

НАУЧНОМ ВЕЋУ
Института за физику у Београду

Извештај комисије за реизбор др Марка Опачића у звање научни сарадник

На седници Научног већа Института за физику у Београду одржаној 05.12.2023. године именовани смо у комисију за реизбор др Марка Опачића у звање научни сарадник у следећем саставу:

- 1) Др Бојана Вишић, виши научни сарадник, Институт за физику у Београду, Универзитет у Београду,
- 2) Др Дарко Танасковић, научни саветник, Институт за физику у Београду, Универзитет у Београду,
- 3) Др Божидар Николић, ванредни професор, 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 овај извештај.

1. БИОГРАФСКИ И СТРУЧНИ ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

Марко Опачић је рођен 30.06.1988. године у Београду. Пету београдску гимназију природно-математичког смера завршио је 2007. године као носилац Вукове дипломе.

Основне студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду уписао је 2007. године. Дипломирао је на смеру Сигнали и системи септембра 2011. године, са просечном оценом 9,44. Мастер студије завршио је 2012. године на истом факултету, модул Сигнали и системи, са просечном оценом 10,00.

Научноистраживачки рад започео је у Центру за физику чврстог стања и нове материјале Института за физику, октобра 2012. године, где је од 01.11.2012. године запослен као истраживач приправник на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије бр. Ш45018 „Наноструктурни мултифункционални материјали и нанокмозити“. Паралелно је уписао докторске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, смер Наноелектроника и фотоника. У звање истраживач сарадник изабран је септембра 2014. године. Докторску дисертацију под насловом „Раздвајање фаза на наноскали у суперпроводницима на бази гвожђа коришћењем Раманове спектроскопије“ одбранио је на Електротехничком факултету Универзитета у Београду 08.06.2018. године, под руководством академика Зорана В. Поповића и проф. др Милана Тадића. У звање научни сарадник изабран је 15.07.2019. године (број решења: 660-01-00001/588).

Истраживање др Марка Опачића односи се на вибрациона својства монокристала из групе суперпроводника на бази гвожђа, нискодимензионалних магнетних материјала, као и наноматеријала различитих морфолошких облика: нанофилмова, нанотуба, наножича и нанопрахова. Главни циљ и сврха његовог рада је повезивање вибрационих особина материјала са структурним, транспортним и магнетним својствима, како би се стекла свеобухватнија слика о проучаваним материјалима и могућностима њихове примене. Поред наведеног пројекта основних истраживања, др Марко Опачић је до сада био ангажован на више билатералних пројеката (са Немачком, Кином и Бугарском), као и на међународном

пројекту Европске уније HORIZON 2020 у оквиру RISE програма Marie Skłodowska-Curie Grant. Од школске 2015/2016. до 2018/2019. године учествовао је у раду Комисије за такмичења ученика средњих школа из физике, као аутор експерименталног задатка за Српску физичку олимпијаду.

До сада је као аутор/коаутор објавио 11 радова у врхунским и водећим међународним часописима, преко 10 саопштења на међународним конференцијама, као и једно предавање по позиву. Радови М. Опаčić, N. Lazarević, M. M. Radonjić, M. Šćepanović, H. Ryu, A. Wang, D. Tanasković, C. Petrovic, and Z. V. Popović, „Raman spectroscopy of $K_x\text{Co}_{2-y}\text{Se}_2$ single crystals near the ferromagnet-paramagnet transition”, *Journal of Physics: Condensed Matter* **28**, 485401 (2016), и C. Martin, V. A. Martinez, M. Опаčić, S. Djurdjić-Mijin, P. Mitrić, A. Umićević, A. Poudel, I. Sydoryk, Weijun Ren, R. M. Martin, D. B. Tanner, N. Lazarević, C. Petrovic, and D. Tanasković, „Optical conductivity and vibrational spectra of the narrow-gap semiconductor FeGa_3 ”, *Physical Review B* **107**, 165151 (2023), одабрани су од стране уредништава часописа као једни од најистакнутијих радова објављених у датој години. Према бази Scopus на дан 07.11.2023. године, радови др Марка Опачића цитирани су укупно 53 пута, од чега 43 пута без ауоцитата. Према истој бази, h-индекс кандидата је 4 (са ауоцитатима), односно 3 (без ауоцитата).

