

DANI FIZIKE KONDENZOVANOG STANJA MATERIJE

10 – 12 septembar 2013
Srpska akademija nauka i umetnosti
www.cond-mat.ipb.ac.rs

Utorak, 10 Septembar

10:00 – 10:40	Ivan Božović, Brookhaven National Laboratory (USA) <i>Novi rezultati u fizici visoko-temperaturnih superprovodnika</i>
10:40 – 10:50	diskusija
10:50 – 11:00	pauza
11:00 – 11:40	Zoran Radović, Fizički fakultet <i>Biharmonijska zavisnost Josephsonove struje od faze u superprovodnim spojevima sa nehomogenim feromagnetom</i>
11:40 – 11:50	diskusija
11:50 – 12:00	pauza
12:00 – 12:40	Antun Balaž, Institut za fiziku <i>Proučavanje dipolnih Bose-Einstein kondenzata u anizotropnim slabim potencijalima sa neuređenošću</i>
12:40 – 12:50	diskusija
13:00 – 15:00	pauza za ručak
15:00 – 15:40	Darko Tanasković, Institut za fiziku <i>Kvantni kritični transport u blizini Mottovog metal-izolator prelaza</i>
15:40 – 15:50	diskusija
15:50 – 16:00	pauza
16:00 – 16:40	Mihajlo Vanević, Fizički fakultet <i>Kvantno proklizavanje faze u mezoskopskim superprovodnim žicama</i>
16:40 – 16:50	diskusija

Sreda, 11 Septembar

10:00 – 10:40	Milica Milovanović, Institut za fiziku <i>Geometrijski opis frakcionih Chernovih izolatora</i>
10:40 – 10:50	diskusija
10:50 – 11:00	pauza
11:00 – 11:40	Ivanka Milošević, Fizički fakultet <i>Termalne osobine helikalnih ugljeničnih nanotuba</i>
11:40 – 11:50	diskusija
11:50 – 12:00	pauza

– nastavak, Sreda 11 Septembar –	
12:00 – 12:40	Zoran Popović, Institut Vinča <i>Dinamički Jahn-Tellerov efekat u grafenu sa šupljinskim defektom</i>
12:40 – 12:50	diskusija
13:00 – 15:00	pauza za ručak
15:00 – 15:40	Željko Šljivančanin, Institut Vinča <i>Modelovanje atomske strukture djelimično oksidisanog grafena</i>
15:40 – 15:50	diskusija
15:50 – 16:00	pauza
16:00 – 16:40	Nenad Vukmirović, Institut za fiziku <i>Priroda nosilaca naelektrisanja u organskim kristalima</i>
16:40 – 16:50	diskusija
16:50 – 17:00	pauza
17:00 – 17:40	Zoran Mišković, University of Waterloo (Canada) <i>Interakcija grafena sa naelektrisanim česticama</i>
17:40 – 17:50	diskusija

Četvrtak, 12 Septembar

10:00 – 10:40	Velimir Radmilović, Tehnološko-metalurški fakultet <i>Šta znamo o klizanju bez trenja na atomskom nivou?</i>
10:40 – 10:50	diskusija
10:50 – 11:00	pauza
11:00 – 11:40	Nataša Bibić, Institut Vinča <i>Modifikacija tankih slojeva metala i keramika primenom jonskih snopova</i>
11:40 – 11:50	diskusija
11:50 – 12:00	pauza
12:00 – 12:40	Đorđe Spasojević, Fizički fakultet <i>Analiza spening lavina u dvodimenzionalnom neravnotežnom Izingovom modelu na temperaturi $T=0$</i>
12:40 – 12:50	diskusija
13:00 – 15:00	pauza za ručak
15:00 – 15:40	Dimitrije Stepanenko, Institut za fiziku <i>Kvantni računari bazirani na kvantnim tačkama i spin-orbit interakciji</i>
15:40 – 15:50	diskusija
15:50 – 16:00	pauza
16:00 – 16:40	Nenad Švrakić, Institut za fiziku <i>Pokrivanje i pakovanje u ravni: egzaktni i numerički rezultati za mešavine superdiskova</i>
16:40 – 16:50	diskusija

Proučavanje dipolnih Bose-Einstein kondenzata u anizotropnim slabim potencijalima sa neuređenošću

Antun Balaž, Institut za fiziku

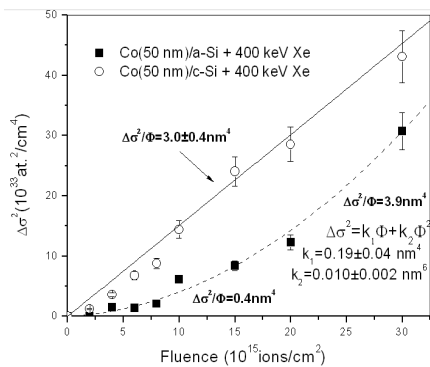
Bose-Einstein kondenzacija je jedan od samo nekoliko poznatih makroskopskih kvantnih fenomena i odmah nakon njene prve eksperimentalne realizacije 1995. godine oblast ultrahladnih kvantnih gasova je postala izuzetno aktivna. Razlog za to je velika mogućnost promene parametara i osobina ovakvih sistema, uključujući tip i jačinu interakcija i dimenzionalost, što ih izdvaja od drugih fizičkih sistema i čini ih interesantnim za proučavanje. Nelinearnost Bose-Einstein-kondenzovanih sistema dovodi do niza novih efekata, kao što su različite vrste kolektivnih moda oscilacija, vorteksi, solitoni, talasi gustine i njihovo rezonantno sprezanje. Bose-Einstein kondenzacija danas nalazi primenu u kvantnom računarstvu i brojnim drugim oblastima fizike, a ultrahladni kvantni gasovi omogućavaju i praktičnu realizaciju Feynmanovih kvantnih simulatora.

