

## НАУЧНОМ ВЕЋУ ИНСТИТУТА ЗА ФИЗИКУ

### Извештај комисије за избор др Ненада Селаковића у звање научни сарадник

На седници Научног већа Института за физику одржаној 27.4.2021. именовани смо у комисију за избор др Ненада Селаковића у звање научни сарадник.

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 подносимо овај извештај.

#### 1. БИОГРАФСКИ И СТРУЧНИ ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

Ненад Селаковић је рођен 14.11.1981. године у Београду где је завршио основну и средњу школу. Основне академске студије на Физичком факултету Универзитета у Београду – смер Примењена физика и информатика је уписао школске 2000/2001. године и завршио са просечном оценом 8.00. Физички факултет је завршио 11.10.2011. одбраном дипломског рада на тему *„Електрична карактеризација и просторно-временски разложена мерења атмосферског пражњења у режиму плазма метка”* са оценом 10, под менторством др Невене Пуач и др Гордане Маловић у Лабораторији за гасну електронику под руководством др Зорана Љ. Петровића. Добитник је награде “Проф. др Љубомир Ћирковић” за најбољи дипломски рад одбрањен на Физичком факултету у периоду 2010/2011.

Од 2011. године је студент докторских студија на Физичком факултету, Универзитета у Београду – смер Физика јонизованог гаса и плазме. Положио је све изборне испите са просечном оценом 10.00. Докторска дисертација под називом *„Масена спектрометрија плазменог млаза и примене електричних пражњења на атмосферском притиску у биомедицини“* урађена је под менторством др Невене Пуач у Лабораторији за неравнотежне процесе и примену плазме у Институту за физику и одбрањена 19. 2. 2021. на Физичком факултету, Универзитета у Београду.

Ненад Селаковић је у радном односу од 31.12.2011. године у Институту за физику у Београду у Лабораторији за гасну електронику (сада Лабораторија за неравнотежне процесе и примену плазме) под руководством проф. др Зорана Љ. Петровића до децембра 2019. а од јануара 2020. под руководством др Гордане Маловић. На седници Научног већа Института за физику одржаној 23.9.2014. године изабран је у звање Истраживач сарадник, а реизабран у исто звање на седници Научног већа Института за физику одржаној 19.9.2017. године.

Аутор и коаутор је шест научних радова који су објављени у међународним часописима категорија M21a, M21 и M23. Резултати његових истраживања су презентовани на великом броју међународних конференција. Био је коаутор већег броја радова штампаних у изводу (21) и у целини (9).

## **2. ПРЕГЛЕД НАУЧНЕ АКТИВНОСТИ**

Кандидат Ненад Селаковић се бави истраживањима која спадају у област физике јонизованих гасова и плазми, у Лабораторији за неравнотежне процесе и примену плазме под руководством др Гордане Маловић (раније Лабораторија за гасну електронику коју је водио академик Зоран Љ. Петровић) у Институту за физику у Београду. Главна тематика његових истраживања су дијагностика и примене електричних пражњења на атмосферском притиску у биомедицини. Посебан фокус његових истраживања представља масена спектрометрија атмосферских плазми. До сада је радио на више извора атмосферских плазми: плазмени млаз, плазма игла, многоструки плазмени млаз и диелектрична копланарна баријерна пражњења. Дијагностичке методе које је користио у својим истраживањима су: масена спектрометрија, снимање брзом ICCD камером, електрична карактеризација извора електричних пражњења и испитивање промене контактеног угла третираног узорка.

Са аспекта примена нискотемпературних пражњења на атмосферском притиску, рађен је третман хелија биљног порекла (у сарадњи са Биолошким институтом "Синиша Станковић") као и МРСА бактерија (у сарадњи са Институтом за Микробиологију и имунологију, Медицинског факултета, Универзитета у Београду), третман људског дентина (у сарадњи са Стоматолошким факултетом,



Универзитета у Београду) и третман канцерогених ћелија (у сарадњи са Институтом за Онкологију и Радологију Србије) коришћењем плазма игле.

