

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФИЗИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Пошто смо на VI седници Изборног и Наставно-научног већа Физичког факултета Универзитета у Београду, одржаној 30. 03. 2016. године, одређени за чланове Комисије за припрему извештаја о докторском раду „PHOTON AND ELECTRON ACTION SPECTROSCOPY OF TRAPPED BIOMOLECULAR IONS – FROM ISOLATED TO NANOSOLVATED SPECIES“ (Фотонска и електронска акциона спектроскопија трапираних биомолекуларних јона – од изолованих до наносолватисаних честица) из научне области ФИЗИКА и уже научне области ФИЗИКА АТОМА И МОЛЕКУЛА, коју је кандидат МИЛОШ РАНКОВИЋ предао Физичком факултету у Београду дана 28. 03. 2016. године, Наставно-научном Већу подносимо следећи:

Р Е Ф Е Р А Т

1. Основни подаци о кандидату

1.1 Биографски подаци

Ранковић Милош, рођен је у Београду 17.06.1986. године, општина Савски Венац, Република Србија. Основну школу и средњу електротехничку школу “Никола Тесла” је похађао у Београду. Основне академске студије на Физичком факултету, Универзитет у Београду, смер Примењена физика и информатика, уписао је 2005. године. У јулу 2012. године је дипломирао са просечном оценом 8.97 и оценом 10 на дипломском испиту са темом “Примена акустичких мерења у волуметријској анализи”. У децембру 2012. године је уписао докторске студије на Физичком факултету, Универзитет у Београду. Од 01.04.2013. године је запослен у Институту за физику, Универзитет у Београду, Лабораторија за физику атомских сударних процеса, као истраживач-приправник на пројекту ОИ 171020

“Физика судара и фото процеса у атомским, (био) молекуларним и нанодимензионим системима”.

1.2 Научна активност

Област истраживања кандидата је Физика атома и молекула. Научна активност кандидата је пре свега везана за експериментално истраживање интеракције фотона и електрона са биолошким макромолекулима изолованим у гасној фази. Његов рад се одвијао у два правца: (1) истраживање интеракције вакуум ултравиолетног (ВУВ) и Икс (“X”) синхротронског зрачења са заробљеним јонима изолованих биополимера и наносолватисаних биомолекула и (2) развој и тестирање система за експериментално истраживање интеракције електрона средњих енергија са заробљеним јонима изолованих биополимера. Кандидат је вршио истраживања у Лабораторији за физику атомских сударних процеса, Института за физику у Београду, Универзитета у Београду, у оквиру пројекта Министарства Науке Републике Србије „Физика судара и фото процеса у атомским, (био) молекуларним и нанодимензионим системима“ (ев. бр. ОИ 171020), чији је руководиоца др Братислав Маринковић, као и на синхротрону СОЛЕИЛ у Француској, у оквиру пројекта под руководством др Александра Милосављевића.

Милош Ранковић је до сада објавио 7 научних радова у водећим међународним часописима (и.ф. > 1), од којих пет припадају категорији M21, док два припадају категорији M22, према класификацији Министарства просвете, науке и технолошког развоја. Кандидат је први аутор на два рада категорије M21 и једном раду категорије M22. Његови радови су до сада цитирани 5 пута, без аутоцитата, а укупно су цитирани 9 пута. Учествовао је и презентовао радове на две националне и четири међународне конференције. На престижној међународној конференцији XXIX ICPEAC 2015 (Мадрид), његов рад је изабран за оралну презентацију („Special report“). Милош Ранковић је такође био члан Организационог комитета научних скупова SPIG 2014 (Београд) и WG2 COST Action CM1204 2015 (Фрушка гора).

2. Опис предатог рада

2.1 Основни подаци

Дисертација је написана на енглеском језику на 109 стране, не рачунајући насловне стране и изјаве. Садржи 6 глава, закључак, два прилога (А и Б) и референце, 87 слика, 4 табеле, 34 релације и 109 референци.

