

Друштво математичара и физичара Црне Горе
Друштво физичара Србије

9. КОНГРЕС ФИЗИЧАРА ЈУГОСЛАВИЈЕ

– Зборник радова –

Петровац на Мору
29-31. 05. 1995.

Organizacioni odbor:

Nevenka Antović Marija Radmilović
Slobodan Backović Nataša Saveljić
Nikola Ivanović Borko Vujičić
Predrag Miranović Labud Vukčević (predsjednik)
Radovan Ognjanović Perko Vukotić

Naučni odbor:

Dr R. Antanasijević (zamjenik predsjednika)
Prof. dr S. Backović Prof. dr M. Raspopović
Prof. dr Dj. Bek-Uzarov Prof. dr I. Savić
Prof. dr S. Jokić Prof. dr J. Šetrajčić
Dr N. Nešković Prof. dr P. Vasić
Prof. dr N. Novaković Dr G. Vujičić
Dr Z. Petrović Prof. dr P. Vukotić
Dr M. Popović-Božić Prof. dr L. Vukčević
Prof. dr S. Stojanović (predsjednik)

Sponzori 9. kongresa fizičara Jugoslavije

- ★ Vojvodjanska banka – filijala Podgorica
(glavni sponzor)
- ♡ Savezno ministarstvo za razvoj, nauku i
životnu sredinu
- ♡ Ministarstvo prosvete i nauke Crne Gore
- ♡ Ministarstvo za rad i socijalno staranje Crne Gore
- ♡ Duvanski kombinat – Podgorica
- ♡ Kombinatski kombinat aluminijuma – Podgorica
- ♡ Ministarstvo za nauku i tehnologiju Republike Srbije

Tehnički urednik: Borko Vujičić

Tehnička obrada: Slobodan Backović, Radovan Ognjanović,
Žarko Kovačević i Nikola-Caka Ivanović

Sadržaj i indeks autora uradio je tehnički urednik na osnovu baze
podataka koju je napravio Slobodan Backović.

Tiraž: 600 primjeraka

Izdavač: Društvo matematičara i fizičara Crne Gore i
Društvo fizičara Srbije

DIFRAKCIONA PRIRODA ELASTIČNOG RASEJANJA ELEKTRONA NA ATOMIMA I MOLEKULIMA

D.M.Filipović

Fizički fakultet Univerziteta u Beogradu, P.O.Box 368, 11001 Beograd

V.Pejčević i B.Marinković

Institut za fiziku, P.O.Box 57, 11001 Beograd

Prva eksperimentalna potvrda difrakcije elektrona na pojedinačnim atomima datira iz tridesetih godina ovoga veka.¹ Od tada ne prestaje, kako teorijsko tako i eksperimentalno, istraživanje rasejanja elektrona na atomima i molekulima u binarnim sudarima. U ovome kontekstu se kao difrakcione slike procesa rasejanja navode diferencijalni efektivni preseki za rasejanje. Diferencijalni preseki za elastično rasejanje (DCS) zadovoljavaju gornju predstavu ukoliko je, prema osnovnom uslovu za difrakciju, (de Broglie-ova) talasna dužina upadnog elektrona porediva sa (efektivnim) dijametrom atoma-mete. Prema kvantnomehaničkom principu komplementarnosti, efektivni dijametar atoma ili molekula nije dat jednom vrednošću već se menja sa promenom parametara procesa. U difrakciji koja se razmatra u ovome radu, talasna dužina upadnog elektrona je nesumnjivo značajan parametar od koga i zavisi efektivni dijametar mete. Ako se, konačno, odredi količnik efektivnog dijametara atoma-mete i de Broglie-ove talasne dužine upadnog elektrona, D_{λ} , njegova zavisnost od energije će ukazivati na osobine atoma u datom sudarnom procesu. Na Slici 1. su prikazane vrednosti D_{λ} za atome inertnih gasova: Ar, Kr i Xe, te molekul N_2 , a prema preporučenim vrednostima integralnih efektivnih preseka za elastično rasejanje,² u širokom domenu energije sudara. Vrednosti D_{λ} od približno 1 do 2 u energijskom intervalu od 10 do 100 eV, potvrđuju poredivost talasne dužine elektrona sa veličinom mete, tj. dominantnost difrakcije u datom energijskom domenu. Na Slici 1. se uočavaju Ramsauer-Townsend-ovi (RT) minimumi, karakteristični za atome Ar, Kr i Xe, koji su na energijama 0.30-0.35, 0.70 i 0.75 eV, redom. Sem RT minimuma, zapaža se nova struktura na energijama između 10 i 100 eV. Rezultati merenja DCS^{3,4} poslužili su u analizi navedene strukture, a detaljnija merenja su u toku⁵.

