

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/72



## ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

### A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROGRAMU

#### 1. Osnovni podatki o raziskovalnem programu

<b>Šifra programa</b>	P1-0125
<b>Naslov programa</b>	Magnetna resonanca in dielektrična spektroskopija "pametnih" novih materialov "Magnetic resonance and dielectric spectroscopy of ""smart"" new materials"
<b>Vodja programa</b>	3939 Janez Dolinšek
<b>Obseg raziskovalnih ur (vključno s povečanjem financiranja v letu 2014)</b>	113220
<b>Cenovni razred</b>	C
<b>Trajanje programa</b>	01.2009 - 12.2014
<b>Izvajalci raziskovalnega programa (javne raziskovalne organizacije - JRO in/ali RO s koncesijo)</b>	106 Institut "Jožef Stefan"
<b>Raziskovalno področje po šifrantu ARRS</b>	1 NARAVOSLOVJE 1.02 Fizika
<b>Družbeno-ekonomski cilj</b>	13.01 Naravoslovne vede - RiR financiran iz drugih virov (ne iz SUF)
<b>Raziskovalno področje po šifrantu FOS</b>	1 Naravoslovne vede 1.03 Fizika

### B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

#### 2. Povzetek raziskovalnega programa<sup>1</sup>

SLO

**Delo programske skupine** *Magnetna resonanca in dielektrična spektroskopija pametnih novih materialov* v obdobju 1. 1. 2009 - 31. 12. 2014 je bilo usmerjeno v odkrivanje osnovnih zakonitosti fizike nepopolno urejene kondenzirane materije in v povezavo

strukture in dinamike neurejenih sistemov na nivoju atomov in molekul z makroskopskimi lastnostmi snovi.

Raziskovali smo naslednja področja:

1. Superprevodnost v močno koreliranih sistemih in železovih superprevodnikih
2. Magnetno frustrirani sistemi
3. Težki fermionski prevodniki
4. Spinske lestvice
5. Kvazikristali in kompleksne kovinske spojine
6. Magnetoelektriki
7. Fizikalne lastnosti nanodelcev in nanomaterialov
8. Relaksorski feroelektriki in organski feroelektriki
9. Tekoči kristali
10. Optimizacija  $^{14}\text{N}$  JKR metod za odkrivanje eksplozivov
13. Razvoj novih metod dvojne resonance
14. Kvadrupolna resonanca  $^{14}\text{N}$  v farmacevtskih substancah
15. Sistemi z vodikovimi vezmi
16. Snovi z velikim elektrokaličnim in termoelastičnim pojavom
17. Relaksorski polimeri
18. Visokoentropijske zlitine

Pri raziskavah smo uporabljali naslednje raziskovalne metode:

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

Raziskave smo objavili v skupno 372 originalnih znanstvenih člankih (kategorija 1.01 + samostojna poglavja v knjigah). Od teh imamo eno objavo v reviji Science (IF=31.03), eno v reviji Nature (IF=38.6), eno v reviji Nature Photonics (IF=27.25), dve v reviji Nature Communications (IF=10.02), 1 v reviji Chemical Society Reviews (IF=28.8), 1 v Adv. Funct. Mater. (IF=9.765), 12 v Phys. Rev. Letters (IF=7.4) ter večje število (50) v Phys. Rev. B.

ANG

**The research** of the program group *Magnetic Resonance and Dielectric Spectroscopy of Smart New Materials* in the period 1. 1. 2009 - 31. 12. 2014 was focused on the study of the structure and dynamics of disordered and partially ordered condensed matter at the atomic and molecular level.

We have been investigating the following research topics:

1. Superconductivity in strongly correlated electron systems and iron-containing superconductors
2. Magnetically frustrated systems
3. Heavy-fermion systems
4. Spin ladders
5. Quasicrystals and complex metallic alloys
6. Magnetoelectric materials
7. Physical properties of nanoparticles and nanomaterials
8. Relaxor ferroelectrics and organic ferroelectrics
9. Liquid crystals
10.  $^{14}\text{N}$  NQR methods for explosive detection
13. Development of novel double-resonance methods
14.  $^{14}\text{N}$  nuclear quadrupole resonance in pharmaceutical substances

15. Hydrogen-bonded systems
16. Materials with giant electrocaloric and thermoelastic effect
17. Relaxor polymers
18. High-entropy alloys

In our research, we have used the following experimental techniques:

- Nuclear magnetic resonance (NMR), electron paramagnetic resonance (EPR) and nuclear quadrupole resonance (NQR),
- Nuclear double resonance  $^{17}\text{O-H}$  and  $^{14}\text{N-H}$ ,
- Fast field cycling NMR relaxometry,
- Linear and non-linear dielectric spectroscopy in the range  $10^{-2}$  Hz to  $10^9$  Hz,
- Frequency-dependent ac calorimetry,
- Measurement of the electronic transport coefficients,
- Magnetic measurements.

