

# ELEKTROSTATSKI ELEKTRONSKI SPEKTROMETER ZA MERJENJE AUGERJEVIH SPEKTROV V PLINIH

**Primož Pelicon, Iztok Čadež, Matjaž Žitnik in Žiga Šmit**, Institut "Jožef Stefan", Odsek za fiziko nizkih in srednjih energij, Jamova 39, P.O.B. 3000, SI-1001 Ljubljana, Slovenija

Electrostatic electron spectrometer for measurements of the Auger spectra in gases

## ABSTRACT

Electron spectrometer for gas-phase targets was built at the Dept. for low and medium energy physics of the "Jožef Stefan" Institute. The processes within the inner atomic shells, which are objects of the investigations, are briefly described. The electrons from interaction centre are focused by three-element electrostatic lens of rectangular shape and injected into planparallel electrostatic analyser. We present some details of the mechanical adjustment and working features of the spectrometer.

## POVZETEK

V prispevku je opisan spektrometer za merjenje elektronskih spektrov na plinastih tarčah, ki smo ga zgradili na Odseku za fiziko nizkih in srednjih energij Instituta "Jožef Stefan". Kratko so opisani opazovani procesi v notranjih atomskih lupinah in pomen njihovega raziskovanja. Pri izvedbi meritve fokusiramo elektrone iz interakcijskega prostora s tridelno elektrostatsko lečo iz pravokotnih cevi in usmerimo v planparalelni elektrostatski analizator z vpadnim kotom 30°. Prikazujemo postopek uravnave in delovanje spektrometra.

## 1 Uvod

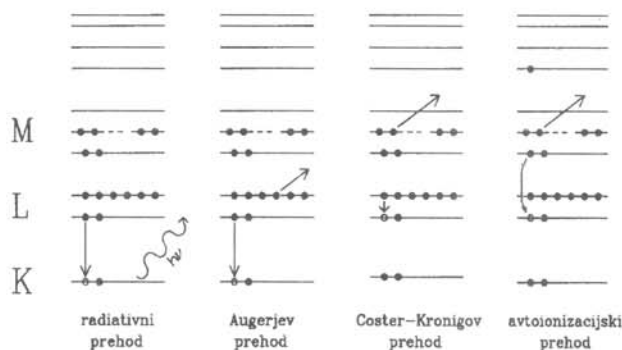
Dogajanje v atomu kot fizikalnem sistemu lahko danes zadovoljivo pojasnimo s spoznanji kvantne mehanike. Interakcija med delci v njem je coulombska, mase delcev v sistemu - elektronov in jeder - so znane. Lupinska struktura atoma je široko poznan fizikalni model, s katerim lahko kvalitativno pojasnimo večino procesov v atomu.

Raziskovanje procesov vzbujanja in razpadanja atomskih stanj je v preteklosti prispevalo k gradnji človekovih predstav o dogajanjih v svetu kvantnih delcev. Z rekonstrukcijo energij prehodov v vodikovem atomu je Bohr postavil enega izmed temeljev kvantne mehanike. Ko se je védenje o procesih v atomu širilo, so se vzporedno z njim rojevale analitske tehnike, ki so danes nepogrešljive pri strukturalni in kemijski analizi snovi. Danes so Augerjeva spektroskopija, rentgenska fluorescenca, fotoelektronska spektroskopija in še mnoge druge sorodne tehnike razširjene v znanosti in industriji. Učinkovitost teh tehnik je neposredno povezana s poznavanjem osnovnih podatkov o atomskih lastnostih, kot so energije prehodov, naravne širine stanj, preseki za vzbujanje itd.

Atom je sistem več teles. Že helijev atom, ki je sistem treh teles, dveh elektronov in helijevega jedra, je z danes razpoložljivimi matematičnimi orodji nemogoče eksaktno opisati. Sodobni teoretični modeli, ki temeljijo na približkih samousklajenega polja in perturbativne teorije več teles, zaradi tega odpovedujejo pri opisu kolektivnih procesov v večelektronskem atomu. Rezultati eksperimenta so v takih razmerah bolj zanesljivi od izračunov, hkrati pa usmerjajo in kritično presojojo kakovost teoretičnih napovedi.

