

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2011-1/76

ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	J1-0155	
Naslov projekta	Vzorci, strukturna samo-organizacija ter magnetoelektriki v mešanica nano-delcev in tekočih kristalov	
Vodja projekta	8612	Samo Kralj
Tip projekta	J	Temeljni projekt
Obseg raziskovalnih ur	4.170	
Cenovni razred	D	
Trajanje projekta	02.2008 - 01.2011	
Nosilna raziskovalna organizacija	106	Institut "Jožef Stefan"
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	101 2547	Inštitut za matematiko, fiziko in mehaniko Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko
Družbeno-ekonomski cilj	13.	Splošni napredek znanja - RiR financiran iz drugih virov (ne iz splošnih univerzitetnih fondov - SUF)

1.1. Družbeno-ekonomski cilj¹

Šifra	13.01
Naziv	Naravoslovne vede - RiR financiran iz drugih virov (ne iz SUF)

2. Sofinancerji²

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

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

3. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega projekta³

Raziskovalne hipoteze

Eksperimentalno in teoretično smo preučevali materialne, strukturne in samourejevalne lastnosti mešanic različnih nanodelcev (ND) in termotropnih tekočih kristalov (TK). Naše osnovne raziskovalne hipoteze so bile naslednje:

- Mešanice ND in TK lahko vodijo do novih materialov z izjemno kvantitativno povečanimi ali tudi kvalitativno novimi lastnostmi.
- Mešanice lahko stabiliziramo s primerno površinsko obdelavo ND.
- Orientacijsko urejenost TK lahko izkoristimo za učinkovito orientacijsko urejanje anizotropnih nanodelcev.
- Mešanice feroelektričnih TK in magnetnih ND imajo lahko magnetoelektrične lastnosti.
- Topološke defekte v TK lahko izkoristimo za samoorganizacijo ND v TK.
- ND lahko občutno povečajo stabilnost TK faz, za katere so značilni topološki defekti.
- ND lahko v TK uvedejo statični nered, katerega prisotnost lahko izkoristimo za boljšo detekcijo vhodnih signalov z uporabo stohastične resonance.
- Mešanice ND+TK lahko uporabimo za spominske elemente.
- Veljavnost teorema Imry-Ma v naključno motenih vzorcih je odvisna od zgodovine sistema.

Opis raziskovanja

S posebnimi kemijskimi metodami smo izdelali magnetne ND različnih velikosti. ND smo ustrezno površinsko obdelali in tako omogočili homogeno mešanje s TK pod primernimi pogoji. Strukturne in fazne lastnosti mešanic smo opazovali s kalorimetričnimi meritvami, dielektrično spektroskopijo, vrstično in transmisijsko elektronsko mikroskopijo, polarizacijsko optično mikroskopijo, z magnetnimi meritvami in s sipanjem x-žarkov. Teoretične smo razvili številne modele na makroskopski, mezoskopskih in semi-mikroskopskih razdaljah in z njihovo uporabo razložili naše meritve oziroma napovedali raznovrstna možna obnašanja preučevanih sistemov. Pretežno vse teoretične raziskave so bile podrejene težnji, da i) bi razumeli eksperimentalno preučevane mešanice, ii) da bi lahko kontrolirali njihovo obnašanje in za iii) napoved obstoja režimov kvalitativno različnega obnašanja.

Ključni rezultati

Rezultate naših raziskav grobo razdelimo na šest sklopov. V 1. sklopu smo analizirali urejevalni vpliv tekočih kristalov na urejanje anizotropnih nanocevk. V 2. sklopu smo preučevali sklopitev med TK in magnetnimi nanodelci s poudarkom na magnetoelektričnih odzivih. V 3. sklopu smo preučevali strukturo topoloških defektov v TK in pogoje, pod katerimi lahko stabiliziramo različno število defektov za dano Eulerjevo karakteristiko ograjevalne površine. Analizirali smo tudi vpliv topoloških defektov na stabilizacijo TK struktur, ki so zanimive za različne elektrooptične aplikacije. V 4. sklopu smo preučevali spominske pojave v homogenih mešanicah ND in TK. V 5. Sklopu smo preučevali primernost slednjih sistemov za pojav stohastične resonance. V nadaljevanju predstavljamo ključne rezultate posameznih sklopov.

TK inducirano urejanje nanocevk

Urejanje nanocevk (NC) z uporabo orientacijske ureditve TK v nematični fazi smo preučevali teoretično in numerično. Razvili smo mezoskopski model, pri katerem smo uporabili Landau-de Gennes-ov model za opis TK obnašanja in Doi-ev model za opis nanocevk. Bistven prispevek naših raziskav je pravilno modeliranje sklopitve med TK in NC. Interakcijski člen smo modelirali za primer relativno šibke in močne sklopitve. Za

oba primera smo izračunali fazno obnašanje mešanic NC+TK pri prehodu med izotropno in nematično TK fazo v odvisnosti od jakosti sklopitve in koncentracije nanocevk. Pokazali smo, da lahko samo v prvem primeru pričakujemo homogeno ureditev mešanice za eksperimentalno zanimivo področje koncentracij. Naše ocene naznanjajo, da lahko TK v nematični fazi presenetljivo učinkovito uredijo NC tudi v področju izjemno šibkih jakosti sklopitve. Kljub relativni preprostosti našega modela dobljeni numerični rezultati izjemno dobro pojasnjujejo vse do sedaj izvedene meritve na omenjenih sistemih. Ujemanje z eksperimenti dokazuje, da smo pri modeliranju ujeli ključne parametre, ki narekujejo fazno in strukturno obnašanje. Poleg tega naše analitične ocene nudijo vpogled, na kakšen način bi lahko povečali sklopitev TK-NC in se ob tem izognil nezaželeni fazni separaciji. Naše delo, ki smo ga objavili v 4 člankih (COBISS.SI-ID: [15940616](#), [17371656](#), [16061448](#), [16945160](#)), je izjemno odmevno. Kljub nedavni objavi imajo omenjeni članki do sedaj že nad 20 citatov.

