

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2013/253



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	J1-2208
Naslov projekta	Dinamične lastnosti odprtih nanosistemov daleč od ravnovesja
Vodja projekta	12279 Tomaž Prosen
Tip projekta	J Temeljni projekt
Obseg raziskovalnih ur	5310
Cenovni razred	A
Trajanje projekta	05.2009 - 04.2012
Nosilna raziskovalna organizacija	1554 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	1 NARAVOSLOVJE 1.02 Fizika 1.02.02 Teoretična fizika
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

V opravljenem raziskovalnem projektu smo znatno napredovali pri razumevanju odprtih mnogodelčnih kvantnih sistemov daleč od ravnovesja. Odkrili smo nove neravnovesne faze stacionarnih stanj odprtih kvantnih sistemov, npr. obstoj močnih korelacij dolgega dosega v lokalno interagirajočih kvantnih sistemih v eni dimenziji, ter kot prvi predlagali

nekaj točnih, analitičnih rešitev za neravnovesna stacionarna stanja v eno-dimenzionalnih odprtih kvantnih sistemih z močno interakcijo.

Posebej bi želeli izpostaviti konstrukcijo eksplcitne rešitve v odprti anizotropni Heisenbergovi verigi spinov $1/2$, s pomočjo katere smo postavili strogo spodnjo mejo na visokotemperaturno Drudejevo utež, s čimer smo zaprli dolgo diskutirano odprto vprašanje v fiziki trdne snovi [COBISS.SI-ID[2347108](#)]. Odmevnost tega matematično-fizikalnega rezultata izkazuje zelo velika citiranost, saj ima članek v enem in pol letu od objave že 29 citatov (po bazi Web of Science), oz. celo 40 citatov (po bazi Google Scholar, ki upošteva še nekatere pred-objavljene citate).

Tudi kumulativno je bilo izkazano delo na projektu zelo uspešno, kar izkazuje petintridest (35) objavljenih originalnih znanstvenih člankov v povezavi s tematiko projekta, od tega osem (8) v prestižni fizikalni reviji Physical Review Letters.

ANG

In the accomplished research project we have significantly advanced our understanding of open many-body quantum systems far from equilibrium. We have discovered new non-equilibrium phases of steady-states of open quantum systems, e.g. existence of strong long-range correlations in locally interacting quantum systems in one-dimension. We have also proposed some of the first exact analytical solutions of non-equilibrium steady states in one-dimensional open quantum systems with strong interactions.

In particular, we wish to emphasize a construction of explicit solution in open anisotropic Heisenberg chain of spins $1/2$, by means of which we have established a rigorous lower bound on the high-temperature spin Drude weight. In other words, we have presented a rigorous proof of ballistic transport in regime of a strongly-interacting model. This result closes a long-debated question in condensed matter community. Its impact is also evident in very high citation rate, namely in one and a half year since publication, the paper has already 29 citations (according to Web of Science) or even 40 citations (according to Google Scholar, which includes also some pre-published citations).

Also, cumulative success and impact of the project, as measured by bibliometrics, is significant. There is, in total, 35 original research papers published on the theme of the project, and out of these, eight (8) in the prestigious journal Physical Review Letters.

4. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu³

V letu prvem letu izvajanja projekta (2009) smo smo delali predvsem na treh frontah, namreč na numeričnih metodah za učinkovito simulacijo interagirajočih mnogodelčnih kvantnih sistemov daleč od ravnovesja, na analitičnih, oz. bolje rečeno, algebrskih metodah za njihov teoretični opis, ter na analizi teoretičnih modelov termoelektričnih toplotnih strojev.

1) Ugotovili smo da, čeravno daleč od ravnovesja, se gostotni operatorji stacionarnih stanj dajo dobro simulirati z metodo renormalizacijske grupe gostotnega operatorja (DMRG / Density Matrix Renormalization Group). Uporabili smo formulacijo metode v Liouvillovem prostoru, kjer se gostotna matrika izrazi kot matrično-produktni-operator. Renormalizacija gostotnega operatorja v tej formulaciji pomeni aproksimiranje matrik v takšnem produktu z matrikami končnega ranga. Izkaže se, da je intuicija po kateri bi pričakovali, da bo DMRG za izračun (simulacijo) neravnovesnih stacionarnih stanj v eni

dimenziji učinkovita v Liouvilovem prostoru, podobno kot je DMRG učinkovita za izračun osnovnih stanj Hamiltonskih problemov, pravilna in metoda v praksi tipično odlično deluje.