## 1.1 Razpad atomskega stanja z vrzeljo v notranji lupini

Močna motnja atoma lahko povzroči, da se v notranji atomski lupini pojavi vrzel. Elektron iz te lupine se pri tem lahko preseli v eno izmed višjih, še nezasedenih lupin, ali pa odleti iz atoma. Prvi pojav imenujemo ekscitacija, drugega pa ionizacija. Atomsko stanje z vrzeljo v notranji lupini je nestabilno. V nižjeenergijsko stanje lahko preide na več načinov (slika 1). Najverjetnejša sta prehod z izsevanjem fotona (radiativni) in prehod z izsevanjem elektrona (neradiativni). Proces, kjer se atom preuredi z izsevanjem več kot enega delca, so mnogo manj verjetni. Proces vzbuditve nestabilnega atomskega stanja in njegovega razpada lahko zadovoljivo obravnavamo kot dva neodvisna dogodka.



Slika 1: Najverjetnejši razpadi atomskih stanj z eno vrzeljo v notranji lupini

Pri razpadu enolukenskega stanja z izsevanjem elektrona aktivno sodelujeta dva elektrona: eden izmed njih zapolni vrzel v notranji lupini, drugi pa prevzame presežno energijo in izleti iz atoma (slika 1). V primeru Augerjevega prehoda sodelujeta elektrona iz zunanjih lupin. Pri Coster-Kronigovem prehodu začetno vrzel zapolni elektron iz iste lupine. Če stanje z vrzeljo v notranji atomski lupini vzbudimo z ekscitacijo elektrona v eno izmed višjih, še nezasedenih lupin, je atom v nestabilnem stanju električno nevtralen. Tudi v tem primeru se vrzel zapolni z izsevanjem fotona ali elektrona. Neradiativni proces, pri katerem eden izmed elektronov v vzbujenem atomu zapolni vrzel, drugi pa prevzame presežno energijo in izleti v kontinuum, imenujemo avtoionizacija.

Ko prepustimo atom motnji, se lahko zgodi, da poleg vrzeli v notranji lupini v atomu nastane še vrzel v eni izmed zunanjih lupin. Vrzel v notranji lupini se prav tako zapolni z izsevanjem fotona ali elektrona, le da so energije izsevanih delcev premaknjene. V bližini močnih diagramskih prehodov, ki izvirajo iz razpada enolukenskih stanj, opazimo v spektrih večje število šibkejših prehodov, pri katerih razpadajo atomska stanja z vrzeljo v notranji lupini in dodatno vrzeljo v eni

izmed zunanjih lupin. Zaradi značilne oblike izmerjenih spektrov te prehode označujemo z nazivom satelitski prehodi. Dodatna vrzel v eni izmed zunanjih lupin zaradi manjšega senčenja jedrskega naboja poveča vezavne energije enoelektronskih stanj. Zaradi tega najdemo v fotonskih spektrih satelitske črte pri višjih energijah od diagramskih. V elektronskih spektrih, kjer izsevani elektron odleti v kontinuum iz enoelektronskega stanja s povečano vezavno energijo, se satelitske črte običajno nahajajo pri nižjih energijah, kot jih imajo diagramske črte.

Verjetnost, da se vrzel v notranji atomski lupini zapolni z radiativnim prehodom, podaja fluorescenčni pridelek. Ta je v lahkih atomih nizek in se veča z vrstnim številom. V lahkih atomih ( $Z < 30$ ) stanja z vrzeljo razpadajo pretežno z izsevanjem elektrona (Augerjev proces), v težjih pa pretežno z izsevanjem fotona iz rentgenskega dela elektromagnetnega spektra (radiativen proces). Ker je snov v vesolju sestavljena pretežno iz lahkih elementov, je v njem Augerjev proces dominanten način razpadanja lukenjskih atomskih stanj.

Energijske in kotne porazdelitve delcev, izsevanih v teh procesih, nam dajejo vpogled v dogajanje v atomu. Iz njih lahko določimo energijske nivoje atomskih stanj, njihove naravne širine, preseke za vzbujanje in drugo. S tem prispevamo poleg poglobljenega razumevanja atoma kot fizikalnega sistema istočasno tudi k povečanju učinkovitosti analitskih tehnik, ki temeljijo na poznavanju parametrov v atomskih procesih.

## 1.2 Eksperimentalne zahteve meritev elektronskih spektrov v monoatomnih tarčah

Na procese v atomu močno vpliva prisotnost sosednjih atomov. Če se hočemo izogniti tem t. i. kemijskim efektom, je potrebno uporabiti monoatomne tarče v plinastem agregatnem stanju. Tem zahtevam ustrezajo žlahtni plini in kovinske pare. Merjenje elektronskih spektrov mora potekati v vakuumu, saj se gibalna količina nizkoenergijskega elektrona, ki nosi informacijo o atomski zgradbi ali dinamiki atomskega trka, popolnoma spremeni že pri enem samem trku elektrona z atomom. Prosta pot elektrona mora biti veliko večja od razdalje med tarčo in detektorjem. Elektronski analizator zato postavimo v vakuumsko celico za visoki vakuum. Merjenje na plinski tarči izvajamo z vpihovanjem plina skozi šobo v vakuumski sistem. Lokalna gostota plinske tarče je ob močnem črpanju deset do stokrat večja od gostote plina daleč od izhodne šobe. Ravnesje med vpihovanjem plina in črpanjem moramo doseči pri takem tlaku, ki še omogoča delovanje detektorja za elektrone. Pri enokanalnih pomnoževalnikih je ta tlak okoli  $10^{-5}$  mbar. Ta zahteva omejuje pretok tarčnega plina pri vpuščanju v vakuumski sistem.

