

Научном већу Института за физику у Београду

Извештај комисије за избор др Марка Опачића у звање научни сарадник

На седници Научног већа Института за физику у Београду одржаној 10.07.2018. године именовани смо у комисију за избор др Марка Опачића у звање научни сарадник у саставу:

- 1) др Ненад Лазаревић, виши научни сарадник, Институт за физику,
- 2) др Маја Шћепановић, научни саветник, Институт за физику,
- 3) др Дарко Танасковић, научни саветник, Институт за физику,
- 4) академик др Зоран В. Поповић, научни саветник, Институт за физику,
- 5) др Божидар Николић, доцент, Физички факултет, Универзитет у Београду

Прегледом материјала који нам је достављен, као и на основу личног познавања кандидата и увида у његов рад и публикације, Научном већу института за физику у Београду подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Биографски подаци о кандидату

Марко Опачић је рођен 30.06.1988. године у Београду, где је завршио основну школу и гимназију. Основне студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду уписао је 2007. године. Дипломирао је 2011. године на смеру Сигнали и системи са просечном оценом 9.44 и оценом 10 на дипломском раду. Мастер студије завршио је септембра 2012. на истом факултету, смер Сигнали и системи, са просечном оценом 10.00. Октобра исте године започео је докторске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, модул Наноелектроника и фотоника.

Марко Опачић је научноистраживачки рад започео у Центру за физику чврстог стања и нове материјале Института за физику у Београду октобра 2012. године, где је запослен као истраживач приправник, на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије бр. Ш45018 „Наноструктурни мултифункционални материјали и нанокompозити" од 01. новембра исте године. У звање истраживач сарадник изабран је септембра 2014. године. Био је ангажован на

више билатералних пројеката. До сада је учествовао на неколико међународних конференција. Од школске 2015/2016. године учествује у раду Комисије за такмичења ученика средњих школа из физике као аутор експерименталног задатка за Српску физичку олимпијаду.

Током досадашњег рада Марко Опачић је објавио укупно 7 радова у међународним часописима, од којих је шест објављено у врхунским међународним часописима, а један, прегледни, рад у међународном часопису. Поред тога, има и пет саопштења на међународним научним скуповима.

Докторску дисертацију под насловом „Раздвајање фаза на наноскали у суперпроводницима на бази гвожђа коришћењем Раманове спектроскопије” одбранио је 08.06.2018. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду.

2. Преглед научне активности

Област истраживања др Марка Опачића обухвата проучавање вибрационих својстава нових материјала. Током свог досадашњег научноистраживачког рада, др Марко Опачић се првенствено бавио вибрационим својствима материјала из групе суперпроводника на бази гвожђа и нискодимензионалних магнетних материјала. Циљ ових истраживања био је да се испитају фононска својства ових материјала, као и утицај кристалне и електронске структуре и магнетног уређења на фононске спектре, посебно у близини критичних температура фазних прелаза. Досадашњи резултати истраживања могу допринети бољем разумевању механизма суперпроводности код нових материјала, као и особина суперпроводника на бази гвожђа. Најзначајнији део истраживачког рада и научних резултата које је до сада остварио др Марко Опачић могу се груписати у две теме:

- Вибрациона својства суперпроводника на бази гвожђа
- Вибрациона својства нискодимензионалних магнетних материјала

2.1 Вибрациона својства суперпроводника на бази гвожђа

Први део научне активности др Марка Опачића односи се на проучавање вибрационих својстава материјала из групе суперпроводника на бази гвожђа.

