

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2010-1/125

ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	J1-9728
Naslov projekta	Samoorganizacija nanodelcev v 2D nematskih koloidnih kristalih; fotonski kristali in metamateriali
Vodja projekta	9089 Igor Muševič
Tip projekta	J Temeljni projekt
Obseg raziskovalnih ur	5.265
Cenovni razred	D
Trajanje projekta	01.2007 - 12.2009
Nosilna raziskovalna organizacija	1554 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	106 Institut "Jožef Stefan"
Družbeno-ekonomski cilj	13. Splošni napredek znanja - RiR financiran iz drugih virov (ne iz splošnih univerzitetnih fondov - SUF)

2. Sofinancerji¹

1.	Naziv	
	Naslov	
2.	Naziv	
	Naslov	
3.	Naziv	
	Naslov	

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

3. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega projekta²

Sposobnost spontanega urejanja-samourejanja delcev v geometrijsko pravilnih prostorskih strukturah je eden od najbolj pomembnih tehnoloških ciljev nanotehnologije in znanosti o koloidih. Namen predlaganega projekta je bil raziskati meje naravnih zakonitosti samourejanja koloidnih in nanodelcev v nematskih tekočih kristalih, z jasno zastavljenim ciljem – izdelati makroskopske samourejene 2D in potencialno 3D periodične strukture z namerno dodanimi mikro in nanodelci, ki omogočajo posnemanje

fizikalnih lastnosti metamaterialov z negativnim lomnim količnikom. V skladu s tem načrtom smo v okviru dveh in pol let raziskav dosegli naslednje rezultate:

A) Novi topološki mehanizmi vezave koloidnih delcev v 2D koloidnih kristalih

1. Odkrili smo nov mehanizem vezave koloidnih delcev v nematskem tekočem kristalu, ki jih posredujejo delokalizirani in prepleteni topološki objekti v obliki defektnih linij z jakostjo $1/2$. Omenjeni vezavni mehanizem je bil najprej teoretsko napovedan z Landau-de Gennesovim (LdG) modeliranjem hitrega ohlajanja nematskega koloida iz izotropne faze. Na osnovi teh napovedi smo izvedli ustrezne poskuse hitrega ohlajanja lasersko staljenih nematskih koloidov, ki so pokazali, da se z veliko verjetnostjo pojavljajo dotedaj neznana vezana stanja koloidnih parov, v katerih ena sklenjena topološka defektna linija veže dva ali več koloidnih delcev. Interakcija, ki jo med koloidnimi delci posreduje ta novi mehanizem, je skoraj za velikostni red močnejša od dosedaj poznanih in dosega $10.000 kT$ za 2 mikrometrске koloidne delce. Koloidna interakcija ima značilno "string-like" odvisnost sile, ki je torej konstantna, potencial pa linearno raste z raztezanjem prepletenega koloidnega para. Odkrili smo tri različne načine vezave in sicer vezavo v obliki kiralne osmice ("figure of eight"), vezavo v obliki črke "Omega" ("figure of Omega entanglement") in vezavo pri kateri prepletena defektna linija objema točkasti defekt med koloidoma ("entangled point defect"). Interakcija s prepletenimi defektnimi linijami vodi do samoorganiziranja koloidnih delcev v topološko različne koloidne verige, ne vodi pa do stabilnih stanj v 2D. Prepleteno koloidno stanje je zanimivo s stališča fotonike, saj so razdalje med koloidnimi površinami zelo majhne, reda 100 nm in verjetno omogočajo tuneliranje svetlobe med koloidi. Članek s tematiko prepletenih nematskih koloidov je bil objavljen v Physical Review Letters [1].

2. Izvedli smo izjemno obširne in natančne raziskave samourejanja dipolarnih in kvadrupolarnih sferičnih koloidnih delcev v tankih nematskih celicah. Z lasersko pinceto smo izmerili sile med objekti, potopljenimi v tanko plast nematskega tekočega kristala in jih primerjali z napovedmi Landau – de Gennesove (LdG) teorije povprečnega polja. Ugotovili smo zelo dobro kvantitativno ujemanje med LdG teorijo in eksperimenti z dipolarnimi in kvadrupolarnimi koloidi, kar je pomembna osnova za načrtovanje nadaljnjih eksperimentov. Ugotovili smo, da je mogoče spreminjati pozicijo točkastega defekta pri dipolarnih nematskih koloidih z lokalnim laserskim taljenjem. Opazili smo sodo-lihi efekt pri številu dipolarnih verig, ki sodelujejo v interakciji in ga pojasnili s simetrijo deformacijskega polja nematika v okolici dipolarnih verig. Sestavili smo velike 2D dipolarne koloidne kristale in ugotavljali njihovo temperaturno stabilnost. Parametre osnovne celice smo primerjali z izračuni v okviru LdG modeliranja in ugotavljali kvalitativno ujemanje. Podobne raziskave smo opravili na kvadrupolarnih nematskih koloidih. Ugotovili smo, da so kvadrupolarni koloidni delci med seboj vezani znatno šibkeje, kar vodi do metastabilnih 2D kvadrupolarnih nematskih koloidnih kristalov. Iz omenjene tematike sta bila objavljena dva članka v Physical Review E [2,3].

