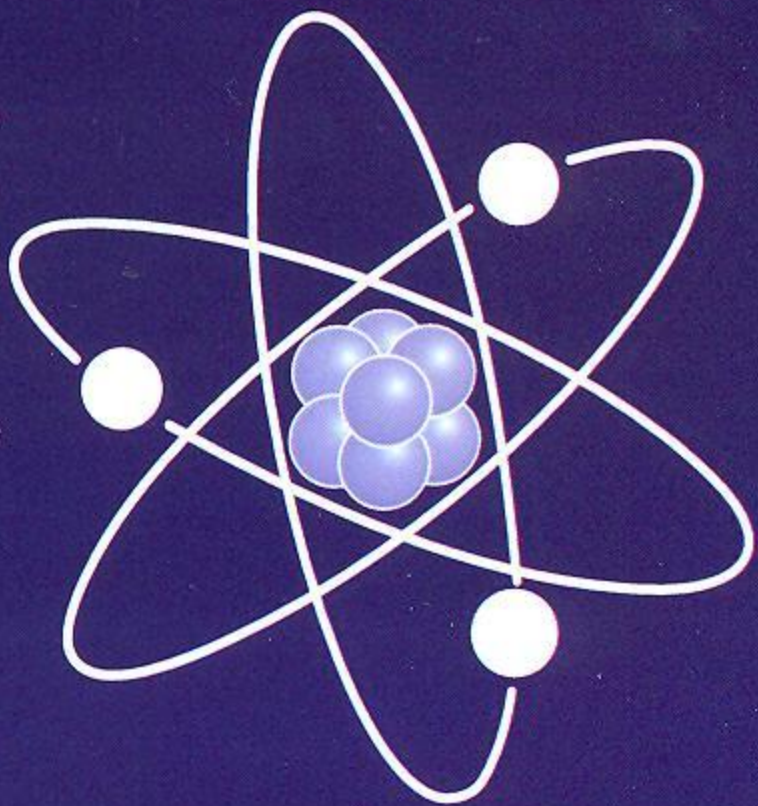


УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ
СТУДИЈСКИ ПРОГРАМ
ФИЗИКА

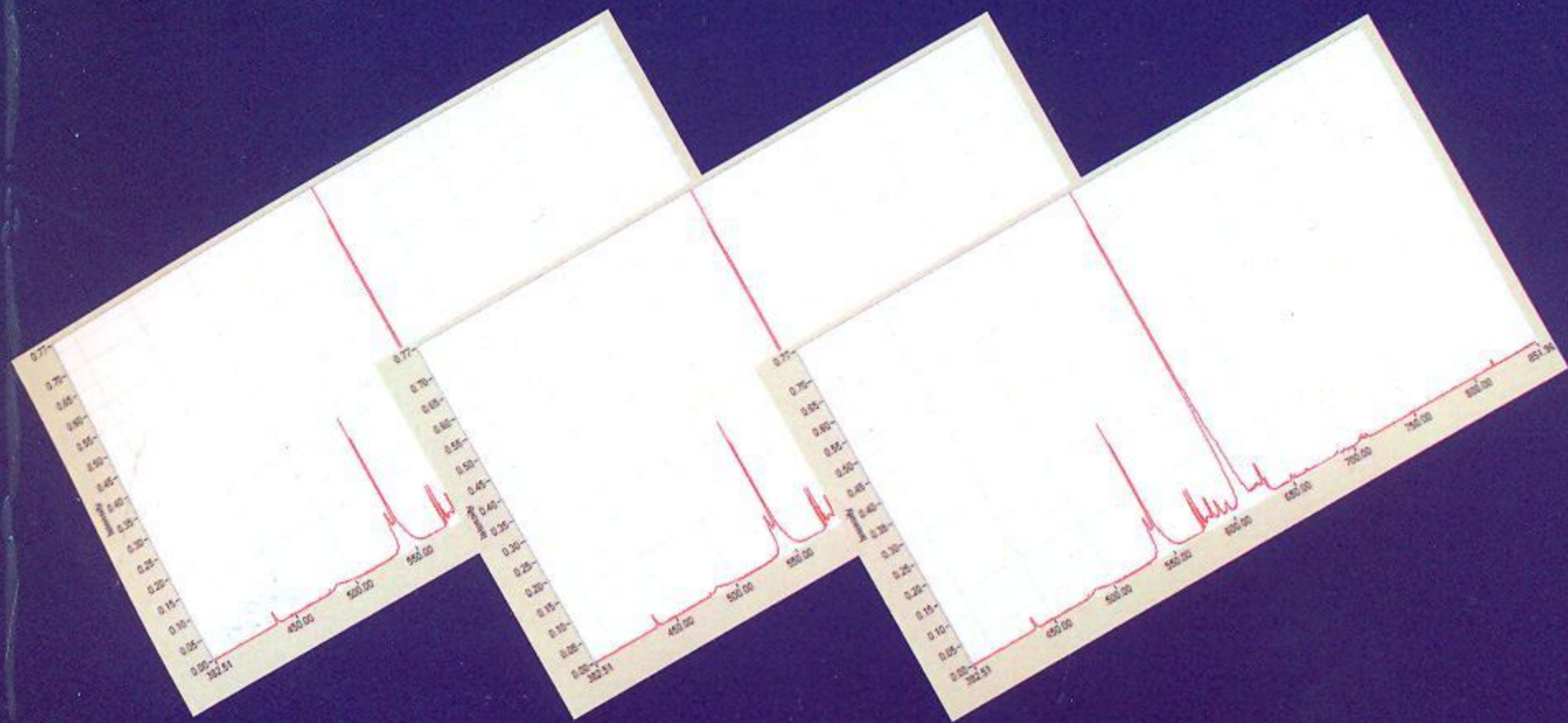
PHYSICS

B a n j a L u k a



ЗБОРНИК

РАДОВА



Бања Лука, 22.09.-24.09.2010. године

<http://www.fizika.rs.ba/Physics2010BL/sr/>

ЗБОРНИК РАДОВА "PHYSICS 2010" БАЊА ЛУКА | ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ



Универзитет у Бањој Луци
Природно-математички факултет
Студијски програм физика
Бања Лука

University of Banja Luka
Faculty of sciences
Department of Physics
Banja Luka

Физика 2010 БЛ
Physics 2010 BL

22.-24. септембар 2010., Бања Лука,
Република Српска, БиХ
22.-24. September 2010, Banja Luka
Republic of Srpska, BiH

Уредик:

Бранко Предојевић
Универзитет у Бањој Луци, Природно-математички факултет, М. Стојановића 2,
78 000 Бања Лука, Република Српска, БиХ

E-mail: bpredojevic@teol.net

Рецензенти:

Братислав Маринковић
Институт за физику, Прегревица 118,
11080 Земун, Република Србија

Лука Поповић
Астрономска Опсерваторија, Волгина 7,
11060 Београд, Република Србија

Технички уредник:
Милан Поповић, Природно-математички факултет, Бања Лука

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна и универзитетска библиотека
Републике Српске, Бања Лука

53(082)
52(082)

НАУЧНИ скуп "Физика 2010 БЛ" (2010 ; Бања Лука)
Физика 2010 БЛ = Physics 2010 BL : [зборник
радова са научног скупа], 22-24. септембар 2010.
Бања Лука / [организатор] Природно-математички
факултет Бања Лука, Студијски програм физика ;
уредник Бранко Предојевић]. - Бања Лука :
Природно-математички факултет, 2011. - 239 стр. :
илустр. ; 24 цм + 1 CD

Тираж 100. - Библиографија уз сваки рад. -
Резимеи на срп. и енгл. језику уз сваки рад.

ISBN 978-99955-21-21-9
1. Природно-математички факултет. Студијски
програм физика (Бања Лука)

COBISS.BH-ID 1948696

Садржај:

Предавања по позиву:

З. Љ. Петровић

Транспорт наелектрисаних честица у гасовима.

1

**Б. П. Маринковић, Д. Шевић, Б. Предојевић,
В. М. Пејчев, С. Д. Тошић, М. С. Рабасовић, В. Д. Бочварски,
Б. А. Петрушевски, Н. С. Николић и Д. Радосављевић**

Електрон - метал атом судари и базе података.

13

С. Буквић

Један метод за кориговање ефеката самоапсорпције.

47

Н. Симоновић

Временски зависан опис атомских и молекулских фрагментационих процеса.

57

П. Јовановић

Утицај гравитационих сочива на спектар квазара.

83

М. Савић, М. Радмиловић-Рађеновић

Моделовање интеракција плазме са површинама.

101

А. Р. Милосављевић

Истраживања на синхротронима најновије генерације - SOLEIL.

111

Саопштења:

Секција: Спектралне линије као алат за истраживања у физици и астрофизици:

Е. Бон, Л. Ч. Поповић

Анализа кинематичких карактеристика плазме у централним деловима активних галаксија на основу емитованог спектра.

123

Д. Илић, Л. Ч. Поповић

Физичке особине широколинијског региона код активних галактичких језгара.

145

А. Ковачевић, Л. Ч. Поповић, Д. Илић

Дугопериодичне промене у оптичком спектру активних галактичких језгара; примери NGC4151 и 3C390.3.

157

С. Симић, Л. Ч. Поповић

Преглед истраживања феномена гама блескова.

163

З. Симић

Штарково ширење спектралних линија тешких метала у атмосферама топлих звезда.

173

Секција: Судари електрона са атомима и молекулама

С. Тошић, Д. Шевић, В. Пејчев, Б. П. Маринковић

Диференцијални пресеци за расејање електрона на атомима сребра и олова.

181

Б. Томчик

Производња и примена кисеоничке плазме у третирању површина материјала.

191

Ј. Б. Маљковић, А. Р. Милосављевић, Д. Шевић, Б. П. Маринковић

Мерење апсолутних диференцијалних пресека за еластично расејање електрона на малим биомолекулама.

201

Секција: Физика плазме

Ж. Никитовић

Утицај радикала на пражњења у реалним применама.

213

О. Шашић, С. Дупљанин, С. Дујко, Ј de Urquiјо, З. Љ. Петровић

Најновији комплети пресека за расејање електрона у гасовима добијени техником ројева.

221

Н. Шкоро, Д. Марић, Г. Маловић, З. Љ. Петровић

Особине и могуће примене микропражњења.

233

Предговор

Овај зборник има карактер монографије која садржи изабране радове на тематику истраживања којој гравитирају истраживачке групе са научних института на Универзитету у Београду и Студијског програма за физику Природно-математичког факултета Универзитета у Бањој Луци. Приказани су резултати у три актуелене области физике и астрофизике: спектралне линије као алат за истраживања у физици и астрофизици, судари електрона са атомима и молекулама и физика плазме.

Организатори су свјесни да избор тема и радова не покрива укупне резултате заједничких истраживања у којима су учествовали истраживачи из Републике Србије (Институт за физику у Земуну, Астрономска опсерваторија у Београду, Физички факултет у Београду, Математички факултет у Београду) и Природно-математичког факултета (Студијски програм физика) у Бањој Луци, али се надају да је та сарадња представљена у одговарајућој мјери. Због тога овај зборник и има, у ширем смислу, карактер монографије о сарадњи набројаних образовних и научно-истраживачких институција у времену од 2000. до 2010. године.

Скуп је под називом „Физика 2010 БЛ“ одржан на Природно-математичком факултету у Бањој Луци од 22. до 24. 09. 2010. Финансијска средства за одржавање скупа добијена су од Министарства за науку и технологију Републике Српске којем се овом приликом захваљујемо. Такође се захваљујемо свима који су својом активношћу допринијели успјешном раду овог научног скупа.

Организациони одбор

Физика 2010 БЛ

Научни одбор

Драгољуб Мирјанић, предсједник, Академија наука и умјетности
Републике Српске, Бања Лука, Република Српска, БиХ

Зоран Петровић, Институт за физику, Земун, Република Србија

Лука Поповић, Астрономска опсерваторија Београд, Република Србија

Братислав Маринковић, Институт за физику, Земун, Република Србија

Синиша Игњатовић, ПМФ Бања Лука, Република Српска, БиХ

Организациони одбор

Бранко Предојевић, ПМФ Бања Лука, предсједник

Синиша Вученовић, ПМФ Бања Лука,

Дупљанин Сњежана, ПМФ Бања Лука,

Сретен Лекић, ПМФ Бања Лука

Милан Поповић, ПМФ Бања Лука

Предавања по позиву

ЕЛЕКТРОН-МЕТАЛ АТОМ ИНТЕРАКЦИЈЕ И ИНФОРМАЦИОНИ СИСТЕМ У ФИЗИЦИ АТОМСКИХ СУДАРА

*Б. П. Маринковић^{1,2}, Д. Шевић¹, Б. Предојевић³, В. М. Пејчев⁴, С. Д. Тошић¹, М. С. Рабасовић¹, В. Д. Бочварски⁴, Б. А. Петрушевски²,
Н. С. Николић² и Д. Радосављевић²*

¹*Институт за физику, Универзитет у Београду, Београд, Србија*

²*Висока школа за електротехнику и рачунарство струковних
студија, Београд, Србија*

³*Природно математички факултет, Универзитет у Бања Луци,
Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина*

⁴*Природно математички факултет, Универзитет у Крагујевцу,
Крагујевац, Србија*

Сажетак. У раду је истакнут значај истраживања интеракција електрона са атомима метала који поред општих сазнајно теоријских основа везаних за изоловане атоме метала, постоји и у биомолекуларним основама медицине где се интеракције електрона јављају са комплексима молекула који садрже метални јон. Описани су експериментални методи и апаратура на којој су добијени резултати еластичног и нееластичног расејања електрона на атомима метала. Посебно су разматрани проблеми одређивања апсолутних вредности диференцијалних пресека, утицај ефективне корекционе запремине, поступак нормирања на функцију расејања унапред (forward scattering function), као и сложене зависности напона паре метала од температуре. Приказана су два помоћна програма развијена у Лабораторији за физику атомских сударних процеса, Института за физику који су омогућили ефикасније извођење и обраду резултата експерименталног расејања. У самом експерименту са укрштеним електронским и атомским млазом остварени су услови за посматрање бинарних судара електрона са атомским честицама, у овом случају атомима метала. Моноенергијски млаз електрона се формира помоћу полусферног селектора и система цилиндричних сочива. Он се под правим углом расејава на ефузионом млазу атома који се формира грејањем пећи Кнудсеновог типа. Измерени су диференцијални пресеци за еластично расејање и екситацију стања атома из прве групе (Na, Rb), друге групе (Mg, Ca), једанаесте групе (Ag), дванаесте групе (Zn, Cd, Hg), као и тежих елемената

Периодног система (In, Sb, Yb, Pb, Bi). Поред диференцијалних пресека, приказани су и резултати интегралних пресека, пресека за пренос импулса и пресека вискозности. Општа особина пресека код атома метала, која се може уочити у спектрима губитака енергије, јесте у израженој висини пика резонантног прелаза у односу на висину пика еластичног расејања. Ово је супротно ономе што се запажа код молекула код којих је доминантан пик за еластично расејање. Упадне енергије електрона (E_0) се крећу у границама од 10 до 100 eV и обично је то стандардизован сет енергија (10, 20, 40, 60, 80 и 100 eV). Углови расејања су у интервалу од 1° до 150° за ексцитацију, односно од 10° до 150° за еластично расејање. Апсолутне вредности пресека за резонантна стања су добијене нормирањем релативних вредности на оптичку јачину осцилатора, док су апсолутне вредности еластичног расејања и осталих нерезонантних ексцитација добијене помоћу количника интензитета еластичног, односно нееластичног пика и резонантног пика на одређеном углу расејања. Прорачуни других аутора су поређени са нашим експерименталним резултатима и истакнути су проблеми како у теоријском тако и у експерименталном одређивању пресека.