Mehki magnetoelektriki

Najobsežnejše in najzahtevnejše raziskave v okviru projekta so potekale pri iskanju mehkih magnetoelektrikov. Slednji so izjemno zanimivi kot potencialno 4-bitni računalniški elementi, ki bodo hkrati omogočali računanje in hranjenje podatkov. V naših pretežno eksperimentalnih raziskavah smo iskali magnetoelektrični odziv v mešanici feroelektričnih TK in feromagnetnih ND. Pri tem TK molekule vsebujejo električni dipol samo v kiralni smektični C (SmC*) fazi. Poglavitni problem je bila vzpostavitev pogojev, pri katerih so mešanice TK+ND prostorsko homogene in stabilne. Z uporabo mezoskopskega modeliranja smo odkrili, da lahko slednje pogoje pričakujemo v izjemno redkih primerih (majhna koncentracija nanodelcev; relativno majhni ND, toda dovolj veliki, da nosijo magnetni dipol; dovolj velika orientacijska anizotropnost ND; primerna površinska obdelava ND in primerni TK, dovolj veliki električni dipol v SmC* fazi). Z izjemno intenzivnimi optičnimi in kalorimetričnimi meritvami, kjer smo uporabili vrsto različnih TK in ND različnih velikosti ter oblik, smo (po letu in pol raziskav) dobili kombinacijo, v kateri smo izmerili magnetoelektrični odziv. Slednjega smo demonstrirali tako, da smo z zunanjim električnim poljem spremenili magnetizacijo sistema. Naši vzorci kažejo tudi izjemno časovno stabilnost. Do sedaj smo naše izsledke predstavili le na konferencah in konferenčnih objavah (COBISS.SI-ID: [24415271](#), [23197735](#)), kjer smo vzbudili izjemno pozornost. Slednji izsedelek predstavlja eden izmed osrednjih rezultatov našega projekta, za katerega pripravljamo objavo za revijo Nature materials.

Stabilnost struktur, ki vsebujejo topološke defekte

Teoretično in eksperimentalno smo preučevali TK strukture, ki vsebujejo topološke defekte. V prvem koraku smo teoretično analizirali pogoje, pod katerimi lahko v TK celici stabiliziramo t.i. boojum (površinski defekt). Pri tem smo izhajali iz Landau-de Gennesovega zapisa s tenzorskim ureditvenim parametrom. Dokazali smo, da lahko s primerno površinsko obdelavo kontroliramo jedro defekta. Posebno zanimiv je primer, v katerem ima defekt obliko »prsta«, katerega konica je izotropna (običajna tekoča faza). Pokazali smo, da takšen »prst« lahko privlači in ujame ustrezne nanodelce. V ta namen mora ND okoliški TK fazi vsiljevati konfiguracijo, ki je podobna strukturi jedra topološkega defekta. Prav tako smo teoretično spoznali, da nanodelec, ki se ujame v defekt, opazno zmanjša njegovo lokalno prosto energijo. Razlog je predvsem v zmanjšanju volumna defekta, kjer je kondenzacijska prosta energija relativno visoka. Posledično smo sklepali, da lahko ND, ki se ujamejo v topološke defekte, opazno stabilizirajo TK strukture, ki vsebujejo mreže defektov. Naše teoretične rezultate smo objavili v dveh člankih v Physical Review E (COBISS.SI-ID: [16177416](#), [17429000](#)). Omenjena spoznanja smo eksperimentalno preverili v tekoče-kristalnih modrih fazah, ki vsebujejo mrežo linijskih defektov. Slednje faze so izjemno zanimive za različne elektrooptične aplikacije, ker i) so izjemno optično odzivne na relativno šibka zunanja električna polja in ker ii) za svoje delovanje ne potrebujejo posebno pripravljene površine

(slednje priprave v običajnih prikazalnikih dominantno vplivajo na ceno izdelka). Toda v običajnih pogojih so te aplikativno zanimive faze stabilne le v ozkem temperaturnem intervalu (nekaj kelvinov) in relativno daleč pod sobnimi temperaturami. V modre faze smo dodajali ali aerosilne ali pa primerno površinsko pripravljene CdSe nanodelce (oblekli smo jih s fleksibilnimi verigami). Aerosilni delci vsiljujejo okoliškemu TK urejenost in posledična konfiguracija ni sorodna s strukturami topoloških defektov. Nasprotno CdSe nanodelci kažejo sorodnost z entropijsko bogatimi defekti zaradi fleksibilnih verig. Naše kalorimetrične meritve so pokazale, da lahko s primerno koncentracijo CdSe nanodelcev povečamo temperaturni interval stabilnosti modrih faz za red velikosti. Poleg tega lahko njihovo področje stabilnosti približamo sobnim temperaturam. Po pričakovanjih aerosilni delci relativno šibko vplivajo na interval stabilnost faz, kar priča o ustreznem teoretičnem modeliranju obravnavanih sistemov. Naše rezultate smo pred kratkim objavili v treh objavah (COBISS.SI-ID: [24163879](#), [23573799](#), [24522791](#)). Našo prvo objavo so tudi izbrali za Virtual Journal of Nanoscale Science&Technology(the American Institute of Physics), kar priča o aktualnosti in pomembnosti izvedenih raziskav.

Nadalje smo teoretično preučevali strukture topoloških defektov v tankih nematičnih lupinah, kar predstavlja eden izmed modnih trendov fizike mehkih sistemov. Te lupine približno krogelne oblike naj bi igrale podobno vlogo kot atomi, s katerimi bi gradili pravilne kristalne strukture z redom dolgega dosega. Trenutni fokus raziskav na omenjenem področju je iskanje pogojev, pri kateri lahko pri dani topologiji lupine spreminjamo število topoloških defektov. Jedra defektov lahko v primernih strukturah igrajo podobno vlogo kot valence v atomih. Na defekte se naj bi v izotropnem tekočem mediju pripenjale ustrezne polimerne verige in tako vzpostavile »atomsko« vez med sosednjima lupinama.

V ta namen smo razvili dvodimenzionalno mezoskopsko teorijo nematičnih lupin na splošnih zaključenih površinah rotacijske simetrije. Simulacije smo izvedli na lupinah krogelne, eliptične in »gobaste« oblike. Pokazali smo, da lahko s spreminjanjem geometrije ali razmerja elastičnih konstant spreminjamo število defektov. Za primer, ki ustreza topologiji krogle, smo pokazali obstoj dveh, štirih ali osmih defektov v odvisnosti od ustreznih pogojev. Rezultati naših simulacij se ujemajo z resda redkimi optičnimi meritvami, ki se pojavljajo šele v zadnjih letih. Skladnost naših simulacij z eksperimenti dokazuje, da je uporabljen mezoskopski opis povsem primeren, čeprav je značilna linearna razsežnost lupin tipično v mikronskega režimu.

