

ИНСТИТУТ ЗА ФИЗИКУ

ПРИМЉЕНО: 28-08-2024			
Рад.јед.	б р о ј	Арх.шифра	Прилог
0801	+1363/3		

Научном већу Института за физику у Београду

Извештај комисије за реизбор др Андреја Буњца у звање научни сарадник

На седници Научног већа Института за физику у Београду одржаној 6. августа 2024. године именовани смо у комисију за реизбор др Андреја Буњца 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 у Београду подносимо овај извештај.

1. СТРУЧНО-БИОГРАФСКИ ПОДАЦИ

Андреј Буњац рођен је у Београду 03.12.1988. године. Физички факултет, смер Теоријска и експериментална физика, завршио је 2011. године на Универзитету у Београду са средњом оценом 9.43. Мастер студије уписао је 2011. године на Физичком факултету универзитета у Београду и завршио 2012. године са просечном оценом 9.67. Докторске студије је уписао 2012. године на Физичком факултету Универзитета у Београду – смер Експериментална физика атома и молекула и завршио са средњом оценом 10.00.

Андреј Буњац је био у радном односу на Физичком факултету Универзитета у Београду од новембра 2012. до новембра 2014. године на пројекту МПНТР “*Карбоснке и неорганске наноструктуре ниске димензионалности*” под руководством Др Милана Дамњановића. У радном односу на Институту за физику Универзитета у Београду је од новембра 2014. године. Учествовао је на пројекту МПНТР “*Физика судара и фотопроеца у атомским, (био)молекулским и нанодимензионим системима*” под руководством Др Братислава Маринковића.

Осим на домаћим пројектима, учествовао је на три билателарна научна пројекта (Србија-Република Српска 2015, Србија-Немачка 2015, Србија-Аустрија 2016-2017), затим у COST акцијама: CA17126 под називом “*Towards understanding and modelling intense electronic excitation (TUMIEE)*” (2018-2022), CA18222 под називом “*Attosecond Chemistry (AttoChem)*” (2019-2024) и на пројекту FRAP OPM у сарадњи са немачким институтом “*Leibniz Institute for Photonic Technologies*” (2021-2024) под руководством др Зорана Грујића. Сарађивао је са лабораторијом JPL (Caltech) у изради рачунарских кодова за решавање Лапласове једначине на неуниформној мрежи као и пропагацију наелектрисане честице кроз тако израчунато поље.

2. ПРЕГЛЕД НАУЧНЕ АКТИВНОСТИ

Истраживачка област којом се кандидат бавио пре и након последњег избора у звање је интеракција јаких поља са атомским системима. У истраживањима су кориштени теоријски и нумерички методи који се углавном односе на решавање временски зависне Шредингерове једначине и анализу добијених резултата.

Истраживана је пре свега интеракција атомских система са јаким ласерским зрачењем која доводи до процеса мултифотонске и тунелне јонизације, што је била и тема докторске дисертације кандидата (*Израчунавање насељености атомских стања, угаоне расподеле и енергијског спектра фотоелектрона код атомских система у јаким ласерским пољима применом временски зависних метода*) коју је одбранио 2018. године под менторством др Ненада Симоновића. Кандидат је до сада објавио седам радова у међународним часописима, три пре последњег избора у звање и четири након тога. Поред тога коаутор је на великом броју публикација које се односе на саопштења на међународним и домаћим конференцијама.

I. Научна активност до претходног избора у звање научни сарадник

У периоду до претходног избора у звање научни сарадник кандидат је проучавао интеракцију атома алкалних метала, као што су атоми натријума и литијума, са јаким ласерским пољем који су изабрани због могућности рачунања у једноелектронској слици (због изузетно захтевних нумеричких процедура). На овим системима испитивани су ефекти јонизације у различитим режимима спољашњег електромагнетног поља, а рачунате су вероватноће јонизације, угаоне расподеле и енергијски спектар фотоелектрона, као и насељености побуђених стања након примењеног ласерског пулса, а све у циљу испитивања ефеката попут резонантно појачане мултифотонске јонизације (REMPI), јонизације преко прага (ATI), као и рачунања динамичког Штарковог помака. Резултати су објављени у 3 рада у међународним часописима и приказани као 5 саопштења на међународним конференцијама. Такође су били и садржај једног предавања по позиву на међународној конференцији.

