

NAUČNOM VEĆU INSTITUTA ZA FIZIKU U BEOGRADU

Predmet:

Izveštaj komisije za izbor dr Dejana M. Đokića u zvanje istraživač saradnik

Na sednici Naučnog veća Instituta za fiziku u Zemunu, održanoj 10. jula 2018. godine, izabrani smo u Komisiju za izbor dr Dejana M. Đokića u zvanje istraživač saradnik. Pregledom materijala koji nam je dostavljen, kao i na osnovu ličnog poznavanja kandidata i uvida u njegov rad, Naučnom veću Instituta za fiziku podnosimo sledeći izveštaj:

1. Stručno-biografski podaci

Dr Dejan M. Đokić je završio osnovnu školu i gimnaziju kao nosilac Vukove diplome. Nakon gimnazijskog obrazovanja je upisao osnovne studije na Fizičkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, na smeru Teorijska i eksperimentalna fizika. Diplomirao je 2004. godine sa radom pod nazivom “*Visoko temperaturske popravke u teoriji Fermijeve tečnosti nuklearnog modela tečne kapi*”. Prosečna ocena za vreme studija bila je 9.63. Nakon osnovnih studija fizike 2005. godine upisao je magistarske studije na Fizičkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, na smeru Fizika kondenzovanog stanja materije. Početkom 2005. godine se zaposlio u Centru za fiziku čvrstog stanja i nove materijale Instituta za fiziku gde je pod rukovodstvom akademika Prof. Dr Zorana Popovića bio angažovan na projektu “*Fizika niskodimenzionih nanostruktura i materijala*”. Tokom svog angažovanja je uspešno završio magistarske studije sa prosečnom ocenom 10.00 i bio uključen u razne naučno-istraživačke delatnosti eksperimentalnog i teorijskog sadržaja u oblasti spektroskopije čvrstih tela. Svoje magistarske studije zaokružuje uspešno 2008. godine odbranivši magistarsku disertaciju pod nazivom “*Uticaj spinskih korelacija antiferomagnetno uređene faze na infracrvene spektre α -MnSe*”. Iste godine se upisuje na doktorske studije u Švajcarskoj na *Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne* (EPFL). Svoju doktorsku tezu pod naslovom “*Electron Spin Resonance of Novel Materials*” brani 2012. godine čiji je rukovodilac bio Prof. Dr László Forró, inače inostrani član Srpske akademije nauka i umetnosti. Posle uspešno završenih doktorskih studija, pridružuje se Laboratoriji za primenjene superprovodne tanke filmove (*Applied Superconducting Thin Films Laboratory*) pri Univerzitetu u Ženevi (*University of Geneva - UNIGE*) gde je u saradnji sa Prof. Dr Michel Decroux radio kao post-doktorant na istraživačkom projektu u kooperaciji sa industrijskim partnerom ABB iz Badena u Švajcarskoj. Zaokruživši svoj rad na Univerzitetu u Ženevi aprila 2015. godine zapošljava se kao naučni saradnik pri Laboratoriji za nanobiotehnologiju (*Laboratory of Nanobiotechnology*) na Institutu hemijskih nauka i inženjerstva (*Institute of Chemical Sciences and Engineering*) na EPFL-u u Lozani. Trenutno je angažovan kao spoljnji saradnik u Centru za fiziku čvrstog stanja i nove materijale Instituta za fiziku u Beogradu na projektu ON171032 "Fizika nanostrukturnih

oksidnih materijala i jako korelisanih sistema" Ministarstva prosvete nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, čiji je rukovodilac Dr Zorana Dohčević-Mitrović. Bavi se ispitivanjem električnih i magnetnih osobina nanostruktura na bazi multiferoičnog bizmut-ferita. U isto vreme promoviše i podiže fiziku na viši nivo radeći kao nastavnik fizike u Valjevskoj gimnaziji u specijalizovano-matematičkim odeljenjima kao i u bilingvalnim odeljenjima. Kreator je sajta fizike <https://dejanphysics.wordpress.com/> koji prati čitav region, a i šire. Dr Dejan M. Đokić je autor ili koautor 13 radova objavljenih u međunarodnim časopisima.

2. Pregled naučne aktivnosti

Istraživački rad Dejana Đokića se do sada odvijao u okviru različitih tematskih celina fizike čvrstog stanja sa akademskog, primenjenog, i industrijskog aspekta. Tu spadaju eksperimentalna i teorijska istraživanja na jako korelisanim niskodimenzionim sistemima, magnetnim i multiferoičnim materijalima, fotonim kristalima, superprovodnim tankim filmovima, karbonskim i titanijumskim nanostrukturama, organskim provodnicima i molekularnim magnetima, grafenu, biološkim polimerima, i drugo. Ovladao je nizom eksperimentalnih tehnika kao što su Raman i infracrvena spektroskopija, tehnike magnetne rezonance, magnetometrija, skenirajuća elektronska mikroskopija, rendgenska i neutronska difrakcija, diferencijalno skenirajuća kalorimetrija, kriogenika, deponovanje tankih filmova magnetnim raspršivanjem i koevaporacijom, fluorescentna mikroskopija, uključujući i razne hemijske metode u sintezi organskih superprovodnika i funkcionalizaciji karbonskih nanotuba. Sa teorijske strane, poseduje značajno iskustvo u tehnikama kvantne teorije polja mnogočestičnih sistema kao i programerske veštine zasnovane na metodu konačnih elemenata u licenciranim i nekomercijalnim softverima. Kao što je elaborirano u onome što sledi, njegovi dosadašnji naučno-istraživački rezultati su plod rada na četiri akademske institucije, visoko kotirane u svetu (pogledati tabelu).

