

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФИЗИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

ПРЕДМЕТ: Извештај Комисије за преглед и оцену докторске дисертације

На шестој седници Изборног и Наставно-научног већа Физичког факултета Универзитета у Београду, одржаној 25. 04. 2018. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидата Андреја Буњаца, дипломираног физичара, под насловом:

„ИЗРАЧУНАВАЊЕ НАСЕЉЕНОСТИ АТОМСКИХ СТАЊА, УГАОНЕ РАСПОДЕЛЕ И ЕНЕРГИЈСКОГ СПЕКТРА ФОТОЕЛЕКТРОНА КОД АТОМСКИХ СИСТЕМА У ЈАКИМ ЛАСЕРСКИМ ПОЉИМА ПРИМЕНОМ ВРЕМЕНСКИ ЗАВИСНИХ МЕТОДА“

Након увида у достављени материјал, подносимо Наставно-научном већу следећи

ИЗВЕШТАЈ

Основни подаци о кандидату

Андреј Буњац рођен је 03.12.1988. у Београду где је завршио основну школу и XIII београдску гимназију. Кандидат је уписао основне студије школске 2007/2008 године на Физичком факултету Универзитета у Београду, на смеру Примењена и компјутерска физика, а школске 2008/2009 године променио смер на Теоријска и експериментална физика. Основне студије је завршио школске 2010/2011. године са просечном оценом 9.43. Кандидат је уписао мастер студије школске 2011/2012. године и завршио их је са просечном оценом 10.0. Мастер рад под насловом "Модерна теорија поларизације диелектрика" одбранио је са оценом 10 под менторством др Татјане Вуковић. Докторске студије на Физичком факултету Универзитета у Београду уписао је школске 2012/2013. године на смеру Квантна, математичка и нанофизика, под менторством др Татјане Вуковић, а 2014/2015 променио смер на Физика атома и молекула под менторством др Ненада Симоновића. Од новембра 2014. године кандидат је запослен као истраживач приправник у Лабораторији за атомске сударне процесе Института за физику у Београду. Кандидат је одбранио тему доктората под насловом "Временски зависан опис фрагментационих процеса у мултифотонском и квазистатичком режиму код атомских система у јаким ласерским пољима", пред Колегијумом докторских студија, на Физичком факултету у Београду 11.12.2015. За ментора докторске дисертације је предложен др Ненад Симоновић. Кандидат је првопотписани аутор рада објављеног у врхунском међународном часопису (M21) и два рада објављена у међународним часописима (M23). Кандидат је своје резултате такође излагао на неколицини међународних скупова (M32, M33, M34). Сви наведени радови су у директној вези са темом докторске дисертације и тичу се резултата представљених у истој.

Радови кандидата из области доктората

РАД У ВРХУНСКОМ МЕЂУНАРОДНОМ ЧАСОПИСУ (M21)

A. Bunjac, D. B. Popović, N. S. Simonović, *Resonant dynamic Stark Shift as a tool in strong-field quantum control: Calculation and application for selective multiphoton ionization of sodium*, Phys. Chem. Chem. Phys., 2017, **19**, 19829

РАДОВИ У МЕЂУНАРОДНОМ ЧАСОПИСУ (M23)

A. Bunjac, D. B. Popović, N. S. Simonović, *Wave-packet analysis of strong-field ionization of sodium in the quasistatic regime*, European Physics Journal D **70**, 116 (2016)

A. Bunjac, D. B. Popović, N. S. Simonović, *Calculations of photoelectron momentum distributions and energy spectra at strong-field multiphoton ionization of sodium*, European Physics Journal D **71**, 208 (2017)

ПРЕДАВАЊЕ ПО ПОЗИВУ СА МЕЂУНАРОДНОГ СКУПА ШТАМПАНО У ИЗВОДУ (M32)

A. Bunjac, D. B. Popović and N. S. Simonović, *Calculation of the dynamic Stark shift for sodium and the application to resonantly enhanced multiphoton ionization*, 7th Conference on Elementary Processes in Atomic Systems (CEPAS), 3rd – 6th September 2017 Pruhonice, Czech Republic, Programme and Book of Abstracts ISBN 978-80-87351-46-8, Eds. M. Tarana, R. Čurik, p. 13

САОПШТЕЊА СА МЕЂУНАРОДНИХ СКУПОВА ШТАМПАНА У ЦЕЛИНИ (M33)

A. Bunjac, D. B. Popović and N. S. Simonović, *Strong-field ionization of sodium in the quasistatic regime*, Proc. 28th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases (SPIG), Book of Contributed Papers, eds. D. Marić, A. R. Milosavljević, B. Obradović, and G. Poparić (Faculty of Physics and SASA, Belgrade, 2016), p. 20-23.

A. Bunjac, D. B. Popović and N. S. Simonović, *Photoionization of sodium by a few femtosecond laser pulse – time-dependent analysis*, Proc. 28th Summer School and International Symposium on the Physics of Ionized Gases (SPIG), Book of Contributed Papers, eds. D. Marić, A. R. Milosavljević, B. Obradović, and G. Poparić (Faculty of Physics and SASA, Belgrade, 2016), p. 16-19.

