

D-13+CD

UNIVERZITET U NOVOM SADU, PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET
KATEDRA ZA FIZIKU

ZLATA V. FUNK

FRANK-HERC-OVI OGLEDI I ODREĐIVANJE EKSCITACIONIH
POTENCIJALA KOD ATOMA

Odgovoren 30. IV. 1971.

DIPLOMSKI RAD

NOVI SAD
1971

I TEORIJSKI DEO

1.BOROVİ POSTULATI I TEORIJA ATOMA VODONIKOVOG TIPO	STRANA
1
2.ATOM U KVANTNOJ MEHANICI7
3.POBUĐIVANJE ATOMA U SUDARU SA ELEKTRONIMA	...19
4.OSNOVNA IDEJA FRANK-HERC-A KOJA SLEDI IZ KVANTNIH PRETPOSTAVKI	...20

II EKSPERIMENTALNI DEO

1.DETALJAN OPIS FRANK-HERC-OVIH OGLEDA I KASNIJE IZVEDENA POBOLJŠANJA	...20
2.MRRENJE PRVOG EKSCITACIONOG POTENCIJALA KOD ATOMA ŽIVE POMOĆU UREDJAJA ZA FRANK -HERC-OVU METODU IZ ZBIRKE „LEYBOLD“.	...26

EKSPERIMENTALNI DEO RADJEN JE U GRUPI EKSPERIMENTATA IZ
ATOMSKE SPEKTROSKOPIJE U LABORATORIJI ZA ATOMSKU FIZIKU
PRIRODNO-MATEMATIČKOG FAKULTETA U NOVOM SADU.

ZAHVALJUJEM SE DR.IVANU JANIĆU KOJI JE TEMU PREDLOŽIO I
OMOGUĆIO DA SE OVAJ RAD REALIZUJE.

1. BOROVI POSTULATI I TEORIJA ATOMA VODONIKOVOG TIPOA

Iz problema odredjivanja spektralne raspredеле zračenja čvrstih tela iznikla je Planckova teorija kvanta (1900.) koja se sve više razvijala u prvoj polovini XX veka. Ova teorija mogla je da počne niz uspeha ali je stajala u suprotnosti sa dobre preverenim i utvrđenim temeljima klasične fizike. Na osnovu teorije kvanta došle su deo važnog zaključka da i sami atomi ne mogu postojati u preizvoljnim energetskim stanjima već same u sasvim određenim stanjima koja se međusobno razlikuju za cele kvante. Take početkom XX veka počinje preučavanje strukture atoma i stvaraju se prvi modeli atoma: Tensev, Raderferdev i Borev.

Tensev je 1903.god. predložio prvi uspešan model atoma. Prema Tensevu atom sačinjava sfera ravnomerne ispunjena pozitivno nanelektrisanom supstancem u kojoj su rasperedjeni elektroni. Ukupne pozitivne nanelektrisanje je apsolutnoj vrednosti jednake je negativnom nanelektrisanju zbog čega je atom električne neutralan. Tensev model nije bio u stanju da objasni zakone linijskih spektara atoma niti stabilnost atoma. Ipak, ovaj model atoma bio je na snazi dok Raderferd nije na osnovu izvršenih eksperimenata 1911.god. ne postavio nov model atoma.

Posematrajući rasejanje alfa čestica na različitim elementima Raderford je predložio planetarni model atoma. Prema tom modelu atom se sastoji od jezgra u kome je skoncentrisano celesko upno pozitivne nanelektrisanje i elektrona koji kruže oko jezgra, kao planete oko sunca. Pošto se, prema Kulenevom zakenu za nanelektrisanja elektroni i jezgre međusobno privlače Raderford je morao pretpostaviti dinamički model atoma tj. retiranje elektrona oko jezgra (jednakost elektrostatičke sile privlačenja sa centrifugalnom inercijalnom silom). Teorija planetarnog modela atoma nije bila je na niz teškeća prikušaju da se objasni elektromagnetno zračenje iz atoma. Prema zakonima klasične elektrodinamike elektron, kružeći oko jezgra, a zbog postojanja centripetalnog ubrzanja, mora gubiti energiju sve dok ne

padne na jezgre. U stvarnosti te se ne dešava, pa atom estaje u stabilnom stanju. Ovaj model nije mogao da objasni niti linijski spektar atoma jer na osnovu opisanog kretanja elektrona očekivao se kontinuirani spektar.

