

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2013/209



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	J1-2118
Naslov projekta	Nova osnovna stanja in kvantne kritične točke v nižjedimenzionalnih kvantnih spinskih sistemih
Vodja projekta	14080 Denis Arčon
Tip projekta	J Temeljni projekt
Obseg raziskovalnih ur	4173
Cenovni razred	C
Trajanje projekta	05.2009 - 04.2012
Nosilna raziskovalna organizacija	1554 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	106 Institut "Jožef Stefan"
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	1 NARAVOSLOVJE 1.02 Fizika 1.02.01 Fizika kondenzirane materije
Družbeno-ekonomski cilj	13.01 Naravoslovne vede - RiR financiran iz drugih virov (ne iz SUF)

2. Raziskovalno področje po šifrantu FOS¹

Šifra	1.03
- Veda	1 Naravoslovne vede
- Področje	1.03 Fizika

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

3. Povzetek raziskovalnega projekta²

SLO

Projekt je bil posvečen študiju faznih diagramov nizkodimenzionalnih kvantnih spinskih sistemov. Izjemna bogatost teh faznih diagramov izvira bodisi iz 1) geometrijske frustracije antiferomagnetne mreže, 2) iz zmanjšane dimenzionalnosti spinskega sistema (do ena) ali 3) iz sklopitev med spinskimi prostostnimi stopnjami in ostalimi prostostnimi stopnjami, kot so nabojne, tirne in elastične. S pomočjo različnih magnetno-rezonančnih (NMR, EPR, muSR) tehnik in z meritvami magnetne susceptibilnosti ter specifične toplote smo

študirali potencialne modelske sisteme iz vseh treh omenjenih skupin, in sicer predstavnike 1) spojin s simetrijo kagomé mreže (Herbertsmitit, Kapelasit, Vesigniei, Langasiti), 2) kvazi-1D kvantnih spinskih sistemov (sistem spinskih lestev, $\text{CuBr}_4(\text{C}_5\text{H}_{12}\text{N})_2$, in sistem spinskih verig, $\text{BaCo}_2\text{V}_2\text{O}_8$) ter 3) sistemov, v katerih je sklopitev med spinskimi in tirnimi prostostnimi stopnjami ključnega pomena za njihove magnetne in transportne lastnosti (holanditne ter plastovita NaMnO_2 struktura). Da bi eksperimentalno pokrili zadosten del njihovih faznih diagramov, smo lastnosti njihovih osnovnih stanj študirali v odvisnosti od temperature (navzdol do 40 mK, kjer je bilo to potrebno), od tlaka (navzgor do 10 kbar), ter od magnetnega polja (maksimalno polje do 34 T) in od dopiranja z nabojem. Rezultate eksperimentov smo obravnavali v okviru "prelomnih" teorij resonirajoče valenčne vezi, Luttingerjeve tekočine in Bose-Einsteinove kondenzacije. Obenem smo s tem dobili vpogled tudi v pojav fazne separacije v močno koreliranih elektronskih sistemih (alfa- NaMnO_2 je odličen primer tovrstne fazne separacije na nometerskem nivoju).

Rezultate raziskav na tem projektu smo objavili v številnih mednarodnih revijah (med drugim 5 člankov v reviji *Phys. Rev. Lett.*) ter jih predstavili v obliki vabljenih predavanj na mednarodnih konferencah. V okviru raziskav na tem projektu so se zaključili tudi doktorsko delo ter dve diplomski nalogi.

ANG

The project was devoted to the study of phase diagrams of low-dimensional quantum spin systems. Extreme richness of these phase diagrams originates either 1) in geometrical frustration of the antiferromagnetic lattice, 2) in reduced dimensionality of the spin system (down to one), or 3) in the coupling of the spin degrees of freedom to other degrees of freedom, such as charge, orbital or elastic. Using various local-probe techniques (we combined NMR, EPR and μSR) complemented by bulk measurements, we studied potential model systems from the three categories, namely the representatives of 1) kagomé compounds (Herbertsmitite, Kapelasit, Vesigniei, Langasites), 2) quasi-1D quantum spin systems (spin ladder compound $\text{CuBr}_4(\text{C}_5\text{H}_{12}\text{N})_2$ and spin chain compound $\text{BaCo}_2\text{V}_2\text{O}_8$), and 3) systems where coupling between spin and orbital degrees of freedom is crucial for their magnetic and transport properties (Hollandite and layered NaMnO_2 structure). To cover adequate portions of the phase diagrams of these systems, we studied their ground state properties as a function of temperature (down to 40 mK, when necessary), pressure (up to 10 kbar, when necessary), magnetic field (up to 34 T, when necessary), and charge doping. The results of the experiments were discussed within the "landmark" theories of resonating-valence-bond states, Luttinger liquids and Bose-Einstein condensation, and shed additional light on the issue of phase separation in strongly correlated electron systems (alfa- NaMnO_2 is an excellent example of such phase separation at the nanoscopic range).

We published results of our research in numerous renowned journals (among others, 5 articles in *Phys. Rev. Lett.*) and presented at the international conferences. In addition, one PhD and two diploma works were also completed within this project.

4. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu³

WP1: Spojine Kagomé

Preučevali smo družino Langasitov, ki predstavljajo realizacijo močno anizotropne mreže Kagomé v limiti klasičnih spinov. Z μSR in NMR smo podrobneje raziskali vpliv velikosti magnetnega momenta redke zemlje na osnovno stanje. Za Kramarjeve ione je osnovno stanje neurejeno magnetno stanje, za neKramarjeve ione pa je osnovno stanje v kristalnem polju nedegenerirano in nemagnetno. Ugotovili smo, da je magnetizem v primeru Pr ionov posledica anomalno polariziranih elektronov zaradi sklopitve z jedrskimi spini (*Phys. Rev. Lett.*). V sistemu, kjer magnetizem temelji na Fe, smo zaznali edinstveno dinamično signaturo kiralnosti osnovnega stanja (*Phys. Rev. Lett.*). S pomočjo EPR smo določili še mikroskopski mehanizem, ki je odgovoren za izbiro osnovnega stanja tega sistema (*Phys. Rev. Lett.*).

Preučevali smo tudi spinske mreže Kagomé v limiti kvantnih spinov, minerala Kapellasite in Vesignieite. V obeh primerih smo s pomočjo EPR določili vpliv magnetne anizotropije. **WP2:**

Kvazi1D kvantni spinski sistemi

Opravili smo ^{14}N NMR meritve na sistemu spinskih lestev, $\text{CuBr}_4(\text{C}_5\text{H}_{12}\text{N})_2$ (*Phys. Stat. Solidi B*). Posebej smo z meritvami spinsko-mrežne relaksacije raziskali spinsko dinamiko v bližini kvantne kritične točke in jo primerjali z rezultati na sistemu anizotropnih spinskih verig, $\text{NiCl}_2\cdot 4\text{SC}(\text{NH}_2)_2$. Ugotovili smo, da je spinska dinamika v obeh kvazi-1D kvantnih spinskih sistemih popolnoma enaka, s čimer smo potrdili teoretično napovedano univerzalnost kvantnega kritičnega obnašanja (*Phys. Rev. Lett.*).