3. Na osnovi obsežnih raziskav dipolarnih in kvadrupolarnih nematskih koloidov smo v sodelovanju s skupino iz Institute of Physics, Kijev, Ukrajina, opravili zanimive raziskave mešanih sistemov dipolarnih in kvadrupolarnih nematskih koloidov. Rezultati so bili presenetljivi, saj so za razliko od čistih dipolarnih in kvadrupolarnih 2D kristalov (ki sta samo dveh vrst oziroma motivov) pokazali izjemno bogastvo 2D koloidnih kristalov z različnimi motivi osnovne celice. Odkritih je bilo več kot 12 stabilnih motivov osnovne celice, ki jih sestavljajo zanimive ploskovne kombinacije dipolarnih in kvadrupolarnih koloidnih delcev. Jakost interakcije je primerljiva z dipolarno interakcijo. Iz tematike "binarnih" koloidov sta bila objavljena dva članka in sicer v Physical Review Letters in Langmuir [4,5].

4. Opravili smo obširne raziskave 2D kiralnih nematskih koloidov, pri katerih smo prišli do novih in presenetljivih odkritij. Raziskovali smo topologijo nematskih koloidov v zasukani nematski fazi s kotom zasuka 90 stopinj. Ugotovili smo izjemno pogostost pojavljanja prepletenih koloidnih stanj in odkrili nov mehanizem vezave koloidnih delcev preko nesingularnega direktorskega polja. V nasprotju s točkastimi in linijskimi defekti, ki so

vzrok vezave 2D koloidnih stanj v homogenem nematiku, v kiralnem nematiku defekti pobegnejo v tretjo dimenzijo in tvorijo nesingularno vezavno področje. Kiralni nematski koloidi kažejo podobnost s "skyrmioni" v magnetnih sistemih, oziroma z magnetnimi "vrtinci". Članek s tematiko nesingularne vezave kiralnih nematskih koloidov je bil objavljen v Physical Review Letters [6] in je zaradi obsežnosti tematike uvrščen tudi v letno poročilo programa P1-0099. V okviru nadaljevanj raziskav v kiralnih nematskih koloidih smo odkrili izjemno pogostost pojavljanja prepletenih stanj, ki so nas pripeljali do topoloških objektov, kot so vozli defektnih linij ("knots") in prepletene defektne zanke ("links"). Članek s tematiko koloidnih vozlov se pripravlja za publiciranje v ugledni reviji.

5. Opravili smo izjemno obsežne raziskave samourejanja dielektričnih objektov valjaste oblike, ki ga posredujejo strukturne sile v nematskih tekočih kristalih. To je bila prva tovrstna sistematična raziskava v svetu in je pomembna, saj je pojasnila nekatera temeljna odprta vprašanja topologije valjastih objektov v nematiku. Preučili smo topologijo in samourejane posamezne plasti valjastih objektov s homeotropnimi robnimi pogoji v tanki plasti nematika s homogeno orientacijo molekul. Ugotovili smo, da paličasti koloidi kažejo topološko popolnoma identične lastnosti kot kroglasti koloidi in obstajajo v dipolarni in kvadupolarni obliki. Tudi mehanizmi interakcij paličastih koloidov so podobni krogelnim. Sile med temi objekti so bile izmerjene z lasersko pinceto. Ugotovili smo, da oblika objekta ne igra nobene pomembnejše vloge pri dvodelčnih interakcijah, temveč sta pomembna samo topološki naboj in simetrija deformacije direktorskega polja okoli valjev. Opravili smo tudi raziskave interakcij med posameznimi valjastimi koloidnimi delci in urejenim področjem teh delcev za različne tipe pripravljenih površin, z namenom ugotoviti, ali je mogoče sestavljati »log-pile« koloidne strukture, ki so pomemben element fotonjskih kristalov. Članek iz tematike cilindričnih nematskih koloidov je bil objavljen v Soft Matter [7].

B) Mehanizmi topološke vezave nematskih koloidov v 3D

1. Narejena je bila študija interakcij med dvema vzporednima »rezinama« 2D dipolarnih koloidnih kristalov v debelejših planarnih plasteh nematika. V ta namen smo sestavili posebno pripravljano celico iz dveh prekatov, v katerih smo sestavili dva ločena 2D koloidna kristala. Ugotovili smo, da se pri prehodu iz tanke v debelejši del celice kristali deformirajo, razdalje med koloidnimi delci pa povečajo. Kljub velikim eksperimentalnim težavam smo uspeli pokazati osnovni princip 3D urejanja. Zaključek teh raziskav je bil, da je potrebno razviti poseben protokol za sestavljanje 3D struktur iz posameznih verig, pri čemer je potrebno verige sestavljati v 3D strukturo z istočasno uporabo več kot dveh koloidnih verig. Prišli smo do ugotovitve, da preprosta elektrostatska slika koloidnih interakcij ne velja v 3D. Z LdG modeliranjem je bila analizirana stabilnost 3D koloidnih struktur, rezultati kažejo na obstojnost 3D dipolarnih nematskih kristalov. Članek s to tematiko je v pripravi.

2. Zaradi velikih eksperimentalnih težav, s katerimi smo se srečali pri študiju 3D nematskih koloidnih kristalov, smo uporabili alternativno rešitev. Razvili smo novo metodo, ki je kombinacija laserske pincete in optične konfokalne fluorescenčne mikroskopije. Konfokalna mikroskopija omogoča spremljanje rasti 3D koloidnih struktur. V zadnjem mesecu izvajanja projekta smo uspeli po več kot enoletnem trudu sestaviti manjši 3D dipolarni kristal v homeotropno urejenem tekočem kristalu. S pomočjo fluorescenčne konfokalne mikroskopije smo uspeli posneti 3D sliko urejenosti dipolarnih koloidov. Načrtujemo še nekajmesečno nadaljevanje raziskav in priprave publikacije s to tematiko.