1. Рачунање стопе јонизације атома натријума у режиму тунелирања у квазистатичкој апроксимацији

Кандидат је испрограмио нумеричку процедуру за рачунање стопа јонизације и енергија везаних стања код алкалних метала у ласерском пољу велике таласне дужине ($\sim 14 \mu\text{m}$) користећи моделни Хелманов потенцијал за опис система. При овако великим таласним дужинама могуће је користити квазистатичку апроксимацију. Кандидат је испитао домен важења квазистатичке апроксимације користећи симулацију реалног пулса за поређење. Показано је да се ова апроксимација може користити у домену у ком је Келдишев параметар $\gamma = \omega\sqrt{2I_p}/F$ мањи од 0.2. Резултати симулација су у добром слагању са објављеним резултатима на сличним системима. Сви добијени резултати приказани су на једној међународној конференцији и објављени у једном раду:

A. Bunjac, D. V. Popović, and N. S. Simonović,
“Wave-packet analysis of strong-field ionization of sodium in the quasistatic regime”,
Eur. Phys. J. D: At. Mol. Clusters & Opt. Phys. **70**(5), 116 (2016). [6 pp]
Topical Issue: Advances in Positron and Electron Scattering, P. Limao -Vieira, G. Garcia,
E. Krishnakumar, J. Sullivan, H. Tanuma and Z. Petrovic (Guest editors)
DOI: 10.1140/epjd/e2016-60738-0
<http://link.springer.com/article/10.1140%2Fepjd%2Fe2016-60738-0>
ISSN: 1434-6060
(Категорија M23)

2. Рачунање угаоних расподела и енергијског спектра фотоелектрона атома натријума и литијума у јаким ласерским пољима.

У оквиру мултифотонског режима нумерички је испитан атом натријума изложен кратким ласерским пулсевима у широком опсегу фреквенција и интензитета поља. Кандидат је опет испрограмирао нумеричку процедуру за еволуцију таласне функције помоћу решавања временски зависне Шредингерове једначине. Као резултат ове симулације дају вероватноће насељености атомских стања и показују услове при којима се одвија резонантно попуњавање. Интерполацијом добијених резултата предложен је метод за рачунање динамичког Штарковог помака под условом резонантности, као и метод за рачунање енергијског спектра фотоелектрона који репродукује профиле добијене услед резонантно појачане мултифотонске јонизације. Добијени резултати упоређени су недавно објављеним експерименталним подацима и дају добро слагање. Поред тога, рачунате су угаоне расподеле фотоелектрона атома натријума и литијума третираних интензивним ласерским пулсевима у трајању неколико десетина фемтосекунди. Из добијених профила импулсном простору израчунати су енергијски спектри који су упоређени са недавно објављеним експерименталним резултатима и дају добро слагање. Ови резултати објављени су у 2 рада:

A. Bunjac, D. B. Popović and 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. **19**, 19829-19836 (2017). [on-line 07.07.2017]
<https://doi.org/10.1039/C7CP02146A>
From themed collection XUV/X-ray light and fast ions for ultrafast chemistry
ISSN: 1463-9076
(Категорија M21)

A. Bunjac, D. B. Popović and N. S. Simonović,
“Calculations of photoelectron momentum distributions and energy spectra at strong-field multiphoton ionization of sodium”,
Eur. Phys. J D **71**(8), 208 (2017). [6pp, online 8 Aug.2017]
[doi: 10.1140/epjd/e2017-80276-5](https://doi.org/10.1140/epjd/e2017-80276-5)
Contribution to the Topical Issue: “Physics of Ionized Gases (SPIG 2016)”, Edited by G. Poparić,
B. Obradović, D. Maric and [A. Milosavljević](#).
ISSN: 1434-6060
(Категорија M23)

II. Научна активност након претходног избора

У периоду након претходног избора у звање кандидат је наставио са 1) проучавањем интеракцију атома натријума са јаким ласерским пољем. Поред тога отворене су две нове теме: 2) Хиперфино цепање и време живота најнижег нивоа позитронијума у јаким електричном пољу и 3) утицај Рабијеве динамике на енергијски спектар фотоелектрона насталих при резонантној двофотонској јонизацији атома јаким ласерским импулсима. Резултати су објављени у 3 рада у међународним часописима и приказани већем броју саопштења на међународним конференцијама.