Za energije elektronov pod 2 keV so elektrostatski analizatorji bolj primerni od magnetnih zaradi njihove enostavnejše konstrukcije in večje fleksibilnosti. Energijsko porazdelitev elektronov iz tarče merimo z disperzijo elektronov v elektrostatskem polju. V spektrometru je potrebno odpraviti zunanje magnetno polje, tako da je mogoče tire elektronov pripisati le elektrostatskim vplivom. Zaradi tega je potrebno znotraj spektrometra odpraviti zunanje magnetno polje in se pri izbiri materialov za izdelavo sestavnih delov izogniti feromagnetnim snovem. Gostota zemeljskega mag-

netnega polja je v Ljubljani okoli 46 mT, njegova smer pa oklepa z vodoravnico približno  $60^\circ$  in kaže proti geografskemu severu. Zaščito je mogoče izvesti iz pločevine z visoko permeabilnostjo ali s Helmholtzovimi tuljavami. Za detekcijo elektronov z energijo nad 100 eV zadošča zmanjšanje gostote magnetnega polja pod  $1 \mu\text{T}$ , za detekcijo elektronov z energijami pod 10 eV pa je potrebno zmanjšati magnetno polje pod  $0,1 \mu\text{T}$ . Mejo  $1 \mu\text{T}$  v merilni komori je mogoče doseči z eno plastjo zaščitne pločevine ali z enim kompletom Helmholtzovih tuljav. Za gostote magnetnega polja v vakuumski komori pod  $0,1 \mu\text{T}$  pa je potrebno uporabiti dvoplastni oklep iz zaščitne pločevine ali kombinacijo enoplastnega oklepa in Helmholtzovih tuljav. Sedaj ščitimo spektrometer pred zunanjim magnetnim poljem s Helmholtzovimi tuljavami.

Vir za vzbujanje atomov mora dajati snop vzporednih žarkov z majhno divergenco in presekom največ okoli  $1 \text{ mm}^2$ . Zaradi zelo majhne gostote atomov v plinski tarči je zaželena čim večja intenziteta žarka. V ta namen smo izdelali elektronsko puško, ki daje snop vzporednih elektronov s premerom okoli 1 mm in energijami do 6 keV. S parom elektrostatskih deflektorjev je mogoče elektronski žarek odklanjati v prečni smeri. Značilni tokovi, ki jih daje puška, so med  $0,1 \mu\text{A}$  in  $200 \mu\text{A}$ .

## 2 Spektrometer

Na Odseku za fiziko nizkih in srednjih energij Instituta "Jožef Stefan" v Ljubljani smo sodelavci skupine za atomske spektroskopije izdelali spektrometer za merjenje atomskih spektrov na plinastih tarčah.

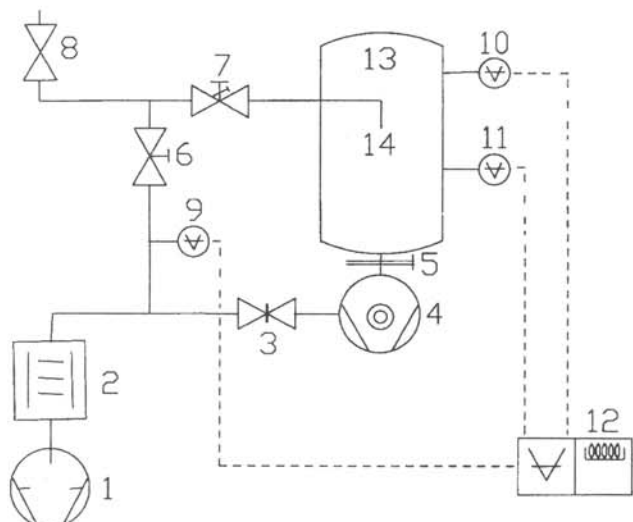
### 2.1 Vakuumski sistem

Vakuumski sistem spektrometra prikazuje slika 2. Za vzdrževanje visokega vakuumu v merilni celici skrbi turbomolekularna črpalka s črpalno hitrostjo 1600 l/min. Na izhodni strani turbomolekularne črpalke skrbi za predvakuum dvostopenjska rotacijska črpalka s črpalno hitrostjo  $30 \text{ m}^3/\text{h}$ . Oljne pare, ki bi lahko dosegle vakuumski sistem zaradi delovanja rotacijske črpalke, se ujamejo v oljni pasti, ki je napolnjena z absorberjem ogljikovodikov. Na tak način dosegamo na izhodu turbomolekularne črpalke tlak  $2 \cdot 10^{-3}$  mbar brez prisotnosti oljnih par.