Prva teorijska tumačenja DCS polaze od interakcije upadnog elektrona, energije E , sa statičkim poljem potencijala atoma (V). Domen interakcije je, za ravan upadni talas, sa promenljivim indeksom prelamanja $[(E-V)/E]^{1/2}$, i predstavlja izvor sekundarnih talasa čijom se interferencijom dobija konačna difrakciona slika. Metodom parcijalnih talasa su

prvi put teorijski reprodukovani lokalni minimumi i maksimumi DCS. Međutim, pri energijama sudara iznad praga za ekscitaciju atoma moraju se znatno dogradjivati teorijske pretpostavke da bi slaganje sa eksperimentalnim rezultatima bilo zadovoljavajuće. Dešava se da postojeći proračun,⁷ nakon popravke radi boljeg slaganja sa eksperimentalnim rezultatima u RT minimumu,⁸ pokazuje veće neslaganje sa eksperimentalnim DCS u domenu srednjih energija. Domen "brzih" elektrona je obično određen primenljivošću Born-ove aproksimacije i iznad je energije sudara od 100 eV, te nije predmet ovoga rada. Tumačenje struktura u domenu srednjih energija može pomoći osvetljavanju fenomenologije elektron-atomskih binarnih sudara koja je pri ovim energijama i najsloženija.

Fokusiranje pažnje na atome Ar, Kr i Xe, kao i molekul N_2 (kod kojih postoji RT efekt) ima za cilj da se nove strukture porede sa preporučenim vrednostima po formi D_{λ} . Da bi rezultati eksperimentalnog određivanja DCS bili od koristi za ovaj rad, merenja zahtevaju visoku energijsku i ugao nu rezoluciju. Malo je dovoljno dobrih merenja, izvedenih u domenu energija 10 do 100 eV, pogodnih za poređenja. Pri tome je slaganje eksperimentalnih rezultata DCS, datih od različitih autora, zadovoljavajuće po obliku, ali ne uvek i po vrednostima.

Energijska rezolucija kojom su u ovome radu mereni DCS je bila tipično 40–50 meV, mada je elektronskim spektrometrom, koji je detaljno opisan ranije,⁸ dostignuta širina na poluvisini linije spektra gubitaka energije od 28 meV. Uglova rezolucija je bila dovoljna da se dostignu pravi minimumi DCS u slučaju dubokih minimuma argona. Širok domen ugla rasejanja od 20° do 150°, omogućio je određivanje integralnog preseka za elastično rasejanje

$$Q_1 = 2\pi \int_0^{\pi} DCS(\theta) \sin \theta d\theta, \quad (1)$$

numeričkom integracijom, uz prethodnu ekstrapolaciju izmerenih vrednosti DCS do 0°, odnosno 180°.