2. ПРЕГЛЕД НАУЧНЕ АКТИВНОСТИ

Током свог досадашњег научноистраживачког рада, др Марко Опачић се пре свега бавио вибрационом спектроскопијом монокристалних материјала из групе суперпроводника на бази гвожђа и нискодимензионалних магнетних материјала, као и наноматеријала различите морфологије и структуре. Основни циљ истраживања је испитивање вибрационих својстава материјала и утицаја који кристална, електронска структура и магнетно уређење имају на фононске спектре. Најзначајнији део истраживачког рада које је др Марко Опачић остварио до одбране докторске дисертације (јун 2018. године), може се груписати у две теме: (1) вибрациона својства суперпроводника на бази гвожђа и (2) вибрациона својства нискодимензионалних магнетних материјала.

Први део научне активности др Марка Опачића до избора у звање научни сарадник односи се на проучавање вибрационих својстава јако корелираних система из групе суперпроводника на бази гвожђа. У циљу испитивања утицаја суперпроводности на фононска својства, кандидат је мерио раманске спектре суперпроводног узорка $K_x\text{Fe}_{2-y}\text{Se}_2$ и $K_{0.8}\text{Fe}_{1.8}\text{Co}_{0.2}\text{Se}_2$. На основу добијених спектра и спроведене симетријске анализе утврђено је постојање две кристалне фазе у оба узорка. Сви фононски модови из нискосиметричне, антиферромагнетне фазе показују конвенционалну зависност енергије и полуширине код оба испитивана материјала. Разлика се јавља код фононског мода који потиче од високосиметричне, металне/суперпроводне фазе. Наиме, у суперпроводном узорку долази до ренормализације (скока) енергије поменутог мода око температуре прелаза, што је приписано промени електронске структуре при уласку у суперпроводно стање. Добијени резултати објављени су у једном раду у врхунском међународном часопису:

- **М. Опаčić**, 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.

Следећи испитивани материјал био је чист $K_x\text{Co}_{2-y}\text{Se}_2$. У спектрима су уочена само два фононска мода, која потичу од високосиметричне $I4/mmm$ кристалне фазе. Асигнација модова извршена је анализом зависности интензитета уочених раманских модова од оријентације узорка. Температурски зависни спектри показали су да феромагнетно уређење

у значајној мери утиче на енергију и полуширину оба уочена мода, као и да представља узрок велике ширине и асиметрије V_{1g} раманског мода. Резултати везани за овај материјал објављени су у једном раду у врхунском међународном часопису и представљени на једној конференцији:

- **M. Opačić**, 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.
- **M. Opačić**, N. Lazarević, M. M. Radonjić, H. Lei, D. Tanasković, C. Petrovic, and Z. V. Popović, *Raman scattering study of $K_xCo_{2-y}Se_2$* , Twelfth Young Researcher's Conference – Materials Science and Engineering, p. 29, Belgrade, Serbia, December 11th-13th (2013).

Ради проучавања промена у кристалној структури монокристалних узорака $K_xFe_{2-y}Se_2$ услед допирања кобалтом, кандидат је вршио раманска мерења на узорцима $K_xFe_{2-y-z}Co_zSe_2$ на собној температури, у зависности од нивоа допирања. Уочено је да при ниским концентрацијама гвожђа (односно високим концентрацијама кобалта), у спектрима постоје само два рамански активна мода од високосиметричне $I4/mmm$ фазе. Са повећањем концентрације гвожђа, поред ова два мода у спектрима се јавља широка асиметрична структура, приписана јаком кристалном неуређењу у нискосиметричној $I4/m$ фази. При ниским концентрацијама кобалта присутан је велики број модова, што указује на присуство обе кристалне фазе. На овај начин, вибрационом спектроскопијом успешно су праћене структурне промене материјала са допирањем. Описани резултати објављени су у једном раду у врхунском међународном часопису:

- H. Ryu, K. Wang, **M. Opačić**, N. Lazarević, J. B. Warren, Z. V. Popović, E. S. Bozin, and C. Petrovic, *Sustained phase separation and spin glass in Co-doped $K_xFe_{2-y}Se_2$ single crystals*, Physical Review B **92** (2015), 174522.