S. M. D. Galijaš. N. N. Nedeljković, M. D. Majkić, A. B. Bunjac, *The effect of core polarization on the population of the Rydberg states of ARVIII ions escaping solid surface*, Proc. 25th Summer School and International Symposium on Physics of Ionized Gases (SPIG), 30th Aug – 4th Sept. 2010, Donji Milanovac, Serbia, Book of Contributed Papers and Abstracts of Invited Lectures, Topical Invited Lectures and Progress Reports, editors: L. Č. Popović and M. M. Kuraica, ISBN 978-86-80019-37-6, *Publ. Astron. Obs. Belgrade* No. 89, July 2010, ISSN: 0373-3742 pp. 101 – 104.

САОПШТЕЊА СА МЕЂУНАРОДНИХ СКУПОВА ШТАМПАНА У ИЗВОДУ (M34)

A. Bunjac, D. B. Popović and N. S. Simonović, *Calculation of probabilities and photoelectron angular distribution for strong field ionization of sodium*, 3rd General Meeting of XLIC (XUV/X-ray light and fast ions for ultrafast chemistry) COST Action CM1204, 2-4 November 2015 Debrecen, Hungary,

Programme and Book of Abstracts, Ed. P. Badanko, p. 29

A. Bunjac, D. B. Popović and N. S. Simonović, *Calculations of ionization probabilities for sodium in strong laser fields*, Proc. WG2 Expert Meeting on Biomolecules, COST Action CM1204, XLIC (XUV/X-ray Light and fast Ions for ultrafast Chemistry), 27-30 April, 2015, Fruška Gora, Book of Abstracts, eds. P. Bolognesi and A. Milosavljević, p. 59

A. Bunjac, D. B. Popović and N. S. Simonović, *Calculation of populations of energy levels of sodium interacting with an intense laser pulse and estimation of the resonant dynamic Stark shift*, The Sixth International School and Conference on Photonics (Photonica 2017), 28 August -1 September 2017 Belgrade, Book of abstracts, eds. M. Lekić and A. Krmpot (Institute of Physics, Belgrade, 2017) p. 178

ПРЕГЛЕД САДРЖАЈА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Докторски рад кандидата бави се проучавањем процеса јонизације код атомских система изложених јаким електромагнетним пољима. Разумевање механизма јонизације у оваквим системима од велике је важности јер представљају незаобилазан корак у разним сложенијим процесима као што су на пример јонизација изнад прага (енг. above threshold ionization – ATI), генерисање високих хармоника (енг. high-harmonic generation – HHG), несеквенцијална двострука јонизација (енг. non-sequential double ionization – NSDI), атомска стабилизација, итд. Са теоријског становишта проучавање ових процеса због великог интензитета поља захтева напуштање традиционалног прилаза преко теорије пертурбација. Уместо тога примену су нашли различити методи решавања временски зависне Шредингерове једначине еволуцијом таласног пакета.

Рад је подељен у осам глава: 1. Увод, 2. Штарков помак, 3. Аналитички опис јонизационих процеса, 4. Методи пропагације таласног пакета, 5. Квазистатички процеси код атома натријума, 6. Мултифотонски процеси код атома натријума, 7. Јонизација преко прага код атома натријума и литијума, 8. Закључак. Специфичности нумеричких метода коришћених у раду дати су у додацима.

У Уводу је дат кратак историјски осврт на испитивање ефеката који се јављају код атомских система у спољашњем електромагнетном пољу као и преглед литературе и новијих радова из те области. Поменути су и укратко описани теоријски прилази који се користе при анализи ових ефеката.

У глави 2 дат је стандардан теоријски опис једноелектронског модела атома у спољашњем статичком електричном пољу који даје аналитичке изразе за статички Штарков помак (развој у ред), као и Флокеова теорија и прилаз преко квазихармоника при рачунању динамичког Штарковог помака. У контексту свог истраживања, кандидат је такође дао осврт и на резонантне ефекте приликом динамичког Штарковог помака.

У глави 3 направљен је кратак осврт на постојеће аналитичке прилазе при опису динамике валентног електрона алкалних метала у електромагнетним пољима и аналитички изрази за стопу јонизације (формула Ландау-Лифшица за атом водоника и њена уопштења – формуле Переломов-Попов-Терентева (ППТ) и Амосов-Делоне-Краинова (АДК)).

У глави 4 кандидат представља неколицину нумеричких метода које користи у израчунавању

результата у свом раду. У питању су различите методе пропагације таласног пакета помоћу итеративног решавања временски зависне Шредингерове једначине. Кандидат дискутује применљивост ових метода у различитим сценаријима и оправдава свој избор методе коначних разлика другог реда као најефикасније међу њима. Поред тога, кандидат представља и моделни Хелманов потенцијал који је користио за опис енергијских нивоа алкалних метала.

