

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/128



ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

(za obdobje 1. 1. 2009 - 31. 12. 2014)

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROGRAMU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem programu

Šifra programa	P1-0099
Naslov programa	Fizika mehkih snovi, površin in nanostruktur Physics of soft matter, surfaces, and nanostructures
Vodja programa	7110 Slobodan Žumer
Obseg raziskovalnih ur (vključno s povečanjem financiranja v letu 2014)	92267
Cenovni razred	C
Trajanje programa	01.2009 - 12.2014
Izvajalci raziskovalnega programa (javne raziskovalne organizacije - JRO in/ali RO s koncesijo)	106 Institut "Jožef Stefan" 1554 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	1 NARAVOSLOVJE 1.02 Fizika
Družbeno-ekonomski cilj	13.01 Naravoslovne vede - RiR financiran iz drugih virov (ne iz SUF)
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	1 Naravoslovne vede 1.03 Fizika

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

2. Povzetek raziskovalnega programa¹

SLO

Raziskave in šef funkcionaliziranih sistemih mehkih snovi, ki iz združujemo vsebine od

fizike, biotehnologije in kemije do fotonike, optike in nanoznanosti. Cilj naših raziskav je koherentno uporabiti eksperimentalne, teoretične in simulacijske pristope, za odkrivanje, kako molekularne interakcije vodijo do tvorbe kompleksnih struktur, njihovega obnašanja in procesov samo-organizacije. Raziskujemo topološke strukture materialnih polj in koloidov v kompleksnih tekočinah, topologijo in geometrijo mehkih materialov, fotniko mehkih snovi, nanomateriale, tekočokristalne elastomere, molekularne motorje, polimerne nanokompozite in lubrikante, močno korelirane sisteme atomov in površin, ter pomembno njihove aplikacije. Dve glavni aplikativni smeri sta razvili novo tehnologijo optičnih preklopnikov za zaščito uči (spin-off podjetje Balder) in nove nano-funkcionalizirane lubrikante na osnovi MoS₂ nanocerk (spin-off podjetje Nanotul). Raziskovalno delo naše skupine je danes v svetovnem vrhu moderne fizike mehke snovi, površin in nanostruktur, kar dokazujejo naše objave v najbolj vplivnih revijah (Science, Nature,...), plenarna in vabljen predavanja na prestižnih mednarodnih konferencah (npr. Gordonski), podeljeni patenti ter visoko število citatov. Naši osrednji znanstveni cilji so usmerjeni v raziskovanje in inovacije, temelječe na znanstveni odličnosti in najvišjih delovnih merilih, s čemer ne le krepimo akademsko in industrijsko privlačnost Slovenije, ampak vplivamo tudi na odličnost slovenske družbe kot celote. K družbenoekonomski in kulturni rasti naše države prispevamo tudi na različnih ravneh v izobraževanju, z vabili zunanjim obiskovalcem ter z izmenjavo obiskov. Izvajamo raznolike dejavnosti razširjanja dosežkov programske skupine, vključujoč znanstvene objave in predavanja, organizacijo znanstvenih srečanj, srednješolska predavanja, objave v medijih in na spletu ter objavo prosto dostopnih prispevkov. Znanstveni, družbenoekonomski in kulturni prispevki naše programske skupine tako obsegajo bazično znanost, visokotehnološke aplikacije, spin-off podjetje, patente, poučevanje ter šolanje raznovrstnih strokovnjakov, kar bo vse prispevalo k rasti Slovenije v visokotehnološko, z visoko dodano vrednostjo in na znanju temelječo družbo.

ANG

The research of our program group is aimed at selected hot challenges in complex and functionised soft matter systems, combining topics ranging from physics, biotechnology, and chemistry to photonics, optics and nanoscience. The goal of our research is to coherently use experimental, theoretical, and simulation approaches to uncover how molecular interactions lead to the formation of complex structures, their behaviours, and processes of self-organization. We explore topological structures of material fields and colloids in complex fluids, topology and geometry of soft matter, soft matter photonics, nanomaterials, liquid crystal (LC) elastomers, molecular motors, polymer nanocomposites and lubricants, strongly-correlated systems of atoms and surfaces, and importantly their applications. The two main application directions developed an advanced optical shutter technology for eye protection (spin-off company Balder) and nano-functionalised MoS₂-nanotube based lubricant materials (spin-off company Nanotul). The research work of our group is at the cutting edge of modern physics of soft matter, surfaces and nanostructures, as supported by our highest level publications (Science, Nature,...), plenary, invited and keynote talks at best international conferences (e.g. Gordon conferences), awarded patents, and high-citation papers. The core objectives are aimed at top research and innovations, based on scientific excellence and highest standards of practice, which not only strengthens the academic and industrial attractiveness of Slovenia but in its essence contributes to the Slovenian excellence in general. We contribute to the socioeconomic and cultural growth of Slovenia also via education, visitors and exchange visits, all at various levels. A variety of outreach activities are performed to disseminate the results of this program including, scientific publications, talks, conference organization, high-school lectures, news and e-news articles, and open-access contributions. Finally, the scientific, socioeconomic and cultural contributions of our program group range from fundamental science, high-tech applications, a spin-off company, and patents to teaching and training of various level professionals, which are all actions towards making Slovenia a high-tech high-value-added knowledge-based society.

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem programu, (vključno s predloženim dopolnjenim programom dela v primeru povečanja financiranja raziskovalnega programa v letu 2014)²

SLO

V obdobju 2009-14 smo v programski skupini objavili okoli 260 člankov v mednarodnih revijah. Vredno je poudariti, da jih je bilo skoraj 30 objavljenih v zelo vplivnih revijah: 2x Nature Materials, 1x Science, 1x Nature Photonics, 1x Physics Reports, 3x Nature Commun., 6x PNAS, 1x Adv. Mater., 1x Adv. Polym. Sci. in 13x PRL. Članki, objavljeni v tem obdobju, so že bili ~ 2000 krat citirani. Raziskave smo tudi predstavili v več kot 130 vabljenih predavanjih na mednarodnih konferencah in delavnicah. Izbrani ključni raziskovalni rezultati programa so opisani spodaj (podana je tudi informacija o aktivnosti v okviru dodatnega financiranja v višini 1/3 FTE):

1. Koloidne strukture v nematikih: Odkrili smo vrsto 2D in 3D nematskih koloidnih superstruktur, ki temeljijo na sfernih delcih z homeotropnim sidranjem: (i) stabilne koloidne pare s pobeglimi hiperboličnimi defektnimi zankami in 2D koloidne kristale (PRL 2009), (ii) 2D binarne nematske koloidne kristale (Langmuir 2009), (iii) kvadratne koloidne mreže v binarnem sistemu kvadrupolnih nematskih koloidov (PRE 2011), (iv) prvi 3D nematski koloidni kristal (Nature Commun. 2013) in (v) hierarhično kvazikristalno Penroseovo P1 mrežo iz koloidnih ploščic (PNAS 2014a).

Z uporabo mrežnih simulacij smo določili temperaturno odvisnost linijske napetosti tekočerkristalne disklinacije, ki ovija koloidni delec. Za sferne »Janus« koloidne delce z vzorčenim površinskim sidranjem smo predstavili, kako lahko formiramo izbrane koloidne superstrukture (Materials 2014). V okviru plana za povečano financiranje smo raziskali nematsko strukturo v tanki plasti kromonskega tekočega kristala, ki obdaja koloidni delec (PRE 2014a). Za kromonike je značilna njihova nekonvencionalna elastična anizotropija.

2. Tekočerkristalne (TK) kapljice in vlakna kot optični elementi: Pokazali smo, da tekočerkristane kapljice delujejo kot visoko nastavljivi optični mikroresonatorji (Nature Photon. 2009). Predstavili smo prvi 3D laser (izotropni koherentni izvor svetlobe) iz holesteričnih kapljic (Opt. Exp. 2010). Pokazali smo, da se v vodi spontano nastala smektična vlakna obnašajo kot optični valovodi (Opt. Exp. 2013a). Pokazali smo resonančni prenos svetlobe iz planarnega valovnega vodnika v TK kapljico v vodi (Opt. Exp. 2013b). V okviru plana za povečano financiranje smo razvili FDTD metodo za modeliranje prehoda svetlobe skozi defekte za nizke (PRE 2014b) in delno tudi za velike jakosti svetlobe.

3. Prepletene in zavozlane strukture v nematskih koloidih: Pokazali smo topološko vezavo delcev z nematskimi disklinacijami v pare, gruče, ter urejene pravokotne 2D mreže, ki lahko ustvari mikroskopske vozle in splete (Science 2011) ter multistabilnost in globalno prepletanje disklinacij v 3D koloidnem kristalu (Soft Matter 2013a). Z uporabo kiralnih nematskih koloidov smo pokazali dodatno variabilnost motivov prepletanja z disklinacijami (PRE 2011, Soft Matter 2012) in prostorskega profila meddelčnih interakcij dolgega dosega (PRL 2013a), kot tudi stabilnost nesingularnih lokaliziranih (solitonskih) deformacij nematskega polja (PRE 2014, Scientific Reports 2014). Medsebojno zavozlani fizični in poljski vozli so bili opaženi v nematskih koloidih kompleksnih oblik (Nature Mater. 2014).

4. Topologija kompleksnih disklinacijskih zank: od spletoev do vozlov. Pokazali smo topologijo defektnih linij in zank in posplošitev topoloških pravil na splete iz več zank, in sicer z vpeljavo novih teoretičnih konceptov, ki vključujejo topološko invarianto imenovano samoovojno število (PRL 2011a). Pokazali smo tudi uporabo kvaternionske grupe za opis defektnih linij s spremenljivim profilom (PRSA 2013), geometrijska pravila za določanje

topoloških lastnosti defektov (PRE 2011) in posplošeno primerjavo deformacij v eno in dvoosnih nematikih (PRE 2013). Napredek v topologiji nematskih defektov smo predstavili v preglednem članku (Phys. Rep. 2014).

