

# Научном већу Института за физику

На седници научног већа Института за физику одржаној 13. септембра 2016. године, именовани смо у комисију за избор др Марка Спасеновић (запослен у Институту за физику) у звање виши научни 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 следећи

## ИЗВЕШТАЈ

### 1 Биографски подаци о кандидату

Марко Спасеновић је рођен 07.02.1983. године у Београду, где је завршио основну школу са дипломом “Вук Караџић” 1997. године. Завршио је средњу школу и Отави, држава Канада, 2001. године. Исте године је уписао и основне студије на Универзитету Карлетон у Отави, смер Инжењерска физика (енгл. Engineering Physics).

У току основних студија био је носилац престижне стипендије фирме Нортел Нетворк (Nortel Networks Scholarship). Дипломирао је 2005. године уз похвале (with High Distinction). Три пута је био одабран за Деканову листу, списак најуспешнијих студената у години. У последњој години је написао дипломски рад из области Брагових решетки уписаних у оптичка влакна. Мастер из физике је уписао 2005. године на Универзитету у Торонту. Мастерирао је 2007. године, са тезом насловљеном “All-optical coherent control of ultrafast photocurrents in Si” и два објављена рада у научним часописима категорије M21, од којих један у часопису Nature Physics. Током мастер студија учествовао је и као асистент у извођењу лабораторијских вежби.

Докторске студије је уписао 2007. године на универзитету Твенте у Холандији и при институту АМОЛФ (AMOLF) у Амстердаму. Докторску дисертацију “Surface plasmon polaritons and light at interfaces: propagating and evanescent waves” одбранио је у јулу 2011. године. Током докторских студија био је носилац престижне европске стипендије Марија Кири (EU FP6-MOBILITY). Учествовао је као млађи ментор двојци мастер студената, а био је оснивач и први председник првог студентског огранка оптичког друштва Америке у Холандији.

Од августа до октобра 2011. кандидат је радио у Центру за физику чврстог стања и нове материјале Института за физику у Београду. У звање научни сарадник је изабран у фебруару 2012. године.

Од октобра 2011. до септембра 2014. боравио је на постдокторском усавршавању на институту ИКФО (ICFO – The Institute of Photonic Sciences) у Барселони, где се бавио плазмоницом и оптичким особинама графена, као и ласерским хлађењем дијелектричних наносфера. Током боравка у Шпанији објавио је, између осталог, и рад у часопису Nature који је до сада цитиран више од 540 пута, а поново је био стипендиста Марије Кири (EU FP7-COFUND). Био је млађи ментор на изради још два мастер рада.

Од септембра 2014. године кандидат се вратио на Институт за физику. Руководилац је билатералног пројекта са Републиком Хрватском и учествовао је као члан комисије у изради једне мастер тезе на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, док се очекује учешће у комисији одбране друге тезе на истом факултету ове 2016 године. Такође је ментор

студенту докторских студија на Факултету за физичку хемију Универзитета у Београду. Ангажован је на пројекту ОИ171005 финансираном од стране МПНТР. Од свог повратка у земљу кандидат је са сарадницима центра објавио два рада категорија M21a.

Хиршов индекс кандидата (h index) је 14, са укупном цитираношћу која премашује 1400 цитата.

[Google Scholar налог Марка Спасеновића](#)

## 2 Преглед научне и стручне активности

Истраживачка делатност др Марка Спасеновића усмерена је ка проучавању оптичких, механичких и електронских својстава материјала и наноструктура, са фокусом на експериментални рад. Рад кандидата је усмерен на резултате високог квалитета, што је резултирало великим бројем радова у часописима категорије M21a.

