

**INSTITUT ZA FIZIKU  
ZAGREB**

**GODIŠNJI IZVJEŠTAJ**

**2007**

BIJENIČKA C. 46, 10000 ZAGREB – HRVATSKA  
TEL: 385 1 4698 888, FAX: 385 1 4698 889  
E-mail: [ifs@ifs.hr](mailto:ifs@ifs.hr) [www.ifs.hr](http://www.ifs.hr)

Urednik: dr.sc. N. Demoli



## **Predgovor**

S početkom 2007. godine započela je nova shema istraživanja na Institutu. Ministarstvo znanosti i tehnologije prihvatilo je 5 programa sa ukupno 16 projekata Instituta i jedan samostalni projekt dok su tri prijedloga tijekom godine bila na recenziji što ukupno čini 19 projekata o čijem radu se ovdje izvještava.

2007. godina je za Institut bila izuzetna prije svega zbog međunarodne evaluacije koju je naručilo Nacionalno vijeće za znanost. Tročlano povjerenstvo sastavljeno od istaknutih fizičara iz Francuske, Njemačke i Slovenije ocijenilo je Institut kao izvrsnu instituciju u hrvatskim i kao vrlo dobru u evropskim razmjerima. Temeljem toga je Nacionalno vijeće za znanost dalo dopusnicu za rad. Pripreme za evaluaciju kao i rad na izradi kriterija za natječaje za opremu i znanstvene novake značajno su opteretili Institut u prvoj polovini godine. To se dijelom odrazilo i na znanstvenu produktivnost.

Ukupni broj objavljenih znanstvenih radova pao je sa 67 (2006.) na 59 ali je broj redovnih radova objavljenih u Current Contents časopisima ostao visok, 52, što po zaposlenom fizičaru (uključivo i znanstvene novake) daje približno 1 rad za CC redovne radove odnosno 1.1 za sve znanstvene radove. Nastavljen je trend smanjivanja broja konferencijskih radova što je direktna posljedica institutskih kriterija za napredovanje suradnika.



# Sadržaj

<b>Predgovor</b> .....	3
<b>1. Struktura Instituta</b> .....	7
<b>2. Izvještaji o radu na projektima trajne istraživačke djelatnosti</b> .....	10
dr.sc. Silvia Tomić, 035-0000000-2836 "Jako korelirani anorganski, organski i bio materijali" (samostalni projekt) .....	13
dr.sc. Edurad Tutiš, 035-0352826-2847 "Modeliranje fizikalnih svojstava materijala s izraženom frustracijom ili neredom" .....	18
dr.sc. Ana Smontara, 035-0352826-2848 "Transport topline i naboja u jako frustriranim magnetima i srodnim materijalima" .....	22
dr.sc. Miroslav Očko, 035-0352827-2841 "Materijali s elektronskom strukturom modeliranom modernim tehnikama pripreme" .....	28
dr.sc. Katica Biljaković, 035-0352827-2842 "Kompleksni modulirani sistemi: nova stanja, defekti i magnetski efekti" .....	33
dr.sc. Antonio Šiber, 035-0352828-2837 "Energetskom kompeticijom uvjetovani oblici i strukture nanometarskih sustava" .....	38
dr.sc. Branko Gumhalter, 035-0352828-2839 "Kvantna stanja, ultrabrza dinamika i dekoherencija u nanostrukturnim sistemima" .....	41
dr.sc. Petar Pervan, 035-0352828-2840 "Elektronska i kristalna struktura poduprtih samoorganiziranih nano-sistema" .....	44
dr.sc. Ognjen Milat, 035-0352843-2844 "Veza strukturnih i fizikalnih svojstava materijala kontrolirane dimenzionalnosti" .....	49
dr.sc. Mladen Prester, 035-0352843-2845 "Kvantni magneti: Osnovna stanja u kompeticiji" .....	52
dr.sc. Marko Miljak, 035-0352843-2846 "Defekti i interakcije izmjene u nižedimenzionalnim ( $D < 3$ ) magnetskim sistemima" .....	56
dr.sc. Veljko Zlatić, 035-0352843-2849 "Termoelektrična i termomagnetska svojstva materijala s jakim korelacijama" .....	60
dr.sc. Čedomil Vadla, 035-0352851-2853 "Spektroskopija Rydbergovih atoma i molekula" .....	63
dr.sc. Nazif Demoli, 035-0352851-2854 "Razvoj digitalnih postupaka u holografiji i interferometriji" .....	66
dr.sc. Slobodan Milošević, 035-0352851-2856 "Laserska spektroskopija hladne plazme za obradu materijala" .....	69
dr.sc. Goran Pichler, 035-0352851-2857 "Femtosekundna laserska fizika atoma i molekula" .....	74
dr.sc. Robert Beuc, (prijedlog projekta na recenziji) "Fizika atoma i molekula u ekstremnim uvjetima" .....	80
dr.sc. Zlatko Vučić, (prijedlog projekta na recenziji) "Rast i morfologija kristala ravnotežnog oblika površine" .....	84
dr.sc. Katarina Uzelac, (prijedlog projekta na recenziji) "Kritične pojave i sustavi izvan ravnoteže" .....	88

<b>3. Ostale aktivnosti</b> .....	92
3.1 Knjižnica .....	92
3.2 Napredovanje suradnika .....	93
3.3 Sudjelovanje u nastavi .....	93
3.4 Seminari održani na Institutu .....	94
3.5 Konferencije, specijalizacije i studijski boravci .....	96

# **1. STRUKTURA INSTITUTA**

## **1.1. ORGANI INSTITUTA**

### **Upravno vijeće**

Prof.dr.sc. Dario Vretenar, profesor PMF-a, predsjednik

Prof.dr.sc. Emil Babić, profesor PMF-a, član

Dr.sc. Katica Biljaković, znanstveni savjetnik II, član

Dr.sc. Hrvoje Skenderović, viši znanstveni suradnik

### **Ravnatelj**

Dr.sc. Milorad Milun, znanstveni savjetnik

### **Pomoćnici ravnatelja**

Dr.sc. Robert Beuc, viši znanstveni suradnik

Dr.sc. Petar Pervan, znanstveni savjetnik I

### **Predsjednik Znanstvenog vijeća**

Dr.sc. Čedomil Vadla, znanstveni savjetnik II (do 18.05.2007)

Dr.sc. B. Hamzić, znanstveni savjetnik I (od 19.05.2007)

## **1.2. POPIS DJELATNIKA INSTITUTA**

### **Znanstvenici i istraživači**

1. Ivica Aviani, dr.sc. - znanstveni suradnik
2. Ticijana Ban, dr.sc. - viši znanstveni suradnik
3. Robert Beuc, dr.sc. - znanstveni savjetnik I
4. Katica Biljaković, dr.sc. - znanstveni savjetnik II
5. Nazif Demoli, dr.sc. - znanstveni savjetnik I
6. Đuro Drobac, dr.sc. - viši znanstveni suradnik
7. Jadranko Gladić, dr.sc. - stručni suradnik II
8. Branko Gumhalter, dr.sc. - znanstveni savjetnik II
9. Bojana Hamzić, dr.sc. - znanstveni savjetnik I
10. Berislav Horvatić, dr.sc. - znanstveni suradnik
11. Vlasta Horvatić, dr.sc. - viši znanstveni suradnik
12. Jovica Ivkov, dr.sc. - viši znanstveni suradnik
13. Marko Kralj, dr.sc. - znanstveni suradnik
14. Irena Labazan, dr.sc. - znanstveni suradnik
15. Davorin Lovrić, dr.sc. - znanstveni suradnik
16. Jagoda Lukatela, dr.sc. - viši znanstveni suradnik
17. Željko Marohnić, dr.sc. - viši znanstveni suradnik
18. Ognjen Milat, dr.sc. - znanstveni savjetnik I

19. Slobodan Milošević, dr.sc. - znanstveni savjetnik II
20. Milorad Milun, dr.sc. - znanstveni savjetnik II
21. Marko Miljak, dr.sc. - znanstveni savjetnik I
22. Mladen Movre, dr.sc. - znanstveni savjetnik II
23. Miroslav Očko, dr.sc. - viši znanstveni suradnik
24. Petar Pervan, dr.sc. - znanstveni savjetnik I
25. Goran Pichler, dr.sc. - znanstveni savjetnik II
26. Mladen Prester, dr.sc. - znanstveni savjetnik I
27. Hrvoje Skenderović, d.sc.- viši znanstveni suradnik
28. Ana Smontara, dr.sc. - viši znanstveni suradnik
29. Damir Starešinić, dr.sc.- znanstveni suradnik
30. Krešimir Šaub, dipl.inž.- stručni suradnik II
31. Antonio Šiber, dr.sc.- viši znanstveni suradnik
32. Silvia Tomić, dr.sc. - znanstveni savjetnik II
33. Eduard Tutiš, dr.sc. - viši znanstveni suradnik
34. Katarina Uzelac, dr.sc. - znanstveni savjetnik I
35. Čedomil Vadla, dr.sc. - znanstveni savjetnik II
36. Zlatko Vučić, dr.sc. - znanstveni savjetnik I
37. Tomislav Vuletić, dr.sc. - znanstveni suradnik
38. Veljko Zlatić, dr.sc. - znanstveni savjetnik II

### **Znanstveni novaci**

1. Damir Aumiler, dr.sc.
2. Ivan Balog, dipl.inž.
3. Osor Slaven Barišić, dr.sc.
4. Damir Dominko, dipl.inž.
5. Mirta Herak, dipl.inž.
6. Tomislav Ivek, dipl.inž.
7. Ivan Jurić, dipl.inž., od 10.09.2007.
8. Sanja Krajinović, prof. fizike
9. Nikša Krstulović, dipl.inž.
10. Ivo Pletikosić, dipl.inž.
11. Petar Popčević, dipl.inž. od 16.11.2007.
12. Krešimir Salamon, dipl.inž.
13. Juraj Savitz-Nossan, dipl.inž.
14. Igor Smiljanić, dipl.inž.
15. Kristina Šariri, dipl.inž.
16. Željko Šimek, prof. fizike, do 15.08.2007.
17. Silvije Vdović, dipl.inž.
18. Nataša Vujičić, dipl.inž.
19. Ivica Živković, dr.sc.

### **Tehničari**

1. Krešimir Drvodelić - tehnički suradnik
2. Ivan Čičko - tehnički suradnik



3. Branko Kiš - viši tehničar
4. Josip Pogačić - viši tehničar
5. Žarko Vidović - tehnički suradnik
6. Alan Vojnović - viši tehničar

### **Opći i zajednički poslovi**

1. Mladen Bakale - ekonom
2. Ivanka Bakmaz - računovodstveni referent-financijski knjigovođa
3. Marica Fučkar-Marasović, prof. - voditelj odjeljka I vrste
4. Željko Kneklin, dipl.oec. - viši stručni savjetnik ekonomske struke
5. Nevenka Kralj - računovodstveni referent-financijski knjigovođa
6. Mirjana Ličina - radno mjesto IV vrste, od 01.01.2007.
7. Vesna Lončarević - radno mjesto IV vrste
8. Mario Madunić - tehnički suradnik
9. Darko Oštarčević - radno mjesto IV vrste
10. Jadranka Rajić, dipl. pravnik - voditelj odjeljka I vrste
11. Željko Rogin - tehnički suradnik, do 01.09.2007.
12. Marija Sobol - upravni referent
13. Zrinka Šumanovac - voditelj računalnog središta, do 31.03.2007.
14. Nataša Šuput - radno mjesto IV vrste
15. Draženka Zajec - radno mjesto IV vrste
16. Jozo Zovko - tehnički suradnik, od 19.11.2007.

Ukupno 79 zaposlenika.

## 2. IZVJEŠTAJI O RADU NA PROJEKTIMA TRAJNE ISTRAŽIVAČKE DJELATNOSTI

Temeljna znanstvena istraživanja organizirana su po znanstveno-istraživačkim programima/projektima financiranim od Ministarstva znanosti i tehnologije RH:

### Programi

- 1) “Nove tehnologije atomske, molekularne, optičke i plazma fizike”  
voditelj dr.sc. Goran Pichler
- 2) “Fizikalni procesi u materijalima sa novim vrstama atomskog i magnetskog uređenja”  
voditelj dr.sc. Edurad Tutiš
- 3) “Inteligentni materijali- novi materijali temeljeni na znanju”  
voditelj dr.sc. Veljko Zlatić
- 4) “Korelacije u kompleksnim sustavima: od fizike do biotehnologije”  
voditelj dr.sc. Katica Biljaković
- 5) “Struktura i dinamika samoorganiziranih nanoskopskih sistema”  
voditelj dr.sc. Petar Pervan

### Projekti

- Silvia Tomić, 035-0000000-2836 “Jako korelirani anorganski, organski i bio materijali” (samostalni projekt)
- Eduard Tutiš, 035-0352826-2847 “Modeliranje fizikalnih svojstava materijala s izraženom frustracijom ili neredom” (program “Fizikalni procesi u materijalima sa novim vrstama atomskog i magnetskog uređenja”)
- Ana Smontara, 035-0352826-2848 “Transport topline i naboja u jako frustriranim magnetima i srodnim materijalima” (program “Fizikalni procesi u materijalima sa novim vrstama atomskog i magnetskog uređenja”)
- Miroslav Očko, 035-0352827-2841 “Materijali s elektronskom strukturom modeliranom modernim tehnikama pripreme” (program “Korelacije u kompleksnim sustavima: od fizike do biotehnologije”)
- Katica Biljaković, 035-0352827-2842 “Kompleksni modulirani sistemi: nova stanja, defekti i magnetski efekti” (program “Korelacije u kompleksnim sustavima: od fizike do biotehnologije”)

- Antonio Šiber, 035-0352828-2837 “Energetskom kompeticijom uvjetovani oblici i strukture nanometarskih sustava” (program “Struktura i dinamika samoorganiziranih nanoskopskih sistema”)
- Branko Gumhalter, 035-0352828-2839 “Kvantna stanja, ultrabrza dinamika i dekoherencija u nanostrukturnim sistemima” (program “Struktura i dinamika samoorganiziranih nanoskopskih sistema”)
- Petar Pervan, 035-0352828-2840 “Elektronska i kristalna struktura poduprtih samoorganiziranih nano-sistema” (program “Struktura i dinamika samoorganiziranih nanoskopskih sistema”)
  
- Ognjen Milat, 035-0352843-2844 “Veza strukturnih i fizikalnih svojstava materijala kontrolirane dimenzionalnosti” (program “Inteligentni materijali- novi materijali temeljeni na znanju”)
- Mladen Prester, 035-0352843-2845 “Kvantni magneti: Osnovna stanja u kompeticiji” (program “Inteligentni materijali- novi materijali temeljeni na znanju”)
- Marko Miljak, 035-0352843-2846 “Defekti i interakcije izmjene u nižedimenzionalnim ( $D < 3$ ) magnetskim sistemima” (program “Inteligentni materijali- novi materijali temeljeni na znanju”)
- Veljko Zlatić, 035-0352843-2849 “Termoelektrična i termomagnetska svojstva materijala s jakim korelacijama” (program “Inteligentni materijali- novi materijali temeljeni na znanju”)
  
- Čedomil Vadla, 035-0352851-2853 “Spektroskopija Rydbergovih atoma i molekula” (program “Nove tehnologije atomske, molekularne, optičke i plazma fizike”)
- Nazif Demoli, 035-0352851-2854 “Razvoj digitalnih postupaka u holografiji i interferometriji” (program “Nove tehnologije atomske, molekularne, optičke i plazma fizike”)
- Slobodan Milošević, 035-0352851-2856 “Laserska spektroskopija hladne plazme za obradu materijala” (program “Nove tehnologije atomske, molekularne, optičke i plazma fizike”)
- Goran Pichler, 035-0352851-2857 “Femtosekundna laserska fizika atoma i molekula” (program “Nove tehnologije atomske, molekularne, optičke i plazma fizike”)
- dr.sc. Robert Beuc, (prijedlog projekta na recenziji) "Fizika atoma i molekula u ekstremnim uvjetima" (program “Nove tehnologije atomske, molekularne, optičke i plazma fizike”)

- Zlatko Vučić, (prijedlog projekta na recenziji) "Rast i morfologija kristala ravnotežnog oblika površine" (program "Nove tehnologije atomske, molekularne, optičke i plazma fizike")
- Katarina Uzelac, (prijedlog projekta na recenziji) "Kritične pojave i sustavi izvan ravnoteže"

# JAKO KORELIRANI ANORGANSKI, ORGANSKI I BIOMATERIJALI (035-000000-2836)

**GLAVNI ISTRAŽIVAČ:** dr.sc. Silvia Tomić, znanstveni savjetnik  
**SURADNICI:** dr.sc. Bojana Hamzić, znanstveni savjetnik  
dr.sc. Tomislav Vuletić, znanstveni suradnik  
dipl.inž. Tomislav Ivek, znanstveni novak  
mr.sc. Sanja Dolanski Babić, asistent\*  
dr.sc. Sanja Krča, znanstveni suradnik\*\* (do 30.11.2007.)

\* zaposlena na Medicinskom fakultetu, Sveučilište u Zagrebu

\*\* zaposlena na Institutu Ruđer Bošković u Zagrebu (do 30.11.2007.)

## Opis istraživanja

### *Istraživanja u domeni fizike kondenzirane materije*

Analiza rezultata istraživanja poddopiranih jednodimenzionalnih kuprata  $(La,Y)_y(Sr,Ca)_{14-y}Cu_{24}O_{41}$  građenih od lanaca i ljestvica (u kojima se smatra da su sve šupljine odgovorne za transport smještene na lancima) sugerira da u sistemima s  $y < 3$  ljestvice bitno doprinose transportnim svojstvima (anizotropija u vodljivosti te široki maksimum u logaritamskoj derivaciji otpornosti su svojstva koja nalazimo u potpuno dopiranim sistemima u kojima je dio šupljina smješten na ljestvicama koje su nositelji transporta i odgovorne za supravodljivost) (suradnja sa M.Dressel, Sveučilište Stuttgart). Eksperimentalna istraživanja sistema s jakim elektronskim korelacijama BaVS koja uključuju mjerenja dc električne vodljivosti, nelinearne dc vodljivosti i dielektrične relaksacije u temperaturnom rasponu 4 K – 300 K su izvršene na 10 različitih monokristala, izvršena je analiza i napisana publikacija (recenzija u tijeku). Opažena dielektrična relaksacija je pridjeljena kolektivnim pobuđenjima orbitalnog uređenja koje se pojavljuje na metal-izolator faznom prijelazu na 70 K dok se dugodosežno uređenje uspostavlja na magnetskom prijelazu na 30 K (suradnja s L.Forro, EPFL). Eksperimentalna istraživanja Hallovog efekta i anizotropije u vodljivosti kvazi-1D kuprata  $Sr_{14-x}Ca_xCu_{24}O_{41}$  za različite koncentracije x su dovršena, pisanje publikacije je u tijeku. Dobiveni rezultati nam daju nove informacije o broju nosioca naboja koji sudjeluju u transportu, a time indirektno i odgovor na ključno pitanje o redistribuciji šupljina između podsistema lanaca i ljestvica do koje dolazi supstitucijom izovalentnog Sr sa Ca. Ustanovili smo da za koncentracije  $x < 11$   $Sr_{14-x}Ca_xCu_{24}O_{41}$  slijedi ponašanje poznato za konvencionalne poluvodiče (otpornost i Hallov koeficijent slijede sličnu ovisnost o temperaturi- aktivaciono ponašanje), dok za  $x=11.7$  transportna svojstva pokazuju sličnosti sa visokotemperaturnim supervodičima (suradnja sa A.Hamzić, M.Basletić, E.Tafra, PMF; M.Dressel, Sveučilište Stuttgart). Kao nastavak naših istraživanja faznog dijagrama Bechgaardovih spojeva, ponudili smo uz opis stanja nekonvencionalnog vala gustoće spina i objašnjenje nepostojanja supravodljivog stanja

za  $(\text{TMTSF})_2\text{NO}_3$ : kao posljedicu anionskim uređenjem (ispod 45K) povezanim razbijanjem inverzne simetrije. Rad je u postupku prihvaćanja u PMC Physics B journal (on-line časopis) (suradnja sa K. Maki, USC, M. Basletić, PMF).

### *Istraživanja u domeni fizike meke materije*

Istraživanja uključuju mjerenja dc električne vodljivosti i dielektrične relaksacije, pH faktora, UV spektrofotometrije i elektroforeze u funkciji koncentracije i ionske jakosti u svrhu određenja fundamentalnih prostornih skala. 146bp Na-DNA u jako razrijeđenim vodenim otopinama pokazuje dva dielektrična moda: u granici niske soli prostorna skala visokofrekventnog moda skalira s srednjim razmakom između DNA lanaca u otopini, dok je skala niskofrekventnog moda točno jednaka kontur dužini DNA lanca. U istoj granici je ustanovljeno da te skale ne ovise o konformaciji DNA. Nasuprot tome, s povećanjem dodane soli karakteristična skala niskofrekventnog moda se smanjuje na niskim DNA koncentracijama, vjerojatno uslijed dinamički formiranih denaturacijskih mjehurića u blizini denaturacijskog praga (suradnja s R. Podgornik, Sveučilište u Ljubljani i Institut J. Stefan, A. Omerzu, Institut J. Stefan i F. Livolant, Laboratoire de Physique des Solides, Orsay). T. Vuletić je u sklopu poslijedoktorskog boravka (F. Livolant, Laboratoire de Physique des Solides, Orsay) istraživao uređene faze s visokom napučenosti biomakromolekulama, jer se funkcije žive stanice odvijaju upravo u takvim okruženjima. Specifično, istraživao je protein RecA (tehnikama ekstrakcije i purifikacije proteina; karakterizacija dobivenog materijala fizikalnim metodama), koji u kompleksu s DNA stvara nukleoproteinske filamente, bliske po strukturi samoj DNA. Formiranje faze tekućih kristala (u analogiji s fazama same DNA), kao primjera faze visoke napučenosti je postignuto, no preostaje daljnji rad na kvantifikaciji uvjeta formiranja i definiranju faznog dijagrama.

### ***Strongly correlated inorganic, organic and biomaterials***

#### *Novel collective electronic phases in the condensed matter*

Results on the underdoped quasi-1D cuprates  $(\text{La}, \text{Y})_y (\text{Sr}, \text{Ca})_{14-y} \text{Cu}_{24} \text{O}_{41}$  have revealed for the chains in  $y < 3$  systems the similar order of magnitude of conductivity anisotropies as for the ladders in the fully doped systems. This together with the wide doped-ladders-like maxima in logarithmic derivation of resistivity suggest that ladders still contribute noticeably to electrical properties in the underdoped systems in which the chains were thought to be the only electrical transport channel. The observed dielectric relaxation in the quasi-1D, two band system with strong electron correlations  $\text{BaVS}_3$  was attributed to the collective excitations of an orbital ordering which sets in at the metal-to-insulator phase transition at 70 K and develops the long-range order below the magnetic transition at 30 K. Besides recently proposed that the SDW state below 9K in  $(\text{TMTSF})_2\text{NO}_3$  should be unconventional as seen from the angle dependent magnetoresistance oscillation we proposed that the absence of the superconductivity is due to the inverse symmetry breaking associated with the anion ordering at 45 K. The Hall effect measurements of fully doped quasi-1D cuprates  $\text{Sr}_{14-x} \text{Ca}_x \text{Cu}_{24} \text{O}_{41}$  have shown that an increase of the isovalent Ca content (leading to only a small increase of the hole density) manifests as

conventional semiconductor up to  $x < 11.5$ , while for  $x = 11.5$  the transport properties show similarity with HTSC cuprates.

#### *Charged biopolymers in soft matter physics*

Short 146bp DNA fragments in dilute solutions demonstrate two dielectric modes. In low added salt regime, the length scale of the high-frequency mode scales as the average separation between DNAs, though it is smaller in absolute magnitude, whereas the length scale of the low-frequency mode is equal to the contour length of DNA. These fundamental length scales in low added salt regime do not depend on whether DNA is in a double stranded or single stranded form. On the other hand, with increasing added salt, the characteristic length scale of low-frequency mode diminishes at low DNA concentrations probably due to dynamical formation of denaturation bubbles and/or fraying in the vicinity of DNA denaturation threshold. The scope of T. Vuletić's postdoc were the studies of biomacromolecular dense phases, as functional structures of living cells. Specifically, RecA protein, which forms helicoidal nucleoprotein filaments with DNA, was studied, from extraction and purification to characterisation of the material with physical methods. Liquid crystalline phase, which formed in analogy with DNA phases, was the goal he realised, however, the quantification of formation conditions and the phase diagram still have to be worked on.

#### **Popis radova**

##### **Redovni radovi u CC časopisima**

1. S. Tomić, S. Dolanski Babić, T. Vuletić, S. Krča, D. Ivanković, L. Griparić and R. Podgornik, *Dielectric relaxation of DNA aqueous solutions*, Phys.Rev.**E75**, 021905, 1-12 (2007).
2. K.Maki, M.Basletić, B.Korin-Hamzić and S. Tomić, *Hidden symmetries in Bechgaard salt (TMTSF)<sub>2</sub>NO<sub>3</sub>*, Phys.Rev.**B75**, 052409, 1-4 (2007).
3. B.P.Gorshunov, A.A.Volkov, A.S.Prokhorov, I.E.Spektor, J.Akimitsu, M.Dressel, G.J.Nieuwenhuys, S.Tomić and S.Uchida, *Terahertz BWO spectroscopy of conductors and superconductors*, Quantum Electronics **37**, 916-923 (2007).

##### **Pozvana predavanja na znanstvenim skupovima**

1. S.Tomić. *Kompleksna i nelinearna dinamika uređenih struktura naboja i spina*, 5. znanstveni sastanak Hrvatskog fizikalnog društva, Primošten (5. - 8. listopada 2007.).

##### **Sudjelovanje na znanstvenim skupovima**

- 1.T.Vuletić, E.Raspaud, A.Leforestier, M. Renouard, F. Livolant, *DNA-recA protein complexes*, 4<sup>th</sup> CIPSNAC Workshop, Lund, Sweden (12.-13.03.2007.), (predavanje).

2. T.Vuletić, E.Raspaud, A.Leforestier, M. Renouard, F. Livolant, *Packing of monodisperse DNA-recA protein complexes*: 6<sup>th</sup> European Biophysics Congress, London, UK (14.-18.07.2007.), (poster).
3. S.Tomić, T.Vuletić, S.Dolanski Babić, T.Ivek, S.Krča, L.Griparić and R.Podgornik, *Fundamental length scales in semidilute Na-DNA solutions*, European polymer congress EPF 2007, Portorož, Slovenia (2. - 6.07. 2007.), (predavanje).
4. T.Vuletić, E.Raspaud, A.Leforestier, M. Renouard, F. Livolant, *Packing of monodisperse DNA-recA protein complexes*: 6<sup>th</sup> International Conference on Biological Physics, Montevideo, Uruguay (26.-31.08.2007.), (poster).
5. T. Vuletić, S.Dolanski Babić, S. Tomić, R. Podgornik, *Dielectric spectroscopy of DNA aqueous solutions*, 6<sup>th</sup> International Conference on Biological Physics, Montevideo, Uruguay (26.-31.08.2007.), (poster).
6. E. Tafra, B. Korin-Hamzić, M.Basletić, A.Hamzić, M.Dressel, *Hallov efekt kvazi-jednodimenzionalnih kuprata*, 5. znanstveni sastanak Hrvatskog fizikalnog društva, Primošten (5. - 8. listopada 2007.), (poster).
7. T.Ivek, T.Vuletić, B.Korin-Hamzić and S.Tomić, *Anizotropna dc i niskofrekventna vodljivost poddopiranih  $(La, Y)_y(Sr, Ca)_{14-y}Cu_{24}O_{41}$* , 5. znanstveni sastanak Hrvatskog fizikalnog društva, Primošten (5. - 8. listopada 2007.), (poster).
8. T.Vuletić, T.Ivek, B.Korin-Hamzić and S.Tomić, *Odgovor naboja i supravodljivost kod kvazijednodimenzionalnih kuprata  $(Sr, Ca)_{14}Cu_{24}O_{41}$* , 5. znanstveni sastanak Hrvatskog fizikalnog društva, Primošten (5. - 8. listopada 2007.), (poster).
9. S.Dolanski Babić, T.Vuletić, T.Ivek, S.Krča, S.Tomić, L.Griparić and R.Podgornik, *Dielektrična svojstva vodenih otopina genomske DNA*, 5. znanstveni sastanak Hrvatskog fizikalnog društva, Primošten (5. - 8. listopada 2007.), (poster).
10. S.Tomić, T.Ivek, T.Vuletić, A.Akrap, H.Berger and L.Forro, *BaVS<sub>3</sub>: Dielectric spectroscopy study*, Workshop on the physical properties of BaVS<sub>3</sub>, Laboratoire de Physique des Solides, Orsay, France (6. prosinca 2007.), (predavanje).
11. S.Tomić, S.Dolanski Babić, T.Ivek, T.Vuletić, S.Krča, L.Griparić, F.Livolant and R.Podgornik, *Fundamental length scales in Na-DNA solutions: semidilute versus dilute regime*, 2nd Christmas Biophysics Workshop, Bled, Slovenia (18. - 19. prosinca 2007), (predavanje).
12. S.Dolanski Babić, T.Ivek, T.Vuletić, S.Tomić and R.Podgornik, *Dielectric relaxation in Hyaluronic acid sodium salt*, 2nd Christmas Biophysics Workshop, Bled, Slovenia (18. - 19. prosinca 2007), (predavanje).



13. T.Vuletić, E. Raspaud, M. Renouard, F. Livolant, J. Rädler, *Packing DNA with proteins*, 2nd Christmas Biophysics Workshop, Bled, Slovenia (18. - 19. prosinca 2007), (predavanje).

14. T.Vuletić, A. Toma, R. C. Evans, M. Renouard, F. Livolant, *Packing DNA with proteins*: 5<sup>th</sup> CIPSNAC Workshop, München, Germany (14.-15. studenog 2007.), (predavanje).