U ovom predavanju ćemo razmotriti osobine homogenih Bose-Einstein kondenzata sa kratkodometnom kontaktnom i dugodometnom dipol-dipol interakcijom u prisustvu anizotropnih slabih potencijala sa neuređenošću opisanih Lorentzovom korelacionom funkcijom na nultoj temperaturi. Rešićemo Gross-Pitaevskii jednačinu koristeći teoriju perturbacija u drugom redu po maloj jačini neuređenosti i izvesti analitičke izraze za gubitak kondenzata i superfluida zbog prisustva neuređenosti, kao i izraze za jednačinu stanja, hemijski potencijal i brzinu zvuka, usrednjene po ansamblu potencijala sa neuređenošću. Za slučaj kontaktne interakcije u limesu nulte korelacione dužine dobićemo dobro poznati rezultat Huanga i Menga, koji je originalno izveden pomoću Bogoljubovljeve teorije za polje usrednjeno po ansamblu potencijala sa neuređenošću. Za dipolnu interakciju i izotropno Lorentz-korelisano neuređenje dobićemo rezultate koji su kvalitativno slični slučaju sa izotropnim Gauss-korelisanim neuređenjem. U najopštijem slučaju anizotropnog neuređenja razmatrane fizičke veličine takođe postaju anizotropne, kao posledica formiranja fragmentisanih dipolnih kondenzata u lokalnim minimumima potencijala sa neuređenošću.

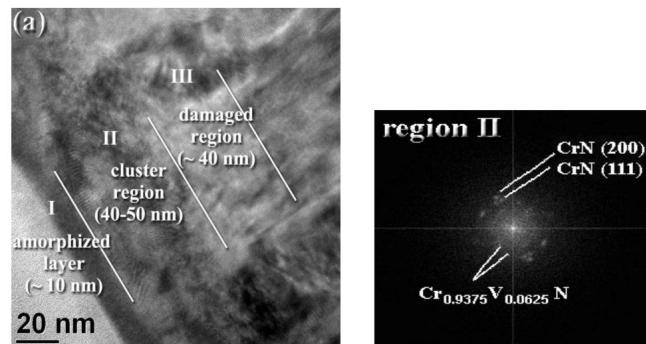
Modifikacija tankih slojeva metala i keramika primenom jonskih snopova

Nataša Bibić, Institut Vinča

Materijali sa precizno kontrolisanim osobinama su osnova modernih tehnologija. Jonski snopovi predstavljaju izvanredan način da se kontrolisano modifikuju površine, oblasti u blizini površine i posebno oblasti na granici tanak sloj-podloga. Atomska pomeranja koja indukuju energijski joni mogu dovesti do značajnih mikrostrukturnih promena, uključujući formiranje defekata, nakupina defekata ili amorfizacije određenih oblasti. U ovom predavanju biće dat kratak pregled naših eksperimentalnih rezultata i naših pokušaja da se modeluju atomski transportni procesi i reakcije na granici tanak sloj metala (Fe ili Co)/ Si podloga, kao i procesi modifikovanja osobina tankoslojnih keramika (CrN i TiN), koristeći jone energija 80-700 keV, kada su gubici u sudarima prevashodno nuklearnog tipa. U slučajevima reakcija indukovanih u sistemima Fe/Si i Co/Si, detaljno smo proučavali procese na granici tanak sloj / podloga u funkciji mase jona, njihove energije, jonske doze, strukture podloge i temperature. Interpretacija atomskog mešanja je data koristeći modele termičkih šiljaka, lokalnih i globalnih [1,2]. Eksperimentalno dobijene vrednosti su u saglasnosti sa predviđanjima modela lokanih šiljaka (slika 1). U tankoslojnim keramikama CrN i TiN, posebno je ispitivana mogućnost sinteze nove faze indukovane jonima V⁺ [3,4]. Eksperimentalni rezultati pokazuju da kombinovanje jonskih snopova i termičkog odgrevanja, omogućava manipulisanje mikrostrukturnim svojstvima tankih slojeva na nanometarskom nivou (slika 2).



Slika 1



Slika 2

- [1] N. Bibić, V. Milinović, K.P. Lieb, M. Milosavljević, F. Schrempel, Appl. Phys. Lett. **90**, 051901 (2007)
- [2] M. Novaković, K. Zhang, M. Popović, N. Bibić, H. Hofsäss, K.P. Lieb, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Sect. B **269**, 881 (2011)
- [3] M. Novaković, A. Traverse, M. Popović, K.P. Lieb, K. Zhang, N. Bibić, Radiation Effects and Defects in Solids **167**, 496 (2012)
- [4] M. Popović, M. Novaković, M. Šiljegović, N. Bibić, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Sect. B **279**, 144 (2012)

Novi rezultati u fizici visoko-temperaturnih superprovodnika

Ivan Božović, Brookhaven National Laboratory, USA

Termalne osobine helikalnih ugljeničnih nanotuba

Ivanka Milošević, Fizički fakultet

Helikalne ugljenične nanotube (HUNT) kao kombinacija specifične helikalne morfologije i fascinantnih osobina nanotuba poseduju ogroman potencijal za primene u nano-kompozitima, nano-elektronskim uređajima i nano-elektromehaničkim sistemima.