Такође, до сада описани резултати представљени су на три међународне конференције:

- N. Lazarević, **M. Opačić**, M. Šćepanović, H. Ryu, H. Lei, C. Petrovic, and Z. V. Popović, *Raman scattering in Iron-Based Superconductors and Related Materials*, XIX Symposium on Condensed Matter Physics, SFKM 2015, p. 29, Belgrade, Serbia, September 7th-11th (2015).
- **M. Opačić**, N. Lazarević, M. Šćepanović, H. Ryu, H. Lei, C. Petrovic, and Z. V. Popović, *Suppression of vacancy ordering and phonon energy renormalization in Co-doped $K_xFe_{2-y}Se_2$ single crystals*, Fourteenth Young Researcher's Conference – Materials Science and Engineering, p. 33, Belgrade, Serbia, December 9th-11th (2015).
- N. Lazarević, **M. Opačić**, M. M. Radonjić, D. Tanasković, H. Ryu, M. Šćepanović, C. Petrovic, and Z. V. Popović, *Vacancies and phase separation in pure and transitional metal doped $K_xFe_{2-y}Se_2$* , International Workshop on Iron-Based Superconductors, p. 67, Munich, Germany, September 13th-16th (2016).

Други део научног рада др Марка Опачића пре избора у претходно звање односи се на изучавање вибрационих својстава нискодимензионалних магнетних материјала. У оквиру ове теме, проучавана је динамика кристалне 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 уређење спинова код $BaFe_2Se_3$ знатно утиче на фононски спектар. Кандидат је у оквиру овог истраживања учествовао у мерењима на различитим температурама и извршио симетријску анализу на основу које су одређени број и расподела фононских модова у центру Брилуенове зоне. Резултати су објављени у једном раду у врхунском међународном часопису:

- Z. V. Popović, M. Šćepanović, N. Lazarević, **M. Опаčić**, M. M. Radonjić, D. Tanasković, H. Lei, and C. Petrovic, *Lattice dynamics of $BaFe_2X_3$ ($X=S, Se$) compounds*, Physical Review B **91** (2015), 064303.

Други проучавани материјал из ове групе био је $TaFe_{1.25}Te_3$, нискодимензионални магнетни материјал на бази спинских ланаца, са антиферромагнетним уређењем испод 200 К. Проучавана су вибрациона својства овог материјала у широком опсегу температура, како би се испитали утицај магнетног уређења на фононске спектре и природа магнетног фазног прелаза. Кандидат је мерио раманске спектре у широком температурском опсегу и извршио симетријску анализу, те помоћу ње и нумеричких прорачуна означио девет рамански активних модова. Температурском анализом њихове енергије и полуширине утврђено је да је магнетни фазни прелаз код овог материјала континуалан и да се електрон-фонон интеракција слабо мења са температуром. Резултати су представљени у раду објављеном у врхунском међународном часопису и саопштени на конференцији:

- **M. Опаčić**, 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 $TaFe_{1.25}Te_3$* , Physical Review B **96** (2017), 174303.
- **M. Опаčić**, N. Lazarević, D. Tanasković, M. Radonjić, A. Milosavljević, Yongchang Ma, C. Petrovic, and Z. V. Popović, *Small influence of magnetic ordering on lattice dynamics in $TaFe_{1.25}Te_3$* , Sixteenth Young Researcher's Conference – Materials Science and Engineering, p. 42, Belgrade, Serbia, December 6th-8th (2017).

Поред ове главне активности, др Марко Опачић је пре избора у звање научни сарадник такође учествовао у раманским мерењима која су имала за циљ одређивање кристалне симетрије $IrTe_2$. Утврђено је да је кристална структура високотемпературске фазе ниже симетрије од претходно усвојене, док у нискотемпературској фази материјал поседује моноклиничну симетрију. Резултати истраживања објављени су у једном раду у врхунском међународном часопису:

- N. Lazarević, E. S. Božin, M. Šćepanović, **M. Опаčić**, Hechang Lei, C. Petrovic, and Z. V. Popović, *Probing $IrTe_2$ crystal symmetry by polarized Raman scattering*, Physical Review B **89** (2014), 224301.

Након одбране докторске дисертације и стицања звања научни сарадник, др Марко Опачић је наставио испитивање вибрационих својстава јако корелисаних кристалних материјала. Први испитивани материјал у овом периоду био је ван дер Валсов феромагнет $CrSi_{0.8}Ge_{0.1}Te_3$. Мерења скенирајућом електронском микроскопијом показала су присуство око 10% ваканција на Si/Ge атомском сајту, што је довело до смањења критичне температуре феромагнетног прелаза. У раманским спектрима уочен је додатни мод, који се не очекује према селекционим правилима, а који се понаша као пик A_g симетрије, што је објашњено нехомогеном расподелом атома германијума и ваканција. У температурској зависности

енергија и полуширина уочених модова примећен је утицај магнетних корелација све до 210 К. Кандидат је учествовао у раманским мерењима и симетријској анализи. Описани резултати објављени су у једном раду у врхунском међународном часопису и саопштени на једној конференцији:

- A. Milosavljević, A. Šolajić, B. Višić, **M. Опаčić**, J. Pešić, Yu Liu, C. Petrovic, Z. V. Popović, and N. Lazarević, *Vacancies and spin-phonon coupling in CrSi_{0.8}Ge_{0.1}Te₃*, Journal of Raman Spectroscopy **51** (2020), 2153-2160.
- A. Milosavljević, A. Šolajić, J. Pešić, B. Višić, **M. Опаčić**, Yu Liu, C. Petrovic, N. Lazarević, and Z. V. Popović, *Spin-phonon coupling in CrSiTe₃ and CrSi_{0.8}Ge_{0.1}Te₃*, Eighteenth Young Researchers Conference – Materials Science and Engineering, p. 19, Belgrade, Serbia, December 4th-6th (2019).

Други испитивани материјал у оквиру ове тематике био је FeGa₃, полупроводник са уским електронским процепом, занимљив због огромне термоелектричне снаге на ниским температурама. Испитивана су вибрациона и оптичка својства овог материјала у широком температурском опсегу. Утврђено је да постоји директан електронски процеп од око 0.7 eV, уз значајну спектралну тежину на ниским енергијама, за коју се верује да потиче од примесних стања. Прорачуни динамике решетке на основу теорије функционала густине дају веома добро слагање са експериментима инфрацрвене и раманске спектроскопије. Уочено је и означено 11 инфрацрвено активних и 12 рамански активних модова. Скоро сви вибрациони модови (што важи и за Мосбаурове спектралне линије) су изузетно уски, што је објашњено високом кристаличношћу узорка и одсуством електронских прелаза и/или магнетног уређења у испитиваном опсегу температура. Кандидат је урадио раманска мерења у различитим поларизационим конфигурацијама и симетријску анализу. Резултати овог истраживања објављени су у једном раду у врхунском међународном часопису и саопштени на конференцији:

- C. Martin, V. A. Martinez, **M. Опаčić**, S. Djurdjić-Mijin, P. Mitrić, A. Umićević, A. Poudel, I. Sydoryk, Weijun Ren, R. M. Martin, D. B. Tanner, N. Lazarević, C. Petrovic, and D. Tanasković, *Optical conductivity and vibrational spectra of the narrow-gap semiconductor FeGa₃*, Physical Review B **107** (2023), 165151.
- C. Martin, V. A. Martinez, **M. Опаčić**, S. Djurdjić-Mijin, P. Mitrić, A. Umićević, A. Poudel, I. Sydoryk, Weijun Ren, R. M. Martin, D. B. Tanner, N. Lazarević, C. Petrovic, and D. Tanasković, *Infrared and Raman study of narrow-gap semiconductor FeGa₃*, Twentieth Young Researcher's Conference – Materials Science and Engineering, p. 20, Belgrade, Serbia, November 30th – December 2nd (2022).

Поред тога, кандидат је учествовао у истраживању на серији материјала 2H-TaSe_{2-x}S_x ($0 \leq x \leq 2$), значајних због својих богатих фазних дијаграма, транспортних и оптичких феномена, таласа густине наелектрисања и колективних електронских феномена. Рамански спектри два крајња члана низа садрже два (од теоријски могућих четири) фононска мода, као и двофононску структуру која потиче од електрон-фонон интеракције. Допирани узорци, поред тога, садрже и додатни пик за који се претпоставља да је последица структурног неуређења. Показано је да неуређење има занемарљив утицај на електрон-фононску интеракцију. Кандидат је учествовао у мерењу раманских спектра свих узорака и значајно допринео објашњењу добијених резултата. Истраживање је резултирало радом који се тренутно налази на рецензији у врхунском међународном часопису, а представљено је на међународној конференцији:

- S. Djurdjić-Mijin, J. Blagojević, J. Bekaert, M. Milošević, C. Petrovic, Yu Liu, **M. Opačić**, Z. V. Popović, and N. Lazarević, *Effect of disorder and electron-phonon interaction on 2H-TaSe_{2-x}S_x lattice dynamics probed by Raman spectroscopy*, Twentieth Young Researcher's Conference – Materials Science and Engineering, p. 16, Belgrade, Serbia, November 30th-December 2nd (2022).