Our results were published in 372 original scientific papers and book chapters. Among these, we have one publication in Science (IF=31.03), one in Nature (IF=38.6), one in Nature Photonics (IF=27.25), two in Nature Communications (IF=10.02), one in Chemical Society Reviews (IF=28.8), one in Adv. Funct. Mater. (IF=9.765), 12 in Phys. Rev. Letters (IF=7.4) and larger number (50) in Phys. Rev. B.

### 3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem programu, vključno s predloženim dopolnjenim programom dela v primeru povečanja financiranja raziskovalnega programa v letu 2014<sup>2</sup>

SLO

Predloženi program dela je bil v celoti realiziran. Odkriti so bili doslej neznan material z novimi električnimi, magnetnimi, termičnimi in mehanskimi lastnostmi.

To potrjuje veliko število objav (372 člankov in poglavij v knjigah) iz tematike raziskav programa. Od teh imamo eno objavo v reviji Science (IF=31.03), eno v reviji Nature (IF=38.6), eno v reviji Nature Photonics (IF=27.25), dve v reviji Nature Communications (IF=10.02), 1 v reviji Chemical Society Reviews (IF=28.8), 1 v Adv. Funct. Mater. (IF=9.765), 12 v Phys. Rev. Letters (IF=7.4) ter večje število (50) v Phys. Rev. B.

### 4. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem programu in zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>3</sup>

SLO

Stopnja realizacije programa in zastavljenih ciljev je 100 %. To potrjuje veliko število objav (372 člankov in poglavij v knjigah) iz tematike raziskav programa. Od teh imamo eno objavo v reviji Science (IF=31.03), eno v reviji Nature (IF=38.6), eno v reviji Nature Photonics (IF=27.25), dve v reviji Nature Communications (IF=10.02), 1 v reviji Chemical Society Reviews (IF=28.8), 1 v Adv. Funct. Mater. (IF=9.765), 12 v Phys. Rev. Letters (IF=7.4) ter večje število (50) v Phys. Rev. B.

### 5. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega programa oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave programske skupine v letu 2014<sup>4</sup>

SLO

Sprememb programa raziskav in projektne skupine v letu 2014 ni bilo.

### 6. Najpomembnejši znanstveni rezultati programske skupine<sup>5</sup>

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	22509351	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Urejen ne-BCS superprevodnik Cs3C60 se pojavi iz izolatorskega osnovnega stanja

		ANG	The disorder-free non-BCS superconductor Cs <sub>3</sub> C <sub>60</sub> emerges from an antiferromagnetic insulator parent state
Opis		SLO	S pomočjo poskusov z jedrsko magnetno resonanco smo pokazali, da je Cs <sub>3</sub> C <sub>60</sub> pod normalnim tlakom v izolatorskem stanju in se antiferromagnetno uredi pod temperaturo 46 K. To izolatorsko stanje ima vse lastnosti Mottovih izolatorjev ter jasno odraža pomen močnih elektronskih korelacij v tem sistemu. Ob uporabi visokih tlakov (nad 3,6 kbar) pa Cs <sub>3</sub> C <sub>60</sub> postane prevoden ter pri dovolj nizki temperaturi preide v superprevodno stanje. Kritična temperatura najprej narašča z naraščajočim tlakom ter doseže vrh s TC = 38 K (-235°C) pri tlaku okoli 8 kbar.
		ANG	We reported on our nuclear magnetic resonance experiments in Cs <sub>3</sub> C <sub>60</sub> and first demonstrated that its ambient pressure ground state is insulating with an antiferromagnetic order below 46 K. This insulating state has all characteristics of Mott insulators and thus clearly reflects the importance of electronic correlations in fullerenes. Applying high hydrostatic pressures (exceeding 3.6 kbar) Cs <sub>3</sub> C <sub>60</sub> becomes a metal and undergoes to a superconducting state at low temperatures. Critical temperature first increases with increasing pressure, but then reaches a broad maximum at TC = 38 K at 8 kbar.
Objavljeno v	American Association for the Advancement of Science; Science; 2009; Vol. 323, no. 5921; str. 1585-1590; Impact Factor: 29.747; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.33; A'': 1; A': 1; WoS: RO; Avtorji / Authors: Takabayashi Yasuhiro, Jeglič Peter, Arčon Denis		
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		
2.	COBISS ID	23639591	Vir: COBISS.SI
Naslov		SLO	Poliformistična kontrola superprevodnosti in magnetizma v Cs <sub>3</sub> C <sub>60</sub> v bližini Mottovega prehoda
		ANG	Polymorphism control of superconductivity and magnetism in Cs <sub>3</sub> C <sub>60</sub> close to the Mott transition
Opis		SLO	S pomočjo poskusov z jedrsko magnetno resonanco smo pokazali, da je v obeh znanih Cs <sub>3</sub> C <sub>60</sub> polimorfih osnovno stanje izolatorsko pri ambientnem tlaku. Vendar se magnetno stanji bistveno razlikujeta. V raziskavi smo uspeli pokazati, da kritične temperature v obeh polimorfih sledijo univerzalnemu parametru, ki je odvisen od elektronske korelacijske energije.
		ANG	With the help of nuclear magnetic resonance experiments we demonstrated that both known Cs <sub>3</sub> C <sub>60</sub> polymorphs have insulating ground state under ambient pressure conditions. We showed that both critical temperatures follow universal parameter, that depends on the electron correlation energy.
Objavljeno v	Nature Publishing Group, a division of Macmillan Publishers; Nature; 2010; Vol. 466, no. 7303; str. 221-225; Impact Factor: 36.101; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.124; A'': 1; A': 1; WoS: RO; Avtorji / Authors: Ganin Alexey Yu., Jeglič Peter, Arčon Denis, Potočnik Anton		
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		
3.	COBISS ID	26118439	Vir: COBISS.SI
Naslov		SLO	Električne in termične transportne lastnosti ikozaedričnih in dekalgonalnih kvazikristalov
		ANG	Electrical and thermal transport properties of icosahedral and decagonal quasicrystals
	Članek v Chemical Society Reviews je bil objavljen na povabilo editorjev. V njem je podan pregled trenutnega razumevanja električnih in termičnih		