Spominski pojavi v mešanich TK+ND

Nadalje smo se osredotočili na primere, v katerih nanodelci vsiljujejo nered okoliški tekoče kristalni urejenosti v mešanich anizotropnih TK+ND. V zadnjih desetih letih so bili izvedeni številni eksperimenti, ki odkrivajo steklasto obnašanje in posledične spominske pojave predvsem v mešanich TK in aerosilnih nanodelcev. Slednji sistemi so zanimivi tako za različne elektro-optične naprave in tudi za shranjevanje informacij. V naših teoretičnih in numeričnih simulacijah smo predvsem preučevali pogoje, pod katerimi bi lahko v takšne sisteme shranjevali informacij. Pri tem smo izvedli obsežne numerične simulacije na semi-mikroskopskem nivoju, kjer smo spreminjali koncentracijo p nanodelcev, jakost sklopitve med TK in ND ter jakost zunanega urejevalnega polja. V izračunih smo uporabili mrežni model v katerem nismo upoštevali možnosti fazne separacije. Pokazali smo, da pri spreminjanju p sisteme vodimo čez številne kvalitativno različne režime. Posebno pozornost smo posvetili režimu, ki se nahaja približno med $p=0.1$ ter perkolacijskim pragom ND. Pokazali smo, da v tem režimu ND deluje na TK v dobrem približku kot ujeto (quenched) naključno polje. Ta rezultat je relativno presenetljiv, ker so vse sklopitve v sistemu »navidezno« urejevalne (pari molekul TK-TK, ND-ND stremijo po paralelni postavitvi in parom TK-ND smo vsilili pravokotno postavitve). Vzrok pojava je zapenjanje TK domen na orientacijsko ujete ND. V

nadaljevanju smo preučevali spominske lastnosti sistema v tem režimu. V ta namen smo sistem izpostavljali različnim »zgodovinom« z uporabo zunanega urejevalnega polja B. Določili smo območje, kjer se sistem obnaša neergodično in tako določili kritične vrednosti polja, kjer lahko brišemo informacije. Znotraj neergodičnega področja smo določili območje jakosti polja, kjer je zapis približno linearno sorazmeren z jakostjo B. Dobljeni rezultati so zanimivi za razvoj spominskih zapisov v mešanicah TK in ND. Naše raziskave smo objavili v številnih člankih (trije članki: COBISS.SI-ID [16068104](#), [16708616](#), [17410312](#), in pet konferenčnih objav: [21775399](#), [16066824](#), [16067592](#), [16944648](#), [17390344](#)).

Nadalje smo kot prvi demonstrirali, zakaj le nekateri poskusi in simulacije potrjujejo Imry-Ma teorem, ki predstavlja eden izmed temeljnih kamnov statistične mehanike neurejenih sistemov. Teorem trdi, da lahko že izjemno šibka motnja, ki jo povzroča »ujeto« naključno polje, uniči red dolgega dosega, ki ga bi imel sistem v odsotnosti motnje. Dosežen red kratkega dosega je dobro opisan z značilno domensko razdaljo, katere velikost je potenčno odvisna od jakosti nereda. Pri tem je potencia univerzalna, odvisna samo od dimenzionalnosti sistema. Pokazali smo, da teorem odlično velja za dovolj šibke motnje, če TK nenadno preide iz izotropne v nematično fazo. Če preidemo med fazama postopno (npr. s postopnim zniževanjem temperature), teorem ne velja. Slednje spoznanje smo objavili v konferenčni objavi (NATO workshop, COBISS.SI-ID: [17390344](#)).

Stohastična resonanca v mehkih sistemih

Nadalje smo teoretično in numerično preučevali, pod katerimi pogoji bi lahko statični nered, ki ga v TK urejenost lahko npr. uvedejo ustrezni ujeti nanodelci, izkoristili za ojačitev detekcije signalov. Možnost slednjega pojava napoveduje pojav stohastične resonance (SR), katerega v naravi izkoriščajo številna živa bitja za občutljivo zaznavo dogodkov v svoji okolici. Raziskav smo se v prvem koraku lotili s fundamentalnega vidika. Tako smo v generičnih enačbah za SR pojav kot prvi sistematično preučili kombiniran vpliv statičnega in dinamičnega nereda na SR odziv. Analizirali smo vse kvalitativno različne izvore statičnega nereda. Za dani vhodni periodični signal smo izračunali jakost SR odziva v odvisnosti od jakosti dinamičnega šuma in jakosti ustreznega statičnega nereda. Pokazali smo, kako lahko iz dobljenih diagramov določimo značaj nereda. Izračune smo tudi prilagodili na moteno feroelektrično TK celico. V tem primeru predstavlja izvor nereda veriga perkoliranih ND (npr. aerosilni delci). Slednji sistem je tipični primer mehkega sistema, v katerem SR pojav še ni bil preučen. Na izbranem mehkem sistemu smo demonstrirali, pod kakšnimi pogoji je lahko SR odziv optimalen. Delo smo objavili v reviji Soft Matter (COBISS.SI-ID: [16178696](#)) in v dveh konferenčnih objavah COBISS.SI-ID [16067080](#), [16060936](#).

4. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev⁴

Hipoteza 1: Mešanice nanodelcev (ND) in tekočih kristalov (TK) lahko vodijo do novih materialov z izjemno kvantitativno povečanimi ali tudi kvalitativno novimi lastnostmi.

Potrditve: i) V mešanici ND in TK smo izmerili električno inducirani magnetni odziv. Posamezna komponenta mešanice takšnega odziva nima. ii) Z dodajanjem ND smo anomalno povečali stabilnost nekaterih TK faz.

Hipoteza 2: Mešanice lahko stabiliziramo s primerno površinsko obdelavo ND.

Potrditve: Stabilne mešanice TK+ND smo dobili samo v primerih, v katerih smo magnetne ND primerne velikosti površinsko obdelali z oleinsko kislino.

Hipoteza 3: Orientacijsko urejenost TK lahko izkoristimo za učinkovito orientacijsko urejanje anizotropnih nanodelcev.

Potrditve: Razvili smo model, s katerim smo pokazali, v kakšnih razmerah tekoče

kristalna urejenost učinkovito orientacijsko ureja nanocevke. Naše simulacije se odlično skladajo z eksperimentalnimi meritvami konkurenčnih skupin.

Hipoteza 4: Mešanice feroelektričnih TK in magnetnih ND imajo lahko magnetoelektrične lastnosti.

Potrditev: V mešanici feroelektričnega tekočega kristala SCE9 in maghemitnih nanodelcev (10% koncentracija, značilna linearna razsežnosti okoli 17 nm) smo spreminjali magnetizacijo sistema preko zunanega električnega polja.

Hipoteza 5: Topološke defekte v TK lahko izkoristimo za samoorganizacijo ND v TK.