Посебно је у раду приказан развој информационог система (ИС) у физици атомских сударних процеса, развој базе података заснован на постојећим мерењима у нашој Лабораторији као и на оним резултатима других аутора који су релевантни за постојећи избор атома мета. Циљ развоја овог ИС је вишеструк (планирање и организација истраживања, извор података, преглед литературе). Он је заснован на декомпозицији чланка од стране експерта и евалуацији сета података и примењених метода. Поред ИС који се развија, дат је приказ постојећих база података из електрон-атомских судара.

Abstract. Here we present the results of experimental research in atomic collision physics which is of relevance in the domain of electron-metal atom scattering and information systems. Beside the general importance for the interactions with isolated atoms, there is also a particular relevance of this research connected with the biomedical implications of scattering by molecular complexes that involve metal ions as their constituents. Experimental methods as well as apparatus are described together with the results for the elastic and inelastic electron scattering by metal atoms. Determination of absolute values for differential cross sections (*DCS*) is discussed in conjunction with the influence of effective volume correction factors (V_{eff}) and normalization procedure that is based on the

forward scattering function. Two particular software modules, one for determination of V_{eff} and the other for temperature dependence of metal vapour pressure, are developed in the Laboratory for Atomic Collision Processes, Institute of Physics with the aim to facilitate the performance of the experiment and data processing. In the crossed beam arrangement of the experiment, the binary collisions are favoured. Monoenergetic electron beam is obtained by means of hemispherical selector and it is focused by cylindrical electrostatic lenses. Electron beam is perpendicularly crossed by effusive atomic beam formed by heating of Knudsen type oven. Differential cross sections are presented for elastic scattering and inelastic excitation of atoms from the first column (Na, Rb), second column (Mg, Ca), eleventh column (Ag), twelfth column (Zn, Cd, Hg), as well as heavier elements of Periodic Table (In, Sb, Yb, Pb, Bi). Also integrated cross sections: integral, momentum transfer and viscosity, are determined. General observation for energy loss spectra of metal atoms is that the resonance peak is more pronounced than elastic one. This is contrary to the observations in molecules where the elastic peak dominates over all energy loss features. Incident electron energies (E_0) utilized in the experiment are between 10 eV and 100 eV with the usually chosen standardized set (10, 20, 40, 60, 80 and 100 eV). Scattering angles are from 1° to 150° for the excitations, while for the elastic scattering they span from 10° to 150° . Absolute values for the resonance states are obtained by normalization of relative differential cross sections to the optical oscillator strengths, while the absolute values for the elastic scattering and excitations other than resonance are obtained from the intensity ratios at particular scattering angle(s). Calculations of *DCSs* from other authors are compared with our results and several issues of their determination are discussed in the framework of different theoretical approximations and experimental difficulties.

Special attention is devoted to the development of an Information System (IS) in the physics of atomic collision processes. This information system is based on the data base related to the existing measurements in our Laboratory as well as on data of the other authors who performed calculations and/or experiments on the targets of relevance in the present study. The aim of the IS development is multifold, it should serve for planning and organization of the research, to be a source of the data and literature on specific topic, etc. It is based on the decomposition of the articles by the experts in the field and on the evaluation of the data sets and applied methods used in investigations. Beside the present IS, the overview of the existing data bases in electron-atom collisions is given.

1. УВОД

Интеракције електрона са атомским честицама, пре свега атомима инертних гасова а затим са атомима металних пара, малим молекулима (двоатомским, троатомским и четвороатомским) као и вишеатомским молекулима који су од значаја било за техничке примене или у биологији и биомедицини, представљају дугогодишњи објекат истраживања у Лабораторији за физику атомских сударних процеса Института за физику Универзитета у Београду. Прва објављена истраживања представљају разматрање и конципирање будућих експеримената и разраду експерименталних метода [1,2] од стране оснивача Лабораторије, професора Милана Курепе и сарадника. Ускоро су следили први резултати експерименталних истраживања расејања електрона обављени у Београду и објављени у радовима Вушковићеве и коаутора [3] и Курепе и коаутора [4-7]. Први теоријски радови представљају резултате истраживања зависности закона прага за јонизацију [8] и ексцитацију [9] у судару електрона са атомом водоника, као и резултате процеса захвата електрона у сударима позитивних мезона са водоником [10,11] и хелијумом [11], и сударима атома водоника и хелијума са алфа честицама [12].

Развој експерименталних техника електронске спектрометрије које су почеле да се примењују у Београду, текао је на основама истраживања наших сарадника како у иностранству тако и у земљи. Боравком М. Курепе на Универзитету у Ливерпулу (*University of Liverpool*) код професора Крегса (J. D. Craggs) започета су истраживања процеса захвата електрона и јонизације код молекула кисеоника, угљенмоноксида и угљендиоксида [13,14] као и пресека за јонизацију атома племенитих гасова [15]. У Сједињеним Америчким Државама, на Јел Универзитету (*Yale University*) боравио је А. Стаматовић код професора Шулца (G. J. Schulz) и ту је развио нову врсту електронског монохроматора, такозваног трохоидног монохроматора у укрштеном магнетском и електричном пољу [16,17]. Користећи направљен монохроматор и масени спектрометар са хлађеном сударном комором, посматрани су процеси дисоцијативног захвата електрона на молекулу угљендиоксида и одређени су пресеци за вибрациону ексцитацију фрагмената угљенмоноксида [18]. У сарадњи са Универзитетом у Јорку (*University of York*) развијани су елементи електронске оптике [19], а на Универзитету у Манчестеру (*Manchester University*) развијена је нова техника електронске спектроскопије прагова [20]. Користећи овај вид спектроскопије извршена су мерења судара електрона са атомом хелијума и одређени су 2^3S касп (*cusp*) и 2^2S резонанца [21] и експериментално потврђена енергијска зависност пресека за јонизације на прагу [22]. Истовремено, у Паризу су изучаване вибрационе моде основног стања молекула угљендиоксида изазваних ударом електрона ниских енергија [23] и угаоне зависности негативних јона кисеоника насталих из дисоцијативног захвата електрона на молекулу угљендиоксида [24]. У Београду су настављена теоријска истраживања закона прага за јонизацију и ексцитацију ударом електрона [25] као и експериментална истраживања диференцијалних пресека на атомима

племенитих гасова [26] и процеса јонизације и дисоцијативног захвата на вишеатомским молекулима [27].

Експериментална истраживања расејања електрона на атомима пара метала интензивно се обављало у два центра у Великој Британији, у Манчестеру и Саутемптону. У овим центрима су боравили и наши истраживачи. Д. Цвејановић је боравила у Манчестеру и учествовала у дизајнирању ефикасне пећи за добијање ефузивног млаза атома кадмијума [28] док је В. Пејчев боравио на докторским студијама у Саутемптону и ту изучавао побуде аутојонизационих стања атома метала и спектре избачених електрона на атому натријума [29]. Студије избачених електрона су проширене на низ мета из Периодног система елемената који спадају у метале. То су пре свега паре метала Cd [30,31], Li [32,33], K [34], Rb [35], Cs [36,37], Mg [38,39] и Ca [40].

Остали светски центри у којима су се истраживале бинарне интеракције електрона са атомима метала експерименталним методама су релативно малобројни: JPL (*California Institute of Technology, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, U.S.A.*), NYU (*New York University, U.S.A.*), JILA (*Joint Institute for Laboratory Astrophysics, University of Colorado and NIST, Boulder, U.S.A.*), IEP (*Institute of Electron Physics, National Academy of Sciences of Ukraine*), ANU (*The Australian National University, Atomic and Molecular Physics Laboratories*) и други. Наши истраживачи остварују интензивне везе са овим центрима кроз дуже и краће боравке и кроз научну сарадњу на истраживању пара атома метала, те објављују заједничке публикације: Л. Вушковић борави у JPL и NYU, Б. Маринковић у JILA и посећује IEP, Р. Панајотовић борави у ANU.

На осмој конференцији о физици јонизованих гасова (SPIG) одржаној 1976. године у Дубровнику уводно предавање посвећено изучавању сударних пресека електрона са атомима метала држи професор Шандор Трајмар (S. Trajmar) са JPL лабораторије [41]. Овом приликом представљен је експериментални уређај, електронски спектрометар, посебно прилагођен експериментима са парама метала. Такође представљени су резултати мерења диференцијалних пресека за читав низ атома метала, почевши од оних са нижим тачкама топљења (алкалних метала) па до атома бакра за који је потребна температура од око 1700 K за добијање ефузионог млаза атома метала који би обезбедио довољан интензитет сигнала расејаних електрона. Ово предавање подстиче рад на новом спектрометру намењеног изучавању пара метала а посебно ће се остварити научна сарадња са институцијом JPL лабораторија. Током боравка др Л. Вушковић у JPL лабораторији обављена је читава серија експеримената расејања неполаризованих млазева електрона са атомима алкалних метала Li [42], Na [43], K [44] и Rb [45]. Ови експерименти постају референца на коју су се ослањали потоњи експерименти у Београду, како у погледу спектра губитака енергије тако и у погледу одређивања апсолутних вредности диференцијалних пресека и облика њихових зависности од угла расејања.

Током друге половине седамдесетих година двадесетог века, започела је изградња новог електронског спектрометра у Институту за

физику у Београду под руководством др Лепосаве Вушковић, а посвећеног истраживањима на парама метала и одређивању диференцијалних пресека за еластично расејање електрона и ексцитацију електронских стања ових атома. Изградња ове апаратуре је захтевала дугогодишњи напор како истраживачког тима тако и пратећег тима техничких сарадника. Потребно је било решити читав низ технолошких захтева, почевши од остваривања високог вакуума, реда 10^{-5} Ра, са диференцијалним пумпањем коморе и електронске оптике, обезбеђења услова механичке ротације анализатора у широком опсегу углава, немагнетичности материјала и оклапње целе коморе ради елиминисања дејства земљиног магнетског поља, па до стања површина које види електронски млаз (направљених од бабра високе проводности и ниског садржаја кисеоника (ОФНС) и молибденских сфера. Први сигнал од расејаних електрона детектован на новој апаратури ЕСМА (Електронски Спектрометар Металних Атома) је добијен 1980. године. Тестирање перформанси апаратуре је обављено на млазевима атома инертних гасова, а пре свега са гасом аргона који је се лако могао набавити и по малој цени у техничкој чистоћи. Проучавано је еластично расејање електрона и ексцитације стања атома ксенона [46-48], криптона [46, 49, 50] а најинтензивније расејање електрона на атомима аргона, њихово еластично расејање [51,52] и ексцитација низа електронских стања [51,53,54]. На истој апаратури су мерени и диференцијални пресеци за еластично и нееластично расејање на троатомским молекулима H_2S [55] и N_2O [55-58].

Први резултати мерења пресека за расејање електрона на парама метала добијени у Београду објављени су на атомима кадмијума [59-61] и натријума [59,60,62]. Следе мерења на атомима живе [63,64] и цинка [64-66]. Истраживања побуде стања до првог јонизационог нивоа су настављена и проширена мерењима ексцитације аутојонизационих стања код кадмијума и цинка [67,68]. Од средине прве деценије двадесетпрвог века долази до наглог скока броја публикација везаних за истражиње атома метала са вишим температурама топљења. То су пре свега атоми калцијума [69-71], итербијума [72-74] и магнезијума [74-79]. Прегледни радови везани за мерења расејања електрона на парама метала која су обављена у Београду, саопштени су на међународним конференцијама CEPAS 2007 (*Conference on Elementary Processes in Atomic Systems*) [80], ECCL 2009 (*Electron Controlled Chemical Lithography*) [81] и ESCAMPIG 2010 (*20th European Conference on the Atomic and Molecular Physics of Ionized Gases*) [82]. Најновија истраживања укључују мерења диференцијалних пресека за еластично и нееластично расејање на атомима метала олова [83-85], бизмута [86], индијума [87-89] и сребра [90].

2. МОТИВАЦИЈА

Имајући у виду дугу традицију београдске Лабораторије за физику атомских сударних процеса у истраживањима бинарних судара електрона са атомским честицама, јасно је да се тежило проширивању како

експерименталних метода и разноврсности истраживаних процеса, тако и повећању броја мета које су се разматрале. Први експерименти су се изводили на гасовима племенитих атома који представљају мету која је при стандарним условима у гасовитом стању, не интерагује са деловима система и код које се може лако подешавати притисак у гасном резервоару, тј. густина честица мете у интеракционој запремини. Истраживања су настављена на малим молекулима који представљају мете код којих се физички процеси могу објаснити са мањим бројем параметера (рецимо број вибрационих мода, број канала за дисоцијацију). Експерименти су проширени како на атоме металних пара, тако и на вишеатомске молекуле. Генерално, интерес за изучавање интеракција електрона са атомима метала долази од потребе разумевања низа процеса код ласера са металним парама, процеса код астрофизичких, фузионих и нискотемпературских плазми, али и процеса у којима учествују велики органски молекули код којих су атоми метала уграђени у облику јона са централном улогом у многим биохемијским процесима.