5. Tekoče kristalne modre faze:koloidi, tanke plasti, skyrmioni: Pokazali smo, da modre faze delujejo kot topološko ogrodje za vezavo koloidnih delcev v 2D, kvazi2D in 3D koloidne kristale (PNAS Faraday Discuss. 2010, 2011a). Z ograditvijo MF v tanko plast smo napovedali nove topološke strukture, vključno s skyrmionskimi mrežami, defektnimi prstani in valujočimi disklinacijami (Nature Commun. 2011, PRL 2010a, PRL 2011b, Soft Matter 2012a, PRE 2013a). Z nanodelčnim dopiranjem smo pokazali povečanje temperaturnega območja stabilnosti modrih faz za red velikosti (Appl. Opt. 2013). Za modrofazne koloidne kristale smo pokazali, da lahko delujejo kot nastavljivi fotonski kristali (Soft Matter 2014).

6. Aktivna in pasivna TK mikrofluidika: Raziskali smo aktivne in pasivne nematske tokove v mikrofluidni ograditvi. Značilni tokovni profili se pojavijo kot funkcija poganjanja ali aktivnosti, pri čemer se aktivni topološki defekti vedejo kot mikročrpalke (PRL 2013b, PRL 2013c). Modelirali smo dinamiko roja bakterij (PRL 2013d).

7. Nanodelčne interakcije v TK. Med nanodelci premera $<100\text{nm}$ v TK smo izmerili nepričakovano močan privlak, ki povzroča dipolne verige nanodelcev (Soft Matter 2010). Z uporabo mikroskopije temnega polja smo določili 30nm kot spodnjo mejo za tvorbo stabilnih koloidnih parov (PRE 2013). Demonstrirali in pojasnili smo mehanizem nanodelčno pogojene stabilizacije mrež dislokacij v orientacijski in translacijski urejenosti tekočih kristalov (Soft Matter 2013a, PRE 2014).

8. Nematske kapljice in lupine: Nove konformacije polja so bile pokazane v holesteričnih kapljicah, vključno z dvojnovidnimi vijačnicami (Soft Matter 2012b) in prosto stoječimi topološkimi vozli (Nature Commun. 2014). Raziskali smo nematske lupine kot multivalentne objekte za ciljno vezavo koloidov, na katero vplivata elastična in oblikovna anizotropija, nehomogenost lupinske debeline ter kontaktni kot (Soft Matter 2010b, PRE 2012, Soft Matter 2013b). V sodelovanju s skupino v Lizboni smo razrešili vprašanje struktur nematskih in holeresteričnih kapljic na tankem vlaknu (Soft Matter 2013c). S skupino v Paviji smo z uporabo »paralelnega transporta« razvili dvodimenzionalno tenzorsko aproksimacijo nematske ureditve v tanki tekoče-kristalni lupini in študirali vpliv Gaussove ukrivljenosti na topološke defekte (Soft Matter 2011). S skupino iz Moskve smo demonstrirali, da lahko z UV obsevanjem sprožimo bipolarno-radialne strukturne prehode v nematskih kapljicah dispergiranih v vodi s fosfolipidnimi molekulami v katerih lahko pride do trans-cis transformacije, kar bi lahko služilo v novih senzorjih (Appl.Phys.Lett. 2014).

9. Molekularni motorji in mikroplavalci: Raziskali smo molekularne motorje na kiralnih filamentih ter razložili ročnost vrtenja motorja miozina. Za mikrotubularne motorje smo pokazali, da vijačno gibanje določajo izključno lastnosti motorjev, in raziskali konformacijske spremembe v delovnem ciklu kinezina14. Razvili smo model hoje za citoplazmatski dinein in pokazali, katere elastične in kinetične lastnosti molekule vplivajo na učinkovitost hoje. Raziskali smo tudi učinkovitost dineinsko gnanih bioloških migetalk (PNAS 2011b, PNAS 2014b, Biophys. J. 2014). Študirali smo optimalno obliko mikroplalcev in njihovo sinhronizacijo (PRL 2012, Physics 2012)

10. TK elastomeri (TKE) in polimeri (TKP): V sistemu nabreklih TKE z glavno verigo smo opravili obsežne simulacije Monte Carlo. N aši

numerični eksperimenti so obravnavali spreminjanje temperature in pod/nadkritično obnašanje pri natezni obremenitvi (Soft Matter 2011) ter elektromehanično aktuacijo z značilnostmi mehke elastičnosti (PNAS 2012). Obravnavali smo tudi prehod iz polidomenskega v monodomenski vzorec pri obremenitvi z natezno silo in v simulacijah opazili občutno zmanjšanje prožnostnega modula v območju vrtenja in rasti domen (Macromol. 2014). Modelirali smo tudi pakiranje kiralnih tekoče kristalnih polimerov v krogelni votlini (EPL 2012).

11. Nanostrukture in nanomaziva: Sintetizirali smo nanocevkke MoS₂ nadzorovane velikosti ter testirali njihove tribološke lastnosti (J. Mater. Chem. 2012). Izmerili smo optične lastnosti in koeficiente trenja. Dokazali smo veliko zmanjšanje trenja na jeklenih (do 65 %) in diamantu podobnih (DLC) (do 40 %) površinah, še posebno v načinu mejnega mazanja (Tribology Letters 2014). Torne lastnosti polimernih nanokompozitnih filmov PVDF/nanocevkke MoS₂ se pri dodatku 1 ut.% nanocevk izboljšajo za več kot 20% glede na čisti PVDF, in pri 2 ut.% za več kot 70% (Phys. Stat. Solid. A, Applications and Materials Science 2013). Z Ramansko spektroskopijo smo dokazali, da drsenje v mejnem mazanju povzroči v PVDF fazno transformacijo v polarno fazo, podobno kot nateg med kristalizacijo polimera. Dokazali smo, da interakcija med polimerom in nanocevkami stabilizira nov 2-b zlog znotraj γ -faze, kar predstavlja novo kristalno strukturo polimera PVDF (Soft Matter 2013). Nanocevkke MoS₂ smo izluščili v grafenu podobne enoplastne nanoluske (Nanoscale Res. Lett. 2011) in jih uporabili pri novi sintezi makromolekul modrega molibdena. Iz MoS₂/WS₂ nanolusk smo zgradili tranzistorje na poljski pojav z velikim preklopnim razmerjem (APL 2013).

12. Nanovarnost: Sodelovali smo pri študijah nanotoksičnosti interakcij ND v organizmu (Environ. Toxicol. Chem. 2012). Opravili smo meritev emisij ND v industriji in klimatiziranih prostorih ter med vulkanskim izbruhom. Razvili smo novo metodo za detekcijo ND v zraku (APL 2010). Izmerili smo visoke številske koncentracije nanodelcev, ki se sproščajo pri prasketanju pirotehničnih iskric (Air Quality, Atmosphere & Health 2014). Pripravili smo zloženko z naslovom "Ognjemeti in druga zabavna pirotehnika zastupljajo ozračje", z namenom povečati zavedanje, da ognjemeti in goreče iskric nevarno onesnažujejo zrak z nanodelci. Za Urad za kemikalije Republike Slovenije smo pripravili spletno stran Nanoportal <http://www.uk.gov.si/>, ki predstavlja kontaktno točko za uporabnike, ki jih zanimata nanotehnologija in nanovarnost.

13. Atomi in površine: Pokazali smo, da defekti Ag, umeščeni v površino Cu (111), omogočajo nanostrukturiranje atomov Co na nanoskali z izboljšano visokotemperaturno stabilnostjo ter brez vpliva na njihove elektronske in magnetne lastnosti (PRL 2010). Preučili smo stabilnost atomov H v različnih intersticijskih mestih v Lavesovih fazah ZrCr₂ (J. Phys. Chem. C 2010), pa tudi strukturne in elektronske lastnosti nekaterih hidriranih spojin na osnovi strukture ZrCr₂ (Int. J. Hydrogen Ener. 2011). Določili smo strukturo nizkotemperaturne podvojene faze kristalne strukture spojine (NbSe₄)(10/3)I, ki kaže valove gostote naboja (CDW) ter izračunali elektronsko strukturo visoko- in nizko- temperaturne faze, ki podpira gnezditveno nestabilnost in nastanek CDW-ja (Acta Crystallogr B. 2013).

--

4. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem programu in zastavljenih raziskovalnih ciljev³

SLO

Program je smiselno tekkel po zastavljenem planu. Poleg zastavljenih ciljev so naše raziskave pripeljale do vrste novih nepredvidenih odkritij, kar je znak, da raziskave tečejo na fronti znanosti o mehki snovi, nanostrukturah in površinah. Vrsta teh dosežkov je vodila do objav v prestižnih revijah in do mednarodnih patentov.

5. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega programa oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave programske skupine v letu 2014⁴

SLO

Ni bilo sprememb.

