НАУЧНОМ ВЕЋУ ИНСТИТУТА ЗА ФИЗИКУ У БЕОГРАДУ

**Извештај комисије за избор Марка Опачића у звање истраживач сарадник**

На седници Научног већа Института за физику, одржаној 17. јуна 2014. године, име-нoвани смо у комисију за избор Марка Опачића у звање истраживач сарадник. Прегледом материјала који нам је достављен, као и на основу личног познавања кандидата и увида у његов рад, Научном већу Института за физику подносимо овај извештај.

**Биографски подаци**

Марко Опачић је рођен 30.06.1988. године у Београду, где је завршио основну школу и гимназију, као носилац Вукове дипломе. Након тога је 2007. године уписао основне студи-је на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на одсеку Сигнали и системи. Дипломирао је 2011. године са радом под називом ,,*Управљање асинхроним мотором у зони слабљења поља методом егзактне (feedback) линеаризације''*. Просечна оцена на основним студијама била је 9.31. Мастер студије на истом одсеку уписао је октобра 2011. године, за-вршивши их септембра 2012. године, с укупном просечном оценом 9.44. Тема мастер-рада била је ,,*Компаративна анализа линеарних и нелинеарних техника управљања на симулаци-оном моделу и лабораторијској поставци Two Tank System''*. У октобру исте године уписао је докторске студије на Електротехничком факултету, смер Наноелектроника и фотоника. Од 01.11.2012. године запослен је у Центру за физику чврстог стања и нове материјале Института за физику, као истраживач приправник на пројекту Министарства просвете, нау-ке и технолошког развоја Републике Србије III45018 ,,Наноструктурни мултифункционални материјали и нанокомпозити'' (руководилац проф. др Зоран В. Поповић).

**Преглед научне активности**

Досадашњи истраживачки рад Марка Опачића одвијао се у три целине:

1. Испитивање кристалне симетрије $IrTe\_{2}$ методом Раманове спектроскопије
2. Фононске особине ,,spin-ladder'' једињења на бази гвожђа
3. Динамика решетке 122\*-суперпроводника на бази гвожђа

Активности Марка Опачића везане су за испитивање јако корелисаних електронских система, што је једна од најактуелнијих области проучавања у физици кондензованог стања материје. Први систем, $IrTe\_{2},$ допирањем $Pt, Pd$ и $Cu$, постаје суперпроводан. Снижавањем температуре подлеже фазном прелазу, праћеном смањивањем симетрије, при чему још увек није са сигурношћу утврђена структура нискотемпературске фазе. Друга група материјала спада у фамилију $S=2$ орторомбичних ,,spin-ladder'' једињења на бази гвожђа. Једињења из треће групе представљају нову класу суперпроводника на бази гвожђа. Циљ досадашњих активности био је да се коришћењем Раманове спектроскопије испита фононска структура једињења и њени доприноси ефектима који се јављају у наведеним системима. Због тога је било неопходно уочити и асигнирати фононске модове који постоје у поменутим системи-ма, као и испитати њихову температурску еволуцију. Мерења су вршена на различитим тем-пературама и различитим поларизационим геометријама.

**Испитивање симетрије кристала** $IrTe\_{2}$

Радови:

* N. Lazarević, E. S. Bozin, M. Šćepanović, **M. Opačić**, Hechang Lei, C. Petrovic, and Z. V. Popović, *Probing* $IrTe\_{2}$ *crystal symmetry by polarized Raman scattering,* Phys. Rev. B 89, 224301 (2014).