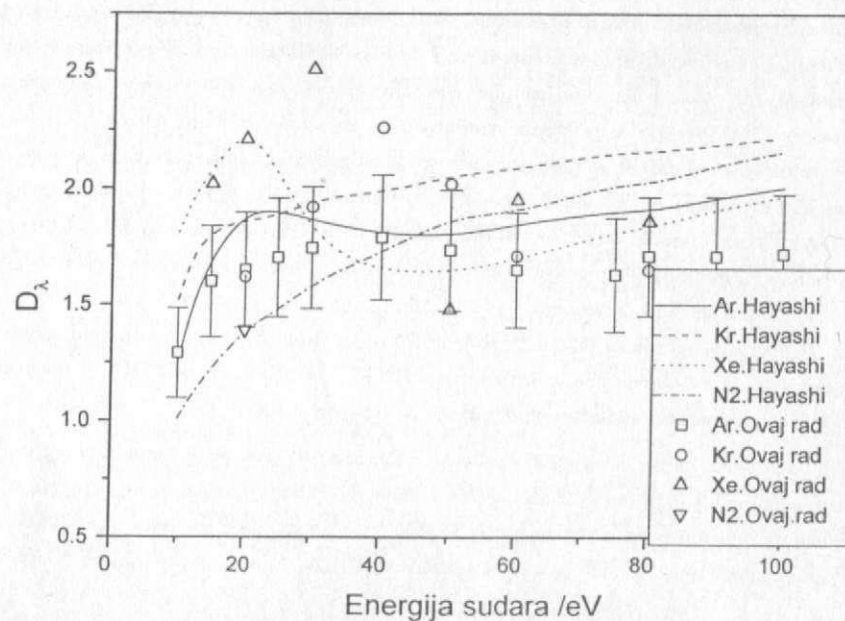
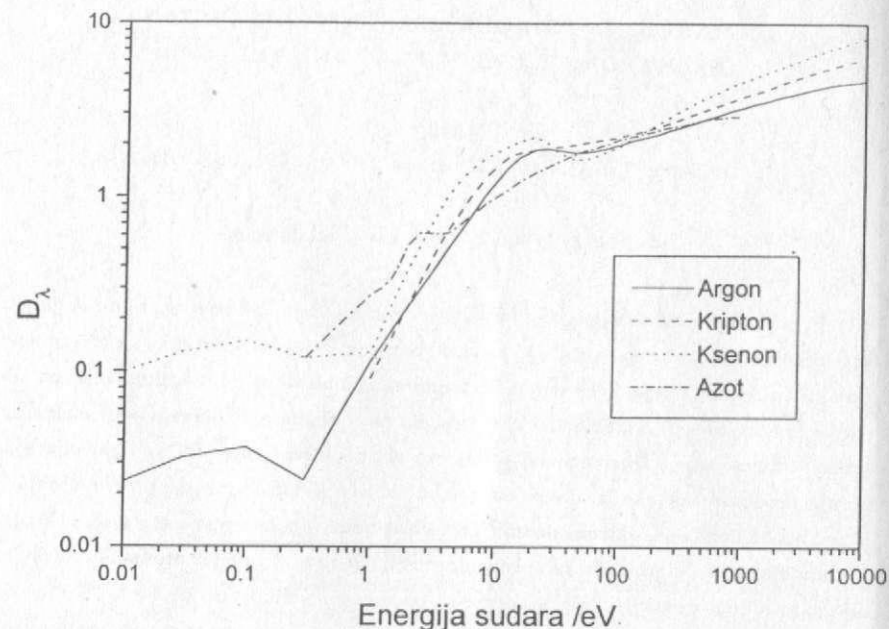
Dobijene vrednosti D_{λ} , upućuju na difrakciju kao dominantnu u rasejanju. Put nalaženja objašnjenja struktura u D_{λ} , kao funkciji E između 10 i 100 eV, sem rezonanci, mogao bi biti istraživanje kritičnih tačaka, u kojima DCS dostiže minimume istovremeno po sudarnoj energiji i po uglu rasejanja. U domenu energija od 10 do 100 eV, argon ima dve, kripton jednu, a ksenon 4 kritične tačke⁹, mada nije isključeno da je slučaju argona broj kritičnih tačaka veći⁹. Pri tome se kritične energije nalaze u domenu minimuma krive $D_{\lambda} = D_{\lambda}(E)$. Molekul N_2 nema u domenu energija od 10 do 100 eV izražene minimume

DCS pa, ukoliko su gornje pretpostavke tačne, i ne treba očekivati drastične promene D_λ usled toga.

