

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

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

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

Судари електрона са атомима и молекулима

ДИФЕРЕНЦИЈАЛНИ ПРЕСЕЦИ ЗА РАСЕЈАЊЕ ЕЛЕКТРОНА НА АТОМИМА СРЕБРА И ОЛОВА

С. Д. Тошић¹, Д. Шевић¹, В. Пејчев², Б. П. Маринковић¹

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

²Природно математички факултет, Универзитет у Крагујевцу,
Крагујевац, Србија

Сажетак. У овом раду приказани су резултати експерименталног истраживања еластичног и нееластичног расејања електрона на атомима сребра и олова. У експерименту са укрштеним електронским и атомским млазом (моноенергијски млаз електрона се под правим углом расејава на млазу атома) измерени су диференцијални пресеци (*DCS*) за еластично расејање и ексцитацију неразложених резонантних линија сребра ($4d^{10}5p^2P_{1/2, 3/2}$) и олова ($6p7s^3P_{0,1}$) електронима упадних енергија (E_0) 10, 20, 40, 60, 80 и 100 eV у интервалу угла расејања од 1° до 150° за ексцитацију, односно од 10° до 150° за еластично расејање. Апсолутне вредности пресека су добијене нормирањем релативних вредности на оптичку јачину осцилатора (ексцитација) односно помоћу количника интензитета еластичног и нееластичног пика на одређеном углу расејања (еластично расејање). Експериментални резултати су поређени са постојећим теоријским прорачунима.

Abstract. Here we present results of our experimental investigations of the both elastic and inelastic electron scattering by silver and lead. The experimental investigation was based on crossed beam technique with effusive atomic beam being perpendicularly crossed by electron beam. Differential cross sections (*DCSs*) for elastic scattering and excitation of the unresolved $4d^{10}5p^2P_{1/2, 3/2}$ silver line and $6p7s^3P_{0,1}$ lead line were measured at electron-impact energies (E_0) of 10, 20, 40, 60, 80 and 100 eV and for a range of scattering angles (θ) from 1° up to 150° (excitation) and from 10° to 150° (elastic scattering). The absolute differential cross sections for excitation have been obtained through the normalization procedure to the optical oscillator strength, i.e. by using the elastic-to-inelastic (the unresolved silver resonant lines $4d^{10}5p^2P_{1/2, 3/2}$) intensity ratio at certain scattering angle. The experimental results have been compared with the corresponding calculations.

1. УВОД

Електрон атомски сударни процеси су несумњиво имали значајну улогу у развоју модерне физике. Резултати испитивања ових процеса представљају богат извор информација о динамици самог процеса, интеракцијама које владају међу атомима и молекулима као и о њиховој структури а колики је њихов значај говори и чињеница да су многи елементарни процеси не само у атомској и молекулској физици већ и у астрофизици, биофизици, атмосфереској физици, физици плазме и ласера, физици површина и ниских температура и у многим другим областима управо сударни процеси. Међутим, објашњење ових процеса није ни мало лако. Честице учесници судара интерагују у коначном делу простора, у тзв. интеракционој запремини при чему у већој или мањој мери мењају своје почетно квантно стање. Експериментално проучавање подразумева мерење и детекцију насталих промена под условом да је почетно стање познато (енергија, правац кретања, поларизација...). Ако имамо у виду да се у самом сударном процесу као последица корелације између електронског облака атома мете и упадног електрона, као и међусобних унутрашњих корелација јављају многи физички феномени и ефекти, долазимо до закључка да ни теоријски опис проблема није једноставан и да очигледно зависи од тога који се од наведених ефеката узима у обзир.

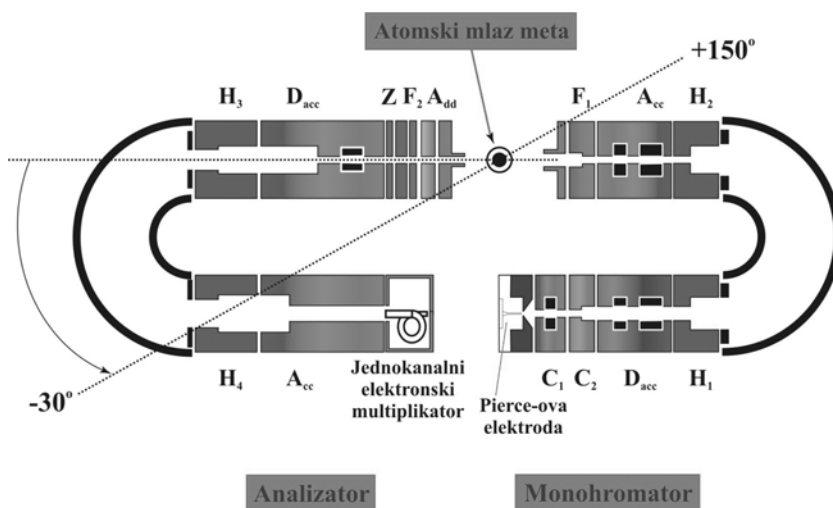
Процес расејања електрона се квантитативно описује тзв. диференцијалним пресеком који суштински представља вероватноћу да дође до интеракције, тј. судара. Експериментално одређивање диференцијалних пресека се своди на детекцију расејаних електрона после еластичног или нееластичног расејања на атому мети. Мерени сигнал пропорционалан броју тих електрона се применом одговарајућих корекционих фактора претвара у релативни диференцијални пресека а апсолутне вредности се добијају одговарајућим поступком нормирања.