У овом раду приказана је анализа симетрије монокристалног узорка $IrTe\_{2}$ методом Ра-манове спектроскопије. Досадашња истраживања овог материјала указивала су да високо-температурска фаза овог једињења припада $P\overbar{3}m1$ групи симетрије (тригонални систем), за коју се предвиђају два рамански активна мода, која су према досадашњим прорачунима оче-кивана на око 164 $cm^{-1}$ и 130 $cm^{-1}$. Међутим, у измереним спектрима се, у паралелној по-ларизацији, јасно уочавају три, док у укрштеној поларизацији имамо два рамански активна мода. Моду на око 164 $cm^{-1}$, који постоји само у паралелној поларизацији, у складу са се-лекционим правилима, придружена је $A\_{1g}$ симетрија, док преостала два мода, која постоје у обе поларизације, имају $E\_{g}$ симетрију. Ово указује да посматрано једињење на високим температурама има нижу симетрију од предложене, и да за опис оваквог фононског спектра одговара $P\overbar{3}c1$ просторна група, што је потврђено структурном анализом PDF мерења узор-ка $IrTe\_{2}$ на собној температури. Нагла промена у раманским спектрима испод критичне тем-пературе $T\_{PT}=245 K$ указује на фазни прелаз који постоји на овој температури. Већи број модова на ниским температурама указује на снижавање симетрије. Велика разлика у спектрима мереним у паралелној и укрштеној поларизацији, указује на постојање два одво-јена канала расејања на ниским температурама. Због тога се сматра да нискотемпературска фаза овог кристала не поседује предложену триклиничну симетрију, код које се не би очеки-вало поништавање неких раманских модова у различитим поларизацијама. Може се за-кључити да овај кристал на ниским температурама има моноклиничну симетрију. Пет јасно уочљивих модова који се јављају у паралелној, али не и укрштеној поларизацији означени су као $A\_{g}$ модови, док шест модова који постоје у обе поларизационе конфигурације има $B\_{g}$ симетрију. На основу симетријске анализе претпостављено је да је просторна група симе-трије нискотемпературске фазе овог једињења моноклинична $C2/c$ група или нека од њених $t-$подгрупа. Осим нагле промене на критичној температури $T\_{PT}$, температурска зависност енергија и полуширина рамански активних модова монокристала $IrTe\_{2}$ може се добро опи-сати помоћу анхармонијског модела.

**Фононска својства ,,spin-ladder'' једињења:** $BaFe\_{2}S\_{3}$ **и** $BaFe\_{2}Se\_{3}$

Радови:

* Z. V. Popović, M. Šćepanović, N. Lazarević, and **M. Opačić**, *Phonon properties of* $BaFe\_{2}X\_{3} (X=S, Se)$ *spin ladder compounds,* у процесу евалуације.

Приказани су и анализирани рамански спектри орторомбичних кристала $BaFe\_{2}S\_{3}$ и $BaFe\_{2}Se\_{3}$, од којих први припада $Cmcm$ просторној групи (18 рамански активних модова), а други $Pnma$ просторној групи (36 рамански активних модова). На основу симетријске анализе и измерених спектара, закључено је да су рамански спектри $BaFe\_{2}S\_{3}$ монокристала добијени расејањем са (110)-равни узорка. Пет модова који су уочени у $x'(zz)\overbar{x'}$ конфигура-цији ($x^{'}=\left[110\right], z=\left[001\right]$) означени су као $A\_{g}$ модови, додатни модови који се појављују у $x^{'}\left(y^{'}y^{'}\right)\overbar{x^{'}}, (y^{'}=\left[1\overbar{1}0\right])$ поларизацији имају $B\_{1g}$ симетрију, док модови који се појављују у укрштеној $(x^{'}\left(y^{'}z\right)\overbar{x^{'}})$ поларизацији имају $B\_{2g}$ и $B\_{3g}$ симетрију. Температурска зависност енергије и полуширине испитиваних модова моделована је анхармонијским моделом. Значајно одступање од теоријског модела уочено је код $A\_{g}^{4}$ мода (који се налази на ~$301 cm^{-1}$) на температурама изнад $275 K$, што је вероватно последица промене антиферомагнетског уређења. Рамански спектри кристала $BaFe\_{2}Se\_{3}$ мерени су са (100)-равни узорка. У па-ралелној ($x(yy)\overbar{x})$ поларизацији уочено је и означено шест рамански активних модова, $A\_{g}$ симетрије, док су у другој паралелној ($x\left(zz\right)\overbar{x}$) поларизацији уочена додатна три $A\_{g}$ мода. У укрштеној ($x(yz)\overbar{x}$) поларизацији јасно се издвајају три мода, која имају $B\_{3g}$ симетрију. Температурска зависност енергије и полуширине испитиваних модова може се описати тро-фононским процесима. Испод $T\_{N}=255 K$ долази до пораста енергије и наглог опадања по-луширине испитиваних модова, што би се могло објаснити спин-фононском интеракцијом. Енергије модова добијене нумеричким прорачунима су у сагласности са вредностима добијеним на основу мерених спектара за оба испитивана једињења.