Period	Aflijacija	Zvanje
2005-2008	Centar za fiziku čvrstog stanja i nove materijale - Institut za fiziku u Zemunu - - Univerzitet u Beogradu -	Magistar fizičkih nauka
2008-2012	Laboratory of Physics of Complex Matter - Institute of Condensed Matter Physics - - Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) -	Doktor nauka
2013-2015	Applied Superconducting Thin Films Laboratory - Department of Quantum Matter Physics - - University of Geneva (UNIGE) -	Postdoktorant
2015-2016	Laboratory of Nanobiotechnology - Institute of Chemical Sciences and Engineering - - Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) -	Naučni saradnik

2.1

Institut za fiziku - Univerzitet u Beogradu (2005-2008)

– Centar za fiziku čvrstog stanja i nove materijale –

2.1.1 Infracrveni spektri niskodimenzionog η - $\text{Na}_{1.3}\text{V}_2\text{O}_5$

Natrijum vanadijumovi oksidi tipa $x\text{-Na}_{1+\epsilon}\text{V}_2\text{O}_5$ ($\epsilon \geq 0$) ispoljavaju svoje stabilne kristalne strukture u sedam različitih x faza, $x \in \{\alpha, \alpha', \beta, \delta, \eta, \kappa, \tau\}$. Ova jedinjenja se ističu po tome što se vanadijumovi atomi nalaze u izmešanim valentnim stanjima V^{4+} i V^{5+} koja se, istim redom, razlikuju po svojim spinskim stanjima $S = 1/2$ i $S = 0$. U slučaju $\eta\text{-Na}_{1.3}\text{V}_2\text{O}_5$, naizmenična magnetna i nemagnetna vanadijumova stanja zajedno sa niskom dimenzijom kristalne strukture dovode do magnetnih fluktuacija na niskim temperaturama ispod *ca* 120 K što je opaženo u merenjima spinske susceptibilnosti kroz otvaranje spinskog procepa veličine od oko 35 K. Ova magnetno neuređena faza je propraćena strukturalnim faznim prelazom drugog reda usled spontanog uređivanja naelektrisanja te samim tim i udvostručavanjem parametra kristalne rešetke duž b -ose. Na taj način se ovaj sistem pokazao podesnim za ispitivanje fononske dinamike na niskim i visokim temperaturama jer je ona u neposrednoj sprezi sa promenama koje se javljaju na parametrima kristalne rešetke. Ustanovljeno je da se ispod približno 120 K pojavljuju novi infracrveno aktivni fononski modovi kao i da pozicije učestanosti već postojećih fononskih oscilatora trpe nagli pomeraj pri snižavanju temperature. Ova pojava je interpretirana kroz postojanje izražajnih promena na fononskim spektrima nastalih usled evolucije kristalne strukture kao posledice uređenja naelektrisanja u niskodimenzionoj magnetno neuređenoj fazi. Eksperimentalni rezultati su uspešno obrađeni, analizirani, i objavljeni u:

Infrared Reflectivity Spectra of $\eta\text{-Na}_{1.3}\text{V}_2\text{O}_5$ in the Charge Disordered and Ordered Phase; Z. V. Popović, D. M. Djokić, Z. D. Dohčević-Mitrović, M. Isobe, and Y. Ueda, *European Physical Journal* **B65**, 1 (2008),

i predstavljaju jedan značajan doprinos u razumevanju faznog prelaza $\eta\text{-Na}_{1.3}\text{V}_2\text{O}_5$ kao i njemu srodnih sistema sa niskotemperaturnim spinskim fluktuacijama oslanjajući se na spektroskopske tehnike.

2.1.2 Magnon-fononska interakcija u antiferomagnetnom $\alpha\text{-MnSe}$

Usled svojih izuzetnih optičkih, magnetnih, i transportnih osobina, halogenidi i oksidi mangana ne prestaju da zaokupljaju pažnju u istraživanjima koja su od značaja za realizaciju spintroničkih uređaja. Oni predstavljaju $3d$ prelazne metal komplekse i hlađenjem uspostavljaju dugodometna magnetna uređenja. Kubični (fcc) $\alpha\text{-MnSe}$ se uređuje antiferomagnetno ispod temperature Néel-a na oko $T_N = 130$ K. Pri tom se spinovi Mn^{2+} jona orjentišu paralelno i antiparalelno duž (111) kristalografskih ravni. Studije Raman spektroskopije na $\alpha\text{-MnSe}$ ne pokazuju prisustvo optičkih fonona u skladu sa teorijskim predviđanjima, izuzev magnonskog prisustva u antiferomagnetnoj fazi. Sa druge strane, simetrijska pravila predviđaju postojanje jednog infracrvenog optički aktivnog fononskog oscilatora F_{1u} u paramagnetnoj i antiferomagnetnoj fazi. Takođe, ne isključuje se postojanje aktivnih fononskih oscilatora viših

redova, poput kombinovanih dvo-fononskih modova. Hlađenjem se očekuje porast (tzv. otvrdnjavanje) u fononskim energijama na osnovu modela koji uvodi anharmonijske efekte, kao što je fonon-fononska interakcija. U slučaju α -MnSe primećeno je dodatno otvrdnjavanje dva moda ($LO F_{1u}$ i dvo-fononski kombinacioni mod) ispod temperature faznog prelaza koje je nemoguće objasniti anharmonijskim efektima koji potiču od čisto fononskih interakcija. Ipak, kombinujući efekte magnon-fononske interakcije zajedno sa magnetnom anizotropijom u okviru formalizma Green-ovih funkcija $1/z$ perturbativnog razvoja, dodatno otvrdnjavanje se može čak i kvantitativno objasniti. Poreklo magnetne anizotropije leži u spin-orbitalnom sprezanju, dok je magnon-fononska interakcija izvedena na osnovu modulacije Heisenberg-ovog modela od strane jonskih pomeraja tokom fononskih vibracija rešetke. α -MnSe je 3D antiferomagnet što ga svrstava u grupu klasičnih antiferomagneta gde se kvantne fluktuacije zanemaruju, dok se u perturbativnom razvoju svojstvene energije fononskog propagatora ne ide dalje od $(1/z)^1$. Ovom aproksimacijom je zanemarena i interakcija između magnona. Na taj način je uspešno objašnjeno dodatno otvrdnjavanje fonona u antiferomagnetnoj fazi usaglašavajući teoriju sa postojećim eksperimentom. Pogledati publikaciju:

Influence of Antiferromagnetic Spin Ordering on the Far-Infrared Active Optical Phonon Modes of α -MnSe; D. M. Djokić, Z. V. Popović, and F. R. Vukajlović, *Physival Review* **B77**, 01430 (2008).

Predstavljeni model ima i svoje mikroskopsko značenje. Utvrđeno je i da bezdimenzioni parametar magnetne anizotropije mora biti veći od 0.01 kako bi došlo do fononskog otvrdnjavanja što je u skladu sa procenjenom vrednošću od 0.03 na osnovu magnona koji se pojavljuje u Raman spektrima. Dinamika magnona kao i fonona spregnutih slobodnim magnonima je razrađena u okvirima Abrikosovljeve fermionske reprezentacije spina $S = 1/2$, koja je u ovom slučaju uz izvesnu aproksimaciju primenjena i na manganov spin $S = 5/2$. Aproksimacija je zasnovana na postojanju jedino temperaturskih, a ne kvantnih, fluktuacija u magnetizaciji antiferomagnetne podrešetke α -MnSe.