S to metodo smo nato numerično študirali nekatere presenetljive fizikalne pojave, predvsem:

a) Difuzijski spinski transport v anizotropni Heisenbergovi spinski verigi, v režimu (Ising-like sklopitve in ničelne celotne magnetizacije), ko je v okolici osnovnega stanja odprta spektralna reža. Z odlično numerično natančnostjo smo potrdili obstoj spinske difuzije in obstoj difuzijskega neravnovesnega stanja za verige velikosti do 100 spinov. Spinska difuzija se zdi teoretično še posebej zanimiva v tem kontekstu ker gre za popolnoma integrabilni model in jo bo morda zato mogoče v prihodnje povsem teoretično razumeti.

b) Prav tako v anizotropni Heisenbergovi spinski verigi - ter v Hubbardovem modelu v eni dimenziji - smo numerično opazovali negativno diferencialno prevodnost v neravnovesnih stacionarnih stanjih. Ugotovili smo, da pri zelo močni "sili", t.j. razliki kemijskih potencialov med dvema rezervoarjema na koncih verige, lahko pride do zmamjšaja toka delcev (ali spinskega toka) ob povečanju sile, oz. napetosti. Pojav smo tudi kvalitativno razložili, podrobnejša teoretična razlaga pa je v delu.

2) V smeri analitičnih metod pa smo posplošili prejšnje leto razvit analitični okvir za opis odprtih fermionskih kvantnih sistemov v Liouville-Fockovem prostoru operatorjev na splošnejši Redfieldov (pred Lindbladov) model toplotnih rezervoarjev. Kot aplikacijo smo izračunali neravnovesna stacionarna stanja in korelacijske funkcije v termično gnani XY spinski verigi. Netrivialen zaključek tega študija je bil, da prej opaženi kvantni fazni prehod daleč od ravnovesja obstane tudi v primeru sklopitve s kanoničnimi toplotnimi rezervoarji. Prav tako smo okvir te tako-imenovane "tretje kvantizacije" uporabili tudi za izračun časovno odvisne relativne entropije oz. entropije prepletenosti v operatorskem prostoru za časovni razvoj opazljivk v Heisenbergovi sliki v kvantnih XY spinskih verigah. Opazili smo, da prej omenjeni kvantne faze daleč od ravnovesja korespondirajo z različnimi univerzalnimi prefaktorji logaritemskega naraščanja operatorske entropije prepletenosti s časom. V delu- tik pred objavo- je tudi različica metode za opis odprtih bozonskih sistemov in hibridnih sistemov bozonov in fermionov.

3) Poleg študija v kvantnih sistemih smo teoretično raziskovali tudi križne transportne pojave - predvsem termoelektričnost - v neravnovesnih sistemih in napravili nekaj preprostih teoretičnih modelov termoelektričnih toplotnih strojev na osnovi klasične mehanike. Posebej zanimiv se zdi preprost točno rešljiv model termoelektričnega toplotnega stroja z dvema klasičnima sipalcema ("klasičnima pikama"). V tem modelu smo lahko točno identificirali pogoje pod katerimi takšen "toko-krog" deluje kot idealen (Carnojev) toplotni stroj. V prihodnje si obetamo, da bomo z identifikacijo tega in podobnih mehanizmov lahko izboljšali izkoristek bolj realističnih modelov termoelektričnih toplotnih strojev.

V letu drugem letu izvajanja projekta (2010) se je naša projektna skupina v neformalnem sodelovanju s sodelavci iz tujine, še naprej zelo intenzivno ukvarjala z raziskovanjem odprtih mnogodelčnih kvantnih sistemov.

1) Kot matematično doplonilo v letu 2008 predlagane metode za kanonično kvantizacijo Lindblad-Liouvillovih operatorjev v operatorskem prostoru (tretje kvantizacije), je T. Prosen v članku v J. Stat. Mech. [COBISS.SI-ID 2317668] dokazal kompleten spektralni

izrek za kvadratične mnogo-delčne Liouvillove superoperatorje. Zelo zanimiva je klasifikacija primerov, ko se Liouvillov superoperator ne da diagonalizirati in, ki lahko vodijo do t.i. cutoff pojava pri relaksaciji. V članku je predstavljene zanimive leme o Jordanovi kanonični formi tenzorskih produktov, ki prej v literaturi še niso bile študirane.