U tipičnim radnim uslovima nano-uređaji su izloženi visokim temperaturama koje uzrokuju termalno širenje i rezidualni napon koji mogu izmeniti osobine nano-uređaja proizvedenog i testiranog u idealnim laboratorijskim uslovima. Eksponencijalno povećanje gustine snage u elektronskim uređajima u toku proteklih decenija zahteva primenu naprednih termalnih interfejs materijala (TIM) od kojih se očekuje da postignu značajan napredak u učinku. Međutim, nepodudaranje koeficijanata termalnog širenja različitih komponenti može dovesti do kvara nano-uređaja usled delaminacije TIMa.

U ovom predavanju će biti prezentirani rezultati teorijske studije dve bitne termalne karakteristike HUNTa kao kandidata nove generacije nano-ugljeničnih TIMa: termalna ekspanzija i fononski transport. Četiri vrste linearnih koeficijanata termalnog širenja (radijalni tubularni, aksijalni tubularni, helikalni radijalni i helikalni aksijalni) su izračunata numerički, minimiziranjem Helmholtzove slobodne energije na fiksnim temperaturama. Predikcija izotropije termalnog širenja tubularnih parametara i visoke anizotropije termalnog širenja helikalnih parametara interpretirana je ekstremnom elastičnošću HUNTa. Korišćen je Brennerov međuatomski potencijal za ugljenik i primenjena je simetrija linijskih grupa koja je zajedno sa implementacijom Hooke-Jeeves algoritma doprinalela visokoj efikasnosti numeričkih proračuna.

Nakon što je fononska disperzija HUNTa dobijena pomoću numeričkog koda POLSym, fononski transport je računat u aproksimaciji vremena relaksacije. Za razliku od grafena i pravih UNTa kod kojih su akustički fononi glavni nosioci toplote, doprinos optičkih fonona unutrašnjoj toplotnoj provodnosti HUNTa je značajna jer se kod njih optički fononi javljaju već na frekvencama reda veličine 10THz. Generalno, termalna provodnost HUNTa je na temperaturama iznad 500K veća od provodnosti pravih UNTa. Pored toga, na fiksnim temperaturama i dužinama NTa preko 1 μ m, pokazuje se da helikalne NT imaju bolje provodne performanse od pravih NT.

Geometrijski opis frakcionih Chernovih izolatora

Milica Milovanović, Institut za fiziku

Posle predviđanja i realizacije topoloških izolatora [1], koji se mogu opisati kao sistemi sa fizikom integralnog kvantnog Hallovog efekta bez spoljašnjeg magnetnog polja i Landau nivoa, povećan je interes za frakcione Chernove izolatore (FCI), interagujuće sisteme koji bi bez magnetnog polja ispoljavali fiziku frakcionog kvantnog Hallovog (FKH) efekta [2]. U slučaju FCI ulogu fiksiranog Landau nivoa igra Blochov bend sa nenultim Chernovim brojem. Struktura Blochovog benda zavisi od rešetke sistema, i može biti opisana Berry krivinom i Fubini-Study (FS) metrikom - metrikom rastojanja u kvantnoj mehanici, koji zavise od Blochovog momenta u Brillouinovoj zoni. Uobičajeni FKH efekat bi odgovarao uniformnoj pozadini: konstantnoj Berry krivini i konstantnoj FS metrici u specifičnom odnosu.

U ovom predavanju [3] proučavaćemo statički strukturni faktor FCI Laughlinovog stanja i predstaviti analitičke oblike ove veličine u limitu velikih dužina. To će nam omogućiti da identifikujemo usrednjenu po Brillouinovoj zoni FS metriku kao relevantnu metriku u limitu velikih dužina. Diskutovaćemo pod kojim uslovima statički strukturni faktor će se ponašati na uobičajeni način Laughlinovog FKH sistema tj. prema scenariju Girvin, MacDonald, and Platzman [Phys. Rev. B **32**, 8458 (1985)], i proučavati uticaj otkolona usrednjene po Brillouinovoj zoni FS metrike od njene FKH vrednosti. Ovaj otklon u analizi velikih dužina se pojavljuje kao efektivna promena faktora punjenja. Prema našim rezultatima dobijenih egzaktnom dijagonalizacijom na Haldane modelu i analitičkim razmatranjima nalazimo FCI stanje i u ovom regionu.

- [1] M. Hasan and C. Kane, Colloquium: Topological Insulators, Rev. Mod. Phys. **82**, 3045 (2010)
- [2] R. Roy and S.L. Sondhi, Fractional Quantum Hall Effect without Landau levels, Physics **4**, 46 (2011); M. Daghofer and M. Haque, Toward Fractional Quantum Hall Physics with Cold Atoms, Physics **6**, 49 (2013)
- [3] E. Dobardžić, M.V. Milovanović, and N. Regnault, arXiv:1303.7131

Interakcija grafena sa naelektrisanim česticama

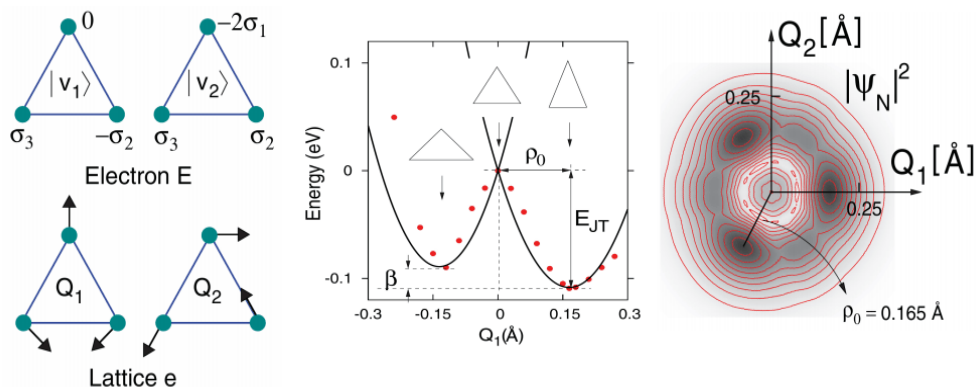
Zoran L. Mišković, University of Waterloo, Canada
e-mail: zmiskovi@uwaterloo.ca