	Opis	SLO	transportnih lastnosti ikozaedričnih in dekadonalnih kvazikristalov (električne upornosti, termoelektrične napetosti, Hallovega koeficienta in toplotne prevodnosti). Opisani so najpomembnejši eksperimentalni rezultati in teoretični modeli za njihov opis. Glavna teža je na rezultatih, pridobljenih iz raziskav na IJS.
		ANG	This Chemical Society Reviews paper was prepared following the invitation by the CSR Editors. This review paper summarized current state of the art in the field of physical properties of icosahedral and decagonal quasicrystals (electrical resistivity, thermoelectric power, Hall coefficient and thermal conductivity), giving a survey of the experimental results and theoretical models. Large part of the paper is based on the results obtained in the Author's laboratory at the J. Stefan Institute.
	Objavljeno v		Chemical Society; Chemical Society reviews; 2012; Vol. 41, no. 20; str. 6730-6744; Impact Factor: 24.892; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 3.175; A": 1; A': 1; WoS: DY; Avtorji / Authors: Dolinšek Janez
	Tipologija		1.02 Pregledni znanstveni članek
4.	COBISS ID	25317671	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Spektroskopija na nanoskali s polariziranimi X-žarki z metodo NEXAFS-TXM
		ANG	Nanoscale spectroscopy with polarized X-rays by NEXAFS-TXM
	Opis	SLO	V članku objavljenem v Nature Photonics je članica skupine Polona Umek s sodelavci uporabila kombinacijo dveh tehnik in sicer NEXAFS (ang. near-edge X-ray absorption spectroscopy) in TXM (ang. transmission X-ray microscopy) za karakterizacijo elektronskih stanj in lokalnih struktur v natrij titanatnih nanopasovih in njihovi protonirani obliki. S tem so raziskovalci dosegli izredno visoko ločljivost meritev, predvsem pa se je prednost kombinacije obeh tehnik (NEXAFS-TXM) pokazala v tem, da so meritve potekale na istem delu vzorca in da je serija posnetih slik zajela veliko število nanostruktur tako, da je meritev že sama po sebi vsebovala statistično informacijo. Ta pristop karakterizacije nanostruktur v kombinaciji z NEXAFS-TXM tehnikama odpira nove možnosti pri raziskavah na nanoskali.
		ANG	Near-edge X-ray absorption spectroscopy (NEXAFS) is an essential analytical tool in material science. Combining NEXAFS with scanning transmission X-ray microscopy (STXM) adds spatial resolution and the possibility to study individual nanostructures. In this work, we described a full-field transmission X-ray microscope (TXM) that generates high resolution, large-area NEXAFS data with a collection rate two orders of magnitude faster than is possible with STXM. The TXM optical design combines a spectral resolution of $E/DE5$ 13104 with a spatial resolution of 25 nm in a field of view of 15–20 mm and a data acquisition time of ~1 s. As an example, we present image stacks and polarization-dependent NEXAFS spectra from individual anisotropic sodium and protonated titanate nanoribbons ((Na,H)TiNRs, HTiNRs)). Combined NEXAFS-TXM technique has the advantage that one image stack visualizes a large number of nanostructures and therefore already contains statistical information. This new high-resolution NEXAFS-TXM technique opens the way to advanced nanoscale science studies.
	Objavljeno v		Nature Pub. Group; Nature photonics; 2012; Vol. 6, no. 1; str. 25-29; Impact Factor: 27.254; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.857; A": 1; A': 1; WoS: SY, UB; Avtorji / Authors: Guttmann Peter, Bittencourt Carla, Rehbein Stefan, Umek Polona, Ke Xiaoxing, Van Tendeloo Gustaaf, Ewels Christopher Paul, Schneider G.
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek

5.	COBISS ID	27449895	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Frustracijsko-inducirana nehomogenost triangularnega magneta na nanometrski skali	
	ANG	Frustration-induced nanometre-scale inhomogeneity in a triangular antiferromagnet	
Opis	SLO	V članku A. Zorko et al., Nat. Commun. 5, 3222 (2014), so avtorji objavili odkritje povsem novega magneto-strukturno nehomogenega osnovnega stanja v geometrijsko frustriranem sistemu $\alpha$ -NaMnO <sub>2</sub> , ki izvira iz težnje po odpravi magnetne degeneracije in je mogoče le zaradi obstoja skoraj degeneriranih kristalnih struktur. Z uporabo različnih eksperimentalnih tehnik so pokazali, da je spinska konfiguracija monoklinske faze prekinjena v nanometrijskih triklnskih območjih z magnetnim redom kratkega dosega. Takšna fazna separacija še nikoli ni bila opažena izključno v magneto-strukturnem kanalu, čeprav spominja na nehomogena stanja elektronskega naboja, opažena v nekaterim kemijsko homogenih sistemih, kot na primer v visokotemperaturnih superprevodnih kupratih in manganitih s kolosalno magnetoupornostjo.	
	ANG	In the paper A. Zorko et al., Nat. Commun. 5, 3222 (2014), the authors reported the discovery of a paradigmatic magnetostructurally inhomogenous ground state of the geometrically frustrated $\alpha$ -NaMnO <sub>2</sub> that stems from the system's aspiration to remove magnetic degeneracy and is possible only due to existence of near-degenerate crystal structures. Using different experimental techniques they showed that the spin configuration of a monoclinic phase is disrupted by magnetically short-range-ordered nanoscale triclinic regions. Such phase separation has never been observed before solely in the magnetostructural channel, though it is reminiscent of charge-driven phase inhomogeneities of some chemically homogenous electronic systems, such as high-T <sub>c</sub> cuprates and colossal-magneto-resistant manganites.	
Objavljeno v	Nature Publishing Group; Nature communications; 2014; Vol. 5, art.no. 3222; str. 1-10; Impact Factor: 10.742; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.663; A'': 1; A': 1; WoS: RO; Avtorji / Authors: Zorko Andrej, Adamopoulos Othon, Komelj Matej, Arčon Denis, Lappas Alexandros		
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		

### 7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati programske skupine<sup>6</sup>

	Družbeno-ekonomski dosežek		
1.	COBISS ID		Vir: vpis v poročilo
Naslov	SLO	Janez Dolinšek - podpredsednik evropskega združenja za magnetne resonance Groupement AMPERE, Zuerich, Švica	
	ANG	Janez Dolinšek - vice-president of Groupement AMPERE (the European Magnetic Resonance Society), Zuerich, Switzerland	
Opis	SLO	Janez Dolinšek - podpredsednik evropskega združenja za magnetne resonance Groupement AMPERE, Zuerich, Švica	
	ANG	Janez Dolinšek - vice-president of Groupement AMPERE (the European Magnetic Resonance Society), Zuerich, Switzerland	
Šifra	D.03	Članstvo v tujih/mednarodnih odborih/komitejih	
Objavljeno v	<a href="http://www.ampere.ethz.ch/">http://www.ampere.ethz.ch/</a>		
Tipologija	1.24 Bibliografija, kazalo ipd.		