C) Interakcija med topološkimi defektnimi linijami in nanodelci

1. Pomemben del raziskovalnega projekta je bil namenjen študiju interakcij majhnih koloidnih delcev s topološkimi defektnimi linijami. Odkrili smo, da topološke defektne

linije v obliki Saturnovega obroča, ki obkroža koloidne delce, močno privlači manjše koloidne delce. Kot rezultat dobimo hierarhično strukturirane mikrostrukture večjih in manjših koloidnih delcev, ki so po svoji strukturi enaki "split-ring-resonatorjem", iz katerih so zgrajeni modelni metamateriali. Na osnovi tega odkritja smo prijaviteli EU patentno prijavo in pridobili slovenski patent. S tem želimo ščititi postopek izdelave metamaterialov na osnovi mešanice različnih koloidnih delcev v tekočem kristalu. Članek z omenjeno tematiko je bil objavljen v *Physical Review E* [8].

2. Raziskovali smo spontano segregacijo fluorescenčnih nanodelcev v okolici koloidnih delcev s prepletenimi topološkimi defekti. Raziskave so pokazale zanimiv efekt izrinjanja nanodelcev na površino nematske celice, kar spremlja tudi izrinjanje topoloških defektnih linij. Članek s to tematiko je v zadnji fazi priprav, delo smo opravili v sodelovanju s partnerji iz Grčije, ki so pripravili kemijsko primerne nanodelce in razvili postopek prenašanja nanodelcev iz vodne raztopine v tekoči kristal.

3. Precejšen del raziskav je bil v zadnjem letu projekta namenjen vprašanju, katera je najmanjša velikost koloidnih delcev, ki se še lahko ujamejo v topološke defektne linije. Opravili smo sistematično raziskavo koloidnih interakcij, pri kateri smo manjšali premer delcev od nekaj mikrometrov do 120 nm. Rezultat je presenetljiv, saj smo pokazali, da se lahko celo nanodelci do velikosti 120 nm v tekočem kristalu obnašajo kot elastični dipoli ali kot elastični kvadrupoli. Njihovo obnašanje je odvisno od energije površinskega sidranja tekočega kristala, ki pa je odvisno od kvalitete funkcionalizacije površin nanodelcev. Eksperimentalno smo ugotovili, da se lahko nanodelci z velikostjo do 120 nm uredijo v termično stabilne nanoverige. Izmerili smo, da se difuzijski koeficienti nanodelcev v tekočem kristalu skladno s pričakovanji linearno povečujejo z manjšanjem delcev do velikosti ~500 nm, pod to mejo pa je difuzija nanodelcev neodvisna od velikosti delcev. To velja za primer, kadar je površinsko sidranje dovolj močno, da se nanodelci obnašajo kot elastični dipoli. Prav tako smo pokazali, da je medsebojna vezavna energija nanodelcev, kakor tudi vezavna energija med posameznim nanodelcem in topološko linijo, približno neodvisna od velikosti delcev za nanodelce manjše od ~500nm in je presenetljivo visoka, reda 500 kT. Rezultati teh meritev so izjemno pomembni, saj pomaknejo mejo za stabilne nanokoloidne nematske strukture pod 100 nm. Članek s to tematiko je v zadnji fazi priprave.

D) Transportne in optične lastnosti nematskih koloidnih sistemov

1. Raziskali smo možne načine transporta koloidnih delcev različnih oblik v tanki plasti tekočega kristala pod vplivom izmeničnega električnega polja nizke frekvence. Ugotovili smo, da je mogoče s primerno geometrijo eksperimenta povzročiti kolektivni tok koloidnih delcev, hitrosti gibanja so reda mikrometer/sekundo. Članek z omenjeno tematiko je bil objavljen v *European Physical Journal* [9].

2. Izmerili smo odziv dipolarnega nematskega koloidnega kristala na zunanje polje in ugotovili izjemno velike deformacije reda 5-10%. Ta pojav je zanimiv za uporabo v adaptivni optiki, članek je bil objavljen v *EPJE* [10]. V nadaljevanju smo študirali dinamični odziv nematskih koloidnih struktur na zunanjo sinusno motnjo posredovano z lasersko pinceto in analizirali mrežno dinamiko posameznih koloidov. Članek s to tematiko je v pripravi.

Pri izvajanju projekta intenzivno sodelujemo s tujimi partnerji in sicer s skupino prof. Th. Rasinga iz Radboud University, Nijmegen, Nizozemska in skupino prof. V. Nazarenka iz Institute of Physics, Kijev, Ukrajina. V okviru prijav 7. OP smo pridobili Marie Currie projekt Hierarchy in s tem 3 dodoktorska mesta v trajanju 3 let. Projekt je bil zelo visoko ocenjen (92%) in je s področja tematike metamaterialov, koloidov in nanostruktur. Začel se je oktobra 2008.

Seznam objavljenih člankov, ki so rezultat raziskav v okviru projekta:

1. M. Ravnik, M. Škarabot, S. Žumer, U. Tkalec, I. Poberaj, D. Babič, N. Osterman, I. Muševič. Entangled nematic colloidal dimers and wires. *Phys. rev. lett.*, 2007, vol. 99, no. 24, str. 247801-1-247801-4. [COBISS.SI-ID [21320487](#)].