2) V sodelovanju s prof. T. H. Seligmanom je T. Prosen predlagal tudi razširitev metode tretje kvantizacije na bozonske sisteme v članku [COBISS.SI-ID 2317412]. Pristop ponuja tudi elegantno enotno formulacijo metode, ki pokriva tako bozonske kot fermionske modele.

3) V članku [COBISS.SI-ID 516136729] objavljenem v New. J. Phys, sta T. Prosen in B. Žunkovič razširila teorijo tretje kvantizacije na obravnavo Redfieldovih master enačb, v članku [COBISS.SI-ID 2316900] pa sta točno rešila odprto XY kvantno spinsko verigo v perturbacijskem režimu šibke spinske anizotropije in šibke sklopitve z rezervoarji. Posebej zanimiva je analitična obravnava neravnovesnega faznega prehoda v red dolgega dosega in opažen resonančni odziv sistema na spreminjanje magnetnega polja v režimu dolgih korelacij.

4) Vsodelovanju z A. Gorczyca-Goraj in M. Mierzejewskim, je T. Prosen objavil v Phys. Rev. B [COBISS.SI-ID 516136729] članek, kjer je bil omenjen neravnovesen fazen prehod v korelacijski red dolgega dosega v XY spinski verigi opažen tudi v alternativnem teoretičnem opisu, s Keldyshevim formalizmom neravnovesnih Greenovih funkcij. V tem modelu smo red dolgega dosega zaznali s pomočjo spinskega odziva na oddaljeno magnetno nečistočo, ki se je kvalitativno spremenil v okolici kritičnega zunanega magnetnega polja.

5) V članku [COBISS.SI-ID 2262884] objavljenem v Physical Review Letters, sta T. Prosen in M. Žnidarič objavila odkritje prehoda v red dolgega dosega v odprtih kvantnih spinskih verigah z močno interakcijo in daleč od ravnovesja. Ta rezultat se zdi še posebej zanimiv in je podrobneje predstavljen kasneje.

6) Kvantne master enačbe nam lahko služijo tudi kot model za termalizacijo, kar so sta študirala M. Žnidarič in T. Prosen, skupaj s prof. G. Casatijem, G. Benentijem in D. Rossinijem v [COBISS.SI-ID 2251620]. V tem delu smo odkrili, da kvantne master enačbe Lindbladove oblike za enodimenzionalne kvantne sisteme (npr. spinske verige), ki jih sklopimo z rezervoarjih le na robovih, tipično vodijo do stacionarnih stanj, ki so v "bulku" identična Gibbsovemu ravnovesnemu stanju pri neki kanonični temperaturi. Do takšne termalizacije pride pod pogojem, da je ustrezen izoliran kvantnen mnogo-delčni problem povsem integrabilen, sicer pa termalizacija izostane in dobimo stacionarna stanja, ki so občutljivo odvisna od robne sklopitve z rezervoarji.

7) V sodelovanju s kolegi iz Univerze Wesleyan, ZDA, iz skupine prof. T. Kottosa, je T. Prosen študiral nehermitske posplošitve kaotičnih dinamičnih sistemov s PT simetrijo. Izsledki, ki poročajo o dinamičnih kriterijih za stabilnost, so bili objavljeni v Physical Review Letters [COBISS.SI-ID 2234724].

V letu tretjem letu (2011) smo imeli sodelavci na projektu izjemno plodovito leto. Objavili smo kar pet člankov v prestižni fizikalni reviji Physical Review Letters. Med drugim smo napravili nekaj ključnih korakov pri razumevanju kvantnega transporta v odprtih oz. neravnovesnih kvantnih spinskih verigah, predvsem v prototipnem modelu mnogodelčnega sistema z močno interakcijo, t.j. Heisenbergove anizotropne verige spinov $1/2$. Glavne dosežke projektne skupine bi lahko strnili takole:

1) Metodo kvantizacije v Fockovem prostoru gostotnih operatorjev (t.i. tretje kvantizacije) smo posplošili na periodično časovno odvisne Liouvillove probleme in teorijo kombinirali z znano Floquetovo teorijo. Kovariančna matrika kvazi-prostega sistema s periodično časovno odvisnostjo tako zadošča diskretni Ljapunovi enačbi. Kot primer uporabe nove metode smo pokazali obstoj neravnovesnega faznega prehoda v časovno odvisni (periodični) odprti XY verigi spinov $1/2$ [COBISS.SI-ID [2381668](#)].