2.1.3 Fazna stabilnost $Mo_6S_3I_6$ nanožica praćena Raman spektroskopijom

Rezultat sistematske potrage za novim kvazi-jednodimenzionim materijalima koji bi efikasno mogli da zamene karbonske nanotube u nanotehnološkim primenama predstavlja otkriće nanožica prečnika od približno 1 nm sa stehiometrijskom formulom $Mo_6S_{9-x}I_x$, pri čemu je $3 < x \leq 6$. Od posebnog interesa za realizaciju optičkih uređaja baziranih na molibdenskim nanožicama predstavljaju pikovi u elektronskoj gustini stanja koji potiču od Van Hove-ovih singulariteta i odražavaju se kroz oštre optičke karakteristike. Poseban slučaj se odnosi na $x = 6$. U tom slučaju su proučavane fononske osobine $Mo_6S_3I_6$ nanožica i izvršena je asignacija najintenzivnijih eksternih i internih modova, imajući u vidu da je taj zadatak nemoguće u potpunosti izvršiti bez polarizacionih Raman merenja na monokristalima. Proučavana je termička stabilnost $Mo_6S_3I_6$ nanožica korišćenjem Raman spektroskopije u opsegu od sobne temperature do 600 °C. Prostorna grupa koja opisuje $Mo_6S_3I_6$ nanostrukturu je triklična $P\bar{1}$ (br. 2) sa jediničnom ćelijom $Mo_{12}S_6I_{12}$. Na osnovu dostupnih podataka o pozicijama atoma u jediničnoj ćeliji, zaključeno je da se svi atomi nalaze na (2i) Wyckoff pozicijama. Analiza faktor grupe daje $\Gamma = 45A_g + 42A_u$ za optički aktivne modove. Prema tome, u Raman spektrima nanožica može se očekivati 45 Raman aktivnih modova. Generalno, kod molekulskih kristala je karakteristično da Raman spektri

mogu da se podele na niskofrekventni opseg kojem pripadaju eksterni modovi, i visokofrekventni opseg sa internim modovima, između kojih postoji vibracioni procep. Ispitivana termostabilnost nanožica metodom Raman spektroskopije je izvedena variranjem upadne snage lasera (1 – 9 mW) i zagrevanjem uzorka (25 – 600 °C). Ustanovljeno je da se pri upadnim snagama lasera većim od 4 mW ili na temperaturama višim od 300 °C pojavljuju novi modovi koji potiču od MoO₃. Termostabilnost Mo₆S₃I₆ nanožica nestaje između 300 i 400 °C, kada dolazi do fazne separacije odnosno formiranja oksidnog sloja. U Raman spektrima na visokim temperaturama fazna separacija je praćena pojavljivanjem novog fononskog moda na 819 cm⁻¹ koji je karakterističan za MoO₃ fazu. Na niskim temperaturama Raman spektri ukazuju na приметnu razliku između fonon-fononske interakcije kod internih i eksternih modova. Ova izuzetna vibraciona svojstva Mo₆S₃I₆ nanožica mogu poslužiti kao baza u poboljšavanju sinteze materijala, električne i termičke provodnosti, funkcionalnih svojstava i slično. Eksperimentalni rezultati su objavljeni u dva članka:

Investigation of Thermostability and Phonon-Phonon Interactions in Mo₆S₃I₆ Nanowires by Raman Scattering Spectroscopy; J. M. Todorović, Z. D. Dohčević-Mitrović, D. M. Djokić, D. Mihailović, and Z. V. Popović, *Journal of Raman Spectroscopy* **41**, 978 (2010),

Ispitivanje Termostabilnosti MoSI Nanožica Raman Spektroskopijom; J. M. Todorović, D. M. Djokić, Z. D. Dohčević-Mitrović, D. Mihailović, and Z. V. Popović, *Hem. Ind.* **63**, 217 (2009),

od kojih je jedan iz vrhunskog međunarodnog časopisa.

2.1.4 Simetrijska analiza u dvodimenzionim GaAs fotonskim kristalima

Dvodimenzioni GaAs fotonski kristali koji operišu u infracrvenom delu spektra važe za izuzetne kandidate u realizaciji novih integrisanih optičkih uređaja poput optičkih logičkih kola, mikro-elektromehaničkih aparata, senzora i drugo. Iz tih razloga je važno izučavati optička svojstva fotonskih kristala koji potiču od Blohovih stanja u analogiji sa elektronskim stanjima u čvrstim telima. Kombinujući razvoj ravanskih talasa sa selekcionim pravilima teorije prostornih grupa moguće je analizirati ponašanja propagirajućih i evanescentnih modova u fotonskim kristalima. U slučaju dvodimenzione kvadratne rešetke uočeni su slobodni modovi B-tipa koji se ne mogu pobuditi spolja usled zabrane od strane selekcionih pravila. Postojanje ovakvih modova koji nisu spregnuti spoljnim elektromagnetnim pobudama dovodi do pojave stvaranja nespregnutih fotonskih procepa unutar kojih je transmisija zabranjena. Na taj način se procepi kod dvodimenzionih fotonskih kristala kvadratnih rešetki mogu podeliti u dve grupe: spregnuti i nespregnuti. Pogledati članke:

Uncoupled Photonic Band Gaps; Dj. Jovanović, B. Nikolić, T. Radić, D. M. Djokić, and R. Gajić, *Photonics and Nanostructures - Fundamentals and Applications* **10**, 657 (2012),

Waveguiding Effect in GaAs 2D Hexagonal Photonic Crystal Tiling; Dj. Jovanović, R. Gajić, D. M. Djokić, and K. Hingerl, *Acta Physica Polonica* **A116**, 55 (2009).