15. T.Ivek, SynCro '07 - Prva hrvatska ljetna škola sinkrotronskog zračenja, Sveučilište u Rijeci, Rijeka (3.-7. rujna 2007.)

### **Održani seminari**

1. B. Hamzić, *Hall effect in quasi-one dimensional organic and inorganic systems*, Gakushuin University, Tokyo, Japan (travanj 2007).

### **Međunarodna znanstvena suradnja**

#### **Neposredna suradnja**

1. zajednička istraživanja s prof.A.Hamzić i dr.sc.M.Basletić, Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

2. zajednička istraživanja s prof.K.Maki, University of Southern California, Los Angeles, California, USA.

3. zajednička istraživanja s prof. M.Dressel, 1.Physikalisches Institut, Universität Stuttgart.

4. zajednička istraživanja s prof. L.Forro, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne

5. zajednička istraživanja s Prof.R.Podgornik, Sveučilište u Ljubljani i Institut J.Stefan.

6. zajednička istraživanja s dr.sc.A.Omerzu, Institut J.Stefan.

### **Usavršavanja u inozemstvu**

1.T.Vuletić, postdoktorsko usavršavanje, Laboratoire de Physique des Solides, Université Paris-Sud XI, Orsay, Francuska, grupa prof.. F.Livolant (do 30. studenog 2007.).

### **Ostalo**

1.B. Hamzić: članica "Stručnog povjerenstva za školske udžbenike" MZOŠ-a

2.B. Hamzić : članica radne grupe HFD-a „Žene u fizici“

3.S.Tomić, predsjednica HFD-a

# MODELIRANJE FIZIKALNIH SVOJTAVA MATERIJALA S IZRAŽENOM FRUSTRACIJOM ILI NEREDOM (035-0352826-2847)

**Glavni istraživač:** Dr. sci. Eduard Tutiš, viši znanstveni suradnik

**Suradnici:** Prof. dr. sci. Ivo Batistić, PMF, Zagreb  
Doc. dr. sci. Ante Bilušić, FPMZK, Split  
dipl. inž. Ivan Jurić (od rujna.2007. godine)

## Opis istraživanja

U okviru istraživanja u području organskih neuređenih materijala i na njima zasnovanim uređajima, proveli smo numeričko modeliranje rekombinacije na granici dvaju organskih medija, te odredili ovisnost udarnog presjeka o nizu parametara sustava. Ovi rezultati omogućuju razumijevanje rekombinacije u sustavima s visokim energijskim barijerama na granicama slojeva, promjenu efikasnosti proizvodnje svjetla u ovisnosti visine barijere i jakosti električnog polja, te u odnosu ekscitonskog i ekscipleksnog kanala u rekombinaciji. Numerički smo modelirali konkretne familije višeslojnih organskih dioda s visokim energijskim barijerama. To su uređaje su u raznim kombinacijama pripravili suradnici na Institut Galilée, Université de Paris 13. Nadalje, modelirali smo rad memorijskih uređaja zasnovanih na nanočesticama metala implantiranim u tanki organski film. Postavili smo prvi analitički model za ove, relativno nedavno otkrivene uređaje, te smo proveli simulacije ponašanja uređaja pri zapisivanju, čitanju, brisanju, te u stanju u kojem se informacija čuva.

Razvili smo i usvojili nekoliko metoda za analizu električne i toplinske vodljivosti te termoelektričnih svojstava u kompleksnim metalnim slitinama i srodnim materijalima. Provedene analize omogućuju su uvid u spektralna svojstva elektrona i fonona, zastupljenost pojedinih procesa u njihovom raspršenju, te u mikroskopsko porijeklo fizikalnih svojstava ovih, tehnološki vrlo zanimljivih, materijala.

U okviru istraživanja u području elektronskih sustava s jakim korelacijama i magnetskim frustracijama, radili smo na objašnjenju anomalnih transportnih svojstava u materijalu piroklorne strukture,  $\text{KOs}_2\text{O}_6$ . Anomalno ponašanje je posljedica raspršenja elektrona na jako anharmoničkom titranju atoma kalija u tetraedarskim šupljinama koje formiraju atomi osmija ("modovi zvečke") Radili smo također na razumijevanju promjena u elektronskim svojstvima materijala  $1\text{T-TaS}_2$  pri promjeni temperature i tlaka, te na scenariju nastanka supravodljivosti. Materijal je Mottov izolator ispod 190K na ambijentalnom tlaku, te razvija niz stanja vala gustoće naboja (VGN). U velikom rasponu tlakova od 2 do 25 GPa je supravodljiv, a temperatura prijelaza gotovo da ne ovisi o tlaku. Argumentirali smo da su u domenama nemetalne, skoro-sumjerljive VGN faze, u kojoj se supravodljivost najprije pojavljuje, razvija dopirano Mottovo stanje, te da to stanje pomaže nastanku supravodljivih korelacija u područjima između domena.

Na rad na projektu značajno utječe suradnja s ostalim projektima u programu, te rad na zajedničkim problemima u okviru formalnih i neformalnih projekata međunarodne suradnje.

### ***Modeling the physical properties of materials with marked frustration or disorder***

In the framework of investigation of the organic disordered materials and devices based on these materials, we did the modeling and numerical simulations of the recombination at heterojunction of organic media. We found the dependence of the recombination cross-section on many parameters that characterize the heterojunction. These results provide an understanding of the recombination in systems with high energy barrier at organic interfaces, and of the change of light-production efficiency as function of the barrier height or the strength of electric field. The relative strength of the exciplex and the exciton channels in the recombination was also modeled. We applied some of these results to analyze the families of devices with high energy barrier, developed experimentally by our collaborators at the Institut Galilée, Université de Paris 13. We also established first analytic model of the recently discovered memory devices based on the metallic nanoparticles implanted in thin organic films. Based on this model, we performed numerical simulations of the behavior of organic memory devices during write, read and erase processes, and established the parameters that determine the capability of device to store information.

In the framework of complex metallic alloys we developed and acquired several methods for analysis of electrical, thermal and thermoelectric properties. Applied on a number of compounds, this analysis provided insights into the spectral properties of electrons and phonons, the importance of various processes in their scattering, and the origin of physical properties of these technologically interesting compounds.

In the framework of the investigation of electronic systems with strong correlations and magnetic frustrations, we have been working on explaining the anomalous transport properties in material with pyrochlore structure,  $\text{KOs}_2\text{O}_6$ . Anomalous behavior turns to be a consequence of scattering of electrons on highly anharmonic oscillations of the potassium atom within the tetrahedron formed by osmium atoms (“rattling models”). We have also been working on the evolution of the electronic properties of the 1T-TaS<sub>2</sub> material, as temperature and pressure is varied, and in particular, on the understanding of the origin of superconductivity. This material is known to develop the Mott state below 190 K at ambient pressure, as well as the series of charge-density-wave (CDW) states. In wide range of pressures, between 2 and 25 GPa, the temperature of the superconducting phase transition does not depend on pressure. Upon pressurization the superconductivity develops from the non-metallic, nearly commensurate CDW phase, composed of domains and domain walls. We argued that the superconductivity develops within metallic domain-walls, while the doped Mott state simultaneously exists within domains. The mixture of two phases seems to be instrumental for the development of superconductivity in 1T-TaS<sub>2</sub> and several other, recently studied, quasi-two dimensional systems.

## Objavljeni radovi

### Redovni radovi u CC časopisima

Akrap A, Tutiš E, Kazakov, SM, Zhigadlo, ND, Karpinski, J, Forro L, *Manifestations of fine features of the density of states in the transport properties of KOs2O6*. Physical Review B. **75** (2007) , 17; 172501

Dolinšek J., Jeglič P., Komelj M., Vrtnik S., Smontara, A., Smiljanić I., Bilušić A. Ivkov J., Stanić., Zijlstra ES., Bauer B., Gille P. *Origin of anisotropic nonmetallic transport in the Al80Cr15Fe5 decagonal approximant*, Phys. Rev. B **76**, (2007) 174207.

Dolinšek J, Vrtnik S, Klanjšek M, Jagličić Z, Smontara A, Smiljanić I, Bilušić A, Yokoyama Y, Inoue A, Landauro CV. *Intrinsic electrical, magnetic, and thermal properties of single-crystalline Al64Cu23Fe13 icosahedral quasicrystal: experiment and modeling*. Phys. Rev. B vol.**76**, (2007) 54201

### Sudjelovanje na znanstvenim skupovima

I. Jurić, E. Tutiš, I. Batistić , *Udarni presjek za rekombinaciju na granici dva neuređena medija*, Četvrti znanstveni sastanak Hrvatskog fizikalnog društva Primošten, Hrvatska, 5.-7. listopada, 2007. godine, knjiga sažetaka, strana 119

A. Marunović, I. Batistić, E. Tutiš, *Tuneliranje i polaronska stanja na metal-molekula-metal spoju*, Četvrti znanstveni sastanak Hrvatskog fizikalnog društva Primošten, Hrvatska, 5.-7. listopada, 2007. godine, knjiga sažetaka, strana 64

E. Tutiš, H. Houili, I. Batistić , *Modeliranje organskih memorija s metalnim nanočesticama*, Četvrti znanstveni sastanak Hrvatskog fizikalnog društva, Primošten, Hrvatska, 5.-7. listopada, 2007. godine, knjiga sažetaka, strana 139

B. Sipos, A. Kuzmartseva, A. Akrap, H Berger, R. Gaal, E. Tutiš, L. Forro *High pressure study of 1T-TaS2: from insulator to superconductivity*, 2007 Swiss Workshop on Materials with Novel Electronic Properties (MaNEP) , 28-30. rujan 2007, Les Diablerets, Švicarska

### Studijski boravci

E. Tutiš, bio je pozvani znanstvenik na *Laboratoire de Physique des Lasers Institut Galilée*, Université Paris 13, Francuska, u ožujaku 2007. godine,

E. Tutiš više puta u 2007.-oj godini je boravio na EPFL Lausanne, u okviru Swiss-Croatian Joint Resaerch Project SCOPES IB7320-111044 *"Thermal transport and magnetic properties in highly frustrated magnets"*

## **Međunarodna znanstvena suradnja**

### **Sudjelovanje na projektima**

Swiss-Croatian Joint Resaerch Project SCOPES, "Thermal transport and magnetic properties in highly frustrated magnets"

*Highly Frustrated Magnetism*, ESF Research Networking Programme

*Complex Metallic Alloys*, European Network of Exelence, 6th Framework Programme

### **Neposredna suradnja**

Marie-Claude Castex, Sébastien Chénais, Sébastien Forget  
Laboratoire de Physique des Lasers, Institut Galilée, Université Paris 13,

Dr. Frank Nüesch, Functional Polymers, EMPA, Dübendorf, Švicarska

Hocine Houili, Programme de génie microélectronique, Département d'informatique,  
L'Université du Québec à Montréal, Québec, Montreal, Canada

### **Domaća znanstvena suradnja**

Projekt se odvija u okviru programu istraživanja *Fizikalni procesi u materijalima s novim vrstama atomskog i magnetskog uređenja*.

### **Seminari**

*"Towards new generation of models for multilayer organic structures"*, Institute of Computational Physics, Winterthur, Švicarska, veljača 2007. godine

*"Modeling organic multilayer devices"* Laboratoire de Physique des Lasers  
Institut Galilée, Université Paris 13, ožujak 2007. godine

*"Insights into behavior of OLEDs with high energy barriers, through the combination of experimental analysis and numerical modeling"*, Laboratoire de Physique des Lasers,  
Institute Galilée, Université Paris 13, ožujak 2007. godine

# TRANSPORT TOPLINE I NABOJA U JAKO FRUSTRIRANIM MAGNETIMA I SRODNIM MATERIJALIMA (035-0352826-2848)

**Glavna istraživač:** Dr. sc. Ana Smontara, viša znanstvena suradnica

**Suradnici:** Dr. sc. Jagoda Lukatela\*, viša znanstvena suradnica  
Dr. sc. Jovica Ivkov\*\*, viši znanstveni suradnik  
Dipl. inž. Igor Smiljanić, asistent  
Dipl. inž. Petar Popčević, asistent (od 16. 11. 2007)  
Prof. dr. sc. Boran Leontić, profesor emeritus  
Dr. sc. Neven Barišić\*\*\*, znanstveni suradnik  
Dr. sc. Željko Bihar\*\*\*\*, znanstveni suradnik

\* suradnica i na projektu MZOS-a br. 177-0352826-0478

\*\* suradnik i na projektu MZOS-a br. 098-0982886-2895

\*\*\* post doc. od 1. 1. do 30. 6. 2007. financiran od NZZ MZOS-a

\*\*\*\*zaposlen u Tana-patents d.o.o., Zagreb

## Opis istraživanja

Znanstvena aktivnost tijekom 2007. godine nastavljena je u području fizike kvazikristala i kompleksnih metalnih spojeva te kvantnih spinskih sustava. Istraživanja sistema čija su transportna svojstva (električni otpor, termostruja, Hall-ov efekt i toplinska vodljivost) ispitivana u Laboratoriju za proučavanje transportnih problema Instituta za fiziku, proširena su u okviru međunarodnih suradnji na strukturna i NMR istraživanja (Instituta Jožef Stefan, Ljubljana) te magnetska i termodinamička mjerenja (Centru za magnetska mjerenja Instituta za matematiku, fiziku i mehaniku, Sveučilišta u Ljubljani). Rezultati zajedničkih istraživanja analizirani su i interpretirani u suradnji s teorijskim fizičarima (Bose, S. K; Zijstra, E. S.; Landauro, C. V.; ...) te objavljeni u CC časopisima (3 Phys. Rev. B., Intermetallics, 2 Journal of Alloys and Compounds). Navodimo sažeto jednim dijelom zaokružena istraživanja koja su i rezultirala objavljenim radovima:

a) Ispitivanje transporta topline kod monokristala ikozaedarskog kvazikristala  $i$ -Al<sub>72</sub>Pd<sub>19,5</sub>Mn<sub>8,5</sub> u širokom temperaturnom području ukazala su da su uz prisutnost tunelirajućih stanja kao centara raspršenja i defekti u slaganju ("stacking faults") važan izvor fononskog raspršenja, čija prisutnost je utvrđena transmisivskom elektronskom mikroskopijom (rad. 5). Istraživanja transportnih svojstava visokokvalitetnih monokristala ikozaedarskog kvazikristala  $i$ -Al<sub>64</sub>Cu<sub>23</sub>Fe<sub>13</sub> pokazala su, neočekivano ista transportna svojstva (rad 4.).

b) Eksperimentalnim ispitivanjem transportnih i strukturnih svojstava te teorijskim modeliranjem elektronske strukture kvazikristala iz obitelji  $i$ -Al-Pd-Re, kako polikristala tako i monokristala, potvrđeno je da pojava vrlo velike električne otpornosti, jedinstvene kod kvazikristala baziranih na aluminiju, nije intrinzično svojstvo kvaziperiodičke

rešetke već je posljedica velike poroznosti kod polikristaliničnih uzoraka te pojave kisikom bogatih električki izolirajućih područja (rad. 1).

c) Kompleksne metalne slitine gigantskih jediničnih ćelija  $\beta$ -Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub> (1168 at./j.č.) i Bergmanove faze Mg<sub>32</sub>(Al, Zn)<sub>49</sub> (162 at./j.č.) zbog svoje jedinične ćelije bile su pogodne za istraživanje utjecaja kompleksne strukture, koja se odlikuje postojanjem dviju različitih prostornih skala (jedne definirane parametrom jedinične ćelije, a druge podstrukturom grozdova unutar nje), na transportna svojstva ovih specifičnih metalnih materijala. Suprotno očekivanjima, nije nađeno postojanje pseudoprocjepa u elektronskoj gustoći stanja na Fermijevom nivou na temelju čega se zaključilo da kompleksnost strukture ovih sustava nema za posljedicu i jako kompleksnu elektronsku strukturu ( rad. 3 i 6).

d) Istraživana je anizotropija termoelektričnih i toplinskih svojstava, te Hall-ovog učinka monokristala dekahonalnog Al<sub>80</sub>Cr<sub>15</sub>Fe<sub>5</sub> kvazikristala s ciljem objašnjavanja porijekla ne samo anizotropije u fizikalnim svojstvima, poglavito transportnim, već i porijekla poluvodičkog ponašanja u kvaziperiodičkoj ravni i metalnog ponašanja u periodičkom smjeru kod dekahonalnih kvazikristala općenito (rad 2).

Da bi se mogla realizirati istraživanja predviđena planom projekta, tijekom prve godine nabavljen je iz sredstava Švicarskog SNF projekta supravodljivi magnet od 10 T, koji je i testiran. U tijeku je dizajniranje i izrada nosača uzoraka.

### ***Thermal and charge transport in highly-frustrated magnets and related materials***

During the 2007. we have continued our scientific activity in the field of quasicrystals and complex metallic alloys and quantum spin systems. The investigations of transport properties (electrical resistivity, thermopower, Hall coefficient and thermal conductivity) of these systems, in the *Laboratory for the Study of Transport Problems*, Institute of Physics, were extended by the structural and NMR investigations (Institute J. Stefan, Ljubljana) as well as magnetic and thermodynamic measurements (*Center for Magnetic Measurements*, Institute of Mathematics, Physics and Mechanics, Ljubljana) in the framework of the international cooperation. We have interpreted the results of the common experiments in collaboration with the theoreticians (Bose, S. K.; Zijstra, E. S.; Landauro, C. V.; ...) and published them in the international CC journals (3 in Phys. Rev. B, Intermetallics, 2 Journal of Alloys and Compounds). Below, we describe part of our investigations which were published.

a) The results of the heat transport measurements in the wide temperature range of the monocrystal  $i$ -Al<sub>72</sub>Pd<sub>19.5</sub>Mn<sub>8.5</sub> quasicrystals, show that besides the tunneling states which are one of the source of the phonon scattering, the stacking faults are an additional important phonon scattering center. Their existence is supported by the transmission electron microscopy experiment (paper 5). The investigation of the transport properties of the high- quality monocrystal of the  $i$ -Al<sub>64</sub>Cu<sub>23</sub>Fe<sub>13</sub> quasicrystals shows, contrary to expectation, the same transport properties as polycrystalline samples (paper 4).

b) Based on the experimental investigations of the transport and structural properties as well as the theoretical modeling of the electronic structure of the single grain and

polycrystals of the *i*-Al-Pd-Re quasicrystals, we have shown that the enormous high electrical resistivity of polycrystals is not the consequence of the quasiperiodic lattice, but is rather caused by the high porosity and oxidized arc-melted polygrain *i*-Al-Pd-Re samples (paper 1).

c) Complex metallic alloys  $\beta$ -Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub> with giant unit cells (1168 atoms/u.c.) and Bergman phase Mg<sub>32</sub>(Al,Zn)<sub>49</sub> (162 atoms/u.c.) have a specific complex structure, which is characterized by two space-scales; one defined by the parameter of the unit cell and the other by clustered substructure inside it. These systems were used to investigate the influence of the complex structure on their transport properties. Contrary to what was expected, we have not found the pseudogap in the density of states at the Fermi level. Thus we have concluded that, in these systems, the complex metallic structure does not result in the complex electronic structure (papers 3 and 6).

d) We have investigated the anisotropy in the thermoelectric and heat transport properties, as well as the Hall effect of the monocrystalline decagonal Al<sub>80</sub>Cr<sub>15</sub>Fe<sub>5</sub> quasicrystal in order to explain this anisotropy as well as the cause of semiconducting behavior in the quasiperiodic plane and metallic behavior in the periodic direction in the decagonal quasicrystals in general (paper 2).

## Objavljeni radovi

### Redovni radovi u CC časopisima

6. Smontara, Ana; Smiljanić, Igor; Bilušić, Ante; Jagličić, Z.; Klanjšek, M.; Dolinšek, J.; Roitsch, S.; Feuerbacher, M., Electrical, magnetic, thermal transport and thermoelectric properties of the "Bergman phase" Mg<sub>32</sub>(Al, Zn)<sub>49</sub> complex metallic alloy, *Journal of Alloys and Compounds*. **430** (2007) 29-38.

5. Bilušić, Ante; Smontara, Ana; Dolinšek, J.; McGuinness, P.; Ott H. R., Phonon scattering in quasicrystalline *i*-Al<sub>72</sub>Pd<sub>19.5</sub>Mn<sub>8.5</sub>: A study of the low-temperature thermal conductivity, *Journal of alloys and compounds*. **432** (2007) 1-6.

4. Dolinšek, J.; Vrtnik, S.; Klanjšek, M.; Jagličić, Z.; Smontara, Ana; Smiljanić, Igor; Bilušić, Ante; Yokoyama, Y.; Inoue, A.; Landauro, C. V., Intrinsic electrical, magnetic and thermal properties of single-crystalline Al<sub>64</sub>Cu<sub>23</sub>Fe<sub>13</sub> icosahedral quasicrystal., *Physical Review B*. **76** (2007) 054201-1.

3. Dolinšek, J.; Apih, T.; Jeglič, P.; Smiljanić, Igor; Bihar, Željko; Bilušić, Ante; Smontara, Ana; Jagličić, Z.; Feuerbacher, M., Magnetic and transport properties of the giant-unit-cell beta-Al<sub>3.26</sub>Mg<sub>2</sub> complex metallic alloy. *Intermetallics*. **15** (2007) 1367-1376.

2. Dolinšek, J.; Jeglič, P.; Komelj, M.; Vrtnik, S.; Smontara, Ana; Smiljanić, Igor; Bilušić, Ante; Ivkov, Jovica; Stanić, Denis Zijlstra, E. S.; Bauer, B.; Gille, P., Origin of



anisotropic nonmetallic transport in  $\text{Al}_{80}\text{Cr}_{15}\text{Fe}_5$  decagonal approximant. *Physical Review B*. **76** (2007) 174207-174220 .

1. Dolinšek, J.; McGuinness, P. J.; Klanjšek, M.; Smiljanić, Igor; Smontara, Ana; Zijlstra, E.S.; Bose, S. K.; Fisher, I. R.; Kramer, M. J.; Canfield, P. C., Reply to Comment on "Extrinsic origin of the insulating behavior of polygrain icosahedral  $\text{AlPdRe}$  quasicrystals". *Physical Review B*. **76** (2007) ; 216202-3 .

#### **Konferencijski radovi u CC časopisima**

1. Smiljanić, Igor; Barišić, Neven; Smontara, Ana; Forro, Laszlo, Thermoelectric power in  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Pr}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+\delta}$  in a wide temperature range, *Strojarstvo*. **48** (2006) 39-44.

2. Bihar, Željko; Smontara, Ana; Bilušić, Ante; Lukatela, Jagoda; Dolinšek, J. Transport properties of the complex metallic alloy phases, *Strojarstvo*. **48** (2006) 13-16.

#### **Konferencijski rad u međunarodnom časopisu**

1. Smiljanić, Igor; Bilušić, Ante; Bihar, Željko; Lukatela, Jagoda; Leontić, Boran; Dolinšek, J.; Smontara, Ana, Thermoelectrical properties of monocrystalline  $\text{Al}_{64}\text{Cu}_{23}\text{Fe}_{13}$  quasicrystal, *Materials and Technology*. **41** (2007) 255-270.

#### **Ostale vrste radova**

4. Smiljanić, Igor, LHC započinje s radom u svibnju 2008., *Matematičko-fizički list LVIII 1* (2007.-2008.) 60-61.

3. Smontara, Ana, Krunoslav Ljolje, *Matematičko-fizički list LVIII 1*(2007.-2008.) 74

2. Smontara, Ana, Pierre-Gilles de Gennes, *Matematičko-fizički list LVIII 2*(2007.-2008.) 148.

1. Smontara, Ana, Oton Kučera, *Matematičko-fizički list LVII 1* (2006.-2007.) 290.

#### **Pozvana predavanja na međunarodnim školama, radionicama i konferencijama**

A. Smontara

1. *Thermal conductivity of complex metallic alloys*, European School in Materials Science, Ljubljana, Slovenija, 21.-26. svibnja 2007.

2. *Low thermal conductivity of Al-based complex metallic alloys*, Euromat 2007, Nürnberg, Njemačka, 10.-13. rujna 2007.

3. *Probing the spin-gap in the HFM systems by thermal conductivity*, School and Workshop on Highly Frustrated Magnets and Strongly Correlated Systems: From Non-Perturbative Approaches to Experiments, Trst, Italija, 30. srpnja -17. kolovoza 2007.

4. *Heat transport in the Al-based Complex Metallic Alloys*, Quasicrystals, The Silver Jubilee, Tel Aviv, Israel, 14-19. listopada 2007.

### **Sudjelovanje na znanstvenim skupovima**

I. Smiljanić

1. Transportna svojstva  $\text{Co}_{1/3}\text{NbS}_2$  pod visokim tlakom, *Peti znanstveni sastanak HFD-a*, Primošten, 5.- 8. listopada 2007. (poster)

2. Toplinska vodljivost antiferomagneta sa spinskim procijepom, *Peti znanstveni sastanak HFD-a*, Primošten, 5.- 8. listopada 2007. (poster)

3. High pressure transport study of  $\text{Co}_{1/3}\text{NbS}_2$  *School and Workshop on Highly Frustrated Magnets and Strongly Correlated Systems: From Non-Perturbative Approaches to Experiments*, Trst, Italija, 30. srpnja -17 kolovoza 2007. (poster)

4. Heat conduction in spin-gap antiferromagnets, *School and Workshop on Highly Frustrated Magnets and Strongly Correlated Systems: From Non-Perturbative Approaches to Experiments*, Trst, Italija, 30. srpnja -17 kolovoza 2007. (poster)

5. Thermo electrical properties of single-crystalline  $\text{Al}_{64}\text{Cu}_{23}\text{Fe}_{13}$  quasicrystal, 14. Međunarodni znanstveni sastanak s područja vakuumske znanosti in tehnike, Bled, Slovenija, 1. lipnja 2007 (poster).

### **Međunarodna znanstvena suradnja**

1. *Kompleksni metalni spojevi* (ko-voditeljica) bilateralni projekt Instituta za fiziku i Instituta "Jozef Štefan" Ljubljana (Slovenia) (2007.-2008.).

2. *Thermal-transport and magnetic properties of highly frustrated magnets* (ko-voditeljica) SNF-SCOPES projekt Instituta za fiziku i Institut de la Physique de la Matiere Complexe, EPFL, Lausanne, Švicarska (2006.-2008.)

3. *Complex metallic alloys* (CMA), Network of Excellence (NoE), hrvatska predstavница A. Smontara (*guest member* sa svim pravima *full member*) (2005.-2010.).

4. *Highly frustrated magnetism* (HFM), mreža suradnje Europske znanstvene fondacije (ESF), (hrvatska predstavница/koordinatorica) (2005.-2010.).

### **Ostalo**

A. Smontara

a) mentorica doktorskog rada

dipl. ing. Denisa Stanića, znanstvenog novaka Odjela za fiziku Sveučilišta u Osijeku.  
“*Transport naboja i topline kompleksnih metalnih spojeva  $Al_{73}Mn_{27-x}(Pd, Fe)_x$* ”

b) članica organizacijskog odbora međunarodne škole i raionice  
School and Workshop on *Highly Frustrated Magnets and Strongly Correlated Systems*  
„From Non-Perturbative Approaches to Experiments“ (Trst, 30. srpnja - 17. kolovoza  
2007.)

c) recenzentica znanstvenih projekata  
Europske zaklade za znanost (ESF-a)  
Nacionalne zaklade za znanost (NZZ)

d) recenzentica časopisa  
Thin films i Research Letters in Physics

e) sudjelovanje u stručnim i upravnim znanstvenim tijelima  
članica Steering Committee (upravnog odbora) ESF projekta *Highly frustrated magnetism*

f) sudjelovanje u pripremi tematske cjeline Europski i međunarodni projekti  
za Drugi kongres hrvatskih znanstvenika iz domovine i inozemstva, Split, 7.-10.  
svibnja 2007.

g) voditeljstvo projekata za popularizaciju fizike  
urednica za fiziku *Matematičko-fizičkog lista*

J. Ivkov

i) recenzent časopisa  
Journal of Physics: Condensed Matter i Journal of Physics D: Applied Physics

# MATERIJALI SA ELEKTRONSKOM STRUKTUROM MODELIRANOM MODERNIM TEHNIKAMA PRIPRAVE (035-0352827-2841)

**Glavni istraživač:**  
**Suradnici:**

dr. sc. Miroslav Očko, viši znanstveni suradnik  
dr. sc. Ivica Aviani, znanstveni suradnik  
dr. sc. Mirko Stubičar, izv. prof, znanstveni savjetnik  
dr. sc. Nada Stubičar, znanstveni suradnik  
prof. fiz. Željko Šimek, znanstveni novak

## Opis istraživanja

Nastavili smo ispitivanja mehaničkih svojstava sistema slitina kojima istražujemo elektronska svojstva. U  $\text{Yb}_x\text{Lu}_{1-x}\text{Al}_3$  sistemu slitina mikrotvrdoća raste sa porastom koncentracije iterbija. Ovaj rezultat je zanimljiv jer se mikrotvrdoća u sistemu  $\text{Yb}_x\text{Y}_{1-x}\text{InCu}_4$  smanjuje s porastom Yb. Sama ta razlika u ponašanju ukazuje na bitan utjecaj elektronske strukture na Vickersovu mikrotvrdoću. Za koncentracijsku ovisnost mikrotvrdoće u  $\text{Yb}_x\text{Y}_{1-x}\text{InCu}_4$  odlučna je evolucija sistema iz poluvodičkog u metalni karakter. U  $\text{Yb}_x\text{Lu}_{1-x}\text{Al}_3$  sistemu mikrotvrdoću povezujemo sa koncentracijskom ovisnošću temperature valentnih fluktuacija (II1). Potaknuta našim istraživanjima o iznalaženju veza između mehaničkih i elektronskih svojstava grupa prof. Babića na PMF-u istražila je i utvrdila tu vezu u amorfnim slitinama koje proučava. Uočeno je da mikrotvrdoća raste sa porastom gustoće stanja na Fermijevoj nivou (II, II2).