2.	COBISS ID		27304487	Vir: COBISS.SI	
	Naslov	SLO	C-MAC dnevi 2013		
		ANG	C-MAC days 2013		
	Opis	SLO	Janez Dolinšek - organizator mednarodne konference o pametnih materialih (Ljubljana, december 2013)		
		ANG	Janez Dolinšek - organizer of international conference on smart materials (Ljubljana, December 2013)		
	Šifra	B.01 Organizator znanstvenega srečanja			
	Objavljeno v	s. n.]; 2013; 58 str.; Avtorji / Authors: Dolinšek Janez, Jelen Andreja, Koželj Primož			
Tipologija	2.25 Druge monografije in druga zaključena dela				
3.	COBISS ID		25779495	Vir: COBISS.SI	
	Naslov	SLO	Fizika materialov		
		ANG	Physics of materials		
	Opis	SLO	Z. Kutnjak je izdal učbenik o fiziki materialov za doktorski študij.		
		ANG	Z. Kutnjak has published a book on physics of materials for the level of doctoral studies.		
	Šifra	D.10 Pedagoško delo			
Objavljeno v	Jožef Stefan International Postgraduate School; 2012; [11] str.; Avtorji / Authors: Kutnjak Zdravko				
Tipologija	2.05 Drugo učno gradivo				
4.	COBISS ID		15669593	Vir: COBISS.SI	
	Naslov	SLO	Evropski patent "Termična spominska celica" (2010) (Metoda za zapis digitalnih informacij in spominski element)		
		ANG	European patent "A Thermal memory Cell" (2010) (Method for storing digital informaion and storage element))		
	Opis	SLO	Patent obravnava koncept in izvedbo nove vrste spominskega elementa za digitalne aplikacije, ki zapis digitalne informacije izvede s kontroliranim časovnim profilom spreminjanja temperature, brez prisotnosti magnetnega ali električnega polja.		
		ANG	The Patent describes the concept and realization of a new kind of memory element for digital application, where a byte of digital information is stored by a controlled time-temperature profile, in the absence of magnetic or electric field.		
	Šifra	F.08 Razvoj in izdelava prototipa			
	Objavljeno v	Europäisches Patentamt = European Patent Office = Office européen des brevets; 2009; 12 str.; Avtorji / Authors: Feuerbacher Michael, Dolinšek Janez, Heggen Marc, Jagličič Zvonko, Jagodič Marko			
Tipologija	2.23 Patentna prijava				
5.	COBISS ID			Vir: vpis v poročilo	
	Naslov	SLO	Janez Dolinšek - Zoisova nagrada R Slovenije 2010 za vrhunske dosežke v raziskavah fizikalnih lastnosti novih kompleksnih kovinskih spojin		
		ANG	Janez Dolinšek: Zois Award 2010 of the Republic of Slovenia for the outstanding achievements in scientific, research and development activities (research of physical properties of novel complex metallic alloys)		
Opis	SLO	Janez Dolinšek - prejemnik Zoisove nagrade R Slovenije 2010 za vrhunske dosežke v raziskavah fizikalnih lastnosti novih kompleksnih kovinskih spojin			

	ANG	Janez Dolinšek: Zois Award 2010 of the Republic of Slovenia for the outstanding achievements in scientific, research and development activities (research of physical properties of novel complex metallic alloys)
Šifra	E.01	Domače nagrade
Objavljeno v	npr. spletna stran ARRS	
Tipologija	1.24	Bibliografija, kazalo ipd.

## 8. Drugi pomembni rezultati programske skupine<sup>2</sup>

Vsi pomembni rezultati so vključeni v točkah 6. in 7. Drugih pomembnih rezultatov ni bilo.

## 9. Pomen raziskovalnih rezultatov programske skupine<sup>8</sup>

### 9.1. Pomen za razvoj znanosti<sup>9</sup>

SLO

"Pametni" materiali, v katerih se prepletajo različne prostostne stopnje, so trenutno v samem ospredju raziskav na področju znanosti o materialih v Evropi in v svetu. To je posledica dejstva, da je njihova fizika precej bolj zapletena kot fizika običajnih materialov, prav zaradi tega pa tipično kažejo možnost manipulacije z zunanjim fizikalnim parametrom, kot so temperatura, električno in magnetno polje. Podrobno razumevanje posledic prepletanja različnih prostostnih stopenj na obnašanje materiala, na procese urejanja in lokalne dinamike v teh materialih je ključno tako s stališča osnovne znanosti kot morebitnih aplikacij. V okviru programa smo odkrili in raziskali nove materiale za uporabo v termičnem računalništvu kot morebitni novi veji digitalne informacijske tehnologije, za senzorje, aktuatorje, umetne mišice, "lab on a chip" tehnologijo, MEMS in NEMS naprave, spominske komponente, elektronske elemente v visokofrekvenčnih napravah (GPS sistemi, mobilna telefonija), frekvenčno selektivne optične komponente, sisteme z negativnim efektivnim lomnim količnikom, električne komponente z zmanjšanim gretjem, hladilne naprave z boljšim energijskim izkoristkom, naprave temelječe na kvantnih pojavih z zmanjšano dekoherenco, selektivno katalizo, povečano stabilnost in boljši izkoristek kemijskih reakcij itd. Omenjene materiali bodo igrali pomembno vlogo v informacijski tehnologiji, biomimetiki, pri smotrnem ravnanju z energijo in ostalih visokotehnoloških podvigih, ki so močno odvisni od podpore s strani osnovne znanosti. Pričakujemo tudi, da bodo rezultati raziskav znatno prispevali k razvoju znanosti na področju razumevanja in uporabe sodobnih materialov.

ANG

"Smart" materials defined by the interplay of different degrees of freedom are currently at the forefront of materials research in Europe and in the world. This stems from the fact that their physics is far more complex than the physics of ordinary materials, this being also the reason for their ability to be manipulated by an external physical parameter, like temperature, electric and magnetic field. The detailed understanding of how the interplay among different degrees of freedom affects the behavior of the material, its ordering and local dynamics are crucial for the basic science as well as for possible applications. Within the research program we have discovered and investigated new materials in various applications areas: for thermal computing as the possible new branch of digital information technology, for sensors, actuators, artificial muscles, "lab on a chip" technologies, MEMS and NEMS devices, memory components, electronic elements in high-frequency devices (GPS systems, cellular phones), frequency-selective optical components, electrical components with reduced heating, cooling devices with higher energy efficiency, devices based on quantum phenomena with reduced decoherence, selective catalysis, increased stability and efficiency of chemical reactions etc. All the selected research topics within this program are at the forefront of modern science.