Potrditev: Naše mezoskopsko modeliranje je pokazalo, da lahko primerno površinsko obdelane ND ujamemo v jedra defektov. Torej preko kontrole lege defektov lahko vplivamo na postavitev ND.

Hipoteza 6: ND lahko občutno povečajo stabilnost TK faz, za katere so značilni topološki defekti.

Potrditev: Če smo v modre faze TK dodali površinsko obdelane nanodelce CdSe, se je pri 10% koncentraciji ND povečalo temperaturno področje stabilnosti modrih faz za red velikosti.

Hipoteza 7: ND lahko v TK uvedejo statični nered, katerega prisotnost lahko izkoristimo za boljšo detekcijo vhodnih signalov z uporabo stohastične resonance.

Potrditev: Numerično smo demonstrirali, da lahko vse vrste statičnega nerada ob določenih pogojih ojačijo resonančni odziv.

Hipoteza 8: Mešanice ND+TK lahko uporabimo za spominske elemente.

Potrditev: Numerično smo demonstrirali, da ima lahko mešanica TK+ND izrazite spominske lastnosti. Slednje lastnosti smo opazili v omejenem intervalu koncentracij ND, kjer ni fazne separacije in v primerih, v katerih obstaja težnja po pravokotni postavitvi ND glede na sosednje TK molekule,

Hipoteza 9: Veljavnost teorema Imry-Ma v naključno motenih vzorcih je odvisna od zgodovine sistema.

Potrditev: V simulacijah v dvo in tri dimenzionalnih sistemih smo pokazali, da sistemi kažejo univerzalno obnašanje, ki ga napoveduje teorem Imry-Ma, samo v določenih primerih. Teorem velja, če sistem vodimo nenadno (npr. temperaturni ali tlačni skok) iz izotropne v lokalno urejeno stanje.

5. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine⁵

Med projektom smo izvedli manjše spremembe v raziskovalni sestavi projekta. Tako smo v projekt dodatno vključili kemike Igorja Zajca in Aleša Dakskoblerja. Slednje raziskovalce smo potrebovali za primerno obdelavo nanodelcev in za njihovo karakterizacijo. Poleg tega smo dodatni vključili v projekt Trontelj Zvoneta, ki smo ga potrebovali zaradi njegovih bogatih izkušenj na področju magnetoelektrikov. Projekt je zaradi odpovedi delovnega razmerja na Institutu Jožef Stefan »uradno« zapustil Milan Ambrožič, ki pa je svoje raziskovalno delo v okviru projekta nadaljeval.

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁶

Znanstveni rezultat

1.	Naslov	SLO	Urejanje ogljikovih nanocevk z nematičnimi tekočimi kristali
		ANG	Alignment of carbon nanotubes in nematic liquid crystals
	Opis	SLO	Kot prvi smo razvili mezoskopski teoretični model, ki napoveduje fazno obnašanje mešanice ogljikovih nanocevk in termotropnih nematičnih tekočih kristalov (TK). Kombinirali smo Doi-ev izraz za prosto energijo urejanja nanocevk in Landau-de Gennes-ov model za fazno obnašanje TK. Ključni prispevek naših raziskav je modeliranje sklopitve med TK in nanocevkami. Numerično smo preučili fazno obnašanje mešanice v odvisnosti od jakosti sklopitve, koncentracije nanocevk in temperature. Naš model dobro opisuje vse dosedanje poskuse na omenjenih sistemih.
		ANG	We present a pioneering mesoscopic scale theoretical model to predict the phase behavior of carbon nanotubes dispersed in thermotropic liquid crystals by combining Doi free energy for carbon nanotubes with Landau-de Gennes free energy for nematic order of low molar mass liquid crystal. In particular we model the interaction term between carbon nanotubes and liquid crystal molecules. The phase behavior of the binary mixture depending on the volume fraction of nanotubes, the strength of the interaction, and temperature is analyzed in detail.
	Objavljeno v		Članka SCHOOT, P., POPA-NITA, V.D., KRALJ, S., »Alignment of carbon nanotubes in nematic liquid crystals«, J. phys. chem., B Condens. mater. surf. interfaces biophys., 2008, vol 112, str. 4512. JCR IF (2007): 4.086 in POPA-NITA, V.D., KRALJ, S., »Liquid crystal-carbon nanotubes mixtures«, J. chem. phys., 2010, vol. 132, no. 2, str. 024902, JCR IF (2007): 3.1. Skupaj 20 citatov (brez avtocitatov).
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID		15940616	
2.	Naslov	SLO	Stohastična resonanca v mehkih sistemih : kombinirani vpliv statičnega in dinamičnega nereda
		ANG	Stochastic resonance in soft matter systems : combined effects of static and dynamic disorder
	Opis	SLO	Kot prvi smo teoretično preučevali kombinirani vpliv statičnega in dinamičnega nereda na pojav stohastične resonance (SR) v moteni feroelektrični tekoče kristalni celici. Slednjo smo izbrali kot tipičnega predstavnika mehkega sistema. Dobljene dinamične enačbe smo posplošili in tako zajeli številne mehke sisteme. Pokazali smo, da so generične za pojav SR. Numerično smo sistematično preučili vpliv kvalitativno različnih izvorov statičnega nereda na resonančni odziv in demonstrirali, kako lahko pojav SR uporabimo za oceno jakosti in vrste nereda v danem mehkem sistemu.
		ANG	We were the first to study theoretically combined impact of static and dynamic disorder on the phenomenon of stochastic resonance (SR) in a representative soft matter system, for which we chose perturbed ferroelectric liquid crystals. We generalized derived equations further in order to study the impact on almost general soft matter system. We showed that the dynamic equations are generic for SR phenomenon. We demonstrated how SR could be exploited to determine the disorder character and its strength in a soft matter system.
	Objavljeno v		PERC, M., GOSAK, M., KRALJ, S., »Stochastic resonance in soft matter systems : combined effects of static and dynamic disorder«, Soft matter, 2008, 4, str. 1861-1870, JCR IF (2007): 4.703, Skupaj 10 citatov (brez avtocitatov).
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID		16178696	
3.	Naslov	SLO	Vpliv nanodelcev na razširitev stabilnostnega področja modrih faz
		ANG	Influence of nanoparticles on increasing stability range of blue phases
	Opis	SLO	Kot prvi smo demonstrirali, da lahko primerni nanodelci razširijo temperaturni interval stabilnosti modrih faz za red velikosti. Ključni mehanizem za omenjeni pojav je selitev nanodelcev v jedra linijskih defektov, ki predstavljajo pglavitno značilnost modrih faz. V ta namen morajo nanodelci lokalno vsiljevati konfiguracijo, ki je podobna strukturi jeder defektov. Slednji mehanizem smo teoretično detajlno preučili na mezoskopskem nivoju z uporabo Landau-de Gennesovega modela. Pojav smo eksperimentalno preverili na mešanicah različnih tekočih kristalov in