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati programske skupine⁵

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	22940455	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Odkritje tekočekristalnih optičnih mikroresonatorjev
		ANG	Electrically tunable liquid crystal optical microresonators
	Opis	SLO	Iz kapljic tekočega kristala smo naredili novo vrsto sferičnih optičnih mikroresonatorjev v katerih ujeta svetloba, ki »kroži« tik pod površino. Namesto izotropnih trdnih snovi smo uporabili tekoče kristale kot medij, kateremu lahko z zunanjimi vplivi spreminjamo lomni količnik. Simulacije resonančnih nihanj svetlobe se odlično ujemajo z eksperimenti. Z električnim poljem lahko tako uglašujemo njihove resonance obsegu, ki je do stokrat večji kot v dosedanjih mikroresonatorjih. To odpira možnost njihove uporabe kot spremenljivih izvorov laserske svetlobe, aktivnih filtrov in optičnih stikal. V kapljici kolesteričnega tekočega kristala, ki pa ima plastovito koncentrično strukturo in pride do Braggovega odboja, je uspela laserska generacija svetlobe. Kapljica deluje kot izotropni točkasti izvor laserske svetlobe in je prvi praktično uporaben 3D mikrolaser na svetu (HUMAR, Matjaž, MUŠEVIČ, Igor, 3D microlasers from self assembled cholesteric liquidcrystal microdroplets. Optics Express 2010, vol. 18, 2699527003 [COBISS.SIID 24377895]). Odkritje je zaščiteno z evropsko patentno prijavo [COBISS.SIID 25561639] .
ANG		A new kind of optical microresonators from droplets of nematic liquid crystal were made. The light is trapped inside these spheres and »circulates« close to the surface. Instead of using isotropic solid state spheres, we used nematic drops, since their refraction index can be changed with the external electric field. Observations were in excellent agreement with our numerical simulations. By applying electric field we have achieved tuning range almost hundred times larger than in solid microresonators. This enables their application for tunable lasers, active filters and optical switches. In a cholesteric liquid crystal droplet with a concentric layered structure that enables internal Bragg reflection a stimulated laser light emission was realized. The droplet that behaves as a point source of laser light is in a fact a first 3D microlaser. (HUMAR, Matjaž, MUŠEVIČ, Igor, 3D microlasers from selfassembled cholesteric liquidcrystal microdroplets. Optics Express 2010, vol. 18, 2699527003 [COBISS.SIID 24377895]). The discovery is protected by a patent application	

		[COBISS.SIID 25561639].
	Objavljeno v	Nature Pub. Group; Nature photonics; 2009; Vol. 3, no. 10; str. 595-600; Impact Factor: 22.869; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.506; A'': 1; A': 1; WoS: SY, UB; Avtorji / Authors: Humar Matjaž, Ravnik Miha, Pajk Stane, Muševič Igor
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
2.	COBISS ID	2336868 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Spremenljivi vozli in spleti v kiralnih nematskih koloidih
		<i>ANG</i> Reconfigurable knots and links in chiral nematic colloids
	Opis	<i>SLO</i> V delu predstavimo vozlanje defektnih linij v tekočerkristalnih koloidih, omejenih na tanko zvojno nematsko celico. Defektne linije s pomočjo optične pincete manipuliramo v poljubne vozle in splete, ki vežejo koloidne delce v urejene dvodimenzionalne kristale. Načrtovano lahko ustvarimo vozle poljubne kompleksnosti, v članku predstavimo rezultate za vse vozle z do 6 križišči, med njimi Hopfov splet, Boromejske obroče, Salomonov splet in druge. Prikazane strukture močno presega kompleksnost vozlov v dotedaj poznanih zavozlanih mehkih materialih, in predstavlja pomembnost topologije v znanosti materialov. Dosežek odpira novo področje topološke mehke snovi in je sprožil veliko zanimanje strokovne javnosti. Objavo članka je v istem zvezku revije Science spremljal komentar R. Kamiena, ključnega raziskovalca za topologijo tekočih kristalov. Dosežek je tudi sprožil organizacijo enomesečnega srečanja Knotted Fields v okviru KITP na UC Santa Barbara, kjer smo avtorji članka igrali pomembno vlogo (http://online.kitp.ucsb.edu/online/knotsm12/). Dosežek avtorjev je ob objavi pohvalil tudi Predsednik Slovenija dr. Danilo Türk, ki je ob priložnosti tudi osebno obiskal sodelujoči instituciji.
		<i>ANG</i> In this work, knotting of defect lines in liquid crystal colloids, confined to thin twisted nematic cells, is presented. Defect are manipulated with optical tweezers to form arbitrary knots or links that entangle the colloidal particles into twodimensional crystals. Knots of arbitrary complexity can be systematically designed, with all knots with up to 6 crossings presented in the paper, including the Hopf link, Borromean rings and Solomon link. Complexity of presented structures is beyond the complexity of knots ever seen before in soft matter and reinforces importance o topology in material science. Our achievements in fact established a new research field "topological soft matter" that attracted a lot of attention. The publication of the paper in the journal "Science" was accompanied by a commentary of R. Kamien from UPenn who is the key expert for topology of liquid crystals. The discovery also stimulated the realization of one month mini program on "Knotted fields" at KITP UC Santa Barbara, where we as the authors of the paper, playe a notable role (http://online.kitp.ucsb.edu/online/knotsm12/). The publication in Science was also met with a formal commendation by President of Slovenia dr. Danilo Türk, who on the occasion also visited the involved research groups lead by prof. Slobodan Žumer and prof. Igor Muševič
	Objavljeno v	American Association for the Advancement of Science; Science; 2011; Vol. 333, issue 6038; str. 62-65; Impact Factor: 31.201; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.271; A'': 1; A': 1; WoS: RO; Avtorji / Authors: Tkalec Uroš, Ravnik Miha, Čopar Simon, Žumer Slobodan, Muševič Igor
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	26543143 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Gradnja in lastnosti 3D kristala na osnovi nematskih dipolarnih koloidov
		<i>ANG</i> Assembly and control of 3D nematic dipolar colloidal crystals

	Opis	SLO	Predstavili smo sestavljanje in lastnosti prvega 3D kristala sestavljenega iz steklenih mikrokroglic v nematskem tekočem kristalu, ki predstavlja nov mejnik na področju organiziranja nematskih koloidov. Sestavili smo ga po napovedih Landau - de Gennesove analize stabilnosti različnih kristalnih koloidnih struktur in s pomočjo laserske pincete, njegove lastnosti pa določili s pomočjo 3D konfokalne fluorescenčne mikroskopije. Pokazali smo tudi, da ima tak kristal tetragonalno simetrijo, gigantsko elektostrikcijo ter da ga je mogoče vrteti s pomočjo zunanega električnega polja. Delo odpira področje sestavljanja 3D koloidnih kristalov v nematskem mediu in s tem nove izzive za fotonsko aplikacijo takih struktur.
		ANG	First 3D nematic dipolar colloidal crystal was presented, which is a new milestone in the field of assembling nematic colloids. It was predicted by Landau - de Gennes analysis of stability colloidal crystal structures, assembled with the help of laser tweezers and studied by 3D confocal polarization fluorescent microscopy. Dipolar colloidal crystal has tetragonal symmetry and exhibit giant electrostriction. An external electric field induces a reversible and controllable electrorotation of the crystal as a whole, when using LC with negative dielectric anisotropy. The study opens the field of assembling 3D colloidal crystals in the nematic media. These structures offer new possibilities for photonic applications.
	Objavljeno v	Nature Publishing Group; Nature communications; 2013; Vol. 4; str. 1489-1-1489-8; Impact Factor: 10.742; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.663; A'': 1; A': 1; WoS: RO; Avtorji / Authors: Nych Andriy, Ognysta Ulyana, Škarabot Miha, Ravnik Miha, Žumer Slobodan, Muševič Igor	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
4.	COBISS ID	2636388	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Topologija in geometrija nematskih pletenic
		ANG	Topology and geometry of nematic braids
	Opis	SLO	V na povabilo napisanem preglednem članku je povzeto dosedanje znanje o topologiji disklinacij v nematskih tekočih kristalih. Poleg predhodno znane teorije velik delež članka povzema delo avtorja zadnjih nekaj let, opravljeno v sodelovanju več člani programske skupine (PRL 2011, PRE2012, Proc. R. Soc. A 2013, PRE 2013, PRL 2013, Soft Matter 2013). Delo obsega celosten geometrijski in topološki opis spletenih in zavozlanih defektnih zank, posebej v kontekstu nematskih koloidov. Članek pregledno podaja teorijsko osnovo za novo področje "topološka mehka snov".
		ANG	This review article written on invitation summarizes knowledge about topology of disclinations in nematic liquid crystals. Previously known theory is followed by a large portion of the article that is based on the author's work of the last few years partially in collaboration with other members of the program (PRL 2011, PRE2012, Proc. R. Soc. A 2013, PRE 2013, PRL 2013, Soft Matter 2013). The theory is a well-rounded whole that treats geometric and topological description of defect loops, specifically focused on nematic colloids.
Objavljeno v	North-Holland; Physics reports; 2014; Vol. 538, issue 1; str. 1-37; Impact Factor: 22.910; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.852; A'': 1; A': 1; WoS: UI; Avtorji / Authors: Čopar Simon		
Tipologija	1.02 Pregledni znanstveni članek		
5.	COBISS ID	2630244	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Medsebojno spleteni koloidni vozli in inducirane defektne zanke v nematskih poljih
		ANG	Mutually tangled colloidal knots and induced defect loops in nematic fields

Opis	SLO	Delo je teklo v tesnem sodelovanju naše skupine za modeliranje in simulacije s skupino prof. Smalyukha v Boulderju, kjer so koloide napravili in tudi eksperimentalno raziskali. Članek poroča o medsebojnem spletnanju vozlov v obliki mikroskopskih delcev in vozlov v ureditvenim polju nematskega tekočega kristala. Delce-voze izdelamo z uporabo laserske dvo-fotonske fotopolimerizacijske tehnike. Numerično modeliranje se uporabi za opis in določitev strukture nematskega polja, ki razkrije zanimivo prepleteno topologijo vozlov iz delcev in vozlov v polju. Opisane raziskave odpirajo nove možnosti za samo-sestavljanje topoloških superstruktur in za uporabo kot topološke matrike. Članek je bil izpostavljen z naslovnico revije Nature Materials in s posebnim News&Views spremljajočim člankom.
	ANG	The research was performed in tight collaboration of our group for modeling and simulations with the group of Professor I. Smalyukh from Boulder where colloids were actually made and experimentally studied. The paper reports on mutual knitting of knots in the shape of micro-particles and knots in the molecular field of nematic liquid crystals. The particle-knots are produced by laser two-photon photopolymerization. Numerical modelling is used to explore the structure of the nematic fields, which reveals an interesting mutually tangled topology of particle- and field-knots. The demonstrated approach may find uses in self-assembled topological superstructures and as topological scaffolds. The paper was distinguished by the front cover of Nature Materials and with an accompanying News&Views paper.
Objavljeno v		Nature Pub. Group; Nature materials; 2014; Vol. 13, no. 3; str. 258-263; Impact Factor: 36.425; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.554; A'': 1; A': 1; WoS: EI, PM, UB, UK; Avtorji / Authors: Martinez Angel, Ravnik Miha, Lucero Brice, Visvanathan Rayshan, Žumer Slobodan, Smalyukh Ivan I.
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati programske skupine⁶

