

**12. Konferenca fizikov
v osnovnih raziskavah**

ZBORNİK POVZETKOV

Terme Čatež
11. november 2022

Organizatorja

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

Pokrovitelj

Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

Programski odbor

Denis Arčon, Janez Bonča, Gvido Bratina, Irena Drevenšek Olenik, Jernej Fesl
Kamenik, Andreja Gomboc, Borut Paul Kerševan, Samo Kralj, Peter Križan, Dragan
Mihailović, Igor Muševič, Matej Praprotnik, Tomaž Prosen, Anton Ramšak, Iztok Tiselj,
Primož Ziherl, Tomaž Zwitter, Matjaž Žitnik

Organizacijski odbor

Igor Lengar
Natan Osterman
Miha Škarabot
Primož Ziherl

Urednika

Natan Osterman
Igor Lengar

Spletna stran

konfor.si

Naslovna slika: Tina Arh - Vizualizacija Isingove spinske tekočine.

Program 12. Konference fizikov v osnovnih raziskavah Terme Čatež, 11. 11. 2022

9.00-9.05	Pozdravni nagovor
9.05-9.30	Andrej Zorko: Isingova spinska tekočina v antiferomagnetu na trikotni mreži
9.30-9.45	Luka Šantelj: Prvi rezultati meritev pri eksperimentu Belle II
9.45-10.00	Katja Gosar: Magnetni gradiometer z ultrahladnimi atomi cezija na osnovi ene same Stern-Gerlachove slike
10.00-10.15	Aljaž Kavčič: Lokalizacija in sensorika skozi sipajoča tkiva z uporabo optičnih mikroresonatorjev
10.15-10.45	Premor
10.45-11.10	Maruša Bradač: Vesoljski teleskop James Webb: o prvih galaksijah v vesolju
11.10-11.25	Taj Jankovič: Hitrost vračanja snovi pri relativističnih plimskih raztrganjih zvezd
11.25-11.40	Miha Ravnik: Ionsko nabiti topološki defekti v nematskih tekočinah
11.40-11.55	Luka Snoj: Komunikacija z nevtroni
11.55-13.30	Kosilo
13.30-13.55	Sašo Grozdanov: Strunske tekočine in magnetna difuzija
13.55-14.10	Zala Lenarčič: Določanje kompleksnosti kvantnih stanj z uporabo strojnega učenja
14.10-14.25	Matej Krajnc: Gubanje nepodprtih epitelnih tkiv
14.25-14.40	Matjaž Žitnik: Interferenca dvofotonskih vzbuditev v atomu s svetlobo XUV
14.40-15.00	Premor
15.00-15.25	Nerea Sebastian: Ferroelectric nematic phase: From the discovery to the shaping of polarization
15.25-15.40	Lev Vidmar: Zlom ergodičnosti v kvantnih sistemih
15.40-15.55	Žiga Krajnik: Univerzalne anomalne fluktuacije v nabitih enovrstičnih sistemih
15.55-16.10	Žiga Kos: Defektna dinamika in redčenje v trodimenzionalnih aktivnih nematskih tekočinah
16.10-18.00	Ogled plakatov <i>Predavanja v okviru občnega zboru DMEF</i>
18.00-18.30	Andrej Bauer: Matematični pogled na volilne sisteme v Sloveniji
18.30-19.00	Saša Prelovšek Komelj: Običajni in neobičajni hadroni
19.00	Odhod avtobusa s študenti v Ljubljano
19.00-21.00	Večerja
okoli 21.00	Odhod avtobusa v Ljubljano

Glavni sponzor

Fotona

choose perfection

Sponzorji



Podporniki

Univerza v Ljubljani
Fakulteta *za matematiko in fiziko*



Društvo jedrskih strokovnjakov Slovenije
Nuclear Society of Slovenia

PREDAVANJA

Isingova spinska tekočina v antiferomagnetu na trikotni mreži

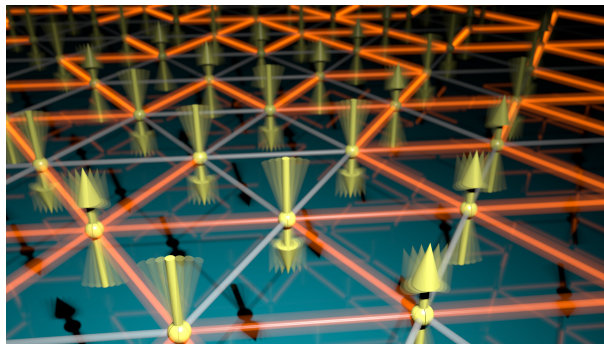
Andrej Zorko^{1,2}

¹*Odsek za fiziko trdne snovi, IJS, Ljubljana*

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

Kvantna spinska tekočina dandanes predstavlja enega izmed ključnih konceptov na področju kvantnih materialov [1]. To fascinirajo stanje snovi, ki je močno kvantno prepleteno, a magnetno neurejeno, je bilo v zadnjih letih eksperimentalno opaženo v različnih geometrijsko frustriranih materialih, vključno z realizacijami dvodimenzionalne trikotne spinske mreže. Vendar pa je pri večini teh materialov prisoten strukturni nered, kar lahko vpliva na stanje spinske tekočine in močno oteži njegovo karakterizacijo in interpretacijo.

Pred kratkim smo stanje kvantne spinske tekočine odkrili v novem antiferomagnetu na trikotni mreži (slika), neodimovem heptatantalatu ($\text{NdTa}_7\text{O}_{19}$), kjer strukturnega nerada ni [2]. Naša poglobljena študija, ki je temeljila na uporabi več komplementarnih eksperimentalnih tehnik, je pokazala, da v proučevanem materialu ne pride do magnetnega urejanja niti pri temperaturah le nekaj deset milikelvinov, kar je daleč pod velikostjo izmenjalne interakcije v tej spojini. Vseeno pa smo v osnovnem stanju zaznali znatne spinske korelacije Isingovega tipa med najbližjimi sosedi na trikotni mreži. Dodatno to stanje karakterizira močna spinska dinamika in je posledica velike magnetne anizotropije, ki je sicer značilna za redke zemlje. Odkrita spojina je del široke družine heptatantalatov na osnovi redkih zemelj, v kateri bi v prihodnosti lahko bilo odkritih še več nekonvencionalnih magnetnih stanj.



Slika 1: Vizualizacija stanja kvantne spinske tekočine na trikotni mreži v spojini $\text{NdTa}_7\text{O}_{19}$. Oranžne svetleče povezave med spini (puščicami) ponazarjajo antiferomagnetne korelacije med najbližjimi sosedi, samo stanje pa ostaja dinamično.

[1] C. Broholm *et al.*, *Science* **367**, eaay0668 (2020)

[2] T. Arh *et al.*, *Nature Materials* **21**, 416 (2022)

Prvi rezultati meritev pri eksperimentu Belle II

Luka Šantelj^{1,2} *et al.*

¹Odsek za eksperimentalno fiziko osnovnih delcev, IJS, Ljubljana

²Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

Pri eksperimentu Belle II, ki poteka na trkalniku SuperKEKB v Cukubi na Japonskem, iščemo signale fizike onkraj Standardnega modela (SM) fizike osnovnih delcev (t.i. nove fizike). Belle II je eden izmed glavnih igralcev na t.i. *obzorju natančnosti*, kjer iskanje slednjih temelji na zelo natančnih meritvah procesov pri relativno nizkih energijah in primerjavi izmerjenih vrednosti s teoretičnimi napovedmi SM. V ta namen pri eksperimentu študiramo razpade mezonov B , mezonov D , in leptonov τ , ki v velikih količinah nastajajo pri trkih elektronov in pozitronov, nominalno pri težiščni energiji 10,58 GeV. Belle II je z zbiranjem podatkov začel v letu 2019, količina do sedaj zbranih podatkov pa ustreza integrirani luminoznosti $\sim 430 \text{ fb}^{-1}$.

V prispevku bom predstavil eksperiment in potek zbiranja podatkov, ter se osredotočil na predstavitev nekaj izbranih rezultatov do sedaj opravljenih meritev. Ti vključujejo npr. do sedaj najnatančnejšo meritev življenjskega časa mezonov D (Slika 1) [1] in rezultat iskanja zelo redkega razpada $B^+ \rightarrow K^+ \nu \nu$ (Slika 1)[2], pri katerem smo z uporabo povsem nove metode rekonstrukcije dogodka dosegli senzitivnost primerljivo drugim obstoječim meritvam (navkljub mnogo manjši količini uporabljenih podatkov). Dotaknil se bom tudi trenutnega stanja opaženih anomalij v fiziki mezonov B in prispevka eksperimenta Belle II k razrešitvi le teh.

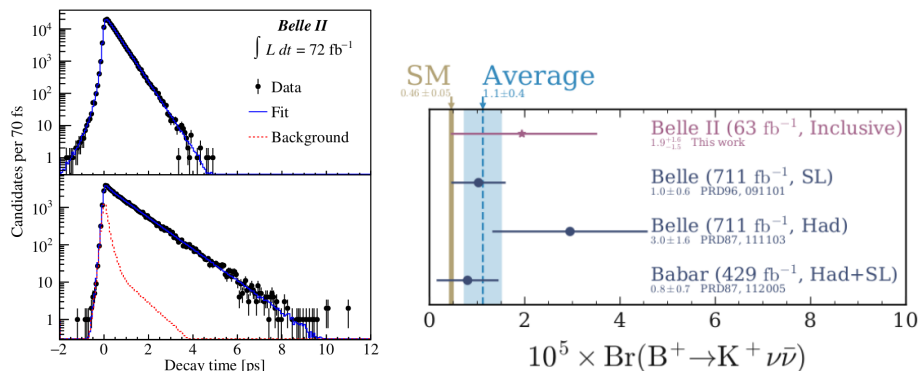


Figure 1: Levo: Porazdelitev razpadnega časa mezonov D (razpad $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$ (zgoraj) in $D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$ (spodaj)). Desno: Rezultati dosedanjih meritev razvejitenega razmerja razpada $B^+ \rightarrow K^+ \nu \nu$.

[1] F. Abudinén et al. (Belle II Collaboration), Phys. Rev. Lett. **127**, 211801 (2021)

[2] F. Abudinén et al. (Belle II Collaboration), Phys. Rev. Lett. **127**, 181802 (2021)

Magnetni gradiometer z ultrahladnimi atomi cezija na osnovi ene same Stern-Gerlachove slike

Katja Gosar^{1, 2}, Tina Arh^{1, 2}, Tadej Mežnaršič^{1, 2}, Ivan Kvasič¹, Dušan Ponikvar¹, Tomaž Apih¹, Rainer Kaltenbaek², Rok Žitko³, Erik Zupanič¹, Samo Beguš⁴ in Peter Jeglič¹

¹Odsek za fiziko trdne snovi, IJS, Ljubljana

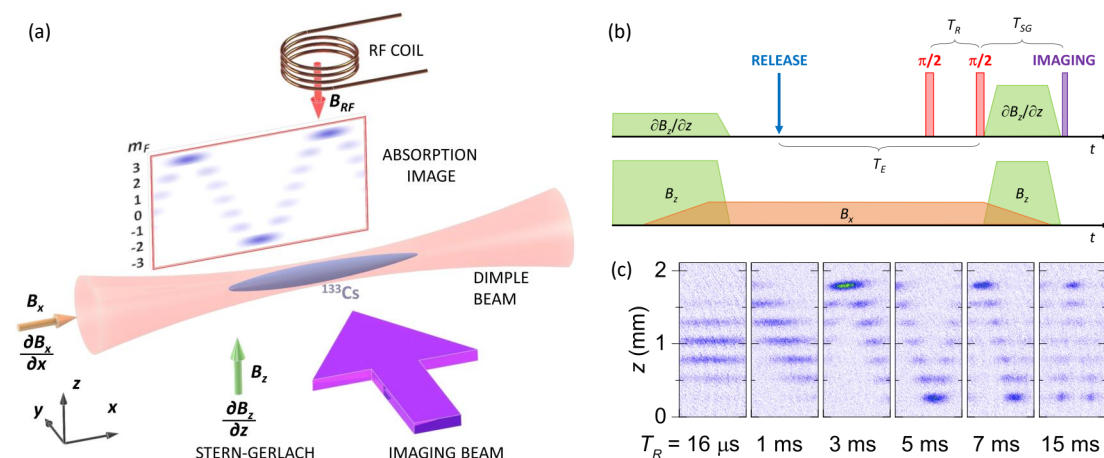
²Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

³Odsek za teoretično fiziko, IJS, Ljubljana

⁴Fakulteta za elektrotehniko, UL, Ljubljana

S kombinacijo protokola Ramseyjeve interferometrije, Stern-Gerlachove detekcije in elongirane geometrije oblaka popolnoma polariziranih ultrahladnih cezijevih atomov lahko izmerimo izbrano komponento gradienta magnetnega polja vzdolž atomskega oblaka z uporabo ene same slike [1]. Pri standardni metodi simultano merimo Larmorjevo precesijo dveh prostorsko ločenih atomskih oblakov, da izmerimo razliko v fazi precesije, ki je sorazmerna magnetnemu gradientu. V nasprotju s tem, v naši metodi za meritev gradienta potrebujemo le eno sliko atomov, saj je v razširjajočem se oblaku spreminjanje faze razvidno vzdolž oblaka. Rezolucija takšnega gradiometra ni omejena s termičnim gibanjem atomov. Natančnost smo ocenili pod ± 0.2 mG/cm.

Geometrija oblaka je skupaj s smermi magnetnih polj in žarkov prikazana na sliki (a). Zaporedje prižiganja in ugašanja magnetnih polj in žarkov pa je prikazano na sliki (b). Najprej pripravimo polarizirane atome, nato oblak razširimo in na njem izvedemo dva $\pi/2$ -pulza radiofrekvenčnega magnetnega polja (pri Larmorjevi frekvenci homogenega magnetnega polja B_x). Le v času med pulzoma magnetizacija precesira v magnetnem polju. Na koncu s pomočjo gradienta magnetnega polja razmaknemo atome glede na njihovo m_F stanje in posnamemo absorpcijsko sliko. Primeri slik z različnimi časi med $\pi/2$ -pulzoma so prikazani na sliki (c).



[1] K. Gosar et al. *Single-shot Stern-Gerlach magnetic gradiometer with an expanding cloud of cold cesium atoms*, Physical Review A **103**, 022611 (2021).

Lokalizacija in sensorika skozi sipajoča tkiva z uporabo optičnih mikroresonatorjev

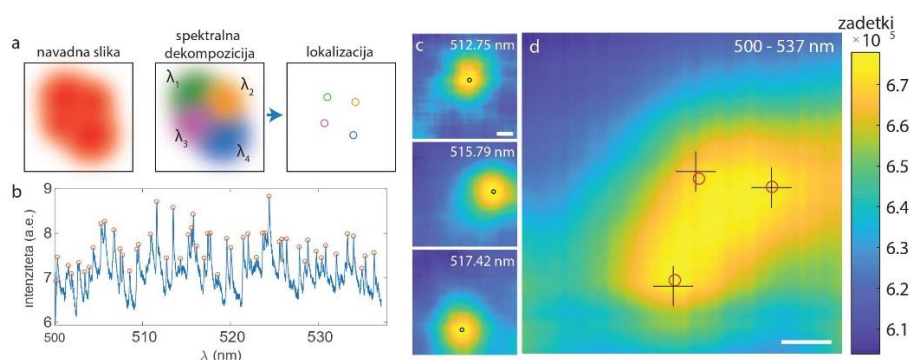
Aljaž Kavčič¹, Maja Garvas^{1,2}, Matevž Marinčič^{1,3}, Katrin Unger⁴, Anna Maria Coclite⁴, Boris Majaron^{3,5} in Matjaž Humar^{1,2,3}

¹ Institut "Jožef Stefan" – Odsek za fiziko trdne snovi (F5), ² CENN Nanocenter, ³ Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani, ⁴ Institut za fiziko trdne snovi, Univerza v Gradcu, ⁵ Institut "Jožef Stefan" – Odsek za kompleksne snovi (F7)

Gre za povzetek članka *Deep tissue localization and sensing using optical microcavity probes*, ki je bil objavljen v *Nature Communications*, 2022. doi članka: <https://doi.org/10.1038/s41467-022-28904-6>

Pri raziskavah bioloških tkiv in celic, proučevanju njihovih lastnosti ter razumevanju mehanizmov in procesov, ki narekujejo njihovo delovanje, ključno vlogo igrajo metode optičnega slikanja in mikroskopije. Žal pa je njihova sposobnost močno omejena z globino slikanja v snoveh, ki sipljejo svetlobo [1]. V bioloških in biomedicinskih preiskavah, kjer je želja specifična in natančna razpoznavna posameznih celic skozi plasti kože, možganskega tkiva itd., je razvoj novih metod, ki se ukvarjajo s premostitvijo omejitev sipanja, ključen [2].

V okviru te raziskave smo razvili nov način natančne lokalizacije skozi debele plasti bioloških tkiv. Temelji na uporabi posebnega tipa optičnih mikroresonatorjev, t. i. WGM mikroresonatorjev [3], kot preiskovalnih sond v snovi, s katerimi lahko označujemo tarčna tkiva in posamezne celice na podoben način kot s standardnimi fluorescentnimi označevalci, od katerih pa se ključno ločijo po edinstvenih spektralnih lastnostih, kot so ostra spektralna emisija in velika občutljivost na spremembe v okolju [4]. Tovrsten način označevanja omogoča natančno lokalizacijo skozi sipajoče plasti, saj spektri različnih mikroresonatorjev kljub sipanju zaradi ostrih resonanc ostanejo razločljivi, kar pomeni, da iz difuznega signala kot posledice sipanja lahko izoliramo posamezne mikroresonatorje. Na podlagi dejstva, da se spektralne lastnosti različnih mikroresonatorjev medsebojno razločujejo že ob velikostnih razlikah nekaj nanometrov, lahko na ta način edinstveno zaznamujemo in natančno lokaliziramo veliko različnih celic, hkrati pa spektralna občutljivost omogoča zaznavanje sprememb različnih količin, kot so lomni količnik, temperatura in pH vrednost, kar omogoča istočasno lokalizacijo in sensoriko.



Slika 1: Lokalizacija na podlagi spektralne dekompozicije zajetega signala na prispevke posameznih mikroresonatorjev.

- [1] Jacques, S. L. Optical properties of biological tissues: a review. *Phys. Med. Biol.* 58, R37–R61 (2013).
- [2] Yoon, S. et al. Deep optical imaging within complex scattering media. *Nat. Rev. Phys.* 1–18 (2020).
- [3] Matsko, A. B. & Ilchenko, V. S. Optical resonators with whispering gallery modes I: Basics. *IEEE J. Sel. Top. Quant.* 12, 3–14 (2006).
- [4] Humar, M. & Yun, S. H. Intracellular microlasers. *Nat. Photonics* 9, 572–576 (2015).

James Webbov Vesoljski Teleskop: O prvih galaksjah v vesolju

Maruša Bradač¹

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

James Webbov Vesoljski Teleskop, ki je pričel z znanstvenimi opazovanji junija letos nam bo omogočil pogled daleč v zgodovino vesolja, v čas nastanka prvih zvezd in galaksij. Razkrival bo pa tudi skrivnosti planetov izven našega osončja, kot tudi vode na Marsu. Ta najmogočnejši in največji vesoljski teleskop doslej je poln novih tehnološki dosežkov. V tem predavanju bom govorila o najnovejših raziskavah in prvih podatkih, ki smo jih naredili s teleskopom.



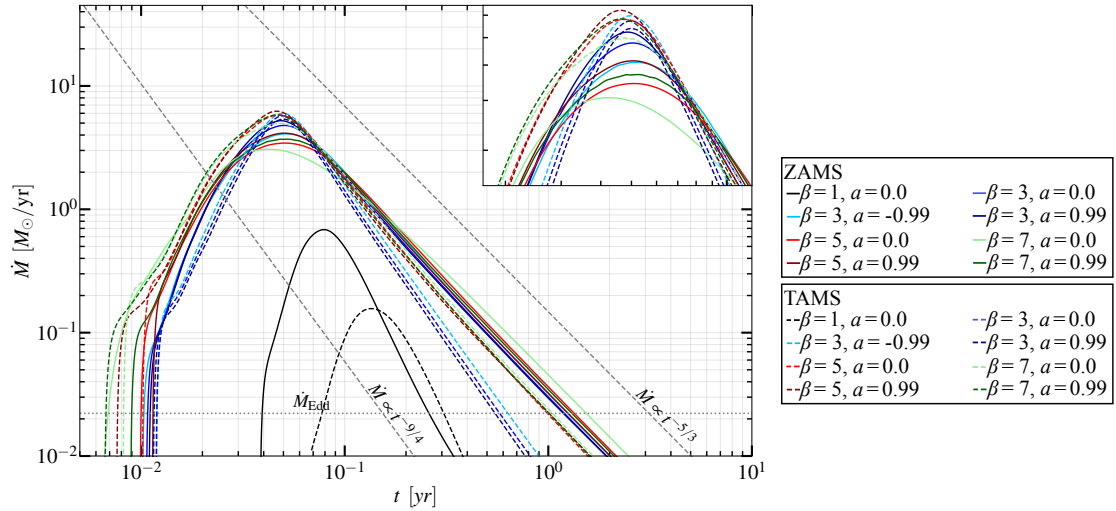
Slika 1: Prvi posnetek z James Webbov Vesoljskim Teleskopom deljen z javnostjo, jata galaksij SMACS 0723. Vir:: NASA, ESA, CSA in STScI

Hitrost vračanja snovi pri relativističnih plimskih raztrganjih zvezd

Taj Jankovič¹ and Andreja Gomboc¹

¹Center za astrofiziko in kozmologijo, Univerza v Novi Gorici, Vipavska 11 c, 5270 Ajdovščina, Slovenija

Plimska raztrganja zvezd (ang. *tidal disruption event* - TDE) se dogajajo s pogostostjo 10^{-5} – 10^{-4} /galaksijo/leto, ko supermasivna črna luknja (ang. *supermassive black hole* - SMBH) s svojo plimsko silo raztrga zvezdo. Trenutno je z opazovanji odkritih ≈ 10 novih dogodkov na leto, a pričakujemo, da se bo s pregledom neba LSST na observatoriju Vere Rubin število povečalo na ≈ 1000 /leto. Teoretično TDE modeliramo s programom PHANTOM v splošno-relativističnem in Newtonovem opisu gravitacijskega polja SMBH. Zvezde, ki so postavljene na parabolične orbite z različnimi parametri β (z različnimi razdaljami pericentra), ustvarimo s programom za razvoj zvezd MESA in imajo realistične profile gostote. Preučujemo hitrost vračanja snovi \dot{M} , količino, ki je pogosto tesno povezana s svetlobno krivuljo TDE. Posebnost naše raziskave je, da obravnavamo raztrganja zvezd z realističnim opisom profila gostote in izračunamo \dot{M} v splošno-relativističnem gravitacijskem polju vrteče-se SMBH. Izračunamo odvisnost \dot{M} od β , mase in starosti zvezd ter rezultate primerjamo s prejšnjimi raziskavami. Prav tako karakteriziramo razlike, do katerih pride zaradi različnega opisa gravitacijskega polja, in vpliv vrtenja SMBH.



Slika 1: \dot{M} za zvezde različnih starosti (ZAMS - na začetku glavne veje, TAMS - na koncu glavne veje) z maso $1 M_{\odot}$ pri interakcijah s SMBH z maso $10^6 M_{\odot}$ in vrednostjo parametra hitrosti vrtenja a v relativističnem opisu gravitacijskega polja. Vodoravna črtkana črta označuje vrednost Eddingtonove akrecije snovi. Diagonalni črtkani črti predstavljata potenčni krivulji: $t^{-5/3}$ za popolna plimska raztrganja in $t^{-9/4}$ za delna plimska raztrganja. Okvir v zgornjem desnem kotu prikazuje povečano območje v okolici vrha \dot{M} krivulj.

Ionsko nabiti topološki defekti v nematskih tekočinah

Miha Ravnik^{1,2}

1. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

2. Odsek za fiziko trdnih snovi, IJS, Ljubljana

Nadzor električnega naboja v tekočih elektrolitih je bistvenega pomena v vrsti aplikacij, kot so superkondenzatorji ali samosestavljanje delcev v koloidnih ali bioloških okoljih. Vendar pa uresničitev lokaliziranih profilov naboja v večini takšnih elektrolitov na splošno zahteva prisotnost površin, ki predstavlja temeljno omejitev za zasnovo materialov. V tem delu z uporabo numeričnega modeliranja pokažemo, da lahko nematski topološki defekti v nematskih elektrolitih delujejo kot regije za lokalno ločevanje nabojev, tvorijo jedra nabitih defektov in v nekaterih geometrijah celo električne več-sloje, analogne električnim dvojnimi slojem, ki jih najdemo v izotropnih elektrolitih. Natančneje, pokažemo, da fleksoelektričnost in topnost ionov delujeta kot glavna mehanizma za učinkovito nabijanje nematika. Obravnavane bodo različne množične in površinske geometrije, vključno z ravnimi vmesniki in koloidi. Splošneje je to delo pomembno za možne mikroelektronske aplikacije, kjer topološki defekti delujejo kot difuzni ionski kondenzatorji ali kot ionski nosilci naboja.

[1] M. Ravnik in J. C. Everts, *Phys. Rev. Lett.* **125**, 037801 (2020)

[2] J. C. Everts, B. Senyuk, H. Mundoor, M. Ravnik in I.I. Smalyukh, *Sci. Adv.* **7**, eabd0662 (2021).

[3] J. C. Everts in M. Ravnik, *Phys. Rev. X* **11**, 011054 (2021).

Komunikacija z nevtroni

Luka Snoj^{1,2} in Klemen Ambrožič¹

1. Odsek za reaktorsko fiziko, IJS, Ljubljana

2. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

Nevtroni so nevtralni delci, ki imajo popolnoma drugačne lastnosti širjenja in interakcije z medijem kot elektromagnetno valovanje, na katerem temelji današnja brezžična komunikacija. Za razliko od elektromagnetnega valovanja so praktično neobčutljivi na elektromagnetne motnje ter lahko prodrejo skozi goste in kovinske materiale. Zaradi svojih lastnosti se nevtronska komunikacija lahko uporablja tam, kjer običajne metode odpovedo, npr. komunikacija skozi debele tlačne posode, med rovi v rudniku, skozi Faradayevo kletko ali v vesolju v primeru intenzivnih vesoljsko vremenskih pojavov. Nevtronska komunikacija je primerna za sisteme, ki potrebujejo visoko stopnjo odpornosti in zanesljivosti kot so npr. komunikacije v kritični infrastrukturi. Poleti 2021 smo izvedli eksperiment, s katerim smo prvi na svetu dokazali, da je komunikacija z nevtroni mogoča [1]. V zadnjem času smo raziskovali omejitve nevtronske komunikacije glede pasovne širine, propagacijo in možnosti za ojačenje signala. Vzporedno raziskujemo tudi nevtronske diode in tranzistorje, ki bi lahko predstavljali osnovo nevtronskega računalnika.

[1] M. Joyce, L.Snoj, et al., Wireless information transfer with fast neutrons, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: , Volume 1021, 1 January 2022, 165946

Strunske tekočine in magnetna difuzija

Sašo Grozdanov^{1,2}

¹*Higgsov Center za Teoretično Fiziko, Univerza v Edinburghu, Edinburgh, EH8 9YL, Škotska,*

²*Fakulteta za Matematiko in Fiziko, Univerza v Ljubljani, Jadranska ulica 19, SI-1000 Ljubljana, Slovenija*

Zvezne globalne simetrije in ohranitveni zakoni, ki izhajajo iz njih, v naravi na dolgih časovnih in dolžinskih skalah organizirajo dinamiko snovi, kot so tekočine, plini in plazme. Generatorji običajnih globalnih simetrij delujejo na točkasta telesa in zato si lahko predstavljamo, da je tekočina sestavljena iz točkastih teles — npr. nabitih delcev. V kvantni teoriji polja pa obstajajo tudi simetrije, ki štejejo višje-dimenzionalne objekte, kot so strune ali membrane. Te simetrije zato lahko opišejo stanja zgrajena npr. iz ohranjenega števila strun. Na tem predavanju bom opisal kaj takšne posplošene globalne simetrije so in kako lahko z njimi opišemo kompleksna kolektivna stanja, kot je plazma v nevtronskih zvezdah, in celo teorijo elastičnosti trdnin.

- [1] S. Vardhan, S. Grozdanov, S. Leutheusser and H. Liu, “A new formulation of strong-field magnetohydrodynamics for neutron stars,” [arXiv:2207.01636 [astro-ph.HE]].
- [2] S. Grozdanov, A. Lucas and N. Poovuttikul, “Holography and hydrodynamics with weakly broken symmetries,” Phys. Rev. D **99** (2019) no.8, 086012 doi:10.1103/PhysRevD.99.086012 [arXiv:1810.10016 [hep-th]].
- [3] S. Grozdanov, D. M. Hofman and N. Iqbal, “Generalized global symmetries and dissipative magnetohydrodynamics,” Phys. Rev. D **95** (2017) no.9, 096003 doi:10.1103/PhysRevD.95.096003 [arXiv:1610.07392 [hep-th]].

Določanje kompleksnosti kvantnih stanj z uporabo strojnega učenja

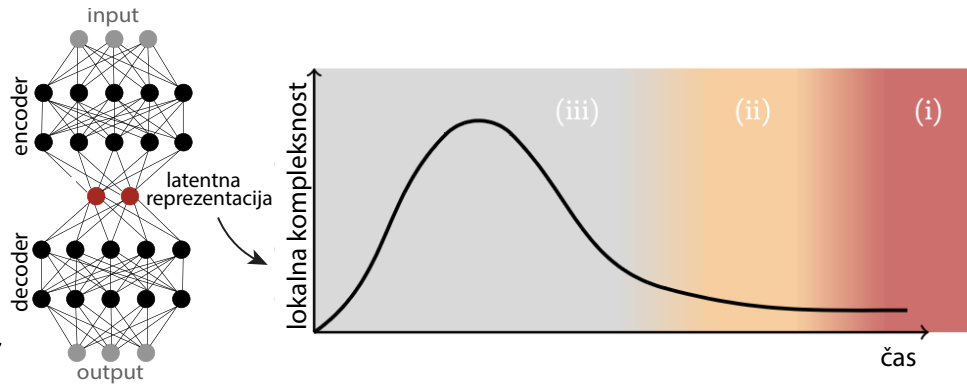
Zala Lenarčič¹, Sourav Nandy¹ in Markus Schmitt²

¹Odsek za teoretično fiziko, IJS, Ljubljana

¹Institut für Theoretische Physik, Universität zu Köln, Köln

Potencialno velika kompleksnost kvantnih stanj predstavlja resen problem za simulacijo in teoretičen opis kvantnih sistemov, še posebno, če so ti vzbujeni izven ravnovesja. Zato je pomembno prepoznati stanja, ki so (vsaj lokalno) manj kompleksna in zato opisljiva s (klasičnimi) efektivnimi teorijami.

Predstavila bom, kako z nevronskimi mrežami zaznati lokalno kompleksnost kvantnih stanj [1]. Iz lokalnih opazljivk lahko s tem pristopom zaznamo, na primer, različne stopnje v kvantni dinamiki vzbujenih mnogodelčnih sistemov. Hamiltonian, ki je odgovoren za časovno evolucijo, lahko celo rekonstruiramo iz opazljivk samih. Ker tak pristop bazira na experimentalno dostopnih lokalnih opazljivkah, bi se lahko uporabil za karakterizacijo in verifikacijo (zašumljenih) kvantnih simulatorjev.



- [1] Z. Lenarčič and M. Schmitt, Phys. Rev. B **106**, L041110 (2022)

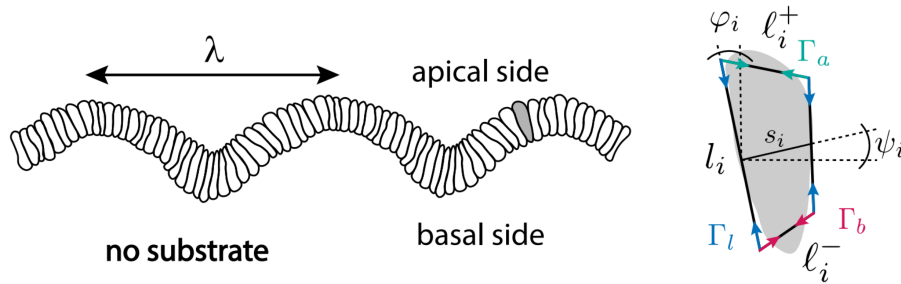
Gubanje nepodprtih epitelnih tkiv

Urška Andrenšek¹, Primož Zihel^{1,2} in Matej Krajnc¹

¹Odsek za teoretično fiziko, IJS, Ljubljana

²Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

V delu raziščemo teorijo elastičnosti *nepodprtega* enoslojnega epitelnega tkiva in odkrijemo nov mehanizem gubanja, ki je posledica končne debeline in površinskih napetosti celic ter vodi do istih oblik, kakršne opazimo pri tankih podprtih elastičnih plasteh ob geometrijskem neujemanju s substratom. Tako z izpeljavo kontinuumске teorije kot s simulacijami ogliščnega modela pokažemo, da lahko epitelno tkivo avtonomno spremeni ravnovesno stanje iz pričakovanega uklona v nagubano obliko. Z vpeljavo togosti fantomskega substrata našo teorijo poenotimo s teorijo tankih podprtih plasti in s tem pokažemo, da lahko pri določitvi površinske deformacije učinka končne debeline epitela in površinskih napetosti celic nadomestita interakcijo s podpornim tkivom.



Slika 1: Shematski prikaz modela eloslojnega epitelnega tkiva.