Кроз експериментално истраживање сударних процеса електрона на атомима сребра и олова покушали смо да дамо свој допринос споменутој области [1-4]. У овом раду представљен је део резултата мерења диференцијалних пресека за еластично расејање електрона средњих енергија од 10 до 100 eV на атомима сребра и олова као и пресеци за електронску ексцитацију $4d^{10}5p \ ^2P_{1/2, 3/2}$ стања атома сребра и $6p7s \ ^3P_{0,1}$ стања атома олова. Осим експерименталних резултата Вилијамса и Трајмара [5] за еластично електрон-олово расејање и ексцитацију већ поменутог стања на једној јединој енергији упадних електрона енергији 40 eV, колико је познато ауторима овог рада не постоје други измерени пресеци ни за један од проучаваних сударних процеса ни на једној посматраној мети у датом опсегу енергија и углава расејања. Наше резултате поредили смо са овим постојећим експериментално добијеним вредностима на 40 eV, као и са постојећим теоријским прорачунима.

2. ЕКСПЕРИМЕНТ

2.1. Експериментални уређај

Резултати добијени у овом раду добијени су на електронском спектрометру ЕСМА у Лабораторији за физику атомских судара Института за физику у Земуну. Конфигурација експеримента заснива се на техници укрштених млазева у којој се моноенергијски млаз електрона расејава на млазу атома под правим углом. Само мерење се заснива на принципу бинарних судара у којима учествује једна честица пројектил (електрон) и једна честица мета (атом). Успешна реализација експеримента могућа је уз довољно добар вакуум у интеракционој комори, добро просторно и енергијски дефинисан млаз упадних електрона, ефузиони режим истицања пара метала који обезбеђује бољу колимисаност и одговарајућу честичну густину атомског млаза. С обзиром да је детаљни опис уређаја и експерименталне методе дат у низу публикација [1-4], овде ћемо приказати само најважније детаље.



Слика 1. Шематски приказ електронско-оптичког система

Шема електронско оптичког система приказана је на слици 1. Моноенергијски млаз електрона добија се вођењем, енергијском селекцијом и колимисањем електрона добијених термоелектронском емисијом из усијане катодe облика укоснице кроз монохроматор док се енергијска анализа и детекција расејаних електрона после расејања на атому мети врши анализатором. Електростатички дисперзиони елемент и код монохроматора и код анализатора је полусферни кондензатор, а контрола енергијске ширине и угла дивергенције млаза у складу са захтевима оптималног функционисања се обавља помоћу система цилиндричних електростатичких сочива. На крају анализатора налази се једноканални електронски мултипликатор који се користи за појединачно

бројање електрона, тј. као детектор. Сам анализатор може да ротира око осе која је нормална на раван расејања и пролази кроз интеракциону запремину при чему са истом заклапа углове од -30° до $+150^\circ$.

Атомски млаз је добијен загревањем метала у специјално конструисаној пећи направљеној од немагнетног нерђајућег челика која се греје помоћу два специјална отпорна коаксијална грејача. Један грејач се користи за грејање самог излазног канала, тј. горњег дела пећи, а други грејач за грејање доњег дела пећи, тј. талишта у коме се налази узорак метала који се греје. Горњи део пећи је загреван до нешто виших температура (разлика апроксимативно око 100°). Оваквим независним напајањем грејача спречено је кондензовање пара метала и запушавање излазног канала. За добијање довољног притиска пара метала олова и сребра постигнуте су радне температуре од око 1170 K за олово и 1300 K за сребро.

