

**Raziskave Odseka za fiziko trdne snovi so usmerjene v področje fizike neurejene in delno urejene kondenzirane materije ter še posebej faznih prehodov v teh sistemih. Namen teh raziskav je odkriti osnovne zakonitosti fizike neurejenih in delno urejenih sistemov, ki so vmesni člen med popolnoma urejenimi kristali na eni strani ter amorfni snovi in živo materijo na drugi. Raziskave so osredotočene na razumevanje strukture in dinamike na mikroskopski ravni, kar je pogoj za razvoj novih multifunkcionalnih materialov, nanomaterialov in bioloških sistemov. Pomemben del raziskovalnega programa je usmerjen v razvoj novih merilnih metod in eksperimentalnih tehnik na področju hladnih atomov, kvantnega magnetizma, kvantne optike, biofotonike in super resolucijskega fluorescenčnega slikanja.**



Vodja:

**prof. dr. Igor Muševič**

Raziskave sodelavcev Odseka za fiziko trdne snovi Instituta "Jožef Stefan" potekajo v tesnem sodelovanju z Oddelkom za fiziko Fakultete za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani, Institutom za matematiko, fiziko in mehaniko ter z Mednarodno podiplomsko šolo Jožefa Stefana. V letu 2020 so raziskave potekale v okviru treh programskih skupin:

- magnetna resonanca in dielektrična spektroskopija pametnih novih materialov,
- fizika mehkih snovi, površin in nanostruktur,
- eksperimentalna biofizika kompleksnih sistemov in slikanje v biomedicini.

## **1. Programska skupina P1-0125 Magnetna resonanca in dielektrična spektroskopija pametnih novih materialov**

Delo programske skupine *Magnetna resonanca in dielektrična spektroskopija pametnih novih materialov* v letu 2020 je bilo usmerjeno v odkrivanje osnovnih fizikalnih zakonitosti fizike kondenzirane materije ter v povezavo strukture in dinamike trdnih snovi na ravni atomov in molekul z makroskopskimi lastnostmi snovi.

Pri naših raziskavah smo uporabljali naslednje raziskovalne metode:

- jedrsko magnetno resonanco (NMR), elektronsko paramagnetno resonanco (EPR) in jedrsko kvadrupolno resonanco (NQR),
- dvojno resonanco  $^{17}\text{O} - \text{H}$  in  $^{14}\text{N} - \text{H}$ ,
- relaksometrijo s hitrim spreminjanjem magnetnega polja,
- linearno in nelinearno dielektrično spektroskopijo v območju od  $10^{-2}$  Hz do  $10^9$  Hz,
- frekvenčno odvisno kalorimetrijo,
- meritve električnih in termičnih transportnih lastnosti,
- meritve magnetnih lastnosti,
- metodo hladnih atomov.

Raziskave članov programske skupine potekajo v sodelovanju z Oddelkom za fiziko Fakultete za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani, Institutom za matematiko, fiziko in mehaniko ter z Mednarodno podiplomsko šolo Jožefa Stefana.

V letu 2020 so člani programske skupine objavili 65 originalnih znanstvenih člankov in eno poglavje v monografiji. Od člankov v revijah z višjim faktorjem vpliva je bila po ena objava v *Nature Physics*, *Nature Communications*, *Angewandte Chemie, Intl. Ed.*, *Physical Review Letters* in *Advanced Materials*.

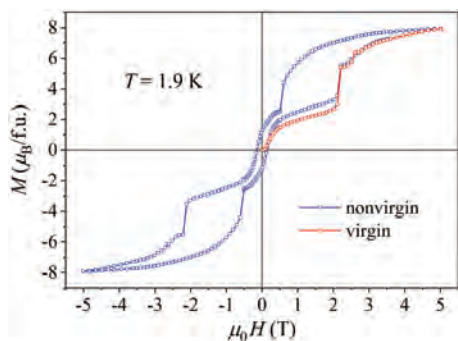
Med našimi raziskavami velja omeniti naslednje dosežke:

### **1. Speromagnetizem in asperomagnetizem v visokoentropijski spojini Tb-Dy-Ho-Er-Tm**

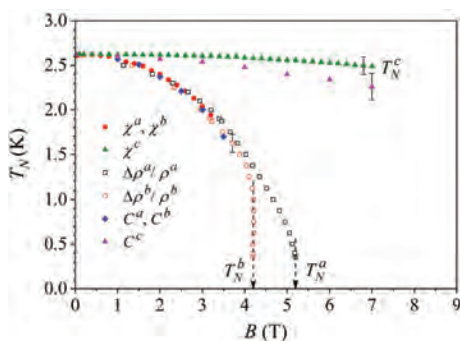
V članku *Speromagnetism and asperomagnetism as the ground states of the Tb-Dy-Ho-Er-Tm ideal high-entropy alloy*, M. Krnel *et al.*, *Intermetallics* **117**, 106680 (2020), smo raziskovali naravo kolektivnega magnetnega stanja v idealni visokoentropijski spojini (angl. High-Entropy Alloy – HEA) iz redkih zemelj, ki predstavlja magnetno koncentriran sistem, v katerem so vsa mrežna mesta kristalne strukture zasedena z lokaliziranimi magnetnimi momenti, in vsebuje slučajnost ter frustracijo zaradi kemijskega nereda. Raziskovana spojina HEA predstavlja kovinsko

**Raziskovalna skupina je opazovala asperomagnetizem v visokoentropijskih spojinah, določila kvantno kritično točko v  $\text{Ce}_3\text{Al}$ , študirala površinske kvantne lastnosti topoloških izolatorjev prek detekcije Diracovih elektronov, razvila  $\text{HfO}_2$  piezoelektrične plasti, povezala dielektrični in elektrokalorični odziv v relaksorskih feroelektrikih, opazovala solitonske valove v snovi z metodo ultra hladnih atomov in pomembno prispevala k razumevanju kvantnega in topološkega magnetizma.**

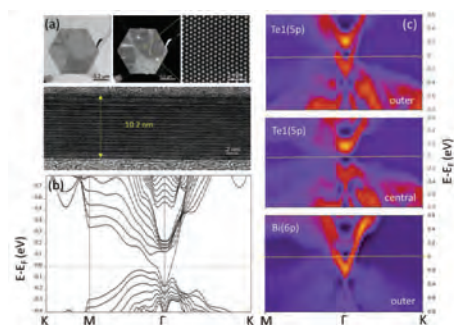
steklo na urejeni kristalni mreži, ki hkrati vsebuje lastnosti topološko urejenih kristalov in amorfnih struktur. Vpliv dualnosti kristal-steklo na kolektivno magnetno stanje smo raziskovali eksperimentalno na heksagonalni zlitini Tb-Dy-Ho-Er-Tm HEA (z okrajšanim imenom TDHET). Zlitina je sestavljena iz elementov redkih zemelj, kjer ničelne parske entalpije mešanja elementov zagotavljajo popolnoma naključno mešanje elementov, zelo podobni atomski radiji pa minimizirajo distorzijo kristalne mreže. Zato raziskovana HEA-zlitina TDHET predstavlja prototip idealne visokoentropijske zlitine. Magnetno je TDHET HEA zlitina karakterizirana s porazdelitvenimi funkcijami atomskih magnetnih momentov  $P(\mu)$ , izmenjalnih interakcij  $P(J)$ , magnetokristalinične anizotropije  $P(D)$  in magnetnih dipolnih interakcij  $P(H_d)$ . Na podlagi meritev statične in dinamične magnetizacije, magnetizacijskih krivulj  $M(H)$  (slika 1), termoremanentne magnetizacije, specifične toplote in magnetoupornosti smo ugotovili, da je kolektivno magnetno stanje TDHET temperaturno odvisno, kjer se v temperaturnem intervalu med 140 in 30 K ustvari speromagnetno (SPM) stanje, pod 20 K pa je stanje asperomagnetno (ASPM). V vmesnem temperaturnem območju med 30 in 20 K se ustvari spinsko steklasto (SG) stanje, ki je vmesno stanje med SPM-in ASPM-stanjem. Opaženi temperaturno odvisni razvoj magnetnega osnovnega stanja TDHET HEA zlitine pri hlajenju v zaporedju SPM→SG→ASPM je rezultat temperaturno odvisnih, medsebojno tekmujočih magnetnih interakcij. Porazdelitev izmenjalnih interakcij  $P(J)$  se s temperaturo premika zvezno po osi  $J$  od visokotemperaturnega SPM tipa z negativno povprečno izmenjalno interakcijo  $\bar{J} < 0$  prek SG tipa z  $\bar{J} = 0$  do nizkotemperaturnega ASPM tipa z  $\bar{J} > 0$ . To je posledica spreminjanja elektronskih energijskih pasov, kar je povezano s kristaliničnostjo sistema, ki jo sistem TDHET deli s topološko urejenimi kristali. Porazdelitvene funkcije  $P(\mu)$ ,  $P(J)$ ,  $P(D)$  in  $P(H_d)$  pa so posledica kemijskega nereda, zaradi katerega je sistem TDHET podoben amorfni magnetom. Topološko urejena kristalna mreža in amorfni tip kemijskega nereda določata magnetno stanje idealne HEA-zlitine iz redkih zemelj.



Slika 1: Komplicirana magnetizacijska krivulja TDHET HEA zlitine kot posledica tekmovanja med speromagnetnim in asperomagnetnim spinskim redom



Slika 2: Anizotropna Néelova temperatura  $T_N^{a,b,c}(B)$  kot funkcija zunanje magnetnega polja, usmerjenega vzdolž različnih kristalografskih smeri. Néelove temperature so bile določene iz magnetne susceptibilnosti, magnetoupornosti in specifične toplote (metode so označene v legendi).



Slika 3: Analiza energijskih pasov Diracovih stanj v nanoploščicah  $Bi_2Te_3$ : (a) visokorezolucijska TEM in HAADF slika  $Bi_2Te_3$  nanoploščic (pogled od zgoraj in preseki); (b) struktura energijskih pasov 9-kvintupletne  $Bi_2Te_3$  rezine (debelina  $\sim 10$  nm); (c) projicirana k-razložena gostota energijskih stanj  $Te(1) | 5p$  in  $Bi(6p)$  orbitalnih stanj na zunanjem robu kvintupletov in  $Te(1) | 5p$  orbitalnih stanj v centru kvintupleta. Diracova stanja so opažena samo na zunanjih robovih kvintupletov.

2. Anizotropna kvantna kritična točka v  $Ce_3Al$

V članku Anisotropic quantum critical point in the  $Ce_3Al$  system with a large magnetic anisotropy, S. Vrtnik, *et al.*, *J. Phys. Commun.* 4, 105016 (2020), smo eksperimentalno raziskovali kvantno kritično točko (QCP), doseženo s spreminjanjem magnetnega polja v magnetno anizotropni intermetalni spojini  $Ce_3Al$ , ki hkrati kaže antiferomagnetno (AFM) urejanje in težko fermionsko stanje. Meritve magnetne susceptibilnosti, magnetoupornosti in specifične toplote na monokristalnih vzorcih do nizke temperature 0,35 K v magnetnih poljih do 9 T so pokazale, da je QCP anizotropna glede na orientacijo zunanje magnetnega polja proti magnetno lahki smeri v kristalu (slika 2). Zunanje magnetno polje pelje AFM prehod zvezno proti temperaturi absolutne ničle, kadar leži v  $(a, b)$  magnetno lahki ravnini in doseže kvantno kritično točko pri kritičnem polju  $B_c^{a,b} = 4,6 \pm 0,4$  T, kjer se zgodi kvantni fazni prehod iz AFM v paramagnetno stanje. Magnetoupornost pod temperaturo 1 K namiguje na vmesna magnetna stanja v bližini QCP. Za smer magnetnega polja vzdolž magnetno trde kristalne smeri  $c$  pa QCP ni bila opažena v območju za nas dosegljivih magnetnih polj. Anizotropna, z magnetnim poljem dosežena QCP v  $Ce_3Al$  je posledica tekmovanja med izmenjalno interakcijo in Zeemansko interakcijo v prisotnosti velike magnetokristalinične anizotropije. Anizotropija QCP je posledica dejstva, da magnetna anizotropija priklene magnetizacijo v magnetno lahko ravnino in je magnetno polje ne more potegniti ven iz te ravnine. Posledično samo komponenta vektorja magnetnega polja, ki leži v lahki ravnini, sodeluje pri formaciji QCP. Z magnetnim poljem dosežena QCP v AFM-sistemih z veliko magnetno anizotropijo je zvezna spremenljivka orientacije vektorja magnetnega polja glede na magnetno lahko os.

### 3. Površinske kvantne lastnosti topoloških izolatorjev, raziskovane prek detekcije Diracovih elektronov z NMR-spektroskopijo

V članku Resolving Dirac Electrons with broadband high-resolution NMR, W. Papawassiliou, J. Dolinšek, *et al.*, *Nat. Commun.* 11, 1285 (2020), smo raziskovali površinske kvantne lastnosti topološkega izolatorja (TI)  $Bi_2Te_3$  v obliki nanoploščic. Detekcija kovinskih Diracovih elektronskih stanj na površini TI je kritičnega pomena pri študiju površinskih kvantnih lastnosti, kot so Majoranove kvazidelčne ekscitacije, kjer je treba hkrati opazovati elektronska stanja v volumnu materiala in na njegovi površini. Eksperimentalne merske metode, ki z atomsko resolucijo kažejo razpršenost Diracovih elektronov in njihovo interakcijo z drugimi prostostnimi stopnjami znotraj volumna nanodimenzionalnih TI-sistemov, so sedaj še redke. V naši raziskavi smo uporabili napredne širokopasovne metode  $^{125}Te$  NMR v trdem stanju na  $Bi_2Te_3$  nanoploščicah in z njimi

uspešno opazili doslej nevidne NMR-sigle prek magnetnega ščitenja, ki ga povzročijo Diracovi elektroni, ter s tem pokazali, kako se Diracovi elektroni razpršijo v notranjosti nanoploščic (slika 3). Tako smo prek spinske in orbitalne magnetne susceptibilnosti hkrati merili signale volumnskih in površinskih elektronov na skali z atomsko resolucijo, kar je napreden eksperimentalni pristop k študiju površinskih kvantnih lastnosti topoloških izolatorjev.

#### 4. Stabiliziranje nastanka perovskitne faze v epitaksialnih tankih plasteh s povečevanjem hrpavosti podlage

Perovskit  $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$  (PMN-PT) izkazuje odlične piezo- in dielektrične lastnosti, vendar le ob odsotnosti piroklorne faze, ki nastaja zaradi izgube svinca med sintezo. S pulzno lasersko depozicijo smo pripravili PMN-PT tanke plasti na  $\text{LaNiO}_3/\text{SrTiO}_3$  (LNO/STO) podlagi. Ugotovili smo velik vpliv spodnje elektrode na lastnosti nanešene aktivne plasti. Uporaba LNO kot elektrodnega materiala namreč učinkovito stabilizira perovskitno fazo in znatno razširi procesno okno za pripravo fazno čistega PMN-PT v primerjavi z neposrednim nanašanjem na STO podlago. Razumevanje mehanizma (stabilizacija je predvsem posledica večje hrpavosti podlage, ki ponuja več mest za vezavo svinca) je omogočilo pripravo šablone STO/Nb:STO z grobo površino, ki je še dodatno povečala stabilnost perovskitne faze in posledično izboljšala električne lastnosti plasti. Razviti postopek je mogoče uporabiti za oblikovanje šablon za različne konfiguracije nanašanja plasti. Raziskave so bile objavljene v članku avtorjev Gabor, U., Vengust, D., Samardžija, Z., Matavž, A., Bobnar, V., Suvorov, D., Spreitzer, M.: Stabilization of the perovskite phase in PMN-PT epitaxial thin films via increased interface roughness, *Applied Surface Science* 513, 145787 (2020).

#### 5. Razvoj debelejših $\text{HfO}_2$ piezoelektričnih plasti

V  $\text{HfO}_2$  plasteh, ki so običajno pripravljene z atomsko enoslojno depozicijo, želene feroelektrične lastnosti pri debelinah nad 50 nm tipično izginejo. V sodelovanju z raziskovalci iz luksemburškega inštituta za znanost in tehnologijo smo z metodo sinteze iz raztopin uspešno izdelali 1  $\mu\text{m}$  debele piezoelektrične  $\text{La:HfO}_2$  plasti. Po določitvi optimalne vsebnosti La se je debelina plasti povečevala s 45 nm na 1  $\mu\text{m}$ , meritve električne polarizacije in raztezka pa so pokazale ne samo obstojnost feroelektričnih lastnosti, ampak zaradi bolj orientirane polarne osi celo boljši odziv pri večjih debelinah. Stabilizacija polarne ortorombske faze  $\text{Pca}2_1$  je bila v razvitih plasteh dosežena s finostrukturno mikrostrukturno, s tem pa je odprta pot do cenovno ugodnih aplikacij  $\text{HfO}_2$  na področju senzorjev in aktuatorjev.

#### 6. Povezava dielektričnega in elektrokaličnega odziva v relaksorskih feroelektrikih

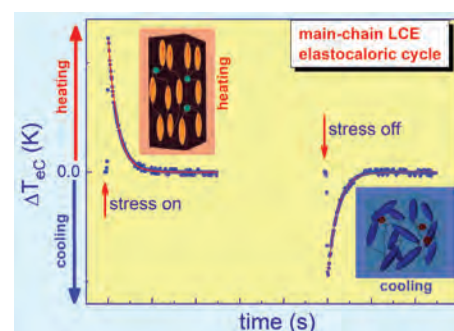
V relaksorski feroelektrični  $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$  keramiki smo raziskali zvezo med dielektričnim odzivom in elektrokalično (EC) spremembo temperature ( $\Delta T_{\text{EC}}$ ). Relacija med odzivoma bi namreč pomagala napovedati temperaturno območje, kjer je EC odziv največji. Pokazali smo, da je maksimum dielektrične konstante vedno pri višji temperaturi ( $T_m$ ) kot maksimalni  $\Delta T_{\text{EC}}$  in da se temperaturni razkorak med obema maksimumoma veča s povečevanjem pritisnjene DC električnega polja. Rezultati, ki smo jih pojasnili v okviru faznega diagrama električno polje-temperatura za relaksorske sisteme, tako kažejo, da  $T_m$  lahko le približno določa zgornjo mejo okna temperatura-električno polje, kjer je EC odzivnost največja.

#### 7. Študija urejanja nanostrukturiranih snovi in kaloričnih pojavov v elektronskih keramikah in mehkih snoveh

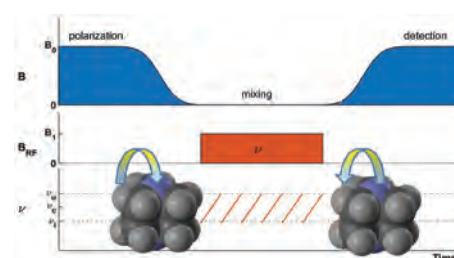
Z neposrednimi meritvami in teoretičnimi simulacijami smo pokazali, da v tekočerkristalnih elastomerih obstaja velik elastokalorični pojav, ki ga je mogoče kontrolirati z gostoto medveržnih povezav. Nadaljevali smo študij feroelektričnih lastnosti, elektromehanskega pojava in elektrokaličnega pojava v novih volumnskih materialih brez svinca in pokazali, da ti materiali lahko v vseh lastnostih povsem nadomestijo materiale s svincom. Pokazali smo tudi, da lahko nanodelci grafena, dekorirani s CoPt, stabilizirajo za optične aplikacije zanimive modre faze v tekočih kristalih. Dela so bila objavljena v 17 člankih v mednarodnih znanstvenih revijah. Naša dela na multiferoikih, multikalorikih in mehkih snoveh so v letu 2020 zbrala več kot 400 čistih citatov. Raziskave so bile objavljene v 5 člankih v mednarodnih recenziranih revijah.

#### 8. Hitro iskanje NQR-frekvenc s cikliranjem magnetnega polja

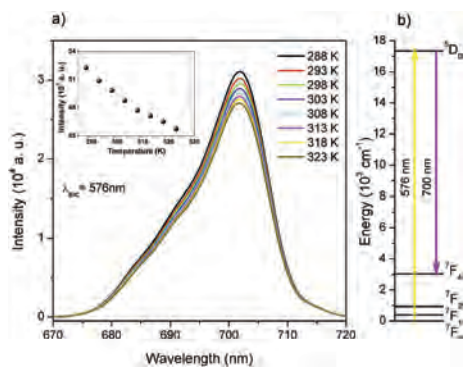
Glavni motiv za meritve značilnih frekvenc jedrske kvadrupolne resonance (NQR) je raziskava porazdelitve elektronskega naboja v okolici atomskega jedra, na primer v kemijskih vezeh, ki jih tvori atom. Zaradi visoke resolucije lahko z NQR tudi ločimo med molekulami in med polimorfnimi kristali. Z NQR lahko tudi raziskujemo mikroskopska stanja urejenosti, npr. v prisotnosti kemijske izmenjave in reorientacij. V publikaciji smo predstavili modificirano Slusher-Hahnovo tehniko jedrske kvadrupolne dvojne resonance (NQDR), s katero lahko



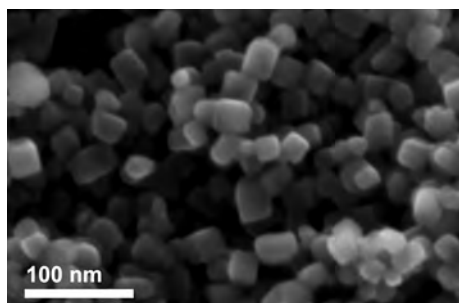
Slika 4: Elastokalorični hladilni cikel v tekočerkristalnih elastomerih z glavnimi verigami



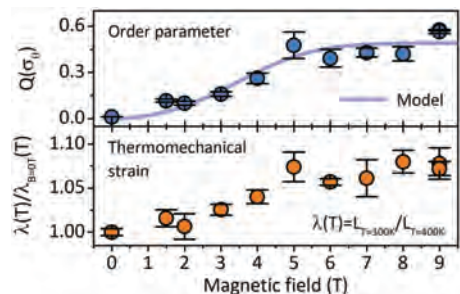
Slika 5: Periodično in adiabatno vklapljanje in izklapljanje magnetnega polja, kjer v ničelnem polju vzorec obsevamo z radiofrekvenčnimi pulzi z drsečo frekvenco.



Slika 6: a) Temperaturna odvisnost fotoluminescenčne emisije za  ${}^5D_0 \rightarrow {}^7F_4$  prehod z ekscitacijo  ${}^7F_0 \rightarrow {}^5D_0$ ; b) energijski diagram  $Eu^{3+}$  iona, ki prikazuje ekscitacijo in radiacijsko relaksacijo.



Slika 7: Pri pretvorbi  $H_2Ti_3O_7$  nanocevk pri hidrotermalnih pogojih v alkalnem mediju nastanejo anatazni nanodelci v obliki kock.



Slika 8: Eksperimentalno določen orientacijski ureditveni parameter  $Q(\sigma_\theta)$  (zgornji graf) in termomehanski odziv (spodnji graf) istih PDTKE-vzorcev. Maksimalen ureditveni parameter je dosežen pri  $B \geq 5$  T pri vrednosti  $Q_{max}(\sigma_\theta) = 0,54$ . Termomehanski odzivi so bili določeni na več kosih istih vzorcev z merjenjem spremembe dolžine pri segrevanju od 300 K do 400 K.

hitreje določimo NQR-frekvence. Tehnika temelji na periodičnem in adiabatem vklapljanju in izklapljanju magnetnega polja, kjer v ničelnem polju vzorec obsevamo z radiofrekvenčnimi pulzi z drsečo frekvenco (slika 5). Nova tehnika omogoča hitro določitev NQR-frekvenc, ne glede na to, kje v frekvenčnem območju so.

### 9. $TiO_2$ nanostrukture, dopirane z $Eu^{3+}$ in $Nd^{3+}$ ioni kot optični nanotermometri

Nanostrukture, dopirane z lantanidnimi ioni, so zanimive za uporabo v bioloških aplikacijah kot optični termometri, saj delujejo v temperaturnem območju med 15 °C in 50 °C, ki sovпада s fiziološkim temperaturnim območjem. S tem razlogom smo pripravili nanodelce  $TiO_2$ , dopirane z ioni  $Eu^{3+}$ , oziroma  $Nd^{3+}$  in raziskovali njihove spektroskopske lastnosti. V primeru nanometrskih delcev  $TiO_2$ , dopiranih z ioni  $Eu^{3+}$ , smo opazili, da so intenzitete ekscitacijskih prehodov ( ${}^7F_0 \rightarrow {}^5D_0$  (576 nm) in  ${}^7F_2 \rightarrow {}^5D_0$  (610 nm)), opazovali smo emisijo  ${}^5D_0 \rightarrow {}^7F_4$  (700 nm) prehodov, odvisne od temperature (slika 6). To odvisnost smo uporabili za konstrukcijo nanotermometra.

### 10. Pretvorbe $H_2Ti_3O_7$ nanocevk v $TiO_2$ nanostrukture

Namen transformacije  $H_2Ti_3O_7$  nanocevk v anatazne nanostrukture je bila priprava  $TiO_2$  nanodelcev različnih oblik za kasnejše študije toksičnosti. Pretvorbe  $H_2Ti_3O_7$  nanocevk v anatazne nanodelce so bile narejene pri različnih hidrotermalnih pogojih in s kalciniranjem na zraku. Pri pretvorbah pri hidrotermalnih pogojih se je pokazalo, da na velikost in obliko nanodelcev poleg T in pH vpliva tudi prisotnost površinskih ligandov v reakcijski zmesi, medtem ko se pri kalcinaciji na zraku pod 400 °C morfologija nanocevk ohrani. Pri pretvorbah pri hidrotermalnih pogojih pa so nastali delci različnih oblik (slika 7). Te delce so kasneje uporabili v študijah toksičnosti. Raziskave so bile objavljene v članku avtorjev Kokot, H., Kokot, B., Sebastijanovič, A., Podlipcec, R., Krišelj, A., Čotar, P., Pušnik, M., Umek, P., Pajk, S., Urbančič, I., Koklič, T., Štrancar, J., *et al.*: Prediction of chronic inflammation for inhaled particles: the impact of material cycling and quarantining in the lung epithelium. *Advanced materials* 32 (2020) 2003913.

### 11. Raziskave orientacijskega ureditvenega parametra v polimerno dispergiranih tekočokristalnih elastomerih

Andraž Rešetič in Boštjan Zalar s sodelavci ter partnerji iz Italije in Češke so preiskovali orientacijski ureditveni parameter v polimerno dispergiranih tekočokristalnih elastomerih (PDTKE). Njihove termomehanske lastnosti so odvisne od stopnje orientiranosti vgrajenih delcev, kar so dosegli s sintezo v močnem magnetnem polju. Z metodo devterijeve NMR so na vzorcih z različnimi stopnjami orientiranosti, vtisnjenih delcev tekočokristalnih elastomerov (TKE), posneli spektre, ki so bili nato simulirani z uporabo diskretnega reorientacijskega izmenjevalnega modela (slika 8). S tem so dokazali, da je največja urejenost TKE-delcev dosežena pri urejanju v magnetnih poljih, večjih od 5 T, ko se disperzija orientacijske distribucije ustali pri 20° in orientacijski ureditveni parameter pri vrednosti 0.54. Temu sledi tudi termomehanski odziv istih vzorcev. Raziskave so bile objavljene v članku avtorjev Rešetič, A., Milavec, J., Domenici, V., Zupancič, B., Bubnov, A., Zalar, B.: Deuteron NMR investigation on orientational order parameter in polymer dispersed liquid crystal elastomers, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 22 (2020) 23064.