1. Селективна вишефотонска јонизација натријума фемтосекундним ласерским импулсима: анализа парцијалних таласа

У оквиру ове теме проучавана је вишефотонска јонизација натријума фемтосекундним ласерским пулсевима таласне дужине 800 nm у опсегу ласерских пикова интензитета који припадају домену јонизације преко баријере. Расподела импулса фотоелектрона и енергетски спектри одређени су нумерички решавањем временски зависне Шредингерове једначине за три вредности интензитета ласера из овог домена. Положаји пикова који се односе на Фриманове резонанције у израчунатим спектрима слажу се са позицијама пикова у експериментално одређеним спектрима. Анализирајући ове пикове методом парцијалних таласа откривено је да је сваки пик суперпозиција доприноса фотоелектрона произведених резонантно појачаном вишефотонском јонизацијом преко различитих међустања. Показано је да је при одговарајућим интензитетима ласера могућа селективна јонизација, која се одвија претежно кроз једно међустање. Добијени резултати приказани су на више међународних и домаћих научних скупова и објављени у једном раду:

A. Bunjac, D. B. Popović, and N. S. Simonović,
"On the selective multiphoton ionization of sodium by femtosecond laser pulses: A partial-wave analysis",
Phys. Lett. A **394**, 127197 (2021). [6 pp]
<https://doi.org/10.1016/j.physleta.2021.127197>
(Категорија M22)

2. Хиперфино цепање и време живота најнижег нивоа позитронијума у јаком електричном пољу

Ова тема се бави додатном нестабилношћу позитронијума, који већ има коначан животни век услед анихилације, сада због могућности јонизације изазване електричним пољем. Прорачуни стопе јонизације коришћењем нумеричких метода показују да, у поређењу са анихилацијом, она постаје доминантна у опсегу јачине поља који припада режиму јонизације преко баријере (ОВИ). С друге стране, хиперфино цепање најнижег нивоа позитронијума опада у домену тунелирања, узимајући на почетку ОВИ-домена вредност која је око 20% нижа од вредности без поља. Како се јачина поља даље повећава, ово цепање варира прилично споро, али овде долази до додатног цепања нивоа триплета, чија је брзина упоредива са овом варијацијом. Коначно, показано је да су најнижи нивои енергије и стопе јонизације за атом водоника и позитронијум, одређени унутар грубе структуре, повезани са скалирајућим трансформацијама. Добијени резултати приказани су на више међународних и домаћих научних скупова и објављени у једном раду:

M. Z. Milošević, A. Bunjac, D. B. Popović and N. S. Simonović
"Hyperfine splitting and lifetime of the positronium lowest level in a strong electric field"
J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. **54**, 035001 (2021)
<https://doi.org/10.1088/1361-6455/abce96>
(Категорија M22)

3. Утицај Рабијеве динамике на енергијски спектар фотоелектрона насталих при резонантној двофотонској јонизацији атома јаким ласерским импулсима

У овој теми проучавани су ефекти Рабијеве динамике на енергијски спектар фотоелектрона, насталих при резонантној двофотонској јонизацији атома водоника јаким ласерским пулсевима, у које спадају асиметрија Аутлер-Таунсових дублета у спектрима и појава интерференционих образаца између пикова дублета. Под Рабијевом динамиком се подразумевају Рабијеве осцилације електронске популације између основног и побуђеног $2p$ стања атома водоника, изазване интензивним кратким ласерским пулсевима који резонантно спрежу два стања. Исти ласерско зрачење доводи до накнадне фотојонизације из побуђеног стања.

Спектри су рачунати применом методе временски зависних амплитуда коришћењем два приступа различитог нивоа апроксимације. Први приступ подразумева решавање комплетног скупа једначина за амплитуде, који поред амплитуда спрегнутих ($1s$, $2p$) и стања континуума, укључује и амплитуде других дискретних (мање значајних) стања. Други приступ је модел на три нивоа који укључује само амплитуде два спрегнута стања и стања континуума. Упоредивањем спектра добијених коришћењем ова два приступа потврђујено је да се померање Аутлер-Таунсових дублета, које постоји само у спектрима добијеним решавањем комплетног скупа једначина, може приписати динамичком Штарковом помаку, што је последица спреге са осталим стањима. Коначно, утврђено је да је асиметрија интензитета компонената Аутлер-Таунсових дублета, која се појављује у спектрима добијеним коришћењем оба нумеричка приступа, првенствено последица смањења вероватноће прелаза између $2p$ и стања континуума са повећањем енергије фотоелектрона.