Maksimalna frekvenca vrtenja turbomolekularne črpalke je 600 Hz. Os rotorja je v spodnjem delu vpeta v mehanski ležaj z oljnim mazanjem, gornji ležaj, ki se nahaja v področju z nižjim tlakom, pa je magnetni. V zaprti vakuumski celici smo izmerili najnižji tlak  $2 \cdot 10^{-8}$  mbar. Kvaliteta vakuumu v komori je tako blizu optimalne, ki jo še lahko dosežemo s klasičnim vakuumskim sistemom brez dodatnega pregrevanja notranjih površin. Pri konstrukciji vseh delov smo se držali strogih meril pri izboru vakuumskih materialov.

Deli spektrometra so iz nerjavnega nemagnetnega jekla in aluminija. Zahtevnejši izolatorski kosi so izdelani iz obdelovalne keramike in cevi iz aluminijevega oksida.

Stene vakuumske komore so elektropolirane. S tem procesom je učinkovita površina sten, na katerih se adsorbirajo vodne molekule, močno zmanjšana. Z dodatnim sistemom za ogrevanje bi bilo mogoče spektrometer uporabljati v zelo visokem vakuumu, ki ga zahtevajo merilne metode na površinah trdnih snovi.



Slika 2: Vakuumski sistem spektrometra. 1: rotacijska črpalka, 2: sorpcijska past, 3: vratni ventil, 4: turbomolekularna črpalka, 5: priključek turbomolekularne črpalke s prirobnico CF 250, 6: ročni ventil za črpanje plinske napeljave, 7: dozirni ventil za uvajanje tarčnega plina, 8: reducirni ventil za tarčni plin, 9: glava merilnika grobega vakuma, 10: glava merilnika grobega vakuma v vakuumski posodi, 11: glava ionizacijskega merilnika, 12: sistem vakuumskih merilnikov in zaščitnih relejev, 13: vakuumska posoda, 14: plinska igla.

V normalnih delovnih razmerah mora turbočrpalka ob zagonu v 30 minutah doseči 80% maksimalne frekvence vrtenja. V nasprotnem primeru se napetostni izvir turbočrpalke samodejno izklopi. V primeru izpada električne energije zaščitni relejni sistem prepreči ponoven vklop občutljivih komponent spektrometra. Vakuumske razmere v sistemu merimo in kontroliramo z integriranim sistemom merilnikov in kontrolnih relejev. Grobi vakuum v območju do  $10^{-3}$  mbar merita dva konvektiona. Visoki vakuum merimo z ionizacijskim merilnikom. Nanj je priključen zaščitni rele, ki izklopi celotno napravo pri previsokem tlaku v vakuumski celici.

Ko v merilni celici dosežemo tlak okoli  $10^{-7}$  mbar, so ustvarjeni pogoji za pričetek eksperimenta. V vakuumsko komoro uvajamo izbrani tarčni plin iz izbrane plinske linije skozi igelni ventil in izpušno šobo z izhodom tik nad interakcijskim področjem. Z igelnim ventilom naravnamo tlak v komori na izbrano vrednost med  $10^{-6}$  in  $10^{-5}$  mbar.

## 2.2 Elektrooptične lastnosti spektrometra

Predvidene meritve atomskih procesov so narekovale izbor analizatorske geometrije z dovolj velikim sprejemnim kotom in veliko ločljivostjo. Zaradi enostavnosti in fokusiranja drugega reda smo se odločili za planparalelni analizator z vpadnim kotom  $30^\circ$  /1,2/. Ker raziskujemo dogodke z majhno pogostostjo, potrebujemo spektrometer, ki zajema elektrone iz velikega interakcijskega volumna. Običajno točkasto interakcijsko območje spektrometra smo zamenjali z daljico, ki je določena s potjo vzbujevalnega elektronskega žarka skozi oblak plinske tarče. Pred planparalelni analizator