У наредне три главе, кандидат је представио свој оригинални допринос и остварене резултате у овој области.

У глави 5, кандидат је проучавао *режим тунелирања* код атома натријума у ком су доминантни процеси јонизације тунелирање и прекобаријерна јонизација. У оквиру овог режима, кандидат се бави израчунавањем енергијског спектра као и стопе јонизације и испитивањем домена применљивости квазистатичке апроксимације за третирање временски зависног пулса ниске фреквенције. Добијене резултате, кандидат пореди са до сада познатим аналитичким теоријама из ове области као што су АДК и ППТ теорије, применљиве само за поља нижих интензитета, као и са нумеричким резултатима добијеним другачијим методама.

У глави 6, кандидат је проучавао *мултифотонски режим* јонизације код атома натријума у ком је главни механизам јонизације апсорпција једног или више фотона укупне енергије веће од јонизационог потенцијала. У оквиру овог режима кандидат се бави израчунавањем насељености побуђених стања, вероватноће јонизације, енергије и угаоне расподеле фотоелектрона. Велики удео истраживања такође чини и израчунавање динамичког Штарковог помака енергијских стања у јаким променљивим пољима за шта не постоји једноставан аналитички метод. Добијене резултате кандидат пореди са недавно објављеним експериментима као и са резултатима добијеним другачијим нумеричким методама.

У глави 7, кандидат је проучавао процесе јонизације преко прага (енг. Above Threshold Ionization – ATI) и резонантно појачаном мултифотонском јонизацијом (енг. Resonantly Enhanced Multiphoton Ionization – REMPI) код атома натријума и атома литијума. Кандидат се бави израчунавањем угаоних и импулсних расподела фотоелектрона, као и енергијских спектра за наведене атоме под дејством јаког ласерског поља. Добијене резултате кандидат пореди са недавно објављеним експериментима.

У закључку кандидат сумира резултате добијене током израде докторског рада.

ВРЕДНОВАЊЕ РЕЗУЛТАТА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

Сви циљеви постављени приликом пријаве теме докторске дисертације кандидата Андреја Буњаца су у потпуности остварени, а резултати истраживања, изнети у дисертацији представљају значајан и оригиналан допринос истраживању ефеката који се јављају при интеракцији атомских система са ласерским пољима.

Методи пропагације таласног пакета успешно су примењени за одређивање тачних вредности енергија најнижег стања натријума и стопе њихове јонизације (односно електронског откидања у случају јона) у функцији јачине спољашњег електричног поља у режиму тунелирања, као и насељености атомских стања и вероватноће јонизације, угаоне и импулсне расподеле фотоелектрона и енергијског спектра фотоелектрона у случају мултифотонског режима. Показано је да се добијени резултати одлично слажу са постојећим резултатима других аутора добијеним сличним методима као и са недавно публикованим експерименталним резултатима. Поред одређивања вредности наведених величина, значајан допринос ове дисертације је и представљање метода за рачунање динамичког Штарковог помака и резонантне ефекте приликом јонизације као и интерпретација добијених резултата која доприноси бољем физичком разумевању промена и процеса које се дешавају код атомских система под утицајем јаким спољашњим поља.

Кандидат Андреј Буњац испољио је висок степен самосталности у току израде докторске дисертације, која се огледа у овладавању научно-истраживачком методологијом, у способности проналажења одговарајућег метода за решавање постављених проблема, а посебно у конструкцији, тестирању и усавршавању нумеричких алгоритама који представљају конкретну имплементацију изабраног метода. Кандидат је такође демонстрирао високу поузданост при решавању различитих фаза проблема и добијању конкретних резултата.

ЗАКЉУЧАК

Кандидат Андреј Буњац је у докторској дисертацији „ИЗРАЧУНАВАЊЕ НАСЕЉЕНОСТИ АТОМСКИХ СТАЊА, УГАОНЕ РАСПОДЕЛЕ И ЕНЕРГИЈСКОГ СПЕКТРА ФОТОЕЛЕКТРОНА КОД АТОМСКИХ СИСТЕМА У ЈАКИМ ЛАСЕРСКИМ ПОЉИМА ПРИМЕНОМ ВРЕМЕНСКИ ЗАВИСНИХ МЕТОДА ” дао оригиналан научни допринос проучавању ефеката који настају при интеракцији атомских система са јаким ласерским пољима. С обзиром на актуелност проблематике испитивања атомских система у јаким пољима и остварене научне резултате кандидата, Комисија предлаже Наставно-научном већу Физичког факултета у Београду и Већу научних области природно математичких наука Универзитета у Београду да усвоје овај извештај и да се кандидату Андреју Буњцу одобри усмена јавна одбрана докторске дисертације.

др Ненад Симоновић, научни саветник,
Институт за физику у Београду

др Таско Грозданов, научни саветник,
Институт за физику у Београду

др Владимир Милосављевић, редовни професор
Физичког факултета Универзитета у Београду

др Горан Попарић, ванредни професор
Физичког факултета Универзитета у Београду