У циљу проучавања утицаја суперпроводности на фононска својства, кандидат је мерио раманске спектре суперпроводног узорка $K_xFe_{2-y}Se_2$ и несуперпроводног, кобалтом допираног узорка $K_{0.8}Fe_{1.8}Co_{0.2}Se_2$. На основу добијених резултата и симетријске анализе, утврђено је постојање фазног раздвајања, односно присуство две кристалне фазе у оба узорка. Сви фононски модови из нискосиметричне,

антиферромагнетне фазе имају конвенционалну температурску зависност код оба материјала. Ренормализација раманског мода који потиче од високосиметричне, металне/суперпроводне фазе, уочена је само у суперпроводном узорку, што је приписано промени електронске структуре при уласку у магнетно уређено стање. Добијени резултати су објављени у једном раду у врхунском међународном часопису:

- М. Опаџић, N. Lazarević, М. Ђећепановић, Н. Ryu, Н. Lei, С. Petrovic, and Z. V. Popović, Evidence of superconductivity-induced phonon spectra renormalization in alkali-doped iron selenides, *Journal of Physics: Condensed Matter* 27 (2015) 485701 (M21).

Следећи испитивани материјал био је чист $K_xCo_{2-y}Se_2$. Уочено је присуство само два фононска мода, карактеристична за високосиметричну $I4/mmm$ кристалну фазу. Означавање модова извршена је анализом зависности интензитета уочених раманских модова од оријентације узорка у односу на лабораторијски координатни систем. Ради детаљнијег увида у фононски спектар, кандидат је вршио раманска мерења у широком температурском опсегу, као и анализу температурске зависности енергије и полуширине фононских модова. На основу тога утврђено је да феромагнетно уређење има знатан утицај на енергију и полуширину код оба мода, као и на велику ширину и асиметрију раманског мода B_{1g} симетрије. Резултати везани за овај материјал објављени су у једном раду у врхунском међународном часопису и представљени на конференцији:

- М. Опаџић, N. Lazarević, М. М. Radonjić, М. Ђећепановић, Н. Ryu, А. Wang, D. Tanasković, С. Petrovic, and Z. V. Popović, Raman spectroscopy of $K_xCo_{2-y}Se_2$ single crystals near the ferromagnet-paramagnet transition, *Journal of Physics: Condensed Matter* 28 (2016) 485401 (M21).

У циљу проучавања структурних промена код монокристала $K_xFe_{2-y}Se_2$ са допирањем кобалтом у зависности од нивоа допирања, кандидат је вршио раманска мерења серије узорака $K_xFe_{2-y-z}Co_zSe_2$ на собној температури у зависности од нивоа допирања. Уочено је да при ниским концентрацијама кобалта у спектрима постоје само два рамански активна мода, карактеристична за $I4/mmm$ фазу. Са повећањем концентрације кобалта поред њих се јавља и широка асиметрична структура која је приписана јаком кристалном неуређењу у нискосиметричној фази. При високим концентрацијама гвожђа појављује се велики број модова, што је указало на присуство обе кристалне фазе. На овај начин су преко вибрационих спектра успешно праћене структурне промене испитиваних материјала. Описани резултати објављени су у једном раду у врхунском међународном часопису:

- Н. Ryu, K. Wang, М. Опаџић, N. Lazarević, J. B. Warren, Z. V. Popović, E. S. Bozin, and С. Petrovic, Sustained phase separation and spin glass in Co-doped $K_xFe_{2-y}Se_2$ single crystals, *Phys. Rev. B* 92 (2015) 174522 (M21).

2.2 Вибрациона својства нискодимензионалних магнетних материјала

Други део научног рада кандидата др Марка Опачића односи се на изучавање вибрационих својстава нискодимензионалних магнетних материјала.

Проучавана је динамика решетке квазиједнодимензионалних магнетних материјала на бази спинских лествица BaFe_2S_3 и BaFe_2Se_3 . Уочени су и означени скоро сви рамански активни модови предвиђени селекционим правилима. Показано је да антиферромагнетно спинско уређење у BaFe_2Se_3 утиче на фононски спектар. Кандидат је у оквиру овог истраживања учествовао у раманским мерењима на различитим температурама и извршио симетријску анализу на основу које је одређен број и расподела вибрационих модова у центру Брилуенове зоне. Резултати су објављени у раду у врхунском међународном часопису:

- Z. V. Popović, M. Šćepanović, N. Lazarević, M. Орачић, M. M. Radonjić, D. Tanasković, H. Lei, and C. Petrovic, Lattice dynamics of BaFe_2X_3 (X=S, Se) compounds, Phys. Rev. B 91 (2015) 064303 (M21).