V sistemu šibko sklopljenih Isingovih spinskih verig, $\text{BaCo}_2\text{V}_2\text{O}_8$ smo z nevtronskim sipanjem določili magnetno strukturo (*Phys. Rev. B*), z NMR pa reproducirali fazno mejo med inkomenzurabilno ter paramagnetno fazo ter dognali, da novi fazi ustrezata kolumnarni in feromagnetni fazi frustriranega modela spinov na kvadratni mreži, prehod med obema pa dosežemo s spreminjanjem magnetnega polja. $\text{BaCo}_2\text{V}_2\text{O}_8$ služi kot simulator frustriranega magnetizma na kvadratni mreži (poslano v *Phys. Rev. Lett.*). **WP3: Sklopitev med**

prostostnimi stopnjami

Pri raziskavah plastovitega $\alpha\text{-NaMnO}_2$ smo odkrili edinstveno magnetno-strukturno nehomogeno stanje, ki je posledica frustracije ter sklopitve med spinskimi in mrežnimi prostostnimi stopnjami (poslano v *Phys. Rev. Lett.*). V Holanditnih strukturah so magnetne meritve pokazale na močno magnetno frustracijo ter na urejanje naboja (*J. Phys. Chem C*). Meritve μSR na različnih fluoridih so pokazale, da mioni potem, ko se ustavijo v vzorcu, tvorijo značilne F- μ -F strukture (*Phys. Rev. B*). V $\text{FeTe}_2\text{O}_5\text{Br}$ smo odkrili, da predstavlja povsem nov razred magnetoelektrikov (*Phys. Rev. Lett.*). V v celoti smo razvili magnetni fazni diagram (*Phys. Rev. B*) ter s pomočjo LDA izračunov razložili magnetne sklopitve (*Phys. Rev. B*). Natančnejša obravnava μSR ter NMR je skupaj z nevtronskim sipanjem pokazala, da Fe magnetni momenti ne zamrznejo niti pri temperaturah okoli 20 mK (*Phys. Rev. Lett.*). Preučevali smo osnovno stanje trikotne mreže na sistemu CuNCN , kjer se sistem magnetno ne ureja do najnižjih eksperimentalno dosegljivih T (*Phys. Rev. Lett.*).

5. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev⁴

Projekt "Nova osnovna stanja in kvantne kritične točke v nižje-dimenzionalnih kvantnih spinskih sistemih" smo izvajali v tesnem sodelovanju med raziskovalnimi skupinami iz Fakultete za matematiko in fiziko, Univerze v Ljubljani in Odseka za fiziko trdne snovi, Instituta "Jožef Stefan". Aktivnosti smo koordinirali na rednih sestankih ter tako spremljali uspešnost realizacije projekta. Projekt smo razdelili na štiri programske sklope:

WP1: Spojine Kagomé (A. Zorko, IJS)
V okviru tega programskega sklopa smo izvedli načrtovane μSR in NQR meritve na langasitih. Dokončali smo vse načrtovane NMR in NQR eksperimente in pravočasno dosegli mejnik M4. Opravili in uspešno interpretirali smo tudi μSR meritve (mejniki M3). Načrtovane poskuse smo v celoti izvršili. O tem smo poročali tudi v strokovni literaturi (objavljeni članki v reviji *Phys. Rev. Lett.*) ter na mednarodnih konferencah. Zastavljene cilje smo v celoti dosegli. Uspešno smo tudi zaključili meritve na Kapellasite in Vesignieite mineralih. Rezultati so bili v skladu z našimi začetnimi delovnimi hipotezami.

WP2: Kvazi1D kvantni spinski sistemi (M. Klanjšek, IJS)
V skladu z načrtom smo izpeljali ^{14}N NMR meritve na sistemu šibko sklopljenih spinskih lestev, $\text{CuBr}_4(\text{C}_5\text{H}_{12}\text{N})_2$, ter dosegli zastavljeni mejnik M5. Prav tako smo izvedli vse zadane 51V NMR meritve na sistemu šibko sklopljenih skoraj Isingovih spinskih verig, $\text{BaCo}_2\text{V}_2\text{O}_8$ (mejniki M6). Izmerjeno spinsko dinamiko in fazne diagrame smo bili sposobni v celoti razumeti. O rezultatih smo večkrat poročali na mednarodnih konferencah ter objavili skupaj štiri članke (*Phys. Rev. Lett.*, 2 *Phys. Rev. B*, *J. Cryst. Growth*), enega smo poslali v objavo v revijo *Phys. Rev. Lett.*, eden pa je še v pripravi.

WP3: Sklopitev med orbitalnimi in spinskimi prostostnimi stopnjami (D. Arčon, FMF)
V skladu s časovnico projekta smo se posvetili raziskavam holanditnih MnO_2 struktur. Opravili smo serijo EPR ter magnetnih meritev in odkrili urejanje naboja v dopiranih Sistemih (mejniki M7 je bil dosežen). V nadaljevanju smo se poglobili v elektronsko dinamiko v takih sistemih in o tem poročali v obliki članka (dobro citiranega). Prav tako smo se držali terminskega načrta v primeru raziskav fluoridov, kjer smo izvedli natančne meritve z μSR (mejniki M8) ter F NMR meritve. Rezultate smo celo presegli, saj smo odkrili nov magnetoelektrični sistem ter sistem CuNCN s trikotno mrežo. V tem delu je pri raziskavah tesno sodeloval MR M. Pregelj, ki je leta 2010 tudi doktoriral. Zastavljene cilje smo v celoti dosegli.

WP4: Razvoj eksperimentalne opreme (vodja Dr. Pavel Cevc, IJS)
Razvili smo NMR in EPR celice za meritve pod visokimi hidrostatskimi pritiski. Vsi cilji, vključno z mejnikoma M9 in M10, so bili v celoti doseženi.

WP5: Prenos rezultatov (vodja prof. dr. Denis Arčon, FMF)
Uspešno smo izvedli mednarodno delavnico »Magnetic resonance of highly frustrated systems«. Rezultate smo objavili v številnih publikacijah in predstavili v obliki predavanj na mednarodnih konferencah. V ta projekt sta bila aktivno vključena dva mlada raziskovalca ter več dodiplomskih študentov.

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

Raziskovalno delo je ves čas trajanja projekta potekalo po zastavljenih ciljih, zato ni bilo potrebe po bistvenih spremembah raziskovalnega projekta. V realizacijo projekta smo uspešno vključili tudi mlajše raziskovalce, kakor smo tudi načrtovali že od samega začetka.

7. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁶

	Znanstveni dosežek		
1.	COBISS ID	25416231	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Vloga antisimetrične izmenjalne interakcije pri izbiri magnetne kiralnosti v Ba ₃ NbFe ₃ Si ₂ O ₁₄ (14)
		ANG	Role of antisymmetric exchange in selecting magnetic chirality in Ba ₃ NbFe ₃ Si ₂ O ₁₄ (14)
	Opis	SLO	V delu smo predstavili meritve elektronske paramagnetne resonance v acentričnem Ba ₃ NbFe ₃ Si ₂ O ₁₄ , ki ima posebno enodomensko kiralno magnetno osnovno stanje. S kombinacijo simulacij ESR širine smo določili anizotropijo ter antiferomagnetne resonančne načine. Tako smo na koncu tudi določili Dzyaloshinsky-Moriya (DM) interakcijo. Pokazali smo, da je že majhna komponenta DM vektorja, ki kaže iz ravnine, odgovorna za termične fluktuacije do presentljivo visokih temperatur.
		ANG	We presented an electron spin resonance (ESR) investigation of the acentric Ba ₃ NbFe ₃ Si ₂ O ₁₄ , featuring a unique single domain in double chiral magnetic ground state. Combining simulations of the ESR linewidth anisotropy and the antiferromagnetic resonance modes allows us to single out the Dzyaloshinsky-Moriya (DM) interaction as the leading magnetic anisotropy term. We demonstrate that the rather minute out-of-plane DM component $d_c=45$ mK is responsible for selecting a unique ground state, which endures thermal fluctuations up to astonishingly high temperatures.
	Objavljeno v	American Physical Society.; Physical review letters; 2011; Vol. 107, no. 25; str. 257203-1-257203-5; Impact Factor: 7.370; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.404; A'': 1; A': 1; Avtorji / Authors: Zorko Andrej, Pregelj Matej, Potočnik Anton, Tol J. van, Ozarowski Andrzej, Simonet Virginie, Lejay P., Petit S., Ballou Rafik	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
2.	COBISS ID	23389991	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Osnovno stanje kagomé mreže Pr ₃ Ga ₅ SiO ₁₄ iz družine Langasitov na osnovi redkih zemelj
		ANG	Ground state of the easy-axis rare-earth kagome langasite Pr ₃ Ga ₅ SiO ₁₄ (14)
	Opis	SLO	S pomočjo mionske spinske relaksacije smo pokazali, da je magnetno osnovno stanje Langasitov na osnovi redkih zemelj kritično odvisno od narave letih. V primeru neKramerjevih ionov Pr ³⁺ (J=4) je osnovno stanje nemagneten singlet v kristalnem polju. Kljub temu, se pod 40 K v sistemu vzpostavijo majhna kvazistatična neurejena magnetna polja, ki so prisotna najmanj do temperature 21 mK. Ta polja izvirajo iz močno polariziranih ¹⁴¹ Pr jedrskih momentov, kar je posledica močne hiperfine interakcije.
		ANG	Employing muon spin relaxation technique, we have showed that the magnetic ground state of the rare-earth bases langasites critically depends on the nature of the rare-earth. For nonKramers ion Pr ³⁺ (J=4) the ground state is a nonmagnetic crystal-field singlet. Despite that fact, small quasistatic random internal fields develop below 40 K and persist down to at least 21 mK. These originate from strongly hyperfine-enhanced ¹⁴¹ Pr nuclear magnetism.
	Objavljeno v	American Physical Society.; Physical review letters; 2010; Vol. 104, no. 5; str. 057202-1-057202-4; Impact Factor: 7.621; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.582; A'': 1; A': 1; Avtorji / Authors: Zorko Andrej, Bert Fabris, Mendels Philippe, Marty Karol, Bordet P.	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	

3.	COBISS ID		22562855	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Spinska konfiguracija in 1/3 magnetizacijski plato v azuritu: NMR študija	
		ANG	Spin configuration in the 1/3 magnetization plateau of azurite determination by NMR	
	Opis	SLO	63,65Cu NMR meritve v visokih magnetnih poljih na azuritnem $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ modelni diamantni antiferomagnetni $S=1/2$ verigi kristalu smo uporabili za določevanje lokalne spinske polarizacije v 1/3 magnetizacijskem platuju.	
		ANG	High magnetic field 63,65Cu NMR spectra were used to determine the local spin polarization in the 1/3 magnetization plateau of azurite, $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$, which is a model system for the distorted diamond antiferromagnetic spin $1/2$ chain.	
	Objavljeno v		American Physical Society.; Physical review letters; 2009; Vol. 102, no. 12; str. 127205-1-127205-4; Impact Factor: 7.328; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.572; A': 1; Avtorji / Authors: Aimo F., Krämer S., Klanjšek Martin, Horvatić Mladen, Berthier Claude, Kikuchi H.	
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek	
4.	COBISS ID		26300711	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Obstojna spinska dinamika v amplitudno moduliranem magnetno urejenem stanju dolgega dosega	
		ANG	Persistent spin dynamics Intrinsic to amplitude-modulated long-range magnetic order	
	Opis	SLO	V raziskavi smo preučevali osnovno stanje geometrijsko frustriranega sistema sklopljenih spinskih verig $\text{FeTe}_2\text{O}_5\text{Br}$, ki ga med drugim odlikuje multiferoičnost, to je soobstoj magnetnega in feroelektričnega reda. Z meritvami nevtronskega sipanja in mionske spinske relaksacije pri najnižjih eksperimentalno dosegljivih temperaturah (53 mK) smo ugotovili, da je magnetno osnovno stanje kljub redu dolgega dosega še vedno dinamično tudi v limiti $T \rightarrow 0$. Zdi se, da je nenavadna hkratna navzočnost obstojne spinske dinamike in magnetnega reda dolgega dosega, ki se sicer medsebojno izključujeta, značilnost amplitudno moduliranih magnetnih struktur.	
		ANG	An incommensurate elliptical helical magnetic structure in the frustrated coupled-spin-chain system $\text{FeTe}_2\text{O}_5\text{Br}$ is surprisingly found to persist down to 53(3) mK ($T/T_N = 1/200$), according to neutron scattering and muon spin relaxation. In this state, finite spin fluctuations at $T \rightarrow 0$ are evidenced by muon depolarization, which is in agreement with specific-heat data indicating the presence of both gapless and gapped excitations. We thus show that the amplitude-modulated magnetic order intrinsically accommodates contradictory persistent spin dynamics and long-range order and can serve as a model structure to investigate their coexistence.	
	Objavljeno v		American Physical Society.; Physical review letters; 2012; Vol. 109, no. 22; str. 227202-1-227202-5; Impact Factor: 7.370; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.404; A'': 1; A': 1; WoS: UI; Avtorji / Authors: Pregelj Matej, Zorko Andrej, Zaharko Oksana, Arčon Denis, Komelj Matej, Hillier A. D., Berger Helmuth	
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek	
5.	COBISS ID		26220327	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Kvantno-kritična spinska dinamika v kvazi-eno-dimenzionalnih antiferomagnetih	
		ANG	Quantum-critical spin dynamics in quasi-one-dimensional antiferromagnets	
			Z meritvami spinsko-mrežne relaksacije smo ugotovili, da je spinska	