Са друге стране, изазов и мотивација за изучавање интеракција електрона са атомима метала долази из жеље за дубљим разумевањем појава на квантномеханичком нивоу поимања. У изучавању судара атомских честица није довољно само разумети њихову структуру већ треба познавати и врсте и јачине интеракција конститутивних елемената, односно разумети динамику процеса. Величине које се могу мерити у бинарним сударима су повезане са амплитудама расејања које теоријски описују процес. У зависности од сложености система и нивоа примењене апроксимације, судар се може описати мањим или већим бројем амплитуда које су комплексне величине. Тако, свакој амплитуди расејања одговарају две мерљиве физичке величине, а за систем са n амплитуда расејања, можемо смислити један или низ експеримената у којима се могу одредити $n - 1$ величина. То би био такозвани идеални експеримент расејања (*perfect scattering experiment*), појам уведен 1969. од стране Б. Бидерсона (B. Bederson) [91]. У идеалном експерименту одређујемо максимално могући број физичких величина које карактеришу дати процес расејања и тиме су до једне фазе одређене све амплитуде расејања. Једну могућу параметризацију дали су Фано и Мачек [92], док је генерализоване *STU* параметре дефинисао К. Бартчат [93]. У кључном прегледном раду Андерсен и коаутори су дали преглед параметризација и предложили тзв. природни координатни систем у коме се посматра судар атомских честица [94]. Даљим детаљним увидом у сударне процесе у којима се посматрају поларизовани млазеви или поларизација електрона након расејања [95-97], Андерсен и коаутори су генерализовали формализам и сугерисали оптималне геометрије сударних експеримената за извођење идеалног експеримента расејања [98]. Управо су судари поларизованих млазева електрона са атомима метала погодан систем за тестирање теоријских модела који описују ове сударе. Са друге стране, развијени су експериментални методи за препарацију поларизованих млазева атома мета на принципима оптичког пумпања. Као пример за лаке мете узима се атом натријума и посматра ексцитација резонантног 3^2P стања.

Експерименти са неполаризованим млазевима електрона и екситацијом овог стања су обављени од стране наших истраживача [43,62]. У теоријском опису екситације овог стања, коришћена је нерелативистичка апроксимација у којој се експлицитне силе које зависе од спина као што је то спин-орбитна интеракција између пројектила и језгра мете могу занемарити за време судара а тиме је очувана огледалска симетрија.

Значајну групу експеримената расејања електрона на атомима метала чине експерименти обављени методом електронског и фотонског двоструког узмака развијеног у Њујорку у лабораторији којом је руководио Б. Бидерсон, а затим Л. Вушковић. Посматрани су прво еластични пресеци електрона на атомима натријума побуђеним у 3^2P стању [99], а затим екситација електронима овог стања на малим угловима [100,101]. Продор у овим истраживањима представљају експерименти са екситованим атомима натријума у којима су одређени апсолутни пресеци за супереластично расејање и екситацију [102,103]. Даљи експерименти су вођени у циљу одређивања поларизабилности хомонуклеарних и хетеронуклеарних алкалних димера [104]. Даљим експериментима под руководством Л. Вушковић истраживани су орбитални ефекти [105] и азимуталне асиметрије [106] у еластичном расејању као и процеси јонизације код побуђеног атома натријума [107].

За теже атоме какви су на пример атоми цезијума или живе, морају се узети у разматрање и друге спински зависне интеракција поред изменских интеракција, те се стога број независних амплитуда расејања знатно повећава. Тиме и идеални експеримент расејања постаје знатно теже остварив. Но, у свим случајевима у којима се разматрају детаљни описи расејања електрона, неопходна величина је диференцијални пресек за расејање неполаризованих млазева. Ова величина се одређује у апсолутним вредностима, те самим тиме представља посебан изазов за експериментаторе. Управо одређивање ове величне представља фокус истраживања наше групе.

Експерименти одређивања диференцијалних пресека су пре свега мотивисани тежњи ка разумевању основних интеракција електрона са атомским честицама. У том циљу се експериментални резултати пореде са прорачунима и теоријским апроксимацијама које описује појаве. Развијен је читав низ теоријских модела који са већим или мањим степеном апроксимације описују динамику судара и у стању су да репродукују облике и апсолутне вредности диференцијалних пресека. У апроксимацији оптичког потенцијала израчунати су диференцијални пресеци за еластично расејање електрона на атому калцијума и упоређени са експериментом [70] као и за атом олова [85]. Апроксимација конвергентне блиске спреге (*convergent close coupling*) је примењена на процес екситације резонантног стања атома цинка и поређење је извршено са нашим експериментом [66]. Релативистички облик апроксимације изобличеног таласа (*relativistic distorted-wave approximation*) је примењен на истраживање интеракција електрона са атомом магнезијума и проверен нашим експериментом на малим угловима [75] и у целокупном домену углова расејања [76], као и на атому олова, такође за екситацију

резонантог стања на малим [83] и великим угловима расејања [84]. Наша експериментална мерења за еластично расејање електрона на атому индијума су упоређена са апроксимацијом оптичког потенцијала без и са урачунавањем апсорпционог потенцијала [87], а код атома сребра са комплексним оптичким потенцијалом без слободних параметара са израчунавањем спин-орбитне интеракције [90]. Може се закључити да квалитет описа, односно степен наших могућности да израчунамо електрон-атомске интеракције зависе од рафинираности примењене теоријске методе и посматраног енергијског домена.

Постоји и медицински аспект мотивисаности експеримената расејања електрона на атомима метала. Иако је наравно најзначајније наше разумевање расејање и губитак енергија, пре свега секундарних електрона насталих у процесу проласка јонизујућег зрачења кроз организам односно ткиво, од значаја је и познавање интеракција електрона са другим биомолекулима и то онима који имају атоме метала у свом саставу. То је пре свега потреба да се разуме улога метала у појединим болестима код људи. То су болести везане за дисбаланс присуства метала у организму или поремећаје метаболизма, као што су *beta-thalassemia*, *hemochromatosis* (Fe) и неуродегенеративне болести (Cu, Fe, Zn, Al).

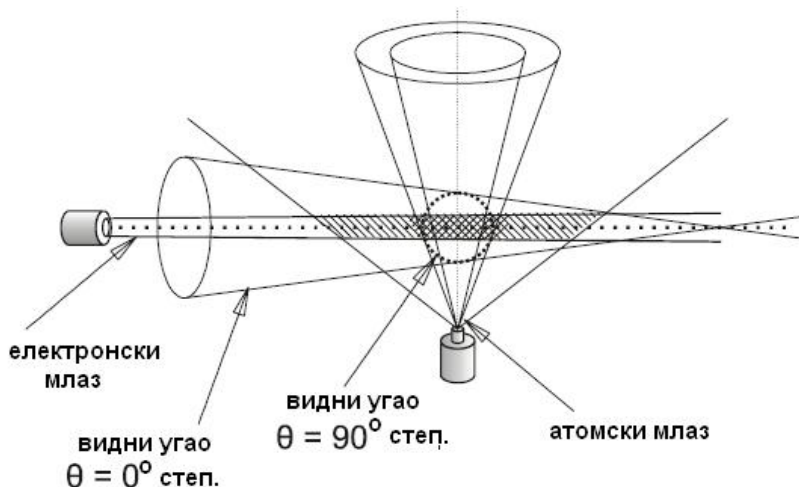
Атоми метала представљају носиоце информације код терапевтских циљева или слика за дијагностику (*imaging*). Метални комплекси који су у употреби за дијагностику су: парамагнетни лантаниди као контрастни агенти у визуелизацији магнетне резонансе (*magnetic resonance imaging* – MRI); радиомаркери – ^{68}Ga код позитронске емисионе томографије (*positron emission tomography* – PET *imaging*).

Посебну групу лекова чине метал-килаторски лекови који се вишенаменски користе у превенцији, дијагностици и третману канцера (канцерогене ћелије, као и све нормалне ћелије, захтевају есенцијалне јоне метала, као што су гвожђе, бакар и цинк за раст и пролиферацију). Килатори могу циљати метаболичке путеве канцерогених ћелија преко управљања протеинима који су укључени у регулацију ових метала и других молекула укључених у контролу ћелијског циклуса, ангиогенезе или у супресији метаболизма.

3. ЕКСПЕРИМЕНТ

Као што је горе већ напоменуто, експериментални уређај на коме су вршена мерења расејања монохроматских неполаризованих млазева електрона на ефузионим млазевима пара метала представља електронски спектрометар ЕСМА посебно смишљен и наменски реализован за оваква мерења. Детаљнији опис самог електронског спектрометра и приказ експерименталних метода које су примењене у истраживању еластичног и нееластичног расејања електрона дат је у претходним радовима [49,59] као и у овој монографији у раду који следи [108]. Експеримент расејања се изводи у геометрији укрштених млазева (*crossed electron-atom beam arrangement*). Електрон упадне енергије E_0 и таласног броја k_0 се расејава

на неполаризованом атому под углом расејања θ са енергијом E_n и таласним вектором k_n . Процес расејања се карактерише ефективним пресеком који представља временски независну вероватноћу да се деси одговарајући процес. Пресек је величина која зависи од енергије. У овим експериментима, расејани електрони се детектују као функција упадне енергије угла расејања и енергије губитка.

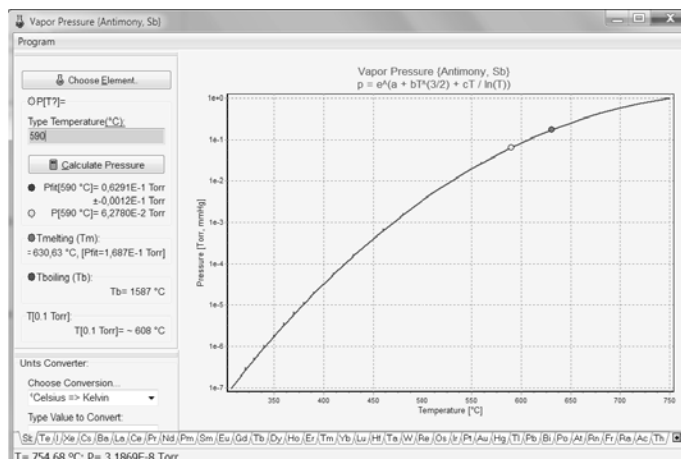


Слика 1. Схематски приказ експеримента у геометрији укрштених млазева [88,109].

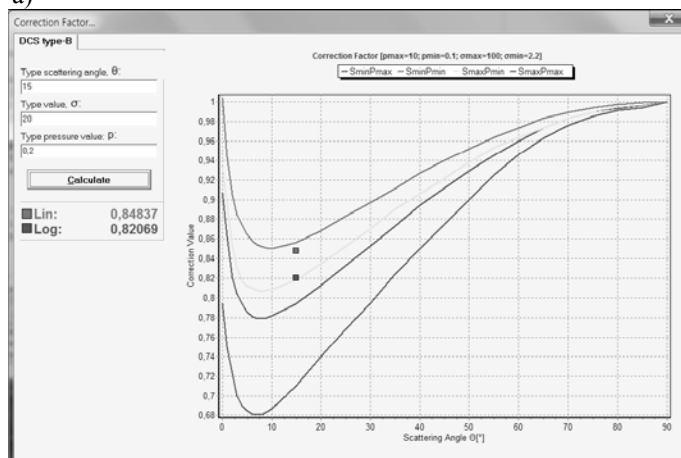
Моноенергијски млаз електрона се добија енергијском селекцијом у елементу са две концентричне полусфере направљене од молибдена, материјала који се показао као изузетно погодним за пролазак електрона јер су површине мало подложне променама микропотенцијала услед оксидације, неравнина и температурских разлика. Вођење електронског млаза се врши електронском оптиком која се састоји од низа цилиндричних сочива која слично као у таласној оптици доводи до преламања млаза и фокусирања. Коначна разлика потенцијала између термоемисионе нити и излазног сочива дефинише енергију електронског млаза. Ефузиони млаз пара атома метала се добија из пећи Кнудсеновог типа са два грејача, једног на дну пећи а другог на врху, чиме се обезбеђује градијент температуре код пећи и спречава зачепљење излазног отвора. Урађено је више модификација пећи према специфичним потребама сваког метала (потребне температуре, сублимација, прављење легура). Систематизација ових експеримената тек треба да буде извршена и описана у посебном раду.

На слици 2а је приказана зависност напона паре метала од температуре. Ове зависности су нелинеарне и тешко се могу обухватити једним аналитичким изразом у широком домену температура, већ су оне одређене експериментално. За сваки метал карактеристичне су две тачке, тачка топљења и тачка кључања. Направљено је софтверско решење које за

дату температуру која се постиже у експерименту даје фитовану вредност напона паре датог метала [110]. Слично софтверско решење је примењено



а)



б)

Слика 2. а) Зависност напона паре од температуре; б) Корекциони фактор услед ефективне интеракционе запремине – софтверско решење [110].

и на одређивање вредности корекционог фактора услед промене интеракционе запремине са променом угла расејања. За дату геометрију експеримента (растојања између центра интеракционе запремине и отвора монохроматора, анализатора и капиларе, пречнике дефинишућих бленди, димензија капиларе и њеног количника пречника отвора и дужине) израчунате су граничне вредности корекционих фактора. Њихове праве вредности за одређени угао расејања одређене су тада само врстом мете (гасним сударним пресеком) и притиском паре. Ове граничне криве су представљене на слици 2б [110].

Електронски спектрометар је подешен тако да се експерименти обављају у условима бинарних судара, дакле посматрамо интеракције појединачог електрона са појединачним атомом мете. Отуда и статистика

сигнала прати статистику ретких догађаја, односно Поасонову статистику. За рад са металним парама од круцијалне важности је да се обезбеде диференцијално пумпање (коморе и електронске оптике), оклопљеност свих делова са заштитом изолатора од напаравања и ефикасна колекција насталих пара мета путем хладног трапа.

