

НАУЧНОМ ВЕЋУ ИНСТИТУТА ЗА ФИЗИКУ БЕОГРАД

Извештај комисије за избор др Марице Н. Поповић у звање научни сарадник-реизбор

На седници Научног већа Института за физику Београд одржаној 20.12.2022. именована је комисија за избор др Марице Поповић у звање научни сарадник-реизбор, у саставу:

1. др Бранислав Јеленковић,
научни саветник у пензији, Институт за Физику у Београду, дописни члан САНУ,
председник комисије
2. др Драган Маркушев,
научни саветник, Институт за Физику у Београду
3. др Слободанка Галовић,
научни саветник, ИНН „Винча”, Београд

са задатком да оцени научно-истраживачки рад др Марице Поповић,

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 Београд подносимо овај

ИЗВЕШТАЈ

I БИОГРАФСКИ И СТРУЧНИ ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

Марица Поповић је рођена 26.03.1975. године у Ужицу. Основну и средњу школу (Природно математички смер – Гимназија) завршила је у Инђији, где и данас живи са супругом и троје деце.

Образовање

2016. године докторирала на Факултету техничких наука, Универзитета у Новом Саду.

Тема: *”Фотоакустички одзив трансмисионе фотоакустичке конфигурације и анализа резонантних феномена за двослојне узорке са топлотном меморијом“*, под руководством др Слободанке Галовић

2009. године магистрирала на Електротехничком Факултету, Универзитета у Београду.

Тема: *”Моделовање и анализа фототермалног одзива нехомогених структура са топлотном меморијом“*, под руководством др Слободанке Галовић

2004. године дипломирала на Електротехничком Факултету, Универзитета у Београду, одсек Физичка електроника, смер Оптоелектроника и ласерска техника, са темом – *Резонантно тунеловање у наноструктурама на бази квантних јама*, под руководством проф. др Милана Тадића

Радно искуство

01.05.2005. запошљава се у Институт за нуклеарне науке „Винча” у Лабораторију за радијациону хемију и физику „Гама” 030, у групу за Фототермалну науку и фотоакустику под руководством др Слободанке Галовић

01.05.2011. заједно са целом групом прелази у Лабораторију за атомску физику 040

08.12.2021. запошљава се у Институт за физику Београд, у Лабораторију за фотоакустику под руководством др Драгана Маркушева

Избори у звања

Октобар 2009. изабрана је у звање истраживач сарадник.
11.02. 2016. реизабрана у звање истраживач сарадник.
26.04.2018. изабрана је у звање научни сарадник.
08.12.2021. запошљава се у Институт за физику Београд, у Лабораторију за фотоакустику

II ПРЕГЛЕД НАУЧНЕ АКТИВНОСТИ

Научни рад др Марице Поповић одвија се у оквиру Физике материјала у области Фототермалне науке и фотоакустике. Научне активности обухватају теоријско-математичко моделовање процеса који се одвијају у фотоакустичним мерењима, развоју инверзних процедура за добијање жељених физичких параметара из фотоакустичних мерења, експерименталних мерења, обраде резултата и калибрација фотоакустичних мерења. Дала је посебан допринос у изучавању двослојних узорака, који су чести у фотоакустичним мерењима провидних, полупровидних и рефлексивних материјала, код којих се наноси додатни танки слој било због заштите микрофона од превеликог улазног сигнала, било као антирефлексивни слој ради добијања јачег сигнала.

Др Марица Поповић је до сада аутор и коаутор 95 публикација. Од тога су 4 категорије М21, 13 категорије М22, 9 категорије М23, 1 категорије М24, 10 категорије М33, 40 категорије М34, 1 категорије М51, 1 категорије М52, 9 категорије М63 и 6 категорије М64. Осим тога др Марица Поповић је аутор једне монографије из категорије М42. Израдом магистратуре категорије М71 и доктората категорије М72 стекла је право на стицање научних звања.