2.2

Institute of Condensed Matter Physics - EPFL (2008-2012)

– Laboratory of Physics of Complex Matter –

2.2.1 Metaličnost kagomé faze organskog $(\text{EDT-TTF-CONH}_2)_6\text{Re}_6\text{Se}_8(\text{CN})_6$

Kagomé rešetka, sačinjena od isprepletane mreže oprečnih trouglova u ravni, zauzima centralno mesto u istraživanjima fizike kondenzovanog stanja materije usled svoje mogućnosti da generiše magnetna stanja sa visokim stepenom frustriranosti, čak i na temperaturi apsolutne nule. Na temu magnetno frustriranih stanja postoji veliki broj studija koje se tiču slučaja lokalizovanih antiferomagnetno spregnutih spinova u neorganskim sistemima. Ovaj slučaj je vrlo prisutan u literaturi za razliku od slučaja provodnih elektrona na kagomé rešetki. Jedna takva struktura je realizovana po prvi put u $(\text{EDT-TTF-CONH}_2)_6\text{Re}_6\text{Se}_8(\text{CN})_6$ organskom sistemu, gde TTF organski dimeri igraju vodeću ulogu u elektronskoj strukturi. Njegova kagomé topologija u kombinaciji sa $2/3$ elektronskog popunjavanja na čvoru rešetke dovodi do formiranja Dirakovog polumetalnog stanja sa istovetnim topološkim karakterom kao kod grafena. Međutim, postojanje kulonovske interakcije između elektrona kao za posledicu ima formiranje novih egzotičnih stanja koja su slabo istražena teorijski, a eksperimentalno su potpuno neistražena. Na osnovu temperaturni zavisnih transportnih merenja, rendgenske difrakcije, magnetometrije, i elektron spinske rezonance zaključeno je da ovaj sistem trpi strukturalni fazni prelaz na približno 180 K. Na visokim temperaturama $(\text{EDT-TTF-CONH}_2)_6\text{Re}_6\text{Se}_8(\text{CN})_6$ je u svojoj romboedarskoj fazi i ponaša se kao dvodimenzioni metal sa $2/3$ elektronskog popunjavanja uz prisustvo jake kulonovske interakcije - korelacija koje se vide u magnetnim merenjima kroz izuzetno visoku vrednost magnetne susceptibilnosti Curie-Weiss-ovog karaktera ($\chi_{300K} = 0.0015$ emu/mol). Metaličnost ovog stanja je procenjena kao izuzetno slaba ($\rho_{300K} = 0.17$ Ωm) usled dinamičkog neuređenja rešetke što je čest slučaj kod organskih sistema. Dominantni nosioci naelektrisanja su jako korelisani polaroni što je u skladu sa transportnim merenjima i asimetrijom u lorencovom elektron spin rezonantnom profilu, tzv. Dysonian-u. Na niskim temperaturama, sistem postaje Mott-ov izolator dok je kristalna struktura triklinična. Ovo izolatorsko stanje se odlikuje postojanjem slabo interagujućih antiferomagnetnih ($J \sim 65$ K) spinskih lanaca koji su interpretirani u okviru anizotropnog modela spinskih tečnosti. Oshikawa-Affleck-ova teorija je korišćena u usaglašavanju sa eksperimentalnim rezultatima temperaturne zavisnosti poluširine rezonantne linije. Budući da su organski sistemi izuzetno kompresibilni, izvedena su transportna i elektron spin rezonantna merenja pod pritiskom sve do 15 kbar. Na osnovu oba eksperimenta je zaključeno da visoki pritisci pomeraju niskotemperaturnu izolatorsku fazu ka višim temperaturama pa sve do temperature sobe. Prateći ponašanje poluširine rezonantne linije sa povećanjem pritiska na oko 220 K ustanovljeno je da se spinska relaksacija pokorava Elliott-Yafet-ovom mehanizmu (svojstven metalima) sve do 8 kbar. Iza ovih vrednosti sistem se stabilizuje u izolatorskom stanju spinskih lanaca. Istovetan rezultat je izveden na osnovu transportnih merenja pod pritiskom, s tim što se sve do *ca* 8 kbar primećuje porast u aktivacionoj elektronskoj energiji koja potiče od kompresibilnosti TTF dimera i elektron-fononske interakcije. Rezultati su nedavno poslani u *Physical Reviews Letters* pod naslovom: *Correlated Polarons in an Organic Dirac Cone Kagomé System as Seen by ESR*; D. M. Djokić, A. Olariu,

J. Jaćimović, P. Batail, L. Forró, and E. Tutiš. U pripremi je još jedan rukopis *Tracing the Origin of Bad Dirac Cone Metallicity in a Molecular Kagomé Compound*; D. M. Djokić, J. Jaćimović, P. Batail, L. Forró, and E. Tutiš, koji će zbog svoje izvrsnosti i revolucionarnih rezultata biti poslat u *Nature Physics*.

2.2.2 Magnetizam u nano-grafenu viđen elektron spinskom rezonancom

Numeričke studije ukazuju na mogućnost formiranja dugodometnog magnetnog uređenja u grafenu kao i grafitnim česticama nanometarskih veličina. Koristeći elektron spinsku rezonancu ispitivana su magnetna svojstva ultra-tankih grafitnih nano-čestica dobijenih jakom ultrazvučnom sonikacijom grafitnih prahova dispergovanih u N-metilpirolidinu. Spinsko rezonantni signal je dekomponovan na dve linije: usku i široku. Za usku liniju je ustanovljeno da potiče od lokalizovanih defekata Curie-vog tipa. Sa druge strane, široka linija je intrizičnog karaktera i ukazuje na formiranje superparamagnetnog stanja ispod 25 K u skladu sa ponašanjem svog intenziteta, g -faktora (oko 2.011), i poluširine. Primećen je značajan porast u spinskoj susceptibilnosti, a takođe i kod poluširine (20 \rightarrow 80 Gauss) na 25 K, dok je kod rezonantnog polja uočen pomeraj ka višim poljima ($\delta g/g = 10^{-2}$). U dvodimenzionim sistemima sa feromagnetnim korelacijama, $q = 0$ fluktuacioni mod difuzivnog karaktera koji dominantno doprinosi termodinamičkim veličinama, raste progresivno pri snižavanju temperature prema kritičnoj. Iako sve činjenice sugerišu na postojanje dugodometnog feromagnetnog uređenja, dalja magnetna merenja nisu potvrdila postojanje globalno uređene magnetizacije. Objasnjenje se krije u postojanju malih domena na 25 K koji interaguju vrlo slabo, ali koji se mogu uzeti kao superparamagnetni klasteri. Porast u spinskoj susceptibilnosti i poluširini rezonantne linije se tako objašnjava na osnovu preraspodele lokalnih unutrašnjih polja na grafitnim/grafenskim ostrvcima. Sa teorijske strane izvedeni su DFT proračuni za grafen sa graničnim defektima, poput cik-cak, pentagon-oktagon kolona i slično. Ustanovljeno je postojanje magnetnih momenata na elektronima C-atoma u blizini ovih defekata koji su feromagnetno spregnuti. Ipak, feromagnetne korelacije između momenata nisu u stanju da formiraju dugodometno feromagnetno uređenje. Istovetni zaključci su izvedeni i iz transportnih merenja. Električna otpornost pokazuje nemetalnu temperatursku zavisnost u skladu sa mehanizmom elektronskog preskakanja varirajućih dometa između čestica. Međutim, pri pojavi lokalnog feromagnetnog uređenja na 25 K električna otpornost trpi blagi porast sa sniženjem temperature. Ova obzervacija sugerise da se klasteri sa lokalnom magnetizacijom ponašaju kao izolatori unutar kojih je transport elektrona otežan. Ovi rezultati su prezentovani u publikacijama:

Magnetism in Nanoscale Graphite Flakes as Seen Via Electron Spin Resonance; L. Ćirić, D. M. Djokić, J. Jaćimović, A. Sienkiewicz, A. Magrez, M. Lotya, J. N. Coleman, Ž. Šljivančanin, and L. Forró, *Physical Review* **B85**, 205437 (2012),

Size Dependence of the Magnetic Response of Graphite Oxide and Graphene Flakes - an Electron Spin Resonance Study; L. Ćirić, A. Sienkiewicz, D. M. Djokić, R. Smajda, A. Magrez, T. Kaspar, R. Nesper, and L. Forró, *Physica Status Solidi* **B247**, 2958 (2010).

2.2.3 Kvantne korelacije u tetramerama magnetno anizotropnog SeCuO_3

Već duže od dve decenije familija kuprata postojano drži vodeće mesto u proučavanju visoko temper-

aturske superprovodnosti, antiferomagnetizma, multiferoičnosti, i lokalizovanih spinskih klastera. U tu familiju spada i monoklinični SeCuO_3 kao jedan potencijalni kandidat u istraživanjima kvantnih efekata među spinskim klasterima. Magnetni klasteri u ovom sistemu se sastoje od četiri $S = 1/2$ spina sa vrlo jakom antiferomagnetnom interakcijom u njima i slabim sprežanjem između njih koje igra bitnu ulogu u uspostavljanju dugodometnog uređenja. SeCuO_3 je antiferomagnet sa prelaznom temperaturom od $T_N = 8$ K, dok vrednost intratetramerne antiferomagnetne izmenske interakcije, koja je odgovorna za antiferomagnetno uređenje, iznosi oko $J = 200$ K. Ovo ukazuje na prisutnost jakih kvantnih fluktuacija i frustriranosti budući da je $J/T_N \approx 20 \gg 1$. Izvedena su merenja rendgenske difrakcije, magnetizacije, i elektron spinske rezonance na SeCuO_3 sistemu. Strukturno ovaj sistem se može shvatiti kao trodimenziona mreža sačinjena od tetramera. Vrednosti intratetramernih izmenskih interakcija su procenjene na osnovu spinske susceptibilnosti koje se poklapaju u oba slučaja: SQUID-a i elektron spinske rezonance. Primećena je neuobičajena temperaturska zavisnost efektivnog g -tenzora uz rotaciju makroskopske magnetne ose. Ovo je pripisano postojanju selektivnih kvantnih korelacija na čvorovima kao i postojanju magnetne anizotropije koja je jednim delom formirana od strane fluktuacija magnetnih momenata sa različitim bakarnih čvorova. Monokliničnost strukture je takođe zaključena na osnovu ugaone zavisnosti efektivnog g -tenzora na 50 K i pokazano je da se tenzor transformiše po odgovarajućoj simetriji. Temperaturska zavisnost ovog tenzora je objašnjena preko formiranja singleta na centralnom bakarnom paru unutar tetramere. Isti model je korišćen u usaglašavanju teorije sa spinskom susceptibilnošću na visokim temperaturama. Takođe je uočen jedan zavojak u susceptibilnosti na oko 70 K. Ova pojava je objašnjena uvođenjem novih članova u spinski Hamiltonijan. Dodavanjem J_{22} (2 predstavlja kristalografsku numeraciju čvora) interakcije koja spreže tetramere duž a kristalografske ose uspešno je objašnjena ova anomalija u spinskoj susceptibilnosti, a na isti način i ponašanje poluširine rezonantne linije. Ispod 70 K poluširina obrazuje minimum poput slučaja jednodimenzionih antiferomagnetnih $S = 1/2$ spinskih lanaca. Međutim, preliminarna merenja neutronske difrakcije upućuju na postojanje linijskog magnetizma, krivolinijskog tetramernog lanca u tri dimenzije, pre nego na postojanje pravolinijskih spinskih lanaca. Kao zaključak, primećena temperaturska zavisnost magnetne ose nastaje usled postojanja kvantnih korelacija sa neekvivalentnih bakarnih čvorova (1 i 2). Predpostavljajući slabu temperatursku zavisnost osnovnog g -tenzora ($g_1 = (2.335, 2.14, 2.07)$, $g_2 = (2.153, 2.33, 2.07)$, i $J_{11} = 290$ K), što je vrlo čest slučaj kod ovakvih sistema, ovaj efekat se može iskoristiti u cilju uvođenja jedne nove eksperimentalne metode u dobijanju magnetne susceptibilnosti koja potiče od pojedinih čvorova rešetke. Frustriranost antiferomagnetnog stanja SeCuO_3 predstavlja poseban slučaj koji je predmet narednih studija. Eksperimentalni podaci kao i teorijski model je objavljen u vrhunskom međunarodnom časopisu:

Site Selective Quantum Correlations Revealed by Magnetic Anisotropy in the Tetramer System SeCuO_3 ; I. Živković, D. M. Djokić, M. Herak, D. Pajić, K. Prša, P. Pattison, D. Dominko, Z. Micković, D. Cinčić, L. Forró, H. Berger, and H. Rønnow, *Physical Review* **B86**, 054405 (2012).