### НАУЧНА И СТРУЧНА АКТИВНОСТ ПРЕ ПРЕТХОДНОГ ИЗБОРА У ЗВАЊЕ

Током мастер студија на Универзитету у Торонту, кандидат се бавио ласерским побуђивањем ултра-брзих електричних струја у полупроводницима. Лабораторија за квантну оптику и физику чврстог стања у којој је кандидат радио, под руководством Хенри ван Дриела (Henry van Driel), је у прошлости успешно побуђивала струје у материјалима са директним енергетским процепом, као што су нпр. галијум арсенид, галијум фосфид, индијум фосфид, итд. Принцип побуђивања електронских струја је квантна интерференца између две могуће путање електрона, наиме интерференца између апсорпције два фотона са фреквенцом  $\omega$  и једног фотона са дупло већом фреквенцом. Пошто је у питању нелинеарни процес, користе се фемтосекундни ласери јаког интензитета. Трајање електронске струје је једнако дужини ласерског импулса, тако да се добијају електричне струје које се побуђују и одумиру у року од стотинак фемтосекундни. Такво убрзавање електрона са собом носи и емисију електромагнетне радијације и то у терахерцном делу спектра. Добијено терахерцно зрачење се детектује стандардним техникама, као знак ултра-брзих електричних струја. Током свог магистарског рада кандидат је конструисао експерименталну поставку за квантну интерференцу и детекцију терахерцног зрачења. Користећи ту поставку, успешно је побуђена електрична струја у силицијуму, тако доказавши да је исти ефекат могућ и у материјалима који имају индиректни енергетски процеп и да оптички фонони не изазивају губљење кохерентности процеса. Рад је објављен у истакнутом међународном часопису:

- L. Costa, M. Betz, M. Spasenović, AD Bristow, and HM van Driel, **Nature Physics** 3, 632-635 (2007), **M21a**, **IF=20,1**

Током докторских студија у институту АМОЛФ у Амстердаму, кандидат се бавио испитивањем блиског поља различитих оптичких структура, користећи софистицирани микроскоп блиског поља у групи за нано-оптику коју предводи проф. Кобус Кајперс (Kobus Kuipers). Испитивана је кретања површинских плазмон-поларитона у наноструктурама, као и спора светлост у фотонским кристалима. Кандидат је учествовао у проналажењу новог решења за купловање површинских плазмона са плазмонама на златној нано-жици, по принципу адијабатичке трансформације. Ефикасност купловања је већа од 50% и рад је објављен у часопису:

- E. Verhagen, M. Spasenović, A. Polman, and K Kuipers, **Physical Review Letters** 102, 203904 (2009), **M21a**, **IF=7,5**

Рад је до сада цитиран око 160 пута. У наставку пројекта, кандидат је као млађи ментор предводио мастер рад Дирк Јан Диккен-а, који се бавио проучавањем губитака у савијеним златним нано-жицама. Експериментално и кроз симулације је доказано да се губици смањују експоненцијално са полупречником савијања и да у том смислу нема веће разлике између плазмонских нано-жица и других оптичких таласовода. У овом практичном раду, закључено је да су златне нано-жице добар кандидат за оптичке таласоводе на оптичким чиповима у случајевима у којима је потребно позиционирати што више структура на што мањем површинском простору. Истовремено, кандидат је експериментално и кроз нумеричке симулације испитао симетрију плазмонских модова у такозваним слот таласоводима, димензија до 40 нанометара. У таласоводима тако малих димензија постоји само један мод и то анти-симетричан, тако да су линије електричног поља нормалне на правац кретања плазмона. Ова студија је битна пошто постоје предлози да се такви таласоводи користе у сврху квантне електродинамике и квантних компјутера, где се извор светлости позиционира у плазмонски мод. У завршној студији плазмона, кандидат је направио решетку у злату и уз помоћ решетке побудио површинске плазмоне. Користећи микроскоп блиског поља, испитивана је интерференца плазмонских таласа у близини решетке и пронађена плазмонска варијанта такозваног Талботовог ефекта. Талботов ефекат је добро познат у оптици још од осамнаестог века, када је Талбот приметио да се у близини оптичке решетке репродукују слике решетке на тачно одређеним удаљеностима. Касније је Рејли уз помоћ параксијалне апроксимације израчунао тачно на којим удаљеностима се слике репродукују. Кандидат и коаутори су показали да исти ефекат постоји и код површинских плазмона, уз кориговање Рејлијеве једначине због додатних услова које налаже рад са металом.

Паралелно са испитивањем површинских плазмона, кандидат се бавио и спором светлошћу у фотонским кристалима. Кроз међународну сарадњу преко европског пројекта SPLASH (EU FP6), испитивао је ограничења фотонских кристала, у смислу минималне брзине светлости коју је реално могуће постићи. Установљено је да су ограничавајући фактор неправилност у изради структура, али и да је та израда достигла свој лимит. Чак и са најмодернијим начинима израде, и најмања грубост зидова структуре изазива локализацију светлости у спором режиму кретања. Тачна позиција у спектру где се локализација појављује, то јест тачна најмања брзина коју је могуће достићи, зависи од дужине фотонског таласовода. Кандидат је открио нови метод за мерење дужине локализације, кроз нано-магнетну интеракцију са шиљком микроскопа. Кроз даљу међународну сарадњу, пронађена је нова шема дизајнирања фотонских таласовода која спушта границу достижене брзине светлости. Такође кроз исту сарадњу, кандидат је испитивао ефикасно купловање брзе и споре светлости, кроз еванесцентне модове на граници два фотонска кристала.