Осим овог правца истраживања, кандидат се у последње време бави и вибрационим својствима наноматеријала различитог морфолошког облика и структуре. Прво истраживање у оквиру ове тематике било је везано за наноструктуре волфрам-субоксида различитог стехиометријског састава. Ови материјали нашли су широку примену као фотодетектори, гасни сензори, а такође и у фотокатализи и оптоелектроници. Познато је да особине наноструктурних WO₃ јако зависе од облика и величине узорка. У оквиру истраживања, испитивана су четири типа материјала: квази-2Д кристали опште формуле W_nO_{3n-1} (у облику квадратних и правоугаоних нанопластица), као и наножице хемијских формула W₅O₁₄ и W₁₈O₄₉. Показано је да зонски процеп има већу вредност код квази-2Д узорака у односу на наножице, услед већег броја слободних носилаца код наножица. Такође, нанопластице испољавају ексцитонске прелазе, док код наножица долази до површинске плазмонске резонанције. Сва четири материјала дају јак сигнал фотолуминесценције у ултраљубичастој области. Кандидат је вршио раманска мерења поменутих материјала у различитим поларизационим конфигурацијама. Установљено је да се спектри наножица драстично разликују од спектра нанопластица, што је довело до закључка да квази-2Д материјали имају већи број W-O веза у својој структури, док наножице имају бољу кристаличност и већи број W-O-W веза са јасно дефинисаним угловима. Такође је на основу раманских спектра потврђена изразита анизотропија узорака. На тај начин, успостављена је веза између кристалне структуре, морфологије и вибрационих својстава. Резултати истраживања објављени су у раду у врхунском међународном часопису и саопштени на конференцији:

- B. Višić, L. Pirker, **M. Opačić**, A. Milosavljević, N. Lazarević, B. Majaron, and M. Remškar, *Influence of crystal structure and oxygen vacancies on optical properties of nanostructured multi-stoichiometric tungsten suboxides*, Nanotechnology **33** (2022), 275705.
- B. Višić, L. Pirker, **M. Opačić**, A. Milosavljević, N. Lazarević, B. Majaron, and M. Remškar, *Optical properties of nanostructured multi-stoichiometric tungsten suboxides*, Twentieth Young Researcher's Conference – Materials Science and Engineering, p. 17, Belgrade, Serbia, November 30th-December 2nd (2022).

Кандидат је недавно започео истраживање везано за танке филмове SrIrO₃ нарастане на различитим супстратима. Значај овог полуметала огледа се у постојању јаких електронских корелација и спин-орбитног спрезања. Циљ истраживања је да се сагледа зависност вибрационих својстава од степена напрезања у филму, индукованог различитим супстратима (LAO, STO, LSAT...).

Поред тога, кандидат је учествовао и у карактеризацији природног ван дер Валсовог минерала пирофилита, који припада групи филосиликата, са хемијском формулом Al₂Si₄O₁₀(OH)₂. У оквиру истраживања, по први пут је анализиран пирофилит добијен механичком, као и ексфолијацијом из течне фазе на наноскали. Измерен је веома мали коефицијент трења. Својства хабања овог материјала драстично се разликују од графена. Показано је да је 2Д пирофилит изолатор са величином зонског процепа од око 5.2 eV, што

све заједно указује на могућу примену овог материјала као јефтиног електричног изолатора и мазива, као и лако операбилног наноматеријала. Кандидат је извршио раманска мерења у циљу идентификације и вибрационе карактеризације материјала. Резултати истраживања приказани су у једном раду објављеном у међународном часопису изузетних вредности:

- B. Vasić, R. Gajić, I. Milošević, Ž. Medić, M. Blagojev, **M. Опаčić**, A. Kremenović, and D. Lazić, *Natural two-dimensional pyrophyllite: Nanoscale lubricant, electrical insulator and easily-machinable material*, Applied Surface Science **608** (2023), 155114.

3. ЕЛЕМЕНТИ ЗА КВАЛИТАТИВНУ ОЦЕНУ НАУЧНОГ ДОПРИНОСА КАНДИДАТА

3.1. Квалитет научних резултата

3.1.1. Научни ниво и значај резултата, утицај научних радова

Др Марко Опачић је до сада као аутор или коаутор учествовао у изради 11 научних радова у међународним часописима. Један од тих радова објављен је у међународном часопису изузетних вредности (категорија M21a), девет у врхунским међународним часописима (категорија M21), док је један, прегледни, рад објављен у међународном часопису (категорија M23). До сада је учествовао на више међународних и домаћих конференција.

У периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања – научни сарадник, кандидат је објавио 4 рада у међународним часописима, од чега један рад у међународном часопису изузетних вредности M21a и три у врхунским међународним часописима M21.