2.2.4 Magneto-električno sprežanje u multiferoičnom Cu_2OSeO_3

Materijali u kojima istovremeno koegzistira dugodometno magnetno i polarno uređenje se nazivaju multiferoicima. U ovakvoj grupi materijala magnetni i električni stepeni slobode su međusobno spregnuti na mikroskopskom nivou što se može iskoristiti kao osnovni mehanizam u magnetnom čuvanju

informacija koje bi se očitavale električnim putem. Kubični Cu_2OSeO_3 je multiferoik sa frustriranom magnetnom interakcijom koja formira ferimagnetno stanje ispod 57 K. Magneto-električno sprezanje u ovom sistemu potiče od anharmonijske spin-fononske interakcije kako je zaključeno na osnovu ponašanja imaginarne i realne vrednosti dielektrične konstante čija anomalna vrednost na 57 K nestaje pri primeni magnetnog polja. Ovo sprezanje je praćeno preko spin talasne rezonance koristeći jednu novu rezonantnu tehniku koja je zasnovana na *lock-in* modulaciji električnim poljem. Inače, standardna paramagnetno rezonantna merenja se izvode koristeći modulacije magnetnim poljima, ali je u slučaju multiferoika prednost u tome što se mogu koristiti električna polja. Na taj način razvijena je nova eksperimentalna metoda kojom se mogu izučavati multiferoici rezonantnim tehnikama. Merenja su vršena na tankim monokristalima ($1 \times 1 \text{ mm}^2$) debljine $100 \mu\text{m}$. Temperaturska zavisnost magneto-električne konstante prati spinsku susceptibilnost i naglo opada iznad temperature faznog prelaza. Asignacija rezonantnih linija spinsko talasnih modova desetog reda je uspešno izvedena i potkrepljena modelom u kojem bitnu ulogu igra debljina uzorka. Ovi modovi su uočeni u oba slučaja, sa magnetnom i sa električnom modulacijom. U drugom slučaju, za indukovanu magnetizaciju je ustanovljeno da se ponaša na isti način kao i kod mionskih rezonantnih merenja. Odnos konstante magneto-električnog sprezanja i spinske susceptibilnosti ne pokazuje prisutnost anomalija na 57 K što ukazuje da magneto-električno sprezanje ne nastaje kao rezultat dugodometnog uređenja, već je u potpunosti mikroskopske prirode. Rezultati kao i predlog novog spin rezonantnog metoda za multiferoike su objavljeni u *Physical Review Letters*:

Magnetolectric Coupling in Single Crystal Cu_2OSeO_3 Studied by a Novel Electron Spin Resonance Technique; A. Maisuradze, A. Shengelaya, H. Berger, D. M. Djokić, and H. Keller, *Physical Review Letters* **108**, 247211 (2012),

koji dostiže citiranost na zavidnom nivou. Takodje je jedan deo rezultata predstavljen na *APS March Meeting*-u u Baltimoru, SAD (2013).

2.2.5 Sinteza TiO_2 nanotuba dopiranih manganom

TiO_2 je postao predmet mnogobrojnih istraživanja usled svoje temperaturske i hemijske stabilnosti, rasprostranjenosti, kao i bezazlenosti po životnu sredinu. Nanostrukturni TiO_2 se već uveliko koristi u proizvodnji fotoanoda u solarnim ćelijama, gasnim sensorima, i superkondenzatorima. Od posebnog interesa je sinteza novih TiO_2 nanostrukture poput TiO_2 nanotuba dopiranih manganom u širokom opsegu koncentracija. U pomenutoj sintezi Mn^{2+} joni su inkorporirani u kristalnu nanostrukturu TiO_2 metodom jonske izmene formirajući tako $\text{Mn}_x\text{H}_{2-x}\text{Ti}_3\text{O}_7$. Tokom toplotnog tretiranja ovo jedinjenje je dalje transformisano u $\text{Mn}_y\text{Ti}_{1-y}\text{O}_2$, gde je $y = x/(3 + x)$. Oksidaciona stanja mangana kao i priroda njegovog lokalnog okruženja su praćeni elektron spinskom rezonancom u oba slučaja: $\text{Mn}_x\text{H}_{2-x}\text{Ti}_3\text{O}_7$ i $\text{Mn}_y\text{Ti}_{1-y}\text{O}_2$. Uočeno je da Mn^{2+} joni ravnomerno okupiraju dve kristalografske pozicije. Prva je u potpunosti kubične simetrije, dok je druga pozicija jako narušenog oktaedarskog okruženja. Udeo u naseljenosti ove dve kristalne pozicije od strane mangana ne zavisi od stepena dopiranja i iznosi 15:85 u $\text{Mn}_x\text{H}_{2-x}\text{Ti}_3\text{O}_7$ i 5:95 u $\text{Mn}_y\text{Ti}_{1-y}\text{O}_2$. U slučaju merenja spinske susceptibilnosti putem elektron spinske rezonance i uz pomoć SQUID-a utvrđeno je da ne dolazi do formiranja nikakvog dugodometnog uređenja sve do 2 K. Intenzitet rezonantne linije se nije razlikovao u slučajevima pre i posle toplotnog tretiranja

što ukazuje na činjenicu da manganovi joni ostaju u svom $2+$ stanju tokom formacije $Mn_yTi_{1-y}O_2$. Dalje je uočeno da su Mn^{2+} joni ravnomerno raspoređeni u uzorku i da nema formiranja klastera tokom toplotnog tretiranja. Široka rezonantna linija potiče od Mn^{2+} spinskog stanja u narušenom oktaedarskom okruženju, dok prisutni spinski sekstet na $g = 2.001$ potiče od manganovih jona visokosimetrijskog kubičnog okruženja. Sekstetna stanja su primećena pri niskim koncentracijama i rezultat su postojanja hiperfinog spin nuklearnog sprezanja. Pri visokim koncentracijama dolazi do dipolarnog širenja glavne linije što ekranira spin nuklearno sprezanje, a za posledicu ima nestajanje seksteta. Konstanta hiperfinog spin nuklearnog sprezanja je procenjena na $A_{iso} = 12$ mT. Na ovaj način je demonstrirano da se rezonantno aktivni jonski izmenljivi katjoni mangana homogeno raspoređuju u TiO_2 nanotubama, što utire put jednoj alternativnoj metodi u pripremanju i sintezi razređenih magnetnih nanostrukture i njihovih derivata. Rezultati ovih istraživanja su dati u radu koji je do sada citiran 24 puta (*web of science*):

Synthesis of Homogeneous Manganese Doped Titanium Oxide Nanotubes from Titanate Precursors; P. Szirmai, E. Horváth, B. Náfrádi, Z. Micković, R. Smajda, D. M. Djokić, K. Schenk, L. Forró, and A. Magrez, *The Journal of Physical Chemistry C* **117**, 697 (2013).

