

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/97



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	P1-0055
Naslov programa	Biofizika polimerov, membran, gelov, koloidov in celic Biophysics of Polymers, Membranes, Gels, Colloids and Cells
Vodja programa	8589 Rudolf Podgornik
Obseg raziskovalnih ur (vključno s povečanjem financiranja v letu 2014)	84022
Cenovni razred	B
Trajanje programa	01.2009 - 12.2014
Izvajalci raziskovalnega programa (javne raziskovalne organizacije - JRO in/ali RO s koncesijo)	106 Institut "Jožef Stefan" 381 Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta 588 Univerza v Ljubljani, Pedagoška fakulteta 1540 Univerza v Novi Gorici 1554 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko 2547 Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko
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

Dolgoročni cilj programa P1-0055 »Biofizika polimerov, membran, gelov, koloidov in

celic« v obdobju 2009-2014 je bil študij struktur in procesov v kompleksnih sistemih z uporabo konceptov in metod fizike mehke snovi in biofizike, poglobitev razumevanja različnih bioloških sistemov in razvoj novih materialov v okviru štirih raziskovalnih tematskih sklopov. V obdobju 2009-2014 smo v okviru vseh štirih tematskih sklopov dosegli odmevne rezultate in v celoti dosegli zastavljene cilje osnovnega in v letu 2014 dopolnjenega programa.

1) Na področju interakcij med biološkimi makromolekulami smo razvili pomembna nova spoznanja o elektrostatičnih in van der Waalsovih interakcijah pri različnih razporeditvah naboja in spremenjenih lastnostih ionskih raztopin. Ta vedenja smo uporabili pri študiju biofizike proteinov in DNK ter analizi lastnosti pakiranja DNK v virusne kapside. Raziskali smo električne lastnosti vrste novih organskih materialov, ki so potencialni sestavni deli organskih sončnih celic in organskih tankoslojnih tranzistorjev, ter raziskave razširili na področje fizike nanodelcev in grafenske fizike.

2) Na področju urejanja in samourejanja v mehki snovi smo opisali nove kompleksne faze tekočih kristalov iz molekul z netrivialno simetrijo, npr. ukrivljeno obliko, in analizirali vzroke za modulacijo dolgega dosega. Eksperimentalne in teoretične raziskave superparamagnetnih koloidnih delcev v magnetnem polju so privedle do odkritja njihovega samourejanja v robustno koloidno membrano. Teoretično smo odkrili več novih vrst 2D kvazikristalov v sistemu, za katerega je značilna preprosta meddelčna interakcija.

3) Na področju raziskav lipidnih membran, vesiklov in celic smo pomembno prispevali k razumevanju vloge citoskeleta in organizacije membrane na elastične lastnosti eritrocitov. Razvili smo mehanični model preprostega epitelijskega tkiva, ki pojasni nastanek in obliko valovitih epitelijskih embrionalnih tkiv. Razvili smo na konfokalni mikroskopiji slonečo metodologijo za podrobno analizo 3D oblike osno- in neosno-simetričnih lipidnih vesiklov. Razvili smo mikrofluidično difuzijsko komoro, ki omogoča kontrolirano in reverzibilno izmenjavo raztopine okoli mehkih bioloških vzorcev. Raziskave interakcije membrane z beta2 glikoproteinom I, nistatinom in različnimi maščobnimi kislinami so prispevale k boljšemu razumevanju nekaterih odprtih vprašanj iz klinične medicine.

4) Pri raziskavah kolektivne dinamike v bioloških sistemih smo obravnavali kompleksno dinamiko znotrajcelične in medcelične signalizacije ter komunikacije v smislu kompleksnih mrež, pri čemer smo upoštevali topološke lastnosti mreže, lastnosti oscilatorjev in stohastične efekte. Razvili smo model za bakterijsko motilnost in pri tem izpostavili pomen maksimalne produkcije entropije. Poglobili smo razumevanje procesov krčenja gladkih mišic dihalnih poti pod vplivom mediatorjev vnetja, kar je privedlo do aplikacij v klinični obravnavi astmatičnih bolnikov.

ANG

Long term objective of the research program P1-0055 was the study of structures and processes in complex systems using the concepts and methods of soft-matter physics and biophysics in order to improve understanding of different biological systems and materials. In period 2009-2014 our work resulted in a number of novel results. We achieved all goals of the core and the expanded program summarized in four topics:

1) In the field of macromolecular interactions, we developed important new approaches in the theory of electrostatic and van der Waals interactions, focusing on the role of the charge distribution and the characteristics of the solvent. Expertise in the basic principles of intermolecular interactions was applied to the studies of the biophysics of proteins and DNA, and led to a better understanding of DNA packaging in viral capsids. We studied the electrical properties of new types of organic semiconductors accounting for organic solar cells and organic thin film transistors, and broadened the scope of our research to the areas of physics of nanoparticles and graphene physics.

2) In the field of self-organization in soft matter we described new complex phases in liquid crystals composed of molecules of nontrivial symmetries, such as bent-core

molecules, and analyzed the origins of the long-range modulation in these systems. Our experimental and theoretical studies of superparamagnetic colloidal particles in magnetic fields led to a discovery of self-assembled colloidal sheets. We discovered a novel family of 2D quasi-crystals with 10-, 12-, 18- and 24- fold bond orientational order and described a generic mechanism of their formation.

3) In the research of lipid membranes, vesicles and cells, we studied the role of the cytoskeleton and membrane organization in the elastic properties of red blood cells. We developed mechanistic model of epithelial tissues, which gave a new insight into morphogenesis in early embryonic development. We developed the methodology for the exact 3D analysis of axial- symmetric and non-symmetric lipid vesicles based on confocal microscopy. We developed a microfluidic diffusion chamber, which enables a controlled and reversible exchange of solutions around soft biological samples. Our studies of interactions of membranes with beta-2 glycoprotein I, nystatin and various fatty acids provided valuable new information for unsolved questions in clinical medicine.

4) In the research of collective dynamics in biological systems we studied complex dynamics of intra- and inter- cellular signaling in terms of complex networks, whereby we considered properties of the network and oscillators as well as the stochastic effects. We developed a model of bacterial motility based on the maximum entropy production principle. We achieved significant advancements in the understanding of the airway smooth muscle contraction under inflammatory conditions, which led to novel clinical applications in the treatment of asthma.

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

Program P10055 »Biofizika polimerov, membran, gelov, koloidov in celic« je vodilni nacionalni program s področja biofizike in združuje raziskovalce z Univerze v Ljubljani, Univerze v Mariboru, Univerze v Novi Gorici ter Instituta Jožef Stefan v Ljubljani. Dolgoročni cilj programa je študij struktur in procesov v kompleksnih sistemih z uporabo konceptov in metod fizike mehke snovi in biofizike ter na ta način poglobiti razumevanje različnih bioloških sistemov in novih materialov. Pomembna kvaliteta programa je njegova interdisciplinarna narava, ki na več nivojih združuje najnovejše teoretične in eksperimentalne pristope s področja fizike in znanosti o življenju. Po eni strani raziskujemo osnovne zakonitosti na nivoju medmolekulskih interakcij, na drugi pa preučujemo biološke celice in tkiva. Širina programa omogoča uspešen pretok znanja in idej med znanstvenimi disciplinami, pa tudi med visokošolskimi, znanstvenimi in zdravstvenimi ustanovami ter industrijo in s tem zagotavlja trdno osnovo za razvoj tega znanstvenega področja v Sloveniji. V obdobju 2009-2014 smo skupno objavili 248 izvirnih in 11 preglednih znanstvenih člankov v svetovnih revijah najvišjega ranga na različnih znanstvenih področjih; med drugim v revijah Nature, Reviews of Modern Physics (dve objavi), Nature Chemistry, Physical Review Letters, Trends in Biochemical Sciences, Lab on a Chip, Biophysical Journal, Applied Physics Letters, PLOS One itd. Smo soavtorji dveh znanstvenih monografij in 29 samostojnih poglavij v znanstvenih monografskih publikacijah ter skupno več kot 1200 bibliografskih enot v vseh relevantnih kategorijah. Naša dela, objavljena v tem obdobju, so bila v tem času citirana že več kot 400-krat, v zadnjih 10 letih pa so bila vsa naša dela po dostopnih podatkih citirana že več kot 8350-krat (CI10). Člani programske skupine smo imeli več kot 60 vabljenih predavanj na mednarodnih znanstvenih konferencah in 90 vabljenih predavanj na tujih univerzah in raziskovalnih inštitutih.

Osnovo predloženega programa dela na raziskovalnem programu iz leta 2008 so tvorili štiri glavni raziskovalni tematski sklopi: 1. Interakcije med biološkimi makromolekulami, 2. Urejanje in samourejanje v mehki snovi, 3. Lipidne membrane, vesikli in celice, ter 4. Kolektivna dinamika v bioloških sistemih. Ob dopolnitvi programa v letu 2014 smo vsebine v okviru posameznih tematskih sklopov razširili še

na področja raziskav obnašanja organskih molekul na površinah na podlagi in situ meritev (tematski sklop 1), raziskav koloidnih kvazikristalov (tematski sklop 2), mikrofluidičnih študij (tematski sklop 3), raziskav hierarhičnih kodov v genomu (tematski sklop 3) in sistemskega pristopa k modeliranju bioloških mehanizmov (tematski sklop 4). V obdobju 2009-2014 smo v okviru vseh tematskih sklopov dosegli odmevne rezultate, ki so pomembno prispevali k razvoju znanosti na posameznih področjih, in v celoti dosegli zastavljene cilje osnovnega in dopolnjenega programa.

Na področju interakcij med biološkimi makromolekulami smo razvili pomembne nove pristope v teoriji elektrostatičnih in van der Waalsovih interakcij, pri čemer smo se posvetili vlogi različnih razporeditev naboja in lastnosti ionskih raztopin. Poznavanje osnovnih načel medmolekularnih interakcij smo uporabili pri študiju biofizike proteinov in DNK ter analizi nekaterih lastnosti pakiranja DNK v virusne kapside. V 2014 smo s simulacijami molekulske dinamike pokazali, da igra urejanje vodnih molekul med dvema površinama ključno vlogo pri njunem hidratacijskem odboju in da o nastopu hidratacijskega odboja oziroma hidrofilnega privlaka odloča subtilno ravnovesje vodikovih vezi med molekulami vode in površine. Raziskali smo mehanizme transporta naboja po tankih slojih vrste novih organskih polprevodnikov, ki so zanimivi kot sestavni deli organskih sončnih celic in organskih tankoslojnih tranzistorjev, ter raziskave razširili na področje fizike nanodelcev in grafenske fizike. V letu 2014 smo v celoti usvojili metodologijo pridobivanja grafena z luščenjem grafita in izdelavo organskih tankoslojnih tranzistorjev, katerih kanal je izdelan iz mešanice nanografena in polimerov. Tehnologija izdelave grafensko-polimernih mešanic je še na nivoju laboratorijskih količin, vendar že omogoča tiskanje mešanic na večjih površinah.