Interferenca dvofotonskih vzbuditev v atomu s svetlobo XUV

M. Žitnik¹, A. Mihelič¹, K. Bučar¹, Š Krušič¹, R. Squibb², R. Feifel², I. Ismail³, P. Lablanquie³, J. Palaudoux³, O. Plekan⁴, M. Di Fraia⁴, M. Coreno^{4,5}, M. Manfredda⁴, A. Simoncig⁴, P. Rebernik Ribič^{4,6}, F. Sottocorona⁴, E. Allaria⁴, K. C. Prince⁴, C. Callegari⁴ in F. Penent³

¹*Institut Jožef Stefan, Jamova cesta 39, SI-1000 Ljubljana, Slovenija*

²*University of Gothenburg, Department of Physics, SE-412 96 Gothenburg, Sweden*

³*LCP-MR (UMR 7614), Sorbonne Université and CNRS, 4 Place Jussieu, F-75005 Paris, France*

⁴*Elettra-Sincrotrone Trieste, Strada Statale 14 - km 163.5, I-34149 Basovizza, Trieste, Italy*

⁵*Consiglio Nazionale delle Ricerche -Istituto di Struttura della Materia, LD2 unit, 34149 Trieste, Italy*

⁶*Laboratorij za kvantno optiko, Univerza v Novi Gorici, Nova Gorica 5001, Slovenija*

Zasedenost stanja $2s^2$ v heliju smo kontrolirali z nastavitvijo fazne razlike med svetlobo prvega (ω_1) in tretjega harmonika (ω_3) v femtosekundnem črpalnem sunku. Verjetnost za dvofotonsko vzbuditev preko poti $\omega_1 + \omega_1$ in $\omega_3 - \omega_1$ je odvisna od fazne razlike v interferenčnem členu. Učinkovitost vzbuditve v odvisnosti od fazne razlike smo opazovali z meritvijo pridelka elektronov, ki imajo karakteristično kinetično energijo in jih tarča odda pri avtoionizaciji atomskih stanj $2s^2$. Največji pridelek dobimo, ko se fazna razlika dveh harmonikov ujema s fazno razliko kompleksnih atomskih amplitud, ki opisujeta dvofotonsko vzbujanje. Izračunani trend atomskih faznih razlik se dobro ujema z eksperimentalnimi podatki na spektralnem območju resonance $2s^2$, če ne pozabimo upoštevati prispevka časovno obrnjene poti $-\omega_1 + \omega_3$. Opisani pristop omogoča meritev fazne razlike za dvofotonski vzbuditveni poti preko energijsko oddaljenih vmesnih stanj in s tem interferometrijo pri kratkih valovnih dolžinah svetlobe [1].

- [1] M. Žitnik, A. Mihelič, K. Bučar, Š Krušič, R. Squibb, R. Feifel, I. Ismail, P. Lablanquie, J. Palaudoux, O. Plekan, M. Di Fraia, M. Coreno, M. Manfredda, A. Simoncig, P. Rebernik Ribič, F. Sottocorona, E. Allaria, K. C. Prince, C. Callegari, F. Penent, *Optica* **9**, 692 (2022).

Ferroelectric nematic phase: from the discovery to the shaping of polarization

Nerea Sebastián¹, Matija Lovšin¹, Natan Osterman^{1,2}, Brecht Berteloot³, Richard J. Mandle⁴, Mingjun Huang⁵, Satoshi Aya⁵, Andrej Petelin^{1,2}, Kristiaan Neyts³, Irena Drevenšek-Olenik^{1,2} in Alenka Mertelj²

1. Odsek za kompleksno snov, IJS, Ljubljana

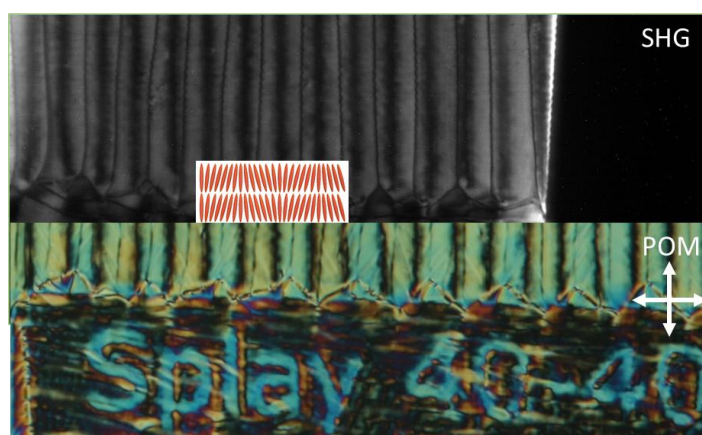
2. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

3. Liquid Crystals and Photonics Group, ELIS Department, Ghent University, Ghent, Belgium

4. School of Physics and Astronomy, University of Leeds, Leeds, UK

5. South China University of Technology, Guangzhou, China

The recent discovery of the ferroelectric nematic phase certainly constitutes an important milestone in liquid crystals research [1-3]. With it, experimental investigation of one of the most searched liquid crystal phases in decades has finally been made possible, with high expectations for future applications. Parallel in time two materials, DIO and RM734, were reported to exhibit additional nematic phase distinct from the classical one. While RM734 shows the phase sequence N-N_F, DIO exhibits an additional antiferroelectric nematic phase in between, N-M2-N_F. In both cases, materials consist of elongated molecules with a large dipole moment at a small angle with the molecular axis. Since then, investigations of both materials run in parallel, showing that the novel nematic phase is indeed ferroelectric, with giant spontaneous polarization and unique dielectric properties. During this talk, based on the comparison of several materials, I will give an overview of our investigations on ferroelectric nematic materials, with special focus on its differentiating dielectric, viscoelastic and optical characteristics. Boundary conditions, i.e., confining cell treatments, have a high impact on the observed director structures, and as shown here, can be used to create patterned polarization structures.



Slika 1: Polarizing microscope image (POM, bottom) and Second Harmonic Generation (SHG) microscopy image (Top) of a 1D splay pattern with periodicity 40 μm and maximum angle 40°.

[1] H. Nishikawa, K. Shiroshita, H. Higuchi, Y. Okumura, Y. Haseba, S. Yamamoto, K. Sago, and H. Kikuchi, *Advanced Materials* **29**, 1702354 (2017).

[2] N. Sebastián, L. Cmok, R. J. Mandle, M. R. de la Fuente, I. Drevenšek Olenik, M. Čopič, and A. Mertelj, *Phys. Rev. Lett.* **124**, 037801 (2020).

[3] N. Sebastián, M. Čopič and A. Mertelj, *Physical Review E* **106**, 021001 (2022).

Zlom ergodičnosti v kvantnih sistemih

Lev Vidmar^{1,2}

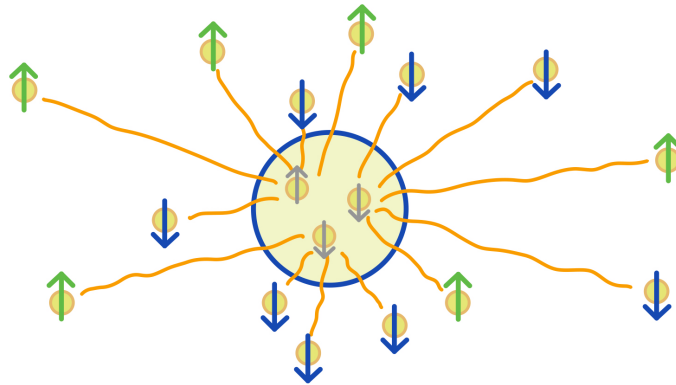
¹Odsek za teoretično fiziko, Institut Jožef Stefan, Ljubljana

²Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani, Ljubljana

Če nek sistem vzbudimo daleč stran od ravnovesja, pričakujemo, da se po dovolj dolgem času spet vrne nazaj v ravnovesje. Proces, ko se pričakovane vrednosti opazljivk po dolgem času zopet približajo napovedim Gibbsovih termalnih ansambljev, imenujemo termalizacija, za stanje sistema pa pravimo, da je ergodično.

Pod katerimi pogoji pa se lahko zgodi, da fizikalni sistem ni ergodičen? V zadnjem desetletju smo bili priča intenzivnim raziskavam tega vprašanja v kvantnih sistemih z velikim številom delcev. Osrednji motiv teh raziskav je iskanje nove vrste kvantnih faznih prehodov, ki jih opišemo kot prehode iz ergodične v neergodično fazo snovi.

Kljub intenzivnim raziskavam trenutno ni povsem jasno, kateri so vzorčni modeli za opis takega prehoda [1, 2]. Pokazal bom primer modela tako imenovanega kvantnega sonca (glej Sliko 1), za katerega smo nedavno utemeljili nekatere ključne lastnosti na prehodu med ergodično in neergodično fazo [3]. Ta model bi lahko postal vzorčni model za opis te nove vrste faznih prehodov, saj omogoča zelo učinkovito analitično kot tudi numerično obravnavo.



Slika 1: Model kvantnega sonca, v katerem delci izven sredice interagirajo zgolj z delci znotraj sredice. Sistem preide iz ergodične v neergodično fazo, ko postane interakcija dovolj šibka [3].

- [1] J. Šuntajs, J. Bonča, T. Prosen in L. Vidmar, Quantum chaos challenges many-body localization, *Physical Review E* **102**, 062144 (2020)
- [2] L. Vidmar, Ali obstaja idealni izolator pri sobni temperaturi?, *Alternator* 6 (2022)
- [3] J. Šuntajs in L. Vidmar, Ergodicity breaking transition in zero dimensions, *Physical Review Letters* **129**, 060602 (2022)

Univerzalne anomalne fluktuacije v nabitih enovrstičnih sistemih

Žiga Krajnik¹, Johannes Schmidt^{2,3}, Vincent Pasquier⁴, Tomaž Prosen¹ in Enej Ilievski¹

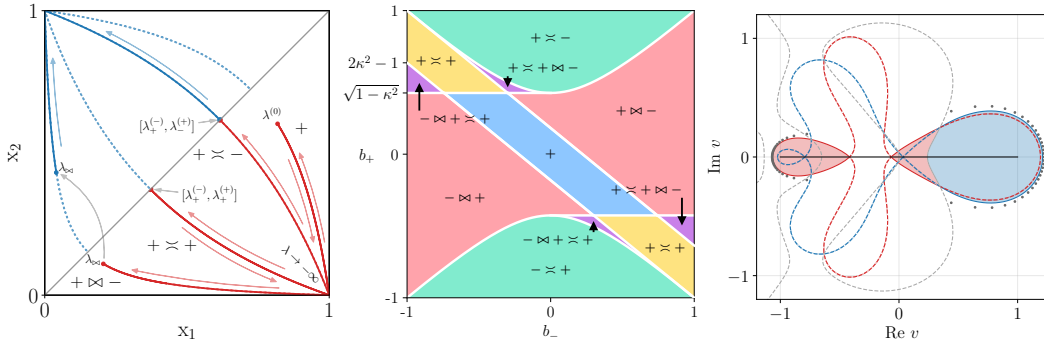
¹*Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani*

²*Institute for Theoretical Physics, Technische Universität Berlin*

³*Bonacci GmbH*

⁴*Institut de Physique Théorique, Université Paris Saclay*

Konventionalna klasifikacija dinamičnih pojavov bazira na univerzalni hidrodinamski relaksaciji, ki jo karaterizirata algebrajski dinamičen eksponent in asimptotska skalarna oblika dinamičnega strukturnega faktorja. V delu najdemo nov tip dinamične univerzalnosti, ki se odseva v statistiki fluktuirajočih makroskopskih opazljivk. V razredu generičnih enovrstičnih (preskakovanje delcev je prepovedano) sistemov trdih nabitih delcev v eni dimenziji pokažemo, da dinamična vez porodi univerzalno anomalno statistiko pretočenega naboja, ki se manifestira tako na ravni tipičnih kot tudi redkih fluktuacij. Z analitičnih izračunom t.i. “full counting” statistike pretočenega naboja med dvema podsystemoma demonstriramo več presenetljivih dinamičnih lastnosti. Tipične fluktuacije v ravnovesju so porazdeljene po univerzalni porazdelitvi, ki močno odstopa od pričakovane Gaussovske porazdelitve, medtem ko redke dogodke karakterizira t.i. “rate” funkcija s trojno kritično točko. Izven ravnovesja tekmovanje dveh dinamičnih faz vodi do dinamičnih faznih prehodov prvega in drugega reda. Fluktuacijska relacija skupne delec-naboj rate funkcije velja tudi čez fazne linije, medtem ko se lahko fluktuacijska relacija za rate funkcijo naboja spontano zlomi.



Slika 1: (levo) λ -tok ekstremov dveh dinamičnih faz. (sredina) Dinamični režim kot funkcija začetnega stanja. (desno) Fazni diagram in Lee-Yang ničle v kompleksni ravnini.

[1] Ž. Krajnik, E. Ilievski, in T. Prosen, *Physical Review Letters* **128**, 090604 (2022)
 [2] Ž. Krajnik, J. Schmidt, V. Pasquier, E. Ilievski, in T. Prosen, *Physical Review Letters* **128**, 160601 (2022)
 [3] Ž. Krajnik, J. Schmidt, V. Pasquier, T. Prosen in E. Ilievski, arXiv:2208.01463

Defektna dinamika in redčenje v trodimenzionalnih aktivnih nematskih tekočinah

Nika Kralj¹, Miha Ravnik^{1,2} in Žiga Kos^{1,2}

1. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

2. Odsek za trdno snov, IJS, Ljubljana

Tridimenzionalni aktivni nematiki so zanimivi materiali, za katere je značilna dinamična mreža defektnih linij in zank [1]. V raziskavah smo analitično in numerično preučevali 3D aktivne nematike s poudarkom na dinamiki topoloških defektov [2-5]. Dinamika posamezne aktivne defektne zanke je odvisna od lokalnega profila direktorskega polja, ki se lahko razteza od $+1/2$ ali $-1/2$ ovojnega števila do profilov z zvojno deformacijo. Odvisno od orientacijskega profila zanke opazimo načine spontanega krčenja, rasti in upogiba [2]. V ograjenem prostoru aktivni nematiki kažejo neregularno dinamiko več defektnih zank z različnimi topološkimi dogodki križanja zank, anihilacije, cepitve in združevanja [3]. Pri konstantni aktivnosti je trodimenzionalna aktivna turbulenca dinamično stanje z efektivno konstantno gostoto defektnih linij in zank [4]. Prehodna dinamika proti različnim dinamičnim stacionarnim stanjem trodimenzionalne aktivne turbulence in med njimi je določena z redčenjem ali zgoščevanjem defektnih linij [5]. Natančneje, z uporabo teorije in numeričnega modeliranja lahko napovemo razvoj gostote aktivnih defektov stran od stabilnega stanja zaradi hitrega faznega prehoda ali časovno odvisne aktivnosti, s čimer vzpostavimo fenomenološki opis redčenja defektnih linij. Pristop se najprej uporabi za dinamiko rasti posamezne aktivne defektne zanke, nato pa za celotno tridimenzionalno mrežo aktivnih defektnih linij. Izpeljane fenomenološke enačbe nato primerjamo s časovnim razvojem redčenja defektnih linij v drugih fizikalnih sistemih. Namen našega dela je zagotoviti vpogled v 3D aktivne nematske sisteme z vidika topologije nastajajočih 3D defektov in njihove samoinducirane dinamike.

[1] G. Duclos et al, Topological structure and dynamics of three-dimensional active nematics, *Science* 367, 1120 (2020).

[2] J. Binysh, Ž. Kos, S. Čopar, M. Ravnik, G. P. Alexander, Three-Dimensional Active Defect Loops, *Phys. Rev. Lett.* 124, 088001 (2020).

[3] S. Čopar, J. Aplinc, Ž. Kos, S. Žumer and M. Ravnik, Topology of Three-Dimensional Active Nematic Turbulence Confined to Droplets, *Phys. Rev. X* 9, 031051 (2019).

[4] Ž. Krajnik, Ž. Kos and M. Ravnik, Spectral energy analysis of bulk three-dimensional active nematic turbulence, *Soft Matter* 16, 9059 (2020).

[5] N. Kralj, M. Ravnik, Ž. Kos, Defect line coarsening and refinement in active nematics, *arXiv:2204.11957* (2022).

Običajni in neobičajni hadroni

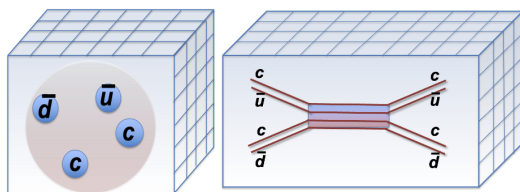
Saša Prelovšek Komelj^{1,2}

¹Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

²Odsek za Teoretično Fiziko, IJS, Ljubljana

Hadroni so stanja sestavljena iz kvarkov. Najpomembnejša običajna hadrona sta proton in nevtron. V zadnjem desetletju pa so eksperimenti nepričakovano odkrili precej eksotičnih hadronov - to so stanja sestavljena iz več kot treh valenčnih kvarkov. Raziskave eksotičnih hadronov med drugim razkrivajo ali so mehanizmi odgovorni za njihov obstoj analogni tistim, ki vežejo protone in nevtrone v jedra. V predavanju bom povzela kako na podlagi osnovne teorije obravnavamo običajne in neobičajne hadrone in kaj je o njih v zadnjem času dognala slovenska skupina.

Najbolj dolgoživ eksotičen hadron doslej je bil lani odkrit v CERNu in vsebuje štiri kvarke $cc\bar{u}\bar{d}$. V predavanju bom predstavila prvo potrditev za obstoj tega stanja na podlagi osnovne teorije. Večina doslej odkritih eksotičnih stanj pa vsebuje par $\bar{c}c$ ter dodatne lahke kvarke. Naša raziskava tovrstnih stanj je pravilno opisala lastnosti običajnih čarmonijev ter napovedala obstoj dveh nenavadnih hadronov, ki so ju letos eksperimentalno potrdili.



Slika 1: Najbolj dolgoživ eksotičen hadron vsebuje dva čarobna kvarka. V teoretični raziskavi se to stanje tvori pri sipanju dveh običajnih hadronov. Mreža na slikah ponazarja uporabljen teoretični pristop - kvantno kromodinamiko na mreži.

- [1] M. Padmanath in S. Prelovsek, *Signature of a doubly charm tetraquark pole in DD^* scattering on the lattice*, Physical Review Letters 129 (2022) 032002.
- [2] S. Prelovsek, S. Collins, D. Mohler, M. Padmanath, S. Piemonte, *Charmonium-like resonances with $J^{PC} = 0^{++}, 2^{++}$ in coupled $\bar{D} - \bar{D}_s\bar{D}_s$ scattering on the lattice*, Journal of High Energy Physics 06 (2021) 035.

PLAKATI

Jedrsko gretje – Računska preverba eksperimenta

Klemen Ambrožič¹, Vladimir Radulović¹ in Luka Snoj^{1,2}

1. Odsek za reaktorsko fiziko, IJS, Ljubljana

2. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

Gretje materialov kot posledica direktnih interakcij ionizirajočega sevanja imenujemo jedrsko gretje. Vrednosti jedrskega gretja v primerih kot so prva stena fuzijskega reaktorja in v reaktorjih z visokim nevtronskim fluksom lahko dosežejo vrednosti višje od 10 W/g. Tako je potrebno zagotoviti zadostno količino hlajenja, še posebej v superprevodnih magnetih fuzijskih tokamakov, ki jih je potrebno hladiti z tekočim helijem. Slednje zahteva hladilno moč ~100 krat večjo od odvedene toplote. Glavni prispevek k jedrskemu gretju navadno doprinesejo žarki gama, ki so zelo prodorni in lahko energijo deponirajo relativno daleč od mesta nastanka.

Na reaktorju IJS TRIGA smo v letu 2021 izvedli eksperimentalno kampanjo meritve jedrskega gretja na materialih relevantnih za jedrsko tehnologijo, pri močeh reaktorja 30 kW, 100 kW in 250 kW (1). Oba eksperimenta smo poustvarili z natančnimi simulacijami sevalnega polja z Metodo Monte Carlo transport delcev s programom MCNP, pri čemer smo upoštevali transport tako nevtronov kot tudi žarkov gama in elektronov. Spektre in jakosti žarkov gama ter elektronov ki nastanejo kot posledica razpada fizijskih in aktivacijskih produktov smo simulirali z lastno razvitim programom JSIR2S (2).

Reference:

1. *Nuclear heating measurements for fusion and fission relevant materials in the JSI TRIGA reactor.* H. Carcreff, V. Radulović, D. Fourmentel, K. Ambrožič, C. Destouches, L. Snoj, N. Thiollay. s.l. : Elsevier, 2022, Fusion Engineering and Design, Izv. 179, str. 113136. 0920-3796.

2. *JSIR2S code for delayed radiation simulations: Validation against measurements at the JSI TRIGA reactor.* K. Ambrožič, L. Snoj. s.l. : Elsevier, 2022, Progress in Nuclear Energy, Izv. 129, str. 103498. 0149-1970.

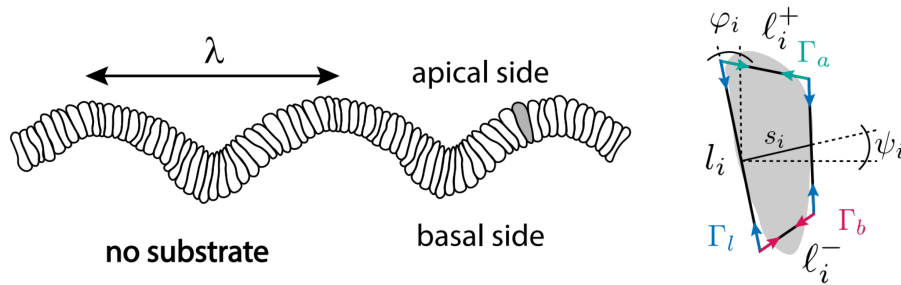
Gubanje nepodprtih epitelnih tkiv

Urška Andrenšek¹, Primož Ziherl^{1,2} in Matej Krajnc¹

¹Odsek za teoretično fiziko, IJS, Ljubljana

²Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

V delu raziščemo teorijo elastičnosti *nepodprtega* enoslojnega epitelnega tkiva in odkrijemo nov mehanizem gubanja, ki je posledica končne debeline in površinskih napetosti celic ter vodi do istih oblik, kakršne opazimo pri tankih podprtih elastičnih plasteh ob geometrijskem neujemanju s substratom. Tako z izpeljavo kontinuumске teorije kot s simulacijami ogljščnega modela pokažemo, da lahko epitelno tkivo avtonomno spremeni ravnovesno stanje iz pričakovanega uklona v nagubano obliko. Z vpeljavo togosti fantomskega substrata našo teorijo poenotimo s teorijo tankih podprtih plasti in s tem pokažemo, da lahko pri določitvi površinske deformacije učinka končne debeline epitela in površinskih napetosti celic nadomestita interakcijo s podpornim tkivom.



Slika 1: Shematski prikaz modela eloslojnega epitelnega tkiva.

Izvor magnetnega urejanja in dinamične spinske korelacije v strukturno popolnem antiferomagnetu na mreži kagome

Tina Arh^{1,2}, Matjaž Gomilšek^{1,2}, Peter Prelovšek^{1,3}, Matej Pregelj¹, Martin Klanjšek¹ in Andrej Zorko^{1,2}

¹*Odsek za fiziko trdne snovi, IJS, Ljubljana*

²*Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana*

³*Odsek za teoretično fiziko, IJS, Ljubljana*

Za preprost Heisenbergov model antiferomagnetnih interakcij najbližjih kvantnih spinov na mreži kagome je splošno sprejeto, da ima za osnovno stanje magnetno neurejeno kvantno spinsko tekočino. Če takemu preprostem modelu dodamo različne perturbacije, lahko osnovno stanje bistveno spremenimo. Eksperimentalni materiali, ki realizirajo takšen model, so pogosto zgolj nepopolne realizacije, ki na več načinov odstopajo od čistega modela, zaradi česar je težko oceniti vloge posameznih perturbacij pri stabilizaciji osnovnega stanja. V tem delu predstavljamo kombinacijo eksperimentalnih in teoretičnih študij materiala $\text{YCu}_3(\text{OH})_6\text{Cl}_3$, pri katerem je mreža kagome strukturno popolna in ne vsebuje nečistoč.

V omenjenem materialu smo razkrili izvor magnetno urejenega stanja, ki se pojavi pod temperaturo 12 K [1], čeprav bi za strukturno popolno mrežo kagome pričakovali osnovno stanje kvantne spinske tekočine. Kombinacija izračunov iz prvih principov in numeričnega modeliranja magnetne susceptibilnosti najprej pokaže, da je daleč največja izotropna izmenjalna interakcija v sistemu, podobno kot v primeru materiala herbertsmithite, interakcija med najbližjimi spinskimi sosedi. Meritve elektronske spinske resonance, magnetne susceptibilnosti in specifične toplote pa nato razkrijejo, da je anizotropna izmenjalna interakcija tipa Dzyaloshinskii-Moriya (DM) precej večja kot v herbertsmithitu. Z osamitvijo anizotropije DM od drugih perturbacij tako pokažemo, da ta omogoči magnetno urejanje z ojačitvijo spinskih korelacij znotraj ravnin mreže kagome.

Za lokalni vpogled v dinamične spinske korelacije smo na materialu izvedli meritve jedrske magnetne resonance (NMR) in numerično modelirali dinamični spinski strukturni faktor Heisenbergovega modela z dodanimi interakcijami DM [2] pri končnih temperaturah. Iz tega izračunamo spinsko-mrežni relaksacijski čas, ki ga meri NMR, in rezultate primerjamo z eksperimentalnimi rezultati za herbertsmithite in $\text{YCu}_3(\text{OH})_6\text{Cl}_3$, v katerem znatna interakcija DM močno vpliva tudi na dinamiko spinov nad temperaturo prehoda v magnetno urejeno stanje.

[1] T. Arh *in dr.*, Physical Review Letters **125**, 027203 (2020)

[2] P. Prelovšek, M. Gomilšek, T. Arh in A. Zorko, Physical Review B **103**, 014431 (2021)

Elektro- in magnetokalorični pojav v tekočih kristalih

Polona Aupič¹ in Gregor Skačej¹

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

Kalorični pojavi so reverzibilne termične spremembe materialov zaradi spremembe zunanje polja (električnega, magnetnega ali mehanskega).[1] Velikost kaloričnega odziva je največja v bližini faznih prehodov in je posledica spremembe entropije zaradi sklopitve ureditvenega parametra z zunanjim poljem, velik elektrokalorični odziv je na primer značilen v bližini prehoda med feroelektrično in paraelektrično fazo. Kalorični pojavi so predmet zanimanja predvsem zaradi možnosti uporabe v okolju bolj prijaznih hladilnih napravah in toplotnih črpalkah.

Orientacijo molekul v tekočih kristalih zlahka upravljamo z električnim ali magnetnim poljem, zato predstavljajo potencialne kandidate za učinkovite kalorične materiale. Eksperimentalno izmerjeni elektrokalorični odzivi pri smektično-izotropnem in nematsko-izotropnem prehodu se po velikosti primerjajo s trdimi materiali. [2, 3]

V tem prispevku predstavimo oceno velikosti elektro- in magnetokaloričnega odziva v bližini nematsko-izotropnega prehoda v tekočih kristalih z indirektnim pristopom. Uporabimo simulacije molekulske dinamike za oceno izmenjane toplote pri izotropni spremembi zunanje polja, iz tega ocenimo tudi spremembo temperature pri adiabatni spremembi.

[1] Y. Liu et al, Applied Physics Reviews **3**: 031102 (2016).

[2] E. Klemenčič et al, Scientific Reports **9**: 1721 (2019).

[3] M. Trček et al, Phil. Trans. R. Soc. A. **374**: 20150301 (2016).

Fotoobčutljivi azocinamoilni tekoči kristali z upognjeno sredico

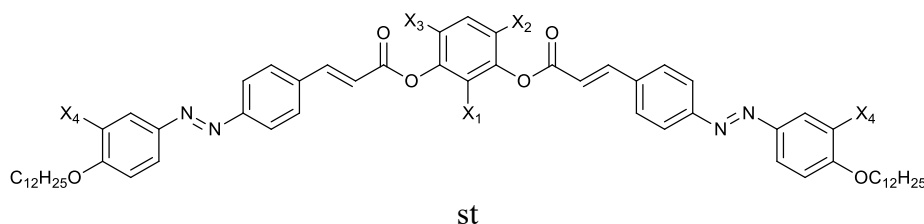
Gak Simić Kristina¹, Trišović Nemanja¹, Cmok Luka^{2*} in Drevenšek-Olenik Irena^{2,3}

¹ Fakulteta za Tehnologijo in Metalurgijo, Univerza v Beogradu, Srbija.

²J. Štefan Inštitut, Ljubljana, Slovenija

³Fakulteta za Matematiko in Fiziko, Univerza v Ljubljani, Slovenija.

V prispevku predstavljamo sintezo in karakterizacijo serije tekočih kristalov z upognjeno sredico. Upognjeno sredico sestavljajo 3 benzenski obroči povezani z azocinamoilno skupino in še 2 povezana z fotoobčutljivim AZO mostom. Dolžini stranskih repov so bili v vseh primerih enake (C₁₂H₂₅-), medtem ko smo na centralnem in zunanjih benzenskih obročih z substitucijo funkcionalnih skupin spreminjali električne lastnosti spojin in njihov način spontanega urejanja. V nasprotju z spojino, ki je vsebovala "gole" benzenske obroče smo v primerih z funkcionalnimi skupinami dosegli večjo prostorsko porazdelitev naboja ter nove - drugačne makroskopsko urejene faze.



Slika 1 - Fotoobčutljivi azocinamoilni tekoči kristali z upognjeno sredico

Pri karakterizaciji smo se osredotočili predvsem na efekte fotoizomerizacije. Znano je, da v azocinamoilnih funkcionalnih skupinah prihaja do več fotokemičnih procesov, poleg cis-trans prehoda še do ciklizacije in foto-Fries reorganizacije.

Preučili smo fazni diagram tekoče kristalnih faz, ki jih tvorijo te spojine, odkrili da ena izmed spojin tvori zanimivo smektično B₇ fazo. UV osvetlitev vzorcev povzroči spremembe v ureditvi, opazili smo, da se v planarno urejenih celicah te spremembe hitre in ponovljive, ter da znižajo temperaturo faznega prehoda iz smektične v nematsko fazo. V poizkusih, kjer je bil material samo nanšen na stekleno površino, smo opazili tipično Schlieren teksturo, katera se je ob UV osvetlitvi stabilizirala in je ostala stabilna tudi po več mesecih. Razlog za to smo pripisali dimerizaciji cinamoilnih funkcionalnih grup, ki so preprečile cis-konformaciji da se relaksira nazaj v trans-konformacijo, predvidevamo, da zaradi omejene geometrije takšen proces ni možen v planarnih celicah.

[1] Simić, K. G., Rybak, P., Pocięcha, D., Cmok, L., Drevenšek-Olenik, I., Tóth-Katona, T., & Trišović, N. *Journal of Molecular Liquids*, **366**, 120182 (2022).

Spontano urejanje zaporedij $d(G_4C_2)_n$ od G-kvadrupleksov do tekočokristalnih faz

Melani Potrč^{1,2}, Nerea Sebastián², Irena Drevenšek-Olenik^{2,3}, Boris Rogelj⁴
in Lea Spindler^{5,2}

1. Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Univerza v Mariboru, Maribor

2. Odsek za kompleksne snovi, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana

3. Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani, Ljubljana

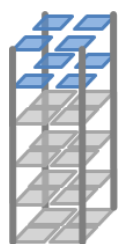
4. Odsek za biotehnologijo, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana

5. Fakulteta za strojništvo, Univerza v Mariboru, Maribor

DNK zaporedja, bogata z gvaninom, tvorijo stabilne štirivijačne strukture, imenovane G-kvadrupleksi, ki temeljijo na G-kvartetih - štirih z vodikovimi vezmi povezanih gvaninih. Tvorba G-kvadrupleksov je bila potrjena tudi v kromosomih, in ugotovljeno je bilo, da imajo pomembno vlogo pri nastanku nekaterih nevrodegenerativnih boleznih, kot sta amiotrofična lateralna skleroza (ALS) in frontotemporalna demenca (FTD). Obe bolezni povezuje s povečanim številom $d(G_4C_2)_n$ zaporedij [1].

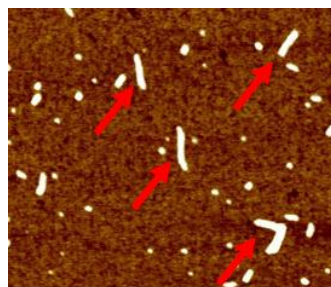
G-kvadrupleksi imajo težnjo po povezovanju v eno-dimenzionalne agregate, imenovane G-žice. Proučevali smo mehanizme tvorbe G-kvadrupleksov in G-žic za zaporedja $d(G_4C_2)$, $d(G_4C_2)_2$ in $d(G_4C_2)_4$. Z dinamičnim sipanjem svetlobe smo določili difuzijski koeficient in dolžino G-žic, ki nastanejo v raztopinah. Ugotovili smo, da vse tri sekvence tvorijo daljše žice, kot je bilo pričakovano [2]. Za zaporedje $d(G_4C_2)$ so značilne dolžine z $L > 80$ nm. Zaporedje $d(G_4C_2)_2$ tvoril le kratke dimerne kvadruplekse, medtem ko zaporedje $d(G_4C_2)_4$ tvori multimerne, ki ustrezajo sedmim agregiranim G-kvadrupleksom. Podobne razlike med dolžino žic zaporedij $d(G_4C_2)_n$ za $n=1,2$, in 4 so potrdile tudi meritve z mikroskopom na atomsko silo (AFM).