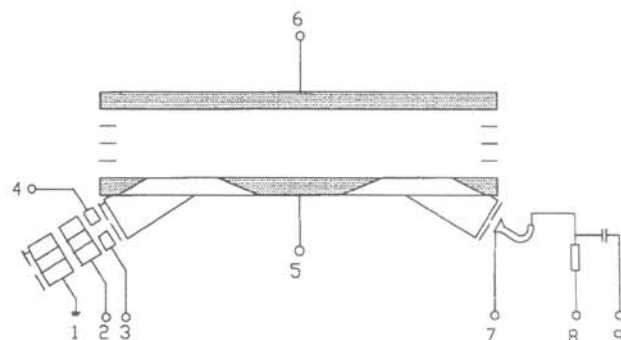
smo postavili elektronsko lečo iz vzporednih rež, ki ustreza taki geometriji in poveča sprejemni prostorski kot spektrometra, hkrati pa lahko z zaviranjem elektronov izboljša energijsko ločljivost sistema. Relativna ločljivost elektrostatskega analizatorja  $\Delta E/E$  je teoretično neodvisna od prepustne energije  $E$ . Zaradi tega je z zaviranjem elektronov pred analizatorjem mogoče dosežati poljubno visoke ločljivosti  $\Delta E$ . Ker z zaviranjem zmanjšamo širino detekcijskega okna, s tem zmanjšujemo tudi števno hitrost v eksperimentu. Geometrijske distorzije in parazitska polja nas omejujejo pri izbiri ekstremnega zaviranja, saj postane njihov vpliv na tire elektronov z nizkimi energijami pomemben.

Merilni program dovoljuje spreminjanje napetosti na vseh napetostnih kanalih hkrati v odvisnosti od merjene energije. S tem je mogoče ohranjati konstantno prepustnost spektrometra v velikih energijskih intervalih.

Z zaviranjem elektronov pred ustjem enokanalnega pomnoževalnika močno zmanjšamo ozadje v spektru. Hitri elektroni v analizatorju trčijo v kovinske stene in izbijajo sekundarne elektrone, ki lahko zadenejo ustje enokanalnega pomnoževalnika. Večina sekundarnih elektronov ima pred ustjem enokanalnega pomnoževalnika nižjo energijo od elektronov iz plinske tarče. Ozadje v spektru močno zmanjšamo, če na ustje enokanalnega pomnoževalca pripeljemo negativno napetost, ki prepusti do ustja le elektrone z dovolj visoko energijo.

Kvantni izkoristek enokanalnega pomnoževalnika je močno odvisen od energije elektronov pri vpadu na ustje. Pri vpadnih energijah pod 50 eV začne kvantni izkoristek padati. Ugodno je, če je mogoče izbrani del spektra meriti pri vpadnih energijah elektronov nad to mejo. Napetost na ustju enokanalnega pomnoževalnika zato spreminjamo tako, da je kinetična energija elektronov pri trku z njegovo površino konstantna vzdolž merjenega spektra.

Vhodna leča mora med meritvijo preslikati elektrone z izbrano energijo s področja tarče na odprto vhodno reže v analizator. Med meritvijo spreminjamo izbrano



Slika 3: Elektrostatski analizator in optični elementi. Številke označujejo kontrolne napetosti sistema. 1: vhodna elektroda leče z vhodno zaslonko, ki definira vstopni kot elektronov je na zemeljskem potencialu; 2: fokusna elektroda leče, 3,4: deflektorska elementa za korekcijo vhodne smeri; 5: spodnja plošča analizatorja; 6: zgornja plošča analizatorja; 7: ustje enokanalnega pomnoževalnika, 8: pomnoževalna napetost na enokanalnem pomnoževalniku, 9: izhodni signal v predojačevalnik.

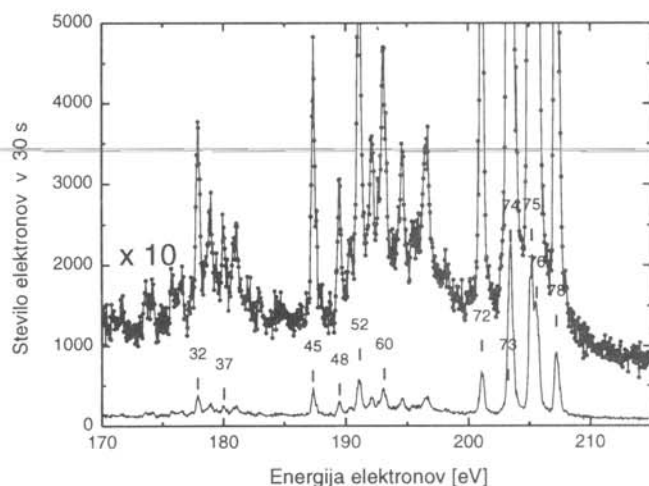
energijo elektronov, zato moramo spreminjati tudi napetost na srednji elektrodi leče. Brez tega pride do velikih sprememb prepustnosti spektrometra vzdolž merjenega spektra. Z numerično simulacijo vhodne optike smo ugotovili karakteristiko leče, ki ji lahko sledimo med meritvijo in s tem ohranjamo prepustnost sistema.