2. M. Škarabot, M. Ravnik, S. Žumer, U. Tkalec, I. Poberaj, D. Babič, N. Osterman, I. Muševič. Two-dimensional dipolar nematic colloidal crystals. *Phys. rev., E Stat. nonlinear soft matter phys. (Print)*, 2007, vol. 76, no. 5, str. 051406-1-051406-8. [COBISS.SI-ID [21271591](#)],

3. M. Škarabot, M. Ravnik, S. Žumer, U. Tkalec, I. Poberaj, D. Babič, N. Osterman, I. Muševič. Interactions of quadrupolar nematic colloids. *Phys. rev., E Stat. nonlinear soft matter phys. (Print)*, 2008, vol. 77, no. 3, str. 031705-1-031705-8. [COBISS.SI-ID [21554727](#)],

4. U. Ognysta, A. Nych, V. Nazarenko, I. Muševič M. Škarabot M. Ravnik, S. Žumer, I. Poberaj, D. Babič. 2D interactions and binary crystals of dipolar and quadrupolar nematic colloids. *Phys. rev. lett.*, 2008, vol. 100, no. 21, str. 217803-1-217803-4. [COBISS.SI-ID [21764135](#)],

5. U. Ognysta., A. Nych, V. Nazarenko, M. Škarabot I. Muševič Design of 2D binary colloidal crystals in a nematic liquid crystal. *Langmuir*, 2009, issue 20, vol. 25, str. 12092-12100, [COBISS.SI-ID [22895399](#)].

6. U. Tkalec, M. Ravnik, S. Žumer, I. Muševič. Vortexlike topological defects in nematic colloids : chiral colloidal dimers and 2D crystals. *Phys. rev. lett.*, 2009, vol. 103, no. 12, str. 127801-1-127801-4. V sodelovanju s P1-0099. [COBISS.SI-ID [22895655](#)]

7. U. Tkalec, M. Škarabot I. Muševič. Interactions of micro-rods in a thin layer of a nematic liquid crystal. *Soft matter*, 2008, vol. 4, no. 12, str. 2402-2409. [COBISS.SI-ID [22189863](#)],

8. M. Škarabot M. Ravnik, S. Žumer, U. Tkalec, I. Poberaj, D. Babič, I. Muševič Hierarchical self-assembly of nematic colloidal superstructures. *Phys. rev., E Stat. nonlinear soft matter phys. (Print)*, 2008, vol. 77, no. 6, str. 1061706-1-061706-4. [COBISS.SI-ID [21792551](#)],

9. M. Škarabot, U. Tkalec, I. Muševič. Transport and crystallization of colloidal particles in a thin nematic cell. *The European physical journal. E, Soft matter*, 2007, vol. 24, str. 99-107. [COBISS.SI-ID [21131559](#)].

10. M. Humar, M. Škarabot M. Ravnik, S. Žumer, I. Poberaj, D. Babič, I. Muševič. Electrically tunable diffraction of light from 2D nematic colloidal crystals. *The European physical journal. E, Soft matter*, 2008, vol. 27, no. 1, str. 73-79. [COBISS.SI-ID [21925671](#)],

Seznam patentov in patentnih prijav iz tematike projekta:

1. I. Muševič, M. Škarabot S. Žumer, M. Ravnik. *Metamateriali in resonančni materiali na osnovi kompozitov tekoče kristalnih koloidov in nanodelcev : patenat SI22509*. Ljubljana: Urad RS za intelektualno lastnino, 2008. [COBISS.SI-ID [2147172](#)].

2. I. Muševič, M. Škarabot S. Žumer, M. Ravnik. *Metamaterials and resonant materials based on liquid crystal dispersions of colloidal particles and nanoparticles : application patent no. 07006702.0-2216*. Munich: European Patent office, 2007. [COBISS.SI-ID

20490279].

4. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev³

Namen predlaganega projekta je bil raziskati mehanizme samourejanja koloidnih in nanodelcev v nematskih tekočih kristalih, s ciljem izdelati makroskopske samourejene 2D in 3D periodične strukture z namerno dodanimi kovinskimi defekti, ki omogočajo posnemanje fizikalnih lastnosti metamaterialov z negativnim lomnim količnikom. V skladu s temi hipotezami smo v predlogu projekta predvideli dva osnovna cilja: (i) raziskati naravo samourejanja dielektričnih objektov krogelne in valjaste oblike, ki ga posredujejo strukturne sile v nematskih tekočih kristalih, in, (ii) raziskati naravo spontane prostorske segregacije kovinskih nanodelcev v bližini točkasti defektov in krožnih defektnih linij, ki se pojavijo v okolici koloidnih delcev v nematskem tekočem kristalu. S tem želimo posnemati prepletene kovinske prostorske mikro- in nano-strukture v obliki linij in krožnih rezonatorjev, ki so potrebni za izdelavo umetnih snovi z negativnim lomnim količnikom. Na osnovi časovnega načrta izvajanja projekta, ki je bil zelo natančno izdelan ob prijavi projekta, ocenjujem, da so bile vse predvidene faze v celoti realizirane in ni bistvenih odstopanj od začrtane smeri raziskav. Bolj natančno, dosegli smo dva osnovna cilja projekta:

1. v zadnjem mesecu izvajanja projekta smo prvič pokazali, da je mogoče sestaviti 3D nematske koloidne kristale. Uporabili smo kombinirano tehniko konfokalne fluorescenčne mikroskopije in laserske pincete.