2) Predlagali smo povsem nov algebraičen pristop k točnemu reševanju neravnovesnih stacionarnih stanj odprtih spinskih verig s pomočjo nastavka matričnega produkta. Za primer smo točno rešili odprto Heisenbergovo anizotropno XXZ spinsko verigo, ki je na koncih sklopljena z dvema Lindbladovima spinskima rezervoarjema pri različnih magnetizacijah. Najprej smo rešitev dobili v t.i. perturbacijskem režimu šibke sklopitve z rezervoarji [COBISS.SI-ID [2347108](#)] potem pa smo jo uspeli še posplošiti v neperturbacijski režim poljubno močne sklopitve [COBISS.SI-ID [2381668](#)]. Kot stranski produkt nove metode smo poiskali nov, kvazi-lokalen ohranitveni zakon, ki nam je omogočil matematično strog dokaz neničelne spondnje meje za Drudejevo utež pri visokih temperaturah v "easy-plane" režimu. Ta dokaz zapira dolgotrajno diskusijo v fiziki kondenzirane snovi.

3) S pomočjo metode tDMRG (časovno odvisne renormalizacijske grupe gostotnega operatorja) smo numerično in analitično (za majhne sisteme) reševali odprto XXZ spinsko verigo v režimu linearnega odziva, kjer točna rešitev opisana zgoraj odpove. Pokazali smo difuzijski transport v "easy-axis" režimu, in anomalni transport - kjer tok pojema kot obratni kvadratni koren iz dolžine sistema - v eksperimentalno najbolj relevantnem izotropnem režimu [COBISS.SI-ID [2357860](#)].

4) S sodelavci iz Mehike in Argentine smo študirali Markovskost (Markovianity) odprtih kvantnih sistemov, ki jih lahko statistično opišemo s teorijo slučajnih matrik. S pomočjo nekaterih matematičnih rezultatov iz statistične fizike in teorije slučajnih matrik smo uspeli točno obravnavati naključni model dvonivojskega kvantnega sistema v banji in pokazali precizno pod kakšnimi pogoji smemo takšen model obravnavati kot Markovski [COBISS.SI-ID [2358116](#)]

Tudi v zadnjem letu izvajanja projekta (2012) smo nadaljevali intenzivno teoretično delo na področju razumevanja neravnovesnih stacionarnih stanj. Tukaj morda velja predvsem izpostaviti dva dosežka na področju klasifikacije neravnovesnih stacionarnih stanj v problemih, kjer imajo operatorji disipacije (Lindbladovi operatorji) določeno simetrijo.

V članku, ki je izšel v reviji New Journal of Physics [COBISS.SI-ID [2458980](#)], sta avtorja Berislav Buča in Tomaž Prosen pokazala možen obstoj dveh kvalitativno različnih simetrij odprtih kvantnih sistemov, t.i. šibkih in močnih simetrij. V primeru obstoja močne simetrije sta pokazala netrivialno degeneracijo prostora neravnovesnih stacionarnih stanj. Kot zanimiv fizikalni primer takšne močne simetrije sta obdelala odprto Heisenbergovo spinsko verigo z disipacijo z vezjo, ki ubogajo mikrokanonično vez (oz. ohranjajo število spinskih ekscitacij v sistemu).

V članku, ki je izšel v reviji Physical Review Letters [COBISS.SI-ID [2458724](#)], pa je avtor T. Prosen pokazal možen obstoj še ene, popolnoma nove vrste simetrije odprtih kvantnih sistemov, ki jo je imenoval Liouvillova PT (parnost-čas) simetrija. Obstoj takšne simetrije ima dramatične posledice za časovni potek dekoherence v sistemu, namreč avtor pokaže, da PT simetrija povzroči fazni prehod v režim - za zadosti majhno sklopitve z okolico - v katerem vse koherence (izvendiagonalni elementi gostotnega operatorja) - pojemajo z enotno časovno konstanto.

