

20. obletnica Mednarodne podiplomske šole Jožefa Stefana	3
Novi projekti	8
HumAIne – hibridna podpora pri sprejemanju odločitev umetne inteligence za oponemočenje ljudi v dinamičnih situacijah	8
Varnost in zdravje na delovnem mestu – Obvestilo o namestitvi avtomatskih zunanjih defibrilatorjev	9
Raziskave IJS	10
Neravnovesne in statistične lastnosti izoliranih kvantnih večdelčnih sistemov	10
Ciljanje IL-6 z gensko spremenjeno bakterijo <i>Lactococcus lactis</i> s površinsko prikazanim vezalcem	14
Nastavljivi izvori prepletenih fotonov v tekočih kristalih	18
Laserji iz milnih in smektičnih mehurčkov	21
»Menjava molekularne identitete« fluorescenčnih barvil zaradi uporabe visoke laserske moči v konfokalni in superločljivi mikroskopiji	25
Neravnovesna kvantna dinamika rekonfiguracije domen v dvodimenzionalnem elektronskem kristalu in kvantnem žarilniku	27
Minuli dogodki	31
Mentorstvo mladim na poti razvoja inventivne ideje do tržno zanimive inovacije	31
IRCAI uspešno soorganiziral prvo mednarodno olimpijado v umetni inteligenci (IAIO 2024)	32
Kje so naši nekdanji sodelavci – Od molekul do menedžerja	33
Dogajanje na IJS	36
Tradicionalni kolesarski vzpon na Krim	36
Bi brali, pa ne veste, kaj?	36
Prišli - odšli	36
Kulturno dogajanje na IJS – Odprtje razstave del Ane Sluga	37

Novice IJS

Glasilo Instituta "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana
ISSN 1581-2707, e-ISSN 1581-2715

Urednika: dr. Polona Umek in mag. Marjan Verč
Lektorica: Špela Komac
Foto: mag. Marjan Verč in avtorji prispevkov
Naklada: 1250 izvodov

Naslovnica: Ilustrirana je upodobitev tvorbe prepletenih parov fotonov v tekočem kristalu. Do tega procesa pride prek nelinearne interakcije med črpalnim laserjem in anizotropnim medijem brez centra inverzije, ki ga v tem primeru predstavljajo molekule tekočega kristala, urejene v feroelektrični nematski fazi. Poleg tega, da je učinkovitost tvorbe prepletenih fotonov primerljiva z najboljšimi obstoječimi izvori, je glavna prednost tekočih kristalov v dejstvu, da je stanje para fotonov mogoče nadzorovano spreminjati. To je mogoče doseči na račun ureditvenih lastnosti tekočih kristalov in velikega odziva na zunanje dražljaje, z različnimi deformacijami strukture tekočega kristala ali pa z apliciranjem električnega polja. Avtor slike: Aljaž Kavčič, F-5

https://www.ijs.si/ijsw/Novice_IJS, e-pošta: novice@ijs.si

Ponatis vsebine je dovoljen z opombo, da gre za prispevek iz Novic IJS.
Članke, predloge in pripombe lahko pošljete po e-pošti: novice@ijs.si.
Za vsebino strokovnih in (poljudno)znanstvenih člankov odgovarjajo avtorji.



20. obletnica Mednarodne podiplomske šole Jožefa Stefana

20 let napredka v znanju in inovacijah

Leto 2024 je pomemben mejnik za Mednarodno podiplomsko šolo Jožefa Stefana (MPŠ), ki praznuje 20 let uspešnega delovanja. V tem času je šola postala ključna platforma za povezovanje raziskovalnih dosežkov z industrijskimi potrebami ter izobraževanje naslednje generacije strokovnjakov. MPŠ se ponaša z interdisciplinarnimi programi, ki združujejo nanoznanosti, ekotehnologije, senzorske tehnologije in informacijsko-komunikacijske tehnologije. Ob tej priložnosti šola ne gleda zgolj nazaj, temveč predvsem naprej k reševanju sodobnih izzivov, kot so digitalna transformacija, podnebne spremembe in trajnostni razvoj.



Slika 1: Tabla v parku Instituta "Jožef Stefan" simbolično povezuje Institut "Jožef Stefan" na eni strani in MPŠ na drugi. Predstavlja odlično priložnost za fotografiranje, zlasti ob podelitvah doktoratov in magistrirjev, ter ustvarjanje trajnostnega spomina. Foto: Marjan Verč

Institut "Jožef Stefan" je v sodelovanju z gospodarskimi partnerji Gorenje (Hisense Europe), Kolektor, Salonit (Alpacem) in Slovensko zavarovalno združenje leta 2004 ustanovil Mednarodno podiplomsko šolo z namenom povezovanja znanstvene odličnosti z industrijsko prakso. Ustanovitev MPŠ je tesno povezana z vizionarji, kot sta **akademik prof. dr. Robert Blinc**, prvi dekan MPŠ (2004–2011), in **akademik prof. dr. Vito Turk**, predsednik MPŠ, ki sta igrala ključno vlogo pri oblikovanju interdisciplinarne narave šole. Pomemben prispevek je dala tudi **prof. dr. Aleksandra Kornhauser Frazer**, 2011 kot v.d. dekana ter od 2012–2016 kot dekanja. Skozi čas pa so se MPŠ priključili tudi številni partnerji (slika 2).



Ustanovitelji:



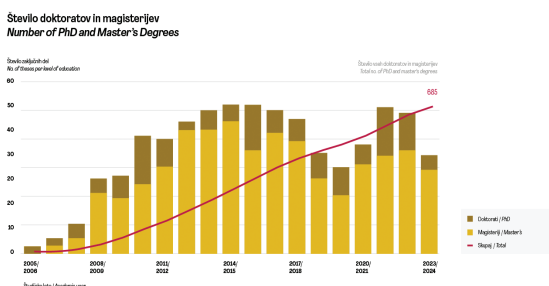
Partnerji:



Slika 2: Ustanovitelji in partnerji MPŠ

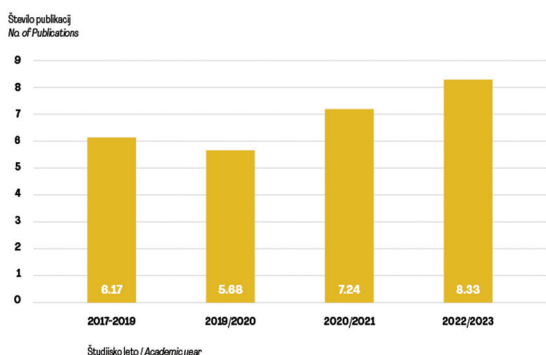
Šola je od svojega ustanovnega trenutka zasnovana tako, da prek raziskovalnih projektov omogoča prenos najnovejših znanstvenih spoznanj v konkretne naloge in razvojne izzive. Študenti se že med študijem aktivno vključujejo v vrhunske raziskave, kar jim omogoča pridobitev dragocenih izkušenj za prihodnje delo v industriji in raziskovalnih institucijah.

V manj kot 20 letih je svojo diplomu pridobilo več kot 530 doktorandov in 117 magistrantov (slika 3), ki danes uspešno delujejo v akademskih, industrijskih in drugih ključnih sektorjih. Ta dosežek je izjemen uspeh za mlado institucijo, ki prehaja iz svoje mladosti v novo, zrelo fazo. Ves čas nas vodi prepričanje, da je kakovost izobraževanja pomembnejša od števila diplomantov (slika 3).



Slika 3: Število podeljenih doktoratov (PhD) in magistrirjev na MPŠ po letih, pri čemer rdeča linija označuje skupno število diplomantov. V 20 letih delovanja je MPŠ uspelo izobraziti več kot 685 diplomantov, pri čemer jih je največ diplomiralo iz programa nanoznanosti in nanotehnologij (44%). Šola se lahko pohvali z velikim številom raziskovalnih objav in patentov, kar kaže na uspešno povezovanje raziskav z industrijo.

Povprečno število publikacij v JCR na doktoranta
Average Number of JCR Publications per PhD Student

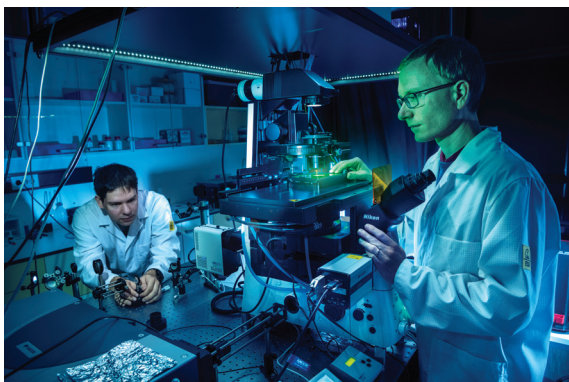


Slika 4: Graf prikazuje rast povprečnega števila objav na doktoranta MPŠ, ki se je povečalo s 6,17 v obdobju 2008–2012 na 8,33 v letu 2023. Rezultati študentov MPŠ dosegajo izjemen položaj, kar šolo uvršča med vrhunske podiplomske šole ne samo v Sloveniji, temveč tudi na mednarodni ravni.

Izobraževalni programi MPŠ

Šola ponuja vrsto programov, ki študentom omogočajo pridobitev naprednih znanj na področjih, ki so ključna za prihodnost, saj naslavljajo najnujnejše globalne izzive, kot so podnebne spremembe, digitalizacija in prehod v bolj trajnostno družbo.

Nanoznanosti in nanotehnologije: Magistrski in doktorski program se osredotoča na raziskovanje in razumevanje materialov in procesov na nanometrski skali s pomembnimi aplikacijami v medicini in industriji. Študenti se učijo o lastnostih nanomaterialov, njihovih aplikacijah v industriji in medicini ter o



Slika 5: V biointegrirani fotoniki v žive organizme vstavljajo laserske in druge optične naprave, da lahko neposredno opazujemo biološke procese. Ta inovativna tehnika ima ogromen potencial za napredovanje medicinskega raziskovanja, omogočanje spremljanja kompleksnih bioloških sistemov v realnem času ter razvoj inovativnih diagnostičnih in terapevtskih rešitev. Foto: Arne Hodalič in Katja Bidovec

naprednih tehnologijah za proizvodnjo in manipulacijo nanostruktur.

Informacijske in komunikacijske tehnologije: Magistrski in doktorski program pokriva napredna znanja s področja računalništva, telekomunikacij in informacijskih sistemov. Študenti se ukvarjajo z obdelavo podatkov, umetno inteligenco, kibernetko varnostjo, omrežnimi tehnologijami in razvojem programske opreme.



Slika 6: Zemeljska satelitska postaja omogoča meritve, potrebne za podatkovne baze in modele širjenja Mednarodne telekomunikacijske zveze – Radijske komunikacije (ITU-R) za širše geografsko območje Slovenije, obenem pa nadgrajuje podatke za jugovzhodno Evropo. Omogoča tudi meritve, potrebne za načrtovanje in vzdrževanje zanesljivih povezav s sateliti, kar omogoča visoke hitrosti prenosa podatkov in višjo kakovost komunikacijskih storitev. Foto: Arne Hodalič in Katja Bidovec

Ekotehnologije: Ta študijski program je usmerjen v trajnostne tehnologije in rešitve za okoljske izzive.



Slika 7: V hitro spreminjajočem se svetu novih tehnologij napredek prinaša tveganja za okolje in zdravje. Meritve emisij v cementni industriji so ključnega pomena, saj usmerjajo razvoj čistih tehnologij in omogočajo občutljivo ravnovesje med napredkom in trajnostjo. Foto: Arne Hodalič in Katja Bidovec

Študenti se ukvarjajo s področji, kot so okoljske tehnologije, obnovljivi viri energije, upravljanje z odpadki, varstvo okolja, razvojem trajnostnih procesov in izdelkov, zelenimi tehnologijami, razumevanjem okoljskih procesov, modeliranjem zdrave in varne prehrane ter z okoljskim zdravjem, v zadnjem času pa tudi z občansko znanostjo.

Senzorske tehnologije: Doktorski program se osredotoča na razvoj in uporabo senzorjev, ki zaznavajo in merijo različne fizikalne, kemijske ali biološke parametre. Študenti se učijo o načelih delovanja senzorjev, njihovi uporabi v različnih industrijah (kot so avtomobilska, medicinska, inženirska) ter o naprednih metodah za obdelavo in interpretacijo podatkov, ki jih senzori zajamejo.



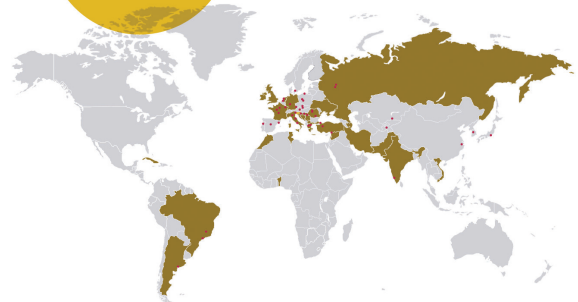
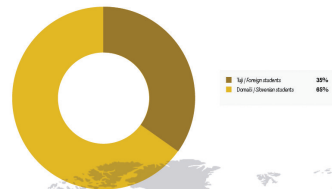
Slika 8: Nanodelci z natančnimi oblikami in velikostmi so ključnega pomena za najnovejšo tehnologije, z aplikacijami, ki segajo od medicine in kemijske katalize do senzorjev in shranjevanja energije. Kljub temu je stroškovno učinkovita sinteza teh nanodelcev ob hkratnem ohranjanju nadzora nad njihovo velikostjo in obliko še vedno izziv. Naše napredne tehnike s pomočjo plazme to težavo rešujejo in omogočajo hitro produkcijo nanodelcev z zelenimi lastnostmi v le nekaj sekundah ali minutah, pri čemer se proizvodni stroški znatno zmanjšajo. Foto: Arne Hodalič in Katja Bidovec

Partnerstva in mednarodno sodelovanje

MPŠ je zavezana mednarodnemu sodelovanju in tesnim povezavam z industrijo. Poleg ustanoviteljev in partnerjev šola sodeluje z vodilnimi evropskimi raziskovalnimi institucijami in industrijskimi partnerji.

MPŠ se vključuje v številne **mednarodne projekte**, vključno z **ERASMUS izmenjavami** in evropskimi raziskovalnimi konzorciji, kar omogoča študentom vpogled v globalne izzive in raziskave.

Porazdelitev študentov po nacionalnosti
Distribution of IPS Students by Nationality



Slika 9: Prikaz zemljevida sveta, na katerem so označene države izvora študentov MPŠ. Zemljevid spremlja krožni graf, ki prikazuje razmerje med domačimi in tujimi študenti. 36 % študentov prihaja iz tujine, 64 % pa je domačih (slovenskih) študentov. Rdeče pike ponazarjajo države, s katerimi ima MPŠ sklenjene formalne sporazume o sodelovanju. Te države predstavljajo ključne partnerje v mednarodnih izmenjavah in sodelovanju šole.

Obleženje 20. obletnice

Študentska konferenca

Konec maja (od 29. do 31. maja) so študentje na Morski biološki postaji (NIB) v Piranu organizirali Študentsko konferenco z naslovom *Two Decades of Discovery: Advancing Science and Solutions*. Kot je povedal predsednik Studentskega sveta Mark Zver, s tem dogodkom, ki je namenjen tudi predstavnikom iz industrije, študenti pridobijo dragocene izkušnje in vzpostavijo pomembne povezave za svojo prihodnost. »MPŠ je v zadnjih dveh desetletjih postala pomemben steber znanstvenega raziskovanja in izobraževanja v naši regiji. Skupaj smo ustvarili okolje,



Slika 10: Udeleženci 16. študentske konference Mednarodne podiplomske šole Jožefa Stefana (MPŠ), ki je letos potekala v prelepem obmorskem okolju Pirana. Foto: Radojko Jačimović

ki spodbuja radovednost, sodelovanje in odličnost v znanosti. Ponosni smo na vse naše dosežke in se veselimo nadaljevanja te bogate dediščine v prihodnjih letih,« je še dodal.

Konference, ki jih že vrsto let samostojno organizirajo študenti, so ključni del akademske izkušnje na MPŠ. Študenti prevzemajo odgovornost za celotno organizacijo, vključno s povabilom pokroviteljem, ki ne le finančno podpirajo dogodek, temveč so tudi aktivno vključeni v program. Konference omogočajo priložnosti za predstavitev raziskovalnih dosežkov, mreženje z mednarodnimi strokovnjaki ter krepitev raziskovalnih in komunikacijskih veščin. Skupno ustvarjanje teh dogodkov prispeva h gradnji močne in povezujoče skupnosti MPŠ, ki s svojim znanjem in inovacijami prispeva k reševanju sodobnih izzivov v znanosti in industriji.

Osrednja slovesnost

V veliki predavalnici Instituta "Jožef Stefan" je 20. junija potekala osrednja slovesnost, na kateri so bile podeljene nagrade in priznanja ter diplome novim doktorjem in doktoricam znanosti ter magistrim in magistricam. Priznanja za vrhunska zaključna dela so prejeli dr. Katarina Bačnik, dr. Arijana Filipič, dr. Rok Novak, dr. Ana Oberlintner in dr. Aljoša Vodopija, priznanje za izjemno strokovno delo pa prof. dr. Marina Dermastia. Na tej slovesnosti so bili prisotni tudi člani Alumni kluba, ki so spregovorili o izkušnjah in priložnostih, ki jih ponuja MPŠ.

Predsednik Alumni kluba dr. Rok Novak, ki je nedavno doktoriral na MPŠ, je dodal: »Verjamem, da je pristop MPŠ resnično usmerjen v prihodnost, saj združuje osredotočenost na potrebe posameznega študenta s spodbujanjem osebne odgovornosti.«

Dr. Boštjan Pečnik, alumnus MPŠ in vodja razvoja pri Gorenju, je izpostavil »tri glavne izzive, s katerimi se sooča slovenska industrija in ki jih je mogoče hitreje reševati z učinkovitim sodelovanjem z MPŠ: (1) inovacije na področju trajnostnega razvoja za globalno konkurenčnost; (2) avtomatizacija proizvodnih procesov za izboljšanje kakovosti in reševanje pomanjkanja delovne sile, (3) implementacija umetne inteligence za povečanje učinkovitosti procesov in zadovoljstva strank«. Ti izzivi se močno prekrivajo s strateškimi cilji MPŠ, saj šola načrtuje aktivno delo na teh področjih, da bi še naprej prispevala k napredku in reševanju sodobnih izzivov v industriji in znanosti.

Razstava na Gallusovem nabrežju

Vrhunec praznovanja se je zgodil 28. junija 2024 na Gallusovem nabrežju v Ljubljani ob odprtju razstave *20 let napredka v znanju in inovacijah* (<https://mp-s20let.si/razstava/>). Na razstavi so bile predstavljene fotografije priznanih fotografov **Arneja Hodaliča** in **Katje Bidovec**, ki so izpostavile ključne dosežke MPŠ in raziskovalno pot njenih študentov, ki že dve desetletji prispevajo k napredku znanosti in inovacij.

Druga družabna in strokovna srečanja

14. junija je Študentski svet MPŠ organiziral športno srečanje na Reaktorskem centru IJS, kjer so se študentje in profesorji pomerili v različnih igrah na prostem. Srečanje je bilo eno od srečanj, ki jih v tem letu mesečno organizirajo študentje z namenom povezovanja skupnosti.

Prispevek študentov je tako viden tudi v ustvarjanju inovacij, raziskovalnih rezultatov in pri gradnji akademske skupnosti, ki presega zgolj študijski program.



Slika 11: Razstava na Gallusovem nabrežju

Razstava je obiskovalcem ponudila vpogled v bogato zgodovino MPŠ ter uspehe študentov, ki so s svojimi inovativnimi raziskavami prispevali k mednarodnemu ugledu šole. Skozi fotografske zgodbe je bilo mogoče začutiti raziskovalni duh in strast študentov, ki so s svojim delom zaznamovali dve desetletji. Foto: Radojko Jačimović

V sklopu praznovanja 20. obletnice MPŠ je dogodek **Znanost na dveh kolesih** postal osrednji prispevek k obeležitvi te pomembne prelomnice. Ta *Urbani kolesarski laboratorij* je združil vse štiri študijske smeri šole ter jih skozi ocenjevanje mestnih kolesarskih poti postavil v praktičen raziskovalni okvir.

Dogodek, ki je potekal med kolesarjenjem od MPŠ na Jamovi cesti do Centra Rog, je vključeval študente in strokovne sodelavce šole, ki so zbirali podatke o onesnaženju zraka. Merili so koncentracijo trdnih delcev z nizkocenovnimi senzorji, kar je privedlo do neposrednih ugotovitev glede vpliva različnih kolesarskih poti na izpostavljenost onesnaženju. Namen dogodka je bil spodbuditi trajnostno mobilnost v urbanem okolju, ob tem pa omogočiti vpogled v učinkovitejše prilagajanje dnevnih poti.



Slika 12: Študenti MPŠ med dogodkom *Znanost na dveh kolesih* na kolesarskem cilju pred Centrom Rog. Foto: Bobo

Takšna praktična raziskovanja so ključni primer interdisciplinarnosti MPŠ, kjer se teorija neposredno prepleta z raziskovalno prakso, študentje pa pridobivajo neprecenljive izkušnje.

Usmerjanje v prihodnost z inovativnimi strateškimi cilji

Študenti MPŠ se ne izobražujejo zgolj za potrebe trenutne industrije, temveč so pripravljeni na prihodnost. Programi so zasnovani tako, da se spopadajo z izzivi, kot so **klimatske spremembe**, **digitalna preobrazba** in **trajnostni razvoj**. Na primer, program ekotehnologij vključuje predmete, povezane z obnovljivimi viri energije in krožnim gospodarstvom, medtem ko informacijske tehnologije pripravljajo študente na delo z umetno inteligenco in naprednimi algoritmi.

MPŠ si prizadeva doseči **šest ključnih strateških ciljev**, ki bodo vodili njen nadaljnji razvoj. Prvi cilj je zagotavljanje kakovostnega izobraževanja, kar vključuje nenehno izboljševanje izobraževalne ponudbe, uvajanje inovativnih pedagoških praks ter vključevanje povratnih informacij študentov, profesorjev in strokovnjakov.

Drugi cilj se osredotoča na spodbujanje akademskega uspeha z namenom povečanja uspešnosti študentov pri napredovanju in zaključevanju študija ter izboljšanja kakovosti in obsega raziskovalnih dosežkov na doktorski ravni.

Tretji cilj je povečanje internacionalizacije, medtem ko četrti cilj stremi k večji prepoznavnosti MPŠ. Ta cilja vključujeta krepitev prisotnosti šole na digitalnih platformah, povečanje vidnosti v medijih, organizacijo ključnih dogodkov ter privabljanje novih študentov in partnerjev prek strateškega komuniciranja.