Током докторских студија кандидат је учествовао у изради укупно **7 радова категорије M21a** и **4 рада категорије M21**, са великим бројем излагања на научним скуповима. Сви радови су изузетно добро цитирани.

При крају докторских студија, кандидат је изразио интересовање за графен, а нарочито за слабо испитана оптичка својства овог новог материјала. Доласком у Центар за чврсто стање и нове материјале при Институту за физику кандидат је започео и научни рад и овом правцу, да би убрзо отишао на постдокторска усавршавања на институту ИКФО у Барселони, где је обавио два постдокторска ангажмана.

## НАУЧНА И СТРУЧНА АКТИВНОСТ ОД ПРЕТХОДНОГ ИЗБОРА У ЗВАЊЕ

Током првог постдокторског ангажмана, кандидат је радио у групи коју предводи проф. Франк Копенс (Frank Corpens). Кандидат је учествовао у изради експерименталне поставке за побуђивање површинских плазмон-поларитона на графену, у инфрацрвеном делу

спектра. Као резултат ангажмана, који је трајао годину дана, кандидат је учествовао у изради рада:

- J. Chen ... M. Spasenović et al, **Nature** 487, 77-81 (2012), **M21a**, **IF=41,5**

Ово је био први експериментални доказ плазмона на графену и као рад изузетног значаја цитиран је до сада преко 540 пута. Кандидат је као млађи ментор учествовао у изради две мастер тезе на Универзитету у Барселони, на тему израде графена и инфрацрвених фотодетектора на бази графена.

Током другог постдокторског ангажмана у институту ИКФО, кандидат је сарађивао са проф. Ромен Киданом (Romain Quidant). Током двогодишњег ангажмана, који је финансирала ЕУ кроз престижну стипендију Марија Кири, кандидат се бавио проучавањем ласерског заробљавања дијелектричних наночестица у вакуму. Наиме, куглице силицијум диоксида, пречника 150 нанометара, се оптичким силама могу заробити у фокусу ласерског снопа. Тако ухваћене честице осцилују у оптичком потенцијалу који формира фокус, а једино трење се врши кроз интеракцију са честицама ваздуха. Уколико се читав процес ради у вакуму, трење нестаје и честица осцилује са фактором квалитета и до  $10^{11}$ , што је импресивно и без преседана за систем на собној температури. Теорија предвиђа да се такав систем може охладити до квантног стања кретања, што би омогућило изучавање квантних појава на макроскопском систему на собној температури, што је до сада незабележено. Кандидат је учествовао у изради друге генерације експерименталне апаратуре, која се састојала од додатног хлађења оптичким Фабри-Перо резонатором. Иако је тај експеримент још увек у изградњи и главни резултати се тек очекују, кандидат је током свог ангажмана објавио два рада, од којих је значајнији:

- J. Gieseler, M. Spasenović, L. Novotny, and R. Quidant, **Physical Review Letters** 112, 103603 (2014), **M21a**, **IF=7,5**

Током постдокторског усавршавања, кандидат је укупно објавио **2 рада категорије M21a** и **један рад категорије M21**, док се очекује накнадно објављивање још неколико радова највиших категорија.

Од повратка на Институт у септембру 2014, кандидат се ангажује у неколико експерименталних праваца:

- а) Течна ексфолијација графена и других слојевитих 2Д материјала
- б) Производња хетероструктура 2Д материјала ради проучавања њихових оптичких и наноелектричних својстава
- в) Графенски микрофон

#### **а) Течна ексфолијација графена и других слојевитих 2Д материјала**

Графен добијен традиционалном методом микромеханичке ексфолијације је најбољег квалитета, али изузетно малог и непредвидивог приноса. На пример, на плочици величине 1x1 цм обично се добија један до два узорка графена површине неколико десетина квадратних микрометара. Док је ова метода идеална за проучавање изузетних електронских својстава графена, за примену у пракси или изучавање оптичких својстава тако мали узорци нису практични.