	Družbeno-ekonomski dosežek	
1.	COBISS ID	2565968719329831 Vir: vpis v poročilo
Naslov	SLO	2 ameriška patenta za "Tekočekristalni optično preklopni filter s širokim kotom gledanja" PIRŠ, Janez, et al.
	ANG	2 US patents for "Variable contrast, wide viewing angle LC light-switching filter", PIRŠ, Janez, et al.
Opis	SLO	Patenta: - Variable contrast, wide viewing angle LCD light-switching filter: US8542334(B2) United States Patent Office, 24. sep. 2013 [COBISS.SI-ID 25659687] - Variable contrast, wide viewing angle liquid crystal light attenuation filter: patent US8026998 (B2) US Patent and Trademark Office, 27. sep. 2011 [COBISS.SI-ID 19329831] sta bila podeljena za optični filter, ki omogoča veliko, električno kontrolirano, variabilno atenuacijo svetlobe. Zagotavlja majhno kotno odvisnost svetlobe, ki je v skladu z EN 379 standardom. V smislu patenta je tehnični problem rešen z modifikacijo STN LC zaklopke, ki omogoča prilagoditev napetostne odvisnosti svetlobne prepustnosti filtra, krmilni elektroniki ter hkrati simetrizira optično dvolomnost filtra, kar omogoča uspešno kotno kompenzacijo atenuacije svetlobe. Patenta sta pomembno vplivala na uspeh spin-off podjetja Balder doo., ki je v zadnjem

		obdobju prešlo v last multinacionalke Kimberley Clark.	
	ANG	<p>Patents:</p> <p>- Variable contrast, wide viewing angle LCD light-switching filter: US8542334(B2) United States Patent Office, 24. Sep. 2013 [COBISS.SI-ID 25659687], and</p> <p>- Variable contrast, wide viewing angle liquid crystal light attenuation filter: patent US8026998 (B2) US Patent and Trademark Office, 27. Sep. 2011 [COBISS.SI-ID 19329831]</p> <p>were granted to protect the concept of the optical filter allowing for high, electrically controlled, variable light attenuation. It exhibits low light attenuation dependence for the oblique incidence of light in compliance with the EN 379 Standard. According to the invention, the problem is solved by novel modifications of the STN LC shutters, allowing for the adaptation of the light transmission/driving voltage characteristics to the driving electronics as well as "symmetrizing" the overall optical birefringent properties, which in turn results in a high degree of their angular compensation. The patents were crucial for the success of the spinoff company Balder d.o.o. that makes protection glasses for welding. Recently the company was bought by Kimberley Clark.</p>	
	Šifra	F.32	Mednarodni patent
	Objavljeno v	[COBISS.SI-ID 25659687], [COBISS.SI-ID 19329831]	
	Tipologija	2.24	Patent
2.	COBISS ID	2062416716432935	Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO	2 ameriška patenta za sintezo nanostruktur
		ANG	2 US patents covering synthesis of nanostructures
	Opis	SLO	<p>Podelitev ameriškega patenta (REMŠKAR, Maja, VIRŠEK, Marko, KOČMUR, Miha, JESIĆ, Adolf. Procedure for synthesis of threadlike tungsten oxide W^[sup]5O^[sup](14) : US8496907 B2. United State Patent, 30. jul. 2013 [COBISS.SI-ID 20624167]), ki štiti novo sintezno pot do teh tehnološko pomembnih oksidov, ki so električno prevodni, so dobri emitorji elektronov, predstavljajo pa tudi začetni material za tvorbo WS₂ nanobrstičev.</p> <p>Ameriški patent (MRZEL, Aleš, REMŠKAR, Maja, JESIĆ, Adolf, VIRŠEK, Marko. Process for the synthesis of nanotubes and fullerene-like nanostructures of transition metal dichalcogenides, quasi one-dimensional structures of transition metals and oxides of transition metals : patent US 8007756 B2 United States Patent, 30. avg. 2011[COBISS.SI-ID 16432935]) štiti sintezo nanocevk in kroglastih nanodelcev dihalogenidov prehodnih kovin s kemijsko pretvorbo iz Mo-S-I nanožičk. Ta metoda omogoča trenutno edino poznano proizvodnjo velikih količin čistih nanocevk MoS₂.</p>
		ANG	<p>Granting of US patent (REMŠKAR, Maja, VIRŠEK, Marko, KOČMUR, Miha, JESIĆ, Adolf. Procedure for synthesis of threadlike tungsten oxide W^[sup]5O^[sup](14) : US8496907 B2. United State Patent, 30. jul. 2013 [COBISS.SI-ID 20624167]), which protects new synthesis path to these technologically important oxides, which are electrically conductive, are good electron emitters and represent also the starting material for formation of WS₂ nanobuds.</p> <p>The US patent (MRZEL, Aleš, REMŠKAR, Maja, JESIĆ, Adolf, VIRŠEK, Marko. Process for the synthesis of nanotubes and fullerene-like nanostructures of transition metal dichalcogenides, quasi one-dimensional structures of transition metals and oxides of transition metals : patent US 8007756 B2 United States Patent, 30. avg. 2011[COBISS.SI-ID 16432935]) protects synthesis of transition metal dichalcogenide nanotubes and fullerene-like nanoparticles using chemical transformation</p>

		from Mo-S-I nanowires. This methods is currently the only one which enables production of large quantities of MoS2 nanotubes.
	Šifra	F.32 Mednarodni patent
	Objavljeno v	[COBISS.SI-ID 20624167], [COBISS.SI-ID 16432935]
	Tipologija	2.24 Patent
3.	COBISS ID	2077981520490279 Vir: vpis v poročilo
	Naslov	<i>SLO</i> 2 EU patenta posvečena TK metamaterialom in multistabilni celici
		<i>ANG</i> 2 EU patents devoted to LC metamaterials and multistable devices
	Opis	<p><i>SLO</i> Patent "MUŠEVIČ, Igor, ŠKARABOT, Miha, ŽUMER, Slobodan, RAVNIK, Miha; Metamaterials and resonant materials based on liquid crystal dispersions of colloidal particles and nanoparticles : EP 1975656 B1 European Patent, 8. jun. 2011 [COBISS.SI-ID 20779815]" štiti postopek priprave kompozitnih materialov, sestavljenih iz tekočega kristala, mikrodlecev in nanodelcev. V tej disperziji se nanodelci spontano uredijo v jedra defektnih zank, ki jih okoli koloidnih delcev tvori tekočih kristal. Električne lastnosti takšnih struktur so podobne obročastim mikrorezonatorjem. Zato ima tak nanostrukturirani material lahko lastnosti metamaterialov, to je negativni magnetni odziv v področju blizu lastne resonance elektromagnetnega polja v obročastem mikrorezonatorju.</p> <p><i>SLO</i> Patent "RASING, Theo, LAZARENKO, Sergiy, MUŠEVIČ, Igor, ŠKARABOT, Miha, UPLAZNIK, Marko; Multistable liquid crystal device : EP 1927885B1 European Patent, 27. jul. 2011 [COBISS.SI-ID 20490279]" obravnava izum in postopek izdelave multistabilne tekočerkristalne celice, katere multistabilnost temelji na enem ali dveh topografsko profiliranih mejnih substratih. Molekule tekočega kristala se uredijo vzdolž ene izmed večih možnih energijsko ekvivalentnih preferenčnih smeri, ki so določene z 3D geometrijo substrata. S pomočjo zunanega električnega ali optičnega polja lahko tekoči kristal krmilimo med temi ekvivalentnimi stanji in tako pripravljeno TK celico uporabimo kot prikazovalnik ali drugo optično napravo.</p> <p><i>ANG</i> The patent "MUŠEVIČ, Igor, ŠKARABOT, Miha, ŽUMER, Slobodan, RAVNIK, Miha; Metamaterials and resonant materials based on liquid crystal dispersions of colloidal particles and nanoparticles : EP 1975656 B1 European Patent, 8. jun. 2011 [COBISS.SI-ID 20779815]" protects the procedure of the formation of composite materials composed of liquid crystal, microparticles, and nanoparticles. In such dispersion nanoparticles spontaneously assemble in disclination loops that encircle colloidal particles. Electrical properties of such structures resemble ring microresonators. This enables formation of metamaterials with negative magnetic response close to the EM resonance of ring microresonators.</p> <p><i>ANG</i> The patent "RASING, Theo, LAZARENKO, Sergiy, MUŠEVIČ, Igor, ŠKARABOT, Miha, UPLAZNIK, Marko; Multistable liquid crystal device : EP 1927885B1 European Patent, 27. jul. 2011 [COBISS.SI-ID 20490279]" protects the discovery and the fabrication procedure of multistable liquid crystal cell, which multistability is based on the topographical 3D microstructured substrates. Liquid crystal molecules are oriented along one of the energetically equivalent directions, which are determined by 3D geometry of the substrate. By using external electrical or optical field one can switch LC molecules between these equivalent states and such LC cell can be used as a display or other optical device.</p>
	Šifra	F.32 Mednarodni patent
	Objavljeno v	[COBISS.SI-ID 20779815] , [COBISS.SI-ID 20490279]