Експериментална процедура добијања апсолутних вредности диференцијалних пресека подразумева неки од начина нормирања. Наиме, веома је тешко са већом тачношћу измерити неопходне величине које одређују диференцијални пресек, број/густину честица пројектила и честица мете, њихове просторне и енергијске расподеле и интеграле препокривања. Зато се прибегава нормирању пресека било на теоријске вредности које се могу релативно тачно одредити за поједина стања и на одређеним енергијама. То нормирање се може извршити или на једну тачку (вредност диференцијалног пресека на одређеној енергији и одређеном углу расејања) или на интегралну вредност пресека која се тачније одређује теоријски али се добија са већом мерном несигурношћу из експерименталних података, јер подразумева екстраполацију измерених вредности и њихову нумеричку интеграцију. Друга могућност нормирања је да се диференцијални пресеци преведу у генерализане јачине осцилатора (*GOS*) које у лимиту нултог преноса импулса теже оптичкој јачини осцилатора (*OOS*), величини која је добро позната и експериментално мерљива са грешком до пар процената. При томе се екстраполација вредности *GOS* до *OOS* врши преко функције расејања унапред дефинисаној од стране А. Мсезанеа и сарадника [111,112].

4. РЕЗУЛТАТИ

4.1. Расејање електрона на атомима прве групе периодног система

За атом натријума одређени су диференцијални пресеци за еластично расејање електрона и ексцитације $3p$, $4s$, $3d$ и $4p$ стања при упадним енергијама 10, 20 и 54,4 eV [62]. Измерен је спектар губитака енергије у опсегу од еластичног пика до нешто преко јонизационог потенцијала. У спектру су потпуно развојена два блиска ексцитована стања 3^2D и 4^2P . Спектром доминира ексцитациони пик резонантног 3^2P стања док је 4^2S стање релативно најслабије од свих мерених стања. Приказани су релативни диференцијални пресеци, али су дати и њихови количници интензитета и фактори нормирања за три врсте: нормирање на оптичку јачину осцилатора, на интегралне експериментално одређене пресеке, као и нормирање на теоријске резултате групе Мадисона и коаутора [113]. Значајан увид у процесе расејања електрона са атомом натријума је дат управо у назначеном теоријском раду који је штампан у истом броју часописа одмах иза нашег рада. Посебно су изоловани ефекти поларизације и изменског изобличења таласа у апроксимацији другог реда. Постигнуто је добро слагање са нашим експерименталним резултатима.

Мерења на атому рубидијума су у току [114]. Сем експерименталних резултата Вушковићеве и коаутора [45], колико је ауторима познато, не постоје други експериментално одређени диференцијални пресеци. У спектрима губитака енергије атома рубидијума јасно се издвајају еластични пик, ексцитација 5^2P стања, док се стања 4^2D и 6^2S међусобно преклапају.

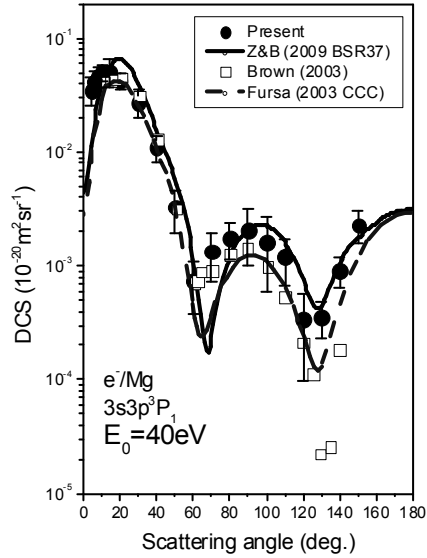
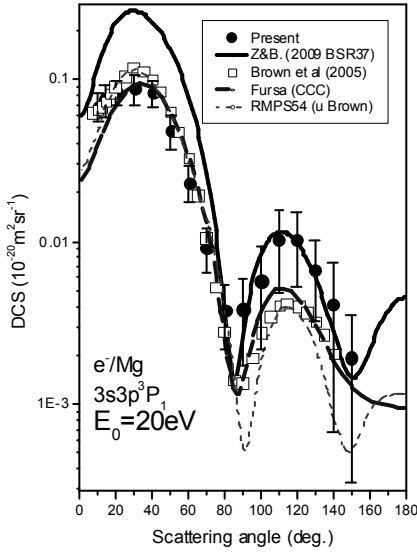
4.2. Расејање електрона на атомима друге групе периодног система

Од групе земноалкалних метала, мерени су диференцијални пресеци за атоме магнезијума [74-79] и калцијума [69-71]. За атом магнезијума мерена је и усмереност спољашње подљуске након судара са електроном методом анизотропне угаоне расподеле електрона емитованих у Ожеовом (Auger) процесу [115]. Код мерења диференцијалних пресека за магнезијум, прво су одређени пресеци за ексцитацију резонантног стања $3s3p \ ^1P_1$ на малим угловима [75] па у целом експериментално доступном домену углава расеања (до 150°) [76]. Затим су из количника интензитета одређени диференцијални пресеци за еластично расејање [77], а потом су одређени пресеци за ексцитације $3s4s \ ^1S_0$, $3s3d \ ^1D_2$ и $3s4p \ ^1P_1$ стања [78]. Најновији резултат представља мерење ексцитације триплетног стања 3P [79]. Експериментални резултати су упоређени са неколико различитих прорачуна (конвергирајуће блиске спреге, релативистичким изобличеним таласима).

На слици 3 представљено је поређење наших мерења диференцијалних пресека за ексцитацију 3P стања [79] и прорачуна и мерења других аутора за енергије од 20 eV и 40 eV. Постоји релативно добро слагање између наших мерења и мерења А. Кроуа и коаутора [117,118] изузев при енергији од 20 eV и већим угловима расејања. Прорачуни помоћу оригиналне методе B-spline R-matrix (BSR) [116] показују изненађујуће високе вредности пресека при малим угловима расејања док изузетно добро слагање постоји на већим угловима расејања (око другог локалног максимума). Насупрот овоме, прорачуни друге групе аутора методом конвергирајуће блиске спреге (CCC) [119] дају добро слагање на малим угловима расејања, а лошије на већим. Прорачун пресека методом RMPS (*R-matrix with pseudo-states*) [117] је урађен у конјункцији са мерењима. Генерално се може закључити да је међусобно слагање свих резултата боље на нешто вишој енергији упадних електрона од 40 eV него на енергији од 20 eV. Још увек не поседујемо теорију којом бисмо могли да подједнако добро опишемо диференцијалне пресеке за ексцитацију триплетног стања атома магнезијума на свим угловима расејања.

Атом калцијума је интензивно изучаван и раније. У табели 1 дат је преглед експерименталних и теоријских резултата везаних за одређивање диференцијалних пресека за еластично расејање електрона у зависности од угла, $\sigma(\theta)$, и у зависности од упадне енергије $\sigma(E_0)$.

Еластични пресеци су експериментално одређени за неколико дискретних упадних енергија електрона, $E_0 = (10, 20, 40, 60, 100)$ eV, па су на тим истим енергијама, у конјункцији са експериментом, урађени прора-



a)

б)

Слика 3. Диференцијални пресек за ексцитацију 3P -стања атома магнезијума упадне енергије а) $E_0 = 20 \text{ eV}$; б) $E_0 = 40 \text{ eV}$. • овај рад [79], — B-spline R-matrix (BSR) [116], □ Brown et al. [117,118], - - CCC [119], - - - RMPS [117].

Табела 1. Диференцијални пресеци за еластично расејање електрона на атому калцијума

аутори	теорија/експеримент	резултат	параметри
Gregory and Fink [120]	Диракова једначина	$\sigma(\theta)$	$E_0 = (100-2000) \text{ eV}$
Khare et al. [121]	SF, SFPE, SFPEO	$\sigma(\theta)$	$E_0 = (10-500) \text{ eV}$
Kazakov and Kristoforov [122]	укрштени млазеви 127° цилиндрични ан.	$\sigma(E_0)$	$E_0 = (0-7) \text{ eV}$ $\theta = 90^\circ$
Nikolić and Tančić [123]	Дајсонова једначина	$\sigma(\theta)$	$E_0 = 8,7 \text{ eV}$
Yuan [124]	DF, QRHF, HF	$\sigma(\theta)$	$E_0 = (0,05-10) \text{ eV}$
Kelemen et al. [125]	OP	$\sigma(\theta)$	$E_0 = (0,1-1,8) \text{ eV}$
Remeta et al. [126]	PW	$\sigma(\theta)$	$E_0 = (0,1-1,8) \text{ eV}$
Milislavljević et al. [70]	укрштени млазеви полусферни анализ.	$\sigma(\theta)$	$E_0 = (10, 20, 40, 60, 100) \text{ eV}$ $\theta = 10^\circ - 150^\circ$
Milislavljević et al. [70]	OP (S, SE, SEP)	$\sigma(\theta)$	$E_0 = (10, 20, 40, 60, 100) \text{ eV}$ $\theta = 0^\circ - 180^\circ$
Zatsarinny et al. [127]	B-spline R-matrix	$\sigma(\theta)$	$E_0 = (0-4) \text{ eV}$

SF: static-field approximation, SFPE: static-field-polarization-exchange approximation, SFPEO: static-field-polarization-exchange-spin-orbit approximation, OP: complex optical potential, DF: Dirac Fock atomic wavefunction, QRHF: Cowan quasirelativistic Hartree Fock atomic wavefunction, HF: non-relativistic Hartree Fock atomic

wavefunction, PW: partial-wave expansion, S: static-field, SE: static exchange, SEP: static exchange plus polarization calculation

чуни [70]. Прорачуни су дати у апроксимацији оптичког потенцијала и то у три верзије: S – статичког поља (*static-field*), SE – статичког поља са изменом (*static exchange*) и SEP – статичког поља са изменом и додатом поларизацијом (*static exchange plus polarization calculation*). Резултати су приказани на слици 4.

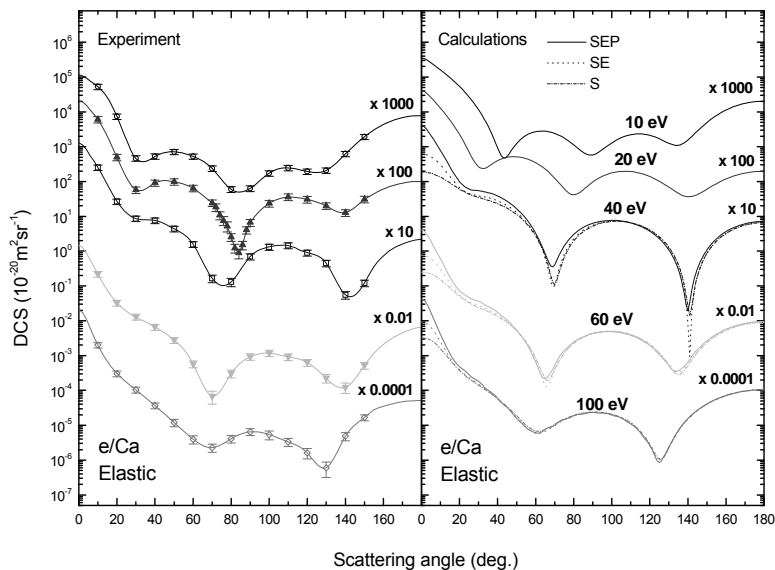
Спектар губитака енергије расејаних електрона на атому калцијума је приказан на слици 5. Стања код овог атома су блиска и не могу се раздвојити у нашем експерименту.

4.3. Расејање електрона на атомима дванаесте групе Периодног система

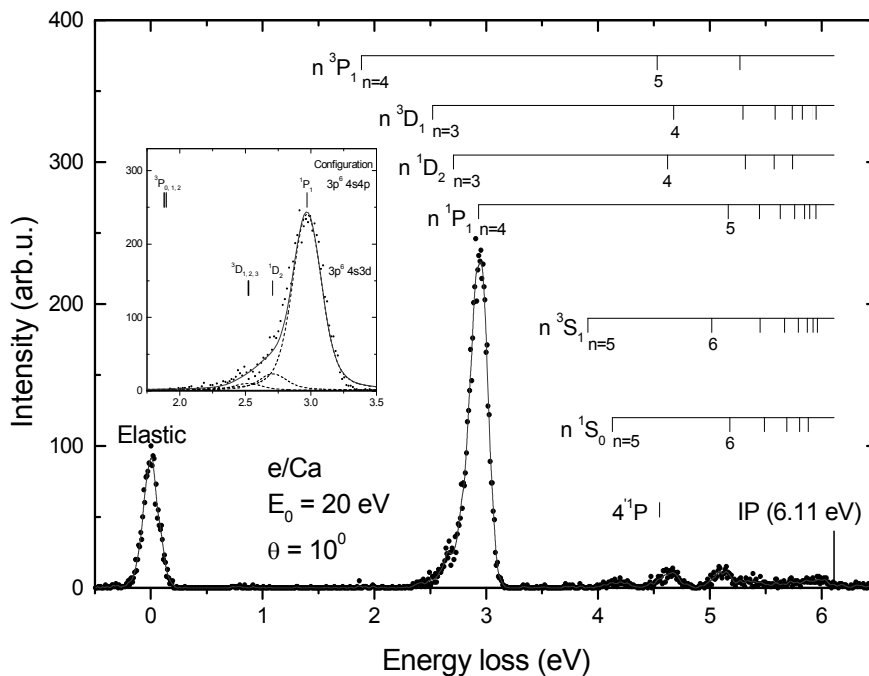
У дванаесту групу елемената Периодног система спадају цинк, кадмијум и жива. Сви ови елементи су детаљно истраживани у експериментима расејања електрона у Лабораторији за физику сударних процеса, Института за физику у Београду. Ови елементи имају попуњене спољашње s љуске испод којих леже попуњене d љуске. Структура електронског омотача је: [Rg] $nd^{10}(n+1)s^2$ где ознака [Rg] стоји за елементе Ar, Kr и Xe док је $n = 3, 4$ и 5 за елементе Zn, Cd и Hg респективно.

Мерења на малим угловима расејања за резонантну екситацију електронима представља важан корак ка одређивању апсолутних вредности диференцијалних пресека за читав сет стања. Ако се одреде апсолутне вредности резонантног стања, тада се апсолутне вредности осталих пикова у спектру губитака могу добити из количника интензитета. На слици 6 приказане су експериментално одређене тачке генерализованих јачина осцилатора и прорачуни. Експерименталне тачке су нормиране тако да се завршавају на линији функције расејања унапред (fsf) која у нултом лимиту тежи оптичкој јачини осцилатора од 1,47 за овај прелаз. Видимо да прва Борнова апроксимација далеко премашује вредности експеримената и другог теоријског прорачуна, CCC – конвергирајуће блиске спреге стања. Такође се може видети да CCC прорачуни за појединачне енергије не завршавају на fsf функцији већ прелазе ове границе.