		nanodelcev.
	ANG	We were the first to demonstrate experimentally and theoretically that appropriate nanoparticles (NPs) could extend temperature stability range blue phases for an order of magnitude. The key mechanism behind this phenomenon is collecting of NPs at cores of line defects which characterize blue phases. For this purpose NPs should locally enforce configurations which resemble core structure of defects. We explored the mechanism theoretically using Landau-de Gennes model. Experimentally the phenomenon was checked using different mixtures of liquid crystals and NPs.
Objavljeno v		ROŽIČ, B. et al., »Theoretical and experimental study of the nanoparticle-driven blue phase stabilisation«, The European physical journal. E, 2011, vol. 34, str. 17-27, JCR IF (2007): 2.01; in KARATAIRI, E. et al, »Nanoparticle-induced widening of the temperature range of liquid-crystalline blue phases« Phys. rev., E, 2010, vol. 81, str. 041703 JCR IF (2007): 2.4. Skupaj trije citati (brez avtocitativ).
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID		24522791
4.	Naslov	SLO Magnetoelektrični pojav v mehki snovi
		ANG Magnetolectric phenomenon in a soft material
	Opis	SLO Kot prvi smo eksperimentalno in teoretično demonstrirali, da lahko dosežemo magnetoelektrični odziv v mehki snovi. V ta namen smo preučevali mešanice različnih feroelektričnih tekočih kristalov (TK) in magnetnih nanodelcev (ND). Pri tem TK v smektični C fazi prispevajo električne lastnosti ter ND magnetne lastnosti. V vzorcih smo z uporabo zunanega električnega polja spremenili magnetizacijo sistema. Uspeli smo narediti homogene mešanice, ki ostanejo stabilne vsaj eno leto. Opaženi pojav smo razložili z uporabo Landau-de Gennesove teorije.
		ANG We were the first to demonstrate experimentally and theoretically magnetolectric effect in a soft matter system. For this purpose we examined mixtures of ferroelectric liquid crystals (LCs) and magnetic nanoparticles (NPs). In this phenomenon LC contributes electric properties and NPs magnetic properties. In our samples we changed magnetization of system by using external electric field. We managed to develop homogeneous mixtures, which remain stable for more than one year. We explained observed phenomenon using Landau-de Gennes phenomenological theory.
	Objavljeno v	ROŽIČ, B. et al., »Orientational order-magnetization coupling in mixtures of magnetic nanoparticles and the ferroelectric liquid crystal«, Ferroelectrics, 2011, vol. 410, str. 37-41, Proceedings, JCR IF (2007): 0.44.
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
	COBISS.SI-ID	23197735
5.	Naslov	SLO Nematične lupine
		ANG Nematic shells
	Opis	SLO Kot prvi smo razvili dvodimenzionalno mezoskopsko teorijo nematičnih lupin na splošnih zaključnih površinah rotacijske simetrije. Na izbranih geometrijah smo preverili veljavnost teorije. V ta namen smo izbrali krogelno, eliptično in vrsto drugih geometrij. Rezultati teorije potrjujejo vse dosedanje eksperimentalne meritve. Poleg tega je naša teorija izjemno primerna za opazovanje geometrijsko vodenih razcepov in zlivanje topoloških defektov. Omenjeni sistemi so zanimivi za potencialni razvoj t.i. »skaliranih kristalov« s kontrolirano značilno medmrežno razdaljo.
		ANG We were the first to develop two dimensional mesoscopic theory of nematic shells on closed surfaces exhibiting rotational symmetry. We checked validity of theory on several examples by choosing spherical, elliptical and also other geometries. Our results reproduce recent experimental measurements which were so far carried out only in spherical geometry. Our approach is also adequate to study geometrically driven decay and merging of topological defects. Nematic shells are potentially interesting to form scaled crystals with controlled lattice constant.
		KRALJ, S., ROSSO, R., VIRGA, E.G, »Curvature control of valence on nematic

Objavljeno v	shells«, Soft matter, 2011, vol. 7, str. 670-683, JCR IF (2009): 4.89.
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID	17960200

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati projektne skupine⁶

Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat		
1.	Naslov	<i>SLO</i> Organizacija in vodenje 11th European Conference on Liquid Crystals
		<i>ANG</i> Organization and leading of the 11th European Conference on Liquid Crystals
	Opis	<i>SLO</i> Vodja projekta S. Kralj je bil glavni organizator in vodja 11th European Conference on Liquid Crystals, ki je potekala v Mariboru v času med 6.2 in 11.2. 2011. Generalni pokrovitelj konference je bil predsednika republike dr. Danilo Türk. Konference, ki je potekala brez zapletov, se je udeležilo 250 vodilnih raziskovalcev s celega sveta. Pomembno vlogo pri izvedbi so igrali predvsem mladi raziskovalci, sodelavci ARRS projekta. Konferenca je bila deležna samo pohval in tako prispevala k ohranjanju izjemnega ugleda, ki ga imamo slovenski raziskovalci na področju raziskav tekočih kristalov.
		<i>ANG</i> The project leader S. Kralj was the main organizer and the general chair of the 11th European Conference on Liquid Crystals held in Maribor (6 February - 11 February 2011). The event was held under the patronage of the President of the Republic of Slovenia Dr Danilo Türk. The conference was attended by about 250 researchers from the whole world. Important role in the realization of the conference was played by young researchers which were participating in this ARRS project.
	Šifra	B.01 Organizator znanstvenega srečanja
	Objavljeno v	11th European Conference on Liquid Crystals ECLC 2011, 6-11 February 2011, Maribor, Slovenia, REPNIK, Robert (ur.). Conference programme. Maribor: Faculty of Natural Sciences and Mathematics, 2011.
	Tipologija	2.31 Zbornik recenziranih znanstvenih prispevkov na mednarodni ali tuji konferenci
COBISS.SI-ID	66516481	
2.	Naslov	<i>SLO</i> Organizacija in vodstvo dveh sekcij na SEM XI International Congress
		<i>ANG</i> Organization and leading of two sections at the SEM XI International Congress
	Opis	<i>SLO</i> Vodja projekta S. Kralj je na povabilo Society of Experimental Physics (SEM) organiziral ter vodil dve sekciji (naslov sekcij »Time Dependent Behavior of Liquid Crystals & Polymeric Mixtures I, II«) na SEM XI International Congress & Exposition on Experimental & Applied Mechanics v Orlando, ZDA, Junij 2-5, 2008. Omenjena tema sekcij predstavlja pomembno raziskovalno jedro ARRS projekta. S. Kralj je omogočil udeležbo na konferenci številnim mladim raziskovalcem s področja fizike, ki so bili skupno s člani projektne skupine edini predstavniki na konferenci iz Slovenije.
		<i>ANG</i> The project leader S. Kralj was invited by Society of Experimental Physics (SEM) to organize two sections (the sections titles »Time Dependent Behavior of Liquid Crystals & Polymeric Mixtures I, II«) at the SEM XI International Congress & Exposition on Experimental & Applied Mechanics v Orlando, ZDA, June 2-5, 2008. These topics are investigated within this project. S. Kralj invited to the conference several young researchers of physics from Slovenia, who were together with the project members the only representatives from Slovenia.
	Šifra	B.01 Organizator znanstvenega srečanja
	Objavljeno v	7 člankov v Proceedings of the 2008 Society for Experimental Mechanics
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
COBISS.SI-ID	16066824	
3.	Naslov	<i>SLO</i> Sodelovanje mladih raziskovalcev ter študentov fizike v projektu in njihove objave
		<i>ANG</i> Participation of young researchers and students of Physics in the project and their publications