Preverili smo tudi strukturne lastnosti koncentriranih ($C > 50$ mM) raztopin, ki so bližje dejanskemu stanju v celičnih jedrih. Izkazalo se je, da zaporedje $d(G_4C_2)$ tvori visoko organizirane tekoče-kristalne faze. Predpostavljamo, da igrata nastanek in medsebojno povezovanje G-kvadrupleksov pomembno vlogo v mehanizmu agregacije $d(G_4C_2)_n$ zaporedij, kar bi lahko ključno vplivalo na razvoj ALS in FTD.

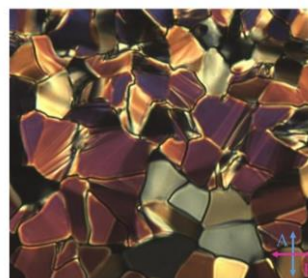


$d(G_4C_2)$

(a)



(b)



(c)

Slika 1: Urejanje zaporedja $d(G_4C_2)$: štiri zaporedja se povežejo v G-kvadrupleks (a), nalaganje kvadrupleksov vodi do nastanka ~ 150 nm dolgih G-žic (AFM slika) (b), v zgoščenih raztopinah se kvadrupleksi orientacijsko uredijo v tekočokristalne faze (c).

[1] DeJesus-Hernandez, M.; et al.; *Neuron* **2011**, 72, 245-256.

[2] Potrč, M. et al; *Int. J. Mol. Sci.* **2021**, 22, 4532.

Opisane raziskave financira ARRS v okviru raziskovalnega programa P1-0192 – Svetloba in snov.

Gosto zlaganje trdih elips na sferi

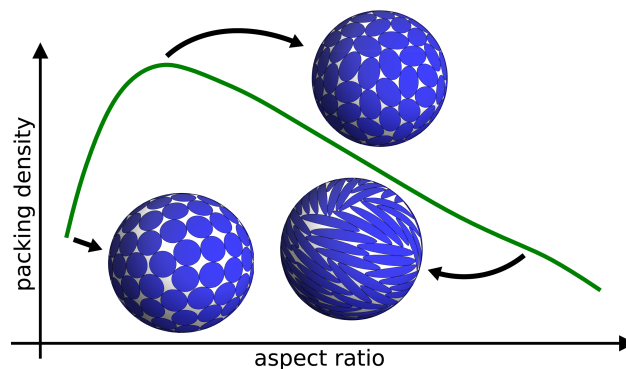
Andraž Gnidovec¹, Anže Božič², Urška Jelerčič³ in Simon Čopar¹

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

²Odsek za teoretično fiziko, Institut Jožef Stefan., Ljubljana

³Odsek za kemijsko inženirstvo, Institut Ilse Kats za nanotehnologijo, Univerza Ben Gurion, Beer-Sheva, Izrael

Problemi zlaganja gradnikov različnih oblik so v naravi zelo pogosti in zato dobro raziskani tako eksperimentalno kot v numeričnih modelih. Posebej zlaganje anizotropnih, eliptičnih delcev igra ključno vlogo v modelih tekočih kristalov, kolidov ter na področju zrnatih in zagozdenih snovi. Čeprav se večina raziskav na teh področjih osredotoča na zlaganje v Evklidskih geometrijah, lahko najdemo več eksperimentalnih sistemov, kjer so anizotropni delci omejeni na ukrivljeno površino, npr. Pickeringove emulzije, stabilizirane z eliptičnimi delci, ter adsorbati proteinov na veziklih. V našem delu raziskujemo naključno gosto zlaganje v dvodimenzionalnem modelu sferičnih elips. Najprej predstavimo algoritem, ki smo ga razvili z namenom zaznavanja prekrivanja dveh sferičnih elips in temelji na reševanju problema lastnih vrednosti. Pokažemo, da je algoritem primeren za simulacije zlaganja ter predstavimo rezultate naključnega gostega zlaganja v sistemu trdih sferičnih elips. Osredotočimo se predvsem na povezavo med učinki končne velikosti ter ukrivljenosti, ki najbolj izstopajo pri majhnih velikostih sistema. Pokažemo, da so na sferičnih površinah pakiranja elips enakih velikosti inherentno neurejena, kar kaže na to, da so lahko ukrivljene površine učinkovite za zagotavljanje nereda v sistemu. Rezultate primerjamo s pakiranjem elips in elipsoidov v 2D in 3D Evklidskih geometrijah ter analiziramo vpliv razmerja velikosti stranic elips in velikosti sistema na urejanje v dobljenih pakiranjih.



Slika 1: Odvisnost gostote pakiranja sferičnih elips od razmerja velikosti polosi.

- [1] A. Gnidovec, A. Božič, U. Jelerčič in S. Čopar, Proc. R. Soc. A **478**, 20210807 (2022).
- [2] A. Gnidovec, A. Božič in S. Čopar, Soft Matter, DOI: 10.1039/D2SM00624C (2022).

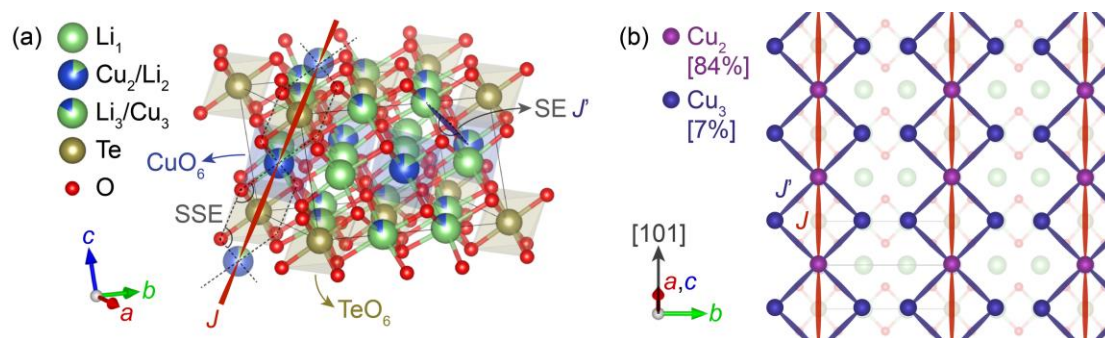
Spinska tekočina v frustriranem antiferomagnetu s strukturnim neredom

J. Khatua¹, M. Gomilšek^{2,3}, J. C. Orain⁴, A. M. Strydom^{5,6}, Z. Jagličič^{3,7}, C. V. Colin⁸, S. Petit⁹, A. Ozarowski¹⁰, L. Mangin-Thro¹¹, K. Sethupathi¹, M.S. Ramachandra Rao¹, A. Zorko^{2,3} in P. Khuntia¹

1. Indian Institute of Technology Madras, Chennai, Indija
2. Odsek za fiziko trdne snovi, IJS, Ljubljana
3. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana
4. Paul Scherrer Institute, Villigen PSI, Švica
5. University of Johannesburg, Južna Afrika
6. Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids, Dresden, Nemčija
7. Inštitut za matematiko, fiziko in mehaniko, Ljubljana
8. Institut Néel, Université Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble, Francija
9. LLB, CEA, CNRS, Université Paris-Saclay, Gif-sur-Yvette, Francija
10. National High Magnetic Field Laboratory, Florida State University, Tallahassee, ZDA
11. Institut Laue-Langevin, Grenoble, Francija

Kako strukturni nered vpliva na osnovno stanje frustriranih magnetov je pereče vprašanje, saj je nered pogosto neizogibno prisoten tudi v najbolj proučevanih kvantnih magnetih [1]. Posebej zanimivi so primeri, kjer nered stabilizira stanje spinske tekočine (dinamično, neurejeno in kvantno prepleteno osnovno stanje spinov). Primer je stanje naključnih singletov (RS), kjer naključna porazdelitev antiferomagnetnih interakcij med spini vodi do značilnega skaliranja magnetne susceptibilnosti, specifične toplote in drugih opazljivk pri nizkih temperaturah [2].

V novem frustriranem antiferomagnetu $\text{Li}_4\text{CuTeO}_6$ (LCTO) [3] ioni Cu^{2+} s spini $1/2$ tvorijo naključne dele 1D spinskih verig z naključnimi 3D sklopitvami med njimi (Slika 1) [4]. S pomočjo lokalnih in makroskopskih meritev ter komplementarnih *ab initio* izračunov in izračunov eksaktne diagonalizacije smo pokazali, da nered v LCTO stabilizira novo dinamično stanje RS z nenavadnim skaliranjem opazljivk in brez urejanja spinov vse do 45 mK. LCTO tako predstavlja redko in posebej jasno realizacijo stanja 3D spinske tekočine izhajajoče iz strukturnega nereda.



Slika 1: (a) Kristalna struktura in (b) visokotemperaturni spinski model LCTO iz *ab initio* izračunov, ki kažejo, da so naključni deli 1D verig in lestev povezani v večjo naključno 3D spinsko mrežo.

- [1] M. R. Norman, *Reviews of Modern Physics* **88**, 041002 (2016).
[2] I. Kimchi, A. Nahum in T. Senthil, *Physical Review X* **8**, 031028 (2018).
[3] V. Kumar *et al.*, *Inorganic Chemistry* **51**, 10471 (2012).
[4] J. Khatua, M. Gomilšek *et al.*, *Communications Physics* **5**, 1 (2022).

Biofizikalni model ciljnega uravnavanja telesne temperature pri bolnikih po srčnem zastoju

Maja Duh¹, Kristijan Skok^{2,3}, Matjaž Perc^{1,4,5,6}, Andrej Markota^{2,7} in Marko Gosak^{1,2,6}

1. Oddelek za fiziko, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Univerza v Mariboru, Maribor

2. Medicinska fakulteta, Univerza v Mariboru, Maribor

3. Oddelek za patologijo, Splošna bolnišnica Gradec II, Gradec, Avstrija

4. Odsek za raziskave v medicini, Kitajska medicinska univerza, Taichung, Tajvan

5. Complexity Science Hub Dunaj, Dunaj, Avstrija

6. Alma Mater Europaea, Maribor

7. Oddelek za intenzivno interno medicino, UKC Maribor, Maribor

Znižanje temperature telesnega jedra na 32-34 °C (blaga hipotermija) in preprečevanje hipertermije, ki se pogosto razvije po uspešnem oživljanju po srčnem zastoju, je del terapevtskih smernic že dve desetletji. Znano je, da je bilo v nekaterih raziskavah kontrolirano uravnavanje temperature povezano z manjšo stopnjo umrljivosti zaradi ugodnejših nevroloških izidov [1]. Termodinamična homeostaza pri kritično bolnih pacientih je zelo kompleksna in nanjo vplivajo številni dejavniki. Da bi bolje razumeli termofiziološke procese znotraj človeškega telesa v teh specifičnih okoliščinah, smo v naši študiji razvili večsegmentni in večvozliščni termoregulacijski model. V njem človeško telo obravnavamo kot dva sovisna sistema termoregulacije: 1) nadzorni aktivni sistem, ki predstavlja termoregulacijske odzive vazokonstrikcije, vazodilatacije, drgetanja, znojenja in metabolno proizvodnjo toplote, ter 2) nadzorovani pasivni sistem, ki odraža termične interakcije med telesom in okoljem ter prenos toplote znotraj telesa [2]. V termofiziološki model termoregulacije smo vključili komponente, povezane z razmerami po oživljanju, kot so toplotno neravnovesje zaradi sedacije in anestezije, povečane stopnje metabolizma zaradi vnetnih procesov ter različne tehnike hlajenja. V naših simulacijah spremljamo razvoj telesne temperature pri bolnikih s posebnim poudarkom na preučevanju uravnavanja temperature z ezofagealno sondo, ki se pogosto izvaja po reanimaciji. Napovedi modela tudi primerjamo s podatki iz literature. Prav tako preučujemo alternativni pristop za vzpostavljanje hipotermije, in sicer hlajenje z vnosom ledene brozge (*ang. ice slurry*) v želodec. Čeprav ta metoda (še) ni del klinične prakse, naši rezultati kažejo, da je pristop načeloma izvedljiv in v nekaterih vidikih celo ugodnejši od uveljavljenih tehnik hlajenja. Menimo, da so tovrstni termofiziološki modeli lahko koristni za napovedovanje toplotnih odzivov bolnikov v različnih kliničnih okoliščinah ter da so lahko v pomoč tako pri dizajniranju novih načinov termičnih terapij, kakor tudi pri optimizaciji strategij uravnavanja telesne temperature [3].

[1] S.A. Bernard et al., *The New England Journal of Medicine*, 346, 1 (2002).

[2] K. Skok, M. Duh, A. Stožer, A. Markota, M. Gosak, *WIREs Mechanisms of Disease*. e1513 (2020).

[3] M. Duh, K. Skok, M. Perc, A. Markota, M. Gosak, *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology*, 01598 (2022).

Izpostavljenost nanodelcem zaradi pirotehnikе med nogometno tekmo

Luka Pirker¹, Anton Gradišek¹, Bojana Višić^{1,2}, Maja Remškar¹

1. Odsek za fiziko trdne snovi, IJS, Ljubljana

2. Institut za fiziko, Univerza v Beogradu, Beograd

Uporaba pirotehničnih izdelkov, kot so bakle in dimne bombe, so kljub prepovedim del folklore na naših nogometnih tekmah, še posebej na pomembnejših derbijih. Je pa uporaba pirotehnikе nevarna. Poleg opeklin in poškodb ob morebitni eksploziji se pri gorenju pirotehnikе sproščajo strupeni aerosoli, ki so nevarni za zdravje tako igralcev kot tudi gledalcev.

V naši študiji [1] smo spremljali, kako se spreminja koncentracija nanodelcev med nogometno tekmo med Olimpijo in Mariborom v ljubljanskih Stožicah. Tik za ograjo ob zelenici na sredi med severno in južno tribuno smo postavili dva detektorja: razvrščevalnik nanodelcev po velikosti na osnovi njihove električne mobilnosti, ki beleži številsko koncentracijo delcev med 13 in 570 nm, in kaskadni naletovalnik, s katerim smo zbirali delce med 30 nm in 10 μm za kasnejšo analizo s spektroskopskimi metodami.

Med tekmo so navijači bakle prižigali kar petkrat. Pri sočasnem prižigu bakel obeh navijaških skupin se je številsko koncentracija delcev povečala za 12-krat. Ko so bakle ugasnile, je v treh minutah padla na polovico, v 15 minutah pa se vrnila na vrednosti pred prižigom. Igralci so bili med tekmo zaradi pirotehnikе izpostavljeni trikrat večji količini delcev, kot bi jo prejeli sicer.



Slika 1: Navijači prižigajo bakle med nogometno tekmo

[1] L. Pirker et al., Atmospheric Environment, **233**, 117567 (2020)

Mreže nematskih topoloških defektov

Saša Harkai¹ and Samo Kralj^{2,3}

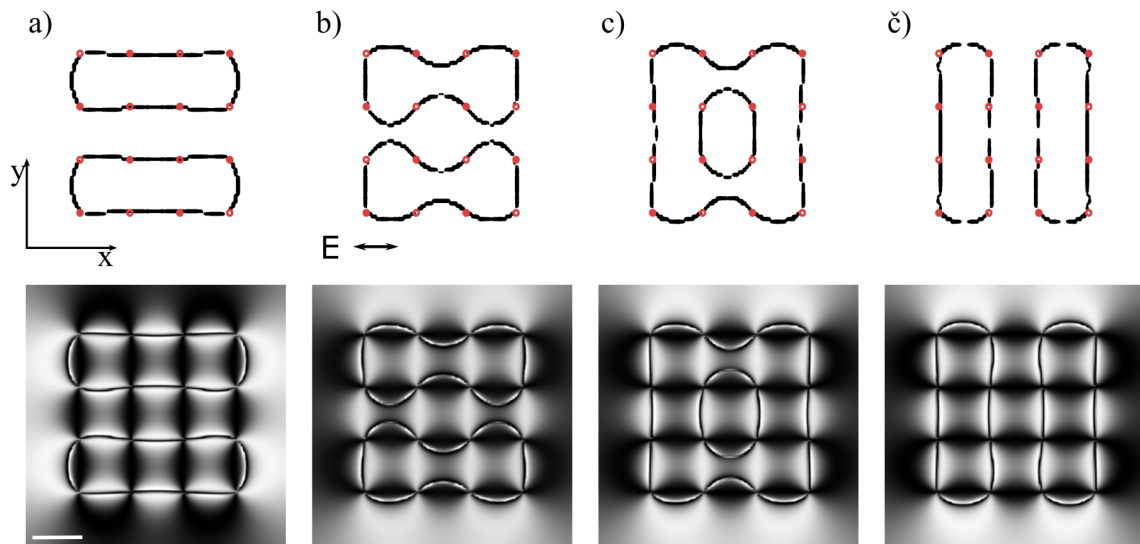
¹Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

²Odsek za fiziko trdne snovi, IJS, Ljubljana

³Fakulteta za naravoslovje in matematiko, UM, Maribor

Topološki defekti so prisotni na vseh velikostnih skalah in v velikem številu različnih fizikalnih sistemov, tako da je razumevanje njihovega obnašanja velikega pomena. Za njihovo preučevanje uporabimo tekoče kristale zaradi njihove mehкости, optične in dielektrične anizotropije in močnega odziva na zunanje dražljaje. Tako smo uporabili Landau - de Gennesov mezoskopski model s tenzorskim ureditvenim parametrom, ki smo ga numerično simulirali [1].

Defekte smo stabilizirali z vsiljevanjem preko mejne površine, kjer smo dobili zanke brez 3D topološkega naboja, ki se začnejo in končajo na enaki mejni površini. Z vsiljevanjem 4x4 mreže defektov v dovolj debeli celici smo vzpostavili multistabilne mreže linijskih defektov, ki jih lahko prevezujemo z uporabo zunanjega električnega polja \mathbf{E} v ravnini defektov. Tak sistem ima velik aplikativen potencial, saj z njim lahko ustvarimo multistabilne optične zaslone in prevezljive nanožičke. Pokažemo tudi, da imajo ti rezultati velik teoretičen potencial, saj lahko ena zanka brez 3D topološkega naboja izkazuje lastnosti defekt-antidefekt.



Slika 1: Prevezovanje linijskih defektov v 4x4 mreži. a) začetno stanje, b) vzpostavitev električnega polja \mathbf{E} in upogib linijskih defektov, c) prevez prvih dveh parov linijskih defektov, in č) prevez drugih dveh parov ter končno stanje.

[1] S. Harkai, B. S. Murray, C. Rosenblatt in S. Kralj, Electric field-driven reconfigurable multistable topological defect patterns, Phys. Rev. Res. **2**, 013176 (2020).

Rentgenski absorpcijski spektri hidridov skupine 5p

Robert Hauko¹, Jana Padežnik Gomišek¹, Alojz Kodre^{2,3} in Iztok Arčon^{4,3}

1. Fakulteta za strojništvo, UM, Maribor

2. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

3. Institut Jožef Stefan, Ljubljana

4. Univerza v Novi Gorici

Rentgenski absorpcijski spektri so vir osnovnih podatkov o atomu, hkrati ponujajo test različnih teoretičnih modelov, na katerih slonijo izračuni. Podrobnosti v poteku absorpcije v okolici absorpcijskih robov razkrivajo relaksacijske procese v atomu ob nastanku globokih vrzeli, sklopitve elektronskih konfiguracij in usklajeno gibanje elektronov znotraj atoma - elektronske korelacije. Slednje se kažejo v obliki drobnih struktur nad absorpcijskim robom in so posledica vzbuditve ali izbitja dodatnih, manj vezanih elektronov, ki spremljajo primarni fotoefekt v notranji lupini.

V spektrih atomov s stalno kemijsko okolico opazimo nad absorpcijskim robom oscilacije absorpcije (EXAFS), ki se raztezajo do 1000 eV nad robom in več. Ta signal je posledica sipanja fotoelektrona na bližnjih sosedih in se uporablja kot učinkovito orodje za strukturno analizo snovi. V splošnem oscilacije EXAFS preglasijo male učinke elektronskih korelacij, ki so prisotne v istem energijskem območju nad absorpcijskim robom. Tako lahko slednje dobro opazujemo le na vzorcu prostih atomov. Poleg žlahtnih plinov (He, Ne, Ar, Kr, Xe), ki so naravno enoatomni in so najbolj raziskani, so bili do sedaj zaradi zahtevnosti priprave vzorcev izmerjeni atomarni spektri samo pri peščici hlapljivih kovin (Rb, K, Zn, Cs, Cd) in jodu [1].

Učinke elektronskih korelacij lahko kot pri meritvah na atomarnih vzorcih preučujemo tudi pri absorpcijskih spektrih plinastih vzorcev iz preprostih molekul. Najbolj uporabne so molekule hidridov, pri katerih preprosta kemijska vez z vodikovim atomom ne spremeni bistveno potenciala preučevanega atoma, strukturni signal EXAFS pa je preprost in šibak, znamo ga dobro modelirati in z veliko zanesljivostjo med analizo odstraniti iz izmerjenih spektrov.

Pred kratkim smo na sinhrotonih Elettra (Trst, Italija) in PETRA III (Hamburg, Nemčija) prvič izmerili rentgenske absorpcijske spektre hidridov elementov skupine 5p kositra, antimona, telurja in joda (SnH_4 , SbH_3 , TeH_2 in HI) v energijskem območju absorpcijskih robov K in L [2]. Z meritvami nadgrajujemo podatke iz prej izmerjenih spektrov hidridov elementov skupine 3p (PH_3 , H_2S , HCl) in 4p (GeH_4 , AsH_3 , SeH_2 , HBr) nad absorpcijskim robom K . Meritve hidridov skupine 5p so potekale pri sobni temperaturi. Zaradi strupenosti teh plinov in njihove ekstremne nestabilnosti smo razvili nov model absorpcijske celice. Vsi vzorci so bili sintetizirani in-situ tik pred meritvijo na sinhrotonski liniji, kar je omogočilo meritev absorpcijskega spektra v kratkem časovnem intervalu, preden so plini spontano kemijsko razpadli.

Sočasna analiza absorpcijskih spektrov na robovih L_1 in $L_{2,3}$ s komplementarnima simetrijama primarne vrzeli (s , p) omogoča celovit vpogled v absorpcijski proces. Medsebojna primerjava izmerjenih spektrov na robu K na vzorcih vodikovega jodida (HI), atomarnega joda (I) in s HI izoelektronskega žlahtnega plina ksenona (Xe) razkriva učinek molekularskih orbital na kvantne korelacije v atomu.

Eksperimentalno delo je bilo opravljeno na raziskovalnih linijah XAFS sinhrotrona Elettra v Trstu, Italija (projekta 20185165 in 20220483) ter P65-Petra III, Desy v Hamburgu, Nemčija (projekt I-20180356 EC). Zahvaljujemo se tehničnemu osebju na sinhrotonih ter B. Tašnerju (FSUM) in U. Jorgačevskemu (FMF UL).

[1] A. Kodre in drugi, 8.1 Photoexcitation processes in atoms & 3.23 Gases, sprejeto v objavo v International Tables for Crystallography, Volume 1, 2018.

[2] R. Hauko in drugi, Rad. Phys. Chem. **171**, 108743 (2020)

Evolucija fizikalnih lastnosti filameta v hidrodinamičnih simulacijah

Samo Ilc¹

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

V zadnjih letih so opazovali in analizirali filamente v neposredni bližini jat galaksij. S tem so potrdili, da je pri nizkih rdečih premikih večina barionov v vesolju znotraj filamentov. Hidrodinamične simulacije so idealno orodje za raziskovanje porazdelitve in fizikalnih lastnosti različnih plinskih faz v filamentarni strukturi. Raziskali smo termodinamične lastnosti plina v filamentih, zaznanih okoli jat galaksij, simuliranih s kodo TreePM SPH Gadget. Da bi določili filamentarno strukturo, smo uporabili algoritem SCMS (*angl. Sub-space Constrained Mean Shift*) na podhalojih in nato izluščili večje filamente med glavnimi jati galaksij z algoritmom DBSCAN (*angl. Density-based spatial clustering of applications with noise*).

Odločili smo se, da se osredotočimo na lastnosti filameta, ki povezuje dve jati galaksij, ki obstane vse od $z=1,48$ do $z=0$. V tem posebnem primeru se filament bistveno spremeni pri nižjem rdečem premiku, z drastično spremembo mas vseh komponent, vendar njihov masni delež ostane skoraj konstanten. Obravnavali smo posebnosti toplega in vročega medgalaktičnega medija (*angl. warm-hot intergalactic medium* (WHIM)), ki se večinoma nahaja v bližini hrbtnice filameta. Njegov masni delež je največji v primerjavi z drugimi plinastimi fazami, zlasti v neposredni bližini hrbtnice filameta. Na predavanju bom predstavil najnovejše rezultate o fizikalnih lastnostih filamentov in njihovem razvoju ter razpravljal o prihodnjem razvoju preučevanja statistično pomembnega števila filamentov v naših simuliranih podatkih.

Vpliv kovinsko-organskih stikov na magnetno anizotropijo v feromagnetnih kobaltonih tankih filmih

G. Jecl^{1,2}, J. Strohsack^{1,2}, V.A. Dediu³, M. Benini³, T. Mertelj^{1,2}

1. Odsek za kompleksne snovi (F7), Institut "Jožef Stefan", 1000 Ljubljana, Slovenija

2. Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani, 1000 Ljubljana, Slovenija

3. Molecular Spintronics and Magnetism, CNR-ISMN, 40129 Bologna, Italia

Kovinsko-organski stiki so zanimivi predvsem s tehnološkega vidika zaradi možnih aplikacij v elektroniki, kot tudi na razvijajočem področju spintronike.

Raziskovali smo vpliv različnih prevlek na magnetno anizotropijo v 5 nm debelih polikristaliničnih feromagnetnih kobaltonih (Co) tankih filmih, pripravljenih z naporjevanjem z elektronskim snopom (*electron beam evaporation*). Za oceno magnetne anizotropije smo s časovno ločljivo magneto-optično Kerrovo spektroskopijo (*magneto-optical Kerr effect - MOKE*) v polarni geometriji izmerili dinamiko magnetizacije v časovni domeni, ki jo vzbudimo s femtosekundnim laserskim sunkom, v odvisnosti od temperature in tipa prevleke.

Primerjali smo učinke prekrivanja Co filmov z nemagnetno kovino (Al), kovinsko-organskim kompleksom tris(8-hidroksikinolin) galija (GaQ₃) in z naravno nastalo antiferomagnetno pasivacijsko plastjo oksida Co(II) (CoO).

Izmerjeni prehodni signali v splošnem kažejo dušena koherentna nihanja s frekvencami do nekaj deset GHz, kar ustreza precesiji magnetizacije v efektivnem magnetnem polju. Podrobna analiza frekvence precesije magnetizacije in izgube fazne povezave nam je omogočila kvalitativno primerjavo vpliva različnih prevlek. Ugotovili smo, da imajo filmi, prekriti s kovinsko-organskim kompleksom galijevega kinolina (GaQ₃), izrazito povečano magnetno anizotropijo v primerjavi z ostalima dvema. V organskem vzorcu smo opazili tudi močno dušenje precesije, kar kaže tudi na veliko nehomogenost anizotropije v opazovanem volumnu. Naše meritve kažejo tudi, da je smer polja anizotropije v naravno oksidiranem vzorcu drugačna kot v drugih dveh primerih. Prav tako smo opazili znake metamagnetnega faznega prehoda v Co/CoO filmu pod 130 K, ki ga pripisujemo prehodu "*spin-flop*" v antiferomagnetni prevleki CoO.

Pojav polimorfizma v viskoentropijskih zlitinah

Andreja Jelen¹, Janez Dolinšek^{1,2}

1. Fizika trdne snovi, IJS, Ljubljana

2. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

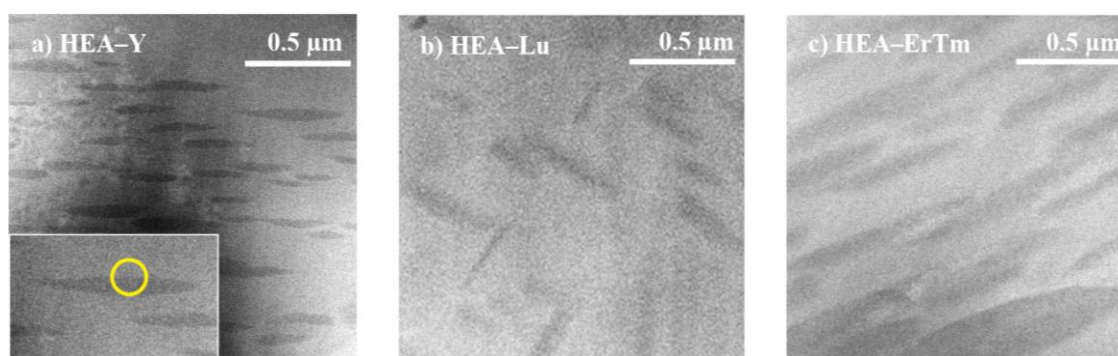
Viskoentropijske zlitine (angl. High-entropy alloys - HEA) so večkomponentne trdne mešanice, kjer nastopa vsaj 5 različnih kemijskih elementov v večinskih koncentracijah. Idealna HEA zlitina bi bila enofazna trdna raztopina z naključno razporeditvijo elementov na pravilni, nedeformirani kristalni mreži.

Idealna mešanica je po definiciji mešanica različnih molekul, kjer so medmolekulske sile enake med vsemi pari molekul (enakih in različnih), kar pomeni, da je parska entalpija mešanja enaka nič, $\Delta H_{mix} = 0$. Heksagonalne viskoentropijske zlitine iz redkih zemelj, ki se nahajajo v težji polovici lantanidne serije (od Gd do Lu, z izjemo Yb) periodnega sistema ter itrija, so mnogo bliže idealni mešanici, kot katerakoli druga trdna HEA mešanica iz periodnega sistema [1]. Zato smo se odločili, da preverimo ali so idealne mešanice v resnici tako idealne, kot pravi teorija, nepričakovano pa smo odkrili pojav polimorfizma – dve različni kristalni stanji, ki soobstajata znotraj ene zlitine.

V laboratoriju so bile z metodo visokofrekvenčne levitacije v Ar atmosferi sintetizirane tri kandidatke, ki naj bi predstavljale fizikalno uresničitev idealne viskoentropijske zlitine. To so: Y-Gd-Tb-Dy-Ho, Gd-Tb-Dy-Ho-Lu in Tb-Dy-Ho-Er-Tm.

Za določitev nanostrukture je bil uporabljen presewni elektronski mikroskop Jeol JEM-ARM 200F. Pogled pod (S)TEM-om je prikazal nek nenavaden kontrast, ki ga lahko vidite na Sliki 1. Opazili smo, da vse tri viskoentropijske zlitine izkazujejo nanostrukturo gsto pakirane heksagonalne (hcp) matrice in paličaste gsto pakirane kubične precipitate (ccp) dolžine 200-600 nm in širine 50-100 nm.

Nadaljnja EDS analiza je pokazala, da so precipitati rahlo bogatejši z večjimi atomi kot pa matrica. To povzroči napetosti v kristalni mreži, kar imenujemo tudi kemijski pritisk. Slednji vodi v lokalni polimorfizem, kar je na HAADF slikah vidno kot temne elipse.



Slika 1: HAADF posnetki (a) Y-Gd-Tb-Dy-Ho, (b) Gd-Tb-Dy-Ho-Lu in (c) Tb-Dy-Ho-Er-Tm viskoentropijskih zlitin. Rumeni krogec označuje področje, kjer so bile izvedene nadaljnje kristalografske meritve. Kontrast na sliki je posledica polimorfizma v viskoentropijskih zlitinah.

[1] A. Jelen, *et al.*, *Materials Characterization* **172**, 110837 (2021).

Vpliv prostih nabojev na električno prebojno trdnost visokotemperaturnih polimernih zmesi

Vida Jurečič¹, Nikola Novak¹, Lovro Fulanović², Xin Chen³,
Qiming Zhang³ in Vid Bobnar¹

1. Odsek za fiziko trdne snovi, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana

2. Department of Materials and Earth Sciences, University of Darmstadt, Germany

3. Materials Research Institute, The Pennsylvania State University, USA

Kondenzatorji so nepogrešljiv del elektronskih naprav in elektroenergetskih sistemov, folijski kondenzatorji pa so še posebej zanimivi, ker so cenejši od keramičnih kondenzatorjev in jih je mogoče izdelati v različnih oblikah. Eden izmed največjih izzivov pri razvoju dielektričnih polimerov je doseganje velike gostote električne energije in ohranjanje majhnih dielektričnih izgub. Kompozitni pristop, pri katerem so prevodni delci razpršeni v dielektrični matriki, učinkovito poveča dielektrično konstanto, a hkrati tudi močno poveča izgube [1,2]. Alternativen pristop je obratovanje pod večjim električnim poljem, tj. povečanje električne prebojne trdnosti brez povečanja dielektričnih izgub.

Mnogi visokotemperaturni polimeri vsebujejo fenilne skupine, ki lahko – odvisno od molekularne strukture polimera – navzven delujejo pozitivno ali negativno nabite zaradi delokaliziranih elektronov. Zato bi lahko z mešanjem ustrezno nabitih polimerov dosegli gostejše pakiranje polimernih verig in posledično zmanjšali število prostih nabojev, ki povzročijo preboj materiala pod manjšim električnim poljem. Preliminarna študija je dejansko pokazala večjo električno prebojno trdnost zmesi polieterimida (PEI) in poliimida (PI) [3].