	Opis	SLO	dinamika v dveh različnih kvazi-1D kvantnih spinskih sistemih popolnoma enaka, s čimer smo potrdili teoretično napovedano univerzalnost kvantnega kritičnega obnašanja.
		ANG	Using spin-lattice relaxation we found out that the spin dynamics in two different quasi-1D quantum spin systems is identical, which demonstrates the theoretically predicted universality of the quantum critical behavior.
	Objavljeno v		American Physical Society.; Physical review letters; 2012; Vol. 109, no. 17; str. 177206-1- 177206-5; Impact Factor: 7.370; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.404; A'': 1; A': 1; WoS: UI; Avtorji / Authors: Mukhopadhyay S., Klanjšek Martin
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek

8. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine²

	Družbeno-ekonomski dosežek			
1.	COBISS ID		23249447	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Študij kvantnih kritičnih točk v spinskih lestvah	
		ANG	Quantum criticality in spin ladders	
	Opis	SLO	Na eni od najpomembnejših mednarodnih konferenc s področj kvantne kritičnosti, smo poročali o 14N NMR meritvah sistema spinskih lestev, CuBr4(C5H12N)2 in o našem razumevanje faznega diagrama. Nova spoznanja o fiziki med obema kritičnima poljema smo pridobili z meritvami pri zelo nizkih temperaturah, to je v kvantnem kritičnem območju.	
		ANG	In one of the most important international conferences dedicated to quantum criticality, we reported on 14N NMR measurements on a spin-ladder system, CuBr4(C5H12N)2. We presented our understanding of a phase diagram especially in the extremely low temperature range, where quantum critical fluctuations become important.	
	Šifra		B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci	
	Objavljeno v		Max-Plank-Institut für Chemische Physik; Book of abstracts; 2009; Str. 119; Avtorji / Authors: Klanjšek Martin, Mayaffre H., Berthier Claude, Horvatić Mladen, Giamarchi Thierry	
Tipologija		1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci		
2.	COBISS ID		23474215	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Magnetna resonanca v kovinah, superprevodnikih in magnetnih sistemih	
		ANG	Magnetic resonance in metals, superconductors and magnetic systems	
	Opis	SLO	V okviru programa vabljenih predavateljev na Univerzi Tohoku, Sendai, Japonska, je prof. Arčon kot gostujoči profesor predaval osnove magnetne resonance ter uporaba magnetne resonance za raziskave kovin ter magnetnih materialov. Teoretične diskusije so bile podprte s številnimi primeri iz prakse.	
		ANG	During the 15 hours lectures prof. Arčon, visiting professor at the Tohoku University, Sendai, Japan, lectured basics of magnetic resonance and the applications of magnetic resonance for the research of metals and magnetic systems. Theoretical discussions were supported with numerous examples.	
	Šifra		B.05 Gostujoči profesor na inštitutu/univerzi	
	Objavljeno v		Tohoku University, Department of Physics, Graduate School of Science; 2010; Avtorji / Authors: Arčon Denis	
Tipologija		3.14 Predavanje na tuji univerzi		

3.	COBISS ID		22447399	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	EPR študij $S=1/2$ kagomé antiferromagneta $\text{ZnCu}_3(\text{OH})_6\text{Cl}_2$	
		ANG	Electron spin resonance investigation of the spin-1/2 kagomé antiferromagnet $\text{ZnCu}_3(\text{OH})_6\text{Cl}_2$	
	Opis	SLO	Na mednarodni konferenci, ki je potekala v organizaciji ESF mreže "Highly frustrated magnetism" smo poodali o naših najnovejših magnetorezonančnih raziskavah kagomé antiferromagnetov.	
		ANG	At the international conference, organized by the ESF network "frustrated magnetism" we reported on our latest magnetic resonance results on kagomé antiferromagnets.	
	Šifra		B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci	
	Objavljeno v		Institute of Physics Publishing; Proceedings of the HFM 2008, International Conference on Highly Frustrated Magnetism; Journal of physics; 2009; Vol. 145; str. 012014-1-012014-4; Avtorji / Authors: Zorko Andrej	
	Tipologija		1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
4.	COBISS ID		24455975	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Magnetoelektrična sklopitev v multiferroiku $\text{FeTe}_{20}\text{Br}$ kot posledica spinsko-moduliranih valov	
		ANG	Spin amplitude modulation driven magnetoelectric coupling in the new multiferroic $\text{FeTe}_{20}\text{Br}$	
	Opis	SLO	Gostotno-funkcionalni izračun za novi multiferroični sistem $\text{FeTe}_{20}\text{Br}$ presenetljivo razkrije zelo močne super-super-izmenjalne interakcije, ki potekajo preko dolgih FeOTeOFe mostov. Računi pokažejo, da moramo ta sistem obravnavati kot system Fe verig, ki so sklopljene med seboj s frustriranimi interakcijami. Za ta model smo našli trdno eksperimentalno podporo v meritvah antiferomagnetne resonance ter v odličnem ujemanju v inkomenzurabilnem magnetnem vektorju. Zapletena temperaturna odvisnost magnetnega vektorja je posledica magnetostrikcije, ki je tudi odgovorna za pojav feroelektrične polarizacije.	
		ANG	Density functional theory calculations performed for the new multiferroic $\text{FeTe}_{20}\text{Br}$ reveal surprisingly strong supersuperexchange pathways through FeOTeOFe bridges, implying that the magnetic lattice must be treated as a system of alternating Fe chains coupled by frustrated interactions. We find firm support for this model in the magnetization and the antiferromagnetic resonance measurements as well as in the matching of the incommensurate magnetic vector. Its peculiar temperature dependence is explained by interchain exchange-striction being responsible for the emergent net electric polarization.	
	Šifra		B.04 Vabljen predavanje	
	Objavljeno v		Institut für Theoretische Physik, Goethe Universität; 2011; Avtorji / Authors: Arčon Denis	
	Tipologija		3.14 Predavanje na tuji univerzi	
5.	COBISS ID		23397159	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Od Luttingerjevih tekočin do eksotičnih stanj induciranih z magnetnim poljem v sklopljenih spinskih veriga in lestvah	
		ANG	From Luttinger liquids to exotic field induced phases in coupled spin chains and ladders	
			Ko dimenzionalnost antiferomagneta pade na ena, začno kvantne fluktuacije igrati še zlasti pomembno vlogo. Njihovo prepletanje z izmenjalnimi interakcijami med sosednjimi spini vodi do stanja, ki ga	