Opis	SLO	Pri izvedbi projekta so v letu 2008 sodelovali številni mladi raziskovalci, ki jih financira ARRS (Brigita Rožič, Marko Jagodič, Sašo Gyergyek, Marko Gosak) ter mladi raziskovalec z gospodarstva (Matej Cvetko). Poleg tega so sodelovali še študentje (Robert Repnik, Matej Forjan) podiplomskega študija fizike-izobraževalna smer Univerze v Mariboru. Sodelovanje v projektu jim med drugim omogoča stik z vodilnimi raziskovalci s področja fizike mehke snovi. Omenjeni mladi raziskovalci so bili soudeleženi v številnih objavah.
	ANG	Four young researchers supported by ARRS (Brigita Rožič, Marko Jagodič, Sašo Gyergyek, Marko Gosak) and the young researcher from industry (Matej Cvetko) collaborated in the project in 2008. In addition two students (Robert Repnik, Matej Forjan) of the Graduate study of physics-educational branch, University of Maribor. Among others, participation in the project enabled them to be in contact with the leading scientists in the field of soft matter physics. They are also coauthors in several publications.
Šifra	B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci	
Objavljeno v	6 člankov v Proceedings of the 2008 Society for Experimental Mechanics	
Tipologija	1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci	
COBISS.SI-ID	15940616	
4. Naslov	SLO	Sodelovanje mladih raziskovalcev ter študentov fizike v projektu in njihove objave
	ANG	Participation of young researchers and students of Physics in the project and their publications
Opis	SLO	Pri izvedbi projekta so v letu 2008 sodelovali številni mladi raziskovalci, ki jih financira ARRS (Brigita Rožič, Marko Jagodič, Sašo Gyergyek, Marko Gosak) ter mladi raziskovalec z gospodarstva (Matej Cvetko). Poleg tega so sodelovali še študentje (Robert Repnik, Matej Forjan) podiplomskega študija fizike-izobraževalna smer Univerze v Mariboru. Sodelovanje v projektu jim med drugim omogoča stik z vodilnimi raziskovalci s področja fizike mehke snovi. Omenjeni mladi raziskovalci so bili soudeleženi v številnih objavah.
	ANG	Four young researchers supported by ARRS (Brigita Rožič, Marko Jagodič, Sašo Gyergyek, Marko Gosak) and the young researcher from industry (Matej Cvetko) collaborated in the project in 2008. In addition two students (Robert Repnik, Matej Forjan) of the Graduate study of physics-educational branch, University of Maribor. Among others, participation in the project enabled them to be in contact with the leading scientists in the field of soft matter physics. They are also coauthors in several publications.
Šifra	F.02 Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
Objavljeno v	Številne publikacije v mednarodno uglednih revijah, kjer so bili omenjeni mladi raziskovalci vodilni avtorji.	
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
COBISS.SI-ID	24415271	
5. Naslov	SLO	Vključevanje vsebin projekta v izobraževanje
	ANG	Inclusion of project contents into education programs
Opis	SLO	Nekatere vsebine projekta so bile vključene v izobraževalne vsebine predmetov na Fakulteti za naravoslovje in matematiko (predmeti Moderna fizika, Fizika tekočih kristalov, Modeliranje v fiziki mehke snovi, Kompleksne mešanice) Univerze v Mariboru in na Mednarodni podiplomski šoli Jožefa Stefana (predmeti Tekoči kristali, Mehka snov) v Ljubljani. Poleg tega so člani projekta v okviru 11th European Conference on Liquid Crystals v Mariboru prvič organizirali pedagoško sekcijo, v okviru katere so raziskovalci predstavili številne aktualne raziskovalne tematike slovenskim srednješolskim učiteljem.
	ANG	Some contents of the project were included into content of subjects lectured at University of Maribor (subjects Modern physics, Physics of liquid crystals, Soft matter modeling, Complex mixtures) of and at Jožef Stefan International Postgraduate School (subjects Physics of liquid crystals, Soft materials). In addition the project members organized within the 11th European Conference on Liquid Crystals in Maribor for the first time educational section within several hot research topics in the field of liquid crystals were introduced to Slovenian middle school teachers.
	D.10 Pedagoško delo	

Šifra	
Objavljeno v	Topological defects in liquid crystals, 11th European Conference on Liquid Crystals ECLC 2011, 6-11 February 2011, Maribor, Slovenia. Conference programme. Maribor: Faculty of Natural Sciences and Mathematics, 2011.
Tipologija	1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci
COBISS.SI-ID	24458023

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine⁸

--

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁹

9.1. Pomen za razvoj znanosti¹⁰

SLO

Kot prvi smo eksperimentalno pokazali obstoj stabilnega mehkega magnetoelektrika. Ta rezultat predstavlja pomemben začetni korak pri razvoju bodočih štiribitnih računalnikov. Od magnetoelektričnih elementov se pričakuje, da bodo hkrati omogočali računske operacije in shranjevanje podatkov. Mehki magnetoelektriki so zanimivi, ker so zaradi svoje »mehkobe« izjemno občutljivi na zunanje motnje. To lastnost bi lahko izkoristili za relativno energijsko ceneno delovanje.