Istraživanja CePt intermetalnog spoja, za koji se smatra da je tipski primjer *Kondo feromagneta*, nisu u skladu s očekivanjima. Naši rezultati mjerenja transportnih svojstava  $\text{Ce}_x\text{La}_{1-x}\text{Pt}$  ne ukazuju na postojanja Kondo interakcije (II3). Zbog toga te eksperimentalne rezultate nismo ni pokušali objaviti u nekom CC časopisu. Međutim uočili smo da nam za interpretaciju tih rezultata pomaže teorijska analiza rezultata mjerenja  $\text{YbInCu}_4$  intermetalnog spoju. Naime, teorijski računi ukazuju da za objašnjenje eksperimentalnih rezultata nije potrebno uvađanje Kondo interakcije, iako je općenito prihvaćeno da je Kondo temperatura tog intermetalnog spoja čak 25 K. Dopiranje itrijem potiskuje valentni fazni prijelaz u  $\text{YbInCu}_4$  stabilizirajući visokotemperaturnu fazu s lokalnim momentom (LM) pri čemu magnetska svojstva LM faze ostaju sačuvana. Zbog toga smo proučavali slitinu  $\text{Yb}_{0.5}\text{Y}_{0.5}\text{InCu}_4$  u kojoj se LM faza proteže do najnižih temperatura. Rezultati mjerenja termodinamičkih i električnih svojstava objašnjeni su u okviru teorije kristalnog polja za lokalizirane  $4f$  magnetske momente iona  $\text{Yb}^{3+}$ , uz energetska shemu s osnovnim stanjem složenim od dva blisko ležeća dubleta,  $\Gamma_6$  i  $\Gamma_7$ , te kvartetom  $\Gamma_8$  kao pobuđenim stanjem, te uz zanemariv Kondo efekt. Predložena energetska shema može bitno pridonijeti razumijevanju međudjelovanja odgovornih za pojavu faznog prijelaza kao i pojava opaženih na niskim temperaturama u  $\text{YbInCu}_4$  srodnim sistemima. Time ta analiza ukazuje da je za objašnjenje faznog prijelaza u  $\text{YbInCu}_4$ , koji je jedan od najdugotrajnijih i važnijih neriješenih problema u okviru "kondoizma", mnogo prikladniji Falicov-Kimbel model u odnosu na Kondo model (II3, II4).

U suradnji s grupom S. S. Saxene iz Cavendish laboratorija, University of Cambridge započeli smo mjerenja transportnih svojstava CeGe pod tlakom. Zbog međusobnog natjecanja Kondo i antiferomagnetske interakcije, CeGe pokazuje složena magnetska svojstva. Ispod  $T_N = 10.5$  K spoj se uređuje antiferomagnetski uz porast električnog otpora, najvjerojatnije zbog formiranja

magnetskog procijepa. Preliminarni rezultati mjerenja pod tlakom pokazuju slabu ovisnost temperature magnetskog prijelaza o tlaku kod malih tlakova.

Izvršena su mjerenja električnog otpora i termostruje intermetalnog spoja  $\text{YbAl}_3$  za koji se smatra da bi se mogao primijeniti kao termoelektrik. Time smo započeli s istraživanjima  $\text{Yb}_x\text{Lu}_{1-x}\text{Al}_3$  sistema slitina. Iz naših mjerenja proizlazi da je područje koherencije (termostruja  $\sim T$  a otpor  $\sim T^2$ ) samo do 35 K, a ne do 100 K. Iznad 40 K do 80 K električni otpor je proporcionalan sa  $T^3$  što ukazuje na fononski doprinos u prisustvu jake interakcije. Karakteristična temperatura sistema određena iz podatke termostruje do 35 K iznosi 1100K. Naši rezultati razlikuju se od rezultata drugih autora, ali su u dobrom slaganju sa nedavno izvršenim optičkim mjerenjima. Analiza rezultata optičkih mjerenja ukazuje na postojanje procijepa u gustoći stanja na Fermijevom nivou. Taj procijep počinje se puniti na oko 40 K, a potpuno isčezne na temperaturama oko 1000 K. Tražimo model koji bi povezoao rezultate mjerenja električnog otpora i termostruje sa fizikalnom slikom koju daju optička mjerenja.

U 2007. u suradnji sa dr. Ivandom sa IRB-a započeta su istraživanja tankih filmova Si:B sistema dobivenog LPVCD metodom u cilju dobivanja za primjenu pogodnog električnog otpornika, ili otpornog termometra (II6). Iako je Si poluvodič, jakim dopiranjem poprima metalni karakter. Takvi tanki filmovi imaju već do sada raznovrsnu primjenu, ali teorijska slika tih slitina nije još razjašnjena. Posebno je zanimljivo i nerazjašnjeno ponašanje na najnižim temperaturama gdje postoji snažan i nagli pad u otporu, a mi smo ga uočili i u termostruji.

### ***Materials with the electronic structure tailored by advanced processing techniques***

We resume the measurements of some mechanical properties of the alloy systems for which we have performed the investigations of electronic properties. In the  $\text{Yb}_x\text{Lu}_{1-x}\text{Al}_3$  alloy system, the Vickers micro-hardness increases with the concentration of the Yb ion. This result is interesting because in the  $\text{Yb}_x\text{Y}_{1-x}\text{InCu}_4$  alloy system the hardness decreases with the increase of the Yb content. This difference alone indicates an important influence of the electronic structure on the Vickers micro-hardness in the investigated alloy systems. For the concentration dependence of the hardness of  $\text{Yb}_x\text{Y}_{1-x}\text{InCu}_4$ , the evolution of the system from semiconducting to conducting character has a decisive role. In  $\text{Yb}_x\text{Lu}_{1-x}\text{Al}_3$ , we correlate the concentration dependence of the hardness with the concentration dependence of the temperature of the valence fluctuation (III). Noticing our investigations on revealing of the correlation between mechanical and electronic structure, the group of prof. Babić from PMF began to investigate and found that the Vickers micro-hardness increases with increasing of the density of the electronic states at the Fermi level in some amorphous systems (I1, II2).

The investigations of the CePt intermetallic compound, which is commonly taken as a typical *Kondo ferromagnet*, are not in accordance to expectations. Our transport properties measurements of the  $\text{Ce}_x\text{La}_{1-x}\text{Pt}$  alloy system do not show the Kondo characteristics (II3). This is the reason why we did not try to publish our experimental results in a CC journal. However, we noticed that for the interpretation of these results, the theoretical analysis of the results of measurements of the  $\text{YbInCu}_4$  intermetallic compound. Namely, the theoretical calculations indicate that for the explanation of the experimental results one does not need to include the Kondo interaction, although it is commonly accepted that the Kondo temperature of  $\text{YbInCu}_4$  is even 25 K. The Y-doping suppresses the valence transition in  $\text{YbInCu}_4$  preserving the magnetic properties of the high-temperature local-moment (LM) phase essentially unchanged down to the lowest measured temperatures. We measured the specific heat, magnetic susceptibility and transport data of the LM phase of  $\text{Yb}_{0.5}\text{Y}_{0.5}\text{InCu}_4$  in the temperature range between 2 K and 300 K, and magnetic fields of 0 T and 5 T. The obtained data can be well explained within the local-

moment crystal field theory for the two close-lying Yb 4f ground state  $\Gamma_6$  and  $\Gamma_7$  doublets, and  $\Gamma_8$  excited-state quartet, and with a very weak or absent Kondo interaction. The crystal field scheme and the Kondo scale proposed by this work, which differ from the ones commonly accepted in literature, can help in better understanding of the interactions that are responsible for the onset of the valence transition and also to elucidate the low-temperature phenomena observed in the LM phase of YbInCu<sub>4</sub>. Besides, this analysis indicate that for the explanation of the phase transition in YbInCu<sub>4</sub>, that is one of the oldest and unsolved problems of "kondoism", more convenient is the Falicov-Kimbel model than the Kondo model (II4, II5).

The intermetallic CeGe exhibits a complex magnetic behavior due to the interplay between the on-site Kondo coupling and the off-site antiferromagnetic coupling. At  $T_N = 10.5$  K, the compound orders antiferromagnetic exhibiting an upturn in the resistivity, probably due to the formation of magnetic gap. In collaboration with group of S.S. Saxena of The Cavendish Laboratory, University of Cambridge, we investigate the transport properties of on CeGe compound by applying both pressure and magnetic field across the magnetic phase transition. Preliminary results show a week pressure dependence of the transition temperature.

We performed the measurements of electrical resistivity and thermopower of the YbAl<sub>3</sub> intermetallic compound ant therewith, we started with the investigation of the Yb<sub>x</sub>Lu<sub>1-x</sub>Al<sub>3</sub> alloy system. YbAl<sub>3</sub> is supposed to be used as a thermoelectric. The results of our measurements are in an agreement at higher temperature with the results found in literature. However, they differ below 100 K. From our measurements, it comes out that the coherence persists up to only 35 K (thermopower  $\sim T$  and resistivity  $\sim T^2$ ), but not up to 100 K. Above 40 K up to 80 K there is  $\sim T^3$  dependence in the resistivity indicating phonon contribution in the presence of a strong interaction. The characteristic temperature extracted from the thermopower up to 35 K amounts 1100 K. Thus our results differ from the results of the other authors, but they can be correlated well to recent optical measurements. The analysis of the optical measurements indicates the existence of a gap at the Fermi level. This gap begins to fill just at about 40 K and it disappears at about 1000 K. At the moment, we intend to find a model which is able to correlate our measurement to the physical picture of the system coming out from these optical investigations.

In 2007, through a collaboration with dr. Ivanda from IRB, we begin to investigate the Si:B thin films obtained by the LPVC method. The main goal of these investigations is to obtain a good quality electrical resistor and a resistance thermometer as well. (II5). Si alone is a semiconductor, but heavily doped assumes metallic character. These thin films are already used in various applications. However, the theoretical picture is not established jet. A most intriguing problem is the low temperature decrease in the resistivity and we found the same effect the thermopower.

### **Sudjelovanje na znanstvenim skupovima**

III. M. Očko, D. Krumes, M. Stubičar, Ž. Šimek, N. Stubičar, E.D. Bauer, J.L. Sarrao:  
*Vickers Microhardness of Yb<sub>x</sub>Lu<sub>1-x</sub>Al<sub>3</sub>*

Godišnji sastanak Hrvatskog mikroskopijskog društva, Zagreb, 23.11. 2007. (post.)

II2. R. Ristić, M Stubičar, E. Babić:

*Veza između mehaničkih, termičkih i elektoničkih svojstava u Zr-Ni, Cu amorfnim slitinama.*

Knjiga sažetaka 5. znanstvenog sastanka Hrvatskoga fizikalnog društva. Zagreb : Hrvatsko fizikalno društvo, 2007. p. 113.

Peti znanstveni sastanak HFD-a, Primošten 5-8. listopada 2007. (poster)

- II3. M. Očko, K. Zadro, Đ. Drobac, V. Bermanec, I. Aviani, Ž. Šimek, E.D. Bauer, D. Mixon, J.L. Sarrao:  
*Kondo feromagnet CePt*  
 Knjiga sažetaka 5. znanstvenog sastanka Hrvatskoga fizikalnog društva.  
 Zagreb : Hrvatsko fizikalno društvo, 2007. p. 126.  
 Peti znanstveni sastanak HFD-a, Primošten 5-8. listopada 2007. (poster)
- II4. I. Aviani, M. Očko, D. Starešinić, K. Biljaković, J. Hemberger, A. Loid, and J. L. Sarrao:  
*The role of crystal field excitations in YbInCu<sub>4</sub>*,  
 ESM'07 Sinaia, Rumunjska, 7-10. rujna 2007. (predavanje)
- II5. I. Aviani, M. Očko, D. Starešinić, K. Biljaković, J. Hemberger, A. Loid, and J. L. Sarrao:  
*Efekte kristalnog polja u YbInCu<sub>4</sub>*,  
 Knjiga sažetaka 5. znanstvenog sastanka Hrvatskoga fizikalnog društva.  
 Zagreb : Hrvatsko fizikalno društvo, 2007. p. 46.  
 Peti znanstveni sastanak HFD-a, Primošten, 5-8. listopada 2007. (poster)
- II6. M. Ivanda, H. Gebavi, D. Ristić, K. Furić, S. Musić, M. Ristić, S. Zonja, P. Biljanović:  
*Depozicija tankih filmova silicija i silicijevog oksida metodom LPCVD*  
 Knjiga sažetaka 5. znanstvenog sastanka Hrvatskoga fizikalnog društva.  
 Zagreb : Hrvatsko fizikalno društvo, 2007. p. 43.  
 Peti znanstveni sastanak HFD-a, Primošten 5-8. listopada 2007. (poster)  
 \* Prikazani su i rezultati naših mjerenja

### **Sudjelovanje na stručnim skupovima**

I. Aviani, *Zašto je bolje ne rastavljati sile*, Osmi hrvatski simpozij o nastavi fizike, Novi Vinodolski 12 - 14. travnja 2007. (predavanje)

I. Aviani, *Jaki neodimijski magneti u suvremenoj nastavi fizike*, Osmi hrvatski simpozij o nastavi fizike, Novi Vinodolski 12 - 14. travnja 2007. (radionica)

### **Znanstvena suradnja**

Međunarodna neformalna suradnja

- M. Amara, *Université "Joseph Fourier", Grenoble, Francuska*
- R. M. Galéra, CNRS - Laboratoire "Louis Néel", Grenoble, Francuska
- J. L. Sarrao, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM 87545, USA
- S. S. Saxena, Cavendish Laboratory, University of Cambridge, U.K.

Domaća neformalna suradnja

- Suradnja sa grupom prof. dr E. Babića sa PMF-a na istraživanju veze između

mehaničkih i električnih svojstava amorfnih slitina.  
- Suradnja sa dr. M. Ivandom na istraživanju Si:B, P jakodopiranih poluvodiča.

## Ostalo

### Recenzentski rad

Miroslav Očko recenzirao je tokom godine nekoliko članaka za časopise iz sustava IOP electronic journals.

### Popularna predavanja

I. Aviani, *Magneti – koje nam tajne skrivaju?*, Otvoreni dan Instituta, 16. 02. 2007.

I. Aviani. *Čudesni svijet magnetizma*, Festival znanosti, Zagreb, 25. 03. 2007.

### Članstva i aktivnosti

I. Aviani, član je komiteta za menadžment akcije P16 COST-a: Emergent Behaviour in Correlated Matter (ECOM).

I. Aviani voditelj je projekta Eškola FIZIKA Hrvatskog fizikalnog društva od 2006., koje od ove godine financira MZOŠ.

I. Aviani član je Upravnog odbora Hrvatskog fizikalnog društva. od 2004.

I. Aviani, organizator je cjelodnevnog Institutskog druženja *Jarunske fešte* 12. srpnja 2007.

### Nastupi u medijima

I. Aviani, Pokusi s neodimijskim magnetima, emisija *Kratki spoj*, HTV 2, 15.01.2007.

I. Aviani, Prilog o Eškoli u emisiji *Dobro jutro Hrvatska*, HTV 1, 22.02.2007.

I. Aviani, Pokusi iz magnetizma uživo, emisija *Nulti sat*, HTV 1, 20.06.2007.

I. Aviani, gost završne emisije *Nulti sat* HTV 2, izravni prijenos iz Gliptoteke HAZU, 29. 06. 2007.



## KOMPLEKSNI MODULIRANI SISTEMI: NOVA OSNOVNA STANJA, DEFEKTI I MAGNETSKI EFEKTI (0352827-2842)

**Glavni istraživač:** Dr. sc. Katica Biljaković, znanstveni savjetnik  
**Suradnici:** Dr. sc. Damir Starešinić, znanstveni suradnik  
Dipl. inž. Damir Dominko, znanstveni novak

### Opis istraživanja

U okviru novog projekta, kao i međunarodnih projekata, nastavili smo istraživanja na anorganskim i organskim sistemima s valovima gustoće naboja i spina (VGN/S) i na sistema s neobičnom vrstom uređenja naboja. Osim istraživanja kvazi-1D sistema, započeli smo ispitivanje termodinamičkih svojstava dihalogenida s 2D VGN i nastavili s proizvodnjom i karakterizacijom tankih filmova VGN sistema K i Rb-plave bronce u suradnji s nekoliko vanjskih laboratorija (Grenoble, Ljubljana, Bucharest). U suradnji s grupom dr. Jakšića na IRBu bombardiranjem ionima uvodili smo u VGN sistem o-TaS<sub>3</sub> strukturne defekte u rasponu koncentracija od tri reda veličine i uz kontrolu ne/homogenosti. Prva ispitivanja transporta i dielektričnog odziva ozračenih uzoraka pokazuju jaki utjecaj koncentracije defekata na karakter VGN stakla. Proširili smo ispitivanja dielektričnog odziva organskih VGS sistema u magnetskom polju i dobili neočekivano velike efekte.

Adaptiran je nosač za mjerenje nekoliko uzoraka istovremeno, kako za termodinamička tako i za transportna mjerenja te je završena kalibracija modula za mjerenje toplinskog kapaciteta u magnetskom polju. Izvan laboratorija aktivno smo učestvovali u ozračivanju uzoraka na IRB, koji su kasnije karakterizirani u našem laboratoriju (linearna i nelinearna vodljivost) te im je ispitivan dielektrični odziv u Augsburgu. Aktivno smo učestvovali u karakterizaciji tankih filmova plave bronce u laboratorijima na Institutu (raspršenje pod malim kutom u grupi dr. Milata), na AFM na IRB te nekoliko ispitivanja u Institutu J. Štefan u Ljubljani. Tjedan dana smo ispitivali novu organizaciju naboja u (NbSe<sub>4</sub>)<sub>3</sub>I u sinhrotronu u Grenoblu te termodinamička svojstva dihalogenida 1T-TaS<sub>2</sub> u diluciji u magnetskom polju u Grenoblu u okviru postojećih projekata.

Uz tekuće projekte; NSF, prebilateralni projekt MZOŠ-„ruska inicijativa“ te projekt DAAD, pripremili smo zajedno s dr. E. Lorezom iz Instituta Neel u Grenoblu prijedlog novog ECONET projekta. Učestvovali smo u organizaciji radionice u čast odlaska u mirovinu i izbora za emeritusa dugogodišnjeg suradnika na Institutu Neel: „Journées Scientifiques Pierre Monceau“, Grenoble 8-9. studeni 2007. i imali dva izlaganja. Učestvovali smo u radu 23. ljetne škole mladih fizičara – Fizika u ekologiji u Labinu te imali priloge na dvije međunarodne konferencije.

Interdisciplinarne aktivnosti smo nastavili u suradnji s projektima koji su već uključeni u Program MZOŠa 0352827 *Korelacije u kompleksnim sistemima: od fizike do biotehnologije*. S kolegom B. Podobnikom je napravljena analiza znanstvene produkcije hrvatskih sveučilišta i usporedba s nekim sveučilištima u regiji (rad je u tisku u Indeksu).

Nastavljena je suradnja s kolegama sa Šumarskog fakulteta, dva članka su poslana na recenziju u Šumarski list, a jedan je pred slanjem u Journal of Applied Ecology. Intenzivne su bile aktivnosti u okviru Radne cjeline 710 - "Modul za predikciju požara" u sklopu tehnologijskog projekta TP-06/0007-01 "Multisenzorsko zrakoplovno izviđanje i nadzor u izvanrednim situacijama i zaštiti okoliša". Napravljena je simulacija širenja požara na otoku Lastovo u rujnu 2003. Pred Tehnologijskim vijećem je uspješno demonstrirano funkcioniranje modula u sklopu izviđanja bezposadne letjelice simulacijom požarne scene na Jarunu krajem listopada 2007.

Uz popis publikacija u 2007. u tisku su nam još četiri rada. Jedan znanstveni rad sa šumarima i jedan stručni rad su poslani na recenziju u Šumarski list. Pri završetku je nekoliko publikacija.

### *Critical phenomena and modeling in complex systems*

We have continued with the investigation of one-dimensional (1D) organic and inorganic systems with charge and spin density wave ground states (C/SDW) and systems with unusual charge ordering. In addition we have started to investigate the thermodynamic properties of dichalcogenide  $\text{TaS}_2$ -1T with 2D CDW. We have continued the production of thin films of CDW systems  $\text{Rb}_{0.3}\text{MoO}_3$  and  $\text{K}_{0.3}\text{MoO}_3$  by laser deposition in collaboration with National institute for lasers, plasma and radiation on various substrates and the obtained films have been characterized on our Institute, Institute Ruđer Bošković (IRB) and Institute Jožef Stefan in Slovenia. Small angle x-ray diffraction showed that in the new films domains of initial material are formed, but not bigger than 50-80 nm, consistent with AFM findings. New improvements are made in order to get larger domains.

Investigation of the influence of defects on linear and nonlinear conductivity and dielectric response (project with Germany) of CDW systems and its influence on the glass transition gave us new arguments for supporting the scenario of this generic property we have proposed. Irradiated o- $\text{TaS}_3$  in which structural defects were introduced in concentration span of three orders of magnitude by ion bombardment (collaboration with M. Jakšić group at IRB) showed similar disappearance of the contributions characteristic for the cooperative dynamics of CDW domains, as for two doped samples previously measured.

### *Superconductivity and magnetism in complex systems*

The strong sensitivity of the low-temperature heat capacity of DW systems (with CDW, SDW or spin-Pearls ground states) on magnetic field we have found recently was motivation for searching similar effects in the dielectric response. Indeed, huge magnetocapacitance was found in Bechgaard salts below their glass transition temperatures indicating strong influence of magnetic field on low-energy excitations of the glassy ground state.

### *Nanostructures*

The low-temperature specific heat of new molybdenum-based sub nanometer diameter nanowires  $\text{Mo}_6\text{S}_{9-x}\text{I}_x$  (synthesized in Ljubljana) showed unexpected influence of

annealing - more anisotropic, 1D phonon dispersion and low shear moduli, as well as increased amplitudes of the Schottky anomalies. Estimated paramagnetic contributions obtained in magnetic measurements is consistent with that one obtained from specific heat measurement. These results are published in Nanotechnology.

#### *Applied research*

We continued with our interdisciplinary activities within our Programme *Correlations in complex systems: from physics to biotechnology*. In collaboration with Faculty of forestry we have performed analysis of size-temporal distributions of wildland fire on some Adriatic islands. We were involved in the MSES technological project TP-06/0007-01, System for multisensor airborne reconnaissance and surveillance in emergency situations and environment protection, where we have developed a module for the prediction of the wildland fire spread based on Farsite, a public-domain software. Within the module the sources of spatial, vegetation and weather condition data have been identified and used as the basis for the simulation of the historical wildland fires on islands Lastovo and Korčula and for the selection of appropriate fuel models for the vegetation on the Adriatic coast. We plan to test the module in the fire season 2008. in order to validate it and to improve the fuel models' parameters.

### **Objavljeni radovi**

#### **Redovni radovi u CC časopisima**

1. Low-energy vibrational excitations of Mo<sub>6</sub>S<sub>3</sub>I<sub>6</sub> nanowires revealed by low- temperature specific heat  
J. C. Lasjaunias, A. Sulpice, K. Biljaković, D. Vengust, D. Mihailović  
Nanotechnology **18**, 355704 (2007)

#### **Radovi u zborniku konferencije**

1. Šumski požar kao kompleksni sistem  
K. Biljaković  
Zbornik ljetne škole mladih fizičara Labin 2007 "Fizika u ekologiji" (editor Z. Vučić), 68 (2007)

#### **Međunarodna znanstvena suradnja**

1. "Istraživanje stakala elektronskih kristala"  
MZOŠ i Njemačka služba za akademsku razmjenu (DAAD projekt)  
Institut za fiziku: dr. D. Starešinić  
Institut za fiziku, Sveučilište u Augsburgu, Njemačka: dr. P. Lunkenheimer
2. „Elektro-optička ispitivanja vodiča s valovima gustoće naboja“  
hrvatsko-američki bilateralni projekt (NSF )

Institut za fiziku: dr. K. Biljaković  
Sveučilište Kentucky, Lexington KY; prof. J. Brill

3. MZOŠ- „ruska inicijativa“ (Rusija)  
Institut za fiziku: dr. K. Biljaković (koordinator)  
Institut za radioinženjerstvo Ruske akademije, Moskva

### **Održani seminari**

D. Starešinić  
*Changing charge density wave glass transition temperature with irradiation*  
Prosinac 2007, Augsburg, Njemačka

### **Organizacija znanstvenih skupova**

Međunarodna znanstvena radionica *Journee scientifique Pierre Monceau*, 8.-9. studeni 2007.

K. Biljaković - suorganizator (uz dr. Lorenza, Institut Neel, Grenoble)

### **Predavanja na znanstvenim skupovima**

a) Međunarodna znanstvena radionica *Journee scientifique Pierre Monceau*, 8.-9. studeni 2007.

1. D. Starešinić  
*Evidence for two coexisting CDW regimes from o-TaS<sub>3</sub> irradiation*

2. K. Biljaković  
*The thin red line to density wave glass transition*

b) Međunarodna znanstvena radionica NATO-ASI s temom *Functionalized Nanoscale Materials, Devices, and Systems for chem.-bio Sensors, Photonics, and Energy Generation and Storage*, Sinaia, Rumunjska

D. Dominko, K. Biljaković, A. Tomeljak, D. Mihailović, J. Demšar, G. Socol, C. Ristoscu, I.N. Mihailescu

*Growth of Nanostructured Charge-Density-Wave Oxide Rb<sub>0.3</sub>MoO<sub>3</sub> by Pulsed Laser Deposition*

## **Sudjelovanje na znanstvenim skupovima**

- a) Međunarodna znanstvena konferencija EUROMAT , Nürnberg, Njemačka  
(European Congress and Exhibition on Advanced Materials and Processes)  
D. Dominko, K. Biljaković, A. Tomelj (govornik), D. Mihailović, J. Demšar, G. Socol, C. Ristoscu, I.N. Mihailescu  
*Growth of Nanostructured Charge-Density-Wave Oxide  $Rb_{0.3}MoO_3$  by Pulsed Laser Deposition*

## **Ostale aktivnosti**

### **K. Biljaković**

- recenzent PRL, EPJB, ESF, NSF, MZOŠ
- suurednik Fizike A
- Član UV Instituta
- član natječajne komisije Nacionalnog programa stipendiranja "Za žene u znanosti" L'Oreal i Unesco

### **D. Starešinić**

- recenzent PRL, PRB....
- povjerenik sindikalne podružnice Instituta

# ENERGETSKOM KOMPETICIJOM UVJETOVANI OBLICI I STRUKTURE NANOMETARSKIH SUSTAVA (035-0352828-2837)

**Glavni istraživač:** dr.sc. Antonio Šiber, viši znanstveni suradnik

**Suradnici:** dr.sc. Branko Gumhalter, znanstveni savjetnik

dr.sc. Marko Tomislav Cvitaš \*

\* zaposlen na Sidney Sussex College, University of Cambridge, Cambridge, UK

## Opis istraživanja

Rad na projektu 035-0352828-2837 u 2007. godini bio je koncentriran oko problema oblika i energetike virusa. Virusi su posebno interesantni nanometarski sustavi jer se mnogi tipovi mogu spontano sastaviti u *in vitro* uvjetima. Takva njihova osobina pobuđuje interes s nanotehnološkog stajališta kao potencijalni put prema bottom-up samosastavljajućim nano-strukturiranim materijalima ili nano-česticama. Oblik virusa i energetika deformacija mogu se objasniti donekle grubom reprezentacijom proteinskog omotača kao ljuske sa određenim (nepoznatim) elastičnim svojstvima. Kako je simetrija i struktura virusa ista kao i struktura ikozaedarskih fullerena, istraživanje energetike fullerena i drugih oblika od  $sp^2$  ugljika odvijalo se paralelno s tijekom istraživanja virusa. Za razliku od virusa, elementarne interakcije u grafenskom jedno-atomskom sloju su prilično dobro poznate, pa usporedba ovih naizgled prilično različitih sustava može dovesti do korisnih zaključaka. Osim uporabe metoda teorije elastičnosti ljusaka za objašnjenje oblika virusa, razmatrana je i uloga elektrostatskih interakcija u samo-sastavljanju praznih virusnih omotača. Za tu svrhu razvijena je prilično neortodoksna i vrlo prilagodljiva metodologija numeričkog rješavanja Poisson-Boltzmannove jednadžbe u sfernoj geometriji. Pokazano je da su protein-protein interakcije „dizajnirane“ tako da postoji određeni kut protein-protein kontakta za koji je njihova privlačna energija maksimalna. Postojanje ovog (neiščezavajućeg) kuta vodi na monodisperznost praznih virusa koji se sastavljaju u *in vitro* uvjetima, barem kad je slanost otopine (koncentracija monovalentnih iona soli) visoka.

## *Shapes and structures of nanoscale systems dictated by competition of energies*

Activity on project 035-0352828-2837 in year 2007 was concentrated around the problem of shapes and energetics of viruses. Viruses are particularly interesting nanoscale systems since many types self-assembly in *in vitro* conditions. This property is interesting from the nanotechnological point of view as it represents a potential path towards bottom-up self-assembling nanostructured materials or nano-particles. The shape of viruses and the energetics of their deformation can be explained by a relatively coarse representation of the protein coating by a shell having certain (unknown) elastic properties. As the symmetry and structure of viruses are the same as those pertaining to icosahedral fullerenes, the investigation of energetics of fullerenes and other shapes made of  $sp^2$  carbon paralleled the main course of investigation of viruses. Unlike in viruses,

the elementary interactions in a graphene plane are fairly well known, so the comparison between these, seemingly different systems can yield useful conclusions. Besides the usage of methods of theory of elasticity to explain the shapes of viruses, we have also examined the role of electrostatic interactions in self-assembly of empty viral capsids. To this end, a fairly unorthodox and versatile numerical method to solve the Poisson-Boltzmann equation in spherical geometry has been developed. We have demonstrated that the protein-protein interactions are "designed" in such a way that there is a particular angle of protein-protein contact yielding maximal attractive interaction. The existence of this (non-vanishing) angle secures the monodispersity of empty viruses that are self-assembled in in vitro conditions, at least when the salinity of the solution (concentration of mono-valent salt ions) is high.