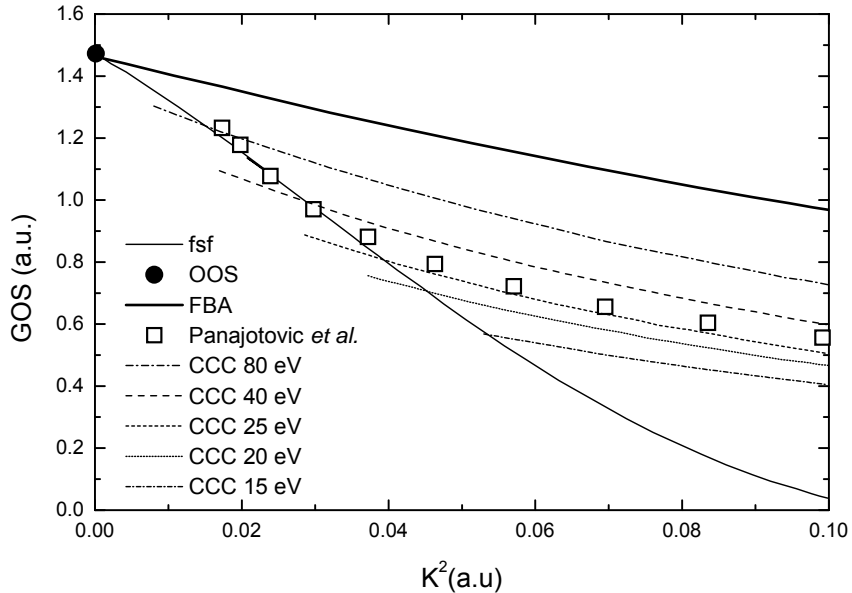
Поред диференцијалних пресека и спектра губитака енергије до првог јонизационог нивоа, проучавани су и спектри у области аутојонизационих стања [68], а на основу спектра избачених електрона под дејством удара електрона [127]. У раду посвећеном аутојонизационим стањима атома цинка [68] снимљени су спектри губитака од 10,2 eV до 12,5 eV за енергије електрона од 20 eV до 100 eV и за мале углове расејања до 10° . Спектри су декомпоновани у циљу одређивања доприноса појединих стања укупном мултиплету прелаза $3d^{10}4s^2 \rightarrow 3d^9 4s^2 4p$ који представља једноелектронски прелаз из унутрашње 3d љуске. Ово је приказано на слици 7. Од укупно 13 линија у мултиплету, одређени су за 7 линија количници интензитета према резонаном стању за неколико



Слика 4. Диференцијални пресек за еластично расејање електрона на атому калцијума. Упадне енергије су $E_0 = (10, 20, 40, 60, 100) \text{ eV}$. а) Експериментални резултати; б) прорачуни у апроксимацији оптичког потенцијала са: S: static-field, SE: static exchange, SEP: static exchange plus polarization [70].



Слика 5. Спектар губитака енергије расејаних електрона на атому калцијума при упадној енергији од $E_0 = 20 \text{ eV}$ и углу расејања од 10° . [69].



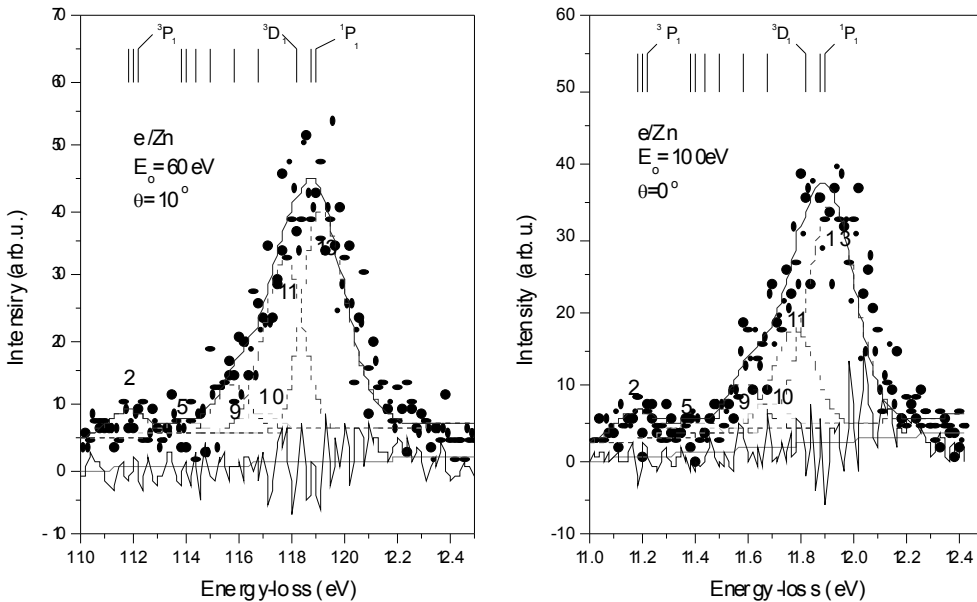
Слика 6. Генерализане јачине осцилатора за резонантну ексцитацију код атома цинка у функцији квадрата преноса импулса израженог у атомским јединицама. Квадрати представљају мерене величине, танка пуна линија функцију расејања унапред (fsf), FBA је прва Борнова апроксимација, док CCC линије представљају прорачуне у апроксимацији конвергентног блиског спрења. [65,66].

упадних енергија електрона и углова расејања.

За атом кадмијума одређен је сет релативних диференцијалних пресека за еластично расејање и ексцитације из основног 5^1S_0 стања у појединачна разлучена стања симетрија 5^3P_1 , 5^3P_2 , 5^1P_1 , 6^3S_1 , 6^1S_0 , 5^1D_2 , 6^1P_1 , 7^1S_0 , 8^1S_0 као и нераздвојених стања ($6^1D_2 + 7^1P_1$) и ($7^1D_2 + 8^1P_1$).

Упадне енергије електрона су посматране у опсегу од 3,4 eV до 85 eV. Дискретне вредности енергија на којима су одређивани диференцијални пресци су 3,4 eV, 6,4 eV, 10 eV, 15 eV, 20 eV, 40 eV, 60 eV и 85 eV. Као и у сличају мерења на атому натријума, и овде су експерименти пропраћени прорачунима од стране Мадисона и коаутора [128]. Теоријски прорачуни су извршени у апроксимацији изобличених таласа првог реда.

На слици 8 приказан је аутојонизациони део спектра губитака енергије електрона за атом кадмијума. На првом делу спектра јасно се виде дискретна стања испод првог јонизационог нивоа, а побуђена ударом електрона упадне енергије 40 eV. Затим следи област одмах изнад јонизационог лимита у коју спадају симултане ексцитације два спољашња $4s^2$ електрона. Ови електрони су промовисани у орбитале $4p5s$. Узан и интензиван пик на енергији од 10,834 eV представља двоструко расејање електрона са ексцитацијом резонантног стања 5^1P_1 . Следи област аутојонизационих стања која настају промоцијом једног електрона из уну-

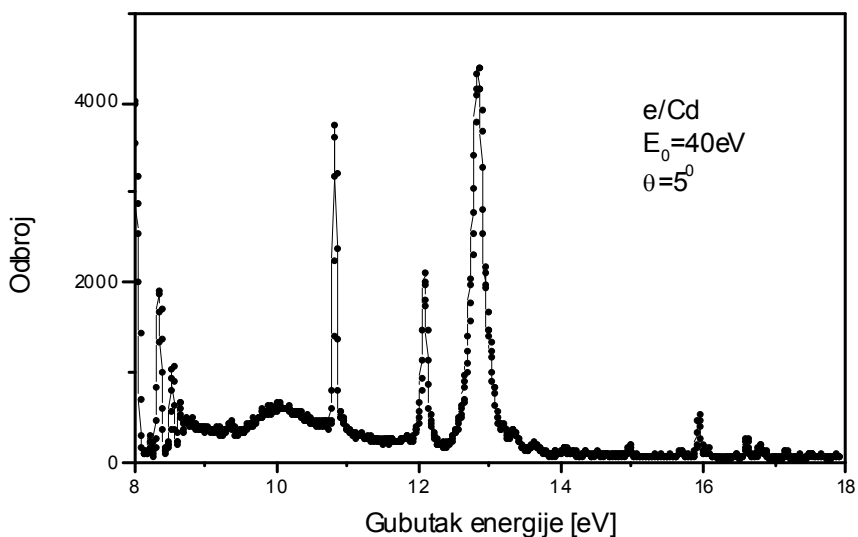


Слика 7. Декомпонован спектар губитака енергије за атом Zn при $E_0 = 60 \text{ eV}$ ($\theta = 10^\circ$) и $E_0 = 100 \text{ eV}$ ($\theta = 0^\circ$): • експерименталне тачке; - - -, декомпоноване линије на основној линији; —, синтетички спектар. Разлика између експерименталних тачака и синтетичког спектра је дата при дну цртежа [68].

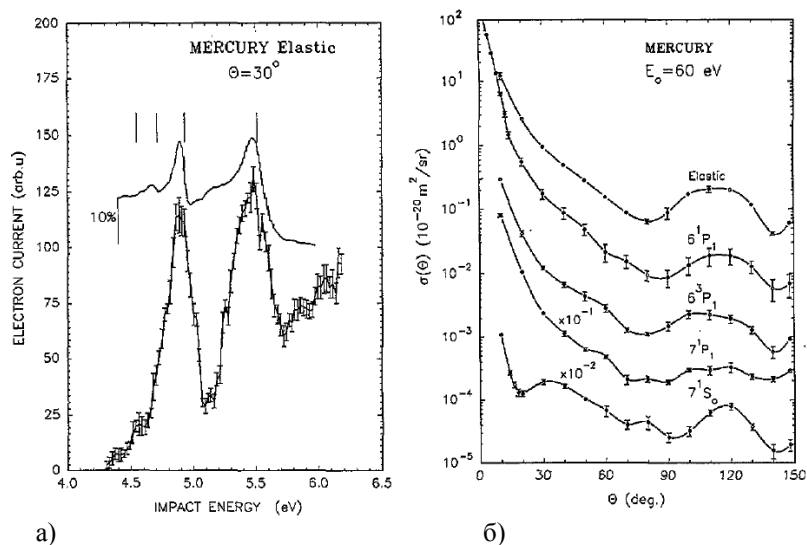
трашње 3d љуске То је мултиплет који је био анализиран и за који су одређене апсолутне вредности диференцијалних пресека [67].

Жива је једини метал који је при собним условима у течном стању. Отуда је и напон паре врло висок и довољно је било загрејати пећ на температуру 390 K да би се добио ефузиони млаз атома [63].

Код мерења на електронском спектрометру потребно је извршити калибрацију енергијске скале. Није довољно само узети разлику потенцијала између термоелектронске нити и последње електроде због постојања контактних разлика које настају између различитих материјала. Стандарни метод калибрације је преко резонанце у хелијуму која је одређена и експериментално и теоријски са великом тачношћу. Међутим, контактне разлике у спектрометру су зависне и од гаса, односно мете која се истражује, па се зато уводе мешавине испитиваног гаса и хелијума. Због експерименталних тешкоћа мешања гаса хелијума и пара метала, прибегава се другом методу, одређивању положаја неке од резонанци у самом атому метала. То је код живе искоришћено да би се посматрале резонанце у еластичном каналу на 4,94 eV и 5,51 eV које су одређене из ранијих мерења [129,130].



Слика 8. Спектар губитака енергије за атом кадмијума при $E_0 = 40 \text{ eV}$ ($\theta = 5^\circ$).



а)

б)

Слика 9. Диференцијални пресек за еластично расејање електрона на атому живе.
 а) Зависност диференцијалног пресека од упадне енергије на углу расејања 30° ; б)
 Угаона зависност при упадној енергији електрона од $E_0 = 60 \text{ eV}$ за еластично
 расејање, ексцитацију резонантног 5^1P_1 стања и осталих виших ексцитованих
 стања [63].

4.4. Расејање електрона на осталим атомима метала

Мерења диференцијалних пресека су обављена и на низу других атома метала, пре свега елемената који спадају у теже елементе са компликованијом структуром спољашњег електронског омотача. У Београду мерења су вршена на атомима ^{47}Ag , ^{49}In , ^{51}Sb , ^{70}Yb , ^{82}Pb и ^{83}Bi . Спектри избачених електрона су мерени у Саутемптону, Енглеска и они обухватају следеће атоме метала: ^{25}Mn [131], ^{29}Cu [132], ^{31}Ga [133], ^{62}Sm [131], ^{63}Eu [134], ^{70}Yb [135], ^{79}Au [136], ^{80}Hg [137], ^{81}Tl [138] и ^{82}Pb [139].

Детаљан опис резултата на атомима сребра и олова дат је у раду који следи [108]. У раду је описан поступак превођења релативних диференцијалних пресека у апсолутне преко процедуре нормализације на оптичку јачину осцилатора. Еластично и нееластично расејање електрона на овим елементима је експериментално проучавано на енергијама упадних електрона од 10, 20, 40, 60, 80 и 100 eV, а у опсегу углава расејања од 1° до 150° за ексцитацију и од 10° до 150° за еластично расејање.