Peti cilj poudarja pomen sodelovanja z okoljem, vključno z večjim sodelovanjem z ustanovitelji, raziskovalnimi in industrijskimi partnerji ter spodbujanjem novih partnerstev. Cilj je tudi krepitev mednarodnega sodelovanja za izboljšanje globalne prepoznavnosti šole in povečanje priložnosti za študente.

Šesti cilj je usmerjen v naslavljanje sodobnih družbenih izzivov. MPŠ se osredotoča na integracijo trajnostnih, digitalnih, zelenih in vključujočih praks v izobraževanje in raziskovanje ter spodbujanje družbene odgovornosti in okoljskih inovacij

Za doseganje teh ciljev je ključno tesno sodelovanje med ustanovitelji in partnerji šole. Odprtost in prilagodljivost študijskih programov, ki se odzivajo na potrebe posameznega študenta, je posebnost MPŠ. Poleg motiviranih študentov je uspešno delovanje šole rezultat predanosti akademskega zbora in mentorjev ter zlasti izjemne in učinkovite podpore administrativnih sodelavcev, katerih skupni trud in angažma zagotavljata napredek in uspeh MPŠ.

Več informacij o MPŠ.

- Nekaj zbranih dosežkov MPŠ študentov v prvih dekadi delovanja šole je zbranih v knjigi (https://www.mps.si/dokumenti/mps_knjiga_2014_final.pdf), še več dosežkov v drugi dekadi delovanja MPŠ pa je zbranih na (<https://mps20let.si/>)

- Več informacij o šoli je zbranih v samoevalvacijskih poročilih, ki so na spletni strani: https://www.mps.si/dokumenti/Povzetek_MPS_samoevalvacija_dejavnosti_2022-2023.pdf

prof. dr. Milena Horvat; dekanja MPŠ in vodja odseka za znanosti o okolju



NOVI PROJEKTI

HumAlne – hibridna podpora pri sprejemanju odločitev umetne inteligence za opolnomočenje ljudi v dinamičnih situacijah

Klemen Kenda, Odsek za umetno inteligenco (E-3); **Mateja Škraba**, Odsek za umetno inteligenco (E-3); in **Anja Polajnar**, Center za prenos znanja na področju informacijskih tehnologij (CT-3)

Ali lahko ljudje in umetna inteligenca sodelujejo v nenehno spreminjajočih se, nestrukturiranih okoljih? To je ključno vprašanje v svetu, kjer umetna inteligenca igra pomembno vlogo pri sprejemanju odločitev.

V tem kontekstu bo projekt HumAlne, ki ga financira program Obzorje Evropa, ustvaril operacijski sistem za sodelovanje med ljudmi in umetno inteligenco. Cilj projekta je omogočiti razvoj naprednih aplikacij za sprejemanje odločitev v različnih industrijskih sektorjih.

HumAlne je skupni projekt 17 partnerjev iz 12 držav, ki razvijajo nov operacijski sistem za boljše sodelovanje med človekom in umetno inteligenco. Konzorcij sestavlja pet univerz in raziskovalnih institucij iz EU ter 12 podjetij. Konzorcij vodi GFT ITALIA SRL, vključuje pa tudi partnerje, kot so Institut "Jožef Stefan" in Qlector iz Slovenije.

Cilj projekta je platforma HumAlne, ki bo usklajevala štiri prepletene komponente, ki ponujajo zmogljivosti aktivnega učenja (AL), nevrosimboličnega učenja, rojevskega učenja (SL) in razložljive umetne inteligence (XAI). Ti najsodobnejši pristopi postavljajo človeškega operaterja v središče, ponujajo popoln nadzor in razumevanje izvajanja operacij ter zagotavljajo brezhibno sodelovanje med ljudmi in umetno inteligenco.

Rezultat projekta bo platforma za napredno sprejemanje odločitev v dinamičnih okoljih v petih pilotnih sektorjih. Sistem bo preizkušen na področju pametne proizvodnje, pametnih mest, pametnih energetskih omrežij, pametnih financ in na področju pametnega zdravstva. HumAlne bo svojo platformo dopolnil s programom za usposabljanje in zgradil živahno skupnost zainteresiranih strani okoli nje, da bo spodbujal širšo uporabo rezultatov projekta.



Pri projektu v okviru Instituta "Jožef Stefan" sodelujeta Odsek za umetno inteligenco (E3) in Mednarodni center za umetno inteligenco (IRCAI), ki deluje pod okriljem UNESCO. E3 v okviru projekta razvija ontologije za rudarjenje podatkov za aktivno učenje, ki omogočajo pripravo semantičnih modelov, ki bodo zagotovili skupni jezik za ljudi in IT-sisteme. V okviru projekta E3 sodeluje tudi pri razvoju modela, ki bo zagotavljal interoperabilne storitve, ki omogočajo semantično sklepanje med podatki, ki jih proizvajajo ljudje in stroji med njihovimi interakcijami. Poleg tega E3 vodi delovni sklop, ki razvija tudi prototipni sistem aktivnega učenja, ki bo služil kot osnova za gradnjo projektnega modula aktivnega učenja v proizvodnih okoljih. IRCAI bo sodeloval pri razširjanju, promociji, izobraževanju in gradnji skupnosti za uporabo rezultatov projekta HumAlne.

Obvestilo o namestitvi avtomatskih zunanjih defibrilatorjev

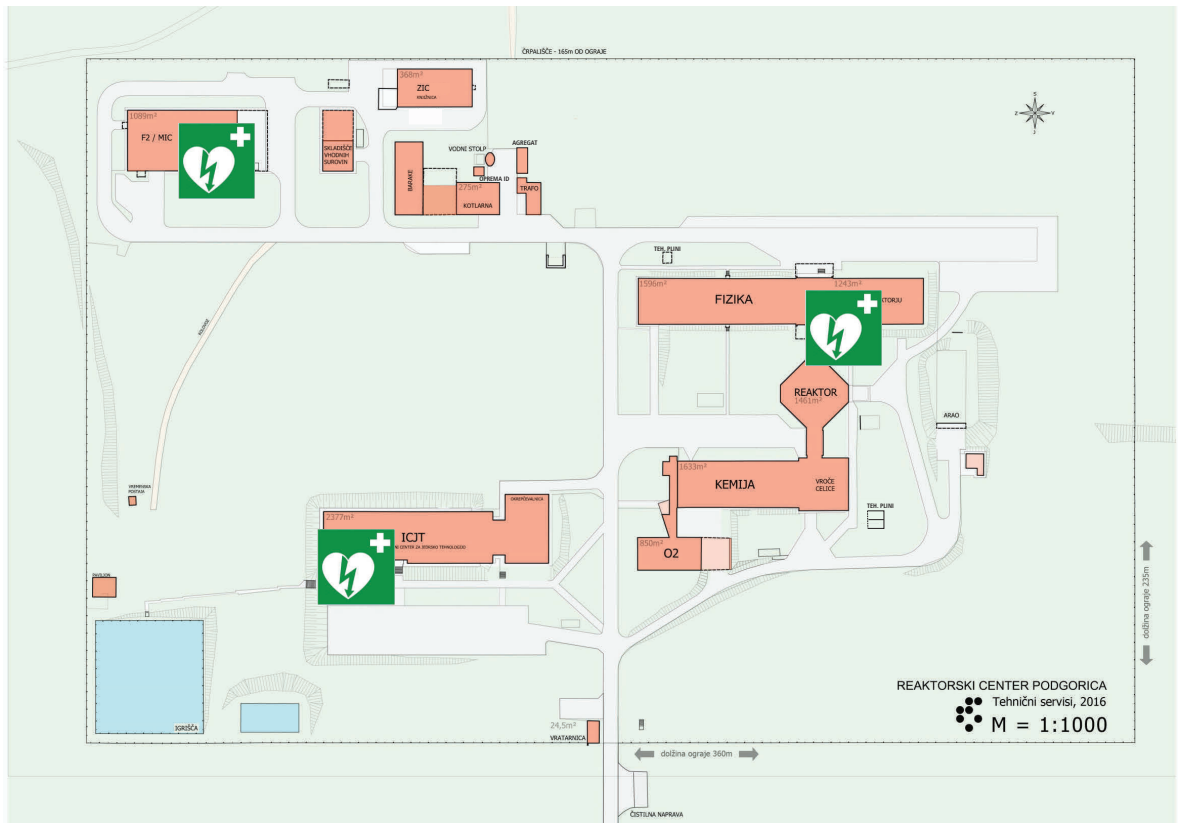
Erika Potrč Hribar, dipl. var. inž., **Ana Marija Horvat**, dipl. var. inž., in **mag. Bojan Huzjan**, Služba za varnost in zdravje pri delu IJS

Konec avgusta smo na lokacijah IJS na Jamovi 39 in na Reaktorskem centru namestili nove avtomatske zunanje defibrilatorje (AED), dodatna dva na vsako lokacijo. Na Jamovi 39 je AED v vratarnici in v pritličju Južnega prizidka. AED v vratarnici je vpisan v bazo AED Dispečerske službe zdravstva, ki so javno dostopni drugim morebitnim uporabnikom.

Na Reaktorskem centru sta AED nameščena v pritličju ICJT in pritličju MIC. Predhodno nameščeni AED na Jamovi je ostal pri varnostniku, vhod z Jamove, na RC pa v pritličju Fizike. Ker želimo, da je čim več sodelavcev seznanjenih z uporabo, smo izvedli tudi prikaz uporabe AED.



Shematski načrt lokacij nameščenih AED na Jamovi cesti



Shematski načrt lokacij nameščenih AED na Reaktorskem centru Podgorica

RAZISKAVE IJS

Neravnovesne in statistične lastnosti izoliranih kvantnih večdelčnih sistemov



Jan Šuntajs, Odsek za teoretično fiziko (F-1), IJS

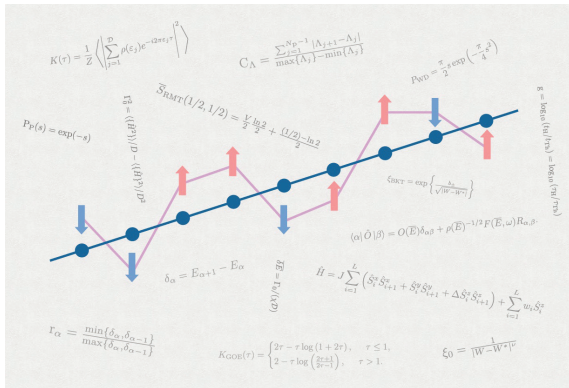
Prispevek je razširjen povzetek doktorskega dela, ki je bil nagrajen z zlatim znakom Jožefa Stefana za leto 2024.

Uvod

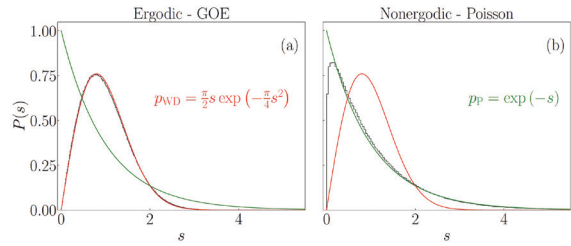
Če bi moral vsebino svoje doktorske disertacije na kratko strniti v enem vprašanju, bi se to najverjetneje glasilo: »Kakšna je usoda izoliranega kvantnega sistema, potem ko smo ga na tak ali drugačen način spravili v neravnovesno stanje?« Številni zgledi iz vsakdanjega življenja nas napeljujejo, da v klasičnih

sistemih tipično pričakujemo povratek proti ravnovesju, čemur pravimo tudi *termalizacija*, tovrstno obnašanje pa označujemo kot *ergodično*. Poučen in enostaven primer ergodičnega sistema lahko vsakodnevno opazujemo kar ob pripravi čaja, ko se vsebina skodelice po dovolj dolgem času enakomerno obarva – vsak drugačen razplet bi nas moral tudi

brez poznavanja osnov difuzije počeno presenetiti. Na kvantni ravni so me v doktorskem delu zanimali ravno protiprimeri tovrstnemu obnašanju, v katerih se molekule »kvantnega čaja« ne bi difuzivno razširile po skodelici; izkaže se, da se moramo na kvantni ravni na prej omenjena presenečenja hočeš-nočeš navaditi. Še posebej v neurejenih večdelčnih¹ sistemih, ki so bili glavni predmet mojih raziskav, kjer preplet meddelčnih interakcij in nerada vodi do zanimivih in pogosto nenavadnih pojavov, ki bi bili lahko uporabni denimo pri snovanju kvantnih spominskih naprav ali pri razvoju kvantnega računalništva.



Posebno pozornost smo pri svojih študijah namenili tako imenovanim prehodom z zlomom ergodičnosti (ang. *ergodicity breaking transitions* oziroma **EBT**) v večdelčnih kvantnih sistemih. Pri prehodih **EBT** lahko z ustreznim prilagajanjem modelskih parametrov lastnosti proučevanega sistema namreč spremenimo iz ergodičnih v neergodične oziroma obratno. Ker smo v naših raziskavah večinoma proučevali neurejene kvantne sisteme, smo tipično spreminjali stopnjo neurejenosti sistema, pri čemer smo poskušali z neredom ustrezno opisati nečistoče in nepravilnosti, ki so neizogibno prisotne v dejanskih (torej eksperimentalno merljivih) materialih, ki jih opisujejo naši poenostavljeni teoretični modeli. V pojasnitev osnovnih pojmov s področja dodajam, da kvantno ergodičnost pogosto opisujemo tudi z izrazom kvantni kaos, generični sistemi za študij tovrstnih pojavov pa so neintegrabilni kvantni siste-



Slika 2: Primer razlike med statističnimi lastnostmi energijskih spektrov ergodičnih (levo) in neergodičnih (desno) kvantnih sistemov. Prikazana je porazdelitev razmikov med energijami sosednjih energijskih nivojev, pri čemer numerične rezultate primerjamo z Wigner-Dysonovo (rdeča) in Poissonovo (zeleno) porazdelitvijo. Prva je značilna za ergodične, druga za neergodične sisteme.

mi s prisotnostjo meddelčnih interakcij. Shematsko takšne sisteme prikazuje slika 1, kjer nered simulirajo naključno izžrebane vrednosti potencialov na posameznih mestih.

Osnove kvantne ergodičnosti

Za razumevanje prehodov z zlomom ergodičnosti je ključno poznavanje osnov kvantnokaotičnih sistemov. V skladu z domnevo kvantnega kaosa (ang. *quantum chaos conjecture*) (Bohigas idr., 1984; Casati idr., 1980) definirajo kvantnokaotične sisteme značilne statistične lastnosti njihovih energijskih spektrov in pripadajočih lastnih stanj. To spoznanje temelji na ugotovitvah teorije naključnih matrik (ang. *random matrix theory* oziroma **RMT**) (D'Alessio idr., 2016; Mehta, 1991). Slednjo sta v petdesetih letih dvajsetega stoletja ob proučevanju energijskih spektrov kompleksnih atomskih jeder razvila Eugene Wigner in Freeman J. Dyson. Ugotovila sta namreč, da so njihove statistične lastnosti presenetljivo univerzalne in se ujemajo z lastnostmi spektrov naključnih matrik; pri tem smo privzeli, da slednje zadoščajo simetrijam proučevanega fizikalnega problema. V okviru tega prispevka se s podrobnostmi teorije **RMT** ne bomo ukvarjali. Zadoščalo bo namreč, da jo razumemo kot teoretični okvir, znotraj katerega lahko napovemo vrednosti različnih znanilcev kvantnega kaosa ter z njimi primerjamo svoje numerične rezultate. V splošnem velja: če se slednji ujemajo z napovedmi teorije **RMT**, potem proučevani sistem termalizira in se obnaša kaotično. V večini primerov implikacija velja tudi v obratni smeri – spektralne lastnosti termalizirajočih sistemov so v skladu z napovedmi teorije **RMT**. Primer različnega obnašanja spektralnih statistik v ergodičnem in neergodičnem sistemu je prikazan na sliki 2, kjer sta prikazani

¹ Kot večdelčne označujemo kvantne sisteme z meddelčnimi interakcijami; podobno neinteragirajoče sisteme označujemo kot enodelčne.

različni numerično izračunani porazdelitvi razmikov med sosednjimi energijskimi nivoji sistemov. Gre za enega preprostejših znanih kvantnega kaosa, zato je ponavadi med prvimi, s katerimi se srečamo ob spoznavanju s področjem.

Metode

Za izračun zgoraj omenjenih energijskih spektrov modelskih hamiltonk smo uporabili metodi polne ali delne točne diagonalizacije, s katerimi smo izračunali želeni nabor lastnih energij in lastnih stanj proučevanih sistemov. Pri izračunih smo tipično poviševali stopnjo neurejenosti sistema in opazovali, kako se statistične lastnosti energijskih spektrov odmikajo od ergodičnih proti neergodičnim. V numeričnih študijah večdelčnih kvantnih sistemov veliko praktično prepreko predstavlja eksponentna rast velikosti modelskih hamiltonk z naraščanjem števila delcev v sistemu. Ker slednja znatno omejuje nabor numerično dosegljivih sistemov, se moramo zateči k skalirni analizi. Zanima nas namreč, kako se izračunani rezultati obnašajo ob povečevanju velikosti proučevanih sistemov, zato skušamo opaženo obnašanje *smiselno* ekstrapolirati proti *termodinamski limiti* neskončnega sistema. Problem je posebej pereč v okolici prehodov **EBT**, kjer bi morali za nedvoumne trditve o (ne)obstoju prehoda proučevati sisteme, katerih velikosti daleč presegajo zmogljivosti današnjih klasičnih računalnikov. Obenem zaradi naključne narave nereda izračuni pri vsakem naboru modelskih parametrov zahtevajo tudi povprečenje po različnih realizacijah nereda (tipično med 100 in 1000 realizacij, odvisno od velikosti sistema).

Vse naštetu kaže, da gre za numerično intenzivne izračune, ki zahtevajo (večkratne) diagonalizacije hamiltonk z velikostmi do $D \approx 150.000$ (polna diagonalizacija) oziroma $D \approx 1.000.000$ (delna diagonalizacija), zato smo izračune izvajali na visokozmogljivih računskih gručah HPC VEGA in HPC RIVR MAISTER ter na odsečni gruči Odseka za teoretično fiziko (F-1) na Institutu "Jožef Stefan".

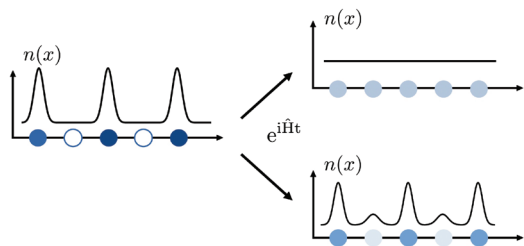
Rezultati

Interagirajoče verige spinov $\frac{1}{2}$ in morebitna odsotnost večdelčne lokalizacije

Med rezultati kot posebej pomembne izpostavljam tiste za enodimenzionalne verige spinov $\frac{1}{2}$ z meddelčnimi interakcijami in neredom. Ob majhnem neredu v takšnih sistemih pričakujemo ergodično

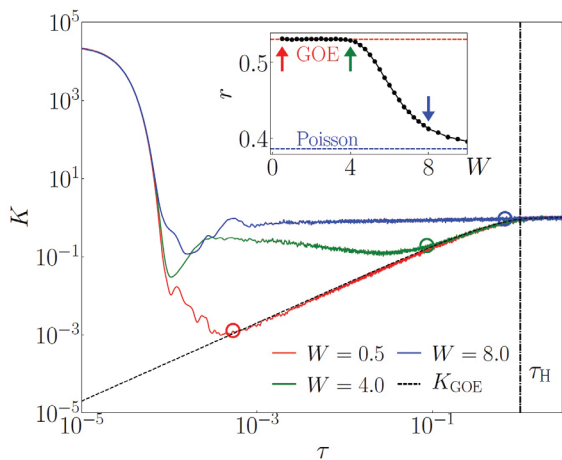
obnašanje, ob povečevanju nereda pa je bil zanje napovedan prehod v tako imenovano večdelčno lokalizirano (ang. *many-body localized* oziroma **MBL**) (Abanin idr., 2019; Sierant idr., 2024) fazo. Če tovrstno stanje dejansko obstaja, potem opisuje novo stanje snovi, namreč idealni izolator, ki ne prevaja toka niti pri neskončni temperaturi. Spektralne lastnosti sistemov **MBL** so bistveno drugačne od napovedi teorije **RMT**, pri čemer pa obstoj sistemov v termodinamski limiti do zdaj še ni bil nedvoumno potrjen. Dosedanje študije namreč navajajo tako trditve v prid kot proti njihovemu obstoju. Razliko med termalizirajočim sistemom in sistemom **MBL** shematsko prikazuje slika 3. Zamislimo si, da proučevani sistem pripravimo v skrajno neravnovesnem začetnem stanju, v katerem gostota delcev med sosednjimi mesti alternira – prvo mesto na verigi je zapolnjeno, naslednje prazno in tako naprej. V termalizirajočem sistemu se po dovolj dolgem času vzdolž sistema vzpostavi enakomeren gostotni profil, vrednosti lokalnih opazljivk pa izračunamo z uporabo ustreznih termodinamskih ansamblov. Kot torej vidimo na sliki 3, je v ergodičnem sistemu ravnovesno stanje popolnoma drugačno od začetnega. To ne drži v sistemih **MBL**, kjer lahko gostotni profil tudi po dolgem času ohrani spomin na netipičnost začetne konfiguracije. V doktorskem delu predstavljeni rezultati numeričnih analiz (Šuntajs idr., 2020b, 2020a) mečejo senco dvoma na obstoj faze **MBL** ter prehoda v proučevanih enodimenzionalnih spinskih verigah. Ob tem poudarjamo, da gre za vzorčne modele za proučevanje prehoda **EBT**, v katerih se je pred našimi študijami obstoj faze **MBL** zdel zelo verjeten. Medtem ko v *končnih* sistemih pri dovolj velikem neredu dejansko opazimo neergodično obnašanje, naši rezultati nakazujejo na možnost prevlade ergodičnosti nad lokalizacijo v termodinamski limiti *neskončnega* sistema. Našim študijam so sledile številne raziskave drugih avtorjev, in kot nakazujejo njihove nasprotujoče si ugotovitve, je trenutno usoda prehoda v termodinamski limiti še nejasna, hkrati pa vedno več študij navaja argumente, skladne z našimi, raziskovalno vprašanje obstoja faze **MBL** je torej ponovno odprto². Naši rezultati temeljijo na izračunu in analizi spektralnega oblikovnega faktorja (ang. *spectral form factor* oz. **SFF**), glej sliko 4, in metodi minimizacije cenilke (ang. *cost function minimization procedure*), ki smo jo razvili za iskanje optimalnih skalirnih rešitev v okolici prehodov v končnih sistemih. Kot nam je znano, gre za prvo uporabo izračuna **SFF** pri analizi prehodov **EBT** v sistemih z neredom in meddelčnimi interakcijami.