Последњих година је развијено неколико метода производње графена великих површина, нпр. хемијско нарастање из паре (енгл. CVD, chemical vapor deposition) или

эпитакијално нарастање. Иако веома ефикасне, са великим приносима квалитетног графена, ове методе су експериментално захтевне и скупе јер користе посебне и ретке подлоге које се после нарастања одбацују.

Ексфолијацијом графена у течном стању (енгл. Liquid phase exfoliation, LPE) се добија колоидни раствор наночестица вишеслојног графена малих латералних димензија. Из раствора се може добити филм користећи различите методе, али углавном се користе вакумска филтрација или Лангмир-Блоџет (ЛБ) депозиција на интерфази. Овом последњом методом се брзо и репродуцибилно добијају филмови на било којој жељеној подлози, који се могу користити као проводан транспарентан слој за савитљиву електронику, у соларним ћелијама, или као подлога за експерименте из хемије површина. Пошто овакви филмови који се састоје из наночестица садрже велику концентрацију ивица и дефеката, за њих се могу везивати различите врсте реагенаса који филм трансформишу у нпр. биосензор, хемијски сензор, или подлогу за фото-катализу. Танак слој који поседује овако богату ризницу својстава (висока транспарентност, добра електрична проводност, могућност промене отпорности везивањем молекула за графен, могућност да се филм користи као прималац носиоца наелектрисања у хетероструктурама, итд) отвара читаву мрежу могућих експерименталних праваца.

Својим повратком на Институт, кандидат се придружио постојећим напорима у правцу течне ексфолијације графена и знатно их проширио и унапредио. Ангажовањем Тијане Томашевић-Илић (мастер физичке хемије) и руковођењем њеним докторским истраживањем, кандидат показује способност руковођења научним радом и допринос развоју научног кадра. Осим учешћа у првом раду на тему течне ексфолијације у Институту за физику:

- А. Matković, ... М. Spasenović et al, **2D Materials** 3, 015002 (2016), **M21a, IF=9,6**

кандидат је покренуо ексфолијацију других 2Д материјала као што су молибден дисулфид (полупроводник), волфрам диселенид (полупроводник) и бор нитрид (диелектрик). Први резултати показују да је могуће направити електронске транзисторе и соларне ћелије од ових 2Д материјала, а да те направе својим својствима могу да се мере са комерцијално доступним направама, док им је цена и лакоћа израде можда још и боља. Кроз овај истраживачки правац кандидат је покренуо богату сарадњу са Универзитетом Зиген у Немачкој, Факултетом Техничких Наука у Новом Саду и Институтом за Мултидисциплинарна Истраживања Универзитета у Београду (ИМСИ). Најновија истраживања су већ представљена на међународној конференцији а кандидат је на исту тему одржао предавање по позиву на међународној конференцији у Пољској.

## **б) Производња хетероструктура 2Д материјала ради проучавања њихових оптичких и наноелектричних својстава**

Колико су интересантне физика графена и других 2Д материјала, толико су интересантније вештачки направљене хетероструктуре ових материјала, како за изучавање основних својстава тако и за примене. Пошто 2Д материјали пријањају једни за друге углавном посредством ван дер Валсове силе, хетероструктуре ових нових материјала се још називају и “ван дер Валс хетероструктуре”. Монослојеви 2Д полупроводника постављени на графен или танке слојеве бор нитрида показали су свој потенцијал као различите врсте фотодетектора, транзистора, соларних ћелија, биолошких, хемијских и механичких сензора. Интересантно је да су нано-механичка и нано-електрична својства хетероструктура (локална адхезија, локални електрични потенцијал, кривљење зона, итд) врло слабо истражена. Са овим циљем, кандидат је покренуо истраживачки правац “израда ван дер Валс хетероструктура”. У циљу реализације контролисане депозиције два атомски танка слоја, до

сада су под менторством кандидата ангажована два студента мастер студија Електротехничког факултета у Београду, Миленко Мусић и Милан Вићентијевић. Први је развио методе израде монослојева полупроводних и дијелектричних 2Д материјала, док је други направио значајан помак ка реализацији хетероструктура, резултирајући у првим структурама графена на бор нитриду. Већ ове прве структуре могу да се користе за локална мерења проводности на микроскопу на бази атомских сила (АФМ), што би био оригиналан резултат. Наредни кораци у овом правцу ће бити усавршавање методе производње графена на бор нитриду и конструисање хетероструктура које укључују полупроводнике на графену и бор нитриду, са фокусом на опто-електронска својства таквих структура, то јест на просторну расподелу екситона у ван дер Валс хетероструктурама.