Za podrobnejšo analizo interakcij med verigami je bilo pripravljenih več PEI/PI zmesi, na katerih so bile opravljene dielektrične meritve v širokem frekvenčnem in temperaturnem območju. Dielektrična konstanta PEI/PI zmesi je bila skoraj enaka kot za vzorca PEI in PI, medtem ko je bila njihova električna prevodnost bistveno (do 40 %) manjša. Nizkofrekvenčne meritve so potrdile, da vzorci z nižjo intrinzično električno prevodnostjo vsebujejo tudi manj prostih nabojev, temperaturne odvisnosti pa so pokazale vpliv staranja vzorcev in absorpcije vode na dielektrični odziv. Zato smo preučili tudi vpliv aniliranja (segrevanja do visokih temperatur) na električno prebojno trdnost vzorcev. Anilirana PEI in PI vzorcema se je ta bistveno povečala, medtem ko se zmesem električna prebojna trdnost ni bistveno spremenila. Neanilirane PEI/PI zmesi pa so imele kar $\approx 2,5$ -krat večjo vrednost električne prebojne trdnosti kot neanilirana PEI in PI.

Potrdili smo, da z molekularnim inženiringom visokotemperaturnih polimerov lahko zmanjšamo količino akumuliranih prostih nabojev, kar posledično poveča električno prebojno trdnost novega materiala in odpira nove možnosti za nadaljnji razvoj folijskih kondenzatorjev.

[1] C. Huang, Q. M. Zhang in J. Su, *Applied Physics Letters* **82**, 3502 (2003)

[2] V. Bobnar, M. Hrovat, J. Holc in M. Kosec, v *Ferroelectrics - Characterization and Modeling*, M. Lallart (ur.), InTech Open Access Publisher, Rijeka, 2011, ISBN 978-953-307-455-9, 117-134

[3] Q. Zhang, X. Chen, B. Zhang, T. Zhang, W. Lu, Z. Chen, Z. Liu, S. H. Kim, B. Donovan, R. J. Warzoha, E. D. Gomez, J. Bernholc in Q. M. Zhang, *Matter* **4**, 2448 (2021)

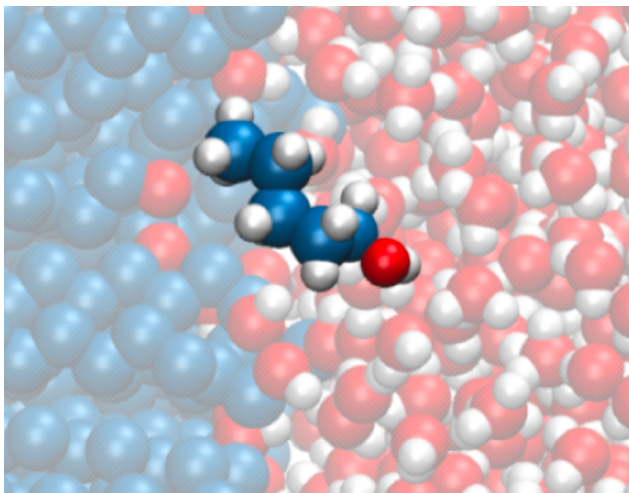
Adsorpcija surfaktantov in micelizacija: Vpogled skozi molekularne simulacije

Matej Kanduč¹

¹*Odsek za teoretično fiziko, Institut Jožef Stefan, Ljubljana*

Adsorpcija amfifilnih molekul na različne površine se pojavlja v številnih tehnoloških in bioloških okoljih, včasih zaželeno (stabilizacija pen) [1], včasih pa ne (kontaminacija) [2]. Govoril bom o tem, kako nam atomistične računalniške simulacije pomagajo razjasniti molekularne mehanizme adsorpcije površinsko aktivnih molekul (surfaktantov), ki segajo od kratkoverižnih alkoholov do lipidov z dvojnimi repi.

Majhne površinsko aktivne molekule tvorijo ohlapne monosloje na površinah. Dinamika med površino in raztopino je zelo hitra, kar je možno direktno zajeti tudi v molekularnih simulacijah (Slika 1) [3]. Molekule z daljšimi alkilnimi verigami tvorijo gostejše monosloje. Njihova dinamika pa je prepočasna, da bi jo lahko direktno zajeli v simulacijah, kar predstavlja izziv za molekularno modeliranje. Modeliranje tega režima zahteva zahtevnejše tehnike, ki povezujejo različne faze surfaktantov preko kemijskih potencialov. Nazadnje, surfaktanti z dvojnimi verigami (imenovani tudi "lipidi") se ne izmenjujejo med površino in notranjostjo niti na simulacijskih, niti na tipičnih eksperimentalnih časovnih skalah. V vodi tvorijo dokaj čvrste dvoslojne agregate in se le pod določenimi pogoji adsorbirajo na trne površine v obliki monoslojev. Kot se izkaže, je univerzalni pogoj za adsorpcijo kontaktni kot močenja površine. Samo površine s kontaktnimi koti, večjimi od 60-70°, so sposobne tvoriti lipidne monosloje.



Slika 1: Adsorpcija surfaktanta na hidrofobno površino v vodnem mediju [3].

[1] M. Kanduč, E. Schneck, C. Stubenrauch, *J. Colloid Interface Sci.* 586, 588-595

[2] F. Staniscia, M. Kanduč, *J. Chem. Phys.* **157**, 2022

[3] F. Staniscia, H.V. Guzman, M. Kanduč, *J. Phys. Chem. B*, 126 (17), 3374-3384

Analiza elektrokemijskih procesov v kovinsko-organskih baterijah z rentgensko Ramansko spektroskopijo

Ava Rajh (ava.rajh@ijs.si)^(1,2), Iztok Arčon^(1,3), Klemen Bučar^(1,2), Matjaž Žitnik^(1,2), Marko Petric^(1,4), Alen Vizintin⁽⁵⁾, Jan Bitenc⁽⁵⁾, Robert Dominko⁽⁵⁾, Hlynur Gretarsson^(7,8), Martin Sundermann^(7,8) and Matjaž Kavčič^(1,2)

(1) *Inštitut Jožef Stefan, Ljubljana, Slovenija*

(2) *Univerza v Ljubljani, Fakulteta za Matematiko in Fiziko, Ljubljana, Slovenija*

(3) *Univerza v Novi Gorici, Nova Gorica, Slovenija*

(4) *Univerza v Zagrebu, Fakulteta za Geotehnično inženirstvo, Varaždin, Hrvaška*

(5) *Kemijski inštitut, Ljubljana, Slovenija*

(7) *Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Hamburg, Nemčija*

(8) *Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids, Dresden, Nemčija*

Litij-ionske baterije se danes najpogosteje uporabljajo za stacionarno shrambo električne energije. Njihov razvoj je omejen z energijsko gostoto, v zadnjih letih pa so se pojavila tudi vprašanja o trajnostnem razvoju industrije in skrbi o dostopnosti surovin za njihovo proizvodnjo (Li, Co). Zaradi visoke volumetrične in gravimetrične kapacitete obetavno alternativo predstavljajo baterije z večvalentnimi kovinskimi anodami, ki v kombinaciji s fleksibilnimi katodami iz organskih polimerov sestavljajo kovinsko organske baterijske sisteme. Za njihovo proizvodnjo se ni potrebno zanašati na dostopnost litija, baterije pa so hkrati varne in okolju prijazne [1].

Preučevali smo zapletene redoks reakcije v kovinsko-organskih baterijah, kjer so bile katode sestavljene iz organskega polimera polyanthraquinona (PAQ) ali poly(anthraquinoyl sulfida) (PAQS), v kombinaciji z Li, Mg ali Al kovinskimi anodami. Ker elektrokemijska reakcija močno vpliva na kemijsko stanje kisika v vzorcu, lahko s preučevanjem njegovega absorpcijskega spektra zelo natančno določimo vrsto vezave kisika ter tako spremljamo potek elektrokemijske reakcije v bateriji. Kisikov absorpcijski rob se nahaja v območju mehke rentgenske svetlobe (okrog 530 eV), zato smo za meritve uporabili rentgensko Ramansko spektroskopijo (XRS). Pri metodi XRS vzorec obsevamo z žarkom monokromatske rentgenske svetlobe, ki se ne-elastično siplje na atomih lahkih elementov. To omogoča, da z uporabo trde rentgenske svetlobe (10 keV) izmerimo absorpcijske spektre elementov z majhnim atomskim številom v razsežnih vzorcih [2].

Analizo kovinsko-organskih baterij smo izvedli na undulatorski sinhrotronski žarkovni liniji P01 sinhrotrona PETRA III. Izmerili smo absorpcijske spektre kisika v referenčnih spojinah, ki predstavljajo začetno in končno stanje baterije, ter v posameznih katodah, ki so bile predhodno ustavljene na različnih točkah baterijskega cikla. S pomočjo linearne kombinacije referenčnih spektrov smo uspešno določili delež reduciranega kisika v katodah in tako sledili elektrokemijski reakciji v baterijah Li-PAQ, Li-PAQS, Mg-PAQS in Al-PAQS.

1 Bitenc, J. et al. *Energy Storage Materials* **24**, 379 – 383 (2020)

2 Rajh, A. et al. *J. Phys. Chem. C* **126**, 5435 – 5442 (2022)

Vpliv zaporednih strukturnih prehodov z nabojnimi in orbitalnim urejanjem na tvorbo osnovnega stanja spinskih dimerov v sistemu Rb_4O_6

Tilen Knaflič¹, Peter Jeglič¹, Matej Komelj², Andrej Zorko^{1,3}, Pabitra Biswas⁴, Oleksiy Ponomaryov⁵, Sergei Zvyagin⁵, Manfred Reehuis⁶, Andreas Hoser⁶, Matthias Geiß⁷, Jürgen Janek⁷, Peter Adler⁸, Claudia Felser⁸, Martin Jansen⁸ in Denis Arčon^{1,3}

¹*Odsek za fiziko trdne snovi, IJS, Ljubljana*

²*Nanostrukturni materiali, IJS, Ljubljana*

³*Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana*

⁴*ISIS Pulsed Neutron and Muon Source, Didcot, Združeno Kraljestvo*

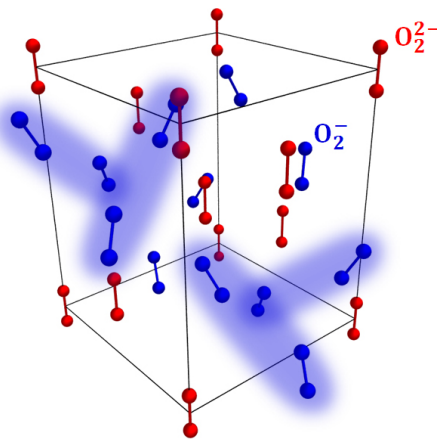
⁵*Dresden High Magnetic Field Laboratory (HLD-EMFL), Dresden, Nemčija*

⁶*Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie, Berlin, Nemčija*

⁷*Institute of Physical Chemistry and Center for Materials Research, Giessen, Nemčija*

⁸*Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids, Dresden, Nemčija*

Alkalni seskvioksid Rb_4O_6 je zanimiv primer sistema z mešano valenco O_2^- in O_2^{2-} ionov, kjer medsebojni vpliv mrežne, nabojne, orbitalne in spinske prostostne stopnje pripelje sistem iz visokotemperaturne kubične faze delokaliziranih elektronov, v osnovno stanje šibko sklopljenih spinskih dimerov [1]. Podobno kot v sestrskem sistemu Cs_4O_6 [2], tudi tukaj prehod pri $T = 250$ K iz kubične v tetragonalno fazo spremlja nabojno urejanje s sočasno veliko spremembo prevodnosti, kar ga karakterizira kot prehod Verweyevga tipa. Pri temperaturi $T = 92$ K, pa se v sistemu Rb_4O_6 zgodi dodaten manjši strukturni prehod. Rezultati meritev s tehnikami magnetne resonance (EPR, NMR in μSR) podprte z DFT izračuni, kažejo na posebno ureditev π^* orbital superoskidnega O_2^- iona in s tem tvorbo spinskih dimerov.



Slika 1: Pari O_2^- ionov tvorijo spinske dimere v nizkotemperaturni tetragonalni fazi Rb_4O_6 .

[1] T. Knaflič et al., *Physical Review B* **101**, 024419 (2020)

[2] P. Adler et al., *Science Advances*, **4**, eaap7581 (2018)

Napoved potencialne škodljivosti nanomaterialov brez testiranja na živalih

Hana Kokot¹, Boštjan Kokot¹, Aleksandar Sebastijanović¹, Rok Podlipec¹, Ana Krišelj¹, Petra Čotar¹, Polona Umek¹, Stane Pajk², Iztok Urbančič¹, Tilen Koklič¹, Tobias Stoeger³, Janez Štrancar¹

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

2 Fakulteta za farmacijo, UL, Ljubljana

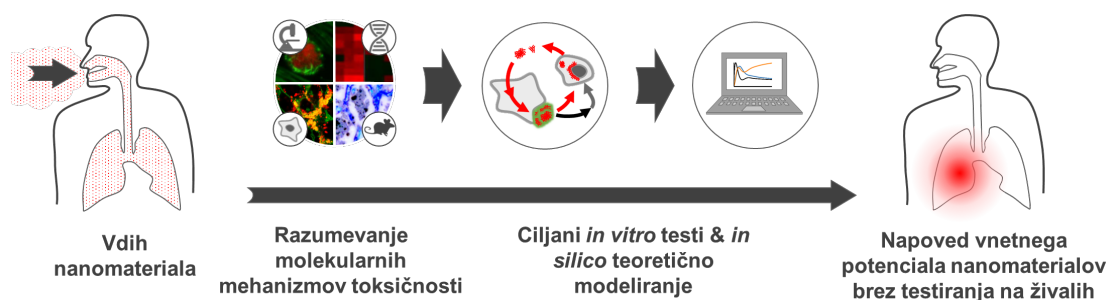
3 Institute of Lung Biology and Disease, Helmholtz Zentrum München, Neuherberg

Trenutno se za določanje potencialne škodljivosti nanomaterialov za naše zdravje izvajajo draga in dolgotrajna testiranja na živalih, kar močno omejuje količino testiranih nanomaterialov v potrošniških izdelkih. Obetavno alternativo ponujajo cenejši in hitrejši celični testi, s katerimi se ciljano preveri, ali testirani nanomateriali prožijo ključne molekularne dogodke in celične odzive, ki vodijo do razvoja bolezni.

Za razvoj tovrstnih testov je potrebno razumeti mehanizme toksičnosti nanodelcev, ki pa so večinoma še nepoznani. Da bi razjasnili, kako že enkratna izpostavljenost nekaterim nanodelcem privede do kroničnega vnetja, smo z naprednimi optičnimi mikroskopijami (meritve življenjskega časa fluorescence – FLIM, superločljivostna STED mikroskopija, odbojna mikroskopija, ...) sledili nanomaterialom v živih celicah v realnem času, svoje ugotovitve pa smo nadalje potrdili in dopolnili s komplementarnimi pristopi: s transkriptomiko, elektronskimi in ionskimi mikroskopijami, modeliranjem molekularnih interakcij, ter in vivo eksperimenti [1].

S svojim unikatnim pristopom smo odkrili do sedaj neopisani mehanizem celične obrambe – nanokaranteno – ki igra ključno vlogo pri razvoju kroničnega vnetja po izpostavitvi nanodelcem. Pri tem procesu celice izločajo nanomaterial na svojo površino in iz njega tvorijo velike bionano-kompozite. Preostala dva dogodka, ključna za razvoj kroničnega vnetja, sta smrt imunskih celic in pro-vnetna signalizacija, ki lahko v kombinaciji z nanokaranteno v določenih primerih privedeta do neprestanega kroženja nanomateriala med alveolarnimi celicami in kroničnega vnetja.

Eksperimentalno odkrito dogajanje v alveolu po izpostavitvi nanomaterialom smo uspešno opisali s teoretičnim modelom, ki lahko posnema različne vnetne izide s spreminjanjem zgolj treh parametrov, specifičnih za vsak nanomaterial posebej. Te parametre lahko v praksi določimo s tremi preprostimi in hitrimi celičnimi testi, katerih rezultate vključimo v teoretični model in tako napovemo vnetni potencial določenega nanomateriala. S tem smo ključno prispevali k razvoju hitrejšega in cenejšega napovedovanja varnosti nanomaterialov brez testiranja na živalih.



[1] H. Kokot, B. Kokot, A. Sebastijanović et al., *Advanced Materials*, **32**, 2003913 (2020)

Magnetizem v magnetno koncentrirani, popolnoma neurejeni in frustrirani visokoentropijski zlitini CoCrFeMnNi

Primož Koželj^{1,2}, Stanislav Vrtnik¹, Mitja Krnel¹, Andreja Jelen¹, Darja Gačnik¹, Magdalena Wencka³, Zvonko Jagličič^{4,5}, Anton Meden⁶, Frédéric Danoix⁷, Julian Ledieu⁸, Michael Feuerbacher⁹ in Janez Dolinšek^{1,2}

1. Odsek za fiziko trdne snovi F5, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana

2. Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani

3. Institute of Molecular Physics, Polish Academy of Sciences, Poznań, Poljska

4. Inštitut za matematiko, fiziko in mehaniko, Ljubljana

5. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani

6. Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Univerza v Ljubljani

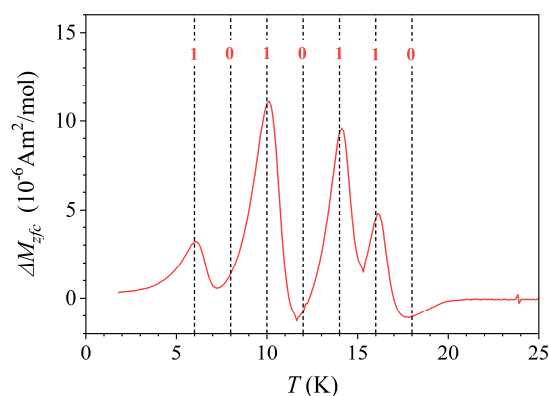
7. Normandie Université, UNIROUEN, INSA Rouen, CNRS, Rouen, Francija

8. Institut Jean Lamour, CNRS – Université de Lorraine, Nancy, Francija

9. Institut für Mikrostrukturforschung, Forschungszentrum Jülich, Nemčija

Visokoentropijske zlitine [1] (angl. *high-entropy alloy*, HEA) so razred kovinskih materialov, v katerih visoka konfiguracijska entropija kot posledica mešanja velikega števila elementov (npr. 4, 5 ali 6) poskrbi za stabilizacijo trdne raztopine na enostavni kristalni mreži (npr. bcc, fcc ali hcp). Poleg očitne kompleksnosti teh materialov zaradi različnih tipov atomov, na magnetizem lahko dodatno vplivata še mikro in nanostruktura, ki se tvorita med samo sintezo materiala ter nadaljnjo termično obdelavo. Ta prispevek [2] bo obravnaval meritve na visokokvalitetnem neekvimolarnem vzorcu CoCrFeMnNi sintetiziranem z metodo Czochralskega, kjer smo s pravilno termično obdelavo dosegli, da dodatnih strukturnih težav ni – vzorec je homogen na mikroskali (na podlagi SEM) ter brez urejanja atomov kratkega dosega ali nehomogenosti sestave na nanoskali (APT, HAADS STEM in EELS).

Zanimivost naše visokoentropijske zlitine kot nenavadnega magnetnega sistema torej izhaja iz tega, da je izjemno koncentriran ter večkomponenten magneten sistem (ker je vseh 5 komponent magnetnih), ki je hkrati popolnoma neurejena trdna raztopina s frustriranimi FM in AFM interakcijami. Sistem pri temperaturi $T_f \approx 20$ K preide v stanje spinskega stekla. Neergodičnost v CoCrFeMnNi smo demonstrirali z razliko med ZFC in FC magnetizacijo, premikom vrha v AC susceptibilnosti, ultrapočasn timerazpadom termoremanentne magnetizacije ter termičnim spominskim efektom.



Slika: Termični spominski efekt v CoCrFeMnNi. Med ohlajanjem, ki poteka brez kakršnegakoli magnetnega polja, smo se ustavili pri temperaturah 16 K, 14 K, 10 K in 6 K ter pri vsaki počakali eno uro. Ob ciklu branja je magnetizacija pri teh temperaturah nekoliko zmanjšana oziroma ima ΔM_{zfc} vrh, kar lahko vzamemo kot logično 1. Zapisali smo 1010110 oziroma 86 decimalno oziroma ASCII znak "V".

[1] J.W. Yeh, *et al.*, *Advanced Engineering Materials* **6**, 299 (2004).

[2] P. Koželj, *et al.*, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* **523**, 167579 (2021).

Kvantitativna analiza MRI slik bolnikov z miokarditisom

Lana Kralj¹, Andreja Černe Čerček², Alja Gomišček Novak³, Robert Jeraj^{4,5}, Ajda Dolinšek², Maša Gergar² in Borut Kirm¹

1. Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani, Ljubljana

2. Univerzitetni klinični center Ljubljana, Ljubljana

3. Splošna bolnišnica Izola, Oddelek za kardiologijo, Izola

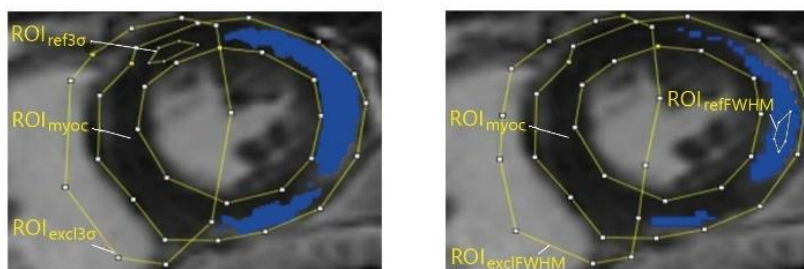
4. Department of Medical Physics, University of Wisconsin, Madison

5. Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani, Ljubljana

Zlati standard v neinvazivni diagnostiki miokarditisa je magnetno resonančno slikanje srca (angl. magnetic resonance imaging, MRI), ki omogoča pridobitev informacij o lastnostih srčnega mišičnega tkiva (miokardij) [1]. MRI slikanje se pogosto izvaja z uporabo gadolinijevega kontrastnega sredstva (LGE), ki se karakteristično dlje časa zadržuje v prizadetem miokardiju. Zdravniki specialisti iz slik na podlagi svojih izkušenj določijo obseg prizadetega tkiva. V tem procesu si pomagajo z orodji za določanje karakterističnih območij (angl. Regions of Interest ali ROI), v katerih nato z izbrano matematično metodo izračunajo delež z LGE označenega dela slike.

Rezultati opisane analize variirajo in v raziskavi nas je zanimalo kateri so vzroki variabilnosti in kakšen je njihov doprinos. V okviru študije smo razvili novo orodje za kvantitativno analizo, ki nam je omogočilo transparenten in natančen postopek vizualizacije treh karakterističnih območij ROI ter izračun obsega LGE-ja (Slika 1). Obseg LGE-ja smo izračunali s pomočjo dveh kvantifikacijskih metod, ki se standardno uporabljata v klinični praksi: 3σ , kjer je prag za izračun patologije definiran kot tri standardne deviacije σ nad povprečno vrednostjo intenzitete signala znotraj referenčnega območja ROI_ref, ki se izbere v zdravem tkivu, in FWHM, kjer je prag enak 50 % maksimalne intenzitete znotraj ROI_ref, ki se izbere znotraj prizadetega tkiva. Orodje smo nato uporabili za vrednotenje nenatančnosti korakov procesa analize.

Rezultati študije so pokazali, da na variacije v izbiri območij ROI vplivajo dejavniki kvalitete MRI slike (artefakti, ločljivost slike, in kontrast) ter subjektivno določanje kontur pri analizi. Prav tako smo pokazali, da izbira referenčnih območij ROI_ref relativno največ prispeva k variabilnosti celotnega procesa analize pri obeh metodah, kar pomeni, da morajo klinični strokovnjaki pri izbiri tega območja biti še posebej previdni.



Slika 1: Primer določanja območij ROI ter izračuna obsega patologije s pomočjo kvantifikacijskih metod 3σ (levo) in FWHM (desno). ROI_myoc-miokardno območje, ROI_ref-referenčno območje, ROI_excl-izključitveno območje. Patološko območje je obarvano modro.

[1] C. Gräni, C. Eichhorn, L. Bière, V.L. Murthy, V. Agarwal, K. Kaneko, S. Cuddy, ..., and R. Y. Kwong, Prognostic Value of Cardiac Magnetic Resonance Tissue Characterization in Risk Stratifying Patients With Suspected Myocarditis. *Journal of the American College of Cardiology*, 70(16) (2017), 1964–1976.

Zgoščevanje in redčenje defektnih linij v aktivnih nematikih

Nika Kralj¹, Miha Ravnik^{1,2} in Žiga Kos^{1,2,3}

¹*Faculty of Mathematics and Physics, University of Ljubljana, Jadranska 19, 1000 Ljubljana, Slovenia*

²*J. Stefan Institute, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenia*

³*Department of Mathematics, Massachusetts Institute of Technology, 77 Massachusetts Avenue, Cambridge, MA 02139, USA*

Aktivni nematiki so sistemi, katerih gradniki kažejo orientacijski red, za katerega je značilno nenehno nastajanje topoloških defektov. Osredotočamo se na dinamiko proti in med dinamičnim stacionarnim stanjem 3D aktivne nematske turbulence, ki jo določata zgoščevanje in redčenje topoloških defektnih linij in zank. Oblikovali smo analitični model za opis krčenja in širjenja izolirane aktivne defektne zanke in ga nato posplošili na dinamiko zgoščevanja in redčenja 3D mreže aktivnih defektov. Naše delo omogoča analitični vpogled v dinamiko 3D aktivnih nematskih sistemov, z vidika nastanka topoloških defektov, ki jih sprožijo spremembe v materialnih parametrih, kot so aktivnost, nematska elastičnost ali viskoznost.

Vrednotenje odziva mikrocirkulacije kože na telesno vadbo s pomočjo valčne analize

Lana Kralj¹, Nejka Potočnik¹ in Helena Lenasi¹

1. Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani, Ljubljana

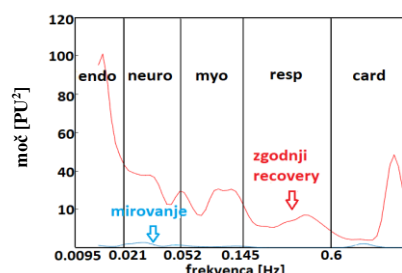
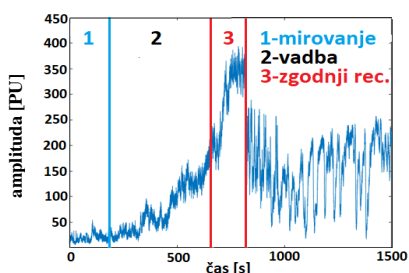
Laserska doplerska (LD) metoda je metoda izbora za merjenje mikrocirkulacije kože, ki ima zaradi svoje termoregulatorne funkcije pomembno vlogo pri vzdrževanju telesne homeostaze. Ker je fizikalno in biološko ozadje mikrocirkulatornega LD signala kompleksno, se za natančnejšo oceno njegovih lastnosti uporablja spektralna analiza. Kot najbolj primerna metoda spektralne analize se je v zadnjem času izkazala valčna analiza; izkaže se namreč, da njena aplikacija LD signal razdeli na pet značilnih frekvenčnih intervalov, ki segajo od 0.005 do 2 Hz, in od katerih je vsak od njih povezan z določenim fiziološkim vplivom, ki modulira odziv mikrocirkulacije kože (srčni (card), respiratorni (resp), miogeni (myo), nevrogeni (neuro), ter vpliv endotelija (endo)) [1].

Da bi ovrednotili morebitne fiziološke mehanizme, ki uravnavajo termoregulatorni odziv mikrocirkulacije kože na dinamično telesno vadbo, smo v študiji uporabili valčno analizo LD signalov, izmerjenih v mirovanju, ter takoj po koncu dinamične telesne vadbe (zgodnja faza "recovery") (Slika 1). Signale smo merili na dveh merilnih mestih, in sicer na prstni jagodici in na volarni strani podlakti pri enajstih zdravih prostovoljcih, izpostavljenih stopenjski obremenitvi na cikloergometru. Kodo za valčno analizo smo razvili v Matlabu.

Naši rezultati so pokazali, da valčna analiza uspešno razdeli signale, izmerjene v fazi mirovanja, ter signale, izmerjene takoj po koncu dinamične vadbe, na značilne frekvenčne intervale, povezane z različnimi fiziološkimi vplivi (Slika 2) in da se posamezni spektri izrazito razlikujejo med mirovanjem in takoj po dinamični vadbi.

Prav tako smo s pomočjo analize valčnih spektrov potrdili, da se mehanizmi regulacije mikrocirkulacije kože, ki uravnavajo odziv na telesno vadbo, razlikujejo med različnimi merilnimi mesti. Ugotovili smo, da ima na prstni jagodici največji vpliv pri uravnavanju odziva mikrocirkulacije po vadbi endotelij, medtem ko na volarni strani pomembnega doprinosa endotelija nismo potrdili.

Zaključimo torej lahko, da je valčna analiza primerno orodje za analizo odziva mikrocirkulacije kože na telesno vadbo.



Slika 1: Primer LD signala, izmerjenega v fazi mirovanja, dinamične telesne vadbe, ter "recoveryja". Slika 2: Primer valčnega spektra na prstni jagodici.

[1] Stefanovska, A., Bracic, M., and Kvernmo, H.D. (1999). Wavelet analysis of oscillations in the peripheral blood circulation measured by laser Doppler technique. IEEE Transactions on Biomedical Engineering 538 46, 1230-1239.

Magnetno mehke visokoentropijske zlitine AlCoFeNiCu_x (x = 0,6 – 3,0) z ničelno magnetostrikcijo

Jože Luzar¹, Pavol Priputen², Stanislav Vrtnik¹, Primož Koželj^{1,3}, Andreja Jelen¹,
Magdalena Wencka^{1,4}, Darja Gačnik¹, Peter Mihor¹, Bojan Ambrožič¹, Goran Dražič⁵,
Anton Meden⁶, Janez Dolinšek^{1,3}

1. Odsek za fiziko trdne snovi, IJS, Ljubljana, Slovenija

2. Faculty of Materials Science and Technology, STU, Bratislava, Slovaška

3. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana, Slovenija

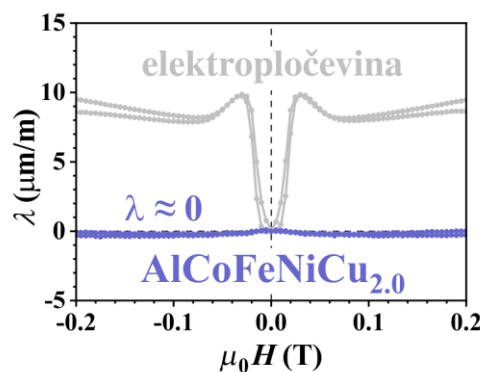
4. Institute of Molecular Physics, Polish Academy of Sciences, Poznań, Poljska

5. Kemijski inštitut, Ljubljana, Slovenija

6. Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, UL, Ljubljana, Slovenija

Študija sistema AlCoFeNiCu_x (x = 0,6 – 3,0) je pokazala, da te visokoentropijske zlitine spadajo med mehke feromagnete z izboljšanimi lastnostmi, ki bi jih lahko uporabili v izmeničnih aplikacijah, kot so na primer transformatorji, elektromotorji, generatorji itd. Izkazalo se je, da ima visokoentropijska zlitina AlCoFeNiCu_{2,0} praktično ničelno magnetostrikcijo (ne spreminja oblike in dimenzije v magnetnem polju) $\lambda_s = 0$, dokaj nizko koercitivnost $H_c \approx 650 \text{ Am}^{-1}$, in znatno nasičeno magnetno polarizacijo $J_s \approx 0,55 \text{ T}$ [1]. Skoraj ničelno magnetostrikcijo smo opazili tudi pri visokoentropijskih zlitinah AlCoFeNiCu_x z vsebnostjo bakra $x = 2,5$ in $x = 3,0$. Vse tri zlitine AlCoFeNiCu_x $2,0 < x < 3,0$ so magnetno mehki materiali s praktično ničelno magnetostrikcijo in tako brez, za človeško uho, nadležnega brnenja materiala v izmeničnih elektro napravah.

V spojinah na mikrometrski skali nastanejo tri faze, ki so dodatno strukturirane na nanometrski skali. Izkaže se, da je natanko ničelna magnetostrikcija visokoentropijske spojine AlCoFeNiCu_{2,0} posledica mikrostrukture treh faz v katerih se magnetostrikcija različnih predznakov ravno izniči. Magnetno mehkost materiala pa pripisujemo mehanizmu povprečenja izmenjalne magnetne anizotropije.



Slika 1: Magnetostrikcija komercialne neorientirane elektropločevine v primerjavi z AlCoFeNiCu_{2,0} visokoentropijsko zlitino.

[1] J. Luzar, P. Priputen, S. Vrtnik, *et al.*, Adv. Mater. Interfaces, članek sprejet v objavo.
<https://doi.org/10.1002/admi.202201535>

Injiciranje naboja in piezoelektrične lastnosti nanocevk MoS₂

Matjaž Malok¹, Janez Jelenc¹, Luka Pirker¹, Nikolai Czepurnyi², Andreas K. Hüttel³, Rupert Schreiner² in Maja Remškar¹

1. Odsek za fiziko trdne snovi, Institut Jožef Stefan, Jamova ulica 39, 1000 Ljubljana, Slovenija

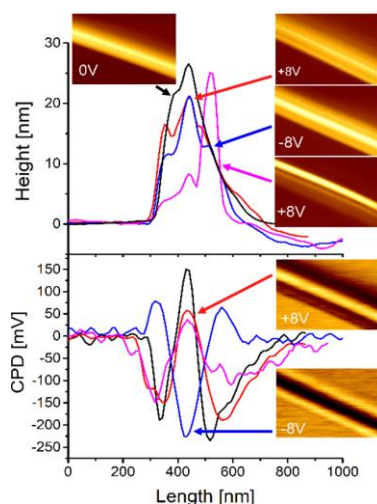
2. Faculty of General Sciences and Microsystems Technology, OTH Regensburg, 93053 Regensburg, Germany

3. Institute for Experimental and Applied Physics, University of Regensburg, 93053 Regensburg, Germany

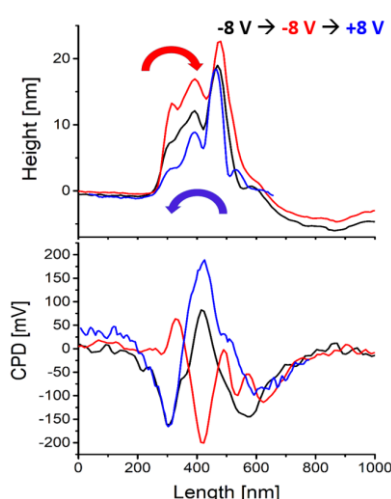
Piezoelektričnost je bila do sedaj eksperimentalno potrjena za monoplasti MoS₂ [1, 2] in teoretično predvidena za kiralne nanocevke [3], a še ni bila eksperimentalno dokazana za nanocevke MoS₂.