Истраживачки рад и научни резултати које је до сада остварио др Ненад Селаковић могу се груписати у следеће теме:

1. Масена спектрометрија и ICCD снимање временске еволуције простирања плазменог млаза:
  - Утицај влажности на простирање пражњења и њен масени састав
  - Синхронизована мерења временске еволуције простирања плазме и позитивних јона
2. Масена спектрометрија многоструког плазменог млаза и ICCD снимање временско-просторне еволуције његовог простирања
3. Масена спектрометрија диелектричног копланарног баријерног пражњења
4. Примена плазма игле на узорке биолошког порекла

У првој теми кандидат је испитивао утицај влажности унутар проточног система радног гаса на формирање дискретног пакета плазме који се креће великом брзином у односу на брзину протока радног гаса, тзв. PAPS-а (*eng.* Pulsed Atmospheric pressure Plasma Streamer). При мерењима у експерименталној поставци је коришћена испираница за вештачко додавање влажности у проточни систем радног гаса као и варијанта без ње. Установљено је да без влажности унутар проточног система, тј. када је он скроз просушен, PAPS губи свој облик и пражњење је дифузно. Такође, констатовано је да вештачки додата водена пара враћа форму PAPS-а али му смањује дамет. Састав плазме зависи од параметара који су коришћени, што је показано масеном спектрометријом. Вештачко додавање влажности значајно утиче на хидратацију и повећање продукције врста као што су  $\text{HeH}^+$ ,  $\text{H}_3\text{O}^+$ ,  $\text{OH}^+$ ,  $\text{H}_2\text{O}^+$  и доводи до смањења одброја,  $\text{N}_2^+$ ,  $\text{O}_2^+$ ,  $\text{N}^+$ ,  $\text{O}^+$ ,  $\text{He}^+$ , итд.

У првој теми је кандидат радио, такође и на испитивању временске еволуције PAPS-а коришћењем синхронизованих мерења масеним спектрометром, ICCD камером и напонским сондама. Из добијених мерења је, поред праћења разложених снимака интензитета светлости плазменог млаза, одређен и масени састав

најзаступљенијих врста које сачињавају пражњење а самим тим и PAPS. Урађено је поређење за два различита протока радног гаса на фиксном растојању плазменог млаза у односу на масени спектрометар и при фиксном примењеном напону. Установљено је да промена протока не утиче значајно на простирање тежих врста која се крећу прилично синхронизовано, док су лакше атомске врсте попут водоника фазно померене. Одређивање и варирање састава PAPS-а овом методом може бити од великог значаја за потенцијалне будуће примене.

Описани резултати су приказани у дисертацији др Ненада Селаковића:

- **Н. Селаковић**, “Масена спектрометрија плазменог млаза и примене електричних пражњења на атмосферском притиску у биомедицини”, Физички факултет, Универзитет у Београду, 2021.

У другој теми др Ненад Селаковић је радио на масеној спектрометрији и ICCD оптичко емисионој спектроскопији интензитета светлости многоструког плазменог млаза - МПМ. Испитивана је међусобна интеракција млазница многоструког млаза. Варијацијом брзине протока радног гаса могуће је комплетно променити природу пражњења овог извора. Правим избором протока могуће је добити спојени или неспојени режим који имају међусобно различит број јонизационих фронта, различиту временску еволуцију и масени састав. Примећена је и појава вишеструких секундарних стримера који се крећу дуж понављајућих јонизационих канала током рада МПМ-а. Из електричне карактеризације МПМ у спојеном режиму исказује нелинеарност током пражњења услед повећања напона побуде коришћењем сигнал генератора. Описани резултати су објављени у врхунском међународном часопису:

- Stancampiano, A., **Selaković, N.**, Gherardi, M., Puač, N., Petrović, Z. Lj., & Colombo, V. (2018). Characterisation of a multijet plasma device by means of mass spectrometric detection and iCCD imaging. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 51(48), 484004. (M21, IF: 2.373)