### 9.2. Pomen za razvoj Slovenije<sup>10</sup>

SLO

1. Pomen za gospodarstvo



Pričakujemo, da bodo novoodkriti materiali omogočili dodano vrednost obstoječim produktom in procesom slovenske industrije, z močnim poudarkom na trajnostnem razvoju. Evropa si želi prehoda s starega, prekomernega izkoriščanja naravnih virov na sodobno, učinkovito izkoriščanje ob pomoči znanja, pri čemer je skrb za okolje na prvem mestu. Pametni materiali bodo pri tem prehodu igrali pomembno vlogo, saj bodo slovenski industriji omogočili obdržati konkurenčnost v primerjavi z vzhodnimi razvijajočimi se gospodarstvi, ki temeljijo na prekomernem izkoriščanju naravnih virov. Pričakujemo nove inovativne produkte za majhna in srednje velika slovenska podjetja, kar bo pripeljalo tudi do novih delovnih mest.

## 2. Promocija države in mednarodna delitev dela

Novoodkriti "pametni" materiali so slovenski prispevek v svetovno zakladnico znanja na področju znanosti sodobnih materialov in fizike trdne snovi. Slovenijo opredeljujejo kot družbo znanja. Posledica so posredni rezultati, kot so promocija Slovenije kot visokotehnološko razvite države, vključitev Slovenije v mednarodni trg dela tako na področju znanosti v obliki sodelovanja s tujimi uglednimi institucijami kot v obliki sodelovanja znotraj evropskih in svetovnih mrež, kjer se dogaja prenos znanja v prakso. V obeh pogledih se je programska skupina izkazala.

## 3. Vzgoja in izobraževanje kadrov

V raziskave so bili vključeni tudi univerzitetni študentje vseh stopenj. S tem so bili neposredno deležni znanja o "pametnih" materialih, hkrati pa so sodelovali pri ustvarjanju novega znanja na tem področju. Nekaj članov programske skupine je bilo tudi aktivnih v študijskem procesu kot učitelji predmetov, znotraj katerih se je dogajal sproti pedagoški prenos v raziskavah pridobljenega znanja o "pametnih" materialih med študente.

ANG

## 1. Relevance for the economy

The newly discovered and investigated materials are expected to result in an added value to the existing products and processes within the Slovenian industry, with an emphasis on the sustainable development. There is a tendency in Europe to shift from the old, resource-intensive industry to the efficient, knowledge-intensive industry, with large emphasis on the environmental protection. The newly investigated "smart" materials are expected to play an important role in this shift, allowing the Slovenian industry to remain competitive against the Eastern developing economies based on the intensive use of resources. Our results show relevance for the technological development of Slovenia in the framework of existing and emerging small and medium enterprises, finally opening new job possibilities.

## 2. Promotion and international division of labor

The results of the present scientific program represent Slovenian contribution to the world level of materials science and condensed matter physics, thus identifying Slovenian society as knowledge-based. A significant indirect impact is also expected, such as the promotion of Slovenia as a high-tech state, incorporation into the international work scheme by cooperation with foreign top-notch scientific institutions and by participating in European and World networks where the knowledge transfer to the private sector is taking place. Our research program has been successful in this respect.

## 3. Education and knowledge dissemination

In line with the tradition, the University students of all levels have been included in the research of "smart" materials. They have profited from the existing knowledge of "smart" materials and have participated at the creation of new knowledge. Some members of the proposed program group were also actively involved as the University teachers where the immediate pedagogical transfer of fresh knowledge about "smart" materials to the students has taken place.

**10. Zaključena mentorstva članov programske skupine pri vzgoji kadrov v obdobju 1.1.2009-31.12.2014<sup>11</sup>****10.1. Diplome<sup>12</sup>**

vrsta usposabljanja	število diplom
bolonjski program - I. stopnja	12
bolonjski program - II. stopnja	15
univerzitetni (stari) program	1

**10.2. Magisterij znanosti in doktorat znanosti<sup>13</sup>**

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	MR	
29518	Matej Bobnar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
32150	Andreja Jelen	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
29523	Anton Gradišek	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
29540	Brigita Rožič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
29536	Srečko Paskvale	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
30886	Anton Potočnik	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
32160	Nikola Novak	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
26471	Stanislav Vrtnik	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
26463	Matjaž Panjan	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
26465	Matej Pregelj	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
29027	Mojca Rangus	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
32147	Andreja Eršte	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
26026	Blaž Zupančič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
33318	Simon Jazbec	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Legenda:

**Mag.** - Znanstveni magisterij**Dr.** - Doktorat znanosti**MR** - mladi raziskovalec**11. Pretok mladih raziskovalcev – zaposlitev po zaključenem usposabljanju<sup>14</sup>**