Руководилац докторске дисертације је др Александар Милосављевић, научни саветник, Институт за физику у Београду, Универзитета у Београду. Др Александар Милосављевић испуњава све услове предвиђене статутом за ментора. Његови најзначајнији радови у часописима са SCI листе у протеклих пет година су:

- [1] M. Lj. Ranković, A. Giuliani and A. R. Milosavljević, *Electron impact action spectroscopy of mass/charge selected macromolecular ions: inner-shell excitation of ubiquitin protein*, Appl. Phys. Lett. **108**, (2016) 064101 [M21, IF=3.122],
- [2] A. R. Milosavljević, C. Nicolas, M. Lj. Ranković, F. Canon, C. Miron and A. Giuliani, *K-Shell Excitation and Ionization of a Gas-Phase Protein: Interplay Between Electronic Structure and Protein Folding*, J. Phys. Chem. Letters **6**, (2015) 3132 [M21, IF=7.458],
- [3] A. R. Milosavljević, V. Z. Cerovski, F. Canon, M. Lj. Ranković, N. Škoro, L. Nahon and A. Giuliani, *Energy-Dependent UV Photodissociation of Gas-Phase Adenosine Monophosphate Nucleotide Ions: The Role of a Single Solvent Molecule*, J. Phys. Chem. Letters **5**, (2014) 1994 [M21, IF=6.585],
- [4] A. R. Milosavljević, V. Z. Cerovski, F. Canon, L. Nahon and A. Giuliani, *Nanosolvation-induced stabilization of protonated peptide dimer isolated in the gas phase*, Angew. Chem. Int. Ed. **52**, 7286 (2013) [M21, IF=13.734],
- [5] A. R. Milosavljević, F. Canon, C. Nicolas, C. Miron, L. Nahon and A. Giuliani, *Gas Phase Protein Inner-Shell Spectroscopy by Coupling an Ion Trap with a Soft X-ray Beamline*, J. Phys. Chem. Letters **3**, (2012) 1191 [M21, IF=6.585].

2.2 Предмет и циљ рада

Докторска дисертација кандидата је из уже научне области Физика атома и молекула, подобласт – Атомски сударни процеси. Предмет истраживања описаног у дисертацији је интеракција ВУВ и Икс синхротронског зрачења са изолованим и наносолватисаним биомолекуларним јонима заробљеним у јонској замци, као и развој потпуно новог система за експериментално истраживање интеракције електрона средњих енергија (реда 100 eV) са заробљеним јонима макромолекула у јонској замци.

Основна метода истраживања представља акциону спектроскопију, базирану на тандем масеној спектрометрији при фотонској или електронској активацији, у зависности од енергије пројектила. У оквиру прве тематике докторске дисертације (истраживање интеракције ВУВ и Икс фотона са заробљеним биомолекулима), циљ истраживања кандидата је био да се прикупе информације о структури и међумолекуларним интеракцијама, фундаменталним процесима електронске побуде биополимера и енергијама јонизације, на основу детаљних мерења фрагментације и јонизације молекула (пептида, протеина, нуклеотида и наведених наносолватисаних молекула) у функцији енергије фотона. У оквиру друге тематике (истраживање интеракције ВУВ и Икс фотона са заробљеним биомолекулима), циљ истраживања је био пре свега развој уређаја и нове експерименталне методе, али и мерења која би омогућила комплементарна истраживања истих мета при судару са електронима.

Експериментална мерења са фотонима захтевала су коришћење синхротронског зрачења, што је могуће само у оквиру добијених пројеката на синхротрону. Овим пројектима је руководио ментор кандидата. Кандидат је до сада учествовао на 6 оваквих пројеката на синхротрону СОЛЕИЛ поред Париза у Француској.

Симулације, дизајн и развој експерименталног система за истраживања у оквиру друге тематике урађен је на Институту за физику Универзитета у Београду. Експериментална поставка, повезивање са јонском замком и прва мерења урађени су на синхротрону СОЛЕИЛ у сарадњи са колегом А. Ђулијанијем (A. Giuliani).

Током рада на овој докторској дисертацији проучавани су следећи биомолекули: Leucine enkephalin (Leu-Enk), Adenosine monophosphate (AMP), Ubiquitin (Ubi), Cytochrome C (CytoC), Substance P (SubP).