### **в) Графенски микрофон**

Кандидат је учествовао у завршној фази израде научног рада на тему микрофона са мембраном направљеном од графена. Графен, будући да има веома висок Јунгов модул (око 0,5 ТПа, терапаскала) је одличан кандидат за израду акустичких мембрана и уопште механичких мембрана. По угледу на пређашњи рад из 2014 у коме су приказани звучници са мембраном од графена, кандидат је у сарадњи са колегама из Института као и са Института Михајло Пупин и из фирме Диригент Акустикс конструисао микрофонску мембрану од вишеслојног графена. Одзив микрофона парира квалитету куповних полу-професионалних микрофона, а нумеричке симулације предвиђају да би микрофон имао добар одзив и у ултразвучном делу спектра, уколико би се мембрана још више затегла, што је у овом случају било ограничено квалитетом добијеног вишеслојног графена. Рад на ову тему је објављен у часопису престижне категорије **M21a** и добио је широку пажњу медија и јавности:

- D. Todorović, A. Matković, M. Milićević, Dj. Jovanović, R. Gajić, I. Salom, and M. Spasenović, **2D Materials** 2, 045013 (2015), **M21a, IF=9,6**.

У току је израда друге генерације графенског микрофона и наставак сарадње са привредом кроз овај истраживачки правац.

## **3 Елементи за квалитативну оцену научног доприноса**

### **3.1 Показатељи успеха у научном раду**

Др Марко Спасеновић се бави изучавањем оптичких, електронских, механичких и хемијских својстава наноматеријала и других нових материјала и њиховом практичном применом. Током своје каријере кандидат се бавио израдом сензора напрезања у фиброоптичким влакнима (Брегове решетке), оптичким побуђивањем ултрабрзих електричних струја у полупроводницима, фазно осетљивом микроскопијом блиског поља површинских плазмона у таласоводима и успорене светлости у фотонским кристалима, побуђивањем и детекцијом плазмона на графену, ласерским заробљавањем и хлађењем дијелектричних наночестица у високом вакууму, хетероструктурама 2Д материјала, акустичким графенским мембранама и течном ексфолијацијом 2Д материјала ради добијања танких филмова великих површина.

У периоду од добијања звања научни сарадник, кандидат је објавио **5 радова категорије M21a**, **3 рада категорије M21** и **један категорије M22**. Одржао је неколико предавања на научним скуповима, од којих **два по позиву**.

Као најзначајнијих пет радова од претходног избора у звање могу се узети:

1. J. Chen, ... M. Spasenović et al, “*Optical nano-imaging of gate-tunable graphene plasmons*”, *Nature* **487**, 77-81 (2012); **M21a**, IF=41,5, цитиран 541 пут;
2. A. Matković, M. Spasenović et al, “*Enhanced sheet conductivity of Langmuir-Blodgett assembled graphene thin films by chemical doping*”, *2D Materials* **3**, 015002 (2016), **M21a**, IF=9,6
3. D. Todorović, A. Matković, M. Milićević, Dj. Jovanović, R. Gajić, I. Salom, and M. Spasenović, “*Multilayer graphene condenser microphone*”, *2D Materials* **2**, 045013 (2015), **M21a**, IF=9,6.
4. J. Gieseler, M. Spasenović, L. Novotny, R. Quidant, “*Nonlinear Mode Coupling and Synchronization of a Vacuum-Trapped Nanoparticle*”, *Physical Review Letters* **112**, 103603 (2014), **M21a**, IF=7,6.
5. N. Rotenberg, M. Spasenović, T.L. Krijger, B. le Feber, F.J.G. de Abajo, and L. Kuipers, “*Plasmon scattering from single subwavelength holes*”, *Physical Review Letters* **108**, 127402 (2012), **M21a**, IF=7,6.

1. Рад објављен у часопису **Nature** је покренуо експериментална истраживања плазмонице у графену, који је један од интересантнијих праваца истраживања у циљу планарних оптичких компјутера али који такође доноси нова открића у физици 2Д материјала. Очекује се да ће овај рад од изузетног значаја наставити да буде веома добро цитиран јер популарност области плазмонице у 2Д материјалима и даље расте.