Glavni del raziskav na področju urejanja in samourejanja v mehki snovi je bil posvečen raziskavam tekočih kristalov in koloidnih sistemov. Opisali smo nove kompleksne faze tekočih kristalov iz molekul z netrivialno simetrijo, npr. ukrivljeno obliko, in analizirali vzroke za modulacijo dolgega dosega. Raziskave antiferoelektričnih tekočih kristalov smo zaokrožili z objavo preglednega članka v ugledni reviji *Reviews of Modern Physics*. V prenovljeno in zelo razširjeno drugo izdajo *Handbook of Liquid Crystals* smo v soavtorstvu prispevali 5 poglavij: o ferroelektričnih tekočih kristalih, o smektičnih in stolpičastih fazah, o fazah s kratko modulacijo in o nematodinamiki. Eksperimentalne in teoretične raziskave superparamagnetnih koloidnih delcev v magnetnem polju so privedle do odkritja njihovega samourejanja v robustno koloidno membrano. Raziskave na področju mehkih koloidov s trdo sredico so privedle do odkritja novih razredov kvazikristalov z 10-, 12-, 18- in 24- števeno simetrijo ter razlage generičnega mehanizma njihovega nastanka. V letu 2014 smo z računalniškimi simulacijami proučevali samourejanje nanodelcev v tankih polimernih plasteh, razvili teorijo stabilnosti makrostruktur in raziskali zmožnost vplivanja na morfologijo nastalih vzorcev z zunanji silami. Proučili smo dinamiko hodečih kompleksnih koloidov na površinah z neenakomerno gostoto receptorjev, na katere se lahko koloidi, obdani z DNK kraki, reverzibilno vežejo. Razvili smo metodo, s katero je mogoče z zunanji dražljaji spreminjati smer in hitrost transporta koloidov, in metodo za opis mnogodelčnih interakcij, ki smo jo uporabili pri modeliranju faznega diagrama 2D magnetnih koloidov. Numerično smo študirali interakcijo med hidriranimi hidrofilnimi površinami in ugotovili, da se te lahko privlačijo znotraj ozkega režima kontaktnih kotov. S simulacijami smo analizirali dolžino in porazdelitev enostavnih vozlov na obročastih polimerih in obnašanje prepletenih polimerov v zunanjem električnem polju ter pokazali, da je s poljem mogoče eksperimentalno proučevati njihovo dinamiko. Raziskali smo lokalno ureditev modelskih dendrimerov in odkrili, da je za te mehke in podolgovate makromolekule značilen antinematni red kratkega dosega.

Na področju raziskav lipidnih membran, vesiklov in celic smo razvili vrsto novih eksperimentalnih in teoretičnih pristopov, s katerimi smo analizirali različne nove aspekte obnašanja teh kompleksnih sistemov. Raziskovali smo pogoje, ki vodijo v

rast in razmnoževanje vesiklov v kontekstu evolucije celične delitve. Študirali smo elastičnost eritrocitov in njeno vlogo pri pretoku krvi. Razvili smo nove pristope k biofizikalni obravnavi živalskih celic ter prispevali k razumevanju vloge citoskeleta in organizacije membrane pri mehanskih lastnostih celic. Velik del naših raziskav je bil posvečen združevanju vesiklov in celic v dvodimenzionalne plasti. Natančna analiza fizikalnih lastnosti takih plasti je privedla do novega vpogleda v obnašanje epiteljskega tkiva in morfogenezo v zgodnjem embrionalnem razvoju. Razvili smo mikrofluidično difuzijsko komoro, ki omogoča kontrolirano in reverzibilno izmenjavo raztopine okoli mehkih bioloških vzorcev, s čimer smo leta 2014 že naredili prve korake h gojenju beta celic mišjega pankreasa v tem sistemu. Naše raziskave interakcije membrane z beta-2 glikoproteinom I, nistatinom, ostreolizinom in različnimi maščobnimi kislinami ter proučevanje biološke aktivnosti ekstraktov različnih gliv so prispevale k boljšemu razumevanju nekaterih odprtih vprašanj iz klinične medicine, nevrodegenerativnih bolezni in označevanja raftnih domen v membranah živih in fiksiranih celic. Raziskave na CHO celicah so pokazale, da pri zagotavljanju celične integritete poleg membrane sodelujejo tudi elementi citoskeleta. Izvedli smo natančne mehanske eksperimente, ki so osvetlili povezavo med nastankom celičnih izrastkov, napetostjo membrane in zalogo celične membrane v kaveolah. Teoretično smo analizirali oženje vratov, ki se pojavijo v tankih membranskih povezavah med lipidnimi vesikli in opisali pomen nelokalne upogibne energije v membranskih sistemih, obdanih z večlamelarno membrano, s čimer smo prispevali k boljšemu razumevanju procesa vesikulacije. V okviru raziskav RNA virusov smo v 2014 raziskali zvezo med genomom virusne RNA in evlucijskim pritiskom.

V okviru raziskav kolektivne dinamike v bioloških sistemih smo se posvetili tako znotrajcelični signalizaciji kakor tudi medceličnim interakcijam. Obravnavali smo dinamiko znotrajceličnih kalcijevih valov ter raziskali vlogo stohastičnih efektov, ki so pomemben parameter v živih sistemih. Razvijali smo nove metode pri obravnavi celičnih oscilatorjev, pri čemer smo upoštevali tako topološke lastnosti mrež kakor tudi lastnosti oscilatorjev. Teoretične modelne napovedi kolektivne dinamike oscilatorjev smo uspešno uporabili za razlago meritev signalov kalcija na celicah beta. Izdelali smo mrežni model funkcionalne povezanosti teh celic v Langerhansovih otočkih in pokazali, da ima ta mreža karakteristike mreže malega sveta, kar smo diskutirali v smislu njenega fiziološkega pomena. Z enakimi modelnimi pristopi smo pokazali tudi spremenjeno mrežno komunikacijo med celicami mišične stene v intrapulmonalnih arterijah pri pogojih kronične hipoksije. Na celični ravni smo razvili model za napoved sinteze eikozanoidov – lipidnih mediatorjev vnetnega odziva – in z njim napovedali senzitivnost astmatičnih bolnikov na nesteroidne antirevmatike, kar je prispevalo k nadgradnji neinvazivnih metod za diagnosticiranje aspirinske intolerance. Razvili smo model za bakterijsko motilnost, obravnavali gibanje bakterij v superdifuzijskem režimu ter pri tem izpostavili pomen principa maksimalne produkcije entropije. Ta princip smo aplicirali tudi na analizo kinetike izbranih encimov in pokazali, da v procesu evolucije encimov obstaja težnja po približevanju k stanju maksimalne produkcije entropije v encimski reakciji.

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

SLO

Splošni cilj raziskovalnega programa P1-0055 je poglobljati bazično razumevanje zgradbe in interakcij kompleksnih sistemov mehke snovi ter ga aplicirati na različne biološke sisteme in nove materiale. Pomemben vidik programa je tudi njegova tesna vpetost v visokošolski prostor ter povezave z zdravstvenimi ustanovami in industrijo, s čimer prispeva k razvoju družbe kot celote. Zastavljeni cilji osnovnega in dopolnjenega programa v letu 2014 so bili v obdobju 2009-2014 v celoti izpolnjeni na vseh področjih. V obdobju 2009-2014 smo v okviru vseh tematskih sklopov ob prvi prijavi programa in tistih ob razširitvi v letu 2014 dosegli odmevne raziskovalne

rezultate, ki so pomembno prispevali k razvoju znanosti na posameznem področju, raziskovalno vsebino programa pa smo razširili tudi na fiziko nanodelcev in fiziko grafena. Skupaj s sodelavci s številnih univerz in inštitutov po svetu smo objavili več kot 250 znanstvenih člankov, mnoge med njimi v najuglednejših revijah na področjih našega raziskovanja, dve znanstveni monografiji in 29 samostojnih poglavij v znanstvenih monografskih publikacijah. Odmevnost rezultatov dokazuje več kot 1400 citatov, ki so jih do danes prejela naša dela, objavljena od leta 2009. Tesna vpetost članov programa v mednarodno raziskovalno skupnost se kaže tudi skozi sodelovanje pri organizaciji številnih mednarodnih znanstvenih srečanj na najvišjem nivoju, ki so v Slovenijo pripeljala najuglednejše raziskovalce s področij našega delovanja, ter skozi več kot 150 vabljenih predavanj na mednarodnih konferencah in univerzah. Člani programa smo zelo dejavni kot uredniki, člani uredniških odborov in recenzenti številnih mednarodnih in domačih znanstvenih in nenazadnje tudi domačih poljudnoznanstvenih ter strokovnih revij.

Preko tesnih povezav z visokošolskim prostorom, industrijo in zdravstvenimi ustanovami smo znanje s svojih področij uspešno širili tudi na širše družbeno okolje in s tem prispevali pomemben delež k družbeno-ekonomskemu napredku države. Člani programa smo nosilci vodstvenih funkcij na univerzah ter nosilci in izvajalci več kot 50 predmetov na vseh stopnjah univerzitetnega izobraževanja. Bili smo mentorji 17 doktorandom, 6 magistrantom in 88 diplomantom, ter napisali več visokošolskih učbenikov z našega področja raziskovanja. Razvijali smo nove didaktične metode in vnašali interdisciplinarne vsebine v poučevanje. Sodelovali smo s slovensko industrijo (Lek d.d., Aresis d.o.o.) in zdravstvenimi ustanovami (UKC Ljubljana, UKC Maribor, ZZS) ter podjetji iz tujine (TalkingCells). Člani programa se zavedamo tudi pomena promocije znanosti v družbi, zato smo v preteklem obdobju sodelovali pri vrsti strokovnih in poljudnoznanstvenih projektov, npr. pri vsakoletni organizaciji »Noči raziskovalcev«, pri raziskovalnih nalogah na osnovno in srednješolskem nivoju, pri izvedbi delavnic za dijake in učence, pri projektih za razvoj poučevanja in vnos modernih vsebin in metod v poučevanje, pri uredništvu poljudnih knjig in revij ipd.

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

SLO

V letu 2014 se je obseg financiranja raziskovalnega programa P1-0055 v delu, ki ga izvajajo javne raziskovalne organizacije, t.j. Institut Jožef Stefan, Medicinska fakulteta (UL), Pedagoška fakulteta (UL), Fakulteta za matematiko in fiziko (UL) in Fakulteta za naravoslovje in matematiko (UM), ki je znašal 11900 raziskovalnih ur, povečal za 362 raziskovalnih ur letno. Programska skupina P1-0055 je namreč izkazovala "nadpovprečnost po merilu znanstvenega kriterija ter po merilih c in e relevantnega kriterija". S tem v skladu se je v letu 2014 raziskovalni program dopolnil z naslednjimi področji raziskav: 1) obnašanja organskih molekul na površinah, 2) koloidnih kvazikristalov, 3) mikrofluidičnih merilnih sistemov, 4) hierarhičnih kodov v genomu in 5) systemskega pristopa k modeliranju bioloških procesov. Omenjena področja raziskav se smiselno vklapljajo v predloženi programa dela iz leta 2008, ki ga tvorijo štirje glavni raziskovalni tematski sklopi:

- Interakcije med biološkimi makromolekulami, kamor se uvršča področje razširitve 1)
- Urejanje in samourejanje v mehki snovi, kamor se uvršča področje razširitve 2)
- Lipidne membrane, vesikli in celice, kamor se uvrščata področji razširitve 3) in 4)
- Kolektivna dinamika v bioloških sistemih, kamor se uvršča področje razširitve 5)

zato do odstopanj od dolgoročno zastavljenih ciljev in osnovne usmeritve programa ni prišlo.