2. v zadnjem mesecu izvajanja projekta nam je uspelo izmeriti interakcijske energije nematskih koloidnih nanodelcev premera 120 nm. Pokazali smo, da so vezavne energije takšnih nanodelcev reda nekaj 100 kT, kar v celoti potrjuje našo začetno hipotezo, da je mogoče uporabiti interakcijo nematskih koloidnih nanodelcev in nematskih defektnih linij za generiranje koloidnih superstruktur.

5. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta⁴

V teku izvajanja projekta ni bilo sprememb vsebine raziskovalnega programa.

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁵

Znanstveni rezultat		
1.	Naslov	Dvodimenzionalni dipolarni nematski koloidni kristali.
		Two-dimensional dipolar nematic colloidal crystals
Opis	SLO	Z lasersko pinceto smo izmerili sile med koloidnimi delci v tanki plasti nematskega tekočega kristala in jih primerjali z napovedmi Landau – de Gennesove (LdG) teorije povprečnega polja. Ugotovili smo zelo dobro kvantitativno ujemanje med LdG teorijo in eksperimenti. Ugotovili smo, da je mogoče spreminjati pozicijo točkastega defekta pri dipolarnih nematskih koloidih z lokalnim laserskim taljenjem. Ugotovili smo, da so kvadrupolarni koloidni delci med seboj vezani znatno šibkeje in tvorijo metastabilne kristale.
	ANG	We study the interactions in dipolar nematic colloids using the laser tweezers. The binding energies of a colloidal pair with homeotropic surface alignment are determined. The orientation of the dipolar colloidal particle can be controlled by locally quenching the nematic liquid crystal. The interaction of a single colloidal particle with a single colloidal chain is determined and the interactions between pairs of colloidal chains are studied. Dipolar colloidal chains self-assemble into the 2D dipolar nematic colloidal crystals.
	Objavljeno v	Phys. Rev., E Stat. Nonlinear Soft Matter Phys. (Print), 76, 051406-1-051406-8(2007)
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	21271591

2.	Naslov	SLO	Prepleteni nematski koloidni dimeri in žice
		ANG	Entangled nematic colloidal dimers and wires
	Opis	SLO	Poročamo o mehanizmu samourejanja koloidnih delcev v nematskem tekočem kristalu, ki jih posredujejo delokalizirani in prepleteni topološki objekti v obliki defektnih linij z jakostjo $1/2$. Interakcija, ki jo med koloidnimi delci posreduje ta novi mehanizem, je skoraj za velikostni red močnejša od poznanih in dosega 10.000 kT za 2 mikrometrске koloidne delce. Ima značilno "string-like" odvisnost sile. Odkrili smo tri različne načine vezave in sicer v obliki "figure of eight", vezavo v obliki "figure of Omega entanglement" in vezavo "entangled point defect".
		ANG	We show that colloidal superstructures could be assembled in mixtures of large and small colloidal particles dispersed in a nematic liquid crystal. Using elastic interaction of small colloidal particles with the disclination lines we succeed to demonstrate how one can decorate with small particles a topological matrix of defect rings and loops formed by an array of large colloidal particles. Our simulations show that this novel concept of colloidal self-assembly in nematics could be extended down to the nanoscale particles.
	Objavljeno v	Phys. Rev. Lett., 99, 247801-1-247801-4.(2007)	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
	COBISS.SI-ID	21320487	
3.	Naslov	SLO	Hierarhično samoorganizirane nematske koloidne superstrukture
		ANG	Hierarchical Self Assembly of Nematic Colloidal Superstructures
	Opis	SLO	V članku so opisani eksperimenti samoorganizacije manjših koloidnih delcev v prepletenih topoloških defektnih v okolici večjih koloidnih delcev. Izmerjene so vezavne energije, pokazano je, da so manjši delci močno ujeti v topoloških defektnih linijah. Izdelana je Landau-de Gennes analiza vezavnega mehanizma, na osnovi katere pričakujemo, da bo vezavna energija nanodelcev premera do 10 nm večja od termične energije teh delcev.
		ANG	We show that colloidal superstructures could be assembled in mixtures of large and small colloidal particles dispersed in a nematic liquid crystal. Using elastic interaction of small colloidal particles with the disclination lines we succeed to demonstrate how one can decorate with small particles a topological matrix of defect rings and loops formed by an array of large colloidal particles. Our simulations show that this novel concept of colloidal self-assembly in nematics could be extended down to the nanoscale particles.
	Objavljeno v	Phys. Rev., E Stat. Nonlinear Soft Matter Phys. 77, 1061706-1-061706-4 (2008).	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
	COBISS.SI-ID	21792551	
4.	Naslov	SLO	Vrtinčasti topološki defekti v nematskih koloidih: kiralni koloidni dimeri in 2D kristali.
		ANG	Vortexlike topological defects in nematic colloids : chiral colloidal dimers and 2D crystals.
	Opis	SLO	V članku pokažemo, da ima kiralnost tekočega kristala bistven in odločujoč vpliv na organiziranost, medkoloidne sile in obliko stabilnih koloidnih struktur. Poročamo o prevladujočem deležu nesingularnih topoloških defektov, ki so sicer izjemno redki v nekiralnih sistemih. Defektne linije s topološkim nabojem -2 imajo hiperbolični presek in so sorodne hiperboličnim vrtincem v magnetnih sistemih. Spontano povezujejo koloidne pare, ki so kiralni objekti. Interakcija teh kiralnih dimerov je šibko odvisna od tipa kiralnosti in vodi do samourejanja koloidnih parov v kiralne koloidne kristale.
		ANG	We show that chiral ordering of the underlying complex fluid strongly influences defect formation and colloidal interactions. Nonsingular defect loops with a topological charge -2 are observed, with a cross-section identical to hyperbolic vortices in magnetic systems. These loops are binding spontaneously formed pairs of colloidal particles-dimers, which are chiral objects. Chiral dimer interaction weakly depends on the chirality of dimers and leads to the assembly of 2D nematic colloidal crystals of pure or "mixed"