To bi utegnilo imeti pomembne posledice za študij dekoherence na splošno.

Sodelavci projektne skupine smo pri izvajanju projekta intenzivno sodelovali s kolegi iz tujine, predvsem z Nacionalne univerze v Mehiki, z Univerze Insubria v Comu, v Italiji, z Freie Universitaet iz Berlina, ter Univerze Wesleyan v ZDA.

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

Ocenjujemo, da so bili zastavljeni cilji projekta v celoti realizirani. V marsičem pa smo zastavljene cilje presegli oz. razširili.

V zgoraj opisanih projektih, ki so bili vsi objavljeni v recenziranih revijah najvišjega ranga, smo sledili glavnim smernicam projekta in jih v določenih smereh tudi še razširili. Npr. študij dinamičnih lastnosti odprtih nano-sistemov ob prisotnosti simetrije na PT (časovno prostorski obrat), je zelo aktualno problemsko področje v svetovnem merilu v zadnjem letu ali dveh, z zelo intenzivno eksperimentalno aktivnostjo, še posebej na področju nelinearne optike.

Glede na nekatere pomembne povsem nove ideje, ki jih nismo mogli načrtovati, pa smo - lahko rečemo - cilje tudi bistveno presegli. Analitična metoda opisana pod točko 4/2 namreč obeta veliko zanimivih posplošitev in teoretičnih ter eksperimentalnih aplikacij, zato bo verjetno prišlo še do pomembnega razvoja v tej smeri v prihodnje. Metoda pa je zelo zanimiva tudi v matematično-fizikalnem smislu, saj obeta prvi sistematični pristop k točnemu reševanju odprtih mnogo-delčnih sistemov z močno interakcijo. Obeta morda povsem nov pristop k integrabilnosti odprtih kvantnih sistemov.

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

Večjih sprememb programa raziskovalnega projekta ni bilo.

7. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁶

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	2381668	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Točno neravnovesno stacionarno stanje močno gnane odprte XXZ spinske verige
		ANG	Exact nonequilibrium steady state of a strongly driven open XXZ chain
	Opis	SLO	Predstavili smo ekzakten nastavek tenzorske mreže v obliki lestve za neravnovesno stacionarno stanje anizotropne Heisenbergove XXZ verige spinov 1/2, ki jo ženemo daleč od ravnovesja s parom Lindbladovih operatorjev, ki delujeta le na koncih verige. Pokazali smo, da je gostotni operator stacionarnega stanja končne verige velikosti $n - 2$ v sklopitveni konstanti. Učinkovito računanje fizikalnih opazljivk smo izvedli s pomočjo prehodnega operatorja, ki spominja na klasičen Markovski proces. V izotropnem režimu najdemo cosinusni spinski profil, $1/n^2$ skaliranje spinskega toka in korelacije dolgega dosega v stacionarnem stanju. To delo je povsem neoerturbativna posplošitev
			An exact and explicit ladder-tensor-network ansatz is presented for the