Сви елементи система налазе се у вакуумској комори од немагнетног нерђајућег челика која је од утицаја спољашњег магнетног поља заштићена облогама од μ -метала, а додатна заштита је спроведена употребом немагнетних материјала за израду свих елемената унутар ње. Предвакуум се постиже двостепеном механичком ротационом пумпом док две уљне дифузионе пумпе са траповима који се хладе течним азотом обезбеђују диференцијално пумпање саме коморе и електронско-оптичког система. На врху коморе, тачно изнад пећи (интеракционе запремине) налази се трап који се такође хлади течним азотом и чији је задатак хватање металних пара. Тако се спречава прљање коморе и напаравање метала на појединим деловима система.

2.2. Експериментална процедура и нормирање

Пре сваког мерења сниман је спектар губитака енергије како би се проверило да ли има двоструког (вишеструког) расејања или не, односно да ли су испуњени услови за бинарне сударе (двоструко расејање се манифестује у виду структуре на енергији једнакој двострукој енергији посматраног стања). Положај нултог угла расејања провераван је мерењем интензитета нееластично расејаних електрона на малим угловима расејања од -10° до $+10^\circ$ и провером симетричности угаоне расподеле. Снимљени одброји се коригују у зависности од положаја стварне нуле, а затим множе одговарајућим корекционим факторима за интеракциону запремину [6] у циљу добијања релативних пресека. Мерења на малим угловима карактеристична су за ексцитационе процесе док су у случају еластичног расејања, због утицаја примарног млаза, мерени одброји само на угловима већим од 10° .

Апсолутне вредности диференцијалних пресека добијене су нормирањем релативних пресека на функцију расејања унапред (ексцитација), односно помоћу количника интензитета еластичног и нееластичног пика у спектру губитака енергије на одређеном углу расејања (еластично расејање). Прву методу нормирања су предложили Авдонина и

сарадници [7], а детаљно је описана у раду чији су аутори Фелфли и Мсезане [8]. Користећи везу између генералисане јачине осцилатора (*GOS*) и диференцијалног пресека (*DCS*) [7]:

$$GOS(K, E_0) = \frac{\omega k_i}{2 k_f} K^2 DCS(E_0, \theta) \quad (1)$$

где је ω енергија ексцитације, k_i и k_f су импулси електрона пре и после судара, а K је интензитет пренесеног, тј. предатог импулса за који важи:

$$K^2 = 2E_0 \left[2 - \frac{\omega}{E_0} - 2\sqrt{1 - \frac{\omega}{E_0} \cos \theta} \right] \quad (2)$$

као и чињеницу да у граничном случају нултог преноса импулса генералисана јачина осцилатора постаје једнака оптичкој јачини осцилатора (*OOS*) (Ласетрова гранична теорема):

$$\lim_{k \rightarrow 0} GOS(K, E_0) = OOS \quad (3)$$

Фелфли и Мсезане [6] су описали процедуру за нормализацију диференцијалних пресека која је, за разлику од претходних, била применљива и за ниске енергије.

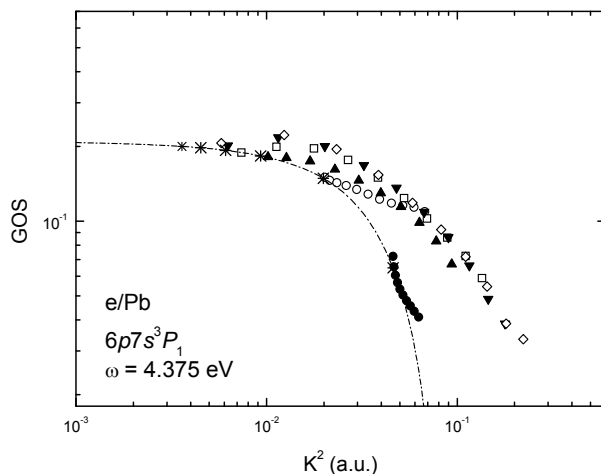
Први корак нормализационе процедуре је рачунање вредности генералисаних јачина осцилатора из мерених релативних пресека на малим угловима расејања (1). Затим се генералисане јачине осцилатора фитују, екстраполацијом се добија вредност која одговара нултом углу расејања (минимлан вредност K^2) и нормира се на функцију расејања унапред (*FSF*) која се добија стандардних поступком описаним у [8] помоћу одговарајуће вредности оптичке јачине осцилатора за посматрано стање. Ми смо у нашем раду користили вредности оптичких јачина за $6p7s \ ^3P_1$ стање олова $OOS=0.21$ и за $4d^{10}5p \ ^2P_{1/2, 3/2}$ стање атома сребра $OOS=0.67$ које смо преузели из НИСТ-ове базе података [10]. Из овако нормираних вредности генералисаних јачина се опет пређе на диференцијалне пресеке и том приликом се добијају апсолутне вредности пресека. Пресеци на већим угловима расејања се нормирају на тако израчунате апсолутне пресеке на неком углу (најчешће је то угао расејања 10°).