2.3

Department of Quantum Matter Physics - UNIGE (2013-2015)

– Applied Superconducting Thin Films Laboratory –

2.3.1 Propagacija normalne zone u superprovodnim strujnim graničnicima

Superprovodni strujni graničnici predstavljaju uređaje zasnovane na visokotemperaturnim superprovodnim tankim filmovima koji služe u ograničavanju i kontrolisanju neželjenih visokih struja. Ideja leži u činjenici da pri visokim gustinama struja visokotemperaturni superprovodnici na bazi kuprata prelaze u normalno izolatorsko stanje što za posledicu ima nagli porast u električnoj otpornosti, a samim tim i regulaciju visokih struja. Ovaj proces je praćen burnim oslobađanjem toplote, u literaturi poznat kao *quench* (kvenč), koji se radi zaštite uređaja mora kontrolisati kriogeničkim putem. Zarad industrijske primenljivosti, glavni cilj inženjera i istraživača u ovom polju je da se formiranje kvenča uspostavi na najbrži mogući način kako bi superprovodni strujni graničnici operisali na željenom funkcionalnom nivou. Brzina kojom se kvenč prostire je poznata pod nazivom brzina prostiranja normalne zone, tj. toplotnog fronta na $T = T_C$. U posebnu grupu superprovodnih strujnih graničnika spadaju oni koji su presvučeni tankim slojevima plemenitih metala koji dovode do dodatne kriostabilnosti uređaja. Međutim, ovi uređaji pate od izuzetno sporih propagacija normalnih zona što dovodi u pitanje stepen izdržljivosti tokom kvenča. U cilju povećanja ove brzine neophodno je uspostaviti odgovarajuću konfiguraciju supstratnih slojeva kod ovih uređaja kao i njihov dizajn. Predloženi dizajn se sastoji od YBCO ($YBa_2Cu_3O_7$) superprovodnih uzoraka (1×20 cm²) debljine 300 nm koji su presvučeni sa 40 nm srebra (Ag) kao stabilizatorom. YBCO+Ag je deponovan na visokoj temperaturi pri isparavanju odgovarajućih konstituenata: Y, Ba, Cu, i Ag u atmosferi argona i kiseonika, nakon čega su uzorci testirani rendgen-skom difrakcijom, skenirajućim elektronskim mikroskopom, i magnetometrijom. U prvobitnom stupnju

merenja je proveravan hemijski sastav i stepen monokristaličnosti, dok je u kasnijim koracima merena kritična temperatura od $T_C = 92$ K. Uzorcima je na slobodnoj YBCO površini deponovanjem dodat sloj od oko $4 \mu\text{m}$ MgO kao amortizujućeg sloja (*buffer layer*). Ovaj električno izolujući sloj je formiran pulsirajućom laserskom depozicijom i služi kao povezujući sloj sa supstratom koji je u ovom slučaju hastelolj debljine $90 \mu\text{m}$. Čitava struktura je uronjena u tečni azot. Izvršena su merenja brzine prostiranja normalne zone (v_{NZP}) uzduž superprovodnih pisti pri strujnim gustinama većim od 1 MA/cm^2 za vrednost kritične strujne gustine od $J_C = 0.9 \text{ MA/cm}^2$. Za $J = 1 \text{ MA/cm}^2$ pronađeno je da $v_{NZP} = 12 \text{ cm/s}$ eksponencijalno raste sa porastom gustine struje, a u skladu sa teorijom. Takođe je i razvijen $2D/3D$ elektro-termalni model u MATLAB/COMSOL-u koji kombinuje analitičke proračune i numerički metod konačnih elemenata, tzv. hibridni model. Pokazano je vrlo dobro slaganje između merenih brzina propagacije normalne zone pri različitim strujama sa onim dobijenim u simulacijama bez uvođenja novih slobodnih parametara. U cilju realizacije novih prototipova superprovodnih strujnih graničnika simulirani su rezultati za različite debljine supstrata i različite vrednosti u termalnoj provodnosti ekstremno tankog međusloja između supstrata i MgO. Praćene su propagacije normalne zone duž superprovodne piste i popreko, pri čemu je ustanovljeno da se dobar deo toplotnog fronta prostire lateralno i pored niske termalne provodnosti supstrata. Projekat je realizovan pod pokroviteljstvom kompanije ABB iz Badena u Švajcarskoj i dobar deo rezultata je ostao neobjavljen kako je ugovoreno sa industrijskim partnerom. Deo rezultata je predstavljen u saopštenju sa međunarodnog skupa:

Heat Propagation Improvement in YBCO-Coated Conductors for Superconducting Fault Current Limiters; D. M. Djokić, L. Antognazza, M. Abplanalp, and M. Decroux, Excerpt from the Proceedings of the 2014 COMSOL Conference, Cambridge, UK (2014).

2.3.2 Poboljšanje u preraspodeli toplote u $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ tankim filmovima

Glavni problem u srebrom presvučenim superprovodnim strujnim graničnicima, zasnovanim na YBCO ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$) tankim filmovima, leži u neadekvatnoj preraspodeli toplote nakon pojavljivanja toplotnog fronta na 92 K. Značajno poboljšanje bi se očekivalo pojačanjem termalne provodnosti vodećeg supstrata kao i podešavanjem geometrije superprovodnih pisti. Jedno rešenje je električno izolovana višeslojna supstratna struktura koja sadrži nekoliko mikrona bakra deponovanog na $100 \mu\text{m}$ masivnog supstrata kvarcnog stakla. U cilju sprečavanja međuslojne difuzije između kvarcnog stakla i bakra deponovano je nekoliko submikronskih slojeva titanijum dioksida i niobijuma. Tehnika deponovanja tankih filmova magnetnim raspršivanjem je korišćena u ovom slučaju. Sa druge strane kontaminacija supeprovodnih pisti od strane supstratnog bakarnog sloja je sprečena zaštitnim električno izolujućim slojem od $4 \mu\text{m}$ MgO. Predložena konfiguracija superprovodnih pisti je meandarskog tipa čime je otvoren novi lateralni kanal za propagaciju toplotnog fronta. Eksperiment se odvijao uporedo sa kompjuterskim simulacijama zasnovanih na metodu konačnih elemenata u COMSOL Multiphysics. Predloženi teorijski model za ovu strukturu se pokazao sasvim precizan na osnovu poređenja sa eksperimentalnim rezultatima za tanke filmove deponovane na safiru i hastelolu. U slučaju predloženog višeslojnog supstrata na bazi bakra i kvarcnog stakla procenjeno je da brzina prostiranja normalne zone dostiže maksimalnu vrednost od 4.5 m/s za oko jedan mikron bakra. Pokazano je takođe i da povećavanjem debljine bakarnog sloja ne dolazi do porasta u brzini prostiranja normalne zone, što je u skladu sa teorijom kvazi-adijabatskog prostiranja toplote. Ovaj rezultat je korišćen u eksperimentu budući da deponovanje bakarnih slojeva debljih od

jednog mikrona dovodi do problema vezanog za amorfnost. Ispitivana je i termodinamička stabilnost superprovodnog tankog filma u slučaju submikronske varijacije debljine bakarnog sloja. Ustanovljeno je da 1 μm bakra predstavlja maksimum debljine neophodan za kristalizaciju, dok sa druge strane, predstavlja neophodan minimum u uspostavljanju termodinamičke stabilnosti. Rezultati su objavljeni u vodećem međunarodnom časopisu:

Finite Element Method Simulation Study of Heat Propagation in a Novel YBCO-Based Coated Conductor for Resistive Fault Current Limiters; D. M. Djokić, L. Antognazza, and M. Decroux, International Journal of Thermal Sciences **111**, 160 (2017).

