

НАУЧНОМ ВЕЋУ ИНСТИТУТА ЗА ФИЗИКУ

Предмет: Захтев за покретање поступка за избор у звање
 виши научни сарадник

Молим Научно веће Института за физику да у складу са
Правилником о поступку и начину вредновања и квантитативном
исказивању научноистраживачких резултата истраживача, покрене
поступак за мој избор у звање виши научни сарадник.

У Принстону, САД 24. 1. 2013. година


ПОТПИС

МИШЉЕЊЕ РУКОВОДИОЦА ПРОЈЕКТА СА ПРЕДЛОГОМ
ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ ЗА ПИСАЊЕ ИЗВЕШТАЈА

Предлог чланова Комисије за писање извештаја
(Комисија има најмање 3 члана од којих је један ван Института, а сви
су најмање у звању у које се бира кандидат)

1. др. Милица Миловановић, 1. референт
2. др. Зоран Радовић
3. др. Антун Балаж

Руководилац пројекта

BIOGRAFSKI PODACI

Zlatko Papić je rođen 25. 10. 1981. godine u Zrenjaninu. Diplomirao je 2006. na Fizičkom fakultetu Univerziteta u Beogradu sa diplomskim radom *Bozonske korelacije u kvantnom Holovom dvosloju na punjenju 1*, koji je realizovan pod mentorstvom dr. Milice Milovanović na Institutu za fiziku u Beogradu. Ovaj rad je iste godine osvojio nagradu dr. Ljubomir Ćirković. Nakon diplomskih i master studija, 2007. godine upisuje doktorske studije na Fizičkom fakultetu u Beogradu i Univezitetu Pariz XI u Francuskoj, pod zajedničkim mentorstvom dr. Milice Milovanović, dr. Marka Gerbiga i dr. Nikolasa Rinjoa. Tokom boravka u Francuskoj 2007-2008. godine primao je stipendiju Marija Kiri, a u periodu 2009-2010. bio je zaposlen na Institutu za fiziku u Beogradu u zvanju istraživač-saradnik na projektu 141035 *Modeliranje i numeričke simulacije složenih fizičkih sistema*. Tema doktorske disertacije pod imenom *Frakcioni kvantni Holov efekat u višekomponentnim sistemima* su jako korelisani elektronski sistemi i topološke faze materije, pre svega kao što su kvantne jame i grafen. Ovoj tezi je dodeljena studentska nagrada Instituta za fiziku 2010. godine. Nakon odbrane teze u septembru 2010. godine, prelazi na Univerzitet Princeton (SAD) kao istraživač na postdoktorskim studijama u grupi prof. Ravina Bata i prof. Dankana Holdejna.

NAUČNA I STRUČNA AKTIVNOST

ELEMENTI ZA KVALITATIVNU ANALIZU RADA KANDIDATA

Uvodna predavanja na konferencijama i druga predavanja po pozivu

Kandidat je pozvan da održi predavanje na **Martovskom skupu Američkog društva fizičara (APS March meeting)** 22. marta 2013. godine u Baltimoru (SAD) pod nazivom *Tunable interactions and ways of engineering fractional quantum Hall states*. Predavanje je deo sesije o novim pravcima u fizici frakcionog kvantnog Holovog efekta.

Tokom 2011-2012. kandidat je održao predavanja po pozivu u okviru **Conference on Computational Physics CCP2011** (http://ccp2011.ornl.gov/sessions_schedule.shtml) u Getlinburgu (Tenesi, SAD), kao i konferencije **U potrazi za topološkim fazama (In search of topological phases,**

http://pctp.princeton.edu/pctp/lowDsys/lowDsys_SearchTopologicalPoster.pdf na Univerzitetu Princeton (SAD). Pored ovoga, kandidat je održao predavanja po pozivu na Laboratoire de Physique Theorique de la Matiere Condensee – LPTMC (<http://www.lptl.jussieu.fr/topological-entanglement-in-the-excitation-eigenstates-and-the-wavefunction-based-renormalization-group.html>) u Parizu, Microsoft Station Q

<http://research.microsoft.com/en-us/labs/stationq/seminars.aspx> (Santa Barbara, SAD) i institut Perimeter <http://pirsa.org/12110081/> (Kanada).