Као кључни у претходном периоду могу се издвојити следећа два рада кандидата:

- 1) B. Višić, L. Pirker, **M. Опаčić**, A. Milosavljević, N. Lazarević, B. Majaron, and M. Remškar, *Influence of crystal structure and oxygen vacancies on optical properties of nanostructured multi-stoichiometric tungsten suboxides*, Nanotechnology **33** (2022), 275705 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6528/ac6316/pdf>

Ово је рад у коме је, иако трећи аутор, др Марко Опачић дао кључан допринос у повезивању структурних, морфолошких и вибрационих својстава материјала. У раду су анализирани волфрам-субоксиди различитог стехиометријског састава и морфологије: квази-2Д кристали опште хемијске формуле W_nO_{3n-1} (облика квадратних и правоугаоних нанопластица), као и нанопластице хемијских формула W_5O_{14} и $W_{18}O_{49}$. Утврђено је да је зонски процеп већи код нанопластица, јер нанопластице садрже већи број слободних носилаца. Код нанопластица јављају се ексцитонски прелази, док се код нанопластица јавља површинска плазмонска резонанција. Сви испитивани материјали испољили су јак фотолуминесцентни сигнал у ултраљубичастој области енергија. Кандидат је вршио раманска мерења поменутих материјала у три поларизационе конфигурације. Утврђено је да се спектри квази-2Д материјала и нанопластица суштински разликују. Наиме, код нанопластица по интензитету доминира рамански мод на високим учестаностима, који потиче од истезања W-O веза, док спектри нанопластица садрже већи број уских пикова на нижим фреквенцијама, који потичу од модова решетке и савијања W-O-W веза. Закључено је да нанопластице садрже велики број W-O веза са добро дефинисаном дужином, док нанопластице имају бољу кристаличност и већи број W-O-W веза са добро дефинисаним угловима. Такође, спектри свих анализираних материјала веома су

осетљиви на промену услова мерења (оријентације узорка и поларизације светлости), што указује на њихову анизотропну структуру.

- 2) C. Martin, V. A. Martinez, **М. Опачић**, S. Djurdjić-Mijin, P. Mitrić, A. Umićević, A. Poudel, I. Sydoryk, Weijun Ren, R. M. Martin, D. B. Tanner, N. Lazarević, C. Petrovic, and D. Tanasković, *Optical conductivity and vibrational spectra of the narrow-gap semiconductor FeGa₃*, *Physical Review B* **107** (2023), 165151.
<https://journals.aps.org/prb/abstract/10.1103/PhysRevB.107.165151>

У овом раду испитивана су оптичка и вибрациона својства FeGa₃, полупроводника са уским процепом који поседује велику термоелектричну снагу на ниским температурама. Утврђено је да индиректни процеп има вредност од око 0.4 eV, док је директни процеп величине око 0.7 eV, праћен значајном спектралном тежином на ниским температурама, која се не уочава на собној температури. Кључан допринос кандидата огледа се у раманским мерењима испитиваног материјала у различитим поларизационим конфигурацијама и широком температурском опсегу. Кандидат је урадио симетријску анализу и предвидео 12 рамански активних модова, који се сви могу видети у датој експерименталној поставци. С обзиром на велики број присутних модова, њихову асигнацију није било могуће урадити само помоћу нумеричких прорачуна на основу теорије функционала густине, већ су се морала обавити мерења у различитим поларизационим конфигурацијама. На тај начин успешно су означени сви модови присутни у спектрима (њих 10 од 12). Изузетно добро поклапање положаја модова са нумеричким прорачунима кандидат је објаснио полупроводничком природом узорка и одсуством јаких електронских корелација, које уводе значајно одступање у нумеричке резултате. Сви рамански модови су веома уски (што важи и за модове добијене инфрацрвеном и Мосбауеровом спектроскопијом), и испољавају слабу температурску зависност енергије и полуширине, што је објашњено одсуством било каквих електронских прелаза или магнетног уређења у испитиваном температурском опсегу, као и високом кристаличношћу узорка. Кандидат је учествовао у писању и техничкој припреми рада.

Треба нагласити да ниједан од два истакнута рада до сада није био коришћен при избору у звање ниједног другог кандидата, што је у складу са условима прописаним Правилником о стицању истраживачких и научних звања Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије.