## Objavljeni radovi

### Redovni radovi u CC časopisima

1. Antonio Šiber, *Energies of  $sp^2$  carbon shapes with pentagonal disclinations and elasticity theory*, Nanotechnology **17**, 3598 (2006).
2. Antonio Šiber, *Shapes and energies of giant icosahedral fullerenes: Onset of ridge sharpening transition*, The European Physical Journal B **53**, 395 (2006).
3. Antonio Šiber, *Buckling transition in icosahedral shells subjected to volume conservation constraint and pressure: Relations to virus maturation*, Physical Review E. **73**, 061915 (2006).
4. Antonio Šiber and Branko Gumhalter, *Reply to "Comment on 'Suppression of inelastic bound-state resonance effects by the dimensionality of an atom-surface scattering event'"*, Physical Review B. **75**, 046402 (2007).
5. Antonio Šiber, *Continuum and all-atom description of the energetics of graphene nanocones*, Nanotechnology. **18**, 375705 (2007).
6. Antonio Šiber and Rudolf Podgornik, *Role of electrostatic interactions in the assembly of empty spherical viral capsids*, Physical Review E. **76** (2007), 061906.

### Sudjelovanje na znanstvenim skupovima

A. Šiber, *Uloga elektrostatskih interakcija u sastavljanju RNA virusa*, 5. znanstveni sastanak Hrvatskog fizikalnog društva, Primošten, Hrvatska, listopad 2007. godine (pozvano predavanje).

A. Šiber, *Collapse of icosahedral shells under external pressure*, Biophysics Workshop, Bled, Slovenia, 18.-19.12. 2007.

## **Održani seminari i predavanja na znanstvenim institucijama**

A. Šiber, *Role of electrostatic interactions in the assembly of ssRNA viruses*, seminar of the Department of theoretical physics, Institute Jožef Stefan, Ljubljana, Slovenia, studeni 2007. godine

A. Šiber, *Energetics of bucky-assemblies from an elementary application of the theory of elasticity*, Faculty of mathematics and physics, colloquium of the Department of physics, Ljubljana, Slovenia, travanj 2007. godine

A. Šiber, *Arhitektura Buckminstera Fullera i oblici i energetika oblika od  $sp^2$  ugljika*, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, AMACIZ kolokvij, veljača 2007. godine

## **Međunarodna znanstvena suradnja**

A. Šiber vodio projekt Nacionalne zaklade za znanost RH u okviru programa Brain Gain/Postdoc, "Oblici i energetika bioloških nanostrukture". Suradnja sa prof. dr. Rudolfom Podgornikom, Institut Jožef Stefan, Ljubljana, Slovenia.

## **Ostale aktivnosti**

Stručni članak

A. Šiber, *Podrijetlo oblika i structure: fizikalni pogled*, *Vijenac* **349**, 16 (2007).

Predavanja

A. Šiber, *Podrijetlo oblika i structure: fizikalni pogled*, Matica Hrvatska, Zagreb, Hrvatska, lipanj 2007. godine

A. Šiber, *Energetskom kompeticijom uvjetovani oblici i strukture nanometarskih sustava*, PMF, Fakultet za fiziku, seminar Studentske sekcije Hrvatskog fizikalnog društva, Zagreb, Hrvatska svibanj 2007. godine

A. Šiber, *Carbon architecture at the nanometer scale*, S3++ ljetna škola, Višnjan, Hrvatska, kolovoz 2007. godine



# **KVANTNA STANJA, ULTRABRZA DINAMIKA I DEKOHERENCIJA U NANOSTRUKTURIRANIM SISTEMIMA (035-0352828-2839)**

**Glavni istraživač:** dr.sc. Branko Gumhalter, znanstveni savjetnik  
**Suradnici:** dr.sc. Antonio Šiber, viši znanstveni suradnik,  
dr.sc. Ante Bilić, viši znanstveni suradnik

## **Opis istraživanja**

Istraživački rad na novom projektu P-907 u njegovoj prvoj godini izvedbe bio je koncentriran na teorijsko proučavanje, interpretiranje i modeliranje strukturnih, dinamičkih i elektronskih svojstava površina odnosno granica (interfaces) kondenzirane i plinovite faze ili vakuuma (gas-solid interface), te granice kondenzirane faze i kvazi-dvodimenzionalnih struktura (solid-monolayer interface). Posebna pažnja posvećena je sistemima u kojima se barem jedna od dimenzija mjeri na nanoskali (nanostructures & nanosystems).

Različitim teorijskim metodama i algoritmima, od kojih su neki posebno razvijeni u okviru tekućeg i prethodnog projekta, interpretirani su eksperimentalni rezultati ne-elastičnog raspršenja, adsorpcije i desorpcije atoma i molekula na/sa metalnih površina i adsorbiranih slojeva, adsorpcije elektromagnetskog zračenja u površinskim elektronskim vrpčama, te ultrabrza dinamika elektronskih pobuđenja u površinskim elektronskim vrpčama. Znanstvene informacije proizašle iz ovih istraživanja doprinose su fundusu znanja u području nanoznanosti (nanoscience) i ultrabrzih fenomena i procesa (ultrafast processes) koje se izrazito brzo razvijaju u zadnjih desetak godina zbog potencijalno važnih tehnoloških primjena.

Istraživački rad na projektu rezultirao je objavljivanjem znanstvenih radovima u CC časopisima s visokim "impact" faktorom i njihovim prezentacijama na znanstvenim skupovima i seminarima pri znanstveno-istraživačkim institucijama.

## ***Quantum states, ultrafast dynamics and decoherence in nanostructured systems***

Research work within the new project P-907 in the first year of its duration was focused on the theoretical investigations, interpretations and modelling of the structural, dynamical and electronic properties of surfaces and interfaces, encompassing gas-solid and solid-monolayer interfaces. Special attention has been paid to the systems with dimension(s) reduced to the nanoscale, i.e. to nanostructures and nanosystems.

Implementations of the various theoretical methods and algorithms, of which some have been specially developed within the framework of the current and earlier projects, have enabled us to interpret a number of experiments of inelastic scattering, adsorption and desorption of atoms and molecules onto or from metal surfaces, absorption of electromagnetic radiation in surface electronic bands, ultrafast dynamics of electronic

excitations in surface bands, and vibrational properties of surfaces. The results of these studies make a contribution to our understanding of the fundamental properties of nanoscaled and nanostructured systems and of the ultrafast processes and phenomena at surfaces that have been extensively investigated in the past decade owing to their large potentiality for technological applications.

The results of research carried out within the project have been presented in scientific papers published in highly ranking internationally refereed journals, at specialized conferences as contributed and invited talks, and in seminars given at various research institutions.

### **Popis objavljenih CC radova**

P. Lazić, V.M. Silkin, E.V. Chulkov, P.M. Echenique, B. Gumhalter:  
Extreme ultrafast dynamics of quasiparticles excited in surface electronic bands.  
*Physical Review B* 76 (2007); 045420

H. Ueba, B. Gumhalter:  
Theory of two-photon photoemission from surfaces (review)  
*Progress in Surface Science*, 82 (2007) 193.

P. Lazić, R. Brako, B. Gumhalter:  
Structure and dynamics of Xe monolayers adsorbed on Cu(111) and Pt(111)  
surfaces studied in the density functional approach (topical review)  
*J. Phys.: Condens. Matter*, 19 (2007) 305004.

A. Šiber, B. Gumhalter:  
Reply to "Comment on 'Suppression of inelastic bound-state resonance effects by the dimensionality of an atom-surface scattering event'"  
*Physical Review B* 75 (2007); 046402.

### **Rezultati istraživanja prezentirani na znanstvenim skupovima**

B. Gumhalter: "Ultrafast electron dynamics in surface bands", Conference on Quantum Phenomena in Confined Systems (ICTP Trieste, June 007),

B. Gumhalter: "Inelastic bound-state resonance effects in atom scattering from surface phonons", 12-th Conference on Vibrations at Surfaces (Erice, July 2007)

### **Seminari održani na znanstveno-istraživačkim institucijama**

- B. Gumhalter:  
"Ultrazvučna elektronska dinamika u površinskim vrpčama",  
Institut za fiziku, Zagreb, 2007.

- B. Gumhalter:  
"Ultrafast electron dynamics in surface electronic bands",  
Donostia International Physics Center, San Sebastian, Spain, Nov. 2007.

### **Studijski boravci**

B. Gumhalter, Donostia International Physics Center (San Sebastian, Spain) 31 Oct.-  
30.Nov. 2007.

### **Ostale aktivnosti**

B. Gumhalter:  
Član Područnog znanstvenog vijeća za prirodne znanosti

# ELEKTRONSKA I KRISTALNA STRUKTURA PODUPRTIH SAMOORGANIZIRANIH NANO-SISTEMA (035-0352828-2840)

**Glavni istraživač:** Dr. sc. Petar Pervan, znanstveni savjetnik

**Suradnici:** Dr. sc. Milorad Milun, znanstveni savjetnik  
Dr. sc. Marko Kralj, znanstveni suradnik  
Dr. sc. Tonica Valla, BNL  
Dr. sc. Vesna Mikšić Trontl, znanstveni asistent, FER  
Ivo Pletikosić, asistent  
Sanja Krajinović, asistent

## Opis istraživanja

U okviru ovog projekta nastavili smo istraživanje efekata dimenzionalnosti na elektronska i strukturna svojstva tankih metalnih slojeva na dobro definiranim metalnim površinama. Istraživali smo uvjete diskretizacije 4d elektronske vrpce u ultra tankim slojevima srebra na površinama Cu(100), Cu(111), Pd(111) i Mo(110) te odredili utjecaj podloge na vezivnu energiju nastalih stanja kvantne jame (QWS). U fotoemisijским eksperimentima posebna pažnja je posvećena temperaturnim mjerenjima spektralnih linija pomoću kojih smo utvrdili utjecaj elektron-fonon vezanja na proces raspada foto šupljine u Ag-4d stanjima kvantne jame. Istraživali smo i razvoj površinskih-QW stanje *s-p* simetrije u 1 i 2 mono-sloja srebra na Cu(111). Ustanovili smo da elektron-fonon vezanje u stanjima kvantne jame srebrnih slojeva bitno ne odstupa od vrijednosti izmjerenim na Ag(111) površini.

Metodom skenirajućeg tunelskog mikroskopa (STM) započeli smo pripremu i karakterizaciju stepeničaste (vicinalne) površine zlata (887). Istraženi su optimalni uvjeti čišćenja površine potrebne za formiranje maksimalne koncentracije stepenica ravnomjerne širine i orijentacije. Ova istraživanja su prvi korak u korištenju Au(887) površine za formiranje kvazi-jednodimenzionalnih metalnih struktura tzv. kvantnih žica.

U okviru ovog projekta „Elektronska i kristalna struktura poduprtih samoorganiziranih nano-sistema“ započeli smo istraživanje elektronskih svojstava grafena (Gr) na (111) površini iridija metodom kutno razlučive foto-elektronske spektroskopije. Preliminarni rezultati ukazuju na slabo međudjelovanje grafenskog sloja s površinom iridija.

U suradnji sa sveučilištem u Bonnu (DAAD projekt) nastavili smo istraživanja elektronskih svojstava Mn-nanostruktura na površinama. U Bonnu smo pomoću nisko-temperaturnog STM-a mjerili elektronski odziv Cu(111) površine na individualnim Mn-atomima, a u Zagrebu smo pomoću fotoemisije proučavali promjenu elektronske strukture za dobro definiranu Mn-Cu površinsku leguru. Ustanovili smo da su spinski efekti međudjelovanja (spin-split ili magnetizam) za ovaj sistem nisu značajni.

Nastavljen je rad na projektu Framework 6 STREP “Production process for industrial fabrication of low price amorphous-microcrystalline silicon solar cells“ istraživanjem

tankih oksidnih slojeva dopiranih indijem, aluminijem ili fluorom. Dubinsko profiliranje ionskim jetkanjem upotrijebljeno je za karakterizaciju dodirnog područja između Al i Si sloja na tvorničkim uzorcima. U cilju naporavanja malih količina aluminija na tvornički pripremljene Si podloge izrađen je Al evaporator i testiran i baždaren na metalnih podlogama.

### ***Electronic and crystal structure of supported selforganized nano-systems***

Within this project we have continued the research of dimensionality effects on electronic and structural properties of ultra thin films deposited on well defined metallic surfaces. We have investigated the conditions for the discretization of  $4d$  electron band in ultra thin silver films on Cu(100), Cu(111), Pd(111) and Mo(110) surfaces and the influence of the substrate on the binding energy of quantum well states (QWS) formed. Photoemission experiments were done with particular accent on temperature dependent measurements of the spectral lines that has been used to extract the information about the electron-phonon coupling in the process of photo hole decay in Ag- $4d$  quantum well states. We have studied the development of surface- QW states of s-p symmetry in 1 and 2 ML films of silver on Cu(111). It has been determined that electron-phonon coupling of quantum well states is not significantly different from the values measured for surface state on Ag(111).

We have initiated scanning tunnelling microscopy experiments on (887) vicinal surfaces of gold. We have investigated optimal conditions for cleaning procedures and for the formation the uniform distribution of well defined steps. This is a first step in our planed investigation of the structural and electronic properties of qusy 1D metallic nano-systems – quantum wires.

Within this project we have started experimental work on investigation of electronic prioperties of graphene (Gr) on (111) surface of iridium by means of angular resolved photoemission spectroscopy.

In collaboration with University Bonn (DAAD project) we continued the research on electronic properties of Mn nano structures on copper (111) surface. Using low temperature STM (Bonn) we have measured electronic response of Cu(111) surface on individual Mn chemisorbed atoms. This experiments were complemented with ARUPS measurements of well defined Mn-Cu alloy. We have found out that the spin effects (spin split or magnetism) were not present.

The work on Framework 6 STREP “Production process for industrial fabrication of low price amorphous-microcrystalline silicon solar cells“ has continued in this year with investigation of thin oxide layers doped with aluminum or fluorine. The depth profiling with ion sputtering was used to characterize interface between Al and Si layers on industrial samples. Inorder to performe evaporation of small amounts of Al on industrially prepared Si substrates an Al evaporator was tested and calibrated.

## Objavljeni radovi

### Redovni radovi u CC časopisima

Jurczyszyn, L. Krupski, A. Degen, S. Pieczyrak, B. Kralj, M. Becker, C. Wandelt, K. Atomic structure and electronic properties of Ni<sub>3</sub>Al(111) and (011) surfaces, *Physical Review B* **76**(2006)045101

Gracin D, Juraic K, Gajovic A, Dubcek, P. Djerdj, I. Tomasic, N. Krajcinovic, S. Milun, M. Bernstorff, S. The influence of post deposition plasma treatment on SnO<sub>x</sub> structural properties, *Vacuum* **82**(2007)266-269

### Sudjelovanje na znanstvenim skupovima

Petar Pervan, Ivo Pletikosić, 17<sup>th</sup> International Vacuum Congress, Stockholm, 2-6-07.2007. „*Electron-phonon coupling in monolayer silver films; interface effects*“, predavanje

Petar Pervan, V sastanak HFD-a, Primošten 5-8. 10.2007. „*Fotoemisijom do elektron fonon vezanja*“ pozvano fokusirano predavanje

S. Krajcinović i M. Milun, *Upotreba površinski osjetljivih tehnika u tehnologiji*, poster, V sastanak HFD-a, Primošten 5-8. 10.2007.

V. Mikšić Trontl, I. Pletikosić, P. Pervan i M. Milun, *Ultratanki slojevi srebra na (111) površini nikla*, poster, V sastanak HFD-a, Primošten 5-8. 09.2007.

V. Mikšić Trontl, M. Milun, P. Pervan, R. Brako, D. Šokčević, *Valence band structure of subnanometer thick Ag films on Ni(111)*, poster, The 15th International Conference on Vacuum Ultraviolet Radiation Physics- Book of Abstracts, Berlin, Germany, 2007.

I. Pletikosić, V. Mikšić Trontl, M. Milun, P. Pervan: *Elektron-fonon vezanje u jednoatomskim slojevima srebra*, poster, V sastanak HFD-a, Primošten 5-8. 09.2007.

Marko Kralj, DPG spring meeting, Regensburg, 26-30.03.2007. „*The Pd(110)-(3x2)-O surface phase investigated by STM and DFT*“, predavanje

Marko Kralj, 14<sup>th</sup> Joint meeting of Croatian and Slovenian Vacuum societies, Bled, 1.6.2007., „*LT-STM study of ultra-thin alumina electronic and structural properties and their relation to 2-D nanostructuring of adsorbed atoms and molecules*“, predavanje

Marko Kralj, *Katalizator na atomskoj skali: primjer (110) površine paladija*, poster, V sastanak HFD-a, Primošten 5-8. 10.2007.

## **Sudjelovanje na stručnim skupovima**

Ivo Pletikosić, Sanja Krajinović, Prva hrvatska ljetna škola sinkrotronskog zračenja SinCro, Rijeka, 07, 3-7. 09. 2007.

M. Milun, Top-Level Nano-Conference, Bragga, Portugal.

## **Međunarodna znanstvena suradnja**

### **Projekti**

Framework 6 STREP "Production process for industrial fabrication of low price amorphous-microcrystalline silicon solar cells (LPAMS, Pr. No. PL 509178, Voditelj na Institutu za fiziku – M. Milun.

Bilaterarni projekt DAAD (Germany)-MZOS(Hrvatska) – "Electronic properties of manganese nanostructures at surfaces, 2006-2007, Voditelj P. Pervan

### **Neposredna suradnja**

Departement of Physics, Brookhaven national Laboratory, Dr. T. Valla, D.P. Johnson  
Institut za kovinske materijale iin tehnologije, Ljubljana, Dr. M. Jenko  
II. Physikalisches Institut, Universität zu Köln, T. Michely

## **Sudjelovanje u nastavi**

### **Dodiplomska nastava**

I. Pletikosić, Vježbe iz opće fizike (I-IV) stručni smjer, Fizički odsjek Prirodoslovno matematičkog fakulteta u Zagrebu.

### **Poslijediplomska nastava**

M. Milun, Nanotehnologije, poslijediplomski studij, Prirodoslovno matematičkog fakulteta u Zagrebu, smjer kemija.

M. Milun, Kemijska i fizikalna svojstva površina i nanostruktura, doktorski studij Inženjerska kemija, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb.

### **Seminari**

Marko Kralj, „ARPES as a tool to study low dimensional structures“, 3<sup>rd</sup> April 2007 at the II. Physikalisches Institut, Universität zu Köln, Cologne, Germany

## **Ostalo**

M. Milun

član državne delegacije u radu sastanka Izraelsko-hrvatskog zajedničkog komiteta za znanost i tehnologiju koji je održan u Jeruzalemu, Izrael.

Predstavnik RH u svojstvu eksperta u FP7 programskom komitetu za područje Nanosciences, nanotechnologies, materials and new production (NMP).

P. Pervan

Član programskog odbora Međunarodnog sastanak „Vakumska znanost i tehnika“, Bled, 2007

Član programskog odbora Prve hrvatske ljetne škole sinkrotronskog zračenja SinCro, Rijeka, 07, 3-7. 09. 2007.

Član povjerenstva MZOŠ-a za „Sitnu, srednju i kapitalnu opremu“

Član povjerenstva MZOŠ-a za „Praćenje okvirnih programa“

Član upravnog odbora Hrvatskog vakuumskog društva

Član uredništva časopisa „Vacuum“ Elsevier

M. Kralj

Član Applied Surface Science Division (ASSD) Electroral college (2007-2010)  
IUVSTA-e



# VEZA STRUKTURNIH I FIZIKALNIH SVOJSTAVA MATERIJALA KONTROLIRANE DIMENZIONALNOSTI (035-0352843-2844)

**Glavni istraživač:** dr.sc. Ognjen Milat

**Suradnici:** dipl.inž. Krešimir Salamon, znanstveni novak  
dr. sc.Nazif Demoli, znanstveni savjetnik

## Opis istraživanja

Provođena su istraživanja dubinskih i lateralnih varijacija nanostrukture u tankim filmovima i višeslojnim naslagama raznih materijala dobivenih različitim tehnikama: megnetronskim naprašivanjem ( $WC_{1-x}$ ; u suradnji s N. Radić – IRB), ionskom implantacijom (Ge-QD u  $SiO_2$ ; u suradnji s U. Desnica – IRB). Korištene su tehnike i metode rendgenskog raspršenja, difrakcije i reflektancije pod okrnjujućim upadnim kutom GISAXS, GIXRD, XRR. Ove tehnike omogućuju uvid u varijaciju strukturnih svojstava u ovisnosti o debljini/dubini na skali od  $10^0$  do  $10^2$  nm.

Rađeno je na unapređenju postave laboratorijskog uređaja uhodavanjem dodatnog detektora (C.PSD), tako da se omogući istovremeno mjerenje rendgenskog raspršenja pod malim kutom (SAXS), i difrakcije pod velikim kutom (WAXS) sa površinskih slojeva tankih filmova. Kombinirana analiza ovih dvaju mjerenja omogućuje usporedno karakteriziranje i kristalne strukture i nanostrukturnih nehomogenosti po slojevima tankih filmova.

Razvija se metodologija i prototip uređaja i analitička metoda za automatsko prikupljanje vizualnih podataka (slika u digitalnom formatu), prepoznavanje i kvantitativnu analizu prisutnosti mikroskopskih čestica polena (i drugih zagađenja) u zraku.

Kod tankih filmova volfram karbida ( $WC_{1-x}$ ) nađeno je da prividna amorfnost proizlazi iz nanometarske veličine (2.6nm) i izotropne orijentacije gusto nakupljenih nanokristalića beta- $WC_{1-x}$  faze u osiromašenoj matrici amorfno ugljika.

Morfologija i uređenje nanokristala Ge u ML filmovima priređenim magnetronskom depozicijom, te učinak naknadnog termičkog izlučivanja, ispitivana je GISAXS metodom. Ustanovljeno je da se kod temperaturama dozrijevanja 700-800 °C dobivaju izlučevine sferoidnih Ge-QD nanočestica s visokim stupnjem kristalne uređenosti i prostorne korelacije.

Rezultati istraživanja prezentirani su na nekoliko domaćih i međunarodnih znanstvenih skupova i bit će priređeni i poslani na objavljivanje uskoro.

Nastavljena je suradnja s istraživačima na Stomatološkom fakultetu na temu određivanja gustoće koštanog tkiva denzitometrijskim metodama.

### ***Nanostructure modulations in composite crystals and materials***

Structural modulations in composite crystals (complex cuprates) and composite materials in form of thin films and multilayers on thick substrates were investigated and studied by a number of microscopy and X-ray techniques and methods. The materials such as sputtering deposited  $WC_{1-x}$ ;  $Al_{1-x}W_x$ ; Ge-QD u  $SiO_2$ , were produced by collaborating groups at IRB. Simultaneous measurements of GISAXS, GIXRD, XRR spectra is possible at recently home-adapted of SAXS camera, thus providing characterization of structural features at the scale  $10^{-1}$  -  $10^2$  nm.

The structure of tungsten carbide thin films (prepared by magnetron sputtering deposition) was found to be apparently amorphous following the observed typical diffuse XRD patterns. In contrast, extended Electron Microscopy and Diffraction investigation discloses its prominent crystalline feature in a form of dense compact aggregate of randomly oriented nanocrystals of rather globular shape and uniform size ( $D \approx 2-3$ nm). The Rietveld structure refinement in the  $F43m$  space group confirmed the non-stoichiometric composition ( $x \approx 0.3$ ), and the crystallite size of  $\approx 10^0$  nm.

Formation and morphology of Ge-precipitation in germanosilicate ( $Ge:SiO_2$ ) multilayer (ML) films under thermal treatment were analyzed by combining the information obtained from the grazing incidence small angle x-ray scattering (GISAXS) and x-ray diffraction (XRD). It was found that precipitation of Ge nanocrystallites starts at  $T_a = 600$  °C, while high degree of in plane confinement and lateral ordering of rather uniform precipitated particles is achieved at  $T_a = 700-800$ °C range. At still higher annealing temperature  $T_a > 800$ °C, volume fraction of precipitated Ge-particles in  $SiO_2$  matrix diminishes due to the out-diffusion of Ge atoms from the film, while Ge-particles are no more well confined to Ge+ $SiO_2$  layers.

### **Objavljeni radovi**

#### **Redovni radovi u CC casopisima**

1. Miljak M, Becker R, Herak M, et al.: A new modification of nickel selenite  $NiSeO_3$  - crystal structure and magnetic properties; Journal of Physics-Condensed Matter **19** (2007) 196203

#### **Radovi objavljeni u zbornicima konferencija**

1. O. Milat, K. Salamon, N. Radić; Amorphous versus Nanocrystalline Structure of Sputtered Tungsten Carbon Thin Film Proceedings 8th Multinational Congress on Microscopy, June 17-21, 2007, Proceedings (ed.) J. Nebesarova, P. Hozak, Prague 2007 pp.289-290

## **Sudjelovanje na znanstvenim skupovima**

1. O. Milat, K. Salamon, N. Radić; Amorphous versus Nanocrystalline Structure of Sputtered Tungsten Carbon Thin Film; 8th Multinational Congress on Microscopy, June 17-21, 2007, Prague, Czech Republic
2. K. Salamon, O. Milat, M. Buljan, U.V. Desnica, N. Radić, P. Dubček, S. Bernstorff; X-ray study of Ge nanoparticle formation in Ge:SiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> multilayers; E-MRS Fall Meeting 2007 Warsaw (Poland), 17.-21. 9. 2007.

## **Znanstvena suradnja**

Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu;

Prof.dr A. Čelebić, na projektu: Utjecaj protetskog rada i drugih faktora na stomatognati sustav i zdravlje

Institut „Ruđer Bošković“ u Zagrebu;

Dr. N. Radić, na projektu: Novi amorfni i nanostrukturirani tankoslojni materijali

Dr. D. Gracin: Tankih filmovi legura silicija na prijelazu iz amorfne u uređenu strukturu

Dr. B. Pivac: Temeljna svojstva nanostrukture i defekata u poluvodičima i dielektricima

## **Komentorstvo doktorata**

1. Maja Baučić-Božić: Promjena gustoće alveolarnog koštanog tkiva oko zuba nosača mostova različitih konstrukcija, Sveučilište u Zagrebu, 2007.

# KVANTNI MAGNETI: OSNOVNA STANJA U KOMPETICIJI (035-0352843-2845)

**Glavni istraživač:** dr.sc.Mladen Prester, znanstveni savjetnik

**Suradnici:**

dr.sc.Đuro Drobac, viši znanstveni suradnik  
dr.sc.Željko Marohnić, viši znanstveni suradnik  
dr.sc. Ivica Živković, znanstveni novak

## Opis istraživanja

Istraživana su ciljana magnetska svojstva slijedećih magnetskih sistema: pod-dopiranog ne-supravodljivog  $\text{La}_{2-x}\text{Ba}(\text{Sr})_x\text{CuO}_4$  ( $x=0.02$ ,  $x=0.03$ ,  $x=0.04$ ), amorfne slitine  $\text{Hf}_{57}\text{Fe}_{43}$  te uzoraka iz klase novih oxo-halida, dominantno sistema  $\text{Co}_7(\text{TeO}_3)_4\text{Br}_6$ .

Razlog istraživanje prvog sistema,  $\text{La}_{2-x}\text{Ba}(\text{Sr})_x\text{CuO}_4$ , tehnikom ac susceptibilnosti je potreba neposredne verifikacije postojanje faze spinskog stakla kao osnovnog stanja tog sistema u području slabog dopiranja. Obzirom na izuzetno nizak intenzitet mjerenog signal te očekivano mali iznos glavnog očekivanog efekta (pomak niskotemperaturnog maksimuma ac susceptibilnosti s frekvencijom) radi se o vrlo zahtjevnim mjerenjima. Rezultatima mjerenja se može postići uvjerljiv odgovor na pitanje postojanja faze spinskog stakla tek uz pouzdano osiguranje homogenosti uzoraka te vrlo veliku statistiku mjerenja. Provedena mjerenja suglasna su sa spinskim staklom kao osnovnim magnetskim stanjem tog sistema.

Istraživanje amorfne slitine  $\text{Hf}_{57}\text{Fe}_{43}$  bilo je sprovedeno prvenstveno radi bliskosti s magnetizmom rutenokuprata  $\text{Ru-12222}$ , dominantno istraživano ranijih godina, napose u aspektu magnetske dinamike. Uočen izostanak divergencije trećeg harmonika ac susceptibilnosti ukazuje na superparamagnetsku a ne spin-glass prirodu magnetizma slitine  $\text{Hf}_{57}\text{Fe}_{43}$ . Uočeno je i posebno istraživano stanje supravodljivosti kao osnovnog elektronskog stanja tog sistema.

Između većeg broja oxohalida, dosad istraživanih na ovom projektu, monokristalni spoj  $\text{Co}_7(\text{TeO}_3)_4\text{Br}_6$  je najintersantniji. Na našu inicijativu  $\text{Co}_7(\text{TeO}_3)_4\text{Br}_6$  je postao predmet šireg multidisciplinarnog istraživanja (IF-Zagreb, PMF-Zagreb, EPFL-Lausanne, PSI/ETH-Villigen, HMI-Berlin). Tokom prošle godine istraživano je pitanje utjecaja slabog primjenjenog dc magnetskog polja posebno odabrane orijentacije (okomite na primjenjeno ac polje a paralelne sa poljem anizotropije) na poziciju oštrog peak-a opaženog u imaginarnoj susceptibilnosti tog sistema. Značajan trud uložen je i u koncipiranju općeg modela magnetizma tog kompleksnog magnetskog sistema.