Kandidat je takođe u dva navrata učestvovao na programima Kavli instituta za teorijsku fiziku (KITP) u Santa Barbara: program *Low-dimensional electron systems* 2009. godine, <http://online.itp.ucsb.edu/online/lowdim09/>, kao i *Exotic Phases of Frustrated Magnets* 2012. godine. Pored ovoga, u nekoliko navrata je učestvovao i u programima Nordite u Stokholmu, gde je 2010. održao predavanje (<http://agenda.albanova.se/contributionDisplay.py?contribId=250&confId=1128>).

Članstva u uređivačkim odborima časopisa i recenzije naučnih radova

Recenzent je časopisa Physical Review B i Physical Review Letters (35 recenzija).

Kvalitet naučnih rezultata

Zlatko Papić je objavio 19 naučnih radova, od čega **16 kategorije M21 (9 u Physical Review B i 5 u Physical Review Letters), 1 kategorije M22 i 2 kategorije M23**.

Uticajnost

Radovi su citirani **99** puta i od toga **77** puta bez autocitata.

U visokocitiranom radu **M21[3]** (citiran 14 (11) puta) dat je teorijski model za tzv. široke kvantne jame na kojima je vršen veći broj transportnih eksperimenata u režimu kvantnog Holovog efekta, što je dovelo do detekcije novih stanja poput onog na punjenju 1/4. Teorijski model ovih eksperimenata je proučavan u okviru obimnih numeričkih simulacija koristeći tehniku egzaktne dijagonalizacije, u potpunosti razvijenu od strane kandidata. Pored objašnjenja novog kvantnog Holovog stanja na punjenju 1/4, ovaj rad je otvorio mogućnosti za proučavanje niza eksperimenata na sličnim sistemima i drugim punjenjima.

U visokocitiranim radovima **M21[7]** (citiran 12 (9) puta) i **M21[10]** (citiran 9 (7) puta) proučavane su jako korelisane faze u grafenu. U radu **M21[7]** dato je prvo teorijsko objašnjenje stanja na punjenju 1/3 koje je nedavno pre toga bilo otkriveno u eksperimentima. Pokazano je da se ovo stanje razlikuje od uobičajenog Laflinovog stanja koje bi se naivno moglo očekivati na punjenju 1/3, usled narušenja SU(4) simetrije koja u grafenu nastaje od kombinacije spinskih i zonskih stepena slobode. Rad **M21[10]** iznosi predlog za eksperimentalnu postavku koja bi omogućila kontrolisano variranje efektivne Kulonove interakcije između elektrona u grafenu pomoću dielektrika ("screening" efekat). Ovaj predlog može dovesti do povećanja stabilnosti određenih jako korelisanih

stanja (čak i onih sa tzv. neabelijanskom statistikom), a takođe omogućava proučavanje kvantnih faznih prelaza na kontrolisan način.

Parametri kvaliteta časopisa i pozitivna citiranost kandidatovih radova

Najveći deo publikacija Zlatka Papića je objavljen u vrhunskim međunarodnim časopisima **Physical Review B** i **Physical Review Letters** i citirani su od strane radova objavljenih u istim ili drugim vrhunskim međunarodnim časopisima. Jedan od elemenata za procenu kvaliteta naučnih rezultata kandidata je i kvalitet časopisa u kojima su radovi objavljivani, odnosno njihov impakt faktor (IF). Zlatko Papić je objavio **16 radova kategorije M21**, od kojih

9 u Physical Review B (za poslednjih pet radova: IF=3.364 za 3 rada u 2010, IF=3.405 za 1 rad u 2011, i jedan rad je izašao u 2012. godini)

5 u Physical Review Letters (IF=7.155 za 2 rada, IF=7.013 za 1 rad, i dva rada su izašla u 2012. godini)

Efektivni broj radova i broj radova normiran na osnovu broja koautora.