² V pregledu priporočamo (Sierant idr., 2024).



Slika 3: Shematski prikaz razlike med unitarnim časovnim razvojem izoliranega ergodičnega (zgoraj) in neergodičnega (spodaj) kvantnega sistema. Navkljub netipičnemu začetnemu stanju z alternirajočo gostoto delcev na enodimenzionalni kristalni mreži je končni gostotni profil v prvem primeru vzdolž sistema enakomeren. V drugem primeru sistem tudi po dolgem času ohranja spomin na netipično začetno konfiguracijo.

Uporabljene metode smo v nadaljevanju raziskav preverili tudi na preprostejših modelih, v katerih je (ne)obstoj prehoda med ergodično in neergodično fazo nedvoumno potrjen, kritični eksponenti prehoda pa so numerično izračunani z veliko natančnostjo. Gre za Andersonov model v treh (Šuntajs idr., 2021) in dveh dimenzijah (Šuntajs idr., 2023), ki opisuje gibanje neinteragirajočih delcev na kristalni rešetki ob

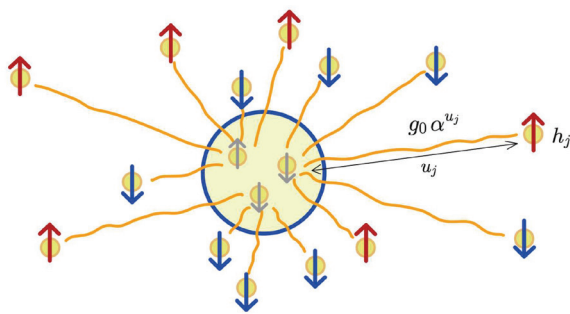


Slika 4: Spektralni oblikovni faktor (**SFF**) je spektralna statistika, ki ponuja vpogled v obnašanje sistema na njegovih različnih časovnih skalah. Črtna črta označuje teoretično napoved za ergodične sisteme, naraščajoče vrednosti parametra W pa označujejo naraščajočo stopnjo nereda v proučevanih sistemih. Krogi označujejo tako imenovani Thoulessov čas, po katerem postane obnašanje sistema skladno z napovedmi teorije **RMT**; pokončna črta označuje Heisenbergov čas oziroma najdaljšo fizikalno smiselno časovno skalo v končnem sistemu, pri čemer je v ergodičnih sistemih Thoulessov čas krajši od Heisenbergovega. Pri skalirni analizi nas je še posebej zanimala odvisnost Thoulessovega časa od velikosti sistema in parametra W .

prisotnosti naključnih potencialov. Rezultate naših metod smo primerjali s teoretičnimi napovedmi in rezultati obstoječih numeričnih izračunov ter med drugim pokazali, da metode, ki smo jih predhodno predstavili pri analizi večdelčnih sistemov, v preprostejših enodelčnih sistemih vračajo pričakovane rezultate.

Prehod v nič dimenzijah: model kvantnega sonca

Do zdaj sem opisal naše raziskave, ki so vodile do presenetljivih napovedi za modele z interakcijami, ter test in preizkus naših numeričnih metod na preprostejših in bolj razumljenih fizikalnih modelih. Nazadnje smo želeli najti še fizikalni model z meddelčnimi interakcijami, v katerem bi obstoj prehoda med ergodično in neergodično fazo lahko napovedali analitično, in ga nato lahko tudi nedvoumno numerično potrdili. Kot smo v Novicah IJS že pisali (glej leto 2022, Novice 203), nam je to uspelo z modelom kvantnega sonca (ang. *quantum sun*, glej sliko 5), ki smo ga predlagali kot vzorčni model za proučevanje



Slika 5: Shematski prikaz modela kvantnega sonca, ki smo ga v Novicah IJS že podrobneje predstavili.

prehoda EBT v sistemih z meddelčnimi interakcijami (Šuntajs & Vidmar, 2022). Gre za ničdimenzionalen model, ki sloni na formalizmu kvantnih plazov (ang. *quantum avalanches*) (De Roeck & Huvneers, 2017; Luitz idr., 2017). Ti opisujejo, kako lahko zaradi majhnih ergodičnih otokov znotraj dolgih verig lokaliziranih (neergodičnih) delcev celoten sistem postane ergodičen. Ob ustreznih pogojih se lahko namreč najbližji lokaliziran delec priključi ergodičnemu otoku; pravimo, da z njim hibridizira. Otok nato zraste, mi pa postopek ponovimo za naslednji najbližji spin, nato naslednjega in tako naprej. Pod primernimi pogoji se sproži plaz tovrstnih dogodkov in celoten sistem postane ergodičen. Podobno kot v enodimenzionalnih spinskih verigah smo tudi v modelu kvantnega sonca izvedli analizo **SFF**, pri čemer smo lahko tokrat natančno in nedvoumno določili kritično točko prehoda **EBT** že v numerično

dosegljivih sistemih. Model smo zato predlagali kot vzorčni model za proučevanje tovrstnih prehodov.

Literatura

1. Abanin, D. A., Altman, E., Bloch, I., & Serbyn, M. (2019). Colloquium: Many-body localization, thermalization, and entanglement. *Reviews of Modern Physics*, 91. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.91.021001>.
2. Bohigas, O., Giannoni, M. J., & Schmit, C. (1984). Characterization of Chaotic Quantum Spectra and Universality of Level Fluctuation Laws. *Phys. Rev. Lett.*, 52(1), 1–4. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.52.1>.
3. Casati, G., Valz-Gris, F., & Guarneri, I. (1980). On the connection between quantization of nonintegrable systems and statistical theory of spectra. *Lettere al Nuovo Cimento*, 28(8), 279. <https://doi.org/10.1007/BF02798790>.
4. D'Alessio, L., Kafri, Y., Polkovnikov, A., & Rigol, M. (2016). From quantum chaos and eigenstate thermalization to statistical mechanics and thermodynamics. *Advances in Physics*, 65(3), 239–362. <https://doi.org/10.1080/00018732.2016.1198134>.
5. De Roeck, W., & Huveneers, F. (2017). Stability and instability towards delocalization in many-body localization systems. *Phys. Rev. B*, 95(15), 155129. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.95.155129>.
6. Luitz, D. J., Huveneers, F., & de Roeck, W. (2017). How a small quantum bath can thermalize long localized chains. *Physical Review Letters*, 119(15). <https://doi.org/10.1103/physrevlett.119.150602>
7. Mehta, M. L. (1991). *Random Matrices and the Statistical Theory of Spectra*. Academic.
8. Sierant, P., Lewenstein, M., Scardicchio, A., Vidmar, L., & Zakrzewski, J. (2024). *Many-Body Localization in the Age of Classical Computing*.
9. Šuntajs, J., Bonča, J., Prosen, T., & Vidmar, L. (2020a). Ergodicity breaking transition in finite disordered spin chains. *Phys. Rev. B*, 102(6), 64207. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.102.064207>.
10. Šuntajs, J., Bonča, J., Prosen, T., & Vidmar, L. (2020b). Quantum chaos challenges many-body localization. *Physical Review E*, 102(6). <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.102.062144>.
11. Šuntajs, J., Prosen, T., & Vidmar, L. (2021). Spectral properties of three-dimensional Anderson model. *Annals of Physics*, 435. <https://doi.org/10.1016/j.aop.2021.168469>.
12. Šuntajs, J., Prosen, T., & Vidmar, L. (2023). Localization challenges quantum chaos in the finite two-dimensional Anderson model. *Physical Review B*, 107(6). <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.107.064205>.
13. Šuntajs, J., & Vidmar, L. (2022). Ergodicity Breaking Transition in Zero Dimensions. *Physical Review Letters*, 129(6). <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.129.060602>.

Ciljanje IL-6 z gensko spremenjeno bakterijo *Lactococcus lactis* s površinsko prikazanim vezalcem



Aleš Berlec, Abida Zahirovič, Odsek za biotehnologijo (B-3), IJS

Objava je razširjen povzetek članka *Targeting IL-6 by engineered Lactococcus lactis via surface-displayed affibody*, ki je bil objavljen v *Microbial Cell Factories*, 2022. doi članka: <https://doi.org/10.1186/s12934-022-01873-7>. Delo je nastalo v okviru programa P4-0127 in temeljnih projektov J4-9327 in N3-0184, ki ju je financirala Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije.

Prebavna mikrobiota predstavlja celoten nabor bakterij, kvasovk, virusov, arhej in evkariontov, ki v danem trenutku poseljuje prebavni trakt. Sestava mikrobiote se razlikuje v različnih delih prebavil in se s časom spreminja. Mikrobiota povprečno vključuje okoli 1000 različnih bakterijskih vrst, skupno število bakterijskih celic pa je 10^{13} – 10^{14} , kar presega število telesnih celic. Mikrobiota je ključnega pomena za zdravje organizma, saj sodeluje pri presnovi hranil, imunomodulaciji, zaščiti pred patogeni in pri ohranjanju celovitosti črevesne pregrade [1]. Porušenje sestave črevesne mikrobiote (disbioza) je povezano z različnimi boleznimi, vključno s kronično vnetno črevesno boleznijo (KVČB), katere glavna podtipa sta Crohnova bolezen in ulcerozni kolitis [2].

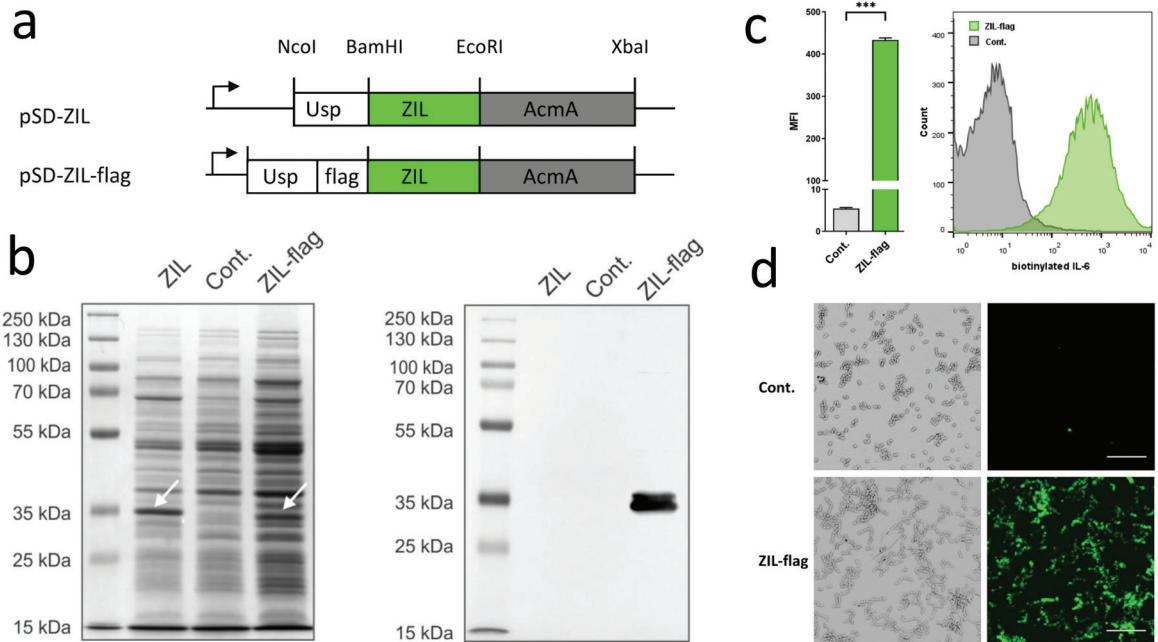
KVČB je posledica nepravilnega imunskega odziva, usmerjenega proti črevesni mikrobioti pri genetsko dovzetnih posameznikih. Pri patogenezi kronične vnetne črevesne bolezni imajo ključno vlogo provnetni mediatorji, citokini (npr. TNF, IL-6, IL-8, IL-17, IL-11, IL-18), ki spodbujajo prekomeren odziv imunskega sistema. Klinični simptomi bolezni vključujejo bolečino v trebuhu, drisko, izgubo teže in utrujenost, kar pomembno vpliva na kakovost življenja bolnikov. Zdravljenje običajno vključuje zmanjšanje vnetja z aminosalicilati, kortikosteroidi, imunomodulatorji in biološkimi zdravili. Za zdravljenje bolnikov, pri katerih s standardnimi zdravili ni možno doseči izboljšanja, so indicirana tarčna biološka zdravila, kot so zaviralci TNF (infliksimab, adalimumab, golimumab) in interleukina-12/23 (ustekinumab) [3]. Biološka zdravila so pomembno izboljšala klinične izide in se čedalje pogosteje uporabljajo, vendar problem še vedno predstavljajo neželeni učinki, ki se lahko pojavijo pri njihovi sistemski aplikaciji. Najpogostejši neželeni učinki so povečana dovzetnost za okužbe, alergijske reakcije in kožne lezije.

Poleg navedenih pristopov se kot potencialno dopolnilno zdravljenje za modulacijo črevesne mikrobiote in doseganje protivnetnih učinkov uporabljajo tudi probiotiki. Probiotiki, definirani kot živi mikroorganizmi, ki prinašajo koristi za zdravje gostitelja, naj bi pozitivno vplivali na sestavo mikrobiote, pomagali obnoviti homeostazo črevesja in omiliti simptome, vendar so dokazi o učinkovitosti probiotikov pri KVČB mešani, kar je verjetno posledica uporabe različnih vrst in sevov v različnih odmerkih in pomanjkljivih kliničnih študij ob uporabi prehranskih dopolnil [4]. Nadaljnjo pot razvoja kažejo kompleksne mikrobne mešanice, kakršne so bile pred kratkim registrirane kot zdravila za zdravljenje okužbe s *Clostridioides difficile* [5].

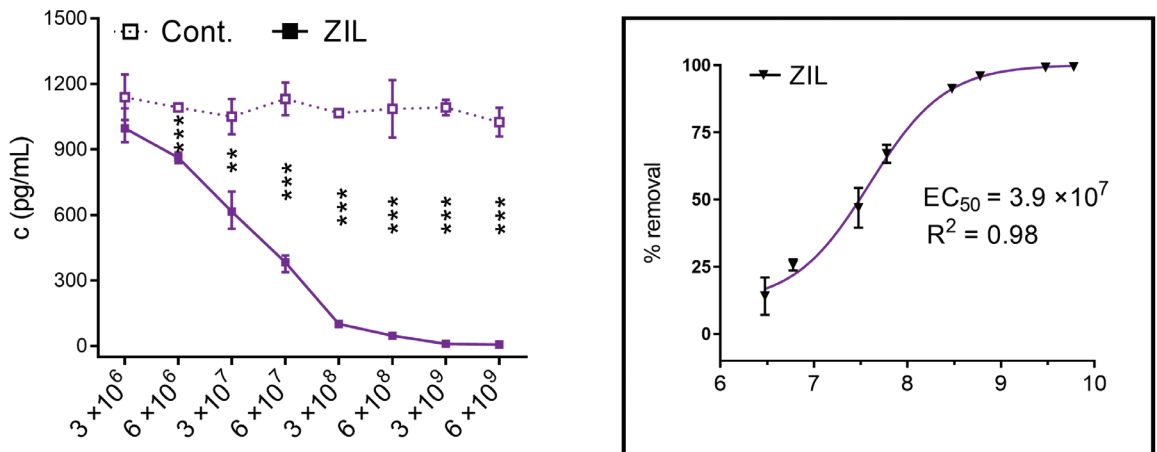
Drugo možnost razvoja, s katero se že več let ukvarjamo na našem odseku, predstavljajo tehnike sintezne biologije in gensko inženirstvo probiotikov, kar tem bakterijam omogoča, da pridobijo nove, ciljno terapevtske lastnosti. Rekombinantni probiotiki s sposobnostjo dostave protivnetnih citokinov (npr. IL-10) ali nevtralizacije provnetnih citokinov na mestu vnetja (npr. TNF) so bili preizkušani v kliničnih študijah na ljudeh [6] in predkliničnih študijah na živalih [7]. Kot že zgoraj omenjeno, eden večjih izzivov anticitokinskih terapij predstavljajo njihovi stranski učinki pri sistemski aplikaciji. Lokalna dostava proteinov s probiotičnimi mlečnokislinskimi bakterijami, kot je *Lactococcus lactis*, ki ščitijo vezalce pred razgradnjo v želodcu in dvanajstniku, zato predstavlja alternativno pot dostave.

V opisni raziskavi smo se osredotočili na provnetni citokin IL-6. Ta prispeva k patologiji KVČB s preprečevanjem apoptoze mukoznih limfocitov T, kar vodi do njihove akumulacije in nadaljevanja vnetja. Povišane ravni IL-6 so povezane z resnostjo in poslabšanjem bolezni. Obetavne rezultate so pokazala tudi monoklonska protitelesa proti IL-6 receptorju, ki so znatno izboljšala klinične izide pri bolnikih s Crohnovo boleznijo [8]. Ker bakterije ne omogočajo izražanja monoklonskih protiteles, smo uporabili majhen, visokozmogljiv proteinski vezalec ZIL, afitelo proti IL-6 [9].

Gen za ZIL smo v plazmidnem vektorju združili z genom za signalni peptid za izločanje Usp45 in sidrnim proteinom AcmA, da bi dosegli njegovo izločanje v gojišče in pritrnitev na bakterijsko površino (slika 1a). Fuzijski protein z ustrezno molekulsko maso (približno 35 kDa) smo zaznali v lizatu gostiteljskih celic po barvanju s Coomassie Blue in prenosom po westernu, medtem ko v celičnem lizatu kontrolnih celic proteina nismo zaznali (slika 1b). Da bi ugotovili, ali je vezalec IL-6 ZIL na površini bakterij in ali je funkcionalen, smo uporabili metodi pretočne citometrije in konfokalne mikroskopije. Površinsko lokalizacijo smo potrdili s protitelesi proti zaporedju flag (ki predstavlja del fuzijskega proteina), funkcionalnost pa z uporabo biotininiranega človeškega IL-6. Tako konfokalna mikroskopija kot pretočna citometrija sta pokazali, da *L. lactis* z izraženim ZIL lahko veže biotininiran IL-6, medtem ko pri kontrolni bakteriji ni bilo opaziti nobene vezave (slika 1). S pretočno citometrijo smo izmerili visoke vrednosti fluorescenčnega signala (povprečno intenziteto fluorescence) pri celicah *L. lactis* z izraženim ZIL z jasnim premikom v vrhu emisije (slika 1c), s konfokalno mikroskopijo pa smo zaznali posamezne celice



Slika 1: Izražanje, površinski prikaz in funkcionalnost IL-6-vezavnega afitelesa ZIL v *L. lactis*. (a) Genski konstrukti za izražanje ZIL. USP, gen, ki kodira signal izločanja; AcmA, gen, ki kodira C-terminalno domeno sidrnega proteina AcmA. (b) SDS-PAGE gel, obarvan s Coomassie Blue (levo), in prenos po westernu (desno) lizatov *L. lactis* s plazmidu pSD-ZIL, pSD-ZIL-flag ali praznim plazmidom pNZ8148. Potrditev vezave človeškega IL-6 na *L. lactis*, ki izraža vezalec ZIL, s (c) pretočno citometrijo in (d) konfokalno mikroskopijo.



Slika 2: Koncentracije rekombinantnega IL-6, določene z metodo ELISA, ki so ostale v raztopini po inkubaciji 1200 pg/mL IL-6 z različnimi koncentracijami *L. lactis* z izraženim ZIL ($3 \times 10^6 - 6 \times 10^9$ CFU/mL; levo). Krivulje za izračun koncentracije bakterijskih celic, potrebne za odstranitev 50 % rekombinantnega IL-6 iz raztopine (polovična maksimalna učinkovita koncentracija, EC₅₀), so bile določene z logističnim regresijskim modelom v programu GraphPad Prism (desno).

L. lactis z izraženim ZIL, ki so izkazovale močno fluorescenco (slika 1d).

V nadaljevanju smo ocenili sposobnost različnih koncentracij bakterij *L. lactis* za odstranitev različnih koncentracij IL-6 iz raztopine s testom ELISA. Stopnja odstranitve je korelirala s koncentracijo bakterijskih celic pri vseh testiranih koncentracijah

IL-6 in je bila statistično značilna pri 10^6 CFU/mL in več (slika 2). Ocenjena polovična maksimalna učinkovita koncentracija (EC₅₀) za *L. lactis* z izraženim ZIL je za rekombinantni IL-6 znašala 10^7 CFU/mL.

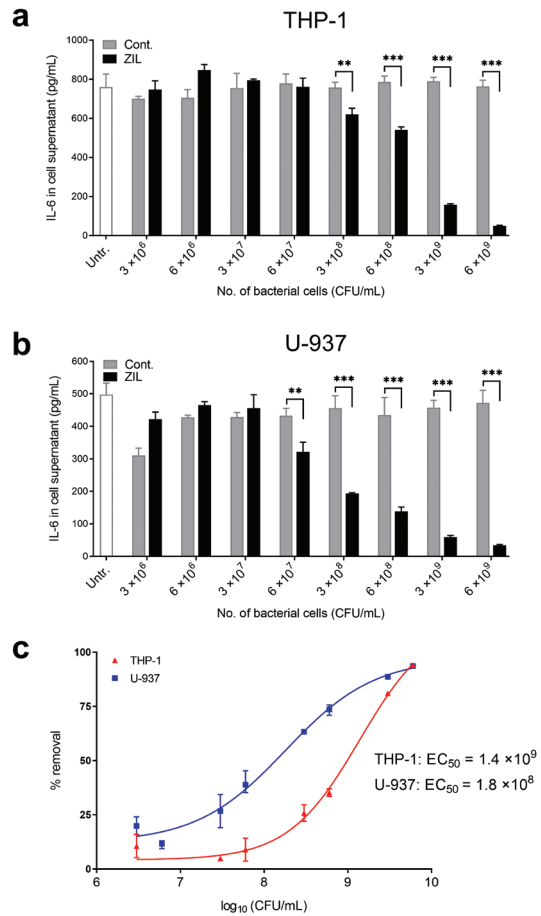
Rekombinantne bakterije *L. lactis* z izraženim ZIL so specifične samo za človeški IL-6, saj ne vežejo drugih človeških provnetnih citokinov (TNF, IL-17, IL-23 in IL-

8) ali mišjega IL-6, kar smo potrdili z metodo ELISA. Nazadnje smo ocenili še sposobnost odstranjevanja IL-6, ki ga izločajo imunske celice, povezane s patogenezo KVČB. V vneti sluznici pacientov s KVČB so makrofagi odgovorni za večino IL-6 aktivnosti [10]. Monocitne celične linije THP-1 in U-937 smo zato diferencirali v makrofagom podobne celice s PMA in sprožili izločanje IL-6 z LPS. Supernatante celičnih linij smo inkubirali z naraščajočimi koncentracijami gensko spremenjenih bakterij (od 3×10^6 do 6×10^9 CFU/mL) in delež odstranjenega IL-6 določili s testom ELISA. Odstranjevanje IL-6 je koreliralo s koncentracijo bakterijskih celic, statistično značilno pa je bilo že pri 6×10^7 CFU/mL (slika 3a in b). Odstranjevanje IL-6, sproščenega iz diferenciranih celic U-937, je bilo učinkovitejše, saj je bilo za odstranitev 50 % IL-6 potrebnih 10^8 CFU/mL *L. lactis*, medtem ko je bilo za odstranitev podobne količine IL-6, sproščenega iz diferenciranih celic THP-1, potrebnih desetkrat več celic (slika 3a in b). Pri najvišji testirani bakterijski koncentraciji (6×10^9 CFU/mL) so bakterije *L. lactis* odstranile več kot 90 % IL-6 iz supernatanta obeh celičnih linij.