3. РЕЗУЛТАТИ

Еластично и нееластично расејање електрона на атомима сребра и олова је експериментално проучавано на енергијама упадних електрона 10, 20, 40, 60, 80 и 100 eV у опсегу углова расејања од 1° до 150° за

ексцитацију и од 10° до 150° за еластично расејање. У овом раду ће бити представљен део добијених резултата.

На слици 2 приказане су нормиране генерализисане јачине осцилатора за ексцитацију $6s^26p7s\ ^3P_1$ стања атома олова у функцији квадрата пренесеног импулса [9].



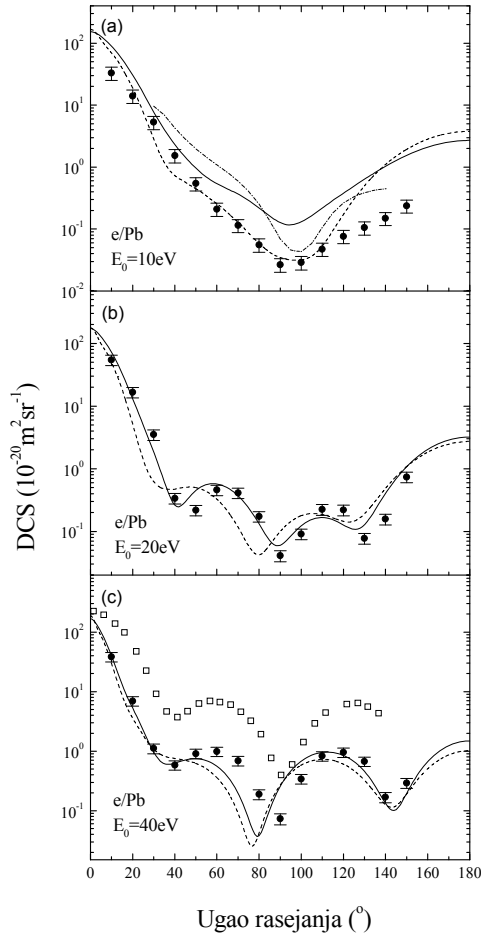
Слика 2. Нормиране генерализисане јачине осцилатора за $6p7s^3P_1$ стање атома олова у функцији квадрата пренесеног импулса на : ●, 10 eV; ○, 20 eV; ▲, 40 eV; □, 60 eV; ▼, 80 eV; ◇, 100 eV упадној енергији електрона; *, одговарајуће минималне вредности K^2 које одговарају нултом углу расејања; ---, функција за расејање унапред

Као што се види, GOS вредности које одговарају нултом углу расејања леже на FSF функцији и генерално брзо опадају са порастом K^2 . Такође је евидентно да је линеарна зависност најизраженија на нижим енергијама док се са порастом енергије линеарност смањује и покрива све мањи и мањи интервал углова што је у складу са поставкама описане нормализационе процедуре [6].

Пресеци за еластично расејање електрона на атому олова на енергијама упадних електрона 10 eV, 20 eV и 40 eV приказани су на слици 3 заједно са теоријским прорачунима урађеним у оквиру апроксимације оптичких потенцијала [2] и постојећим експерименталним резултатима [12]. Примењени теоријски приступ је метод оптичких потенцијала у оквиру кога су добијене две групе резултата, тј. ДФ и ХФ апроксимација (пресеци су израчунати решавањем Диракове једначине помоћу Дирак-Фокове и Хартри-Фокове таласне једначине).