У трећој теми кандидат је радио на масеној спектрометрији диелектричног копланарног баријерног пражњења малих димензија. За шест различитих смеша кисеоника и азота (највећа пажња је посвећена односу 80/20 што представља однос



који је у атмосфери) и три различите фреквенције (15 kHz, 30 kHz и 50 kHz) при констатном високом напону (11.2 kV) посматрана је продукција реактивних кисеоничних и азотних врста, RONS-a (*eng.* Reactive Oxygen and Nitrogen Species) (N, O, OH, N<sub>2</sub>, NO, O<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O или CO<sub>2</sub> и O<sub>3</sub>) у електричном пражњењу. Посебна пажња је посвећена врстама од значаја као што су N, NO<sub>x</sub> или O<sub>3</sub>, јер ове врсте играју важну улогу у интеракцији плазме са живим организмима и ткивима. Варирање експерименталних услова је показало значајне разлике. При вишим фреквенцијама од 30 kHz и 50 kHz примећен је максимум одброја за NO радикале у условима 80/20 односа азота и кисеоника. За најнижу фреквенцију од 15 kHz производња молекула O<sub>3</sub> и NO била је највећа у испитиваном распону од 15 kHz –50 kHz. У зависности од типа примене продукција ових врста се варирањем параметара може смањити или повећати. Описани резултати су објављени у међународном часопису:

- Čech, J., Brablec, A., Černák, M., Puač, N., **Selaković, N.**, & Petrović, Z. Lj. (2017). Mass spectrometry of diffuse coplanar surface barrier discharge: influence of discharge frequency and oxygen content in N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> mixture. *The European Physical Journal D*, 71(2), 27. (M23, IF: 1.393)

У четвртој теми кандидат је користио плазма иглу за третман биљних ћелија калуса – *lat. Daucus Carota*. Значајни ефекти на узорцима су добијени одмах након третмана као и две недеље касније. За ово су заслужне реактивне кисеоничне врсте – ROS које се стварају у ћелијама и у пражњењу плазма игле и они изазивају активност ензима унутар ћелија. Ензими су део одбрамбеног механизма од оксидативног стреса, до којег долази уколико је вредност ROS-а високе концентрације. Активност SOD ензима, иако је и даље била знатно већа од активности у нетретираним ћелијама, смањила се после две недеље у поређењу са активношћу непосредно после третмана. Активност CAT ензима се значајно повећава након две недеље третмана, што доводи до веће концентрације H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> у самој ћелији. Већа концентрација водоник-пероксида може да изазове појаву морфогенезе код саме биљке. Описани резултати су објављени у врхунском међународном часопису:

- Puač, N., Živković, S., **Selaković, N.**, Milutinović, M., Boljević, J., Malović, G., & Petrović, Z. Lj. (2014). Long and short term effects of plasma treatment on meristematic plant cells. *Applied Physics Letters*, 104(21), 214106. (M21, IF=3.515)

У истој теми кандидат је такође користио плазма иглу за третман MRSA (*meticilin rezistivne lat. Staphylococcus aureus*) бактерија где су варирани следећи параметри: растојање плазма игле од површине узорка (2 mm, 4 mm и 6 mm), снага плазме (1.0 W и 2.5 W), време експозиције, тј. време излагања узорка електричном пражњењу (30 s, 60 s, 90 s и 180 s). Третиране су бактерије на хранљивој подлози у Петри посуди и биофилм бактерија у микротитар плочицама. Добијени резултати третмана имплицирају да је најефикаснији сет параметара најдуже време експозиције и најмање растојање од плазма игле у односу на узорак. Плазма игла без обзира што формира видљиво пражњење дијаметра 3-4 mm за одређени сет параметара својим деловањем формира инхибиционе зоне MRSA бактерија значајно већег дијаметра (за најдуже време експозиције 180 s и снагу плазме од 2.5 W је она износила 9 mm). Претпоставка је да се ширење дешава под утицајем реактивних врста генерисаних у електричном пражњењу на атмосферском притиску.