Raziskava potrjuje, da so rekombinantne bakterije *L. lactis*, ki na površini izražajo majhen proteinski vezalec ZIL (afitelo proti IL-6), sposobne močne vezave in obsežne odstranitve IL-6 iz supernatanta makrofagom podobnih celic. *L. lactis* s površinsko prikazanim ZIL kaže bistveno boljše učinkovitost odstranjevanja citokina (odstranjevanje patoloških količin IL-6 z uporabo terapevtsko učinkovitih odmerkov probiotikov – 10^7 – 10^9 CFU/mg na dan) in večjo specifičnost v primerjavi s prej razvitimi sevi, ki vežejo citokine [11–14]. To potrjuje njihovo primerčnost za nadaljnji razvoj kot alternativno terapevtsko strategijo za zdravljenje KVČB.

Literatura

1. Thursby, E. and N. Juge, *Introduction to the human gut microbiota*. Biochem J, 2017. **474**(11): p. 1823–1836.
2. Xavier, R. J. and D. K. Podolsky, *Unravelling the pathogenesis of inflammatory bowel disease*. Nature, 2007. **448**(7152): p. 427–34.
3. Cai, Z., S. Wang, and J. Li, *Treatment of Inflammatory Bowel Disease: A Comprehensive Review*. Front Med (Lausanne), 2021. **8**: p. 765474.
4. Akutko, K. and A. Stawarski, *Probiotics, Prebiotics and Synbiotics in Inflammatory Bowel Diseases*. J Clin Med, 2021. **10**(11).
5. Bratkovic, T., et al., *New treatment approaches for Clostridioides difficile infections: alternatives to*

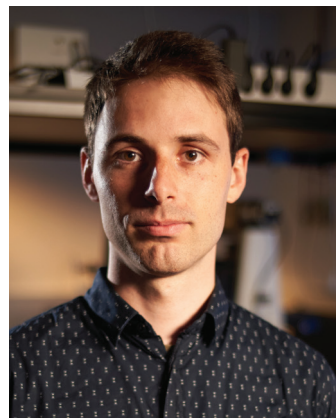


Slika 3: *L. lactis* z izraženim vezalcem ZIL odstrani IL-6, ki ga izločajo diferencirane celice THP-1 in diferencirane celice U-937, sorazmerno s koncentracijo bakterijskih celic. Koncentracije IL-6, določene z metodo ELISA, ki so ostale v supernatantih diferenciranih celic THP-1 (a) in diferenciranih celic U-937 (b) po inkubaciji z *L. lactis* z izraženim ZIL. Krivulje za izračun koncentracije bakterijskih celic, potrebne za odstranitev 50 % rekombinantnega IL-6 iz raztopine (polovična maksimalna učinkovita koncentracija, EC₅₀), so bile določene z logističnim regresijskim modelom v programu GraphPad Prism.

- antibiotics and fecal microbiota transplantation. Gut Microbes, 2024. **16**(1): p. 2337312.
6. Braat, H., et al., *A phase I trial with transgenic bacteria expressing interleukin-10 in Crohn's disease*. Clin Gastroenterol Hepatol, 2006. **4**(6): p. 754–9.
7. Berlec, A., et al., *Dextran sulphate sodium colitis in C57BL/6J mice is alleviated by Lactococcus lactis and worsened by the neutralization of Tumor necrosis Factor alpha*. Int Immunopharmacol, 2017. **43**: p. 219–226.

8. Atreya, R., et al., *Blockade of interleukin 6 trans signaling suppresses T-cell resistance against apoptosis in chronic intestinal inflammation: evidence in crohn disease and experimental colitis in vivo*. *Nat Med*, 2000. **6**(5): p. 583–8.
9. Yu, F., et al., *An affibody-adalimumab hybrid blocks combined IL-6 and TNF-triggered serum amyloid A secretion in vivo*. *MAbs*, 2014. **6**(6): p. 1598–607.
10. Mavropoulou, E., et al., *Association of serum interleukin-6 and soluble interleukin-2-receptor levels with disease activity status in patients with inflammatory bowel disease: A prospective observational study*. *PLoS One*, 2020. **15**(5): p. e0233811.
11. Kosler, S., B. Strukelj, and A. Berlec, *Lactic Acid Bacteria with Concomitant IL-17, IL-23 and TNFalpha- Binding Ability for the Treatment of Inflammatory Bowel Disease*. *Curr Pharm Biotechnol*, 2017. **18**(4): p. 318–326.
12. Plavec, T.V., et al., *Engineered Lactococcus lactis Secreting IL-23 Receptor-Targeted REX Protein Blockers for Modulation of IL-23/Th17-Mediated Inflammation*. *Microorganisms*, 2019. **7**(5).
13. Ravnikar, M., et al., *Engineered lactic acid bacterium Lactococcus lactis capable of binding antibodies and tumor necrosis factor alpha*. *Appl Environ Microbiol*, 2010. **76**(20): p. 6928–32.
14. Skrlec, K., et al., *Evasin-displaying lactic acid bacteria bind different chemokines and neutralize CXCL8 production in Caco-2 cells*. *Microb Biotechnol*, 2017. **10**(6): p. 1732–1743.

Nastavljivi izvori prepletenih fotonov v tekočih kristalih



Aljaž Kavčič^{a,b}, Vitaliy Sultanov^{c,d}, Emmanouil Kokkinakis^e, Nerea Sebastián^f, Maria V. Chekhova^{c,d}, Matjaž Humar^{a,b,g}

^a IJS, Odsek za fiziko trdne snovi (F-5), Ljubljana, Slovenija; ^b Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija; ^c Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Nemčija; ^d Max-Planck Institute for the Science of Light, Erlangen, Nemčija; ^e University of Crete, Heraklion, Grčija; ^f IJS, Odsek za kompleksne snovi (F-7), Ljubljana, Slovenija; ^g CENN Nanocenter, Ljubljana, Slovenija

Objava je razširjen povzetek članka *Tunable entangled photon-pair generation in a liquid crystal*, ki je bil objavljen v reviji *Nature*, 2024. doi članka: <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07543-5>

Uvod

Prepleteni fotoni predstavljajo kvantno stanje svetlobe, kjer par fotonov vedno nastopa kot neločljiva celota oziroma jih ni mogoče opisati ločeno. Medsebojno sta povezana tako, da merjenje stanja enega izmed njiju v trenutku vpliva na stanje drugega, ne glede na razdaljo med njima. Poleg same fenomenološke zanimivosti omenjenega procesa

prepleteni fotoni omogočajo realizacijo številnih kvantnih tehnologij, kot so kvantna komunikacija, kvantno računalništvo in kvantno meroslovje¹. Tipično se uporabljajo nelinearni kristali, v katerih prek procesa spontane parametrične pretvorbe (ang. spontaneous parametric down-conversion, SPDC) posamezni fotoni črpalnega laserja spontano razpa-

dejo na dva nižjeenergijska fotona, ki predstavljata prepleteni par².

Čeprav je bil proces SPDC odkrit pred več kot pol stoletja² in predstavlja enega ključnih ogrodiv kvantne optike, sami izvori v tem času niso doživeli bistvenih sprememb. Eno izmed njihovih ključnih omejitev predstavlja dejstvo, da nelinearne lastnosti, s katerimi je pogojen proces SPDC, določata orientacija in struktura materiala, ki je v trdnih kristalih fiksna, s tem pa je določeno tudi nastalo prepleteno stanje, ki ga torej ni mogoče nastavljivo spreminjati. V okviru te raziskave nam je uspelo razviti povsem nove izvore prepletenih fotonov, in sicer v tekočih kristalih (TK), kar predstavlja prvo demonstracijo tega pojava v kakršnikoli mehki ter nasploh organski snovi. Poleg tega, da so nelinearne lastnosti in s tem učinkovitost tvorbe prepletenih fotonov primerljive z najboljšimi obstoječimi izvori, je glavna prednost TK v tem, da je kvantno stanje para fotonov mogoče nastavljivo spreminjati. To je mogoče doseči z apliciranjem električnega polja ali pa z ureditvijo molekul TK v ustrezno konfiguracijo. Z zmožnostjo nastavljivega spreminjanja kvantnega stanja predstavljeni izvori odpirajo številne nove možnosti ter novo področje kvantnih virov z velikim praktičnim potencialom za kvantne tehnologije.

Rezultati

Tekoče kristale odlikujejo lastnosti, kot so velika optična dvolomnost, sposobnost samoureditve ter velik odziv na zunanje dražljaje (kot denimo električno polje)^{3,4}. Posledično so ključni materiali na področju manipulacije svetlobe in se uporabljajo v številne namene^{3,5}, najbolj znano v tekočokristalnih zaslonih. Nedavno je bila odkrita nova vrsta TK, tj. feroelektrični nematski tekoči kristali (FNTK)^{6,7}, ki se odlikujejo po veliki optični nelinearnosti, na račun česar bi lahko bili uporabni tudi na področju kvantne optike, kar smo uspešno dokazali v tem delu. Tvorba prepletenih fotonov, tako z vidika intenzitete kot njihovega kvantnega (polarizacijskega) stanja, je močno odvisna od strukture vzorca, ki jo je, za razliko od

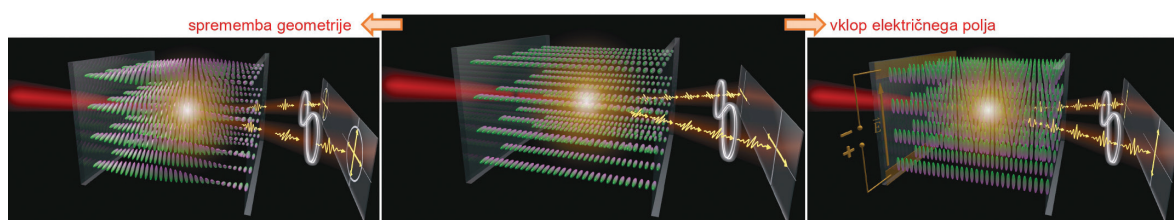
trdnih kristalov, možno spreminjati. To dosežemo z ureditvijo molekul v različne geometrije ali pa dinamično z vklapljanjem električnega polja (slika 1). Navedene lastnosti omogočajo visoko stopnjo nastavljivosti in manipulacije stanja prepletenih fotonov.

Generacija fotonovskih parov

Pare fotonov detektiramo z dvema občutljivima plazovnim fotodiodama, zmožnima zaznave posameznih fotonov. Ker je par prepletenih fotonov vedno ustvarjen istočasno, ga lahko zaznamo kot istočasni dogodek na obeh detektorjih (medtem ko fotoni iz ozadja prihajajo ob naključnih časih). Tovrstne koincidence predstavljajo jasen indikator prisotnosti fotonovskih parov. V danem primeru nam je uspelo realizirati tvorbo parov s frekvenco 1.5 kHz. Poleg intenzitete pa nas zanima tudi stanje prepletenega para oziroma fizikalne opazljivke, ki mu jih lahko pripišemo. To so med drugim pozicija, valovna dolžina in polarizacija. Tu se zanimamo predvsem za polarizacijsko stanje, ki je najpogosteje v ospredju pri meritvah in aplikacijah s prepletenimi fotoni. Polarizacijo fotona lahko enoznačno ponazorimo v bazi horizontalne (H) in vertikalne (V) polarizacije. V našem primeru opisujemo fotonovski par, kar pomeni, da je treba uporabiti dvodelčna bazna stanja, ki jih sestavimo iz enodelčnih, torej HH, HV in VV. Poljubno stanje opišemo kot kombinacijo navedenih baznih stanj. To kombinacijo z drugimi besedami imenujemo valovna funkcija stanja. V okviru tega dela rezultate ponazorimo z gostotno matriko, katere komponente predstavljajo kompleksne amplitude, ki nastopajo v valovni funkciji in jih lahko razumemo kot verjetnosti za detekcijo posameznih baznih stanj.

Spreminjanje stanja z geometrijo vzorca

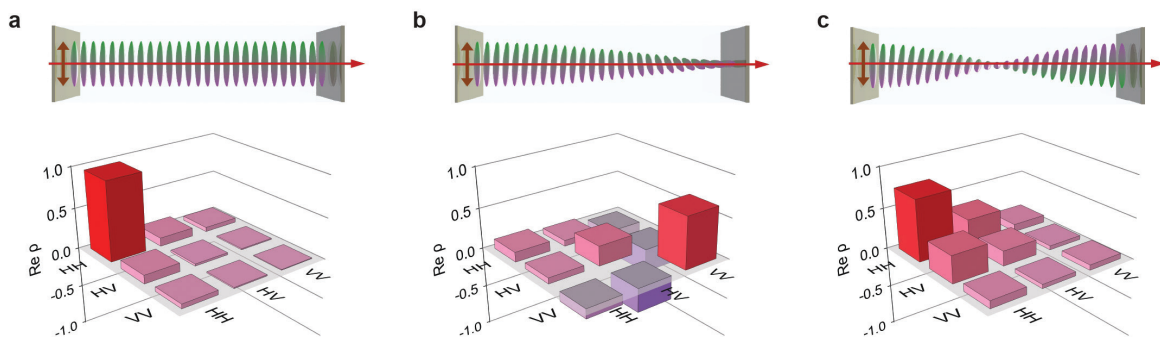
Na polarizacijsko stanje vpliva ureditev molekul v vzorcu. Na račun njihove dvolomnosti ter relativne orientacije vzdolž smeri propagacije se transformira tako polarizacija črpalnega laserja kot polarizacija tvorjenih parov. Interferenca slednjih prek celotne dolžine vzorca določa polarizacijsko stanje, ki ga



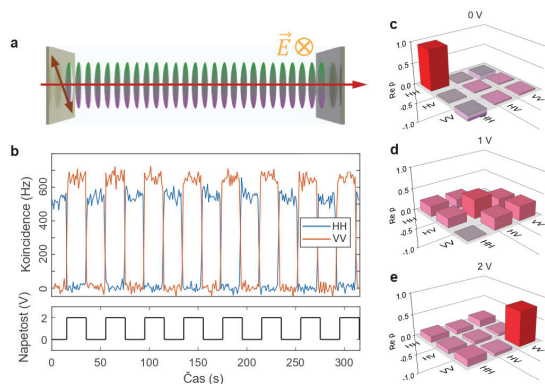
Slika 1: Temeljni koncept predstavljenega dela. Intenziteto in polarizacijsko stanje fotonovskih parov, tvorjenih v feroelektričnem tekočem kristalu, je možno nastavljivo spreminjati prek preusmeritve molekul z geometrijo vzorca ali vklapljanjem električnega polja.

detektiramo. Ureditev molekul je možno spreminjati na zelo enostaven način, in sicer prek t. i. sidranja na robovih, ki določa orientacijo molekul na obeh koncih vzorca. Relativna razlika v smereh sidranja povzroči deformacijo v obliki zasuka molekul vzdolž vzorca. S spreminjanjem kota zasuka lahko drastično spreminjamo polarizacijsko stanje parov fotonov, kot je prikazano na sliki 2.

polnega momenta molekul FNTK se te preferenčno uredijo v smeri električnega polja. S prižiganjem polja v smeri pravokotno glede na prvotno orientacijo molekul (slika 3a) lahko dinamično preklapljam med ortogonalnimi polarizacijskimi stanji para fotonov (slika 3b). Poleg intenzitet obeh ortogonalnih baznih stanj lahko z apliciranjem polja nastavljam tudi celotno polarizacijsko stanje. Z naraščajočo



Slika 2: Polarizacijsko stanje para fotonov za različne geometrije tekočega kristala v reprezentaciji realnega dela gostotne matrike. V vzorcu brez zasuka molekul (a) horizontalno polariziran črpalni laser ustvari bolj kot ne le pare s horizontalno polarizacijo (HH), v vzorcu z 90° zasukom (b) pretežno vertikalne (VV) ter delno tudi stanje HV, 180° zasuk molekul (c) pa privede stanje pretežno spet nazaj proti začetnemu stanju horizontalno polariziranih parov (HH).



Slika 3: Spreminjanje intenzitete in polarizacijskega stanja parov fotonov z električnim poljem. Uporabljen je vzorec brez zasuka z molekulami, orientiranimi v smeri, skladni z definicijo horizontalne polarizacije, poljem v pravokotni smeri in diagonalno polarizacijo črpanja (a). Izvor je mogoče izmenično preklapljati med ortogonalnima stanjema, tako da generira zgolj horizontalno ali pa zgolj vertikalno polarizirane pare (b). Meritev polarizacijskega stanja para fotonov ob odsotnosti polja (c). Prisotni so le horizontalno polarizirani pari (stanje HH). Pri napetosti 1V postane stanje bolj raznoliko (d), pri napetosti 2V pa preide v stanje ortogonalno začetnemu z obema fotonoma polariziranimi vertikalno (e).

Spreminjanje stanja z električnim poljem

Drugi način za spreminjanje stanja fotonskega para je z uporabo električnega polja. Zaradi velikega di-

jakostjo polja uspemo iz začetnega stanja, kjer sta oba fotona polarizirana horizontalno (HH), prek vmesnih raznolikih stanj priti vse do ortogonalnega stanja VV (slika 3c-e). Z uporabo električnega polja smo torej sposobni nastavljanja spreminjanja polarizacijskega stanja prepletene para, kar je ključni doprinos tovrstnih izvorov.

Zaključek

Izvori prepletenih fotonov, razviti v tem delu, pri- našajo številne novosti in prednosti v primerjavi z obstoječimi izvori predvsem z vidika široke fleksibilnosti ter zmožnosti spreminjanja in manipulacije kvantnega stanja, bodisi z določeno ureditvijo tekočega kristala ali pa z uporabo električnega polja. V prihodnje bi lahko njihovo uporabo razširili tudi z uvedbo kiralnih tekočih kristalov, katerih periodična struktura bi omogočala koherentno tvorbo parov prek daljših razdalj in s tem ojačitev signala, hkrati pa bi bilo s spreminjanjem dolžine periode omogoče- no še bolj široko in natančnejše spreminjanje stanja. Našteto potrjujejo tudi rezultati simulacij, razvitih v tem delu. Končno, s strukturirano (pikselirano) sestavo tekočokristalnih celic in elektrod bi se lahko v prihodnje razvili tekočokristalni zasloni z nastavljaljivimi kvantnimi lastnostmi, kar bi potencialno prineslo revolucijo na področju kvantnih izvorov svetlobe in kvantnih tehnologij.

Literatura

1. O'Brien, J., Furusawa, A. & Vučković, J. Photonic quantum technologies. *Nat. Photon.* **3**, 687 (2009).
2. Harris, S. E., Oshman, M. K. & Byer, R. L. Observation of tunable optical parametric fluorescence. *Phys. Rev. Lett.* **18**, 732–734 (1967).
3. Khoo, I.-C. *Liquid Crystals* (John Wiley & Sons, 2022).
4. de Gennes, P.-G. & Prost, J. *The Physics of Liquid Crystals* (Clarendon Press, 1993).
5. Wu, S.-T. & Yang, D.-K. *Fundamentals of Liquid Crystal Devices* (John Wiley & Sons, 2006).
6. Nishikawa, H. et al. A fluid liquid-crystal material with highly polar order. *Adv. Mater.* **29**, 1702354 (2017).
7. Mandle, R. J., Cowling, S. & Goodby, J. A nematic to nematic transformation exhibited by a rod-like liquid crystal. *Phys. Chem. Chem. Phys.* **19**, 11429–11435 (2017).

Laserji iz milnih in smektičnih mehurčkov



Zala Korenjak (F-5), Matjaž Humar (F-5), IJS

Objava je razširjen povzetek *Smectic and Soap Bubble Optofluidic Lasers*, ki je bil objavljen v *Physical Review X*, 2024. IF (2023) 11,6. doi članka: 10.1103/PhysRevX.14.011002.