Kontinuirani rad na metodološkom usavršanjima mjerne tehnike ac susceptibilnosti učinjen je značajan progres u balansiranju obje komponente (realne i imaginarne) rezidualnog nekompensiranog signala sekundarnih zavojnica. Navedeno usavršenje ključno je za povećanje osjetljivosti mjernog uređaja.

Suradnje aplikativnog karaktera sa poduzećem CryoBIND-Sistemprojekt intenzivirana je protekle godine uslijed višestrukih narudžbi ac susceptometara visoke rezolucije iz Indije. Suradnja se je sastojala u pružanju savjetodavne i znanstvene podrške te drugih usluga reguliranih sporazumom IF-a i CryoBIND-Sistemprojekta.

### ***Superconductivity and Magnetism in Complex Systems***

High resolution ac susceptibility technique was used in studies of:

-specific magnetic properties of low-doped non-superconducting single-crystalline samples of  $\text{La}_{2-x}\text{Ba}(\text{Sr})_x\text{CuO}_4$  ( $x=0.02$ ,  $x=0.03$   $x=0.04$ ) in order to verify the spin-glass ground state in this composition range.

-superparamagnetic behaviour of  $\text{Hf}_{57}\text{Fe}_{43}$  amorphous alloy and the results correlated with ruthenocuprate Ru-1222, a long-term subject of this project.

-specific magnetic properties of the new oxo-halide compounds, most of all the system  $\text{Co}_7(\text{TeO}_3)_4\text{Br}_6$ . The nature and properties of the unusually big and sharp imaginary susceptibility peak, setting-in together with the ferrimagnetic component in long range magnetic order, have been particularly focused by special experimental arrangement introducing horizontal applied dc magnetic field superimposed on the measuring vertical ac magnetic field component.

### **Objavljeni radovi**

#### **Redovni radovi u CC časopisima**

1. *Low temperature magnetic transition in  $\text{RuSr}_2\text{EuCeCu}_2\text{O}_{10}$  ruthenocuprate*, I. Živković, D. Pajić, K. Zadro, Physica C **452**, 16 (2007)
2. Thermal relaxation of magnetic clusters in amorphous  $\text{Hf}_{57}\text{Fe}_{43}$  alloy, D. Pajić, K. Zadro, R. Ristić, I. Živković, Ž. Skoko, E. Babić, J. Phys.: Condens. Matter **19**, 296207 (2007)
3. *A new modification of nickel selenite  $\text{NiSeO}_3$  crystal structure and magnetic properties*, M Miljak, R Becker, M Herak, M Prester, O Milat, M Johnsson and H Berger, J. Phys.: Condens. Matter **19** (2007) 196203 (14pp)
4. *Crystal structure and magnetic properties of the new cobalt tellurite halide  $\text{Co}_5(\text{TeO}_3)_4\text{X}_2$  ( $X=\text{Cl}, \text{Br}$ )*, Richard Becker, Mladen Prester, Helmuth Berger, Mats Johnsson, Djuro Drobnic, Ivica Zivkovic, Solid State Sciences **9** (2007), 223-230
5. *Non-uniform doping across the Fermi surface of  $\text{NbS}_2$  intercalates*, C. Battaglia, H. Cercellier, L.Despont, C. Monney, M.Prestre, H.Berger, L. Forro, M.G.Garnier, and P. Aebi, Eur. Phys. J. B **57**, 385–390 (2007)

6. *Crystal structure and magnetic properties of two new cobalt selenite halides:  $Co_5(SeO_3)_4X_2$  ( $X=Cl, Br$ )*, Richard Becker, Mladen Prester, Helmuth Berger, Ping Hui Lin, Mats Johnsson, Djuro Drobac, Ivica Živkovic, *Journal of Solid State Chemistry* **180** (2007) 1051–1059

## **Međunarodna znanstvena suradnja**

### **Formalna suradnja**

SCOPES Project No. IB7320-111105 *Sparsely connected antiferromagnets: Ground states, clusters and domains*

Koordinator na hrvatskoj strani: Dr. Mladen Prester

Partner u inozemstvu: Dr. Oksana Zaharko, Paul Scherrer Institute i ETH, Švicarska

### **Neformalna suradnja**

Helmuth Berger, *Institut de la Physique de la Matiere Complexe, PH - FSB, Ecublens, EPFL CH-1015 Lausanne, Švicarska*

Mats Johnsson, *Department of Inorganic Chemistry, Stockholm University*

Ivica Bradarić, *Laboratory for Theoretical and Condensed Matter Physics, The "Vinča" Institute of Nuclear Sciences, P.O.Box 522, 11001 Beograd*

Christos Panagopoulos, *The Shoenberg Laboratory for Quantum Matter, Cavendish Laboratory, JJ Thomson Avenue, Cambridge CB3 0HE, U.K. Cambridge*

## **Sudjelovanje u nastavi**

### **Dodiplomska nastava**

-Ivica Živković, Vježbe iz *Osnove teorije vjerojatnosti i Matematička statistika*

-Đuro Drobac sudjeluje u izvedbi dijelu kolegija *Eksperimentalne metode fizike (magnetizam)*.

### **Ostalo**

-Od 1.9.2007. Dr.sc. Ivica Živković na post-doktorskom studiju na EPFL, Lausanne, Švicarska (Professor Henrik Ronnow)

-Aktivnosti na popularizaciji fizike:

-Predavanje dr. Đure Drobca 'Elektromagnetska kupelj' održano na Ljetnoj školi mladih fizičara, Labin 2007.

- Predavanje dr.Đure Drobca 'Galileo: Svjetlo novog doba' održano na IF-u za studente Filozofskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci.
- Predavanje dr.Đure Drobca 'Povijest otkrića u magnetizmu' na V Gimnaziji u Zagrebu.
- Željko Marohnić: Od 3.7.2007. do 14.7.2007. boravio na 20. Međunarodnom turniru mladih fizičara (20th IYPT 2007) u Seulu, Korea. Na Turniru sam sudjelovao kao pratitelj hrvatske ekipe i kao neovisni sudac.

*-Aplikativni projekti*

U suradnji sa poduzećem CryoBIND/Sistemprojekt razvijaju se nove opcije i poboljšavaju mjeriteljske performanse CryoBIND sistema za mjerenje ac susceptibilnosti.

# DEFEKTI I INTERAKCIJE IZMJENE U NISKODIMENZIONALNIM (D<3) MAGNETSKIM SISTEMIMA (035-0352843-2846)

**Glavni istraživač:** dr.sc. Marko Miljak

**Suradnici:** dipl.ing. Mirta Herak  
dr.sc. Đuro Drobac

## Opis istraživanja

Magnetizam većine istraživanih materijala,  $\text{NiSeO}_3$ ,  $\text{CuTe}_2\text{O}_5$ ,  $\text{BaVS}_3$  te  $\text{BaVSe}_3$ , u bitnom je određen osnovnim strukturnim elementom koji se sastoji od centralnog  $3d$ -iona (Ni, Cu i V) okužen sa šest liganada (O, S i Se), formirajući tako objekt oktaedarske geometrije (simetrije) koji se u realnim kristalima međusobno povezuju. Ovisno o načinu veze među oktaedrima te o vrsti kationa (Se, Te i Ba), smještenih u 3D strukturi između oktaedara, rezultiraju i različita osnovna stanja ovih materijala. Aplikacijom naše statičke magnetske metodologije, koju čine dvije visokokvalitetne magnetske tehnike, susceptibilnost i magnetski zakretni moment na isti uzorak, u mogućnosti smo detektirati i magnetske i strukturne fazne prelaze. Budući da se obrađuje identičan uzorak u obadvije statičke magnetske tehnike u mogućnosti smo dobiti vjerodostojnije informacije u odnosu na druge komplementarne pa i sofisticirane tehnike koje obrađuju uzorke iz različitih izvora ili sinteza.

U  $\text{NiSeO}_3$  (spin  $s = 1$ ) materijalu detektiran je strukturni fazni prelaz, koji se u tehnici zakretnog momenta manifestira kao skokovita preorijentacija magnetskih osi za  $20^\circ$  na temperaturi  $T_{\text{Str}} = 15\text{K}$ . U statičkoj susceptibilnosti ovaj efekt na  $T_{\text{Str}}$  popraćen je ostrim padom magnetske susceptibilnosti, nalik antiferomagnetskom uređenju. Analiza pak ovih kombiniranih mjerenja pokazuje da oštra anomalija na  $T_{\text{Str}}$  nije uzrokovana magnetskim uređenjem kako sugeriraju podaci samo jedne magnetske tehnike; česta pojava u literaturi. (Rad je publiciran).

Magnetizam  $\text{CuTe}_2\text{O}_5$  (spina  $s = \frac{1}{2}$ ) materijala samo se kvalitativno može opisati ponašanjem skupa magnetskih dimera, za koji susceptibilnost isčezava kako temperatura ide u nulu. Suprotno očekivanju dimerskog modela, našli smo golemu rotaciju magnetskih osi ispod  $T = 19\text{K}$  i neočekivano, strukturni prelaz na još nižoj temperaturi  $T_{\text{Str}} = 5\text{K}$  ispod koje susceptibilnost počinje oštro rasti, u situaciji kad bi po modelu ovaj sistem već trebao biti u nemagnetskom osnovnom stanju. Ovo je primjer utjecaja kationskog (Te) podsistema na strukturu koji se veže sa (kisik)- ligandima oktaedra i deformira ga, mijenjajući tako simetriju mjesta rešetke na kojem sjedi centralni Cu-magnetski ion, ili drugim riječima modificira osnovno stanje projicirano iz visokotemperaturnog magnetskog ponašanja. Također, ovo je primjer situacije kada je teoretsko modeliranje magnetskih sistema manjkavo popisom svih simetrija u sistemu. (Rad je u pripremi)



Vodljivi material  $\text{BaVSe}_3$  (spina  $s = \frac{1}{2}$ ) pokazuje feromagnetsko uređenje na temperaturi  $T_F = 40\text{K}$  te, po prvi put detektiran, strukturni prelaz na  $T_{\text{Sstr}} = 62\text{K}$ , koji se u tehnici zakretnog magnetskog momenta manifestira velikom skokovitom preorijentacijom magnetskih osi, za  $90^\circ$ . Činjenica da strukturni prelaz ( $T_{\text{Sstr}} = 62\text{K}$ ) predhodi magnetskom prelazu na  $T_F = 40\text{K}$  dovodi u pitanje projekcije teoretskih modela (iz prvih principa) baziranih na simetrijama dobivenih iz strukturnih podataka na sobnim temperaturama. (Rad je u pripremi). U ovom kontekstu, izo-strukturni materijal  $\text{BaVS}_3$ , također električki vodljiv iznad  $70\text{K}$  a ispod prelazi u izolator, je reprezentativan primjer kontroverzi. Magnetska istraživanja našom statičkom metodologijom pokazuje u  $\text{BaVS}_3$  materijalu i magnetske i strukturne fazne prelaze, referiranih od drugih autora različitim tehnikama. Međutim, po prvi put nalazimo i nove detalje oko tzv. “misterioznog” prelaza na temperaturi “ $T_X$ ”= $30\text{K}$  koji ponovo naglašavaju kontroverze između teorije prvih principa i neočekivanih promjena simetrije u relanim sistemima. Naime, pokazali smo tehnikom magnetskog zakretnog momenta, da se fazni prelaz na temperaturi “ $T_X$ ”= $30\text{K}$  sastoji od dva bliska fazna prelaza; magnetski na  $T = 30\text{K}$  i stukturini na  $T = 28\text{K}$ , dakle razmaknuti u temperaturi za  $2\text{K}$ . Ovo je vrlo važna eksperimentalna informacija koja se direktno odnosi na pitanje prirode sila koje motiviraju specifični fazni prelaz. Trenutni konsenzus o ovom materijalu koji na  $T = 70\text{K}$  doživljava metal-izolator prelaz jest da ovaj sistem ispod  $70\text{K}$  teži prema nemagnetskom osnovnom stanju. Nasuprot tome, naši pak rezultati kažu da prvi po redu fazni prelaz ispod  $70\text{K}$  jest (antifero)magnetski prelaz na  $T_{\text{AFM}} = 30\text{K}$  pa poslije ovog tek slijedi stukturini. Dakle, pojava magnetskog prelaza prvog u slijedu temperatura ispod  $70\text{K}$  u oštroj je suprotnosti sa teoretskom projekcijom razvoja sistema ispod  $70\text{K}$  u nemagnetsko osnovno stanje. Kredibilitet informacija ove statičke metodologije posebno dolazi do izražaja u ovom materijalu za koji je poznato da može biti deficitaran sumporom sa drastičnim posljedicama na magnetska svojstva, antiferomagnet prelazi u feromagnet, te da različiti uzorci koji prolaze različite tehnike mogu davati vrlo kontroverzne informacije, što je i bio slučaj. Naglašavamo stoga da osim što je identičan uzorak obrađivan našom metodologijom, dva bliska fazna prelaza karakterizirana su čak u jednom te istom mjerenju (tehnikom magnetskog zakretnog momenta) gdje ni deklarirana razlika u temperaturama dvaju prelaza od  $2\text{K}$  nije upitna. (Rad u pripremi).

Materijal  $\text{Sr}_{14-x}\text{Y}_x\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$  za razliku od gore navedenih materijala građen je od lanaca i ljestvica (ladder) sa različito organiziranim Cu-O strukturama, od kojih ni jedan osnovni stukturini element nema oktaedarsku geometriju (simetriju). U lancima Cu-ion je okružen sa  $4\text{O}$  u kvadratnoj geometriji (simetriji) i u području temperatura od  $2\text{K}$ - $300\text{K}$  predstavlja magnetski aktivan podskup ovog sistema. Organizacija Cu-O u ljestvicama je drugačija i magnetizam ovog podskupa je zanemariv. Kao što se i očekivalo za opisanu Cu-O geometriju u lancima, utvđeno je postojanje anizotropne interakcije izmjene s jedne strane te razvoj niskotemperaturnog porasta susceptibilnosti kod legiranja tj. kod uvođenja defekata (razbijanje lanaca) sa itrijem ( $\text{Y}_x$ ), s druge strane. (Rad je u pripremi).

### ***Defects and interaction in low dimensional ( $D < 3$ ) magnetic systems***

Observed extraordinary large rotation of the magnetic axis seems to be frequent phenomena in materials structures grown-up from octahedral blocs formed by six

coordinated ions like oxygen with the 3d-magnetic ion in the center. Monitoring above effect with our unique static magnetic methodology brings us highly important microscopic insight about symmetries in the crystal. The credibility of our methodology, which assumes application of two high-resolution techniques, the susceptibility and the torque techniques, esteem from the use of the very the same crystal sample in both techniques.

In the material  $\text{NiSeO}_3$  ( $\text{Ni}^{+2}$ , spin  $S=1$ ) with a complex crystal structure, we have found structural transition, proved by the sharp reorientation of the magnetic axes by 20 deg in the torque measurements at the temperature of 15K. The susceptibility at the same temperature monitored a cusp features that is otherwise signature of antiferromagnetic ordering. However, these two experimental facts in combination disregards antiferromagnetic ordering, though the susceptibility data alone would suggest reverse.

In the material  $\text{CuTe}_2\text{O}_5$  ( $\text{Cu}^{+2}$ , spin  $S= \frac{1}{2}$ ) whose overall magnetic behavior describes by antiferromagnetic dimmer. We have found unusual and huge axes rotations, starting at temperature  $T= 19\text{K}$ , and in addition a sharp axes reorientation at temperature  $T_{\text{str.}}=5\text{K}$  below which susceptibility suddenly start to rise as the temperature goes to zero, contrary to the model behavior by which susceptibility should vanish below 7K. It is the influence of the tellurium (Te) ion in the structure, which couples to the oxygen ions on the octahedra that deforms them, changing thus the symmetry of the  $\text{Cu}^{+2}$  ion lattice site i.e. changing (reorienting) accordingly its principal magnetic axes hence finally, influences ground state, proposed using high temperature symmetries.

The conducting selenium material  $\text{BaVSe}_3$  ( $\text{V}^{+4}$ , spin  $S= \frac{1}{2}$ ) grown-up also of octahedral units but of selenium ions, displays ferromagnetic order at temperature  $T_F= 40\text{K}$  and in addition undergoes structural transition at  $T_{\text{str.}}= 62\text{K}$ . The fact, that the structural transition temperature precedes magnetic one strongly doubts any first principle theoretical prospect based, as frequently happens, on the high (room) temperature crystal structure (symmetries). In the same context, the iso-structural sulfur material  $\text{BaVS}_3$  ( $\text{V}^{+4}$ , spin  $S= \frac{1}{2}$ ) is an representative example. We have proved the existence of the structural and the magnetic phase transitions some of which appeared in the literature but also, for the first time, our methodology revealed a new features that the controversial phase transition at temperature " $T_X$ "= $30\text{K}$  undergoes but the two close in temperature (2K) phase transitions. Regarding the fundamental question of the nature of the driving forces of the phase transitions, we stress that the higher in temperature transition at  $T_{\text{AFO}}=30\text{K}$  is the magnetic order (antiferromagnetic) followed by structural transition (axes reorientation) at lower temperature  $T_{\text{str.}}=28\text{K}$ . Hence these experimental findings strongly contradicts to the proposition that the system in this temperature region develops towards nonmagnetic ground state.

## **Objavljeni radovi**

1. *A new modification of nickel selenite NiSeO<sub>3</sub>-crystal structure and magnetic properties*

M. Miljak, R. Becker, M. Herak, M. Prester, O. Milat, M. Johnsson and H. Berger  
J. Phys.: Condens. Matter: **19**, 196203 (2007)

## **Sudjelovanje u nastavi**

### **Dodiplomska nastava**

dipl.ing. Mirta Herak, odradila je dva termina kao voditelj praktikuma, "Praktikum iz fizike", na Fizičkom odsjeku PMF-a za studente druge godine, smjera dipl.ing te prof. kemije.

# TRANSPORT I TERMODINAMIKA NOVIH MATERIJALA S ELEKTRONSKIM KORELACIJAMA (035-00352843-2849)

**Glavni istraživač:** Dr. sc. Veljko Zlatić, znanstveni savjetnik

**Suradnici:** Dr. sc. Ivica Aviani, znanstveni suradnik  
Dr. sc. Ivica Zerec, znanstveni asistent

## Opis istraživanja

U prvom dijelu teorijskih istraživanja razmatrali smo termoelektrične i termomagnetske pojave u intermetalnim spojevima s nestabilnim 4f ionima, poput cerija, iterbija i europija. Prvo smo poopćenom NCA metodom riješili Andersonov model za jednu nečistoću uzevši u obzir modificirana magnetska stanja cerija i iterbija, te pobuđena stanja nemagnetskih konfiguracija. To rješenje vrlo dobro opisuje visokotemperaturna stanja teških fermiona i sistema s miješanom valencijom. Koherentna stanja navedenih intermetalnih spojeva opisali smo periodičkim Andersonovim koji smo riješili dinamičkom aproksimacijom srednjeg polja (DMFT). Pridruženi problem jedne nečistoće, koji se pojavljuje tokom iterativne DMFT procedure, riješili smo NCA metodom, odnosno renormalizacijskom grupom. Kvantitativni opis iterbijevih i europijevih iona u metalnim matricama zahtijeva poopćeni Falicov-Kimballov model koji uzima u obzir pobuđena stanja f-elektrona. Taj model također smo riješiti DMFT postupkom. Osnovni problem koji smo razmatrali u prvom dijelu projekta odnosio se na termoelektrične pojave u višeslojastim materijalima. Istraživali smo struju naboja i energije koju induciraju slabo električno polje i mali temperaturni gradijent.

Takodjer smo razmatrali nelinearne efekte u transportu naboja i energije. Radi se o dva različita problema. Prvi se odnosi na uspostavu stacionarnog stanja u prisustvu jakog vanjskog polja i velikih temperaturnih razlika. Drugi se odnosi na prolazne pojave koje karakteriziraju odziv sistema na vremenski ovisnu smetnju. U našim istraživanjima posebno smo analizirati odziv na kratkotrajno električno polje. Nas zanima evolucija sistema nakon što je kratkotrajno djelovalo snažno vanjsko polje u slučaju kad je prije uključanja smetnje sistem bio u ravnotežnom stanju. Taj tip problema susreće se prilikom kratkotrajnog obasjavanja metala laserskim snopom. Pokušali smo odgovoriti na neka od tih pitanja u okviru Falicov-Kimballovog modela, koristeći DMFT postupak. Za kvalitativni opis tih pojava koristili smo generaliziranu Boltzmanovu jednadžbu te račun smetnje.

## *Transport and thermodynamics of new materials with correlated electrons*

Generalizing the NCA method we solved the Anderson model, which is often used to describe the heavy fermions and valence fluctuators. An understanding of the Anderson models is essential for explaining the thermoelectric properties of intermetallic compounds in the coherent regime. So far, the low-temperature behavior has been

described by a phenomenological Fermi-liquid theory, while the full microscopic calculation is still lacking. We approached the lattice problem by the dynamical mean-field theory (DMFT). We also investigated the lattice problem defined by the Falicov-Kimball (FK) model which applies to 'bad metals', where the hybridization between the f-states and conduction band can be neglected. The model describes successfully the formation of the Mott-Hubbard gap and shows that the thermopower becomes very large in the vicinity of the gap. Our final and the most difficult task was to calculate the distribution of temperatures and electrical fields in multilayers, in response to potential and thermal gradients. Using the linear response theory, we studied the heat and charge currents perpendicular to the interfaces, which is of greatest interest for applications. The results have been published in open journals.

We also considered the nonlinear effects in the charge and heat transport. We examined the general phenomenon of the transient response of a system to a pulsed electric field. We start our system in equilibrium and turn a field on and off in a pulsed fashion. Next, we calculated the nonequilibrium Green's functions, and used them to determine physical properties of the system. The main problem we attacked with the dc steady-state approach was the problem of Bloch oscillations, and how they disappear as the scattering is turned on. Bloch oscillations survive forever in a noninteracting material, because we have a single-band model, and there is no scattering except for the Bragg scattering at the zone boundary. As interactions are turned on, the oscillations must be reduced in amplitude. We also addressed some of these questions via a Boltzmann equation.

### **Redovni radovi u CC časopisima**

J. K. Freericks, V. Zlatic, and A. M. Shvaika  
Electronic thermal transport in strongly correlated multilayered nanostructures  
Phys. Rev. B **75**, 035133 (2007)

K. W. Becker, S. Sykora, and V. Zlatic  
Static and dynamic properties of the spinless Falicov-Kimball model  
Phys. Rev. B **75**, 075101 (2007)

Zlatic, R. Monnier, J. K. Freericks, and K. W. Becker  
Relationship between the thermopower and entropy of strongly correlated electron systems  
Phys. Rev. B **76**, 085122 (2007)

J. K. Freericks and V. Zlatic  
Enhancement of thermoelectric performance in strongly correlated multilayered nanostructures  
Phy. Stat. Solidi (b) **244**, 2351 (2007)

## **Sudjelovanje na znanstvenim skupovima**

1. V. Zlatić (pozvano predavanje)

37th Journes des Actinides

*Thermoelectric properties of Cerium and Ytterbium intermetallic compounds*

Sesimbra, Portugal, travanj 2007

2. V. Zlatić (2 pozvana predavanja)

*Fermi liquid properties of the periodic Anderson model*

Mđunarodna radionica:

New Frontiers in Quantum Impurity Physics: From Nano-Structures to Molecular Devices

Dresden, kolovoz 2007

3. V. Zlatić (15 predavanja)

*Strongly Correlated Thermoelectrics*

XII Training Course in the Physics of Strongly Correlated Systems

Salerno, Italija

4. V. Zlatić (pozvano predavanje)

*Heat and charge transport in strongly correlated multilayers*

NATO Advanced Research Workshop: Electron transport in nanosystems,

Jalta, Ukraina, rujan 2007

## **Međunarodna znanstvena suradnja**

1. *Modeliranje jako koreliranih nano-struktura za primjenu u termoelektričnim uređajima*

Projekt financiraju National Science Foundation, USA, i MZT RH (2007-20010)

Kordinator na hrvatskoj strani: Dr. V. Zlatić

Partner u inozemstvu: Prof. J. Freericks, Georgetown University, Washington D.C., USA

2. *Nove pojave u koreliranoj materiji (2005-2009)*

COST/ECOM P16 projekt ("European Co-operation in the Field of Scientific and Technical Research") o fizici novih materijala. Detaljni opis može se naći na web-stranici Europske zaklade za znanost (European Science Foundation)

Koordinator i član "Management committee": Dr V. Zlatić

3. *Strongly correlated thermoelectrics (2008-2009)*

Bilateralna suradnja s Bečkim sveučilištem, Prof. Peter Rogl.

# SPEKTROSKOPIJA RYDBERGOVIH ATOMA I MOLEKULA (035-0352851-2853)

**Glavni istraživač:** dr.sc. Čedomil Vadla, znanstveni savjetnik

**Suradnici:** dr.sc. Vlasta Horvatić, viši znanstveni suradnik  
prof. dr.sc. Damir Veža (PMF)

## Opis istraživanja

Metodom prostorno razlučive apsorpcije bijele svjetlosti analizirane su pregrijane pare čistih alkalija (K, Rb, Cs) i njihovih mješavina. Pare su bile generirane u toplovodnoj peći s dodatnim aksijalnim grijačem pomoću kojega se može kontrolirati radijalna raspodjela temperature od temperature metalne kupke na stijenci peći (500 do 800 K) do temperature grijača (do 1200 K). Temperaturno ovisni reducirani apsorpcijski koeficijenti cezijevih para analizirani su od 300 nm (ispod granice ionizacije cezijevih atoma) do 1200 nm, odnosno do područja u kojem leže prvi prijelazi sa osnovnog stanja cezijevih dimera. Apsolutne vrijednosti reduciranih koeficijenata određene su preko tripletnih molekularnih prijelaza (difuzne vrpce između 704 nm i 720 nm, satelit na 875 nm), za koje su prethodne analize pokazale da predstavljaju pouzdane standarde za mjerenje koncentracije atoma u gustim prama. Dobiveni rezultati bit će uspoređeni s teorijskim simulacijama radi provjere molekularne strukture i dinamike Cs<sub>2</sub> molekule. Posebno težište stavljeno je na ispitivanje satelitskih struktura u okolini atomskih linija koje nastaju u prijelazima s osnovnog stanja na srednje pobuđena Rydbergova stanja. Postupnim dodavanjem manjih količina kalija i rubidija, analizirani su spektri Cs-K i Cs-Rb pri različitim omjerima koncentracije atoma. Preliminarni rezultati pokazuju da se satelitske strukture kod viših Rydbergovih stanja kalija i rubidija perturbiranih cezijem ne razlikuju od struktura nastalih uslijed međudjelovanja s atomima iste vrste. S druge strane, u slučaju cezija perturbiranog kalijem ili rubidijem satelitske strukture su bitno različite od onih koje nastaju uslijed Cs-Cs interakcije.

Obradeni su rezultati i napisan je članak o apsorpcijskim mjerenjima tripletnih satelitskih i difuznih vrpce u rubidiju. Dobiveni podaci predstavljaju standard za određivanje koncentracije Rb u intervalu  $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  -  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ , odnosno na temperaturama  $600 \text{ K} < T < 800 \text{ K}$ . Rad je u studenom 2007. prihvaćen za tisak u časopisu *Spectrochimica Acta part B*.

U suradnji s kolegama u Dortmundu na ISAS - Institute of Analytical Sciences, postavljen je eksperiment i započeta su mjerenja čija je cilj pronalaženje uvjeta u induktivno vezanoj plazmi (ICP) i kriterija za potpunu atomizaciju nanočestica u ICP-u. Istraživanja su potaknuta nepouzdanosti rezultata glede količinske zastupljenosti elemenata u uzorku koja još opterećuje uobičajene analitičke postupke za određivanje sastava uzoraka.

Obradeni su rezultati mjerenja širenja i pomaka zabranjene linije olova na 1278.9 nm uzrokovanih sudarima s atomima helija i argona. Rad je poslan u tisak a napravljen u

okviru nastavka suradnje s kolegama u Dortmundu na primjeni spektroskopskih metoda u analitičke svrhe.

### **Spectroscopy of Rydberg atoms and molecules**

More details about the investigations published in the papers [1, 2] that appeared in 2007, can be found in the annual report for the year 2006.

Using the method of spatially resolved white light absorption, the overheated vapors of pure alkalis (K, Rb, Cs) and their mixtures have been investigated. The vapors were generated in a heat pipe oven with additional axial heater, which enables the control of radial temperature distribution from the temperature of the metal bath at the heat pipe wall (500 K-800 K) to the axial heater temperature (about 1200 K). The temperature dependent reduced absorption coefficients of the cesium vapors were analyzed from 300 nm (below the Cs ionization limit) to 1200 nm, i.e. up to the spectral region where the first transitions from ground state of the Cs<sub>2</sub> molecule are lying. The absolute values for the reduced absorption coefficients were determined via triplet molecular transitions (diffuse bands between 704 nm and 720 nm, satellite at 875 nm). According to our previous investigations, these triplet transitions are found to be very accurate standards for determination of atomic number densities in dense cesium vapors. The obtained results will be compared with the theoretical simulations in order to check the molecular structure and the dynamics of Cs<sub>2</sub> molecule. Especially, the investigations were focused onto the satellite structures in the vicinity of the atomic lines emerging in the transitions from the ground state to the medium excited Rydberg states. By successive addition of small amounts of potassium and rubidium, the Cs-K and Cs-Rb spectra were analyzed at various ratios of atomic number densities. The preliminary results show that the satellite structures belonging to the higher Rydberg states of potassium and rubidium do not differ from the corresponding structures due to interactions with atoms of the same kind. On the other hand, in the case of cesium perturbed by potassium or rubidium, the satellite structures are very different in comparison with the Cs-Cs interaction.