### 12. Kvantni in topološki magnetizem

Martin Klanjšek je v sodelovanju s partnerjema iz Francije preveril pred tem napovedani analitični izraz za NMR spinsko-mrežno relaksacijo zaradi ojačanih kritičnih spinskih fluktuacij v kvazienodimenzionalnih spinskih sistemih v bližini magnetnega faznega prehoda. Izraz so eksperimentalno potrdili prek odličnega ujemanja z objavljenimi temperaturnimi odvisnostmi spinsko-mrežne relaksacijske hitrosti v dveh reprezentativnih kvazienodimenzionalnih spinskih sistemih,  $(C_7H_{10}N)_2CuBr_4$  (DIMPY) in  $BaCo_2V_2O_8$ . Pozitivni test hkrati pomeni tudi neposreden in prikladen način eksperimentalne določitve parametra interakcije v Tomonaga-Luttingerjevi tekočini, ki se odlično ujema s teoretičnimi napovedmi. Delo je bilo objavljeno v članku M. Horvatič *et al.*: Direct determination of the Tomonaga-Luttinger parameter  $K$  in quasi-one-dimensional spin systems, *Phys. Rev. B* 101, 220406(R) (2020).

Matej Pregelj, Andrej Zorko, Denis Arčon in Martin Klanjšek so v sodelovanju z raziskovalci iz Francije, Švice in Avstrije z jedrsko magnetno resonanco (NMR) v visokih magnetnih poljih raziskovali frustrirano spin-1/2 verigo  $TeVO_4$ . Iskali so teoretično napovedano spinsko nematsko fazo, zanimivo stanje snovi, ki ima višji multipolarni magnetni red, nima pa običajnega dipolarnega reda. Raziskovalna skupina je ugotovila, da je odkriti manjkajoči del magnetizacije, zaznan s frekvenčnim premikom NMR-signalov, toplotno aktiviran in ni odtis spinsko nematskega

vedenja, kakor je bilo predlagano prej. To spoznanje tako ovrže možnost obstoja spin-nematične faze v preiskovani spojnini. Poleg tega to odkritje izpostavlja pomembnost natančnega razmisleka o temperaturno odvisnem premiku NMR-signala, ki je bil v prejšnjih študijah spinske nematičnosti spregledan. Delo je bilo objavljeno v članku M. Pregelj *et al.*: Thermal effects versus spin nematicity in a frustrated spin-1/2 chain, *Phys. Rev. B* 102, 081104(R) (2020).

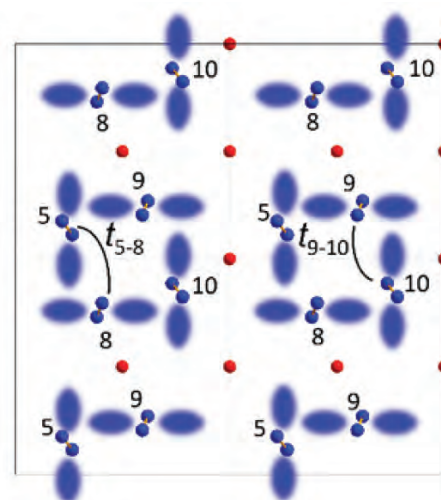
Matej Pregelj, Andrej Zorko in Denis Arčon so v sodelovanju s partnerji iz Hrvaške, Francije in Švice z meritvami magnetnega navora proučevali frustrirano spin-1/2 verigo  $\text{TeVO}_4$ . Raziskovali so anizotropijo faze spinskega gostotnega vala (SDW), vektorsko kiralne faze in dvojno modulirane spinske faze v magnetnih poljih do 5 T. Njihovi rezultati kažejo, da se v SDW in dvojno modulirani fazi pojavlja reorientacija magnetnih momentov, ki jo povzroči magnetno polje, večje od 2 Tesla. Predstavljeni rezultati bodo pomagali pri vzpostavljanju modela anizotropnih magnetnih interakcij, ki so odgovorne za tvorbo kompleksnih magnetnih faz v  $\text{TeVO}_4$  in podobnih nizko dimenzionalnih kvantnih spinskih sistemih. Delo je bilo objavljeno v prispevku M. Herak *et al.*: Magnetic-field-induced reorientation in the spin-density-wave and the spin-stripe phases of the frustrated spin-1/2 chain compound  $\text{TeVO}_4$ , *Phys. Rev. B* 102, 024422 (2020).

V obsežni študiji so Tilen Knaflič, Peter Jeglič, Andrej Zorko in Denis Arčon s sodelavci iz Nemčije raziskali nizkotemperaturno magnetno stanje v sistemu  $\text{Rb}_4\text{O}_6$ . Te raziskave so bile nadaljevanje uspešne študije na sorodnem  $\text{Cs}_4\text{O}_6$ , kjer smo pokazali, da pride do nabojnega urejanja, podobno kot pri Verweyevem prehodu. V tej študiji pa so odkrili, da pri nižjih temperaturah nastane še dodatna struktura nestabilnosti, ki je verjetno posledica orbitalnega urejanja (slika 9). Ta nestabilnost pomembno zaznamuje magnetno stanje, saj raziskave z metodo elektronske paramagnetne resonance v visokih poljih kažejo na kvantni magnetizem, ki izhaja iz šibko sklopljenih spinskih dimerov. Raziskava je bila objavljena kot Editor's suggestion v članku T. Knaflič *et al.*: Spin-dimer ground state driven by consecutive charge and orbital ordering in the anionic mixed-valence compound  $\text{Rb}_4\text{O}_6$ , *Phys. Rev. B* 101, 024419 (2020).

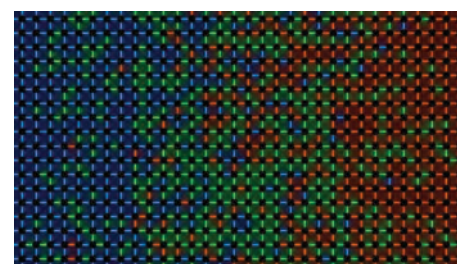
Matjaž Gomilšek je v sodelovanju s partnerji iz Velike Britanije raziskoval vpliv naključnih izmenjalnih interakcij na magnetizem  $S = 1/2$  kvantnega Heisenbergovega antiferromagneta (QHAF) na kvazi 2D kvadratni mreži (slika 10). Raziskovalci so ugotovili, da zamrznjena naključnost moči izmenjalnih interakcij (realizirana s kemijsko substitucijo v spojnini  $(\text{QuinH})_2\text{Cu}(\text{Cl}_x\text{Br}_{1-x})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , kjer je QuinH = Quinolinium =  $\text{C}_9\text{H}_8\text{N}^+$  in  $0 \leq x \leq 1$ ) močno destabilizira magnetni red ter vodi do razsežnega kvantno neurejenega področja pri zmernih stopnjah substitucije, v katerem osnovno stanje ne kaže magnetne ureditve. Avtorji predlagajo preprost in splošen energetski model tekmovanja različnih lokalnih magnetnih redov v neurejenih magnetih ter kažejo, da ta dobro opiše opažene kritične stopnje substitucije v proučevani spojnini. Ker je zamrznjen nered pogosto prisoten v širokem naboru QHAF in drugih frustriranih magnetnih materialov, ima ta raziskava daljnosežne posledice na področju kvantnega magnetizma. Delo je bilo objavljeno v članku F. Xiao *et al.*, Magnetic order and disorder in a quasi-two-dimensional quantum Heisenberg antiferromagnet with randomized exchange, *Phys. Rev. B* 102, 174429 (2020).

Matjaž Gomilšek je v sodelovanju s partnerji iz Velike Britanije raziskoval vpliv nizkih stopenj kemijske substitucije na magnetizem  $\text{GaV}_4\text{S}_{8-y}\text{Se}_y$ . Raziskovalci so pokazali, da materiali v tej seriji spojin gostijo mreže Néelovih skirmionov (eksotičnih topoloških spinskih tekstur) prek širokega razpona višjih temperatur prek študije njihove dinamike s pomočjo mionske spinske relaksacije ( $\mu\text{SR}$ ), kakor kaže slika 11. Prav tako kažejo, da kemijska substitucija stabilizira dodatna prekursora skirmionska stanja, ki vztrajajo celo do nižjih temperatur. Končno, pri najnižjih temperaturah raziskovalci odkrijejo postopen zvezen prehod med cikloidnim magnetnim redom in feromagnetnim osnovnim stanjem tako v  $y = 0$  kot tudi v  $y = 0,1$  materialu in kažejo, da kemijska substitucija vodi do nehomogene lokalne spinske gostote v tej seriji materialov. Odkritje bogatega faznega diagrama in netrivialnih posledic substitucije pomeni, da je  $\text{GaV}_4\text{S}_{8-y}\text{Se}_y$  eden od najbolj zanimivih topoloških magnetov. Delo je bilo objavljeno v članku T. J. Hicken *et al.*, Magnetism and Néel skyrmion dynamics in  $\text{GaV}_4\text{S}_{8-y}\text{Se}_y$ , *Phys. Rev. Research* 2, 032001(R) (2020).

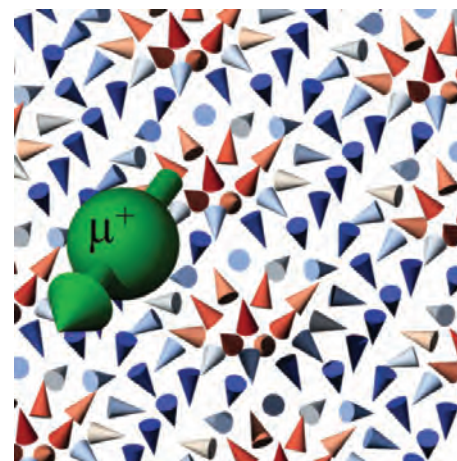
Tina Arh, Matjaž Gomilšek, Matej Pregelj, Martin Klanjšek in Andrej Zorko so s sodelavci iz Velike Britanije, ZDA in Kitajske proučevali vpliv perturbacij na osnovno stanje kvantne spinske mreže kagome. Ugotovili so, da je za magnetno urejanje v spojnini  $\text{YCu}_3(\text{OH})_6\text{Cl}_3$  kriva znatna interakcija tipa Dzyaloshinskii-Moriya, ki ojači spinske korelacije znotraj ravnin kagome (slika 12). S tem so eksperimentalno potrdili teoretično napovedan vpliv te interakcije in ustrezen fazni diagram. Ugotovitve so objavili v članku T. Arh *et al.*; Origin of Magnetic Ordering in a Structurally Perfect Quantum Kagome Antiferromagnet, *Phys. Rev. Lett.* 125, 027203 (2020).



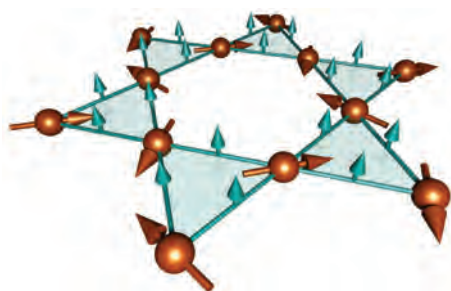
Slika 9: Orbitalno urejanje v  $\text{Rb}_4\text{O}_6$  je odgovorno za kvantno magnetno stanje šibko sklopljenih spinskih dimerov.



Slika 10: Simulacija naključnih izmenjalnih interakcij na 2D kvadratni spinski mreži



Slika 11: Skica miona nad mrežo topološko netrivialnih magnetnih Néelovih skirmionov



Slika 12: Magneto urejanje na spinski mreži kagome kot posledica interakcije Dzyaloshinskii-Moriya



Slika 13: Tvorba valenčnih vezi v osnovnem stanju spinske tekočina na kvantni mreži kagome

Andrej Zorko je s sodelavci iz Francije in Indije določil eksaktno naravo osnovnega stanja spinske tekočine v herbertsmithitu, najpomembnejšem predstavniku kvantne spinske mreže kagome. Vprašanje obstoja spinske reže v tej spojini je dolga leta ostajalo neodgovorjeno, kljub številnim eksperimentalnim poskusom. Raziskovalci so s poglobljenim eksperimentom jedrske magnetne resonance dokazali, da reže ni, in s tem pokazali dobro ujemanje z nedavnimi teoretičnimi napovedmi, ki za mrežo kagome predvidevajo Diracovo osnovno stanje spinske tekočine brez reže (slika 13). Delo je bilo objavljeno v članku P. Khuntia *et al.*, Gapless ground state in the archetypal quantum kagome antiferromagnet  $\text{ZnCu}_3(\text{OH})_6\text{Cl}_2$ , *Nat. Phys.* **16**, 469 (2020).

### 13. Superprevodnost

Denis Arčon, Peter Jeglič, Martin Klanjšek in Nejc Janša so v sodelovanju z odsekom F7 in F1 IJS raziskovali superprevodno stanje, ki izhaja iz kvantne spinske tekočine. Osredotočili so se na sistem  $1\text{T-TaS}_2$ , ki so ga sistematično dopirali s Se. S pomočjo Ta-181 NQR in Se-77 NMR meritev so pokazali, da tudi potem, ko se podre matično stanje spinske tekočine in se vzpostavi kovinsko stanje, antiferromagnetne korelacije ostanejo in zaznamujejo to novo stanje. Tovrstne korelacije so verjetno odgovorne tudi za superprevodno stanje, ki je v limiti močne sklopitve. Delo je bilo objavljeno v članku I. Benedičič *et al.*: Superconductivity emerging upon Se doping of the quantum spin liquid  $1\text{T-TaS}_2$ , *Phys. Rev. B* **102**, 054401 (2020).

Žiga Gosar, Nejc Janša, Tina Arh, Peter Jeglič, Martin Klanjšek in Denis Arčon so skupaj s kolegom z Univerze v Dallasu z metodama jedrske kvadrupolne in jedrske magnetne resonance raziskovali superprevodnost v kvazi enodimenzionalni kovini  $\text{Rb}_2\text{Mo}_3\text{As}_3$ . Spinsko-mrežni relaksacijski čas je pokazal, da je ta sistem mogoče dobro obravnavati znotraj formalizma Tomonaga-Luttinger tekočine (TLL), a v presenetljivem območju privlačnih interakcij. Kljub temu pa prisotnost tridimenzionalnega elektronskega pasu pomaga stabilizirati pri presenetljivo visoki kritični temperaturi. V članku, objavljenem v Ž. Gosar *et al.* Superconductivity in the regime of attractive interactions in the Tomonaga-Luttinger liquid, *Phys. Rev. B* **101**, 220508(R) (2020), so obravnavali pomembnost TLL fizike za superprevodno stanje.

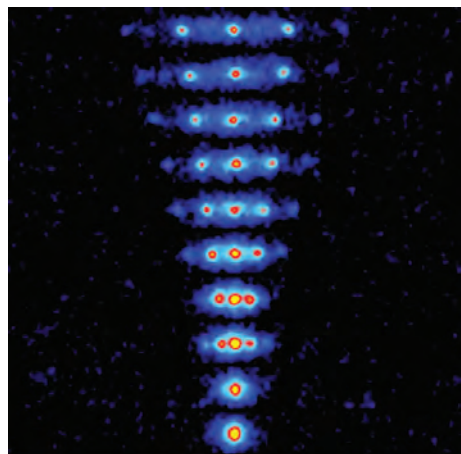
### 14. Funkcionalni materiali

Denis Arčon je sodeloval v študiji katodnega materiala  $\text{Li}_2\text{VO}_2\text{F}$ . S pomočjo pulzne in zvezne elektronske paramagnetne resonance (EPR) je v vzorcu, ki je bil nabojno nabit pri potencialu 4.1 V, odkril, da je treba EPR-signal obravnavati kot vsoto  $V^{4+}$  ( $3d^1$ ) in superoksidnega  $\text{O}_2^-$  signala. Še posebej zanimivo je odkritje superoksidnega centra, saj njegova prisotnost verjetno pomembno vpliva na reverzibilnost ciklov polnjenja. Raziskava je bila objavljena v J. H. Chang *et al.*, Superoxide formation in  $\text{Li}_2\text{VO}_2\text{F}$  cathode material – a combined computational and experimental investigation of anionic redox activity, *J. Mater. Chem. A* **8**, 16551 (2020).

Tilen Knaflič in Denis Arčon sta sodelovala v mednarodni raziskavi tetracenskega sistema, dopiranega s kalijem. Ta študija je plod širokega sodelovanja na področju dopiranih aromatskih kristalnih sistemov. Meritve z metodo EPR so pokazale, da je  $\text{K}_2$ Tetracen nemagnetni izolator. Študija je bila objavljena v C. I. Hiley *et al.*, Crystal Structure and Stoichiometric Composition of Potassium-Intercalated Tetracene, *Inorg. Chem.* **59**, 12545–12551 (2020).

Peter Jeglič, Tadej Mežnaršič in Denis Arčon so v sodelovanju s partnerji iz Japonske kot prvi poročali o študiju zeolita, napoljenega z rubidijevimi atomi s pomočjo makroskopskih in mikroskopskih metod. Najpomembnejši rezultat je bila izmerjena temperaturno neodvisna spinsko-mrežna relaksacija rubidijevih jeder v rubidijevih skupkih. To potrjuje domnevo, da ima zeolit, napoljen z rubidijevimi atomi, kovinsko osnovno stanje. In to kljub dejstvu, da so rubidijevi klastri ujeti v ogrodje zeolita, ki je sam zase izolator. Delo je bilo objavljeno v članku P. Jeglič *et al.*, Metallic State in Rubidium-Loaded Low-Silica X Zeolite, *J. Phys. Soc. Jpn.* **89**, 073706 (2020).

Andrej Zorko je s sodelavci iz drugih odsekov IJS ter iz Norveške proučeval vpliv dopiranja s kobaltom in atmosfere anilanja na električno prevodnost ter obrat električne polarizacije v  $\text{BiFeO}_3$  keramikah. Predlagali so proces utrjevanja strukture, ki predvideva obstoj dveh tipov centrov pritrdjevanja. Rezultati študije bodo pomagali pri nadaljnji optimizaciji lokalne in makroskopske prevodnosti ter utrjevanja teh tehnološko pomembnih keramik. Rezultati so bili objavljeni v članku M. Makarovič *et al.*: Tailoring the electrical conductivity and hardening in  $\text{BiFeO}_3$  ceramics, *J. Eur. Ceram. Soc.* **40**, 5483 (2020).



Slika 14: Pari snovnih valov, ki izhajajo iz moduliranega Bose-Einsteinovega kondenzata cezijevih atomov.

### 15. Hladni atomi

Tadej Mežnaršič, Tina Arh, Erik Zupanič in Peter Jeglič so poročali o emisiji koreliranih parov snovnih valov iz solitona moduliranega v kvazienodimenzionalni optični pasti (slika 14). Proces

nastajanja parov snovnih valov so opisali s pomočjo preprostega modela na osnovi enodimenzionalne enačbe Grossa in Pitaevskega, ki ponuja vpogled v dinamiko gostotnih valov, ki nastanejo v začetni fazi vzbujanja solitona. Pri parametrih modulacije, kjer so nastajali le pari snovnih valov prvega reda, so opazili korelacije v številu atomov v snovnih valovih, ki so onkraj pričakovanih vrednosti za klasične stohastične procese. Rezultati so bili objavljeni v članku T. Mežnaršič *et al.*: Emission of correlated jets from a driven matter-wave soliton in a quasi-one-dimensional geometry, *Phys. Rev. A* 101, 031601(R) (2020).

## II. Programska skupina Fizika mehkih snovi, površin in nanostruktur

Raziskave programske skupine Fizika mehkih snovi, površin in nanostruktur se osredotočajo na nove kompleksne sisteme v mehki snovi in na površinah s specifičnimi funkcionalnimi lastnostmi. Cilj programa je razumeti strukturne in dinamične lastnosti teh sistemov, njihove interakcije, njihove funkcionalnosti na molekularni ravni in samosestavljanje mehke snovi. Temeljna domneva raziskav je, da je mogoče razumeti kompleksne mehanizme, kot je samosestavljalnost na makroskopski ravni, z uporabo poenostavljene fizikalne slike in ustreznih modelov. Program sestavljajo eksperimentalne in teoretske raziskave, podprte s simulacijami in modeliranjem. Poseben poudarek je namenjen elektrooptičnim lastnostim in uporabi v medicini.

### Nadzor svetlobe s topološkimi solitoni v frustriranih kiralnih nematikih

Topološki solitoni, ki jih zasledimo na različnih področjih fizike, so fascinantne lokalizirane motnje v parametru urejenosti, ki so topološko zaščitene. Proučili smo lom, odboj in lečenje laserskih žarkov na različnih topoloških solitonih v frustriranih kiralnih nematikih. Teoretično smo pokazali, da je interakcija šibke svetlobe s takšnimi topološkimi solitoni dobro opisana s posplošenim Snellovim zakonom in modeli za sledenje žarkom. Te ugotovitve omogočajo boljše razumevanje manipulacije toka svetlobe, kar je posebej uporabno pri razvoju kompleksnih optičnih in fotonih sestavov. Študija je potekala tako na Inštitutu "Jožef Stefan" kot na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani ter v tesnem sodelovanju s skupino Ivana Smalyukha z Univerze v Koloradu v Boulderju. Objava o dosežkih raziskave (*Physical Review X*, 2020, DOI: 10.1103/PhysRevX.10.031042) je bila v *APS Physics Focus* izpostavljena v uredniškem članku Liquid-Crystal Vortices Focus Light.

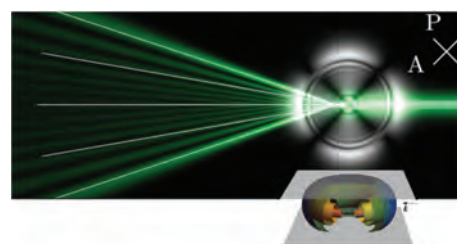
### Periodično samofokusiranje svetlobe v frustrirani tanki plasti holesterika

V raziskavi pokažemo, da kiralnost močno ojača nelinearni optični odziv frustriranih kiralnih nematkov. Za razliko od nekiralnih tekočih kristalov, kjer preorientacija molekul v močnem laserskem curku omogoča nastanek krajevnega optičnega solitona – nematikona, v frustriranem odvitem kiralnem nematiku kiralnost prinaša dodatno ojačenje nelinearnega odziva in posledično lažjo tvorbo optičnih solitonov. Obnašanje takih solitonov smo raziskali v tanki plasti, kamor svetloba vpada pod kotom in pride do tvorbe similaritonov, ki jih karakterizira periodično samofokusiranje. Naše numerične in teorijske raziskave, ki so potekale tako na Inštitutu "Jožef Stefan" kot na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani, so tekle vzporedno z eksperimentalno študijo skupine Ivana Smalyukha z Univerze v Koloradu v Boulderju in pripeljale do skupne objave (*Physical Review Letters*, 2020, DOI: 10.1103/PhysRevLett.125.077801). Ugotovitve o kiralno ojačenih nelinearnih optičnih pojavi dajejo osnovo za nove možnosti rabe pri aplikacijah, kot so samovzbujene ploske leče, ki jih proži svetloba z relativno šibko jakostjo, in optično procesiranje informacij na osnovi interakcije krajevnih optičnih solitonov s topološkimi solitoni v mehkem kiralnem mediju.

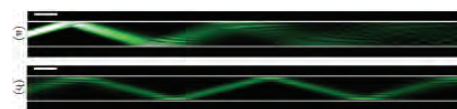
### Nestabilnost v 3D aktivnih nematikih privede do gubanja

V eksperimentalni in teoretski študiji obravnavamo tridimenzionalni aktivni nematik, ki je sestavljen iz mikrotubulov, kinezinskih motorjev in raztopine polimerov. Sistem kaže kompleksno dinamiko, ki preide od tridimenzionalne enakomerne porazdelitve tubulinskih snopov do sploščene in zgoščenega 2D-traku prek mehanske nestabilnosti do 3D aktivnega turbulentnega stanja. Medsebojno delovanje privlačnih sil zaradi zasedenega volumna in molekularnih motorjev

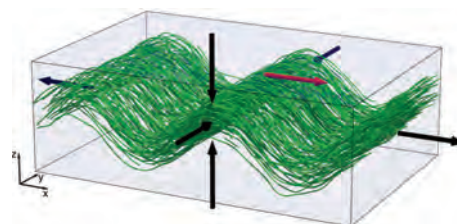
**S teorijsko-numeričnim pristopom pojasnimo tok svetlobe skozi kompleksne strukture topoloških solitonov v frustriranih kiralnih nematikih. V tanki plasti odvitega holesterika pokažemo kiralno ojačano periodično samofokusiranje močnega laserskega curka in tvorbo similaritona. Z modeliranjem pokažemo, da lahko s topološkimi defekti v ionsko dopiranem nematskem tekočem kristalu manipuliramo porazdelitve površinskega naboja na kemično homogenih površinah. Za materialne tokove in morfološko dinamiko topoloških defektnih linij in zank v 3D aktivnih nematikih s teorijsko-numeričnim pristopom pokažemo pomen lokalnega profila orientacijskega reda, ki defekte obkroža.**



Slika 15: Simulirani prehod zelene svetlobe, skozi toron v razviti holesterični plasti. Intenzivnost zelene barve ustreza jakosti svetlobe. Bele črte dobimo s preprostim sledenjem žarkom. 100-mikrometrski toron z direktorsko strukturo, prikazano v vstavku, je predstavljen s sliko polarizacijskega mikroskopa v beli svetlobi.

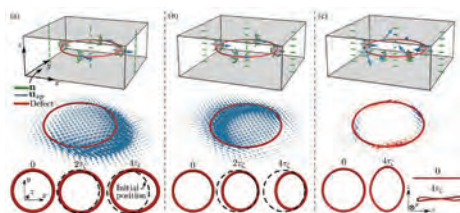


Slika 16: Širjenje nagnjenega Gaussovega curka svetlobe v razviti holesterični plasti v linearnem (a) in nelinearnem – similariton (b) optičnem režimu. Kratke bele črte predstavljajo 10  $\mu\text{m}$ .