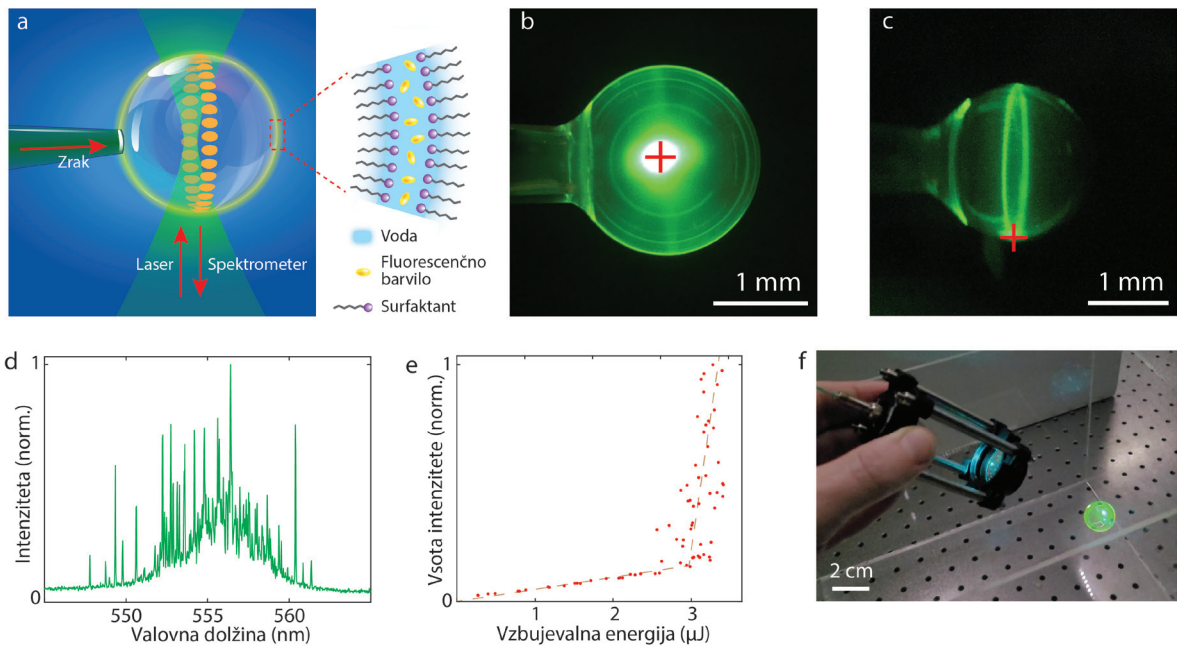
Verjetno smo vsi kot otroci občudovali pisane barve milnih mehurčkov, ki se dvigujejo v nebo. Kljub navidezni preprostosti imajo milni mehurčki mnogo zanimivih lastnosti, ki pritegnejo tudi pozornost raziskovalcev z različnih področij, vključno z matematiko, fiziko, kemijo in biologijo zaradi njihove podobnosti z biološkimi membranami. Raziskave milnih filmov in mehurčkov na področju fizike imajo dolgo zgodovino, znanstveno jih je proučeval že Isaac Newton v začetku 18. stoletja¹. Proučevali so interferenčne barve milnih mehurčkov, njihovo geometrijo in mehanske oscilacije ter premikanje in tok milnice, našo pozornost pa je pritegnilo predvsem nedavno odkritje razvejanega toka svetlobe² (ang. branched flow), pri katerem se žarek, ki potuje po milnem filmu, razveja v več filamentov zaradi nepravilnosti v milnem filmu. Naša ideja je bila, da bi milni mehurček uporabili kot laser, na podoben način, kot delujejo mikrolaserji iz trdnih kroglic ali kapljic z ojačanjem WGM optičnih načinov³. Delo

se je začelo kot študentski projekt iz zanimanja, ali je sploh mogoče narediti milne mehurčke, ki bi oddajali lasersko svetlobo. Po začetni optimizaciji stabilnosti mehurčkov in zmanjšanju njihove velikosti se je izkazalo, da milni mehurčki res lahko delujejo kot laserji. V naslednjem koraku smo za izdelavo mehurčkov uporabili smektične tekoče kristale, ki imajo nekaj edinstvenih lastnosti, ki jih razločujejo od navadnih milnih mehurčkov. Takšni smektični mehurčki imajo popolnoma enakomerno debelino stene in najpomembneje, so izredno stabilni. To se je odražalo tudi v spektru izsevane laserske svetlobe, s pomočjo katere smo lahko spremljali izredno majhne spremembe velikosti mehurčkov. To je omogočilo uporabo smektičnih mehurčkov kot zelo občutljivih senzorjev količin, ki spremenijo njegovo velikost oziroma obliko, v našem primeru električnega polja in tlaka.

Za demonstracijo emisije laserske svetlobe v milnih mehurčkih smo uporabili milimetrške milne mehurčke, z dodanim fluorescenčnim barvilom, napihnjene na koncu tanke kapilare (slika 1a). Da smo ustvarili milne mehurčke, smo konec kapilare pomočili v milnico in počasi povečali pritisk v kapilari. Velikost mehurčka smo lahko pozneje spremenili, da smo dosegli željeno velikost (v obsegu 0,4–4 mm). Na podlagi interferenčnih barv mehurčka v odbiti svetlobi smo določili tipično debelino milnega filma (100–800 nm), ki se je s časom počasi spreminjala. Ko smo mehurček osvetljevali s pulznim laserjem, je oddajal lasersko svetlobo. Laserji, narejeni iz mehurčkov, delujejo na principu ojačanja optičnih resonanc, ki jim pravimo whispering gallery modes (WGM). Te optične resonance nastanejo, ko je svetloba ujeta v resonatorju krogelne oblike zaradi večkratnega totalnega odboja na meji med resonatorjem in okolico ter kroži blizu površine resonatorja. Da pride do resonance, mora biti optična pot svetlobe po obodu resonatorja večkratnik valovne dolžine te svetlobe. WGM resonance tako lahko v približku opišemo z enačbo $2\pi r n_{\text{eff}} = l\lambda$, kjer je r polmer mehurčka, n_{eff} efektivni lomni količnik, λ valovna dolžina in l azimutalno valovno število resonančnega načina. Če smo osvetljevali sredino mehurčka, je bila laserska svetloba generirana v vseh vertikalnih ravninah, razen v tistih, ki so sekale kapilaro. To je bilo vidno

kot svetel rob mehurčka (slika 1b). Pri osvetljevanju roba mehurčka pa se je pojavil tanek svetel obroč, ker se je svetloba generirala preferenčno v eni ravnini (slika 1c). V spektru izsevane svetlobe so bile prisotne ostre spektralne črte (slika 1d). Prav tako smo opazili jasen prag emisije laserske svetlobe pri povečevanju energije črpalnega žarka (1e). Pri tipičnih debelinah milnih mehurčkov so bili poleg osnovnih TE in TM resonančnih načinov prisotni tudi višji redi. V spektru izsevane svetlobe vrhovi niso bili enakomerno razmaknjeni, najverjetneje zaradi velikega števila možnih resonančnih načinov in nepravilnosti v milnem filmu. Z vsakim laserskim pulzom se je spekter tudi rahlo spreminjal, kar je posledica kombinacije sprememb velikosti mehurčka, njegove debeline in lomnega količnika. Poleg mehurčkov, pritrjenih na konec kapilare, so lasersko svetlobo oddajali tudi prosto lebdeči milni mehurčki. Mehurčke smo spustili v prozorno plastično posodo, napolnjeno z ogljikovim dioksidom, da so plavali na površini CO_2 . Osvetljevali smo jih z laserskim žarkom, ki smo ga prek optičnega vlakna in leče fokusirali na mehurček (slika 1f), ustvarjeno lasersko svetlobo pa smo zbrali prek iste leče in vlakna.

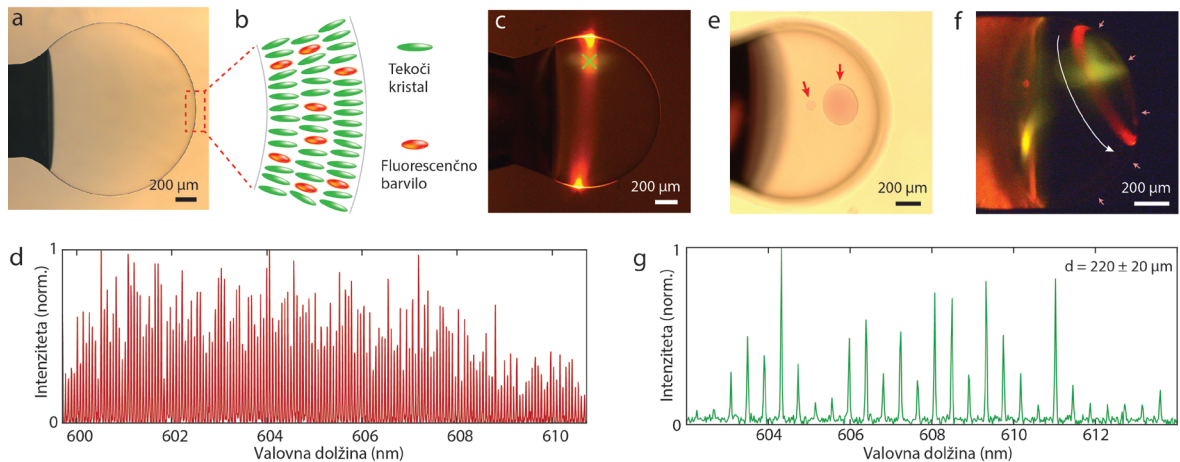
Za večjo kontrolo debeline in lomnega količnika filma smo uporabili mehurčke, izdelane iz smektičnih tekočih kristalov 8CB. Molekule tekočih kristalov



Slika 1: a) Shema eksperimentalne postavitve milnega mehurčka in sestave milnega filma. b) Milni mehurček, osvetljen na sredini (rdeč križ) s svetlim robom, in c) milni mehurček, osvetljen na robu z lasersko svetlobo, generirano v tankem obroču. d) Tipičen emisijski spekter milnega mehurčka. e) Intenziteta oddane laserske svetlobe kot funkcija energije sunkov vzbujevalnega laserja, iz katere je dobro viden prag delovanja. f) Prosto lebdeč mehurček, osvetljen s črpalnim laserjem, ki oddaja lasersko svetlobo.

v smektični fazi tvorijo plasti, zato je debelina smektičnih filmov kvantizirana in je torej enaka večkratniku debeline ene plasti oziroma dolžine ene molekule (slika 2b). Posledica plastovite zgradbe je velika stabilnost ter majhna in konstantna debelina filma (le 30–120 nm) prek celotnega smektičnega mehurčka, kar lahko opazimo tudi s slike smek-

tičnega mehurčka v prepuščenem svetlobi. Ker je spekter izsevane laserske svetlobe odvisen od velikosti mehurčka, lahko spremembe v velikosti izmerimo s sledenjem premikov laserskih vrhov v spektru (slika 3a). Relativna sprememba velikosti mehurčka je približno enaka relativnemu premiku valovne dolžine spektralnega vrha: $\Delta d/d \approx \Delta \lambda/\lambda$. Iz meritve velikosti mehurčka vidimo, da se je velikost



Slika 2: a) Smektični mehurček v prepuščenem svetlobi. b) Shema molekularne strukture filma. c) Slika smektičnega mehurčka, ki oddaja lasersko svetlobo. d) Enakomerno razmaknjeni vrhovi v emisijskem spektru smektičnega mehurčka s premerom 1,75 mm. e) Dva smektična otoka (označena s puščicama) na mehurčku. f) Slika smektičnega otoka, ki oddaja lasersko svetlobo, kar je vidno kot svetel rdeč obroč (bela puščica) na površini mehurčka (rdeče puščice). g) Laserski spekter smektičnega otoka.

tičnega mehurčka v prepuščenem svetlobi (slika 2a). Tudi smektični mehurčki, dopirani z barvilom, so ob vzbujanju s pulznim laserjem oddajali lasersko svetlobo, kar je bilo vidno kot svetel obroč z dvema svetlejšima pikama na robu (slika 2c). Ker je smektični film izredno tanek in optično dvolomen, obstaja le en resonančni način, ki ga opazimo v izsevani laserski svetlobi iz smektičnih mehurčkov. Emisijski spekter laserske svetlobe je posledično zelo pravilen, z enakomerno razmaknjenimi spektralnimi črtami (slika 2d). Ko smo volumen mehurčka povečali ali zmanjšali zelo hitro, so se lahko pojavili stabilni okrogli plavajoči otoki, to so področja mehurčka z večjo debelino smektičnega filma⁴ (slika 2e). Otoki so bili veliki od nekaj mikrometrov do velikosti, ki so zavzemale polovico mehurčka. Če smo z vzbujevalnim laserjem posvetili na rob otoka, smo v spektru oddane svetlobe zaznali periodične spektralne črte, ki so ustrezale laserski svetlobi. Oddana laserska svetloba je bila posledica kroženja svetlobe po obodu otoka, kjer so nastali WGM resonančni načini. To se je videlo tudi kot svetel obroč svetlobe na robu otoka (slika 2f). Tudi laserska svetloba, oddana iz smektičnih otokov, je vsebovala stabilne periodične spektralne vrhove (slika 2g).

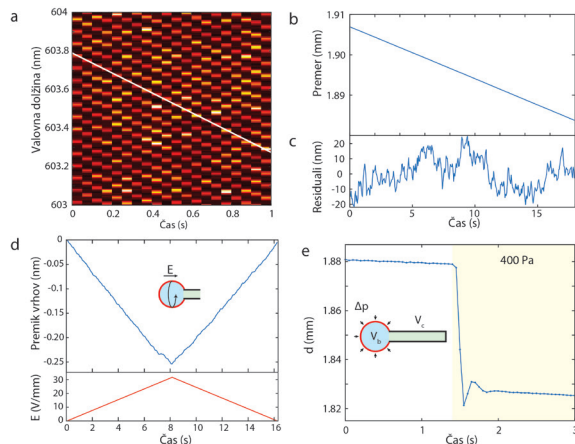
mehurčka s časom počasi zmanjševala (slika 3b). To je posledica difuzije zraka prek zelo tanke stene mehurčka⁵. Hitrost zmanjševanja za mehurček s premerom 1,9 mm je bila 1,1 $\mu\text{m/s}$. Če meritve zmanjševanja velikosti modeliramo s funkcijo, ki opisuje zmanjševanje mehurčka zaradi difuzije zraka in prilagojeno krivuljo odštevanja od meritev, dobimo odstopanja (residuali) so zelo majhna, s standardno deviacijo samo 10 nm. To pomeni, da lahko z našo metodo izmerimo spremembe velikosti mehurčka, ki so velike komaj 10 nm, kar je 10.000-krat manj od debeline človeškega lasu. Če upoštevamo velikost mehurčka (~ 2 mm), to ustreza izjemno dobri relativni natančnosti 5×10^{-6} .

Smektični mehurčki so zelo mehki in občutljivi na zunanje vplive, ki lahko spremenijo njihovo velikost in obliko. Ker lahko spremembe velikosti zelo natančno merimo prek izsevane laserske svetlobe, so lahko laserji iz smektičnih mehurčkov odlični senzorji. Smektične mehurčke smo uporabili kot senzorje električnega polja in laserske izvore, ki jih lahko uglašujemo z električnim poljem. Že napetost, manjša kot 1 V, med stranema mehurčka je mehurček deformirala do te mere, da smo lahko v spektru

laserske svetlobe zaznali premik vrhov (slika 3d). Najmanjše merljivo električno polje, določeno iz občutljivosti meritve in šuma, je bilo 110 V/m, kar je približno enako električnemu polju v zraku na jasen dan. Ta občutljivost je boljša ali primerljiva z drugimi mikrodetektorji statičnega električnega polja, vključno s senzorji, ki temeljijo na mikromehaničnih sistemih⁶, piezoelektričnih⁷ in optičnih komponentah⁸ ter točkovnih NV- defektih v diamantih⁹.

Stisljivosti zraka v mehurčku in zmožnost zelo natančnega merjenja velikosti omogočata, da mehurčke uporabljamo tudi kot senzorzorje tlaka. Relativni premik spektralnih črt $\Delta\lambda$ pri spremembi tlaka Δp je enak $\Delta\lambda/\lambda \approx -\Delta p/3p_0$, kjer je p_0 začetni, atmosferski tlak. Občutljivost ni odvisna od velikosti mehurčka in je več redov velikosti večja od do zdaj izmerjenih občutljivosti z WGM mikroresonatorji, kot so na primer votle polimerne sfere¹⁰ in stekleni mikromehurčki¹¹. Delovanje smektičnih mehurčkov kot senzorzorjev tlaka smo preizkusili tako, da smo tlak okrog mehurčka, ki je bil v zatesnjeni posodi, kontrolirano spreminjali in s pomočjo spektrov izsevane laserske svetlobe spremljali spremembo velikosti mehurčka. Ko smo zunanji tlak povečali na 400 Pa nad atmosferski tlak, se je premer mehurčka zmanjšal za 52 μm (slika 3e). V vseh eksperimentih je bil mehurček povezan s kapilaro, kar je dodalo k mehurčku dodaten fiksen volumen zraka. Ker je večji volumen zraka lažje stisniti, je to pripomoglo k povečanju občutljivosti na spremembo tlaka. Izkazalo se je, da bi pri povečevanju dodatnega volumna v kapilari proti kritičnemu volumnu, kjer mehurčki kolapsirajo, lahko v principu dosegli poljubno veliko občutljivost. Za prosto stoječ mehurček (brez dodatnega volumna v kapilari) je najmanjši merljivi tlak enak 1,5 Pa, medtem ko je največji pozitivni tlak enak skoraj 100 barov. Posledica tega je izjemno velik dinamični razpon, to je razmerje med največjim in najmanjšim merljivim tlakom. Te vrednosti močno presegajo zmogljivosti najboljših senzorzorjev tlaka primerljive velikosti^{12,13}. Predvsem dinamični razpon mehurčkov je več redov velikosti večji kot pri drugih mikrosenzorzorjih tlaka, razvitih do zdaj. Prednost smektičnih mehurčkov pred drugimi senzorzorji, ki so sestavljeni iz trdnih komponent, je tudi, da je smektični film zelo mehek in je v principu neskončno raztegljiv, raztegljivost materiala pa se tudi ohranja.

V delu smo prikazali, da lahko milni in smektični mehurčki oddajajo lasersko svetlobo. Smektične in milne mehurčke smo dopirali s fluorescenčnimi barvili in jih vzbujali s sunkovnim laserjem. V izmerjenih spektrih oddane laserske svetlobe iz smektičnih



Slika 3: a) Laserski spekter smektičnega mehurčka v času. Z belo črto je označen premik vrha s časom zaradi zmanjševanja mehurčka zaradi difuzije zraka. b) Sprememba velikosti mehurčka, izmerjena s sledenjem vrhov v (a). c) Odstopanja od teoretične krivulje za zmanjševanje mehurčka zaradi difuzije zraka. d) Premik laserskih vrhov, ko spreminjamo električno polje, v katerem je mehurček. e) Sprememba velikosti mehurčka, izmerjena s pomočjo spektra laserske svetlobe, ko smo povečali tlak okoli mehurčka.

mehurčkov so bili značilni enakomerno razmaknjeni vrhovi. V primerjavi s trdnimi mikroresonatorji in mikroresonatorji iz kapljic so mehurčki narejeni iz zelo tankega kapljeviskega filma. Posledica tega so edinstvene optične in mehanske lastnosti mehurčkov. Zaradi teh lastnosti so mehurčki uporabni za veliko različnih aplikacij. Velika občutljivost na zunanje dejavnike in zmožnost zelo natančnega merjenja sprememb velikosti omogočajo uporabo mehurčkov kot senzorzorjev električnega polja in tlaka z ekstremno visoko občutljivostjo, resolucijo in dinamičnim razponom. V prihodnje bi lahko mehurčke uporabili kot senzorzorje še kakšnih drugih količin, ki spreminjajo obliko ali velikost mehurčka, kot na primer zvok ali magnetno polje ter v raziskavah tankih filmov in osnovnih pojavov, kot je na primer optomehanika optičnih votlin¹⁴.

Literatura

1. C. Isenberg; The Science of Soap Films and Soap Bubbles, 1978, Tieto, Clevedon, England.
2. A. Patsyk, U. Sivan, M. Segev, M. A. Bandres; Nature 2020, vol. 583, 60.
3. J. M. Ward, N. Dhasmana, S. N. Chormaic; Eur. Phys. J. Special Topics 2014, vol. 223, 1917.
4. R. Stannarius, C. Cramer; Europhys. Lett. 1998, vol. 42, 43.
5. Y. Ishii, Y. Tabe; Eur. Phys. J. E 2009, vol. 30, 257.
6. Z. Han, J. Hu, L. Li, J. He; Engineering 2022, vol. 24, 184.

7. F. Xue et al.; IEEE Transactions on Industrial Electronics 2019, vol. 67, 551.
8. B. Zhang et al.; High Volt. 2021, vol. 6, 608.
9. F. Dolde et al.; Nat. Phys. 2011, vol. 7, 459.
10. T. Ioppolo, M. V. Ötügen; J. Opt. Soc. Am. B 2007, vol. 24, 2721.
11. R. Henze, T. Seifert, J. Ward, O. Benson; Opt. Lett. 2011, vol. 36, 4536.
12. E. Vorathin, Z. Hafizi, N. Ismail, M. Loman; Opt. Laser Technol. 2020, vol. 121, 105841
13. M. Chen, W. Luo, Z. Xu, X. Zhang, B. Xie, G. Wang, M. Han; Nat. Commun. 2019, vol. 10, 4024
14. M. Aspelmeyer, T. J. Kippenberg, F. Marquardt; Rev. Mod. Phys. 2014, vol. 86, 1391

»Menjava molekularne identitete« fluorescenčnih barvil zaradi uporabe visoke laserske moči v konfokalni in superločljivi mikroskopiji



Boštjan Kokot, Iztok Urbančič, Laboratorij za biofiziko, Odsek za fiziko trdne snovi (F-5), IJS

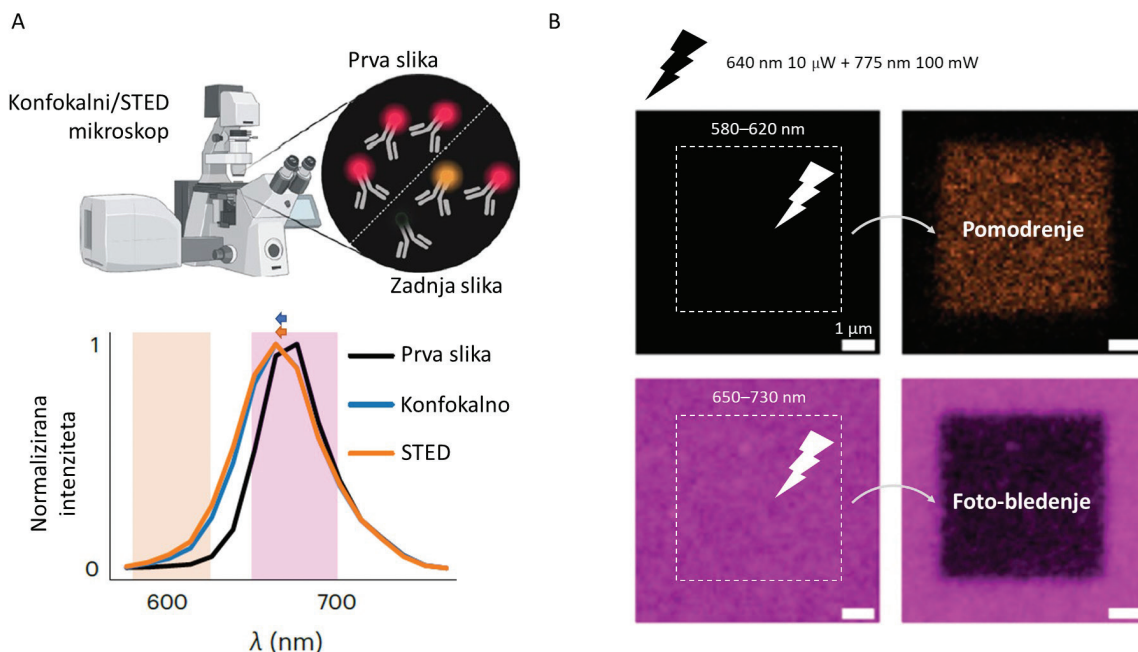
Objava je razširjen povzetek članka *Effects and avoidance of photoconversion-induced artifacts in confocal and STED microscopy*, ki je bil objavljen v reviji *Nature Methods* 2024. IF 36 (I. 2023). doi članka : <https://doi.org/10.1038/s41592-024-02297-4>. Delo je bilo sofinancirano v okviru projekta ARIS J7-2596 in programa P1-0060.