The results of the measurements dealing with the absorption of the triplet satellite and diffuse bands in rubidium were evaluated and accepted for publication in *Spectrochimica Acta* part B in November 2007. The obtained data yield the standard for determination of the rubidium atom number densities in the range  $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  -  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  and for the temperatures in the interval  $600 \text{ K} < T < 800 \text{ K}$ .

In cooperation with the colleagues in Dortmund at ISAS - Institute of Analytical Sciences, an experimental set-up was established and the first measurements dealing with the characterization of nanoparticles were performed. The main goal of these investigations is to find the optimum conditions and criteria for total atomization of nanoparticles in an inductively coupled plasma (ICP). The project is prompted by uncertainties of the results of the common analytical methods regarding the elemental composition of the nanoparticle samples.

The results obtained in the experiments dealing with the broadening and shift of the forbidden lead 1278.9 nm line due to helium and argon were evaluated and prepared for publication. This work was performed in the framework of continuous cooperation with



the colleagues in Dortmund in the field of application of the spectroscopic methods in analytics.

## Objavljeni radovi

### Redovni radovi u CC-časopisima

[1] R. Beuc, M. Movre, V. Horvatic, C. Vadla, *Absorption spectroscopy of the rubidium dimer in an overheated vapor: An accurate check of molecular structure and dynamics*, O. Dulieu, M. Aymar, Phys. Rev. A, **75**, 032512 ( 2007)

[2] D. Boecker, A. Zybin, V. Horvatic, C. Grunwald, K. Niemax, *Differential surface plasmon resonance imaging for high throughput bio-analyses*, Anal. Chem. **79** 702-709 (2007)

### Međunarodna suradnja

1. Projekt *Untersuchung der Wechselwirkung zwischen Alkali-Rydberg-Atomen in Quanten- zuständen  $n_{eff} \geq 8$  mit Alkali-grundzustandatomen*, Deutsch - kroatisches Kooperationsprojekt (DFG 436 KRO 113/9/0-1). Voditelji: prof. Dr. K. Niemax (ISAS-Institute for Analytical Sciences at the University of Dortmund) i dr. Č. Vadla (Institut za fiziku, Zagreb).
2. Neformalna suradnja na projektu *Resonance fluorescence imaging detectors* sa prof. dr N. Omenettom, Department of Chemistry, University of Florida, Gainesville, FL USA.

### Ostale aktivnosti

1. Dr. Vlasta Horvatić :- tajnica Hrvatskog fizikalnog društva,  
administrator web stranica Hrvatskog fizikalnog društva

# RAZVOJ DIGITALNIH POSTUPAKA U HOLOGRAFIJI I INTERFEROMETRIJI (035-0352851-2854)

**Glavni istraživač:** dr. sc. Nazif Demoli, znanstveni savjetnik

**Suradnici:** dipl. inž. Kristina Šariri, znanstveni novak  
mr. sc. Ivica Sović\*, asistent

\* PMF, Geofizički odsjek

## Opis istraživanja

Rad na ovom projektu nastavak je prethodnih aktivnosti na razvoju i primjeni tehnika baziranih na holografiji te odgovarajućih optoelektroničkih sustava za mjerenje (projekt: Optičko filtriranje, interferometrija i holografija). Istraživanja su usmjerena, s jedne strane, na probleme osjetljivosti, brzine i rezolucije mjernih postupaka, a s druge strane, na primjene koje se odnose na mjerenje pomaka i deformacija, mikropukotina, vibracijskih stanja te sličnosti uzoraka.

Osjetljivost holografske interferometrije limitirana je izborom konkretnog postava i valne duljine upotrijebljene svjetlosti te smetnjama koje se javljaju u uređaju za mjerenje. Najkritičnija su mjerenja pojava koje su na rubu detektabilnosti, kao što je primjerice korona izboj. U suradnji s Louis Pasteur sveučilištem u Strasbourgu, razvijen je numerički postupak za povećanje osjetljivosti digitalne holografske interferometrije temeljen na post-obradi zapisanih digitalnih holograma. Povećanje osjetljivosti postize se iterativnim putem pri čemu svaki korak udvostručuje osjetljivost.

U prethodnom istraživačkom razdoblju razvijen je sustav za rekonstrukciju digitalnih holograma u realnom vremenu, kod kojega je snimanje holograma realizirano pomoću digitalnog CCD senzora, dok je za rekonstrukciju korišten prošireni postav za Fourierovu transformaciju pomoću zaslona s tekućim kristalima i analognog CCD senzora. Posebnu upotrebljivost sustav pokazuje za praćenje vibracijskih pojava pomoću vremenski usrednjene digitalne holografske interferometrije. Istražen je utjecaj konstrukcije pojedinih dijelova glazbenog instrumenta na modalnu strukturu titranja rezonatora, a dobiveni rezultati jasno diskriminiraju različita rješenja.

Nastavljen je rad na raspoznavanju uzoraka analizom momenata slike, deskriptorima invarijantnim na translaciju, rotaciju, promjenu skale i neke tipove distorzija. Postupak je primijenjen na analizu slova različitih tipova glagoljice. Za širu primjenu postupka i odgovarajućih statističkih analiza, razmatran je utjecaj višestrukosti ulaznih signala na promjenu Huovih i afinih invarijanata.

Nastavljen je rad na primjeni digitalne laserske interferometrije. U suradnji sa Stomatološkim fakultetom u Zagrebu analizirana su laboratorijska mjerenja polimerizacijskog skupljanja smolastih kompozita nove generacije dobivena s novim izvorima svjetlosti. Usporedbom s prijašnjim mjerenjima (kompoziti starijeg tipa i stariji

izvori svejetlosti), uočen je znatno manje izražen efekt polimerizacijskog skupljanja. Za mjerenje na različitim tipovima uzoraka, napravljene su vakuumske komore za kontrolirano grijanje i hlađenje uzoraka.

### ***Development of digital procedures in holography and interferometry***

We continued with activities in developing and applying the techniques based on holography (previous project: Optical filtering, interferometry and holography).

In investigating the sensitivity of the holographic interferometry, a new procedure was developed in collaboration with the Louis Pasteur University in Strasbourg. The procedure has an iterative character in which every step doubles the sensitivity. It is thus especially useful in applications with sub-wavelength wavefront deformations as demonstrated with a corona discharge.

Previously, a device for monitoring the vibration fringe patterns in real-time was developed based on optical reconstructing of digital holograms. The effectiveness of the proposed device has been verified by performing operations such as monitoring of vibration modes, adjusting the hologram recording parameters, or searching for resonant frequencies. In a new application, we used the device for investigating the influence of different mountings on the vibrational behaviour of a musical instrument. The obtained results clearly distinguish between different mounting solutions and thus also demonstrate the usefulness of the developed system.

We continued to work on pattern recognition problems by analyzing of image moments, numerical descriptors invariant to translation, rotation, scale change and some types of image distortions. The method was applied in an analysis of the different types of Glagolitic letters. For more extensive applications, we investigated the multiple signals influence on the Hu's and affine invariants.

We analyzed polymerization shrinkage of new resin composite materials and new curing units (collaboration with the Dental faculty in Zagreb) by digital laser interferometry. Results showed that new generation of composites shrinks considerably less than the previous one. For other applications, we continued improving our laser interferometry system by making new vacuum chambers for controlled heating and cooling of samples.

### **Objavljeni radovi**

#### **Redovni radovi u CC časopisima**

1. N. Demoli, M. Torzynski, and D. Vukičević  
*Enhanced sensitivity digital holographic interferometry*  
*Optics Express* **15** (17), 10672-10680 (2007).
2. A. Knežević, M. Ristić, N. Demoli, Z. Tarle, S. Musić, V. Negovetić Mandić  
*Composite photopolymerization with diode laser*  
*Operative Dentistry* **32** (3), 279-284 (2007).

3. V. Pandurić, N. Demoli, Z. Tarle, K. Šariri, V. Negovetić Mandić, A. Knežević, J. Šutalo  
*Visualization of marginal integrity of resin-enamel interface by holographic interferometry*  
Operative Dentistry **32** (3), 266-272 (2007).

#### **Stručni radovi**

4. N. Demoli  
*Investigation of the chin rest influence on the vibration properties of the violin body by using time-average digital holography*  
Institut za fiziku, Ekspertiza (2007).

#### **Održana predavanja**

1. N. Demoli  
*Digital holography – new ideas and applications*  
Louis Pasteur sveučilište u Strasbourgu, 19.04.2007.
1. N. Demoli  
*Razvoj i primjene holografskih postupaka*  
Institut za fiziku (nastupno predavanje), 25.10.2007.

#### **Međunarodna znanstvena suradnja**

##### **Neposredna suradnja**

University Louis Pasteur, Photonics Systems Laboratory, Strasbourg, prof. D. Vukičević.

##### **Domaća znanstvena suradnja**

##### **Neposredna suradnja**

Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, dr. Z. Tarle.

#### **Sudjelovanje u nastavi**

##### **Poslijediplomska nastava**

N. Demoli, *Optika i holografija* (310), PMF

#### **Ostalo**

N. Demoli, voditelj projekta e-škole: *Koherentna optika*

N. Demoli, recenzent časopisa: Optics Letters, JOSA A, Applied Optics, Optical Engineering, Optics Communications i Fizika.

# LASERSKA SPEKTROSKOPIJA HLADNE PLAZME ZA OBRADU MATERIJALA (035-0352851-2856)

**Glavni istraživač:** dr. sc. Slobodan Milošević, znanstveni savjetnik (II)

**Suradnici:** dr. sc. Irena Labazan, znanstvena suradnica  
Nikša Krstulović, dipl. ing. - znanstveni novak

## Opis istraživanja

Hladne plazme (elektronska temperatura manja od 1 eV) zanimljive su kako za fundamentalna istraživanja tako i različite tehnološke primjene. Bogate su radikalima što utječe na njihovu kemijsku aktivnost i čini ih korisnim izvorom novih molekula, nanočestica ili za obradu površina različitih materijala. Da bi se u potpunosti razumjeli procesi u plazmi i omogućila njihova kontrola potrebno je karakterizirati sastav plazme što je još uvijek otvoreno područje istraživanja. Koristimo dvije vrste hladne plazme: induciranu laserima u procesu laserske ablacije i u radio-frekventnom induktivno vezanom izboju. Istraživanje je fokusirano prema procesima stvaranja metal-vodik i metal-ugljik molekula koje bi mogle biti kandidati za hlađenje molekula te prema različitim radikalima koji nastaju u kisikovim i vodikovim ili vodenim RF plazmama. Za karakterizaciju plazme koristimo i unaprijeđujemo laserske spektroskopske metode: lasersku spektroskopiju pomoću optičkog rezonatora (CRDS), laserom induciranu breakdown spektroskopiju (LIBS), optičku emisijsku spektroskopiju (OES) i masenu spektroskopiju na temelju vremena proleta (LA-TOF-MS). Simultana upotreba tih komplementarnih metoda omogućava nam napredak u karakterizaciji plazme.

U radu [2] opisano je istraživanje promjene karakteristika papira pomoću kisikove plazme. Izloženost plazmi od nekoliko sekundi čuva strukturu površine ali mijenja kemijska svojstva. U radu [3] kisikova plazma primjenjena je za proučavanje procesa sterilizacije na test bakterijama *E. C.*, uz upotrebu optičke emisijske spektroskopije. Pokazano je da je moguće opaziti emisiju određenih produkata sterilizacije (CO, OH, N<sub>2</sub>, H) i pomoću njih nadgledati sam proces sterilizacije. U radu [4] kisikova plazma upotrebljena je za promjenu funkcionalnih svojstava površina poly(p-phenilene sulphide). U radu [5] izvršena je generalna karakterizacija kisikove plazme pomoću optičke emisijske spektroskopije na raznim tlakovima kisika. U radu [6] prikazani su prvi rezultati proučavanja prijelaznih pojava u induktivno vezanoj kisikovoj plazmi koje su posljedica ubacivanja u plazmu različitih para.

U narednim istraživanjima pažnja će biti posvećena proučavanju laserski inducirane plazme i još nedovoljno razjašnjenom procesu s dva usklađena laserska pulsa koji rezultira značajnim povećanjem proizvodnje čestica. U karakterizaciji kisikove plazme OES metoda će se razvijati u pravcu bolje prostorne i vremenske razlučivosti. Kod RF plazme najveći napredak se očekuje u primjeni CRDS metode u dodatku standardne optičke emisijske spektroskopije, čiji je razvoj započet. Također proučavat ćemo kombiniranje dviju plazmi što će, očekujemo, omogućiti nove optimizirane izvore

molekula i lasersku kontrolu RF-plazme. U protekloj godini započet je i razvoj atmosferskih izvora plazme koje će biti karakterizirane OES i CRDS metodama.

Očekuju se nove primjene istraživanja u stomatologiji, restauraciji papira plazmom, i obradi različitih materijala.

Jedan je rad prihvaćen za štampu, dva poslata u štampu i još nekoliko ih je u završnoj fazi pripreme. Pored toga, u sklopu dodiplomske nastave, napravljen je jedan seminar u grupi i započet jedan diplomski rad.

### ***Laser spectroscopy of cold plasma for treatment of materials***

Cold plasmas are of interest both in fundamental research and for various technological applications. They are rich of radicals which gives contribution to their chemical activity and makes them as valuable sources of new molecular species and nano-particles and effective for surface treatment of various materials. To fully understand and control occurring plasma processes there is a need to characterize the plasma content. We study two types of cold plasmas: one induced by lasers through the process of Laser Ablation (LA) and the other by making the Radio-Frequency Inductively Coupled (RF-IC) discharge. We focus our research towards formation processes of polar molecules which are candidates for preparation as cold molecules, and various radicals formed in oxygen, hydrogen and water RF-plasmas. Simultaneous use of complementary laser techniques such as Cavity Ring-Down Spectroscopy, Laser Induced Breakdown Spectroscopy, optical emission spectroscopy (OES) and Laser Ablation Time of Flight Mass Spectrometry provide advances in Plasma characterization.

Reference 2 describes study of paper modification by oxygen plasma. Just few seconds of treatment in plasma changes chemical properties but not structure of the paper surface. Reference 3 deals with sterilization by oxygen plasma. Test bacteria E.C. were used. Various products of reactions were observed (CO, OH, N<sub>2</sub>, H) by OES method and proved as possible candidates for monitoring sterilization processes. In reference 4 oxygen plasma was used for functionalization of poly(p-phenylene sulphide) materials. Ref. 5 describes general OES study of pure oxygen plasma at various gas pressures. Reference 6 describes first results related to transition phenomena and striations in inductively coupled radiofrequency plasma studied by optical emission spectroscopy. Transitions were induced by loading various vapors into the plasma.

In forthcoming studies we shall pay attention to laser induced plasma and still not fully understood problem of dual pulse ablation which results with few order of magnitude increase of signals. In order to characterize oxygen plasma OES method will be developed with better spatial and temporal resolution. With RF plasmas best advancement is expected in application of CRDS method as comparable to OES. In addition we plan to study combined laser induced plasma and RF plasma in order to enhance molecular production. We have also started to develop atmospheric plasma sources which will be characterized by CRDS and OES methods. We expect new application in dentistry, paper restoration by plasma and treatment of various materials.

## **Objavljeni radovi**

### **Redovni radovi u CC časopisima**

1. M. Pichler, D. Azinović, S. Milošević, G. Pichler, Complex resonance energy transfer in the LiH-Li system, *Chemical Physics Letters*. **438** (2007) , 4-6; 178-183
2. A. Vesel, M. Mozetič, A. Hladnik, J. Dolenc, J. Zule, S. Milošević, N. Krstulović, M. Klanjšek-Gunde, N. Hauptmann, Modification of ink-jet paper by oxygen-plasma treatment. *Journal of Physics D: Applied Physics*. **40** (2007) , 12; 3689-3696
3. D. Vujošević, M. Mozetič, U. Cvelbar, N. Krstulović, S. Milošević, Optical emission spectroscopy characterization of oxygen plasma during degradation of *Escherichia coli.*, *Journal of Applied Physics*. **101** (2007) , 10; 1033051-7.
4. U. Cvelbar, M. Mozetič, I. Junkar, A. Vesel, J. Kovač, A. Drenik, T. Vrlinič, N. Hauptman, M. Klanjšek-Gunde, B. Markoli, N. Krstulović, S. Milošević, F. Gaboriau, T. Belmonte, Oxygen plasma functionalization of poly(p-phenylene sulphide). *Applied Surface Science*. **253** (2007) , 21; 8669-8673

### **Konferencijski radovi u CC časopisima**

5. U. Cvelbar, N. Krstulović, S. Milošević, M. Mozetič, Inductively coupled RF oxygen plasma characterization by optical emission spectroscopy. *Vacuum*. **82** (2007) ; 224-227

### **Radovi u zbornicima konferencija**

6. N. Čutić, N. Glavan, Z. Kregar, N. Krstulović, S. Milošević, Transition phenomena and striations in inductively coupled radiofrequency plasma studied by optical emission spectroscopy XXVIII International Conference on Phenomena in Ionized Gases, Proceedings, Schmidt, J. ; Šimek, M. ; Pekárek, S. ; Prukner, V. (ur.).Prag : Institute of Plasma Physics AS CR, v.v.i., 2007. 2060-2062
7. N. Krstulović, N. Čutić, N. Glavan, Z. Kregar, S. Milošević, Characterization of cold plasmas for new materials preparation by optical spectroscopy methods, MIPRO 2007 30th Jubilee International Convention, Biljanović, Petar ; Skala, Karolj (ur.). Rijeka : Croatian Society for Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, 2007. 45-49.

### **Sudjelovanje na znanstvenim skupovima**

1. N. Glavan, N. Krstulović, Z. Kregar, S. Milošević, Optical emission spectroscopy of oxygen low-pressure inductively coupled plasma loaded by ethanol, methanol and acetone vapours *Zbornik Povzetkov 14. Mednarodni znanstveni sestanek Vakuumska*

znanost in tehnika, Šetina, Janez ; Kovač, Janez (ur.). Ljubljana : Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije, 2007. 18-18 (poster).

2. N. Glavan, N. Krstulović, S. Milošević, Optical emission spectroscopy of oxygen low-pressure inductively coupled plasma loaded by ethanol, methanol and acetone vapours Abstract Booklet, 16th International Colloquium on Plasma Processes / Legeay, Gilbert (ur.). Toulouse : Societe Francaise du Vide, 2007. 115-115 (poster).

3. N. Krstulović, N. Čutić, S. Milošević, Development of molecular sources for deceleration and trapping experiments using dual-pulse laser ablation and cavity ring-down spectroscopy, Book of abstracts Bijuni Conference 2007. Laser Pulse Shaping and Coherent Control of Molecules, Pichler, Goran (ur.). Zagreb : Institut za fiziku, Zagreb, 2007. 49-49 (poster).

4. N. Krstulović, N. Čutić, S. Milošević, Laser induced plasma plume studied by cavity ring-down spectroscopy, LIBS: from research to Industry / Mauchien, Patrick (ur.). Pariz, Francuska : PLANI, CEA Center of Saclay, 2007. 143 (poster).

5. N. Krstulović, N. Čutić, S. Milošević, Characterization of molecules within laser induced plasma plume by cavity ring-down spectroscopy , LIBS: from research to Industry, P. Mauchien, (ur.). Pariz, Francuska : PLANI, CEA Center of Saclay, 2007. 142 (poster).

6. N. Krstulović, S. Milošević, U. Cvelbar, A. Vesel, M. Mozetič, Monitoring of a Mylar foil degradation in oxygen RF plasma by means of optical emission spectroscopy, Zbornik povzetkov 14. mednarodni znanstveni sestanek Vakuumska znanost in tehnika, J. Šetina, J. Kovač, (ur.).Ljubljana : Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije, 2007. 9-9 (usmeno).

7. N. Krstulović, S. Milošević, U. Cvelbar, A. Vesel, M. Mozetič, Determination of plasma radicals during oxidation of PET foil by optical emission spectroscopy, Abstract Booklet, 16th International Colloquium on Plasma Processes / Legeay, Gilbert (ur.). Toulouse : Societe Francaise du Vide, 2007. 13-13 (usmeno).

8. M. Mozetič, U. Cvelbar, A. Vesel, N. Krstulović, S. Milošević, Z. Vratnica, D. Vujošević, Characterization of oxygen plasma during degradation of Escherichia coli, Abstract Booklet, 16th International Colloquium on Plasma Processes, Legeay, Gilbert (ur.). Toulouse : Societe Francaise du Vide, 2007. 158-158 (poster).

9. D. Vujošević, I. Junkar, N. Krstulović, S. Milošević, M. Mozetič, U. Cvelbar, Characterization of oxygen plasma during degradation of Escherichia coli by optical emission spectroscopy, Zbornik Povzetkov 14. Mednarodni znanstveni sestanek Vakuumska znanost in tehnika, Šetina, Janez ; Kovač, Janez (ur.). Ljubljana : Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije, 2007. 12-12 (poster).



## **Studijski boravci**

I. Labazan, postdoktorska pozicija u grupi dr. John-a Crowleya Max Planck Institute for Chemistry u Mainzu (01.03.2007-31.12.2007).

## **Međunarodna znanstvena suradnja**

### **Projekti**

Naziv: Karakterizacija plazme za obradu biokompatibilnih materijala  
Partner: Institut Jožef Stefan, Teslova 20, Ljubljana, Slovenija grupa M. Mozetiča, hrvatsko- slovenski projekti (2006-2007)

### **Posljediplomska nastava**

S. Milošević, Metode atomskih i molekularnih snopova (314), PMF, Zagreb

### **Ostalo**

Nikša Krstulović, Svjetlost i spektrometar prezentacija na Otvorenim danima Instituta veljača 2007.

Nikša Krstulović i Zlatko Kregar: Kako napraviti spektrometar?, prezentacija na Festivalu znanosti, Tehnički muzej, Zagreb 24. i 25. travnja 2007.

Slobodan Milošević, Plazma- znanost i tehnologija, predavanje na Festivalu znanosti, Tehnički muzej, Zagreb 28. travnja 2007.

Slobodan Milošević, uređivanje web stranice e-škole Fizika: „Pročitali smo za vas“ i napis „Plazma- osnovni oblik materije“ [http://eskola.hfd.hr/proc\\_zas/proc-21/proc21.htm](http://eskola.hfd.hr/proc_zas/proc-21/proc21.htm)

# FEMTOSEKUNDNA LASERSKA FIZIKA ATOMA I MOLEKULA (035-0352851-2857)

**Glavni istraživač:** dr. sc. Goran Pichler, znanstveni savjetnik

**Suradnici:** dr. sc. Ticijana Ban, znanstveni suradnik  
dr.sc. Hrvoje Skenderović, viši znanstveni suradnik  
dr.sc. Damir Aumiler, znanstveni novak  
dipl.inž. Silvije Vdović, znanstveni novak  
dipl.inž. Nataša Vujičić, znanstveni novak

## Opis istraživanja

Znanstvena aktivnost u 2007. g. obilježena je nastavkom rada na tematici istraživanja efekata povezanih uz rezonantnu pobudu rubidijevih atoma nizom ultrakratkih laserskih pulseva, tehnikom direktne spektroskopije frekventnim češljem (*modified direct frequency comb spectroscopy*). Razvoj teorijskog modela i numeričkih računa koji opisuju interakciju svjetlosti lasera s atomima s više nivoa uspješno se nastavlja. Te su teorijske simulacije korištene u znanstvenim radovima pod [1,2]. U radu pod [3] napravljene su složene simulacije za elektrodinamički induciranu transparentiju (EIT) V-vrste za eksperiment izveden s 420 nm i 780 nm spektralne prijelaze. Kod svega toga značajno je da smo koristili poluvodičke lasere relativno male snage i dobili dobro slaganje s teorijskom simulacijom, koja je obuhvatila 56 energijskih razina u atomu rubidija.

U radu pod [4] istražena je složeni proces rezonantnog prijenosa energije pobuđenja s LiH molekule na litijeve atome. Osim prijenosa na Li(2s) atome, prijenos je bio također na Li(2p) atome, tako da su dobivena visoko pobuđena stanja litijevih atoma, opaženih u fluorescenciji.

U radovima pod [5,6] teorijski i eksperimentalno su obrađeni spektri RbCs molekule u uvjetima obitavanja na hladnoj kapljici helijevog klastera i u zagrijanim mješanim alkalijskim parama.

U sklopu rada naše grupe 2007 godine je po drugi puta organizirana *The Brijuni Conference*, pod naslovom *Laser Pulse Shaping and Coherent Control of Molecules*. Cijela grupa je sudjelovala u organizaciji programa na zadovoljstvo svih sudionika. Slično je bilo i u sklopu Festivala znanosti u Zagrebu gdje je gotovo cijela grupa sudjelovala u radionici *Čudesni svijet svjetlosti*.

U listopadu 2007. godine odobren je projekt bilateralne suradnje Hrvatska-Kina pod naslovom *Nonadiabatic effects in molecular reaction dynamics studied by femtosecond laser spectroscopy* (voditelj dr. sc. Damir Aumiler). Na temelju stipendije MZOŠ-a, od listopada 2007. Godine je D. Aumiler na post-doktorskom usavršavanju u Pekingu (Kina) na *Tsinghua University & Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences*. 20.04.2007. g. D. Aumiler je izabran u znanstveno zvanje – znanstveni suradnik.

Izrada znanstvenog rada *Cone emission induced by fs excitation in rubidium vapor*, H. Skenderović, T. Ban, N. Vujičić, D. Aumiler, S. Vdović, and G. Pichler, koji je u postupku objavljivanja u Phys. Rev. A.

N. Vujičić i S. Vdović su obavili obuku o radu s femtosekundnim laserom s optičkim vlaknom (FFL) pod stručnim vodstvom tehničara dr. Floriana Tausera. T. Ban i N. Vujičić su obavile stručno usavršavanje na Max Planck Institutu za molekularnu staničnu biologiju i genetiku u Dresdenu, na poziv dr. Ive Tolić-Nørrelykke. U okviru tog posjeta upoznale su se s osnovama izrade i načinom rada multi-fotonskog laserskog mikroskopa.

Na natječaju MZOŠ-a dobili smo sredstva za nabavu srednje i sitne opreme pa smo kupili visokoprecizna skenirajuća zrcala, mjerač snage, infracrveni digitalni spektrometar i mjerač valnih duljina. Svi nabavljeni elementi su posebno namjenjeni za blisko infracrveno područje spektra u kojem rade naši femtosekundni laserski sistemi.

U laboratoriju za femtosekundnu lasersku spektroskopiju H. Skenderović i S. Vdović su izradili eksperimentalni postav koji koristi tehniku četverovalnog miješanja za mjerenje frekvencija vibracija molekularnih nivoa natrija, ali i drugih molekularnih sistema. Uz taj rad na nelinearnoj laserskoj spektroskopiji vezana je i nova tehnika karakterizacije femtosekundnih pulseva tzv. FROG tehnikom (Frequency Resolved Optical Gating). T. Ban je ugradila magneto-optičku stupicu u novi vakuumski sustav, nabavljen preko Alexander von Humboldt Fondacije iz Njemačke. Na tom novom području se nadamo približiti jednom od naših glavnih dugoročnih ciljeva tj. dobivanju ultra-hladnih atoma i molekula rubidija. Krajem 2007. godine postavili smo i eksperiment dvofotonske pobude rubidijevih para frekventnim češljem pod utjecajem vanjskog magnetskog polja s novim femtosekundnim laserskim sustavom na bazi optičkih vlakana.

### ***Femtosecond laser physics of atoms and molecules 2007***

Our activity in the year 2007 was again successful with respect to quality and diversity of the published scientific papers. The essential support from the Ministry of Sciences, Education and Sport with small and medium equipment is greatly acknowledged. We organized for the second time the conference on femtosecond laser pulse shaping, Brijuni2007, and devoted ourselves to public outreach work and higher education.

Scientific activity is actually the continuation of our research on resonant excitation of rubidium atoms by the train of femtosecond pulses within the conditions for coherent accumulation of population and coherences. This was performed by the *modified direct frequency comb spectroscopy* using Ti:Sa femtosecond laser oscillator. We further developed theoretical method to treat enhanced sensitivity (using lock-in technique) to detect selected velocity groups of rubidium atoms and confirmed our previous results by publishing similar experiments and simulations for cesium atoms. In addition, we carried out the experiments and simulations for the mismatched V-type electrostatically induced transparency (EIT) in rubidium vapor using 420 nm and 780 nm resonant spectral transitions.

We also published an older experiment on complex resonance energy transfer in the LiH-Li system, which becomes interesting in view of modern search for the optimal lithium blanket in inertial fusion experiments. We definitely observed and discussed the energy

transfer of laser excited LiH molecules to many excited levels of lithium atoms. Those were detected by measuring fluorescence at sharp and diffuse lithium spectral lines.

A very extensive theoretical and experimental investigation of RbCs heteronuclear molecules brought new and interesting results for cold temperatures (surface of the helium cold droplets) and for elevated temperatures. The latter conditions we generated in special all-sapphire cells. The results will be of considerable importance in the novel field of diatomic molecules with a permanent electric dipole moment, for which different cooling mechanism could be applied without using lasers.

We organized already for the second time *The Brijuni Conference*, under the title *Laser Pulse Shaping and Coherent Control of Molecules*. The whole group was involved in the organization before, during and after the conference. Similar endeavor we had with a Science Festival in Zagreb, where our group was involved in the Workshop *Miraculous World of Light*.

In October, 2007 the bilateral project between P. R. China and Croatia under the title *Nonadiabatic effects in molecular reaction dynamics studied by femtosecond laser spectroscopy* was approved (project leader dr. sc. D. Aumiler). D. Aumiler received a grant from the Ministry of Sciences in Croatia for a one year post-doc position at *Tsinghua University & Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences*. On 20.04.2007. D. Aumiler was elected into scientific coworker.