Такође, у овој теми кандидат је радио на примени плазма игле у третману канцерогених ћелија: аденокарцином плућа човека (A549), ћелије карцинома хуманог грлића материце (HeLa), 3Д модел културе вишећелијских туморских сфероида (A549) као и нормалне људске ћелије: ћелије бронхијалног епителија људског порекла без рака (BEAS-2B). Показано је да у већој или мањој мери плазма игла свакако смањује вијабилност код канцерогених ћелија. У случају људских неканцерогених ћелија тај ефекат је слабији и те ћелије се брже опорављају. Овај тип пражњења при лечењу канцерогених ћелија може да изазове поремећај у фазама ћелијског циклуса и да смањи њихову продукцију. Приказани су и прелиминарни резултати третмана 3Д модела, тј кластера канцерогених ћелија који за испитивање представљају велики корак ка ин виво третманима јер се понашају као ткива канцера. За сад се нису добили већи ефекти у покушају њиховог смањења након третмана и



потребна су додатна истраживања. Ови резултати су приказани у већ наведеној докторској дисертацији кандидата.

### 3. ЕЛЕМЕНТИ ЗА КВАЛИТАТИВНУ ОЦЕНУ НАУЧНОГ ДОПРИНОСА КАНДИДАТА

#### 3.1. Квалитет научних резултата

##### 3.1.1. Научни ниво и значај резултата, утицај научних радова

Кандидат се у току досадашњег рада бавио проучавањем масеног састава као и простирањем неравнотежних плазми на атмосферском притиску. Испитивао је утицај влажности у протоку радног гаса плазменог млаза на понашање и састав плазме. Овде се може истаћи да утицај влажности у протоку радног гаса на простирање електричног пражњења није детаљније испитиван у литератури. Показано је да услед просушивања проточног система радног гаса PAPS плазменог млаза губи своју форму, да би при додавању малог процента водене паре у проток вратио свој првобитан облик али са краћим дометом. Временски разложеним мерењима масеном спектрометријом може се одредити састав плазме током временске еволуције пражњења. Позиција самог извора у односу на масени спектрометар снажно утиче на само праћење простирања пражњења што је за ову технику било од посебног значаја. Овај резултат је битан при дизајнирању самог хемијског састава варирањем експерименталних параметара плазменог млаза, који има велики потенцијал у биомедицинским применама. Приликом третмана бактерија плазма иглом долази до њихове значајне редукције, што се може закључити и код третмана канцерогених ћелија. Третман биљних ћелија плазма иглом, која производи реактивне кисеоничне врсте, тригерује активност ензима унутар физиолошког система и самим тим може да утиче на повећање брзине раста биљке.

Један од најзначајнијих радова кандидата:

- Stancampiano, A., Selaković, N., Gherardi, M., Puač, N., Petrović, Z. Lj., & Colombo, V. (2018). Characterisation of a multijet plasma device by means of mass spectrometric detection and iCCD imaging. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 51(48), 484004. (M21, IF: 2.373)

У овом раду др Ненад Селаковић је користио масени спектрометар за одређивање масеног састава и ICCD камеру за одређивање оптичко емисионе спектроскопије интензитета светлости многоструког плазменог млаза - МПМ. Испитивао је међусобну интеракцију млазница многоструког млаза при варирању различитих експерименталних параметара: снага предата плазми, растојање извора у односу на масени спектрометар, брзина протока радног гаса. Показано је да је варијацијом брзине протока радног гаса могуће комплетно променити природу пражњења овог извора. Правим избором протока могуће је добити спојени или неспојени режим који имају међусобно различит број јонизационих фронтова, различиту временску еволуцију и масени састав. Снимљена и приказана је и појава вишеструких секундарних стримера који се крећу дуж понављајућих јонизационих канала током рада МПМ-а. Из електричне карактеризације МПМ у спојеном режиму исказује нелинеарност током пражњења услед повећања напона побуде коришћењем сигнал генератора.