Након избора у претходно звање (научни сарадник) др Марица Поповић је аутор и коаутор 2 рада из категорије М21, 7 радова из категорије М22, 5 радова из категорије М23, једног рада из категорије М24, 8 радова из категорије М33, 10 радова из категорије М34 и три рада из категорије М64. Др Марица Поповић је монографију из категорије М42 објавила након избора у претходно звање.

Збирне вредности коефицијента након претходног избора у звање научни сарадник дате су у следећој табели:

| Категорија | М бодова по раду | Број радова | Укупно бодова | М | Нормирани број М бодова |
|------------|------------------|-------------|---------------|---|-------------------------|
| М21 | 8 | 2 | 16 | | 16 |
| М22 | 5 | 7 | 35 | | 35 |
| М23 | 3 | 5 | 15 | | 15 |
| М24 | 2 | 1 | 2 | | 2 |
| М33 | 1 | 9 | 9 | | 9 |
| М34 | 0.5 | 10 | 5 | | 5 |
| М42 | 5 | 1 | 5 | | 5 |
| М64 | 0.2 | 3 | 0.6 | | 0.6 |
| Укупно | | | 87.6 | | 87.6 |

III БИБЛИОГРАФИЈА И АНАЛИЗА НАУЧНИХ РЕЗУЛТАТА

БИБЛИОГРАФИЈА

Посебно је дата и у Прилогу бр. 7.

АНАЛИЗА НАУЧНИХ РЕЗУЛТАТА

Научно-истраживачки рад др Марице Поповић, после избора у звање научни сарадник, може се сврстати у следеће групе:

- а) теоријско моделовање генерализованих модела провођења топлоте и двослојних структура
- б) развој инверзних процедура
- в) калибрација фотоакустичних мерења

а) Теоријско моделовање генерализованих модела провођења топлоте и двослојних структура

Прва врста проблема којим се кандидат др Марица Поповић бави јесте моделовање и анализа једнослојних и двослојних структура и испитивање граница применљивости досадашњих модела коришћених за једнослојне и двослојне структуре. Заједничко за све фототермалне технике, па тако и фотоакустику, јесте да мерени одзив зависи од оптичких својстава материјала која одређују процес апсорпције побудног зрачења и његове трансформације у топлотну енергију и од термодинамичких својстава која дефинишу процесе преноса топлотне енергије кроз узорак. И једна и друга својства материјала одређена су његовом структуром. То значи да се сва ова својства, укључујући и структурна, могу одредити из сниманог одзива. Да би се то остварило, неопходно је развити технике за развој теоријско-симулационих модела који описују све физичке процесе који доводе до сниманог сигнала, а затим и за инверзно решавање овог модела.

У сврху испитивања материјала др Марица Поповић је радила на развоју теоријско математичко симулационих модела, као и анализу и дискусију утицаја различитих физичких параметара на фототермални и фотоакустички одзив.

У раду М21-1, из списка радова после избора у Научни сарадник, анализиран је утицај Фракционог модела, који узима у обзир фракталну структуру средине кроз коју се врши пренос топлоте, на температурски профил и фотоакустични сигнал двослојних структура. Добијени резултати показују да и мале варијације фракционог реда и времена релаксације могу утицати на фотоакустички сигнал.

У радовима М22-3. и М23-1, и у монографији М42-1, формиран су модели фототермалног одзива који описују простирање температуре кроз двослојне структуре наслојене на полубесконачну позадину, као и површинске температурске варијације на предњој и задњој површини. Испитани су посебни случајеви и дати теоријски модели за површинске температурске варијације када је двослојни узорак окружен ваздухом, затим када је са једне стране ослоњен на идеално топлотно проводну позадину и када се и са једне и друге стране налази идеални топлотни проводник. За моделовање фототермалног одзива коришћен је Бер-Ламберов закон апсорпције, претпостављена је запреминска апсорпција упадног зрачења у оба слоја, а процес провођења топлоте описан је Генерализованом теоријом провођења топлоте која узима