Други проучавани материјал из ове групе био је $\text{TaFe}_{1.25}\text{Te}_3$, нискодимензионални магнетни материјал на бази спинских ланаца, са антиферромагнетним уређењем испод 200 К. Испитивана су фононска својства овог материјала у широком температурском опсегу, како би се проучили утицај магнетног уређења на фононске спектре и природа магнетног фазног прелаза. Кандидат је мерио раманске спектре у широком температурском опсегу и извршио симетријску анализу, на основу које је (а уз потврду нумеричким прорачунима) означено девет рамански активних модова. Анализом температурске зависности њихове енергије и полуширине показано је да је магнетни фазни прелаз код овог материјала континуалан и да се електрон-фононска интеракција слабо мења са температуром. Описани резултати објављени су у врхунском међународном часопису:

- M. Орачић, N. Lazarević, D. Tanasković, M. M. Radonjić, A. Milosavljević, Yongchang Ma, C. Petrovic, and Z. V. Popović, Small influence of magnetic ordering on lattice dynamics in $\text{TaFe}_{1.25}\text{Te}_3$, Phys. Rev. B 96 (2017) 174303 (M21).

Поред главне активности, која је била усмерена у два описана правца, др Марко Опачић је учествовао у раманским мерењима у циљу испитивања кристалне симетрије монокристала IrTe_2 . У оквиру овог истраживања утврђено је да је кристална структура високотемпературске фазе ниже симетрије од претходно прихваћене, док је структура нискотемпературске фазе моноклинична. Резултати овог истраживања објављени су у једном раду у врхунском међународном часопису:

- N. Lazarević, E. S. Božin, M. Šćepanović, M. Opačić, Hechang Lei, C. Petrovic, and Z. V. Popović, Probing IrTe₂ crystal symmetry by polarized Raman scattering, Phys. Rev. B 89 (2014) 224301 (M21).

Др Марко Опачић је објавио и један прегледни рад у међународном часопису у коме су обухваћена и његова истраживања везана за прву поменућу тему:

- M. Opačić and N. Lazarević, Lattice dynamics of iron chalcogenides: Raman scattering study, J. Serb. Chem. Soc. 82 (9) (2017) 957-983 (M23).

3. Елементи за квалитативну анализу рада

3.1 Квалитет научних резултата

3.1.1 Научни ниво и значај научних резултата

Кандидат се у току досадашњег рада бавио изучавањем вибрационих својстава материјала из групе суперпроводника на бази гвожђа и нискодимензионалних магнетних материјала. Конкретно, испитивао је фононске спектре ових материјала на различитим температурама и утицај који електронске, структурне и магнетне особине имају на ове спектре, посебно у околини критичних температура фазних прелаза. Суперпроводници на бази гвожђа су новија група неконвенционалних, високотемпературских суперпроводника. С обзиром на чињеницу да још увек не постоји општа теорија која би објаснила механизам суперпроводности код високотемпературских суперпроводника, у свету се врше интензивна експериментална и теоријска истраживања у том циљу. Један од најважнијих представника ове групе, $K_xFe_{2-y}Se_2$, кога је кандидат проучавао, има низ интересантних особина, као што су делимично уређивање ваканција гвожђа, фазно раздвајање, релативно висока суперпроводна температура и велики магнетни моменти. Допирањем овог материјала кобалтом и никлом постижу се значајне промене физичких својстава, што би могло служити за подешавање особина материјала. Према до сада познатим подацима, чист $K_xCo_{2-y}Se_2$ није суперпроводан, али се уређује феромагнетски на ниским температурама. Са друге стране, материјали на бази гвожђа, осим суперпроводних, могу имати и нискодимензионална магнетна својства, при чему се њихови спинови уређују у спинске ланце, лествице, димере итд. Овој групи материјала припадају $TaFe_{1.25}Te_3$, $BaFe_2S_3$ и $BaFe_2Se_3$, које је кандидат такође проучавао. Др Марко Опачић до сада је учествовао у изради 7 научних радова, од којих је на четири као први аутор дао кључан допринос. Шест радова објављено је у врхунским међународним часописима М21 категорије, док је један, прегледни, рад објављен у међународном

часопису категорије M23. Поред тога, до сада је учествовао на више међународних конференција.