### ***3.1.2. Цитираност научних радова кандидата***

Према бази Web of Science радови др Ненада Селаковића су цитирани 67 пута (без аутоцитата 61 цитата), а Хиршов индекс је 5. Према бази Google Scholar-а радови др Ненада Селаковића су цитирани 88 пута (без аутоцитата 82 цитата), а Хиршов индекс је 5.

### ***3.1.3. Параметри квалитета радова и часописа***

Кандидат др Ненад Селаковић је објавио укупно 6 радова у међународним часописима и то:

- 1 рад у међународном часопису изузетних вредности (M21a) Plasma Sources Science and Technology (IF= 3.591 SNIP= 1.951 (вредности за 2014. годину))
- 1 рад у врхунском међународном часопису (M21) Applied Physics Letters (IF= 3.515, SNIP= 1.634 (вредности за 2013. годину))



• 2 рада у врхунском међународном часопису (M21) Journal of Physics D: Applied

Physics (IF2016=2.588 SNIP2016=1.135, IF2015= 2.772, SNIP2015= 1.329)

• 1 рад у врхунском међународном часопису (M21) Clinical Oral Investigations (IF=

2.453, SNIP= 1.269 (вредности за 2018. годину))

• 1 рад у међународном часопису (M23) European Physical Journal D: Atomic, Molecular, Optical and Plasma Physics (IF= 1.393, SNIP= 0.684 (вредности за 2017.

годину))

Укупан импакт фактор објављених радова др Ненада Селаковића износи 16.312.

Додатни библиометријски показатељи према упутству о начину писања извештаја о изборима у звања које је усвојио Матични научни одбор за физику су:

	ИФ	М	СНИП
Укупно	16.312	45	8.002
Усредњено по чланку	2.72	7.5	1.334
Усредњено по аутору	2.33	6.43	1.143

### 3.1.4. Степен самосталности и степен учешћа у реализацији радова у научним центрима у земљи и иностранству

Колега Селаковић је савладао неколико дијагностичких техника од којих је масена спектроскопија пражњења на атмосферском притиску једна од захтевнијих. Његови доприноси у следећа два рада се односе на коришћење ове технике:

- Stancampiano, A., **Selaković, N.**, Gherardi, M., Puač, N., Petrović, Z. Lj., & Colombo, V. (2018). Characterisation of a multijet plasma device by means of mass spectrometric detection and iCCD imaging. Journal of Physics D: Applied Physics, 51(48), 484004. (M21, IF: 2.373)
- J. Čech, A. Brablec, M. Černák, N. Puač, **N. Selaković**, and Z. Lj. Petrović, Mass spectrometry of diffuse coplanar surface barrier discharge: influence of discharge frequency and oxygen content in N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> mixture, European Physical Journal D, vol. 71 br. 2, 2017., (M23, IF: 1.393)

### **3.1.5. Награде**

Нема

### **3.1.6. Елементи применљивости научних резултата**

Колега Селаковић се у оквиру израде докторске дисертације бавио плазмама на атмосферском притиску које се користе у бимедицини. Радио је третмане биљних калуса, бактерија и ћелија канцера. Сва његова истраживања и дијагностика коришћених плазми је усмерена на примену тих истих плазми у третманима ћелија.

### **3.2. Ангажованост у формирању научних кадрова**

Колега Селаковић је одабран за ментора ученице Математичке гимназије Софије Миљковић где је руководио експериментом одређивања контактнoг угла код залеђених капљица воде са различитим примесама алкохола. Циљ истраживања био је посматрање промене површинског напона и структуре залеђене капљице услед промене агрегатног стања.

### **3.3. Нормирање броја коауторских радова, патената и техничких решења**

Сви публиковани радови др Ненада Селаковића спадају у радове експерименталне природе. Према Правилнику о поступку и начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача у случају експерименталних радова предвиђено је до 7 коаутора. Укупан ненормиран број бодова је 64.5, док је нормиран број М бодова 61.27 што је знатно више у односу на захтеваних 16 бодова за избор у научног сарадника.