	Tipologija	2.24 Patent
4.	COBISS ID	Vir: vpis v poročilo
	Naslov	<p><i>SLO</i> 150 vabljenih predavanj na mednarodnih konferencah in delavnicah (11 z objavljenim konferenčnim člankom, 58 z objavljenim povzetkom in 81 z objavljenim naslovom).</p> <p><i>ANG</i> 150 invited talks at international conferences and workshops (11 with conference papers, 58 published abstracts, 81 with published titles)</p>
	Opis	<p><i>SLO</i> Zelo veliko število konferenčnih predavanj na povabilo kaže na veliko odmevnost našega raziskovalnega dela, kar se sklada z naglo rastjo citatov. V zadnjih 6 letih je letni prirastek po WOS zrastel od 800 na 1400 citatov letno! Dela skupine so bila citirana več kot 14000 krat.</p> <p><i>ANG</i> Extremely large number of invited talks at international conferences and workshops indicates strong impact of our research and is consisted with fast growth of citations. In the last 6 years the yearly contributions to the group member citations in Web of Science have increased from 800 to 1400 citations per year. In total members of the group have more than 14000 citations.</p>
	Šifra	B.04 Vabljen predavanje
	Objavljeno v	COBISS za skupino v segmentih 1.06, 1.10, 3.15
	Tipologija	3.25 Druga izvedena dela
5.	COBISS ID	Vir: vpis v poročilo
	Naslov	<p><i>SLO</i> Predsedovanje mednarodnega združenja "International Liquid Crystal Society" (2008-12)</p> <p><i>ANG</i> Presidency of "The International Liquid Crystal Society" (2008-12)</p>
	Opis	<p><i>SLO</i> Slobodan Žumer je predsedoval mednarodnega združenja za tekoče kristale (International Liquid Crystal Society) v obdobju 2008-2012. Organizacija v svetovnem merilu skrbi za promocijo in koordinacijo raziskovalno razvojnih aktivnosti na področju fizike, kemije in tehnologije "tekočih kristalov". Skrbi za bienalno svetovno konferenco posvečeno tekočim kristalom. Prav tako skrbi tudi za nagrajevanje najuspešnejših raziskovalcev.</p> <p><i>ANG</i> Slobodan Žumer was the president of The International Liquid Crystal Society in the 2008-2012 term. The Society unites scientists, engineers and students working in the broad field of fundamental and applied aspects of different liquid crystal systems, including thermotropic, lyotropic, polymer and polymer modified liquid crystals. The Society fosters communication among members, establishes the venue of the biennial international conferences, and publishes Liquid Crystals Today, as well as ELC. The Society also takes care about the awards for the most successful researches.</p>
	Šifra	D.03 Članstvo v tujih/mednarodnih odborih/komitejih
	Objavljeno v	http://www.ilcsoc.org/index.html http://www.lcinet.kent.edu/ILCS/main//index.html
	Tipologija	3.25 Druga izvedena dela

8. Drugi pomembni rezultati programske skupine²

Mednarodne nagrade

Žumer Slobodan 2014

Honored member of the International Liquid Crystal Society: For his over four decades of pioneering and prolific contributions to the scientific community of soft condensed matter

as one of the founding fathers of the physics of liquid crystals...

<http://www.lcinet.kent.edu/ILCS/main/page101/page117/page219/page219.html>

Čopar Simon 2014

Glenn Brown Prize (for the best PhD theses in the field of liquid crystals), ki jo podeljuje International Liquid Crystal Society

<http://www.lcinet.kent.edu/ILCS/main/page101/page113/page21/page21.html>

Ravnik Miha 2010

Glenn Brown Prize (for the best PhD theses in the field of liquid crystals), ki jo podeljuje International Liquid Crystal Society

<http://www.lcinet.kent.edu/ILCS/main/page101/page113/page21/page21.html>

Domače nagrade

Ravnik Miha 2014 Svečana listina mladim visokošolskim učiteljem za izjemne pedagoške in raziskovalne dosežke

Čopar Simon 2014 Zlati znak Jožefa Stefana

Muševič Igor 2011 mentor leta 2011

Ravnik Miha 2011 Zlati znak Jožefa Stefana

Muševič Igor 2009 Zoisova nagrada za vrhunske znanstvene dosežke

Slovenski patenti

1. MUŠEVIČ, Igor, HUMAR, Matjaž. Kroglasti tekočekristalni laser : patent 23567A. Ljubljana: Urad RS za intelektualno lastnino, 31. maj 2012. [COBISS.SI-ID 24447015]

2. REMŠKAR, Maja, ISKRA, Ivan, VIRŠEK, Marko, PLEŠKO, Mark, GOLOB, Damjan. Metoda in kapacitivnostni senzor za štetje aerosolskih nanodelcev : patent : SI 22895 (A), 2010-04-30. Ljubljana: Urad RS za intelektualno lastnino, 2010. 19 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 22399783]

3. MRZEL, Aleš, REMŠKAR, Maja, VIRŠEK, Marko, JESIH, Adolf. Postopek za sintezo kvazi enodimenzionalnih struktur dihalkogenidov in oksidov prehodnih kovin : patent : SI 22623 (A), 2009-04-30. Ljubljana: Urad RS za intelektualno lastnino, 2009. 19 str., ilustr. [COBISS.SI-ID 21189927]

9. Pomen raziskovalnih rezultatov programske skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

Raziskave naše programske skupine, ki temeljijo na sinergiji eksperimentalnih in teorijskih metod optike, fotonike, elektromagnetizma, statistične fizike, mikrofluidike in mehanike zelo uspešno povezujejo pojave s področij fizike mehkih materialov, površin, nanostruktur in celičnih organizmov. Dosežki skupine iz zadnjih šestih let kažejo, da je le-ta v samem vrhu današnje znanosti o mehkih snoveh, površinah in nanostrukturah, kar tudi potrjujejo naše objave v vplivnih revijah (Science, Nature, itd), vabljena predavanja na prestižnih konferencah (Gordon Research Conference, Liquids, ILCC, SPIE...), mednarodne nagrade, podeljeni mednarodni patenti in citiranost člankov.

Poleg napredka na bazičnem razumevanju kompleksne mehke snovi in njenih kompozitov, raziskave odpirajo neposredno pot do novih funkcionaliziranih kompozitnih materialov, ki s svojimi specifičnimi nano in mikroskopskimi lastnostmi omogočajo tehnološko rabo. Miniaturizacija in lastnosti takih sestavov so pomembno gonilo v razvoju na znanju temelječih aplikacij, saj dvigujejo ekonomsko učinkovitost proizvodnje, nižajo porabo energije in pomembno izboljšujejo tudi njihove lastnosti in zmogljivosti.

ANG

The research of our program group is based on the synergy of experimental and theoretical

methods –including optics, photonics, electromagnetism, statistical physics, microfluidics and mechanics- and highly successfully combines the phenomena from soft matter physics, surfaces, nanostructures and cellular organisms. The achievements of the group form past six years show that the group works at the cutting edge of modern science of soft matter, surfaces and nanostructures, as supported by publications in highest impact journals (Science, Nature, etc.), invited lectures at prestigious conferences (Gordon Research Conference, Liquids, ILCC, SPIE....), international awards, granted international patents and high-cited publications.

In parallel with the basic understanding of complex soft matter and its composites, our also technology-oriented research is opening a direct way towards new functionalized composite materials with interesting technological applications which are made possible by specific nano and microscopic properties of the composite. Miniaturization and characteristics of such complexes are major drivers in the development of knowledge-based applications, as they not only raise the economic efficiency of the production, but also reduce the energy consumption and importantly improve the material properties and capabilities.

9.2.Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Rezultati kažejo, da je programska skupina usmerjeni v vrhunske raziskave in inovacije, temelječe na znanstveni odličnosti in najvišjih standardih dela. Poleg tega, da odličnost slovenskih inštitucij krepi akademsko in industrijsko privlačnost same države, le-to v svoji srži prispeva tudi k slovenski odličnosti in družbenoekonomskemu razvoju nasploh. Glavno gonilo programske skupine – komplementarno povezovanje osnovnih raziskav in tehnoloških aplikacij – predstavlja nujen element, ki lahko prispeva k dolgoročnemu trajnostnemu razvoju in konkurenčnosti Slovenije. Raziskave na področju eksperimentalne in teoretične fizike mehke snovi imajo v Sloveniji dolgo in izjemno uspešno tradicijo, pri čemer igra naša skupina osrednjo vlogo. V skoraj 30 letih raziskav so bile vzpostavljene močne vezi med osrednjima slovenskima raziskovalnima inštitucijama, Inštitutom Jožef Stefan (IJS) in Fakulteto za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani, ki so kvaliteto naših raziskav dvignile v sam svetovni vrh. Raziskave v okviru programa imajo za trajnostni razvoj Slovenije večkratni pomen.

Posredni vpliv: Dosežki skupine, ki jih predstavljamo v poročilu, so na celi vrsti področij v svetovnem vrhu in tako pomembno utrjujejo nacionalno identiteto in prepoznavnost Slovenije. Po drugi strani skupina predstavlja tudi jedro, preko katerega prehajajo izsledki tujih raziskav in spoznanj v Slovenijo. Poudariti velja, da si v okviru programske skupine prizadevamo tudi za predstavitev znanosti širši javnosti v Sloveniji. Nadalje so naše uspešne raziskave ključne za uspešno organizacijo in izvedbo več dodiplomskih in podiplomskih izobraževalnih programov. Skupina je omogočila uspešno realizacijo vrste doktorskih del in s tem tudi zaposlitve visoko izobraženih kadrov (Podrobnosti so v priloženi preglednici).

Neposreden vpliv na gospodarstvo je bolj omejen, vendar na specifičnih primerih zelo pomemben, kar lepo ilustrira primer optičnih aplikacij, kjer se je nova, mala in srednja visokotehnološka slovenska industrija v svetu nesorazmerno močno uveljavila (Fotona, Balder, Optotech....) predvsem zaradi solidnega domačega znanja na področju fizike in posebej optike.

Tako se je »spin-off« podjetje IJS, Balder, ki po licenci IJS izdeluje avtomatske tekoče-kristalne optične zaščitne filtre (varilska tehnika, medicina, itd) že v prejšnjem desetletju uspešno afirmiralo tako na ameriškem kot tudi na evropskem tržišču. Potrebno je poudariti, da so v naše programske raziskave vodile v razvoj novih principov delovanja specifični optičnih preklopnikov za zaščito oči z velikim svetlobnim izkoristkom in manjšo porabo električne energije. Tako je podjetju Balder neposredno odpirajo nove možnosti zlasti na novih, zahtevnejših področjih uporabe avtomatskih zaščitnih sredstev za oči (medicina, letalski promet), ki se izredno hitro razvijajo. Nenazadnje je to prineslo tudi sodelovanje v mednarodnih projektih (NATO, EU) in aktivno sodelovanje v delovni skupini za pripravo novega ISO standarda za zaščito oči. Brez tega nova visokotehnološka industrija, ki nastaja v Sloveniji, ne more ohraniti svojega zagona in samo tako lahko ohranja svojo konkurenčnost na svetovnem tržišču. V zadnjem času je Balder prevzelo veliko mednarodno podjetje Kimberley Clark, ki pa ravno zaradi naše raziskovalne podpore ohranja razvoj preklopnikov v Sloveniji.