6.Najpomembnejši znanstveni rezultati programske skupine⁵

	Znanstveni dosežek		
1.	COBISS ID	2252388	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Interakcije dolgega dosega v nanoznanosti
		ANG	Long range interactions in nanoscale science
	Opis	SLO	V članku je povzeto razumevanje elektrodinamične, elektrostatične in polarne interakcije, ki obvladujejo organizacijo majhnih objektov na oddaljenostih, večjih od dolžine medatomske vezi. S stališča teh osnovnih sil smo opisali sisteme, na katerih lahko te sile preučujemo in moduliramo. Podamo pregled sistemov, za katere so te sile z nanometerske skale pomembne v praksi. Pregled razkrije možnosti za nove naprave in materiale in hkrati nakaže potencialne izboljšave pri njihovi izdelavi.
		ANG	Our understanding of the "long range" electrodynamic, electrostatic, and polar interactions which dominate the organization of small objects at distances beyond an interatomic bond length is reviewed. From this basic forces perspective, a large number of systems are described from which one can learn about these organizing forces and how to modulate them. The many practical systems that harness these nanoscale forces are then surveyed. The survey reveals not only the promise of new devices and materials, but also the possibility of designing them more effectively.
	Objavljeno v	American Physical Society; Reviews of modern physics; 2010; Vol. 82; str. 1887-1944; Impact Factor: 51.695; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.582; A": 1; A': 1; WoS: UI; Avtorji / Authors: French Roger H., Podgornik Rudolf	
	Tipologija	1.02 Pregledni znanstveni članek	
2.	COBISS ID	23506727	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Antiferoelektrični tekoči kristali
		ANG	Antiferroelectric liquid crystals
	Opis	SLO	V najprestižnejši fizikalni reviji Reviews of Modern Physics smo predstavili dvajsetletno zgodovino raziskav antiferoelektričnih tekočih kristalov in njihovo potencialno uporabo. Izraz "antiferoelektrični tekoči kristali" označuje smektične faze iz kiralnih podolgovatih molekul, ki tvorijo vrsto nagnjenih struktur, v katerih se azimutalna smer nagiba spreminja od plasti do plasti. Perioda teh faz obsega od dve do nekaj plasti, ki so 2D tekočine. Opisali smo odkritja teh faz kakor tudi različne metode za njihovo identifikacijo, določanje strukture in lastnosti. Predstavili smo tudi teoretični opis teh sistemov, pri čemer smo podrobno pojasnili diskretni fenomenološki model, saj le-ta od vseh najboljše pojasni eksperimentalne rezultate.
		ANG	In the most prestigious physical journal Reviews of Modern Physics, we review the twenty-year research related to antiferroelectric liquid crystals and give an overview of possible applications. "Antiferroelectric liquid crystals" is the common name for smectic phases formed of chiral elongated molecules that exhibit a number of tilted structures with variation of the strong-tilt azimuthal direction from layer to layer. The phases have varying crystallographic unit periodicity from two to a few smectic layers, which are 2D liquids. We describe the discovery of these phases and various methods used for their identification and to determine their structures and their properties. We also give a theoretical description of these systems; discussed in detail is the discrete phenomenological model as its predictions are most consistent with experimental results.
	Objavljeno v	American Physical Society; Reviews of modern physics; 2010; Vol. 82, no. 1; str. 897-937; Impact Factor: 51.695; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.582; A": 1; A': 1; WoS: UI; Avtorji / Authors: Takezoe Hideo, Górecka Ewa, Čepič Mojca	

	Tipologija	1.02 Pregledni znanstveni članek	
3.	COBISS ID	27499815	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Mozaični kvazikristali z dvema značilnima dolžinama
		ANG	Mosaic two-lengthscale quasicrystals
	Opis	SLO	Teoretično smo raziskali preprost mehanizem tvorbe kvazikristalov v polimernih in sorodnih nanokoloidnih sistemih. Proučili smo sistem dvodimenzionalnih trdih diskov s stopničastim odbojem, ki ustrezajo npr. mehkeemu alkilnemu ovoju okoli aromatskega jedra dendritičnih micel. Odkrili smo družino kvazikristalov z 10-, 12-, 18- in 24- števnim orientacijskim redom, ki sestojijo iz mozaika enakostraničnih in enakokrakih trikotnikov, v katerih se dotikajo bodisi trde sredice bodisi stopničasti mehki ovoj bližnjih delcev. Večina opaženih faz je novih in v članku obenem predstavimo teorijo, v kateri jih obravnavamo kot tlakovanje ter tako pojasnimo njihovo strukturo in stabilnost.
		ANG	We theoretically studied a simple mechanism of quasicrystal formation in polymeric and related soft nanocolloidal systems. We explored a system of two-dimensional hard disks decorated with steplike squareshoulder repulsion that mimics, for example, the soft alkyl shell around the aromatic core in dendritic micelles. We find a family of quasicrystals with 10-, 12-, 18- and 24- fold bond orientational order which originate from mosaics of equilateral and isosceles triangles formed by particles arranged core-to-core and shoulder-to-shoulder. Most of the observed phases are novel, and we also present a tiling theory to explain their structure and stability.
	Objavljeno v		Nature Publishing Group, a division of Macmillan Publishers; Nature; 2014; Vol. 506, no. 7487; str. 208-211; Impact Factor: 42.351; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.663; A'': 1; A': 1; WoS: RO; Avtorji / Authors: Dotera T., Oshiro T, Zihel Primož
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
4.	COBISS ID	2411003	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Optično preklopljiv tranzistor s fotonastavitvijo energijskih nivojev v dvokomponentnem organskem polprevodniku
		ANG	Optically switchable transistor via energy-level phototuning in a bicomponent organic semiconductor
	Opis	SLO	Z mešanjem dveh molekularnih komponent, fotokromnega derivata diarietena in poliheksiltofenske polimerne matrike, smo uravnali elektronsko strukturo v polprevodniškem filmu tako, da smo dobili od osvetlitve odvisne bistabilne energijske nivoje v matriki. Princip delovanja smo potrdili z izdelavo organskega tankoslojnega tranzistorja iz tega materiala. Osvetlitev s primerno svetlobo povzroči reverzibilno spreminjanje elektronskih stanj v mešanici, kar modulira izhodni tok. Pristop modularnega mešanja omogoča združevanje različnih molekularnih komponent, kar bi lahko vodilo do multifunkcijskih naprav in logičnih vezij.
		ANG	By engineering of an electronic structure in a semiconducting film by blending two molecular components, a photocromic diarylethene derivative and a polyhexylthiophene matrix, we attained phototunable and bistable energy levels for the hole transport in the matrix. As a proof-of-concept we exploited this blend as a semiconducting material in organic thin-film transistors. The device illumination at defined wavelengths enabled reversible tuning of the diarylethene's electronic states in the blend, which resulted in modulation of the output current. This modular blending approach allows for the convenient incorporation of various molecular components, which opens up perspectives on multifunctional devices and logic circuits.

	Objavljeno v		Nature Publishing Group; Nature chemistry; 2012; Vol. 4, no. 8; str. 675-679; Impact Factor: 21.757;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 3.175; A'': 1; A': 1; WoS: DY; Avtorji / Authors: Orgiu Emanuele, Pavlica Egon, Bratina Gvido
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
5.	COBISS ID		28925145Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Mikropretočna difuzijska komora za reverzibilne spremembe okolja okoli ohlapnih lipidnih vesiklov
		ANG	A microfluidic diffusion chamber for reversible environmental changes around flaccid lipid vesicles
	Opis	SLO	Razvili smo novo eksperimentalno metodo za študij ohlapnih lipidnih membran. Metoda temelji na mikropretočni difuzijski komori, v kateri lahko različnim biološkim vzorcem hitro in kontrolirano menjamo okolje le s pomočjo difuzije in brez hidrodinamskih tokov. Difuzijsko komoro smo uspešno uporabili za analizo orjaških lipidnih vesiklov, ki so eden glavnih modelnih sistemov za preučevanje bioloških membranskih procesov. Pokazali smo, da je z difuzijsko komoro mogoče kontrolirano zamenjevati raztopino okoli membranskih nanocerk, ki smo jih izvlekli iz orjaških lipidnih vesiklov s pomočjo laserske pincete.
		ANG	We developed a novel experimental method for the study of flaccid lipid membranes. The method is based on a microfluidic diffusion chamber which allows for a rapid and controlled exchange of chemical environment around biological samples solely by means of diffusion in the absence of hydrodynamic flow. We demonstrated a controlled solution exchange around membrane nanotubes pulled out of giant lipid vesicles by optical tweezers.
	Objavljeno v		Royal Society of Chemistry; Lab on a chip; 2011; Vol. 11, issue 24; str. 4200-4206; Impact Factor: 5.670;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 3.001; A': 1; WoS: CO, DY, NS; Avtorji / Authors: Vrhovec Saša, Mally Mojca, Kavčič Blaž, Derganc Jure
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek	

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati programske skupine

Družbeno-ekonomski dosežek			
1.	COBISS ID		2702868 Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO	Uredniško delo
		ANG	Editorial work
	Opis	SLO	Člani programa so zelo dejavni kot uredniki, člani uredniških odborov in recenzenti mednarodnih in domačih znanstvenih revij. R. Podgornik je glavni in odgovorni sourednik revije Journal of Biological Physics, ki jo izdaja založba Springer. P. Zihelr je bil gostujoči sourednik posebne številke revije Mol. Cryst. Liq. Cryst., R. Podgornik je bil sourednik posebne številke J. Biol. Phys. z naslovom "Special issue on physical virology"; M. Brumen, M. Čepič, M. Marhl in P. Zihelr pa so člani uredniških odborov mednarodnih revij ISRN Biomathematics, European Journal of Physics in The Scientific World Journal, Biosystems in PMC Biophysics oziroma Physical Review E. M. Brumen, M. Čepič in M. Marhl so člani uredniških odborov nacionalnih revij Proteus, Presek oziroma Fizika v šoli in Revija za elementarno izobraževanje. R. Podgornik in J. Dobnikar sta bila sourednika zbornika "Electrostatics of Soft and Disordered Matter" (Pan Stanford Publishing, Singapore, 2014), P. Zihelr je bil sourednik zbornika "Physics of Complex

			Colloids" (Societa Italiana di Fisica, Bologna, 2013). Člani programa vsako leto recenzirajo več kot 100 rokopisov, poslanih v objavo v vrsto uglednih mednarodnih revij. K mednarodni prepoznavnosti programa je prispevalo tudi 90 predavanj na tujih univerzah in inštitutih ter več kot 50 vabljenih predavanj na mednarodnih konferencah, ki so jih imeli člani.	
		ANG	Members of the program are very active as editors, members of editorial boards and referees of both international and national scientific journals. R. Podgornik is co-editor in chief of Journal of Biological Physics published by Springer. P. Ziherl was a guest co-editor of a special issue of Mol. Cryst. Liq. Cryst. R. Podgornik was co-editor of special issue of J. Biol. Phys. entitled "Special issue on physical virology"; M. Brumen, M. Čepič, M. Marhl, and P. Ziherl are members of editorial boards of international journals ISRN Biomathematics, European Journal of Physics and The Scientific World, Biosystems and PMC Biophysics, and Physical Review E, respectively. M. Brumen, M. Marhl, and M. Čepič are members of editorial boards of national journals Proteus, Presek, and Fizika v šoli and Revija za elementarno izobraževanje, respectively. R. Podgornik and J. Dobnikar co-edited the proceedings "Electrostatics of Soft and Disordered Matter" (Pan Stanford Publishing, Singapore, 2014) and P. Ziherl coedited the proceedings "Physics of Complex Colloids" (Societa Italiana di Fisica, Bologna, 2013). Each year, members of the program review well over 100 manuscripts submitted to a host of established international journals. The international impact of our work is partly due to 90 lectures at universities and institutes abroad as well as more than 50 invited lectures at international conferences given by the members of the program.	
		Šifra	C.04	Uredništvo mednarodne revije
		Objavljeno v	http://www.springer.com/physics/biophysics+%26+biological+physics/journal/10867	
		Tipologija	4.00	Sekundarno avtorstvo
2.	COBISS ID			Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO	Organizacija znanstvenih srečanj	
		ANG	Organization of scientific meetings	
	Opis	SLO	V preteklih 6 letih so člani programa soorganizirali kopico mednarodnih in domačih znanstvenih srečanj. Največja dogodka te vrste sta 11th European Conference on Liquid Crystals (Maribor, 6.-11. februar 2011) in konferenca Physics of Complex Colloids (Ljubljana, 14.-18. maj 2013), ki sta v Slovenijo pripeljala najuglednejše raziskovalce s področja tekočih kristalov oziroma koloidov iz vsega sveta. Nadalje so pripravili konferenco Confined Liquid Crystals: Landmarks and Perspectives (Ljubljana, 19.-20. julij 2010), delavnice Christmas Biophysics Workshop (Ptuj, 10.-11. december 2010; Dobrna, 16.-17. december 2013), Mechanics of Tissues (Ljubljana, 29.-30. oktober 2012) in Graphene Workshop (Ajdovščina, 8.-11. april 2013). Soorganizirali so delavnico Physical Virology (Trst, 24.-28. september 2012), dve delavnici pod okriljem CECAM (Emergent Dynamics in Driven Colloids; Lausanne, 26.-28. april 2012; New Challenges in Electrostatics of Soft and Disordered Matter; Toulouse, 7.-10. maj 2012) in konferenco Physics of Cells From Soft to Living Matter (Hyères, 5.-9. september 2012). Pripravili so poletni šoli Physics of Complex Colloids (Varenna, 3.-13. julij 2012) in Physics in Ljubljana (Ljubljana, 17.-4. julij 2011) ter sodelovali pri organizaciji 13., 14. in 15. slovenskega srečanja o uporabi fizike (Bled 2009, Portorož 2011, Bled 2013). P. Ziherl je tudi koordinator sredinih kolokvijev na Institutu Jožef Stefan.	
			During the past 6-year period, members of the program co-organized many international and national scientific meetings. The biggest events held were the 11th European Conference on Liquid Crystals (Maribor, February 6-11	