Fluorescenčna mikroskopija je ena redkih tehnik, ki omogoča opazovanje živih celic in v bolj naprednih izvedbah doseže ločljivosti vse do 1 nm^{2,3}. Osnova tehnike je pojav, imenovan fluorescenca, pri katerem pride do vpoja svetlobe pri krajši valovni dolžini in izseva svetlobe pri daljši valovni dolžini, kar omogoči, da z optičnimi filtri prispevek vpadne svetlobe (ozadja) močno znižamo in s tem dosežemo dobro občutljivost. K sreči večina molekul v celicah ne fluorescira v vidnem delu spektra, zato lahko z uporabo fluorescentnih barvil, ki se preferenčno vežejo na izbrane strukture, dobro razločimo različne celične organele. Žal so fluorescentna barvila lahko občutljiva na visoko jakost svetlobe, s katero vzbujamo fluorescenco pri visokoločljivih izvedbah fluorescenčne mikroskopije, kot je na primer mikroskopija z dušenjem fluorescence s stimuliranim izsevom (mikroskopija STED)².

Glavno omejitev pri zajemu slik predstavlja proces fotobledenja⁴, pri katerem obsevana fluorescentna molekula izgubi možnost fluorescence. Fotoble-

denje vpliva tako na kakovost slike (razmerje med signalom in šumom) kot na število zaporednih posnetkov, ki jih lahko zajamemo, kadar želimo spremljati tarčne molekule daljše časovno obdobje.

Pri fotobledenju molekulo z vzbujevalno svetlobo vzbudimo v osnovno vzbujeno stanje, ta pa potem lahko namesto izseva fluorescenčnega fotona preide v tripletno (temno) stanje, v katerem zaradi interakcij z organskimi molekulami v okolici izgubi sposobnost fluorescence⁴. Fotobledenje je odvisno od moči vzbujevalne svetlobe, lokalne okolice molekule in njenestrukture. Poleg fotobledenja pa lahko visoke laserske moči povzročijo tudi druge procese fotopretvorbe, ki spremenijo lastnosti molekule, kot so premik vzbujevalnega in izsevnege vrha v fluorescenčnem spektru, sprememba življenjskega časa fluorescence in sprememba kvantnega izkoristka⁴. Spremenjene lastnosti molekule lahko, še posebej pri nizkih fluorescenčnih signalih, močno vplivajo na rezultate, kar lahko vodi do napačnih eksperimentalnih zaključkov.



Slika 1: A) Shematski prikaz modrenja barvila, ki ga dlje časa osvetljujemo z visoko intenziteto laserske svetlobe. V spektru barvila, pritrjenega na stekelce, opazimo premik proti krajšim valovnim dolžinam (t. i. »pomodrenje«, grafspodaj). B) Pri meritvi zato v spektralnem oknu pri nižjih valovnih dolžinah (prva vrsta) po osvetljevanju zaznamo nov, nezanemarljiv signal. V spektralnem oknu, kjer smo prvotno zaznavali osvetljevano barvilo, hkrati opazimo fotoblejenje (druga vrsta).

V našem delu⁵ smo za tri fluorescentna barvila, ki so pogosto v uporabi v fluorescenčni/STED mikroskopiji (ATTO 647N, STAR RED in ATTO 655), ovrednotili posledice fotopretvorbe. Uporaba edinstvene kombinacije spektralne detekcije in mikroskopije STED nam je omogočila karakterizacijo spektralnih premikov v fluorescenčnem spektru ob uporabi visoke intenzitete laserske svetlobe pri zajemu 50 zaporednih posnetkov na istem mestu.

Pri spektralni analizi barvil STAR RED in ATTO 647N smo opazili, da se vrh izsevanega spektra po večkratnem osvetljevanju premakne proti krajšim valovnim dolžinam (tj. proti modremu delu spektra), čemur pravimo, da spekter »pomodri« (ang. photo-blueing, slika 1A). Ti barvili najučinkoviteje vzbujamo z uporabo izvora z valovno dolžino 640 nm, fluorescenco pa zaznavamo pri daljših valovnih dolžinah (slika 1B, druga vrsta), pri čemer je signal pri krajših valovnih dolžinah (t. i. anti-Stokes-ov premik) zanemarljiv (slika 1B, prva vrsta levo), kar omogoča sočasno uporabo drugih barvil v tem delu spektra. Po večkratnem osvetljevanju smo pri krajših valovnih dolžinah na območju osvetljevanja zaznali nov fluorescenčni signal, ki ni bil več zanemarljiv (slika 1B, prva vrsta desno). Čeprav je prispevek pomodrenih fotonov 20–100-krat manjši od signala istega barvila v izvornem kanalu, lahko te fotone pomotoma pripišemo drugemu barvilu, ki primarno sveti v tem

»modrem« kanalu, in napačno interpretiramo neposredno bližino obeh barvil (in s tem njunih tarč). Modrenje lahko kritično vpliva tudi na interpretacijo meritev s fluorescenčnimi barvili, katerih premiki spektra so sicer odvisni od lokalnih molekularnih lastnosti okolice (npr. urejenosti in napetosti celične membrane)⁶. Pri tovrstnih meritvah zelo natančno merimo obliko spektra in lahko zaznamo premike tudi pod 1 nm (1 % tipične širine spektra)⁷, kar nudi izjemno občutljivost pri raziskavah procesov na celični membrani, kot je prenos snovi in signalov⁸. A če spekter barvila pomodri zaradi visoke jakosti svetlobe, bomo spremembo pripisali spremembi urejenosti celične membrane, čeprav do nje dejansko ni prišlo. Tovrstnim napačnim zaključkom se lahko izognemo z uporabo barvil, ki hitro prehajajo med membranskim in vodnim okoljem in tako sproti zamenjajo pomodrene molekule.

V našem delu smo tako pokazali, da je pomodrenje spektra lahko pomembna sprememba fotofizikalnih lastnosti fluorescentnega barvila zaradi visoke intenzitete laserske svetlobe. Treba se je zavedati, da so opisani efekti različni za različna barvila ali celo za isto barvilo, vezano recimo na protitelo, proteine, maščobne molekule ali tarčno površino, kot je na primer površina nanodelcev. Priporočljivo je torej opisane efekte preveriti za vsako uporabljeno bar-

vilo v eksperimentalnem sistemu in se tako izogniti napačnim interpretacijam.

Literatura

1. J. R. Lakowicz; Springer Science & Business Media, 2013, 3rd edition.
2. S. W. Hell, J. Wichmann; Opt. Lett., 1944, vol. 19, str. 780–782.
3. Y. Eilers, H. Ta, K. C. Gwosch, F. Balzarotti, S. W. Hell; PNAS, 2018, vol. 115, str. 6117–6122.
4. C. Eggeling, J. Widengren, R. Rigler, C. A. M. Seidel; Anal. Chem., 1998, vol. 70, str. 2651–2659.
5. A. Dasgupta in drugi; Nat. Methods, 2024, vol. 21, str. 1–4.
6. A. S. Klymchenko; Acc. Chem., 2017, vol. 50, str. 366–375.
7. I. Urbančič, Z. Arsov, A. Ljubetič, D. Biglino, J. Štrancar; Opt. Express, 2013, vol. 21, str. 25291–25306.
8. I. Urbančič in drugi; FEBS Letters, 2021, vol. 595, str. 2127–2146.

Neravnovesna kvantna dinamika rekonfiguracije domen v dvodimenzionalnem elektronskem kristalu in kvantnem žarilniku



Jaka Vodeb^{1,2,3}, Michele Diego¹, Yevhenii Vaskivskiy^{1,2}, Leonard Logarič¹, Yaroslav Gerasimenko¹, Viktor Kabanov¹, Benjamin Lipovšek⁴, Marko Topič⁴ in Dragan Mihailović^{1,2,5}

¹Institut "Jožef Stefan", ²Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani, ³Institut za napredne simulacije, Superračunalniški center Jülich, Forschungszentrum Jülich, Nemčija, ⁴Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, ⁵CENN Nanocenter, Ljubljana

Objava je razširjen povzetek *Non-equilibrium quantum domain reconfiguration dynamics in a two-dimensional electronic crystal and a quantum annealer*, ki je bil objavljen v *Nature Communications*, 2024. IF (2023) 14.7. doi članka: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-49179-z>.

Povzetek

To delo je ključen del mojega doktorata in moje prvo srečanje s kvantnim računalništvom, kjer sem se skozi leta naučil, kako simulirati eksperimentalno obnašanje kristala 1T-TaS₂ na kvantnem žarilniku D-Wave. Proučevali smo prestrukturiranje kvantnih domen v elektronski supermreži 1T-TaS₂, kjer kvantne fluktuacije prevladujejo nad temperaturno pogojeno dinamiko. Z uporabo časovno ločene vrstične tunnelske mikroskopije in kvantnega žarilnika smo natančno simulirali časovno evolucijo in temperaturno odvisnost teh domen. Simulacije so uspešno reproducirale eksperimentalne rezultate,

kar je pomembno prispevalo k razumevanju kvantne dinamike v kompleksnih mnogodelčnih sistemih.

Uvod

To delo je zame zelo pomembno, saj predstavlja drugo polovico mojega doktorata in hkrati prvo srečanje s kvantnim računalništvom. Leta 2019 sem se začel učiti programiranje na kvantnih računalnikih in nisem si predstavljal, da bo za dokončanje raziskave potrebnih pet let. Danes pa sem izjemno ponosen na končni izdelek.

Vendar tega dela ne bi bilo mogoče izvesti brez odličnega sodelovanja z vsemi avtorji članka in izjemnega

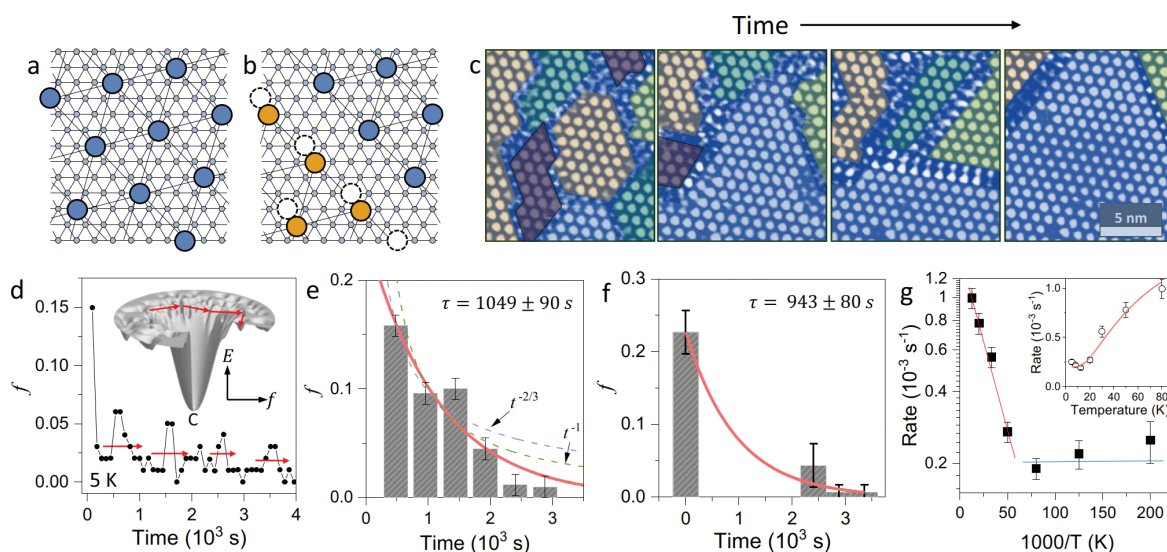
delovnega okolja na Odseku za kompleksne snovi. Moja mentorja, prof. dr. Dragan Mihailovic in prof. dr. Viktor Kabanov, sta mi omogočila dovolj časa in potrpežljivosti, da sem lahko raziskal področje kvantnega žarjenja. Michele Diego je v okviru svoje magistrske naloge celo leto zbiral posnetke s tunnelskim mikroskopom, ki so ključni za to delo, in jih zelo velikodušno delil z nami. Dr. Yevhenii Vaskivskiy in Leonard Logarič sta bila nepogrešljiva pri obdelavi vseh zbranih podatkov, dr. Benjamin Lipovšek in prof. dr. Marko Topič pa sta s svojim prispevkom k modeliranju segrevanja zaradi tunnelske konice utrdila znanstveno rigoroznost članka. Vsem sem izjemno hvaležen za njihov doprinos.

Naša prvotna ideja je bila čim bolj natančno poustvariti eksperimentalno opaženo obnašanje kristala $1T-TaS_2$ na kvantnem žarilniku D-Wave. Na začetku nam ni bilo jasno, kako bi to dosegli – vedeli smo le, da lahko interakcije med polaroni v kristalu zapišemo kot povezave med kubitami. V prvih letih dela je sledilo več ključnih prebojev v mojem razumevanju kvantnih žarilnikov. Spoznal sem, da lahko temperaturo sistema posredno nadziram s spreminjanjem magnitude interakcij med kubitami

in da lahko eksperimentalni proces, ki ga vidimo s tunnelskim mikroskopom, simuliram z vzvratnim žarjenjem – postopkom, kjer najprej izključim kinetično energijo kubitov, jih postavim v želeno polaronsko konfiguracijo, nato pa ponovno vključim kinetično energijo, da se lahko polaronske domene rekonfigurirajo.

Zanimivo je, da sem bil dolgo prepričan, da lahko operiram z največ 64 kubitami. Ko sem odkril, da lahko z uporabo interakcij kratkega dosega povečam število operativnih kubitov na več kot 2000, sem končno začel dosegati rezultate, ki so se ujemali z eksperimentalnimi opažanji.

Pot do objave članka je bila zahtevna. Po skoraj 20 oddajah različnim znanstvenim revijam in številnih zavrnitvah, ker se ideja ni zdela dovolj zanimiva, smo se znašli v dolgotrajni debati z ocenjevalci. Eden je menil, da je uporaba kvantnega računalnika trivialna, saj moramo prilagoditi ogromno parametrov, a smo ga prepričali, da imamo v kvantni simulaciji le en parameter za prilagoditev eksperimentalnim podatkom. Drugi ocenjevalec nam je dal koristne komentarje in opozoril na literaturo o kvantnem



Slika 1: Rekonfiguracije domen v $1T-TaS_2$. a) Kristalna mreža prikazuje atome Ta (majhni krogi). Zasedena elektronska mesta (modri in oranžni krogi) v osnovnem stanju in b) blizu domenske stene. c) Serija VTM-meritev v rednih časovnih intervalih, ki prikazuje rekonfiguracijo domen. Domene so obarvane, da označujejo premik glede na glavno komezurabilno mrežo (svetlo modro). d) Delež premaknjenih elektronov $f(t)$ kot funkcija časa, izmerjena v istem območju pri 5 K. Skoki ustrezajo velikim (opaznim) konfiguracijskim spremembam. Vložek prikazuje shemo prostih energij E kot funkcijo konfiguracijske koordinate (Hammingove razdalje). f) Vzbujena stanja v vsakem energijskem vodnjaku predstavljajo stanja, ki ohranjajo f . e) Povprečna odstopanja $f(t)$, izmerjena na različnih območjih vzorca s periodičnimi VTM-meritvami. Prikazani so fiti podatkov z eksponentno in potenčno odvisnostjo (polne in črtkane črte). Napake prihajajo iz napak štetja polaronov. f) Enako kot (e), razen z 32-minutnim premorom pri skeniranju prve točke. Rdeča črta predstavlja eksponentni fit. g) Temperaturna odvisnost R , povprečena čez več meritev, na logaritemski skali, z vložkom, ki prikazuje linearno skalo. Napake štetja v $f(t)$ so neposredno povezane z napakami v R .

tuneliranju v prisotnosti temperature in šuma, kar nam je omogočilo jasneje prikazati napredek, ki smo ga dosegli.

Z znanstvenega vidika je material 1T-TaS₂ popoln primer dvodimenzionalnega elektronskega kristala za proučevanje neravnovesne kvantne dinamike. Zaradi močne elektronsko-fononske interakcije v tem materialu nastajajo stabilni kvazidelci – polaroni, ki se urejajo v metastabilne domenske strukture. Te se pod vplivom zunanjih motenj rekonfigurirajo, kar omogoča natančno proučevanje kvantnih fluktuacij v teh domenah. Z uporabo skenirne tunnelske mikroskopije smo eksperimentalno spremljali prehode med različnimi konfiguracijami domen. Te procese smo nato uspešno simulirali na kvantnem žarilniku D-Wave, kjer so simulacije natančno reproducirale časovno evolucijo in temperaturno odvisnost dinamike domen, opažene v eksperimentih.

Meritve rekonfiguracije domen v 1T-TaS₂

V naših eksperimentih smo ustvarili metastabilno domensko stanje v elektronski supermreži 1T-TaS₂ z injekcijo električnih impulzov prek konice vrstičnega tunnelskega mikroskopa (VTM). Spremljali smo razvoj strukture domen skozi čas pri različnih temperaturah z zaporednim zajemanjem posnetkov konfiguracije domen z VTM (slika 1a-c). Z merjenjem Hammingove razdalje med zaporednimi posnetki, ki izraža delež premaknjenih polaronov, smo kvantificirali spremembe v domenah (slika 1d). Pri temperaturi 5 K so meritve pokazale diskretne skoke v preurejanju domen, kar odraža njihovo kvantno naravo. Povprečne vrednosti skokov so razkrile eksponentno razpadanje domen skozi čas (slika 1e).

Pomemben del eksperimenta je bil preveriti vpliv VTM konice na rekonfiguracijo domen. Primerjava rezultatov, pridobljenih s skeniranjem konice in brez njega, je pokazala, da je vpliv konice zanemarljiv (slika 1f). Nadaljnje analize so potrdile, da šum v 1T-TaS₂ ni posledica VTM-konice, temveč netermičnih kvantnih fluktuacij in akustičnih fononov.

Analiza hitrosti preurejanja domen je pokazala prehod iz temperaturno neodvisnega v temperaturno odvisno obnašanje pri približno 20 K (slika 1g). Ustrezno modeliranje podatkov je pokazalo, da preurejanje pri nizkih temperaturah poganja kvantno tuneliranje, medtem ko pri višjih temperaturah prevladuje termično aktivirano prehajanje prek energijskih barier.

Kvantna simulacija dinamike rekonfiguracije domen

Kvantna dinamika za zadostne velikosti sistemov, potrebne za zajemanje dinamike rekonfiguracije stotin polaronov, so trenutno nerealistične na klasičnem digitalnem računalniku, zato smo raziskali možnost uporabe programabilnega kvantnega žarilnika D-Wave Advantage 6.1 (PKŽ) za modeliranje dinamike, ki je že pokazala večkubično tuneliranje v prisotnosti termičnega šuma. Pomembno je, da je kvantna dinamika superprevodnih kubitov PKŽ povezana z dvonivojskimi sistemi v okolju oziroma šumom, ki ima zelo podobno frekvenčno odvisnost kot 1T-TaS₂. PKŽ je zasnovan za simulacije, ki so razširitve transverzalnega Isingovega modela (TIM) z nastavljivo temperaturo.

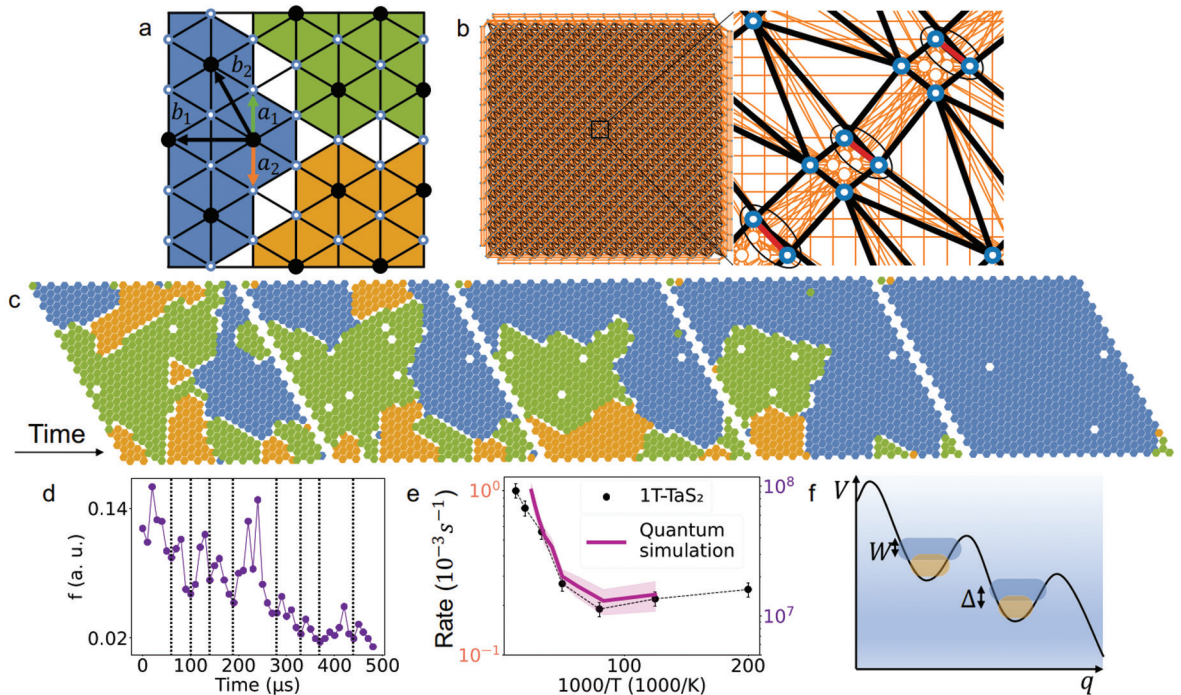
Opazili smo podobno dinamiko domen v 1T-TaS₂ in PKŽ, kar nakazuje, da lahko v primeru močnih interakcij 1T-TaS₂ opišemo s TIM. V PKŽ lahko nadzorujemo edina dva nastavljava parametra v naši simulaciji: efektivno brezdimenzijsko temperaturo T_{eff} in razmerje med magnitudo potencialne in kinetične energije, r . Po nastavitvi kubitov v začetno polaronsko konfiguracijo postavimo T_{eff} in r na željene vrednosti in pustimo sistem kubitov, da se razvija določen čas, nazadnje pa izvedemo meritev konfiguracije, v katero so se kubiti razvili. Nato uporabimo izmerjeno konfiguracijo kot novo začetno stanje, kar zvesto posnema iterativno merjenje VTM. Osredotočili smo se na vrednosti $r \gg 1$, kjer je kinetična energija domen majhna v primerjavi z interakcijsko energijo, in proučujemo vedenje dinamike domen pri različnih T_{eff} . Opazimo premikanje in taljenje domen iz začetnega domenskega stanja do enega od 3 enotnih osnovnih stanj (slika 2a), kar se zgodi tudi v 1T-TaS₂ (slika 2c). Lastnosti taljenja domen, zajete z deležem premaknjenih polaronov $f(t)$ v 1T-TaS₂, prav tako izkazujejo nasičenja in skoke v PKŽ (slika 2d). Pomembno je, da oba sistema prikazujeta prehod hitrosti relaksacije $R(T_{eff})$ iz T-odvisnih aktivacijskih procesov pri visokih T v T-neodvisno zašumljeno kvantno tuneliranje pri nizkih T (slika 2e). $R(T_{eff})$ se nasiči na T-neodvisno vrednost zaradi počasne dinamike sistema v primerjavi s časom vzorčenja, kar je čas ene meritve v primeru merjenja z VTM konico v 1T-TaS₂ ali merjenja kubitov v PKŽ. Če ima sistem dovolj časa, da se popolnoma relaksira v uniformno osnovno stanje, potem dinamike ni. Da bi ponovili eksperimentalno časovno lestvico dinamike ~ 1000 s, moramo nastaviti $r \sim 58$.