2.4

Institute of Chemical Sciences and Engineering - EPFL (2015-2016)

– Laboratory of Nanobiotechnology –

2.4.1 Kvantna efikasnost DNK-funkcionalizovanih karbonskih nanotuba

Već duže od dve decenije karbonske nanotube drže vodeće mesto u polju istraživanja nanometarskih materijala. Od posebnog interesa za istraživanja u medicinskim naukama su poluprovodne nanotube usled njihovog svojstva da apsorbovanu vidljivu svetlost emituju u blisko infracrvenom delu spektra. Na taj način one mogu poslužiti kao optički biosenzori znajući da su biološka tkiva potpuno transparentna u ovom delu spektra. Međutim, glavni problem kod optičkih svojstava karbonskih nanotuba leži u tome da su one sklone formiranju snopova usled van der Waals-ovih interakcija. Korišćenjem bioloških polimera, poput DNK i slično, nanotube postaju potpuno razdvojene i obmotane polimerima koji nekovalentno funkcionalizuju slobodnu površinu nanotuba što u velikoj meri poboljšava njihova optička svojstva. Sa druge strane funkcionalizacijom nanotube gube svoja toksična svojstva koja su rezultat postojanja slobodnih površina na kojima se mogu odvijati brojne kataboličke hemijske reakcije. U literaturi je ustanovljeno da fluorescencija poluprovodnih karbonskih nanotuba potiče od eksitonskih stanja i urađeno je mnogo na proučavanju ovih stanja i njihovih radijativnih i neradijativnih vremena života u slučaju golih nanotuba bez prisustva obmotavajućih polimera. Posebna pažnja je posvećena proceni kvantne efikasnosti koja predstavlja odnos intenziteta emitovane i apsorbovane svetlosti. U slučaju DNK-obmotanih poluprovodnih nanotuba jako malo se zna o ponašanju kvantne efikasnosti sa promenom tipa polimera ili obmotavajućeg ugla. U pratećoj publikaciji je po prvi put predložen model koji uvodi ovu zavisnost i zasnovan je na difuznoj dinamici eksitona. Eksitoni su tretirani kao tačkaste čestice na sobnoj temperaturi koji se podvrgavaju dvodimenzionom slučajnom hodu (*random walk*) na površini nanotube. Kanali neradijativnih eksitonskih raspada su sadržani u difuznim procesima koji potiču od vibracija kristalne rešetke karbonske nanotube. Ispostavilo se da je model u stanju da predvidi jaku zavisnost kvantne efikasnosti od svojstva polimera, tj. DNK-ove sekvence. Sa druge strane nije primećena izrazita zavisnost od obavijajućeg ugla za vrednosti kvantne efikasnosti koje su veće od 10^{-4} što je vrednost koja se sreće u literaturi. Ovo se objašnjava visokom anizotropnošću nanotuba koje su prečnika 1 nm i karakterističnih dužina od 100 nm i više. Za vrednosti kvantne efikasnosti manje od 10^{-4} uočena je ugaona zavisnost, preciznije, pad efikasnosti sa rastućim uglom što se može očekivati

budući da gusto obmotavajući polimeri, koji su u stanju da apsorbuju eksitone, utiču na porast neradijativnih procesa. Pri tom, vrednosti kvantne efikasnosti koje su niže od 10^{-4} nisu od eksperimentalnog značaja jer ih je vrlo teško meriti. Iz tih razloga je sasvim dovoljno osloniti se na model koji ne tretira ugaonu zavisnost ($\phi = 0$) koji je inače rešen analitički za razliku od opšteg slučaja koji je rešen numerički. Rezultati su prezentovani ispred *Swiss Chemical Society*, dok je ostatak objavljen u vrhunskom međunarodnom časopisu *Nanotechnology* pod naslovom:

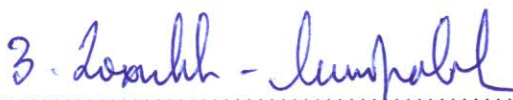
Quantum Yield in Polymer Wrapped Single Walled Carbon Nanotubes; D. M. Djokić and A. Goswami, *Nanotechnology* **28**, 465204 (2017).

Zaključak

Imajući u vidu kvalitet rezultata dobijenih iz doktorske disertacije pod naslovom *Electron Spin Resonance of Novel Materials* čiji je rukovodilac bio Prof. Dr László Forró, inače inostrani član Srpske akademije nauka i umetnosti, kao i sveukupan dosadašnji rad Dr Dejana M. Đokića i broj objavljenih radova koji znatno premašuje minimalni kvantitativni uslov za izbor u zvanje istraživač saradnik, predlažemo Naučnom veću Instituta za fiziku u Zemunu da usvoji izveštaj i podrži izbor Dr Dejana M. Đokića u zvanje istraživač saradnik.

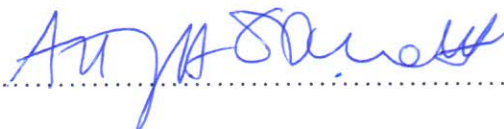
U Beogradu, 13.07.2018. godine

Članovi komisije:



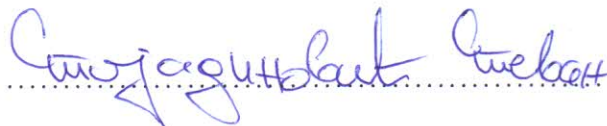
Dr Zorana Dohčević-Mitrović,

naučni savetnik, Institut za fiziku



Dr Antun Balaž,

naučni savetnik, Institut za fiziku



Prof. Dr Stevan Stojadinović,

redovni profesor, Fakultet za fiziku Univerziteta u Beogradu



Dr Dimitrije Stepanenko,

viši naučni saradnik, Institut za fiziku