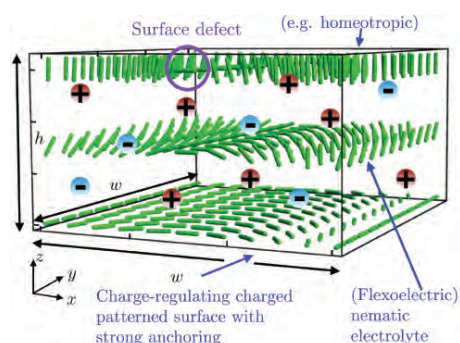


Slika 17: Nematsko urejeni snopi mikrotubulov (zeleno) se najprej v navpični smeri skrčijo v obliko traku, ki nato zaradi aktivne raztezne napetosti zavzame valovito obliko.

kinezinov vodi tako v privlačno silo, ki skrči trak, kot v raztezno, ki inducira nestabilnost in nastanek valov. Na makroskopski skali smo uporabili teorijo kontinuov za razlago nestabilnosti in napoved valovne dolžine nastalih valov. Rezultate smo dopolnili z detajlnimi simulacijami na molekularni skali (z uporabo odprtokodnega paketa Cytosim), ki so opaženo dinamiko reproducirale na podlagi lastnosti posamičnih kinezinskih motorjev. Ugotovili smo, da se sile motorjev skoraj izničijo, vendar pa majhna asimetrija v njihovi porazdelitvi privede do nastanka raztezne napetosti. Medtem ko valovna dolžina gub močno korelira s časovno skalo njihovega nastanka, kar napove tudi kontinuumska teorija, je neodvisna od koncentracije ATP. Prehod v našem sistemu od 3D-materiala do kvazi 2D-traku ter nazaj v 3D predstavlja nov način samoorganizacije v aktivni mehki snovi. Študija je večinoma potekala v okviru Inštituta Max Planck za dinamiko in samoorganizacijo v Göttingenu (*Nano Letters*, 2020, DOI:10.1021/acs.nanolett.0c01546).



Slika 18: Tokovi in dinamika različnih aktivnih nematskih defektnih zank z ničelnim topološkim nabojem



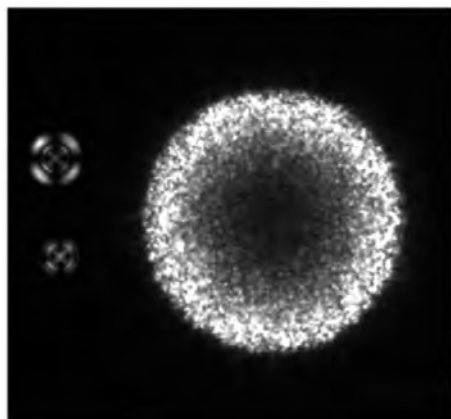
Slika 19: Površinsko inducirani električni naboj, povzročeni z nematskimi defekti

### Tridimenzionalne aktivne defektne zanke

Raziščemo materialne tokove in morfološko dinamiko topoloških defektnih linij in zank v tridimenzionalnih aktivnih nematikih ter s pomočjo teorije in numeričnega modeliranja pokažemo, da jih ureja lokalni profil orientacijskega reda, ki defekte obkroža. Z analizo različnih profilov defektnih zank, in sicer od radialnega in tangencialnega zasuka do klinastih profilov, pokažemo, da lahko različne geometrije poganjajo tok materiala pravokotno ali vzdolž lokalnega segmenta defektne zanke, kar lahko nadalje povzroči premikanje zanke, raztezek ali stiskanje zanke ali upogibanje zank. Pokažemo korelacijo med lokalno ukrivljenostjo in lokalnim orientacijskim profilom defektne zanke, kar splošneje pokaže na dinamično povezavo med geometrijo in topologijo. Raziščemo splošno tvorbo okvar aktivnih nematskih defektnih zank v treh dimenzijah, pri čemer pokažemo njihovo ustvarjanje z nestabilnostjo upogiba zaradi različnih začetnih elastičnih deformacij. Delo je rezultat sodelovanja med Univerzo v Warwicku (prof. G. Alexander), Fakulteto za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani in Oddelkom za fiziko kondenzirane snovi na Institutu "Jožef Stefan". (*Physical Review Letters*, 2020, DOI: 10.1103/PhysRevLett.124.088001)

### Heterogenosti površinskega naboja v nematskih elektrolitih, inducirane s topološkimi defekti

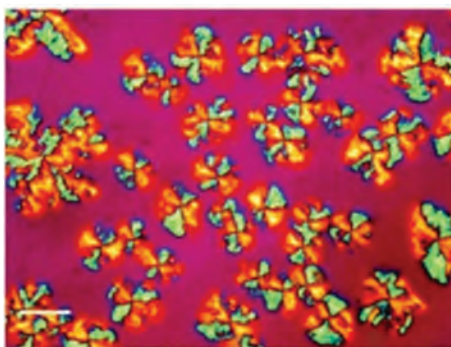
S teoretičnim modeliranjem smo pokazali, da lahko s topološkimi defekti v ionsko dopiranem nematskem tekočem kristalu manipuliramo porazdelitve površinskega naboja na kemično homogenih zunanjih površinah, ki uravnavajo naboj. Položaj in vrsta defekta določita natančno porazdelitve površinskih nabojev, učinek pa se poveča, če je tekoči kristal fleksoelektričen. Princip nadzora naboja smo pokazali na primeru vzorčenih površin in nabitih koloidnih krogel. Na splošno naši rezultati kažejo na zanimivo možnost nadzora površinskih nabojev na zunanjih površinah brez spreminjanja kemije površine (*Physical Review Letters*, 2020, DOI: 10.1103/PhysRevLett.125.037801).



Slika 20: Ultra hitro ohlajanje tekočega kristala z osvetlitvijo 5 ns

### Nekoherentna mikroskopija tekočih kristalov z nanosekundno osvetlitvijo

Postavili smo eksperiment za brezinterferenčno mikroskopijo z ultrakratkimi osvetljevalnimi časi dolžine 5 nanosekund. Postavitev temelji na stroboskopskem principu slikanja, pri čemer smo uporabili hitro in nekoherentno fluorescenčno emisijo organskih barvil, ki smo jo vzbudili s pikosekundnimi laserskimi pulzi. Uporabili smo enostavno rešitev z raztopino barvila Rhodamin B in etanola v stekleni kivetvi, pri čemer smo dobili slike z odlično kakovostjo, visokim kontrastom in nastavljivo koherenco. Učinkovitost metode smo pokazali na primeru slikanja ultra hitrega ohlajanja tekočega kristala iz nematske v izotropno fazo. Pri tem smo lahko raziskovali Kibble-Zurkov mehanizem tvorbe in rasti topoloških defektov s submikrosekundno ločljivostjo pri ekstremno hitrem ohlajanju (40.000 K/s). Raziskava je potekala v sodelovanju s Fakulteto za matematiko in fiziko ter Fakulteto za farmacijo Univerze v Ljubljani (*Liquid Crystals*, 2020, DOI:10.1080/02678292.2020.1790049).

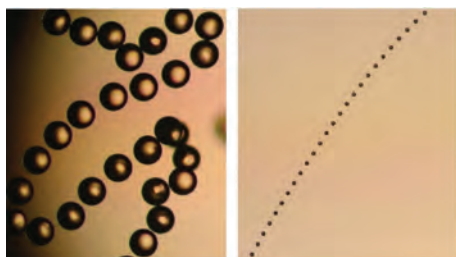


Slika 21: Rožna domena v inverznem nematskem gelu

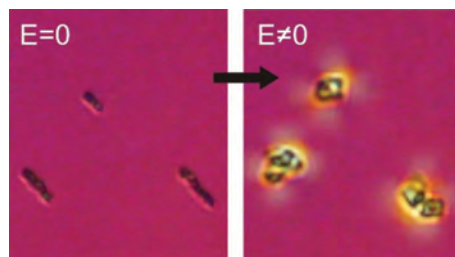
### Svetle rožne domene v inverznih nematskih gelih

Odkrili smo, da gelator 12-HSA v nematskem tekočem kristalu povzroči nastanek lokaliziranih domen, v katerih je koncentracija gelatorja višja kot v okoliškem tekočem kristalu. Gelator v teh domenah tvori vlakna, ki interagirajo z molekulami tekočega kristala ter stabilizirajo njegov direktor v spiralno strukturo, ki je sorodna toronom. Njihovo strukturo smo proučili z optično





Slika 22: Ogrlice iz tekočerkristalnih kapljic, povezanih z mikrovlaknom



Slika 23: Obracanje mikroploščic v tekočem kristalu z električnim poljem

in konfokalno mikroskopijo. Vse domene imajo isto ročnost strukture, čeprav je nematski tekoči kristal v njihovi okolici akiralen. Raziskava je potekala v sodelovanju s Fakulteto za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani in Ramanovim Inštitutom v Bangalorju (*Soft matter*, 2020, DOI: 10.1039/C9SM02547B).

### Ogrlice iz tekočerkristalnih kapljic

Z uporabo mikrofluidike smo izdelali stabilne ogrlice iz mikrometrskih tekočerkristalnih kapljic, povezanih s tankim, submikronskim mikrovlaknom, narejenim iz kompozita PVA in tekočega kristala. Ogrlice lahko poljubno raztegujemo z zunanjo silo z uporabo laserske pincete in tako smo lahko določili elastični modul povezovalnega vlakna. V posameznih kapljicah smo opazovali WGM resonance, žal pa nam še ni uspelo prenašati svetlobe med posameznimi kapljicami zaradi prevelikih izgub v vlaknu. Raziskava je potekala v sodelovanju z AIST v Tsukubi (*Langmuir*, DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.0c00101>).

### Preurejanje feroelektričnih ploščic z električnim poljem v nematskem tekočem kristalu

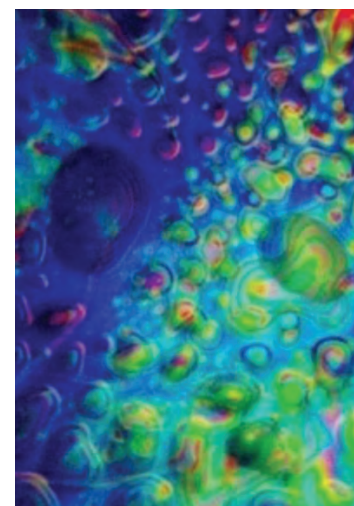
Pokazali smo, da lahko feroelektrične mikroploščice v nematskem tekočem kristalu obračamo z zunanjim električnim poljem. Električni dipolni moment ploščic je pravokoten na ravnino ploščic, kar nam omogoča obračanje ploščic iz njihove ravnovesne lege. Eksperimenti so bili narejeni v tekočem kristalu z ničelno dielektrično anizotropijo, torej smo preobračali tekočerkristalne molekule le prek njihove sklopitve s ploščicami, ne s pomočjo dielektrične sklopitve tekočih kristalov s poljem (*Liquid Crystals*, DOI: 10.1080/02678292.2020.1785026).

### Hibridne sestave grafenskih derivatov, tekočih kristalov in nanodelcev CdS/TiO<sub>2</sub>: optoelektronski in biotehnoški vidiki

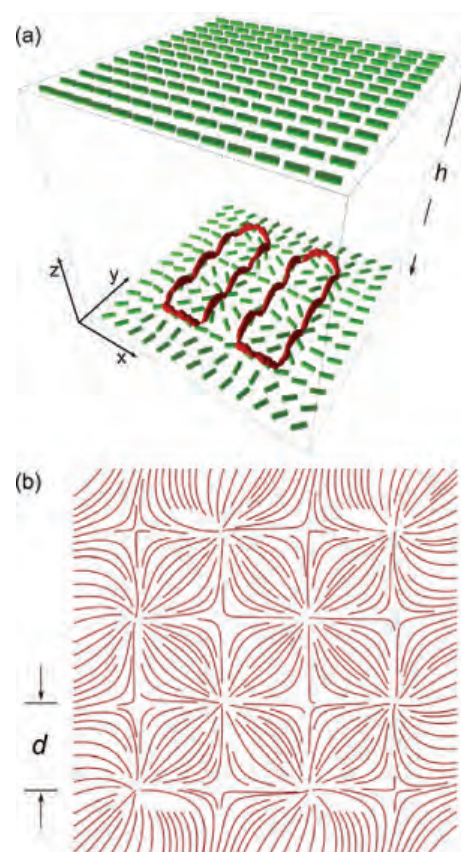
Predstavljene so različne združbe nanomaterialov in z njimi povezane nove tehnologije preklonnih aplikacij. Obravnavani so kompleksni sistemi, sestavljeni iz grafena in njegovih derivatov, tekočih kristalov z vodikovo vezjo in polprevodniških nanodelcev ali nanožičk. Stabilni hibridni sklopi so omogočeni predvsem zaradi prisotnosti razmeroma močnih vodikovih vezi. Posebno zanimive so konfiguracije, pri katerih dosežemo učinkovite preklope med stanji z izrazito različnimi željenimi efektivnimi lastnostmi. Takšne sklope lahko uporabimo v prilagodljivi elektroniki, pametnih zaslonih z visokim kontrastom, različnih optoelektronskih napravah, senzorjih (vnetljivosti, eksplozivnosti ali toksičnosti kemikalij), bioznavanju in protimikrobnih aplikacijah. Pregledna študija, ki je nastala v sodelovanju z raziskovalci iz Indije in Egipta, je usmerjena predvsem na stroškovno učinkovite tehnologije, osnovane na heterogenih mehanizmih samosestavljanja (*Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*, 2020, DOI: 10.1080/10408436.2020.1805295).

### Prevezljive multistabilne konfiguracije topoloških defektov

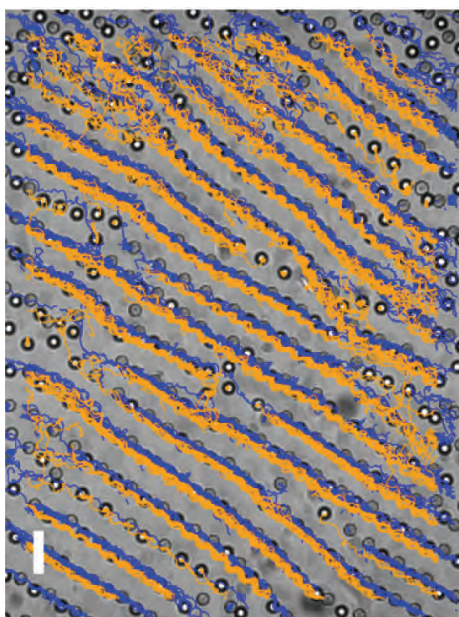
Predstavljena sta teoretična in eksperimentalna raziskava električno vodenih prevezav disklinacij med tekmujočimi strukturami v nematični celici. Različne defektne konfiguracije so stabilizirane s komandno površino, ki vsiljuje mrežo topoloških površinskih defektov z ničelno vrednostjo skupnega topološkega naboja. V teoretičnem pristopu opisujemo strukture z Landau-de Gennesovim fenomenološkim modelom. V eksperimentalnem delu raziskav omogočamo defektne strukture z AFM vtisno metodo in nematične konfiguracije opazujemo s polarizacijsko optično mikroskopijo. Numerično in eksperimentalno demonstriramo, da lahko tvorimo 18 različnih robustno prevezljivih defektih struktur, izhajajoč iz 4 x 4 matrice  $s=\pm 1$  površinskih defektov. Demonstrirani koncept lahko vodi do številnih aplikacij v multistabilnih kazalnikih in prevezljivih nanovezjih. Študija je potekala v sodelovanju s Case Western Reserve University Cleveland (*Physical Review Research*, 2020, DOI: 10.1103/PhysRevResearch.2.013176).



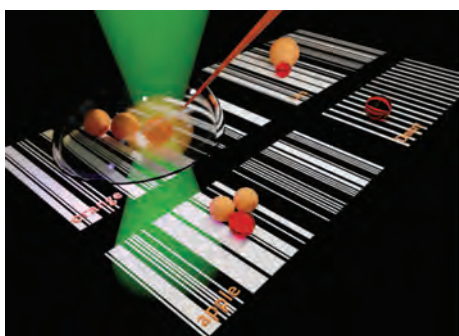
Slika 24: Polarizacijska optična slika hibridnega kompozita



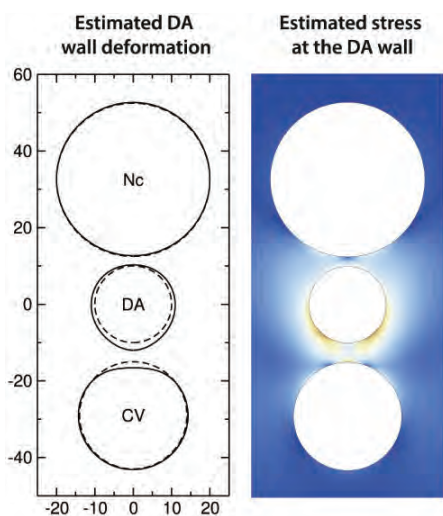
Slika 25: a) Tipična konfiguracija defektov; b) vsiljena nematična konfiguracija na spodnji plošči



Slika 26: Tri magnetnih delcev v precesirajočem magnetnem polju. Delci v bližini obeh omejujočih površin se gibljejo v nasprotnih smereh (rumene in modre sledi).



Slika 27: Grafična podoba štirih skupkov mikro kroglic, ki imajo vsak zapisano informacijo, ki jo lahko preberemo z laserjem.



Slika 28: Teoretična napoved mehanskih napetosti v tkivu, ki obdaja dorsarno aorto (DA).

### Kolektivni koloidni tokovi zaradi izmenjalne dinamike ob razpadanju dimerov

Raziskali smo dinamiko paramagnetnih koloidnih delcev v zamejenem prostoru med dvema ravninama. Ob prisotnosti precesirajočega magnetnega polja pokažejo raznolik fazni diagram v odvisnosti od frekvence vrtenja polja, debeline celice, precesijskega kota in gostote delcev. S pomočjo linearne analize stabilnosti smo napovedali meje med temi fazami, ki med drugim vključujejo posamezne delce na heksagonalni mreži ter sinhrono ali asinhrono vrteče dimere. Med njimi je posebno zanimiva faza, v kateri se dimeri prehodno formirajo in razpadajo. Posledično pride do robnega toka, pri katerem se delci ob eni površini gibljejo v eno smer, ob drugi pa v nasprotno. Rezultati nazorno pokažejo, kako lahko podobne fizikalne pojave opazimo v sistemih na zelo različnih velikostnih skalah. Delo je potekalo v okviru mednarodnega sodelovanja raziskovalcev z Univerze v Barceloni in Inštituta Max Planck za dinamiko in samoorganizacijo v Göttingenu (*Science Advances*, 2020, DOI:10.1126/sciadv.aaz2257).

### Generiranje kapljic in kroglic z nanometrsko natančnostjo

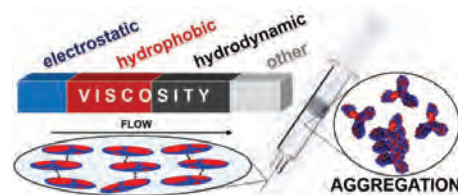
Pokazali smo, da je mogoče generirati majhne kapljice in trdne kroglice z doslej nedosegljivo natančnostjo, 1 nm za kapljice in 20 nm za kroglice. Relativna napaka velikosti generiranih kapljic je le 0,0042 %, kar je za tri velikostne rede bolje od drugih standardnih metod, kot je na primer generiranje kapljic v mikrofluidiki. Z generacijo treh kapljic v naprej definiranimi velikostmi lahko vanje zapišemo informacijo v obliki kratkih številčk ali besed. Zapisano informacijo preberemo prek emisijskega spektra svetlobe. Možnost zapisa informacije na tako majhno velikost in možnost branja te informacije samo prek spektra ima velik potencial za označevanje raznovrstnih produktov, varnostne kode in celo za označevanje in sledenje posameznih živih celic. Članek, ki je bil izpostavljen na hrbtni strani revije *Lab on a Chip*, je nastal v sodelovanju s Harvard Medical School (*Lab on a Chip*, 2020, DOI: 10.1039/C9LC01034C).

### Krvni obtok določa ekstruzijo celic in nastanek dorzalne aorte v zarodku ribe zebriče

V študiji smo proučili nastanek dorzalne aorte, glavne arterije v razvijajočem se zarodku ribe zebriče. Slikanje živih zarodkov smo povezali s teoretično napovedjo porazdelitve mehanske napetosti v tkivu, ki obdaja žilo. Slednje so ojačane v delu blizu druge žile, zmanjšane pa v bližini mehansko toge strune. Pokazali smo, da celice migrirajo v smeri, ki sovпада z maksimalno pulzirajočo napetostjo ob bitju srca. Po drugi strani zmanjšan krvni obtok pospeši ekstruzijo celic, kar kaže na mehanizem za uravnavanje premera žile. Naša študija pokaže, kako sta nastanek in rast žil odvisna od vzajemnega delovanja kemičnih signalov, mehanike tkiva in dinamike tekočin. Delo je potekalo v okviru mednarodnega sodelovanja raziskovalcev z Univerze Strasbourg ter Inštituta Max Planck za dinamiko in samoorganizacijo v Göttingenu (*Cell Reports*, 2020, DOI:10.1016/j.celrep.2020.03.069).

### Nadzor viskoznosti v biofarmaceutskih proteinskih formulacijah

Nadzor viskoznosti koncentriranih raztopin proteinov – običajno zmanjšanje – je odprt izziv, ki je v zadnjem času pomemben pri proteinskih formulacijah za biofarmaceutske, medicinske, živilske in druge namene. Zelo pomembno je, da lahko vzpostavimo nadzor nad kombinacijo aditivov, ki vplivajo na viskoznost, in ustrezne stabilnosti proteinov, običajno pri visokih koncentracijah beljakovin. V tem delu pokažemo nadzor in manipulacijo viskoznega profila izbrane proteinske raztopine (monoklonsko protitelo imunoglobulinskega gama tipa – IgG), ki je neposredno biofarmaceutsko pomembna, z identifikacijo elementarnih viskoznih prispevkov prek izbranih dodatkov, ki ciljajo na različne interakcije protein-protein. Natančneje, izvedemo kombinirano študijo nadzora viskoznosti in agregacije proteinov, pri čemer viskoznost določimo prek mikrofluidnih meritev in agregacijo proteinov prek kromatografije z izključitvijo velikosti. Agregacijski podatki se nadalje dopolnjujejo z meritvami konformacijske stabilnosti



Slika 29: Nadzorovanje viskoznosti v biofarmaceutskih proteinskih formulacijah prek načrtovanja različnih proteinskih interakcij

s toplotno in kemično denaturacijo proteinov. Splošneje pokažemo nadzor nad medsebojnim vplivanjem viskoznosti in stabilnosti v izbranem proteinskem sistemu kot splošni prispevek k razumevanju viskoznosti v različnih koloidnih, bioloških in mehkih materialih. Delo potekalo v sodelovanju med Lekom, d. d, delom Novartisa, Fakulteto za matematiko in fiziko, Biotehniško fakulteto Univerze v Ljubljani in Oddelkom za fiziko kondenzirane snovi na Institutu "Jožef Stefan" (*J. Coll. Int. Sci.*, 2020, DOI: 10.1016/j.jcis.2020.06.105).

### Protimikrobne prevleke na osnovi nanožičk $\text{MoO}_3$

Zasnovali smo nov protimikrobni nanokompozit iz inertnega biokompatibilnega PVDF-HFP in v vodi topnega polimera PVP z vgrajenimi nanožicami  $\text{MoO}_3$ . Raztapljanje v vodi v koncentraciji 5 mg/ml zniža pH vrednost na 4,6 v 5 minutah. Protimikrobno aktivnost, ki smo jo proučevali v sodelovanju z Biotehniško fakulteto Univerze v Ljubljani, smo razložili z dvostopenjskim delovanjem; v prvi fazi se  $\text{MoO}_3$  raztopi, kar povzroči padec pH, ki nato sproži hidrolizo polimera PVP in sproščanje amonijeve soli. Popolna deaktivacija *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* in *Pseudomonas aeruginosa* je bila dosežena v 6 urah, deaktiviranje *Penicillium verrucosum* in *Pichia anomala* pa v 24 urah (*Journal of Nanomaterials*, 2020, DOI: 10.1155/2020/9754024).

### Novi kvazi dvodimenzionalni kristali $\text{W}_n\text{O}_{3n-1}$

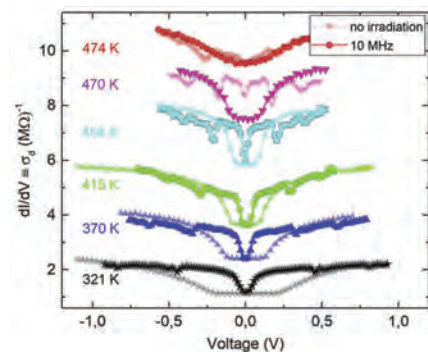
Sintetizirali smo nove kvazi dvodimenzionalne kristale volframovega oksida, ki nastajajo z epitaksialno rastjo na nanožicah  $\text{W}_{19}\text{O}_{55}$ . V posamezni ploščici smo prvič identificirali več stehiometričnih faz:  $\text{W}_{18}\text{O}_{53}$ ,  $\text{W}_{17}\text{O}_{50}$ ,  $\text{W}_{16}\text{O}_{47}$ ,  $\text{W}_{15}\text{O}_{44}$ ,  $\text{W}_{14}\text{O}_{41}$  in  $\text{W}_9\text{O}_{26}$ . Strukturo smo razbrali neposredno iz visoko ločljivostnih elektronsko mikroskopskih posnetkov in modelirali z uporabo podatkov elektronske in rentgenske difrakcije. Ti plastni kristali predstavljajo novo vrsto polikristaliničnosti, pri kateri kristalografske strižne ravnine sprejmejo kisikove vrzeli in hkrati prispevajo k stabilnosti določene faze (*Nanoscale*, 2020, DOI: 10.1039/D0NR02014A).

### Prostorsko urejanje valov gostote naboja v $\text{NbSe}_3$

Urejanje dveh inkomenzurabilnih valov gostote naboja (CDW) v kvazi enodimenzionalni strukturi  $\text{NbSe}_3$  smo proučevali s pomočjo nizkotemperaturne vrstične tunelske mikroskopije (PRB 102, 075442 (2020)). Večje (100) orientirane van der Waalove površine smo analizirali z uporabo enodimenzionalne Fourierjeve transformacije vzdolž trigonalnih prizmatičnih kolon. Postopek je omogočil nedvoumno razlikovanje med obema CDW-jema, ki modulirata posamezne kolone, in kvantitativno primerjavo amplitud modulacije vzdolž različnih kolon istega tipa. Rezultati kažejo na nastanek CDW nanodomen. Možnost izmenjave obeh CDW-jev vzdolž kolon, ki tvorijo simetrično povezane pare, povzroči razliko naboja, kar bi lahko bil možni izvor drsanja CDW-jev. Članek je bil objavljen v sodelovanju z raziskovalcem iz Kanade (*Physical Review B*, 2020, DOI: 10.1103/PhysRevB.102.075442).