Два најзначајнија рада кандидата су:

- **М. Орачић**, N. Lazarević, M. Šćepanović, H. Ryu, H. Lei, C. Petrovic, and Z. V. Popović, Evidence of superconductivity-induced phonon spectra renormalization in alkali-doped iron selenides, *Journal of Physics: Condensed Matter* 27 (2015) 485701 (M21).

- **М. Орачић**, N. Lazarević, M. M. Radonjić, M. Šćepanović, H. Ryu, A. Wang, D. Tanasković, C. Petrovic, and Z. V. Popović, Raman spectroscopy of $K_xCo_{2-y}Se_2$ single crystals near the ferromagnet-paramagnet transition, *Journal of Physics: Condensed Matter* 28 (2016) 485401 (M21).

У првом раду проучавана је динамика решетке суперпроводног монокристала $K_xFe_{2-y}Se_2$ и оног допираног малом концентрацијом кобалта $K_{0.8}Fe_{1.8}Co_{0.2}Se_2$, а код кога се суперпроводност губи. Уочено је и означено седам рамански активних модова из нискосиметричне $I4/m$ фазе и два из високосиметричне $I4/mmm$ фазе, чиме је потврђено присуство две фазе у оба узорка. Показано је да се зависност полуширине од температуре код свих анализираних модова може добро описати анхармонијским моделом, док је температурска зависност енергије доминантно одређена топлотним ширењем решетке. Уочена је ренормализација енергије A_{1g} мода, који потиче од $I4/mmm$ фазе, само у недопираном, суперпроводном узорку и приписана промени електронске структуре при уласку у суперпроводно стање.

У другом раду испитивана су фононска својства монокристала $K_xCo_{2-y}Se_2$ у широком температурском опсегу. Уочена су и означена оба раманска мода која се очекују за дату експерименталну конфигурацију. Показано је да феромагнетско уређење има знатан утицај на енергију и полуширину оба фононска мода, као и на велику ширину и асиметрију B_{1g} мода. Резултати су подржани нумеричким прорачунима динамике решетке у оквиру теорије функционала густине. Овај рад је одабран од стране уредништва часописа као један од најистакнутијих радова објављених у 2016. години.

3.1.2 Параметри квалитета часописа

Кандидат др Марко Опачић објавио је укупно седам радова у међународним часописима и то:

- 1 рад у врхунском међународном часопису *Physical Review B* (ИФ = 3.767, СНИП = 1.378)
- 2 рада у врхунском међународном часопису *Physical Review B* (ИФ = 3.736, СНИП = 1.326)

- 2 рада у врхунском међународном часопису *Journal of Physics: Condensed Matter* (ИФ = 2.346, СНИП = 0.987)
- 1 рад у врхунском међународном часопису *Physical Review B* (ИФ = 3.836, СНИП = 1.151)
- 1 рад у међународном часопису *Journal of the Serbian Chemical Society* (ИФ = 0.970, СНИП = 0.552)

Укупан импакт фактор објављених радова је ИФ = 20.737. Додатни библиометријски показатељи према Упутству о начину писања извештаја о изборима у звања које је усвојио Матични научни одбор за физику дати су у следећој табели:

	ИФ	М	СНИП
Укупно	20.737	51	7.707
Усредњено по чланку	2.962	7.286	1.101
Усредњено по аутору	3.032	7.675	1.2

3.1.3 Позитивна цитираност научних радова кандидата

Према бази *Web of Science*, радови др Марка Опачића су цитирани укупно 14 пута, од чега пет пута изузимајући аутоцитате. Према истој бази, Хиршов индекс кандидата је 2. Према бази *Google Scholar*, укупан број цитата је 16, док је Хиршов индекс кандидата једнак 3.