Zbiranje podatkov iz eksperimenta poteka prek vodila VME. Med meritvijo krmilimo osem kanalov digitalno-analognih pretvornikov, s katerimi upravljamo napetostne izvire. Na vodilu VME se nahajata tudi števec sunkov z enokanalnega pomnoževalnika in vhodno-izhodni modul, s katerim krmilimo števec. Merilni program smo razvili v programskem jeziku C++ s programsko knjižnico paketa LabWindows<sup>1</sup>. Detekcijski sistem je oblikovan modularno in omogoča enostavno spreminjanje postavitve.

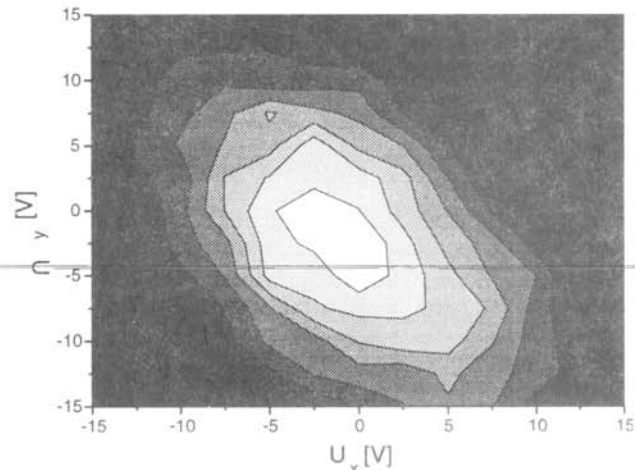
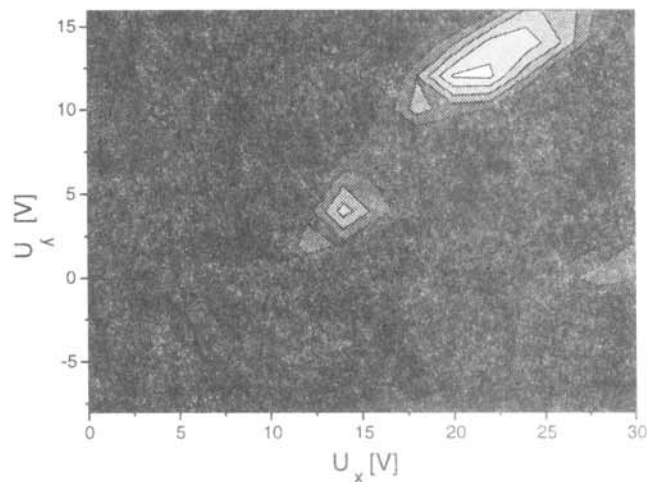
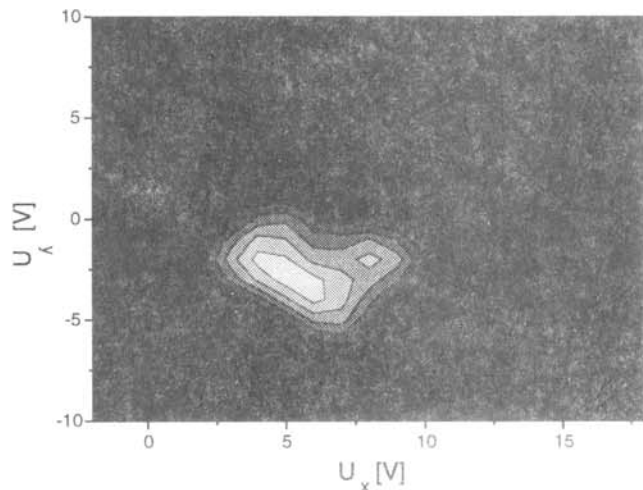
### 3 Delovanje spektrometra

Izmerjeni Augerjev spekter LMM v argonu prikazuje slika 4. Vzbujejo začetno stanje argonovega atoma z eno vrzeljo v lupini L<sub>1</sub> ali L<sub>23</sub> razpade z izsevanjem Augerjevega atoma. Končna stanja imajo dve vrzeli v lupinah M<sub>1</sub> ali M<sub>23</sub>. Števila označujejo diagramske prehode /3/. Neoznačeni prehodi predstavljajo razpade satelitskih stanj z dodatno vrzeljo v lupini M v začetnem stanju in satelitske prehode, pri katerih ima atom v končnem stanju dodatno vzbujen elektron v višjo, še nezasedeno lupino.