Prikažaću pregled istraživanja koje sam sproveo u poslednjih nekoliko godina sa saradnicima koristeći formalizam dielektričnog odziva za dvodimenzioni (2D) elektronski gas na temu interakcije grafena sa spoljašnjim naelektrisanim česticama koje se kreću brzinama u širokom opsegu. Za velike brzine kakve se koriste u spektroskopiji energijskih gubitaka elektrona (EELS) unutar mikroskopa sa skenirajućom transmisijom elektrona (STEM) pronašli smo da dvo-fluidni model za međuzonske pobude grafenovih σ i π elektrona daje dobra slaganja sa eksperimentalnim spektrima, kako za grafen, tako i za ostale ugljenične nanostrukture. Za procese u kojima dominiraju niskoenergijske pobude grafenovih π elektrona, kao u spektroskopiji energijskih gubitaka pri refleksiji elektrona niskih energija (HREELS) ili pri rasejanju sporih jona i dipola na grafenu, koristili smo odzivnu funkciju grafena u aproksimaciji Dirakovih fermiona. Koristeći elektrostatičku Grinovu funkciju, pokazali smo da struktura dielektričnog okruženja grafena ima značajan efekat na silu lika, zaustavnu silu, i na tzv. wake u raspodeli nosilaca naelektrisanja u grafenu pobuđenih kretanjem spoljašnje čestice. Posebno smo ispitivali značaj i ulogu jednočestičnih i kolektivnih, tj., plazmonskih pobuda u 2D elektronskom gasu u grafenu za širok opseg gustine dopiranja njegovih nosilaca naelektrisanja. Dalje, korišćenje Grinove funkcije nam takođe omogućava da ispitamo efekat pobude optičkih fonona u polarnom dielektriku koji služi kao podloga grafenu, kao i efekat koncentracije pokretnih jona u elektrolitu koji se koristi u top gate konfiguraciji, na sposobnost grafena da ekranira spoljašnje električno polje.

Dinamički Jahn-Tellerov efekat u grafenu sa šupljinskim defektom

Zoran Popović, Institut Vinča

Grafen je ravan ugljenikovitih atoma koji formiraju šestougaonu rešetku. Njegova geometrija je jednostavna, ali zbog karakteristične zonske strukture sa linearnom disperzijom, grafen poseduje niz neobičnih svojstava kao što su polucelobrojni Hallov efekat, kiralnost, minimalna provodljivost, Kleinovo tuneliranje, negativna refrakcija i neke nove osobine viđene u Kondo i Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida interakcijama. U predavanju će biti razmotren problem grafena sa šupljinskim defektom. Takav defekt stvara Jahn-Tellerov centar zbog interakcija između elektronskih stanja i lokalnih moda rešetke (slika levo). Interesantno je da ovaj defekt takođe formira i magnetni centar [2]. Jahn-Tellerov efekat moguće je ispitati rešavanjem odgovarajućeg $E \otimes e$ vibronskog hamiltonijana sa bazisnim skupom koji je zadat kao proizvod talasnih funkcija linearnog harmonijskog oscilatora. U okviru teorije funkcionala gustine moguće je izračunati ukupnu energiju sistema duž pogodno izabranog pravca u konfiguracionom Q_1 - Q_2 prostoru (slika centar). Na osnovu toga su procenjeni parametri modela i rešen vibronski hamiltonijan. Dobijeni rezultati ukazuju da između Jahn-Tellerovih minimuma postoji potencijalna barijera koja je dovoljno mala da omogućava kvantno-mehaničko tuneliranje između tri ekvivalentna minimuma (slika desno), što predstavlja dinamički Jahn-Tellerov efekat. Još uvek ne postoji eksperimentalna provera prirode Jahn-Tellerovog efekta za ovaj slučaj.



Slika levo: Jahn-Teller aktivna elektronska stanja $|v_1\rangle$ i $|v_2\rangle$ (σ_i označava $sp^2\sigma$ orbitalu centriranu na ugljenikovom atomu koji je pored defekta) i vibracione mode Q_1 i Q_2 koje međusobno interaguju. Centar: Ukupna energija kao funkcija vibronske mode Q_1 izračunata pomoću DFT (crvene tačke) i fitovana na adijabatsku energiju (puna linija). Desno: Nuklearna gustina verovatnoće za osnovno stanje u konfiguracionom Q_1 - Q_2 prostoru.

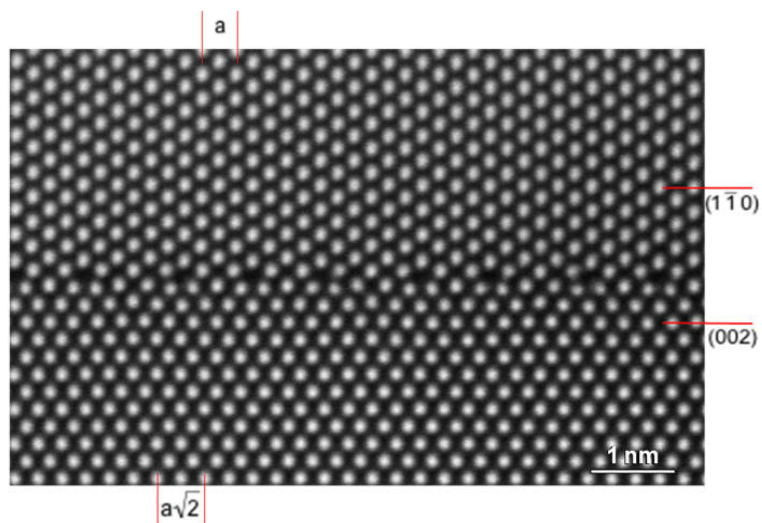
[1] Z.S. Popović, B. Nanda, and S. Satpathy, Phys. Rev. B **86**, 085458 (2012)

[2] B. Nanda, M. Sherafati, Z.S. Popović, and S. Satpathy, New J. Phys. **14**, 083004 (2012)

Šta znamo o klizanju bez trenja na atomskom nivou?