V naših raziskavah smo raziskovali vpliv injiciranja naboja v nanocevko MoS₂. Naboj je bil injiciran z mikroskopom na atomsko silo (AFM), ki je deloval v režimu vrstičnega tunelskega mikroskopa (STM). Pri injiciranju smo na konico pritisnili negativno (pozitivno) napetost, pri čemer so bili elektroni (vrzeli) transportirani s konice na vzorec. Naboj se je ujel na defektih in ustvaril lokalno električno polje.

Ugotovili smo, da injiciranje elektronov in vrzeli povzroči spremembe v obliki nanocevk, kar smo opazovali z nekontaktnim AFM, in v izstopnem delu nanocevk, kar smo izmerili s Kelvinovo mikroskopijo (KPFM). Spremembo oblike nanocevk lahko razložimo s piezoelektričnim učinkom, ki ima v primeru kiralnih nanocevk radialno in torzijsko komponento. Tako se je ob injiciranju elektronov nanocevka zavrtela v smeri urinega kazalca, ob injiciranju vrzeli pa v nasprotni smeri. Sprememba oblike je bila povratna le do določene stopnje, saj se je poleg elastične deformacije pojavila tudi plastična deformacija, ki vodi do spominskega efekta materiala zaradi ustvarjanja strukturnih defektov.



Slika 1: Tako injiciranje elektronov kot vrzeli povzroči spremembo v obliki nanocevk ter v izstopnem delu.



Slika 2: Ob injiciranju elektronov oz. vrzeli se nanocevka zavrti v smeri urinega kazalca oz. v nasprotni smeri.

[1] H. Zhu et al., Nature Nanotech **10**, 151–155 (2015)

[2] Wu, W., Wang, L., Li, Y. et al., Nature **514**, 470–474 (2014)

[3] Na Sai and E. J. Mele, Phys. Rev. B **68**, 241405(R) (2003)

Teorija spinov, nabojev in družin, ki uporabi Cliffordovo algebro za opis notranjih lastnosti fermionskih in bozonskih polj, ponudi razlago za vse privzetke standardnega modela, poenoti vse osnovne lastnosti fermionskih in bozonskih polj, tudi gravitacije, ter razloži Diracove postulate za drugo kvantizacijo fermionskih in bozonskih polj.

Pred skoraj 50. leti je bil postavljen *Standardni model* osnovnih fermionskih in bozonskih polj, zgrajen na številnih privzetkih: Prostor-čas ima tri prostorske in eno časovno razsežnost. Masa fermionov in bozonov je enaka nič. Fermioni, to so kvarki in leptoni, nosijo spine in naboje v fundamentalni upodobitvi grup in se pojavijo v družinah. Bozonska polja, to so gravitacijsko, elektromagnetno, šibko in barvno, nosijo naboje v adjungirani upodobitvi ustreznih grup in se ne pojavijo v družinah. Skalarno Higgsovo polje, ki nosi polovični šibki naboj in polovični hiper naboj in ima maso različno od nič, poskrbi za maso vseh fermionov, ki nosijo šibki in hiper naboj ter za maso šibkih bozonov, potem ko napravi neke vrste kondenzata (kristala), ki je enak po vsem prostoru in se s časom ne spreminja. Fermioni in bozoni, tudi skalarni bozon, so polja druge kvantizacije, ki jim lastnosti določajo Diracovi postulati. V drugi kvantizaciji si fermioni izmenjujejo spin, naboje, gibalno količino in energijo z drugimi fermioni s posredovanjem bozonov, ki jih fermioni absorbirajo ali izsevajo. Bozoni prenesejo fermionom in drugim bozonom poleg energije in gibalne količine tudi celoštevilčen spin ter naboje v adjungirani upodobitvi ustrezne grupe.

Ko se fermioni (to je kvarki in leptoni) povežejo v gruče z lihimi številom kvarkov (taki so nukleoni), jih v večini primerov smemo obravnavati kot kvantne delce s spinom in nabojem v prvi kvantizaciji: Nukleone opišemo z valovno funkcijo, bozone pa z ustreznimi potenciali. Gruče nukleonov povezuje jedrska sila v atomska jedra, ki jih elektromagnetna sila poveže z elektroni v atome, atome pa v molecule, molecule pa v snov. Elektromagnetno silo v primerih največkrat v približkih obravnavamo s primernimi potenciali. Gibanje trdih, tekočih ali plinastih gručk določa pretežno gravitacijska sila, ki poveže temno snov, zvezde, črne luknje, pline v galaksije, te pa v jate galaksij.

Največkrat lahko pri obravnavi "klasičnih" sistemov pozabimo na primarni izvor fermionov in bozonov to je na "življenje" fermionskih in bozonskih polj.

Standardni model, ki mu poskusi pritrjujejo, niso pa doslej pomagali razložiti njegovih privzetkov, čaka na naslednji korak, ki bo to storil.

Teorija *Spina, nabojev in družin* ponuja ta novi korak, ponuja razlago za vse privzete lastnosti fermionov in bozonov v *Standardnem modelu*: A. Ponudi odgovor na vprašanja; a. Zakaj imajo kvarki in leptoni v (3+1)-razsežnem prostoru poleg spina tudi naboje? b. Zakaj se kvarki in leptoni pojavijo v družinah? c. Kakšen je izvor elektromagnetne, šibke, barvne in gravitacijske sile? d. Kaj je izvor Higgsovih bozonov in kaj določa Yukawine sklopitve ter s tem mase kvarkov in leptonov ter šibkih bozonov? e. Kaj je temna snov? f. Zakaj prevladuje v vesolju snov and antismov? g. Kaj je skupnega fermionom in bozonom?

B. Ponudi napoved; a. Četrte družine poleg že izmerjenih treh. b.

Ponudi razlago za Diracove postulate druge kvantizacije za fermionska in bozonska polja in napoveduje nova skalarna polja. c. Ponudi razlago za vacuumsko stanje fermionov in bozonov. d. Ponudi vpogled v notranjost črnih lukenj.

V teoriji *spina, nabojev in družin* ima proctor-čas vsaj 13 prostorskih in eno časovno razsežnost. V (13+ 1) razsežnem prostoru opišejo notranje prostostne stopnje fermionov **bazični vektorji**, ki so lihi produkti operatorjev gamma, notranje prostostne stopnje bozonov pa opišejo **bazični vektorji**, ki so sodi produkti operatorjev gamma. Nosijo samo spine. Za interakcijo med fermioni poskrbijo bozoni, ki so umeritvena polja translacij v običajnem in rotacij v notranjem prostoru fermionov in bozonov, to je gravitacijska polja. Akcija, ki določa enačbe gibanja v (13+1)-razsežnem prostoru-času je preprosta,

Vsa fermionska in bozonska polja imajo maso nič. Kondenzati fermionov prinesejo mase vsem fermionom in bozonom, ki nosijo kvantna števila kondenzatov. Komutacijske lastnosti kreacijskih in anihilacijskih operatorjev, ki so produkti **bazičnih vektorjev** in vektorjev translacije v običajnem prostoru, določajo **bazični vektorji**.

Podgrupe Lorentzove grupe SO(13,1) ponudijo, ko jih analiziramo glede na grupe *standardnega modela*, vse lastnosti osnovnih fermionskih in bozonskih polj.

Reference: a. Progress in Particle and Nuclear Physics, vol.121(2021)103890

<http://doi.org/10.1016.j.pnnp.2021.103890>, [2108.05718], Norma Mankoč and Holger Nielsen,

b. Norma Mankoč "How Clifford algebra can help understand second quantization of fermion and boson fields", [arXiv: 2210.06256. physics.gen-ph].

Uporaba optičnih magnetometrov v magnetoencefalografiji

Urban Marhl¹, Tilmann Sander² in Vojko Jazbinšek¹

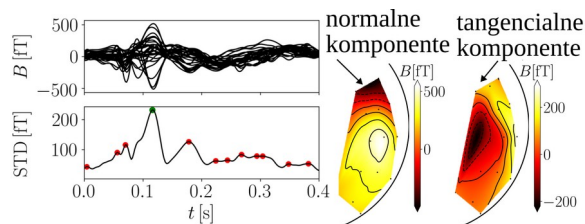
1. *Inštitut za matematiko, fiziko in mehaniko, Ljubljana, Slovenija*

2. *Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Berlin, Nemčija*

Magnetoencefalografija je tehnika funkcionalnega nevroslikanja, ki z merjenjem magnetnih polj v bližini glave določi možgansko aktivnost. Ta magnetna polja so zelo majhna, zato se meritve izvajajo znotraj magnetno zaščitene sobe. Do nedavnega je bil edini primeren senzor za merjenje teh magnetnih polj superprevodna kvantna interferenčna naprava (SQUID). Kljub zelo dobremu razmerju signal-šum (SNR) ima ta senzor kar nekaj pomanjkljivosti. Za delovanje je ključna superprevodnost, zato so senzorju potopljeni v tekoči helij znotraj okorne Dewarjeve posode. Zaradi tega so senzorji oddaljeni od glave več kot 2 cm. Kot alternativa so se začeli uporabljati optični magnetometri (OPM), ki delujejo na principu interakcije med svetlobo in paro alkalijskih kovin. Ti senzorji delujejo pri višjih temperaturah. To omogoča, da jih lahko postavimo na glavo (oddaljenost $\approx 0,5$ cm), kar poveča izmerjen signal, merjena oseba pa se lahko med meritvijo premika. Nekateri komercialni OPM omogočajo, da lahko na eni točki merijo več ortogonalnih komponent magnetnega polja. Zato smo izvedli simulacijsko študijo, kjer smo simuliranim izvorom znotraj možganov dodali šum [1]. Ugotovili smo, da ima v povprečju komponenta senzorjev, ki je normalna na površino glave največji signal in da upoštevanje več ortogonalnih komponent OPM zmanjša napako rešitve inverznega problema. Kljub temu da sistemi OPM-MEG rešijo številne težave sistemov SQUID-MEG, imajo tudi ti pomanjkljivosti. V nedavnem delu smo pokazali, da OPM za delovanje v linearnem režimu potrebujejo boljšo magnetno zaščito [2]. Kvantitativna primerjava dveh različnih sistemov MEG ni preprosta. V svojem delu smo predstavili metodo, ki transformira meritve iz enega sistema MEG na drug sistem. To smo uporabili za primerjavo OPM-MEG in SQUID-MEG na primeru meritev zvočno vzbujenih polj (slika 2) in simulacij [3].



Slika 1: Fotografija sistema OPM-MEG (levo) in sistema SQUID-MEG (desno)



Slika 2: (levo) Meritve magnetnega polja (B) ter izračunana funkcija STD (predstavlja povečano aktivnost možganov) za zvočno vzbujena polja z OPM-MEG. Topografske mape B za odziv možganov M100 ($t \approx 0,1$ s) za vsako mersko komponento posebej.

[1] U. Marhl, T. Sander, and V. Jazbinšek, *Sensors* **22**, 3184 (2022).

[2] V. Jazbinšek, U. Marhl, in T. Sander, *SERF-OPM Usability for MEG in Two-Layer-Shielded Rooms*, v *Flexible High Performance Magnetic Field Sensors*, uredil E. Labyt, T. Sander, in R. Wakai (Springer International Publishing, Cham, 2022), str. 179–193.

[3] U. Marhl, A. Jodko-Władzińska, R. Brühl, T. Sander, and V. Jazbinšek, *PLoS ONE* **17**, e0262669 (2022).

Numerično modeliranje modre faze III

Matevž Marinčič^{1,2}, Jaka Pišljar¹, Sharmistha Ghosh³, Srikanth Turlapati⁴, Nandiraju V. S. Rao⁴, Miha Škarabot¹, Alenka Mertelj¹, Andrej Petelin¹, Andriy Nych^{1,5}, Anja Pusovnik², Igor Muševič^{1,2} and Miha Ravnik^{2,1}

¹ Odsek za fiziko trdne snovi, IJS, Ljubljana

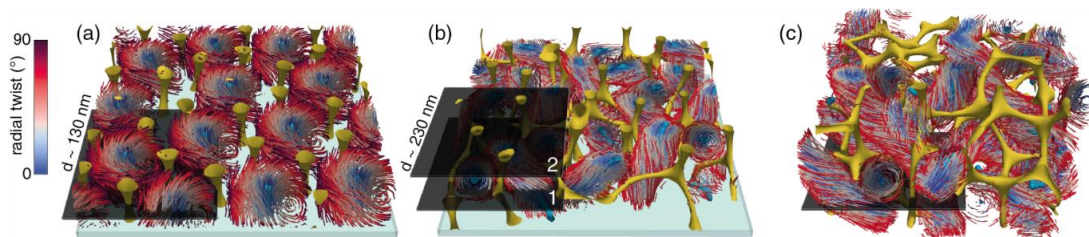
² Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

³ Department of Physics, University of Calcutta, Kolkata, India

⁴ Chemistry Department, Assam University Silchar, Assam, India

⁵ Department of Molecular Photoelectronics, Institute of Physics, Kyiv, Ukraine

Poročamo o prispevku mezoskopskega Landau de Gennes numeričnega modeliranja k razumevanju modre faze III (BPIII), amorfne tekoče kristalne faze iz prepletenih dvojno zvitih skirmionov in mreže topoloških defektov [1]. S primerno izbiro začetnih pogojev v simulaciji bo kiralni tekoči kristal relaksiral v različna metastabilna stanja, izmed katerih je najslabše raziskana BPIII. Izračun faznega diagrama pokaže ozek razpon temperature in kiralnosti, kjer je stabilna BPIII in ima nižjo prosto energijo od preostalih kiralno-nematskih faz [2]. S simulacijo v ograjeni ploščati celici s planarnim degeneriranim sidranjem poustvarimo pogoje iz eksperimenta. Simulacija optične slike na tej strukturi pokaže dobro ujemanje z eksperimentalno sliko. Numerično modeliranje omogoči vpogled v podrobnosti strukture. Razvijemo numerični algoritem za določanje dvojno zvitih skirmionskih filamentov, s katerim potrdimo, da so to osnovni gradniki tudi v BPIII. Z vizualizacijo in analizo skirmionskih filamentov predstavimo podobnosti in razlike med BPI, BPII in BPIII, kot tudi v različnih strukturah v ograjeni geometriji ploščate celice. Porazdelitev kota zvojnne deformacije direktorja v odvisnosti od razdalje do središča skirmionskega filameta ustreza modelu pol-skirmionov v tankih celicah ter četrt-skirmionov v debelejših celicah.



Slika 1: Različne ureditve BPIII v tanki (a) in debelejši (b) celici ter izsek iz večje, periodično zaključene simulacije (c). Mreža defektov je prikazana z rumeno, središča skirmionov z modro. BPIII skirmioni so prikazani s silincami direktorskega polja, ki so obarvani glede na kot orientacije direktorja v primerjavi z orientacijo v središču skirmiona (barvna skala je prikazana na levi). Spodnja ploskev v ograjenih celicah je prikazana s svetlo modro, zgornja ni prikazana.

[1] J. Pišljar, Sharmistha Ghosh, Srikanth Turlapati, Nandiraju V. S. Rao, M. Škarabot, A. Mertelj, A. Petelin, A. Nych, M. Marinčič, A. Pusovnik, M. Ravnik and I. Muševič, *Phys. Rev. X* **12**, 011003 (2022) *Blue Phase III: Topological Fluid of Skyrmions*

[2] M. Marinčič, M. Ravnik, (V pripravi, 2022) *Blue Phase III: Stability, Structure and Visualisation*

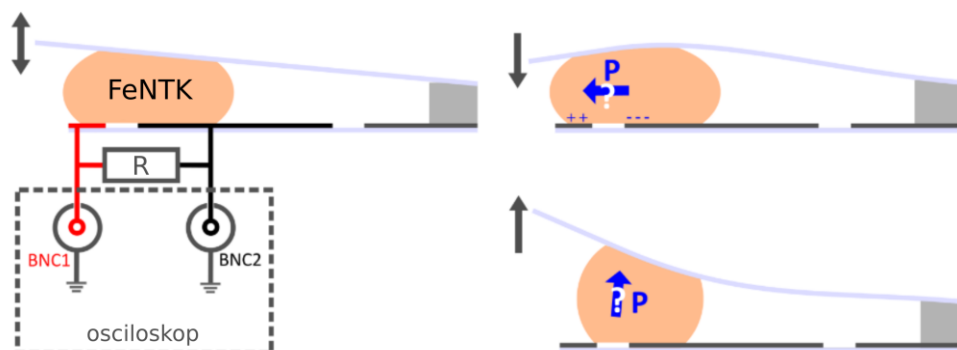
Mehanoelektrični pojav v feroelektričnih nematičnih tekočih kristalih

Peter Medle Rupnik¹, Nerea Sebastián¹, Luka Cmok¹ in Alenka Mertelj¹

1. Odsek za kompleksno snov, IJS, Ljubljana

Feroelektrični nematični tekoči kristali (FeNTK) so tekočine, kjer je poleg orientacijskega reda v materialu prisotna spontana električna polarizacija.[1] V primeru, da FeNTK napolnimo v tekočokristalno celico z elektrodami, reorientacija električne polarizacije povzroči spremembo površinskega naboja na elektrodah, zato je mogoče izmeriti električni signal. V našem primeru smo opazovali, kako je mogoče smer polarizacije spreminjati z mehanskimi deformacijami materiala zaradi vplivov električnega depolarizacijskega polja in sklopitve polarizacije s tokom materiala. V prvem primeru smo opazovali majhne kapljice FeNTK ujete med elektrodama ploščatega kondenzatorja. S polarizacijsko mikroskopijo smo opazovali spremembe oblike kapljic in spremembe v strukturi orientacijskega reda, medtem ko smo periodično spreminjali razdaljo med ploščama kondenzatorja. V drugem primeru smo FeNTK delno napolnili v klinasto tekočokristalno celico z elektrodami (Slika 1). Z deformacijami zgornje gibljive ploščice celice smo inducirali tok materiala. Opazovali smo električne signale na elektrodah in tok materiala.

To delo je potekalo v okviru projekta MAGNELIQ (GA 899285), ki ga financira Evropska unija (Horizon 2020 Research and Innovation Programme), in raziskovalnega programa P1-0192, ki ga financira ARRS.



Slika 1: Shema eksperimenta.

[1] N. Sebastián, M. Čopič and A. Mertelj, *Physical Review E* **106**, 021001 (2022).

Vpliv orientacijskega urejanja ukrivljenih nematikov na ravnovesne 3D oblike 2D lupin

Luka Mesarec¹, Samo Kralj^{2,3} in Aleš Iglič^{1,4}

1. Fakulteta za elektrotehniko, UL, Ljubljana

2. Fakulteta za naravoslovje in matematiko, UM, Maribor

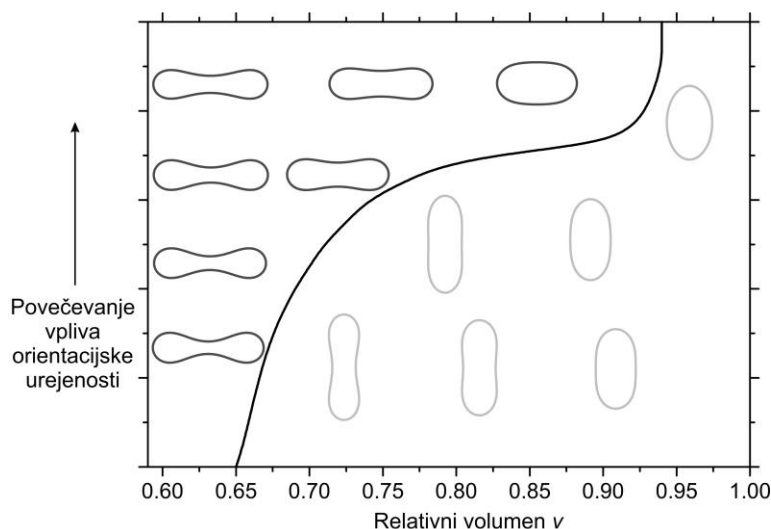
3. Odsek za fiziko trdne snovi, IJS, Ljubljana

4. Medicinska fakulteta, UL, Ljubljana

Orientacijsko urejanje je pogost pojav v fizikalnih sistemih. Opazimo ga na primer v tekočih kristalih in v bioloških membranah. V tekočokristalnih lupinah gre za nematični orientacijski red tekočokristalnih molekul, v bioloških membranah pa je orientacijsko urejanje lahko posledica urejanja v lipidni plasti ali urejanja membranskih proteinov (npr. BAR proteinov). Na 3D oblikah s krogelno topologijo so vedno prisotni tudi topološki defekti.

V prispevku bomo predstavili, kako lahko z upoštevanjem nematične urejenosti predvidimo široko območje stabilnosti diskocitnih oblik. Te oblike so tipične za rdeče krvne celice pri večini sesalcev, saj omogočajo optimalne pretočne lastnosti po žilah in kapilarah. Eksperimentalne meritve kažejo, da so te oblike stabilne v relativno širokem intervalu vrednosti relativnega volumna, kar pa do sedaj ni bilo podprto s strani teoretičnih modelov. V našem modelu lahko z upoštevanjem nematičnega orientacijskega reda, s poudarkom na t.i. zunanem (deviatornem) členu, predvidimo široko območje stabilnosti diskocitnih oblik [1].

V splošnem lahko imajo tekočokristalne molekule in membranski proteini lastno ukrivljenost različno od nič. V našem novem modelu lahko izračunamo ravnovesne konfiguracije (3D oblike 2D lupin in urejenost nematikov po površini) tudi za ukrivljene molekule. Rezultati kažejo, da spreminjanje ukrivljenosti molekul močno vpliva na ravnovesne 3D oblike in na usmerjenost molekul na površini.



Slika 1: Vpliv orientacijskega urejanja na ravnovesne oblike

[1] L. Mesarec, W. Gózdź, A. Iglič, V. Kralj-Iglič, E. G. Virga in S. Kralj, Scientific Reports 9, 19742 (2019)

Bosejevi ognjemeti v kvazienodimenzionalnem Bose-Einsteinovem kondenzatu cezija

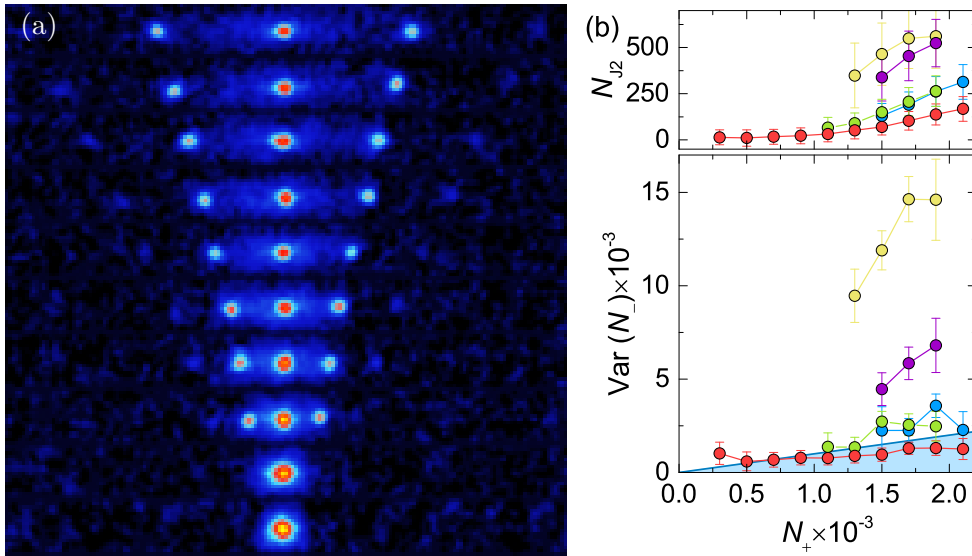
Tadej Mežnaršič^{1,2}, Rok Žitko^{2,3}, Tina Arh^{1,2}, Katja Gosar^{1,2}, Katja Arh^{1,2},
Matevž Jug^{1,2}, Erik Zupanič¹ in Peter Jeglič¹

¹Odsek za fiziko trdne snovi, IJS, Ljubljana

²Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

³Odsek za teoretično fiziko, IJS, Ljubljana

S periodično modulacijo interakcije med atomi vzbujamo Bose-Einsteinov kondenzat (BEC) cezijevih atomov. Pari atomov ob trku pridobijo en kvant energije vzbujevalnega polja in se izstrelijo iz kondenzata. Ker gre za bozonsko stimuliran proces, število izstreljenih atomov eksponentno narašča, tako da se jih večina nabere v dveh nasproti letečih valovnih paketih vzdolž kvazienodimenzionalne pasti ustvarjene z izvenresonančnim laserskim žarkom [1]. Če je število atomov v izstrelkih prvega reda dovolj veliko, lahko opazimo tudi izstrelke višjih redov, ki nastanejo z več zaporednimi trki atomov v različnih redih. V režimu majhnega števila atomov v izstrelkih 2. reda smo pokazali, da je razlika števila atomov v levem in desnem izstrelku prvega reda porazdeljena subpoissonsko, kar kaže na morebitne neklasične korelacije in mnogodelčno kvantno prepletenost.



Slika 1: (a) Časovni potek izstrelitve Bosejevih ognjemetov 1. in 2. reda v kvazienodimenzionalni pasti (časovni korak 5 ms od spodaj navzgor). (b) Varianca razlike števila atomov med levim in desnim izstrelkom 1. reda v odvisnosti od vsote števila atomov (spodaj) in pripadajoče število atomov v 2. redu (zgoraj).

[1] Tadej Mežnaršič, Rok Žitko, Tina Arh, Katja Gosar, Erik Zupanič in Peter Jeglič, *Emission of correlated jets from a driven matter-wave soliton in a quasi-one-dimensional geometry*, Phys. Rev. A **101**, 031601(R) (2020).

Elastokalorično utrujanje tekočerstalnih elastomerov

Matic Morgan^{1,2}, Zdravko Kutnjak^{1,2} in Brigita Rožič^{1,2}

1. Odsek za fiziko trde snovi, IJS, Ljubljana

2. Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana, Ljubljana

S povečanjem okoljske osveščenosti smo priča povečanju zanimanja za okolju prijazne naprave za upravljanje s toploto. Tekočekristalni elastomeri (TKE-ji) kažejo nekatere optimistične lastnosti za razvoj okolju prijaznih naprav za upravljanje s toploto, z nizko energetske porabo in okolju prijaznimi materiali.

Z opazovanjem elastokaloričnega efekta pri TKE-jih smo izmerili občutne temperaturne razlike dosežene pri razmeroma majhnih raztezkih. Tu poročamo o začetnih meritvah utrujanja TKE-jev. Več vzorcev TKE-jev smo raztegnili in skrčili ter sproti opazovali njihove mehanske in termodinamske lastnosti. Kratke in dolge TKE-je z različnimi kemijskimi lastnostmi smo raztegnili in skrčili za različno dolge raztezke. Več tisoč ciklov raztegovanja in skrčevanja smo izvedli brez signifikantnega uničenja TKE-jev. Opazili smo, da se daljši vzorci trgajo občutno manj od krajših in lahko vzdržijo bistveno večje število ciklov. TKE-ji z različnimi kemijskimi parametri so bili testirani in primerjani.

Te ugotovitve so pozitiven korak k našemu končnemu cilju – izdelavi delujočega prototipa naprave za upravljanje s toploto. Njene delujoč material bodo TKE-ji, delovala pa bo na principu regenerativnega cikla, za povečanje izkoristka in učinkovito odvajanje presežne toplote.

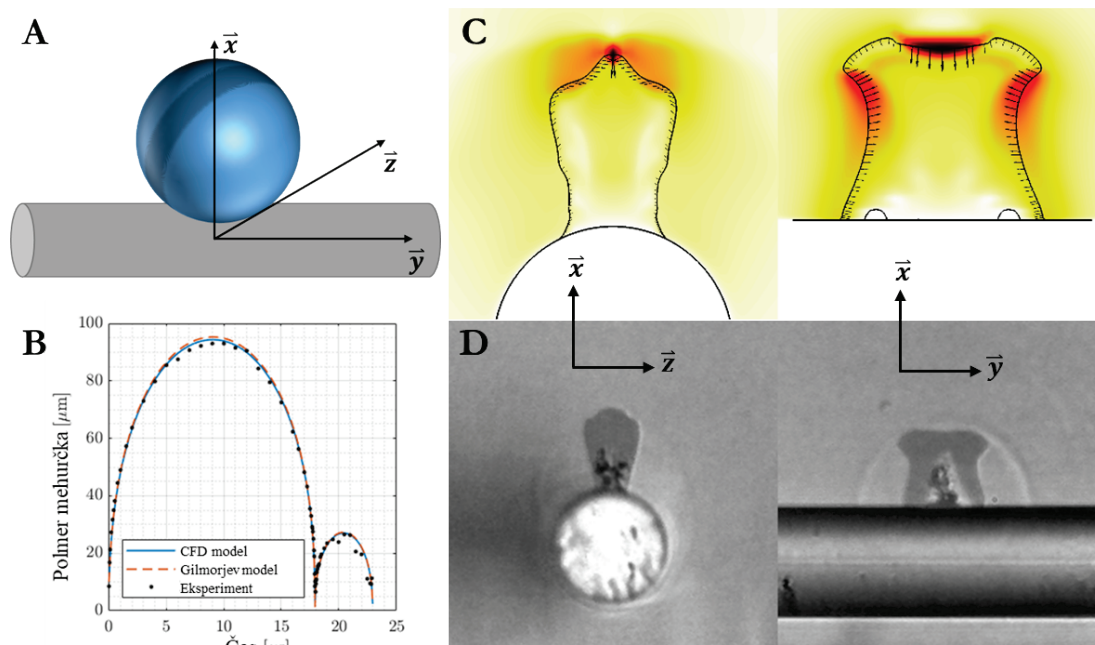
Kavitacijski mehurčki v bližini togega valja

Jaka Mur¹, Jure Zevnik¹, Vid Agrež¹, Matevž Dular¹ in Rok Petkovšek¹

1. Fakulteta za strojništvo, UL, Ljubljana

Kavitacija je pojav v tekočinah, ki opisuje nastanek kratkoživih, oscilirajočih plinastih mehurčkov. Mehurček lahko nastane zaradi lokalnega znižanja tlaka, lokalne pohitritve toka tekočine, ali npr. laserskega preboja. Slednji mehanizem izkoristimo v namen nadzorovanega nastanka posameznega kavitacijskega mehurčka. Stena mehurčka tekom kolapsa dosega visoke hitrosti in gradiente hitrosti, kar vodi k lokalno močno povečanim tlakom, oblikovanju curkov in emisiji udarnih valov [1]. Zaradi kompleksnosti sistema so posamezni fizikalni mehanizmi še neraziskani.

V eksperimentalnem delu in simulacijah smo opazovali referenčni mehurček v neskončni tekočini in mehurček v bližini togega valja, pri razmerju premerov mehurčka in valja približno 2,3:1. V eksperimentu smo s sinhroniziranim generiranjem mehurčka in nanosekundnim osvetljevanjem mehurčka [2] dosegli natančen vpogled v časovni razvoj oblike mehurčka z najmanjšim časovnim korakom 50 ns tekom 18 μ s trajanja prve oscilacije mehurčka. Vzporedna simulacija nam poleg oblike mehurčka poda informacije o hitrostnem polju stene mehurčka in vodnih tokov, ter vrednosti tlaka v okolici mehurčka in na površini valja. Obnašanje kavitacijskega mehurčka v bližini togega valja, manjšega od mehurčka, je pomembno za razumevanje in razvoj aplikacij nadzorovane kavitacije in obvladovanje neželene kavitacije, ki lahko vodi do poškodb struktur v bližini.



Slika 1: A – prikaz geometrije v eksperimentu in simulacijah, B – graf časovnega razvoja mehurčka v neskončni tekočini, C – oblika mehurčka s hitrostmi stene mehurčka v dveh pogledih, rezultat simulacij, D – eksperimentalni posnetek mehurčka v enakih pogojih kot na sliki C.

[1] J. Mur, F. Reuter, J. J. Kočica, Ž. Lokar, J. Petelin, V. Agrež, C.-D. Ohl in R. Petkovšek, *Optics Express* **30**, 21, 37664-37674 (2022)

[2] V. Agrež, T. Požar in R. Petkovšek, *Optics Letters* **45**, 1547–1550 (2020)

Optična komunikacija med celicami

Maruša Mur¹ and Matjaž Humar^{1,2}

¹*Odsek za fiziko trdne snovi - F5, IJS, Ljubljana*

²*Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana*

Komunikacija med celicami v telesu poteka prek kemičnih in električnih signalov. Slednji lahko po nevronih potujejo s hitrostjo do 120 m/s. Podobno, kot je v telekomunikacijskih tehnologijah optični prenos podatkov nadomestil in bistveno pohitril klasičnega, elektronskega, želimo s prehodom iz električnih na optične signale omogočiti mnogo hitrejšo komunikacijo med celicami, kar bi lahko denimo močno izboljšalo računske sposobnosti bioloških nevronskih mrež.

