, 82
Damir Staresinić	59
Petar Stipanović	51*
Maja Strugačevac	90
Denis Sunko	86
Branko Šantić	33*
Antonio Šiber	19*
Bruno Šlaus	75*
Tamara Štemberga	55*
Rina Štrajn	29*
Vinko Šurija	39*
H. Šušak	81
M. Šušak	81
Alfred Švarc	15*
Emil Tafra	66, 38*, 40*
Hikaru Takeda	36*
Masashi Takigawa	36*
Hidekazu Tanaka	36*
Max Tegmark	53*
Krešimir Tisanić	27*
Marija Todorić	20*, 50*
Iva Tolić	49*, 47*
Kristina Tomić	33*
Silvia Tomić	38*, 68, 40*
Filip Torić	93
Eduard Tutiš	40*
Antonija Utrobičić	61
Deni Vale	31*

Vladoj Valković	32*
J. van Tol	16*
Maja Varga Pajtler	76
M. Velázquez	16*
Martina Vlaho	69
Ines Vlahović	65, 74
Jadran Vrabec	88
Leandra Vranješ Markić	87, 54*, 89, 51*
Hrvoje Vrcan	89
Marija Vučković	80, 84
Nataša Vujičić	77
Branko Vuković	82
Kruno Vukušić	47*
Jonathan S. White	39*
Constanze Wiek	90
Lora Winters	49*
Krešo Zadro	59, 93
Gianni Zamorani	13*
Branimir Zauner	15*
Larisa Zoranić	88, 91, 48*
Marija Zorić	44*
A. Zorko	16*
S. Zrnčić	81
Zuhrianda Zuhrianda	89
Luka Zurak	92
Ivica Živković ¹	39*
Aleksandar Živković	46*
Igor Žutić	69

Popis sudionika

Marija Baljkas	Prirodoslovno matematički fakultet Sveučilišta u Splitu, Split
Ivana Ban	Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb
Lovro Basioli	Institut Ruđer Bošković, Zagreb
Mario Basletić	Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb
Zoran Basrak	POB 180, Zagreb
Ante Bilušić	Prirodoslovno-matematički fakultet u Splitu, Split
Ante Bilušić	Prirodoslovno-matematički fakultet u Splitu, Split
Nevenko Biškup	Instituto Pluridisciplinar, Universidad Complutense Madrid, Madrid
Agneza Bosilj	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Željka Marija Bošnjak	FER, Sveučilište u Zagrebu
Hrvoje Buljan	Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
Saša Ceci	Institut Ruđer Bošković, Zagreb
Lana Ceraj	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Viktor Cikojević	Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet
Tonči Cvitanić	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Tonči Čakarić	PMF, Split
Matija Čulo	Institut za fiziku, Zagreb
Ida Delač Marion	Institut za fiziku, Zagreb
Damir Dominko	Institut za fiziku, Zagreb
Iva Dominović	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Martina Dragičević	Institut za fiziku, Zagreb

Tena Dubček	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Krešimir Dželalija	Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Split
Filip Erhardt	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, zagreb
Dinko Ferenček	Institut Ruđer Bošković, Zagreb
Jadranko Gladić	Institut za fiziku, Zagreb
Zvonko Glumac	Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku, Osijek
Mihael S. Grbić	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Petra Grozić	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Bruno Gudac	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Andrii Gudyma	Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Splitu, Split
Mirta Herak	Institut za fiziku, Zagreb
Filip Huško	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Katarina Itrić	Grafički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
Dario Jukić	Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
Mihovil Jurdana	Institut za fiziku, Zagreb
Anton Kabaši	Prirodoslovno-matematički fakultet, Split
Marko Karlušić	Institut Ruđer Bošković, Zagreb
Petar Kolar	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Marko Kralj	Institut za fiziku, Zagreb
Danijela Kuveždić	Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku, Osijek