Velimir Radmilović, Tehnološko-metalurški fakultet

Dok su makroskopski fenomeni trenja dobro poznati, postoji vrlo malo ili gotovo nikakvo njihovo razumevanje na atomskom nivou. U ovim istraživanjima struktura nekomensurentne granice između kristalnih zrna zlata, tipa $90^\circ\langle 110 \rangle$ (zrna su međusobno zarotirana za 90° oko kristalografskog pravca $\langle 110 \rangle$), karakterisana je transmissionom elektronskom mikroskopijom sa korigovanim aberacijama i vršeno upoređivanje sa rezultatima simulacija atomskih struktura ove granice molekulanom dinamikom. Ova granica se smatra nekomensurentnom zato što se period ponavljanja ravni $\{001\}$ i $\{110\}$ kroz graničnu površinu može opisati iracionalnim brojem, $1:\sqrt{2}$. Granica je ispitivana korišćenjem bikristalnog tankog filma uklonjenog sa supstrata. Film je pripremljen fizičkom depozicijom zlata visoke čistoće iz parne faze na podlogu kristala germanijuma orijentacije $\{100\}$. Nesimetrična, neperiodična struktura ove granice može da se opiše Obrijevom hal funkcijom, kojom se prikazuje relaksacija atomskih kolona zlata na granici između dva kristala, relativno u odnosu na nerelaksiranu strukturu. Izmerena je halova funkcija na 2-D kvantnim mapama atomskih kolona i napravljeno kvantitativno poređenje eksperimentalnih rezultata sa atomskim simulacijama ove granice i definisana njena atomska struktura koja obezbeđuje klizanje bez trenja.



Eksperimentalno dobijena 2-D kvantna mapa atomske rezolucije granice između kristala zlata tipa $90^\circ\langle 110 \rangle$; analiza je vršena metodom kontrasta atomskog broja.

Biharmonijska zavisnost Josephsonove struje od faze u superprovodnim spojevima sa nehomogenim feromagnetom

Zoran Radović, Fizički fakultet

U metalnim heterostrukturama sastavljenim od konvencionalnih superprovodnika sa spin-singletnim sparivanjem i nehomogenih feromagneta mogu se indukovati dugodometne spin-tripletne superprovodne korelacije [1]. U ovom predavanju će biti izloženi rezultati proučavanja Josephsonovog efekta u planarnim SFF'S spojevima koji se sastoje od konvencionalnih superprovodnika i metalnih monodomenskih feromagneta. U takvim sistemima, dugodometni spin-tripletni efekat blizine nema bitnog uticaja na Josephsonove struje, osim za jako asimetrične spojeve sa uzajamno ortogonalnim magnetizacijama [2]. Tada se efekat manifestuje kao dominantan drugi harmonik u zavisnosti Josephsonove struje od faze, $I(\Phi) = I_c \sin(2\Phi)$ [3], i dovodi do karakterističnih pikova u zavisnosti gustine stanja od energije [4]. Ovo omogućava jednostavnu praktičnu realizaciju Josephsonovih spojeva sa degenerisanim osnovnim stanjem (kao na 0-Pi prelazima [5]). Od takvih spojeva se mogu napraviti kvantni interferometri (SQUID-ovi) koji mogu ostvariti superpoziciju makroskopski različitih kvantnih stanja u odsustvu magnetnog polja.

- [1] F. S. Bergeret, A. F. Volkov, and K. B. Efetov, *Rev. Mod. Phys.* **77**, 1321 (2005)
- [2] L. Trifunovic and Z. Radović, *Phys. Rev. B* **82**, 020505(R) (2010); T. S. Khaire, M. A. Khasawneh, W. P. Pratt, and N. O. Birge, *Phys. Rev. Lett.* **104**, 137002 (2010)
- [3] L. Trifunovic, Z. Popović, and Z. Radović, *Phys. Rev. B* **84**, 064511 (2011)
- [4] M. Knežević, L. Trifunovic, and Z. Radović, *Phys. Rev. B* **85**, 094517 (2012)
- [5] Z. Radović, L. Dobrosavljević-Grujić, and B. Vujičić, *Phys. Rev. B* **63**, 214512 (2001)

Analiza spening lavina u dvodimenzionalnom neravnotežnom Izingovom modelu na temperaturi $T=0$

