



НАУЧНО ВЕЋЕ ИНСТИТУТА ЗА ФИЗИКУ  
Прегревица 118  
11080 Земун

ИНСТИТУТ ЗА ФИЗИКУ			
ПРИМЛЕНО: 15-03-2018			
Рад.јед.	б р о ј	Арх.шифра	Прилог
0001	359/1		

**Предмет:** Образложење предлога др Уроша Ралевића за Студентску награду  
Института за физику за најбољу докторску дисертацију одбрањену  
током 2017. године

Урош Ралевић је на докторској дисертацији насловљеној "Наноскопија и примене дводимензионалних и квази дводимензионалних система" (енг. "Nanoscopy and applications of two-dimensional and quasi-two-dimensional systems") радио од јануара 2011. године до септембра 2017. године када је исту одбранио на Електротехничком факултету Универзитета у Београду.

У току докторских студија, кандидат се бавио испитивањем електронских и оптичких особина дводимензионалних материјала попут графена и монослојева молибден дисулфида, слојевитих материјала попут церијум трителурида и металних наночестица и њихових кластера. Поред испитивања особина поменутих материјала и дводимензионалних система који су у њима реализовани (дводимензионални електрони, екситони, плазмони, таласи густине наелектрисања), кандидат се бавио и испитивањем примена ових материјала. Сходно томе, у раду кандидата се могу издвојити 3 најзначајније целине:

#### 1. Графен и дводимензионални носιοци наелектрисања

Интерес према фундаменталним истраживањима графена у различитим областима савремене физике се заснива на његовим специфичним електронским и оптичким особинама, у великој мери условљених његовим  $\pi$  електронима. Модификација електронских и оптичких особина графена применом напона гејта омогућава велики број примена у областима електронике, плазмонице, нанооптике и оптоелектронике. У основи ефекта се налази промена Фермијевог нивоа у графену, најчешће у конфигурацијама задњег и горњег гејта.

Део истраживања којим се кандидат бавио у склопу ове теме је одређивање утицаја нанометарски танког слоја изолатора нанетог преко графена на његов површински потенцијал, који је пропорционалан излазном раду применом Келвинове микроскопије. Циљ је био испитивање стабилности површинског потенцијала графена контролисаног применом електричног поља у конфигурацији задњег гејта. У том смислу, резултати истраживања утицаја нанометарски танког слоја изолатора (сафир) депонованог на графен (узорци припремљени у лабораторији А. Геима и К. Новоселова) имају значајан допринос у конструкцији квалитетнијих направа на бази графена, пошто је показано да заштитни слој повећава стабилност положаја Фермијевог нивоа у графену при промени напона гејта. Поред тога, демонстрација да се промене контактне потенцијалне разлике и фазе електростатичке силе између графена и врха скенирајућег микроскопа могу пратити испод поменутог изолационог слоја даје одређени допринос даљем развоју примене Келвинове скенирајуће микроскопије и микроскопије на бази електричних сила на сличне системе.



У литератури је показано да се спрезањем графена и оптичких таласовода могу конструисати различите оптоелектронске направе одличних перформанси, укључујући електрооптичке модулаторе, поларизаторе и фотодетекторе. У односу на досадашња истраживања, утицај графена на константу пропагације вођених модова оптичких таласовода је у оквиру истраживања којим се бавио кандидат описан производом проводности графена и параметра снаге спрезања, чиме се значајно упрошћава анализа оптичких карактеристика система графен-таласовод што је и показано на примеру графенских електрооптичких модулатора. На основу овог приступа, директно је показано да квалитет оптичких особина графена има доминантнији утицај од параметра снаге спрезања на практична ограничења ових направа. У том смислу, ови резултати имају значајан допринос у конструкцији електрооптичких модулатора на бази графена.

Најзначајнији резултати остварени у оквиру ове теме, објављени су у 2 чланка у часопису *Journal of Physics D: Applied Physics* (**категорија M21**):

1. Ralević U., Isić G., Vasić B., Gajić R.: Modulating light with graphene embedded into an optical waveguide, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, Vol 47, No 33, 2014, pp. 335101-1 – 335101-9 (DOI: 10.1088/0022-3727/47/33/335101).

2. Ralević U., Isić G., Vasić B., Gvozdić D., Gajić R.: Role of waveguide geometry in graphene-based electro-absorptive optical modulators, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, Vol 48, No 35, 2015, pp. 355102-1 - 355102-9 (DOI: 10.1088/0022-3727/48/35/355102).