		chirality, intercalated with a lattice of nonsingular vortex-like defects.
	Objavljeno v	Phys. Rev. Lett. 103, 127801-1-127801-4 (2009). V sodelovanju s P1-0099.
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID	22895655
5.	Naslov	SLO Metamateriali in resonančni materiali na osnovi kompozitov tekoče kristalnih koloidov in nanodelcev
		ANG Metamaterials and resonant materials based on liquid crystal composites of colloids and nanomaterials
	Opis	SLO V patentu ščitimo izvedbo magnetnih resonančnih krogov z uporabo samoorganizacije nanodelcev v defektnih linijah v obliki z delci izpolnjenega obroča, ki obkroža koloidni delec v nematskem tekočem kristalu. Takšna struktura ima značilno resonančno obliko v spektru magnetnega odziva in je pomemben sestavni del metamaterialov. To so snovi z negativnim lomnim količnikom. Prijavljena je bila tudi EU patentna prijava, ki še ni podeljena.
		ANG We describe magnetic resonant structures, formed by self-assembly of nanoparticles in the core of topological defects in the nematic liquid crystals. The chain-like structure is obtained, which encircles a nematic colloidal particle. Electrically, it is equivalent to a split-ring resonator, which gives a negative magnetic response at a resonant frequency.
	Objavljeno v	Patent SI22509. Ljubljana: Urad RS za intelektualno lastnino, 2008.
	Tipologija	2.24 Patent
COBISS.SI-ID	2147172	

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati projektne skupine⁶

Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat		
1.	Naslov	SLO Samoorganizacija nematskih koloidov
		ANG Self-assembly in nematic colloids
	Opis	SLO Vabljen predavanje na mednarodni konferenci SPIE PHOTONICS East, Liquid crystals and applications in optics : 17-18 April 2007, Prague, Czech Republic, (Proceedings of SPIE, vol. 6587).
		ANG Invited talk, presented at SPIE PHOTONICS East, Liquid crystals and applications in optics : 17-18 April 2007, Prague, Czech Republic, (Proceedings of SPIE, vol. 6587).
	Šifra	B.04 Vabljen predavanje
	Objavljeno v	Proceedings of SPIE, vol. 6587. Bellingham: SPIE, cop. 2007, str. 658704-1-658704-8.
	Tipologija	1.06 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci (vabljen predavanje)
COBISS.SI-ID	21084455	
2.	Naslov	SLO Samsungova nagrada tokrat v slovenske roke
		ANG Samsung Award Awarded to Slovenian Scientist
	Opis	SLO "Samsung Mid-Career Award", podeljena dr. I. Muševiču 4. julija 2008. Mednarodno nagrado podeljuje International Liquid Crystal Society za najbolj vplivno delo znanstvenika na področju fizike, kemije in tehnologije tekočih kristalov. Nagrada je bila podeljena v okviru 22 International Liquid Crystal Conference v mestu JeJu v Južni Koreji. I. Muševič je nagrado prejel za njegovo vplivno delo na področju feroelektričnih in antiferoelektričnih tekočih kristalov, za njegove študije strukturnih sil in za delo na področju nematskih koloidov.
		ANG International award "Samsung Mid-Career Award", was awarded to Professor Igor Muševič on 4th July 2008 at the 22nd International Liquid Crystal Conference at Jeju island in South Korea. The award is given by International Liquid Crystal Society to a scientist, whose impact has opened new research directions in the field of Physics, Chemistry and Technology of liquid crystals. Professor I. Muševič was awarded this award for his original work in ferroelectric and antiferroelectric liquid crystals, structural forces in liquid crystals and self-assembly in nematic colloids.
	Šifra	E.02 Mednarodne nagrade

	Objavljeno v	Delo (Ljubl.), 31. jul. 2008, leto 50, št. 176, str. 16,
	Tipologija	1.22 Intervju
	COBISS.SI-ID	1010635
3.	Naslov	SLO Kiralni nematski koloidni kristali
		ANG Chiral nematic colloidal crystals
	Opis	SLO Vabljen predavanje o kiralnih nematskih koloidih na Hougen Symposium on Frontiers of Liquid Crystals, 23-24 April, 2009, Wisconsin-Madison, USA. 2009
		ANG Invited lecture, presented at Hougen Symposium on Frontiers of Liquid Crystals, 23-24 April, 2009, Wisconsin-Madison, USA. 2009
	Šifra	B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci
	Objavljeno v	Objavljeno v knjigi povzetkov.
	Tipologija	3.16 Vabljen predavanje na konferenci brez natisa
	COBISS.SI-ID	23555623
4.	Naslov	SLO Samoorganizacija nematskih koloidov
		ANG Self-assembly of nematic colloids
	Opis	SLO Plenarno predavanje na 9th European Conference on Liquid Crystals, July 2-6, 2007, Lisbon, Portugal
		ANG Plenary talk at 9th European Conference on Liquid Crystals, July 2-6, 2007, Lisbon, Portugal
	Šifra	B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci
	Objavljeno v	Objavljeno v knjigi povzetkov
	Tipologija	3.16 Vabljen predavanje na konferenci brez natisa
	COBISS.SI-ID	2053220
5.	Naslov	SLO Večer z dr. Igorjem Muševičem
		ANG An Evening with Dr. Igor Musevic
	Opis	SLO Intervju na XXXII. mesecu kulture, Občina Ilirska Bistrica, Društvo za krajevno zgodovino in kulturo. Ilirska Bistrica: Območna izpostava JSKD, Knjižnica Makse Samsa, 17.02.2009
		ANG An intervju at XXXII. Month of Culture, Ilirska Bistrica Community, Society for Local History and Culture. Ilirska Bistrica: Maks Samsa Library, February 17, 2009.
	Šifra	F.29 Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete
	Objavljeno v	Objavljeno v lokalnem glasilu "Snežnik".
	Tipologija	1.22 Intervju
	COBISS.SI-ID	22464039