		ANG	2011) and the conference Physics of Complex Colloids (Ljubljana, May 14-18 2013) which brought the most outstanding researchers in the fields of liquid crystals and colloids, respectively, from all over the World to Slovenia. They also organized: conference Confined Liquid Crystals: Landmarks and Perspectives (Ljubljana, July 19-20 2010), workshops Christmas Biophysics Workshops (Ptuj, December 10-11 2010; Dobrna, December 16-17 2013), Mechanics of Tissues (Ljubljana, October 29-30 2012), and Graphene Workshop (Ajdovščina, April 8-11 2013). They co-organized the Workshop on Physical Virology (Trieste, September 24-28 2012), two CECAM workshops (New Challenges in Electrostatics of Soft and Disordered Matter, Toulouse, May 7-10 2012; Emergent Dynamics in Driven Colloids, Lausanne, April 26- 8 2012), and the conference Physics of Cells From Soft to Living Matter (Hyères, September 5-9 2012). Members of the program were involved in the organization of summer schools Physics of Complex Colloids (Varenna, July 3-13 2012) and Physics in Ljubljana (Ljubljana, July 17-24 2011) as well as of the 13th, 14th and 15th Slovenian Meeting on Applied Physics (Bled 2009, Portorož 2011, Bled 2013). P. Ziherl coordinates the Wednesday Colloquia at the Jožef Stefan Institute.
	Šifra	B.01	Organizator znanstvenega srečanja
	Objavljeno v	www.comploids2013.si, http://eclc2011.fnm.uni-mb.si/	
	Tipologija	2.30	Zbornik strokovnih ali nerecenziranih znanstvenih prispevkov na konferenci
3.	COBISS ID	10395209	Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO	Pedagoško delo
		ANG	Educational activities
	Opis	SLO	Značilnost programa je izrazita vpetost v visokošolsko izobraževanje na vseh ravneh. Člani programa so nosilci več kot 50 predmetov na Univerzi v Ljubljani, Univerzi v Mariboru in Univerzi v Novi Gorici. Člani programa so kot gostujoči profesorji delovali na univerzah v ZDA, Veliki Britaniji in na Japonskem ter gostili več tujih študentov na izmenjavi. V preteklih 6 letih je pod mentorstvom članov doktorska dela izdelalo in ubranilo 17 študentov, obenem pa so bili mentorji tudi pri 6 znanstvenih magistrskih delih in skupaj pri 88 diplomskih delih na univerzitetnih študijih ter diplomskih delih na 1. in magistrskih delih na 2. bolonjski stopnji. R. Podgornik je soavtor novega visokošolskega učbenika o elektromagnetnem polju v slovenskem jeziku. M. Čepič je avtorica pedagoške znanstvene monografije v angleškem jeziku o poučevanju naravoslovnih vsebin preko izvajanja eksperimentov na tekočih kristalih, izdane pri tuji založbi, člani programa so soavtorji 4 univerzitetnih in 5 srednje- oz. osnovno- šolskih učbenikov ter kar 18 zapiskov predavanj in sorodnega učnega gradiva. Recenzirali so 20 osnovno- in srednje- šolskih ter 2 univerzitetna učbenika. Člani programa, posebej M. Čepič in N. Vaupotič, so dejavni tudi pri razvoju novih didaktičnih metod in vpeljavi sodobnih interdisciplinarnih vsebin v poučevanje fizike na vseh nivojih izobraževanja. V preteklih 6 letih so na to tematiko objavili 14 didaktičnih in 14 strokovnih člankov. M. Čepič in N. Vaupotič sta bili pobudnici pedagoške sekcije na 11th European Conference on Liquid Crystals. M. Čepič je bila nosilka 2 nacionalnih projektov, posvečenih vpeljavi interdisciplinarnih vsebin v poučevanje, ter članica 2 mednarodnih didaktičnih projektov znotraj 7. okvirnega programa Evropske unije. Del teh dejavnosti je potekal v sodelovanju s kolegi z Univerze v Pennsylvaniji v ZDA. Izpostavimo še delo M. Marhla in N. Vaupotič v okviru projekta Razvoj naravoslovnih kompetenc.
			One of the defining characteristics of the program is a strong higher education teaching component at all levels. Members of the program teach more than 50 courses at University of Ljubljana, University of Maribor, and University of Nova Gorica. Members of the program were visiting professors

		ANG	at universities in the USA, the UK and Japan, and they hosted several visiting students from abroad. During the past 6 years they supervised 17 PhD students, 6 Master of Science students as well as 88 University-, Bachelor-, and Master- Degree students in total. R. Podgornik is coauthor of a new university textbook on electromagnetic field in Slovenian language. M. Čepič is author of scientific textbook in English on methods of teaching Science through experimenting on liquid crystals, published by international publisher. Members of the program coauthored 4 university textbooks, 5 high-school and elementary-school textbooks as well as 18 lecture notes. They reviewed 20 high-school and elementary-school textbooks and 2 university text-books. Members of the program, especially M. Čepič and N. Vaupotič, also developed new didactic methods and approaches of teaching Physics and Science at all levels of education, published 14 didactic and 14 professional papers over the past 6-year period. M. Čepič and N. Vaupotič organized a pedagogical session at the 11th European Conference on Liquid Crystals. M. Čepič was PI in 2 national projects devoted to the introduction of interdisciplinary topics in the study process and a member of 2 international didactic projects within the 7th Framework Programme of the European Union. A part of these activities took place in collaboration with partners from the University of Pennsylvania, USA. Finally, M. Marhl and N. Vaupotič were engaged in the project Development of competences in sciences.
	Šifra	D.10	Pedagoško delo
	Objavljeno v	http://fnm.um.si/ ; http://www.fmf.uni-lj.si/si/ ; http://www.um.si/ ,	
	Tipologija	2.03	Univerzitetni, visokošolski ali višješolski učbenik z recenzijo
4.	COBISS ID		Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO	Vodstvene funkcije
		ANG	Management
	Opis	SLO	Ob raziskovalnem in pedagoškem delu opravlja znaten del članov programa različne vodstvene funkcije na nacionalni in na mednarodni ravni. M. Marhl je bil prorektor Univerze v Mariboru in G. Bratina je prorektor Univerze v Novi Gorici, N. Vaupotič je dekanja Fakultete za naravoslovje in matematiko Univerze v Mariboru. Na Univerzi v Ljubljani je B. Božič predstojnik Inštituta za biofiziko na Medicinski fakulteti, M. Čepič pa predstojnica Oddelka za fiziko na Pedagoški fakulteti. Na Univerzi v Mariboru je M. Brumen je predstojnik Katedre za biofiziko na Medicinski fakulteti in predstojnik Katedre za bioinformatiko Fakultete za zdravstvene vede, A. Fajmut pa je bil od v letih 2009-13 predstojnik Oddelka za fiziko na Fakulteti za naravoslovje in matematiko. Člani programa delujejo tudi v vrsti odborov in komisij na univerzah in inštitutih. Nadalje smo dejavni v okviru Društva biofizikov Slovenije; M. Brumen je predsednik društva. Na mednarodni ravni naj izpostavimo dejavnost znotraj Marie Curie Initial Training Network COMPLOIDS, kjer sta bila J. Dobnikar in P. Zihlerl namestnik koordinatorja oziroma koordinator izobraževalnih dejavnosti. P. Zihlerl je tudi član Steering Committee ESF Research Networking Programme QuanTissue.
			In addition to the research and teaching, several members of the program are engaged in various offices at national and at international level. M. Marhl was vice-rector of the University of Maribor and G. Bratina is vice-rector of the University of Nova Gorica, N. Vaupotič and G. Bratina are deans of Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Maribor and School of Applied Sciences, University of Nova Gorica, respectively. At the University of Ljubljana B. Božič is head of Institute of Biophysics at the Medical Faculty and M. Čepič is head of Department of Physics at the Faculty of Education. At the University of Maribor M. Brumen is head of Chair of Biophysics at the Faculty of Medicine as well as head of Chair of

		ANG	Bioinformatics at Faculty of Health Sciences, and A. Fajmut was head of Department of Physics at Faculty of Natural Sciences and Mathematics in years 2009-13. Members of the program are members of many committees at their universities and institutes. In addition, members of the program are active within the Slovenian Biophysical Society; M. Brumen is its president. At the international level, they were engaged in the management of the Marie Curie Initial Training Network COMPLOIDS where J. Dobnikar and P. Ziherl were deputy coordinator and coordinator of training activities, respectively. P. Ziherl is member of the Steering Committee of the ESF Research Networking Programme QuanTissue.	
	Šifra	D.08 Upravljanje in razvoj raziskovalnega dela		
	Objavljeno v	http://www.ung.si/sl/ouniverzi/vodstvo/ ; http://fnm.um.si/		
	Tipologija	4.00 Sekundarno avtorstvo		
5.	COBISS ID	5666586	Vir: vpis v poročilo	
	Naslov	SLO	Sodelovanje z industrijo in zdravstvom	
		ANG	Cooperation with industry and healthcare institutions	
	Opis	SLO	Člani programa sodelujejo s farmacevtsko družbo Lek d.d. pri raziskovanju medmolekulskih interakcij, ki so pomembne pri izdelavi bioloških zdravil. S podjetjem Aresis d.o.o. sodelujejo pri razvoju aplikacij optične pincete Tweez v bioznanostih. Z Univerzitetnim kliničnim centrom Ljubljana sodelujejo na področju raziskav patologij očesne leče, v raziskavah vloge omega-3 maščobnih kislin v parenteralni prehrani novorojenčkov ter pri raziskavah funkcije beta-2 glikoproteina I. Z nemškim podjetjem TalkingCells iz Wiesbadna sodelujejo pri razvoju neinvazivne diagnostične metode za določanje intolerance oseb na nesteroidne antirevmatike. Za Zavod za zdravstveno varstvo izvajajo analize delovnih obremenitev delavcev, zaposlenih v javnem zdravstvenem sistemu. N. Vaupotič je soavtorica pri patentu za merilni sistem za merjenje magnetnih momentov nanodelcev, vloženem na Poljskem, U. Jelerčič pa je soavtorica treh slovenskih patentov [SI 23182 (A), 2011-10-12; SI 23183 (A), 2011-04-29; SI 23184 (A), 2011-04-29) in enega evropskega patenta (EP2488546 (B1), 2014-12-31] s področja biotehnologije.	
		ANG	Members of the program have ongoing collaborations with several research teams in industry and clinical medicine. With Lek Pharmaceuticals, d.d., they collaborate on research of intermolecular interactions, relevant for industrial production of biopharmaceuticals. With Aresis d.o.o. they develop biological applications for Tweez optical tweezers. Members of the program were involved in three research projects with University Medical Centre Ljubljana: in the research of eye-lens pathology, in the analysis of the role of omega-3 fatty acids in parenteral nutrition for new-borns, and in the research of function of beta-2 glycoprotein I. Together with TalkingCells, Wiesbaden, Germany, they work on a new non-invasive method for assessment of hypersensitivity to nonsteroidal anti-inflammatory drugs. For the Health Insurance Institute of Slovenia they worked out the analyses of the skeleto-muscular working loads of employees in Slovenian health institutions. N. Vaupotič is co-author of a patent application in Poland, describing a device for measuring the magnetic dipole moment of nanoparticles, and U. Jelerčič is co-author of three Slovenian patents (SI 23182 (A), 2011-10-12; SI 23183 (A), 2011-04-29; SI 23184 (A), 2011-04-29) and one European patent (EP2488546 (B1), 2014-12-31) in the field of biotechnology.	
	Šifra	F.21 Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov		
	Objavljeno v	http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=EP&NR=2488546&KC=B1&locale=en_EP		