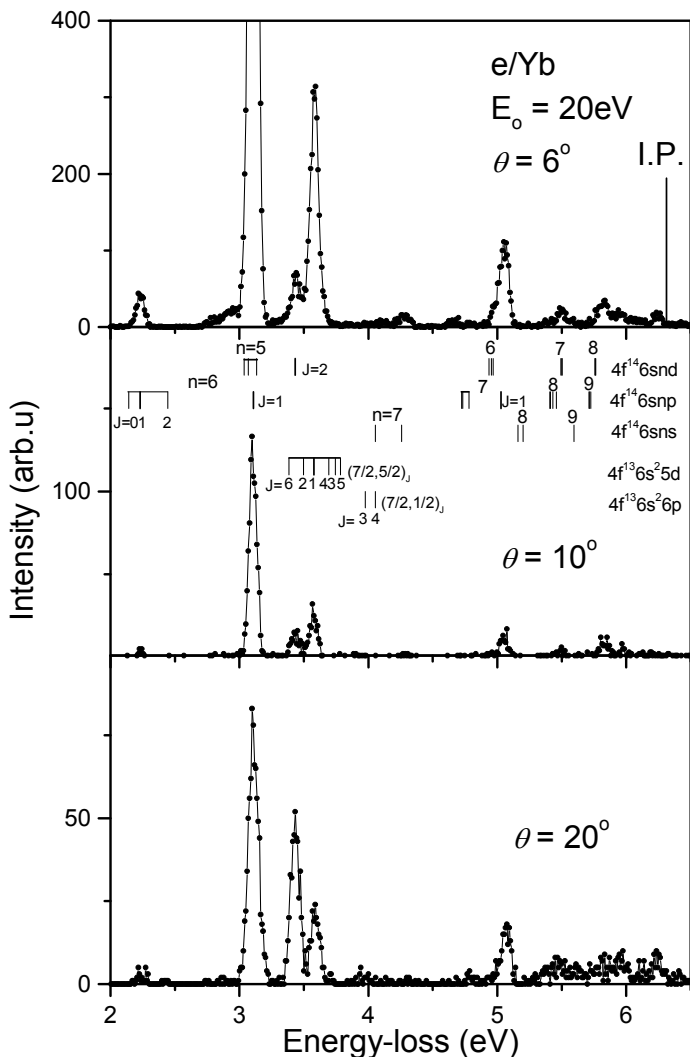
Расејање електрона на атому итербијума је изучавано у нееластичном резонантном каналу (стање $4f^{14}6s6p\ ^1P_1$) и еластичном каналу [72]. Такође изучаване су и ексцитације виших стања $4f^{14}(6s6p\ ^3P_1, 5d6s\ ^1D_2$ и $6s7p\ ^1P_1)$ као и $4f^{13}5d^6s^2\ (7/2, 5/2)_1$ стања [73]. Спектар губитака енергије за углове расејања од 6° , 10° и 20° при упадној енергији од 20 eV приказан је на слици 10. На слици је приказан јонизациони ниво и означена су побуђена стања атома итербијума.

Интересантно је напоменути да је недавно изашао нови рад групе експериментатора и теоретичара [140] у коме се разматра расејање електрона на ласерски ексцитованом атому итербијума, али се такође врши корекција претходно објављених диференцијалних пресека за ексцитацију [141,142]. Овом корекцијом диференцијални пресеци ових аутора се значајно приближавају по апсолутној вредности нашим објављеним резултатима [72,73]. То говори о квалитету и поузданости наших мерења којима је један од циљева да се одреде тачне апсолутне вредности диференцијалних пресека.

За атом индијума мерени су релативни диференцијални пресеци за еластично расејање а доведени су на апсолутну скалу путем нормирања на теоријске резултате групе из Ужгорода [87]. У раду је посебно разматрана промена угаоног положаја минимума са променом упадне енергије електрона. Опште је правило да што је атом мете тежи то је број минимума у диференцијалном пресеку већи. Такође се положаји минимума мењају са променом упадне енергије тако да на појединим енергијама постоји и промена у редном броју минимума, односно минимуми се јављају и нестају. Промена положаја угла минимума са упадном енергијом дата је на слици 11 лево. Положаји експерименталних тачака су добро описани теоријским третманом у апроксимацији оптичког потенцијала.

На слици 11 десно, приказана је промена диференцијалног пресека са упадном енергијом на посебном углу расејања. Експерименталне тачке су релативно ретко приказане, тако да се права слика процеса добија тек када се прикажу резултати прорачуна. Теорија је дата у две апроксимације:

SEPSo – комплексни феноменолошки оптички potencijal sa укљученом спин-орбитном интеракцијом (реални део potencijала укључује статички,



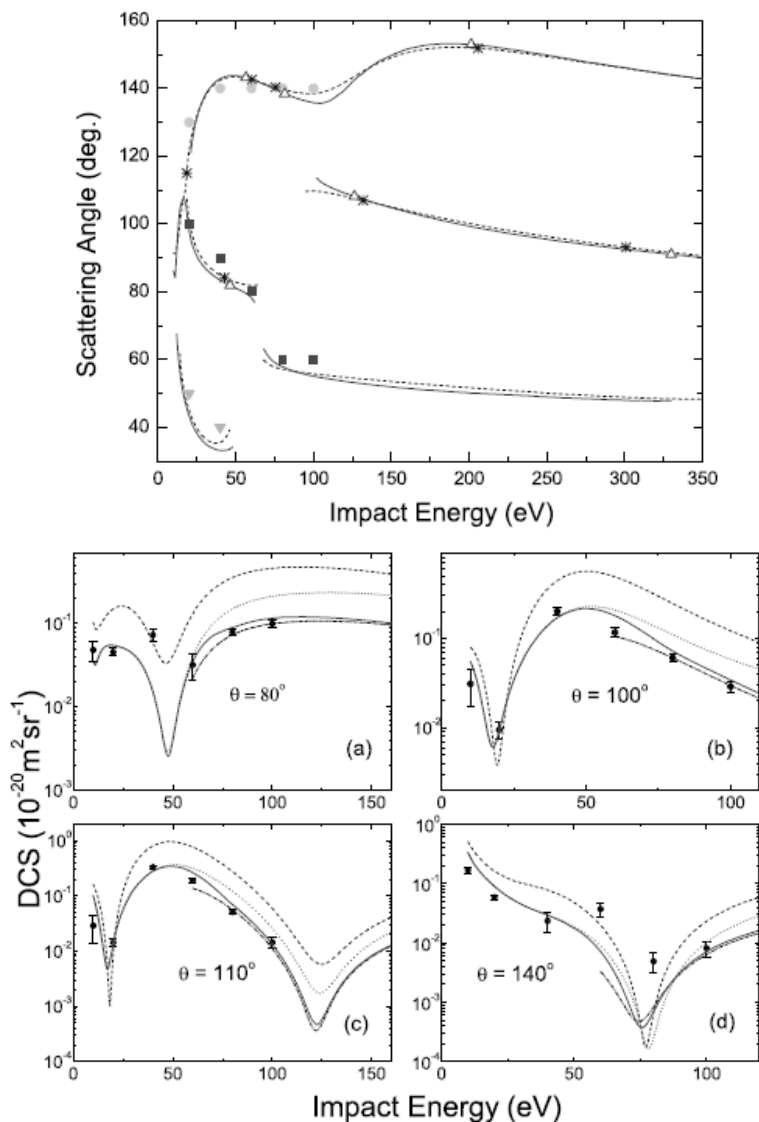
Слика 10. Спектар губитака енергије за атом итербијума при $E_0 = 20\text{ eV}$ ($\theta = 6^\circ$, 10° и 20°).

локални изменски, поларизациони и спин-орбитни члан), док је SEPASo апроксимација допуњена апсорпционим моделним чланом који дозвољава опис процеса губитака енергије.

На слици 12 дати су интегришући пресеци за еластично расејање електрона на атому индијума у области енергија доступних на електронском спектрометру ЕСМА. Запажа се добро слагање експеримента са прорачуном у коме су укључени апсорпциони ефекти у оптичком potencijалу.

5. ИНФОРМАЦИОНИ СИСТЕМ И БАЗА ПОДАТАКА У ФИЗИЦИ АТОМСКИХ СУДАРНИХ ПРОЦЕСА

Развој информационог система (ИС) у физици атомских сударних процеса и развој базе података заснован је на постојећим мерењима у нашој Лабораторији као и на оним резултатима других аутора који су реле-

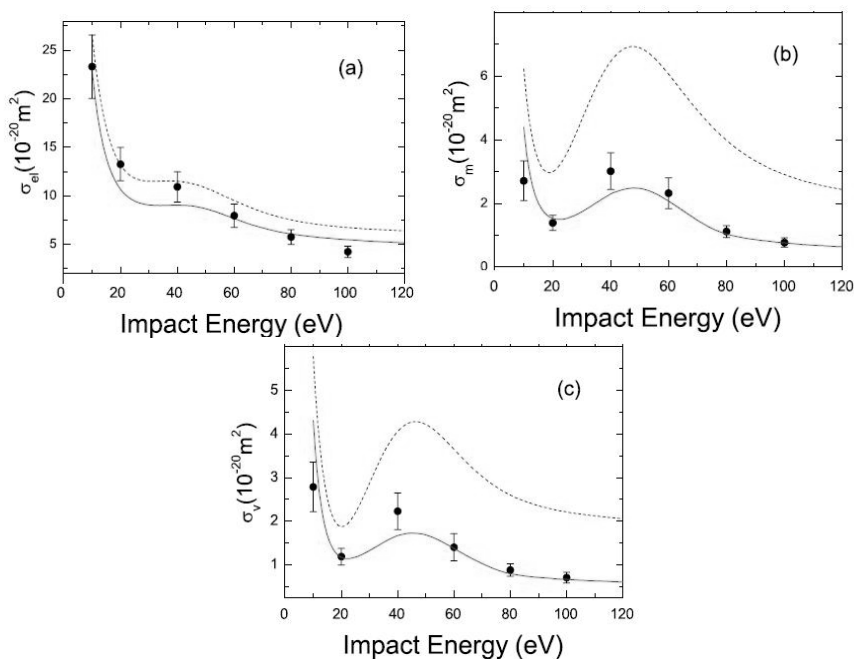


Слика 11. Диференцијални пресек за еластично расејање електрона на атому индијума. горе) Зависност положаја угла минимума диференцијалног пресека од упадне енергије; доле) Диференцијални пресек у зависности од упадне енергије на угловима расејања од а) 80° б) 100° в) 110° д) 140° Пуном црвеном линијом приказан је прорачун у SEPASo апроксимацији а испрекиданом плавом линијом дат је прорачун у SEPSo апроксимацији [87].

вантни за постојећи избор атома мета. Циљ развоја овог ИС је вишеструк (планирање и организација истраживања, извор података, преглед литературе). Он је заснован на декомпозицији чланка од стране експерта и евалуацији сета података и примењених метода. Поред ИС који се развија, дат је приказ постојећих база података из електрон-атомских судара.

5.1. Специфични циљеви информационог система

Специфични циљеви развоја информационог система у области физике сударних процеса проистичу из потребе за изучавањем основних интеракција електрона, фотона и јона са појединачним молекулима са циљем укључивања молекулских ефеката у фундаменталним знањима процеса између осталих, радијационог оштећења. Даљи развој комјутерских кодова за моделовање радијационог оштећења ће бити заснован на новим експерименталним и теоријским подацима. Успостављање информационог система са свеобухватном базом података о пресецима за елементарне процесе интеракција атомских честица као и библиографском базом података представља циљ од далекосежног значаја. У информациони систем ће се укључити експертско знање, критичка евалуација и декомпозиција библиографских јединица у бази података.



Слика 12. Интегришући пресеци за еластично расејање електрона на атому индијума. а) интегрални пресек, б) пресек за преноса импулса, с) пресек вискозности [87]. Експерименталне вредности су приказане тачкама а теорија линијама као на слици 11.

У односу на специфичне циљеве развоја ИС, можемо закључити да је он актуелан и иновативан. Посматрајући само кључну реч “електронски судари” у светској бази знања *Web of Science*, лако се види да постоји преко 10 000 записа и да је интересовање научне јавности стално током читаве декаде. Посебно је релевантна чињеница да је одобрена нова ESF/COST Акција којом се финансира сарадња између 10 европских земаља са значајним научним излазом [143]. Постојећи компјутерски кодови за моделовање радијационог оштећења показали су се неадекватним уколико се жели ићи на нанометријску скалу (напр. скала ДНК молекула). Стога се развијају нови кодови који укључују финије детаље на молекулском нивоу, теже описивању процеса на мањим упадним енергијама са циљем не само да дају процене зауставне енергије, већ и друге детаље као што су угаона и енергијска дистрибуција расејаних честица. Иако данас постоје неке базе података оне су пре свега фрагментисане и оријентисане ка специфичним потребама својих творца. По нашим сазнањима, свеобухватни информациони систем који би комбиновао релационе базе података са пресецима за елементарне процесе са библиографским јединицама не постоји. Предност нашег информационог система је у понуди експертизе у датој области са циљем да се изврши декомпозиција података из литературе на начин погодан за употребу од стране научника, лекара и других истраживача заинтересованих за фундаменталне процесе и податке.

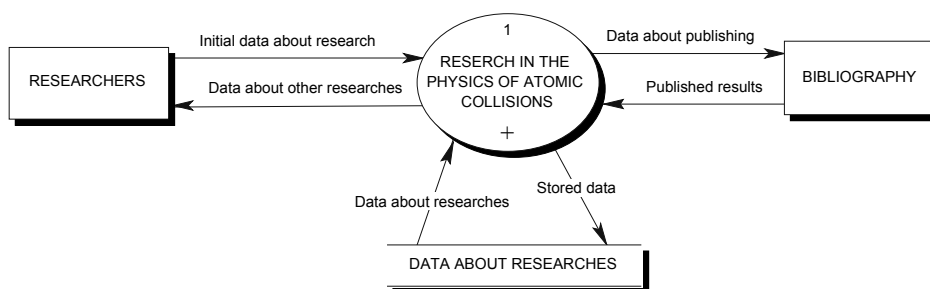
Прелиминарни рад на реализацији информационог система је обављен у групи у Београду где је постављена тест верзија ИС на серверском компјутеру са редувантним чврстим дисковима и 4 додатне радне станице. Систем са 1300 библиографских уноса је тренутно у процесу евалуације и експертске декомпозиције на неколико категорија.

Потреба за свеобухватном базом података у физици атомских сударних процеса постала је данас ургентна, када је ниво софистицираности у моделовању процеса у областима плазма физике (астрофизичке плазме, плазма процесирање и нагризање, ласери са гасним пражњењем, фузија) и/или медицинске физике (радијационо оштећење, радијациона заштита) достигао високи ниво прецизности преко укључивања многих атомских процеса.

5.2. Опис информационог система

База података и информациони систем се тренуно развијају у Београду. Логички модел информационог система у атомској сударној физици је развијен у заједничком раду са истраживачима са Универзитета у Крагујевцу [144]. Модел је имплементиран и недавно презентован као интернет потпомогнута платформа за структурирану претрагу података. Део везан за електронске сударне пресеке је развијен до пробне верзије у којој је омогућена претрага неколико примера диференцијалних и интегралних пресека за атоме метала. Главна препрека развоју успостављеног информационог система је проблем уноса података у којој се захтева од експерта да евалуира штампани рад и да издвоји релевантне податке и параметре било експеримента, било теоријског приступа.