3.2 Нормирање броја коауторских радова

Сви радови др Марка Опачића су експерименталне природе, што подразумева сарадњу више институција. Имајући то у виду, број коаутора на појединим радовима је већи од 7. Нормирање М бодова у складу са Правилником Министарства о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача је кандидатов укупан збир умањило са 59.5 на 52.97 бодова, што је и даље знатно више од захтеваног минимума (16) за избор у звање научни сарадник.

3.3 Учешће у пројектима, потпројектима и пројектним задацима

Кандидат је од 01.11.2012. године запослен на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије Ш45018 „Наноструктурни мултифункционални материјали и нанокompозити“, чији руководиоцац је академик Зоран В. Поповић. Кандидат је учествовао и на више билатералних пројеката са Немачком у оквиру којих је реализовао више студијских посета као и једног Хоризонт 2020 пројекта.

3.4 Конкретан научни допринос кандидата у реализацији резултата у научним центрима у земљи и иностранству

Кандидат је све своје истраживачке активности реализовао у Институту за физику Београд. Значајно је допринео сваком раду на коме је учествовао. Његов допринос се огледа у експерименталном мерењу Рамановог расејања испитиваних монокристалних материјала у широком опсегу температура, обради, анализи и тумачењу добијених резултата, као и у писању научних чланака.

3.5 Утицај научних резултата

Значај научних резултата кандидата наведен је у одељку 3.1 овог извештаја. Пун списак радова и цитата дат је у прилогу.

3.6 Предавања на конференцијама

Кандидат је коаутор 5 саопштења на међународним конференцијама која су наведена у прилогу.

3.7 Педагошки рад

Кандидат од школске 2015/2016. године учествује у раду Комисије за такмичења ученика средњих школа из физике, задужен за састављање експерименталног задатка за Српску физичку олимпијаду. Такође, у протекле три године активно је учествовао у организовању и држању припрема изабране екипе Србије за међународну олимпијаду из физике, као и у одржавању апаратура за експерименталне вежбе које се користе у оквиру тих припрема.

4. Елементи за квантитативну анализу рада

Остварени М-бодови по категоријама дати су у следећој табели. Према бази *Web of Science*, радови др Марка Опачића цитирани су укупно 14 пута, односно пет пута ако се изузму аутоцитати. Његов Хиршов фактор је 2.

Категорија	М-бодова по публикацији	Број публикација	Укупно М-бодова
M21	8	6	48
M23	3	1	3
M34	0.5	5	2.5
M70	6	1	6

Поређење оствареног броја М-бодова са минималним квантитативним условима потребним за избор у звање научни сарадник дато је у наредној табели.

М категорије	Услов	Остварено	Нормирано-остварено
Укупно	16	59.5	52.97
M10+M20+M31+M32+M33+M41+M42	10	51	41.72
M11+M12+M21+M22+M23	6	51	41.72

Закључак и предлог

Др Марко Опачић у потпуности испуњава све квантитативне и квалитативне услове за избор у звање научни сарадник, прописане Правилником о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. Током рада на докторској дисертацији остварио је оригиналне и значајне резултате и стекао искуство у међународној сарадњи.

Имајући у виду квалитет његовог истраживачког рада и достигнут степен истраживачке компетентности, задовољство нам је да предложимо Научном већу Института за физику у Београду да донесе одлуку о прихватању предлога за избор др Марка Опачића у звање научни сарадник.

У Београду, 15.07.2018. године

Чланови комисије:

др Ненад Лазаревић, виши научни сарадник
Институт за физику у Београду

др Маја Шћепановић, научни саветник
Институт за физику у Београду

др Дарко Танасковић, научни саветник
Институт за физику у Београду

академик Зоран В. Поповић, научни саветник
Институт за физику у Београду

др Божидар Николић, доцент
Физички факултет Универзитета у Београду