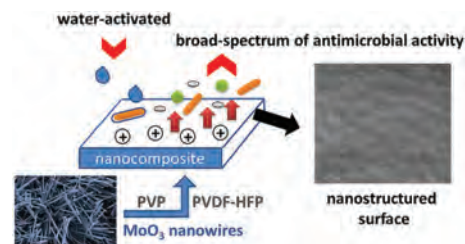
### Val z visoko gostoto naboja v monoklinični fazi $\text{NbS}_3$

Poročali smo o visokotemperaturnih študijah električne prevodnosti monoklinične faze  $\text{NbS}_3$  tipa-II (*J. Alloys Compd* 854, 157098 (2020)). Pokazalo se je, da je spojina stabilna do temperature  $T \approx 550$  K. Pri  $T_{p0} \approx 450-475$  K smo opazili stopničasto rast prevodnosti, kar je jasen dokaz, da je  $T_{p0}$  temperatura tretjega visokotemperaturnega CDW-ja.

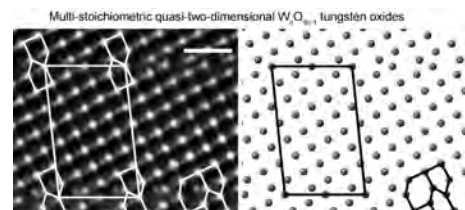


Slika 33: Temperaturna odvisnost krivulj I-V brez in z RF-obsevanjem

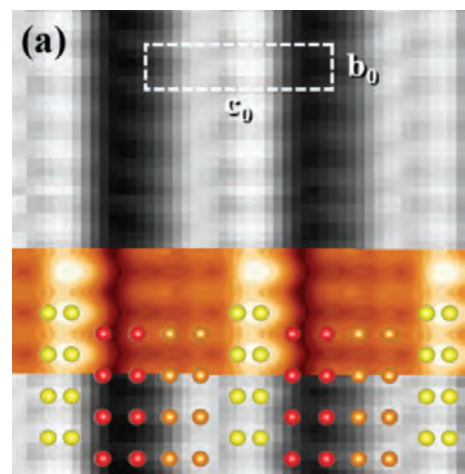
je jasen dokaz, da je  $T_{p0}$  temperatura tretjega visokotemperaturnega CDW-ja. Sinhronizacija pri zmernih frekvencah 10–50 MHz prikazuje koherentno drsenje CDW-0. Kondenzirani naboji v tem CDW-ju pa kažejo na razmeroma visoko gostoto in hkrati izjemno majhno gibljivost. Njihova gibljivost se zdi nizka tudi v stanju enega delca, kar daje verodostojen namig o presenetljivi dielektrični temperaturni spremembi  $\sigma$  nad  $T_{p0}$ . Članek je bil objavljen v sodelovanju s skupinama iz Tajvana in Rusije (*Journal of Alloys and Compounds*, 2020, DOI: 10.1016/j.jallcom.2020.157098)



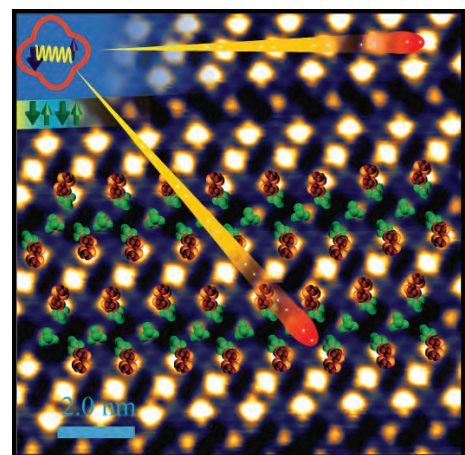
Slika 30: Shematski prikaz protimikrobne aktivacije nanokompozita PVDF-HFP/PVP/nanožičke  $\text{MoO}_3$



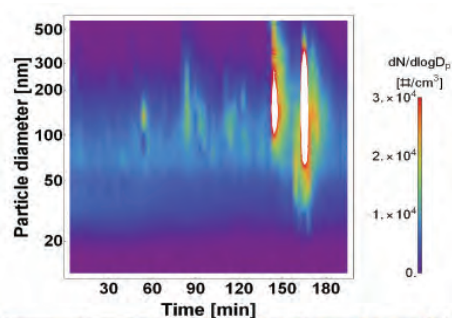
Slika 31: HRTEM-slika in simulacija strukturne faze  $\text{W}_{16}\text{O}_{47}$  s pentagonalnimi in heksagonalnimi tuneli na kristalografskih strižnih ravninah. Merilo: 1 nm.



Slika 32: STM-slika površine  $\text{NbSe}_3$ , prikazana z vrhno plastjo Se atomov in DFT simulirano STM-sliko.



Slika 34: Hibridni red dveh osnovnih stanj, kjer so molekularne magnetne verige ugnedene v enoslojni organski superprevodnik.



Slika 35: Uporaba bakel in pirotehnike je med tekmo povzročila do 12-kratno povečanje številске koncentracije nanodelcev v zraku.

### Spontano antiferomagnetno urejanje v enoplastnem organskem superprevodniku (BETS)<sub>2</sub>GaCl<sub>4</sub>

Izdelava natančno določenih in atomsko čistih mejnih površin med materiali različnih vrst je temeljnega pomena za načrtovanje novih funkcionalnosti in za proučevanje novih pojavov v fiziki kondenzirane snovi. Naša študija je bila osredotočena na medsebojno delovanje elektronske ureditve hibridne mešanice ugnezenih antiferomagnetnih molekularnih verig in superprevodnih molekularnih trakov v taki plasti. Rezultati nizkotemperaturne vrstične tunelske mikroskopije in spektroskopije sta pri temperaturah pod  $T_c$  pokazali odsotnost nizkih vibranskih in magnetnih ekciticij, ki sicer prevladajo v visokotemperaturni fazi. To nakazuje na njihov kooperativen obstoj in možno renormalizacijo, potrebno za nastanek superprevodnosti v taki vrsti superprevodnikov. Članek je bil objavljen v sodelovanju s skupino na Univerzi Nihon v Tokiu (*Advanced Electronic Materials*, 2020, DOI: 10.1002/aelm.202000461).

### Onesnaženje zraka z nanodelci med nogometno tekmo

Na derbiju med nogometnima kluboma NK Olimpija Ljubljana in NK Maribor marca 2019 v Stožicah smo med tekmo merili onesnaženost zraka z nanodelci. Navijaški skupini obeh ekip, Green Dragons in Viole Maribor, sta namreč kljub prepovedi prižigali bakle in pirotehnična sredstva v podporo svojima kluboma. Število nanodelcev z velikostjo od 30 nm do 300 nm v zraku se je ob prižigu bakel povečalo za 1200 %, igralci pa so vdihnili 300 % več delcev kot v manj onesnaženem okolju. Kemijska analiza je pokazala, da so bili poleg ogljika prisotni tudi elementi, ki so potencialno strupeni in se uporabljajo za barvne učinke ter kot gorivo: stroncij (rdeča barva), barij (zeleno barva), kalij, magnezij in klor (*Atmospheric Environment*, 2020, DOI: 10.1016/j.atmosenv.2020.117567).

### III. Programska skupina Eksperimentalna biofizika kompleksnih sistemov in slikanje v biomedicini

Programska skupina *Eksperimentalna biofizika kompleksnih sistemov in slikanje v biomedicini* združuje raziskave procesov in struktur bioloških sistemov z razvojem novih naprednih eksperimentalnih tehnik superločljivih mikroskopij, mikrospektroskopij in nanoskopij ter novih slikovnih tehnik. Glavno žarišče raziskav je odziv molekularnih in supramolekularnih struktur na interakcije med materiali in živimi celicami ter med svetlobo in živimi celicami. Zanimajo nas molekularni dogodki in fizikalni mehanizmi, s katerimi so ti dogodki med seboj povezani, časovne skale, pogoji ter aplikativna vrednost raziskovanih mehanizmov, predvsem za uporabo v medicini oz. na področju zagotavljanja zdravja nasploh. Z razvojem novih sklopljenih superločljivih in spektroskopskih tehnik želimo odpreti nove možnosti spoznavanja bioloških sistemov in od tam naprej odpirati nove možnosti za načrtovanje medicinskih materialov in naprav, za diagnostiko, terapijo in regeneracijo tkiv, ki je med starajočim se prebivalstvom razvitega sveta med najbolj perečimi problemi. Skupina po zaključeni investiciji v nov superločljiv STED-sistem obvladuje različne fluorescenčne mikroskopije: superločljivo (STED) mikroskopijo in dvofotonsko (2PE) mikroskopijo, večkanalno spektralno razločeno slikanje življenjskega časa fluorescence (spFLIM), fluorescenčno mikrospektroskopijo (FMS) in optično pinceto, s katerimi raziskujemo interakcije predvsem med nanomateriali in celičnimi linijami, ki vodijo v fenomene lipidnega ovijanja in pasivacije nanomaterialov, membranske dizintegracije in prestavljanja celičnih membran brez vloge receptorjev oziroma klasičnih signalnih poti. Uvedli smo tudi metodo, ki omogoča spremljanje električnega polja v tumorjih pri zdravljenju rakavih obolenj z elektroporacijo, in nadalje

**Kot prvi na svetu smo razvili in vitro model, ki brez uporabe testnih živali napove kronično vnetje zaradi vdihavanja nanodelcev, kar smo objavili v prestižni reviji *Advanced Materials*.**

razvili metodo multiparametričnega slikanja z magnetno resonanco za karakterizacijo hrane in zdravil ter različnih procesnih postopkov. Z magnetnoresonančnim slikanjem visoke ločljivosti lahko spremljamo učinkovitost površinskih obdelav, nastajanje in raztapljanje gelov ter merjenja difuzije v omejenih geometrijah z moduliranimi gradienti.

Epidemiološki dokazi kažejo, da vdihavanje onesnaženega zraka, vključno z nanodelci, prispeva k približno 4 milijonov smrtnih žrtev po vsem svetu. Še vedno pa ni znano, kateri nanodelci so za to odgovorni. V sodelovanju z Nacionalnim raziskovalnim centrom za delovno okolje (NRCWE) (Danska) smo pokazali, da so med več različnimi vrstami anataznih TiO<sub>2</sub> nanodelcev le nanocevke sprožile kronično vnetje pri miših [1].

Po našem odkritju leta 2019, da epiteljske celice na svoji površini pasivirajo nekatere nanomaterialne, kar zmanjšuje uničujoč učinek interakcij med nanomateriali in različnimi strukturami v celicah (npr. jedro, aktinski citoskelet, notranje membrane; vse opaženo z mikroskopijo STED), smo prvi na svetu razvili model, ki brez uporabe živali napove kronično vnetje, povzročeno z vdihom nanodelcev. Napoved temelji na zapletenem mehanizmu, ki je bil odkrit v okviru intenzivnih skupnih raziskav znotraj delovnega paketa, ki smo ga vodili v

okviru evropskega **Horizont 2020** projekta **SmartNanoTox**, vrednega **8 milijonov evrov**. Mehanizem toksičnosti nanomaterialov temelji na treh ključnih dogodkih: 1) tvorjenje aglomeratov nanodelcev in biomolekul na površini celic pljučnega epitelijskega, 2) toksičnost delcev za makrofage in 3) celična signalizacija, pri čemer so vsi povezani v krog dogodkov. Delo, objavljeno v ugledni reviji *Advanced Materials* (IF 27, A<sup>++</sup>) [2], je urednik posebej izpostavil (naslovnica poglavja – frontispiece) in se trenutno uvršča med **5 % najbolj uspešnih** rezultatov raziskav glede na Altmetric. Omenjeno ogromno skupno raziskavo sta vodila naša raziskovalca T. Koklič in J. Štrancar (dva od treh dopisnih avtorjev), **med soavtorji članka pa so tudi vodilni svetovni toksikologi** iz Nemčije, Francije Danske, Kanade, Finske, Švedske, Irske in Združenega kraljestva. V sodelovanju z Univerzo v Oxfordu (VB) razvijamo napredne mikrospektroskopske metode za opis lokalnega molekularnega okolja. **Super ločljivi fluorescenčni korelacijski spektroskopiji (STED-FCS) smo izboljšali prilagodljivost** z vgradnjo hitrejše detekcijske elektronike [3]. Z vpeljavo na aberacije odporne oblike STED-žarka smo izboljšali zanesljivost meritev STED-FCS v 3D [4], s prilagodljivo optiko pa smo raziskovali difuzijske lastnosti molekul v zahtevnem celičnem okolju [5]. Raziskovali smo tudi nove probe za super ločljivo mikroskopsko tehniko RESOLFT [6]. **Za nadaljnje raziskave na področju naprednih mikrospektroskopij smo pridobili in začeli izvajati nov ARRS-projekt (J7-2596)** v sodelovanju z Laboratorijem za umetne vizualne spoznavne sisteme (VICOS) s Fakultete za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani.

Izsledke raziskovalnega dela, ki smo ga opravili v okviru projekta ARRS Mikrospektroskopska karakterizacija in optimizacija učinka laserskih sunkov na očesni mrežnici (L7-7561), smo leta 2020 objavili v dveh znanstvenih publikacijah [7,8]. V njih poročamo o **zmogljivostih razvitega 2-fotonskega laserskega sistema** (Laboratorij za fotoniko in laserske sisteme (FOLAS), Fakulteta za strojništvo kot partner LBF) za **diagnostiko patologij in izvajanja terapije na mrežnici** ter zmogljivostih fluorescenčnega hiperspektralnega slikanja z uporabo napredne analize za proučevanje **dinamike koagulacije in oksigenacije krvi**, izvedeno na *ex-vivo* mrežnici. Obsežno delo na omenjenih projektih smo poleg publikacij predstavili v dodeljenem evropskem patentu (PCT/SI2018/050007, EP2018713384).

V okviru tekočega projekta ARRS (L2-9254) smo naš STED laserski sistem nadgradili z novo optično linijo za testiranje novorazvitega adaptivnega laserskega sistema (Laboratorij za fotoniko in laserske sisteme (FOLAS), Fakulteta za strojništvo kot partner LBF). Na *ex-vivo* mrežnici smo testirali in opredelili diagnostične in terapevtske zmogljivosti laserja, skupaj z novo razvitim algoritmom in konceptom učinkovite teranostike. Izsledke raziskave bomo objavili v letu 2021.

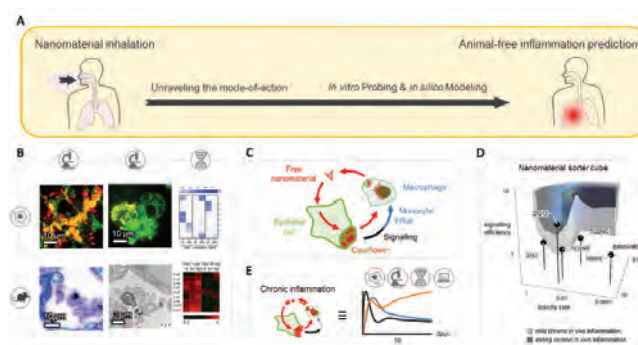
V okviru sodelovanja LBF z Laboratorijem za ogrevalno tehnologijo LTT, Fakulteta za strojništvo, na področju detekcije in analize temperaturne dinamike pri procesu mikrovrenja smo v letu 2020 izvedli nove raziskave. Za detekcijo temperature pri procesu mikrovrenja smo preizkusili različne kombinacije novorazvitih temperaturno občutljivih organskih in anorganskih molekul ali delcev. Na osnovi preliminarnih rezultatov smo vzpostavili novo sodelovanje z Oddelkom za napredne materiale (K9) za nadaljnje eksperimentalno delo v letu 2021.

Veliko dela smo namenili tudi tekočemu projektu **Crossing Borders and Scales (CROSSING)**, osredotočenem na **napredno korelativno mikroskopijo (CM)** z uporabo najsodobnejših visoko ločljivih mikroskopskih in spektroskopskih tehnik, ki jih ponujata partnerski instituciji IJS in HZDR. Nadaljevanje raziskav vpliva nanomaterialov na relevantne biološke sisteme (model pljučnega epitelijskega, nevronska mreža) je pomembno prispevalo k izsledkom raziskave, objavljene v ugledni reviji [2], in tudi k boljšemu razumevanju molekularnih dogodkov v okviru toksikoloških študij. Preizkusili in začrtali smo nove napredne analitične pristope in smernice CM, dostopne na IJS in partnerskih institucijah, da bi v prihodnje še bolje razumeli mehanizme interakcij omenjenih kompleksnih bioloških sistemov.

V letu 2020 smo bili v Laboratoriju za biofiziko dejavni tudi v sklopu notranjih razpisov IJS. Oddali smo vlogo za vključitev laboratorija v prijavo Infrastrukturnega programa (IP) za obdobje 2022–2027. Na podlagi ekspertnega znanja in razpoložljive infrastrukture naprednih in multimodalnih optičnih mikroskopij smo v sodelovanju z nekaterimi oddelki IJS oddali vlogo za novi center, imenovan Center za napredne optične mikroskopije, ki bi bil del centra CEMM.

### Spremljanje metamorfoze kranjske čebele (*Apis mellifera carnica*) z MR-mikroskopijo

V sodelovanju z Biotehniško fakulteto (BF UL) smo se že poleti 2018 lotili študije spremljanja metamorfoze kranjske čebele s sekvenčno MR-mikroskopijo. Študija je bila zahtevna, saj smo morali zagotoviti optimalne pogoje za razvoj čebele znotraj MR-magneta med slikanjem, ki je brez prestanka trajalo kar 14 dni za posamezen vzorec



Slika 36: a) Razvoj metode, ki lahko brez živalskih testov napove, ali bo vdih nanodelcev povzročil kronično vnetje; b) z uporabo naprednih mikroskopij in omik na *in vivo* ter *in vitro* sistemih smo najprej odkrili potek in mehanizem razvoja kroničnega vnetja po izpostavitvi nanodelcev; c) tako odkrite dogodke smo kavzalno povezali v mrežo dogodkov, ki je prikazana na poenostavljeni shemi; d) teoretičen model mreže dogodkov nam je omogočil napoved vnetja in posledično razvrstitev nanomaterialov v več ustreznih podskupin na podlagi treh merljivih parametrov; e) ko pomerimo te parametre v ustreznem *in vitro* sistemu, lahko za poljuben metaloksidni nanomaterial s pomočjo teoretičnega modela časovno in stroškovno učinkovito napovemo morebitno kronično vnetje brez testiranja na živalih.

čebele. Najprej smo izolirali posamezno celico z ličinko in jo nato slikali do razvoja odrasle čebele. V tem času je bilo s časovnim razmikom 4 ur posnetih približno 80 tridimenzionalnih slik z visoko ločljivostjo 80 mikrometrov. Posnete slike je bilo nato treba segmentirati, da smo lahko iz njih izluščili informacijo o časovnem spreminjanju prostornine različnih organov (prebavnega trakta, dihalnega sistema, medenega želodčka ...). S pomočjo strukturne analize slik z metodo gray level cooccurrence matrix smo lahko določili tudi transformacijo letalne mišice. Zaradi statistične dokazljivosti rezultatov smo slikanje izvedli na dveh vzorcih čebel. Rezultate MR-slik čebel smo preverili tudi s slikami rentgenske računalniške tomografije, posnetih na IJS, na odseku B1 ter tudi s histološko analizo, ki je bila opravljena na BF UL. Rezultate te študije smo objavili v ugledni reviji s področja biologije v članku Aleš Mohorič, Janko Božič, Polona Mrak, Kaja Tušar, Lin Chenyun, Ana Sepe, Urška Mikac, Georgy Mikhaylov, Igor Serša: In vivo continuous three-dimensional magnetic resonance microscopy : a study of metamorphosis in Carniolan worker honey bees (*Apis mellifera carnica*), *Journal of Experimental Biology*, Nov. 2020, vol. 223, iss. 21, 6 str., ilustr., ISSN 0022-0949, DOI: 10.1242/jeb.225250.

### **Nova metoda za izboljšanje razmerja signal/šum MR-slik**

Razvili smo novo metodo, s katero lahko izboljšamo razmerje med signalom in šumom v MR-slikah. Metoda temelji na pojavu potujitve signala. Ta pri MR-slikanju nastopi, ko je vidno polje slikanja manjše od velikosti vzorca. Pojav vodi do popačitve MR-slike pri običajnih vzorcih, saj se deli vzorca zunaj vidnega polja preslikajo nazaj v sliko na nasprotni strani njihove prekoračitve vidnega polja, kar lahko vodi do njihovega motečega prekrivanja s sliko dela vzorca znotraj vidnega polja. Ugotovili smo, da lahko pri posebni vrsti vzorcev, to je pri periodičnih vzorcih, ta neželen pojav izkoristimo za konstruktivno superpozicijo potujitvenih signalov in s tem za ojačenje signala brez povečanja šuma, če te vzorce slikamo pri vidnem polju, enakem velikosti osnovne celice periodičnega vzorca. Metoda je bila sprva teoretično analizirana, nato preverjena na modelnem vzorcu v dveh dimenzijah, na koncu pa je bila predstavljena še uporaba te metode na primeru določanja vlažnosti tablet. Pri tem je NMR signal iz posamezne tablete premajhen, da bi lahko dobili sliko, s predstavljenimi metodo pa je to možno brez težav dobiti. Rezultati te študije so bili objavljeni v članku Igor Serša: Magnetic resonance microscopy of samples with translational symmetry with FOVs smaller than sample size, *Scientific reports*, 2021, vol. 11, 541-1-541-12, ISSN 2045-2322, DOI: 10.1038/s41598-020-80652-z.

### **Študij morfologije medialnega in ularnega živca**

Na pobudo partnerjev Inštituta za anatomijo (MF UL) smo se lotili primerjalne študije, kjer tri radiološke metode primerjamo po njihovem diagnostičnem potencialu ločevanja finih struktur znotraj posameznih živčnih vlaken. Vzorci živčnih vlaken, v katerih smo hoteli iz njihovih radioloških slik natančno določiti število in velikost posameznih fasciklov, so bili izolirani od človeškega medialnega in ularnega živca. Uporabljene radiološke metode so bile: klinično MR-slikanje na 3T-sistemu (3T-MRI), visokoločljivo ultrazvočno slikanje (HRUS) in magnetnoresonančna mikroskopija (MRM) v polju 9.4 T. Slike teh treh metod smo primerjali še z referenčno histološko analizo metodo. Rezultati študije so pokazali, da ima izmed vseh treh radioloških metod največjo diagnostično moč MRM-slikanje, temu sledi HRUS, najslabše pa se je izkazal 3T-MRI. Rezultati te študije so bili objavljeni v vodilni reviji s področja radiologije v članku: Žiga Snoj, Igor Serša, Urša Matičič, Erika Cvetko, Gregor Omejec: Nerve fascicle depiction at MR microscopy and high-frequency US with anatomic verification, *Radiology*, 2020, vol. 297, no. 3, str. 1–3, ISSN 0033-8419, DOI: 10.1148/radiol.20201910.

### **Razvoj MR kontrastnih sredstev na osnovi magnetoliposomov**

Sodelovali smo pri karakterizaciji MR lastnosti nove vrste kontrastnih sredstev, ki so jih razvili na odseku K7, IJS. Gre za kontrastna sredstva na osnovi superparamagnetnih železovih nanodelcev, ki jih zaradi boljše biokompatibilnosti in terapevtskih možnosti vgradimo v dvoslojno membrano liposomov in tako dobimo magnetoliposome (ML). V študiji smo sprva merili NMR relaksacijske lastnosti različno koncentriranih vodnih raztopin ML. Temu so sledili še poskusi MR-slikanja z metodo T2 kartiranja na kulturi zdravih in rakastih (T24) urotelnih celic, ki smo jim dodali ML v različnih koncentracijah. V poskusih smo pokazali, da se ML izraziteje nakopičijo v rakastih celicah, MR signal teh celic je zato precej krajši (T2-NMR relaksacijski čas se močno skrajša) in s tem je omogočeno učinkovito ločevanje med zdravimi in rakastimi celicami. Izsledki te študije so objavljeni v članku: Nina Kostevšek, Calvin Cheung, Igor Serša, Mateja Erdani-Kreft, Ilaria Monaco, Mauro Comes Franchini, Janja Vidmar, Wafa Al-Jamal: Magneto-liposomes as MRI contrast agents : a systematic Study of different liposomal formulations, *Nanomaterials*, 2020, vol. 10, no. 5, str. 889-1-889-18, ISSN 2079-4991, DOI: 10.3390/nano10050889.

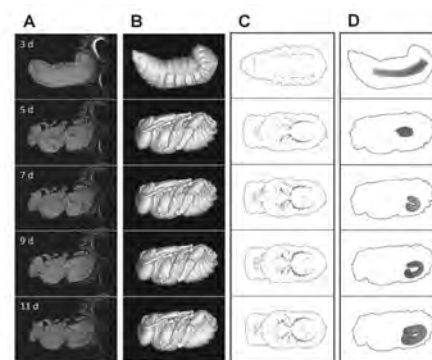
### **Proučevanje tablet z nadzorovanim sproščanjem zdravilnih učinkovin z MR-slikanjem**

Proučevali smo vpliv različnih pH in mehanskih obremenitev, povzročenih s tokom tekočine na tvorjenje gelske plasti okoli tablet in na sproščanje pentoksifilina iz tablet ksantana. Uporabljena je bila biomodalna metoda, kjer je

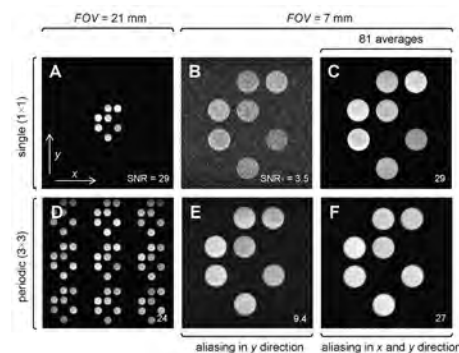
bilo MR-slikanje uporabljeno za spremljanje formiranja gelske plasti okoli tablet, odvzem vzorca medija, v katerem se je tableta raztapljala, pa je omogočal spremljanje sproščanja učinkovine iz tablet. Dobljeni rezultati so pokazali, da je v pH nevtralnem mediju (vodi) struktura gelske plasti šibkejša in manj odporna proti eroziji kot struktura plasti, dobljena v kislem mediju. Različne pH vrednosti medija so vplivale tudi na različne mehanizme sproščanja učinkovine iz tablet. Ta je bila pretežno erozijska v primeru nevtralnega medija in difuzijska v primeru kislega medija. Vpliv toka tekočin okoli tablet je bil pomemben pri erozijskem načinu sproščanja pri nevtralnem pH, medtem ko je bil njegov vpliv zanemarljiv v primeru difuzijskega načina sproščanja v kislem pH zaradi povečane kompaktnosti gelske plasti. Rezultati študije so bili objavljeni v članku: Mikac, U., Kristl, J.: Magnetic resonance methods as a prognostic tool for the biorelevant behavior of xanthan tablets, *Molecules*, 2020, vol. 25, no. 24, str. 1-12, ilustr. ISSN 1420-3049, DOI: 10.3390/molecules25245871.