Marko Kuveždić	Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
Velimir Labinac	Odjel za fiziku, Sveučilište u Rijeci, Rijeka
Biljana Lakić	Institut Ruđer Bošković, Zagreb
Ivana Levatić	Institut za fiziku, Zagreb
Antonia Lovrenčić	Prirodoslovno matematički fakultet, Zagreb, Zagreb
Igor Lukačević	Sveučilište Josip Juraj Strossmayer u Osijeku, Odjel za fiziku, Osijek
Irena Lukanović	Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Odjel za fiziku, Osijek
Frane Lunić	Sveučilište u Splitu
Sanjin Marion	École polytechnique fédérale de Lausanne, Lausanne
Tomislav Marketin	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Ivica Martinjak	Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Sveučilište u Zagrebu
Sara Metelko	Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb
Branimir Mihaljević	Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
Igor Miklavčić	Odjel za fiziku Sveučilišta J.J. Strossmayera u Osijeku, Osijek
Damir Modrić	Grafički fakultet, Sveučilište u Zagrebu
Matko Mužević	Odjel za fiziku, Sveučilište Josipa Juraja Strossmayera u Osijeku, Osijek
Ana Najev	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Mladen Novak	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Nikolina Novosel	Institut za fiziku, Zagreb
Filip Orbančić	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb

Augustin Orešković	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Dalibor Paar	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Lovro Palaversa	Institute of Astronomy, University of Cambridge, Cambridge
Davor Palle	Institut Ruđer Bošković, Zagreb
Mario Pecimotika	Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku, Osijek
Marin Petrović	Institut za fiziku, Zagreb
Robert Pezer	Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak
Borna Pelić	Institut za fiziku, Zagreb
Marina Poje Sovilj	Odjel za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek
Stanko Popović	Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb
Sandra Požar	Hrvatsko fizikalno društvo, Zagreb
Miroslav Požek	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb
Tomislav Primorac	Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Splitu, Split
Danko Radić	Fizički odsjek PMF-a, Zagreb
Vanja Radolić	Odjel za fiziku Sveučilišta u Osijeku, Osijek
Ramir Ristić	Odjel za fiziku, Sveučilište u Osijeku, Osijek
Katarina Rožman	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb
Tomislav Smolčić	Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
Vernesa Smolčić	Fizički odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu
Ana Smontara	Institut za fiziku, Zagreb
Denis Stanić	Odjel za fiziku Sveučilišta u Osijeku, Osijek

Maja Strugačevac	Institut für Angewandte Physik, Heinrich-Heine-Universität Dü- sseldorf, Düsseldorf
Denis Sunko	Fizički Odsjek, Prirodoslovno- matematički fakultet SuZ, Zagreb
Antonio Šiber	Institute of Physics, Zagreb, Zagreb
Bruno Šlaus	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fa- kultet, Fizički odsjek, Zagreb
Tamara Štemberga	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fa- kultet, Fizički odsjek, Zagreb
Ivana Štibi	Sveučilište J.J. Strossmayera, Odjel za fiziku, Osijek
Rina Štrajn	Institut Ruđer Bošković
Marko Šušak	Fizički odsjek PMF-a, Zagreb
Emil Tafra	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fa- kultet, Fizički odsjek, Zagreb
Krešimir Tisanić	Department of Physics, Faculty of Science, University of Zagreb, Za- greb
Marija Todorić	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fa- kultet, Fizički odsjek, Zagreb
Filip Torić	Fizički odsjek, PMF, Zagreb, Zagreb
Deni Vale	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fa- kultet, Fizički odsjek, Zagreb
Vladivoj Valković	umirovljenik, Zagreb
Maja Varga Pajtler	Odjel za fiziku, Sveučilište J. J. Stro- ssmayera u Osijeku, Osijek
Ines Vlahović	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fa- kultet, Fizički odsjek, Zagreb
Leandra Vranješ Mar- kić	Prirodoslovno-matematički fakul- tet u Splitu, Split
Marija Vučković	Sveučilište u Zagrebu, PMF, Fizički odsjek, Zagreb
Branko Vuković	Sveučilište J.J.Strossmayera u Osi- jeku, Odjel za fiziku, Osijek
Larisa Zoranić	Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Split

Luka Zurak

Odjel za fiziku, Sveučilište u Rijeci

Aleksandar Živković

Cardiff University, School of Chemistry, Cardiff

ISBN: 978-953-7178-21-5



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