у обзир топлотну меморију супстанцијалних средина и коначну брзину простирања топлоте. Одговарајући систем нехомогених парцијалних диференцијалних једначина се применом Фуријеове трансформације своди на систем обичних диференцијалних једначина у комплексном домену. Овако трансформисани нехомогени систем једначина, заједно са нултим граничним условима и условима континуитета на хетеромеђуповршинама, решен је методом варијације константи. Извршена је анализа утицаја апсорпционих и антирефлексионих слојева, који се наносе ради заштите микрофона у трансмисионој фотоакустичкој конфигурацији и смањења рефлексије оптичке побуде у рефлексионој фотоакустичкој конфигурацији, који је у досадашњој литератури занемариван, због велике разлике у дебљини ових помоћних слојева и узорака. Међутим, савремени материјали и направе су све мањих димензија, тако да је неопходно испитати могуће утицаје помоћних слојева. Поред тога извршена је анализа зависности површинских температурских варијација на предњој и задњој површини узорка у зависности од дебљине првог слоја, затим времена релаксације и оптичког коефицијента апсорпције.

У монографији М42-1, као и на међународној конференцији М34-1, кандидаткиња је, ослањајући се на моделе изведене за дистрибуцију температуре кроз двослојне узорке, развила теоријско-математичко-симулационе моделе који описују фотоакустички одзив за рефлексиону и трансмисиону конфигурацију. У описаним радовима је дата могућност примене развијених модела за детекцију термалних, еластичних, акустичких и оптичких својстава двослојних структура са ниским степеном уређења, што омогућује примену ових метода у медицинској дијагностици и карактеризацији наноелектронских направа и направа које се користе у оптоелектроници и органској електроници.

У раду М22-5. представљен је модел заснован на нелинеарној генерализованој једначини провођења топлоте која узима у обзир топлотну меморију и комплексни топлотни капацитет. Физичко значење имагинарног топлотног капацитета је разматрано са становишта неравнотежне термодинамике. Добијена једначина топлотне проводности има два додатна динамичка параметра: инерцијално и кинетичко време релаксације. У раду је анализиран утицај ових термалних времена релаксације. Показано је да фототермалне технике могу да се искористе за одређивање релаксационих феномена код полимерних материјала у случају када је фреквентна скала мереног одзива употребљене фототермалне методе већа од реципрочне вредности било ког термалног времена релаксације.

У раду М23-5. описан је утицај танког провидног слоја на термичке и еластичне карактеристике двослојног узорка који се састоји од силицијумског супстрата и танког TiO_2 филма на основу анализе фотоакустичног сигнала и његових компоненти. Опсег учестаности у коме је извршена ова анализа је од 20Hz до 20kHz. На основу промена уочених у термоеластичној компоненти, може се закључити да танак филм значајно мења термичко стање субстрата и утиче да степен савијања драстично порасте. Показано је да се додавањем танког провидног филма на силиконски субстрат може смањити утицај фотогенерисаних носилаца на субстрат, посебно на степен флексибилности и ефикасно га обновити.

б) Развој инверзних процедура

Развој инверзних процедура представља осмишљавање процедура помоћу којих, на основу изведених теоријско-математичких модела и снимљеног сигнала, треба да се одреде жељени физички параметри. Ово није нимало једноставан проблем. Инверзно решавање подразумева одређивање великог броја параметара модела који зависе од својстава испитиваног узорка и који нелинеарно утичу на снимани одзив. То је лоше постављен проблем математичке физике, по Хадмардовој дефиницији, због тога што

нема јединствено решење и због тога што је нестабилан. Наиме, неколико различитих скупова параметара модела могу да дају локлне минимуме функције више променљивих којом се описује одзив (нејединствено решење). И мале промене неког од параметара могу да доведу до великих промена у величини одзива (нестабилност). Др Марица Поповић је учествовала у решавању овог проблема на два начина: на основу Самоусаглашене нумеричке процедуре и помоћу неуронских мрежа. Допринос др Марице Поповић у решавању овог проблема је у развоју математичких модела, прављењу база потребних за ове процедуре и анализи и обради експерименталних резултата који су улазили у процедуре.