2. Рад објављен у часопису **2D Materials** приказује производњу и карактеризацију транспарентних проводних слојева од графена добијеног течном ексфолијацијом и Лангмир-Блодет синтезом. Слојеви добијени на овај начин имају снижену електричну отпорност у односу на слојеве добијене вакумском филтрацијом, док задржавају високу оптичку транспарентност, што их чини добрим кандидатом за практични употребу. Ово је први рад са Института за физику на тему течне ексфолијације графена, а кандидат је значајно учествовао у његовој реализацији кроз руковођење овим експерименталним задатком.

3. Рад објављен у часопису **2D Materials** приказује израду и карактеризацију микрофона за мембраном од графена. Овај рад је један од пионирских радова у веома новој области акустичких примена 2Д материјала. Приказане су и нумеричке симулације које предвиђају оперативност графенског микрофона чак у ултразвучном делу спектра, за хипотетичку дебљу мембрану графена. О овом раду је писао широки спектар научно популарних часописа и сајтова на неколико светских језика. Овај рад је значајан за каријеру кандидата јер је то први рад на коме је кандидат потписан као задњи аутор.

4. Рад објављен у часопису **Physical Review Letters** приказује почетни резултат са другог постдокторског ангажмана кандидата. Овај рад, написан заједно са водећим светским стручњацима из области нанофотонице, приказује нелинеарну динамику механичког кретања стаклене куглице заробљене ласерским снопом у високом вакуму. Нелинеарна динамика механичких осцилатора и високо-квалитетни опто-механички резонатори уопште су динамична област истраживања која има за задатак да проучи границе квантне механике макроскопских предмета али има и потенцијалне примене у квантним меморијама. Овај значајан рад описује студију нелинеарног понашања осцилатора на собној температури, што проширује светска сазнања у овој области.

5. Рад објављен у часопису **Physical Review Letters** је још један резултат кандидатовог доктората који се односи на простирање плазмона на површини метала и сударе плазмона са дефектима у виду рупе у металу. У случају рупа са пречником значајно мањим од таласне дужине плазмона, рад показује да се рупице могу третирати као диполарни извор плазмона и да се расејани талас може рашчланити на диполарни извор и над-површинске таласе. Ова пажљива студија интеракције плазмона са једном нано-рупом значајно доприноси разумевању простирања плазмона у контексту неочекивано велике оптичке трансмисије (енгл. “extraordinary optical transmission”) металних решетке.

Као најзначајнијих пет радова у целокупној каријери кандидата могу се узети:

1. J. Chen ... M. Spasenović et al, “*Optical nano-imaging of gate-tunable graphene plasmons*”, *Nature* **487**, 77-81 (2012); **M21a**, IF=41,5, цитиран 691 пут;
2. L. Costa, M. Betz, M. Spasenović, AD Bristow, and HM van Driel, “*All-optical injection of ballistic electrical currents in unbiased silicon*”, *Nature Physics* **3**, 632-635 (2007); **M21a**, IF=20,1, цитиран 57 пута;
3. E. Verhagen, M. Spasenović, A. Polman, and K Kuipers, “*Nanowire plasmon excitation by adiabatic mode transformation*”, *Physical Review Letters* **102**, 203904 (2009), **M21a**, IF=7,5, цитиран 228 пута;
4. D. van Oosten, M. Spasenović, and L Kuipers, “*Nanohole chains for directional and localized surface plasmon excitation*”, *Nano Letters* **10**, 286-290 (2009), **M21a**, IF=13,6, цитиран 41 пут;
5. D. Todorović, A. Matković, M. Milićević, Dj. Jovanović, R. Gajić, I. Salom, and M. Spasenović, “*Multilayer graphene condenser microphone*”, *2D Materials* **2**, 045013 (2015), **M21a**, IF=9,6.

1. Рад је описан у претходном делу извештаја.

2. Рад објављен у часопису **Nature Physics** приказује по први пут побуђивање електричних струја у силицијуму чисто оптичком методом, што је представљало крупан помак у области опто-електронике. Резултати приказани у раду помало изненађујуће доказују да ослобађање оптичких фонона не утиче значајно на ефикасност ефекта кохерентне контроле апсорпције фотона у полупроводницима.

3. Рад објављен у часопису **Physical Review Letters** је био први који се бавио ефикасним побуђивањем површинских плазмона на металним наножицама, користећи адијабатску трансформацију пропагирајућих површинских плазмона. Плазмони на наножицама су кандидат за оптичке таласоводе у планарним оптичким чиповима али се узимају у обзир и као хемијски сензори.