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine⁷

Prof. dr. Igor Muševič je prejel Zoisovo nagrado za vrhunske dosežke na področju fizike mehke kondenzirane snovi v letu 2009.

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

Rezultati raziskav so pomembni v svetovnem merilu za razvoj znanosti o koloidnih sistemih. Področje nematskih koloidov, ki so disperzije mikroobjektov v nematskem tekočem kristalu, je relativno novo in se od leta 2004 razvija z izjemno hitrim tempom. Cilj raziskav je bil razumeti naravo povsem novih medkoloidnih sil, ki se pojavljajo v nematskih koloidih in ki do leta 2000 niso bile zelo dobro raziskane. Medkoloidne sile v tekočih kristalih odlikuje njihova velikost in doseg, ki sta za nekaj velikostnih redov višja kot v vodnih koloidnih sistemih. To omogoča nov

pristop k samoorganizaciji koloidnih struktur v robustne 2D koloidne kristale, ki predstavljajo potencialno in povsem realno možnost uporabe v fotonih kristalih in fotonih napravah. V okviru raziskav smo pokazali na nove način samoorganizacije koloidnih delcev različnih velikosti, kar vodi do zanimivih hierarhično organiziranih koloidnih superstruktur. Te so po svoji naravi zanimive za uporabo v resonančnih elementih za metamateriale z negativnim lomnim kvocientom. Prav tako smo dosegli pomemben preboj pri razumevanju samoorganizacije in topoloških lastnosti paličastih nematskih koloidov, ki do sedaj niso bili raziskani. V zadnjem letu raziskav smo dosegli pomemben preboj pri razumevanju stabilnosti 3D koloidnih struktur in odkrili do sedaj neznane vezave koloidnih delcev v kiralnih nematskih kristalih, kar nas je pripeljalo do teorije vozlov in spletenih zank.

ANG

The results of this project are important for the science of colloids. The subfield of nematic colloids, which are dispersions of solid or liquid particles in the nematic liquid crystal, was largely unexplored before 2004. Since then, it has gained sudden and unexpectedly strong momentum, which has resulted in very fast development of the subfield. This was not only driven by the unusually large variety of phenomena, observed in nematic colloids, but has also attracted attention because of possible applications in photonics. The goal of the proposal of this project was to understand the nature of, at that time (2007), largely unexplored colloidal forces in nematic colloids. It was known, that these forces are of long range and very strong, leading to colloidal interactions, which are several orders of magnitude stronger compared to water based colloids. This allows for a new approach to colloidal self-assembly in 2D and now, as we know, also 3D nematic colloidal crystals. The results of this project have shown several new mechanisms of nematic colloidal self assembly, such as hierarchical assembly in the mixtures of large and small colloids, colloidal entanglement with topological defect loops and colloidal interactions in the limit of nanometer-sized colloids. In the last year of this project, we have succeeded in assembling the first 3D nematic colloidal crystals, and we have shown that the nematic colloidal interaction is very strong even for 100 nm diameter colloidal particles. In chiral nematic colloids we have observed unusually rich variety of knotted and linked colloids.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Rezultati naših projektnih raziskav so pomembno prispevali k uveljavitvi slovenske znanosti o mehki snovi v svetovnem merilu. O tem pričajo publikacije v priznanih revijah s področja fizike koloidnih sistemov, evropska patentna prijava s podočja metamaterialov, veliko število vabljenih predavanj v letu 2008, kakor tudi mednarodna nagrada vodji projekta, I. Muševiču v letu 2008. Podeljena mu je bila nagrada "Samsung Mid-Career Award in sicer za njegovo izjemno vplivno znanstveno delo na področju fizike tekočih kristalov v zadnjem obdobju 10 let. Prav tako smo v okviru projektne tematike pridobili tri mesta mladih raziskovalcev v okviru EU Marie Curie projekta Hierarchy, ki se je začel izvajati septembra 2008. Osnovna tema tega projekta devetih evropskih partnerjev so tekočekristalni koloidi in bo znatno vplivala na vključevanje slovenskih raziskovalnih skupin v evropski znanstveno-raziskovalni prostor.