Đorđe Spasojević, Fizički fakultet

Spening lavine su velike lavine koje prožimaju sistem duž barem jedne prostorne dimenzije. U ovom predavanju je data njihova numerička analiza u dvodimenzionalnom neravnotežnom Izingovom modelu sa slučajnim poljem na temperaturi $T=0$, bazirana na ekstenzivnim simulacijama dovoljno velikih sistema. Pokazano je da su spening lavine skoro kompaktni slučajni fraktali, dimenzije ~ 2 . Izvršena je klasifikacija spening lavina na 1D i 2D-spening lavine na osnovu toga da li prožimaju sistem samo duž jedne, ili duž obe prostorne dimenzije; 2D-spening lavine su dalje razvrstane na *subkritične* lavine (fraktalne dimenzije 2) i manje kompaktne *kritične* 2D-spening lavine. Za sve tipove spening lavina su predstavljeni rezultati finite-size scaling analize distribucije prosečnog broja lavina po jednoj simulaciji, distribucije veličine lavina, prosečne veličine lavine i doprinosa spening lavina skokovima magnetizacije. Ovo je dopunjeno rezultatima skejling analize *spening polja* (na kojima se okidaju spening lavine) i oblika krivih magnetizacije, usrednjenih po ansamblu slučajnih polja. Zahvaljujući tome, postignut je kolaps krivih magnetizacije ispod kritične neuređenosti. Pokazano je da dominantnu ulogu u kritičnom ponašanju modela igraju subkritične 2D-spening lavine. Iako ostali tipovi lavina utiču na ponašanje konačnih sistema, njihov doprinos ostaje mali ili se gubi na veoma velikim sistemima.

[1] Dj. Spasojević, S. Janićević, and M. Knežević, poslato u Physical Review E

Kvantni računari bazirani na kvantnim tačkama i spin-orbit interakciji

Dimitrije Stepanenko, Institut za fiziku

Moć svakog do sada poznatog uređaja za obradu informacija ograničena je tezom Churcha i Turinga, po kojoj nije moguće kvalitativno unaprediti savremene računare zasnovane na digitalnoj informaciji. Ova teza je po prvi put ozbiljno dovedena u pitanje razvojem modela kvantnog računara, u kome je moguće rešiti neke probleme za koje se veruje da su nerešivi pomoću digitalnih računara.

Elektronski spinovi vezani za kvantne tačke su dobri kandidati za nosioce informacije u kvantnim računarima. Priprema u dobro definisano početno stanje, primena kvantnih logičkih kola, dugo vreme koherencije i merenje projekcija spinova su ostvareni u nizu eksperimenata tokom poslednjih desetak godina. Nažalost, problem izrade spinskog kvantnog računara je još uvek otvoren, pošto su priprema, merenja, manipulacija i koherencija prikazani u odvojenim eksperimentima. Korišćena kvantna logička kola zahtevaju preciznu kontrolu magnetnih polja i zanemarivu anizotropiju. Zato je detaljna slika interakcija elektronskih spinova neophodna za dalji razvoj kvantnih računara.

Osnovni rezultat koji ćemo prikazati je da su kvantna logička kola u sistemima sa spin-orbit interakcijom osetljiva na vremensku zavisnosti klasičnih kontrolnih parametara. Pokazanu osetljivost ćemo iskoristiti za rešavanje dva otvorena problema. Predložićemo eksperimente kojima se pomoću spin orbit interakcije može odrediti uticaj nuklearnih spinova na elektronske spinove u kvantnim tačkama. Interakcija sa nuklearnim spinovima je jedan od osnovnih mehanizama gubitka koherencije, tako da ograničava vreme izvršavanja kvantnih logičkih kola. Zatim ćemo predstaviti model kvantnog računara koji ne zahteva lokalna magnetna polja sa brzo promenljivim intenzitetom i pravcem, već samo vremenski nezavisno homogeno magnetno polje. Ulogu promenljivog magnetnog polja preuzeće vremenski zavisna anizotropna interakcija, koju kontrolišemo električnim poljem.

Modelovanje atomske strukture djelimično oksidisanog grafena

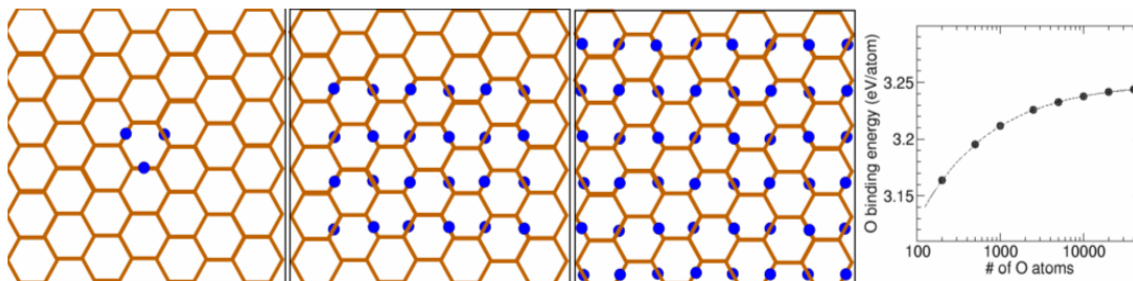
Željko Šljivančanin, Institut Vinča

Primjenom metoda zasnovanih na teoriji funkcionala gustine (DFT) ispitivana je stabilnost različitih struktura atomskog kiseonika adsorbovanog na grafenu. Razmatrali smo kiseonične klustere prečnika manjeg od 2 nm, obrazovane u slučaju vrlo niske oksidacije površine, kao i strukture u vidu beskonačnog sloja adsorbovanih kiseonikovih atoma, nastale kada se izvrši potpuna oksidacija grafena.

Na osnovu detaljnog ispitivanja konfiguracija dva, tri ili četiri adsorbovana atoma kiseonika ustanovljena je njihova tendencija da na grafenu obrazuju kompaktne strukture sa lokalnim koncentracijom od 0.5 (jedan atom kiseonika na dva atoma ugljenika).