Могућност изучавања процеса интеракције електрона и фотона са макромолекулима и комплексним биолошким системима изолованим под добро дефинисаним условима у гасној фази без утицаја околине, даје велики допринос у оквиру више научних и технолошких области. Фотонска спектроскопија високе резолуције омогућује истраживање физичко-хемијских особина мета и повезаности ових особина са њиховом примарном и секундарном структуром. Резултати добијени током рада на овој тези представљају пионирска мерења фрагментације пептида у ВУВ области, а добијене релативне зависности интензитета различитих канала фрагментације од енергије фотона омогућују детаљно студирање електронске структуре биополимера. Изучавање особина комплексних слабо везаних система, као што су хидратисани (наносолватисани) молекули је од значаја за разумевање процеса нековалентних интеракција у формирању просторне структуре и функције биополимера, као и утицаја солватације на радијационо оштећење. Током рада на овој тези урађена су прва истраживања интеракције фотона у ВУВ области са хидратисаним нуклеотидом (градивна јединица ДНК), као и детаљна мерења фрагментације наносолватисаних пептида, која омогућују истраживање процеса радијационог оштећења и улоге растварача код радијационог оштећења, на молекуларном нивоу под добро дефинисаним условима.

Електронска спектроскопија великих макромолекуларних јона изолованих у гасној фази у јонској замци представља нову димензију истраживања интеракције електрона са биомолекулима. Током рада на овој докторској дисертацији дизајниран је и конструисан први овакав систем у свету.

2.3 Публикације

Из садржаја ове дисертације проистекло је шест радова у водећим међународним часописима са импакт фактором преко 1.0, у којима је кандидат имао допринос. Кандидат је први аутор на три рада:

- [1] M. Lj. Ranković, F. Canon, L. Nahon, A. Giuliani, and A. R. Milosavljević, *VUV action spectroscopy of protonated leucine-enkephalin peptide in the 6-14 eV range*, J. Chem. Phys., **143**, (2015) 244311 [M21, IF=2.952],
- [2] M. Lj. Ranković, A. Giuliani and A. R. Milosavljević, *Electron impact action spectroscopy of mass/charge selected macromolecular ions: inner-shell excitation of ubiquitin protein*, Appl. Phys. Lett. **108**, (2016) 064101 [M21, IF=3.122],
- [3] M. Lj. Ranković, A. Giuliani and A. R. Milosavljević, *Design and performance of an instrument for electron impact tandem mass spectrometry and action spectroscopy of mass/charge selected macromolecular ions stored in RF ion trap*, Eur. Phys. J. D (2016, in press) [M22, IF=1.228].

2.4 Преглед научних резултата изложених у тези

Прва глава представља увод у тематику докторске дисертације и описује важност и могућности есперименталног истраживања интеракције електрона и фотона са великим биомолекулима изолованим у гасној фази под добро дефинисаним условима, као и спектроскопије јона. Друга глава садржи кратак генерални опис биомолекула који су коришћени у истраживању. Трећа глава даје врло кратак, основни опис ДФТ (“DFT – Density Functional Theory”) теоријске методе која је коришћена за разумевање неких разматраних мета и добијених резултата.

Четврта глава је веома садржајна. Први део ове главе, поглавља 4.1 – 4.4, даје кратак опис и објашњење важних уређаја и експерименталних техника коришћених у овој дисертацији (електроспреј јонизација, масена спектрометрија, квадруполни анализатор,

комерцијални масени спектрометар, синхротрон СОЛЕИЛ и експерименталне станице „PLEIADES“ и „DESIRS“). Други део, поглавља 4.5 и 4.6, даје веома детаљан опис експерименталних система коришћених и развијених у дисертацији. Поглавље 4.5. даје детаљан опис уређаја и процедура за фотонску спектроскопију. Поглавље 4.6 даје детаљан опис система за електронску спектроскопију јона заробљених у радио-фреквентној (РФ) замци, који је дизајниран, направљен и тестиран током овде дисертације. Поред описа електронске оптике, кандидат је приказао шеме електронских кола и начин рада и тестирање система који је дизајнирао, а који је омогућио добијање пулсног млаза електрона са спољном побудом. Пулсирање електронског млаза је остварено довођењем одређеног напона на супресор електроду унутар које је емисиона катода. Такође је приказан склоп вакуумских и електричних компонената развијених за потребе ове тезе.

Глава 5 садржи опис програмског пакета СИМИОН и урађених симулација. Резултати симулација су показали да је могуће простирање електронског млаза унутер РФ линеарне јонске замке на енергијама електрона које су коришћене у овој дисертацији. Такође су урађене симулације које показују могућност рада и на малим енергијама електрона, коришћењем веома кратких електронских пулсева који су усклађени са РФ пољем. Ове симулације дају перспективу могуће оптимизације и даљег развоја овог експерименталног система.