Kot prvi smo razvili mezoskopski model, s katerim smo preučili vpliv različnih parametrov na tekoče-kristalno (TK) vodeno orientacijsko urejanje nanocevk. Pokazali smo, da lahko dosežemo izjemno orientacijsko urejenost tudi v primerih, kjer je sklopitev med tekočimi kristali in nanocevkami relativno šibka. Naši modeli bodo npr. uporabni kot orodje za razvoj TK vodenih kreacij različnih vzorcev nanocevk s specifičnimi anizotropnimi lastnostmi. Npr., orientacijsko urejenost tekočih kristalov lahko relativno enostavno krmilimo z zunanjimi polji ali s primerno oblikovano ali obdelano površino. Poleg tega znotraj dane TK faze obstaja vrsta različnih struktur. Slednjo pestrost bi lahko izrabili kot vzorčne matrike za urejanje različnih konfiguracij nanocevk.

Kot prvi smo numerično simulirali jedro površinskega topološkega defekta (boojum), ki ne more zapustiti površine. Slednja fizika je izjemno univerzalna in zato uporabna tudi za druga področja fizike (npr. prva teorija topoloških defektov je bila razvita v kozmologiji). Poleg tega smo pokazali, pod kakšnimi pogoji se lahko nanodelci v splošnem učinkovito ujamejo v jedra defektov. Omenjeno spoznanje bi lahko v bodoče izkoriščali za pozicijsko usmerjanje nanodelcev indirektno preko pomikanja topoloških defektov. Omenjeni mehanizem predstavlja novo možnost pri kontrolirani prostorski postavitvi nanodelcev.

Za napredek splošne znanosti je pomembno tudi naše eksperimentalno in teoretično delo, v katerem smo dokazali, da lahko primerno površinsko obdelani nanodelci povečajo temperaturno stabilnost modrih faz za red velikosti. Slednje faze so izjemno zanimive za različne elektrooptične aplikacije zaradi njihovih izjemnih optičnih lastnosti. Poleg tega smo pokazali, da lahko področje temperaturne stabilnosti z dodajanjem ustreznih nanodelcev približamo sobnim temperaturam. Naša spoznanja lahko vodijo do razvoja robustnih prikazalnikov osnovanih na modrih fazah, ki delujejo pri sobnih temperaturah. Bistvena prednost takšnih prikazalnikov je relativno nezahtevna obdelava površin, ki obdajajo tekoče kristalno fazo.

Kot prvi smo pokazali, pod kakšnimi pogoji se naključno moteni sistemi pokoravajo teoremu Imry-Ma, ki predstavlja enega od ključnih elementov statistične termodinamike nereda. Teorem je bil originalno izpeljan na področju magnetizma. Toda njegova veljavnost je izrazito univerzalna, saj zahteva v sistemu le obstoj Goldstonovega nihajnega načina v spremenljivki, ki je sklopljena z naključnim poljem. Goldstonov nihajni način je nujna posledica zloma zvezne simetrije v faznem prehodu, pri katerem se vzpostavi urejenost v nemotenem sistemu. Slednji pojav je izjemno pogost v naravi in posledično je preučevan pojav izjemno univerzalen.

Kot prvi smo demonstrirali, da bi lahko statični nered v mehkih sistemih izkoristili za ojačitev vhodnih signalov z uporabo stohastične resonance. To spoznanje bi lahko vodilo do razvoja občutljivih detektorjev, ki izkoriščajo kombinirano izjemno občutljivost stohastične resonance in mehkih materialov.

Kot prvi smo demonstrirali, v kakšnem področju bi lahko primerne mešanice tekočih kristalov in nanodelcev uporabili kot spominske elemente. Poleg tega smo pokazali, da je lahko vpliv nanodelcev na tekoče kristale podoben kot vpliv zunanjega ujetega (quenched) naključnega polja. Slednja analogija še ni bila znana in predstavlja možno eksperimentalno realizacijo sistema, kjer lahko eksperimentalno preučujemo pojave v naključno motenih sistemov.

ANG

We were the first to develop experimentally a stable soft magnetoelectric material. This result represents an important first step in the development of future four-bit based computers. Magnetoelectric elements are expected to allow simultaneously both arithmetic operations and data storage. Soft magnetoelectrics have great application potential because of their softness, due to which they could be extremely responsive to weak external driving fields. This feature could enable computer operations at a relatively low energy costs.

We were the first to develop a mesoscopic model to study influence of various parameters on the liquid crystal driven alignment of nanotubes. We showed that one could achieve surprisingly strong alignment effects even in cases where interactions between liquid crystal (LC) molecules and nanotubes are relatively weak. Our model could be in future useful guide for the development of LC-controlled creations of different patterns of nanotubes with specific anisotropy properties. For example, structural arrangement of liquid crystals could be relatively easily controlled by external fields or by appropriately shaped or treated surfaces. A given LC phase could display several different structures. These structures could serve as a template for various configurations of nanotubes.

We were the first to calculate the core structure of a surface topological defect (boojum), which can not leave the surface. The physics of topological defects is rather universal, and therefore our results are of interest also to other fields of physics (Note that the first theory of topological defects was developed in cosmology.). In addition, we showed under what conditions nanoparticles could be efficiently trapped in cores of defects. This trapping mechanism could be in future exploited for controlled positional placement of nanoparticles by using topological defects.

For the general progress of science is also important our experimental and theoretical work in which we have proved that appropriate surface treated nanoparticles could increase temperature stability of blue phases for an order of magnitude. These phases are extremely interesting for various applications due to their exceptional electro-optical properties. In addition, we showed that the temperature stability regime of blue phases could be driven towards room temperatures by adding appropriate nanoparticles. Our findings may lead to development of robust displays based on blue phases, which operate at ambient temperatures. The major advantage of such displays would be relatively simple treatment of surfaces surrounding the working liquid crystal phase material.

We were the first to show under what conditions randomly perturbed systems obey the Imry-Ma theorem, which represents one of a pivotal stone of statistical thermodynamics of disorder. The theorem was originally derived to describe behavior of magnetic systems. But its validity is highly universal, because it only requires the existence of a Goldstone mode. Goldstone mode type of excitation is a necessary consequence of continuous symmetry breaking in the phase transition, via which long range order is established in absence of the random field. The latter phenomenon is extremely common in nature and consequently our results are of universal validity.

We were the first to demonstrate that a source of static disorder in a soft systems could be exploited for amplification of input signals using stochastic resonance. This knowledge could lead to the development of sensitive detectors that exploit combined high sensitivity of both stochastic resonance and soft materials.