		ANG	nonequilibrium steady state of an anisotropic Heisenberg XXZ spin-1/2 chain which is driven far from equilibrium with a pair of Lindblad operators acting on the edges of the chain only. We show that the steady-state density operator of a finite system of size n is—apart from a normalization constant—a polynomial of degree $2n - 2$ in the coupling constant. Efficient computation of physical observables is facilitated in terms of a transfer operator reminiscent of a classical Markov process. In the isotropic case we find cosine spin profiles, $1/n^2$ scaling of the spin current, and long-range correlations in the steady state. This is a fully nonperturbative extension of a recent result [Phys. Rev. Lett. 106, 217206 (2011)]
	Objavljeno v		American Physical Society.; Physical review letters; 2011; Vol. 107; str. 137201-1-137201-5; Impact Factor: 7.370;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.404; A'': 1;A': 1; WoS: UI; Avtorji / Authors: Prosen Tomaž
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
2.	COBISS ID	2347108	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Odperta XXZ spinska veriga: neravnovesno stacionarno stanje in stroga ocena za balistični transport
		ANG	Open XXZ spin chain: nonequilibrium steady state and strict bound on ballistic transport
	Opis	SLO	V članku predstavimo nastavek v obliki matričnega produkta, za prve dva reda v (malem) parametru sklopitve z okolico, ki opiše neravnovesno stacionarno stanje homogene anizotropne Heisenbergove XXZ verige spinov 1/2, ki jo ženejo Lindbladovi operatorji na robovih verige. Prvi red gostotnega operatorja postane v termodinamski limiti psevdo-lokalen ohranitveni zakon in nam da - preko Mazurjeve neenačbe - rigorozno spodnjo mejo za viskotemperaturno Drudejevo utež. Ta Mazurjeva spodnja meja je fraktalna funkcija parametra anizotropije Δ , za Δ manj od 1.
		ANG	An explicit matrix product ansatz is presented, in the first two orders in the (weak) coupling parameter, for the nonequilibrium steady state of the homogeneous, nearest neighbor Heisenberg XXZ spin 1/2 chain driven by Lindblad operators which act only at the edges of the chain. The first order of the density operator becomes in the thermodynamic limit an exact pseudolocal conservation law and yields -- via the Mazur inequality -- a rigorous lower bound on the high-temperature spin Drude weight. Such a Mazur bound is found a nonvanishing fractal function of the anisotropy parameter Δ for Δ less than 1.
	Objavljeno v		American Physical Society.; Physical review letters; 2011; Vol. 106, issue 21; str. 217206-1-217206-4; Impact Factor: 7.370;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.404; A'': 1;A': 1; WoS: UI; Avtorji / Authors: Prosen Tomaž
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	2262884	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Red dolgega dosega v neravnovesnih interagirajočih kvantnih spinskih verigah
		ANG	Long-range order in nonequilibrium interacting quantum spin chains
	Opis	SLO	Ugotovili smo da neravnovesni robni pogoji tipično sprožijo red dolgega dosega v neravnovesnih stacionarnih stanjih interagirajočih kvantnih verig z lokalno a močno interakcijo. Obravnavali smo kvantne spinske verige, ki jih ženemo daleč od ravnovesja s parom Lindbladovih rezervoarjev, ki se z verigo sklapljajo zgolj na njenih koncih. V integrabilnem Heisenbergovem XXZ modelu opazimo fazni prehod iz eksponentno pojemajočih spinskih korelacij v korelacije dolgega dosega s spreminjanjem parametra

			anizotropije. Red dolgega dosega tipično opazimo tudi kot posledico zloma integrabilnosti modela.
		ANG	We find that non-equilibrium boundary conditions generically trigger long range order in non-equilibrium steady states of locally but strongly interacting quantum chains. We treated models quantum spin 1/2 chains which are driven far from equilibrium by coupling to a pair Lindblad reservoirs attached to the ends of the chain. In particular, we find a phase transition from exponentially decaying to long range spin-spin correlations in integrable Heisenberg XXZ chain by changing the anisotropy parameter. Long range order also typically emerges after breaking the integrability of the model.
	Objavljeno v		American Physical Society.; Physical review letters; 2010; Vol. 105, issue 6; str. 060603-1-060603-4; Impact Factor: 7.621;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.582; A'': 1;A': 1; WoS: UI; Avtorji / Authors: Prosen Tomaž, Žnidarič Marko
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID		2234724 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Valovni kaos s PT simetrijo
		ANG	PT-symmetric wave chaos
	Opis	SLO	Študiramo nov razred kvantnih kaotičnih sistemov z lastnostjo dinamične lokalizacije, kjer mehanizem ojačevanja/dušenja zlomi Hermitsko naravo problema, medtem ko ima sistem še vedno kombinirano simetrijo PT na zrcaljenje prostora in obrat časa. Pri posebni vrednosti parametra γ_{PT} , ki predstavlja moč zloma unitarnosti problema, imamo spontan zlom PT simetrije in fazni prehod ekzaktne v zlomljeno fazo. Razvijemo enoparametrično teorijo skaliranja za γ_{PT} , in pokažemo da kaos pomaga pri obstoju ekzaktne PT faze. Možne aplikacije za načrtovanje optičnih elementov s PT simetrijo.
		ANG	We study a new class of quantum chaotic systems with dynamical localization, where gain/loss mechanisms break the Hermiticity, while allowing for parity-time (PT) symmetry. For a value γ_{PT} of the gain/loss parameter the spectrum undergoes a spontaneous phase transition from real (exact phase) to complex values (broken phase). We develop a one parameter scaling theory for γ_{PT} , and show that chaos assists the exact PT-phase. Our results have applications to the design of active optical elements with PT-symmetry.
	Objavljeno v		American Physical Society.; Physical review letters; 2010; Vol. 104; str. 054102-054102-4; Impact Factor: 7.621;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.582; A'': 1;A': 1; WoS: UI; Avtorji / Authors: West Carl T., Kottos Tsampikos, Prosen Tomaž
5.	COBISS ID		2150756 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Matrix product simulation of non-equilibrium steady states of quantum spin chains
		ANG	Matrix product simulations of non-equilibrium steady states of quantum spin chains
	Opis	SLO	Uporabili smo metodo časovno odvisne renormalizacijske grupe gostotnega operatorja z nastavkom matričnih produktov za izračun gostotnih operatorjev neravnovesnih stacionarnih stanj integrabilnih in neintegrabilnih kvantnih verig, ki so gnane daleč od ravnovesja preko sklopitve z dvema Markovskima rezervoarjema na koncih. Rezultate demonstriramo z eksplicitno simulacijo stacionarnih stanj in izračunom energijskih/spinskih profilov/tokov v nekaj problemih toplotnega in spinskega transporta v kvantnih spinskih verigah velikosti do 100 spinov.
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek

	ANG	Time dependent density matrix renormalization group method with matrix product ansatz has been employed for explicit computation of non-equilibrium steady state density operators of several integrable and non-integrable quantum chains, which are driven far from equilibrium by means of Markovian couplings to external baths at the two ends. Our results are demonstrated by performing explicit simulations of steady states and calculations of energy/spin densities/currents in several problems of heat and spin transport in quantum spin chains with up to 100 spins.
Objavljeno v		IOP Publishing; Journal of statistical mechanics; 2009; no. 2; str. P02035-1-P02035-19; Impact Factor: 2.670; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.269; A': 1; WoS: PU, UR; Avtorji / Authors: Prosen Tomaž, Žnidarič Marko
Tipologija	1.01	Izvirni znanstveni članek

8. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁷

	Družbeno-ekonomski dosežek		
1.	COBISS ID	2382436	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Kvantni računalnik - ni zgolj ideja
		ANG	Quantum Computer - not only an idea
	Opis	SLO	T. Prosen je skupaj z urednico na programu Val 202 Mijo Škrabec Arbanas, kot gost, pripravil oddajo o kvantnih računalnikih v sklopu oddaj Frekvenca X na valu 202 radia Slovenija.
		ANG	T. Prosen co-authored a radio show entitled "Quantum Computer - not only an idea", popularizing an idea of quantum computers and quantum technologies in general, broadcasted on "Val 202" channel of slovenian national radio.
	Šifra	F.35	Drugo
	Objavljeno v	RTV Slovenija; 2011; Avtorji / Authors: Prosen Tomaž	
	Tipologija	3.11	Radijski ali TV dogodek

9. Drugi pomembni rezultati projektne skupine⁸

- E.02 Mednarodna nagrada:

V letu 2009 je vodja projektne skupine, T. Prosen prejel mednarodno raziskovalno nagrado Friedrich Wilhelm Bessela, ki jo podeljuje nemška Humboldtova fundacija. Nagrado vsako leto podelijo približno 20 (največ 25) znanstvenikom iz vseh področij. Nagrada se podeljuje "mednarodno uveljavljenim znanstvenikom, ne več kot 18 let po doktoratu, za katere se tudi v prihodnje pričakuje da bodo producirali izjemne dosežke in imajo bistven vpliv na razvoj znanstvenega področja tudi širše od same tematike njihovega raziskovalnega dela"

- C.04 Uredništvo mednarodne revije:

T. Prosen je v letu 2010 prejel vabilo za članstvo v uredniškem odboru ugledne fizikalne revije New Journal of Physics (Impact factor (2009): 3.3), ki jo izdajata Institute of Physics, in Nemško fizikalno društvo (DPG) in je od 1.1.2011 član uredniškega odbora te revije.