Глава 6 садржи добијене резултате и дискусију резултата. У поглављу 6.1 су описани резултати фотонске акционе спектроскопије биомолекула и наносолватисаних биомолекула, у ВУВ и Икс области енергије фотона. Добијени су веома детаљни резултати интеракције фотона у области (5-15) eV са пептидом „Leu-Enk“, који су омогућили детаљну анализу масених спектра и приноса јона у функцији енергије фотона, те анализу електронске структуре овог молекула и његовог димера. Такође су приказани резултати интеркације ВУВ фотона са ДНК „АМР“ нуклеотидом, као и истраживање утицаја његове хидратације са једним молекулом воде на процес фрагментације. Најзад, приказани су резултати акционе спектроскопије протеина побудом унутрашњих К љуски, што доводи до резонантне апсорпције фотона (или јонизације изнад прага) и емисије Ожеових електрона. Сви ови резултати представљају пионирски допринос у овој области.

Глава 6.2 садржи резултате и дискусију тестирања уређаја за електронску спектроскопију, као и акциону електронску спектроскопију протеина „Ubi“. Приказана су тест мерења са новим системом за електронску акциону спектроскопију, као и примери добијених масених спектра за више различитих молекула. Најзад, приказани су детаљније резултати истраживања електронске акционе спектроскопије протеина „Ubi“. Интересантно је да су масени спектри за електронску и фотонску побуду веома слични, што показује да процес јонизације не зависи круцијално од начина активације.

У додацима на крају тезе дати су СИМИОН програми за симулацију јонске замке.

3. Списак публикација кандидата

A. Радови у водећим међународним часописима (импакт фактор > 1):

- [A1] M. Lj. Ranković, A. Giuliani and A. R. Milosavljević,
Design and performance of an instrument for electron impact tandem mass spectrometry and action spectroscopy of mass/charge selected macromolecular ions stored in RF ion trap, Eur. Phys. J. D (2016, in press) [M22, IF=1.228].
- [A2] M. Lj. Ranković, A. Giuliani and A. R. Milosavljević,
Electron impact action spectroscopy of mass/charge selected macromolecular ions: inner-shell excitation of ubiquitin protein, Appl. Phys. Lett. **108**, (2016) 064101 [M21, IF=3.122],
- [A3] M. Lj. Ranković, F. Canon, L. Nahon, A. Giuliani, and A. R. Milosavljević,
VUV action spectroscopy of protonated leucine-enkephalin peptide in the 6-14 eV range, J. Chem. Phys., **143**, (2015) 244311 [M21, IF=2.952],
- [A4] A. R. Milosavljević, C. Nicolas, M. Lj. Ranković, F. Canon, C. Miron and A. Giuliani,
K-Shell Excitation and Ionization of a Gas-Phase Protein: Interplay Between Electronic Structure and Protein Folding, J. Phys. Chem. Letters **6**, (2015) 3132 [M21, IF=7.458],
- [A5] A. R. Milosavljević, M. Lj. Ranković, D. Borka, J. B. Maljković, R. J. Bereczky, B. P. Marinković and K. Tőkési
Study of electron transmission through a platinum tube, Nucl. Instr. Meth. **B** (2015), [M21, IF=1.186],

[A6] A. R. Milosavljević, V. Z. Cerovski, F. Canon, M. Lj. Ranković, N. Škoro, L. Nahon and A. Giuliani,

Energy-Dependent UV Photodissociation of Gas-Phase Adenosine Monophosphate Nucleotide Ions: The Role of a Single Solvent Molecule, J. Phys. Chem. Letters **5**, (2014) 1994 [M21, IF=6.585],

[A7] A. R. Milosavljević, V. Z. Cerovski, M. Lj. Ranković, F. Canon, L. Nahon, and A. Giuliani, *VUV photofragmentation of protonated leucine-enkephalin peptide dimer below ionization energy*, Eur. Phys. J. D **68**, (2014) 68 [M22, IF= 1.513].

Б. Радови у зборницима међународних конференција (М34):

[БИ-1] M. Lj. Ranković, F. Canon, L. Nahon, A. Giuliani and A. R. Milosavljević, *Photoinduced fragmentation of gas-phase protonated leucine-enkephalin peptide in the VUV range*, ICPEAC 2015, Toledo, Spain, Journal of Physics: Conference Series **635**, (2015) 012034. (M32)

[БП-1] J. B. Maljković, M. Lj Ranković, R. J. Bereczky, B. P. Marinković, K. Tőkési, A. R. Milosavljević, *Electron transmission through a metallic capillary*, ICACS-26 2013, Debrecen, Hungary, Poster presentation P23, p.59.