	Opis	SLO	opišemo kot Luttingerjevo tekočino (LL). V tem prispevku smo poročali o NMR meritvah s katerimi smo pokazali, da preostala šibka interakcija med lestvami pri zelo nizkih temperaturah vodi do 3D magnetnega urejanja zaradi transverzalnih alternirajočih korelacij znotraj posameznih lestev [25]. Znotraj LL faze v faznem diagramu HT smo 3D urejanje lahko opisali znotraj približka povprečnega polja.
		ANG	When the dimensionality of the antiferromagnet is reduced to one, quantum fluctuations start to play the crucial role. Their interplay with exchange interactions between neighboring spins leads to a state described as a Luttinger liquid (LL). In this contribution we reported that the remaining weak coupling between the ladders was shown by NMR to lead at very low temperatures to the 3D ordering dominated by the transverse staggered correlation function. Well inside the LL phase in the HT phase diagram the 3D ordering can be explained within the meanfield treatment.
	Šifra	B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci	
	Objavljeno v	Magnetic Resonance in Highly Frustrated Magnetic Systems, HFMR 2010, February 1-4, 2010, Kranjska Gora, Slovenia. Program and abstracts. [S. l.: s. n.], Program and abstracts; 2010; Str. 8; Avtorji / Authors: Klanjšek Martin, Berthier Claude, Horvatić Mladen	
	Tipologija	1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci	

9. Drugi pomembni rezultati projektne skupine⁸

V mesecu februarju 2010 smo organizirali mednarodno delavnico z naslovom "Magnetic resonance in highly frustrated systems" (titan.ijs.si/Pulsed_ESR/HFMR_2010/). Delavnice se je udeležilo več kot 50 udeležencev iz celega sveta. Glavni predavatelji na konferenci (prof. C. Berthier, P. Mendels in F. Mila) so podali pregledna predavanja na različnih področjih frustriranih sistemov. Na delavnici smo se uspešno predstavili tudi slovenski raziskovalci v obliki krajših prispevkov. Delavnica je potekala v okviru ESF mreže "Highly frustrated magnetism; <http://www.esf.org/activities/research-networking-programmes/physical-and-engineering-sciences-pesc/current-research-networking-programmes/highly-frustrated-magnetism-hfm/science-meetings.html>).

V članku, ki je bil objavljen v ugledni ameriški reviji Science (TAKABAYASHI, Yasuhiro, JEGLIČ, Peter, ARČON, Denis. The disorder free nonBCS superconductor $\text{Cs}_{3\text{C}}(60)$ emerges from an antiferromagnetic insulator parent state. Science (Wash. D.C.), 2009, vol. 323, str. 15851590. [COBISS.SI-ID 22509351]) smo poročali o odkritju superprevodnosti, ki se pojavi v izolatorskem magnetnem sistemu pod pritiskom. Magnetni sistem je frustriran zaradi same mreže fullerenskih molekul. O tem smo poročali tudi slovenski javnosti v prispevkih: ARČON, Denis, JEGLIČ, Peter. Fulereni pod pritiskom. Znanost (Ljublj.), 14. maj 2009, letn. 51, št. 109, str. 20. [COBISS.SI-ID 22626599] in JEGLIČ, Peter, ARČON, Denis. Superprevodnost : TV Pika, Oddaja Sadovi znanja : intervju. 14. maj 2009. [COBISS.SI-ID 22719527]

10. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁹

10.1. Pomen za razvoj znanosti¹⁰

SLO

Napovedovanje in razumevanje lastnosti zapletenih osnovnih stanj v močno geometrijsko frustriranih antiferomagnetih je eno temeljnih vodil razvoja fizike trdne snovi. Mreža Kagomé, ki predstavlja najbolj frustriran primer dvo-dimenzionalne spinske mreže, je bila zato osnovna tema raziskav na tem področju vse od leta 1951, ko je Syozi objavil svoje prve ugotovitve o magnetizmu na tej mreži v limiti Isingovih spinov. Družina Langasitov, ki smo jo preučevali v sklopu tega projekta, je prva realizacija močno izotropne spinske mreže Kagomé, zato je kot

prva omogočila soočanje teorij, ki so se razvije v zadnjih šestih desetletjih, z eksperimenti.

V tem projektu smo se dotaknili izredno pomembnih vprašanj fizike v bližini posebnih točk faznega diagrama kvantnega antiferomagneta, ko je dimenzionalnost znižana na ena, tako da med posameznimi 1D objekti oziroma LL ostanejo le še morebitne šibke interakcije. Spraševali smo se, kakšna je narava kvantnega kritičnega območja nad kvantno kritično točko zbirke šibko sklopljenih LL ter kako izgleda dimenzionalni prehod med 3D kvantnim kritičnim območjem, kjer so vzburitve bozoni (kakor v BEC), in 1D kvantnim kritičnim območjem, kjer so vzburitve fermioni (kakor v LL). Raziskovali smo tudi, kako izgleda prehod med dvema tipoma urejene faze šibko sklopljenih LL, kjer je vsaka faza določena s svojim tipom dominantnih fluktuacij, navzočih v LL. Z odkritjem novih faz (induciranih z magnetnim poljem) na vzorcu BaCo₂V₂O₈ smo z NMR reproducirali fazno mejo med inkomenzurabilno ter paramagnetno fazo ter dognali, da novi fazi ustrezata kolumnarni in feromagnetni fazi frustriranega modela spinov na kvadratni mreži. S svojim delom smo dokazali, da BaCo₂V₂O₈ lahko služi kot simulator frustriranega magnetizma na kvadratni mreži. Ti rezultati bodo pomembni tudi za širše področje fizike, saj se s podobnimi vprašanji na primer srečujejo tudi v fiziki hladnih atomov.