Tipologija	2.23 Patentna prijava
------------	-----------------------

8. Drugi pomembni rezultati programske skupine²

Med druge pomembne rezultate programske skupine lahko štejemo številne univerzitetne in fakultetne nagrade, ki so jih za svoje delo prejeli nekateri člani programa v zadnjih 6 letih (P. Ziherl Zlato plaketo Univerze v Ljubljani, M. Brumen in A. Fajmut Srebrni znak Univerze v Mariboru, J. Derganc Lavričevo priznanje Medicinske fakultete Univerze v Ljubljani in M. Brumen Zlato plaketo Fakultete za zdravstvene vede Univerze v Mariboru) za izredne uspehe, dosežke in zasluge pri znanstvenoraziskovalnem, strokovnem in pedagoškem delu, ki je pomembno prispevalo k celovitemu razvoju in ugledu univerz ter njenih članic. Člani programa poleg izjemno uspešnega dela na raziskovalnih in pedagoških področjih izrazito prispevajo tudi k popularizaciji fizike in ostalih naravoslovnih znanosti. Nastopili so v več televizijskih oddajah na nacionalni televiziji (M. Čepič, N. Vaupotič, R. Podgornik, P. Ziherl, G. Bratina, B. Žekš), so aktivni soustvarjalci vsebin v okviru evropskega projekta za popularizacijo raziskovanja »Noč raziskovalcev« (N. Vaupotič, A. Fajmut), objavljajo poljudnoznanstvene prispevke in intervjuje v nacionalnem (Večer, Delo, 7dni, Naša žena...; B. Žekš, M. Čepič, N. Vaupotič, M. Marhl, P. Ziherl, A. Fajmut) in v mednarodnem dnevnem časopisu (Financial Times, New Scientist; R. Podgornik, U. Tkalec). Prav tako so avtorji številnih strokovnih in poljudnoznanstvenih člankov v revijah, kot so Presek (M. Čepič), Proteus (N. Vaupotič), Fizika v šoli (M. Čepič), Kemija v šoli (M. Čepič) in na spletnih portalih, kot je Kvarkadabra (J. Derganc, U. Tkalec). Kot izjemni dosežek na področju odmevnosti uspehov znanstvenih raziskav R. Podgornika in sodelavcev v svetu pa lahko štejemo objave agencij, ki spremljajo najbolj odmevna znanstvena odkritja po svetu (ScienceDaily, Scikon, E-scienceNews idr.), o njihovih dosežkih. Te dosežke so izpostavile že same znanstvene revije na naslovnica, v posebnih izdajah in v uvodnih predstavitvah posameznih števil.

9. Pomen raziskovalnih rezultatov programske skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti²

SLO

Program P1-0055 Biofizika polimerov, membran, gelov, koloidov in celic je raziskovalni program s področja biofizike, ki je kot del znanosti o življenju in znanosti o novih materialih ena izmed najhitreje razvijajočih se ved. Obsežna bibliografija in močna vpetost v različne formalne in neformalne mednarodne povezave pričata o aktivni udeležbi članov programske skupine pri razvoju znanosti na svojih področjih. O kvalitetnem delu programske skupine v obdobju 2009-2014 priča 248 objavljenih izvirnih znanstvenih člankov, več kot 150 vabljenih predavanj na mednarodnih konferencah in univerzah, organizacija 3 mednarodnih znanstvenih srečanj ter več kot 500 recenzij člankov, poslanih v mednarodne znanstvene revije. Najvišja kvaliteta znanstvenega dela programa P1-0055 se zrcali v 2 preglednih člankih v ugledni znanstveni reviji Reviews of Modern Physics in v članku v reviji Nature.

Ena od značilnosti programa je njegova širina in sodelovanje raziskovalcev z različnih področji, kar omogoča aplikacijo kvantitativnih fizikalnih metod na širokem spektru kompleksnih bioloških sistemov in novih materialov. Aktivnosti članov programske skupine tako potekajo na več področjih. Na področju medmolekulskih interakcij smo med drugim raziskovali elektrodinamične in elektrostatične interakcije predvsem za valjasto in planarno geometrijo, ki sta npr. pomembni za interakcije nanocevk, proteinov in DNK, in ki obvladujejo organizacijo majhnih objektov na oddaljenostih, večjih od dolžine medatomskih vezi. S stališča teh osnovnih sil smo opisali sisteme, na katerih lahko te sile preučujemo in moduliramo. Podali smo pregled sistemov, za katere so te sile z nanometerske skale pomembne v praksi. Pregled je razkril možnosti za nove naprave in materiale in hkrati nakazal, kako bi lahko izboljšali njihovo izdelavo.

Na področju tekočih kristalov in koloidov smo raziskovali različne vidike tekočih kristalov, npr. kristale s kompleksnimi modulacijami kot so antiferoelektrični tekoči kristali. To so snovi, v katerih se v relativno ozkem temperaturnem območju lahko pojavi do 5 različnih faz, v katerih so podolgovate molekule urejene v plasti in nagnjene glede na normalo na plast. Faze se

razlikujejo po načinih modulacije nagibov, kar določa njihove makroskopske lastnosti. Obnašanje tekočih kristalov dandanes teoretično razumemo že do te stopnje, da lahko iz fenomenološko opisanih interakcij razložimo pojavnost različnih struktur. Eksperimentalne in teoretične raziskave superparamagnetnih koloidnih delcev v magnetnem polju so privedle do odkritja njihovega samourejanja v robustno koloidno membrano.

Na področju teoretične biofizike membran, virusov, celic in tkiv smo raziskovali stabilnost in pakiranje v virusnih kapsidah ter analizirali poligonalna pokritja ravnine, ki so relevantna za biološka tkiva. Modelirali smo mehanizme krčenja gladkih mišičnih celic dihalnih poti in njimi pojasnjevali pojav več patoloških stanj. Z metodami kompleksnih mrež smo raziskovali medcelične komunikacije v trebušni slinavki. Na področju eksperimentalne biofizike membran, celic in biosenzorjev smo raziskovali več vidikov organskih sončnih celic in dokazali vlogo nanografenskih delcev, kot pospeševalcev transporta naboja v polimerih. Razvili smo mikropretočno komoro in naredili prvi korak h gojenju celic trebušne slinavke. Analizirali smo vpliv amfitropičnih proteinov na fosfolipidno membrano. Razvili smo nove pristope k biofizikalni obravnavi živalskih celic ter prispevali k razumevanju vloge citoskeleta in organizacije membrane pri mehanskih lastnostih celic in podali kritično analizo standardnih metod odlepljanja celic v celični biologiji.

ANG

The program P1-0055 "Biophysics of polymers, membranes, gels, colloids, and cells" is a research program in the field of biophysics. The latter is recognized as one of the fastest developing scientific disciplines worldwide. Active participation of the members of the program in the development of science is reflected in their extensive bibliography and deep involvement in various formal and informal international networks. In addition to 248 original scientific papers, 150 invited lectures, organization of 3 international scientific meetings, more than 500 peer-reviews in scientific journals, the quality of the work of the program team within the period 2009-2014 is reflected in 2 review articles in a prestigious scientific journal *Reviews of Modern Physics* and in an original scientific paper in the journal *Nature*.

One of the qualities of the program is participation of researchers from different fields, which allows the application of quantitative physical methods to a wide range of complex biological systems and new materials. Activities of the program members focus to a number of areas. In the field of intermolecular interactions we studied electrodynamic and electrostatic interactions for cylindrical and planar geometry that dominate the organization of small objects at separations beyond an interatomic bond length and are particularly important for the interaction of proteins, nanotubes and DNA. From this basic-forces perspective, a large number of systems were described from which one can learn about organizing forces and how to modulate them. Many practical systems that harness these nanoscale forces were then surveyed. The survey reveals not only the promise of new devices and materials but also the possibility of their efficient design.

In the field of liquid crystals and colloids, we studied various aspects of liquid crystals, e.g. of those with complex modulations, such as antiferroelectric liquid crystals. These are materials in which up to 5 different phases appear within a relatively narrow temperature range. Elongated molecules are organized in layers and they are tilted with respect to the layer normal in all phases. The phases differ in the complexity of the tilt modulation, which determines the macroscopic properties of phases. Starting from phenomenologically described intermolecular interactions we are today able to understand how they influence the structure of phases and their stability. Our experimental and theoretical studies of superparamagnetic colloidal particles in magnetic fields led to a discovery of self-assembled colloidal sheets.

In the field of biophysics of membranes, viruses, cells and tissues, we studied the stability and packing of the viral capsid and analyzed natural random planar tiling, which is relevant for various biological tissues. We modelled mechanisms of airway smooth muscle contraction and gave explanation to various pathologies. With methods of complex networks analyses we investigated intercellular communications in pancreas. Within the field of experimental biophysics of membranes, cells and biosensors we studied multiple aspects of organic solar cells and demonstrated the role of nanographene as a charge transport enhancer in polymers. We designed microfluidic diffusion chamber and made the first step towards culturing pancreatic

cells. We analyzed the influence of amphitropic proteins on phospholipid membranes and gave a critical analysis of the standard cell detachment procedures in cell biology.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Program P1-0055 Biofizika polimerov, membran, gelov, koloidov in celic je največji nacionalni raziskovalni program s področja biofizike. Člani programske skupine s svojim delom in močno mednarodno vpetostjo zagotavljamo, da je Slovenija v stalnem stiku z znanstvenim napredkom na tem področju, kar je za razvoj Slovenije kot družbe znanja vitalnega pomena. Program ima vsedržavni značaj, saj združuje raziskovalce z Instituta Jožef Stefan, Univerze v Ljubljani, Univerze v Mariboru in Univerze v Novi Gorici. Taka struktura programa omogoča širok pretok idej in hkrati prispeva k hitrejšemu policentričnemu napredku znanosti in visokega šolstva v Sloveniji, kar je del skladnega regionalnega razvoja države.

Čeprav je program pretežno temeljne narave, prenaša preko formalnih in neformalnih sodelovanj znanje in najnovejše metode tudi neposredno v industrijo in zdravstvo. Tako smo v raziskavah po eni strani sodelovali z vodjo raziskav in razvoja v enem izmed najprodornejših slovenskih visokotehnoloških podjetij Pipistrel d.o.o. in s farmacevtsko družbo Lek d.o.o., po drugi strani pa imamo tudi redna sodelovanja z zdravniški kliniki, s čimer prispevamo k razvoju slovenskega zdravstvenega sistema. Kvalitetno delo programa se kaže tudi v takojšnji zaposljivosti bivših sodelavcev programa.