### **3.4. Руковођење пројектима, потпројектима и пројектним задацима**

Нема

### **3.5. Активност у научним и научно-стручним друштвима**

Др Ненад Селаковић је био у локалном организационом комитету следећих међународних конференција:

22nd International Conference on Gas Discharges and Their Applications, од 2. до 7. септембра 2018. године у Новом Саду, Република Србија.

XX International Workshop on Low-Energy Positron and Positronium Physics, XXI International Symposium on Electron-Molecule Collisions and Swarms, V Workshop on Non-Equilibrium Processes POSMOL 2019, од 18 до 21 јула 2019. године у Београду, Република Србија.



### 3.6. Утицај научних резултата

Утицај научних резултата се огледа у броју цитата који су наведени у тачки 3.1.2. овог одељка, а значај резултата је описан у оквиру одељка 3.1. Пун списак радова и подаци о цитираности из Scopus базе су дати у прилогу.

### 3.7. Конкретан допринос кандидата у реализацији радова у научним центрима у земљи и иностранству

Кандидат је своју истраживачку и научну активност реализовао у Институту за физику у Лабораторији за гасну електронику под руководством академика Зорана Љ. Петровића (сада Лабораторија за неравнотежне процесе и примену плазме под руководством др Гордане Маловић). Његов допринос се огледа у експерименталним мерењима у којима је одређиван масени састав атмосферских плазми и посматран временско-просторни развој пражњења при варирању експерименталних параметара са посебним акцентом на утицај вариране влажности у протоку радног гаса. Дао је значајан допринос у објављеним радовима на којима је потписан као коаутор кроз експериментална мерења, обраду и анализу резултата, њиховом припремању и комуникацији са уредницима и рецензентима часописа.

### 3.8. Уводна предавања на конференцијама, друга предавања и активности

Нема

## 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	10
M21	8	4	32	30.7
M23	3	1	3	3
M33	1	9	9	7.44
M34	0.5	21	10.5	10.13
M70	6	1	6	6

\*Нормирање је урађено у складу са Прилогом 1 Правилника.

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	<b>64.5</b>	<b>61.27</b>
M10+M20+M31+M32+M33+M41+M42+M90	10	<b>19.5</b>	<b>17.57</b>
M11+M12+M21+M22+M23	6	<b>45</b>	<b>43.7</b>

\*Нормирање је урађено у складу са Прилогом 1 Правилника.



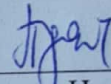
## 5. ЗАКЉУЧАК

Др Ненад Селаковић испуњава све услове за избор у звање *научни сарадник* предвиђене Правилником Министарства просвете, науке и технолошког развоја о поступку и начину вредновања, квантитативном исказивању научно-истраживачких резултата истраживача. Током рада на докторској дисертацији остварио је оригиналне и међународно запажене резултате који су објављени у 6 радова у међународним часописима (категорија M21a, M21 и M23) и представљени су на великом броју међународних конференција у виду радова штампаних у изводу (21) и у целини (9). Том приликом је развио потребан степен самосталности у научном раду за прво звање и добру базу за стицање вишег звања.

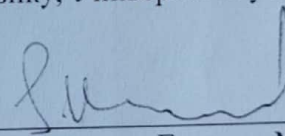
Имајући у виду квалитет његовог научно-истраживачког рада и достигнут степен истраживачке компетентности, задовољство нам је да предложимо да се донесе одлука о избору др Ненада Селаковића у звање научни сарадник.

У Београду, 10.5.2021.

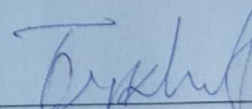
Чланови комисије



др Невена Пуач  
научни саветник  
Институт за физику, Универзитет у Београду



др Гордана Маловић  
научни саветник  
Институт за физику, Универзитет у Београду



Проф. др Срђан Буквић  
редовни професор  
Физички факултет, Универзитет у Београду