Sklopitev med različnimi prostostnimi stopnjami v močno frustriranih sistemih omogoča učinkovito manipulacijo posameznih ureditvenih parametrov. Pomemben primer predstavljajo magnetoelektrični materiali, kjer pod določeno temperaturo sočasno obstajata tako magnetni kot tudi feroelektrični red. Čeprav so tovrstni materiali znani že dolgo, je sklopitev med obema parametroma reda izredno šibka in zato ne omogoča obračanja električne polarizacije z magnetnim poljem ali pa magnetizacije z električnim poljem. Šibka sklopitev se na primer odraža v zelo različnih temperaturah magnetnega in feroelektričnega prehoda. V geometrijsko močno frustriranem sistemu FeTe₂O₅Br pa smo tovrstni problem poskušali zaobiti na drugačen način. V raziskavah smo se osredotočili na sistem, kjer je magnetna ureditev taka, da iz simetrijskih razlogov dovoljuje tudi feroelektrično ureditev. Zaradi prisotnosti tako imenovanih "lone pair" elektronov pa je feroelektrična ureditev zelo verjetna. V meritvah smo tako pokazali, da se oba reda razvijeta hkrati, torej pri isti temperature prehoda. To nam že kaže na močno magnetoelektrično sklopitev v tem sistemu, ki smo jo tudi potrdili tudi v poskusih pri različnih magnetnih poljih. Pri meritvah v močnem magnetnem polju smo namreč opazili velike spremembe v dielektrični konstanti. Z drugimi besedami, z magnetnim poljem smo vplivali na feroelektrični red. Taka manipulacija pa omogoča tudi vrsto zanimivih aplikacij, kot je na primer zapis informacije z magnetnim poljem in branje z električnim poljem ali pa na primer štirinivojski spomin. Magneto-električni red v FeTe₂O₅Br predstavlja nov razred magneto-elektrikov in njegovo odkritje predstavlja pomemben prispevek k svetovni zakladnici znanja. Prav tako odkritje "permanentne spinske dinamike" do 20 mK v tem sistemu lahko poda nov vpogled v nenavadno spinsko dinamiko v močno frustriranih sistemih.

ANG

Detailed understanding of magnetic properties of very complex ground states in systems of frustrated antiferromagnets is one of the main challenges in solid state physics. Kagomé lattices, which are the most frustrated examples of twodimensional spin systems, have been the subject of intense research activities ever since 1951, when Syozi published his first results on magnetism in such lattice in the limit of Ising moments. The family of Langanites, which were studied in this project, is the first physical realization of strongly isotropic Kagomé lattice. It thus allowed us to directly compare the experimental results with the theoretical predictions. Results were thus of very general importance for the science of frustrated systems.

We addressed some of the most important open issues of the physics in the vicinity of special points in the phase diagram of a quantum antiferromagnet when the dimensionality is reduced to one, so that only weak couplings between 1D systems, i.e. LLs, remain. In particular, we investigated what is the nature of the quantum critical region above the quantum critical point in an array of weakly coupled LLs. We also researched how does the crossover between the 3D quantum critical regime directed by the boson description (as in the BEC), and the 1D quantum critical regime directed by the fermion description (as in the LL) take place. The nature of the crossover between the two types of ordered phases of the weakly coupled array of LLs, where the two states are defined by two different types of dominant fluctuations present in the LL has been discussed. With the discovery of new phases in BaCo₂V₂O₈ simply controlled by the magnetic field we reproduced phase boundaries between the incommensurate and PM phases

and learned that new phases correspond to columnar and ferromagnetic phases of frustrated spins on a square lattice. These results are important for a broader physics community as similar issues arise for instance in the physics of cold atoms.

The coupling between different degrees of freedom (spin, charge, orbital, ...) is believed to lead to very efficient manipulation of order parameters. Magnetoelectric materials, where below certain temperature both magnetic and ferroelectric orders coexist, represent a very important class of such materials. Even though such materials were known for many years, the weakness of the coupling between the magnetization and polarization was the main obstacle for the manipulation of the magnetization with the electric field, or vice versa. In FeTe₂O₅Br we tried to bypass such problem in a different way. We focused on the system, where magnetic order is such, that it allows by the symmetry also ferroelectric order. Because of the presence of Te⁴⁺ lone-pair electrons the ferroelectric order is highly probable. We clearly proved, that both orders develop simultaneously at exactly the same transition temperature. This was already the first indication for the strong magnetoelectric coupling in this system, which was further demonstrated in dielectric measurements at high magnetic fields, where we discovered large changes in the dielectric constant. In other words, we manipulated the ferroelectric order by magnetic field. Such manipulation is also of interest for possible future applications, such as for instance writing the information with the magnetic field while reading it with the electric field. Magnetoelectric order in FeTe₂O₅Br represents a new class of magnetoelectrics and its discovery represents an important contribution to the physics of magnetic and ferroelectric materials. In addition, our discovery of "persistent spin dynamics" down to 20 mK can offer a completely new look at the unconventional spin dynamics in strongly frustrated magnetic systems.

10.2. Pomen za razvoj Slovenije¹¹

SLO

1. Prenos znanja v Slovenijo:

Čeprav nismo pričakovali, da bi naš projekt lahko vodil do neposrednih aplikacij v bližnji prihodnosti, pa vseeno ocenjujemo, da je splošno pomemben za družbo. Delovni sklop, posvečen širjenju znanja, smo namreč zasnovali tako, da je vzpodbudil številne povezave med slovenskimi raziskovalnimi skupinami in vodilnimi evropskimi laboratoriji. V tej luči smo pristopili k organizaciji mednarodne konference z naslovom "Magnetic resonance in highly frustrated magnetic systems", ki smo jo uspešno organizirali v Kranjski Gori.

V okviru projekta »Nova osnovna stanja in kvantne kritične točke v nižjedenzijskih kvantnih spinskih sistemih« smo uspešno vzpostavili tesno sodelovanje in izmenjavo z naslednjimi skupinami:

- a) Laboratory for Novel Electronic States: NMR, MuSR and photoemission, Laboratoire de Physique des Solides (LPS), Orsay, France (vodja Prof. Dr. P. Mendels),
 - b) Grenoble High Magnetic field Laboratory, CNRS, Grenoble, France (vodja Prof. Dr. C. Berthier).
 - c) National High Magnetic Field Laboratory, Talahassee, ZDA (vodja, prof. dr. Hans van Tol)
- Znanja, ki smo jih pridobili v okviru skupnih raziskav, smo uspešno prenesli v Slovenijo, še posebej pa na mlajše raziskovalce. Za nas so bile še posebej pomembne izkušnje in njihova raziskovalna oprema, do katere smo lahko dostopali v okviru teh raziskav. Še posebej bi radi poudarili, da so bili eksperimenti v visokih magnetnih poljih, ki smo jih opravljali v sodelovanju s skupinami iz Grenobla in Talahasseeja, za naše raziskave izredno pomembni in jih zaradi pomanjkanja ustrezne raziskovalne opreme v Sloveniji nismo mogli izvajati. Sodelovanje s temi skupinami se bo nadaljevalo tudi v bodoče.

2. Razvoj mladih kadrov:

V projektno ekipo smo uspešno vključili mlajše raziskovalce (tudi mlade raziskovalce). Ti raziskovalci so z pridobljenim (inženirskim - razvoj nove raziskovalne opreme je zahteval veliko inženirskega znanja) znanjem in izkušnjami zelo zanimiv kader tudi za slovensko industrijo, saj so pridobili poglobljena znanja s področja magnetizma, nanotehnologije ter fizikalnih meritev. V okviru raziskav tega projekta je dr. Matej Pregelj uspešno zaključil svoje doktorsko izobraževanje, Anton Potočnik pa bo predvidoma svoj doktorat zagovarjal spomladi 2013. V projektno delo smo privabili tudi dodiplomske študente fizike na Fakulteti za

matematiko in fiziko (Univerza v Ljubljani), ki so pri nas uspešno opravili svoje diplomske raziskave.