4. Рад објављен у часопису **Nano Letters** приказује побуђивање површинских плазмона уз помоћ низа нанорупа на злату. Пошто се низ рупа понаша као једнодимензионална решетка, правац простирања плазмона се може контролисати поларизацијом упадне ласерске светлости, при чему се побуђује одабрани дифракциони ред једнодимензионалне решетке. У овом раду је такође приказан по први пут планарни Талботов ефекат и изведена једначина за одређивање Талботове удаљености у дводимензионалној геометрији.



5. Рад је описан у претходном делу извештаја.

Осим ових пет радова, напомиње се да кандидат има још неколико радова који су високоцитирани или објављени у часописима категорије M21a.

### **3.2 Квалитет и цитираност научних резултата**

Према подацима са базе Web of Science, на дан 21. септембар 2016, радови кандидата су укупно цитирани 1052 пута (1033 без самоцитата), а Хиршов индекс је 12. Према подацима са базе Google Scholar, на дан 21. септембар 2016, радови кандидата су укупно цитирани 1465 пута, а Хиршов индекс је 14. Кандидат је учествовао у изради 12 радова категорије M21a (5 од претходног избора у звање), 6 радова категорије M21 (3 од претходног избора у звање) и једног категорије M22 (од претходног избора у звање), уз бројна излагања на научним скуповима од којих два по позиву. **Збир импакт фактора радова објављених од претходног избора у звање је 87,4. База Web of Science означава чак два кандидатова рада ознаком “Highly Cited Paper”, што значи да је рад међу 1% најцитиранијих радова из те области за дату годину.**

Од објављених укупно 18 радова у врхунским међународним часописима, 6 радова има више од 7 аутора (сви радови су експериментални). Кандидат је први аутор на 4 рада и последњи аутор на једном раду. Кандидат је дао значајан допринос сваком раду на коме је учествовао, од писања пројеката, преко планирања експеримената, конструкције оригиналних експерименталних апарата, производње узорака, мерења, интерпретације и обраде података, до писања радова и предствалања на конференцијама.

Досадашњи рад кандидата се показао као изузетно оригиналан и значајан, јер је значајно проширио границе знања у областима нанотехнологије и нанофотонице, чему сведочи низ публикација у врхунским и престижним међународним часописима који су натпросечно цитирани. Применљивост резултата је велика, што се нарочито односи на рад о микрофону који је резултат сарадње са привредом и чији наставак се очекује кроз конструисање конкретног производа.

### **3.3 Ангажованост у формирању научних кадрова**

Кандидат је тренутно коментор на изради докторске дисертације Тијане Томашевић-Илић на Факултету за физичку хемију универзитета у Београду. Кандидат је у својству члана комисије учествовао у изради мастер рада два студента Електротехничког факултета универзитета у Београду (Миленко Мусић, 2015. год, Милан Вићентијевић, 2016. год). Учествовао је као млађи ментор у изради четири мастера у иностранству: Дирк Јан Дикен (Dirk Jan Dikken) и Тајс Крајхер (Thijs Krijger) у Холандији, Ахим Вуснер (Achim Woessner) и Габриеле Навицкаите (Gabriele Navickaite) у Шпанији, што је доказано у захвалницама ових теза.

Током својих мастер студија држао је вежбе студентима прве и друге године инжењерских наука (Engineering Science) на универзитету Торонто у Канади.

### **3.4 Нормирање броја коауторских радова**

Изузев два рада, сви остали радови објављени од претходног избора у звање су са пуном тежином у односу на број коаутора. Док је број укупно остварених бодова 84 (“Елементи за квантитативну оцену”), број бодова нормиран на број коаутора износи 72,4.

### **3.5 Руковођење пројектима, потпројектима и пројектним задацима**

Кандидат руководи пројектом билатералне сарадње МПНТР са Републиком Хрватском 2016-2017 “Подешавање вишечестичне интеракције у графену помоћу интеркалације (ПОВИГРАЦ)”. У оквиру пројекта ОИ 117005 кандидат руководи пројектним задацима Течна ексфолијација графена и других 2Д материјала и Ван дер Валс хетероструктуре 2Д материјала. Током досадашње каријере самостално је руководио бројним пројектним задацима у иностранству. Кандидат је учествовао на међународним пројектима SPLASH (FP6 FET, руководилац prof. Thomas Krauss), Marie Curie Early Stage Training (AMOCROSS, руководилац prof. Laurens (Kobus) Kuipers), и Marie Curie COFUND (ICFOnest).