Svi radovi kandidata su sa punom težinom u odnosu na broj koautora.

Stepen samostalnosti i stepen učešća u realizaciji radova

Izrazita je samostalnost ili doprinos osnovne ideje, tj. idejnog rešenja u skoro svim radovima kandidata.

Pregled i analiza naučnih rezultata

Oblasti naučnog rada kandidata su u fizici kondenzovane materije i jako korelisanih sistema: **(1)** frakcioni kvantni Holov efekat, posebno u tzv. višekomponentnim sistemima gde spin ili pseudospin igraju ulogu, **(2)** grafen, i **(3)** numeričke simulacije jako korelisanih sistema koje se oslanjaju na koncepte iz polja kvantne informacije, poput entanglement-a i DMRG ("density-matrix renormalization group"). Svi navedeni radovi u ovom poglavlju su iz kategorije **M21**.

(1) Frakcioni kvantni Holov efekat:

U radovima **M21[1]**, **M21[2]** proučavan je problem dva kvantna Holova sistema koja su na malom rastojanju jedan od drugog i čine tzv. dvosloj, pri čemu je rastojanje između njih moguće varirati u eksperimentu, dok je totalno punjenje 1. Pri velikim rastojanjima između slojeva, sistem je kompresibilan, dok je za mala rastojanja nekompresibilan fluid koji ispoljava ekscitonsku superfluidnost. Prelaz između ovih, vrlo različitih režima,

prilikom promene rastojanja između slojeva predstavlja otvoreni problem. Radovi **M21[1]**, **M21[2]** daju doprinos razumevanju ovog problema sa tačke gledišta varijacionih funkcija koje reprezentuju mešana stanja tzv. kompozitnih fermiona i kompozitnih bozona, koji predstavljaju kvazičestice u limitu velikih, odnosno malih rastojanja, respektivno. Na osnovu varijacionih funkcija za osnovno stanje, konstruisane su i Čern-Sajmons topološke teorije polja na osnovu kojih je računat linearni odgovor sistema, ispitivana topološka svojstva ekscitacija i sl.

U seriji radova **M21[3]**, **M21[5]**, **M21[6]**, **M21[8]** proučavane su tzv. široke kvantne jame gde višekomponentni stepeni slobode predstavljaju elektronske nivoe u kvantnoj jami. U prisustvu jakih interakcija u magnetnom polju, u ovim sistemima nastaju stanja koja se mogu opisati tzv. Halperinovim funkcijama koje predstavljaju uopštenje Laflinove talasne funkcije. Ono što je posebno zanimljivo sa eksperimentalne tačke gledišta je mogućnost da se, variranjem tuneliranja između elektronskih nivoa, uspostavi prelaz između višekomponentnih i jednodimenzionalnih (polarizovanih) stanja, koja u određenim slučajevima poseduju neabelijanske ekscitacije. Najvažniji primer ovog scenarija se odnosi na punjenje $1/2$ gde je moguće uspostaviti prelaz između 331 Halperinovog stanja i tzv. Fafijana, koji je reprezentovan čuvenom talasnom funkcijom koju su formulisali Greg Mur i Nikolas Rid. Fafijan je sparno stanje koje se može opisati kao "p-wave" superprovodnik. Njegove kvazičestice su Majorana fermioni koje odlikuje neabelijanska statistika: stanje nakon izmene dveju kvazičestica nije jednako početnom stanju (do na fazu, kao kod fermiona ili bozona). U radu **M21[6]** detaljno je izučavan ovaj prelaz putem BCS modela, kao i egzaktne dijagonalizacije. Istaknuto je da prelaz od 331 stanja ne vodi u sparno stanje, već verovatnije u kompresibilno stanje koje ima svojstva Fermi tečnosti.