3. Vključevanje v mednarodne projekte:

Na osnovi rezultatov, objav, poročil v mednarodnih revijah ter konferencah smo bili povabljeni v projekt COST (projekt je trenutno v fazi ocenjevanja). To vključevanje je nadaljevanje naše aktivne vloge v ESF mreži »Highly frustrated magnetism«, kjer je bil prof. dr. Denis Arčon član programskega odbora. Leta 2011 smo pričeli tudi s sodelovanjem v FP7 projektu LEMSUPER (www.lemsuper.eu).

4. Razvoj novih eksperimentalnih tehnik.

Zelo uspešno smo uspeli razviti in testirati celice za NMR in EPR meritve pod visokimi pritiski (do 1.5 Gpa). Pri tem smo uporabili nekatere izvirne rešitve, kot je na primer uporaba dielektričnih resonatorjev v celicah kar je močno izboljšalo samo občutljivost mikrovalovnih resonatorjev. Poudariti je potrebno, da doslej v Sloveniji nismo imeli tovrstne opreme in da nam bodo te celice v bodoče omogočile dostop do nekaterih novih magnetnih faz.

ANG

1. Transfer of knowhow to Slovenia:

Although we did not expect that our project will lead to any direct applications, we still believe that the results will be of general importance for the society. Namely, based on the way we have designed the dissemination workpackage it is clear that we mainly tried to foster links between Slovenian research groups and leading European laboratories. In 2010 we have thus organized the international workshop "Magnetic resonance in highly frustrated magnetic systems", Kranjska Gora, Slovenia.

Dissemination of knowledge was therefore very high on a list of our priorities in this project. In addition we established close collaborations with the following research groups:

a) Laboratory for Novel Electronic States: NMR, MuSR and photoemission, Laboratoire de Physique des Solides (LPS), Orsay, France (head Prof. Dr. P. Mendels),

b) Grenoble High Magnetic field Laboratory, CNRS, Grenoble, France (head Prof. Dr. C. Berthier).

c) National High Magnetic Field Laboratory, Tallahassee, ZDA (head, prof. dr. Hans van Tol)

Knowhow, which was accumulated during joint research activities, was successfully transferred to Slovenia with a special emphasis on the involvement of young researchers. For the project team it was extremely important to keep contacts with such prominent laboratories with an excellent track record and state-of-the-art equipment. We would especially like to mention at this point experiments in high magnetic fields that were conducted in Grenoble and Tallahassee and that could not have been performed in Slovenia, since at the moment we still do not have such equipment. We will continue to collaborate with these groups also in the future.

2. Involvement of young researchers:

We have very successfully integrated young researchers into the project team. These researchers gained special know-how (Engineering skills acquired during the development of research equipment) and experience that would be potentially interesting also for the Slovenian industry. They acquired profound knowledge in the field of magnetism, nanotechnology, and measurements in physics.

Finally we mention, that major part of the PhD work of dr. Matej Pregelj has been linked with the project activities. Another candidate Anton Potočnik will defend his PhD in 2013. We have also successfully integrated undergraduate students of physics from the University of Ljubljana - some of them finished their diploma works under our supervision.

3. Involvement into international projects:

Based on the results of published reports in international journals and conferences, we were invited to the COST project, which was in 2009 still under evaluation. This integration into international networks is a direct consequence of our participation in the ESF network »Highly frustrated magnetism«, where professor Denis Arčon was an active member of the program committee. In 2011 we started with the FP7 LEMSUPER project (www.lemsuper.eu).

4. Development of new experimental techniques:

As we have originally planned, we managed to develop and test new high-pressure NMR and EPR cells, which can currently operate at pressures up to 1.5 GPa. With these cells we have used some very innovative solutions. As an example of such innovation we bring here the attention to the use of dielectric resonators in EPR high-pressure cell, which significantly improved the sensitivity of our microwave system. We stress that such experimental equipment was not available in Slovenia so far and we anticipate that it will give us access to some new magnetic phases and phenomena, when applied to physical systems of interest in the future.

11. Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!

Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri 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	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE

	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	

F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE

	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.33	Patent v Sloveniji	

	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	

Komentar

--

12.Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!
Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visokošolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	☐	☐	☐	☐	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	☐	☐	☐	☐	
G.01.03.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	☐	☐	☐	☐	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	☐	☐	☐	☐	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	☐	☐	☐	☐	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	☐	☐	☐	☐	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	☐	☐	☐	☐	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	☐	☐	☐	☐	
G.02.07.	Večji delež izvoza	☐	☐	☐	☐	
G.02.08.	Povečanje dobička	☐	☐	☐	☐	
G.02.09.	Nova delovna mesta	☐	☐	☐	☐	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	☐	☐	☐	☐	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	☐	☐	☐	☐	
G.02.12.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev					

	dejavnosti	☐	☐	☐	☐	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	☐	☐	☐	☐	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	☐	☐	☐	☐	
G.03.04.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01.	Dvig kvalitete življenja	☐	☐	☐	☐	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	☐	☐	☐	☐	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	☐	☐	☐	☐	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	☐	☐	☐	☐	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	☐	☐	☐	☐	
G.04.06.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
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	☐	☐	☐	☐	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	☐	☐	☐	☐	
G.07.03.	Energetska infrastruktura	☐	☐	☐	☐	
G.07.04.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva	☐	☐	☐	☐	
G.09.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	

Komentar

--

13.Pomen raziskovanja za sofinancerje¹²

	Sofinancer		
1.	Naziv		
	Naslov		
	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	

14. Izjemni dosežek v letu 2012¹³

14.1. Izjemni znanstveni dosežek

Magnetno-strukturna nehomogenost na trikotni antiferomagnetni mreži α -NaMnO₂ izzvano z geometrijsko frustracijo
<http://arxiv.org/abs/1302.5099>
 Poslano v Phys. Rev. Lett.

Kompleksnost faz je pogost pojav v sistemih, kjer so aktivne različne prostostne stopnje. Zaradi močnih elektronskih korelacij se lahko pojavijo nanometerske nehomogenosti, kot so na primer pasovne in »šahovske« ureditve naboja v kupratih. V tej raziskavi smo kot prvi pokazali, da na trikotni AF mreži α -NaMnO₂ z zelo kompleksnim magneto-strukturnim nehomogenim osnovnim stanjem, to stanje izhaja iz sklopitve med spinskimi in mrežnimi prostostnimi stopnjami. Meritve so razkrile, da je magnetno-frustrirana monoklinska faza prekinjena z nanometerskimi območji trikline strukture. Tovrstno fazno separacijo spodbuja prav frustracija, ki se odraža tudi v kvazi-elastičnih vzbuditvah, ki so sklopljena z obema strukturnima redoma.