Радови у којима је описана Самоусаглашена нумеричка процедура за инверзно решавање проблема и примењена за одређивање топлотне дифузивности и линеарног термичког коефицијента ширења алуминијума и топлотне дифузивности HDPE су M22-6. и M23-2. респективно. Такође, резултати добијени на Самоусаглашеној процедури приказани су на конференцијама M34-4. и 8.

У радовима M22-4. и M24-1. упоредо су приказани резултати карактеризације материјала добијени Самоусаглашеном инверзном процедуром и неуронском мрежом добијени на различитим материјалима (полупроводници и полимери).

Примена неуронских мрежа у решавању инверзног проблема и карактеризацији различитих материјала: алуминијума, полупроводника, полимерних материјала и TiO₂ који је као танак филм депонован на Si мембрану, приказана је у радовима M21-2, M22-2. и 5. и M34-7. респективно.

в) Калибрација фотоакустичких мерења

Истраживања изведена у овој области проблема др Марица Поповић је спроводила у сврху вођења научноистраживачког рада и писања докторске дисертације др Мирославе Јордовић-Павловић, а у циљу реалне потребе калибрације трансмисионе фотоакустичке методе са хелијом минималне запремине. Ова истраживања су се спроводила у правцу развоја модела заснованог на алгоритмима машинског учења за опис сложеног утицаја мерног система на користан сигнал у фотоакустичкој, трансмисионој мерној методи са хелијом минималне запремине, како би се овај утицај елиминисао. Потреба за корекцијом изобличеног експерименталног сигнала, као последице утицаја мерног ланца, постоји како би се избегле последице на карактеризацију материјала које би овако изобличени сигнал могао да има са једне стране и проширење мерног опсега и у амплитудској карактеристици, а нарочито у фазној са друге, што омогућује прецизност карактеризацију материјала.

Радови који се односе на ову врсту проблема су излистани у Списку радова после избора у звање Научни сарадник под следећом нумерацијом: M22-1, M23-3. и 4, M33-1,2,6,7,8 и 9, M34-3. и 10. и M64-3.

У овим радовима је утврђено да се методе машинског учења (конкретно неуронске мреже) могу узети у обзир као методологија за елиминисање утицаја мерног ланца код модел зависних мерних метода, за које постоји теоријско-математички модел. Утврђено је да се симулирани подаци, односно нумерички експерименти, могу користити за обуку неуронских мрежа за елиминацију утицаја мерног ланца. За веродостојност симулираних података неопходно је експертско знање. Утврђено је да се развијени програмски оквир може користити као основ методе за аутокорекцију снимљеног експерименталног сигнала. Применом ове методе фотоакустична мерна техника је знатно унапређена: повећана је прецизност и поузданост, проширен фреквентни опсег мерења и смањено време обраде резултата мерења. Утврђено је да се развијени програмски оквир може користити као основ методе за калибрацију мерења засноване

на поклапању фаза у нискофреквентном опсегу. Калибрација извршена применом ове методе остварује добре резултате и конкурентна је постојећим методама калибрације.

АНАЛИЗА НАЈЗНАЧАЈНИЈИХ РАДОВА

У периоду после претходног избора у звање као најзначајнији радови др Марице Поповић могу се сматрати:

1. **M.N. Popovic**, D.D. Markushev, M.V. Nestic, M.I. Jordovic-Pavlovic, S.P. Galovic Optically induced temperature variations in a two-layer volume absorber including thermal memory effects (2021) Journal of Applied Physics 129, 015104 <https://doi.org/10.1063/5.0015898>, **IF 2.877**
2. A. Somer, **M.N. Popovic**, G.K. da Cruz, A. Novatski, E.K. Lenzi, S.P. Galovic, *Anomalous thermal diffusion in two-layer system: The temperature profile and photoacoustic signal for rear light incidence*, Int. J. Therm. Sci. 179, 107661 (2022), <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2022.107661>, **IF 4.779**
3. M.N. Popovic, M.V. Nestic, M. Zivanov, D.D. Markushev, S.P. Galovic, Photoacoustic response of a transmission photoacoustic configuration for two-layer samples with thermal memory, Optical and Quantum Electronics 50(9):330, (2018), <https://doi.org/10.1007/s11082-018-1586-x>, IF 2.794
4. Jordović-Pavlović M.I, Kupusinac A, Djordjević K, Galović S, Markushev D, Nešić M, Popović M.N, Computationally intelligent description of a photoacoustic detector, Opt Quant Electron., vol. 52, no. 246, pp. 1–14, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11082-020-02372-y>, IF 2.794
5. Jordović-Pavlović M, Markushev D, Kupusinac A, Djordjevic K, Nestic M, Galović S, Popović M.N, Deep Neural Network Application in the Phase-Match Calibration of Gas – Microphone Photoacoustics, Int J Thermophys, vol. 41, no. 6, pp. 1–10, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10765-020-02650-7>, IF 1.608, SNIP 0.79

Од ових радова, могу се издвојити следећи:

1. **M.N. Popovic**, D.D. Markushev, M.V. Nestic, M.I. Jordovic-Pavlovic, S.P. Galovic Optically induced temperature variations in a two-layer volume absorber including thermal memory effects (2021) Journal of Applied Physics 129, 015104 <https://doi.org/10.1063/5.0015898>, **IF 2.877**
2. A. Somer, **M.N. Popovic**, G.K. da Cruz, A. Novatski, E.K. Lenzi, S.P. Galovic, *Anomalous thermal diffusion in two-layer system: The temperature profile and photoacoustic signal for rear light incidence*, Int. J. Therm. Sci. 179, 107661 (2022), <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2022.107661>, **IF 4.779**

У овим радовима др Марица Поповић има одлучујући допринос

- Идеја и конципирање рада
- Развој генерализованих теоријских модела за двослојне узорке
- Учесће у развоју нумеричких симулација
- Контрола анализе резултата
- Писање највећег дела рада

Наведени рад је из категорије M22 и M21.

IV КВАЛИТАТИВНА ОЦЕНА НАУЧНОГ ДОПРИНОСА

ЦИТИРАНОСТ НАУЧНИХ РАДОВА КАНДИДАТА

Научни радови др Марице Поповић су цитирани 222 пута, од чега се 73 могу сматрати аутоцитатима, тако да је укупна цитираност без аутоцитата 149. Према SCOPUS и Web of science базама. Хиршов индекс др Марице Поповић је 4. Детаљна листа радова у којима су цитирани радови др Марице Поповић дата је у Додатку 1.

ПАРАМЕТРИ КВАЛИТЕТА РАДОВА И ЧАСОПИСА

| | ИФ | М | СНИП |
|---------------------|--------|-------|-------|
| Укупно | 36.592 | 66 | 13.19 |
| Усредњено по чланку | 2.6137 | 4.71 | 0.94 |
| Усредњено по аутору | 5.64 | 10.15 | 1.38 |

СТЕПЕН САМОСТАЛНОСТИ И СТЕПЕН УЧЕШЋА У РЕАЛИЗАЦИЈИ РАДОВА У НАУЧНИМ ЦЕНТРИМА У ЗЕМЉИ И ИНОСТРАНСТВУ

Од избора у претходно звање др Марица Поповић је објавила 2 рада категорије М20 на којима је први аутор и 3 рада из исте категорије на којима је последњи аутор. У овим радовима она је руководила истраживањем, анализом резултата и писањем радова. Два рада на којима је последњи аутор показују њен менторски рад на изради докторске дисертације др Мирославе Јордовић-Павловић. У преосталих 10 радова из категорије М20 др Марица Поповић је као коаутор дала значајан допринос у развоју теоријских модела или нумеричких симулација или обради експерименталних мерења, као и у анализи добијених резултата.