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	Zaposlitev	
29518	Matej Bobnar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	E - Tujina	
32150	Andreja Jelen	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
29523	Anton Gradišek	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	D - Javni zavod	
29540	Brigita Rožič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
29536	Srečko Paskvale	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
30886	Anton Potočnik	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	E - Tujina	
32160	Nikola Novak	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	E - Tujina	
26471	Stanislav Vrtnik	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	

26463	Matjaž Panjan	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	E - Tujina	
26465	Matej Pregelj	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
29027	Mojca Rangus	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
32147	Andreja Eršte	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
26026	Blaž Zupančič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	E - Tujina	
33318	Simon Jazbec	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	

Legenda zaposlitev:

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

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

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Sodelovanje v programski skupini	Število mesecev	
0	Magdalena Wencka	B - uveljavljeni raziskovalec	24	
0	Hae Jin Kim	B - uveljavljeni raziskovalec	8	
0	Jin Bae Lee	B - uveljavljeni raziskovalec	2	
0	Jishay Manassen	B - uveljavljeni raziskovalec	2	
0	Adam Ostrowski	B - uveljavljeni raziskovalec	12	
0	Myung Hwa Jung	B - uveljavljeni raziskovalec	4	
0	Go Woon Lee	C - študent – doktorand	2	
0	Hyun Wook Kang	C - študent – doktorand	2	
0	Barbara PiuZZi	B - uveljavljeni raziskovalec	4	

Legenda sodelovanja v programski skupini:

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

### 13. Vključevanje v raziskovalne programe Evropske unije in v druge mednarodne raziskovalne in razvojne programe ter drugo mednarodno sodelovanje v obdobju 1.1.2009-31.12.2014<sup>15</sup>

SLO

1. FP6 – COMPLEX METALLIC ALLOYS; European Commission NMP3-CT-2005-500140 (23.8.2005-30.6.2010, Janez Dolinšek)
2. FP7 - AppliCMA, Development of Wear Resistant Coatings; European Commission 214407 (1.12.2008-30.11.2011, Janez Dolinšek)
3. FP6 – MULTICERAL, Multifunkcionalne keramične tanke plasti z visoko elektro-

magnetno-elastično sklopitvijo; European Commission NMP3-CT-2006-32616 (1.11.2006 - 30.4.2010, Robert Blinc)

4. FP7 - UNCOSS, Underwater Coastal Sea Surveyor; European Commission 218148 (1.12.2008 - 30.11.2011, Robert Blinc)

5. FP7 DIAGNO-RAIL, Combining Innovative Portable Visual, Accoustic, Magnetic and NMR Methods with In-situ Chemical Diagnostic Tools for Effective Failure Assessment and Maintenance Strategy of Rail and Subway Systems; European Commission (Janez Dolinšek)

6. FP7 E-STAR; (Robert Blinc, Boštjan Zalar)

7. FP7 LEMSUPER; (Denis Arčon)

8. FP7 NANOMAG; (Janez Dolinšek)

9. FP7 ESNSTM; (Janez Dolinšek)

**14. Vključenost v projekte za uporabnike, ki so v obdobju trajanja raziskovalnega programa (1.1.2009–31.12.2014) potekali izven financiranja ARRS<sup>16</sup>**

SLO

NMR spectrometer; KOREA BASIC SCIENCE INSTITUTE, Daejeon, S. Korea (19.9.2007-31.12.2009, Janez Dolinšek)

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

SLO

Materiali za termično shranjevanje digitalnih informacij so v fazi izdelave prototipne termične spominske celice. Trenutno so materiali uporabni pri temperaturah pod 130 K, kar je že nad temperaturo vrelišča tekočega dušika 77 K, ki bi se uporabljal za hlajenje v industrijski aplikaciji. Temperaturno območje uporabnosti materialov skušamo dvigniti do sobne temperature, ko bo aplikacija bolj enostavna in realistična.

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

možnost ustanovitve spin-off podjetja	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
potrebni finančni vložek	200.000 EUR
ocena potrebne infrastrukture in opreme <sup>18</sup>	laboratorij površine 100 m <sup>2</sup> , oprema za sintezo kovinskih materialov in magnetno karakterizacijo

**17. Izjemni dosežek v letu 2014<sup>19</sup>**

**17.1. Izjemni znanstveni dosežek**

Avtorji / Authors: Ganin Alexey Yu., Jeglič Peter, Arčon Denis, Potočnik Anton

Polymorphism control of superconductivity and magnetism in Cs3C(60) close to the Mott transition

Nature; 2010; Vol. 466, no. 7303; str. 221-225; Impact Factor: 36.101

S pomočjo poskusov z jedrsko magnetno resonanco smo pokazali, da je v obeh znanih Cs<sub>3</sub>C<sub>60</sub> polimorfih osnovno stanje izolatorsko pri ambientnem tlaku. Vendar se magnetno stanji bistveno razlikujeta. V raziskavi smo uspeli pokazati, da kritične temperature v obeh polimorfih sledijo univerzalnemu parametru, ki je odvisen od elektronske korelacijske energije.