Pomemben in neločljiv vidik delovanja programa P1-0055 je sodelovanje v vodenju in v pedagoškem procesu na univerzah v Ljubljani, Mariboru in Novi Gorici. S kvalitetnim raziskovalnim delom predstavljamo trdni temelj več visokošolskih študijev povezanih z biofiziko. Člani programa so nosilci 50 študijskih predmetov na vseh stopnjah univerzitetnega izobraževanja. V obdobju 2009-2014 je več članov programa opravljalo pomembne vodstvene naloge na univerzah: Marko Marhl je bil prorektor Univerze v Mariboru za mednarodno in meduniverzitetno sodelovanje, Gvido Bratina je prorektor za znanost Univerze v Novi Gorici in vodja Laboratorija za Fiziko organskih snovi. Nataša Vaupotič je dekanica Fakultete za naravoslovje in matematiko Univerze v Mariboru. Na Univerzi v Ljubljani je Bojan Božič predstojnik Inštituta za biofiziko Medicinske fakultete, Mojca Čepič pa predstojnica oddelka za fiziko in tehniko na Pedagoški fakulteti. Na Univerzi v Mariboru je Milan Brumen predstojnik Katedre za biofiziko na Medicinski fakulteti in Katedre za bioinformatiko na Fakulteti za zdravstvene vede, Aleš Fajmut pa je bil do 2014 predstojnik Oddelka za fiziko na Fakulteti za naravoslovje in matematiko.

Pedagoško delo članov programske skupine ne obsega le predavanj na sodelujočih univerzah, temveč tudi delo z mladimi raziskovalci. Program nudi vrhunsko okolje za njihovo izobraževanje in osebni strokovni razvoj, pri čemer igra zelo pomembno vlogo vsestranskost raziskovalnih interesov članov skupine in njihova komplementarnost. V obdobju 2009-2014 je izobraževanje z doktorati znanosti pod mentorstvom članov programa zaključilo 10 mladih raziskovalcev in 7 doktorskih študentov. To dokazuje, da je raziskovalni program pomembno, nemara celo ključno okolje za vzgojo strokovnjakov s področja biofizike in fizike mehke snovi v Sloveniji.

Člani programske skupine odgovorno sodelujemo v vseh družbenih sferah. Zavedamo se pomena predstavljanja najnovejših znanstvenih dosežkov širši javnosti. Podali smo številne intervjuje za tiskane medije ter radio in televizijo, pripravili več kot 50 poljudnih prispevkov za različne tiskane medije in trikrat sodelovali pri oddaji Ugriznimo znanost na nacionalni televiziji. Naposled je pomen programa P1-0055 za razvoj Slovenije tudi v našem prispevku k mednarodnemu ugledu države na znanstvenem področju. Ta se kaže skozi članke, vabljeni predavanja na konferencah in univerzah po svetu, formalno in neformalno sodelovanje z raziskovalci iz tujine, preko sodelovanja pri urejanju mednarodnih znanstvenih revij in recenziranju rokopisov ter na mnoge druge načine.

ANG

The program P1-0055 "Biophysics of polymers, membranes, gels, colloids, and cells" is the largest national research program in the field of biophysics. The work of the members of the program and their active international cooperation ensure that Slovenia is in close contact with

state-of-the-art science in this field, which is of vital importance for the development of Slovenia as a knowledge-based society. The program has a nationwide character, combining researchers from the Jožef Stefan Institute, University of Ljubljana, University of Maribor and University of Nova Gorica. Such structure allows effective flow of ideas and also fosters a polycentric progress of science and higher education in Slovenia, which is in accordance with the intention towards balanced regional development.

Although the program is primarily a basic research program, the expertise of its members and the latest research methods are transferred through formal and informal collaborations into industry and healthcare. In particular, we collaborated with the Head of R&D of one of the most successful Slovenian high-tech companies Pipistrel Ltd. as well as with Lek Pharmaceuticals Ltd. Through regular collaborations with clinicians we contribute to the development of the Slovenian health care system. The quality of the work of the program members is reflected also through immediate employability of former coworkers of the program.

An important and integral aspect of the program P1-0055 is not only engagement of its members in research but also in teaching and managing. They teach more than 50 courses at University of Ljubljana, University of Maribor, and University of Nova Gorica. M. Marhl was vice-rector of the University of Maribor and G. Bratina is vice-rector of the University of Nova Gorica. N. Vaupotič and G. Bratina are deans of Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Maribor and School of Applied Sciences, University of Nova Gorica, respectively. At the University of Ljubljana B. Božič is head of Institute of Biophysics at Medical Faculty and M. Čepič is head of Department of Physics at Faculty of Education. At the University of Maribor M. Brumen is head of Chair of Biophysics at Faculty of Medicine as well as head of Chair of Bioinformatics at Faculty of Health Sciences, and A. Fajmut was head of Department of Physics at Faculty of Natural Sciences and Mathematics until 2014.

Pedagogical work of the members does not include only the lectures at the participating universities but also working with young researchers. With multifaceted and complementary research interests of the members of the group, the program provides an excellent environment for students' education and their personal professional growth. During the past 6 years 10 young researchers and 7 PhD students have completed training with PhD under the supervision of program members. This proves that the research program is important, perhaps even a key setting for the education of specialists in the field of biophysics and soft-matter physics in Slovenia.

Program team members are responsible members of the society. We recognize the importance of presenting the latest scientific advances to the general public. We have prepared more than 50 popular science contributions for various media and participated three times in the TV show »LET'S BITE SCIENCE« on the national television. Finally, the importance of the P1-0055 program for Slovenia's development is in our contribution to the international reputation of Slovenia in science. This is demonstrated through published papers, invited lectures at conferences and universities around the world, formal and informal cooperation with researchers from abroad, engagement in editorial boards of international scientific journals, manuscripts reviewing and in many other ways.

10. Zaključna 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	13
bolonjski program - II. stopnja	5
univerzitetni (stari) program	70

10.2. Magisterij znanosti in doktorat znanosti¹³

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	MR	
33372	Matjaž Ličer	☐	☒	☐	
25603	Andraž Petrović	☐	☒	☒	
25473	Primož Rebernik Ribič	☐	☒	☒	
27573	Jasna Prebil	☐	☒	☒	
26456	Matej Kanduč	☐	☒	☒	
28405	Marko Gosak	☐	☒	☒	
28552	Katarina Susman	☐	☒	☒	
26447	Andrej Dobovišek	☐	☒	☐	
29527	Ana Hočevar Brezavšček	☐	☒	☒	
29708	Jerneja Pavlin	☐	☒	☐	
30982	Saša Ziherl	☐	☒	☒	
32154	Anže Lošdorfer Božič	☐	☒	☒	
35620	Vida Kariž	☐	☒	☐	
33819	Vitomir Babič	☒	☐	☐	
12425	MAJA JUG	☒	☐	☐	
0	Borut Krajnc	☒	☐	☐	
0	Metka Paulič	☒	☐	☐	
0	Robert Dimec	☒	☐	☐	
33365	Srinivasa Rao Pathipati	☐	☒	☐	
33752	Manisha Manisha	☐	☒	☐	
0	Giannis Georgiou	☐	☒	☐	
33183	Tjaša Švelc Kebe	☐	☒	☒	
0	Tine Curk	☒	☐	☐	

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	
30982	Saša Ziherl	☐	☒	A - raziskovalni zavodi	
32154	Anže Lošdorfer Božič	☐	☒	E - Tujina	
29527	Ana Hočevar Brezavšček	☐	☒	E - Tujina	
26456	Matej Kanduč	☐	☒	E - Tujina	
25603	Andraž Petrović	☐	☒	C - Gospodarstvo	
25473	Primož Rebernik Ribič	☐	☒	E - Tujina	
28552	Katarina Susman	☐	☒	A - raziskovalni zavodi	
28405	Marko Gosak	☐	☒	A - raziskovalni zavodi	

27573	Jasna Prebil			D - Javni zavod	
33183	Tjaša Švelc Kebe			A - raziskovalni zavodi	

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	
33694	Dejan Arzenšek	A - raziskovalec/strokovnjak	12	
0	Nataša Antić	C - študent – doktorand	24	
0	Takehiro Jimbo	C - študent – doktorand	1	
0	Antonio Šiber	B - uveljavljeni raziskovalec	6	
0	Wiktor Lewandovski	A - raziskovalec/strokovnjak	1	
0	Hideo Takezoe	B - uveljavljeni raziskovalec	3	
0	Ai Sakashita	C - študent – doktorand	6	

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

FP6-NMP3-CT-2005 013862 INCEMS Interfacial Materials Computational and Experimental MultiScale Studies (2006-2009, R. Podgornik)

FP7-NMP-2007 212311 ONE-P Organic Nanomaterials for Electronics and Photonics (2009-2011, G. Bratina)

FP7-SiS-2009 291446 FIBONACCI Disseminating Inquiry Based Science and Mathematics Education in Europe (2010-2013, M. Čepič)

FP7-SiS-2013 321278 Chain reaction: A Sustainable Approach to Inquiry Based Science Education (2013-2016, M. Čepič)

FP7-PEOPLE-ITN-2008 234810 COMPOIDS Physics of Complex Colloids (2009-2013, P. Ziherl)

FP7-REGPOT-2011-1 SUNGREEN Strengthening University of Nova Gorica Research Potential in Environmental Sciences and Novel Nanomaterials (G. Bratina)

ESF EUROCORES GOSPEL Graphene-Organic SuPramolEcular functionaL composites

(G. Bratina)

ESF RNP QuanTissue Quantitative Models of Cellular and Developmental Biology (2011- 2016, P. Ziherl)

Projekt Norveškega finančnega mehanizma: SI0039 "Naravoslovni izobraževalni center za trajnostni razvoj," šifra: (SI0039GAN-00087-E-V1-Norwegian FM) (2008-2011), Fakulteta za naravoslovje in matematiko Univerze v Mariboru; vodja Nataša Vaupotič, sodelujoči A. Fajmut

TEAM projekt - Samosestavljanje funkcionaliziranih anorgansko-organskih tekočerkristalnih hibridov za multifunkcionalne nanomateriale (Polish Foundation of Science; N. Vaupotič)

Bilateralni projekt BI-PL/08-09-015 "Prostorsko modulirane faze v novih mezogenih materialih" (Fakulteta za naravoslovje in matematiko Univerze v Mariboru in Oddelek za kemijo, Univerza v Varšavi), nosilka v RS Nataša Vaupotič

Bilateralni projekt BI-FR/08-09-PROTEUS-012 "Koloidni molekularni kristali" (Institut Jožef Stefan in Université de ParisSud, Orsay), nosilec v RS Jure Dobnikar

Bilateralni projekt BI-AT/09-10-007 "Samoorganiziranost v fiziki mehke snovi" (Institut Jožef Stefan in Technische Universität Wien), nosilec v RS Primož Ziherl

Bilateralni projekt BI-HR/09-10-045 "Uporaba principa maksimalne produkcije v bioloških sistemih" (Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Univerza v Mariboru in Prirodoslovna fakulteta, Univerza v Splitu), nosilec v RS Milan Brumen

Bilateralni projekt BI-RO/0910010 "Optoelektronske lastnosti organskih sončnih celic tretje generacije, ki temeljijo na konjugiranih polimerih" (Fakulteta za aplikativno naravoslovje, Univerza v Novi Gorici in Univerza v Bukarešti), nosilec v RS Gvido Bratina

Bilateralni projekt BI-FR/09-10-PROTEUS-001 "Patofiziološka vloga medcelične sklopitve v gladkih mišicah dihalnih poti in pljučnih arterij" (Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Univerza v Mariboru in Université Victor Segalen Bordeaux II), nosilec v RS Marko Marhl

Bilateralni slovensko-izraelski projekt 100007380011 "Osmotsko občutljivi DNA-lipidni kompleksi" (Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani in Faculty of Science, Hebrew University), nosilec v RS Rudolf Podgornik

Bilateralni projekt BI-HR/10-11-010 "Adhezija liposomov na elektrodo" (Institut Rudjer Bošković in IJS), nosilec v RS Primož Ziherl

Bilateralni projekt BI-PL/10-11-010 "Tekočerkristalne faze s kovinskimi nanodelci" (Fakulteta za naravoslovje in matematiko Univerze v Mariboru in Oddelek za kemijo, Univerza v Varšavi), nosilka v RS Nataša Vaupotič

Bilateralni projekt BI-US/13-14-038 "Vpliv membranskega skeleta na elastične lastnosti membrane eritrocita" (Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani in University of Rochester, School of medicine and dentistry), nosilec v RS Saša Svetina

Bilateralni slovensko-avstrijski projekt N1-0019 "Modulacija med- in znotrajmembranske sklopitve lipidnih dvoslojev preko vodne faze" (Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani in University of Graz), nosilec v RS Rudolf Podgornik.