Циљ логичког модела информационог система је да омогући анализу функције која се обавља у реалности и коју треба потпомоћи путем програма и одговарајућом методолошким процедурама као што су: процеси на глобалном нивоу, улазни и излазни проток података о процесима, околних ентитета и складиштење података. Логички модел сваког информационог система се састоји од модела процеса и модела података. Модел процеса је добијен на основу анализе реалних токова тако што је сваки процес формулисан према трансформацији од улазног тока података до излазног тока. Формиран је Дијаграм тока података (DFD) на свим нивоима декомпозиције процеса. На врху декомпозиционе пирамиде се налази општи DFD (тзв. контексни дијаграм) свеобухватне функције која је предмет компјутерске подршке. Модел података је са друге стране добијен анализом релевантних чињеница којима треба управљати у смислу прикупљања и складиштења у бази података, као и процесуирања до коначног захтеваног нивоа. Он се одвија искључиво у оквирима задатим моделом процеса. Зато је и модел података развијан истовремено са развојем модела процеса, како су подаци подвгнути трансформационој функцији преко које се одигравају процеси. Стога, не постоји директна процедура добијања модела података из модела процеса, као ни обрнуто, већ оба модела проистичу из свеобухватне анализе реалних догађаја које треба представити у информационом систему.



Слика 13. Контексни ниво дијаграма [145].

Функција “Истраживање у физици атомских судара (*Research in the physics of atomic collisions* – RPAC) је представљена на дијаграму на слици 13.

Експертска декомпозиција чланака представља концепт који је примењен у припреми модела података. Ово је постала важна идеја и јединствен концепт овог информационог система. Ми смо га назвали *Expert Decomposition of the Article* (EDA). Она носи семантичко значење анализираног текста, користећи бројне селектоване и универзалне одреднице које карактеришу поједину истраживачку област. EDA омогућава да се у информационом систему ускладиште најважнији подаци који карактеришу истраживање дефинисано у поједином чланку и она обухвата како нумеричке и графичке податке, тако и важне параметре, припрему, методологију, честице мете и пројектила, те библиографске и

остале податке. Овиме се избегава потреба за пуним текстом чланка који се може прибавити познатим начинима. Информациони систем омогућава ефикасно и селективно издвајање података као што су нумерички или графички резултати. Формирањем упита за претрагу кроз одреднице EDA, истраживач брзо долази до резултата и библиографских јединица. Тест имплементација информационог система са примерима декомпонованог текста научног чланка, потврдила је основна очекивања и оправдала фундаменталну структуру ИС.

Методологија коришћена у развоју информационог система је базирана на Методу структурне анализе система. Циљ је да се анализирају реалне функције одговарајућим методолошким процедурама као што су: процеси глобалног нивоа, улазни и излазни процеси тока података, ентитети окружења и складиштење података.

Користећи овај информациони систем, истраживач може да формира властиту (локалну) базу у којој чува ток истраживања, а користећи постојеће линкове између ентитета. Тиме има могућност увида у прогрес властитог истраживања (експеримента) као и у резултате из претходних фаза. С друге стране, користећи упите које сам дефинише, истраживач лако и брзо долази до селективног приступа информацијама из библиографије које су везане за текућа истраживања.

У установљавању категорија унутар експертске декомпозиције чланка руководимо се постојећом номенклатуром у најновијој литератури (нова истраживања непрестано се врше и употребљавају се нови термини). Како је декомпозиција чланака извршена преко великог броја атрибута, претраживање се не врши преко слободног текста већ преко тих атрибута што омогућава много бржу селекцију. Важно је напоменути да је систематизација података у РРАС омогућила употребу информационог система и у другим областима.

5.3. Преглед постојећих база података за атомску физику

Многобројне, али фрагментисане базе података у области атомске физике можемо поделити на нумеричке и библиографске. Примери нумеричких база података су следеће базе:

1. The NIST Reference on Constants, Units, and Uncertainty
<http://physics.nist.gov/cuu/index.html>
2. Energy levels, wavelengths and transition probabilities of atoms and ions, http://physics.nist.gov/cgi-bin/AtData/main_asd
3. Wavelength, energy level, oscillator strength, opacity, and photoionization cross sections, <http://astro.u-strasbg.fr/TOP.html>
4. Collisional data: NIFS, NIST, ALADDIN, <http://www-amdis.iaea.org/aladdin.html>

Примери библиографских база података су следећи:

1. Atomic Transition Probability Bibliography Database,
<http://physics.nist.gov/PhysRefData/Fvalbib/html/reffrm0.html>
2. Пресеци за атоме, јоне и молекуле (структура, судари фотона, електрона, и других атомских честица) <http://gaphyor.lpgp.u-psud.fr/>

Посебну групу система чине такозване претраживачке машине (*search engine*). То су пре свега:

1. GENIE - A General Internet Search Engine for Atomic Data, <http://www-amdis.iaea.org/GENIE/>
2. DANSE - Atomic and Molecular Bibliographic Data Search Engine - ICAMDATA –International Conference on Atomic and Molecular Data

Такође могуће је послати захтеве за on-line израчунавање појединих параметара у атомској физици:

1. Electron Impact Cross Section Calculations Using The Average Approximation, <http://www-amdis.iaea.org/AAEXCITE>
2. Effective ionization and recombination rate coefficients, <http://www-amdis.iaea.org/RATES/>

6. ЗАКЉУЧАК

Диференцијални пресеци за еластично и нееластично расејање електрона на атомима читавог низа атома метала представљени су овом раду, истакнут је значај и мотивација њиховог истраживања. Резултати су упоређени са постојећим теоријским резултатима и прорачунима. Дата је историјска перспектива истраживања наших истраживача у области електронске спектрометрије атома метала. Повезивањем основних истраживања (сударна атомска физика) са информационим технологијама оствариће се и ефекат преноса знања у остале области људских делатности.

ЗАХВАЛНИЦА

Овај рад је финансиран од стране Министарства за науку Републике Србије у оквиру пројекта 171020. Рад такође спада у делатности ESF/COST акције MP1002 Nano-IBCT– Nanoscale Insights into Ion Beam Cancer Therapy. Практичну имплементацију информационог система остварио је дипл. инж. Ђорђе Лазовић и фирма "BigByte".

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kurepa J. M., and Kurepa M. V., *Int. J. Electronics*, **18** 115 (1965).
- [2] Kurepa M. V. and Tošić D. D., *Int. J. Electronics*, **18** 125 (1965).
- [3] Vušković L., Cvejanović S. and Kurepa M., *Fizika* **2**, Suppl,1 26 (1970).
- [4] Kurepa M. V., Tasić M. D. and Kurepa J. M., *J. Phys. E: Sci. Instr.* **7** 940 (1974).
- [5] Kurepa M. V., Čadež I. M. and Pejčev V. M., *Fizika* **6** 185 (1974).

- [6] Kurepa M. V. and Vušković L., *J. Phys. B: At. Molec. Phys.* **8** 2067 (1975).
- [7] Vušković L., Kurepa M. V. and Bočvarski V., *Fizika* **7** 163 (1975).
- [8] Grujić P., *J. Phys. B: Atom. Mol.Phys.* **5** L137 (1972).
- [9] Grujić P., *J. Phys. B: Atom. Mol.Phys.* **6** 286 (1973).
- [10] Janev R. K. and Belkić Dž. S., *J. Phys. B: Atom. Mol.Phys.* **5** L237 (1972).
- [11] Janev R. K. and Belkić Dž. S., *J. Phys. B: Atom. Mol.Phys.* **6** 2613 (1973).
- [12] Janev R. K. and Belkić Dž. S., *J. Phys. B: Atom. Mol.Phys.* **6** 1020 (1973).
- [13] Asundi R. K., Craggs J. D. and Kurepa M. V., *Proc. Phys. Soc.* **82** 967 (1963).
- [14] Asundi R. K. and Kurepa M. V., *J. Sci. Instr.* **40** 183 (1963).
- [15] Asundi R. K. and Kurepa M. V., *J. Electronics and Control*, **15** 41 (1963).
- [16] Stamatović A. and Schulz G. J., *Rev. Sci. Instrum.* **39** 1752 (1968).
- [17] Stamatović A. and Schulz G. J., *Rev. Sci. Instrum.* **41** 423 (1970).
- [18] Stamatović A. and Schulz G. J., *Phys. Rev. A.* **7** 589 (1973).
- [19] Heddle D. W. O. and Kurepa M. V., *J. Phys. E: Sci. Instr.* **3** 552 (1970).
- [20] Cvejanović S. and Read F. H., *J. Phys. B: Atom. Mol.Phys.* **7** 1180 (1974).
- [21] Cvejanović S., Comer J. and Read F. H., *J. Phys. B: Atom. Mol.Phys.* **7** 468 (1974).
- [22] Cvejanović S. and Read F. H., *J. Phys. B: Atom. Mol.Phys.* **7** 1841 (1974).
- [23] Čadež I., Tronc M. and Hall R. I., *J. Phys. B: Atom. Mol.Phys.* **7** L132 (1974).
- [24] Čadež I., Tronc M. and Hall R. I., *J. Phys. B: Atom. Mol.Phys.* **8** L73 (1975).
- [25] Cvejanović S. and Grujić P., *J. Phys. B: Atom. Mol.Phys.* **8** L305 (1975).
- [26] Kurepa M. V., Pejčev V. M. and Čadež I. M., *J. Phys. D: Appl. Phys.* **9** 481 (1976).
- [27] Vušković L. and Kurepa M., *J. Phys. B: Atom. Molec. Phys.* **9** 837 (1976).
- [28] Cvejanović D., Adams A., Imhof R. E. and King G. C., *J. Phys. E: Sci. Instr.* **8** 809 (1975).
- [29] Ross K. J., Ottley T. W., Pejčev V. and Rassi D., *J. Phys. B: Atom. Molec. Phys.* **9** 3237 (1976).
- [30] Pejčev V., Ross K. J., Rassi D. and Ottley T. W., *J. Phys. B: Atom. Molec. Phys.* **10** 459 (1977).
- [31] Pejčev V., Rassi D. and Ross K. J., *J. Phys. B: Atom. Molec. Phys.* **10** L629 (1977).
- [32] Pejčev V., Ross K. J. and Rassi D., *J. Phys. B: Atom. Molec. Phys.* **10** L579 (1977).

- [33] Rassi D., Pejčev V. and Ross K. J., *J. Phys. B: Atom. Molec. Phys.* **10** 3535 (1977).
- [34] Kavei G., Ottley T. W., Pejčev V. and Ross K. J., *J. Phys. B: Atom. Molec. Phys.* **10** 2923 (1977).
- [35] Pejčev V., Rassi D. Ross K. J. and Ottley T. W., *J. Phys. B: Atom. Molec. Phys.* **10** 1653 (1977).
- [36] Pejčev V. and Ross K. J., *J. Phys. B: Atom. Molec. Phys.* **10** L291 (1977).
- [37] Pejčev V. and Ross K. J., *J. Phys. B: Atom. Molec. Phys.* **10** 2935 (1977).
- [38] Rassi D., Pejčev V., Ottley T. W. and Ross K. J., *J. Phys. B: Atom. Molec. Phys.* **10** 2913 (1977).
- [39] Pejčev V., Rassi D. and Ross K. J., *J. Phys. B: Atom. Molec. Phys.* **13** L305 (1980).
- [40] Pejčev V., Ottley T. W., Rassi D. and Ross K. J., *J. Phys. B: Atom. Molec. Phys.* **11** 531 (1978).
- [41] Trajmar S. and Williams W., “Electron-Metal Atom Collision Cross Sections” *Proc. VIII International Summer School on the Physics of Ionized Gases*, August 27 - September 3, 1976, Dubrovnik, Yugoslavia, Ed. B. Navinšek, Invited Lecture, pp. 199 – 215.
- [42] Vušković L., Trajmar S. and Register D. F., *J. Phys. B: At. Mol. Phys.* **15** 2517 (1982).
- [43] Srivastava S. K. and Vušković L., *J. Phys. B: Atom. Molec. Phys.* **13** 2633 (1980).
- [44] Srivastava S. K. and Vušković L., *J. Phys. B: Atom. Molec. Phys.* **13** 1980 (1980).
- [45] Vušković L., Maleki L. and Trajmar S., *J. Phys. B: At. Mol. Phys.* **17** 2519 (1984).
- [46] Filipović D., *M. Sci. Thesis*, University of Belgrade, 1984.
- [47] Filipović D., Marinković B., Pejčev V. and Vušković L., *Phys. Rev. A.* **37** 356 (1988).
- [48] Cho H., McEachran R. P., Buckman S. J., Filipović D. M., Pejčev V., Marinković B. P., Tanaka H., Stauffer A. D. and Jung E. C., *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **39** 3781 (2006).
- [49] Filipović D., Pejčev V., Marinković B. and Vušković L., *Fizika* **20** 421 (1988).
- [50] Milosavljević A. R., Kelemen V. I., Filipović D. M., Kazakov S. M., Pejčev V., Šević D. and Marinković B. P., *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **38** 2195 (2005).
- [51] Filipović D., *Ph. D. Thesis*, University of Belgrade, 1989.
- [52] Panajotović R., Filipović D., Marinković B., Pejčev V., Kurepa M. V. and Vušković L., *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **30** 5877 (1997).
- [53] Filipović D., Marinković B., Pejčev V. and Vušković L., *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **33** 677 (2000).
- [54] Filipović D., Marinković B., Pejčev V. and Vušković L., *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **33** 2081 (2000).
- [55] Marinković B. P., *M. Sci. Thesis*, University of Belgrade, 1985.