Утврђено је да, за Гаусове, полугаусове и правоугаоне пулсеве, које карактерише иста пулсна површина, коначне популације имају исте вредности и да се спектри састоје од сличних образаца који имају исти број пикова и приближно исто раздвајање између Аутлер-Таунсових пикова. Додатна анализа преко „обучених стања“ показала је да је механизам формирања структура са вишеструким пиковима током процеса фотојонизације исти без обзира на облик пулса. Ове чињенице оповргавају хипотезу предложену у ранијим студијама са Гаусовим пулсом, да се образац вишеструких пикова појављује услед динамичке интерференције фотоелектрона емитованих са временским кашњењем на растућој и опадајућој страни пулса, пошто хипотеза није применљива ни на полу-Гаусов пулс који нема растући део ни на правоугаони пулс чији је интензитет константан. Ови резултати објављени су у 2 рада:

A. Bunjac, D. B. Popović and N. S. Simonović

"Analysis of the asymmetry of Autler-Townes doublets in the energy spectra of photoelectrons produced at two-photon ionization of atoms by strong laser pulses", *Eur. Phys. J. D* **76**, 249 (2022)

<https://doi.org/10.1140/epjd/s10053-022-00572-7>

(Категорија M23)

N. S. Simonović, D. B. Popović and A. Bunjac

"Manifestations of Rabi Dynamics in the Photoelectron Energy Spectra at Resonant Two-Photon Ionization of Atom by Intense Short Laser Pulses"

Atoms **11** (2), 20 (2023)

<https://doi.org/10.3390/atoms11020020>

3. ЕЛЕМЕНТИ ЗА КВАЛИТАТИВНУ ОЦЕНУ НАУЧНОГ ДОПРИНОСА КАНДИДАТА

3.1. Квалитет научних резултата

3.1.1. Научни ниво и значај резултата

Кандидат Андреј Буњац је од претходног избора у звање био коаутор на 4 научна рада.. Од тога су два рада објављена у истакнутим међународним часописима категорије M22, један у међународном часопису категорије M23, а један у међународном часопису који још увек нема категоризацију. Поменути радови су наведени у одељку 2.П. у оквиру прегледа научне активности након претходног избора.

Најзначајнији рад по мишљењу кандидата је:

A. Bunjac, D. B. Popović, and N. S. Simonović, “On the selective multiphoton ionization of sodium by femtosecond laser pulses: A partial-wave analysis”, *Phys. Lett. A* **394**, 127197 (2021),

у коме је анализирана селективна мултифотонска јонизација атома ултракратким ласерским импулсима, и који представља допринос у области тзв. квантне (кохерентне) контроле атомских и молекулских процеса.

Кандидат је такође имао 8 саопштења на међународним конференцијама као и 10 саопштења на скуповима од националног значаја.

3.1.2. Утицај научних радова

Објављени радови су запажени у међународној научној јавности и утицали су на истраживања у области интеракције јаких поља са атомским и молекулским системима других истраживачких група у свету. Ову чињеницу потврђује цитираност радова аутора у скоријим радовима тих група.

3.1.3. Позитивна цитираност научних радова

Према бази *Web of Science* радови Андреја Буњаца цитирани 33 пута (29 изузимајући аутоцитате). Према бази *Google Scholar* цитирани су 48 пута.

3.1.4. Параметри квалитета часописа

Кандидат Андреј Буњац је укупно објавио 4 научна рада у међународним часописима (од којих 3 имају категорију) и то:

1 рад у истакнутом међународном часопису *Physics Letters A* (M22, импакт фактор = 2.285 (2021), снп = 0.917)

1 рад у истакнутом међународном часопису *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics* (M22, импакт фактор = 1.778 (2021), снп = 0.713)

1 рад у међународном часопису *Atoms* (нема категорију, импакт фактор = 1.8 (2023), снп = 0.761)

1 рад у међународном часопису *The European Physical Journal D* (M23, импакт фактор = 1.3 (2022), снп = 0.604)

	ИФ	М	СНИП
Укупно	7.163	13	2.995
Усредњено по чланку	$7.163/4=1.791$	$13/3=4.333$ ($13/4=3.250$)	0.749
Усредњено по аутору	2.240	3.917	0.939

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

Кандидат Андреј Буњац је у свим радовима био главни конструктор компјутерских кодова, укључујући и паралелизацију истих, у чему је показао апсолутну самосталност. Такође је извршио већину нумеричких израчунавања и прикупљања података и учествовао у њиховој анализи.