[БП-2] A. R. Milosavljević, J. B. Maljković, R. J. Bereczky, M. Lj. Ranković, B. P. Marinković and K. Tőkési, *Transport of electrons through a long metallic microcapillary: characterization of the outgoing low-energy electron beam*, CELINA 2013, Erlangen, Germany, Poster presentation P22, p.47.

[БП-3] A. R. Milosavljević, C. Nicolas, M. Lj. Ranković, F. Canon, C. Miron and A. Giuliani, *N K-Shell X-Ray Tandem Mass Spectrometry of Gas-Phase Ubiquitin Protein*, 27th SPIG 2014, Belgrade, Serbia, Poster Presentation 1.9, pp.54-57.

[БП-4] M. Lj. Ranković, J. Rackwitz, I. Bald and A. R. Milosavljević, *Optimization of a Low-Energy Electron Gun by Electron Ray-Tracing Simulations*, 27th SPIG 2014, Belgrade, Serbia, Poster Presentation 1.10, pp.58-61.

[БП-5] A. R. Milosavljević, M. Lj. Ranković, J. B. Maljković, R. J. Bereczky, B. P. Marinković and K. Tőkési, *Kinetic Energy Distribution of Electrons Scattered Inside a Platinum Tube at the Incident Energy of 200 eV*, 27th SPIG 2014, Belgrade, Serbia, Poster Presentation 2.11, pp.210-213.

[БП-6] M. Lj. Ranković, V. Cerovski, F. Canon, L. Nahon, A. Giuliani and A. R. Milosavljević, *VUV action spectroscopy of bare and hydrated protonated leucine-enkephalin peptide*, WG2 XLIC 2015, Fruška Gora, Serbia, Poster presentation P07, p.69

[БП-7] I. Bačić, M. Lj. Ranković, F. Canon, V. Cerovski, C. Nicolas, A. Giuliani and A. R. Milosavljević, *Gas-phase X-ray action spectroscopy of protonated nanosolvated substance P peptide around O K-edge*, WG2 XLIC 2015, Fruška Gora, Serbia, Poster presentation P08, p.71.

[БП-8] M. Ranković, V. Cerovski, F. Canon, L. Nahon, A. Giuliani and A. Milosavljević, *Photodissociation of protonated Leucine-Enkephalin peptide in the VUV range*, ICPEAC 2015, Toledo, Spain, Poster presentation MO-064.

[БП-9] J. Rackwitz, M. Lj. Ranković, A. R. Milosavljević and I. Bald, *Novel approaches to study low-energy electron-induced damage to DNA oligonucleotides*, ICPEAC 2015, Toledo, Spain, Poster presentation TU-096.

[БП-10] A. R. Milosavljević, M. Lj. Ranković, D. Borka, J. B. Maljković, R. Bereczky, B. P. Marinković and K. Tőkési, *Study of electron transmission through a metallic capillary*, ICPEAC 2015, Toledo, Spain, Poster presentation TU-106.

В. Радови у зборницима националих конференција (М63):

[БП-1] A. R. Milosavljević, M. Lj. Ranković, V. Z. Cerovski, F. Kanon, L. Naon, A. Đulijani, *Uticaj nanosolvatacije na stabilnost peptida izolovanog u gasnoj fazi*, XII Kongres fizičara Srbije, Vrnjačka banja, Srbija, 2013, Zbornik radova str. 304-307.

[БП-2] M. Lj. Ranković, M. Čelikić and A. R. Milosavljević, *Optimizacija rada elektronskog topa u opsegu energija 1-1000 eV*, XII Kongres fizičara Srbije, Vrnjačka banja, Srbija, 2013. Zbornik radova str. 312-315.

[БП-3] M. Lj. Ranković, M. Čelikić, A. R. Milosavljević, *Optimization of electron gun in continuous and pulsed operation modes*, CEAMPP 2013, Belgrade, Serbia, 2013, Contributed Papers pp.34-37.