(2) Grafen

Rad **M21[7]** pružio je teorijski opis kvantnog Holovog stanja na punjenju $1/3$ u grafenu koje je eksperimentalno uočeno tokom 2009. godine. Iznenađujući aspekt ovog stanja u grafenu je da se razlikuje od Laflinovog stanja koje nastaje pri istom punjenju u galijum arsenidu (GaAs). Razlog za ovo je veća unutrašnja simetrija u slučaju grafena koja potiče od prisustva spina i zonskog pseudospina koji ukupno daju SU(4) simetriju. Posledica ovoga u slučaju $1/3$ je da, iako talasna funkcija osnovnog stanja ima oblik Laflinove funkcije, ekscitacioni spektar je drastično različit: najniža ekscitacija je spinski ili pseudospinski talas, a ne tzv. magneto-roton koji nastaje u slučaju Laflinovog stanja.

U radovima **M21[10]**, **M21[11]**, **M21[12]** ispitivane su praktične mogućnosti grafenskih sistema (jednosloj, dvosloj itd.) za kontrolisano variranje oblika i jačine efektivne Kulonove interakcije između elektrona, u cilju potpunijeg izučavanja jako korelisanih faza i kvantnih faznih prelaza. U radu **M21[10]** pokazano je da se postavljanjem dielektrika u blizini grafenskog sloja može uzrokovati odgovarajući tip "screening"-a koji stabilizuje neabelijanska stanja. U radovima **M21[11]**, **M21[12]** ispitivana je modifikacija interakcije usled promene zonske strukture, na primer dodavanjem masenog člana putem električnog polja u slučaju grafenskog dvosloja. Pokazano je da ovaj metod

takođe omogućava proučavanje različitih faznih prelaza između topoloških faza i onih sa narušenom simetrijom.

(3) *Numeričke simulacije bazirane na entanglement-u*

Poslednjih decenija došlo je do intenzivnog razvoja numeričkih simulacija jako interagujućih sistema u fizici kondenzovane materije. Neki od uticajnih metoda, poput "density-matrix renormalization group" (DMRG), direktno su zasnovani na primeni "entanglement"-a u karakterizaciji kvantnih višestičnih stanja. U slučaju sistema sa topološkim uređenjem, nedavno je pokazano da tzv. entanglement spektar donosi potpunu informaciju o sistemu, uključujući ekscitacije na granici. U radu **M21[9]** proučavan je entanglement spektar za kvantne Holove sisteme u prisustvu određenog broja kvazičestica. Pokazano je da kod ovih, topoloških uređenih, sistema entanglement spektar daje potpunu informaciju i o ekscitacijama, a ne samo o osnovnom stanju. Pored toga, demonstrirano je da entanglement spektar daje jasan uvid u statistiku kvazičestica kada se one premeštaju unutar sistema. U radu **M21[15]** implementiran je DMRG metod za kvantne Holove sisteme i testiran na nekoliko tipova graničnih uslova, kao što su geometrija sfere ili cilindar. Pokazano je da je geometrija cilindra znatno pogodnija sa aspekta numeričke konvergencije, što omogućava DMRG metodu da uspešno simulira znatno veće sisteme od onih koje je moguće egzaktno dijagonalizovati. Razvoj DMRG metoda otvara mogućnosti za proučavanje mnogih fenomena gde egzaktna dijagonalizacija nije uspela da dostigne odgovarajući broj čestica kod kojih korelaciona dužina postaje znatno manja od dimenzije sistema.

SPISAK NAUČNIH RADOVA RAZVRSTANIH PREMA KATEGORIJAMA NAUČNOG RADA (M KOEFICIJENTI)

RADOVI OBJAVLJENI U NAUČNIM ČASOPISIMA MEĐUNARODNOG ZNAČAJA (M 20)

M21

[1] Z. Papić, M. V. Milovanović
Quantum disordering of the 111 state and the compressible-incompressible transition in quantum Hall bilayer systems,
Phys. Rev. B **75**, 195304 (2007)

Citiran 8 puta (5 bez autocitata)

[2] M. V. Milovanović, Z. Papić
Nonperturbative approach to the quantum Hall bilayer
Phys. Rev. B **79**, 115319 (2009)