### **3.6 Активност у научним и научно-стручним друштвима**

Кандидат је током докторских студија покренуо и био први председник Амстердамског студентског огранка ОСА (оптичког друштва Америке), чији је члан од 2010. Рецензент је за часописе Optics Express, Optics Letters, JOSA A и Optical Materials. Од оптичког друштва Америке је у два наврата добио признање за изврсног рецензента, за 2014. и 2015. годину. Кандидат је одржао два предавања по позиву на међународним конференцијама у Пољској и на Копаонику.

### **3.7 Утицај научних резултата**

Кандидат је објавио велики број радова у категорији М21а, који су изузетно добро цитирани. Детаљан преглед утицаја научних резултата кандидата наведен је у одељку 3.2. Неколико радова кандидата је привукло велику пажњу медија, нпр. рад о графенским микрофонима који је публикован после повратка кандидата из иностранства и рад о плазмонима у графену (Nature, 2012).

### **3.8 Конкретан допринос кандидата у реализацији радова у научним центрима у земљи и иностранству**

Кандидат је значајно допринео сваком раду на коме је учествовао и дао је одлучујући допринос у већини радова на којима је потписан. Од укупно 9 радова објављених након претходног избора у звање, 3 су резултат мерења која је кандидат обавио током својих докторских студија или завршни радови са доктората писани након стицања докторске титуле, 3 су резултат конструисања нових експерименталних поставки током постдокторског ангажмана, а 3 су објављена са групом у Институту за физику у Београду након повратка из иностранства. У овој последњој групи радова кандидат учествује као руководилац пројектних задатака, што је видљиво и по положају имена кандидата на списку аутора (потписан задњи на једном раду категорије М21а). Од објављених у каријери укупно 19 радова, само 3 су рада реализована у земљи, а остали током дугогодишњем боравка у иностранству. Од радова реализованих у иностранству, кандидат је први аутор на 4 рада. На осталим радовима кандидат је учествовао јер је изградио експерименталну поставку, мерио на комплексним експерименталним поставкама, анализирао и интерпретирао резултате, писао рад или учествовао као млађи ментор.

## 4 Елементи за квантитативну оцену научног доприноса

### 4.1 Остварени резултати након претходног избора у звање:

Категорија	М бодова по раду	Број радова	Укупно М бодова
M21a	10	5	50
M21	8	3	24
M22	5	1	5
M32	1,5	2	3
M34	0,5	4	2

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

Минималан број М бодова		Остварено
Укупно	50	<b>84</b>
$M10 + M20 + M31 + M32 + M33 + M41 + M42 \geq$	40	82
$M11 + M12 + M21 + M22 + M23 \geq$	30	82

### 4.3 Цитираност

Збир импакт фактора радова објављених од претходног избора у звање је 87,4.

Према подацима са базе Web of Science, на дан 21. септембар 2016, радови кандидата су укупно цитирани 1052 пута (1033 без самоцитата), а Хиршов индекс је 12.

Према подацима са базе Google Scholar, на дан 21. септембар 2016, радови кандидата су укупно цитирани 1465 пута, а Хиршов индекс је 14.

## 5 Закључак

На основу материјала представљеног у овом извештају, констатујемо да је др Марко Спасеновић постигао врхунске научне резултате у области физике наноматеријала са изузетно утицајним и високо цитираним радовима публикованим у најпрестижнијим часописима. Његов досадашњи успех постигнут како кроз сарадњу и учешће у тимовима врхунских европских и светских лабораторија тако и кроз самосталан рад указују на висок степен научне зрелости. Испуњени квалитативни услови указују на способност руковођења студентима и научним тимовима и склоност ка организацији научног рада на високом нивоу. Својом укупном активношћу, кандидат значајно доприноси међународној сарадњи и видљивости лабораторије у којој се налази. На основу приказаних показатеља закључујемо да др Марко Спасеновић испуњава све квантитативне и квалитативне услове прописане Законом о научно-истраживачкој делатности и Правилником о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача и са задовољством предлажемо научном већу Института за физику у Београду да утврди предлог за избор др Марка Спасеновића у звање виши научни сарадник.

Београд, 26. септембар 2016.

др Радош Гајић  
научни саветник, Институт за физику

др Бранислав Јеленковић  
научни саветник, Институт за физику

др Жељко Шљиванчанин  
научни саветник, Институт за нуклеарне науке "Винча"

проф. др Милан Тадић  
редовни професор Електротехничког факултета  
Универзитета у Београду