14.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

Opis:

- a) A. Zorko, Vabljen predavanje, NGSCES 2012, New Generation of strongly correlated electron systems Workshop, 25.06. 2012/29.06.2012, Portorož, Slovenija. [COBISS.SIID 25949991]
- b) A. Zorko, Vabljen predavanje, Heraklion, Grčija: Institute of Electronic Structure and Laser: FORTH, 14. september 2010. [COBISS.SIID 23963175]
- c) A. Zorko, Vabljen predavanje, Tallahassee, Florida, ZDA: National High Magnetic Field Laboratory, 12. marec 2010. [COBISS.SIID 23529511]
- d) M. Klanjšek, Vabljen predavanje, SCEF 2012: Strongly Correlated Electron Systems in High Magnetic Fields, 21. - 25. maj 2012, Les Houches: École de Physique, Francija. [COBISS.SI-ID 26049575]
- e) D. Arčon, Vabljen predavanje, Euromar 2012 : [satellite meetings] COST Spin Hyperpolarisation [and] XeMat 2012 : 29 June - 1st July, Dublin, Ireland. [S. l.: s. n.], 2012, str. 44. [COBISS.SI-ID 25998887].
- f) D. Arčon, gostujoči raziskovalec na Durham University, UK, vabljen predavanje na Univerzi.

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 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:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
raziskovalne organizacije:*

in

vodja raziskovalnega projekta:

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za
matematiko in fiziko

Denis Arčon

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana	13.3.2013
-----------	-----------

Oznaka prijave: ARRS-RPROJ-ZP-2013/209

¹ Opredelite raziskovalno področje po klasifikaciji FOS 2007 (Fields of Science). Prevajalna tabela med raziskovalnimi področji po klasifikaciji ARRS ter po klasifikaciji FOS 2007 (Fields of Science) s kategorijami WOS (Web of Science) kot podpodročji je dostopna na spletni strani agencije (<http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/sifranti/preslik-vpp-fos-wos.asp>). [Nazaj](#)

² Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)

³ Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁴ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost 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, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁶ Navedite znanstvene dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) 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](#)

⁷ Navedite družbeno-ekonomske dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) 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 projekta ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

⁸ Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 7 in 8 (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](#)

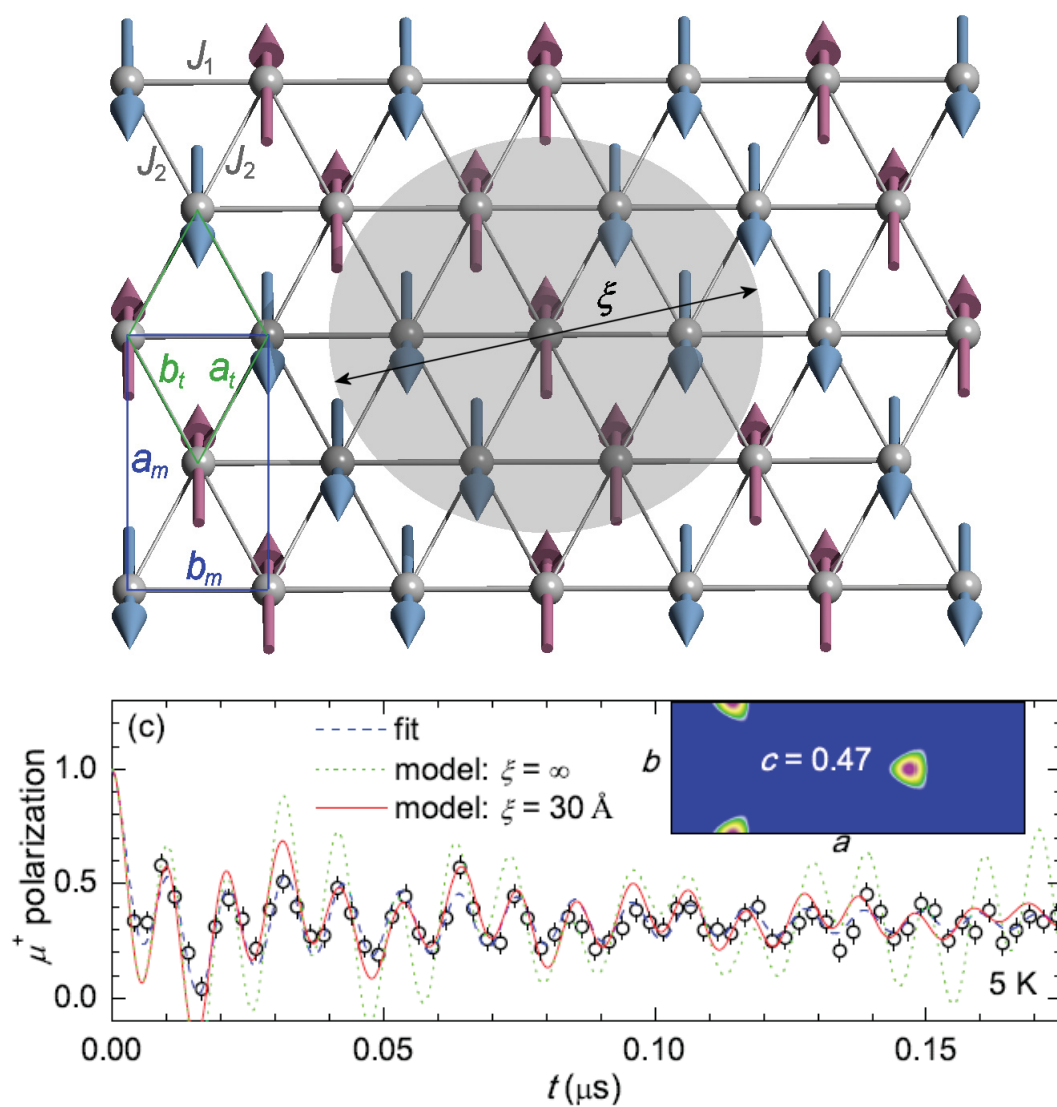
¹⁰ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

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

¹² Rubrike izpolnite / prepisite 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](#)

¹³ Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2012 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). 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/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2013 v1.00
74-37-DA-38-CD-00-44-7E-DE-9F-4F-C5-16-30-77-09-B9-6C-DC-86



Meritve z mionsko spinsko relaksacijo so razkrile, da je magnetno-frustrirana monoklinska faza v plastoviti α - NaMnO_2 prekinjena z nanometerskimi območji triklinske strukture. Tovrstno fazno separacijo spodbuja prav frustracija, ki se odraža tudi v kvazi-elastičnih vzbuditvah, ki so sklopljena z obema strukturnima redoma.