Druga pomembna aplikativna usmeritev programske skupine, ki ima tudi velik potencial za pomemben prispevek k družbenoekonomskemu razvoju Slovenije, je sinteza ter uporaba MoS₂ nanocevk kot nova napredna maziva in sredstva za zmanjševanje mehanske obrabe. Trenutna ovira na poti k polni komercializaciji tehnologije - je razvoj sinteznega procesa s kilogramsko proizvodno zmogljivostjo, ki ga IJS spin-off podjetje Nanotul brez večje investicije ne zmore.

ANG

The results show that our program group is aimed at top-level research and innovations, based on scientific excellence. Such building upon excellence in Slovenian academic institutions and industrial attractiveness of Slovenia contributes to socioeconomic development in general. Major advantages of our program such as the complementary fundamental science and technological applicability are essential elements that can contribute to the long-term sustainable development and competitiveness of Slovenia. The research in the field of experimental and theoretical soft matter physics has a long and very successful tradition in Slovenia – and our program group is in the core of this community. In nearly 30 years of research, strong links have been tied between the two central research institutions in the field in Slovenia– the Josef Stefan Institute and the Faculty of Mathematics and Physics UL- which importantly contributed to the growth of the research quality to the top-world level. The research within our program contributes to the sustainable development of Slovenia at multiple levels.

Indirect contributions: Our results are at the top-world level and as such contribute to further establishment of Slovenian national identity and international recognition of Slovenia at the world level. From another perspective, the group act also as a nucleus which attracts novel knowledge from abroad to Slovenia. Within our program group we also stress the outreach activities and presentation of science to wider public in Slovenia. Moreover our successful research is crucial for successful organization of multiple undergraduate and graduate student courses. The group has contributed to the training of excellent PhD students, and through them to the employment of high-level high-tech professionals (for more, please see the attached table).

The direct contribution of our program to the economy is limited, but actually very important in specific examples in the field of optical applications, where new small and medium-size high-tech industry from Slovenia is unproportionally strong in comparison to the world level (Fotona, Balder, Optotech...) and notably it is so because of good domestic (national) knowledge in the field of physics and especially optics.

Exactly along these lines, the "spin-off" company of the IJS, Balder, which is producing automated liquid crystalline optical protective filters (welding technology, medicine, ...), has achieved successful affirmation within American and European market in the past decade. We should stress that the research within our program group has led to the development of new principles for the performance of specific optical shutters for eye-protection with large light yield and smaller consumption of electricity. To company Balder, this is opening direct new opportunities for development in the more-demanding fields of use of the automated eye-protection (medicine, air-traffic), which are among most rapidly developing fields. Also, this has led to collaborations in international projects (NATO, EU) and active collaboration in the work group for preparing a new ISO standard for eye-protection. Without this the new high-tech industry, which is emerging in Slovenia, can not retain its momentum and its competitiveness at the world level. Recently, Balder was acquired by the large international company Kimberly Clark, which however, due to our research support is keeping all the shutter development in Slovenia.

The second relevant application direction of our program that could potentially contribute to the development of Slovenia is the synthesis and use of MoS₂ nanotubes as novel lubricant and anti-wear materials. The current obstacle to full commercialization of the MoS₂-nanotube technology is the development of synthesis process with kilogram-scale yields of MoS₂ nanotubes, which the IJS spin-off company Nanotul can not achieve without a rather notable financial investment.

10. Zaključena mentorstva članov programske skupine pri vzgoji kadrov v obdobju 1.1.2009-31.12.2014¹¹**10.1. Diplome¹²**

vrsta usposabljanja	število diplom
bolonjski program - I. stopnja	7
bolonjski program - II. stopnja	4
univerzitetni (stari) program	26

10.2. Magisterij znanosti in doktorat znanosti¹³

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	MR	
25670	Miha Ravnik	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
26467	Uroš Tkalec	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
26469	Marko Viršek	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
28235	Erik Zupanič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
29528	Matjaž Humar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
30134	Matej Cvetko	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
30656	Tine Porenta	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
31116	Bojana Višič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
32151	Dalija Povše Jesenek	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
32153	Gašper Kokot	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
32598	Venkata Subba R Jampar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
33107	David Seč	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
33197	Simon Čopar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
34494	Amid Ranjkesh Siahkal	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Legenda:

Mag. - Znanstveni magisterij**Dr.** - Doktorat znanosti**MR** - mladi raziskovalec**11. Pretok mladih raziskovalcev – zaposlitev po zaključenem usposabljanju¹⁴**

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	Zaposlitev	
33107	David Seč	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
30656	Tine Porenta	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
32151	Dalija Povše Jesenek	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
31116	Bojana Višič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	E - Tujina	
28535	Brina Črnko	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	E - Tujina	
29528	Matjaž Humar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	E - Tujina	
28235	Erik Zupanič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
26469	Marko Viršek	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	

25670	Miha Ravnik	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
26467	Uroš Tkalec	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
34494	Amid Ranjkesh Siahkal	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	E - Tujina	

Legenda zaposlitev:

- A** - visokošolski in javni raziskovalni zavodi
- B** - gospodarstvo
- C** - javna uprava
- D** - družbene dejavnosti
- E** - tujina
- F** - drugo

12. Vključenost raziskovalcev iz podjetij in gostovanje raziskovalcev, podoktorandov ter študentov iz tujine, daljše od enega meseca, v obdobju 1.1.2009-31.12.2014

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Sodelovanje v programski skupini	Število mesecev	
33377	Andriy Nych	B - uveljavljeni raziskovalec	21	
34269	Jayasri Dontabhaktuni	D - podoktorand	27	
33378	Uliana Ognysta	B - uveljavljeni raziskovalec	21	
34263	Anna Ryzhkova	B - uveljavljeni raziskovalec	20	
34829	Yuji Sasaki	C - študent - doktorand	13	
31116	Bojana Višić	C - študent - doktorand	42	
32598	Venkata Subba R Jampar	C - študent - doktorand	42	
33744	Maryam Nikkhou	C - študent - doktorand	40	
0	Iztok Bajc	C - študent - doktorand	36	
0	Regina Jose	C - študent - doktorand	20	
0	Morgan Cameron	C - študent - doktorand	17	
0	Jun-ichi Fukuda	B - uveljavljeni raziskovalec	14	
0	Shun Wang	C - študent - doktorand	3	
0	Surajit Dhara	B - uveljavljeni raziskovalec	1	
0	Lia Verhoeffa	B - uveljavljeni raziskovalec	1	
0	Laura Cattaneo	C - študent - doktorand	1	
0	Igor Gvozдовskyy	B - uveljavljeni raziskovalec	1	
0	David Wilkes	B - uveljavljeni raziskovalec	1	
0	Anupam Sengupta	C - študent - doktorand	1	
0	Xunda Fengguptay	C - študent - doktorand	1	
0	Marco Kostadinov	C - študent - doktorand	1	

Legenda sodelovanja v programski skupini:

- A** - raziskovalec/strokovnjak iz podjetja
- B** - uveljavljeni raziskovalec iz tujine
- C** - študent - doktorand iz tujine

D - podoktorand iz tujine

13. Vključevanje v raziskovalne programe Evropske unije in v druge mednarodne raziskovalne in razvojne programe ter drugo mednarodno sodelovanje v obdobju 1.1.2009-31.12.2014¹⁵

SLO

1. 2014 – 2017, 7. OP – LIVINGLASER, A laser made entirely of living cells and materials derived from living organisms, European Commission, Massachusetts General Hospital, Muševič Igor
2. 2014 – 2018, 7.OP SIMDALEE2, Sources, Interaction with Matter Detection and Analysis of Low Energy Electrons 2, European Commission, University of York, A.P.E. Research SRL, Ustav Pstrojove Techniky AV CR, Eidgenossische Technische Hochschule Zurich, FEI Electron Optics BV, Universita Degli Studi Roma TRE, Roentdek Handels GMBH, National Technical University of Athens, Forschungszentrum Juelich GMBH, University of Cambridge, Remškar Maja
3. 2013 – 2015, 7. OP – NEMCODE, Allowance Controlled Assembly and Stabilisation of Functionalised Colloids in Nematic Liquid Crystals, European Commission, Muševič Igor
4. 2012 – 2016, FP7PEOPLE2011CIG, Channel free liquid crystal microfluidics, Marie Curie Career Integration Grant FREEFLUID, Ravnik Miha
5. 2012 – 2013, Nanoparticle controlled soft complex structures with topological defects, European Office of Aerospace Research&Development, Kralj Samo
6. 2008 – 2012, 7. OP – HIERARCHY, Hierarchical Assembly in Controllable Matrices, European Commission, Radboud Universiteit Nijmegen, RWTH Aachen, Technische Universiteit Eindhoven, , Max Planck Gesellschaft, Philips, Plant Research International B.V., Merck Chemicals Ltd., Balder Ltd., Jozef Stefan Institute, Univerza v Ljubljani, Žumer Slobodan
7. 2008 – 2012, 7. OP – HIERARCHY, Hierarchical Assembly in Controllable Matrices, European Commission, Radboud Universiteit Nijmegen, RWTH Aachen, Technische Universiteit Eindhoven, Max Planck Gesellschaft, Philips, Plant Research International B.V., Merck Chemicals Ltd., Univerza v Ljubljani, Balder Ltd., Jozef Stefan Institute, Muševič Igor
8. 2008 – 2012, 7. OP – HIERARCHY, Hierarchical Assembly in Controllable Matrices, European Commission, Radboud Universiteit Nijmegen, RWTH Aachen, Technische Universiteit Eindhoven, Max Planck Gesellschaft, Philips, , Plant Research International B.V., Merck Chemicals Ltd., Univerza v Ljubljani, Jozef Stefan Institute, Balder Ltd., Pirš Janez
9. 2008 – 2011, COST MP0604, Optical micromanipulation, COST Office, Muševič Igor
10. 2006 – 2011, COST D43, Action Colloid and Interface Chemistry for Nanotechnology, WG 2 "Synthesis and Availability of Reference Materials", COST Office, University of Sofia, University of Bari and CNRIPCF, Max Planck Institute, University Of Almeria, Univerzita Pierre et Marie Curie, Maria Curie Skłodowska University, University of Patras, University of Palermo, Universidade de Vigo, EML Switzerland, Muševič Igor
11. 2005 – 2010, 6. OP NANOSAFE 2, Safe Production and Use of Nanomaterials, European Commission, Remškar Maja
12. 2005 – 2010, 6. OP – FOREMOST, Fullerenebased Opportunities for Robust Engineering: Making Optimised Surfaces for Tribology, European Commission, Remškar Maja