Dakle, pored RT minimuma kao strukture u zavisnosti D_λ od energije, zapažena je kod atoma Ar, Kr i Xe, pri srednjim energijama sudara između 10 i 100 eV. struktura forme lokalnog maksimuma i minimuma. Postojanje kritičnih tačaka DCS atoma Ar, Kr i Xe, uz vrednost D_λ blisku 1, karakteristično je za ovaj domen energije sudara.

REFERENCE:

1. Bullard, E.C. and Massey, H.S.W., Proc. Roy. Soc., A 130 (1931) 579.
2. Hayashi, M. Recommended values of transport cross sections for elastic collision and total collision cross section for electrons in atomic and molecular gases, Nagoya university, Nagoya, Japan. I lična komunikacija, 1981.
3. Filipović, M.D. Magistarski rad, Prirodno-matematički fakultet, Beograd, 1984.
4. Filipović, M.D. Doktorska disertacija, Prirodno-matematički fakulteti, Beograd, 1988.
5. Panajotović, R., Filipović, M.D., Pejčev, V. i Marinković B., Knjiga saopštenja 9. Kongresa fizičara Jugoslavije, Bečići, 1995.
6. Mimmagh, D.J.R., McEachran, R.P. and Stauffer A.D., J.Phys.B: At.Mol.Opt.Phys. 26 (1993) 1727.
7. McEachran, R.P. and Stauffer, A.D., J.Phys.B: At.Mol.Phys.
8. Filipović, D., Pejčev V., Marinković B. and Vušković, Fizika 20 (1988) 421.
9. Kesler, J., Liedtke, J. and Lucas, C.B., Proc. 8th Symposium on the Physics of Ionized Gases (SPIG), Dubrovnik, Yugoslavia, Contributed papers, ed B.Navinšek (Ljubljana: J.Stefan Institute) (1976) 61-4.



MINIMUMI DIFERENCIJALNOG PRESEKA ZA ELASTIČNO
RASEJANJE ELEKTRONA NA Ar

R.Panajotović, D.M.Filipović*, V.Pejčev i B.Marinković

Institut za fiziku, p.p. 57, 11001 Beograd

**Fizički fakultet Univerziteta u Beogradu, p.p. 368, 11000 Beograd*

Argon, kao jedan od plemenitih gasova, već dugo predstavlja predmet istraživanja fizike atomskih sudara. On je zanimljiv sa fenomenološkog stanovišta zbog svoje atomske strukture - popunjene spoljašnje elektronske ljuske atoma - i sa tehnološkog, jer ima široku primenu u industriji.

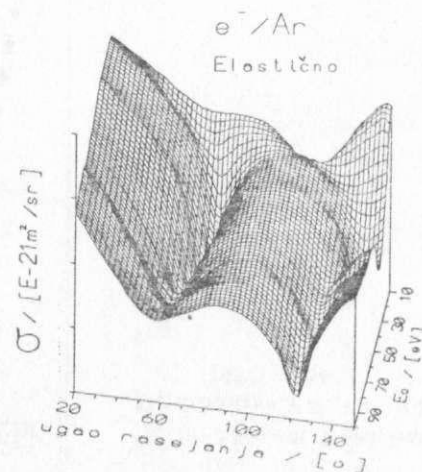
Jedan od aspekata istraživanja fizike atomskih sudara jeste određivanje efektivnog diferencijalnog preseka za rasejanje elektrona na atomima, $\sigma(\theta)$, koji je srazmeran broju elektrona rasejanih posle sudara sa metom. Ukoliko se radi o elastičnom rasejanju, rasejani elektroni će imati istu energiju kao pre sudara, E_0 . Iz oblika zavisnosti $\sigma(\theta)$ može da se izvede zaključak o vrstama interakcije između elektrona (projektila) i atoma (mete). Posebno su zanimljivi minimumi diferencijalnog preseka jer ukazuju na dominantnost ili odsustvo određene vrste interakcije. Pokazalo se, takođe, da postoje i minimumi u zavisnosti $\sigma(\theta)$ od energije E_0 .