3.1.6. Редослед и број коаутора

Кандидат је од претходног избора у звање био коаутор на 4 научна рада, од чега три рада имају 3 коаутора, а један има 4. Он се у 2 рада појављује као први аутор где је дао кључни допринос.

3.2. Нормирање броја коауторских радова, патената и техничких решења

Радови Андреја Буњца имају 3-4 аутора те се признају са пуним бројем поена јер су резултати у свим радовима добијени користећи нумеричке методе. Укупан број поена које је кандидат остварио је 21 што је више од захтеваног минимума (16) за избор у звање научни сарадник.

3.3. Учешће у пројектима, потпројектима и пројектним задацима

Кандидат је учествовао на *COST* акцији *CA18222 "Attosecond Chemistry"* од 2019. до 2023. године као и на *COST* акцији *CA17126 "Towards understanding and modelling intense electronic excitation"* од 2018. до 2022. уз неколицину саопштења на конференцијама као и објављених радова унутар наведених акција. Кандидат је такође учествовао на пројекту *FRAP OPM* у сарадњи са немачким институтом "Leibniz Institute for Photonic Technologies" под руководством др Зорана Грујића. Коначно, кандидат је учествовао у сарадњи са лабораторијом *JPL (Caltech)* у изради рачунарских кодова за решавање Лапласове једначине на неуниформној мрежи као и пропагацију наелектрисане честице кроз тако израчунато поље.

3.4. Утицај научних резултата

Утицај научних резултата кандидата описан је у одељцима 3.1.2 и 3.1.3.

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

Кандидат је своје научне активности реализовао у Институту за Физику Београд. Значајно је допринео сваком раду у ком је учествовао. Његов допринос је пре свега у креирању нумеричких кодова за опис интеракције атома са јаким ласерским пољима и реализацији нумеричких прорачуна, а затим и у анализи истих, као и у писању радова. Осим тога, кандидат је учествовао у сарадњи са лабораторијом JPL (Caltech) у изради рачунарских кодова и њиховој примени.

4. ЕЛЕМЕНТИ ЗА КВАНТИТАТИВНУ АНАЛИЗУ НАУЧНОГ ДОПРИНОСА

Кандидат се по први пут изабира у звање научног сарадника те је кандидат обавезан да испуни минималне квантитативне резултате потребне за избор у научно звање научни сарадник у групацији за природно-математичке и медицинске науке. Преглед броја остварених радова по М категоријама је дат у следећим табелама:

Радови објављени у научним часописима од међународног значаја, научна критика; уређивање часописа (M20):

	број	вредност	укупно
M22	2	5	10
M23	1	3	3

Зборници са међународних научних скупова (M30):

	број	вредност	укупно
M33	4	1	4
M34	4	0.5	2

Предавања попозиву на скуповима националног значаја (M60):

	број	вредност	укупно
M64	10	0.2	2

Поређење са захтеваним критеријума од министарства науке:

Научни сарадник	Поени који треба да припадају следећим категоријама	Неопходно	Остварено
Обавезни (1)	M10+M20+M31+M32+M33+M41+M42	10	19
Обавезни (2)	M11+M12+M21+M22+M23	6	13
Укупно	Све категорије	16	21

5. ЗАКЉУЧАК

Имајући у виду квалитет резултата добијених у научном раду као и свеукупан досадашњи научни рад др Андреја Буњца и број објављених публикација који премашује минималне прописане квантитативне услове за избор у звање научни сарадник, закључујемо да кандидат испуњава све квантитативне и квалитативне услове за реизбор у научно звање научни сарадник који су прописани Правилником о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Због тога нам је задовољство да предложимо Научном већу Института за физику у Београду да усвоји овај извештај и да донесе одлуку о прихватању предлога за реизбор др Андреја Буњца у звање научни сарадник.

У Београду, 25. августа 2024. године

Чланови комисије:

N. Simonović

др Ненад Симоновић
научни саветник, Институт за физику у Београду

Đorđe Đukić

др Душка Поповић
научни саветник, Институт за физику у Београду

Goran Poparić

проф. др Горан Попарић
редовни професор Физичког факултета у Београду