Drugi mednarodni projekti:

1. 2013 – 2014, Obsevanje in analiza Si vzorcev, Irradiation and Analysis of Si Samples, Institute of Radiation Problems of ANAS, Nemčija, Muševič Igor
2. 2008 – 2012, Struktura in mehanizem citoplazemskega dineina, Structure and Mechanism of Cytoplasmic Dynein, HFSP – International Human Frontier Science Program Grant, University of Leeds, University of Tokyo, Tohoku University, IJS. Vilfan Andrej

Bilateralni projekti:

1. 2014 - 2015, BIUS/1415001 Topološka mehka snov, Topological soft matter, R. Kamien, UPENN (Slobodan Žumer)
2. 2014-2015 Bilateralni projekt z Rusijo "Combined effect of UV irradiation and nanoparticles on structural transitions of confined liquid crystals", (Samo Kralj)
3. 2013-2014 PROTEUS Bilateralni projekt s Francijo "Elastically tuned soft nanocomposites",

(Samo Kralj)

4. 2012 - 2013 Bilateralni projekt z Rusijo »Stabilization and creation of defects in soft materials: new structures and applications«, (Samo Kralj)
5. 2009 - 2010, BIUA/0910012, Tekočekristalne superstrukture za napredne fotonske aplikacije (Miha Škarabot)
6. 2008 - 2010 Biomedicinske aplikacije tekočih kristalov, Biomedical applications of liquid crystals, G.P. Crawford, Notre Dame, (Slobodan Žumer)
7. 2008 - 2010, Bilateralno sodelovanje med Republiko Slovenijo in ZDA: "Optične in električne lastnosti MoS₂ in WS₂ hibridnih nanomaterialov" (Maja Remškar)
8. 2008 - 2010, BIUS/0810017 Spintronika v umetno grajenih nanostrukturah, (Igor Muševič)
9. 2008 - 2009 BIRS/0809030 Bilateralno sodelovanje med Republiko Slovenijo in Srbijo in Črno goro: »Mehanske lastnosti nanocevk in nanožic molibdenovih in volframovih disulfidov« (Maja Remškar)

14. Vključenost v projekte za uporabnike, ki so v obdobju trajanja raziskovalnega programa (1.1.2009–31.12.2014) potekali izven financiranja ARRS¹⁶

SLO

1. 2014 – 2014, Razvoj ukrivljenega LCD filtra, Development of Curved LCD Shutter, Kimberly Clark Ltd., Muševič Igor
2. 2013 – 2015, Projekt (4301682013112) mladi doktorji na začetku kariere ; FMF v sodelovanju z industrijo Lek Sandoz, Porenta Tine
3. 2013 – 2014, Analize z metodo NQR, NQR analysis, LEK d.d., Muševič Igor
4. 2013 – 2014, Balder razvoj tehnologij, Development of new technologies, Balder d.o.o., Muševič Igor
5. 2012 – 2014, Najem in uporaba prostorov, Tela d.o.o., Muševič Igor
6. 2012 – 2014, MERCK AFM raziskave; MERCK AFM Investigations, MERCK KGAA, Škarabot Miha
7. 2013 – 2013, AFM validacija in analize, AFM validation and analysis. Lek Sandoz LEK d.d., Škarabot Miha
8. 2013 – 2013, Ind. Projekt FMF Lek Sandoz, Statistična analiza bioprosesov, LEK d.d., Žumer Slobodan
9. 2012 2013, Lek Sandoz AFM analize; Mikroskop na atomsko silo, AFM analysis, LEK d.d., Muševič Igor
10. 2012 – 2012, AFM analize polimernih površin, AFM analysis of polymer surfaces, Bia Separations, Muševič Igor
11. 2011 – 2012, Razvoj tehnologij za umetni nos – RTUN, Development of technology for artificial nose, Ministrstvo za obrambo RS, Muševič Igor
12. 2011 – 2011, Mladi raziskovalci iz gospodarstva generacija 10, Balder d.o.o., Kocan Andrej
13. 2011 – 2011, Sodelovanje na področju hitrega prototipiranja večplastnih vezij, Collaboration on rapid prototyping of multilayer circuits, ETIV d.o.o., Muševič Igor
14. 2010 – 2010, Postopek in naprava za merjenje, Method and Measuring Device, ECS GmbH, Pirš Janez
15. 2009 – 2012, Zaščita oči, Eye protection, Balder d.o.o., Pirš Janez
16. 2009 – 2010, Svetovanje pri uporabi mikroskopa, AFM measurements and training, Krka D.D., Škarabot Miha
17. 2007 – 2012, Stroški vzdrževanja naravoslovno tehnološkega centra IJS, Iskra Tela d.d., Pirš Janez
18. 2007 – 2010, Projekt "UNos", Project "Artificial nose", Ministrstvo za obrambo RS, Muševič Igor
19. 2007 – 2009, L29050010606
Detektor za štetje nanodelcev v zraku, Air nanoparticle detector, COSYLAB d.d., Remškar Maja

15. Ocena tehnološke zrelosti rezultatov raziskovalnega programa in možnosti za njihovo implementacijo v praksi (točka ni namenjena raziskovalnim programom s področij humanističnih ved)¹⁷

SLO

Nanocевke kot dodatek mazivom:

Velika učinkovitost nanocevk MoS₂ za zmanjševanje trenja je dokazana s testiranjem v sintetičnih oljih (PAO), rastlinskih oljih (sončnično, repično), hidravličnih oljih (FRL 46), na površinah orodnega jekla D2, 100 Cr6 jekla in DLC prevlek in kot dodatek nekaterim polimerom (PVDF, PEO, IPP). Trenutno potekajo testi na trdih prevlekeh TiN in TiAlN. Testiranja so v fazi TRL 4-Raziskave za dokaz izvedljivosti. Za industrijska testiranja je potrebno razviti sintezno metodo za kilogramske količine nanocevk MoS₂. Ta del tehnološke zrelosti ima stopnjo TRL 2-osnovne tehnološke raziskave.

Nanotubes as additives to lubricants:

High efficiency of MoS₂ nanotubes to reduce friction has been demonstrated by testing in synthetic oils (PAO), vegetable oils (sunflower, rapeseed), hydraulic oils (FRL 46), on the surfaces of tool steel D2, 100 Cr6 steel and DLC coatings and as an additive to some polymers (PVDF, PEO, IPP). Currently testing on hard coatings of TiN and TiAlN is going on. The technological maturity of the testing is TRL4 (Research to demonstrate the feasibility). Industrial testing demands large quantities of the MoS₂ nanotubes therefore the scale-up process of the synthesis must be developed. The technological maturity of this part is TRL2 (Level of basic technology research).

16. Ocenite, ali bi doseženi rezultati v okviru programa lahko vodili do ustanovitve spin-off podjetja, kolikšen finančni vložek bi zahteval ta korak ter kakšno infrastrukturo in opremo bi potrebovali

možnost ustanovitve spin-off podjetja	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
potrebni finančni vložek	250.000 EUR
ocena potrebne infrastrukture in opreme ¹⁸	<p>Spin-off podjetje Nanotul d.o.o. (www.nanotul.com) je že bilo ustanovljeno leta 2007 in uspešno sodeluje s programsko skupino. Oviri pri vstopu na trg sta laboratorijska proizvodnja (grami) nanocevk MoS₂ in neidentificiran končni proizvod. Za povečano proizvodnjo je potreben vložek vsaj 100.000 EUR v dodatno opremo (specializirana vakuumna peč in sulfarizacijski reaktor) in 150.000 EUR v delovno okolje (digestoriji, električna napeljava, senzorji za varno delo) za razvoj kemijske tehnologije in končnega izdelka.</p> <p>Spin-off company Nanotul d.o.o. (www.nanotul.com) has already been established in 2007 and successfully cooperates with the programme group. Barriers to commercialization are a laboratory production (grams) of MoS₂ nanotubes and the unidentified end product. The increased production requires investment of at least € 100,000 in additional equipment and € 150,000 for the development of chemical technology and the end product.</p>

17. Izjemni dosežek v letu 2014¹⁹

17.1. Izjemni znanstveni dosežek

Dosežek »Vozli v nematskih disperzijah z zavoznimi koloidnimi delci in v kapljicah kiralnih nematikov« je predstavljen v 2 objavah:

1. Martinez Angel, Ravnik Miha, Lucero Brice, Visvanathan Rayshan, Žumer Slobodan, Smalyukh Ivan I., Mutually tangled colloidal knots and induced defect loops in nematic fields, Nature Materials 13, 258-263 (2014); IF= 36.425. Delo je nastalo v sodelovanju naše skupine za modeliranje s skupino prof. Smalyukha v Boulderju, kjer so koloide napravili in eksperimentalno raziskali. Članek je bil izpostavljen z naslovnico revije Nature Materials in povezanim News&Views člankom.
2. David Seč, Simon Čopar in Slobodan Žumer, Topological zoo of free-standing knots in confined chiral nematic fluids, Nature Communications 5, 3057 1-7 (2014); IF= 10.742. Napovedali smo obstoj prostostoječih zavozlanih disklinacijskih zank v kolesteričnih kapljicah s pravokotnim sidranjem na površini. Pomagali smo si z minimizacijo proste energije in topološko teorijo.