U radu Bühring-a¹ je pokazano da se može očekivati da se tokom sudara desi totalna polarizacija elektrona baš za energije i uglove bliske tzv. kritičnim, odnosno onim energijama i uglovima za koje minimum $\sigma(\theta)$ ima najveću dubinu. Određivanje tih kritičnih uglova i energija predstavlja osetljiviji test za teorijske modele nego sam diferencijalni presek. Kessler i Lucas² su eksperimentalno određivali ove vrednosti za Ar, Kr i Xe, a Kollath³ je sa saradnicima radio eksperiment na Ne. Oni su odredili kritične vrednosti za θ i E_0 fitovanjem na parabolu zavisnosti vrednosti σ u minimumu od E_0 . U oba eksperimenta je dobijeno da osa parabole nije pod pravim uglom u odnosu na energijsku osu, već da je „nagnuta“ ka njoj. Zato je neodređenost kritičnih vrednosti velika ($\sim 1\text{eV}$ i $\sim 0.5^\circ$).

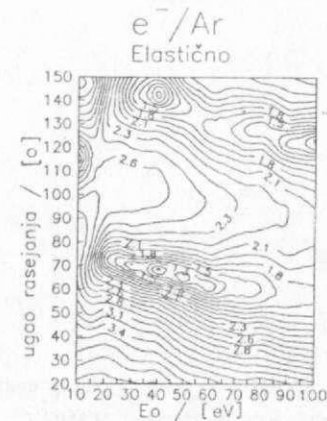
Zanimljivo je da je, nasuprot velikom broju radova na temu diferencijalnih preseka na atomima plemenitih gasova, mali broj radova, koji se bave određivanjem kritičnih vrednosti energije. Nedavno su Cvejanović i Crowe⁴ izveli eksperiment koji je trebalo da pokaže da li u slučaju rasejanja elektrona na atomu Ar postoje strukture na funkciji zavisnosti diferencijalnog preseka od energije E_0 , slične onima koje su zapažene kod rasejanja pozitrona, a za koje pravo teorijsko tumačenje nije dato (bila je aktualna i pretpostavka da se radi o rezonantnim strukturama). Oni su merili na tri različita ugla i nisu dobili slične strukture, već glatku krivu.

Naš eksperiment je izveden na elektronskom spektrometru ESMA, čiji je detaljniji opis dat u ranijim radovima⁵. On ima mogućnosti rada sa elektronima energija od 10 do 100 eV i merenja uglova u okviru -30 do 150° . Interakcionu zapreminu čini presek dva uzajamno normalna mlaza: elektronskog i gasa mete. Relativne vrednosti $\sigma(\theta)$ su dobijene korigovanjem intenziteta rasejanih elektrona faktorom efektivne zapremin⁶.