N. Vujičić and S. Vdović had a special short course with dr. sc. Florian Tauser (TOPTICA, Germany) in which they obtained an excellent expertise for the work with femtosecond fiber laser (FFL). T. Ban and N. Vujičić spent a week at the Max Planck Institute for molecular cell biology and genetics in Dresden in the laboratory of dr. sc. Iva Tolić-Nørrelykke. Within the framework of this short visit they learned a lot about the basics of making and working with multi-photon lasers microscopy.

We purchased (using support from the Ministry of Sciences, Education and Sport) a high precision scanning mirrors, a power meter, digital spectrometer and wavelength meter, all for the near infra red spectral region. They will be used for many experiments in the near future, especially with femtosecond laser systems.

In the laboratory for the femtosecond laser spectroscopy H. Skenderović and S. Vdović have constructed experimental setup for the four wave mixing technique of atoms and molecules using amplified femtosecond pulses. To this nonlinear laser spectroscopy technique they added a new method of the characterization of femtosecond pulses by so called Frequency Resolved Optical Gating (FROG). T. Ban has incorporated the special cell within the future magneto-optical-trap (MOT), which is now connected to a new vacuum system obtained through the kind donation of Alexander von Humboldt Foundation in Germany. We hope to get closer to one of our main goals: making the ultracold rubidium molecules with femtosecond laser frequency comb. T. Ban and N. Vujičić, and others, initiated a new experiment with the resonant two-photon excitation of rubidium vapor using frequency comb of the femtosecond fiber laser. They studied the fluorescence at 420 nm transition under the influence of the homogeneous magnetic field of various magnitudes. This new efforts will be thoroughly studied in the future years, and we expect interesting results amenable to certain applications.

## Objavljeni znanstveni radovi

1. T. Ban, D. Aumiler, H. Skenderović, S. Vdović, N. Vujičić, G. Pichler, *Cancellation of the coherent accumulation in rubidium atoms excited by a train of femtosecond pulses*, Phys. Rev. A **76**, 043410 (2007).
2. N. Vujičić, S. Vdović, D. Aumiler, T. Ban, H. Skenderović, G. Pichler, *Femtosecond laser pulse train effect on Doppler profile of cesium resonance lines*, Eur. Phys. J. D **41**, 447 (2007).
3. S. Vdović, T. Ban, D. Aumiler, G. Pichler, *EIT at  $5^2S_{1/2} - 6^2P_{3/2}$  transition in a mismatched V-type rubidium system*, Opt. Commun. **272**, 407 (2007).
4. M. Pichler, D. Azinović, S. Milošević, G. Pichler, *Complex Resonance Energy Transfer in the LiH-Li System*, Chem. Phys. Lett. **438**, 178 (2007).
5. R. Beuc, M. Movre, B. Horvatić, G. Pichler, *Predictions of absorption bands for RbCs on helium clusters*, Chem. Phys. Lett. **435**, 236 (2007).
6. R. Beuc, M. Movre, B. Horvatić, M. Čopor, S. Vdović, A. Nevsesyanyan, T. Varzhapetyan, D. Sarkisyan, G. Pichler, *RbCs bands observation and interpretation*, Appl. Phys. B **88**, 111 (2007).

## Pozvana predavanja na konferencijama

1. S. Vdović, N. Vujičić, T. Ban, D. Aumiler, H. Skenderović, G. Pichler: *Treating cesium resonance lines with femtosecond pulse train*  
The Young Optician School (YOS-2007), Yerevan&Ashtarak, Armenija (2007).
2. D. Aumiler, T. Ban, H. Skenderović, N. Vujičić, S. Vdović, G. Pichler: *Coherence accumulation effects in rubidium atoms* Laser Pulse Shaping and Coherent Control of Molecules, Brijuni, Hrvatska (2007).
3. Ticijana Ban: Femtosekundni laseri – preciznost u vremenu i frekvenciji, HFD, 5.-8. listopada 2007., Primošten.
4. Goran Pichler, Femtosecond laser frequency comb influence on the atom velocity distribution, International School and Conference on Optics and Optical Materials (ISCOM) Belgrade, September 3-7, 2007.
5. Goran Pichler, *Frequenzkammspektroskopie mit Femtosekunden-Lasern*, Kolloquium "Moderne Laserentwicklung und Anwendungen in den Lebenswissenschaften", Düsseldorf, 26. Oktober, 2007.

## **Sudjelovanje na konferencijama**

G. Pichler, *Spectroscopy of Cesium Pulsed High Pressure Discharge*  
11th International Symposium on the Science and Technology of Light Sources  
Shanghai, Kina (2007).

T. Ban, S. Vdović, D. Aumiler, H. Skenderović, N. Vujičić, G. Pichler, *Enhanced sensitivity rubidium velocity comb measurements*, 9th European Conference on Atoms Molecules & Photons (ECAMP IX), Heraklion, Kreta, Grčka (2007).

T. Ban, D. Aumiler, H. Skenderović, S. Vdović, N. Vujičić, G. Pichler, *Cancellation of the coherent accumulation in rubidium atoms excited by a train of femtosecond pulses*, Laser pulse shaping and coherent control of molecules, 26.-31. kolovoz 2007., Brijuni, Hrvatska.

T. Ban, D. Aumiler, H. Skenderović, N. Vujičić, S. Vdović and G. Pichler  
Manipulation of the atom velocity with femtosecond laser frequency comb, Brijuni, Hrvatska.

H. Skenderović, T. Ban, N. Vujičić, D. Aumiler, S. Vdović, and G. Pichler  
Self-focusing and self-defocusing of fs laser light in rubidium vapor, Brijuni, Hrvatska.

N. Vujičić, H. Skenderović, T. Ban, D. Aumiler, S. Vdović, and G. Pichler.  
*Samofokusiranje i samodefokusiranje femtosekundnog laserskog zračenja u rubidijevim parama*, stranica 148, Znanstveni skup HFD-a u Primoštenu (od 05.-08.10.2007.)

Goran Pichler, Primjena femtosekundnih lasera na izvore svjetlosti, stranica 48,  
Primošten, 2007.

S. Vdović, T. Ban, D. Aumiler, H. Skenderović, N. Vujičić, G. Pichler, Poništavanje koherentne akumulacije populacije pobudjene femtosekundnim pulsevima, stranica 149,  
Primošten, 2007.

D. Aumiler, The 6<sup>th</sup> International Conference on Photonics and Imaging in Biology and Medicine, PIBM 2007, Wuhan, Kina (2007).

## **Predavanja**

1. H. Skenderović, *Kvantna informacija*, Otvoreni dani If-a, veljača 2007.

2. H. Skenderović, *Osnove kvantne fizike, kvantno računanje i kvantna kriptografija*, Festival Znanosti, Tehnički muzej, Zagreb, travanj 2007.

3. H. Skenderović, Atomic spectroscopy with optical frequency comb, Ludwig-Maximilian Universität, Munchen, lipanj 2007.

4. S. Vdović: Usporavanje svjetlosti i primjena metode kod proučavanja crnih rupa, Zagrebačka zvjezdarnica, 21.3.2007.

### **Diplomski rad**

Petra Munk: *Primjena novih UV dioda u atomskoj spektroskopiji*  
dipl. inž. fizike (2007).

### **Nastava**

D. Aumiler, PMF, Fizički odsjek, *Fizički praktikum 5*.

T. Ban, PMF, Fizički odsjek, *Praktikum iz fizike za kemičare*

N. Vujičić, PMF, Fizički odsjek, vježbe iz *Elektrodinamike*,  
Tehničko Veleučilište Zagreb, vježbe iz *Optičkih senzora*

S. Vdović, *Fizički Praktikum 5, Napredni Fizički praktikumu I*

G. Pichler,  
PMF, Fizički odsjek: dodiplomski, *Eksperimentalne metode atomske fizike, Atomska fizika s optikom*, poslijediplomski, *Atomska spektroskopija*  
FER, Zagreb, *kvantna elektronika i laseri*  
Tehničko Veleučilište Zagreb, *Optički senzori*, 2007

### **Objavljeni popularno-znanstveni radovi**

1. G. Pichler, D. Maričić: *Zvijezda laser, Čovjek i Svemir*, 2007.

### **Ostalo**

T. Ban, Voditelj velikog seminara na Institutu za fiziku

T. Ban, Tehnički urednik zbornika predavanja 23. ljetne škole mladih fizičara HFD-a, 24.-30. lipnja 2007., Labin, Hrvatska.

H. Skenderović, koeditor Knjige sažetaka 5. znanstvenog sastanka HFD-a Primošten, 5. - 8. 10. 2007.

# FIZIKA ATOMA I MOLEKULA U EKSTREMNIM UVJETIMA

**Glavni istraživač:** dr. sc. Robert Beuc, znanstveni savjetnik

**Suradnici:** dr. sc. Mladen Movre, znanstveni savjetnik  
dr. sc. Berislav Horvatić, znanstveni suradnik

## Opis istraživanja

Izračunali smo približan oblik apsorpcijskih vrpca u spektru molekule RbCs u području valnih duljina od 450 do 1000 nm. Za predviđanje spektara korištena je porodica potencijalnih krivulja za Hundov slučaj vezanja  $a$ , uz pretpostavku konstantnih spinski dozvoljenih dipolnih momenata prijelaza, asimptotsku ( $R \rightarrow \infty$ ) jednakost svih molekulskih oscilatornih jakosti i zanemarivanje energije vezanja spina i staze. Račun je poluklasičan, uz korištenje uniformne Airyjeve aproksimacije. Praktični cilj tih teorijskih simulacija je dvojak: (1) identifikacija/interpretacija eksperimentalno opaženih vrpca, tj. njihovo pripisivanje određenim radijacijskim prijelazima među stanjima RbCs dimera; na razini primjene, teorijska predviđanja usmjeravaju potragu za vrpca prikladnim za razne tehnološke svrhe, kao npr. razvijanje učinkovitih i "ugodnih" izvora svjetlosti; (2) testiranje korištene metode i aproksimacija: svako bitnije odstupanje teorijski predviđenog spektra od eksperimentalno opaženoga ukazivalo bi na potrebu složenijih računa koji uključuju ovisnost dipolnih momenata prijelaza o  $R$  i međudjelovanje spina i staze. Teorijski spektri uspoređeni su s eksperimentalnima dobivenim u vrlo gustim parama smjese Rb i Cs. Pokazalo se da relativno skromna korištena teorijska sredstva dostaju za uspješnu interpretaciju spektra. Za vrpcu oko 717 nm se ispostavlja da potječe od prijelaza  $1^1\Sigma^+ \rightarrow 1^1\Pi$  (B-X vrpca), dok difuznu vrpcu oko 563 nm valja pripisati singuletnom prijelazu  $1^1\Sigma^+ \rightarrow 3^1\Pi$ . Rezultati su objavljeni u [3] i predstavljeni na konferencijama [4] i [6].

Detaljno je analizirana primjena uniformnog asimptotskog pristupa analitički rješivom "Devdarijanijevom modelu" koji poluklasično opisuje asimptotski zabranjene ali sudarom inducirane kvazimolekulske optičke prijelaze. Metoda je testirana, ocjenjivana i "uvježbana" na tom egzaktno riješenom modelu, s ciljem daljnje primjene na širu problematiku.

Analizirano je širenje i pomak jako "zabranjene" linije atoma olova na 1278.9 nm, "smetanog" atomima plemenitog plina. Konstante širenja i pomaka linija,  $\gamma_b$  i  $\gamma_s$ , diskutirane su za različite modelne i poluempirijske potencijale međudjelovanja atoma Pb i Ar/He: (i) van der Waalsov potencijal,  $V(R) = -C_6 R^{-6}$ ; (ii) Lennard-Jonesov potencijal,  $V(R) = C_{12}R^{-12} - C_6R^{-6}$ ; (iii) "prošireni" Lennard-Jonesov potencijal,  $V(R) = C_{12}R^{-12} - C_8R^{-8} - C_6R^{-6}$ .

Primjenom Monte Carlo metode modelirano je raspršenje svjetlosti u papiru. U računu su uzeta u obzir optička svojstva sastavnica papira kao što su celulozna vlakna, punilo, ljepilo i boja. Površina papira je opisana mikrofacetnom strukturom. Istraživanje je



izvršeno za niz tipičnih sastava papira. Ovo istraživanje je bilo glavni dio doktorske disertacije dr. D. Modrića koja je obranjena 2007. na Grafičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Dio tog istraživanja je u završnoj fazi, te pripremamo članak D. Modrić, R. Beuc, S. Bolanča: "Monte Carlo modeling of light scattering in paper".

### *Physics of atoms and molecules in extreme conditions*

We calculated the approximate form of absorption bands in the spectrum of RbCs molecules in the 450 - 1000 nm wavelength range. The manifold of potential curves for the Hund's coupling case *a* was used to predict the absorption spectra assuming constant spin-allowed transition dipole moments, all molecular oscillator strengths asymptotically ( $R \rightarrow \infty$ ) equal to unity, and neglecting the spin-orbit interaction. The calculation was semiclassical, using the uniform Airy approximation. The practical aim of these theoretical simulations is twofold: (1) identification/interpretation of experimentally observed bands, i. e., their attribution to particular radiative transitions among the RbCs dimer states. Also, even more on the side of applicability, theoretical predictions can facilitate the search of bands suitable for particular technological purposes such as, e. g., designing efficient and "pleasant" light sources. (2) Testing the used method and approximations: any substantial departure of a theoretically predicted spectrum from the experimentally observed one would point to the need of more complex calculations taking into account the *R* dependence of transition dipole moments and the spin-orbit interaction. Theoretical spectra were compared with the experimental ones obtained in a very dense vapor of an Rb-Cs mixture. It turned out that the relatively modest theoretical means we used suffice for the successful interpretation of the spectrum. The band at 717 nm turns out to be due to the  $1^1\Sigma^+ \rightarrow 1^1\Pi$  transition (*B-X* band), while the diffuse band at 563 nm should be attributed to the singlet  $1^1\Sigma^+ \rightarrow 3^1\Pi$  transition. The results were published in [3] and presented at conferences [4] and [6].

A detailed analysis was performed of the uniform asymptotic approach to the analytically solvable "Devdariani model" which describes asymptotically forbidden but collisionally induced quasimolecular optical transitions in the framework of the semiclassical approach. The method has been tested, appraised, and "practised" on this exactly solved model with the aim of its further application to a wider class of analogous problems.

We analyzed the foreign-gas broadening and shift of the strongly "forbidden" lead line at 1278.9 nm due to Ar or He. The constants of line broadening and shift,  $\gamma_b$  and  $\gamma_s$ , were discussed for various model and semiempirical Pb-Ar and Pb-He interaction potentials: (i) van der Waals potential,  $V(R) = -C_6 R^{-6}$ ; (ii) Lennard-Jones potential,  $V(R) = C_{12}R^{-12} - C_6R^{-6}$ ; (iii) "extended" Lennard-Jones potential,  $V(R) = C_{12}R^{-12} - C_8R^{-8} - C_6R^{-6}$ .

Scattering of light in paper was modeled using the Monte Carlo method. The calculation took into account optical properties of the paper components such as cellulose fibers, filler, glue, and dye. The paper surface was described as a collection of microfacettes. Studies were carried out for a series of typical paper compositions. This research constitutes the principal part of the PhD thesis of D. Modrić, defended in 2007 at the Faculty of Graphic Arts, University of Zagreb. Part of this research has reached the final

phase, and the publication “Monte Carlo modeling of light scattering in paper” by D. Modrić, R. Beuc, and S. Bolanča is in preparation.

## Objavljeni radovi

### Redovni radovi u CC časopisima

- [1] R. Beuc, M. Movre, B. Horvatić, and G. Pichler: *Predictions of absorption bands for RbCs on helium clusters*, Chem. Phys. Lett. **435**, 236-241 (2007)
- [2] R. Beuc, M. Movre, V. Horvatić, Č. Vadla, O. Dulieu and M. Aymar: *Absorption spectroscopy of the rubidium dimer in an overheated vapor: An accurate check of molecular structure and dynamics*, Phys. Rev. A **75**, 032512(10) (2007)
- [3] R. Beuc, M. Movre, B. Horvatić, M. Čopor, S. Vdović, A. Nevsesyanyan, T. Varzhapetyan, D. Sarkisyan and G. Pichler: *RbCs bands observation and interpretation*, Appl. Phys. B **88**, 111-115 (2007)

### Sudjelovanje na znanstvenim skupovima

- [4] R. Beuc, B. Horvatić and M. Movre: *Predictions of KRb and RbCs spectra under cold and thermal conditions*, Laser Pulse Shaping and Coherent Control of Molecules, Brijuni, Croatia, August 26th - 31st, 2007 (sažetak, poster).
- [5] M. Movre, R. Beuc, B. Horvatić: *Apsorpcijske vrpce RbCs molekule na površini hladne helijeve kapljice*, Peti znanstveni sastanak HFD-a, Primošten, 5-8. listopada 2007. (sažetak, poster).
- [6] B. Horvatić, R. Beuc, M. Movre: *Apsorpcijske vrpce RbCs molekula u gustoj pari*, Peti znanstveni sastanak HFD-a, Primošten, 5-8. listopada 2007. (sažetak, poster).

### Predavanja

- 1. R. Beuc: IF Zagreb, nastupno predavanje: . Struktura spektara dvoatomskih molekula: od ultrahladnih do vrućih molekula
- 2. R. Beuc: TU Graz: Spectroscopy of Alkali Dimers: From Ultracold to Hot Molecules

### Napredovanja

- 1. R. Beuc: izbor na radno mjesto **znanstveni savjetnik**
- 2. B. Horvatić: izbor u znanstveno zvanje **viši znanstveni suradnik**

### Neposredna suradnja

- 1. Prof. dr. W. Meyer, Technische Universität, Kaiserslautern, Njemačka.
- 2. Dr. Olivier Dulieu, Orsay, Francuska

**Sudjelovanje u nastavi**  
**dodiplomska nastava**

R. Beuc, viši predavač na Zdravstvenom veleučilištu u Zagrebu: Studij Fizioterapije, predmet **Fizika** (2006.-)

**Poslijediplomska nastava**

R. Beuc, *Teorija optičkih spektara dvoatomskih sustava* (315), PMF  
M. Movre, *Fizika hladnih sudara* (316), PMF

**Ostalo**

M. Movre: recenzent udžbenika fizike za osnovnu i srednju školu.

# RAST I MORFOLOGIJA KRISTALA RAVNOTEŽNOG OBLIKA POVRŠINE

**Glavni istraživač:** Dr. sc. Zlatko Vučić, znanstveni savjetnik

**Suradnici:** Dr. sc. Davorin Lovrić, znanstveni suradnik  
Dr. sc. Jadranko Gladić, stručni suradnik

## Opis istraživanja

Glavnina istraživanja u 2007. odnosila se na kinetiku rasta monokristala mješovitih superionskih vodiča ( $\text{Cu}_{2-\delta}\text{Se}$ ) odnosno na parametrizaciju površinskih pojava u uvjetima konstantnog dotoka Cu atoma, stalne temperature ( $\sim 800$  K) i stalnog tlaka para Se. Istraživanja su se odvijala u dva usporedna kolosijeka.

U jednom, razvijana je eksperimentalna postava za *in situ*, istodobno, pouzdano mjerenje kako globalnih (promjeri kuglastog kristala i ravne kružne facete, s točnošću od 1-10  $\mu\text{m}$ ) tako i lokalnih geometrijskih parametara (promjene visine facete u odnosu na Wulffovo središte kristala, sa subnanometarskom točnošću - testovi su pokazali točnost bolju od 0.5 nm). Poboljšanja metode dokumentirana su u 4 publikacije od kojih je zadnja objavljena 2007., J. Gladić et al., '*Reducing of phase retrieval errors in Fourier analysis of 2D digital model interferograms*', Optics and Lasers in Engineering.

U drugom, klasična optička mjerenja oblika i njihovih promjena tijekom rasta kristala omogućila su model univerzalnog relaksacijskog rasta kristala. Model je utemeljen na 2D nukleacijskom mehanizmu rasta faceta, a uvođenje prostornog strukturiranja supersaturacije otvorilo je mogućnost opisivanja stacionarnog rasta kao samoregulirajuće pojave. Ispitivana je mogućnost opažanja eruptivnog ('burstlike') rasta na visokim temperaturama na Cu-Se kristalima ('burstlike' rast opažen je jedino na (0001) facetama (bez dislokacija) kristala  $^4\text{He}$  i to na mK temperaturama). Preliminarni rezultati potvrdili su pretpostavku o visokokvalitetnim kristalima Cu-Se (također bez dislokacija) kao i mehanizmu 2D termičke nukleacije. Glavni rezultat tijekom rasta kristala konstantnom volumnom brzinom rasta jest zastoj u vertikalnom rastu facete u relativno dugim vremenima, od par minuta pa do cijelog sata. Zastoj završava probojem potencijalne barijere facete i rastom bržim od prosječnog.

Modelno je ispitivan utjecaj potencijalne barijere na lokalnu supersaturaciju pri rastu kristala: a) zakrivljenost hrapavog dijela uz rub facete (Gibbs – Thompsonov doprinos supersaturaciji) pomoću balona koji se napuhava u oktaedru fiksnog volumena (plohe predstavljaju neprobojne facete tipa (111)) – (5. zn. sast. HFD-a, Primošten 2007.). i b) nakupljanje Cu atoma s unutarnje strane facete kad je protok kroz facetu zabranjen (rad objavljen u J. of Crystal Growth, 2007., D. Lovrić et al., '*Model study of local enhancement of chemical potential gradient after facet formation on growing spherical  $\text{Cu}_{2-\delta}\text{Se}$  crystals*'). Oba rada potvrdila su valjanost koncepta lokalne supersaturacije.

Velik dio vremena utrošen je na pripremu i provedbu 23. ljetne škole mladih fizičara HFD-a, Labin, lipanj 2007., posvećene 150. obljetnici rođenja akademika Andrije Mohorovičića. Sudjelovalo je 42 učenika nagrađenih na državnom natjecanju iz fizike, 13 predavača, održano je 16 predavanja, te radionica i praktikum. Pred početak Škole izdan je (Z. Vučić) Zbornik predavanja. Nastavljena je suradnja s grupom na IMI-u u eksperimentalnoj implementaciji novog elektroničkog osobnog dozimetra u bolničkoj interventnoj radiologiji.

### ***Growth and morphology of crystals with equilibrium – like shaped surface***

The majority of investigations in 2007 concerned the kinetics of growth of mixed superionic conductors single crystals ( $\text{Cu}_{2-x}\text{Se}$ ), specifically the parameterization of their surface features under the conditions of constant influx of Cu atoms, constant temperature ( $\sim 800$  K) and constant Se vapour pressure. Two aspects of this problem have been in focus.

First one dealt with the development of the experimental set-up for reliable *in situ* and simultaneous measurements of both, global (spherical crystal and smooth facet radii, with accuracy of 1-10  $\mu\text{m}$ ) and local geometry parameters (changes of facet height with respect to the Wulff's point, with sub-nm resolution - the tests made have revealed the accuracy better than 0,5 nm). The improvements of the method have been described in 4 papers, the last one being published in 2007. (J. Gladić et al., *Reducing of phase retrieval errors in Fourier analysis of 2D digital model interferograms*, Optics and Lasers in Engineering).

The second part of the investigations enabled, through classical optical measurements of crystal growth shapes and their changes, the introduction of the model of universal (global) relaxation crystal growth. Model is based on 2D nucleation mechanism of facet growth. The introduction of the anisotropy of the supersaturation enabled the description of the stationary growth as a self-regulating phenomenon. The possibility of the existence of eruptive (burst-like) facet growth mode on high temperatures for facets of Cu-Se crystals has been investigated (such facet growth mode has so far been detected only for (0001) dislocation-free facets of  $^4\text{He}$ , on mK temperatures). Preliminary results have confirmed the high quality of Cu-Se crystals (dislocation-free as well), as well as the 2D thermal nucleation as the mechanism behind the facet growth. The main result regarding the crystal growth at the constant volume growth rate is the delay in vertical advancement of the facet during relatively long time intervals, ranging from a few minutes to an hour. This delay in facet advancement terminates with penetration of the nucleation barrier and with faster-then-average growth.

The influence of potential (nucleation) barrier on local supersaturation during constant volume growth rate crystal growth has been modelled: a) by the curvature of the rough part of the surface (Gibbs-Thompson contribution to local supersaturation), i.e. of the balloon being inflated within the fixed volume octahedron (defined by impenetrable (111)-type facets) – (5<sup>th</sup> Scientific meeting of HFD, Primošten, September 2007), and b) by the accumulation of Cu atoms beneath the facets (work published in J. of Crystal Growth, 2007, D. Lovrić et al., *Model study of local enhancement of chemical potential*

*gradient after facet formation on growing spherical Cu<sub>2-x</sub>Se crystals*). Both models have confirmed the validity of the concept of local supersaturation.

A lot of time has been spent on the preparation and execution of the 23<sup>rd</sup> Young physicists' summer school held in Labin in June 2007, dedicated to the 150<sup>th</sup> anniversary of birth of the academician Andrija Mohorovičić. 42 pupils awarded at the State physics competition have taken part in this School, together with 13 lecturers (researchers and professors). 16 lectures, a workshop and practical exercises have taken place. In the eve of the School, a Book of lectures has been released (prepared and edited by Z. Vučić). Collaboration with the research group of IMI on the experimental implementation of a new personal electronic dosimeter in the clinical emergency radiology has been continued.

## **Objavljeni radovi**

### **Redovni radovi u CC časopisima**

1. D. Lovrić, Z. Vučić, J. Gladić, *Model study of local enhancement of chemical potential gradient after facet formation on growing spherical Cu<sub>2-δ</sub>Se crystals*, Journal of Crystal Growth, 304 (2007) 497-503.
2. J. Gladić, Z. Vučić, D. Lovrić, *Reducing of phase retrieval errors in Fourier analysis of 2-dimensional digital model interferograms*, Optics and Lasers in Engineering 45 (2007) 868-876.

### **Sudjelovanje na znanstvenim skupovima**

1. A. Šiber, Z. Vučić, *Modelno istraživanje lokalne supersaturacije kontinuirano rastućeg kristala*, 5. znanstveni sastanak Hrvatskoga fizikalnog društva, 5-8. listopada 2007., Primošten, Hrvatska, poster, Zbornik apstrakata, str. 87.
2. D. Lovrić, Z. Vučić, J. Gladić, *Odnos površine kristala i lokalne supersaturacije tijekom rasta sfernih kristala bakar selenida*, 5. znanstveni sastanak Hrvatskoga fizikalnog društva, 5-8. listopada 2007., Primošten, Hrvatska, poster, Zbornik apstrakata, str. 88.
3. J. Gladić, Z. Vučić, D. Lovrić, *Mjerenje rasta faceta (111) laserskom interferometrijom tijekom rasta monokristala Cu<sub>2-δ</sub>Se gotovo ravnotežnog oblika*, 5. znanstveni sastanak Hrvatskoga fizikalnog društva, 5-8. listopada 2007., Primošten, Hrvatska, poster, Zbornik apstrakata, str. 89.
4. I. Prlić, Z. Vučić, *Novi osobni dozimetar za novi koncept zaštite od zračenja*, 5. znanstveni sastanak Hrvatskoga fizikalnog društva, 5-8. listopada 2007., Primošten, Hrvatska, poster, Zbornik apstrakata, str. 91.

## Uredništvo i recenziranje

Zbornik predavanja 23. ljetne škole mladih fizičara Hrvatskoga fizikalnog društva Labin, 24-30. lipnja 2007., 'Fizika u ekologiji', (105 str.), Hrvatsko fizikalno društvo, Zagreb, ISBN: 978-953-7178-08-6, UDK: 53(063), urednik i recenzent Z. Vučić.

## Znanstvena suradnja (domaća, neformalna)

Suradnja s inž. Ivicom Prličem, Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, (022-0222882-2335) voditelj dr. sc. G. Marović, na razvoju profilometrijske metode za mjerenje 3D oblika te implementaciji osobnog dozimetra za mjerenje dinamike niskih doza rendgenskog ozračivanja profesionalnog osoblja pri interventnoj radiologiji.

## Diplomski, magistarski i doktorski radovi

Dr. sc. Z. Vučić,  
Suvoditelj inž. Ivici Prliču za izradu doktorske disertacije iz medicinske fizike pod naslovom: 'Istraživanje prostorno – vremenske raspodjele rendgenskog zračenja vrlo niskih doza pri dijagnostičkoj, terapijskoj i interventnoj radiologiji', Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno – matematički fakultet, Zagreb.

## Ostalo

Dr. sc. J. Gladić, službeno imenovana kontakt osoba na Institutu za fiziku za diseminaciju informacija o Okvirnim programima Europske unije za istraživanje i tehnološki razvoj.

Sudjelovanje na: *Radionici o natječaju Sedmog okvirnog programa za istraživanje i tehnološki razvoj (FP7) Capacities: Research potential REGPOT 1*, u organizaciji MZOŠ-a i Hrvatskog instituta za tehnologiju, održanoj 16. studenog 2007. u Hrvatskoj gospodarskoj komori, Rooseveltov trg 2, Zagreb.

Dr. sc. Z. Vučić, priprema, organizacija i voditeljstvo 23. ljetne škole mladih fizičara, HFD-a, Labin 24-30. lipnja 2007., posvećene 150. obljetnici rođenja akademika Andrije Mohorovičića.

Dr. sc. Z. Vučić, rad na razvoju autonomne, hidrografske i meteorološke sonde u okviru projekta e-škole HFD-a.

# KRITIČNE POJAVE I SUSTAVI IZVAN RAVNOTEŽE

**Glavni istraživač:** dr. sc. Katarina Uzelac, znanstveni savjetnik

**Suradnici:** mr. sci. Osor S. Barišić, znanstveni suradnik  
dipl. inž. Ivan Balog, asistent  
dipl. inž. Juraj Szavits Nossan, asistent  
dr Zvonko Glumac, docent, ETF Osijek

## Opis istraživanja

Istraživanja su obuhvatila nekoliko tema iz područja statističke fizike i fizike čvrstog stanja.