Prvo fazo uravnave spektrometra prikazuje slika 5. Izohipse pomenijo jakost toka na centralnem delu Faradayeve čaše, jakost toka na igli za vpihanje tarčnega plina in števno hitrost Augerjevih elektronov v vrhu prehoda L<sub>3</sub>M<sub>23</sub>M<sub>23</sub> <sup>1</sup>D<sub>2</sub> (na sliki 4 označen s 74) v argonu v odvisnosti od smeri elektronskega žarka. Meritve so izvedene z elektronskim žarkom energije 600 eV. Napetost 10 V na deflektorju elektronske puške ustreza odklonu žarka za 1,8 mm v področju plinske igle in 5 mm v področju Faradayeve čaše. S prve slike

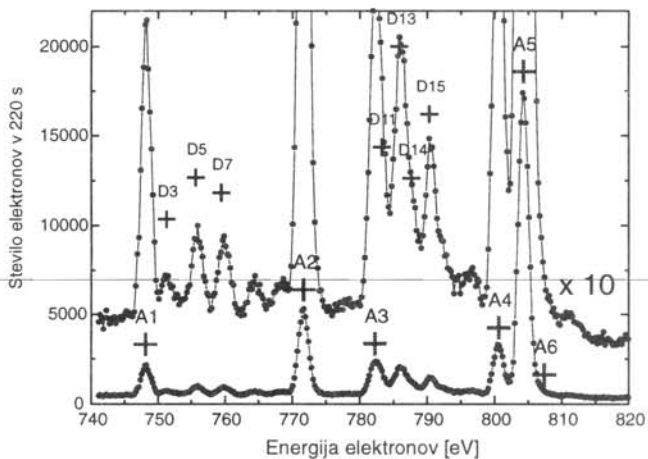


Slika 4: Argonov Augerjev spekter LMM. Števila označujejo energije diagramskih prehodov.

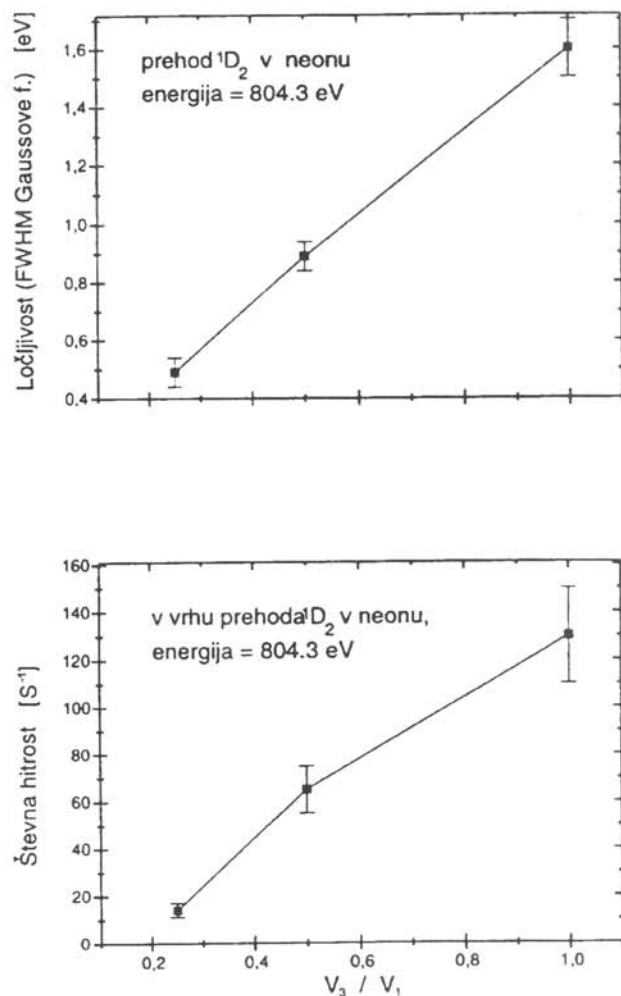


Slika 5: Tok elektronov na centralnem delu Faradayeve čaše, tok elektronov na plinski igli in števna hitrost Augerjevih elektronov v vrhu prehoda L<sub>3</sub>M<sub>23</sub>M<sub>23</sub> <sup>1</sup>D<sub>2</sub> v argonu v odvisnosti od napetosti na deflektorjih elektronske puške. Napetost 10 V na deflektorju elektronske puške ustreza prečnemu odklonu žarka za 1,8 mm v področju plinske igle in interakcijskega volumna ter prečnemu odklonu 5 mm v področju Faradayeve čaše.