ANG

The research within the proposed project had a significant impact on the sustainable development of Slovenia. The achievements of the group represent world's top scientific accomplishments in the subfield of nematic colloids, thus importantly strengthening the national identity of Slovenia. Moreover, the group represented a nucleus, transferring scientific achievements to Slovenia from abroad. We should stress that the project group put significant efforts also in the scientific outreach for the broad Slovenian public. Within our group several candidates have completed their PhD theses, resulting in the employment of highly-qualified personnel. Finally, the participation in international projects (EU) in specialized fields lead to active participation in the world R&D in the field of LCs. This is evidenced by international award "Samsung Mid Career Award, which was given in 2008 to project leader, Prof. Igor Musevic. We have also been successful in achieving Marie Curie Training Network project HIERARCHY, which is based on international consortium of 9 top EU institutions. The theme of the project is closely related to soft matter colloids.

10. Samo za aplikativne projekte!

Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri aplikativnem projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni

Cilj	
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin

	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>

	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE

	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

Komentar

11. Samo za aplikativne projekte!

Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visoko-šolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.03.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02	Gospodarski razvoj					

G.02.01.	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.07.	Večji delež izvoza	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.08.	Povečanje dobička	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.09.	Nova delovna mesta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.12.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.06.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete					
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj					
G.07	Razvoj družbene infrastrukture					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.03.	Energetska infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva					
G.09.	Drugo:					

Komentar

--

12. Pomen raziskovanja za sofinancerje, navedene v 2. točki¹¹

1.	Sofinancer		
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:		EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:		%
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra
	1.		
	2.		
	3.		
	4.		
	5.		
	Komentar		
Ocena			
2.	Sofinancer		
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:		EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:		%
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra
	1.		
	2.		
	3.		
	4.		
	5.		
	Komentar		
Ocena			
3.	Sofinancer		
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:		EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:		%
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra
	1.		

	2.		
	3.		
	4.		
	5.		
	Komentar		
	Ocena		

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, za objavo 6., 7. in 8. točke na spletni strani <http://sicris.izum.si/> ter obdelavo teh podatkov za evidence ARRS
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta

Podpisi:

Igor Muševič	in	
podpis vodje raziskovalnega projekta		zastopnik oz. pooblaščen oseba RO

Kraj in datum:

Ljubljana

19.4.2010

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2010-1/125

¹ Samo za aplikativne projekte. [Nazaj](#)

² Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja ter rezultate in učinke raziskovalnega projekta. Največ 18.000 znakov vključno s presledki (približno tri strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

³ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁴ Samo v primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁵ Navedite največ pet najpomembnejših znanstvenih rezultatov projektne skupine, ki so nastali v času trajanja projekta v okviru raziskovalnega projekta, ki je predmet poročanja. Za vsak rezultat navedite naslov v slovenskem in angleškem jeziku (največ 150 znakov vključno s presledki), rezultat opišite (največ 600 znakov vključno s presledki) v slovenskem in angleškem jeziku, navedite, kje je objavljen (največ 500 znakov vključno s presledki), izberite ustrezno šifro tipa objave po Tipologiji dokumentov/del za vodenje bibliografij v sistemu COBISS ter napišite ustrezno COBISS.SI-ID številko bibliografske enote. Navedeni rezultati bodo objavljeni na spletni strani <http://sicris.izum.si/>.

PRIMER (v slovenskem jeziku):

Naslov: Regulacija delovanja beta-2 integrinskih receptorjev s katepsinom X;

Opis: Cisteinske proteaze imajo pomembno vlogo pri nastanku in napredovanju raka. Zadnje študije kažejo njihovo povezanost s procesi celičnega signaliziranja in imunskega odziva. V tem znanstvenem članku smo prvi dokazali... (največ 600 znakov vključno s presledki)

Objavljeno v: OBERMAJER, N., PREMZL, A., ZAVAŠNIK-BERGANT, T., TURK, B., KOS, J.. Carboxypeptidase cathepsin X mediates $\beta 2$ - integrin dependent adhesion of differentiated U-937 cells. Exp. Cell Res., 2006, 312, 2515-2527, JCR IF (2005): 4.148

Tipologija: 1.01 - Izvirni znanstveni članek

COBISS.SI-ID: 1920113 [Nazaj](#)

⁶ Navedite največ pet najpomembnejših družbeno-ekonomsko relevantnih rezultatov projektne skupine, ki so nastali v času trajanja projekta v okviru raziskovalnega projekta, ki je predmet poročanja. Za vsak rezultat navedite naslov (največ 150 znakov vključno s presledki), rezultat opišite (največ 600 znakov vključno s presledki), izberite ustrezen rezultat, ki je v Šifrantu raziskovalnih rezultatov in učinkov (Glej: <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/sifranti/sif-razisk-rezult.asp>), navedite, kje je rezultat objavljen (največ 500 znakov vključno s presledki), izberite ustrezno šifro tipa objave po Tipologiji dokumentov/del za vodenje bibliografij v sistemu COBISS ter napišite ustrezno COBISS.SI-ID številko bibliografske enote.

Navedeni rezultati bodo objavljeni na spletni strani <http://sicris.izum.si/>. [Nazaj](#)

⁷ Navedite rezultate raziskovalnega projekta 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. [Nazaj](#)

⁸ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja. [Nazaj](#)

⁹ Največ 4.000 znakov vključno s presledki [Nazaj](#)

¹⁰ Največ 4.000 znakov vključno s presledki [Nazaj](#)

¹¹ Rubrike izpolnite/prepišite skladno z obrazcem "Izjava sofinancerja" (<http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>), ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2010 v1.00a

86-87-BC-28-D2-5D-79-C2-7E-E7-E3-76-86-CA-DA-91-AA-99-27-30