**Динамика решетке 122\*-суперпроводника на бази гвожђа**

Радови:

* **M. Opačić**, N. Lazarević, M. Radonjić, M. Šćepanović, H. Ryu, D. Tanasković, C. Petrovic, Z. V. Popović: *"Lattice dynamics of* $K\_{x}Co\_{2-y}Se\_{2}$*",* у процесу евалуације.

У овом раду приказана је динамика решетке кристала $K\_{x}Co\_{2-y}Se\_{2}$ испитивана помоћу Раман спектроскопије. Мерења су вршена са (001)-равни кристала, у различитим пола-ризационим конфигурацијама и температурском опсегу од $85 K$ до $300 K$. Овај монокри-стал има тетрагоналну симетрију, и припада просторној групи $I4/mmm , Γ\_{Raman}=A\_{1g}+B\_{1g}$. На основу селекционих правила закључено је да мод који се увек појављује у паралел-ној, а не постоји у укрштеној поларизацији, има $A\_{1g}$ симетрију. Са друге стране, интензитет $B\_{1g}$ мода зависи и од оријентације узорка, па је у складу са тим извршена асигнација модова. Температурска зависност енергије и полуширине за два поменута мода на вишим темпера-турама се може описати трофононским процесима. Ширење $B\_{1g}$ мода испод $120 K$ верова-тно је последица отварања додатног канала расејања, који потиче од колективних спинских флуктуација у близини $T\_{N}$. Одсуство додатних модова у раманским спектрима монокри-стала $K\_{x}Co\_{2-y}Se\_{2}$ указује на чињеницу да не долази до уређења ваканција, као код $K\_{x}Fe\_{2-y}Se\_{2}$. Вредности енергија модова добијене нумеричким прорачуном су у сагласности са измереним подацима.

**Квалитет научних резултата**

Кандидат је у свом научном раду, поред саопштења на међународној конференцији и одржаних интерних семинара, написао, односно учествовао у писању три научна чланка, од којих је један објављен у врло реномираном часопису Physical Review B (IF = 3.774), а два су у процесу евалуације.

**Закључак**

Током досадашњег рада у Центру за физику чврстог стања и нове материјале Института за физику кандидат је у потпуности овладао техником раманске спектроскопије, укључујући поларизациона мерења и мерења у широком опсегу температура. Такође, овладао је програмима за обраду експерименталних резултата и испољио напредак у њиховој теоријској анализи. На основу података из овог извештаја види се да је Марко Опачић задовољио све квантитативне и квалитативне услове за избор у звање истраживач сарадник који су прописани Законом о научноистраживачкој делатности и Правилником о поступку и начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача. Због тога нам је задовољство да предложимо Научном већу Института за физику да изабере Марка Опачића у звање истраживач сарадник.

У Београду, 18. јула 2014. године

Чланови комисије:

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

др Ненад Лазаревић, научни сарадник

Институт за физику Београд

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

др Маја Шћепановић, научни саветник

Институт за физику Београд

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

проф. др Зоран Поповић, научни саветник

Институт за физику Београд

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

др Александар Ракић, доцент

Електротехнички факултет Универзитета у Београду