Citiran 5 puta (3 bez autocitata)

[3] Z. Papić, G. Moeller, M. V. Milovanović, N. Regnault, M. O. Goerbig
Fractional quantum Hall state at $\nu=1/4$ in a wide quantum well
Phys. Rev. B **79**, 245325 (2009)

Citiran 14 puta (11 bez autocitata)

[4] Z. Papić, N. Regnault, S. Das Sarma
Interaction-tuned compressible-to-incompressible phase transitions in quantum Hall systems
Phys. Rev. B **80**, 201303 (2009)

Citiran 18 puta (14 bez autocitata)

[5] M. V. Milovanović, Z. Papić
Transition from two-component 332 Halperin state to one-component Jain state at filling factor $\nu=2/5$
Phys. Rev. B **82**, 035316 (2010)

[6] Z. Papić, M. O. Goerbig, N. Regnault, and M. V. Milovanović
Tunneling-driven breakdown of the 331 state and the emergent Pfaffian and composite Fermi liquid phases
Phys. Rev. B **82**, 075302 (2010).

Citiran 3 puta (1 bez autocitata)

[7] Z. Papić, M. O. Goerbig, and N. Regnault
Atypical Fractional Quantum Hall Effect in Graphene at $\nu_G = 1/3$
Phys. Rev. Lett. **105**, 176802 (2010)

Citiran 12 puta (9 bez autocitata)

[8] Michael R. Peterson, Z. Papić, S. Das Sarma
Fractional quantum Hall effects in bilayers in the presence of inter-layer tunneling and charge imbalance
Phys. Rev. B **82**, 235312 (2010)

Citiran 1 put (1 bez autocitata)

[9] Z. Papić, B. A. Bernevig, N. Regnault
Topological Entanglement in Abelian and Non-Abelian Excitation Eigenstates
Phys. Rev. Lett. **106**, 056801 (2011)

Citiran 11 puta (11 bez autocitata)

[10] Z. Papić, R. Thomale, D. A. Abanin
Tunable Electron Interactions and Fractional Quantum Hall States in Graphene
Phys. Rev. Lett. **107**, 176602 (2011)

Citiran 9 puta (7 bez autocitata)

[11] Z. Papić, D. A. Abanin, Y. Barlas, R. N. Bhatt
Tunable interactions and phase transitions in Dirac materials in a magnetic field
Phys. Rev. B **84**, 241306 (2011)

Citiran 3 puta (2 bez autocitata)

[12] D. A. Abanin, Z. Papić, Y. Barlas, R. N. Bhatt
Stability of the $k = 3$ Read-Rezayi state in chiral two-dimensional systems with tunable interactions
New Journal of Physics **14**, 025009 (2012)

[13] Bo Yang, Z. Papić, E. H. Rezayi, R. N. Bhatt, F. D. M. Haldane
Band mass anisotropy and the intrinsic metric of fractional quantum Hall systems,
Phys. Rev. B **85**, 165318 (2012)

Citiran 1 put (1 bez autocitata)

[14] Bo Yang, Z. Hu, Z. Papić, F. D. M. Haldane

Model Wavefunctions for the Collective Modes and the Magneto-roton Theory of the Fractional Quantum Hall Effect
Phys. Rev. Lett. **108**, 256807 (2012)

Citiran 1 put (1 bez autocitata)

[15] Z. Hu, Z. Papić, S. Johri, R. N. Bhatt, P. Schmitteckert
Comparison of the density-matrix renormalization group method applied to fractional quantum Hall systems in different geometries
Phys. Lett. A **376**, 2157 (2012)

[16] Z. Papić, F. D. M. Haldane, E. H. Rezayi
Quantum Phase Transitions and the $\nu=5/2$ Fractional Hall State in Wide Quantum Wells
Phys. Rev. Lett. **109**, 266806 (2012)

M22

[1] Z. Papić, M. O. Goerbig, N. Regnault
Theoretical expectations for a fractional quantum Hall effect in graphene
Solid State Communications **149**, 1056 (2009)