<sup>1</sup> LabWindows je zaščitena znamka firme National Instruments



Slika 6: Neonov Augerjev spekter KLL. A: diagramski prehodi iz začetnega stanja z vrzeljo v lupini K, D: satelitski prehodi iz začetnega stanja z eno vrzeljo v lupini K in eno vrzeljo v lupini L



Slika 7: Ločljivost in števna hitrost spektrometra na vrhu  $^1D_2$  v neonu v odvisnosti od faktorja zaviranja. Spekter smo vzbujali z elektroni energije 3 kV, tok je bil  $12 \mu A$ , tlak v komori pa  $2 \cdot 10^{-6}$  mbar.

je razvidno, da je treba Faradayevo čašo premakniti za 2,5 mm v horizontalni smeri, da bo uravnana s centralno smerjo žarka in dvigniti za 1,2 mm. Druga slika prikazuje uravnano plinske igle glede na elektronski žarek. Svetle lise prikazujejo plinsko iglo s premerom 1,3 mm, svetlejša v spodnjem desnem delu slike pa električno povezavo za odvajanje naboja z igle. Za optimalno delovanje je potrebno iglo premakniti za približno 1 mm navzgor. Iz prikaza števne hitrosti analizatorja v odvisnosti od smeri elektronskega žarka je razvidno, da je uravnava analizatorja dobra. Optimalno območje oklepa z navpičnico smer, ki se ujema z vpadno smerjo v elektronski analizator ( $30^\circ$  glede na navpičnico).

Slika 6 prikazuje Augerjev spekter KLL v neonu, ki je bil izmerjen z lastno ločljivostjo analizatorja. Vhodna leča je pri tem delovala kot Einzelova leča - vhodna in izhodna elektroda vhodne leče sta bili na zemljskem potencialu. Z A so označeni diagramski, z D pa satelitski prehodi v neonu /4/.

Slika 7 prikazuje ločljivost in števno hitrost v vrhu Augerjevega prehoda  $^1D_2$  (oznaka A5 na sliki 6) v neonu pri energiji 804,3 eV v odvisnosti od faktorja zaviranja.

#### 4 Sklep

Zgradili smo elektronski spektrometer za detekcijo elektronov iz plinastih tarč z energijami pod 3 keV, ki deluje stabilno in zanesljivo. Z majhnimi spremembami bi ga bilo mogoče prilagoditi tudi za merjenje na površinah trdnih snovi. Sedaj izvajamo na spektrometru meritve hipersatelitskih prehodov v neonu /5/, iz katerih bomo ugotovili preseke za dvojno ionizacijo lupine K v neonu pri vzbujanju z elektroni.

V tem letu predvidevamo selitev naprave v prostore v Podgorici na lokacijo novega ionskega pospeševalnika, kjer bodo že letos na voljo visokoenergijski ionski žarki za vzbujanje tarčnih atomov. Konstruirali bomo magnetni ščit iz pločevine z visoko permeabilnostjo. V spektrometer bomo vgradili polprevodniški detektor rentgenskih žarkov, ki bo omogočal istočasno merjenje fotonov spektrov. S tako oblikovanim sistemom predvidevamo izvedbo prvih koincidenčnih meritev med elektroni in fotoni iz atomskih procesov v notranjih lupinah.

#### 5 Literatura

- /1/ G. A. Proca in T. S. Green, Rev. Sci. Instrum. 41, (1970) 1778
- /2/ D. Roy in D. Tremblay, Rep. Prog. Phys. 53, (1990) 1621
- /3/ L. Asplund, P. Kelfve, B. Blomster, H. Siegbahn in K. Siegbahn, Phys. Scr. 16, (1977) 268
- /4/ A. Albiez, M. Thoma, W. Weber in W. Mehlhorn, Z. Phys. D 16 (1990), 97
- /5/ Ž. Šmit, M. Žitnik, L. Avaldi, R. Camilloni, E. Fainelli, A. Mühleisen in G. Stefani, Phys. Rev. A 49, 1480 (1994)

#### Zahvala

K izgradnji spektrometra so prispevali sodelavci z Inštituta in ljudje izven njega. Dr. Jože Gasperič je izdelal načrt vakuumske komore, Marjan Ravnikar je pomagal s svojimi bogatimi izkušnjami in z detektorjem tesnjenja. Celoten spektrometer je bil skrbno izdelan v Inštitutski delavnici. Vsem imenovanim in neimenovanim se iskreno zahvaljujemo za njihov trud in vloženo znanje.