U slučaju potpune oksidacije grafena, ustanovili smo postojanje dvije vrlo stabilne strukture u kojima je vezivna energija kiseonikovih atoma veća od one u O_2 molekulu. Ove strukture su rezultat kompromisa dva suprotna efekta: (1) efektivne privlačne interakcije između kiseonikovih atoma usled hibridizacije njihovih $2p$ stanja sa $2p_z$ stanjima ugljenika i (2) odbojne elektrostatičke interakcije između negativno naelektrisanih kiseonikovih atoma adsorbovanih sa iste strane grafena.

Koristeći rezultate DFT proračuna konstruisali smo jednostavan model koji je u stanju da opiše zavisnost energije adsorpcije kiseonika od veličine kiseoničnih klustera na grafenu i primijenili ga na strukture koje nije moguće ispitivati direktnim korišćenjem metoda zasnovanih na DFT.



- [1] Ž. Šljivančanin, A.S. Milošević, Z.S. Popović, and F.R. Vukajlović, *Carbon* **54**, 482 (2013)

Pokrivanje i pakovanje u ravni: egzaktni i numerički rezultati za mešavine superdiskova

Nenad Švrakić, Institut za fiziku

Superdiskovi su dvodimenzioni geometrijski objekti omeđeni Lamé funkcijama tipa $|x|^{2p} + |y|^{2p} = 1$, gde parametar deformacije, p , uzima vrednosti $0 \leq p \leq \infty$. Promenom ovog parametra, oblik superdiska se menja kao što je prikazano na slici dole.

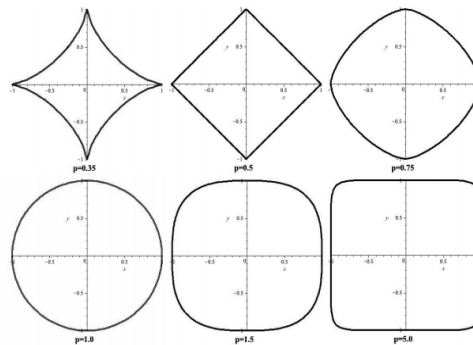


Figure 1: Superdisk shapes for different values of deformation parameter p . Note the change of shape from concave to convex at $p = 0.5$.

Nedavno je pokazano da gustina pokrivanja 2d ravni ovakvim orijentisanim superdiskovima ispoljava neanalitičko ponašanje kada je parametar deformacije $p=0.5$, tj., kada prepokrivajući objekti menjaju oblik iz konveksnog u konkavni (pogledati sliku). Konkretno, gustina maksimalnog pakovanja [1], gustina zagušenja (jamming density) [2], i vodeći član koji množi dominantnu vremensku zavisnost gustine pokrivanja u kasnom stadijumu zagušivanja [3], imaju skok u prvom izvodu po deformacionom parametru p kada je $p=0.5$. Uzrok ovom ponašanju može se naći u promeni geometrijske konstrukcije izuzete površine (excluded area) kada objekti pokrivanja menjaju konveksnost. Ovakvi rezultati su od fundamentalnog značaja za razumevanje procesa spontanog izbora simetrije prilikom kristalizacije u 3d i/ili depozicije na površinama u 2d.

Na predavanju će biti reči o tome kako se ovi rezultati mogu proširiti i generalizovati na pokrivanje 2d ravni jednakom mešavinom dve vrste Laméovih superdiskova, definisanim različitim parametrima deformacije p_1 i p_2 . Konkretno, dobili smo egzaktni izraz za lokus tačaka, u (p_1, p_2) ravni, na kojima je gustina ovakvog pokrivanja neanalitička, a na kom lokusu je gornji rezultat [1-3] samo specijalan slučaj "mešavine" kada je $p_1=p_2=0.5$, tj. kada je u pitanju mešavina identičnih oblika. Takođe, dobili smo analitičke izraze za prirodu singularnosti gustina prepokrivanja za sve "kritične" kombinacije parametara p_1 i p_2 na lokusu njenih neanalitičnosti. Ove rezultate smo dodatno proverili i potvrdili ekstenzivnim numeričkim Monte Karlo simulacijama na velikim sistemima. Proučavanje efekta ne-orijentisanosti objekata na efikasnost prepokrivanja homogene 2d ravni trenutno je u toku.

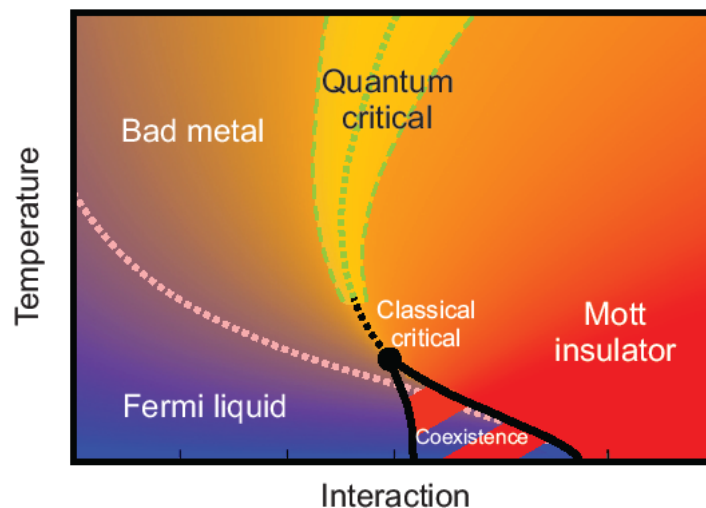
- [1] Y. Jiao, F. H. Stillinger, and S. Torquato, Phys. Rev. Lett. **100**, 245504 (2008)
- [2] O. Gromenko and V. Privman, Phys. Rev E **79**, 042103 (2009)
- [3] B.N. Aleksić, N.M. Švrakić, and M. Belić, arXiv:1305.6120