Razprava in zaključek

Kvantna simulacija nam ponuja edinstven vpogled v pojav tuneliranja. Dinamika obeh sistemov je določena z anharmoničnim metastabilnim stanjem potenciala glede na konfiguracijsko koordinato, merjeno s f , za 1T-TaS₂ in PKŽ. Medtem ko dvonivojski sistem dinamike superprevodnih tokovnih kubitov v PKŽ izhaja iz zasnove kvantnega žarilnika, je energijska pokrajina metastabilnega stanja 1T-TaS₂ določena s topologijo in mikroskopskimi podrobnostmi strukture domen, ki izhajajo iz domenske strukture. Izvlečeni parametri iz simulacij, ki opisujejo nastajajoče procese, so energija pregrade E_B (višina) in širina pregrade w , ki opisujeta hitrost tuneliranja med konfiguracijami domen. V 1T-TaS₂ je termična aktivacijska energija E_B določena neposredno iz T-odvisnosti hitrosti v sliki 1g, ki je $E_B \approx 10 \sim 20$ meV. Po drugi strani je w povezana s f , kjer sta

oba merjena v smislu konfiguracijske koordinata, ki jo določa stanje N Blochovih sfer, predstavljenih s kubiti, parametriziranimi z $2N$ sferičnimi koti. Graf $f(t)$ v slikah 1d in 2d odraža širino tunnelske pregrade za vsak izmerjen korak rekonfiguracije.

Motivacija za sedanjo kvantno obravnavo izhaja iz dejstva, da temperaturno neodvisnega elektronskega sproščanja domen v 1T-TaS₂ pri nizkih temperaturah ni mogoče pojasniti s klasičnimi procesi, ker je njihova relaksacija topološko ovirana. Kljub temu ugotavljamo, da so fenomenološki parametri, pridobljeni iz T-odvisnosti hitrosti sproščanja in prehoda na T-odvisno dinamiko nezdružljivi s konvencionalnim kvantnim razpadom. Uvajamo nov pristop za modeliranje dinamike domen z mikroskopskim modelom, implementiranim na superprevodnem kubitnem procesorju, ki neposredno preslika in-



Slika 2: Simulacija kvantnega razpada na podlagi mikroskopskih kvantnih simulacij. a) Tri možna osnovna stanja na podlagi odboja najbližjih sosedov, ki smo ga uporabili na kvantnem žarilniku. Gre za $1/3$ polaronsko rešetko s primitivnima vektorjema \mathbf{b}_1 in \mathbf{b}_2 , premaknjenima za oba možna atomska primitivna vektorja \mathbf{a}_1 in \mathbf{a}_2 . Različne superrešetke so obarvane za boljše preglednost. b) Vdelava trikotne mreže, uporabljene v naših simulacijah na PKŽ, z vložkom, ki prikazuje povezave med kubiti. Beli krogi, obkroženi z modro, predstavljajo posamezna atomska mesta (tudi v (a)), črne črte so povezave med kubiti, uporabljene za odboj najbližjih sosedov, rdeče črte so fizične povezave, uporabljene za tvorbo logičnih kubitov, ki tvorijo trikotno mrežo, oranžne črte pa so neuporabljene fizične povezave na procesorju. c) Primer relaksacijske sekvence s parametri $r = 9$ in $T_{\text{eff}} = 1.33$. d) Hammingova razdalja $f(t)$, vzorčena s kvantnega žarilnika za sekvenco, prikazano v (c). To lahko primerjamo z eksperimentalnimi podatki na sliki 1d. Črne črtkane črte prikazujejo vmesna metastabilna stanja, ki se pojavijo med relaksacijskim procesom. e) $R(T)$ izračunan iz PKŽ s parametri in $r = 15$ ter iz 1T-TaS₂, pri čemer osenčeno območje in napake predstavljajo standardni odklon pri povprečenju več relaksacijskih meritev. Temperaturna lestvica za PKŽ je bila izbrana kot $T = T_{\text{eff}}^* 4$ K, z namenom boljšega prikaza. f) Prikaz energijske pokrajine PKŽ-sistema superprevodnih tokovnih kubitov, pri čemer je razmik med 2 nivojema sistema Δ , ki je sklopljen z zunanjim okoljem z integralom prek šuma W .

terakcije elektron-elektron na PKŽ-povezave med kubiti. Ključni naslednji korak, prikazan tukaj, je obravnava šuma iz okolja kot povezanih dvonivojskih sistemov z vseprisotno frekvenčno odvisnostjo $1/v$, ki je bila eksperimentalno dokazano prisotna tako v $1T-TaS_2$ kot v PKŽ. Tako emergentno mnogodelčno dinamiko in povezane rekonfiguracije domen simuliramo izključno na podlagi mikroskopskih interakcij z enim nastavljenim parametrom r , ki nastavi »kvantnost« sistema. Simulacije jasno prikazujejo prehod od T-aktivirane dinamike do T-neodvisnega taljenja domen, kar je eksperimentalno opaženo v VTM-meritvah, kar ponuja neposreden vpogled v to, kako fenomenološke hitrosti sproščanja izhajajo iz mikroskopskih interakcij. Trenutni izračuni prikazujejo uporabnost simulacij na zašumljenem kvantnem

procesorju za modeliranje emergentne neravnovesne mnogodelčne dinamike. Z ustreznim preslikavanjem lahko tak pristop uporabimo za druge neravnovesne odprte kvantne sisteme, ki so podvrženi zunanjim virom nekoherentnega šuma, vključno s kvantnimi materiali, kot so kvantni paraelektrik $SrTiO_3$, različni sistemi z vodikovimi vezmi, pri zlaganju proteinov skozi podobno večdimenzionalno, topološko določeno energijsko pokrajino ali tuneliranje med lažnimi vakuumskimi stanji, ki izhajajo iz osnovnih interakcij. Poleg temeljnega interesa je modeliranje kvantne dinamike rekonfiguracije pomembno za spominske naprave pri nizkih temperaturah, kjer procesi kvantnega taljenja domen funkcionalno omejujejo dolgoročno zadrževanje podatkov.

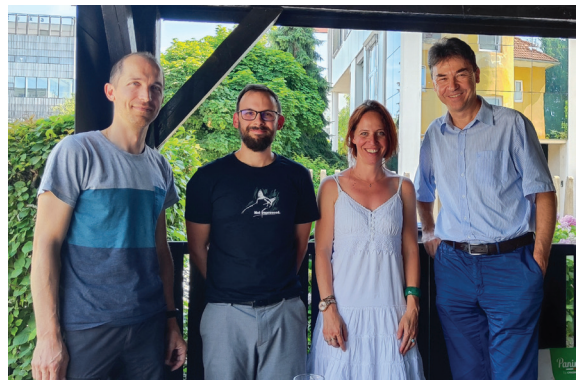
MINULI DOGODKI

Mentorstvo mladim na poti razvoja inventivne ideje do tržno zanimive inovacije

V začetku junija 2024 je v Piranu potekalo sklepno dejanje mentorskega programa The Euro-Mediterranean Innovation Camp (EMIC), ki ga je drugo leto zapored v sodelovanju z Inštitutom "Jožef Stefan" in Euromed University Fes iz Maroka ter pod pokroviteljstvom Ministrstva za zunanje in evropske zadeve in Ministrstva za visoko šolstvo, znanost in inovacije Republike Slovenije organizirala Euro-Mediterranean University (EMUNI) s sedežem v Piranu. Na tekmovanju za izbor najboljše inovacije s področja zdravja, obnovljivih virov energije in okoljske problematike so se pomerili mladi v starosti od 18 do 35 let, ki so v treh mesecih pod mentorstvom izkušenih raziskovalcev razvijali svojo inventivno idejo s tržnim potencialom do enostavnega prototipa. Cilj je bil preveriti idejo in narediti poenostavljen test oziroma proof-of-concept.

Prvo nagrado so podelili egiptovskemu študentu, ki ga je pri delu vodila in usmerjala raziskovalka in mentorica na IJS doc. dr. Ita Junkar z Odseka za tehnologijo površin (F4). Čestitamo! Poleg dr. Junkarjeve sta vlogo mentorja sprejela še dva raziskovalca z IJS, in sicer doc. dr. Marko Matkovič iz Centra za energetska učinkovitost (CEU) in dr. Uroš Hribar z Odseka za raziskave sodobnih materialov (K9). Vsi trije so pokazali veliko odprtosti in pripravljenosti za delo z mladimi, ki so v tem procesu pridobili dragocena znanja in izkušnje s področja razvoja inventivne ideje v smeri tržno zanimive inovacije.

Udeleženci tekmovanja so bili deležni tudi dvo-dnevnega usposabljanja s področja trženja inovacij, ki ga je vodil mag. Robert Blatnik, vodja Službe za



Slika 2 (od leve): Marko Matkovič, Uroš Hribar, Ita Junkar in Robert Blatnik so se preizkusili v vlogi mentorja. Foto: Uroš Hribar

vsebinsko podporo projektom, prenos tehnologij in inovacije (U7) na IJS. V okviru delavnice so se mladi seznanili s ključnimi elementi oblikovanja uspešnega poslovnega modela in kako ga čim bolj predstaviti potencialnim investitorjem. Za izvajanje mentorskega programa EMIC na IJS, komunikacijo z mentorji in udeležbo v žiriji tekmovanja smo poskrbeli v Službi za vsebinsko podporo projektom, prenos tehnologij in inovacije.

Hvala vsem mentorjem na IJS, ki so svoja znanja in izkušnje s področja raziskav in razvoja novih izdelkov in procesov, prenosa tehnologij in poslovnega načrtovanja posredovali mladim ter jih navduševali

za inovativne pristope in vztrajnost na poti do uspeha! V prihajajoči sezoni programa bo priložnost za nova mentorstva.

dr. Urška Florjančič

IRCAI uspešno soorganiziral prvo mednarodno olimpijado v umetni inteligenci (IAIO 2024)

Mednarodni raziskovalni center za umetno inteligenco pod okriljem Unesca (IRCAI), ki deluje na Institutu "Jožef Stefan", in Mednarodni center za raziskave in etiko na področju umetne inteligence pod okriljem Unesca iz Riada (ICAIRE) sta soorganizirala prvo mednarodno olimpijado v umetni inteligenci, ki se je je udeležilo 90 tekmovalcev iz 25 držav. Z bogatimi izkušnjami sta pri izvedbi podobnih tekmovanj s področja računalništva in informatike sodelovali še društvi ACM Slovenija in ZOTKS (Zveza za tehnično kulturo Slovenije).

Prva mednarodna olimpijada v umetni inteligenci za srednješolce (IAIO 2024) je potekala od 8. do 12. septembra 2024 v Riadu v Savdski Arabiji. Mladi talenti so se pomerili v poznavanju osnovnih principov delovanja umetne inteligence in etičnih vprašanj, ki jih odpira nova tehnologija, prav tako pa so morali pokazati svoje znanje pri reševanju povsem praktičnega problema. Prav ta hkratnost tako temeljnega znanja kot praktične veščine je naredila tekmovanje ne samo privlačnejše, ampak tudi vsebinsko polnejše, saj navezuje tesnejši stik z najsodobnejšimi disciplinami umetne inteligence, kot so strojno učenje, robotika, računalniški vid in druge. Namen dogodka je bil globalno spodbuditi razvoj in odnos do tako pomembne tehnologije prihodnosti, kot je umetna inteligenca. Resnici na ljubo je v svetu tega že precej in to v okviru obveznega pouka računalništva in informatike v osnovnih in srednjih šolah, kjer pa pri nas še precej zaostajamo.

Zadnji dnevi olimpijade so potekali istočasno kot prestižni mednarodni vrh GAIN (Global AI Summit) z več kot 450 udeleženci iz 100 držav, ki ga je organizirala agencija SDAIA (Saudi Data and AI Authority). Na slavnostnem dogodku omenjenega vrha je potekala tudi razglasitev zmagovalcev tek-

movanja, ki so ga tekmovalci opravili z odliko, saj je za njihove priprave skrbelo več strokovnjakov, ki so jim v preteklih mesecih ponujali izobraževalne vsebine in mentorstvo na temo etične UI.



Razglasitev zmagovalca IAIO 2024, mladega slovenskega talenta Bresta Lenarčiča. Poleg njega so na sliki: g. John Shawe-Taylor, direktor IRCAI in predsednik IAIO, nj. eksccelencia dr. Esam Alwagait (SDAIA) in nj. eksccelencia Sašo Podlesnik, slovenski veleposlanik v Savdski Arabiji.

Na IRCAI smo še posebej ponosni, da je zmagovalec letošnje olimpijade Brest Lenarčič, dobitnik bronaste medalje pa Žan Pustoslemšek, dva mlada talenta iz Slovenije, ki sta pokazala izjemno strokovno znanje na vseh tekmovalnih področjih.

Slovenskim tekmovalcem je po zaključku čestital tudi slovenski veleposlanik v Savdski Arabiji, nj. eksccelencia Sašo Podlesnik, vsi udeleženci pa so tekmovali pod okriljem ACM Slovenija ter ZOTKS.

Mednarodna skupnost pa se že ozira proti IAIO 2025, ki bo potekala v Sloveniji. Tekmovanje bo s podporo obeh institucij vodil direktor IRCAI John Shawe Taylor, ki je bil izvoljen za predsednika IAIO.

Martina Vilhar

Od molekul do menedžerja



Blaž Alič je diplomiral iz kemije na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani leta 2013. Leta 2017 je doktoriral iz kemije na Mednarodni podiplomski šoli Jožefa Stefana v Ljubljani. Nato se je zaposlil v farmacevtskem sektorju, najprej v Sandozu in potem v podjetju Gedeon Richter, kjer je danes produktni vodja.

Začniva najprej pri vašem delu na IJS. Ukvarjali ste se s kemijo fluora. Zakaj je to tako zanimivo področje?

Fluor je najreaktivnejši element periodnega sistema in ima »svojo glavo«. To mi je všeč. Ko sem prvič prišel na odsek, sem bil presenečen nad laboratoriji, ki so bili bolj podobni delavnicam. Predstavljajte si moje začudenje, ko po 10 letih dela v šolskih in fakultetnih laboratorijih ugotoviš, da ne smeš uporabljati steklovine za delo? Za potrebe dela s fluorom in rokovanje s tem elementom so morali raziskovalci odseka K1 razviti specifične reakcijske posode in druga orodja. Tudi to mi je bilo všeč. Kemija fluora je nepredvidljiva, neraziskana, misteriozna, na prvi pogled celo nedosledna, a ko pogledaš dovolj globoko, popolnoma smiselna.

Kaj je po vašem mnenju največja vrednost doktorata?

Obdobje doktorskega študija je neprecenljivo. Največja vrednost je prehojena pot z vsemi, ki so me na njej spremljali. S tistimi, ki so me usmerjali, in vrstniki, s katerimi sem rasel. Ustvarjanje vseh poznanstev in vezi, ki bodo trajale do konca naših življenj. Po drugi strani, bolj tehnični, ko sem prek spletne platforme Coursera izbral Googleov tečaj projektnega vodenja, me je zadelo: to je to, proces doktorskega študija je bilo moje prvo vodenje projekta v karieri. Organizirati je bilo treba pridobivanje znanja in pravih informacij. Implementirati je bilo treba delo v laboratoriju. Sodelovati z deležniki, ki so mi ponudili podporo, in se prebiti do končnega izdelka, tj. novega dognanja, ki je vreden znanstvene objave. Celotno delo je bilo treba razdeliti na najmanjše obvladljive

naloge in jih integrirati v končen izdelek. To je bilo treba narediti z omejenimi sredstvi in v omejenem času. Doktorski študij me je tako dodatno pripravil na obvladovanje kompleksnih profesionalnih in življenjskih izzivov.

Po doktoratu ste še nekaj časa ostali na IJS, nato pa ste se usmerili v farmacevtsko industrijo. Kaj je bil vzrok za to odločitev?

Me sprašujete, kakšen je moj mehanizem sprejemanja odločitev? V nekem pogledu je kemijo mogoče opisati kot interakcijo med delci ... Mislim, da to, kar velja za kemijo, velja tudi za moj proces odločanja. Interakcijo imamo s predmeti, ljudmi in idejami. Interakcijo imamo s priložnostmi, če želite. Do mene je prišla informacija, da v podjetju Lek potrebujejo novega sodelavca na področju regulative. Te priložnosti nisem mogel ignorirati in pustiti, da gre mimo brez odziva. Takrat nisem dobro razumel, zakaj me vleče tja. Sprva sem mislil, da zgolj višja plača. A izkazalo se je, da je bila močnejša motivacija. Danes vem, da želim razumeti širšo sliko sistema, v katerem delujem. Izkušnje z delom na IJS in prehod v strokovno funkcijo v industriji je bil prvi korak k temu razumevanju.

Glede na spremembe znotraj farmacevtskega giganta v zadnjem času pojasniva najprej bralcem, kaj so zdaj Lek, Novartis in Sandoz, kdo je kdo in v kakšnih razmerjih so?

A ne? Kje je kdo zaposlen? Na Novartisu, Leku ali Sandozu? Najprej je bil Lek. Leta 2002 ga je kupilo švicarsko podjetje Novartis. Sandoz je divizija Novartisa (hčerinsko podjetje, če želite), ki je bil ustvarjen

za delo z generiki. Lek je bil priključen Sandozu. Torej Novartis je lastnik podjetij Lek in Sandoz. Lek pa je del Sandozove divizije, ki se ukvarja z generičnimi zdravili. Tako je bilo do leta 2023. Leta 2023 pa sta se Novartis in Sandoz (katerega del je tudi Lek) ločila. Podjetje sem zapustil tik pred tem. Kako se je zgodba odvila od tu naprej, pa vam bo povedal kakšen drug nekdanji sodelavec v enem izmed prihodnjih intervjujev.

Zdaj pa ste že dobro leto zaposleni v podjetju Gedeon Richter. S čim se podjetje ukvarja in kaj je vaša vloga?

Gedeon Richter s sedežem v Budimpešti na Madžarskem je vodilno farmacevtsko podjetje v Srednji in Vzhodni Evropi, s širšo neposredno prisotnostjo v Zahodni Evropi, na Kitajskem, v Latinski Ameriki in

tržne strategije, skrbeti za življenjski cikel izdelkov, spremljanje tržnih trendov, konkurence in potreb lokalnega trga ter zagotavljati podporo prodajni ekipi – skupni imenovalec pa je skrb za stranke in ustvarjanje dodane vrednosti z rešitvami, ki naslavlajo njihove specifične potrebe.

Seveda sledi vprašanje, kako se delo v industriji razlikuje od dela v akademski sferi. Kako je delati znotraj velikih farmacevtskih koncernov?

Glavne razlike so očitne. Javno raziskovanje je usmerjeno v bazične raziskave in pridobivanje novih znanj. Vir financiranja so vladne organizacije, prek programov, projektov, štipendij itd. Govorimo o akademski svobodi – ta je brez neposrednega komercialnega pritiska.



Avstraliji. Portfelj produktov družbe Gedeon Richter pokriva številna pomembna terapevtska področja, vključno z zdravjem žensk ter področjema nevrologije in kardiologije. Z največjo enoto za raziskave in razvoj v Srednji in Vzhodni Evropi se izvirna raziskovalna dejavnost družbe Gedeon Richter osredotoča na motnje centralnega živčnega sistema. S svojo široko priznano strokovnostjo na področju razvoja in delovanja steroidnih hormonov je Gedeon Richter pomemben igralec na področju zdravja žensk po vsem svetu. Gedeon Richter je prav tako dejaven na področju razvoja biološko podobnih zdravil.

Pri podjetju sem zaposlen kot produktni vodja. Vloga produktne vodje je skrbeti za razvoj in izvajanje

V industriji pa odločitve pogojuje trg. Fokus raziskav je bolj usmerjen. Stremi se k raziskavam, ki vzklijejo iz potreb na trgu. Financiranje teh raziskav je odvisno od tržnega uspeha podjetja. Se pravi, več je pritiska, strožji so časovni roki in večja je odgovornost.

Na tem mestu naj omenim, da imata oba svetova prednosti, pasti in slabosti. Poznati oba je zame neprecenljivo in nekaj, kar se je izkazalo za zelo pomembno.

Kako to mislite?

Akademski svoboda je privlačna in manj stresna, a je tudi manj kompenzirana. In obratno. Kaj resnično pomeni večja kompenzacija, če pod konstantnim

stresom popušča zdravje in nimaš časa preživljati časa s tistimi, ki so v življenju najbolj pomembni? Hočem reči, ni očitno, kje je bolje.

Če vprašate mene, je moj odgovor, da je vseeno. Recimo, če me vprašate po pomenu izkušnje, ki ga imam v industriji, še posebej zadnje leto, je ta izkušnja vsaj tako pomembna kot tista iz doktorata – govorim v kontekstu razvoja, izkušenj, pridobivanja kompetenc pa tudi akademskega znanja. Resnično sem hvaležen, kam me je pripeljala prehojena pot do zdaj. Četudi naj dodam, da sem na njej, »vedno tepen, ker sem neprilagojen«, hahahaha, seveda citat legendarnega Adija Smolarja.

Kaj bi spremenili, izboljšali, ko gledate nazaj?