We were the first to show that an appropriate mixture of liquid crystals and nanoparticles could be used as a memory element. In addition, we demonstrated that impact of nanoparticles on a liquid crystal structure could be similar to an impact of external quenched random field. The latter analogy has not yet been known.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹¹

SLO

Številne firme v Sloveniji se ukvarjajo z nanotehnologijo. Posebno so npr. zanimivi ferofluidi. Naše raziskave podajajo splošen vpogled, v katerih razmerah so lahko stabilne mešanice različnih izotropnih ali anizotropnih tekočin in nanodelcev. Poleg tega naše raziskave nakazujejo vrsto novih možnih aplikacij (urejanje nanocevk, razvoj občutljivih detektorjev osnovani na mehkih materialih in stohastični resonanci, mehki spominski elementi), ki se bi lahko razvile v Sloveniji.

V projektu so sodelovali številni mladi raziskovalci, ki so pridobili raznovrstne izkušnje s področja fizike, matematike, računalništva in kemije (neposredno v projektu sta bila Marko Jagodič in Sašo Gyergyek, v nekaterih raziskavah pa so sodelovali tudi Brigita Rožic, Dalija Jesenek, Matej Cvetko in Marko Gosak). Projekt je bit izrazito interdisciplinaren in interinstitucionalen. Med sodelujočimi institucijami se je preko projekta vzpostavilo trdnejše sodelovanje na področju raziskav in tudi na področju izobraževanja.

Nova spoznanja, ki so posledica raziskav v projektu, se vključujejo v vsebine številnih predmetov univerzitetnih in doktorskih študijev. Primeri so npr. predmeti Kompleksne mešanice, Modeliranje v fiziki mehke snovi, Pregled moderne fizike, Sodobni pogled na fiziko na doktorskem študiju na Fakulteti za naravoslovje in matematiko Univerze v Mariboru in Tekoči kristali ter Mehki materiali na Mednarodni podiplomski šoli Jožefa Stefana ter drugi predmeti na prvi in drugi bolonjski stopnji.

V projektu so sodelovale številne ugledne raziskovalne skupine v tujini (Leuven, Pavia, Bukarešta, Atene), kar utrjuje vpetost slovenskih raziskovalcev v mednarodne raziskovalne mreže.

Člani projekta smo organizirali 11th European Conference on Liquid Crystal, ki je potekala v Mariboru v času med 6.2 in 11.2. 2011. Konferenco je vodil vodja projekta S. Kralj. Generalni pokrovitelj konference je bil predsednika republike dr. Danilo Türk. Konferenca, ki je potekala brez zapletov, se je udeležilo 250 vodilnih raziskovalcev s celega sveta. Večinski delež konferenčnih prispevkov je bil na temo kompozitov različnih tekoče kristalnih faz in nanodelcev, kar priča o aktualnosti tematike projekta. Poleg tega so člani projekta v okviru konference prvič v zgodovini evropskih tekoče-kristalnih konferenc organizirali pedagoško sekcijo. V okviru slednje sekcije so številni vrhunski raziskovalci predstavili aktualne raziskovalne tematike slovenskim srednješolskim učiteljem. Na ta način smo prenesli nova spoznanja na področju mehke snovi na širšo javnost. Konferenca je bila deležna številnih pohval in tako prispevala k ohranjanju izjemnega ugleda, ki ga imamo slovenski raziskovalci na področju raziskav tekočih kristalov.

ANG

Many firms in Slovenia are engaged in nanotechnology. In particular are of interest ferrofluids. Our studies provide an insight under which circumstances stable mixtures of different isotropic or anisotropic fluids and nanoparticles could be realized. In addition, our research suggests a number of new potential applications (liquid crystal driven alignment of nanotubes, development of sensitive detectors based on soft materials and stochastic resonance, soft memory elements), which could be developed in Slovenia.

The project involved many young researchers (Marko Jagodič and Sašo Gyergyek, in some research activities participated also Brigita Rozic, Dalija Jesenek, Matej Cvetko and Marko Gosak) who have gained diverse experiences in the field of physics, mathematics, computer science and chemistry. The project was highly interdisciplinary and inter-institutional. Among the participating institutions stronger collaboration has been established both in research and education activities.

New knowledge gained within the project has been included in the content of several university courses and doctoral studies. Examples are subjects Complex mixtures, Modeling in soft matter physics, Overview of Modern Physics, Modern Aspects of Physics on doctoral studies at the Faculty of Science and Mathematics University of Maribor and the subjects Liquid Crystals and Soft Matter at the Jožef Stefan International Postgraduate School in Ljubljana.

The project involved a number of reputable research groups abroad (Leuven, Pavia, Bucharest, Athens). The collaboration within the project has strengthen integration of Slovenian researchers in international research networks.

Project members organized the 11th European Conference on Liquid Crystal which was held in Maribor in the period between 6-11 February 2011. The conference was led by the project leader S. Kralj. The conference was held under the patronage of the President of the Republic of Slovenia Dr Danilo Türk. It was attended by 250 researchers from around the world. Majority of the conference contributions considered composites of different liquid crystal phases and nanoparticles, which testifies the relevance of the project topics. In addition, the project members organized within the conference the educational section for the first time in the history of liquid-crystal conferences. In this section several top researchers presented hot research topics in soft matter physics to Slovenian secondary school teachers. In this way we transferred some of the modern knowledge in the field of soft matter to the general audience. The conference was a success and has contributed to already established outstanding reputation of Slovenian researchers in the field of liquid crystal research.

--

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="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	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.09.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

Komentar

--

12. Pomen raziskovanja za sofinancerje, navedene v 2. točki [12](#)

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:

Samo Kralj	in	
podpis vodje raziskovalnega projekta		zastopnik oz. pooblaščen oseba RO

Kraj in datum:

Ljubljana

13.4.2011

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2011-1/76

¹ Zaradi spremembe klasifikacije družbeno ekonomskih ciljev je potrebno v poročilu opredeliti družbeno ekonomski cilj po novi klasifikaciji. [Nazaj](#)

² Samo za aplikativne projekte. [Nazaj](#)

³ 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](#)

⁴ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁵ V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta (obrazložitev). V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁶ 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](#)

⁷ 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](#)

⁸ 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](#)

⁹ 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](#)

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

¹¹ Največ 4.000 znakov vključno s presledki [Nazaj](#)

¹² 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/2011-1 v1.01

06-32-74-4F-45-D5-C3-0F-48-1F-B7-D4-F3-83-67-07-11-53-C0-EA