V letu 2020 je Odsek F5 sodeloval s 113 partnerji iz Slovenije in tujine. Med njimi naj omenimo sodelovanje z naslednjimi institucijami:

1. BASF, Heidelberg, Nemčija
2. Ben Gurion University, Beersheba, Izrael
3. Chalmers University of Technology, Physics Department, Göteborg, Švedska
4. Clarendon Laboratory, Oxford, Velika Britanija
5. Centre national de la recherche scientifique, Laboratory de Marseille, Marseille, Francija
6. Centre national de la recherche scientifique, Laboratoire de Spectrochimie Infrarouge et Raman, Thiais, Francija
7. Department of Chemistry, College of Humanities and Sciences, Nihon University, Tokio, Japonska
8. Deutsches Krebsforschungszentrum, Heidelberg, Nemčija
9. Deutsches Elektronen-Synchrotron, Hamburg, Nemčija
10. École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lozana, Švica
11. Eidgenössische Technische Hochschule – ETH, Zürich, Švica
12. Elettra (Synchrotron Light Laboratory), Bazovica, Italija
13. European Synchrotron Radiation Facility, Grenoble, Francija
14. Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Leioa, Španija
15. Faculty of Physics, Adam Mickiewicz University, Poznanj, Poljska
16. Florida State University, Florida, ZDA
17. Forschungszentrum Dresden Rossendorf, Dresden, Nemčija
18. Gunma National College of Technology, Maebaši, Japonska
19. High-Magnetic-Field Laboratory, Grenoble, Francija
20. High Magnetic Field Laboratory, Nijmegen, Nizozemska
21. High Magnetic Field Laboratory, Tallahassee, Florida, ZDA
22. Humboldt Universität Berlin, Institut für Biologie/Biophysik, Berlin, Nemčija
23. Ilie Murguescu Institute of Physical Chemistry of the Romanian Academy, Bukarešta, Romunija
24. International Human Frontier Science Program Organisation, Strasbourg, Francija
25. Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvaška
26. Institut za Teoretično fiziko univerze v Göttingenu, Göttingen, Nemčija
27. Institute of Molecular Physics, Polish Academy of Sciences, Poznanj, Poljska
28. Institute of Electronic Materials Technology, Varšava, Poljska
29. Institut für Experimentalphysik der Universität Wien, Dunaj, Avstrija
30. Institut für Biophysik und nanosystemforschung OAW, Gradec, Avstrija
31. Institut za kristalografijo Ruske akademije znanosti, Moskva, Rusija
32. Instituto Superior Tecnico, Departamento de Fisica, Lizbona, Portugalska
33. International Center for Theoretical Physics, Trst, Italija
34. ISIS, Rutherford Appleton Laboratory, Didcot, Velika Britanija
35. A.F. Ioffe Physico-Technical Institute, Sankt Peterburg, Ruska federacija
36. Kavli Institute for Theoretical Physics, Santa Barbara, ZDA
37. King's College, London, Velika Britanija
38. Klinični center Ljubljana, Ljubljana, Slovenija
39. Korea Basic Science Institute, Daejeon, Južna Koreja
40. Kyung Hee University of Suwon, Impedance Imaging Research Center, Seul, Južna Koreja



Slika 37: MR-slike metamorfoze kranjske čebele (*Apis mellifera carnica*), posnete v razmiku dveh dnevov: a)  $T_1$ -obtežene magnetnoresonančne slike srednje rezine iz 3D seta slik; b) pripadajoče prostorsko upodobljene slike; c) pripadajoče slike segmentiranega dihalnega sistema in d) pripadajoče slike segmentiranega prebavnega trakta.



Slika 38: MR-slike testnega 2D periodičnega vzorca: (A-C) vzorec tvori samo osrednji objekt dimenzije osnovne celice 7 mm in (D-F) vzorec tvori devet identičnih objektov, urejenih v  $3 \times 3$  matriko. (A, D) Ko je bil osrednji objekt slikan pri vidnem polju (FOV), enakem trikratniku dimenzije osnovne celice, je bil SNR 9-krat višji od primera (B), ko je bil ta objekt slikan pri FOV enakem osnovni celici. Pri slikanju 2D periodičnega vzorca s FOV, enakem osnovni celici, se SNR poveča glede na primer (B) za faktor: (E) 3-krat, ko je konstruktivna potujitev signala prisotna samo v fazni smeri, 1 in (F) 9-krat, ko je konstruktivna potujitev signala prisotna vzdolž obeh osi simetrije. (C) Slika enakega SNR kot v primeru (F) je možno dobiti tudi z 81 povprečitvami signalov slike primera (B).

41. KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Švedska
42. KMZ – CNC obdelava kovin in drugih materialov Zalar Miran s. p., Ljubljana, Slovenija
43. Liquid Crystal Institute, Kent, Ohio, ZDA
44. Max Planck Institut, Dresden, Nemčija
45. Mayo Clinic, Rochester, Minnesota, ZDA
46. Merck KGaA, Darmstadt, Nemčija
47. MH Hannover, Hannover, Nemčija
48. National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Physics, Kijev, Ukrajina
49. National Center for Scientific Research Demokritos, Aghia Paraskevi Attikis, Grčija
50. National Institute for Research in Inorganic materials, Tsukuba, Japonska
51. Nuklearni Institut Vinča, Beograd, Srbija
52. Oxford University, Department of Physics, Department of Materials, Oxford, Velika Britanija
53. Paul Scherrer Institut, Villigen, Švica
54. Politecnico di Torino, Dipartimento di Fisica, Torino, Italija
55. Radbound University Nijmegen, Research Institute for Materials, Nijmegen, Nizozemska
56. Rwth Aachen University, Aachen, Nemčija
57. School of Physics, Hyderabad, Andhra Prades, Indija
58. SISSA, Trst, Italija
59. State College, Pennsylvania, ZDA
60. Sveučilište u Rijeci, Medicinski fakultet, Reka, Hrvaška
61. Sveučilište u Zagrebu, Institut za fiziku, Zagreb, Hrvaška
62. Technical University of Catalonia, Barcelona, Španija
63. Tehnična Univerza Dunaj, Dunaj, Avstrija
64. The Geisel School of Medicine at Dartmouth, Hanover, ZDA
65. The Max Delbrück Center for Molecular Medicine in Berlin, Berlin, Nemčija
66. Tohoku University, Sendai, Japonska
67. Tokyo University, Bunkyo, Tokio, Japonska
68. University of Aveiro, Aveiro, Portugalska
69. Università di Pisa, Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale, Pisa, Italija
70. Université de Picardie Jules Verne, Amiens, Francija
71. Université de la Méditerranée, Marseille, Francija
72. University of Bristol, Bristol, Velika Britanija
73. University of California at Irvine, Beckman Laster Institute and Medical Clinic, Irvine, Kalifornija, ZDA
74. University of Durham, Durham, Velika Britanija
75. University of Duisburg, Duisburg, Nemčija
76. University of Innsbruck, Innsbruck, Avstrija
77. Universität Freiburg, Institut für Makromolekulare Chemie, Freiburg, Nemčija
78. University of Linz, Institute of Chemistry, Department of Physical Chemistry & Linz Institute of Organic Solar Cells, Linz, Avstrija
79. University of Leeds, Leeds, Velika Britanija
80. University of Loughborough, Loughborough, Velika Britanija
81. Universität Mainz, Geowissenschaften, Mainz, Nemčija
82. Université de Nice, Nica, Francija
83. Université Paris Sud, Pariz, Francija
84. University of Provence, Marseille, Francija
85. University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki, Japonska
86. University of Utah, Department of Physics, Salt Lake City, Utah, ZDA
87. University of Waterloo, Department of Physics, Waterloo, Ontario, Kanada
88. Universität Regensburg, Regensburg, Nemčija
89. University of Zürich, Zürich, Švica
90. Univerza v Münchenu in MPQ, München, Nemčija
91. Univerza v Monsu, Mons, Belgija
92. Univerza v Pavii, Pavia, Italija
93. Univerza v Mariboru, Maribor, Slovenija
94. Univerza v Severni Karolini, Chapel Hill, ZDA
95. Univerza v Sisconsinu, Madison, ZDA
96. Wageningen University, Laboratory of Biophysics, Wageningen, Nizozemska



97. Weizman Institute, Rehovot, Izrael  
 98. Yonsei University, Seul, Južna Koreja  
 kar je bistveno pripomoglo k uspešni izvedbi raziskav v letu 2020.

### Najpomembnejše objave v letu 2020

1. Arh, T., Gomilšek, M., Prelovšek, P., Pregelj, M., Klanjšek, M., Ozarowski, A., Clark, S. J., Lancaster, T., Sun, W., Mi, J.-X., Zorko, A., Origin of magnetic ordering in a structurally perfect quantum kagome antiferromagnet, *Phys. Rev. Lett.*, 2020, **125**, 2, 027203
2. Khuntia, P., Velázquez, M., Barthélemy, Q., Bert, F., Kermarrec, E., Legros, A., Bernu, B., Messio, L., Zorko, A., Mendels, P., Gapless ground state in the archetypal quantum kagome antiferromagnet  $\text{ZnCu}_3(\text{OH})_6\text{Cl}_2$ , *Nat. Phys.*, 2020, **16**, 4, 469–474
3. Hess, A. J., Poy, G., Jung-Shen, B. Tai, Žumer, S., Smalyukh, I. I., Control of light by topological solitons in soft chiral birefringent media, *Phys. Rev. X*, 2020, **10**, 3, 031042
4. Poy, G., Hess, A. J., Smalyukh, I. I., Žumer, S., Chirality-Enhanced Periodic Self-Focusing of Light in Soft Birefringent Media, *Phys. Rev. Lett.*, 2020, **125**, 7, 077801
5. Strübing, T., Khosravanizadeh, A., Vilfan, A., Bodenschatz, E., Golestanian, R., Guido, I., Wrinkling Instability in 3D Active Nematics, *Nano Lett.*, 2020, **20**, 9, 6281–6288
6. Binysh, J., Kos, Ž., Čopar, S., Ravnik, M., Alexander, G. P., Three-Dimensional Active Defect Loops, *Phys. Rev. Lett.*, 2020, **124**, 8, 088001
7. Massana-Cid, H., Ortiz-Ambriz, A., Vilfan, Tierno, P., Emergent collective colloidal currents generated via exchange dynamics in a broken dimer state, *Sci. Adv.*, 2020, **6**, 10, eaaz2257
8. Richter, D., Marinčič, M., Humar, M., Optical-resonance-assisted generation of super monodisperse microdroplets and microbeads with nanometer precision, *Lab Chip*, 2020, **20**, 4, 734–740
9. Campinho, P., Lamperti, P., Boselli, F., Vilfan, A., Vermot, J., Blood Flow Limits Endothelial Cell Extrusion in the Zebrafish Dorsal Aorta, *Cell Reports*, 2020, **31**, 2, 107505
10. Pirker, L., Višič, B., Škapin, D., Dražič, G., Kovača, J., Remškar, M., Multi-stoichiometric quasi-two-dimensional  $\text{W}_n\text{O}_{3n-1}$  tungsten oxides, *Nanoscale*, 2020, **12**, 28, 15102–15114
11. Hassanien, A., Zhou, B., Kobayashi, A., Spontaneous Antiferromagnetic Ordering in a Single Layer of  $(\text{BETS})_2\text{GaCl}_4$  Organic Superconductor, *Advanced Electronic Materials*, 2020, **6**, 10, 2000461
12. Kokot, H., Kokot, B., Sebastijanovič, A., Podlipec, R., Krišelj, A., Čotar, P., Pušnik, M., Umek, P., Pajk, S., Urbančič, I., Koklič, T., Štrancar, J., *et al.*, Prediction of chronic inflammation for inhaled particles: the impact of material cycling and quarantining in the lung epithelium, *Adv. Mater.*, 2020, **32**, 47, 2003913
13. Barbotin, A., Urbančič, I., Galiani, S., Eggeling, C., Booth, M. J., Background reduction in STED-FCS using a bi-vortex phase mask, *ACS Photonics*, 2020, **7**, 7, 1742–1753
14. Frawley, A., Wycisk, V., Xiong, Y., Galiani, S., Sezgin, E., Urbančič, I., Vargas Jentzsch, A., Leslie, K. G., Eggeling, Anderson, C., H. L., Super-resolution RESOLFT microscopy of lipid bilayers using a fluorophore-switch dyad, *Chem. Sci.*, 2020, **11**, 33, 8955–8960

### Najpomembnejše objave v letu 2019

1. Gomilšek, M., Žitko, R., Klanjšek, M., Pregelj, M., Baines, C., Yuesheng, L., Zhang, Q., Zorko, A., Kondo screening in a charge-insulating spinon metal, *Nature Physics*, 2019, **15**, 754
2. Matavž, A., Benčan, A., Kovač, J., Chung, C. C., Jones, J. L., Trolier-McKinstry, S., Malič, B., Bobnar, V., Additive manufacturing of ferroelectric-oxide thin-film multilayer devices, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2019, **11**, 45155
3. Senyuk, B., Aplinc, J., Ravnik, M., Smalyukh, I. I., High-order elastic multipoles as colloidal atoms, *Nature Communications*, 2019, **10**, 1825
4. Čopar, S., Aplinc, J., Kos, Ž., Žumer, S., Ravnik, M., Topology of three-dimensional active nematic turbulence confined to droplets, *Physical Review X*, 2019, **9**, 031051-1-031051-13
5. Pollard, J., Posnjak, G., Čopar, S., Mušević, I., Alexander, G. P., Point defects, topological chirality and singularity theory in cholesteric liquid-crystal droplets, *Physical Review X*, 2019, **9**, 021004-1-021004-19
6. Almeida, A. P., Canejo, J., Mur, U., Čopar, S., Almeida, P., Žumer, S., Godinho, M. H., Spotting plants' microfilament morphologies and nanostructures, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2019, **117**, 13188-13193
7. Emeršič, T., Zhang, R., Kos, Ž., Čopar, S., Osterman, N., de Pablo, J. J., Tkalec, U., Sculpting stable structures in pure liquids, *Science Advances*, 2019, **5**, eaav4283

8. Sezgin, E., Schneider, F., Galiani, S., Urbančič, I., Waithe, D., Lagerholm, B., Christoffer, B., Eggeling, Ch., Measuring nanoscale diffusion dynamics in cellular membranes with super-resolution STED-FCS, *Nature protocols*, 2019, 14, 1054–1083
9. Steinkühler, J., Sezgin, E., Urbančič, I., Eggeling, Ch., Dimova, R., Mechanical properties of plasma membrane vesicles correlate with lipid order, viscosity and cell density, *Communications Biology*, 2019, 2, 337–1–337–8

### Najpomembnejše objave v letu 2018

1. Janša, N., Zorko, A., Gomilšek, M., Pregelj, M., Krämer, K.W., Biner, D., Biffin, A., Rüegg, C., Klanjšek, M., Observation of two types of fractional excitation in the Kitaev honeycomb magnet, *Nature Physics*, 2018, 14, 786–790
2. Adler, P., Jeglič, P., Knaflič, T., Komelj, M., Arčon, D. *et al.*, Verwey-type charge ordering transition in an open-shell p-electron compound, *Science Advances*, 2018, 4, eaap7581
3. Gao, S., Vrtnik, S., Luzar, J. *et al.*, Dipolar spin ice states with a fast monopole hopping rate in CdEr<sub>2</sub>X<sub>4</sub> (X=Se, S), *Physical Review Letters*, 2018, 120, 137201
4. Zagorodniy, Yu. O., Zalar B. *et al.*, Chemical disorder and <sup>207</sup>Pb hyperfine fields in the magnetoelectric multiferroic Pb(Fe<sub>1/2</sub>Sb<sub>1/2</sub>)O<sub>3</sub> and its solid solution with Pb(Fe<sub>1/2</sub>Nb<sub>1/2</sub>)O<sub>3</sub>, *Physical Review Materials*, 2018, 2, 014401
5. J. Dolinšek, Electronic transport properties of complex intermetallics, *Crystal growth of intermetallics*, Eds. P. Gille, Yu. Grin (Berlin: De Gruyter, 2018), 260-278
6. Pramanick, A., Dmowski, W., Egami, T. I., Setiadi Budisuharto, A., Weyland, F., Novak, N., Christianson, A., Borreguero, J. M., Abernathy, D., Jørgensen, M. R. V., Stabilization of Polar Nanoregions in Pb-free Ferroelectrics, *Physical Review Letters*, 2018, 120, 207603
7. Guillamat, P., Kos, Ž., Hardouin, J., Ignés-Mullol, J., Ravnik, M., Sagués, F. Active nematic emulsions, *Science Advances*, 2018, 4, 2375-2548
8. Urbančič, I., Garvas, M., Kokot, B., Majaron, H., Umek, P., Škarabot, M., Arsov, Z., Koklič, T., Čeh, M., Mušević, I., Štrancar, J., *et al.*, Nanoparticles can wrap epithelial cell membranes and relocate them across the epithelial cell layer, *Nano Letters*, 2018, 18, 5294-5305
9. Aničić, N., Vukomanović, M., Koklič, T., Suvorov, D. Fewer defects in the surface slows the hydrolysis rate, decreases the ROS generation potential, and improves the Non-ROS antimicrobial activity of MgO, *Small*, 2018, 14, 1800205
10. Santos, A. M., Urbančič, I., *et al.*, Capturing resting T cells: the perils of PLL, *Nature Immunology*, 2018, 19, 203–205

### Patent

1. Luka Drinovec, Griša Močnik, Photo-thermal interferometer, EP3492905 (B1), European Patent Office, 29. 4. 2020; US10768088 (B2), US Patent Office, 8. 9. 2020

### Nagrade in priznanja

1. dr. Matjaž Gomilšek: zlati znak Jožefa Stefana za znanstveni doktorat iz fizike na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani z naslovom Kvantne spinske tekočine na geometrijsko frustriranih mrežah kagome, Ljubljana, Institut "Jožef Stefan"
2. prof. dr. Samo Kralj: Zoisovo priznanje za pomembne dosežke na področju fizike mehke snovi, Ljubljana

## MEDNARODNI PROJEKTI

- |  |  |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Manjše storitve<br/>dr. Polona Umek</li> <li>2. Meritev z dvožarkovnim laserskim interferometrom<br/>TDK Electronics GmbH &amp; Co OG<br/>prof. dr. Vid Bobnar</li> <li>3. CROSSING - Prehajanje mej in velikostnih redov - interdisciplinarni pristop<br/>Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V.<br/>prof. dr. Janez Štrancar</li> <li>4. COST CA15209; Evropska mreža za NMR relaksometrijo<br/>COST Office<br/>prof. dr. Tomaž Apih</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>5. COST CA16109; Sprotno določanje kemijske sestave in virov finih aerosolov<br/>COST Office<br/>prof. dr. Griša Močnik</li> <li>6. COST CA16218; Koherentne hibridne naprave na nanoskali za superprevodne kvantne tehnologije<br/>COST Association AISBL<br/>dr. Abdelrahim Ibrahim Hassanien</li> <li>7. COST CA16221; Kvantne tehnologije z ultrahladnimi atomi<br/>COST Association AISBL<br/>dr. Peter Jeglič</li> <li>8. COST CA17121; Korelirana multimodalna slikanja v znanostih o življenju<br/>COST Association AISBL<br/>prof. dr. Janez Štrancar</li> </ol> |
|--|--|

9. COST CA17139; Evropska interdisciplinarna topološka akcija  
COST Association AISBL  
prof. dr. Slobodan Žumer
10. COST CA16202; Mednarodna mreža za spodbujanje merjenja in napovedovanja peščenih dogodkov  
COST Association AISBL  
prof. dr. Griša Močnik
11. COST CA9108 - HiSCALE; Visokotemperaturna superprevodnost za pospešitev prehoda energije  
COST Association AISBL  
dr. Abdelrahim Ibrahim Hassani
12. BIO-OPT-COMM; Optična komunikacija v živi nevronske mreži  
HFSPO- International Human Frontier  
doc. dr. Matjaž Humar
13. H2020 - SmartNanoTox; Pametna orodja za odkrivanje nano tveganj  
European Commission  
prof. dr. Janez Štrancar
14. H2020 - ENGIMA; Inženiring nanostruktur z ogromno magneto-piezoektrično in multikalorično funkcionalnostjo  
European Commission  
prof. dr. Zdravko Kutnjak
15. H2020 - Cell-Lasers; Celični laserji: Sklopitev med optičnimi resonancami in biološkimi procesi  
European Commission  
doc. dr. Matjaž Humar
16. Zaščita kulturne dediščine v prostorih - primer Leonardo da Vincijeve „Zadnje večerje“  
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS  
prof. dr. Griša Močnik
17. Z lipidi oviti nanodelci in aktivnost faktorja Xa  
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS  
dr. Tilen Koklič
18. Študija nanoporoznih materialov za shranjevanje vodika  
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS  
prof. dr. Janez Dolinšek
19. Magnetrosonančna študija kandidatov spinskih tekočin  
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS  
prof. dr. Andrej Zorko
20. Napredni organski in anorganski tankoplastni kompoziti s povečanim dielektričnim in elektromehanskim odzivom  
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS  
prof. dr. Zdravko Kutnjak
21. Nova elektronska stanja izhajajoč iz sklopitve med magnetizmom in električno prevodnostjo v itinerantnih antiferomagnetih  
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS  
prof. dr. Denis Arčon
22. Nano-spektralno slikanje hemoglobina na osnovi nelinearne optike za „label-free“ diagnostiko v medicini  
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS  
dr. Rok Podlipec
23. Učinek ognjemetov na onesnaženost zraka v urbanem okolju  
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS  
doc. dr. Anton Gradišek
24. Raziskave onesnaženosti zraka z nanodelci povzročene z ognjemeti  
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS  
prof. dr. Maja Remškar
5. Razvoj komponent za vzpostavitev nove evropske mreže za kvantno komunikacijo  
dr. Peter Jeglič
6. Visokoločljiva optična magnetometrija s hladnimi cezijevimi atomi  
dr. Peter Jeglič
7. Integrirani večkanalni umetni nos za zaznavanje sledov molekul v parni fazi  
prof. dr. Igor Muševič
8. Fotonski kristali v celoti narejeni iz užitnih snovi  
doc. dr. Matjaž Humar
9. Zaznavanje spinskih stanj v bližini površine kvantnih spinskih materialov  
prof. dr. Denis Arčon
10. Napredni mehki nematokalorični materiali  
doc. dr. Brigita Rožič
11. Multikalorično hlajenje  
prof. dr. Zdravko Kutnjak
12. Optimizacija tehnik magnetno resonančnega slikanja za napoved uspeha trombolize  
prof. dr. Igor Serša
13. Biointegrirani laserji za proučevanje živih organizmov  
doc. dr. Matjaž Humar
14. Študij sil znotraj celic s pomočjo deformacij fotonskih kapljic  
doc. dr. Matjaž Humar
15. Elektrokalorični elementi za aktivno hlajenje elektronskih vezij  
prof. dr. Vid Bobnar
16. Napredne anorganske in organske tanke plasti z ojačenim električno induciranim odzivom  
prof. dr. Vid Bobnar
17. Signalna pot z neugodnim izidom, ki vodi do ateroskleroze  
dr. Tilen Koklič
18. Tekočekristalni kapljični laserji za senzoriko znotraj celic  
Zuhail Kottoli Poyil, PhD.
19. Stabilizacija in destabilizacija spinskih tekočin zaradi perturbacij  
prof. dr. Andrej Zorko
20. Fizika Majoranovih fermionov v magnetih Kitaeva  
dr. Martin Klanjšek
21. Nova eksperimentalna metoda določitve kvantnih spinskih tekočin  
prof. dr. Andrej Zorko
22. Topološka turbulenca v ograjenih kiralnih nematskih poljih  
prof. dr. Miha Ravnik
23. Aktivna prevleka za zaščito pred elektromagnetnim sevanjem  
dr. Matej Pregelj
24. Pametna nanospektroskopija molekularnih dogodkov pri nevrogenaciji zaradi nanodelcev  
dr. Iztok Urbančič
25. Biološka zdravila: detektor tvorbe proteinskih delcev na osnovi tekočih kristalov  
prof. dr. Miha Ravnik
26. Prostorsko in časovno oblikovanje laserske svetlobe za minimalno invazivne oftalmološke posege  
prof. dr. Janez Štrancar
27. Feroelektrični keramični plastni elementi z načrtovano domensko strukturo za učinkovito zbiranje in za pretvorbo energije  
prof. dr. Zdravko Kutnjak
28. Magnetno, električno in strižnonapetostno programiranje oblikovnega odziva v aktuatorjih na osnovi polimerno dispergiranih tekočekristalnih elastomerov  
dr. Andraž Rešetič
29. GOSTOP: Gradniki, orodja in sistemi za tovarne prihodnosti  
prof. dr. Janez Štrancar
30. Povračilo stroškov znanstvenih objav v zlatem odprtem dostopu za leto 2019, 2020  
prof. dr. Igor Muševič

## PROGRAMI

1. Magnetna resonanca in dielektrična spektroskopija „pametnih“ novih materialov  
prof. dr. Janez Dolinšek
2. Fizika mehkih snovi, površin in nanostruktur  
prof. dr. Slobodan Žumer
3. Eksperimentalna biofizika kompleksnih sistemov in slikanje v biomedicini  
prof. dr. Janez Štrancar

## PROJEKTI

1. Senzorske tehnologije pri kontroli posegov v objekte kulturne dediščine  
prof. dr. Janez Dolinšek
2. Elektroporacijske terapije z novimi visokofrekvenčnimi elektroporacijskimi pulzi  
prof. dr. Igor Serša
3. Rekonstrukcija električne prevodnosti tkiv s tehnikami magnetne resonanc  
prof. dr. Igor Serša
4. Fazni prehodi proti koordinaciji v večplastnih omrežjih  
dr. Uroš Jagodič

## VEČJA NOVA POGODBENA DELA

1. L1-2607 Sofinanciranje L-projektov: Magnetno, električno in strižnonapetostno programiranje oblikovanega odziva v aktuatorjih na osnovi polimerno dispergiranih tekočekristalnih elastomerov  
KMZ - Zalar Miran, s.p.  
dr. Andraž Rešetič
2. Kafrakterizacija železove karboksimetilceluloze z mikroskopom na atomsko silo (AFM)  
Lek, d. d.  
prof. dr. Miha Škarabot
3. Karakterizacija železove karboksimaltoze z metodo elektronske paramagnetne resonance (EPR)  
Lek, d. d.  
prof. dr. Denis Arčon
4. AerOrbi - masni spektrometer z mehko fotoionizacijo  
Aerosol, d. o. o.  
prof. dr. Griša Močnik

## OBISKI

- Zouhair Hanani, Cadi Ayyad University, Marakeš, Maroko, 15. 11. 2019–15. 1. 2020
- dr. Magdalena Wencka, Institute of Molecular Physics, Polish Academy of Sciences, Poznan, Poljska, 15. 1.–31. 12. 2020
- Toma Petrinović, Univerza v Zagrebu, Institut za fiziko, Zagreb, Hrvaška, 5.–14. 1. 2020
- prof. dr. Tom Lancaster, Durham University, Durham, Velika Britanija, 12.–17. 1. 2020
- dr. Junichi Fukuda, Univerza Kyushu, Fukuoka, Japonska, 12.–18. 1. 2020
- dr. Lachezar Komitov, University of Gothenburg, Gothenburg, Švedska, 2.–7. 3. 2020
- dr. Jampani Venkata Suba Rao, Univerza v Luksemburgu, Luksemburg, Luksemburg, 3. 9.–10. 10. 2020
- dr. Bojana Višič, Institut za fiziko v Beogradu, Beograd, Srbija, 1.–10. 10. 2020
- Nikolai Cypurnyi, Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg, Regensburg, Nemčija, 8.–31. 10. 2020

## SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

### Predavanja v okviru Laboratorija za biofiziko F-5

- dr. Matej Krajnc: On how Drosophila embryo gets dense, 30. 1. 2020

## UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

- prof. dr. Tomaž Apih, konferenca NMR Relaxometry and Related Methods, Talin, Estonija, 17.–19. 2. 2020 (predavanje)
- Tina Arh, mag. fiz., ISIS Neutron Training Course, Didcot, Velika Britanija, 10.–19. 3. 2020
- prof. dr. Janez Dolinšek, konferenca TMS 2020 Annual Meeting & Exhibition, San Diego, Kalifornija, ZDA, 23.–27. 2. 2020 (vabljeni predavanja)
- dr. Luka Drinovec, European Aerosol Conference 2020, 31. 8.–4. 9. 2020 (virtualno)
- doc. dr. Anton Gradišek, konferenca NMR Relaxometry and Related Methods, Talin, Estonija, 17.–19. 2. 2020 (predavanje)
- dr. Ibrahim Hassanien Abdelrahim, The 34<sup>th</sup> International Winterschool on Electronic Properties of Novel Materials, Kirchberg, Avstrija, 7.–14. 3. 2020 (predavanje)
- dr. Peter Jeglič in Tadej Mežnaršič, mag. fiz., ICTP/SISSA Statistical Physical Seminar, Trst, Italija, 21. 2. 2020 (2 predavanji)

- prof. dr. Samo Kralj, Institut for High Pressure, Varšava, Poljska, 5.–13. 2. 2020 (vabljeni predavanja)
- prof. dr. Samo Kralj, The 21<sup>st</sup> International School on Condensed Matter Physics, 31. 8.–4. 9. 2020, virtualno (vabljeni predavanja)
- prof. dr. Zdravko Kutnjak in dr. Brigita Rožič, konferenca Electronic Materials and Application 2020, Orlando, Florida, ZDA, 22.–24. 1. 2020 (3 predavanja)
- Tadej Mežnaršič, mag. fiz., konferenca Quantum Optics 2020, Obergurgl, Avstrija, 23.–29. 2. 2020 (plakat)
- dr. Andraž Rešetič, konferenca Multi-Functional Nano-Carbon Composite Materials Network, Slovenj Gradec, 23. 9. 2020 (predavanje)
- dr. Anna Ryzhkova, SPIE Photonics West, San Francisco, Kalifornija, ZDA, 1.–6. 2. 2020 (vabljeni predavanja)
- dr. Polona Umek, poletna šola 2020 EFCATS, Portorož, 15.–19. 9. 2020 (poster)
- dr. Iztok Urbančič, konferenca Quantitative Bioimaging, Oxford, Velika Britanija, 6.–9. 1. 2020 (predavanje)
- dr. Magdalena Wencka, XIII Szkoła Letnia Innowacji, 3. in 4. 9. 2020 (virtualno)

## RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

- doc. dr. Andrej Zorko: The Paul Scherrer Institute, Villigen, Švica, 22.–24. 1. 2020 (zasedanje komisije SmuS Advisory Committee)
- doc. dr. Anton Gradišek: H2020 CrowdHEALTH, 3.–7. 2. 2020 (delovni sestanek)
- doc. dr. Anton Gradišek: Univerza v Latviji, Riga, Latvija, 22.–24. 2. 2020 (delovni obisk)
- prof. dr. Denis Arčon in Žiga Gosar, mag. fiz.: Univerza v Tohoku, Sendai, Japonska, 30. 1.–11. 2. 2020 (delovni obisk)
- prof. dr. Denis Arčon in Žiga Gosar, mag. fiz.: Univerza v Krakovu, Krakov, Poljska, 19.–22. 7. 2020 (delovni obisk)
- prof. dr. Igor Muševič: Raman Research Institute, Bangalore, Indija, 15. 12. 2019–20. 1. 2020 (gostujoči profesor)
- prof. dr. Igor Muševič: Research Executive Agency, Bruselj, Belgija, 21.–24. 1. 2020 (ocenjevanje MSCA ITN 2020 projektov)
- dr. Iztok Urbančič: Univerza v Oxfordu, Oxford, Velika Britanija, 10.–18. 1. 2020 (delovni obisk)
- prof. dr. Janez Štrancar: SmartNanoTox, München, Nemčija, 30. 1. 2020 (delovni sestanek)
- prof. dr. Samo Kralj: Institut for High Pressure, Varšava, Poljska, 5.–13. 2. 2020 (delovni obisk)
- prof. dr. Tomaž Apih: NICPB, Talin, Estonija, 20. 2. 2020 (delovni sestanek)
- prof. dr. Zdravko Kutnjak in dr. Brigita Rožič: University of South Florida, Tampa, Florida, ZDA, 25.–29. 1. 2020 (delovni obisk)

## SODELAVCI

### Raziskovalci

- prof. dr. Tomaž Apih
- prof. dr. Denis Arčon\*, znanstveni svetnik - pomočnik vodje oddelka
- doc. dr. Zoran Arsov\*
- prof. dr. Vid Bobnar, znanstveni svetnik
- prof. dr. Janez Dolinšek\*, znanstveni svetnik - vodja raziskovalne skupine
- doc. dr. Anton Gradišek, 1. 9. 2020 *razporeditev v odsek E9*
- dr. Alan Gregorovič
- Abdelrahim Ibrahim Hassanien, doktor znanosti
- doc. dr. Matjaž Humar
- Venkata Subba Rao Jampani, PhD.
- dr. Peter Jeglič
- dr. Marjan Ješelnik\*
- dr. Martin Klanjšek
- dr. Tilen Koklič
- prof. dr. Samo Kralj\*, znanstveni svetnik
- prof. dr. Zdravko Kutnjak, znanstveni svetnik
- dr. Mojca Urška Mikac
- prof. dr. Griša Močnik\*
- doc. dr. Aleš Mohorič\*
- prof. dr. Igor Muševič\*, znanstveni svetnik - vodja oddelka**
- dr. Nikola Novak
- dr. Andriy Nych
- doc. dr. Stane Pajk\*
- doc. dr. Dušan Ponikvar\*
- dr. Matej Pregelj
- prof. dr. Miha Ravnik\*
- prof. dr. Maja Remiškar, znanstveni svetnik
- doc. dr. Brigita Rožič
- prof. dr. Igor Serša
- prof. dr. Miha Škarabot
- prof. dr. Janez Štrancar, vodja raziskovalne skupine

- doc. dr. Uroš Tkalec\*
- dr. Polona Umek
- dr. Iztok Urbančič
- dr. Herman Josef Petrus Van Midden
- doc. dr. Andrej Vilfan
- dr. Stanislav Vrtnik
- prof. dr. Boštjan Zalar, znanstveni svetnik - pomočnik vodje oddelka, 1. 12. 2020 razporeditev v odsek U1*
- prof. dr. Aleksander Zidanšek
- prof. dr. Andrej Zorko
- dr. Erik Zupanič
- prof. dr. Slobodan Žumer, znanstveni svetnik

### Podoktorski sodelavci

- dr. Matej Bobnar
- dr. Maja Garvas
- dr. Matjaž Gomilšek
- dr. Uroš Jagodič
- Zuhail Kottoli Poyil, PhD., Indija
- dr. Primož Koželj, začasna prekinitev 1. 7. 2019*
- dr. Mitja Krnel
- dr. Marta Lavrič
- dr. Janez Lužnik, odšel 1. 9. 2020*
- dr. Maruša Mur
- dr. Luka Pirker
- dr. Rok Podlipec
- dr. Gregor Posnjak, začasna prekinitev 1. 8. 2019*
- dr. Anja Pusovnik
- dr. Andraž Rešetič
- dr. Anna Ryzhkova
- dr. Aleksandar Savić, odšel 21. 3. 2020*
- Saide Umerova, PhD.
- dr. Jernej Vidmar\*
- dr. Bojana Višič
- Mlajši raziskovalci**
- Tina Arh, mag. fiz.

64. Devid Črešnar, mag. fiz.
65. Nikita Derets, Bakalvr, Ruska federacija
66. Darja Gačnik, mag. fiz.
67. Žiga Gosar, mag. fiz.
68. Urška Gradišar Centa, mag. med. fiz.
69. Saša Harkai, mag. fiz.
70. Nejc Janša, M.Sc. (Physik), Nemčija
71. Vida Jurečič, mag. prof. pouč. fiz. in mat.
72. *Tilen Kraflič, univ. dipl. fiz., odšel 1. 7. 2020*
73. Hana Kokot, mag. fiz.
74. mag. Bojan Marin\*
75. Matevž Marinčič, mag. fiz.
76. *dr. Aleksander Matauš, začasna prekinitev 19. 1. 2020*
77. Tadej Mežnaršič, mag. fiz.
78. Rok Peklar, mag. fiz.
79. Gregor Pirnat, mag. fiz.
80. Jaka Pišljarič, mag. fiz.
81. Anja Pogačnik Krajnc, mag. fiz.
82. Aleksandar Sebastijanovič, mag. mikrobiol.
83. Marion Antonia Van Midden, mag. fiz.
84. Rebeka Viltušnik, mag. inž. rad. tehnol.

**Strokovni sodelavci**

85. Andreja Bužan Bobnar, dipl. fiz. (UN)
86. dr. Luka Drinovec\*
87. dr. Andreja Jelen
88. Boštjan Kokot, mag. fiz.
89. Ana Krišelj, mag. biokem.
90. Ivan Kvasič, univ. dipl. inž. el.
91. dr. Jože Luzar
92. Jaka Močivnik, dipl. inž. meh. (VS)

**Tehniški in administrativni sodelavci**

93. Sabina Gruden, dipl. ekon.
94. Dražan Ivanov
95. Janez Jelenc, dipl. inž. fiz.
96. Maša Kavčič, mag. medk. menedž.
97. Davorin Kotnik
98. Vesna Lopatič, mag. angl.
99. Silvano Mendizza
100. Peter Mihor
101. Janja Milivojevič
102. Ana Sepe, inž. fiz.
103. Marjetka Tršinar

Opomba

\* delna zaposlitev na IJS

**SODELUJOČE ORGANIZACIJE**

1. A. F. Ioffe Physico-Technical Institute, Sankt Peterburg, Ruska federacija
2. AEROSOL razvoj in proizvodnja znanstvenih instrumentov, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
3. AMES, d. o. o., Brezovica pri Ljubljani, Slovenija
4. Balder, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
5. BASF, Heidelberg, Nemčija
6. Ben Gurion University, Beersheba, Izrael
7. Centre national de la recherche scientifique, Laboratoire de Spectrochimie Infrarouge et Raman, Thiais, Francija
8. Centre national de la recherche scientifique, Laboratory de Marseille, Marseille, Francija
9. Chalmers University of Technology, Physics Department, Göteborg, Švedska
10. Clarendon Laboratory, Oxford, Velika Britanija
11. CosyLab, d. d., Ljubljana, Slovenija
12. Department of Chemistry, College of Humanities and Sciences, Nihon University, Tokio, Japonska
13. Deutsches Elektronen-Synchrotron, Hamburg, Nemčija
14. Deutsches Krebsforschungszentrum, Heidelberg, Nemčija
15. École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lozana, Švica
16. Eidgenössische Technische Hochschule – ETH, Zürich, Švica
17. Elettra (Synchrotron Light Laboratory), Bazovica, Italija
18. European Synchrotron Radiation Facility, Grenoble, Francija
19. Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Leioa, Španija
20. Faculty of Physics, Adam Mickiewicz University, Poznanj, Poljska
21. Florida State University, Florida, ZDA
22. Forschungszentrum Dresden Rossendorf, Dresden, Nemčija
23. Gunma National College of Technology, Maebaši, Japonska
24. Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V.
25. High Magnetic Field Laboratory, Nijmegen, Nizozemska
26. High Magnetic Field Laboratory, Tallahassee, Florida, ZDA
27. High-Magnetic-Field Laboratory, Grenoble, Francija
28. Humboldt Universität Berlin, Institut für Biologie/Biophysik, Berlin, Nemčija
29. Ilie Murgulescu Institute of Physical Chemistry of the Romanian Academy, Bukarešta, Romunija
30. Institut für Biophysik und nanosystemforschung OAW, Gradec, Avstrija
31. Institut für Experimentalphysik der Universität Wien, Dunaj, Avstrija
32. Institut Ruder Bošković, Zagreb, Hrvaška
33. Institut za biofiziko, Medicinska fakulteta, Ljubljana, Slovenija
34. Institut za kristalografijo Ruske akademije znanosti, Moskva, Rusija
35. Institut za teoretično fiziko univerze v Göttingenu, Göttingen, Nemčija
36. Institute of Electronic Materials Technology, Varšava, Poljska
37. Institute of Molecular Physics, Polish Academy of Sciences, Poznanj, Poljska
38. Instituto Superior Tecnico, Departamento de Fisica, Lizbona, Portugalska
39. Instrumentation Technologies, d. d., Solkan, Slovenija
40. International Center for Theoretical Physics, Trst, Italija
41. International Human Frontier Science Program Organisation, Strasbourg, Francija
42. ISIS, Rutherford Appleton Laboratory, Didcot, Velika Britanija
43. Kavli Institute for Theoretical Physics, Santa Barbara, ZDA
44. Kimberly Clark, Atlanta, ZDA
45. King's College, London, Velika Britanija
46. Klinični center Ljubljana, Ljubljana, Slovenija
47. KMZ Zalar Miran, s. p., CNC obdelava kovin in drugih materialov, Ljubljana, Slovenija
48. Korea Basic Science Institute, Daejeon, Južna Koreja
49. Krka, tovarna zdravil, d. d., Novo mesto, Slovenija
50. KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Švedska
51. Kyung Hee University of Suwon, Impedance Imaging Research Center, Seul, Južna Koreja
52. L'Oreal, Pariz, Francija
53. Lek farmacevtska družba, d. d., Ljubljana, Slovenija
54. Liquid Crystal Institute, Kent, Ohio, ZDA
55. Lotrič Certificiranje, d. o. o., Železniki, Slovenija
56. LVL livarstvo in orodjarstvo, d. o. o., Kranj, Slovenija
57. Max Planck Institut, Dresden, Nemčija
58. Mayo Clinic, Rochester, Minnesota, ZDA
59. Melamin kemična tovarna, d. d., Kočevje, Slovenija
60. Merck KGaA, Darmstadt, Nemčija
61. Metalurško-kemična industrija Celje, d. d., Celje, Slovenija
62. MH Hannover, Hannover, Nemčija
63. Ministrstvo za obrambo, Ljubljana, Slovenija
64. Nanotul, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
65. National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Physics, Kijev, Ukrajina
66. National Center for Scientific Research Demokritos, Aghia Paraskevi Attikis, Grčija
67. National Institute for Research in Inorganic materials, Tsukuba, Japonska
68. Nuklearni Institut Vinča, Beograd, Srbija
69. Optotek, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
70. Oxford University, Department of Physics, Department of Materials, Oxford, Velika Britanija
71. PAB Akrapović, Buzet, Hrvaška
72. Paul Scherrer Institut, Villigen, Švica
73. Politecnico di Torino, Dipartimento di Fisica, Torino, Italija
74. Radbound University Nijmegen, Research Institute for Materials, Nijmegen, Nizozemska
75. RLS Merilna tehnika, d. o. o., Žeja pri Komendi, Slovenija
76. Rwth Aachen University, Aachen, Nemčija
77. School of Physics, Hyderabad, Andhra Pradesh, Indija
78. SISSA, Trst, Italija
79. SRC systemske integracije, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
80. State College, Pennsylvania, ZDA
81. Stelar, Mede, Italija
82. Sveučilište u Rijeci, Medicinski fakultet, Reka, Hrvaška
83. Sveučilište u Zagrebu, Institut za fiziku, Zagreb, Hrvaška
84. TDK Electronics GmbH & Co OG, Deutschlandsberg, Avstrija
85. Technical University of Catalonia, Barcelona, Španija
86. Tehnična univerza Dunaj, Dunaj, Avstrija
87. TELA merilni sistemi, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
88. The Geisel School of Medicine at Dartmouth, Hanover, ZDA
89. The Max Delbrück Center for Molecular Medicine in Berlin, Berlin, Nemčija
90. Tohoku University, Sendai, Japonska
91. Tokyo University, Bunkyo, Tokio, Japonska
92. UNCOSS, Bruselj, Belgija
93. Università di Pisa, Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale, Pisa, Italija
94. Universität Freiburg, Institut für Makromolekulare Chemie, Freiburg, Nemčija
95. Universität Mainz, Geowissenschaften, Mainz, Nemčija
96. Universität Regensburg, Regensburg, Nemčija
97. Université de la Méditerranée, Marseille, Francija
98. Université de Nice, Nica, Francija
99. Université de Picardie Jules Verne, Amiens, Francija
100. Université Paris Sud, Pariz, Francija
101. University of Aveiro, Aveiro, Portugalska
102. University of Bristol, Bristol, Velika Britanija
103. University of California at Irvine, Beckman Laster Institute and Medical Clinic, Irvine, Kalifornija, ZDA
104. University of Duisburg, Duisburg, Nemčija
105. University of Durham, Durham, Velika Britanija
106. University of Innsbruck, Innsbruck, Avstrija

107. University of Leeds, Leeds, Velika Britanija  
 108. University of Linz, Institute of Chemistry, Department of Physical Chemistry & Linz Institute of Organic Solar Cells, Linz, Avstrija  
 109. University of Loughborough, Loughborough, Velika Britanija  
 110. University of Provence, Marseille, Francija  
 111. University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki, Japonska  
 112. University of Utah, Department of Physics, Salt Lake City, Utah, ZDA  
 113. University of Waterloo, Department of Physics, Waterloo, Ontario, Kanada  
 114. University of Zürich, Zürich, Švica  
 115. Univerza v Mariboru, Maribor, Slovenija  
 116. Univerza v Monsu, Mons, Belgija  
 117. Univerza v Münchenu in MPQ, München, Nemčija  
 118. Univerza v Pavii, Pavia, Italija  
 119. Univerza v Severni Karolini, Chapel Hill, ZDA  
 120. Univerza v Siscosinu, Madison, ZDA  
 121. Wagenigen University, Laboratory of Biophysics, Wageningen, Nizozemska  
 122. Weizman Institute, Rehovot, Izrael  
 123. Yonsei University, Seul, Južna Koreja  
 124. Zavod RS za transfuzijsko medicino, Ljubljana, Slovenija  
 125. Železarna Ravne, Ravne na Koroškem, Slovenija

# BIBLIOGRAFIJA

## IZVIRNI ZNANSTVENI ČLANKI

- Geonhyeong Park, Simon Čopar, Ahram Suh, Minyong Yang, Uroš Tkalec, Dong Ki Yoon, "Periodic arrays of chiral domains generated from the self-assembly of micropatterned achiral lyotropic chromonic liquid crystal", *ACS central science*, 2020, **6**, 11, 1964-1970. [COBISS.SI-ID 28153859]
- Aurelien Barbotin, Iztok Urbančič, Silvia Galiani, Christian Eggeling, Martin J. Booth, "Background reduction in STED-FCS using a bi-vortex phase mask", *ACS photonics*, 2020, **7**, 7, 1742-1753. [COBISS.SI-ID 19322371]
- Abdou Hassanien, Biao Zhou, Akiko Kobayashi, "Spontaneous antiferromagnetic ordering in a single layer of (BETS)<sub>2</sub>GaCl<sub>4</sub> organic superconductor", *Advanced electronic materials*, 2020, **6**, 10, 2000461. [COBISS.SI-ID 28479235]
- Rijeesh Kizhakidathazhath, Yong Geng, Venkata Subba R. Jampani, Cyrine Charni, Anshul Sharma, Jan P. F. Lagerwall, "Facile anisotropic deswelling method for realizing large-area cholesteric liquid crystal elastomers with uniform structural color and broad-range mechanochromic response", *Advanced functional materials*, 2020, **30**, 7, 1909537. [COBISS.SI-ID 22337539]
- Hana Kokot *et al.* (34 avtorjev), "Prediction of chronic inflammation for inhaled particles: the impact of material cycling and quarantining in the lung epithelium", *Advanced materials*, 2020, **32**, 47, 2003913. [COBISS.SI-ID 39713539]
- Honey Dawn C. Alas, Thomas Müller, Kay Weinhold, Sascha Pfeifer, Kristina Glojek, Asta Gregorič, Griša Močnik, Luka Drinovec, Francesca Costabile, Martina Ristorini, A. Wiedensohler, "Performance of microAethalometers: real-world field intercomparisons from multiple mobile measurement campaigns in different atmospheric environments", *Aerosol and air quality research*, 2020, **20**, 12, 2640-2653. [COBISS.SI-ID 28340995]
- Manos Anyfantakis, Venkata Subba R. Jampani, Rijeesh Kizhakidathazhath, Bernard P. Binks, Jan P. F. Lagerwall, "Responsive photonic liquid marbles", *Angewandte Chemie*, 2020, **59**, 43, 19260-19267. [COBISS.SI-ID 28712451]
- I. Antonyshyn *et al.* (11 avtorjev), "Micro-scale device—an alternative route for studying the intrinsic properties of solid-state materials: the case of semiconducting TaGeIr", *Angewandte Chemie*, 2020, **59**, 27, 11136. [COBISS.SI-ID 37114627]
- Anja Sadžak, Janez Mravljak, Nadica Maltar-Strmečki, Zoran Arsov, Goran Baranović, Ina Erceg, Manfred Kriechbaum, Vida Strasser, Jan Přibyl, Suzana Šegota, "The structural integrity of the model lipid membrane during induced lipid peroxidation: the role of flavonols in the inhibition of lipid peroxidation", *Antioxidants*, 2020, **9**, 5, 430. [COBISS.SI-ID 15647491]
- Ema Valentina Brovč, Stane Pajk, Roman Šink, Janez Mravljak, "Protein formulations containing polysorbates: are metal chelators needed at all?", *Antioxidants*, 2020, **9**, 5, 441. [COBISS.SI-ID 16128003]
- Itir Bakis Dogru-Yuksel, Mertcan Han, Gregor Pirnat, Emir Salih Magden, Erkan Senses, Matjaž Humar, Sedat Nizamoglu, "High-Q, directional and self-assembled random laser emission using spatially localized feedback via cracks", *APL photonics*, 2020, **5**, 10, 106105. [COBISS.SI-ID 32062723]
- Rok Podlipec, Jaka Mur, Jaka Petelin, Janez Štrancar, Rok Petkovšek, "Two-photon retinal theranostics by adaptive compact laser source", *Applied physics. A, Materials science & processing*, 2020, **126**, 6, 405. [COBISS.SI-ID 14993923]
- Urška Gabor, Damjan Vengust, Zoran Samardžija, Aleksander Matavž, Vid Bobnar, Danilo Suvorov, Matjaž Spreitzer, "Stabilization of the perovskite phase in PMN-PT epitaxial thin films via increased interface roughness", *Applied Surface Science*, 2020, **513**, 145787. [COBISS.SI-ID 33262887]
- Asta Gregorič, Luka Drinovec, Irena Ježek, Janja Vaupotič, Matevž Lenarčič, Domen Grauf, Longlong Wang, Maruška Mole, Samo Stanič, Griša Močnik, "The determination of highly time-resolved and source-separated black carbon emission rates using radon as a tracer of atmospheric dynamics", *Atmospheric chemistry and physics*, 2020, **20**, 22, 14139-14162. [COBISS.SI-ID 38712323]
- S. Vratolis *et al.* (18 avtorjev), "Comparison and complementary use of *in situ* and remote sensing aerosol measurements in the Athens Metropolitan Area", *Atmospheric environment*, 2020, **228**, 117439. [COBISS.SI-ID 33288999]
- Luka Pirker, Anton Gradišek, Bojana Višič, Maja Remškar, "Nanoparticle exposure due to pyrotechnics during a football match", *Atmospheric environment*, 2020, **233**, 117567. [COBISS.SI-ID 16262915]
- Luka Drinovec, Jean Sciare, Iasonas Stavroulas, Spiros Bezantakos, Michael Pikridas, Florin Unga, Chrysanthos Savvides, Bojana Višič, Maja Remškar, Griša Močnik, "A new optical-based technique for real-time measurements of mineral dust concentration in PM<sub>10</sub> using a virtual impactor", *Atmospheric measurement techniques*, 2020, **13**, 7, 3799-3813. [COBISS.SI-ID 22985475]
- Martin Rigler, Luka Drinovec, Gašper Lavrič, Athanasia Vlachou, Andre S. H. Prévôt, Jean-Luc Jaffrezo, Iasonas Stavroulas, Jean Sciare, Judita Burger, Irena Kranjc, Janja Turšič, Anthony D. A. Hansen, Griša Močnik, "The new instrument using a TC-BC (total carbon-black carbon) method for the online measurement of carbonaceous aerosols", *Atmospheric measurement techniques*, 2020, **13**, 8, 4333-4351. [COBISS.SI-ID 25335555]
- Bradley Visser, Jannis Röhrbein, Peter Steigmeier, Luka Drinovec, Griša Močnik, Ernest Weingartner, "A single-beam photothermal interferometer for *in situ* measurements of aerosol light absorption", *Atmospheric measurement techniques*, 2020, **13**, 12, 7097-7111. [COBISS.SI-ID 44630531]
- Aurélien Barbotin, Iztok Urbančič, Silvia Galiani, Christian Eggeling, Martin J. Booth, Erdinc Sezgin, "z-STED imaging and spectroscopy to investigate nanoscale membrane structure and dynamics", *Biophysical journal*, 2020, **118**, 10, 2448-2457. [COBISS.SI-ID 33312551]
- Ksenija Cankar, Jernej Vidmar, Lidija Nemeth, Igor Serša, "T2 mapping as a tool for assessment of dental pulp response to caries progression: An *in vivo* MRI study", *Caries Research*, 2020, **54**, 1, 24-35. [COBISS.SI-ID 3309179]
- Pedro Campinho, Paola Lamperti, Francesco Boselli, Andrej Vilfan, Julien Vermot, "Blood flow limits endothelial cell extrusion in the Zebrafish dorsal aorta", *Cell reports*, 2020, **31**, 2, 107505. [COBISS.SI-ID 33299751]
- Romana Cerc Korošec, Bojan Miljevič, Polona Umek, John Milan van der Bergh, Snezana B. Vučetić, Jonjaua Ranogajec, "Photocatalytic self-cleaning properties of Mo: TiO<sub>2</sub> loaded Zn-Al layered double hydroxide synthesised at optimised pH value for the application on mineral substrates", *Ceramics international*, 2020, **46**, 5, 6756-6766. [COBISS.SI-ID 1538459331]
- Soukainae Merselmiz *et al.* (14 avtorjev), "High energy storage efficiency and large electrocaloric effect in lead-free BaTi<sub>0.89</sub>Sn<sub>0.11</sub>O<sub>3</sub> ceramic", *Ceramics international*, 2020, **46**, 15, 23867-23876. [COBISS.SI-ID 20600579]