Želel bi si mogoče še več predmetov, ki nas učijo, kako ustvariti dodano vrednost izven trenutnih okvirjev in ustaljenih vzorcev. Govorim splošno, za celotno področje akademskega usposabljanja na državni ravni. Pedagoške metodologije, ki se zavzema vzgajati bolj kompetentne in v svetovnem merilu konkurenčne doktorje znanosti. Ko sem jaz opravil prvo izobraževanje na spletni učilnici Coursera, me je to predramilo. Na tej platformi so izobraževanja, ki izhajajo iz največjih, najbolj priznanih institucij po svetu, tako akademskih kot industrijskih. Govorimo o predavateljih univerz in institucij, kot so John-Hopkins, Imperial College London, Ludwig Maximilian University, Peking University, Google, Microsoft itd. Kumulativno znanje človeštva na enem mestu. Narejena in izpeljana tako, da bi lahko bila za vzor našemu pedagoškemu procesu. Neverjetno, kako dobro so zasnovana, kako premišljeno implementirana in kako veliko odneseš od njih. In to za pičlih 50–100 €/mesec.

V kontekstu izobraževanja mladih bi bilo smiselno gledati širše in se otresti ustaljenih vzorcev, ki ne služijo več namenu, zaradi katerega so bili vpeljani, in jih nadomestiti ali vsaj dopolniti s takimi, ki bodo služili viziji in ciljem slovenske družbe.

Kaj za vas predstavlja naziv doktor znanosti?

Na doktorat znanosti gledam kot na najvišje podeljeno listino nacionalnega izobraževalnega sistema, ki ga omogoča Republika Slovenija. Njegova pridobitev ima pomen – kakšen, naj si odgovori bralec sam. Hkrati prinaša priložnosti in odgovornosti. Proces pridobivanja doktorata je smiseln zaradi osnovnega problema, ki ga ima človek, in sicer da je obstoj pre-

več kompleksen, da bi ga lahko katerikoli človek sam obvladoval. In ne samo da so izzivi preveč kompleksni, hkrati jih je preveč. Se pravi, imamo kvalitativen in kvantitativen problem, ki ga je treba obvladovati. Kako naj bi doktorat znanosti to v teoriji/idealu reševal? Družba naj bi izbrala najkompetentnejše posameznike, ki dosežejo najvišjo stopnjo izobrazbe, zato da naslavljajo najkompleksnejše izzive družbe. Posledično ti postanejo predstavniki družbe na teh področjih in služijo kot njen glas. To potegne za sabo ogromno odgovornost in širino pogleda, ki je potrebna. Seveda je vsakomur na voljo tudi razlaga, ki na doktorat znanosti gleda kot na proces, skozi katerega posameznik sebi in družbi zgolj dokaže, da je sposoben raziskati neko zelo specifično in ozko področje.

Kako gledate na znanost?

Znanost in vse, kar ta pojem predstavlja, je neprecenljivo človeškemu obstoju in napredku. Blagostanje, ki smo ga zaradi znanosti dosegli v zadnjem stoletju ali dveh, je nepopisno. O tem naj ne bo dvoma. Vendar pa to ni vse, saj obstajata dva svetova: svet materialnega in objektivne resničnosti, ob njem pa svet vrednot. V svetu materialnega vladajo znanstveni dokaz in dejstva. Tu je znanost vrhovni vodja in opravlja svoje delo tako, da nam omogoča napredek in blagostanje, ki smo mu priča zadnji dve stoletji. A vendar me žalosti stran znanosti, ki si ne dela usluge. Recimo tista stran v spregi s politiko, ki ne služi družbi. Ne bi šel preveč v debato in analizo, kaj specifično, upr! bi se le na vprašanje: ali znanost pridobiva na zaupanju družbe ali ne? Odgovor na to vprašanje na žalost ni očitno, pa bi lahko bil.

Ali ohranjate stike s kolegi z IJS?

Mislím, da bom imel s kolegi z IJS ene izmed najdaljših in najmočnejših vezi v tem življenju. Te vezi cenim in jih bom poskušal še naprej negovati. Pomembne so. Še posebej dolgoročno.

Za zaključek nam zaupajte še kaj o sebi, s čim se radi ukvarjate v prostem času?

Nimam hobijev. Ko v dnevu oddelam odgovornosti in naslovim še tiste dodatne izzive, ki se nakažejo v delovnem procesu ali življenju, je cilj le še preživeti čim več časa in čim bolj kakovostno s tistimi, ki se imamo radi.

Anton Gradišek

Tradicionalni kolesarski vzpon na Krim

Poletje je čas za druženje in tega se držijo tudi na največjem odseku na IJS, F5. Enkrat avgusta se s kolesi podajo na Krim. Letos ni bilo nič drugače, le da so za popoldanski vzpon izbrali najbolj vroč ponedeljek v celem poletju. Vzpon je bil zaradi vročine in prehitro izpraznjenih bidonov precej zahteven. Malce so se le ušтели pri izbiri dneva, ob ponedeljkih je koča na vrhu Krima zaprta. A kot je na vrhu rekel Denis Arčon, vodja odseka, v dobri družbi je bilo lažje. Na IJS so se vrnili že po temi.

Uredništvo



Na vrhu so jih pričakala zaprta vrata, saj je koča na vrhu Krima ob ponedeljkih zaprta. Od leve proti desni: Matjaž Humar, Anton Hromov, Denis Arčon, Jure Pirman, Miha Škarabot, Jože Luzar, Žiga Gosar, Aljaž Kavčič, Andrej Vilfan in Maruša Mur.

Bi brali, pa ne veste, kaj?

Ponujamo vam nekaj bralnih idej za daljše jesenske večere, več jih najdete na spletni strani ZIC (<https://zic.ijs.si/bralna-skupina/>), ki jo lahko odprete tudi s QR-kodo.

Pričakovanja (Anja Mugerli), roman

Gretin greh (Urška Klakočar Zupančič), zgodovinski roman

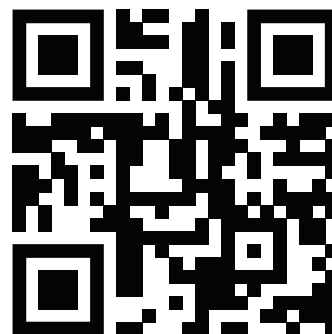
Tujka (Camilla Läckberg), kriminalni roman

Ko duša trpi, telo nosi posledice (Anita Kajtezovič), osebnostna rast

Ženske, na katere mislim ponoči (Mia Kankimäki), biografije

Prijetno branje!

Irena Rebov, Anja Blažun



Spletna stran ZIC

PRIŠLI - ODŠLI

Prišli - odšli (10. 6.–1. 9. 2024)

Zaposlili so se:

- | | | | |
|--------|---|--------|--|
| 17. 6. | Dijana Šabović Brezac, vodilna strokovna sodelavka, U9 | 15. 7. | mag. Lidija Zupančič, sekretarka inštituta, U1 |
| 17. 6. | Mateja Humar Jelnikar, samostojna strokovna delavka, CRIP | 16. 7. | Bastien, Paul, Louis Anezo, asistent, F5 |
| 1. 7. | Gregor Kozmus, asistent, R4 | 15. 7. | Yutaro Shoji, znanstveni sodelavec, F1 |
| 1. 7. | Roman Dobnikar, strokovni svetnik, U8 | 1. 8. | Vidka Mužar, samostojna strokovna delavka, F7 |
| 1. 7. | Matija Čuk, projektni sodelavec, TS | 1. 8. | Urška Pelcar, sekretarka inštituta, U2 |
| 1. 7. | dr. Tomaž Tomše, asistent z doktoratom, K7 | 5. 8. | Marija Remškar, samostojna strokovna delavka, U2 |
| 1. 7. | Seyed Iman Hosseini, mlajši raziskovalec, E3 | 1. 9. | Špela Kastelic, samostojna strokovna delavka, E1 |
| 4. 7. | Janina Roknić, strokovna sodelavka, K5 | 1. 9. | Mikhail Krasnov, strokovni sodelavec, E6 |
| | | 1. 9. | Lucija Drempetič, mlajša raziskovalka, K8 |

1. 9. dr. Carina Esteves Pinto Kozmus, asistentka z doktoratom, B2
1. 9. Matija Pavlovčič, vodilni strokovni sodelavec, CRIP

Novim sodelavcem želimo prijetno počutje na delovnem mestu.

Odšli:

31. 5. Sreekanth Vijayakumaran Nair, asistent, O2
7. 6. dr. Timon Mede, asistent z doktoratom, R4
14. 6. dr. Martin Ulaga, asistent z doktoratom, F1
21. 6. Laiba Suhail, strokovna sodelavka, F5
30. 6. dr. Adam Bacsí, višji znanstveni sodelavec, F1
30. 6. prof. dr. Borut Smodiš, znanstveni svetnik, RIC in O2 upokojitev
10. 6. dr. Layla Brini, asistentka z doktoratom, K5
11. 7. Shahbaz Ali, mladi raziskovalec, R4
14. 7. Zvezdan Lončarevič, asistent z doktoratom, E1
15. 7. Megha Manikandan, mlada raziskovalka, F5
22. 7. Parvaneh Esmailnejad Ahranjani, asistent z doktoratom, K8
31. 7. Rok Pahič, asistent z doktoratom, E1
31. 7. Denis Glavič Cindro, višji strokovni raziskovalni sodelavec, F2, upokojitev
31. 7. Vladimir Cindro, znanstveni svetnik, F9, upokojitev
14. 7. Eva Vidak, asistentka, B1
16. 8. Miha Mali, mladi raziskovalec, F9
31. 8. Matic Belak Vivod, asistent, K5
31. 8. Benjamin Koroševič Koser, mladi raziskovalec, F5
31. 8. dr. Yuliia Shyshkina, asistentka z doktoratom, F5
31. 8. dr. Alexey Nefediev, znanstveni svetnik, F1
31. 8. dr. Andrei Shumilin, asistent z doktoratom, F7
31. 8. Izak Oberčakl Pluško, strokovni sodelavec, F1
31. 8. dr. Valentina Zhukova, asistentka z doktoratom, F9
31. 8. Samir Salmanov, asistent, K5
31. 8. dr. Amadej Juranovič, strokovno raziskovalni svetnik, K1
31. 8. dr. Matjaž Dlouhy, asistent z doktoratom, K3
31. 8. dr. Karol Mateusz Adamczyk, znanstveni sodelavec, F9
31. 8. Tina Arh, asistentka, F5
1. 9. Matej Wedam, projektni sodelavec, CMI, upokojitev

Barbara Gorjanc

Odprtje razstave del Ane Sluga

Ponedeljek, 12. februarja 2024, ob 18. uri

Soočenje z lastno podobo v ogledalu časa

Razvejana umetnost (večmedijske umetnice, ki se v zadnjem desetletju izpostavlja predvsem v slikarskem mediju) Ane Sluga je večinoma izrazito pripovedna, pri čemer avtorica svoje kompozicije dosledno utemeljuje na likovnih izhodiščih. Ob tem pri svojem umetniškem delu ves čas tudi kritično spremlja družbeni razvoj. Njene upodobitve, pri katerih je v ospredju ženska v luči retroestetike, pred gledalčeve oči – z gradnjo posebne ikonografije, v kateri se brez težav kaže nova simbolna govorica slikarstva (Tomaž Brejc¹) – približujejo sedemdeseta in osemdeseta leta prejšnjega stoletja, hkrati pa zaradi načina slikanja, ki spominja na arhetipsko formo, nosijo pridih sodobnosti.

V današnjem političnem in družbenem življenju je široko razširjena ideologija, ki govori, da ljudje nimamo nič skupnega, da ima vsak svojo resnico. Želja po neskončni svobodi posameznika je močna.



Brez naslova, triptih: 227,5 cm × 110 cm + 227,5 cm × 130 cm + 227,5 cm × 88 cm (skupaj 227,5 cm × 328 cm), akril na platnu, 2023 (detajl)

Umetnike od nekdaj spremlja sloves drugačnosti, včasih v pozitivnem, največkrat v negativnem smislu. Umetnik potrebuje okolje svobode, da lahko izraža lastno kreativnost in s tem posega izven ustaljenih vzorcev sveta. Ker pa so vsa njegova dejanja odvisna od njega samega, je zanje tudi odgovoren. To vzbuja v ljudeh tesnobo, ki pa je pravzaprav pozitiven pojav, saj človek zaradi nje vsako odločitev večkrat premisli, torej je posameznikova usoda odvisna od njega samega (J. P. Sartre). V tem kontekstu svoboda ne more biti absolutna, ker je posameznikova svoboda odvisna tudi od svobode drugih ljudi. Ob spoznanju, da sodobni ljudje niso več v harmoniji sami s seboj in da edina pot do sreče leži v materializmu, Ana Sluga s svojimi slikami poziva k lastnemu in kolektivnemu uvidu ter vrnitvi k pravih človeškim vrednotam.

Zadnji razstavljen cikel slik (2021), na katerega se navezujejo njena nova dela, nosi naslov *DDR Frau (Nemi klci)*. Govori o sodobni ženski iz zahodnega sveta, ki ima izkušnjo tranzita iz enega politično gospodarskega sistema v drugega. Vzhodna Nemčija je v tej zgodbi nekakšen sinonim: dogajalna lokacija te vizualne pripovedi torej ni naključje. Slikarkino družinsko ozadje izhaja iz zahodne Nemčije in je del njene identitete. Odnos do angažiranosti vlog, ki jih ima sodobna ženska, je bil eden najbolj zagonetnih stvari, ki jih je Ana Sluga definirala s pomenljivimi atributi, ko se je odločala, kakšna točno naj bo ta ženska na njenih velikih, s subtilnimi ozadji zamišljenih platnih.



Brez naslova, 95 cm × 95 cm, akril na platnu, 2023

Njeno kritično razmišljanje o položaju žensk skozi simbolne vloge in družbene prakse se je deloma

kazalo že na pop-up enodnevni razstavnici postaviti v rezidenčnem centru MGLC Švicarija, kjer ima tudi atelje. Predstavila je cikel del na papirju *Pasivni torzo*, v katerem se na vsakem listu kot na površini ogledala kažejo odsevi naslikanih portretov ženskih figur in govorijo o velikokrat kontradiktorni poziciji sodobnega človeka, ki navkljub odločni kritiki ostaja pasiven. Osnovni deli najnovejše razstave z naslovom *Hand made* sta triptih in diptih, na obeh znova dominirajo intimni ženski portreti. Portreti (ki deloma izhajajo iz slikarkine lastne podobe) brez obrazov v iskanju identitete.



Brez naslova, diptih: 227,5 cm × 110 cm + 227,5 cm × 88 cm (skupaj 227,5 cm × 198 cm), akril na platnu, 2023

Bog z dvema obrazoma je rimski bog Janus. En njegov obraz gleda naprej, drugi nazaj: njegovo sporočilo je jasno – treba je gledati v preteklost, da bi lahko pričakovali prihodnost. Z isto mislijo nagovarja tudi najnovejši triptih Ane Sluga, navidezno zlahka berljiv, a simbolično precizno zasnovan. (Lahko) predstavlja slikarkin beg iz dušeče kletke vsakdanjih podob in prehitro bežečega življenja, da bi se soočila z lastno podobo v ogledalu časa. Osrednje kompozicije (vsakega posameznega dela triptiha) učinkujejo mestoma spontano in sveže, lahko pa jih gledalec dojema tudi kot skrivnostno in malodane nelagodno sporočilo, ki napoveduje tesnobno in celo strah vzbujajoče ozračje minljivosti. Te njene nove podobe, ki (vključno z diptihom) posredno govorijo o komunikativni moči simbolnih elementov, so likovno izčiščene in preproste. Minimalistični atributi ob figurah slikarkino likovno govorico bogatijo s

pomenom, ki prinaša tako filozofski kot stvarni značaj likovnega dodatka.

Razgaljanje intime, ki to niti ni, saj gledalec ne ve, katera oseba naj bi bila upodobljena, ker ne vidi obrazov, deluje skrivnostno. Mladostniške norčije, zrela leta in vpogled v lastno prihodnost naj bi (ob predimenzioniranih ženskih portretih brez obrazov) predstavljali atributi, ki pa so v današnjem času izmuzljivo nestvarni, arhaični in v tem kontekstu

smešni. Tudi v teh slikah, ki imajo v ospredje znova postavljeno žensko figuro, je intimnost upodobljena brez sentimentalnosti, s hkratnim vnosom pomenljivih elementov pa je latentno nakazan – kot v njenem siceršnjem konceptu umetniškega delovanja – slikarčin odnos do družbene, kulturne in ideološke vsebine.

Tatjana Pregl Kobe

Ana Sluga

Rodila se je leta 1981 v Ljubljani. Leta 2004 je diplomirala na Akademiji za likovno umetnost in oblikovanje (ALUO) Univerze v Ljubljani, magistrski študij slikarstva je opravljala na ALUO v Ljubljani in na Eesti Kunstiakadeemia (Estonian Academy of Arts) v Talinu v Estoniji ter leta 2018 pridobila naziv magistrica slikarstva. Od leta 2007 ima status

samostojne kulturne delavke, sodeluje na samostojnih in selekcioniranih razstavah tako v domačem kot mednarodnem kulturnem prostoru, je prejemnica strokovnih nagrad, njena dela pa so zastopana v nacionalnih in zasebnih likovnih zbirkah. Leta 2015 ji je Univerza v Ljubljani podelila naziv Priznanje pomembnih umetniških del. Njene vidnejše samostojne razstave so: 2008 – *Slow Touch*, Linnagalerii (Mestna galerija Talin), Estonija; 2011 – *Ana Sluga*, Galerija Miklova hiša, Ribnica; *Still Life*, Galerija Vžigalica, Ljubljana; 2014 – *Transfer*, Vaal Gallery, Talin, Estonija; 2015 – *Album*, Bežigradska galerija 2, Ljubljana; 2017 – *Slike iz tovarne*, Galerija Equrna, Ljubljana; 2021 – *Disonanca prostora (vstop)*, galerija Kresija, Ljubljana; 2022 – *DDR Frau (Nemi klici)*, Galerija Bažato, Ljubljana. Izbor skupinskih razstav: 2008 – *Essl Award for Central and Southeastern Europe*, nagrajenci, Kunstforum Ostdeutsche Galerie, Regensburg, Nemčija; 2012 – *Narave 9*, Video festival, Bežigradska galerija 2, Ljubljana; 2014 – *Sodobno slovensko slikarstvo po letu 0*, Cankarjev dom, Ljubljana; 2015 – *Faszination FOTOGRAFIE*, Essl Museum – Kunst der Gegenwart, Dunaj, Avstrija; 2016 – *Krize in novi začetki: umetnost v Sloveniji 2005–2015*, Muzej sodobne umetnosti Metelkova (MSUM), Ljubljana; 2019 – *Čas brez nedolžnosti – Novejše slikarstvo v Sloveniji*, Moderna galerija, Ljubljana; 2021 – *Slovenska umetnost v Evropskem parlamentu*, Bruselj, Belgija; 2022 – *Vračanje pogleda*, Galerija Cukrarna MGML, Ljubljana; 2023 – *Figuralika – Izbrani primeri iz slovenske umetnosti*, Galerija Cukrarna MGML, Ljubljana. Živi in ustvarja v Ljubljani.



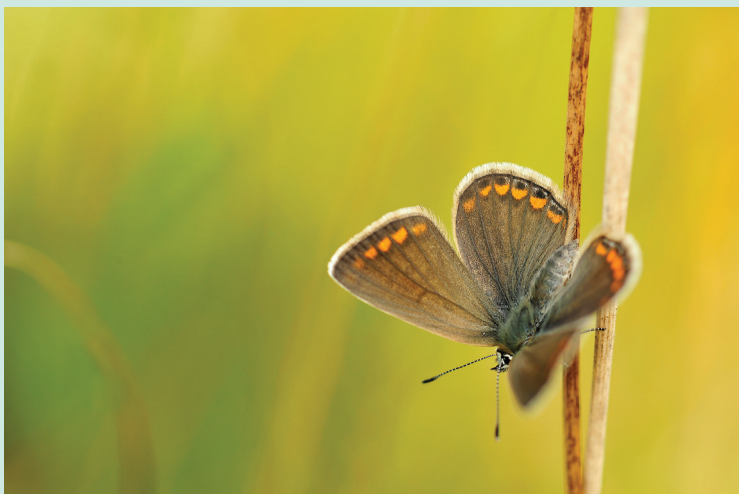
Spletna stran: www.anasluga.si,
e-pošta: anasluga.si@gmail.com,
instagram: [anasluga_](https://www.instagram.com/anasluga_)

Navadni modrin (*Polyommatus icarus*)

Dnevne metulje največkrat povezuje-
mo s toplim delom leta, nekaj pa jih
leta tudi ob slovesu poletja – eden
takih je navadni modrin.

Ta pogosta vrsta iz družine modrinov
(Lycaenidae), ki je slovensko ime dobila
po sinji modrini zgornje strani kril
samčkov nekaterih vrst, se praviloma
pojavlja v več generacijah – odvisno
od nadmorske višine ali zemljepisne
širine odrasli osebkovi iz bub prilezejo
enkrat ali večkrat na leto. V visokogorju
in na severu Evrope se odrasli metulji
pojavi enkrat, na jugu Evrope celo
več kot trikrat na leto, na Kanarskih
otokih pa lahko navadne modrine
srečamo letati vse mesece v letu. V srednji
Evropi in Sloveniji lahko sveže preobražene
metulje opazimo letati dva- ali trikrat
letno – od maja do septembra
ali celo oktobra.

Navadni modrin je pri nas splošno razširjen
in pogost metulj, ki ga lahko opazujemo tako na



morski obali kot visoko nad drevesno mejo. Glede
izbire življenjskega prostora ni posebej izbirčen, a
največkrat posamič leta po različnih travnikih, kjer
išče hrano in samice. Na makadamskih kolovozih in
poteh pa se rad zbira v manjše skupine in srka vodo
z raztopljenimi minerali.

Tudi kot ličinka (gosenica) ni izbirčen, saj se hrani z
različnimi vrstami iz družine metuljnic, najbolj všeč
pa sta mu navadna nokota in hmeljna meteljka – zelo
pogosti in splošno razširjeni vrsti.

Odrasli metulji imajo na spodnji strani sivkasto
(samci) ali rjavkasto (samice) obarvanih kril značil-
no razporejene črne pike z belim robom, ob robu
zadnjih kril pa še niz oranžnih peg. Samice imajo
oranžne pege izrazitejšje in nanizane tudi ob robu
spodnje strani sprednjih kril. Zgornja stran samčevih
kril je enotno modra z rahlim vijoličastim kovinskim
leskom. Samice so zgoraj temno rjave z nekaj modre-
ga poprha, ob robu zadnjih in tudi sprednjih kril pa
imajo oranžne pege. Pas resic na zunanjem robu kril
je pri navadnem modrinu vedno enotne barve – pri
samcih so resice vedno bele, pri samicah pa so lahko
bele do rjavkaste.

Jošt Stergaršek

Viri:

Collins Butterfly Guide, T. Tolman & R. Lewington,
HarperCollins Publishers, London, 2008.

Metulji Notranjske in Primorske, S. Polak, No-
tranjski muzej Postojna in Notranjski regijski park,
Cerknica, 2009.