4. Цитати

[A1] A. R. Milosavljević, V. Z. Cerovski, F. Canon, M. Lj. Ranković, N. Škoro, L. Nahon and A. Giuliani,

Energy-Dependent UV Photodissociation of Gas-Phase Adenosine Monophosphate Nucleotide Ions: The Role of a Single Solvent Molecule,

J. Phys. Chem. Letters **5**, (2014) 1994 [M21, IF=6.585],

1. S. Vogel, J. Rackwitz, R. Schürman, J. Prinz, A. R. Milosavljević, M. Réfrégiers, A. Giuliani and I. Bald, *Using DNA Origami Nanostructures to Determine Absolute Cross Sections for UV Photon-Induced DNA Strand Breakage*, J. Phys. Chem. Lett. **6**, (2015) 22.

2. C. Riml, H. Glasner, M. T. Rodgers, R. Micura and K. Breuker, *On the mechanism of RNA phosphodiester backbone cleavage in the absence of solvent*, Nucleic Acids Res. **43**, (2015) 10.

3. K. C. Prince, P. Bolognesi, V. Feyer, O. Plekan and L. Avaldi, *Journal of Electron Spectroscopy and Study of complex molecules of biological interest with synchrotron radiation*, J. Electron Spectros. Relat. Phenomena **204** (2015).

4. L. Blancafort, V. Ovejas, R. Montero, M. Fernández-Fernández and A. Longarte, *Triplet Mediated C–N Dissociation versus Internal Conversion in Electronically Excited N-Methylpyrrole*, J. Phys. Chem. Lett. **7**, (2016) 7.

[A2] A. R. Milosavljević, C. Nicolas, M. Lj. Ranković, F. Canon, C. Miron and A. Giuliani, *K-Shell Excitation and Ionization of a Gas-Phase Protein: Interplay Between Electronic Structure and Protein Folding*,

J. Phys. Chem. Letters **6**, (2015) 3132 [M21, IF=7.458],

1. S. Benkoula, O. Sublemontier, M. Patanen, C. Nicolas, F. Sirotti, A. Naitabdi, F. Gaielevrel, E. Antonsson, D. Aureau, F.-X. Ouf, S.-I. Wada, A. Etcheberry, K. Ueda and C. Miron, *Water adsorption on TiO₂ surfaces probed by soft X-ray spectroscopies: bulk materials vs. isolated nanoparticles*, Sci. Rep. **5**, (2015) 15088.

CONCLUSION

According to the presented material, this Commission Panel concludes that the candidate Miloš Ranković in his Doctoral Thesis entitled “PHOTON AND ELECTRON ACTION SPECTROSCOPY OF TRAPPED BIOMOLECULAR IONS – FROM ISOLATED TO NANOSOLVATED SPECIES“ has presented original and valuable scientific results that represent an important contribution to the field of ATOMIC AND MOLECULAR PHYSICS. Parts of this Doctoral Thesis have been published in leading international journals. Therefore, we conclude that this work can be accepted as a Doctoral Dissertation and propose to the Academic and Scientific Council of the Faculty of Physics to allow its defense.

ЗАКЉУЧАК

На основу изложеног комисија закључује да је кандидат МИЛОШ РАНКОВИЋ у докторској дисертацији под називом “PHOTON AND ELECTRON ACTION SPECTROSCOPY OF TRAPPED BIOMOLECULAR IONS – FROM ISOLATED TO NANOSOLVATED SPECIES“ („ФОТОНСКА И ЕЛЕКТРОНСКА АКЦИОНА СПЕКТРОСКОПИЈА ТРАПИРАНИХ БИОМОЛЕКУЛАРНИХ ЈОНА – ОД ИЗОЛОВАНИХ ДО НАНОСОЛВАТИСАНИХ ЧЕСТИЦА“) представио оригиналне научне резултате са значајним научним доприносом у области ФИЗИКЕ АТОМА И МОЛЕКУЛА. Делови тезе кандидата су публиковани у истакнутим међународним часописима. Стога сматрамо да овај рад може да буде прихваћен као докторска дисертација и

ПРЕДЛАЖЕМО

Наставно-научном већу Физичког факултета Универзитета у Београду да одобри њену јавну одбрану.

Београд, 19. 04. 2016.



др Александар Милосављевић
Научни саветник, Институт за физику,
Универзитет у Београду

др Братислав Маринковић
Научни саветник, Институт за физику,
Универзитет у Београду



dr Alexandre Giuliani
Beamline scientist,
Synchrotron SOLEIL, France

др Горан Попарић
Ванр. проф. Физичког факултета
у Београду

Проф. др Драгољуб Белић
Ред. проф. Физичког факултета
у Београду

Проф. др Наташа Недељковић
Ред. проф. Физичког факултета
у Београду