25. H. Zaitouni, L. Hajji, D. Mezzane, E. Choukri, Y. Gagou, K. Hoummada, A. Charai, A. Alimoussa, Brigita Rožič, M. El Marsi, Zdravko Kutnjak, "Structural, dielectric, ferroelectric and tuning properties of Pb-free ferroelectric  $\text{Ba}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Ti}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_3$ ", *Ceramics international*, 2020, **46**, 17, 27275-27282. [COBISS.SI-ID 33040387]
26. Andrew T. Frawley, Virginia Wycisk, Yaoyao Xiong, Silvia Galiani, Erdinc Sezgin, Iztok Urbančič, Andreas Vargas Jentsch, Kathryn G. Leslie, Christian Eggeling, Harry L. Anderson, "Super-resolution RESOLFT microscopy of lipid bilayers using a fluorophore-switch dyad", *Chemical science*, 2020, **11**, 33, 8955-8960. [COBISS.SI-ID 25958659]
27. J. M. Hübner *et al.* (12 avtorjev), "In-Cage interactions in the clathrate superconductor  $\text{Sr}_8\text{Si}_46$ ", *Chemistry: A European Journal*, 2020, **26**, 4, 830-838. [COBISS.SI-ID 33128999]
28. Paweł Wyżga, Igor Veremchuk, Matej Bobnar, Primož Koželj, Steffen Klenner, Rainer Pöttgen, Andreas Leithe-Jasper, Roman Gumeniuk, "Structural peculiarities and thermoelectric study of iron indium thiospinel", *Chemistry: A European Journal*, 2020, **26**, 23, 5245-5256. [COBISS.SI-ID 31852035]
29. Jože Luzar, Andreja Padovnik, Petra Štukovnik, Marjan Marinšek, Zvonko Jagličič, Violeta Bokan-Bosiljkov, Janez Dolinšek, "NMR spectroscopy-supported design and properties of air lime-white cement injection grouts for strengthening of historical masonry buildings", *Construction & building materials*, 2020, **250**, 118937. [COBISS.SI-ID 9109601]
30. Milan Ambrožič, Apparao Gudimalla, Charles Rosenblatt, Samo Kralj, "Multiple twisted chiral nematic structures in cylindrical confinement", *Crystals*, 2020, **10**, 7, 576. [COBISS.SI-ID 29663747]
31. Eva Klemenčič, Pavlo Kurioz, Milan Ambrožič, Charles Rosenblatt, Samo Kralj, "Annihilation of highly-charged topological defects", *Crystals*, 2020, **10**, 8, 673. [COBISS.SI-ID 27325443]
32. Primož Jozič, Aleksander Zidanšek, Robert Repnik, "Fuel conservation for launch vehicles: Falcon Heavy case study", *Energies*, 2020, **13**, 3, 660. [COBISS.SI-ID 25125640]
33. Kristina Glojek, Asta Gregorič, Griša Močnik, Andrea Cuesta-Mosquera, A. Wiedensohler, Luka Drinovec, Matej Ogrin, "Hidden black carbon air pollution in hilly rural areas: a case study of Dinaric depression", *European journal of geography*, 2020, **11**, 2, 105-122. [COBISS.SI-ID 45041923]
34. Mathias Kotsch, Yurii Prots, Alim Ormeci, Matej Bobnar, Frank R. Wagner, Anatolij Senyshyn, Yuri Grin, "From Zintl to Wade:  $\text{Ba}_3\text{LiGa}_5$ : a structure pattern with pyramidal cluster chains  $[\text{Ga}_5]_n^-$ ", *European Journal of Inorganic Chemistry*, 2020, **2020**, 29, 2842-2849. [COBISS.SI-ID 36788483]
35. Ema Valentina Brovč, Janez Mravljak, Roman Šink, Stane Pajk, "Degradation of polysorbates 20 and 80 catalysed by histidine chloride buffer", *European journal of pharmaceuticals and biopharmaceuticals*, 2020, **154**, 236-245. [COBISS.SI-ID 24840195]
36. Ricardo Chagas, Pedro E. S. Silva, Susete N. Fernandes, Slobodan Žumer, Maria H. Godinho, "Playing the blues, the greens and the reds with cellulose-based structural colours", *Faraday discussions*, 2020, **223**, 247-260. [COBISS.SI-ID 24122627]
37. George Cordoyiannis, Marta Lavrič, Maja Trček, Vasileios Tzitzios, Ioannis Lelidis, George Nounesis, Matej Daniel, Zdravko Kutnjak, "Quantum dot-driven stabilization of liquid-crystalline blue phases", *Frontiers in physics*, 2020, **8**, 315. [COBISS.SI-ID 26722307]
38. Martin Gjoreski, Anton Gradišek, Borut Budna, Matjaž Gams, Gregor Poglajen, "Machine learning and end-to-end deep learning for the detection of chronic heart failure from heart sounds", *IEEE access*, 2020, **8**, 20313-20324. [COBISS.SI-ID 33111591]
39. Gizem Gültekin Várkonyi, Anton Gradišek, "Data protection impact assessment case study for a research project using artificial intelligence on patient data", *Informatica*, 2020, **44**, 4, 497-505. [COBISS.SI-ID 45281795]
40. Craig I. Hiley *et al.* (11 avtorjev), "Crystal structure and stoichiometric composition of potassium-intercalated tetracene", *Inorganic chemistry*, 2020, **59**, 17, 12545-12551. [COBISS.SI-ID 28202499]
41. Olga Sichevych, Sever Flipo, Alim Ormeci, Matej Bobnar, Lev G. Akselrud, Yurii Prots, Ulrich Burkhardt, Roman Gumeniuk, Andreas Leithe-Jasper, Yuri Grin, "Crystal structure and physical properties of the cage compound  $\text{Hf}_2\text{B}_{2-28}\text{Ir}_{5+8}$ ", *Inorganic chemistry*, 2020, **59**, 19, 14280-1489. [COBISS.SI-ID 36772867]
42. Mitja Krnec, Stanislav Vrtnik, Andreja Jelen, Primož Koželj, Zvonko Jagličič, Anton Meden, Michael Feuerbacher, Janez Dolinšek, "Speromagnetism and asperomagnetism as the ground states of the Tb-Dy-Ho-Er-Tm "ideal" high-entropy alloy", *Intermetallics*, 2020, **117**, 106680. [COBISS.SI-ID 32989479]
43. Apparao Gudimalla, Marta Lavrič, Maja Trček, Saša Harkai, Brigita Rožič, George Cordoyiannis, Sabu Thomas, Kaushik Pal, Zdravko Kutnjak, Samo Kralj, "Nanoparticle-stabilized lattices of topological defects in liquid crystals", *International journal of thermophysics*, 2020, **41**, 4, 51. [COBISS.SI-ID 33275175]
44. Zouhair Hanani *et al.* (14 avtorjev), "Enhanced dielectric and electrocaloric properties in lead-free rod-like BCZT ceramics", *Journal of advanced ceramics*, 2020, **9**, 2, 201-219. [COBISS.SI-ID 33283879]
45. Eric Navarrete, Carla Bittencourt, Polona Umek, Damien Cossement, Frank Güell, Eduard Llobet, "Tungsten trioxide nanowires decorated with iridium oxide nanoparticles as gas sensing material", *Journal of alloys and compounds*, 2020, **812**, 152156. [COBISS.SI-ID 32628519]
46. Paolo Paletti, Sara Fathipour, Maja Remškar, Alan Seabaugh, "Quantitative, experimentally-validated, model of  $\text{MoS}_2$  nanoribbon Schottky field-effect transistors from subthreshold to saturation", *Journal of applied physics*, 2020, **127**, 6, 065705. [COBISS.SI-ID 33163815]
47. Marta Lavrič, George Cordoyiannis, Vasileios Tzitzios, Ioannis Lelidis, Samo Kralj, George Nounesis, Slobodan Žumer, Matej Daniel, Zdravko Kutnjak, "Blue phase stabilization by CoPt-decorated reduced-graphene oxide nanosheets dispersed in a chiral liquid crystal", *Journal of applied physics*, 2020, **127**, 9, 095101. [COBISS.SI-ID 33245735]
48. Lovro Fulanović, Andraž Bradeško, Nikola Novak, Barbara Malič, Vid Bobnar, "Relation between dielectric permittivity and electrocaloric effect under high electric fields in the  $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ -based ceramics", *Journal of applied physics*, 2020, **127**, 18, 184102. [COBISS.SI-ID 14687491]
49. Bouchra Asbani *et al.* (11 avtorjev), "Electrocaloric response in lanthanum-modified lead zirconate titanate ceramics", *Journal of applied physics*, 2020, **127**, 22, 224101. [COBISS.SI-ID 18632195]
50. Katja Klinar, Miguel Muñoz Rojo, Zdravko Kutnjak, Andrej Kitanovski, "Toward a solid-state thermal diode for room-temperature magnetocaloric energy conversion", *Journal of applied physics*, 2020, **127**, 23, 234101. [COBISS.SI-ID 19703299]
51. Rok Podlizec, Zoran Arsov, Tilen Koklič, Janez Štrancar, "Characterization of blood coagulation dynamics and oxygenation in ex-vivo retinal vessels by fluorescence hyperspectral imaging (fHSI)", *Journal of biophotonics*, 2020, **13**, 8, e202000021. [COBISS.SI-ID 16418819]
52. Alan Gregorovič, "The many-body expansion approach to ab initio calculation of electric field gradients in molecular crystals", *The Journal of chemical physics*, 2020, **152**, 12, 124105. [COBISS.SI-ID 33280807]
53. Mitja Zidar, Petruša Rozman, Kaja Belko-Parkel, Miha Ravnik, "Control of viscosity in biopharmaceutical protein formulations", *Journal of colloid and interface science*, 2020, **580**, 308-317. [COBISS.SI-ID 23640579]
54. Muhammad Saqib, Janez Jelenc, Luka Pirker, Srečo D. Škapin, Lorenzo De Pietro, Urs Ramsperger, Alexandr Knápek, Ilona Müllerová, Maja Remškar, "Field emission properties of single crystalline  $\text{W}_5\text{O}_{14}$  and  $\text{W}_{18}\text{O}_{49}$  nanowires", *Journal of electron spectroscopy and related phenomena*, 2020, **241**, 146837. [COBISS.SI-ID 32210727]
55. Stane Pajk, Damijan Knez, Urban Košak, Maja Zorovič, Xavier Brazzolotto, Nicolas Coquelle, Florian Nachon, Jacques-Philippe Colletier, Marko Živin, Jure Stojan, Stanislav Gobec, "Development of potent reversible selective inhibitors of butyrylcholinesterase as fluorescent probes", *Journal of enzyme inhibition and medicinal chemistry*, 2020, **35**, 1, 498-505. [COBISS.SI-ID 4869233]
56. Aleš Mohorič, Janko Božič, Polona Mrak, Kaja Tušar, Lin Chenyun, Ana Sepe, Urška Mikac, Georgy Mikhaylov, Igor Serša, "In vivo continuous three-dimensional magnetic resonance microscopy: a study of metamorphosis in Carniolan worker honey bees (*Apis mellifera carnica*)", *Journal of Experimental Biology*, 2020, **223**, 21, jeb225250. [COBISS.SI-ID 32334339]
57. Tomaž Apih, Alan Gregorovič, Veselko Žagar, Janez Seliger, "A rapid determination of nuclear quadrupole resonance frequencies using field-cycling magnetic resonance and frequency modulated RF excitations", *Journal of magnetic resonance*, 2020, **310**, 106635. [COBISS.SI-ID 33036583]
58. Jin Hyun Chang, Christian Baur, Jean-Marcel Ateba Mba, Denis Arčon, Gregor Mali, Dorothea Alwast, R. Jürgen Behm, Maximilian Fichtner, Tejs Vegge, Juan Maria Garcia-Lastra, "Superoxide formation in  $\text{Li}_2\text{VO}_2\text{F}$  cathode material - a combined computational and experimental investigation of anionic redox activity", *Journal of materials chemistry. A, Materials for energy and sustainability*, 2020, **8**, 32, 16551-16559. [COBISS.SI-ID 24801283]
59. Zouhair Hanani *et al.* (12 avtorjev), "Structural, dielectric, and ferroelectric properties of lead-free BCZT ceramics elaborated by low-temperature hydrothermal processing", *Journal of materials science*.

- Materials in electronics*, 2020, **31**, 13, 10096–10104. [COBISS.SI-ID 15995907]
60. Soukainae Merselmiz *et al.* (14 avtorjev), "Enhanced electrical properties and large electrocaloric effect in lead-free  $\text{Ba}_{0.8}\text{Ca}_{0.2}\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$  ( $x = 0$  and  $0.02$ ) ceramics", *Journal of materials science. Materials in electronics*, 2020, **31**, 19, 17018–17028. [COBISS.SI-ID 25899267]
  61. S. Ben Moumen *et al.* (13 avtorjev), "Structural, dielectric and magnetic studies of (0-3) type multiferroic  $(1-x)\text{BaTi}_{0.8}\text{Sn}_{0.2}\text{O}_3 - (x)\text{La}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{MnO}_3$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) composite ceramics", *Journal of materials science. Materials in electronics*, 2020, **31**, 21, 19343–19354. [COBISS.SI-ID 29187843]
  62. Anastasiya Sedova, Bojana Višič, Daniele Vella, Victor Vega Mayoral, Christoph Gadermaier, Hanna Dodiuk, Samuel Kenig, Reshef Tenne, Raz Gvishi, Galit Bar, "Silica aerogels as hosting matrices for  $\text{WS}_2$  nanotubes and their optical characterization", *Journal of Materials Science*, 2020, **55**, 18, 7612–7623. [COBISS.SI-ID 33316391]
  63. Urška Gradišar Centa, Petra Kocbek, Anna Belcarz, Srečo D. Škapin, Maja Remškar, "Polymer blend containing  $\text{MoO}_3$  nanowires with antibacterial activity against *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228", *Journal of nanomaterials*, 2020, **2020**, 9754024. [COBISS.SI-ID 25285123]
  64. Stanislav Vrtnik *et al.* (12 avtorjev), "Anisotropic quantum critical point in the  $\text{Ce}_3\text{Al}$  system with a large magnetic anisotropy", *Journal of physics communications*, 2020, **4**, 10, 105016. [COBISS.SI-ID 37124099]
  65. Falk Schneider, Pablo Hernandez-Varas, B. Christoffer Lagerholm, Dilip Shrestha, Erdinc Sezgin, Roberti M. Julia, Giulia Ossato, Frank Hecht, Christian Eggeling, Iztok Urbančič, "High photon count rates improve the quality of super-resolution fluorescence fluctuation spectroscopy", *Journal of physics. D, Applied physics*, 2020, **53**, 16, 164003. [COBISS.SI-ID 33081127]
  66. Ana Milosavljević, Andriana Šolajić, Bojana Višič, Marko Opatič, Jelena Pešić, Yu Liu, Čedomir Petrović, Zoran V. Popović, Nenad Lazarević, "Vacancies and spin-phonon coupling in  $\text{CrSi}_{0.8}\text{Ge}_{0.1}\text{Te}_3$ ", *Journal of Raman spectroscopy*, 2020, **51**, 11, 2153–2160. [COBISS.SI-ID 47144963]
  67. Maja Makarovič, Nicola Kanas, Andrej Zorko, Katarina Žiberna, Hana Uršič Nemevšek, D. R. Småbråten, S. M. Selbach, Tadej Rojac, "Tailoring the electrical conductivity and hardening in  $\text{BiFeO}_3$  ceramics", *Journal of the European ceramic society*, 2020, **40**, 15, 5483–5493. [COBISS.SI-ID 19939331]
  68. Peter Jeglič, Takehito Nakano, Tadej Mežnaršič, Denis Arčon, Mutsuo Igarashi, "Metallic state in rubidium-loaded low-silica X Zeolite", *Journal of the Physical Society of Japan*, 2020, **89**, 7, 073706. [COBISS.SI-ID 20035587]
  69. Robert Ławrowski, Luka Pirker, Keita Kaneko, Hiroki Kokubo, Michael Bachmann, Takashi Ikuno, Maja Remškar, Rupert Schreiner, "Field emission from nanotubes and flakes of transition metal dichalcogenides", *Journal of vacuum science and technology. B, Nanotechnology & microelectronics*, 2020, **38**, 3, 032801. [COBISS.SI-ID 33289255]
  70. Dmitry Richer, Matevž Marinčič, Matjaž Humar, "Optical-resonance-assisted generation of super monodisperse microdroplets and microbeads with nanometer precision", *Lab on a chip*, 2020, **20**, 4, 734–740. [COBISS.SI-ID 33209383]
  71. Yoshiko Takenaka, Miha Škarabot, Igor Muševič, "Nematic liquid-crystal necklace structure made by microfluidics system", *Langmuir*, 2020, **36**, 12, 3234–3241. [COBISS.SI-ID 47309059]
  72. Marta Lavrič, George Cordoyiannis, Vasileios Tzitzios, Samo Kralj, George Nounesis, Ioannis Lelidis, Heinz Amenitsch, Zdravko Kutnjak, "The effect of CoPt-coated reduced-graphene oxide nanosheets upon the Smectic-A to Smectic-C\* phase transition of a chiral liquid crystal", *Liquid crystals*, 2020, **47**, 6, 831–837. [COBISS.SI-ID 32826151]
  73. Anna V. Ryzhkova, Pratibha Ramarao, Maryam Nikkhou, Igor Muševič, "Tunable ferroelectric liquid crystal microlaser", *Liquid crystals*, 2020, **47**, 7, 994–1003. [COBISS.SI-ID 47317763]
  74. Jaka Pišljarič, Gregor Posnjak, Stane Pajk, Aljaž Godec, Rok Podlipic, Boštjan Kokot, Igor Muševič, "Comparison of STED, confocal and optical microscopy of ultra-short pitch cholesterics", *Liquid crystals*, 2020, **47**, 9, 1303–1311. [COBISS.SI-ID 33039655]
  75. S. I. Asiya, Kaushik Pal, Samo Kralj, Gharieb S. El-Sayyad, Fernando Gomes de Souza, T. Narayanan, "Sustainable preparation of gold nanoparticles via green chemistry approach for biogenic applications", *Materials today chemistry*, 2020, **17**, 100327. [COBISS.SI-ID 29611267]
  76. Lucija Krce, Matilda Šrung, Ana Maravič, Polona Umek, Krešimir Salamon, Nikša Krstulović, Ivica Aviani, "Bacteria exposed to silver nanoparticles synthesized by laser ablation in water: modelling *E. coli* growth and inactivation", *Materials*, 2020, **13**, 3, 653. [COBISS.SI-ID 33213991]
  77. Igor Serša, "Sequential diffusion spectra as a tool for studying time-dependent translational molecular dynamics: a cement hydration study", *Molecules*, 2020, **25**, 1, 68. [COBISS.SI-ID 33002279]
  78. Elena Maria Loi, Matjaž Weiss, Stane Pajk, Martina Gobec, Tihomir Tomašič, Roland J. Pieters, Marko Anderluh, "Intracellular hydrolysis of small-molecule O-linked N-acetylglucosamine transferase inhibitors differs among cells and is not required for its inhibition", *Molecules*, 2020, **25**, 15, 3381. [COBISS.SI-ID 24851459]
  79. Aleš Mohorič, Gojmir Lahajnar, Janez Stepišnik, "Diffusion spectrum of polymer melt measured by varying magnetic field gradient pulse width in PGSE NMR", *Molecules*, 2020, **25**, 24, 5813. [COBISS.SI-ID 42641411]
  80. Urška Mikac, Julijana Kristl, "Magnetic resonance methods as a prognostic tool for the biorelevant behavior of xanthan tablets", *Molecules*, 2020, **25**, 24, 5871. [COBISS.SI-ID 42432771]
  81. Tobias Strübing, Amir Khosravanizadeh, Andrej Vilfan, Eberhard Bodenschatz, Ramin Golestanian, Isabella Guido, "Wrinkling instability in 3D active nematics", *Nano letters*, 2020, **20**, 9, 6281–6288. [COBISS.SI-ID 28169475]
  82. Nina Kostevšek, Calvin C.L. Cheung, Igor Serša, Mateja Erdani-Kreft, Ilaria Monaco, Mauro Comes Franchini, Janja Vidmar, Wafa Al-Jamal, "Magneto-liposomes as MRI contrast agents: a systematic study of different liposomal formulations", *Nanomaterials*, 2020, **10**, 5, 889. [COBISS.SI-ID 14045955]
  83. Sylwester Rzoska, Szymon Starzonek, Joanna M. Łoś, Aleksandra Drozd-Rzoska, Samo Kralj, "Dynamics and pretransitional effects in  $\text{C}_{60}$  fullerene nanoparticles and liquid crystalline dodecylcyanobiphenyl (12CB) hybrid system", *Nanomaterials*, 2020, **10**, 12, 2343. [COBISS.SI-ID 47475971]
  84. Fengshan Zheng, Giulio Pozzi, Vadim Migunov, Luka Pirker, Maja Remškar, Marco Beleggia, Rafal E. Dunin-Borkowski, "Quantitative measurement of charge accumulation along a quasi-one-dimensional  $\text{W}_5\text{O}_{14}$  nanowire during electron field emission", *Nanoscale*, 2020, **12**, 19, 10559–10564. [COBISS.SI-ID 24364803]
  85. Luka Pirker, Bojana Višič, Srečo D. Škapin, Goran Dražič, Janez Kovač, Maja Remškar, "Multi-stoichiometric quasi-two-dimensional  $\text{W}_5\text{O}_{3n-1}$  tungsten oxides", *Nanoscale*, 2020, **12**, 28, 15102–15114. [COBISS.SI-ID 24706563]
  86. Maomao Liu *et al.* (11 avtorjev), "Enhanced carrier transport by transition metal doping in  $\text{WS}_2$  field effect transistors", *Nanoscale*, 2020, **12**, 33, 17253–17264. [COBISS.SI-ID 23616003]
  87. Simon Čopar, Žiga Kos, Tadej Emeršič, Uroš Tkalec, "Microfluidic control over topological states in channel-confined nematic flows", *Nature communications*, 2020, **11**, 59. [COBISS.SI-ID 3400804]
  88. Wassilios Papawassiliou *et al.* (15 avtorjev), "Resolving Dirac electrons with broadband high-resolution NMR", *Nature communications*, 2020, **11**, 1285. [COBISS.SI-ID 33263143]
  89. P. Khuntia, M. Velázquez, Q. Barthélemy, Fabrice Bert, E. Kermarrec, A. Legros, B. Bernu, L. Messio, Andrej Zorko, Philippe Mendels, "Gapless ground state in the archetypal quantum kagome antiferromagnet  $\text{ZnCu}_2(\text{OH})_6\text{Cl}_2$ ", *Nature physics*, 2020, **16**, 4, 469–474. [COBISS.SI-ID 33195047]
  90. L. J. Borrero-González, Selena Acosta, Carla Bittencourt, Maja Garvas, Polona Umek, L. A. O. Nunes, "Eu<sup>3+</sup>-doped titanium oxide nanoparticles for optical thermometry in the biological window", *Optical Materials*, 2020, **101**, 109770. [COBISS.SI-ID 28151811]
  91. Alexander Dubtsov, Saša Harkai, Dina V. Shmeliova, Sergey V. Pasechnik, Robert Repnik, Vladimir G. Chigrinov, Samo Kralj, "Electrically switchable polymer membranes with photo-aligned nematic structures for photonic applications", *Optical Materials*, 2020, **109**, 110296. [COBISS.SI-ID 30152195]
  92. Guilhem Poy, Slobodan Žumer, "Physics-based multistep beam propagation in inhomogeneous birefringent media", *Optics express*, 2020, **28**, 16, 24327–24342. [COBISS.SI-ID 24244739]
  93. S. I. Asiya, Kaushik Pal, Gharieb S. El-Sayyad, M. Abd Elkodous, Catherine Demetriades, Samo Kralj, Sabu Thomas, "Reliable optoelectronic switchable device implementation by CdS nanowires conjugated bent-core liquid crystal matrix", *Organic electronics*, 2020, **82**, 105592. [COBISS.SI-ID 25028104]
  94. Andraž Rešetič, Jerneja Milavec, Valentina Domenici, Blaž Zupančič, Alexej Bubnov, Boštjan Zalar, "Deuteron NMR investigation on orientational order parameter in polymer dispersed liquid crystal elastomers", *PCCP. Physical chemistry chemical physics*, 2020, **22**, 40, 23064–23072. [COBISS.SI-ID 33040131]
  95. Jernej Stare, Anton Gradišek, Janez Seliger, "Nuclear quadrupole resonance supported by periodic quantum calculations: a sensitive tool for precise structural characterization of short hydrogen bonds", *PCCP*.