3.1.2. Цитираност научних радова кандидата

Према бази *Scopus* на дан 07.11.2023. године, радови др Марка Опачића цитирани су укупно 53 пута, од чега 43 пута без аутоцитата. Према истој бази h-индекс кандидата је 4 (са аутоцитатима), односно 3 (без аутоцитата). Подаци о цитираности са интернет странице базе *Scopus* дати су након списка свих радова кандидата.

3.1.3. Параметри квалитета радова и часописа

У периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања, др Марко Опачић је објавио радове у следећим међународним часописима:

- 1 рад у међународном часопису изузетних вредности *Applied Surface Science*, IF(2022) = 6.7; SNIP (2022) = 1.26
- 1 рад у врхунском међународном часопису *Physical Review B*, IF(2021) = 3.908; SNIP(2021) = 0.99

- 1 рад у врхунском међународном часопису *Nanotechnology*, IF(2020) = 3.874; SNIP (2020) = 0.81
- 1 рад у врхунском међународном часопису *Journal of Raman Spectroscopy*, IF(2020) = 3.133; SNIP(2020) = 0.94.

Додатни библиометријски показатељи квалитета часописа у којима је кандидат објављивао радове (категорије M20) у изборном периоду, дати су у следећој табели. Она садржи импакт факторе (ИФ) радова, М поене радова по српској категоризацији научноистраживачких резултата, као и импакт фактор нормализован по импакту цитирајућег чланка (СНИП). Ови показатељи су представљени табелом (ИФ_i – импакт фактор часописа у коме је објављен рад, М_i – број М поена рада, СНИП_i – СНИП фактор часописа у коме је објављен рад, А_i – број аутора рада, Ч – укупан број радова):

	ИФ	М	СНИП
Укупно	17.615	34	4
Усредњено по чланку	4.40	8.50	1
Усредњено по аутору	2.02	3.85	0.45

3.1.4. Степен самосталности и степен учешћа у реализацији радова 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, у виду раманских мерења у различитим поларизационим конфигурацијама и широком температурском опсегу, обраде и анализе добијених резултата, као и у писању радова. Кандидат је компетентан да осмисли проблематику и решава одговарајуће проблеме. До одбране докторске дисертације бавио се вибрационим својствима јако корелисаних система из групе суперпроводника на бази гвожђа и нискодимензионалних магнетних материјала. Након одбране дисертације, поред овог усмерења, проширио је поље интересовања на наноматеријале различите морфологије и структуре (филмови, наножице, наноплочице...). Кандидат је учествовао на међународном пројекту Европске уније (од јула 2015. до јуна 2019. године) HORIZON2020 у оквиру RISE програма Marie Skłodowska-Curie Grant (DAFNEOX под бројем 645658). Том приликом боравио је два месеца на Универзитету Чиле-Сантјаго. Такође је учествовао у COST акцији OPERA (CA20116), као и на више билатералних пројеката – са Немачком и Кином. Тренутно учествује у билатералној сарадњи са Бугарском (Бугарска академија наука).

3.1.5. Награде

Радови **М. Орачић**, N. Lazarević, M. M. Radonjić, M. Šćepanović, H. Ryu, A. Wang, D. Tanasković, C. Petrovic, and Z. V. Popović, „Raman spectroscopy of $K_x\text{Co}_{2-y}\text{Se}_2$ single crystals near the ferromagnet-paramagnet transition”, *Journal of Physics: Condensed Matter* 28, 485401 (2016), и C. Martin, V. A. Martinez, **М. Орачић**, S. Djurdjić-Mijin, P. Mitrić, A. Umićević, A. Poudel, I. Sydoryk, Weijun Ren, R. M. Martin, D. B. Tanner, N. Lazarević, C. Petrovic, and D. Tanasković, „Optical conductivity and vibrational spectra of the narrow-gap semiconductor FeGa_3 ”, *Physical Review B* 107, 165151 (2023), одабрани су од стране уредништва часописа као једни од најистакнутијих радова објављених у датој години. Другопоменути рад је објављен у периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање звања научни сарадник (доказ – на насловној страници рада).

3.2. Ангажованост у формирању научних кадрова

Др Марко Опачић је дао допринос у изради докторске дисертације др Сање Ђурђић Мијин, као и мастер рада Јована Благојевића, одбрањених на Физичком факултету Универзитета у Београду, о чему су приложени докази (захвалнице).