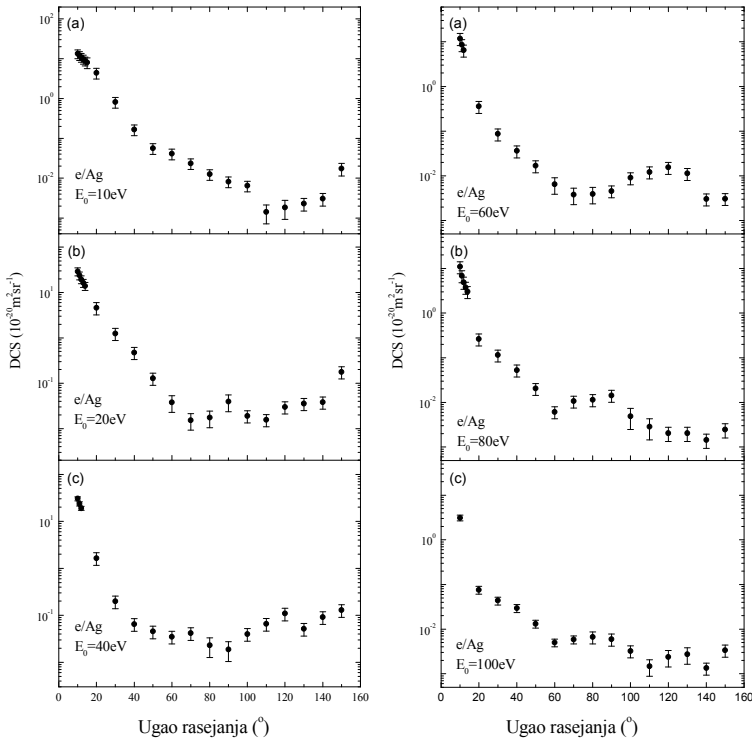
Може се видети да постоји релативно добро слагање са ДФ и ХФ [2] апроксимацијама како у погледу облика угаоне зависности тако и у погледу апсолутних вредности. На најнижој енергији слагање је боље са ДФ прорачуном. Са порастом енергије разлике између самих апроксимаци-

ја постају све мање и мање, па је и генерално слагање са експериментом боље. Резултати Вилијамса и Трајмара [5] одлично прате нашу експерименталну криву по облику, али су апсолутне вредности веће од наших што је по нашем мишљењу директна последица примењеног метода нормирања.



Слика 3. Диференцијални пресеци за еластично расејање електрона на атому олова на упадним енергијама електрона: (a) 10 eV; (b) 20 eV; (c) 40 eV: ●, експеримент; ---, ДФ прорачун [2]; —, XF прорачун [2]; -·-·-, пресеци на 11 eV [11, 12]; □, резултат Вилијамса и Трајмара [5]

Диференцијални пресеци за екситацију $4d^{10}5p^2P_{1/2, 3}$ стања атома сребра приказани су на слици 4. Може се видети да криве пресека на свим енергијама имају облик карактеристичан за дозвољене прелазе и расејање унапред. С обзиром да нема других експерименталних ни теоријских пресека за посматрани процес, није било могуће поредити добијене резултате.



Слика 4. Диференцијални пресеци за ексцитацију $4d^{10}5p^2P_{1/2, 3/2}$ стања атома сребра

3. ЗАКЉУЧАК

Диференцијални пресеци за еластично расејање електрона на атомима сребра и олова, као и за електронску ексцитацију $4d^{10}5p^2P_{1/2, 3/2}$ стања атома сребра $6p7s^3P_1$ стања атома олова мерени су на упадним енергијама 10, 20, 40, 60, 80 и 100 eV у опсегу углова расејања до 150° . Резултати су поређени са одговарајућим теоријским прорачунима и постигнут је добар степен слагања.

ЗАХВАЛНИЦА

Овај рад је финансиран од стране Министарства за науку Републике Србије у оквиру пројекта 141011. Аутори посебно истичу допринос недавно преминулог професора др Душана Филиповића овим мерењима.

4. ЛИТЕРАТУРА

- [1] 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).
- [2] Tošić, S. D., Rabasović, M. S., Šević, D., Pejčev, V., Filipović, D. M., Lalita Sharma, Triphati, A. N., Rajesh Srivastava, Marinković B. P., *Phys. Rev. A*, **77**, 012725 (2008).
- [3] Tošić, S. D., Kelemen, V. I., Šević, D., Pejčev, V., Filipović, D. M., Remeta, E. Y., Marinković B. P., *Nucl. Instr. and Meth.in Phys. Res. B*, **267**, 283 (2009).
- [4] 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).
- [5] Williams, W., Trajmar, S., *J. Phys. B*, **8**, L50 (1975).
- [6] Brinkman, R. T., Trajmar, S., *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, **14**, 245, (1981).
- [7] Avdonina, N. B., Felfli, Z., Msezane, A., *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **30** 2591 (1997).
- [8] Felfli, Z., Msezane, A. Z., *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **31** L165 (1998).
- [9] Lassette, E. N., Skerbele, A., Dillon, M. A., *J. Chem. Phys.*, **50**, 1829 (1969).
- [10] <http://physics.nist.gov/cgi-bin/ASD/lines1.pl>
- [11] Haberland, R., Fritsche, L., *J. Phys. B* **20**, 121 (1987).
- [12] F. Kaussen, F., Geesmann, H., Hanne, G. F., Kessler, J., *J. Phys. B* **20**, 151 (1987).