АНГАЖОВАНОСТ У ФОРМИРАЊУ НАУЧНИХ КАДРОВА

Др Марица Поповић је дала значајан допринос у раду са млађим истраживачима током израде њихових докторских дисертација:

- Др Миољуба Нешића, Развој техника за решавање инверзног фотоакустичког проблема, Електротехнички факултет, Универзитет у Београду, 2018. године.
- Др Катарине Ђорђевић, Примена неуронских мрежа у фотоакустичној анализи силицијума n-типа у фреквентном домену, Физички факултет, Универзитет у Београду, 2020. године.
- Др Драгане Маркушев, Утицај фотогенерисаних носилаца наелектрисања на термалне и еластичне особине силицијума p-типа, Електронски факултет, Универзитет у Нишу, 2021. године.

о чему је дат доказ у додатку 2а (насловне стране и захвалнице из одбрањених докторских дисертација).

Др Марица Поповић је водила израду докторске дисертације др Мирославе Јордовић-Павловић, Програмски оквир заснован на машинском учењу за аутоматизацију обраде резултата фотоакустичних мерења, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом

Саду, 2020. године, о чему је дат доказ првом страном где се види да је др Марица Поповић члан комисије и Извештајем о оцени докторске дисертације у којој су наведени заједнички научни радови везани за тему докторске дисертације (додатак 2б).

РУКОВОЂЕЊЕ ПРОЈЕКТИМА, ПОТПРОЈЕКТИМА И ПРОЈЕКТНИМ ЗАДАЦИМА

Др Марица Поповић од 2021. руководи пројектом Heat transfer across biological systems: development in vivo photothermal diagnostic који се одвија у оквиру сарадње Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије и Обједињеног института за нуклеарна истраживања Дубна, Русија. Доказ је дат у додатку 3.

АКТИВНОСТ У НАУЧНИМ И НАУЧНО-СТРУЧНИМ ДРУШТВИМА

Др Марица Поповић је у Научном одбору међународног конгреса БПУ11 одржаног од 28.08.-01.09.2022. у Београду, Србија (додатак 4а)

Др Марица Поповић је била секретар Већа области физике Института за нуклеарне науке „Винча”-института од националног значаја за Републику Србију од 12.11.2020. до 07.12.2021. Докази се налазе у додатку 4б.

МИНИМАЛНИ КВАНТИТАТИВНИ ЗАХТЕВИ ЗА СТИЦАЊЕ ПОЈЕДИНАЧНИХ НАУЧНИХ ЗВАЊА

За природно-математичке и медицинске струке (попунити одговарајући део)

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

| Минимални број М бодова | Неопходно | Остварено, број М бодова без нормирања | Остварено, нормирани број М бодова |
|---------------------------------|-----------|--|------------------------------------|
| Укупно | 16 | 87.6 | 87.6 |
| M10+M20+M31+M32+M33+M41+M42+M90 | 10 | 82 | 82 |
| M11+M12+M21+M22+M23 | 6 | 66 | 66 |

V ЗАКЉУЧАК

На основу анализе истраживачке активности кандидата закључено је да она у потпуности испуњава све критеријуме (и вишеструко превазилази) за реизбор у звање **научни сарадник**. У складу са Правилником о стицању научних звања, чланови Комисије **предлажу** Научном већу Института за физику у Београду да овај Извештај усвоји, потврди испуњеност услова и предложи надлежној Комисији Министарства за просвету, науку и технолошки развој Републике Србије, да кандидат, др Марица Поповић, буде реизабрана у звање **научни сарадник**.

У Београду, 30.12.2022.

Чланови комисије



др Бранислав Јеленковић,
научни саветник у пензији, Институт за Физику у Београду, дописни члан САНУ,
1. референт



др Драган Маркушев,
научни саветник, Институт за Физику у Београду



др Слободанка Галовић,
научни саветник, ИНН „Винча”, Београд