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

SLO

ESS Projekt: Razvoj naravoslovnih kompetenc (2008 – 2012), operacija OP 13.2.3.1.12.0001, Fakulteta za naravoslovje in matematiko Univerze v Mariboru (koordinatorica) (N. Vaupotič, M. Marhl, A. Fajmut)

Center za odprte inovacije in raziskave UM (CORE@UM)« (št. 430/44/2012/86), financiranje 2013-2015 (M. Marhl, M. Gosak)

Sodelovanje družbe Lek, d.d., in Fakultete za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani; številke pogodb BIO 9/2011, BIO 3/2012, BIO 4/2014 (R. Podgornik)

Sodelovanje družbe Lek, d.d., in Medicinske fakultete, Univerza v Ljubljani; št. pogodbe BIO 5/2012 (J. Derganc)

Sodelovanje Medicinske fakultete Univerze v Ljubljani s Kliničnim oddelkom za otroško kirurgijo in intenzivno terapijo UKC Ljubljana pri terciarnem razvojnem projektu »Vpliv maščobnih kislin na morfologijo rdečih krvnih celic« (št. projekta 20110272) (J. Derganc in S. Svetina)

Sodelovanje Fakultete za naravoslovje in matematiko Univerze v Mariboru s podjetjem TalkingCells iz Wiesbadna, Nemčija pri razvoju diagnostične metode (2013-) (M. Brumen, A. Fajmut)

Projekt »Funkcionalna ergonomija in razbremenitev delavcev, zaposlenih v javnem zdravstvenem sistemu«, financiran s strani Zavoda za zdravstveno zavarovanje Slovenije (ZZZS) v času 2013-2014 na Fakulteti za zdravstvene vede Univerze v Mariboru (M. Brumen, A. Fajmut)

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

Člani programa aktivno sodelujemo na različnih aplikativnih projektih v zdravstvu, gospodarstvu in šolstvu. Glavni vpliv programa je v zagotavljanju temeljnega znanja in stika s sodobno tehnologijo, zato je njegov vpliv na konkretne izdelke težko merljiv. Kljub temu so bili izsledki raziskav sodelavcev s Fakultete za naravoslovje in matematiko Univerze v Mariboru (M. Brumen, A. Fajmut) na področju z aspirinom inducirane astme uporabljeni za razvoj novih neinvazivnih metabolosko baziranih metod za diagnosticiranje hipersenzitivnosti na nesteroidne antirevmatike pri astmatičnih bolnikih, ki jih razvija podjetje TalkingCells iz Wiesbadna v sodelovanju z Laboratorijem za alergologijo in intolerance, Univerzitetne klinike Nürnberg-Erlangen. Prav tako imajo raziskave, ki jih na koloidnih interakcijah med monoklonalnimi protitelesi opravlja mladi raziskovalec iz gospodarstva Dejan Arzenšek, potencial pri praktični tehnološki uporabi. Njihova tehnološka zrelost bo ocenjena s strani podjetja Lek farmacevtska družba d.d., kjer raziskave tudi potekajo. Stanje izdelave grafensko-polimernih mešanic je sicer še na nivoju laboratorijskih količin, a s primernimi sredstvi bi lahko kupili večje količine izvornih materialov in začeli poizkuse na področju tiskanja mešanic na večjih površinah, kar bi bilo potencialno uporabno za izdelavo večje količine organskih tranzistorjev. Velik potencial za prihodnje aplikacije na področjih miniaturnih senzorjev, strukturiranja tankih plasti in fotovoltaike predstavljajo tudi izsledki simulacij o samourejanju nanodelcev v tankih polimernih plasteh, pri čemer je moč z zunanji silami vplivati na morfologijo nastalih vzorcev.

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	☐ DA ☒ NE
potrebni finančni vložek	EUR
ocena potrebne infrastrukture in opreme ⁴⁸	

17. Izjemni dosežek v letu 2014⁴⁹**17.1. Izjemni znanstveni dosežek**

P. Ziherl je v soavtorstvu še dveh avtorjev v l. 2014 objavil vrhunski prispevek v reviji Nature [COBISS.SI-ID 27499815], ki se uvršča na prvo mesto revij s področja interdisciplinarnih znanosti in ima faktor vpliva 42 v 2013. V članku z naslovom "Mozaični kvazikristali z dvema značilnima dolžinama" so avtorji predstavili izsledke teoretične študije mehanizma tvorbe kvazikristalov v polimernih in sorodnih nanokoloidnih sistemih. Proučili so sistem dvodimenzionalnih trdih diskov s stopničastim odbojem, ki ustrezajo npr. mehkeemu alkilnemu ovoju okoli aromatskega jedra dendritičnih micel. Odkrili so družino kvazikristalov z 10-, 12-, 18- in 24- števnim orientacijskim redom, ki sestojijo iz mozaika enakostraničnih in enakokrakih trikotnikov, v katerih se dotikajo bodisi trde sredice bodisi stopničasti mehki ovoji bližnjih delcev. Večina opaženih faz je novih. Avtorji so predstavili teorijo, v kateri te kvazikristale obravnavajo kot tlakovanje ter pojasnijo njihovo strukturo in stabilnost.

17.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

Kot izjemni družbeno-ekonomski dosežek v letu 2014 lahko štejemo veliko medijsko odmevnost treh znanstvenih dosežkov vodje programa R. Podgornika in sodelavcev ([COBISS.SI-ID 2604388], [COBISS.SI-ID 2747492], [COBISS.SI-ID 2775396]) v tujih medijih, kar je poneslo izjemno dober glas o izsledkih slovenskih znanstvenikov po svetu. Izsledke dveh člankov so povzele številne agencije (ScienceDaily, Scikon, E-scienceNews idr.), ki spremljajo vsa največja znanstvena odkritja po svetu, Financial Times in Journal of Chemical Physics sta objavila intervju z R. Podgornikom, American Institute of Physics (AIP) pa je pripravil posebno sporočilo za javnost "Disorder+Disorder=More Disorder?", ki so ga povzele agencije. Vsi znanstveni dosežki so bili s strani revij, v katerih so bili objavljeni, izpostavljeni kot izjemni znanstveni dosežki. Dva sta bila na naslovnica, eden je bil t.i. "Editors' Choice" in del "Spotlight Collections" v posebni izdaji, drugi pa je bil izpostavljen kot "New & Notable".

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"

Rudolf Podgornik

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana

12.3.2015

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/97

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 priponko/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitve 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

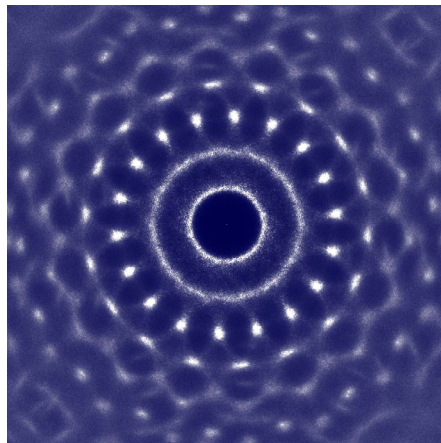
36-DE-10-C3-55-0F-C2-CA-59-A3-EB-F8-42-4F-A5-A8-FE-E6-04-9D

Priloga 1

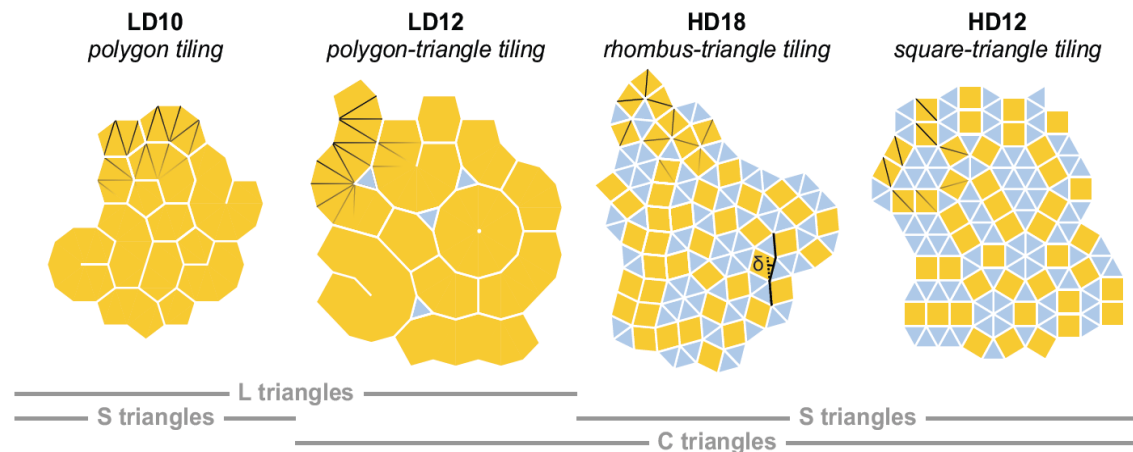
Področje: 1.02-Fizika

Dosežek: Mozaični kvazikristali

Delo, objavljeno v reviji Nature, obravnava preprost teoretični model kvazikristalov, ki v eni sapi pojasni stabilnost več vrst že opaženih 2D kvazikristalov ter napoveduje nekaj povsem novih vrst teh snovi. Primož Ziherl s Fakultete za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani in z Instituta Jožef Stefan je skupaj s sodelavcema z Japonske analiziral obnašanje delcev, med katerimi delujejo sile, primerljive z odbojem med kovanci, opasanimi z mehkim obročem. Z računalniškimi simulacijami so pokazali, da se taki delci pri izbranih debelinah mehkega obroča uredijo tako, da ležijo zveznice središč sosednjih delcev vzdolž 10, 12, 18 ali 24 pravilno razporejenih smeri v ravnini, kar ustreza t.i. 10-, 12-, 18- oziroma 24-števni simetriji. Simulacije so podprli z matematičnim ozadjem, ki je sorodno znanemu Penrosovem tlakovanju. Uporabljeni model najbolj opiše kvazikristalne materiale, katerih gradniki so nanometrski polimerni delci in ki se utegnejo uveljaviti v fotoniki, npr. za izdelavo valovodov za svetlobo in drugih optičnih naprav.