Barvila ali fluorescenčni proteini v živih celicah lahko delujejo kot ojačevalno sredstvo v laserju, bodisi ko celico vstavimo v zunanji laserski resonator tipa Fabry-Pérot [1], bodisi ko celica ali njen del sam po sebi deluje kot laserski resonator [2]. V pričujoči raziskavi v celičnem laserju uporabljamo barvilo, katerega fluorescenca je odvisna od koncentracije kalcija v celici. Na ta način do laserske emisije pride zgolj takrat, ko v celici poteče določen celičen proces. Lasersko emisijo, ki je posledica določenega procesa v celici, želimo uporabiti za aktivacijo druge, prostorsko ločene skupine celic in s tem med skupinama omogočiti optično komunikacijo.

[1] M. C. Gather in S. H. Yun, *Nature Photonics* **5**, str. 406–410 (2011).

[2] M. Humar in S. H. Yun, *Nature Photonics* **9**, str. 572–576 (2015).

Kinetika fotoinduciranega faznega prehoda iz izolatorskega v kovinsko stanje v CuIr_2S_4

Mimoza Naseska¹, Petra Sutar¹, Damjan Vengust¹, Yevhenii Vaskivskiy¹, Igor Vaskivskiy¹, Damjan Svetin¹, Viktor V. Kabanov¹, Dragan Mihailović^{1,2} in Tomaž Mertelj^{1,2}

1. Odsek za kompleksno snov, IJS, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenija

2. Center Odličnosti Nanoznanosti in Nanotehnologije – Nanocenter, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenija

Razumevanje kinetike faznih prehodov prvega reda je pomembno tako z vidika tehnološke uporabe kot tudi temeljne znanosti. CuIr_2S_4 ima zelo nenavaden prehod med izolatorskim in kovinskim stanjem pri katerem imajo pomembno vlogo orbitalne prostostne stopnje in je podoben Peierlsovim prehodom v treh dimenzijah. Pri sobni temperaturi je CuIr_2S_4 kovina s kubično kristalno strukturo. Med ohlajanjem pride pri okoli 233 K do faznega prehoda prvega reda pri katerem kovinska kubična faza preide v triklinično izolatorsko fazo. Predlagano je bilo, da imajo fononi povezani z vezmi S-S pomembno vlogo pri faznem prehodu v CuIr_2S_4 [1]. Zaradi podrobnega razumevanja mehanizma na katerem temelji fazni prehod in vpogled v dinamične lastnosti rešetke smo izvedli časovno–ločljive meritve tranzientne odbojnosti v odvisnosti od temperature.

CuIr_2S_4 je zanimiv tudi zaradi obstoja nizkotemperaturne metastabilne neurejene šibko prevodne faze, ki nastane po obsevanjem z rentgenskimi žarki ali vidno svetlobo [2]. V tej fazi ni več reda dolgega dosega, kar kaže na prisotnost konkurenčnih načinov urejanja, ki se pojavijo pri delnem uničenju izolatorske faze. Da bi raziskali možnost obstoja skritega metastabilnega stanja in preučili kinetiko fotoinduciranega ultrahitrega prehoda izolator–kovina v CuIr_2S_4 , smo izvedli sistematično femtosekundno večsunkovno optično preiskavo dinamike tranzientne odbojnosti v odvisnosti od fluence vzbujevalnega sunka.

[1] L. Zhang et al., Eur. Phys. J. B **77**, 83-86 (2010).

[2] H. Ishibashi et al., Phys. Rev. B **66** (14), 144424 (2002).

Vincenc Nemanič

Interakcija vodika s trdnim in tekočim kositrom

Interakcija vodika je evidentirana v nekem temperaturnem intervalu z večino kovin, kjer so meritve ključnih parametrov še izvedljive. Ti parametri načeloma omogočajo oceno ravnotežne koncentracije v širokem območju tlaka in temperature. Kositer je morebiti izjema, saj pred mnogimi leti objavljeni podatki za topnost in difuzivnost niso verodostojni. Njegova potencialna pomembnost se nakazuje v prihodnjih fuzijskih reaktorjih. Trenutno ima ITER, ki je največji fuzijski reaktor v gradnji, še uporabljen volfram. Ob nestabilnostih plazme se volfram lokalno tali in postaja krhek, zato zanj načrtovalci iščejo trajnejšo rešitev. Zaradi nizkega tališča je kot tekoči divertor zanimiv kositer, žal pa negotovost vsebnosti in migracije tritija med delovanjem reaktorja skrbi načrtovalce. Zaradi radioaktivnosti navzočnosti tritija v stenah reaktorja ni zaželen oz. mora ostati ves čas pod določeno mejo.

Za posodobitev podatkov o interakciji vodika s kositrom je bila opravljena vrsta eksperimentov s trdnim in tekočim kositrom v temperaturnem območju od 150 do 350 °C. Ta kaže visoko inertnost na vodik, saj je ravnotežna koncentracija pri tališču 231,9 °C in 1 bar pod detekcijsko mejo 1 ppb H/Sn. Podobno je bila stopnja prepustnosti devterija j skozi kositrno membrano pri 200 °C pod $j \sim 2.5 \times 10^9 D_2/\text{cm}^2/\text{s}$. Tudi ta vrednost ne izraža permeacijskega toka, pač pa izraža negotovost zaradi reakcije izmenjave izotopov v masnem spektrometru, ki generira šibek signal iona HD. Glavni eksperimentalni izzivi so bili odpravljanje šibke interakcije vodika s kositrovim oksidom na površini trdnega in tekočega kositra ter zniževanje razplinjevanja vodika in devterija v ozadju. Kljub evidentirano majhni oz. za nas nemerljivo nizki topnosti molekularnega vodika načrtovalce bodočih eksperimentov in naprav skrbi nedavno opažena burna reakcija kositra z vodikovo plazmo.

Interferenčna SHG mikroskopija

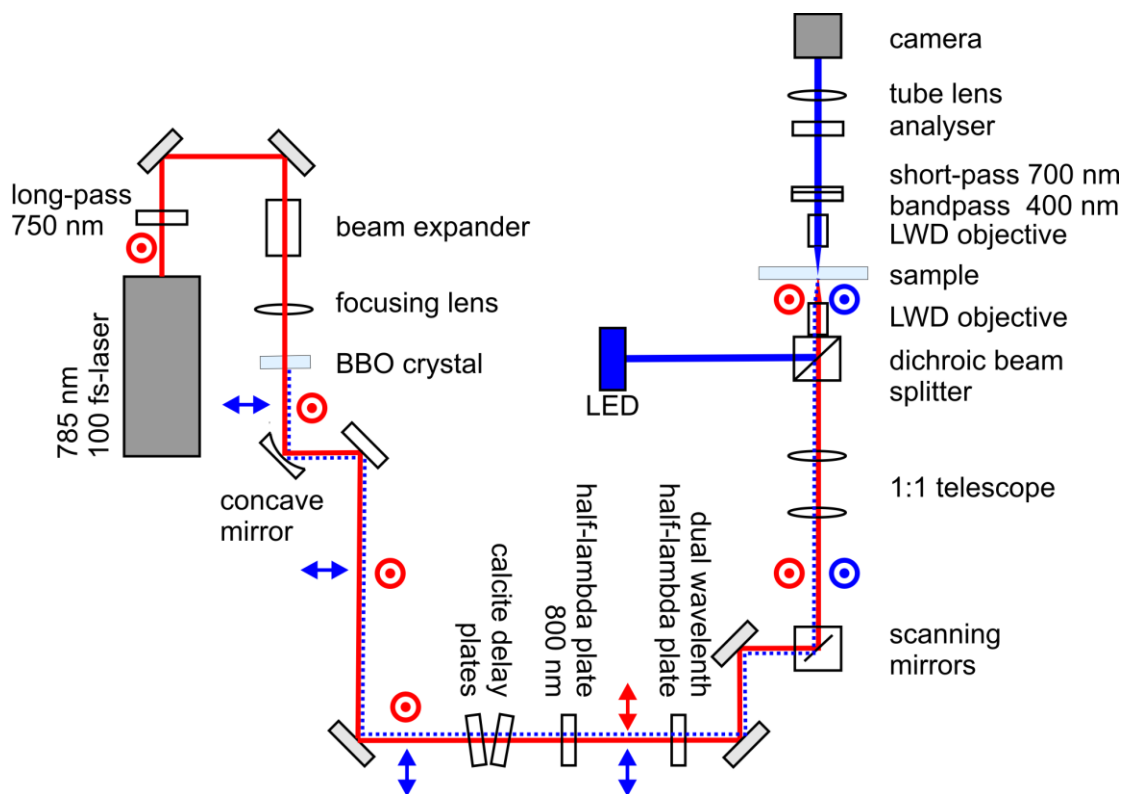
Natan Osterman

*Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana
Odsek za kompleksno snov, IJS, Ljubljana*

V Laboratoriju za eksperimentalno fiziko mehke snovi na FMF smo zgradili mikroskop, ki temelji na generaciji druge optične harmonične frekvence (SHG). Gre za nelinearni optični proces, ki se pojavlja le v strukturah brez simetrije inverzije in je zato zelo primeren za odkrivanje strukturne polarnosti.

SHG mikroskop trenutno uporabljamo za raziskave PZT keramike in urejenih faz tekočih kristalov, saj omogoča preučevanje polarnosti, feroelektričnosti, SHG in drugih z njimi povezanih pojavov. Z njim lahko merimo SHG signal v presevnem ali odbojnem načinu.

Za razliko od podobnih sistemov naš mikroskop omogoča tudi interferenčni način slikanja vzorca, ki razkrije dejansko lokalno polarnost, ne pa samo smer polarnosti, kot jo običajno SHG slikanje.



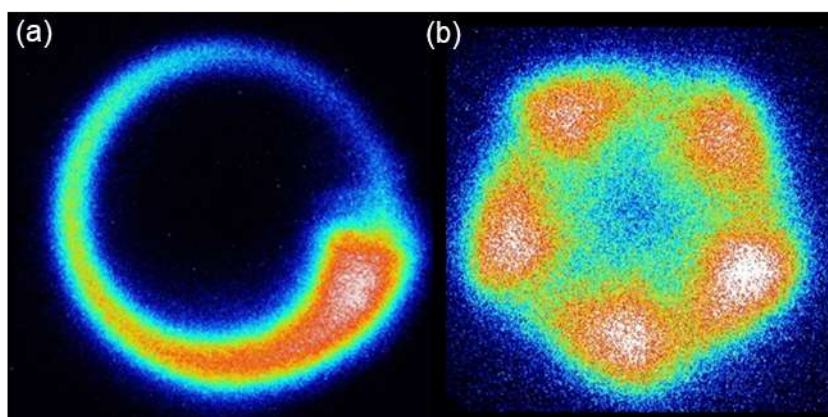
Samoorganizacija plazme v DC in RF magnetronskih razelektrivah

Matjaž Panjan

Institut "Jožef Stefan", Odsek za tanke plasti in površine, Jamova 39, 1000 Ljubljana

Raziskave magnetronskih razelektritev s hitrimi kamerami in drugimi diagnostičnimi tehnikami so v zadnjem desetletju razkrile, da v magnetronski plazmi pride do spontane samoorganizacije. V razelektrivah nastajajo periodične ali kvaziperiodične strukture, ki jih imenujemo ionizacijske cone oz. napere (angl. "spokes") [1,2]. Ionizacijske cone imajo tipično trikotno obliko in se vrtijo nad katodo magnetrona s hitrostjo 1–10 km/s. Samoorganizacijo so raziskovalci opazili v različnih režimih magnetronskega naprševanja. V predavanju bom predstavil samoorganizacijo plazme v enosmernem (DC) in radiofrekvenčnem režimu (RF) [3].

Magnetronsko plazmo smo preučevali z ICCD kamero ter z električnimi sondami. Plazemske strukture smo opazovali pri različnih tlakih argona (0.25–2 Pa) in močeh razelektritve (50–150 W). Pri enakih pogojih razelektritve (tj. enakem tlaku in moči razelektritve), je bilo število ionizacijskih con v RF režimu vedno večje kot v DC režimu (slika 1). Z višanjem tlaka se je število con v obeh režimih povečevalo, medtem ko moč razelektritve ni bistveno vplivala na število ionizacijskih con. Na podlagi eksperimentov sklepamo, da je samoorganizacija magnetronske plazme povezana s kompleksnim gibanjem elektronov v nehomogenem električnem in magnetnem polju magnetrona, ter s trki elektronov z atomi plina in s tem povezanimi izgubami energije. Da bi preverili to hipotezo, smo simulirali disipacijo energije elektronov za določene tlake argona in napetosti na katodi. Tipično prepotovano pot elektronov smo nato primerjali z dolžino in številom con pri posameznih pogojih razelektritve. Rezultati simulacij se v splošnem ujemajo z eksperimentalnimi podatki.



Slika 1: Samoorganizacija plazme v (a) DC in (b) RF magnetronskem režimu

[1] A. Anders *et al.*, *J. Appl. Phys.*, **111** (2012) 053304

[2] M. Panjan *et al.*, *Plasma Sources Sci. Technol.*, **24** (2015) 065010

[3] M. Panjan *J. Appl. Phys.*, **125** (2019) 203303

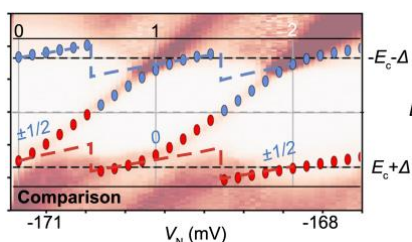
Kvantne pike in majhni superprevodniki

Luka Pavešić^{1,2}, Rok Žitko^{1,2}

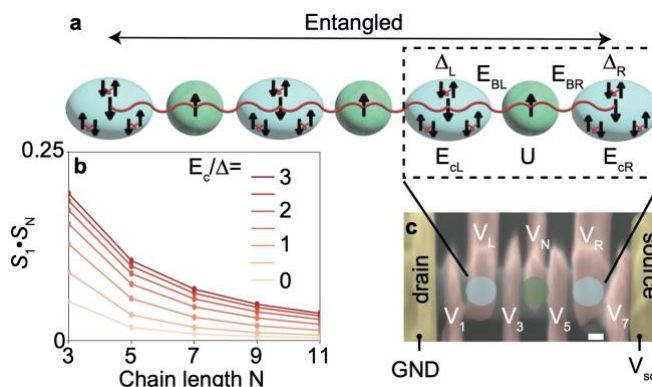
1. Odsek za teoretično fiziko, IJS, Ljubljana
2. Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

Lokalni magnetni moment kvantne pike lahko zasenči Bogoljubov kvazidelec iz bližnjega superprevodnika. Tako stanje, ki je manifestacija Kondovega pojava v superprevodniku, se pojavi kot diskretna vzbuditev znotraj superprevodnikove energijske reže. V majhnih superprevodnih otočkih je poleg senčenja pomemben tudi mehanizem Coulumbskega odboja med elektroni, ki močno spremeni nizkoenergjsko fiziko sistema. Razumevanje tekmovanja med superprevodnostjo, izmenjalno in Coulumbsko interakcijo je pomembno za področje kvantne simulacije ter realizacije superprevodniških kubitov in njihovih sestavnih delov, kot so Josephsonovi spoji.

Za konsistenten opis približek povprečnega polja in teorija BCS nista dovolj, temveč je potrebno obravnavati poln mnogodelčni problem elektronov s privlačno interakcijo. Razvili smo model in numerično metodo, ki dobro opiše eksperimente z mikrometerskimi hibridnimi napravami sestavljenimi iz superprevodnih in polprevodnih delov in omogoča vpogled in razumevanje kompleksnih lastnosti njihovih lastnih stanj.



Slika 1: Primerjava izmerjenega in izračunanega spektra kvantne pike sklopljene z majhnim superprevodnim otočkom. Povzeto po [2].



Slika 2: Kvantna pika lahko deluje kot posrednik prepletenosti med dvema kvazidelcema. Prepletenost med dvema koncema takšne verige je uporabna za realizacije kvantnih simulatorjev. Povzeto po [3].

- [1] L. Pavešić in Rok Žitko, *Physical Review B* **104**, L241409, (2021)
- [2] J. C. Estrada Saldaña et al., *Nature Communications* **13**, 2243 (2022)
- [3] J. C. Estrada Saldaña et al., arXiv:2203.00104 (2022)

Magnetno-resonančno slikanje in empirično modeliranje rasti dendritov v litijevih baterijah.

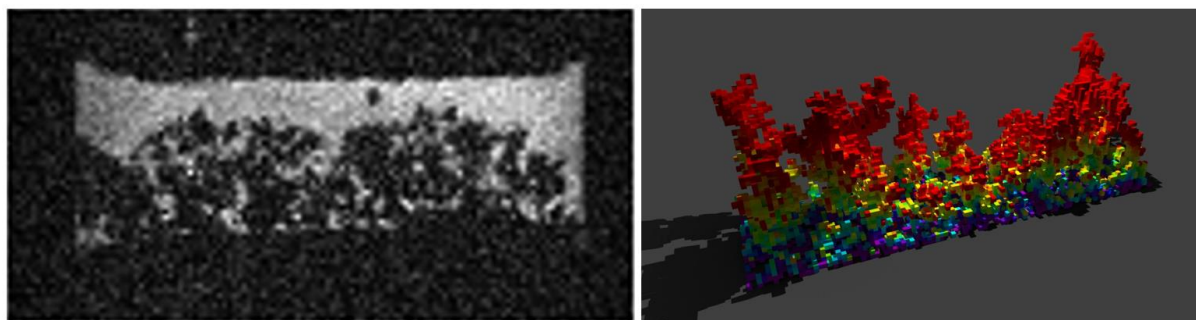
Rok Peklar^{1,2}, Urška Mikac¹ in Igor Serša^{1,2}

1. Odsek za fiziko trdne snovi, IJS, Ljubljana

2. Mednarodna podiplomska šola Jožefa Štefana, Ljubljana

Sodobne litij-ionske baterije so polnilne, lahke, razmeroma poceni ter se ponašajo z visoko energijsko gostoto. Predhodnice le-teh so litij-kovinske baterije, ki se ponašajo z nekajkrat višjo energijsko gostoto, vendar jim primanjkuje zmožnost polnjenja. Razvoj tovrstnih polnilnih baterij je upočasnen zaradi slabo razumljenega problema rasti dendritov [1]. Med fazo polnjenja se na anodi formirajo igličaste mikrostrukture, ki s časom nižajo kapaciteto baterije. V skrajnem primeru lahko dendriti povzročijo notranji kratek stik, kar predstavlja visoko varnostno tveganje [2,3]. Podrobno razumevanje tega pojava je ključen za nadaljnji razvoj polnilnih litijevih baterij.

Naš cilj je s pomočjo magnetno-resonančnega slikanja rasti dendritov (slika 1 levo) v modelu litijeve baterije razviti empirični model, ki bi za določene obratovalne pogoje podal oceno hitrosti rasti in tudi strukturne lastnosti dendritov (stopnja razvejanosti, višinska porazdelitev). Ogradje modela je algoritem difuzijsko omejene agregacije [4]. Difuzija ni glavni transportni mehanizem sistema, zato je algoritem nadgrajen z namenom opisa elektro-migracije. Cilj tega prispevka je prikaz povezave med jakostjo električnega toka ter hitrostjo rasti dendritov, predvsem pa njihovimi strukturnimi lastnostmi. Ta model bi lahko imel visok doprinos k razvoju komercialnih polnilnih litijevih baterij.



Slika 1: Prerez MRI slike modela baterije z dendriti (levo) ter pripadajoči rezultat simulacije rasti dendritov (desno).

- [1] B. Scrosati, *J Solid State Electrochem* **15**, 1623 (2011).
- [2] C. P. Grey, O. Pecher, J. Carretero-González in K. J. Griffith, *Chem. Mater.* **29**, 1 (2016).
- [3] J. B. Goodenough in Y. Kim, *Chem. Mater* **22**, 3, (2009).
- [4] T. A. Witten in L. M. Sander, *Phys. Rev. B* **27**, 5686 (1983).

Kvantni spomin s hladnimi atomi cezija v prisotnosti magnetnega polja

Vesna Pirc Jevšenak^{1,2}, Tadej Mežnaršič^{1,2}, Katja Gosar^{1,2}, Simon Mattiazzi^{1,2}, Samo Beguš³, Erik Zupanič¹ in Peter Jeglič¹

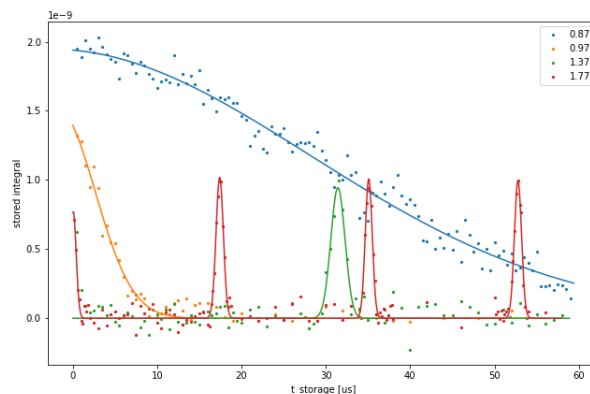
¹Odsek za fiziko trdne snovi, IJS, Ljubljana

²Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

³Fakulteta za elektrotehniko, UL, Ljubljana

Eden izmed danes bolj perspektivnih načinov za izvedbo kvantnega spomina (shranjevanja svetlobe) je uporaba elektromagnetno inducirane transparentnosti (EIT) na vročih in hladnih atomih. Do tega pojava pride, če na atome hkrati posvetimo z dvema različno močnima žarkoma, katerih frekvenci ustrezata prehodom elektronov iz različnih osnovnih energijskih stanj na skupno vzbujeno stanje. V tem režimu se znatno upočasnijo hitrost svetlobe šibkejšega žarka v atomih, z izklopom močnejšega žarka ob pravem trenutku pa se jo lahko celo ustavi [1]. Takrat se informacija svetlobe zapiše na atome v obliki spinskega vala. Shranjeno svetlobo lahko kasneje prikličemo tako, da spet prižgemo močnejši žarek. Pri tem je zaželen čim večji kvantni izkoristek in karseda dolg čas shranjevanja fotonov. Na slednjega pa ima velik vpliv homogeno magnetno polje.

Ker v prisotnosti magnetnega polja B_0 , ki ga je zelo težko popolnoma izničiti, osnovna stanja m_F niso več degenerirana, pri shranjevanju svetlobe pravzaprav vzbudimo več različnih spinskih valov. Ti med seboj v času interferirajo, saj so faze sorazmerne z $m_F B_0$ – to povzroči nihanje izkoristka shrambe. Prisotnost tudi zelo majhnega homogenega magnetnega polja (z modro na sliki 1) tako kmalu povzroči kolaps spinskega vala in s tem efektivno zmanjša življenjski čas shrambe. Z večanjem magnetnega polja pa se poveča frekvenca nihanja izkoristka shrambe (oranžna, zelena in rdeča na sliki 1). Na ta način lahko v prisotnosti dovolj velikega magnetnega polja podaljšamo čas shranjevanja v primerjavi s karseda dobro izničnim magnetnim poljem (rdeča in modra na sliki 1).



[1] L. Ma, O. Slattery in X. Tang, *Journal of Optics* **19**, 043001 (2017).

Izdelava polarimetra z vrtečo se $\lambda/4$ ploščo na osnovi FPGA programirljivih logičnih vezij

Jure Pirman^{1,2}, Tadej Mežnaršič¹, Samo Beguš³, Peter Jeglič¹ in Erik Zupanič¹

¹Odsek za fiziko trdne snovi, IJS, Ljubljana

²Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

³Fakulteta za elektrotehniko, UL, Ljubljana

Natančna meritev polarizacije svetlobe nemalokrat predstavlja ključno orodje pri postavitvi, kot tudi izvedbi različnih optičnih eksperimentov. Izdelali smo polarimeter, ki z uporabo vrteče $\lambda/4$ plošče in polarizatorja modulira intenziteto merjene svetlobe, ki je zaznana preko fotodiode, kot kaže slika 1(a) in kasneje digitalizirana z uporabo hitrega analogno-digitalnega pretvornika (ADC). Z uporabo frekvenčne analize časovno odvisne intenzitete lahko izračunamo vse štiri elemente Stokesovega vektorja, ki opisuje polarizacijsko stanje merjene svetlobe.

Digitaliziran signal je sprotno analiziran znotraj polja programirljivih logičnih vezij (FPGA), ki pošilja podatke na osebni računalnik v obliki Stokesovih parametrov. Obenem FPGA vezje omogoča rabo hitrih ADC, zaradi česar je hitrost sensorja pogojena predvsem s hitrostjo vrtenja $\lambda/4$ ploščice. Intenziteta svetlobe je izmerjena pri 2048 različnih kotih $\lambda/4$ ploščice, zaradi česar imajo rezultati visoka razmerja med signalom in šumom.

Naprava je izdelana na osnovi splošno dobavljivih komponent in 3D tiskanega ohišja, kar omogoča preprosto in cenovno ugodno izdelavo. Predstavljen polarimeter sestoji iz senzorske glave, ki je povezana na preostanek elektronike. Posledično je lahko velikost senzorske glave majhna, kot je vidno na sliki 1 (b), kar uporabniku omogoča lažjo uporabo znotraj obstoječih eksperimentov oz. postavitvev.

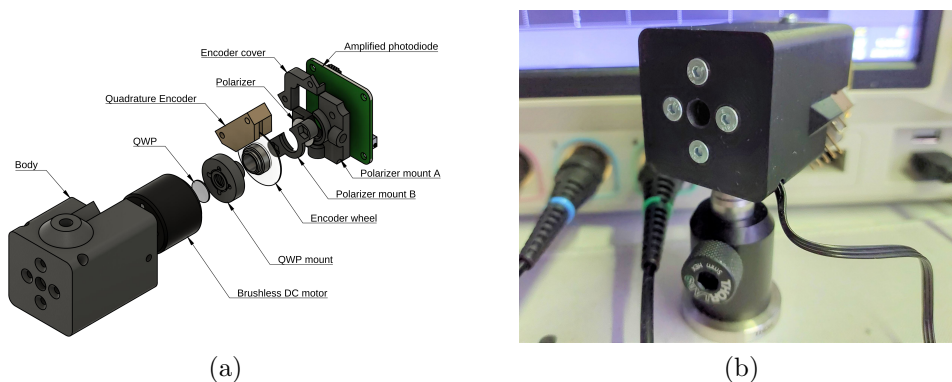


Figure 1: Senzorska glava polarimetra. (a) Svetloba sveti skozi vrtečo se $\lambda/4$ ploščico, kateri sledi polarizator. Izhodna moč svetlobe je merjena na fotodiodi. Kot $\lambda/4$ ploščice je določen z uporabo kvadraturenega enkoderja. (b) Sestavljena senzorska glava polarimetra. Velikost glave je 42x42x62mm.

Uporaba in karakterizacija linearnega aktuatorja za slikanje hladnih atomov

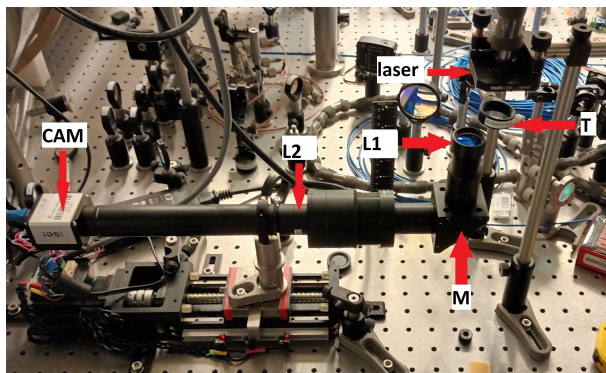
Lev Podbregar^{1,2}, Črtomir Perharič Bailey^{1,2}, Tadej Mežnaršič¹, Katja Gosar^{1,2}, Jure Pirman^{1,2}, Erik Zupanič¹ in Peter Jeglič¹

¹Odsek za fiziko trdne snovi, IJS, Ljubljana

²Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

Ločljivost pri absorpcijskem slikanju oblaka hladnih atomov izboljšamo tako, da prvo lečo optičnega sistema čim bolj približamo oblaku. Takrat namreč optični sistem doseže največjo numerično aperaturo. Protokol hlajenja in lovljenja cezijevih atomov, ki ga uporabljamo v Laboratoriju za hladne atome na IJS [1], nam preprečuje, da bi to lečo dovolj približali atomom že v magneto-optični pasti. Šele ko atome prenesemo v dipolno plast, imamo na voljo nekaj sekund za postavitev leče ali celotnega optičnega sistema za slikanje atomov. V ta namen lahko uporabimo linearni aktuator – rotacijski elektromotor, ki vrtenje pretvori v linearni premik.

Uporabili smo linearni aktuator s kotno ločljivostjo 0.036° . Proizvajalec zanj navaja ponovljivost $\pm 3 \mu\text{m}$ in teoretično ločljivost $1 \mu\text{m}$. Ponovljivost in druge lastnosti njegovega gibanja smo preverili. Najprej smo preučili natančnost linearnega aktuatorja v smeri prečno na premik. Na mizico na njem smo pritrdili kamero in dve akromatski leči. Pred prvo lečo (objektiv) smo postavili USAF 1951 tarčo, na katero je svetil kolimiran žarek. Najboljša ločljivost tarče, ki smo jo uspeli doseči je bila $(3.5 \pm 0.5) \mu\text{m}$. Nato smo optični sistem s pomočjo linearnega aktuatorja premaknili ven iz lege, kjer je bila slika ostra in nazaj. To smo ponavljali za različno velike premike. Ugotovili smo, da je bila porazdelitev razlike lege pred in po premiku približno normalna s povprečjem $0 \mu\text{m}$ ter razpršenostjo $1\text{--}3 \mu\text{m}$. Preverili smo še natančnost premika v vzdolžni smeri s pomočjo zrcala, nagnjenega pod kotom 45° (slika 1). Izmerjena razpršenost razlik v legah je bila $2.5 \mu\text{m}$ pri hitrosti $\approx 3.3 \text{ cm/s}$. S takšno hitrostjo lahko aktuator prepotuje celoten razpon v $\sim 1.3 \text{ s}$. Skupaj s časom potrebnim za posnetek ene slike, celoten proces traja $\approx 1.6 \text{ s}$.



Slika 1: Fotografija postavitve eksperimenta. Z L1 je označena leča z goriščno razdaljo 30 mm, z L2 leča z goriščno razdaljo 200 mm, z M ogledalo in s T tarča. Levo spodaj je viden linearni aktuator, na sredini levo kamera (CAM), desno zgoraj pa kolimator iz katerega izhaja laserski žarek.

[1] T. Mežnaršič, T. Arh, J. Brence, J. Pišljari, K. Gosar, Ž. Gosar, R. Žitko, E. Zupanič, and P. Jeglič, *Phys. Rev. A* **99**, 033625 (2019).

Trk vodne kapljice s tekočerkristalno površino

Rok Štanc¹, Xiaoguang Wang² in Uroš Tkalec^{1,3,4}

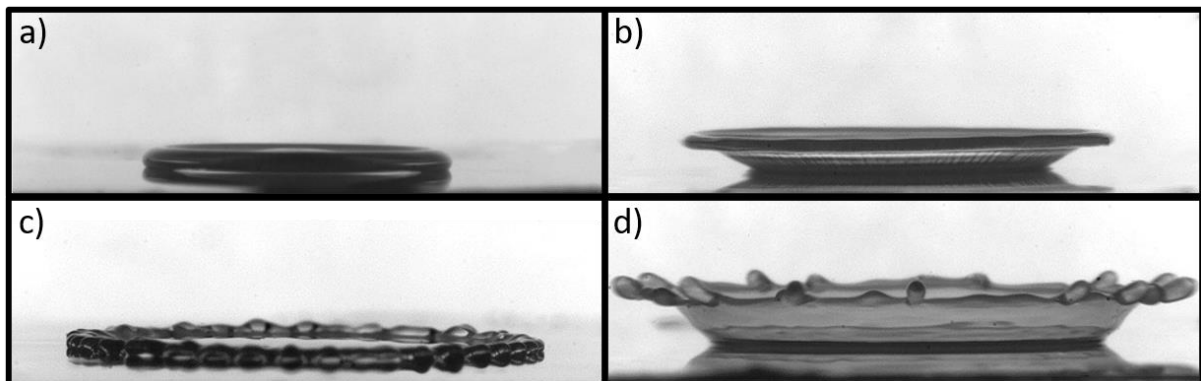
1. Inštitut za biofiziko, Medicinska fakulteta, UL, Ljubljana

2. Ohio State University, Columbus, ZDA

3. Fakulteta za naravoslovje in matematiko, UM, Maribor

4. Inštitut Jožef Stefan, Ljubljana

Dinamična interakcija vodnih kapljic ob stiku s spolzko površino, ki jo spremlja zanimiva mehanika tekočin, je ključna pri aplikacijah na področjih, kot so bio-tiskanje, samo-čiščenje, vodoodpornost in pametni biomateriali [1]. V raziskavi opazujemo in proučujemo pojave ob stiku vodne kapljice s porozno površino, napojeno s tekočim kristalom (TK) [2]. Pri različnih mezofazah spremljamo širjenje, krčenje, močenje in odboj vodne kapljice od površine. Z uporabo posnetkov hitre kamere proučujemo vpliv površinske napetosti, dinamične viskoznosti, elastičnosti in molekularnega reda v smektični, nematski ter izotropni TK mezofazi na pojav odboja vodne kapljice. Pojave okarakteriziramo glede na Webrovo število, hitrost krčenja, morfološke spremembe in histerezo kontaktnega kota. Najbolj se osredotočamo na režim depozicije, kjer površinska kemija, hrapavost in močenje TK predstavljajo pomembno vlogo v zgodnji fazi dinamike po trku. Poudarek je na manjših ($\sim 5 \mu\text{l}$) vodnih kapljicah, primerjalno pa pogledamo tudi dinamiko večjih ($\sim 15 \mu\text{l}$) vodnih kapljic. Obravnavamo še vodne kapljice z enkapsuliranimi TK mikrokapljicami, pri katerih predvidevamo, da ob trku s TK površino pride do prenosa mikrokapljic iz vodne kapljice v sloj TK na površini in obratno, zato je eden od ciljev opisati zakaj in pri katerih pogojih se tak pojav zgodi.