- [56] Marinković B. P., Szmytkowski Cz., Pejčev V., Filipović D. and Vušković L., *J. Phys. B: At. Mol. Phys.* **19** 2365 (1986).
- [57] Marinković B. P., Pešić Z. D., Panajotović R., Filipović D. M., Felfli Z. and Msezane A. Z., *Balkan Phys. Lett.* **6** 101 (1998).
- [58] Marinković B. P., Panajotović R., Pešić Z. D., Filipović D. M., Felfli Z. and Msezane M. S., *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **32** 1949 (1999).
- [59] Marinković B. P., *Ph. D. Thesis*, University of Belgrade, 1989.
- [60] Marinković B. P., in “*Atomic Collision Processes and Laser Beam Interactions with Solids*”, Eds. M. Milosavljević and Z. Lj. Petrović, (Nova Science Publishers, Inc., New York, 1996). pp. 101 – 114.
- [61] Marinković B. P., Pejčev V., Filipović D. and Vušković L., *J. Phys. B: At. Molec. Phys.* **24** 1817 (1991).
- [62] Marinković B. P., Pejčev V., Filipović D., Čadež I. and Vušković L., *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **25** 5179 (1992).
- [63] Panajotović R., Pejčev V., Konstantinović M., Filipović D., Bočvarski V. and Marinković B. P., *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **26** 1005 (1993).
- [64] Panajotović R., *Ph. D. Thesis*, University of Belgrade, 1993.
- [65] Panajotović R., Šević D., Pejčev V., Filipović D. M. and Marinković B. P., *Int. J. Mass Spectrom.* **233** 253 (2004).
- [66] Fursa D. V., Bray I., Panajotović R., Šević D., Pejčev V., Filipović D. M. and Marinković B. P., *Phys. Rev. A* **72** 012706 (2005).
- [67] Predojević B., Šević D., Pejčev V., Marinković B. P. and Filipović D. M., *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **36** 2371 (2003).
- [68] Predojević B., Šević D., Pejčev V., Marinković B. P. and Filipović D. M., *Serbian Astronomical Journal* **169** 53 (2004).
- [69] Milisavljević S., Šević D., Pejčev V., Filipović D. M. and Marinković B. P., *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **37** 3571 (2004).
- [70] Milisavljević S., Šević D., Chauhan R. K., Pejčev V., Filipović D. M., Srivastava R. and Marinković B. P., *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **38** 2371 (2005).
- [71] Milisavljević S., *M. Sci. Thesis*, University of Belgrade, 2006.
- [72] Predojević B., Šević D., Pejčev V., Marinković B. P. and Filipović D. M., *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **38** 1329 (2005).
- [73] Predojević B., Šević D., Pejčev V., Marinković B. P. and Filipović D. M., *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **38** 3489 (2005).
- [74] Predojević B., *Ph. D. Thesis*, University of Belgrade, 2006.
- [75] Filipović D. M., Predojević B., Šević D., Pejčev V., Marinković B. P., Srivastava R. and D. Stauffer A., *Int. J. Mass Spectrom.* **251** 66 (2006).
- [76] Filipović D. M., Predojević B., Pejčev V., Šević D., Marinković B. P., Srivastava R. and D. Stauffer A., *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **39** 2583 (2006).
- [77] Predojević B., Pejčev V., Filipović D. M., Šević D. and Marinković B. P., *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **40** 1853 (2007).
- [78] Predojević B., Pejčev V., Filipović D. M., Šević D. and Marinković B. P., *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **41** 015202 (2008).

- [79] Predojević B., Pejčev V., †Filipović D. M., Šević D., Tomčik B. and Marinković B. P., *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **44** 055208 (2011).
- [80] Marinković B. P., Pejčev V., Filipović D. M., Šević D., Milisavljević S. and Predojević B., *Rad. Phys. Chem.* **76** 455 (2007).
- [81] Marinković B. P., Tošić S. D., Rabasović M. S., Šević D., Pejčev V., Predojević B. and Filipović D. M., “Measurements of Electron Interactions with Metal Vapour Atoms”, *Proc. 2nd Meeting on Electron Controlled Chemical Lithography (ECCL 2009)*, 4 – 9 June 2009, Sabani Üniversitesi, Istanbul, Turkey, Abstract Booklet, Oral Presentation, p.34.
- [82] Marinković B. P., “Electron scattering data on metal atoms”, *XX Europ. Conf. on the Atomic and Molecular Physics of Ionized Gases (XX ESCAMPIG)*, Post conference “*Workshop on Atomic and Molecular data needs for lighting*” 13 – 17 July 2010, Novi Sad, Serbia.
- [83] Milisavljević, S., Rabasović, M. S., Šević, D., Pejčev, V., Filipović, D. M., Lalita Sharma, Rajesh Srivastava, Stauffer, A. D., Marinković B. P., *Phys. Rev. A*, **75**, 052713, (2007).
- [84] Milisavljević, S., Rabasović, M. S., Šević, D., Pejčev, V., Filipović, D. M., Lalita Sharma, Rajesh Srivastava, Stauffer, A. D., Marinković B. P., *Phys. Rev. A*, **76**, 022714, (2007).
- [85] Tošić S. D., Rabasović M. S., Šević D., Pejčev V., Filipović D. M., Sharma L., Tripathi A. N., Srivastava R. and Marinković B. P., *Phys. Rev. A* **77** 012725 (2008).
- [86] Marinković B. P., Filipović D. M., Pejčev V. and Šević D., *Int. J. Mass Spectrom.* **271** 76 (2008).
- [87] Rabasović M. S., Kelemen V. I., Tošić S. D., Šević D., Dovhanych M. M., Pejčev V., Filipović D. M., Remeta E. Yu. and Marinković B. P., *Phys. Rev. A* **77** 062713 (2008).
- [88] Rabasović M. S., Tošić S. D., Pejčev V., Šević D., Filipović D. M. and Marinković B. P., *Facta Universitatis, Series Phys. Chem. Technol.* **6** 119 (2008).
- [89] Rabasović M. S., Tošić S. D., Šević D., Pejčev V., Filipović D. M. and Marinković B. P., *Nucl. Instrum. and Meth. in Phys. Res. B* **267** 279 (2009).
- [90] Tošić S. D., Kelemen V. I., Šević D., Pejčev V., Filipović D. M., Remeta E. Yu. and Marinković B. P., *Nucl. Instrum. and Meth. in Phys. Res. B* **267** 283 (2009).
- [91] Bederson B., *Comments Atom. Mol. Phys.* **1** 41 (1969).
- [92] Fano U. and Macek J. H., *Rev. Mod. Phys.* **45** 553 (1973).
- [93] Bartschat K., *Phys. Rep.* **180** 1 (1989).
- [94] Andersen N., Gallagher J. W. and Hertel I. V., *Phys. Rep.* **165** 1 (1988).
- [95] Kessler J., *Polarized Electrons*, Springer Series on Atoms and Plasmas, 2nd edition, (1976).
- [96] Kessler J., Lucas C. B. and Vušković L., *J. Phys. B: Atom. Molec. Phys.* **10** 847 (1977).
- [97] Marinković B. P. and Kurepa M. V., in *Free Electron Beams, Symposium Electron - The Centenary of the Discovery*, Vol.3, Ed. M.

- Kurepa, (Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, 1997) pp.209-256 (in Serbian).
- [98] Andersen N., Bartschat K., Broad J. T. and Hertel I. V., *Phys. Rep.* **279** 251 (1997).
- [99] Zuo M., Jiang T. Y., Vušković L. and Bederson B., *Phys. Rev. A* **41** 2489 (1990).
- [100] Jiang T. Y., Ying C. H., Vušković L. and Bederson B., *Phys. Rev. A* **42** 3852 (1990).
- [101] Ying C. H., Perales F., Vušković L. and Bederson B., *Phys. Rev. A* **48** 1189 (1993).
- [102] Jiang T. Y., Zuo M., Vušković L. and Bederson B., *Phys. Rev.Lett.* **68** 915 (1992).
- [103] Jiang T. Y., Shi Z., Ying C. H., Vušković L. and Bederson B., *Phys. Rev. A* **51** 3773 (1995).
- [104] Tarnovsky V., Bunimovcz M., Vušković L., Stumpf B. and Bederson B., *J. Chem. Phys.* **98** 3894 (1993).
- [105] Shi Z., Ying C. H. and Vušković L., *Phys. Rev. A* **53** R16 (1996).
- [106] Shi Z., Ying C. H. and Vušković L., *Phys. Rev. A* **54** 480 (1996).
- [107] Tan W. S., Shi Z., Ying C. H. and Vušković L., *Phys. Rev. A* **54** R3710 (1996).
- [108] Tošić, S. D., Šević, D., Pejčev, V. and Marinković B. P., *Physics 2010*, Banja Luka (2011).
- [109] Brinkman, R. and T. Trajmar, S., *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, **14**, 245, (1981).
- [110] Petruševski B. A., Šević D. and Marinković B. P., “User-friendly software for resolving some of the parameters in electron spectrometry experiments: scattering volume correction factor and metal vapour pressure curves”, in *Proc. 7th Radiation Damage in Biomolecular Systems – RADAM 2010*, 30th June – 2nd July 2010, Madrid, Spain, p.86.
- [111] Avdonina, N. B., Felfli, Z. and Msezane, A., *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **30** 2591 (1997).
- [112] Felfli, Z. and Msezane, A. Z., *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **31** L165 (1998).
- [113] Madison D. H., Bartschat K. and McEachran R. P., *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **25** 5199 (1992).
- [114] Predojević B., Pejčev V., Šević D., Lekić S. and Marinković B. P., 27th ICPEAC to be submitted (2011).
- [115] Forrest L. F., James G. K., Ross K. J. and Pejčev V., *J. Phys. B: At. Mol. Phys.* **16** 4671 (1983).
- [116] Zatsarinny O., Bartschat K., Gedeon S., Gedeon V., Lazur V. and Nagy E., *Phys. Rev. A* **79** 052709 (2009).
- [117] Brown D. O., Crowe A., Fursa D. V., Bray I. and Bartschat K. J. *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **38** 4123 (2005).
- [118] Brown D. O., Cvejanović D. and Crowe A., *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **36** 3411 (2003).
- [119] Fursa D. V. and Bray I., *Phys. Rev. A* **63** 032708 (2001).
- [120] Gregory D. and Fink M., *At. Data Nucl. Data Tables* **14** 39 (1974).

- [121] Khare S. P., Kumar Ashok and Vijayshri, *J. Phys. B: At. Mol. Phys.* **18** 1827 (1985).
- [122] Kazakov S. M. and Kristoforov O. V., *Sov. Phys. Tech. Phys.* **30** 476 (1985).
- [123] Nikolić M. R. and Tančić A. R., 17th *Summer School and Int. Symposium on the Physics of Ionized Gases (Belgrade)*, ed. B. Marinkovic and Z. Petrović (Yugoslavia: Institute of Physics Belgrade), Contributed papers, p. 14 (1994).
- [124] Yuan J., *Phys. Rev. A* **52** 4647 (1995).
- [125] Kelemen V. I., Remeta E. Yu. and Sabad E. P., *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **28** 1527 (1995).
- [126] Remeta E. Yu., Shpenik O. B. and Bilak Yu. Yu., *Tech. Phys.* **46** 375 (2001).
- [127] Back C. G., White M. D., Pejčev V. and Ross K. J., *J. Phys. B: At. Mol. Phys.* **14** 1497 (1981).
- [128] Madison D. H., Bartschat K. and Srivastava R., *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **24** 1839 (1991).
- [129] Albert K., Christian C., Heindeorff T., Reichert E. and Schoen S., *J. Phys. B: Atom. Molec. Phys.* **10** 2797 (1977).
- [130] Kazakov S. M., Korotkov A.I. and Shpenik O.B., *Zh. Eks. Teor. Fiz.* **78** 1687 (*Sov. Phys. JETP* **51** 847) (1980).
- [131] Ford M. J., Pejčev V., Smith D., Ross K. J. and Wilson M., *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **23** 4247 (1990).
- [132] Forrest L. F., Pejčev V., Smith D., Ross K. J. and Wilson M., *J. Phys. B: At. Mol. Phys.* **20** 3985 (1987).
- [133] James G. K., Pejčev V., Ross K. J. and Wilson M., *J. Phys. B: At. Mol. Phys.* **15** 1421 (1982).
- [134] Ford M. J., Forrest L. F., Pejčev V., Smith D., Sokhi R. S. and Ross K. J., *J. Phys. B: At. Mol. Phys.* **20** 4241 (1987).
- [135] Forrest L. F., Pejčev V., James G. K., Daniel G. J. and Ross K. J., *J. Phys. B: At. Mol. Phys.* **18** 2601 (1985).
- [136] Pejčev V., Forrest L. F., James G. K., Kurepa M., Smith D. and Ross K. J., *J. Phys. B: At. Mol. Phys.* **21** 2273 (1988).
- [137] J.,Forrest L. F., Sokhi R., Pejčev V., Ross K. J. and Wilson M., *J. Phys. B: At. Mol. Phys.* **18** 4519 (1985).
- [138] Back C., Pejčev V., Ross K. J. and Wilson M., *J. Phys. B: At. Mol. Phys.* **16** 2413 (1983).
- [139] Pejčev V., Back C. G., Ross K. J. and Wilson M., *J. Phys. B: At. Mol. Phys.* **14** 4649 (1981).
- [140] Hein J. D., Kidwai S., Zetner P. W., Bostock C., Fursa D. V., Bray I., Sharma L., Srivastava R. and Stauffer A., *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **44** 015202 (2011).
- [141] Johnson P. V., Li Y., Zetner P. W., Csanak G., Clark R. E. H. and Abdallah J. Jr., *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **31** 3027 (1998).
- [142] Zetner P. W., Johnson P. V., Li Y., Csanak G., Clark R. E. H. and Abdallah J. Jr., *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **34** 1619 (2001).

- [143] ESF/COST Action: MP1002 Nano-IBCT– Nanoscale Insights into Ion Beam Cancer Therapy
http://w3.cost.eu/index.php?id=248&action_number=MP1002
- [144] Cvjetković V., Bilbija M., Marinković B. P., Bočvarski V. and Nikolić V., *Proc. Symposium YUINFO'2002*, Kopaonik, 11-15 March (2002).
- [145] Cvjetković V., Marinković B. P., Bočvarski V., Bilbija M. and Petrović V., *Proc. of the Fifth Gen. Conf. of Balkan Physical Union BPU-5*, Vrnjačka Banja, Serbia and Montenegro, August 25 – 29, 2003, Eds. S. Jokić, I. Milosević, A. Balaz and Z. Nikolić, (Belgrade: Serbian Physical Society) CD-ROM Abstract SO04 – 003, pp. 245 – 250 (2003).