## 17.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

Janez Dolinšek,

Evropski patent "Termična spominska celica", EP2207177A2 (2010)  
(Metoda za zapis digitalnih informacij in spominski element)

Europäisches Patentamt = European Patent Office = Office européen des brevets; 2009; 12 str.; Avtorji / Authors: Feuerbacher Michael, Dolinšek Janez, Heggen Marc, Jagličič Zvonko, Jagodič Marko

## C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

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

**Podpisi:**

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

in

*vodja raziskovalnega programa:*

Institut "Jožef Stefan"

Janez Dolinšek

**ŽIG**

Kraj in datum:

Ljubljana

23.2.2015

**Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/72**

<sup>1</sup> Napišite povzetek raziskovalnega programa v slovenskem jeziku (največ 3.000 znakov vključno s presledki – približno pol strani, velikost pisave 11) in angleškem jeziku (največ 3.000 znakov vključno s presledki – približno pol strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>2</sup> Napišite kratko vsebinsko poročilo, v katerem predstavite raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega programa in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. V primeru odobrenega povečanja obsega financiranja raziskovalnega programa v letu 2014 mora poročilo o realizaciji programa dela zajemati predložen program dela ob prijavi in predložen dopolnjen program dela v letu 2014. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

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

<sup>4</sup> V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa dela raziskovalnega programa, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega programa oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave programske skupine v zadnjem letu izvajanja raziskovalnega programa, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, navedite: "Ni bilo sprememb.". Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>5</sup> Navedite znanstvene dosežke (največ pet), ki so nastali v okviru izvajanja raziskovalnega programa. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja programa vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'. [Nazaj](#)

<sup>6</sup> Navedite družbeno-ekonomske dosežke (največ pet), ki so nastali v okviru izvajanja raziskovalnega programa. Družbeno-ekonomski dosežek iz obdobja izvajanja programa vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'.

Družbeno-ekonomski dosežek je po svoji strukturi drugačen kot znanstveni dosežek. Povzetek znanstvenega dosežka je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.

Povzetek družbeno-ekonomskega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat programa ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

<sup>7</sup> Navedite rezultate raziskovalnega programa iz obdobja izvajanja programa v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ker se ga v sistemu COBISS ne vodi). Največ 2.000 znakov vključno s presledki (približno 1/3 strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

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

<sup>9</sup> Največ 4.000 znakov vključno s presledki (približno 2/3 strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>10</sup> Največ 4.000 znakov vključno s presledki (približno 2/3 strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>11</sup> Upoštevajo se le tiste diplome, magisteriji znanosti in doktorati znanosti (zaključene/i v obdobju 1.1.2009–31.12.2014), pri katerih so kot mentorji sodelovali člani programske skupine. [Nazaj](#)

<sup>12</sup> Vpišite število opravljenih diplom v času izvajanja raziskovalnega programa glede na vrsto usposabljanja. [Nazaj](#)

<sup>13</sup> Vpišite šifro raziskovalca in/ali ime in priimek osebe, ki je v času izvajanja raziskovalnega programa pridobila naziv magister znanosti in/ali doktor znanosti ter označite doseženo izobrazbo. V primeru, da se je oseba usposabljala po programu Mladi raziskovalci, označite "MR". [Nazaj](#)

<sup>14</sup> Za mlade raziskovalce, ki ste jih navedli v tabeli 11.2. točke (usposabljanje so uspešno zaključili v obdobju od 1.1.2009 do 31.12.2014), izberite oz. označite, kje so se zaposlili po zaključenem usposabljanju. [Nazaj](#)

<sup>15</sup> Navedite naslove projektov in ime člana programske skupine, ki je bil vodja/koordinator navedenega projekta. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>16</sup> Navedite naslove projektov, ki ne sodijo v okvir financiranja ARRS (npr: industrijski projekti, projekti za druge naročnike, državno upravo, občine idr.) in ime člana programske skupine, ki je bil vodja/koordinator navedenega projekta. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>17</sup> Opišite možnosti za uporabo rezultatov v praksi. Opišite izdelke oziroma tehnologijo in potencialne trge oziroma tržne niše, v katere sodijo. Ocenite dodano vrednost izdelkov, katerih osnova je znanje, razvito v okviru programa oziroma dodano vrednost na zaposlenega, če jo je mogoče oceniti (npr. v primerih, ko je rezultat izboljšava obstoječih tehnologij oziroma izdelkov). Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>18</sup> Največ 1.000 znakov vključno s presledki (približno 1/6 strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)

<sup>19</sup> Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega programa v letu 2014 (največ 1000 znakov, vključno s presledki, velikost pisave 11). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priponko/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analyze/dosez/>. [Nazaj](#)

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

45-58-3E-3C-55-99-81-45-D2-29-E2-8D-1D-93-90-2C-20-B6-7E-BA