Slika 1 - Različni pojavi trka vodne kapljice s TK površino. a) Depozicija, b) Depozicija s krono, c) depozicija z nagubanim robom in d) razpad kapljice s krono.

[1] Y. Liu, X. Yan, Z. Wang, *Biosurface and Biotribology* **5**, 35 (2019).

[2] Y. Xu, A. M. Rather, Y. Yao, J.-C. Fang *et al.*, *Science Advances* **7**, eabi7607 (2021).

Molekularna poravnava na površini grafena določa transportne lastnosti grafenskih/organskih polprevodniških tranzistorjev

Vadym Tkachuk¹, Egon Pavlica¹ in Gvido Bratina¹

1. Laboratorij za fiziko organske snovi, UNG, Nova Gorica

Grafenske tranzistorje na poljski pojav smo uporabili za študij vpliva adsorbiranih organskih molekul na transport naboja v obravnavanih Van der Waalsovih heterostrukturah. Heterostrukture so bile sestavljene iz enoatomne plasti grafena in različno debelega sloja organskega n-tipa polprevodnika molekul N,N'-bis(n-oktil)-(1,7&1,6)-dicianoperilen-3,4:9,10-bisdikarboksimida (PDI8-CN2) [1].

Naši podatki mikroskopije z atomsko silo kažejo, da PDI8-CN2 pod izbranimi pogoji naprevanja raste plast za plastjo do druge molekulske plasti. Prva plast obsega ravno ležeče molekule, medtem ko so molekule v drugi plasti usmerjene pokončno. Meritve prevodnosti kažejo, da ravno ležeče molekule malo vplivajo na položaj Fermijeve energije v grafenu.

Namesto tega imajo pokončno usmerjene molekule v drugi plasti močan učinek na nevtralizacijo naravnega dopiranja grafena, ki je p-tipa, in povzročijo premik točke nevtralnosti naboja proti Diracovi točki. Takšno obnašanje interpretiramo v smislu različne orientacije površinskega dipola na plasteh, ki je povezan z različnimi orientacijami molekul. Vpliv molekule se kaže tudi na povečani gibljivosti nosilcev naboja saj gibljivost doseže vrednosti, ki presegajo $3000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$.

[1] V. Tkachuk, E. Pavlica in G. Bratina, *Org. Electron.* **87**, 105933 (2020) 133602 (2014)

Kapljice vode na tekočerkristalnih podlagah

Uroš Tkalec^{1,2,3} in Xiaoguang Wang⁴

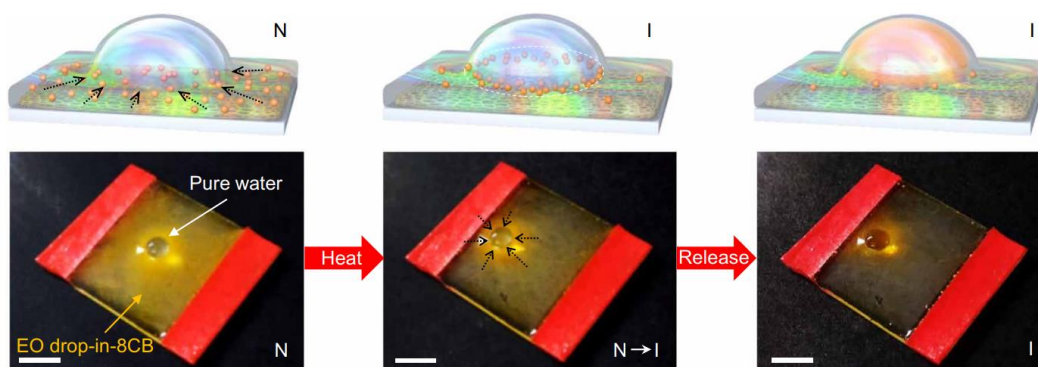
¹ Inštitut za biofiziko, Medicinska fakulteta, UL, Ljubljana

² Fakulteta za naravoslovje in matematiko, UM, Maribor

³ Odsek za fiziko trdne snovi, IJS, Ljubljana

⁴ Ohio State University, Columbus

Predstavljam bom rezultate nedavnih raziskav o mobilnosti in kemijski aktivnosti mikrolitrskih kapljic vode na odprtih spolzkih podlagah, ki temeljijo na anizotropnih lastnostih tekočih kristalov. Spolzke, s tekočinami impregnirane porozne površine [1, 2], ki odbijajo tako vodo kot olje, so zadnje desetletje v ospredju interdisciplinarnih raziskav. Zaradi izjemnih lastnosti, kot so odpornost na zmrzal, optična prosojnost in funkcionalnost pri visokih tlakih, takšne površine obetajo mnogotere možnosti uporabe, med drugim v medicini, pri dezinfekciji in čiščenju embalaž, pri prevlekah površin in pri zaznavanju kemikalij. Lani so bili objavljeni prvi primeri takih površin na osnovi tekočih kristalov [3], ki omogočajo selektivno kontrolo premikanja in spreminjanja kemijske sestave kapljic vode glede na temperaturno nastavljivo mezofazo. Izkaže se, da na drsenje kapljic prvenstveno vpliva pozicijski red tekočerkristalnih molekul ob stični plasti, medtem ko je prenos kemikalij med nemešljivima tekočinama odvisen od orientacijske urejenosti mezofaze. Polzeče kapljice na teh površinah izjemno učinkovito odstranijo ione težkih kovin in se odzivajo na magnetno polje [4], kar nakazuje možnosti uporabe pri varovanju okolja in v biomedicinski diagnostiki.



Slika 1: Prenos barvila iz tekočerkristalne podlage v kapljico vode po faznem prehodu iz nematske (N) v izotropno (I) fazo.

[1] T.-S. Wong, S. H. Kang, S. K. Y. Tang, E. J. Smythe, B. D. Hatton, A. Grinthal, J. Aizenberg, Bioinspired self-repairing slippery surfaces with pressure-stable omniphobicity. *Nature* **477**, 443 (2011).

[2] J. D. Smith, R. Dhiman, S. Anand, E. Reza-Garduno, R. E. Cohen, G. H. McKinley, K. K. Varanasi, Droplet mobility on lubricant-impregnated surfaces. *Soft Matter* **9**, 1772 (2013).

[3] Y. Xu, A. M. Rather, Y. Yao, J.-C. Fang, R. S. Mamtani, R. K. Bennett, R. G. Atta, S. Adera, U. Tkalec, X. Wang, Liquid crystal based open surface microfluidics manipulate liquid mobility and chemical composition on demand. *Science Advances* **7**, eabi7607 (2021).

[4] Y. Xu, Y. Yao, W. Deng, J.-C. Fang, R. L. Dupont, M. Zhang, S. Čopar, U. Tkalec, X. Wang, Magnetocontrollable droplet mobility on liquid crystal-infused porous surfaces, *v recenziji*.

Meritev tlačnega profila helija v mikrofluidični plinski celici s sinhrotronsko svetlobo

Janez Turnšek¹, Klemen Bučar², Marcello Coreno³ in Matjaž Žitnik^{1,2}

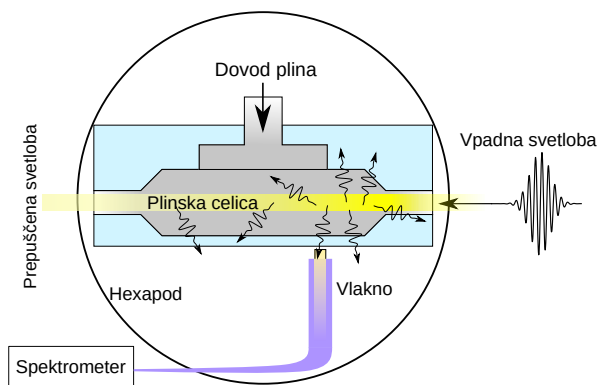
¹Odsek za fiziko nizkih in srednjih energij, IJS, Ljubljana

²Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

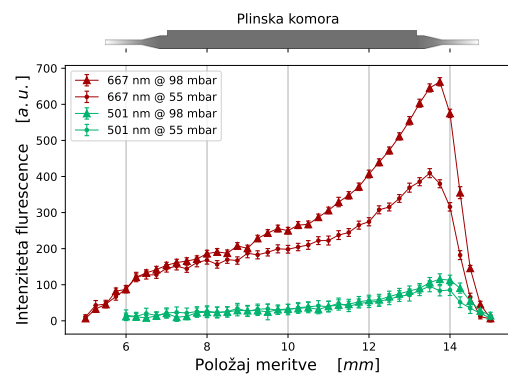
³Institute of Structure of Matter, CNR, Rim, Italija

Na žarkovni liniji GasPhase na sinhrotronu Elettra smo določili tlačni profil plina v mikrofluidični plinski celici s pozicijsko občutljivo meritvijo fluorescenčnega pridelka izsevane vidne svetlobe. Plinska celica iz kvarčnega stekla je bila na koncih odprta, kar je omogočalo prehod sinhrotronske svetlobe XUV skozi celico. 100 μm široki zožitvi na obeh koncih sta omejili hitrost uhajanja plina, tako da je tlak v celici lahko narastel do 100 mbar, pri čemer je tlak zunaj celice v eksperimentalni komori ostajal manjši kot 10^{-3} mbar. Helij smo s fotoni energije 23.742 eV resonančno vzbujali v stanje 1s4p. Primarno smo opazovali fluorescenčni signal pri 667.82 nm, kar ustreza prehodu 1s3d \rightarrow 1s2p, ki je del verige 1s4p \rightarrow 1s3d \rightarrow 1s2p \rightarrow 1s². Opazovali smo tudi spekter v okolici 500 nm, s čimer smo zajeli možne prehode pri 505 nm, 492 nm in 501 nm. Signal slednjega, ki pripada prehodu 1s3p \rightarrow 1s2s, smo opazili, iz obeh prehodov pa lahko sklepamo o efektu atomskih trkov.

Za meritve smo uporabljali optični spektrometer na mrežico (1200 zarez/mm), do katerega je svetloba prihajala po optičnem vlaknu (debelina sredice 0.6 mm). Celico smo premikali s hexapodom vzdolžno glede na optično vlakno in tako spreminjali položaj vira svetlobe. Pri izbrani postavitvi smo posneli energijski spekter na območju opazovanih prehodov, ter iz spektra ocenili fluorescenčni pridelok. Meritev le tega v odvisnosti od položaja smo uporabili za izračun tlačnega profila vzdolž notranjosti plinske celice. Izmerili smo tudi odvisnost fluorescenčnega pridelka obeh prehodov v odvisnosti od tlaka, ter pokazali da je fluorescenčni pridelok pri 667.82 nm linearno odvisen od tlaka.



(a) Postavitev eksperimenta.



(b) Fluorescenčni pridelok v odvisnosti od položaja vlakna.

Transport toplote v slabi kovini

Martin Ulaga¹, Jernej Mravlje¹, Peter Prelovšek¹ in Jure Kokalj^{1,2}

¹*Inštitut "Jožef Stefan"*

¹*Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, UL*

V dvosimenzionalnem Hubbardovem modelu na kvadratni mreži izračunamo termično prevodnost κ_{el} in termično difuzijsko konstanto $D_{\text{Q,el}}$ z uporabo Lanczosove metode za končne temperature. Močno nemonotone rezultate interpretiramo z uporabo Nernst-Einsteinovih zvez med prevodnostjo, difuzijo in specifično toploto c_{el} . Primerjamo jih z rezultati iz Heisenbergovega modela na kvadratni mreži in različnih lestvah ter dinamično teorijo povprečnega polja, v kontekstu katere diskutiramo vpliv enodelčne renormalizacije na difuzijske konstante. κ_{el} v vseh režimih krši limito Mott-Ioffe-Regel, čeprav je povprečna prosta pot večja od mrežne konstante. Prav tako Lorenzovo število odstopa od Sommerfeldove vrednosti in ima močno temperaturno odvisnost.

[1] M. Ulaga, J. Mravlje, P. Prelovšek in J. Kokalj, arXiv:2208.08816

Vertikalna veriga vrednosti: od osnovnih raziskav do tržno zanimivih novih tehnologij

Iztok Urbančič¹, Janez Štrancar^{1,2}

1. Laboratorij za biofiziko, Institut Jožef Stefan, Ljubljana

2. Infinite d.o.o., Maribor

Znano je, da je izpostavljenost onesnaženemu zraku močno povezana z mnogimi pogostimi obolenji, kot so rak, srčno-žilna obolenja, nevrodegeneracija ipd. Ker ne poznamo podrobnih mehanizmov, kako se te bolezni razvijajo, lahko varnost proizvedenih snovi zaenkrat ocenjujejo zgolj po opazovanju njihovih učinkov na testne živali, kar je drago, počasi in nezanesljivo. Posledično industrija masovno proizvaja – in regulatorji na trgu dopuščajo – snovi, za katere ne poznamo zdravstvenih učinkov, čeprav smo jim vsakodnevno izpostavljeni.

Da bi bolje razumeli vpliv onesnaženja na naše zdravje, v Laboratoriju za biofiziko (LBF) raziskujemo molekularne mehanizme in biofizikalne interakcije, ki vodijo od prvih stikov našega telesa s tujki, npr. vdihanimi nanodelci, do razvoja bolezni. Žive celice spremljamo z naprednimi metodami optične mikroskopije (superločljiva mikroskopija STED ipd.), slike analiziramo z zmogljivimi algoritmi (tudi s strojnim učenjem) in modeliramo opazovane procese, s čimer odkrivamo nove zgodnje celične dogodke za napovedovanje neželenih učinkov. Pred kratkim smo pokazali, da lahko na podlagi strukturnih sprememb v celicah razložimo, kako nekateri materiali že po enkratni izpostavitvi v pljučih sprožijo dolgotrajno (tj. kronično) vnetje. Iz izmerjene dinamike zgodnjih dogodkov lahko s pomočjo numeričnega modela pojav vnetja napovemo, še preden se razvije [1]. Ker je vnetje osnova mnogih kroničnih bolezni, zdaj raziskujemo podobne dogodke na napoved srčno-žilnih in nevrodegenerativnih obolenj ter imunskega odziva na medicinske vsadke.

Da novo znanje čim hitreje prenesemo v prakso, smo ustanovili odcepljeno podjetje (spin-out) Infinite d.o.o., namen katerega je razvoj tehnologij alternativnega testiranja varnosti materialov, kemikalij, cepiv in zdravil na osnovi celičnih procesorjev – torej brez dragih, počasnih in nezanesljivih poskusov na živalih. S tehnologijami tkivnih čipov in mikroskopa na čipu nameravamo ponuditi učinkovito preverjanje varnosti proizvajalcem in regulatorjem, kar bo omogočilo hitrejši razvoj varnih tehnologij. Dolgoročno partnerstvo LBF in Infinite tako tvori vertikalno verigo vrednosti, ki spoznanja iz osnovnih raziskav sprti pretvarja v uporabne in tržno zanimive rešitve.

[1] H. Kokot, B. Kokot, A. Sebastijanović idr., *Advanced Materials* **32(47)**, 2003913 (2020)

Analiza razvejenosti genomov RNA-virusov

Domen Vaupotič¹, Luca Tubiana², Angelo Rosa³ in Anže Rapoš Božič¹

¹*Odsek za teoretično fiziko, Institut Jožef Stefan, Ljubljana*

²*Univerza v Trentu, Trento, Italija*

³*SISSA, Trst, Italija*

Prostorska struktura RNA bistveno vpliva na njeno funkcijo, vendar strukture dolgih molekul RNA še zmeraj ni mogoče enostavno eksperimentalno določiti. Večina eksperimentalnih metod se zato osredotoča na določanje motivov v sekundarni strukturi RNA, te pa lahko napovemo tudi računsko z energijskimi modeli, ki vsebujejo eksperimentalno izmerjene biofizikalne parametre. Topološke značilnosti sekundarne strukture lahko nadalje predstavimo z grobim modelom razvejenega polimera, za katerega lahko uporabimo teoretične in simulirane rezultate iz teorije polimerov. Sekundarna struktura dobro opiše tudi prostorsko kompaktnost RNA, ki je pomemben dejavnik pri učinkovitosti samosestavljanja RNA-virusov. Primerjava genomskih virusnih RNA z naključnimi zaporedji iste dolžine pokaže, da je struktura genomov ikozaedričnih RNA-virusov znatno kompaktnjša v primerjavi z naključnimi zaporedji. Še zmeraj ostaja nepojasnjeno, kako evolucijski pritisk odbira mutacije na virusnih genomih, da ohranja in zagotavlja njihovo kompaktnost. Odprto ostaja tudi vprašanje, katere topološke lastnosti sekundarne strukture najbolje opišejo to prostorsko kompaktnost. V ta namen smo analizirali 1700 referenčnih genomov iz 45 družin virusov ssRNA(+) ter jih primerjali z naključnimi zaporedji RNA različnih dolžin in z različno pojavnostjo nukleotidov. Za vsak genom smo s programsko opremo ViennaRNA napovedali termični ansambel sekundarnih struktur in jih pretvorili v matematična drevesa. Za posamezno drevo smo izračunali najpomembnejše lastnosti iz teorije grafov, kot sta porazdelitev stopnje vozlišč in dolžine povezav, ter količine, s katerimi ovrednotimo kompaktnost strukture, kot so porazdelitev poti med vozlišči in velikosti vej, Laplaceov spekter in indeksa Zagreb. Termično povprečene lastnosti smo primerjali med virusnimi in naključnimi RNA. Čeprav so krajši virusni genomi kompaktnjši od naključnih, smo ugotovili, da je pri daljših genomih ta razlika manjša. Podrobneje smo ovrednotili, kolikšen delež h kompaktnosti strukture prispeva neenakomerna pojavnost nukleotidov. Na nivoju virusnih družin smo določili tudi skalirne eksponente. Naša analiza omogoča karakterizacijo globalnih strukturnih lastnosti raznolikih RNA-molekul na nivoju njihove sekundarne strukture ter primerjavo z drugimi že znanimi razvejenimi polimeri.

- [1] A. M. Yoffe et al., *PNAS*, **105**, 42 (2008)
- [2] S. W. Singaram et al., *The Journal of Physical Chemistry B*, **119**, 44 (2015)
- [3] A. Borodavka et al., *Biophysical Journal*, **111**, 10 (2016)
- [4] A. Rosa, R. Everaers, *Physical Review E*, **95**, 1 (2017)
- [5] A. L. Božič et al., *Journal of Physics: Condensed Matter*, **30**, 8 (2018)

Preklop med stanji z valom gostote naboja v 1T-TaS₂ s pikosekundnim električnim sunkom

Rok Venturini^{1,2}, Anže Mraz^{1,3}, Igor Vaskivskiy¹, Yevhenii Vaskivskiy^{1,2}, Damjan Svetin^{1,4}, Tomaž Mertelj¹, Leon Pavlovič⁵, Jing Cheng⁶, Genyu Chen⁶, Priyanthi Amarasinghe⁷, Syed B. Qadri⁸, Sudhir B. Trivedi⁷, Roman Sobolewski^{6,9} in Dragan Mihailović^{1,4}

1. Jožef Stefan Institute, Jamova 39, Ljubljana, Slovenia,

2. Faculty of Mathematics and Physics, University of Ljubljana, Jadranska 19, Ljubljana, Slovenia

3. Faculty for Electrical Engineering, University of Ljubljana, Tržaška 25, Ljubljana, Slovenia

4. CENN Nanocenter, Jamova 39, Ljubljana, Slovenia

5. ELEP Electronics, Ljubljana, Slovenia

6. Materials Science Program and Laboratory for Laser Energetics, University of Rochester, New York, USA

7. Brimrose Technology Corporation, Sparks, MD, USA

8. U.S. Naval Research Laboratory, Washington D.C., USA

9. Department of Electrical and Computer Engineering and Department of Physics and Astronomy, University of Rochester, New York, USA

Preklop med vrednostmi upora različnih faz materiala 1T-TaS₂ kaže potencial za razvoj hitrega in energijsko zelo učinkovitega spominskega elementa [1,2]. Kljub temu, da je bil ultra hiter prehod med stanji že demonstriran z optičnimi sunki [3], je aplikativno bolj zanimivo preklapljanje z ultra kratkimi električnimi sunki še neznanka.

Izdelali smo optoelektrično vezje, ki omogoča ultra hitro vzbujanje in meritve električnega sunka s časovno ločljivostjo 100 fs. Fotoprevodno lastnost substrata uporabimo za proženje kratkih električnih sunkov s pomočjo laserskih pulzov, medtem ko za učinkovito propagacijo električnih sunkov uporabimo prenosno linijo na substratu. Električni sunke zaznamo s pomočjo dodatnega laserskega snopa, ki se mu zaradi elektro-optičnega pojava v prenosni liniji spremeni polarizacija.

Z eksperimentom smo uspeli izvesti preklop upora z električnim sunkom dolgim le 1.9 ps. S simulacijo smo ocenili energijo električnega sunka na vsega 68 fJ [4]. To pomeni, da je potencialni spominski element, ki deluje na osnovi preklopa upora med stanji v 1T-TaS₂ lahko izjemno hiter in energijsko učinkovit.

[1] I. Vaskivskiy et al., *Nature Communications* **7**, 11442 (2016).

[2] A. Mraz et. al., *Nano Letters* **22**, 4814 (2022).

[3] J. Ravnik et. al., *Physical Review B* **97**, 75340 (2018).

[4] R. Venturini et. al., *Applied Physics Letters* **120**, 253510 (2022).

Magnetni tekočerkristalni elastomeri

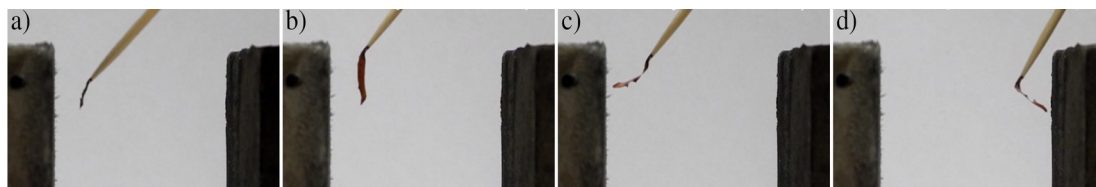
Mojca Vilfan^{1,2}, Luka Cmok¹, Sašo Gyergyek¹ in Martin Čopič^{1,2}

¹ Odsek za kompleksne snovi, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana

² Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani

Tekočerkristalni elastomeri so posebna vrsta elastičnih polimerov, v katerih del molekul izkazuje tekočerkristalno orientacijsko ureditev. Za njih je značilno, da se jim ob spremembi temperature čez fazni prehod močno spremeni oblika, tipično se trakovi elastomera ob segrevanju v izotropno fazo močno skrajšajo in ob ohlajanju ponovno podaljšajo. Podobno kot ostale navadne organske snovi tudi tekočerkristalni elastomeri niso odzivni na zunanje magnetno polje.

Če želimo elastomer krmiliti z zunanjim magnetnim poljem, moramo vanj vključiti magnetne nanodelce. Navadno se delce zameša v polimerno matriko, mi pa smo ubrali drugačen pristop in ploščate magnetne nanodelce kemijsko vezali na elastomerne verige, s čimer smo dosegli večjo sklopitev med polimerno matriko in magnetnim poljem [1,2]. V vzorcih se zato pod vplivom zunanjega polja pojavijo mehanske deformacije – hkrati pa mehanski raztega povzroči pojav magnetizacije v snovi. Izmerili smo magnetni odziv magnetnih tekočerkristalnih elastomerov v obliki feromagnetne histereze in ga pojasnili z dvema pojavoma: delno reorientacijo nanodelcev in pri večjih magnetnih poljih obratu magnetnega momenta znotraj nanodelca. Opazovali smo deformacijo elastomera v bližini magneta in pokazali, da se neraztegnjen vzorec ne odziva, raztegnjen, v katerem smo mehansko inducirali magnetizacijo, pa se v zunanjem polju upogiba.



Magnetni tekočerkristalni elastomer: neraztegnjen se na magnetno polje ne odziva (a), v raztegnjenem pa se pojavi magnetizacija, zaradi katere se v magnetnem polju vzorec upogne (b-d).

Raziskovalna programa št. P1-0192 in P2-0089 ter projekt J7-8267 je sofinancirala Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije iz državnega proračuna.

[1] L. Cmok, M. Vilfan, S. Gyergyek, M. Čopič, *Liquid Crystals* **48**, 1815-1826 (2021).

[2] D. Lisjak, M. Drofenik, *Cryst. Growth. Des.* **12**, 5174 (2012).

Kvantno taljenje domen v kvantnem žarilniku

Jaka Vodeb^{1,2}, Michele Diego¹, Yevhenii Vaskivskiy¹, Leonard Logaric¹, Yaroslav Gerasimenko¹, Viktor Kabanov¹, Benjamin Lipovsek³, Marko Topic³ in Dragan Mihailovic^{1,2,4}

1. Odsek za kompleksno snov, IJS, Ljubljana

2. Odsek za fiziko, Fakulteta za matematiko in fiziko, UL, Ljubljana

3. Fakulteta za elektrotehniko, UL, Ljubljana

4. CENN Nanocenter, Ljubljana

Urejanje sistemov, ki nastanejo s prehodi, pri katerih pride do porušitve simetrije, običajno spremlja oblikovanje domen, ki močno spremenijo lastnosti osnovnih materialov. Osnovna mikroskopska fizika, ki določa energijsko pokrajino sistema za tuneliranje med konfiguracijami domen, je zanimiva na številnih različnih področjih [1-8]. Domene se lahko rekonfigurirajo s toplotno pogojenimi mikroskopskimi procesi [9, 10] ali - v kvantnih sistemih - z makroskopskim kvantnim tuneliranjem (MQT). Tukaj poročamo o kvantnem taljenju domen v dveh izvedbah: elektronskem kristalu 1T-TaS₂ in njegovi ujemajoči simulaciji na kvantnem računalniku. Z vrstično tunelsko mikroskopijo merimo časovni razvoj dinamike rekonfiguracije elektronskih domen in ga primerjamo s časovnim razvojem domen v ansamblu prepletenih koreliranih elektronov pri simuliranem taljenju kvantnih domen. Ugotovljeno je, da rekonfiguracija domen poteka s tuneliranjem v nastajajoči, samokonfigurirajoči se energijski pokrajini, pri čemer se model kvantno nabitega rešetkastega plina izredno ujema z eksperimentom, ki kaže značilen raztrgan časovni razvoj in odvisnost od temperature, opaženo makroskopsko. Razumevanje kvantnih procesov, vključenih v elektronsko taljenje domen, odpira pot k eksperimentalnemu opazovanju in modeliranju mezoskopskega nastajajočega vedenja v neravnovesnih medsebojno delujočih kvantnih sistemih z mnogimi telesi na mikroskopski ravni.

[1] M. Turner, F. Wilczek, *Nature* 298 (1982) 633–634.

[2] B. M. Roberts, G. Blewitt, C. Dailey, M. Murphy, M. Pospelov, A. Rollings, J. Sherman, W. Williams, and A. Derevianko, *Nature Communications* 8 (2017) 1.

[3] S. Coleman, *Physical Review D* 15 (1977) 2929.

[4] S. Kustov, I. Liubimova, and E. K. H. Salje, *Physical Review Letters* 124 (2020) 016801.

[5] L. Thomas, F. Lioni, R. Ballou, D. Gatteschi, R. Sessoli, and B. Barbara, *Nature* 383 (1996) 145–147.

[6] E. M. Chudnovsky and J. Tejada, *Cambridge Studies in Magnetism* (1998) pp. 8-28.

[7] A. Kandala, A. Mezzacapo, K. Temme, M. Takita, M. Brink, J. M. Chow, and J. M. Gambetta, *Nature* 549 (2017) 242.

[8] D. D. Awschalom, J. F. Smyth, G. Grinstein, D. P. Di- Vincenzo, and D. Loss, *Physical Review Letters* 68 (1992) 3092.

[9] L. P. Pitaevskii and E. M. Lifshitz, *Physical Kinetics: Volume 10* (2012).

[10] A. Baldan, *Journal of Materials Science* 37 (2002) 2171.

Zaznavanje in karakterizacija pulzarskih halojev z bodočim observatorijem CTA

Veronika Vodeb[†] v imenu sodelavcev* in kolaboracije CTA

[†] Center za astrofiziko in kozmologijo, Univerza v Novi Gorici, Nova Gorica

* Christopher Eckner, Pierrick Martin, Gabrijela Zaharijaš, Francesca Calore

Opazovanje bližnjih pulzarjev PSR J0633+1746 (Geminga) in B0656+14 z observatorijem High Altitude Water Cherenkov (HAWC) je razkrilo, da so obkroženi z emisijami sevanja gama z energijami več TeV, ki se raztezajo $\sim 10^\circ$ okrog pulzarja [1]. Emisije sevanja gama okoli Geminge so bile zaznane tudi v podatkih Fermi-LAT [2]. Pulzarski haloji so lahko pogosta značilnost pulzarjev, kar bi pomenilo, da so lahko številni že odkriti svetli razširjeni izvori dejansko haloji, ter da bi lahko haloji pulzarjev pod pragom detekcije prispevali znaten del razpršene TeV emisije. V tej študiji preučimo možnosti, ki jih ponuja bodoči observatorij Cherenkov Telescope Array (CTA) za odkrivanje in karakterizacijo pulzarskih halojev.

CTA je observatorij naslednje generacije za astronomijo z visokoenergijskim sevanjem gama. Imel bo dva dela, enega na severni in enega na južni polobli, vsak del pa bo vseboval večje število vzorčevalnih Čerenkovih teleskopov (IAC) treh različnih velikosti [3]. CTA bo zaznaval kozmično sevanje gama z energijami med 20 GeV in 300 TeV, s čimer bo premostil do sedaj neraziskan razpon energij med občutljivostjo eksperimenta Fermi-LAT in observatorija HAWC. CTA bo dosegal za red velikosti boljšo kotno ločljivost kot trenutni IAC teleskopi pri energiji sevanja gama 1 TeV, kar bo zagotovilo komplementarni pogled na pulzarske haloje. Raziskava galaktične ravnine (RGR) bo sestavljena iz pregleda celotne galaktične ravnine z uporabo južnega in severnega CTA observatorija. Pričakuje se, da bo RGR dosegla tipično občutljivost ~ 6 mCrab.

Za izpeljavo občutljivosti v naši analizi uporabimo načrtovana opazovanja RGR in model ozadja, ki ga sestavljata ozadje kozmičnih žarkov (simulirano z uporabo orodja *ctools*¹) in model difuznih medzvezdnih emisij [4]. Emisijo pulzarskega haloja simuliramo na podlagi modela predlaganega v [2]. V naši raziskavi ocenimo delež halo populacije, ki bi jo bilo mogoče zaznati s CTA, ob predpostavkah Gemingi podobnih difuzijskih lastnosti, ter da vsi pulzarji srednjih let razvijejo halo. Preučimo tudi učinke uporabe različnih modelov medzvezdnih emisij in ravni sistematične negotovosti v naši analizi.

Rezultati simulacij kažejo, da bo imel CTA dobro občutljivost na izvore pulzarskih halojev v svojem celotnem energijskem področju, zato bo pomembno orodje pri iskanju odgovorov na odprta vprašanja o naravi pulzarskih halojev. Preliminarne populacijske študije kažejo, da bo mogoče zaznati okoli 300 pulzarjev, ~ 30 pulzarskih halojev pa je mogoče prostorsko razločiti do radija 30 pc. Preučevali smo tudi vpliv plitvejših halojev, ki spominjajo na halo pulzarja PSR B0656+14, od katerih jih je mogoče zaznati ~ 70 .

[1] A. U. Abeysekara et al. 358(6365):911–914, nov 2017.

[2] Mattia Di Mauro, Silvia Manconi, and Fiorenza Donato. 100(12), dec 2019.

[3] *Science with the Cherenkov Telescope Array*. WORLD SCIENTIFIC, feb 2018.

[4] Pedro De la Torre Luque, Daniele Gaggero, Dario Grasso, Ottavio Fornieri, Kathrin Egberts, Constantin Steppa, and Carmelo Evoli. Galactic diffuse gamma rays meet the pev frontier, 2022.

¹Pri delu smo uporabili odzivne funkcije instrumenta CTA, ki sta jih zagotovila konzorcij in observatorij CTA (za več podrobnosti glejte <https://www.cta-observatory.org/cta-performance-prod5/>). Uporabili smo orodje *ctools* (<http://cta.irap.omp.eu/ctools/>).

Prepoznavanje struktur nematskih tekočih kristalov iz transmisijskih slik z uporabo nevronske mreže

Jaka Zaplotnik¹, Miha Ravnik^{1,2} in David Seč¹

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

²*Odsek za fiziko trdne snovi F5, IJS, Ljubljana*

Tekoči kristali so anizotropne tekočine, ki jih gradijo podolgovate ali ploščate, med seboj orientacijsko urejene, molekule. Fazna hitrost svetlobe v smeri prečno nanje je drugačna kot v vzdolžni smeri, zato se žarku svetlobe pri propagaciji skozi tekočokristalni vzorec lahko spreminjata polarizacija in tudi smer. Širjenje svetlobe skozi tekoče kristale je s sodobnimi numeričnimi orodji, kot sta npr. MEEP [1] in Nemaktis [2, 3], že enostavno numerično simulirati, težji izziv pa je iz transmisijskih slik prepoznavati, oziroma rekonstruirati orientacijske strukture tovrstnih vzorcev. V predstavitvi prikažemo, kako lahko iz številnih (nekaj tisoč) parov nključnih zveznih struktur brez defektov, opisanih s prostorsko odvisnim tenzorskim parametrom urejenosti $Q(\mathbf{r})$ in pripadajočih transmisijskih slik, ki jih pridobimo z numeričnimi simulacijami, naučimo konvolucijske nevronske mreže, da v izbrani geometriji opravljajo obratno nalogo in tako iz transmisijskih slik prepoznavajo $Q(\mathbf{r})$.