## 2. Церијум три телурид и таласи густине наелектрисања

Церијум трителурид је метал који припада телуридима ретких земаља. Ова класа слојевитих материјала специфична је по томе што поседује таласе густине наелектрисања. Таласи густине наелектрисања представљају основно стање система у коме се јавља периодична модулација електронске густине која је праћена одговарајућим преуређењем атома у кристалној решетки материјала. Ови системи су предмет проучавања већ неколико деценија, а тачан механизам њиховог настајања и њихове особине у појединим системима још увек су веома актуелне теме у области физике чврстог стања. Са друге стране, због релативно једноставне електронске структуре која је доминантно одређена планарним монослојевима телурових атома али и због могућности подешавања размака између атома у планарним слојевима променом елемента ретке земље, телуриди ретких земаља представљају идеалне материјале за проучавање таласа густине наелектрисања.

Постојеће студије базиране на употреби скенирајуће тунелске микроскопије баве се детаљним проучавањем таласа густине наелектрисања у тербијум трителуриду на температури од 6 K и церијум трителуриду на 77 K. С обзиром, да је талас густине наелектрисања у церијум трителуриду робустно стање које постоји у опсегу температура од 77 K до 500 K, и да претходно нису постојале детаљне студије скенирајућом тунелском микроскопијом истог на собној температури, мерења и анализа добијених резултата које је направио кандидат (који обухватају одређивање карактеристичног таласног вектора модулације и енергетског процепа услед таласа густине наелектрисања) представљају значајан допринос у разумевању начина на који се талас густине наелектрисања у телуридима ретких земаља манифестује на собној температури. Посебан допринос представљају резултати којима се утврђује преуређење телурових атома у оквиру планарне решетке у којој се налази талас густине наелектрисања. Наиме, у литератури постоје индиректни докази о поменутом преуређењу атома телура базирани на анализи дифракције X зрака на кристалима телурида ретких земаља. У том смислу директна опсервација ове појаве приказана у дисертацији кандидата, која претходно није виђена помоћу скенирајуће тунелске микроскопије, представља значајан помак у разумевању

таласа густине наелектрисања у поменутих материјалима. Ови резултати су објављени у чланку у часопису *Physical Review B* (**категирија M21**):

3. Ralević U., Lazarević N., Baum A., Eiter H.-M., Hackl R., Giraldo-Gallo P., Fisher I. R., Petrović C., Gajić R., Popović Z. V.: Charge density wave modulation and gap measurements in CeTe<sub>3</sub>, *Phys. Rev. B*, Vol 94, No 16, 2016, pp. 165132-1-165132-9, (DOI: 10.1103/PhysRevB.94.165132)

### 3. Примена кластера металних наночестица као појачавача Рамановог расејања

Кластери металних наночестица су познати као добри појачавачи Рамановог сигнала анализата који се налази у њиховој непосредној близини. У оквиру ове теме проучавана је примена површинских плазмона кластера металних наночестица у детекцији и проучавању адсорпције молекула тијацијанинске боје на површину ових кластера методом колокализоване површином подстакнуте Раманове спектроскопије и скенирајуће микроскопије на бази атомских сила. За разлику од претходних истраживања, у овом истраживању показано је да већински део појачаног Рамановог сигнала анализата (молекула цитрата, поливинил пиролидона или тијацијанинске боје) долази из нанопроцепа између суседних честица у кластеру без обзира на облик и величину кластера. Такође, у односу на претходне студије адсорпције тијацијанинске боје на површину металних наночестица које су иницијално покривене молекулима цитрата, у овој дисертацији је директно показано да молекули цитрата отежавају адсорпцију поменуте боје. У том смислу, ови резултати представљају јединствен допринос бољем разумевању методе површином подстакнуте Раманове спектроскопије и механизма адсорпције тијацијанинске боје на површину металних наночестица.

Најважнији резултати су публиковани у чланку у часопису *Applied Surface Science* (**категирија M21a**):

4. Ralević U., Isiћ G., Vasić Anićijević D., Laban B., Bogdanović U., Lazović V. M., Vodnik V., Gajić R.: Nanospectroscopy of thiocyanine dye molecules adsorbed on silver nanoparticle clusters, *Appl. Surf. Sci.*, Vol 434, 2018, pp. 540-548, (DOI: 10.1016/j.apsusc.2017.10.148)

Важно је истаћи да научно-истраживачки рад кандидата у склопу израде докторске дисертације у **обухвата како напредне теоријско-нумеричке тако и напредне експерименталне методе** док је уобичајена пракса да докторанти на напредном нивоу користе само теоријско-нумеричке или експерименталне методе.

О изузетности кандидатовог рада говори чињеница да експериментални резултати објављени у чланцима наведеним под 3. и 4. представљају прве резултате те врсте на бази два потпуно независна експериментална система (скенирајућа тунелска микроскопија у ултрависоком вакууму, односно колокализована Раманова спектроскопија и микроскопија на бази атомских сила) не само у Србији него и у Региону.

Предлагач

*Goran Vasić*

др Горан Исић

Београд, 15.03.2018.