Uklonska slika 2D kvazikristala z 18-števno simetrijo



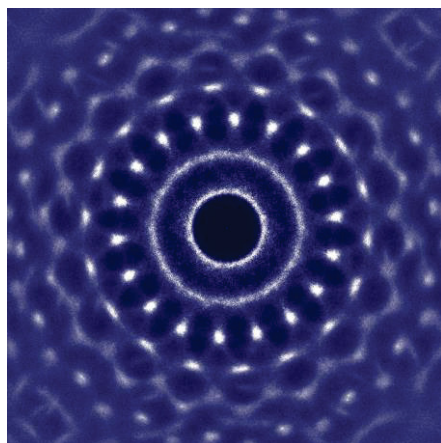
Hierarhija tlakovanj, ki ustrezajo mozaičnim kvazikristalom, vključuje tudi znano razurejeno Penrosovo tlakovanje ter tlakovanje s kvadrati in trikotniki

Priloga 2

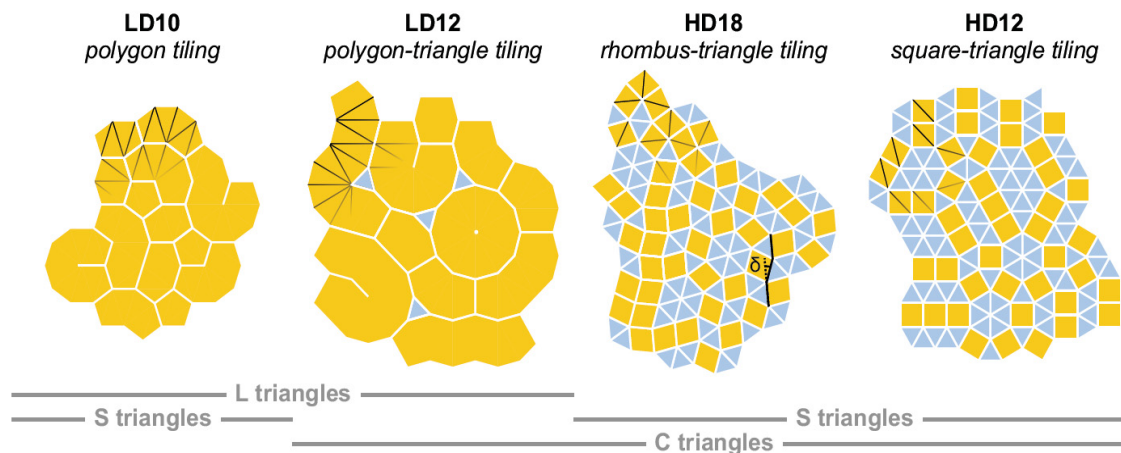
Področje: 1.02-Fizika

Dosežek: Mozaični kvazikristali

Delo, objavljeno v reviji Nature, obravnava preprost teoretični model kvazikristalov, ki v eni sapi pojasni stabilnost več vrst že opaženih 2D kvazikristalov ter napoveduje nekaj povsem novih vrst teh snovi. Primož Ziherl s Fakultete za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani in z Instituta Jožef Stefan je skupaj s sodelavcema z Japonske analiziral obnašanje delcev, med katerimi delujejo sile, primerljive z odbojem med kovanci, opasanimi z mehkim obročem. Z računalniškimi simulacijami so pokazali, da se taki delci pri izbranih debelinah mehkega obroča uredijo tako, da ležijo zveznice središč sosednjih delcev vzdolž 10, 12, 18 ali 24 pravilno razporejenih smeri v ravnini, kar ustreza t.i. 10-, 12-, 18- oziroma 24-števni simetriji. Simulacije so podprli z matematičnim ozadjem, ki je sorodno znanemu Penrosovu tlakovanju. Uporabljeni model najbolj opiše kvazikristalne materiale, katerih gradniki so nanometrski polimerni delci in ki se utegnejo uveljaviti v fotoniki, npr. za izdelavo valovodov za svetlobo in drugih optičnih naprav.



Uklonska slika 2D kvazikristala z 18-števno simetrijo



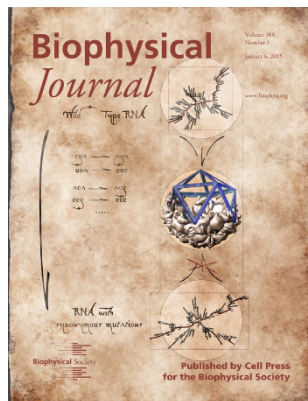
Hierarhija tlakovanj, ki ustrezajo mozaičnim kvazikristalom, vključuje tudi znano razurejeno Penrosovo tlakovanje ter tlakovanje s kvadrati in trikotniki

Priloga 3

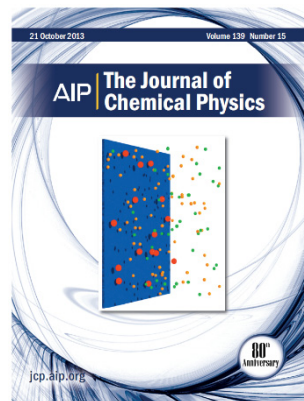
Področje: 1.02-Fizika

Dosežek: Medijska odmevnost dosežkov slovenskih znanstvenikov

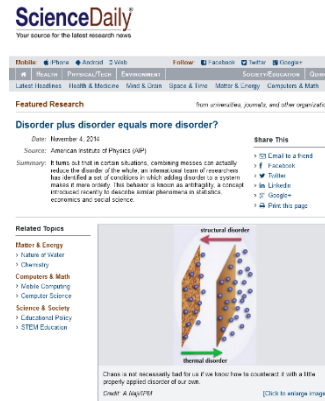
Objava treh znanstvenih prispevkov [1,2,3] vodje programa P1-0055 Biofizika polimerov, membran, gelov, koloidov in celic R. Podgornika in njegovi sodelavcev je doživela veliko medijsko odmevnost v tujih medijih, kar je poneslo izjemno dober glas o izsledkih slovenskih znanstvenikov po svetu. Izsledke dveh člankov so povzele številne agencije (ScienceDaily, Scikon, E-scienceNews idr.), ki spremljajo vsa največja znanstvena odkritja po svetu, Financial Times in Journal of Chemical Physics sta objavila intervju z R. Podgornikom, American Institute of Physics (AIP) pa je pripravil posebno sporočilo za javnost "Disorder+Disorder=More Disorder?", ki so ga povzele številne agencije. Vsi znanstveni dosežki so bili s strani revij, v katerih so bili objavljeni, izpostavljeni kot izjemni znanstveni dosežki. Dva sta bila na naslovnicah, eden je bil t.i. "Editors' Choice" in del "Spotlight Collections" v posebni izdaji, drugi pa je bil izpostavljen kot "New & Notable".



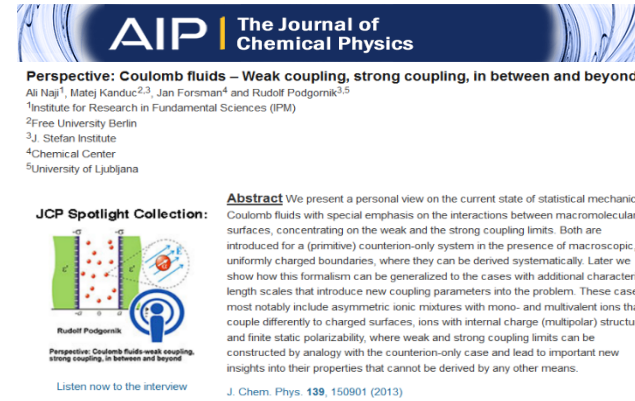
Naslovnica ob izidu članka [3] v reviji Biophysical Journal



Naslovnica ob izidu članka [2] v reviji Journal of chemical Physics



Novica na portalu Science Daily: "Disorder+Disorder=More Disorder?" ob izidu članka [2]



Članek [1], kot del "Spotlight Collections", v reviji Journal of Chemical Physics

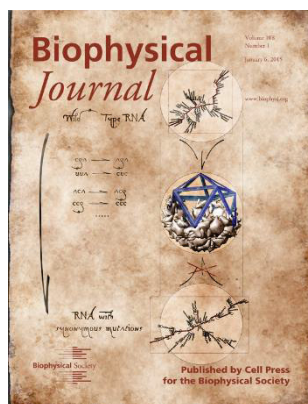
- [1] A. Naji, M. Kanduc, J. Forsman, R. Podgornik, "Perspective: Coulomb fluids-weak coupling, strong coupling, in between and beyond". **J. Chem. Phys.** 139, 150901 (2013)
- [2] A. Naji, M. Ghodrati, H. Komaie-Moghaddam, R. Podgornik, "Asymmetric Coulomb fluids at randomly charged dielectric interfaces: Anti-fragility, overcharging and charge inversion", **J. Chem. Phys.**, 141, 174704 (2014)
- [3] L. Tubiana, A. Lošdorfer Božič, C. Micheletti, R. Podgornik "Synonymous mutations reduce genome compactness in icosahedral ssRNA viruses" **Biophys. J.** 180 194-2 (2014)

Priloga 4

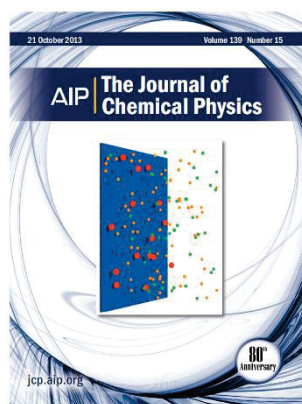
Področje: 1.02-Fizika

Dosežek: Medijska odmevnost dosežkov slovenskih znanstvenikov

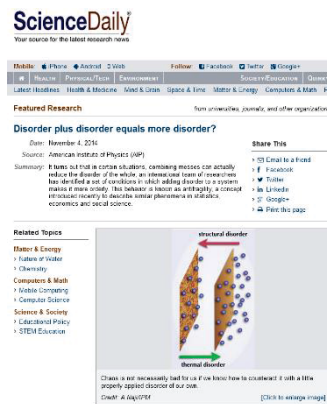
Objava treh znanstvenih prispevkov [1,2,3] vodje programa P1-0055 Biofizika polimerov, membran, gelov, koloidov in celic R. Podgornika in njegovi sodelavcev je doživela veliko medijsko odmevnost v tujih medijih, kar je poneslo izjemno dober glas o izsledkih slovenskih znanstvenikov po svetu. Izsledke dveh člankov so povzele številne agencije (ScienceDaily, Scikon, E-scienceNews idr.), ki spremljajo vsa največja znanstvena odkritja po svetu, Financial Times in Journal of Chemical Physics sta objavila intervju z R. Podgornikom, American Institute of Physics (AIP) pa je pripravil posebno sporočilo za javnost "Disorder+Disorder=More Disorder?", ki so ga povzele številne agencije. Vsi znanstveni dosežki so bili s strani revij, v katerih so bili objavljeni, izpostavljeni kot izjemni znanstveni dosežki. Dva sta bila na naslovnica, eden je bil t.i. "Editors' Choice" in del "Spotlight Collections" v posebni izdaji, drugi pa je bil izpostavljen kot "New & Notable".



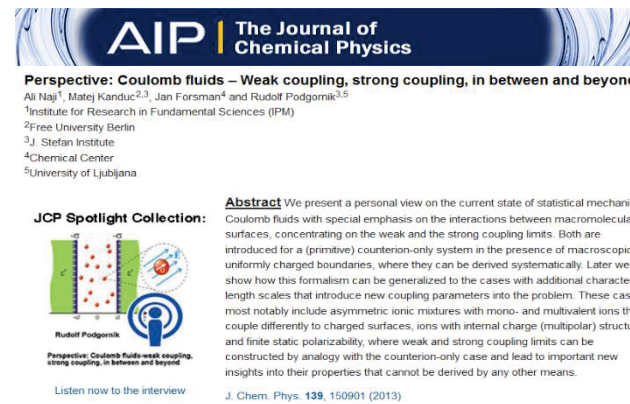
Naslovnica ob izidu članka [3] v reviji Biophysical Journal



Naslovnica ob izidu članka [2] v reviji Journal of chemical Physics



Novica na portalu Science Daily: "Disorder+Disorder=More Disorder?" ob izidu članka [2]



Članek [1], kot del "Spotlight Collections," v reviji Journal of Chemical Physics

- [1] A. Naji, M. Kanduc, J. Forsman, R. Podgornik, "Perspective: Coulomb fluids-weak coupling, strong coupling, in between and beyond". **J. Chem. Phys.** 139, 150901 (2013)
- [2] A. Naji, M. Ghodrati, H. Komaie-Moghaddam, R. Podgornik, "Asymmetric Coulomb fluids at randomly charged dielectric interfaces: Anti-fragility, overcharging and charge inversion", **J. Chem. Phys.**, 141, 174704 (2014)
- [3] L. Tubiana, A. Lošdorfer Božič, C. Micheletti, R. Podgornik "Synonymous mutations reduce genome compactness in icosahedral ssRNA viruses" **Biophys. J.** 180 194-2 (2014)