Slika 1a



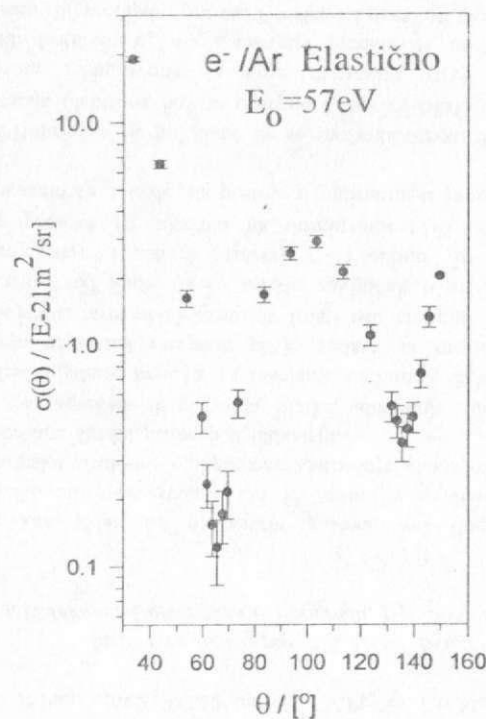
Slika 1b



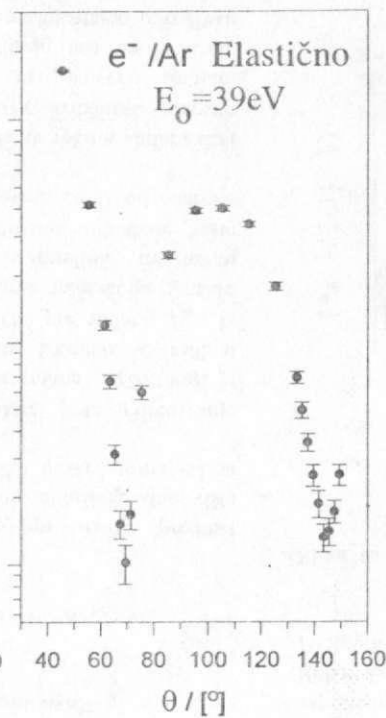
Slika 1a predstavlja zavisnost efektivnog diferencijalnog preseka od energije elektrona i ugla rasejanja. Slika 1b je pogled odozgo, odnosno zavisnost ugla rasejanja od energije. Apsolutne vrednosti su dobijene normiranjem na vrednost u lokalnom maksimumu koju daje Srivastava⁷. Očigledno je da postoje oblasti na ovoj površi gde se zapažaju duboki minimumi. $\sigma(\theta)$ argona ima dva minimuma u opsegu energija koji je dostupan našim merenjima. Svaki od njih dostiže najnižu vrednost na različitim energijama. To nas je navelo da preduzmemo merenja za energije od 38 do 44 eV i od 50 do 58 eV, u koracima po 1 eV, kako bismo odredili tačne vrednosti kritične energije i ugla. Na slici 2 je preliminarni rezultat za diferencijalni presek za $E_0=39\text{eV}$. Za prvi minimum je $\theta = 69^\circ$, a za drugi $\theta = 143^\circ$. Na slici 3 je diferencijalni presek za $E_0 = 57\text{eV}$. Za prvi minimum je $\theta = 65^\circ$, a za drugi $\theta =$

136°. Apsolutne vrednosti su dobijene kao i za presek sa slike 1a. Prikazane greške su statističke. U toku je uračunavanje ostalih faktora koji utiču na grešku diferencijalnog preseka i određivanje greške za θ i E_0 . Njih je neophodno znati da bi bilo moguće reći koji je minimum dublji, za koju energiju i na kojem se uglu zapravo nalazi.

Slika 3



Slika 2



Napomena

Ovaj rad je finansijski potpomognut od strane Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije - projekt broj 0106.

Reference

- [1] Bühring W, Z.Physik 208 (1968) 286
- [2] Kessler J, Liedtke J and Lucas C B, Proceedings of contributed papers, SPIG '76, Dubrovnik, Yugoslavia, p. 61
- [3] Kollath K J and Lucas C B, Z.Physik A 292 (1979) 215
- [4] Cvejanović D and Crowe A, J.Phys.B: At.Mol.Opt.Phys. 27 (1994) L723
- [5] Filipović D, Pejčev V, Marinković B and Vušković L., Fizika 20 (1988) 421
- [6] Brinkmann R T and Trajmar S, J.Phys.E: Sci.Instrum. 14 (1981) 245
- [7] Srivastava S K, Tanaka H, Chutjian A and Trajmar S, Phys.Rev. 23 (1981) 2156