- C.04 Uredništvo mednarodne revije:

T. Prosen je bil v letu 2010 povabljen da prevzame mesto pridruženega urednika (Associate

Editor), prenovljene revije Chaos, Solitons and Fractals, ki jo izdaja Elsevier, in je od sredine 2010 tudi urednik pri tej reviji za področje kvantnega kaosa in kvantne informacije.

- B.05 Gostujoči profesor na inštitutu/univerzi

M. Žnidarič je bil od septembra 2010 vabljeni gostujoči profesor na Inštitutu za fiziko, nacionalne univerze v Mehiki (UNAM), Cuernavaca, Mehika

- B.05 Gostujoči profesor na inštitutu/univerzi

T. Prosen je bil od marca do avgusta 2010 gostujoči profesor na Inštitutu za fiziko in astronomijo, Univerze v Potsdamu, Nemčija

- T. Prosen je imel krajši intervju in prispevek o svojem delu v osrednjem časniku delo: Kvantna prepletenost je lahko tudi uporabna. Delo (Ljublj.), 25. mar. 2010, leto 52, št. 69, str. 23, portret. [COBISS.SI-ID 251405312]

- T. Prosen je imel intervju in prispevek o svojem delu v radijski oddaji frekvenca X, na valu 202, 28.10.2010, v epizodi oddaje z naslovom "Teorija kaosa"

10. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁹

10.1. Pomen za razvoj znanosti¹⁰

SLO

Raziskovalni rezultati naše projektne skupine posegajo v osnovne, fundamentalne probleme neravnovesne statistične in kvantne fizike. Njihov pomen je predvsem v razumevanju osnov statistične in kvantne fizike, ter pri razvoju učinkovitih analitičnih in numeričnih računskih tehnik za opis in reševanje različnih zanimivih modelov mnogodelčnih sistemov.

ANG

Research results of our project team are related to fundamental problems of nonequilibrium statistical and quantum physics. As such, their main importance is, firstly, the contribution to understanding of fundamentals of statistical and quantum physics, and, secondly, for the development of efficient analytical and numerical computational techniques for the solution or simulation of various interesting models of many-body systems.

10.2. Pomen za razvoj Slovenije¹¹

SLO

Pomen naših raziskovalnih rezultatov za razvoj Slovenije je predvsem posreden. Namreč z našimi napori morda pomagamo ohranjati stik naših raziskovalcev z vrhunskimi teoretičnimi osnovnimi raziskavami. Seveda pa ne smemo podcenjevati potencialne uporabne vrednosti naših raziskav, predvsem pri razvoju novih računskih metod, ki bi imele lahko tudi neposreden učinek za razvoj Slovenije na področju nanotehnologije.

ANG

Our research results may have mainly indirect impact for the development of Slovenia. Namely, with our endeavors we perhaps help keeping the contact of our researchers with the cutting-edge developments in the fundamental theoretical science. However, we must not underestimate the potential direct applicability of our research, in particular with the development of new computational methods which might also have a direct impact on the development of Slovenia in the field of nanotechnology.

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**

V članku, ki je izšel v reviji Physical Review Letters [COBISS.SI-ID 2458724], je avtor T. Prosen pokazal možen obstoj še ene, popolnoma nove vrste simetrije odprtih kvantnih sistemov, ki jo je imenoval Liouvillova PT (parnost-čas) simetrija.

Obstoj takšne simetrije ima dramatične posledice za časovni potek dekoherence v sistemu, namreč avtor pokaže, da PT simetrija povzroči fazni prehod v režim - za zadosti majhno sklopitev z okolico - v katerem vse koherence (izvendiagonalni elementi gostotnega operatorja) - pojemajo z enotno časovno konstanto.

To bi utegnilo imeti pomembne praktične posledice za študij dekoherence na splošno. Namreč, ob obstoju enotne časovne dekoherenčne konstante, bi bilo morda mogoče efekt dekoherence odšteti in s tem zagotoviti dosti daljše praktične koherenčne čase, kar je en od ključnih problemov pri manipulaciji s kvantnimi sistemi, npr. v kvantnem računalništvu.

14.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

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

Tomaž Prosen

ŽIG

Kraj in datum: Ljubljana 12.3.2013

Oznaka prijave: ARRS-RPROJ-ZP-2013/253

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

23-8C-7C-A8-17-CB-17-5A-2A-F5-47-05-F5-B6-16-A4-CE-9F-22-10