Kvantni kritični transport u blizini Mottovog metal-izolator prelaza

Darko Tanasković, Institut za fiziku

Jake elektronske korelacije u oksidima prelaznih metala, ali i mnogim drugim jedinjenjima poput Mottovih kvazi-dvodimenzionalnih organskih kristala, dovode do formiranja različitih uređenih faza na niskim temperaturama. Posebno je zanimljiva mogućnost promene osnovnog stanja sistema na $T=0$ i prolaska kroz kvantnu kritičnu tačku podešavanjem spoljašnjih parametara sistema. Kvantna kritična tačka je, međutim, često nedostupna ne samo zbog nulte temperature već i zbog različitih dodatnih nestabilnosti i uređenja koja se javljaju u njenoj neposrednoj okolini. Razumevanje fizike kvantnog faznog prelaza na $T=0$ je ipak od fundamentalnog značaja jer kvantna kritična tačka često određuje transportne i termodinamičke osobine sistema u širokom opsegu temperatura, uz karakteristično skaliranje fizičkih veličina i univerzalnost.

Na predavanju će biti prikazana analiza različitih transportnih režima na faznom dijagramu za frustrirani polupopunjeni Hubbardov model. Posebno je detaljno istražen nekoherentni transport u "visoko-temperaturnom" prelaznom režimu iznad kritične tačke. Naša analiza je otkrila skaliranje krivih otpornosti, koje smo interpretirali kao posledicu postojanja skrivene Mottove kvantne kritične tačke. Ovo ponašanje, koje je veoma slično rezultatima u različitim eksperimentima na oksidima prelaznih metala, kvazi-2d molekularnim kristalima i MOSFET-ima, sugerše da je Mottova kvantna kritičnost fundamentalni mehanizam koji stoji iza neobičnih transportnih fenomena u mnogim sistemima blizu metal-izolator prelaza.



- [1] J. Vučičević, H. Terletska, D. Tanasković, V. Dobrosavljević, Phys. Rev. B **88**, 075143 (2013)
- [2] H. Terletska, J. Vučičević, D. Tanasković, V. Dobrosavljević, Phys. Rev. Lett. **107**, 026401 (2011)

Kvantno proklizavanje faze u mezoskopskim superprovodnim žicama

Mihajlo Vanević, Fizički fakultet

U tankim, kvazi-jednodimenzionalnim superprovodnim žicama fluktuacije faze i parametra poretka mogu biti veoma izražene, što dovodi do nenulte otpornosti na temperaturama nižim od temperature superprovodnog prelaza T_c . Relevantni fluktuacioni mehanizam je tzv. proklizavanje faze (phase slip), tokom koga parametar poretka u nekom trenutku vremena i u nekoj tački sistema postaje nula, pri čemu se superprovodna faza na krajevima sistema menja za 2π . U ovom predavanju biće prikazani rezultati proučavanja procesa kvantnog proklizavanja faze na temperaturama mnogo nižim od T_c [1]. Pokazano je da se proces može razdvojiti na glavni deo koji je topološke prirode i univerzalan (potiče od premotavanja faze za 2π) i na malu neuniverzalnu korekciju koja opisuje detalje vremenske evolucije faze. Izračunata je amplituda kvantnog proklizavanja faze u homogenim superprovodnim žicama gde je proces delokalizovan, kao i u superprovodnim žicama u kojima je proklizavanje faze lokalizovano na nehomogenostima. Nađeno je da je disperzija amplitude manja u lokalizovanom slučaju, što znači bolju kontrolu procesa neophodnu za primenu u metrologiji (konstrukcija fundamentalnog strujnog standarda koji je dualan Josephsonovom standardu napona) i u oblasti koherentne nanoelektronike (phase-slip qubit i tranzistor).

- [1] M. Vanević and Yu. V. Nazarov, Quantum Phase Slips in Superconducting Wires with Weak Inhomogeneities, Phys. Rev. Lett. **108**, 187002 (2012)

Priroda nosilaca naelektrisanja u organskim kristalima

Nenad Vukmirović, Institut za fiziku

Na ovom predavanju, predstavimo rezultate koji omogućavaju bolje razumevanje prirode nosilaca naelektrisanja u organskim kristalima na bazi malih molekula. Najpre će biti dat pregled našeg trenutnog razumevanja elektronskih osobina ovih materijala. Zatim će biti predstavljena metodologija za proračun konstanti elektron-fonon interakcije na gustoj mreži unutar cele Brillouinove zone, koja je potom iskorišćena za proračun ovih konstanti u monokristalu naftalina. Rezultati su pokazali da je elektron-fonon interakcija nedovoljno jaka da dođe do formiranja malih polarona u naftalinu i drugim oligoacenicima [1]. S druge strane, realni uzorci organskih poluprovodnika su najčešće polikristalni, pri čemu na granici između kristalnih domena dolazi do stvaranja odgovarajućih elektronskih stanja. Prikazaćemo rezultate koji pokazuju da su ovakva stanja tipično lokalizovana na dva molekula sa različite strane granice između domena čije je međusobno rastojanje znatno manje nego odgovarajuće rastojanje u monokristalu. Pritom je energija tog stanja direktno povezana sa rastojanjem između tih molekula, što omogućava direktno predviđanje energija stanja samo na osnovu geometrijskog rasporeda molekula bez detaljnih kvantnomehaničkih proračuna [2].

[1] N. Vukmirović, C. Bruder, and V. M. Stojanović, Phys. Rev. Lett. **109**, 126407 (2012)

[2] M. Mladenović, N. Vukmirović, and I. Stanković, J. Phys. Chem. C, in press (2013)