- Physical chemistry chemical physics*, 2020, **22**, 47, 27681-27689. [COBISS.SI-ID 43022851]
96. Mitja Zidar, Gregor Posnjak, Igor Muševič, Miha Ravnik, Drago Kuzman, "Surfaces affect screening reliability in formulation development of biologics", *Pharmaceutical research*, 2020, **37**, 27. [COBISS.SI-ID 3403620]
97. S. Benyoussef, Y. EL. Amraoui, H. Ez-Zahraoui, D. Mezzane, Zdravko Kutnjak, Igor A. Luk'yanchuk, Mimoun El Marssi, "Mean field theory and Monte Carlo simulation of phase transitions and magnetic properties of a tridimensional Fe<sub>7</sub>S<sub>8</sub> compound", *Physica scripta*, 2020, **95**, 4, 045803. [COBISS.SI-ID 17487107]
98. Tony Schenk, Nicolas Godard, Aymen Mahjoub, Stephanie Girod, Aleksander Matavž, Vid Bobnar, Emmanuel Defay, Sebastjan Glinšek, "Toward thick piezoelectric HfO<sub>2</sub>-based films", *Physica status solidi. Rapid research letters*, 2020, **14**, 3, 1900626. [COBISS.SI-ID 32999463]
99. Janez Stepišnik, Carlos Mattea, Siegfried Stapf, Aleš Mohorič, "Molecular velocity auto-correlations in glycerol/water mixtures studied by NMR MGSE method", *Physica. A, Statistical mechanics and its applications*, 2020, **553**, 124171. [COBISS.SI-ID 19363843]
100. Jack Binysh, Žiga Kos, Simon Čopar, Miha Ravnik, Gareth P. Alexander, "Three-dimensional active defect loops", *Physical review letters*, 2020, **124**, 8, 088001. [COBISS.SI-ID 3410788]
101. Tina Arh, Matjaž Gomilšek, Peter Prelovšek, Matej Pregelj, Martin Klanjšek, Andrzej Ozarowski, Stewart J. Clark, T. Lancaster, W. Sun, J.-X. Mi, Andrej Zorko, "Origin of magnetic ordering in a structurally perfect quantum kagome antiferromagnet", *Physical review letters*, 2020, **125**, 2, 027203. [COBISS.SI-ID 22120451]
102. Miha Ravnik, Jeffrey Christopher Everts, "Topological-defect-induced surface charge heterogeneities in nematic electrolytes", *Physical review letters*, 2020, **125**, 3, 037801. [COBISS.SI-ID 23706371]
103. Guilhem Poy, Andrew J. Hess, Ivan I. Smalyukh, Slobodan Žumer, "Chirality-enhanced periodic self-focusing of light in soft birefringent media", *Physical review letters*, 2020, **125**, 7, 077801. [COBISS.SI-ID 24983555]
104. Neha Topnani, Prutha Nagaraja, Igor Muševič, Pratibha Ramarao, "Fluorescence intermittency and spatial localization of core-shell quantum rod clusters in an inverse nematic gel", *Physical review materials*, 2020, **4**, 12, 126002. [COBISS.SI-ID 47313155]
105. Fanlong Meng, Antonio Ortiz-Ambriz, Helena Massana-Cid, Andrej Vilfan, Ramin Golestanian, Pietro Tierno, "Field synchronized bidirectional current in confined driven colloids", *Physical review research*, 2020, **2**, 1, 012025. [COBISS.SI-ID 33109287]
106. Saša Harkai, Bryce S. Murray, Charles Rosenblatt, Samo Kralj, "Electric field driven reconfigurable multistable topological defect patterns", *Physical review research*, 2020, **2**, 1, 013176. [COBISS.SI-ID 33256487]
107. T. J. Hicken *et al.* (14 avtorjev), "Magnetism and Néel skyrmion dynamics in GaV<sub>2</sub>S<sub>8-y</sub>Se<sub>y</sub>", *Physical review research*, 2020, **2**, 3, 032001. [COBISS.SI-ID 24208387]
108. JungHyun Noh, Yiwei Wang, Hsin-Ling Liang, Venkata Subba R. Jampani, Apala Majumdar, Jan P. F. Lagerwall, "Dynamic tuning of the director field in liquid crystal shells using block copolymers", *Physical review research*, 2020, **2**, 3, 033160. [COBISS.SI-ID 28721667]
109. Jun-ichi Fukuda, Slobodan Žumer, "Lattice orientation of cholesteric blue phases in contact with surfaces enforcing unidirectional planar anchoring", *Physical review research*, 2020, **2**, 3, 033407. [COBISS.SI-ID 28475395]
110. Vishal P. Patil, Žiga Kos, Miha Ravnik, Jörn Dunkel, "Discharging dynamics of topological batteries", *Physical review research*, 2020, **2**, 4, 043196. [COBISS.SI-ID 36553987]
111. Tadej Mežnaršič, Rok Žitko, Tina Arh, Katja Gosar, Erik Zupanič, Peter Jeglič, "Emission of correlated jets from a driven matter-wave soliton in a quasi-one-dimensional geometry", *Physical review. A*, 2020, **101**, 3, 03160. [COBISS.SI-ID 33287463]
112. Tilen Knaflič *et al.* (15 avtorjev), "Spin-dimer ground state driven by consecutive charge and orbital ordering transitions in the anionic mixed-valence compound Rb<sub>4</sub>O<sub>6</sub>", *Physical review. B*, 2020, **101**, 2, 024419. [COBISS.SI-ID 33096231]
113. Mladen Horvatič, Martin Klanjšek, Edmond Orignac, "Direct determination of the Tomonaga-Luttinger parameter *K* in quasi-one-dimensional spin systems", *Physical review. B*, 2020, **101**, 22, 220406. [COBISS.SI-ID 19157251]
114. Žiga Gosar, Nejc Janša, Tina Arh, Peter Jeglič, Martin Klanjšek, H. F. Zhai, B. Lv, Denis Arčon, "Superconductivity in the regime of attractive interactions in the Tomonaga-Luttinger liquid", *Physical review. B*, 2020, **101**, 22, 220508. [COBISS.SI-ID 20318979]
115. Mirta Herak, Nikolina Novosel, Martina Dragičević, Thierry Guizouarn, Olivier Cadore, Helmuth Berger, Matej Pregelj, Andrej Zorko, Denis Arčon, "Magnetic-field-induced reorientation in the spin-density-wave and the spin-stripe phases of the frustrated spin-1/2 chain compound β - TeVO<sub>4</sub>", *Physical review. B*, 2020, **102**, 2, 024422. [COBISS.SI-ID 23831555]
116. Izidor Benedičič, Nejc Janša, Marion Van Midden, Peter Jeglič, Martin Klanjšek, Erik Zupanič, Zvonko Jagličič, Petra Šutar, Peter Prelovšek, Dragan Mihailović, Denis Arčon, "Superconductivity emerging upon Se doping of the quantum spin liquid 1T - TaS<sub>2</sub>", *Physical review. B*, 2020, **102**, 5, 054401. [COBISS.SI-ID 24393731]
117. Marion Van Midden, Herman J. P. van Midden, Albert Prodan, J. C. Bennett, Erik Zupanič, "Spatial ordering of the charge density waves in NbSe<sub>3</sub>", *Physical review. B*, 2020, **102**, 7, 075442. [COBISS.SI-ID 28804355]
118. Matej Pregelj, Andrej Zorko, Denis Arčon, Martin Klanjšek, Oksana Zaharko, S. Krämer, Mladen Horvatič, A. Prokofiev, "Thermal effects versus spin nematicity in a frustrated spin-1/2 chain", *Physical review. B*, 2020, **102**, 8, 081104. [COBISS.SI-ID 24517123]
119. Feng-Shou Xiao *et al.* (16 avtorjev), "Magnetic order and disorder in a quasi-two-dimensional quantum Heisenberg antiferromagnet with randomized exchange", *Physical review. B*, 2020, **102**, 17, 174429. [COBISS.SI-ID 45976579]
120. Manuel Feig *et al.* (14 avtorjev), "Anisotropic superconductivity and quantum oscillations in the layered dichalcogenide TaSnS<sub>2</sub>", *Physical review. B*, 2020, **102**, 21, 214501. [COBISS.SI-ID 44118019]
121. Andrew J. Hess, Guilhem Poy, Jung-Shen B. Tai, Slobodan Žumer, Ivan I. Smalyukh, "Control of light by topological solitons in soft chiral birefringent media", *Physical review. X*, 2020, **10**, 3, 031042. [COBISS.SI-ID 26693891]
122. Martina Oder, Tilen Koklič, Polona Umek, Rok Podlipiec, Janez Štancar, Martin Dobeč, "Photocatalytic biocidal effect of copper doped TiO<sub>2</sub> nanotube coated surfaces under laminar flow, illuminated with UVA light on *Legionella pneumophila*", *PLoS one*, 2020, **15**, 1, e0227574. [COBISS.SI-ID 4925562]
123. Erik Dovgan, Anton Gradišek, Mitja Luštrek, Mohy Uddin, Aldilas Achmad Nursetyo, Sashi Kiran Annavarajula, Yu-Chuan Li, Shabbir Syed-Abdul, "Using machine learning models to predict the initiation of renal replacement therapy among chronic kidney disease patients", *PLoS one*, 2020, **15**, 6, e0233976. [COBISS.SI-ID 18414851]
124. Zouhair Hanani *et al.* (12 avtorjev), "Thermally-stable high energy storage performances and large electrocaloric effect over a broad temperature span in lead-free BCZT ceramic", *RSC advances*, 2020, **10**, 51, 30746-30755. [COBISS.SI-ID 25819139]
125. Helena Massana-Cid, Antonio Ortiz-Ambriz, Andrej Vilfan, Pietro Tierno, "Emergent collective colloidal currents generated via exchange dynamics in a broken dimer state", *Science advances*, 2020, **6**, 10, eaaz2257. [COBISS.SI-ID 33262375]
126. Yunjiang Zhang *et al.* (14 avtorjev), "Substantial brown carbon emissions from wintertime residential wood burning over France", *Science of the total environment*, 2020, **743**, 140752. [COBISS.SI-ID 22976259]
127. Anna Tobler *et al.* (16 avtorjev), "Chemical characterization of PM<sub>2.5</sub> and source apportionment of organic aerosol in New Delhi, India", *Science of the total environment*, 2020, **745**, 140924. [COBISS.SI-ID 23067395]
128. Žiga Kos, Miha Ravnik, "Field generated nematic microflows via backflow mechanism", *Scientific reports*, 2020, **10**, 1446. [COBISS.SI-ID 3408996]
129. Vijay Wadi, Kishore K. Jena, Kevin Haliqee, Brigita Rožič, Luka Cmok, Vasileios Tzitzios, Saeed M. Alhassan, "Scalable high refractive index polystyrene-sulfur nanocomposites via in situ inverse vulcanization", *Scientific reports*, 2020, **10**, 14924. [COBISS.SI-ID 28365827]
130. Shabbir Syed-Abdul, Rianda-Putra Firdani, Hee-Jung Chung, Mohy Uddin, Mina Hur, Jae Hyeon Park, Hyung Woo Kim, Anton Gradišek, Erik Dovgan, "Artificial intelligence based models for screening of hematologic malignancies using cell population data", *Scientific reports*, 2020, **10**, 4583. [COBISS.SI-ID 33270311]
131. Sushanth Reddy Amanaganti, Miha Ravnik, Jayasri Dontabhaktuni, "Collective photonic response of high refractive index dielectric metasurfaces", *Scientific reports*, 2020, **10**, 15599. [COBISS.SI-ID 29884163]
132. Neha Topnani, Gregor Posnjak, Prutha Nagaraja, Arkalekha Neogi, Igor Muševič, Pratibha Ramarao, "Self-assembled toron-like structures in inverse nematic gels", *Soft matter*, 2020, **16**, 12, 2933-2940. [COBISS.SI-ID 47311619]
133. Adam L. Susser, Saša Harkai, Samo Kralj, Charles Rosenblatt, "Transition from escaped to decomposed nematic defects, and vice versa", *Soft matter*, 2020, **16**, 20, 4814-4822. [COBISS.SI-ID 29628931]

134. Žiga Krajnik, Žiga Kos, Miha Ravnik, "Spectral energy analysis of bulk three-dimensional active nematic turbulence", *Soft matter*, 2020, **16**, 39, 9059-9068. [COBISS.SI-ID 27802627]
135. Tomaž Apih, Veselko Žagar, Janez Seliger, "NMR and NQR study of polymorphism in carbamazepine", *Solid State Nuclear Magnetic Resonance*, 2020, **107**, 101653. [COBISS.SI-ID 33235239]
136. Pernille H. Danielsen et al. (17 avtorjev), "Effects of physicochemical properties of TiO<sub>2</sub> nanomaterials for pulmonary inflammation, acute phase response and alveolar proteinosis in intratracheally exposed mice", *Toxicology and applied pharmacology*, 2020, **386**, 114830. [COBISS.SI-ID 33215271]
137. Ksenija Božinovič, Davor Nestić, Urška Gradišar Centa, Andreja Ambriović-Ristov, Ana Dekanič, Lenn de Bisschop, Maja Remškar, Dragomira Majhen, "In-vitro toxicity of molybdenum trioxide nanoparticles on human keratinocytes", *Toxicology*, 2020, **444**, 152564. [COBISS.SI-ID 28475907]
138. Manel Rodríguez Ripoll, Agnieszka Maria Tomala, Luka Pirker, Maja Remškar, "In-situ formation of MoS<sub>2</sub> and WS<sub>2</sub> tribofilms by the synergy between transition metal oxide nanoparticles and sulphur-containing oil additives", *Tribology letters*, 2020, **68**, 1, 41. [COBISS.SI-ID 33190951]
139. R. I. Martyniak, N. Muts, A. Horyn, Ya. Tokaychuk, Matej Bobnar, Lev G. Akselrud, R. E. Gladyshevskii, "Crystal structure and magnetic properties of (Cr<sub>0.34</sub>Cu<sub>0.10</sub>Ni<sub>0.56</sub>)<sub>4</sub>Si", *Visnik L'vivs'kogo universitetu. Serija himična.*, 2020, **61**, 93-100. [COBISS.SI-ID 37334531]
140. Rodrigo Castillo, Walter Schnelle, Matej Bobnar, Raul Cardoso-Gil, Ulrich Schwarz, Yuri Grin, "Structural, magnetic and thermoelectric properties of hp-Mn<sub>3</sub>Ge<sub>5</sub>", *Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie*, 2020, **646**, 4, 256-262. [COBISS.SI-ID 37316611]
141. Paweł Wyżga, Igor Veremchuk, Matej Bobnar, Christoph Hennig, Andreas Leithe-Jasper, Roman Gumeniuk, "Ternary MIn<sub>2</sub>S<sub>4</sub> (M = Mn, Fe, Co, Ni) thiospinels - crystal structure and thermoelectric properties", *Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie*, 2020, **646**, 14, 1091-1098. [COBISS.SI-ID 37241347]
142. Mitja Krnel, Primož Koželj, Stanislav Vrtnik, Andreja Jelen, Magdalena Wencka, Peter Gille, Janez Dolinšek, "Anisotropic electrical, magnetic, and thermal properties of In<sub>3</sub>Ni<sub>2</sub> intermetallic catalyst", *Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie*, 2020, **646**, 14, 1099-1104. [COBISS.SI-ID 33251623]
143. Charan Krishna Nichenametla, Jesus Calvo, Stefan Riedel, Lukas Gerlich, Meike Hindenberg, Sergej Novikov, Alexander Burkov, Primož Koželj, R. Cardoso-Gil, Maik Wagner-Reetz, "Doping effects in CMOS-compatible CoSi thin films for thermoelectric and sensor applications", *Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie*, 2020, **646**, 14, 1231-1237. [COBISS.SI-ID 31862531]
144. Martin Juckel, Primož Koželj, Yurii Prots, Alim Ormeci, Ulrich Burkhardt, Andreas Leithe-Jasper, Eteri Svanidze, "Intermediate valence behavior of Yb<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>Al<sub>8</sub>", *Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie*, 2020, **646**, 14, 1238-1243. [COBISS.SI-ID 31857411]
145. Julia-Maria Hübner, Wilder Carrillo-Cabrera, Raul Cardoso-Gil, Primož Koželj, Ulrich Burkhardt, Martin Etter, Lev G. Akselrud, Yuri Grin, Ulrich Schwarz, "High-pressure synthesis of SmGe<sub>3</sub>", *Zeitschrift für Kristallographie. Crystalline materials*, 2020, **235**, 8/9, 333-339. [COBISS.SI-ID 46190083]
146. Ulrich Schwarz, Rodrigo Castillo, Julia-Maria Hübner, Aron Wosylus, Yurii Prots, Matej Bobnar, Yuri Grin, "The untypical high-pressure Zintl phase SrGe<sub>6</sub>", *Zeitschrift für Naturforschung. B, A journal of chemical sciences*, 2020, **75**, 1/2, 209-216. [COBISS.SI-ID 37152003]

## PREGLEDNI ZNANSTVENI ČLANKI

1. Zvonko Trontelj, Janez Pirnat, Vojko Jazbinšek, Janko Lužnik, Stanko Srčič, Zoran Lavrič, Samo Beguš, Tomaž Apih, Veselko Žagar, Janez Seliger, "Nuclear Quadrupole Resonance (NQR): a useful spectroscopic tool in pharmacy for the study of polymorphism", *Crystals*, 2020, **10**, 6, 450. [COBISS.SI-ID 17705475]
2. Pedro Campinho, Andrej Vilfan, Julien Vermot, "Blood flow forces in shaping the vascular system: a focus on endothelial cell behavior", *Frontiers in physiology*, 2020, **11**, 552. [COBISS.SI-ID 18358019]
3. Ema Valentina Brovč, Janez Mravljak, Roman Šink, Stane Pajk, "Rational design to biologics development: the polysorbates point of view", *International journal of pharmaceutics*, 2020, **581**, 119285. [COBISS.SI-ID 4899185]

## KRATKI ZNANSTVENI PRISPEVKI

1. Slobodan Žumer, "Electroshock tuning of photonic crystals", *Nature materials*, 2020, **19**, 1, 6-7. [COBISS.SI-ID 3400036]
2. Žiga Snoj, Igor Serša, Urša Matičič, Erika Cvetko, Gregor Omejec, "Nerve fascicle depiction at MR microscopy and high-frequency US with anatomic verification", *Radiology*, 2020, **297**, 3, 672-674. [COBISS.SI-ID 32560131]
3. Francesca Serra, Uroš Tkalec, Teresa Lopez-Leon, "Editorial: topological soft matter", V: *Topological soft matter*, (Frontiers research topics), Frontiers Media, 2020, 4-5. [COBISS.SI-ID 28064771]

## STROKOVNI ČLANKI

1. Peter Jeglič, Erik Zupanič, Tadej Mežnaršič, "Ultrahladni atomi: kvantni valovi za tehnologije prihodnosti", *Alternator: misliti znanost*, 5. 3. 2020. [COBISS.SI-ID 33255207]
2. Luka Pirker, Anton Gradišek, "Virusu vstop prepovedan: kako nas maske ščitijo", *Alternator: misliti znanost*, 19. 11. 2020. [COBISS.SI-ID 38392835]
3. Linda Bitenc, Miha Ravnik, "Nevidnost", *Obzornik za matematiko in fiziko*, 2020, **67**, 4, 136-152. [COBISS.SI-ID 47251203]
4. Uroš Tkalec, Tadej Emeršič, "Strukturiranje toka anizotropne tekočine z lasersko pinceto", *Pomurska obzornik*, 2020, **7**, 12, 23-25. [COBISS.SI-ID 22642947]
5. Aleš Mohorič, "Privid", *Presek*, 2019/2020, **47**, 6, 29-31. [COBISS.SI-ID 22551811]
6. Mitja Štrukelj, Igor Serša, "Slikanje čebel z magnetnoresonančno mikroskopijo", *Slovenski čebelar*, 2020, **122**, 1, 14-15. [COBISS.SI-ID 1024507471]

## OBJAVLJENI ZNANSTVENI PRISPEVEK NA KONFERENCI (VABLJENO PREDAVANJE)

1. Sarangi Venkateshwarlu et al. (11 avtorjev), "Relaxor behavior and electrothermal properties of Sn- and Nb-modified (Ba, Ca)TiO<sub>3</sub> Pb-free ferroelectric", V: *The Fourth Annual JMR Issue to Promote Outstanding Research by Future Leaders in Materials Science*, (Journal of materials research **35** 8), 2020, 1017-1027. [COBISS.SI-ID 17664003]

## OBJAVLJENI ZNANSTVENI PRISPEVKI NA KONFERENCI

1. Janez Štrancar, Špela Stres, "Regulated toxicity-testing: spinning out a company in a rapidly changing market", V: *13. ITTC, 13. Mednarodna konferenca o prenosu tehnologij, 8. oktober 2020, Ljubljana, Slovenija*, Zbornik 23. mednarodne multikonference Informacijska družba (IS 2020), zvezek E, Institut "Jožef Stefan", 2020, 38-42. [COBISS.SI-ID 32523267]
2. Bojan Cestnik, Rebeka Kovačič Lukman, Andreja Abina, Andrej Flogie, Samo Repolusk, Maja Vičič Krabonja, Tanja Batkovič, Adem Kikaj, Ivan Boshkov, Nita Hasani, Maja Kurbus, Matevž Ogrinc, Jaka Progar, Nika Zagorc Okorn, Sabina Petek, Aleksander Zidanšek, "Development and implementation of a decision support expert system for monitoring sustainability-related competences at the secondary school", V: *15th SDEWES Conference, Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, September 1-5, 2020, Cologne, Germany*, Proceedings, SDEWES, 2020, 0681. [COBISS.SI-ID 33070851]
3. Aleksander Zidanšek, Tanja Batkovič, Uroš Puc, Andreja Abina, "Ground-penetrating radar measurements for cultural heritage", V: *15th SDEWES Conference, Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, September 1-5, 2020, Cologne, Germany*, Proceedings, SDEWES, 2020, 0684. [COBISS.SI-ID 33073411]
4. Andreja Abina, Uroš Puc, Aleksander Zidanšek, "Terahertz technology for the characterization of waste materials in construction", V: *15th SDEWES Conference, Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, September 1-5, 2020, Cologne, Germany*, Proceedings, SDEWES, 2020, 0696. [COBISS.SI-ID 33073923]
5. Tanja Batkovič, Bojan Cestnik, Aleksander Zidanšek, Andreja Abina, "Competence model for factories of the future", V: *2nd International Conference on Technologies & Business Models for Circular Economy*, Proceedings, Maribor Faculty of Chemistry and Chemical Engineering, 2020, 159-173. [COBISS.SI-ID 16396035]
6. Anja Pusovnik, Miha Ravnik, "Controlling light with hyperbolic metamaterial director profiles", V: *SPIE OPTO, 1-6 February 2020, San*

- Francisco, California, United States, Proceedings, Emerging Liquid Crystal Technologies XV, (Proceedings of SPIE **11303**), SPIE, 2020, 113030B. [COBISS.SI-ID 3414884]
- Argyro Mavrogiorgou *et al.* (17 avtorjev), "CrowdHEALTH: an e-health big data driven platform towards public health policies", V: *ICT4AWE 2020, 6th Interational Conference on Information and Communication Technology for Aging Well and e-Health*, Proceedings, 2020. [COBISS.SI-ID 15144451]
  - Urban Mur, Miha Ravnik, "Numerical modeling of optical modes in nematic droplets", V: *SPIE Organic Photonics + Electronics 2020, 24 August-4 September 2020*, Proceedings, Liquid Crystals XXIV, (Proceedings of SPIE **11472**), SPIE, 2020, 114720U. [COBISS.SI-ID 27272195]
  - Gizem Gültekin Várkonyi, Anton Gradišek, "Data protection impact assessment - an integral component of a successful research project from the GDPR point of View", V: *Slovenska konferenca o umetni inteligenci, 6.-7. oktober 2020, Ljubljana, Slovenija*, Zbornik 23. mednarodne multikonference Informacijska družba (IS 2020), zvezek A, Institut "Jožef Stefan", 2020, 32-34. [COBISS.SI-ID 34233091]

## SAMOSTOJNA ZNANSTVENA SESTAVKA ALI POGlavJI V MONOGRAFSKI PUBLIKACIJI

- Stane Pajk, "Magnezij", V: *Minerali, vitamini in druge izbrane snovi*, Slovensko farmacevtsko društvo, 2020, 139-148 [COBISS.SI-ID 24951299]
- Darja Gačnik, Andreja Jelen, Stanislav Vrtnik, Primož Koželj, Mitja Krnel, Qiang Hu, Janez Dolinšek, "Superconductivity in high-entropy and medium-entropy alloys from the Ti-Zr-Nb-Sn-Hf-Ta system", V: *Reference module in materials science and materials engineering*, Elsevier, 2020. [COBISS.SI-ID 33253671]

## STROKOVNA MONOGRAFIJA

- Lina Boljka *et al.* (37 avtorjev), *Bela knjiga o strokovnem varovanju okolja*, Institut "Jožef Stefan", 2020. [COBISS.SI-ID 304706304]

## UNIVERZITETNA, VISOKOŠOLSKA ALI VIŠJEŠOLSKA UČBENIKA Z RECENZIJO

- Simon Čopar, Daniel Svenšek, Aleš Mohorič, Saša Prelovšek, *Rešene kolokvijske naloge iz klasične fizike*, Fakulteta za matematiko in fiziko, 2020. [COBISS.SI-ID 31869443]
- Andrej Zorko, Miha Nemevšek, Nejc Košnik, Matic Lubej, *Rešene naloge iz moderne fizike*, Fakulteta za matematiko in fiziko, 2020. [COBISS.SI-ID 23286531]

## SREDNJEŠOLSKI, OSNOVNOŠOLSKI ALI DRUGI UČBENIKI Z RECENZIJO

- Aleš Mohorič, Vito Babič, *Fisica 1: libro di testo di fisica per la prima classe del ginnasio e per gli istituti professionali*, Mladinska knjiga, 2020. [COBISS.SI-ID 39337987]

- Aleš Mohorič, Vito Babič, *Fizika 2: učbenik za fiziko v 2. letniku gimnazij in štiri letnih strokovnih šol*, Mladinska knjiga, 2020. [COBISS.SI-ID 14154755]
- Aleš Mohorič, Vito Babič, *Fizika 3: učbenik za fiziko v 3. letniku gimnazij in štiri letnih strokovnih šol*, Mladinska knjiga, 2020. [COBISS.SI-ID 14157315]

## DRUGO UČNO GRADIVO

- Andrej Zorko, *Moderna fizika: izbor povzetkov in interaktivnih vsebin: študijsko gradivo*, Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani, 2020. [COBISS.SI-ID 21669123]
- Uroš Tkalec, *Učno gradivo za vaje pri predmetu Modelna fizika: zgledi in rešene naloge*, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, 2020. [COBISS.SI-ID 25581059]
- Uroš Tkalec, *Učno gradivo za vaje pri predmetu Moderna fizika: razširjen in posodobljen izbor nalog*, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, 2020. [COBISS.SI-ID 25357059]

## PATENTNA PRIJAVA

- Roman Šink, Ema Valentina Brovč, Stane Pajk, Janez Mravljak, *Stabilization of pharmaceutical compositions comprising polysorbate*, EP3714902 (A1), European Patent Office, 30. 09. 2020. [COBISS.SI-ID 31098115]

## PATENT

- Luka Drinovec, Griša Močnik, *Photo-thermal interferometer*, EP3492905 (B1), European Patent Office, 29. 04. 2020; US10768088 (B2), US Patent Office, 8. 09. 2020. [COBISS.SI-ID 13352707]

## DOKTORATI IN MENTORSTVO

- Tilen Knaflič, *Kvantni magnetizem v molekularnih sistemih  $\pi$ -elektronov*: doktorska disertacija, Ljubljana, 2020 (mentor Denis Arčon). [COBISS.SI-ID 45783555]
- Jože Luzar, *Zasnova in lastnosti apnenno-cementnih gradbenih injekcijskih malt za utrjevanje objektov kulturne dediščine*: doktorska disertacija, Ljubljana, 2020 (mentor Janez Dolinšek). [COBISS.SI-ID 30524675]
- Luka Pirker, *Električne, optične in strukturne lastnosti nizko-dimenzionalnih materialov na osnovi volframa*: doktorska disertacija, Ljubljana, 2020 (mentor Maja Remškar). [COBISS.SI-ID 31357955]
- Anja Pusovnik, *Tok svetlobe v metamaterialih na osnovi nematskih tekočin*: doktorska disertacija, Ljubljana, 2020 (mentor Miha Ravnik). [COBISS.SI-ID 3412324]
- Mitja Zidar, *Analiza in napoved združevanja ter razgradnje proteinov v bioloških zdravilih*: doktorska disertacija, Ljubljana, 2020 (mentor Miha Ravnik). [COBISS.SI-ID 23998723]