17.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

Nagrade v letu 2014

Mednarodne:

- Žumer Slobodan 2014 Honored member of the International Liquid Crystal Society: For his over four decades of pioneering and prolific contributions to the scientific community of soft condensed matter as one of the founding fathers of the physics of liquid crystals...
<http://www.lcinet.kent.edu/ILCS/main/page101/page117/page219/page219.html>
- Čopar Simon 2014 Glenn Brown Prize (for the best PhD theses in the field of liquid crystals), ki jo vsake 2 leti podeljuje International Liquid Crystal Society
<http://www.lcinet.kent.edu/ILCS/main/page101/page113/page21/page21.html>

Domače:

- Ravnik Miha 2014 Svečana listina mladim visokošolskim učiteljem za izjemne pedagoške in raziskovalne dosežke
- Čopar Simon 2014 Zlati znak Jožefa Stefana

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni;
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja in obdelavo teh podatkov za evidence ARRS;
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v papirnati obliki;
- so z vsebino poročila seznanjeni in se strinjajo vsi izvajalci raziskovalnega programa.

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
matične RO (JRO in/ali RO s
koncesijo):*

in

vodja raziskovalnega programa:

Institut "Jožef Stefan"

Slobodan Žumer

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana

13.3.2015

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/128

¹ Napišite povzetek raziskovalnega programa v slovenskem jeziku (največ 3.000 znakov vključno s presledki – približno

- pol strani, velikost pisave 11) in angleškem jeziku (največ 3.000 znakov vključno s presledki – približno pol strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)
- ² Napišite kratko vsebinsko poročilo, v katerem predstavite raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega programa in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. V primeru odobrenega povečanja obsega financiranja raziskovalnega programa v letu 2014 mora poročilo o realizaciji programa dela zajemati predložen program dela ob prijavi in predložen dopolnjen program dela v letu 2014. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)
- ³ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)
- ⁴ V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa dela raziskovalnega programa, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega programa oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave programske skupine v zadnjem letu izvajanja raziskovalnega programa, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, navedite: "Ni bilo sprememb.". Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)
- ⁵ Navedite znanstvene dosežke (največ pet), ki so nastali v okviru izvajanja raziskovalnega programa. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja programa vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'. [Nazaj](#)
- ⁶ Navedite družbeno-ekonomske dosežke (največ pet), ki so nastali v okviru izvajanja raziskovalnega programa. Družbeno-ekonomski dosežek iz obdobja izvajanja programa vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'.
- Družbeno-ekonomski dosežek je po svoji strukturi drugačen kot znanstveni dosežek. Povzetek znanstvenega dosežka je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.
- Povzetek družbeno-ekonomskega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat programa ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)
- ⁷ Navedite rezultate raziskovalnega programa iz obdobja izvajanja programa v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ker se ga v sistemu COBISS ne vodi). Največ 2.000 znakov vključno s presledki (približno 1/3 strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)
- ⁸ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://www.sicris.si/> za posamezen program, ki je predmet poročanja. [Nazaj](#)
- ⁹ Največ 4.000 znakov vključno s presledki (približno 2/3 strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)
- ¹⁰ Največ 4.000 znakov vključno s presledki (približno 2/3 strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)
- ¹¹ Upoštevajo se le tiste diplome, magisteriji znanosti in doktorati znanosti (zaključene/i v obdobju 1.1.2009–31.12.2014), pri katerih so kot mentorji sodelovali člani programske skupine. [Nazaj](#)
- ¹² Vpišite število opravljenih diplom v času izvajanja raziskovalnega programa glede na vrsto usposabljanja. [Nazaj](#)
- ¹³ Vpišite šifro raziskovalca in/ali ime in priimek osebe, ki je v času izvajanja raziskovalnega programa pridobila naziv magister znanosti in/ali doktor znanosti ter označite doseženo izobrazbo. V primeru, da se je oseba usposabljala po programu Mladi raziskovalci, označite "MR". [Nazaj](#)
- ¹⁴ Za mlade raziskovalce, ki ste jih navedli v tabeli 11.2. točke (usposabljanje so uspešno zaključili v obdobju od 1.1.2009 do 31.12.2014), izberite oz. označite, kje so se zaposlili po zaključenem usposabljanju. [Nazaj](#)
- ¹⁵ Navedite naslove projektov in ime člana programske skupine, ki je bil vodja/koordinator navedenega projekta. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)
- ¹⁶ Navedite naslove projektov, ki ne sodijo v okvir financiranja ARRS (npr: industrijski projekti, projekti za druge naročnike, državno upravo, občine idr.) in ime člana programske skupine, ki je bil vodja/koordinator navedenega projekta. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)
- ¹⁷ Opišite možnosti za uporabo rezultatov v praksi. Opišite izdelke oziroma tehnologijo in potencialne trge oziroma tržne niše, v katere sodijo. Ocenite dodano vrednost izdelkov, katerih osnova je znanje, razvito v okviru programa oziroma dodano vrednost na zaposlenega, če jo je mogoče oceniti (npr. v primerih, ko je rezultat izboljšava obstoječih tehnologij oziroma izdelkov). Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)
- ¹⁸ Največ 1.000 znakov vključno s presledki (približno 1/6 strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)
- ¹⁹ Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega programa v letu 2014 (največ 1000 znakov, vključno s presledki, velikost pisave 11). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priložnost/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva

je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROG-ZP/2015 v1.00b

47-A4-70-C4-D7-07-84-14-62-73-F7-3D-7D-08-4F-36-9E-35-97-7E

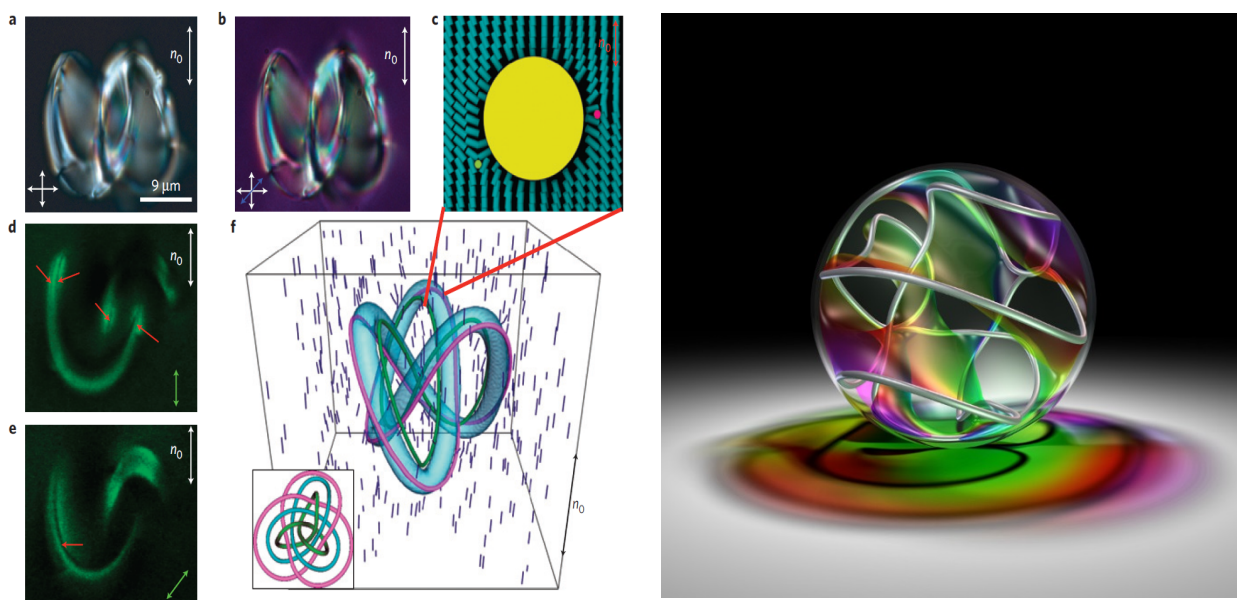
Priloga 1

NARAVOSLOVJE IN MATEMATIKA

Področje: 1.02 - Fizika

Dosežek: Vozli v nematskih disperzijah z zavoznimi koloidnimi delci in v kapljicah kiralnih nematikov

Vir: (i) A. Martinez, M. Ravnik, B. Lucero, R. Visvanathan, S. Žumer, I. I. Smalyukh, Mutually tangled colloidal knots and induced defect loops in nematic fields, Nature Materials 13, 258263 (2014); (ii) D. Seč, S. Čopar in S. Žumer, Topological zoo of freestanding knots in confined chiral nematic fluids, Nature Commun. 5, 3057 (2014)



Pokazali smo vozle v nematskih disperzijah z zavozlanimi koloidnimi delci in v kapljicah kiralnih nematikov. Mikroskopski delci-vozle se izdelajo z uporabo laserske dvo-fotonske fotopolimerizacijske tehnike. Numerično modeliranje se uporabi za opis in določitev strukture nematskega polja, kar razkrije zanimivo prepleteno topologijo vozlov iz delcev in vozlov v polju. Delo je nastalo v sodelovanju s skupino prof. Smalyukha v Boulderju, kjer so koloide napravili in eksperimentalno raziskali. Članek Nat. Mater. je bil izpostavljen z naslovnico revije Nature Materials in povezanim News&Views člankom. V holesteričnih kapljicah napovemo obstoj zavozlanih defektnih linij in jih topološko razložimo. Kiralne tekočerkristalne kapljice so se v zadnjem času že pokazale kot uporabne za optične resonatorje, točkaste laserje, aktivne pigmente in kot drugi nastavljivi optični elementi. V splošnem opisane raziskave odpirajo nove možnosti za samostavljanje topoloških superstruktur, za uporabo kot topološke matrike in za modeliranje drugih fizikalnih sistemov s podobnimi topološkimi značilnosti.