[1] A. F. Oskooi. *Computer Physics Communications* **181.3**, 687-702 (2010).

[2] G. Poy in S. Žumer. *Soft matter* **15.18**, 3659-3670 (2019).

[3] G. Poy in S. Žumer. *Optics express* **28.16**, 24327-24342 (2020).

Dinamika mikroskopskih curkov feroelektričnega nematskega tekočega kristala na površini litijevega niobata

Virginie Coda¹, Luka Cmok², Nerea Sebastián², Alenka Mertelj², Satoshi Aya³, Mingjun Huang³, Marko Zgonik², Germano Montemezzani¹ in Irena Drevenšek-Olenik^{2,4}

1. *Université de Lorraine, Centrale Supélec, LMOPS, Metz, France*

2. *J. Stefan Institute, Odsek za kompleksne snovi F7, Ljubljana*

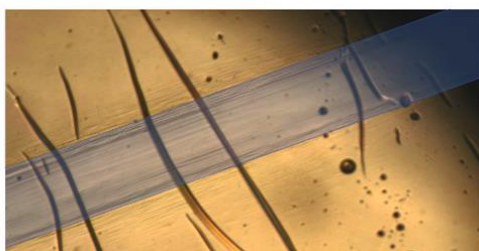
3. *South China University of Technology, Guangzhou, China*

4. *Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Ljubljana*

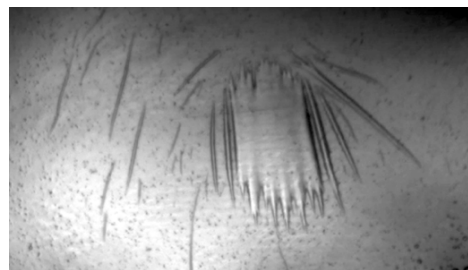
Raziskovali smo interakcijo feroelektrične nematske faze s površinskim električnim poljem. To polje ustvarimo na kristalu litijevega niobata, ki je dopiran z železom (LiNbO₃:Fe, [1]), s fotogalvanskim in/ali piroelektričnim pojavom. Kristal s kapljicami feroelektričnega nematika opazujemo z mikroskopom. Kristal grejemo ali ohlajamo, še bolj kontrolirano pa je osvetljevanje z zelenim laserskim snopom z valovno dolžino 532 nm. Kapljice nematskega tekočega kristala z zelo visoko dielektrično anozotropijo in feroelektričnim obnašanjem (DIO, [2]) se pod vplivom gradienta polja začnejo premikati in pri tem opazimo vrsto zanimivih dinamičnih procesov. Med cikli ogrevanja/hlajenja kapljice najprej spremenijo svojo obliko iz sferične v podolgovato elipsoidno. Nato se začnejo hitro premikati vzdolž smeri površinskega električnega polja, to je vzdolž polarne osi kristala. Med tem gibanjem se več kapljic združi v tekoče potoke (niti), ki segajo proti robovom površine.

Osvetljevanje površine s snopom krožnega profila povzroči približno dipolno polje, ki se odraža tudi v vzorcu gibanja tokov. Kapljice izven osvetljenega dela pobegnejo stran, v centru pa ostanejo ujete in raztegnjene. V gibanju se pojavi utripanje, ki ga preliminarno razložimo kot razelektritve nabite površine kristala. Poročamo tudi o odvisnosti opisanih pojavov od polarizacije optičnega polja.

To delo je potekalo v okviru projektov ARRS P1-0192 in J1-2459 ter v sodelovanju na francosko-slovenskem bilateralnem projektu BI-FR/19-20-PROTEUS-002, tj. PHC PROTEUS 41675UM.



Slika 1: Med cikli ogrevanja/hlajenja kapljice najprej spremenijo svojo obliko iz sferične v nitasto. Širina nitk je okoli 5 μm .



Slika 2: Tekoči kristal ujet v centru osvetlitve. Premer osvetljenega dela kristala je 150 μm .

[1] Y. Furukawa et al., *Opt. Lett.*, **22**, 501 (1997).

[2] H. Nishikawa et al., *Adv. Mater.*, **29**, 1702354 (2017).

Detekcija spremembe velikosti naravno prisotnih lipidnih kapljic linijskih celic kot primarnih adipocit

Maja Zorc^{1,2}, Gregor Pirnat¹ in Matjaž Humar^{1,2}

1. Fizika trdne snovi, IJS, Ljubljana

2. CENN Nanocenter, Jamova 39, SI-1000, Ljubljana, Slovenia

Prepričanje, da so celične lipidne kapljice le enostavne celične strukture, ki jih od zunanosti ločuje lipidni monosloj, notranjost pa gradijo nevtralni lipidi, kot so trigliceridi in steroli, že dolgo ne drži več. Lipidne kapljice predstavljajo pomemben celični organel, ki poleg svoje primarne funkcije, hranjenje energije in sinteze membran, komunicirajo in vplivajo na številne procese na nivoju posamezne celice kot celotnega organizma. Kot posledica celičnega metabolizma in okoljsko (ne)prisotnih nutrientov, se njihova velikost vseskozi večja ali manjša (lipoliza) [1,2]. Njihova velikost je zelo heterogena, odvisno od njihove lokacije in funkcije, tako so znotraj celic lahko manjše od 1 μm , v odraslih belih adipocitah pa presegajo velikost 100 μm . Znano je, da povečana akumulacija lipidov vodi v hipertrofijo, lahko tudi v hiperplazijo, vse to pa v številne bolezni prekomerne teže, diabetes tipa II, aterosklerozo,... Tako je spremljanje velikosti posameznih kapljic ključnega pomena za razumevanje metabolizma. Zelo natančne meritve že najmanjše spremembe velikosti lipidne kapljice znotraj žive celice v realnem času, ob spreminljivki eksternih pogojev, bi odprla nova dognanja v razumevanju metabolizma [3]. Naravno prisotne lipidne kapljice imajo lastnost mikroresonatorjev, torej je njihova laserska emisija ozka in močno odvisna od okoljskih sprememb [4]. In ravno to je ključ do izredno natančne detekcije v spremembi velikosti.

[1] J.A. Olzmann, P. Carvalho, *Nat Rev Mol Cell Biol* **20**, 137–155 (2019)

[2] Tobias C. Walther, Jeeyun Chung, Robert V. Farese Jr. *Nat Rev Mol Cell Biol* **20**, 137–155 (2019)

[3] M. Paar et al., *J Biol Chem.*, **287**(14), 11164–73 (2012)

[4] M. Humar, S. Hyun Yun, *Nature Photon*, **9**, 572–576 (2015)

Nadgradnja vrstičnega tunelskega mikroskopa z mikroskopom na atomsko silo

Marion van Midden Mavrič^{1,3}, Jure Pirman², Herman van Midden³, Erik Zupanič³

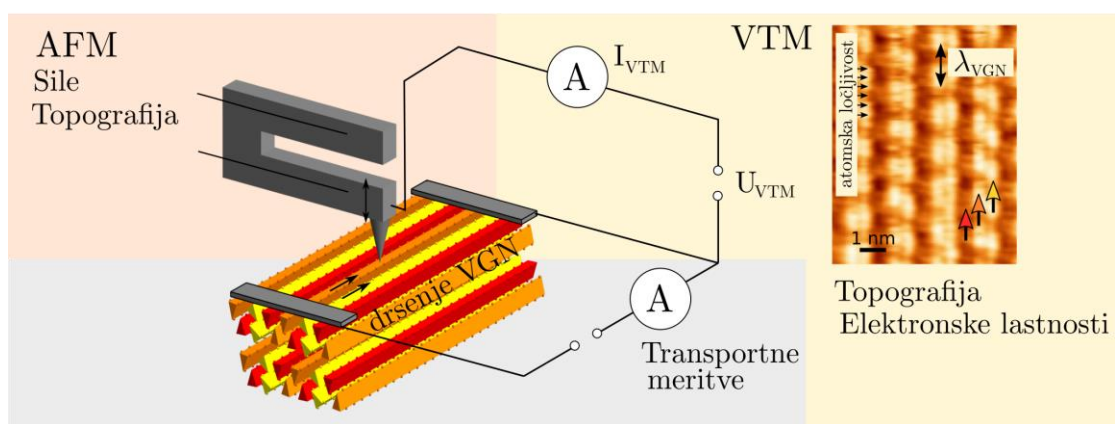
1. *Scanning Probe Microscopy Department, Radboud University, Nijmegen, Nizozemska*

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

3. *Odsek za fiziko trdne snovi, IJS, Ljubljana*

V Laboratoriju za vrstično tipalno mikroskopijo Odseka za fiziko trdne snovi na Institutu "Jožef Stefan" načrtujemo nadgradnjo obstoječega nizkotemperaturnega ultravisoko vakuumskega vrstičnega tunelskega mikroskopa (STM) z napredno merilno glavo s qPlus [1] senzorjem. Ta deluje na osnovi kvarčnega resonatorja na katerega pritrđimo konico mikroskopa, s katero nato vrstičimo po površini vzorca. Tako lahko hkrati izvajamo meritve, ki bi jih sicer lahko izvajali ali z STM ali z mikroskopom na atomsko silo (AFM) v brezkontaktnem načinu.

Posebni načini meritev, kjer hkrati zajemamo STM in AFM signal nam omogočajo, da ločimo prispevke topografije (AFM) in elektronske gostote stanj (STM) k nastalim slikam, zato so izjemno primerne za preučevanje materialov, pri katerih se pojavljajo valovi gostote naboja (CDW) [2]. V nekaterih materialih, kot je npr. kvazi-1D NbSe₃, so le-ti inkomenzurabilni z atomsko mrežo in pod določenimi pogoji kažejo nenavadne transportne lastnosti, ki bi lahko omogočale prevajanje brez izgub [3]. Za razumevanje drsenja CDWjev, ki je odgovorno za te nenavadne lastnosti, moramo najprej natančno poznati strukturo in njihovo razporeditev na površini. Kot prvi bomo poizkusili s kombiniranimi STM/AFM meritvami ter ob sočasni izvedbi transportnih meritev vzdolž kristalov opazovati in-situ in v realnem času drsenje CDWjev in tako osvetlitvi mehanizme, ki so odgovorni za te zanimive pojave.



Slika 1: Shema postavitve eksperimenta za in-situ STM/AFM opazovanje drsenja valov gostote naboja

[1] F. J. Giessibl, Review of Scientific Instruments **90**, 011101 (2019)

[2] P. Monceau, Advances in Physics, **61**, 4 (2012)

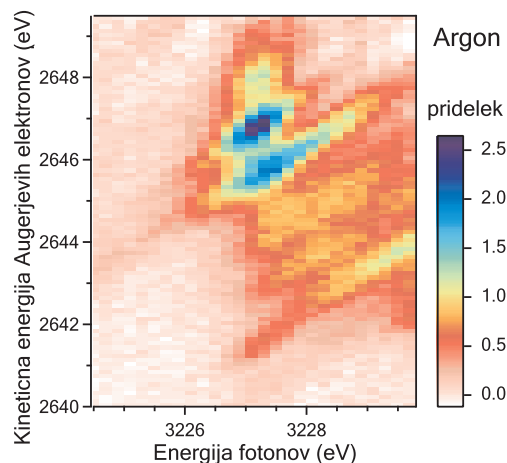
[3] M. van Midden, Phys. Rev. B **102**, 075442 (2020)

Resonantni Augerjev razpad dvojno vzbujenih stanj v atomu argona

M. Žitnik¹, K. Bučar¹, M. Hrast¹, A. Mihelič¹ in M. Kavčič¹

¹Odsek za fiziko nizkih in srednjih energij, IJS, Ljubljana

Življenjski časi fotonsko vzbujenih resonanc iz osnovnega stanja atoma ne prispevajo k razširitvi fluorescenčnih in Augerjevih spektralnih črt, ki se izsevajo pri razpadu. Na tej ugotovitvi temelji možnost za rekonstrukcijo absorpcijskih spektrov rentgenske svetlobe z ločljivostjo, boljšo od naravne širine resonančnega stanja. Medtem ko se resonančno neelastično sipanje rentgenskih žarkov kaže v razmeroma ozkih emisijskih spektrih izsevane svetlobe, značilnih za atomske razpade [1], pripeljejo Augerjevi prehodi do končnih ionskih stanj preko bolj razgibanih spektralnih oblik, ki omogoča ostrejšo ločitev na posamezne resonančne prispevke. Metodo smo preizkušali pri vzbujanju dvojno vzbujenih stanj $(1s3p)^{-1}nl n'l'$ v argonu, ki se gnetejo na nekaj eV širokem spektralnem področju v okolici okrog vzbuditvene energije 3227 eV in sicer tako, da smo na celem območju vzbujanja izmerili resonančne Augerjeve spektre z visoko eksperimentalno ločljivostjo. Čeprav je bilo možno zaradi močnega prekrivanja z močnimi diagramskimi prehodi $K-LL$ v enkrat ioniziranem argonu zanesljivo osamiti zgolj dele resonančnih Augerjevih spektrov, je analiza spektralnih map pokazala prispevke posameznih resonanc k satelitskemu signalu v finejših podrobnostih kot neposredna meritev fotoabsorpcije. Eksperimentalne rezultate s sinhrotrona Soleil smo podprli z izračuni, ki se dobro ujemajo z meritvami šele, ko računamo z interferenco med potmi iz osnovnega v isto končno stanje preko različnih vmesnih dvojno vzbujenih stanj.



Slika 1: Pridelek elektronov iz razpada dvojno vzbujenih atomskih stanj.

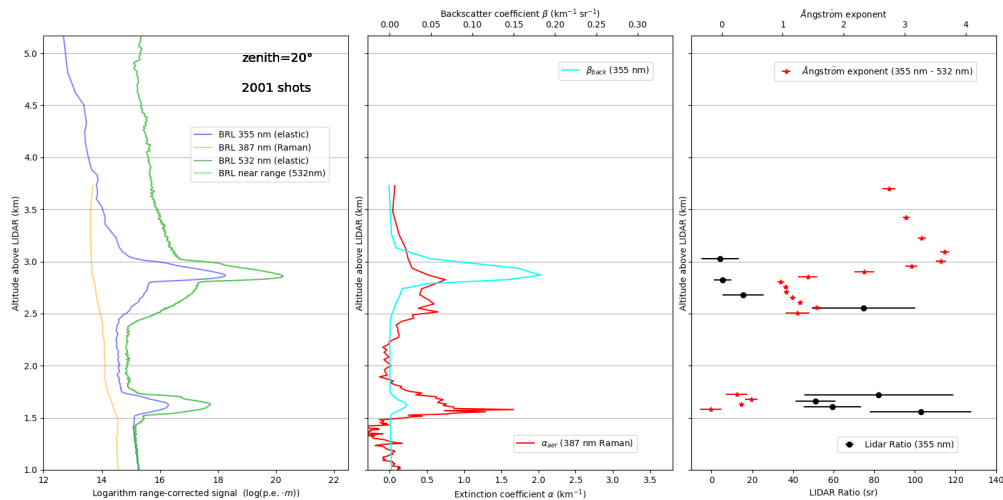
- [1] M. Kavčič, M. Žitnik, K. Bučar, A. Mihelič, M. Štuhec, J. Szlachetko, W. Cao, R. Alonso Mori, and P. Glatzel, *Physical Review Letters* **102**, 143001 (2009).

Meritve lastnosti vulkanskega pepela s prototipom Ramanskega lidarja nad observatorijem CTA

Miha Živec za skupino CTAO North Raman Lidar Pathfinder

Center za astrofiziko in kozmologijo, Univerza v Novi Gorici, Nova Gorica

Observatorij Polje teleskopov Čerenkova (CTAO) bo omogočal raziskave vesolja pri valovnih dolžinah visoko energijskega (VHE) kozmičnega sevanja gama (fotonov) z energijami med 20 GeV in 300 TeV. VHE fotoni naj bi nastajali kot sekundarni produkt pospeševanja kozmičnih delcev ekstremnih energij ter pri njihovih neelastičnih interakcijah s snovjo med razširjanjem po vesolju. Na Zemeljskem površju jih lahko zaznamo le posredno, z meritvami bliskov Čerenkove svetlobe, ki nastanejo med razvojem plazmu sekundarnih nabitih delcev v atmosferi. Iz meritev s t.i. teleskopi Čerenkova lahko nato rekonstruiramo energijo in smer vpadnih VHE fotonov. Natančnost rekonstrukcije je močno odvisna od trenutnih atmosferskih pogojev, še posebej propustnosti atmosfere za Čerenkovo svetlobo, zato sta za doseganje načrtovanih zmogljivosti CTAO lidarski atmosferski monitoring in kalibracija ključnega pomena. Prototip Ramanskega lidarja, ki smo ga v letih 2021-2022 preizkušali na observatoriju Roque de los Muchachos na La Palmi, je poleg načrtovanih raziskav izmeril tudi lastnosti oblaka vulkanskega pepela iz ognjenika Cumbre Vieja -Tajogaite, ki je izbruhnil 19.9.2021. Z identifikacijo vrste sipalcev na podlagi izmerjenega lidarskega razmerja in Ångströmovega eksponenta smo razločili oblačne mase z vsebnostjo vode od tistih z vsebnostjo vulkanskega pepela.



Slika 1: Iz lidarskih meritev dne 22.9.2021 sta razvidni oblačna plast na višini 5000 m n.v. in plast vulkanskega pepela na višini 3700 m n.v. Observatorij je na višini 2200 m n.v. **Levo:** Logaritem normaliziranega signala: elastično sipanje pri 355 nm (modro), pri 532 nm (zeleno) ter Ramansko sipanje pri 387 nm (rumeno). **Sredina:** Koefficient povratnega sipanja pri 355 nm (modro) in koefficient atmosferske ekstinkcije na podlagi Ramanskega signala (rdeče). **Desno:** Ångströmov eksponent (razmerje med elastičnima signaloma, rdeče) in lidarsko razmerje (razmerje med elastičnim in pripadajočim Ramanskim signalom, črno).

Modeliranje izvora nevtronov in žarkov gama v plazmah tokamakov

Andrej Žohar^{1,2}, Igor Lengar¹, Žiga Štancar³, Luka Snoj^{1,2}

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

² *Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija*

³ *United Kingdom Atomic Energy Authority, Culham Centre for Fusion Energy, Abingdon, UK*

Večina fuzijskih eksperimentov se izvaja v tako imenovanih tokamakih, kjer preučujemo zlivanje različnih mešanic vodikovih izotopov – vodika, devterija in tritija. Najbolj preučevane fuzijske reakcije so fuzija dveh devterijevih ionov (DD), devterija in tritija (DT) in dveh tritijevih ionov (TT). Pri omenjenih reakcijah nastajajo helijevi ioni in nevtroni. Poleg že naštetih delcev nastajajo v plazmi tudi fotoni ob reakcijah plazemskih ionov z ioni nečistoč, ki so prisotni v plazmi. Zaradi zahtevnih pogojev v tokamakih je večji del diagnostične opreme postavljen v zunanosti vakuumske posode. Magnetno polje, potrebno za zadrževanje plazme, onemogoča uporabo nabitih delcev nastalih v plazemskih reakcijah za diagnostiko stanja plazme. Zato so za diagnostiko plazme v tokamakih potrebni nevtralni delci kot so fotoni in nevtroni [1].

Računska podpora meritvam nevtronov in žarkov gama v tokamakih se zaradi zapletene geometrije tokamakov reaktorjev najpogosteje izvaja z metodo Monte Carlo. Vsaka simulacija Monte Carlo temelji na treh stebrih: fizika interakcije delcev s snovjo, geometrija in sestava preučevane naprave ter izvor delcev. Začetni korak vsake Monte Carlo simulacije je izvor simuliranih delcev. Njihove lastnosti, kot so energija, prostorska porazdelitev in smer leta, temeljijo na fizikalnih modelih. Izvor nevtronov in žarkov gama v tokamakih temelji na parametrih plazme, kot so temperatura ter gostota ionov, koncentracija nečistoč, itd. Povezava med fiziko plazme in izvorom nevtralnih delcev je tako ključnega pomena za natančne Monte Carlo transportne simulacije za podporo eksperimentalnim meritvam.

V prispevku bo predstavljena razvita metodologija realističnega nevtronskega in gama izvora za Monte Carlo simulacije ter primerjava meritev in računskih rezultatov [2, 3]. V primeru žarkov gama je primerjava z meritvami pokazala dobro ujemanje tako v obliki spektra kot tudi v absolutnih vrednostih v tangencialnem detektorju, ki se nahaja na koncu 20 metrov dolgega in 20 cm širokega vidnega polja [4].

[1] M. Nocente, et al., Nuclear Fusion 52, (2012)

[2] A. Žohar, et al., Fusion Engineering and Design 163, (2021)

[3] Ž. Štancar, et al., Nuclear Fusion 61, (2021)

[4] A. Žohar, et al., Nuclear Fusion 62, (2022)

Seznam plakatov

P1	Ambrožič Klemen	Jedrsko gretje – Računska preverba eksperimenta
P2	Andrenšek Urška	Gubanje nepodprtih epitelnih tkiv
P3	Arh Tina	Izvor magnetnega urejanja in dinamične spinske korelacije v strukturno popolnem antiferomagnetu na mreži kagome
P4	Aupič Polona	Elektro- in magnetokalorični pojav v tekočih kristalih
P5	Cmok Luka	Fotoobčutljivi azocinamoilni tekoči kristali z upognjeno sredico
P6	Drevenšek Olenik Irena	Spontano urejanje zaporedij d(G4C2)n od G-kvadrupleksov do tekočekristalnih faz
P7	Gnidovec Andraž	Gosto zlaganje trdih elips na sferi
P8	Gomišek Matjaž	Spinska tekočina v frustriranem antiferomagnetu s strukturnim neredom
P9	Gosak Marko	Biofizikalni model ciljnega uravnavanja telesne temperature pri bolnikih po srčnem zastoju
P10	Gradišek Anton	Izpostavljenost nanodelcem zaradi pirotehnike med nogometno tekmo
P11	Harkai Saša	Mreže nematskih topoloških defektov
P12	Hauko Robert	Rentgenski absorpcijski spektri hidridov skupine 5p
P13	Ile Samo	Evolucija fizikalnih lastnosti filameta v hidrodinamičnih simulacijah
P14	Jecl Gregor	Vpliv kovinsko-organskih stikov na magnetno anizotropijo v feromagnetnih kobaltonih tankih filmih
P15	Jelen Andreja	Pojav polimorfizma v visokoentropijskih zlitinah
P16	Jurečič Vida	Vpliv prostih nabojev na električno prebojno trdnost visokotemperaturnih polimernih zmesi
P17	Kanduč Matej	Adsorpcija surfaktantov in micelizacija: Vpogled skozi molekularne simulacije
P18	Kavčič Matjaž	Analiza elektrokemijskih procesov v kovinsko-organskih baterijah z rentgensko Ramansko spektroskopijo
P19	Knaflič Tilen	Vpliv zaporednih strukturnih prehodov z nabojnimi in orbitalnim urejanjem na tvorbo osnovnega stanja spinskih dimerov v sistemu Rb4O6
P20	Kokot Hana	Napoved potencialne škodljivosti nanomaterialov brez testiranja na živalih
P21	Koželj Primož	Magnetizem v magnetno koncentrirani, popolnoma neurejeni in frustrirani visokoentropijski zlitini CoCrFeMnNi
P22	Kralj Lana	Kvantitativna analiza MRI slik bolnikov z miokarditisom
P23	Kralj Nika	Zgoščevanje in redčenje defektnih linij v aktivnih nematikih
P24	Lenasi Helena	Vrednotenje odziva mikrocirkulacije kože na telesno vadbo s pomočjo valčne analize
P25	Luzar Jože	Magnetno mehke visokoentropijske zlitine AlCoFeNiCux (x = 0,6 – 3,0) z ničelno magnetostrikcijo
P26	Malok Matjaž	Injiciranje naboja in piezoelektrične lastnosti nanocevka MoS2
P27	Mankoč Norma	Teorija spinov, nabojev in družin, ki uporabi Cliffordovo algebro za opis notranjih lastnosti fermionskih in bozonskih polj, ponudi razlago za vse privzete standarnega modela, poenoti vse osnovne lastnosti fermionskih in bozonskih polj, tudi gravitacije, ter razloži Diracove postulate za drugo kvantizacijo fermionskih in bozonskih polj
P28	Marhl Urban	Uporaba optičnih magnetometrov v magnetoencefalografiji
P29	Marinčič Matevž	Numerično modeliranje modre faze III
P30	Medle Rupnik Peter	Mehanoelektrični pojav v feroelektričnih nematičnih tekočih kristalih
P31	Mesarec Luka	Vpliv orientacijskega urejanja ukrivljenih nematikov na ravnovesne 3D oblike 2D lupin
P32	Mežnaršič Tadej	Bosejevi ognjemeti v kvazienodimenzionalnem Bose-Einsteinovem kondezatu cezija
P33	Morgan Matic	Elastokalorično utrujanje tekočekristalnih elastomerov
P34	Mur Jaka	Kavitacijski mehurčki v bližini togega valja
P35	Mur Maruša	Optična komunikacija med celicami
P36	Naseska Mimoza	Kinetika fotoinduciranega faznega prehoda iz izolatorskega v kovinsko stanje v CuIr2S4
P37	Nemanič Vincenc	Interakcija vodika s trdnim in tekočim kositom
P38	Osterman Natan	Interferenčna SHG mikroskopija
P39	Panjan Matjaž	Samoorganizacija plazme v DC in RF magnetronskih razelektrivah
P40	Pavešič Luka	Kvantne pike in majhni superprevodniki

P41	Peklar Rok	Magnetno-resonančno slikanje in empirično modeliranje rasti dendritov v litijevih baterijah
P42	Perharič Bailey Črtomir	Uporaba in karakterizacija linearnega aktuatorja za slikanje hladnih atomov
P43	Pirc Jevšenak Vesna	Kvantni spomin s hladnimi atomi cezija v prisotnosti magnetnega polja
P44	Pirman Jure	Izdelava polarimetra z vrtečo se $\lambda/4$ ploščo na osnovi FPGA programirljivih logičnih vezij
P45	Podbregar Lev	Uporaba in karakterizacija linearnega aktuatorja za slikanje hladnih atomov
P46	Štanc Rok	Trk vodne kapljice s tekočerkristalno površino
P47	Tkachuk Vadym	Molekularna poravnava na površini grafena določa transportne lastnosti grafenskih/organskih polprevodniških tranzistorjev
P48	Tkalec Uroš	Kapljice vode na tekočerkristalnih podlagah
P49	Turnšek Janez	Meritev tlačnega profila helija v mikrofluidični plinski celici s sinhrotronsko svetlobo
P50	Uлага Martin	Transport toplote v slabi kovini
P51	Urbančič Iztok	Vertikalna veriga vrednosti: od osnovnih raziskav do tržno zanimivih novih tehnologij
P52	Vaupotič Domen	Analiza razvejenosti genomov RNA-virusov
P53	Venturini Rok	Preklop med stanji z valom gostote naboja v 1T-TaS ₂ s pikosekundnim električnim sunkom
P54	Vilfan Mojca	Magnetni tekočerkristalni elastomeri
P55	Vodeb Jaka	Kvantno taljenje domen v kvantnem žarilniku
P56	Vodeb Veronika	Zaznavanje in karakterizacija pulzarskih halojev z bodočim
P57	Zaplotnik Jaka	Prepoznavanje struktur nematskih tekočih kristalov iz transmisijskih slik z uporabo nevronske mreže
P58	Zgonik Marko	Dinamika mikroskopskih curkov feroelektričnega nematskega tekočega kristala na površini litijevega niobata
P59	Žitnik Matjaž	Resonantni Augerjev razpad dvojno vzbujenih stanj v atomu argona
P60	Živec Miha	Meritve lastnosti vulkanskega pepela s prototipom Ramanskega lidarja nad observatorijem CTA
P61	Žohar Andrej	Modeliranje izvora nevtronov in žarkov gama v plazmah tokamakov
P62	Zorc Maja	Detekcija spremembe velikosti naravno prisotnih lipidnih kapljic linijskih celic kot primarnih adipocitov
P63	Zupanič Erik	Nadgradnja vrstičnega tunelskega mikroskopa z mikroskopom na atomsko silo

Lokacije aktivnosti

Predavanja: Večnamenska dvorana hotela TOPLICE

Plakati, registracija, razstavljalni prostor: predzdverje k večnamenski dvorani hotela TOPLICE

Kosilo: restavracija hotela TOPLICE – 12.55 – 13.30

Večerja: restavracija hotela TERME^(*) – 19.00 – 21.00

^(*)Hotel TERME je oddaljen 5 min hoje po sprehajalni poti od hotela TOPLICE v smeri poti priti zahodu mimo hotela Čatež.



Seznam udeležencev

Klemen Ambrožič	Hana Kokot	Don Rolih
Urška Andrenšek	Žiga Kos	Luka Šantelj
Denis Arčon	Klemen Kovač	Nerea Sebastian
Tina Arh	Primož Koželj	Igor Sega
Polona Aupič	Matej Krajnc	Miha Škarabot
Borut Bajc	Žiga Krajnik	Luka Snoj
Vid Bobnar	Lana Kralj	Rok Štanc
Janez Bonča	Nika Kralj	Saša Svetina
Maruša Bradač	Zala Lenarčič	Vadym Tkachuk
Klemen Bučar	Helena Lenasi	Uroš Tkalec
Luka Cmok	Igor Lengar	Janez Turnšek
Martin Čopič	Luka Leskovec	Martin Ulaga
Janez Dolinšek	Jože Luzar	Iztok Urbančič
Irena Drevenšek Olenik	Matjaž Malok	Domen Vaupotič
Dunja Fabjan	Norma Mankoč	Primož Vavpetič
Matej Gabrijelčič	Urban Marhl	Rok Venturini
Andraž Gnidovec	Matevž Marinčič	Lev Vidmar
Matjaž Gomilšek	Peter Medle Rupnik	Mojca Vilfan
Marko Gosak	Tomaž Mertelj	Jaka Vodeb
Katja Gosar	Alenka Mertelj	Veronika Vodeb
Anton Gradišek	Luka Mesarec	Stanislav Vrtnik
Sašo Grozdanov	Tadej Mežnaršič	Jaka Zaplotnik
Darko Hanžel	Matic Morgan	Marko Zgonik
Saša Harkai	Jaka Mur	Rok Žitko
Robert Hauko	Maruša Mur	Matjaž Žitnik
Mateja Hrast	Mímoza Naseska	Miha Živec
Matjaž Humar	Vincenc Nemanič	Andrej Žohar
Samo Ilc	Nikola Novak	Maja Zorc
Enej Ilievski	Natan Osterman	Andrej Zorko
Taj Jankovič	Matjaž Panjan	Slobodan Žumer
Gregor Jecl	Luka Pavešič	Erik Zupanič
Peter Jeglič	Rok Peklar	Tomaž Zwitter
Sonja Ježič	Matjaz Perc	
Andreja Jelen	Črtomir Perharič Bailey	
Vida Jurečič	Julia Petrović	
Matej Kanduč	Vesna Pirc Jevšenak	
Aljaž Kavčič	Jure Pirman	
Matjaž Kavčič	Lev Podbregar	
Martin Klanjšek	Saša Prelovšek Komelj	
Tilen Knaflič	Miha Ravnik	
Alojz Kodre	Gregor Rihtaršič	



Vrhunska laserska tehnologija za estetiko in dermatologijo

Fotonini laserski sistemi omogočajo celovit spekter posegov:

- Fotona4D® neinvazivni facelift,
- LipLase® oblikovanje polnejših ustnic brez uporabe filerjev,
- SmoothEye® glajenje gub okoli oči,
- TightSculpting® neinvazivno odstranjevanje maščobnih oblog in glajenje kože,
- odstranjevanje varic in vaskularnih lezij,
- tretmaji strij in brazgotin,
- zdravljenje aken in bradavic,
- odstranjevanje vseh tipov benignih lezij,
- odstranjevanje dlak,
- zdravljenje onihomikoze,
- kirurški posegi: zdravljenje hiperhidroze, krčnih žil, laserska lipoliza,
- laserka podiatrija,
- odstranjevanje tetovaž,
- NightLase® zdravljenje spalne apneje

Zahvaljujoč svoji inovativni visoki tehnologiji je Fotona premaknila mejo natančnosti, varnosti in učinkovitosti laserskih posegov. Nudimo poglobljena izobraževanja in individualni pristop pri uvajanju laserske tehnologije v vašo prakso.

Izberite novo ero medicine tudi vi. Obiščite www.fotona.com še danes.



12. konferenca fizikov v osnovnih raziskavah

Zbornik povzetkov

Izdala: Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani

Urednika: Natan Osterman in Igor Lengar

Natisnjeno v Sloveniji v nakladi 120 izvodov

Ljubljana, 2022

Brezplačni izvod za udeležence

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

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

53(082)

KONFERENCA fizikov v osnovnih raziskavah (12 ; 2022 ; Čatež)

12. konferenca fizikov v osnovnih raziskavah : zbornik povzetkov : Terme Čatež, 11. november 2022 / [organizatorja Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani [in] Institut Jožef Stefan ; urednika Natan Osterman, Igor Lengar]. - V Ljubljani : Fakulteta za matematiko in fiziko, 2022

ISBN 978-961-6619-34-9
COBISS.SI-ID 127667971