### *Sustavi izvan ravnoteže*

Proučavani su modeli faznih prijelaza u stacionarnim stanjima izvan ravnoteže. Utjecaj dogodosežnih efekata na scaling svojstva proučavan je u okviru dugodosežne generalizacije modela asimetričnog procesa isključenja. Nova svojstva korelacija, ovisna o doseg u fazi maksimalne struje ovog modela, dobivena su numeričkim simulacijama i objašnjena u okviru hidrodinamičkog pristupa koji uključuje frakcionalnu difuziju [6].

### *Geometrijski aspekti faznih prijelaza i zamrznuti nered*

Proučavani su geometrijski aspekti utjecaja nerada na promjenu karaktera faznog prijelaza, kao i njihova primjena u numeričkim simulacijama. Nakon što je neravnotežni algoritam invazivnog grozda (IG) koji samoregulacijom pronalazi kritičnu točku proširen na složene probleme ranotežnog nerada [4], novi rezultati dobiveni su i njegovom primjenom u slučaju faznog prijelaza induciranog zamrznutim neredom (rad u pripremi). Konstruirana je također i potpuno nova ravnotežna reformulacija algoritma IG [7], koja može bitno unaprijediti numerički pristup problemima zamrznutog nerada.

### *Kratkovremenska dinamika*

Univerzalna scaling svojstva koja se pojavljuju u početnom vremenu neravnotežne relaksacije sustava iz neuređenog stanja na temperaturu faznog prijelaza proučavana su za model s dugodosežnim interakcijama. Koristeći kratkovremensku dinamiku proučavana je promjena reda prijelaza (rad u pripremi), te je provedena analiza dinamičkog kritičnog ponašanja za nekoliko specijalnih slučajeva Pottsovog modela [4].

### *Polaroni*

U radu [1] predložena je Metoda značajnih koherentnih stanja, i pokazano je ona za razliku od drugih metoda u literaturi u stanju vrlo točno izračunati niskofrekventni dio polaronskog spektra u cijelom području parametarskog prostora, uključujući i adijabatsku granicu koja predstavlja posebne tehničke poteškoće. Izračunati su spektri u prijelaznom području parametara između samouhvaćenih i kvazi-slobodnih polaronskih stanja, te su



raspravljene bitne razlike između adijabatskog režima i režima kada su neadijabatske korelacije važne.

U radovima [2] i [3] objašnjen je dijagramski i fizikalni sadržaj metoda koje vlastitu energiju elektrona aproksimiraju lokalnom veličinom. U tom smislu razmatrana je detaljnije nedavno predložena Metoda usrednjenja po valnom vektoru, kao i Metoda dinamičke aproksimacije srednjeg polja s kojom se danas proučava širok spektar problema unutar područja čvrstog stanja. Pokazano je kako se Metoda usrednjenja po valnom vektoru može predstaviti kao početni korak iterativnog postupka koji odgovara Metodi dinamičke aproksimacije srednjeg polja. Za ovu drugu metodu, pokazano je da u dijagramatskom razvoju vlastite energije elektrona u slučaju Holsteinovog modela uzima u obzir samo dijagrame bez vršnih korekcija koje bi uključivale fononske propagatore na različitim čvorovima rešetke. Također, pokazano je da ovakva aproksimacija za nisko dimenzijske sustave nije u stanju opisati adijabatske polaronske korelacije koje uključuju više čvorova rešetke. Ovi zaključci izvedeni unutar polaronskog problema imaju

### ***Investigations include several topics belonging both to statistical and condensed matter physics***

#### *Systems out of equilibrium*

Models of phase transitions in stationary states far from equilibrium were investigated. Impact of the long-range effects to the related scaling properties was examined on the long-range generalisation of the one-dimensional asymmetric exclusion model. New properties of the maximum current phase depending of the range were obtained by numerical simulations and explained in context of hydrodynamic approach that includes fractional diffusion [6].

#### *Geometrical aspects of phase transitions and quenched disorder*

Geometrical aspects of phase transitions were studied on problems where the character of the phase transition is changed by influence of disorder and applied to numerical simulations. After the nonequilibrium and self-regulating algorithm, invaded cluster (IC) algorithm, was extended to more complex cases of annealed disorder [4], new results were obtained by applying it to the second-order phase transition induced by the quenched disorder (in preparation). Also, a new, equilibrium-like formulation of the IC algorithm was proposed [7], which should significantly advance numerical approach in cases of quenched disorder involving problems of self-averaging.

#### *Short-time dynamics*

Universal scaling properties characterizing an early time of nonequilibrium relaxation of the system quenched from disordered state to the critical temperature was studied in the model with long-range interactions. The short-time dynamics approach was used to study the changeover from first- to second-order phase transition (in preparation), and perform the analysis of dynamic critical behaviour for several special cases of the Potts model.

## *Polarons*

In Ref. [1], the newly developed relevant coherent state method (RCSM) is proposed. In this way, the low-frequency polaron band structure is calculated in the adiabatic limit, not reachable by any other available method. The RCSM gives an accurate description of the crossover between the self-trapped and itinerant polarons, and provides important insights into the nontrivial mixing of adiabatic and non adiabatic contributions to the polaron dynamics. In Refs. [2] and [3], the diagrammatic content and the physical meaning of the approximate methods that treat the electron-self energy as a local quantity is investigated. In particular, the dynamical mean field theory (DMFT) and the recently proposed momentum averaging (MA) method are discussed in the context of the Holstein polaron problem. It is shown that the MA method can be interpreted as the first step of the iterative procedure corresponding to the DMFT. It is shown that the DMFT sums an infinite series of local diagrams characterized by the absence of vertex corrections involving different lattice sites. It is argued that the vertex corrections neglected by the DMFT are important in low dimensions for the description of the adiabatic polaronic correlations spreading over multiple lattice sites.

## **Objavljeni radovi**

### **Redovni radovi u CC časopisu**

1. O. S. Barišić,  
*Relevant coherent states method for the quantum adiabatic dynamics of lattice-coupled charge carriers*,  
Europhys. Lett. **77**, 57004 (2007).
2. O. S. Barišić,  
*Comment on "Green's Function of a Dressed Particle"*,  
Phys. Rev. Lett. **98**, 209701 (2007).
3. O. S. Barišić,  
*Diagrammatic content of the DMFT for the Holstein polaron problem in finite dimensions*,  
Phys. Rev. B **76**, 193106 (2007).
4. I. Balog, K. Uzelac:  
*Invaded cluster algorithm for a tricritical point in a diluted Potts model*  
Phys. Rev. E **76**, 011103 (2007)

### **Sudjelovanje na znanstvenim skupovima:**

1. Balog, Ivan; Uzelac, Katarina.  
Self-regulating cluster algorithm for a tricritical point  
(MECO 32, 32nd Conference of the Middle European Cooperation in Statistical Physics,  
Lajdek Zdroj, Poland, 16-18. 04. 2007.

2. Uzelac, Katarina; Glumac, Zvonko.

Short-time dynamics of the long-range Potts model, *Statphys 23 : XXIII IUPAP International Conference on Statistical Physics, Genova, Italija, 09-13.07.2007.*

3. Glumac, Zvonko; Uzelac, Katarina.

Short-time dynamics of the 1D three-state long-range Potts model, *Statphys 23: XXIII IUPAP International Conference on Statistical Physics, Genova, Italija, 09-13.07.2007.*

4. Szavits-Nossan, Juraj; Uzelac, Katarina.

Effect of long-range hopping on the totally asymmetric exclusion process, *Statphys 23: XXIII IUPAP International Conference on Statistical Physics, Genova, Italija, 09-13.07.2007.*

5. Balog, Ivan; Uzelac, Katarina.

Generalization of the invaded cluster algorithm to the tricritical point, *Statphys 23: XXIII IUPAP International Conference on Statistical Physics, Genova, Italija, 09-13.07.2007.*

6. Znanstven sastanak HFD, 5-8 10. 2007.

(predstavljena 3 postera (I. Balog, Z. Glumac, J. Szavits-Nossan))

### **Sudjelovanje u nastavi**

K. Uzelac

Ireverzibilni procesi u fizici

Kolegij na 3. godini studija, inž. fizike, PMF, Zagreb

Osor S. Barišić

Seminar iz Ireverzibilnih procesa (vježbe)

Kolegij na 3. godini studija, inž. fizike, PMF, Zagreb

Osor S. Barišić

Uvod u statističku fiziku (vježbe) - 3. godina, prof. smjerovi,

PMF, Zagreb

Ivan Balog

Vježbe iz fizike čvrstog stanja

treća godina, profesorski smjer, PMF, Zagreb

Juraj Szavits Nossan

Praktikum III, 2. godina fizike, profesorski smjer, PMF, Zagreb

### **3. OSTALE AKTIVNOSTI INSTITUTA**

#### **3.1 KNJIŽNICA**

**BIBLIOTEKAR:** Marica Fučkar Marasović, prof., dipl. bibliotekar

**STRUČNI SURADNIK:** dr. sc. Vlasta Horvatić, znanstveni suradnik

Knjižnica radi od 9 do 17 sati. Knjižnica posuđuje knjige na ograničeni rok od 6 mjeseci za korisnike Instituta, izvan Instituta samo uz međuknjižničnu pozajmicu i to na ograničen rok od mjesec dana. Uvezane časopise posuđuje za korisnike Instituta na rok od mjesec dana, neuvezane časopise na tjedan dana. Korisnicima izvan Instituta posuđuje uvezane časopise na tjedan dana, neuvezane samo za korištenje u knjižnici i za izradu kopija.

Korisnicima knjižnice, kao i za potrebe međuknjižnične suradnje, na raspolaganju je aparat za fotokopiranje.

Knjižnica je tokom 2007. godine, nastavila svojom aktivnošću.

Kompjutorska obrada monografskih publikacija u bazu LIBRI i periodike u bazu PERI u programu CDS/ISIS 3.7 provodi se dalje. Obrađuje se tekuće godište i naknadno pronađene izgubljene publikacije. Obrađeno je 3923 knjige, dok je obrada baze periodike gotova. Knjižnica posjeduje 295 naslova časopisa; 83 tekuća naslova, a ostalo su starija godišta onih naslova koji više ne pristižu.

Pretraživanje obiju baza svim je korisnicima dostupno putem mreže <http://www.ifs.hr/hr/library.html>

U novije vrijeme ukazala se potreba promjene dosadašnjega stanja knjižničnoga sustava Republike Hrvatske, te da se konačno uspostavi novi usklađen, jedinstven i djelotvoran sustav visokoškolskih knjižnica. Tako je za potrebe hrvatskoga sveučilišnoga sustava nabavljen u 2007. godini, knjižnični program Voyager . Stoga se i knjižnica Instituta za fiziku tokom 2007. godine počela pripremati za uključivanje u taj budući knjižnični sustav, a pretpostavka za to je nova obrada fonda koji knjižnica posjeduje. Obrađena građa bit će implementirana u Voyager tokom 2008. godine.

#### **Fond knjižnice:**

1. knjige 4650 knjiga
2. periodika 83 tekuća naslova
3. diplomske radnje 583
4. magistarske radnje 119
5. disertacije 100
6. katalozi periodike 24

## STATISTIKA IZDANIH INFORMACIJA I POSUDBA KNJIŽNIČNE GRAĐE:

1. Posuđeni časopisi i knjige za izradu kopija: 232
2. Posuđene knjige: 39
3. Čitaonica - izdani časopisi: 294
4. Međuknjižnična posudba
  - a) zahtjevi putem pošte
    - primljenih zahtjeva: 29
    - upućenih zahtjeva 7
  - b) zahtjevi putem telefona ili osobno
    - primljenih zahtjeva: 49
    - upućenih zahtjeva 23

**KORISNICI:** Znanstveno-istraživačko osoblje: 55  
Znanstveno-nastavno osoblje: 20  
Studenti: 420  
Ostali: 30

**Ukupno: 525**

### 3.2 NAPREDOVANJE SURADNIKA

#### Izbori u znanstvena zvanja/na radna mjesta

Dr.sc. Ivica Aviani, izbor na radno mjesto znanstveni suradnik  
Dr.sc. Tacijana Ban, izbor na radno mjesto viši znanstveni suradnik  
Dr.sc. Robert Beuc izbor na radno mjesto znanstveni savjetnik I izbor  
Dr.sc. Nazif Demoli, izbor na radno mjesto znanstveni savjetnik I izbor  
Dr.sc. Berislav Horvatić, izbor u znanstveno zvanje viši znanstveni suradnik  
Dr.sc. Željko Marohnić, izbor na radno mjesto viši znanstveni suradnik  
Dr.sc. Marko Miljak, izbor na radno mjesto znanstveni savjetnik I izbor  
Dr.sc. Antonio Šiber, izbor na radno mjesto viši znanstveni suradnik  
Dr.sc. Čedomil Vadla, izbor na radno mjesto znanstveni savjetnik II izbor  
Dr.sc. Tomislav Vuletić, izbor na radno mjesto znanstveni suradnik

### 3.3 SUDJELOVANJE U DODIPLOMSKOJ I POSLIJEDIPLOMSKOJ NASTAVI

#### Dodiplomska nastava

I. Pletikosić, Vježbe iz *Opće fizike (I-IV)*, stručni smjer, Fizički odsjek Prirodoslovno matematičkog fakulteta u Zagrebu.

I. Živković, Vježbe iz *Osnove teorije vjerojatnosti i Matematička statistika*

Đ. Drobac, dio kolegija: *Eksperimentalne metode fizike (magnetizam)*.

M. Herak, *Praktikum iz fizike*, Fizički odsjek Prirodoslovno matematičkog fakulteta u Zagrebu.

G. Pichler, *Eksperimentalne metode atomske fizike, Atomska fizika s optikom*, Fizički odsjek Prirodoslovno matematičkog fakulteta u Zagrebu.

D. Aumiler, *Fizički praktikum 5*, Fizički odsjek Prirodoslovno matematičkog fakulteta u Zagrebu.

T. Ban, *Praktikum iz fizike za kemičare*, Fizički odsjek Prirodoslovno matematičkog fakulteta u Zagrebu.

N. Vujičić, *Vježbe iz Elektrodinamike*, Fizički odsjek Prirodoslovno matematičkog fakulteta u Zagrebu, *Vježbe iz Optičkih senzora*, Tehničko Veleučilište Zagreb

S. Vdović, Fizički Praktikum 5, Napredni Fizički praktikum I

R. Beuc, *Teorija optičkih spektara dvoatomskih sustava* (315), PMF

M. Movre, *Fizika hladnih sudara* (316), PMF

### **Poslijediplomska nastava**

M. Milun, Nanotehnologije, poslijediplomski studij Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu, smjer kemija.

M. Milun, Kemijska i fizikalna svojstva površina i nanostruktura, doktorski studij Inženjerska kemija, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb.

S. Milošević, Metode atomskih i molekularnih snopova (314), PMF, Zagreb

N. Demoli, Optika i holografija, poslijediplomski studij Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu, smjer fizika

G. Pichler, Atomska spektroskopija  
FER, Zagreb, kvantna elektronika i laseri  
Tehničko Veleučilište Zagreb, Optički senzori

## **3.4 SEMINARI ODRŽANI NA INSTITUTU**

22. ožujka 2007.

*Luttinger liquid and CDW state in quasi-one-dimensional conductors* - Sergei V. Remizov  
Institute for Radioengineering and Electronics of the Russian Academy of Sciences  
11-7 Mokhovaya str., Moscow 125009 Russia.

05. travnja 2007.

*Transportna svojstva koreliranih elektrona na niskim temperaturama* – Veljko Zlatić,  
Institut za fiziku

19. travnja 2007.  
*Ultrabrza elektronska dinamika u kvazi-dvodimenzionalnim površinskim vrpčama* -  
Branko Gumhalter, Institut za fiziku
10. svibnja 2007.  
*Fazni prijelaz u jednodimenzionalnim sustavima daleko od ravnoteže* - Juraj Szavits  
Nossan, Institut za fiziku
11. svibnja 2007.  
*Poluvodičke nanožice za nanofotoniku i elektroniku* - Silvija Gradečak, Massachusetts  
Institute of Technology, USA
24. svibnja 2007.  
*Kvantna dinamika Tonks-Girardeau plina: Braggove refleksije višestručnog valnog  
paketa* - Hrvoje Buljan, Fizički odsjek, Sveučilište u Zagrebu
31. svibnja 2007.  
*Electron Dynamics at Surfaces* - Thomas Fauster, Lehrstuhl für Festkörperphysik,  
Universität Erlangen-Nürnberg, Germany
08. lipnja 2007.  
*Direct frequency comb spectroscopy of two-photon transitions* - Adela Marian, Fritz-  
Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft, Berlin, Germany
03. rujna 2007.  
*Magnetism and Electronic Correlation in Quasi-One-Dimensional System* - Maurício D.  
Coutinho-Filho, Laboratório de Física Teórica e Computacional, Departamento de Física,  
Universidade Federal de Pernambuco, 50680-901, Recife-PE, Brazil
28. rujna 2007.  
Spektroskopija hladne plazme za obradu materijala – Slobodan Milošević, Institut za  
fiziku
11. listopada 2007.  
*Spektroskopija i dinamika reakcija prijenosa vodika* - Nađa Došlić, Institut Ruđer  
Bošković
17. listopada 2007.  
*Oxides for Spin Electronics* - Gervasi Herranz, Unité Mixte de Physique CNRS / Thales,  
Palaiseau, Francuska
29. listopada 2007.  
*Colossal magnetoelastic effects in  $Pr_{1-x}Ca_xMnO_3$  compounds* - G. Reményi, Institut Néel,  
C.N.R.S. Grenoble, Francuska
08. studenog 2007.

*Eruptivni proces u Sunčevoj atmosferi* - Bojan Vršnak, Opservatorij Hvar, Geodetski fakultet, Kačićeva 26, Zagreb

22. studenog 2007.

Visokotlačni izvori svjetlosti nasuprot svjetlećih dioda – Goran Pichler, Institut za fiziku

20. prosinca 2007.

Quantum oscillations and some other new results for cuprate superconductors – John R. Cooper, Physics Department, University of Cambridge, U.K.

### **3.5 Konferencije, specijalizacije i studijski boravci**

D. Aumiler

06.05.07.-11.05.07.- Grčka, sudjelovanje na konferenciji

26.08.07.-31.08.07.- Hrvatska, sudjelovanje na konferenciji

12.10.07.-31.07.08.- Kina, post-doc

I. Aviani

26.05.07.-10.06.07.- Engleska, znanstveni posjet

07.09.07.-10.09.07.- Rumunjska, sudjelovanje na sastanku

04.10.07.-08.10.07.- Hrvatska, sudjelovanje na HFD-u

I. Balog

09.07.07.-13.07.07.- Italija, sudjelovanje na konferenciji

05.10.07.-08.10.07.- Hrvatska, sudjelovanje na HFD-u

T. Ban

03.03.07.-09.03.07.- Njemačka, studijski boravak

26.08.07.-31.08.07.- Hrvatska, sudjelovanje na konferenciji

05.10.07.-08.10.07.- Hrvatska, sudjelovanje na HFD-u

R. Beuc

26.08.07.-31.08.07.- Hrvatska, sudjelovanje na konferenciji

K. Biljaković

21.07.07.-31.07.07.- Francuska, znanstveni posjet

16.09.07.-20.09.07.- SiC, održavanje predavanja

28.09.07.-02.10.07.- Hrvatska, sudjelovanje na sastanku

29.10.07.-18.11.07.- Francuska, studijski boravak

N. Demoli

01.02.07.-28.02.07.- Francuska, studijski boravak

01.04.07.-30.04.07.- Francuska, studijski boravak

01.11.07.-14.12.07.- Francuska, studijski boravak

D. Dominko

04.06.07.-21.06.07.- Rumunjska, znanstveni posjet-sudjelovanje na konferenciji

30.07.07.-10.08.07.- Slovenija, znanstveni posjet

16.09.06.-19.10.07.- USA, studijski boravak



- 26.11.07.-21.12.07.- Njemačka, znanstveni posjet
- M. Fučkar-Marasović  
12.05.07.-16.05.07.- Hrvatska, sudjelovanje na konferenciji  
21.11.07.-24.11.07.- Hrvatska, sudjelovanje na konferenciji
- J. Gladić  
05.10.07.-08.10.07.- Hrvatska, sudjelovanje na HFD-u
- B. Gumhalter  
03.06.07.-09.06.07.- Italija, sudjelovanje na konferenciji  
19.07.07.-26.07.07.- Italija, sudjelovanje na konferenciji  
26.08.07.-31.08.07.- Hrvatska, sudjelovanje na konferenciji  
02.11.07.-30.11.07.- Španjolska, studijski boravak
- B. Hamzić  
16.04.07.-22.04.07.- Japan, studijski boravak  
06.12.07.-12.12.07.- Švedska, znanstveni posjet
- B. Horvatić  
26.08.07.-31.08.07.- Hrvatska, sudjelovanje na konferenciji  
05.10.07.-08.10.07.- Hrvatska, sudjelovanje na HFD-u
- V. Horvatić  
15.09.07.-19.12.07.- Njemačka, studijski boravak
- J. Ivkov  
26.02.07.-02.03.07.- Hrvatska, znanstveni posjet
- T. Ivek  
02.09.07.-07.09.07.- Hrvatska, sudjelovanje na konferenciji  
05.10.07.-08.10.07.- Hrvatska, sudjelovanje na HFD-u
- I. Jurić  
05.10.07.-08.10.07.- Hrvatska, sudjelovanje na HFD-u
- D. Lovrić  
05.10.07.-08.10.07.- Hrvatska, sudjelovanje na HFD-u
- S. Krajinović  
03.09.07.-07.09.07.- Hrvatska, ljetna škola  
05.10.07.-08.10.07.- Hrvatska, sudjelovanje na HFD-u
- M. Kralj  
26.03.07.-02.04.07.- Njemačka, studijski boravak  
09.09.07.-04.10.07.- Njemačka, znanstveni posjet  
16.09.07.-17.09.07.- Njemačka, znanstveni posjet  
05.10.07.-08.10.07.- Hrvatska, sudjelovanje na HFD-u  
02.12.07.-07.12.07.- Njemačka, znanstveni posjet
- N. Krstulović

03.06.07.-08.06.07.- Francuska, sudjelovanje na konferenciji

10.09.07.-13.09.07.- Francuska, sudjelovanje na konferenciji

J. Lukatela

14.05.07.-18.05.07.- Slovenija, znanstveni posjet

M. Madunić

27.08.07.-31.08.07.- Hrvatska, sudjelovanje na konferenciji

Ž. Marohnić

10.05.07.-13.05.07.- Hrvatska, državno natjecanje iz fizike

03.07.07.-14.07.07.- Korea, sudjelovanje na turniru

O. Milat

17.06.07.-21.06.07.- Češka, sudjelovanje na kongresu

M. Milun

07.05.07.-10.05.07.- Hrvatska, sudjelovanje na kongresu

14.05.07.-25.05.07.- Slovenija, znanstveni posjet

18.05.07.-25.05.07.- Slovenija, znanstveni posjet

18.09.07.-21.09.07.- Izrael, sudjelovanje na konferenciji

26.09.07.-29.09.07.- Njemačka, sastanak

17.11.07.-22.11.07.- Portugalč, sudjelovanje na sastanku

30.11.07.-05.12.07.- Njemačka, znanstveni posjet

S. Milošević

15.07.07.-20.07.07.- sudjelovanje na konferenciji

26.08.07.-31.08.07.- Hrvatska, sudjelovanje na konferenciji

08.10.07.-12.10.07.- Belgija, sudjelovanje na sastanku

M. Movre

07.05.07.-10.05.07.- Hrvatska, sudjelovanje na kongresu

J. S. Nossan

09.07.07.-13.07.07.- Italija, sudjelovanje na konferenciji

26.08.07.-07.09.07.- Francuska, ljetna škola

05.10.07.-08.10.07.- Hrvatska, sudjelovanje na HFD-u

M. Očko

04.10.07.-10.10.07.- Hrvatska, sudjelovanje na sastanku

P. Pervan

30.06.07.-07.07.07.- Švedska, sudjelovanje na konferenciji

05.10.07.-08.10.07.- Hrvatska, sudjelovanje na HFD-u

G. Pichler

30.01.07.-02.02.07.- Njemačka, znanstveni posjet

18.03.07.-23.03.07.- Njemačka sudjelovanje na konferenciji

22.04.07.-26.04.07.- Njemačka, studijski boravak

07.05.07.-10.05.07.- Hrvatska, sudjelovanje na kongresu

16.05.07.-25.05.07.- Kina, sudjelovanje na konferenciji

19.07.07.-22.07.07.- Njemačka, sudjelovanje na simpoziju

26.08.07.-31.08.07.- Hrvatska, sudjelovanje na konferenciji  
03.09.07.-08.09.07.- Srbija, sudjelovanje na konferenciji  
05.10.07.-08.10.07.- Hrvatska, sudejlovanje na HFD-u  
11.10.07.-14.10.07.- Njemačka, sudjelovanje na simpoziju  
25.10.07.-28.10.07.- Njemačka, znanstveni posjet

I. Pletikosić

30.06.07.-07.07.07.- Švedska, sudjelovanje na konferenciji  
03.09.07.-07.09.07.- Hrvatska, ljetna škola  
05.10.07.-08.10.07.- Hrvatska, sudjelovanje na HFD-u

K. Salamon

17.05.07.-22.05.07.- Italija, radni posjet  
17.09.07.-21.09.07.- Poljska, sudjelovanje na konferenciji  
05.10.07.-08.10.07.- Hrvatska, sudjelovanje na HFD-u

H. Skenderović

04.06.07.-25.06.07.- Njemačka, znanstveni posjet  
26.08.07.-31.08.07.- Hrvatska, sudjelovanje na konferenciji  
05.10.07.-08.10.07.- Hrvatska, sudejlovanje na HFD-u

I. Smiljanić

21.05.07.-27.05.07.- Slovenija, sudjelovanje školi  
29.07.07.-18.08.07.- Italija, sudjelovanje na Workshop-u  
05.10.07.-08.10.07.- Hrvatska, sudejlovanje na HFD-u

A. Smontara

07.05.07.-10.05.07.- Hrvatska, sudjelovanje na kongresu  
21.05.07.-27.05.07.- Slovenija, sudjelovanje školi  
29.07.07.-18.08.07.- Italija, sudjelovanje na Workshop-u  
14.10.07.-19.10.07.- Izrael, sudjelovanje na konferenciji  
24.09.07.-28.09.07.- Švicarska, sudjelovanje na sastanku

D. Starešinić

04.06.07.-18.06.07.- Njemačka, znanstveni posjet  
03.09.07.-07.09.07.- Hrvatska, sudjelovanje na konferenciji  
29.10.07.-12.11.07.- Francuska, studijski boravak  
14.11.07.-30.11.07.- Njemačka, znanstveni posjet

A. Šiber

08.01.07.-08.01.08.- Slovenija, studijski boravak  
05.10.07.-08.10.07.- Hrvatska, sudejlovanje na HFD-u

S. Tomić

10.02.07.-18.02.07.- Francuska, studijski boravak  
07.05.07.-13.05.07.- Hrvatska, sudjelovanje na kongresu  
24.06.07.-27.06.07.- Hrvatska, sudjelovanje na ljetnoj školi  
01.07.07.-06.07.07.- Slovenija, sudjelovanje na konferenciji  
05.10.07.-08.10.07.- Hrvatska, sudjelovanje na HFD-u  
01.12.07.-10.12.07.- Francuska, studijski boravak

E. Tutiš

31.01.07.-14.02.07.- Švicarska, studijski boravak  
06.03.07.-31.03.07.- Francuska, studijski boravak  
22.09.07.-02.10.07.- Švicarska, znanstveni posjet  
05.10.07.-08.10.07.- Hrvatska, sudjelovanje na HFD-u

K. Uzelac

09.07.07.-13.07.07.- Italija, sudjelovanje na konferenciji  
14.04.07.-19.04.07.- Poljska, sudjelovanje na konferenciji  
05.10.07.-08.10.07.- Hrvatska, sudjelovanje na HFD-u

Č. Vadla

22.10.07.-22.12.07.- Njemačka, studijski boravak

S. Vdović

02.05.07.-07.05.07.- Armenija, sudjelovanje na znanstvenom skupu  
26.08.07.-31.08.07.- Hrvatska, sudjelovanje na konferenciji  
05.10.07.-08.10.07.- Hrvatska, sudejlovanje na HFD-u

Z. Vučić

24.06.07.-30.06.07.- Hrvatska, sudjelovanje na ljetnoj školi ml. Fizičara  
05.10.07.-08.10.07.- Hrvatska, sudjelovanje na HFD-u

N. Vujičić

03.03.07.-09.03.07.- Njemačka, studijski boravak  
26.08.07.-31.08.07.- Hrvatska, sudjelovanje na konferenciji  
05.10.07.-08.10.07.- Hrvatska, sudejlovanje na HFD-u

T. Vuletić

15.09.06.-15.09.07.- Francuska, poslijedoktorski studij

V. Zlatić

12.03.07.-18.03.07.- Mađarska, studijski boravak  
21.03.07.-28.03.07.- Portugal, sudjelovanje na konferenciji  
03.05.07.-17.06.07.- USA, znanstveni posjet  
13.08.07.-25.08.07.- Njemačka, sudjelovanje na radionici  
15.09.07.-19.09.07.- Ukrajina, sudjelovanje na konferenciji  
01.10.07.-08.10.07.- Italija, sudjelovanje na školi  
10.10.07.-15.10.07.- Engleska, sudjelovanje na sastanku  
20.10.07.-28.20.07.- Hrvatska, sudjelovanje na Workshop-u  
08.12.07.-16.12.07.- Njemačka, znanstveni posjet

I. Živković

05.02.07.-09.02.07.- Švicarska; službeni put  
16.04.07.-20.04.07.- Njemačka, službeni put  
01.09.07.-31.08.08.- Švicarska, post-doc