Citiran 11 puta (10 bez autocitata)

M23

[1] Z. Papić, M. V. Milovanović
p-Wave Pairing in Quantum Hall Bilayers
Advances in Condensed Matter Physics, 614173 (2011)

Citiran 2 puta (1 bez autocitata)

[2] Z. Papić, M. V. Milovanović
Disordering of the correlated state of the quantum Hall bilayer at filling factor $\nu = 1$
Mod. Phys. Lett. B **26**, 1250134 (2012)

ZBORNICI SA MEDJUNARODNIH NAUČNIH SKUPOVA (M 30)

M 31

[1] Z. Papić
Tunable interactions and ways of engineering fractional quantum Hall states
APS March meeting, March 18-22, 2012 Baltimore, USA

M 32

[1] Z. Papić

Numerical studies of the fractional quantum Hall effect in two-dimensional electron systems
Conference on computational physics, October 30-November 3, Gatlinburg, Tennessee, USA

[2] Z. Papić
Designing the non-Abelian states in multicomponent fractional quantum Hall systems
Workshop: Search for topological phases, 21-22 April, Princeton, USA

M 34

[1] Z. Papić, D. A. Abanin, N. Regnault, and M. O. Goerbig
Fractional quantum Hall effect in graphene: multicomponent states and tunable interactions
APS March meeting, March 21-25, 2011 Dallas, USA

[2] Bo Yang, F. D. M. Haldane, Z. Hu, Z. Papić
Model wavefunctions for fractional quantum Hall collective modes
APS March meeting, February 29 – March 2, 2012 Boston, USA

[3] Z. Papić, F. D. M. Haldane, E. H. Rezayi
Finite-size studies of the $\nu=5/2$ quantum Hall state in wide quantum wells: the effect of subband mixing and breaking of particle-hole symmetry
APS March meeting, February 29 – March 2, 2012 Boston, USA

[4] R. N. Bhatt, Z. Papić, D. A. Abanin, Y. Barlas
Phase diagram of massive Dirac fermions with tunable interactions in high magnetic fields
APS March meeting, February 29 – March 2, 2012 Boston, USA

ZBORNICI SKUPOVA NACIONALNOG ZNAČAJA (M 60)

M 62

[1] M. V. Milovanović, Z. Papić
Quantum Disorder of a Quantum Hall Superfluid
XVII National Symposium on Condensed Matter Physics (SFKM - 2007) (2007) **127**,
Vršac – Serbia

M 63

[1] Z. Papić, M. V. Milovanović
Quantum Disorder of the 111 state and the Compressible-Incompressible Transition in Quantum Hall Bilayer Systems

MAGISTARSKE I DOKTORSKE TEZE (M 70)

M 72

Ph. D. thesis: Fractional quantum Hall effect in multicomponent systems
2010, Fizički fakultet, Beograd.

**TABELA ISPUNJENOSTI DIFERENCIJALNOG USLOVA ZA IZBOR DR ZLATKA
PAPIĆA U ZVANJE VIŠI NAUČNI SARADNIK:**

M 21 $16 \times 8 = 128$
M 22 $1 \times 5 = 5$
M 23 $2 \times 3 = 6$
M 31 $1 \times 3 = 3$
M 32 $2 \times 1,5 = 3$
M 34 $4 \times 0,5 = 2$
M 62 $1 \times 1 = 1$
M 63 $1 \times 0,5 = 0,5$

Diferencijalni uslov- Od prvog izbora u prethodno zvanje do izbora u zvanje naučni saradnik	Potrebno je da kandidat ima najmanje XX poena koji treba da pripadaju sledećim kategorijama:		
		Neophodno XX=	Ostvareno
Viši naučni saradnik	Ukupno	48	148,5
	M10+M20+M31+M32+M3 3 M41+M42+M51 \geq	40	145
	M11+M12+M21+M22 M23+M24+M31+M32+M4 1M42 \geq	28	145