Осим тога, кандидат је од школске 2015/2016. до 2018/2019. године учествовао у раду Комисије за такмичења ученика средњих школа из физике, где је био задужен за састављање експерименталног задатка за Српску физичку олимпијаду (доказ у прилогу). Такође, у том периоду 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. Школске 2019/2020. године кандидат је био вођа екипе Србије која је остварила историјски успех освајањем две златне (два апсолутна прва места на ранг листи), једне сребрне, једне бронзане медаље и једне похвале на 4. Европској олимпијади из физике, која је одржана онлајн због епидемије корона вируса, а коју је за наше ученике организовао Институт за физику Београд (доказ у прилогу).

3.3. Нормирање броја коауторских радова, патената и техничких решења

Сви радови др Марка Опачића су експерименталне природе и подразумевају сарадњу више институција. Имајући то у виду, број аутора на појединим радовима већи је од 7. Нормирање М бодова у складу са Правилником Министарства о стицању истраживачких и научних звања је кандидату укупан збир умањено на 29,14 бодова, што је и даље више од захтеваног минимума (16) за реизбор у звање научни сарадник.

3.4. Утицај научних резултата

Списак радова и цитата кандидата дат је у прилогу са Материјалом за реизбор.

3.5. Конкретан допринос кандидата у реализацији радова 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, у виду раманских мерења у различитим поларизационим конфигурацијама и широком температурском опсегу, обраде и анализе добијених резултата, као и у писању научних чланака. Након одбране докторске дисертације, кандидат је, поред претходне тематике везане за вибрациона својства јако корелисаних кристалних система, поље интересовања проширио на наноматеријале различите морфологије и структуре (филмови, наножице, наноплочиче...). Поред учешћа на више билатералних пројеката, кандидат је успоставио сарадњу са Биолошким факултетом Универзитета у Београду, у циљу проучавања цитотоксичног, генотоксичног и антигенотоксичног ефекта различитих природних екстраката, као и волфрамских нанотуба, методом Раманове спектроскопије, која у будућности треба да резултира заједничким публикацијама.

3.6. Уводна предавања на конференцијама, друга предавања и активности

Кандидат је коаутор више саопштења на међународним конференцијама, чији је списак наведен у прилогу са Материјалом за реизбор. Такође је одржао позивно предавање на домаћој конференцији посвећеној одласку у пензију академика Зорана В. Поповића: *Influence of magnetism and electron-phonon interaction on lattice dynamics of pure and Co-doped*

K₃Fe_{2-y}Se₂ single crystals, Workshop in Strongly Correlated Electron Systems, Belgrade, Serbia, June 9th – 10th (2022). (позивно писмо у прилогу).

4. ЕЛЕМЕНТИ ЗА КВАНТИТАТИВНУ ОЦЕНУ НАУЧНОГ ДОПРИНОСА КАНДИДАТА

Остварени резултати у периоду *након* одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања:

Категорија	М бодова по раду	Број радова	Укупно М бодова	Нормирани број М бодова
M21a	10	1	10	8.33
M21	8	3	24	17.04
M34	0.5	7	3.5	2.77
M62	1	1	1	1

Поређење са минималним квантитативним условима за избор у звање научни сарадник:

Минимални број М бодова	Неопходно	Остварено, број М бодова без нормирања	Остварено, нормирани број М бодова
Укупно	16	38.5	29.14
M10+M20+M31+M32+M33+M41+M42+M90	10	34	25.37
M11+M12+M21+M22+M23	6	34	25.37

5. ЗАКЉУЧАК

Анализом научне активности и свеукупног досадашњег рада кандидата др Марка Опачића, Комисија је закључила да његов научни рад представља оригиналан и значајан допринос у области вибрационе спектроскопије монокристалних и наноматеријала, који пружа увид у међуповезаност структурних, електронских, магнетних и вибрационих својстава испитиваних материјала. На основу података представљених у овом извештају, Комисија сматра да кандидат у потпуности испуњава све квантитативне и квалитативне услове за реизбор у звање научни сарадник предвиђене Правилником о стицању истраживачких и научних звања Министарства науке, технолошког развоја и иновација.

Имајући у виду квалитативне и квантитативне параметре, као и достигнути ниво истраживачке зрелости и компетентности кандидата, задовољство нам је да предложимо Научном већу Института за физику у Београду да донесе одлуку о прихватању предлога за реизбор др Марка Опачића у звање научни сарадник.

У Београду,
20.12.2023.

Чланови комисије:



др Бојана Вишић
виши научни сарадник
Институт за физику у Београду



др Дарко Танасковић
научни саветник
Институт за физику у Београду



др Божидар Николић
ванредни професор
Физички факултет Универзитета у Београду