Izlaz iz nastale teškoće našao je danski fizičar Niels Bohr 1913.god., koji je klasične zakone kretanja dopunio sa dva postulata koji glase:

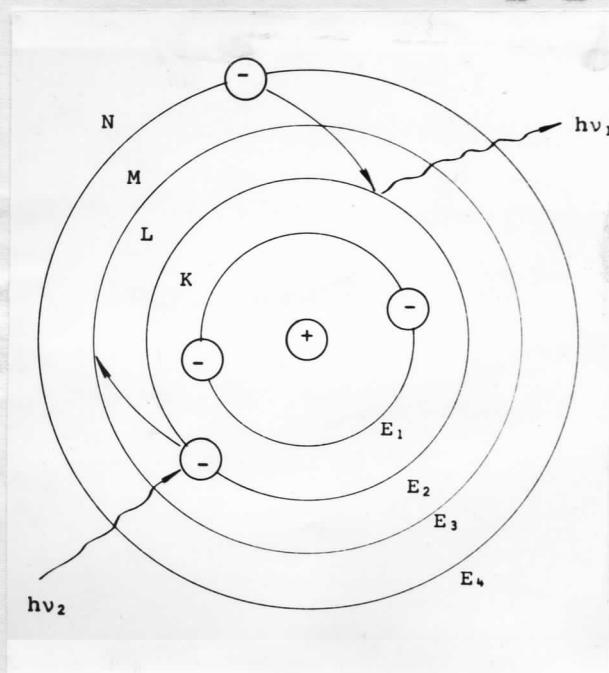
a) Elektron se oko atoma ne može kretati po putanjama bile nego poluprečnika, već samo po enim putanjama kod kojih je moment količine kretanja elektrona jednak celiom umnošku od $\frac{h}{2\pi}$ tj. važi jednačina:

$$p = m_e v_n r_n = n \frac{h}{2\pi} \quad n=1,2,3.. \quad \dots(1)$$

Elektron koji se kreće po dozvoljenim putanjama, nezavisno od tega što je njegovo kretanje ubrzane ne emituje svetlost i studa se kaže da su takve putanje stacionarne odnosne stabilne.

b) Kada elektron prelazi sa jedne stacionarne putanje na drugu emisije se ili apsorbuje jedan kvant energije. Veličina energije kvanta ($h\nu$) jednaka je razlici energija tih stacionarnih stanja izmedju kojih se vrši prelaz elektrona.

$$h\nu = E_n - E_m \quad n > m \quad \dots(2)$$



Sl.1.

Prelaz elektrona izmedju stacionarnih putanja prikazan je na sl.1. Svakom prelazu odgovara foton struge odredjene energije a time i talasne dužine. Prvi Bohrov postulat određuje stabilnost atoma a drugi kvantne procese emisije i apsorpcije svetlosti. Keristeći prvi Bohrov po-

stvjet mogu se izračunati neke karakteristične veličine za aton vedenikevog tipa: brzina elektrona v_n , poluprečnik orbita elektrona r_n , energije elektrona E_n u pojedinim stacionarnim orbitama, itd.

Brzinu elektrona v_n na određenoj stacionarnej putanji možemo odrediti pošledi od uslova stabilnosti atoma:

$$\frac{n_e v_n^2}{r_n} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r_n^2} \quad \dots(3)$$

i kvantne jednačine (1). Ako jednačinu (3) podelimo sa jednačinom (1) dobijane vrednost za brzinu elektrona na određenoj stacionarnej putanji u atomu:

$$v_n = \frac{Ze^2}{2\epsilon_0 h n} \cdot \quad \dots(4)$$

Brzina elektrona u atomu obrnute je proporcionalna kvantnom broju n .

Poluprečnik stacionarnih orbita elektrona u atomu proporcionalan je kvadratu kvantnog broja n . Ovu relaciju dobijane zamenom vrednosti v_n iz jednačine (4) u jednačinu (1) Što daje za vrednost poluprečnika orbite elektrona:

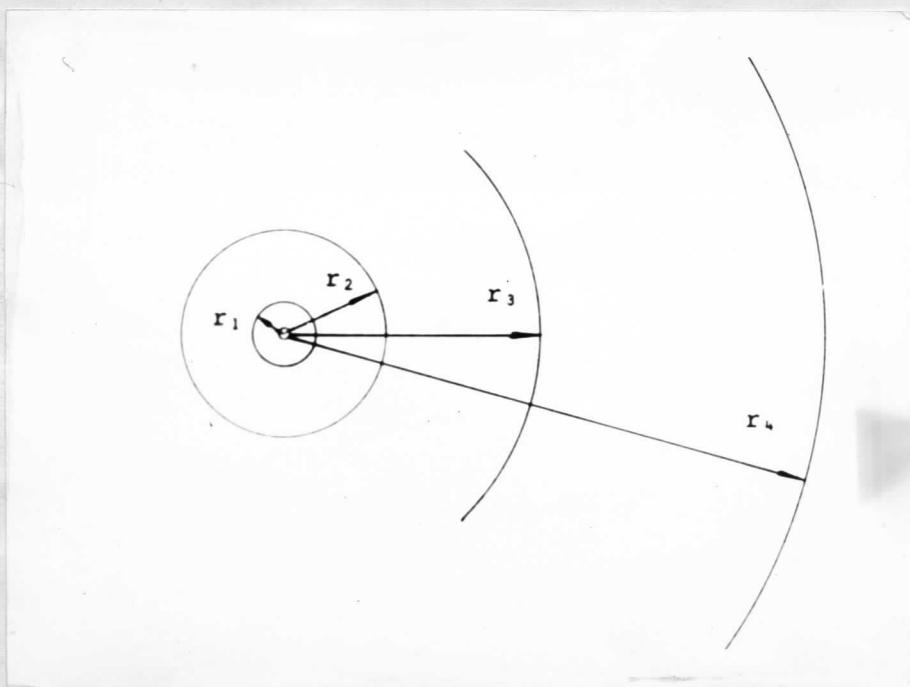
$$r_n = \frac{\epsilon_0 h n^2}{n_e Ze^2 \pi} \cdot \quad \dots(5)$$

Ako poluprečnik pojedinih kvantnih putanja n_1 , n_2 i n_3 označimo sa r_1 , r_2 i r_3 možemo na osnovu jednačine (5) napisati proporciju:

$$r_1 : r_2 : r_3 = n_1^2 : n_2^2 : n_3^2 = 1 : 4 : 9. \quad \dots(6)$$

Iz proporcije izlazi da se poluprečnici pojedinih stacionarnih putanja elektrona u atomu odnose kao kvadri celih brojeva $1^2 : 2^2 : 3^2 \dots$ tj. odnose se kao brojevi $1 : 4 : 9$. Na sl.2. prikazane su relativne veličine poluprečnika stacionarnih putanja u atomu vedenika. Vrednosti koje su dobijene teorijskim putem preko Bereve teorije slažu se sa vrednostima

dobijenim na osnovu kinetičke teorije gaseva.



Sl.2.

Energija elektrona u atenu na određenoj stacionarnej orbiti izračunava se kao zbir kinetičke i potencijalne energije. Ako je kinetička energija elektrona:

$$E_K = \frac{m_e v_n^2}{2}, \quad \dots(7)$$

a potencijalna energija:

$$E_p = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r_n}, \quad \dots(8)$$

za ukupnu energiju imame:

$$E_n = E_K + E_p = \frac{m_e v_n^2}{2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r_n}. \quad \dots(9)$$

Zamenom $m_e v_n^2$ sa $\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r_n}$ iz jednačine (3) u jednačinu (9) dobijamo:

$$E_n = -\frac{Ze^2}{8\pi\epsilon_0 r_n}. \quad \dots(10)$$

Ukupna energija elektrona je negativna u odnosu na tačku u beskonačnosti gde je uzete da je potencijalna energija elektrona jednaka nuli. Zamenom izraza r_n iz jednačine (5) u jednačinu (10) dobija se izraz za dezvoljene energije elektrona

unutar atoma na stacionarnim putanjama:

$$E_n = \frac{Z^2 e^4 n_e}{8\epsilon_0 h c^2} \cdot n=1,2,3, \dots \quad \dots(11)$$

Za energiju koja može primati samo diskontinualni niz vrednosti kaže se da je „kvantirana“.

Na osnovu drugeg Borevega postulata (jed.2) može se izračunati frekvencija, odnosno talasna dužina fotonu koju atom izrači pri prelazu elektrona sa jedne stacionarne putanje na drugu:

$$\nu = \frac{E_n - E_m}{h} \cdot n > m \quad \dots(12)$$

Sa E_n je obeležena energija elektrona na putanji sa koje on pelazi a E_m energija na putanji na koju elektron prispeva prilikom emisije fotonu. Na osnovu jednačine (12) i jednačine (11) može se dobiti izraz za frekvenciju fotonu:

$$\nu = \frac{Z^2 n_e e^4}{8\epsilon_0 h^3} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad \dots(13)$$

i talasni broj:

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda} = \frac{Z^2 n_e e^4}{8\epsilon_0 h^3 c} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right). \quad \dots(14)$$

Označavajući $\frac{n_e e^4}{8\epsilon_0 h^3 c}$ sa R_∞ (Ridbergeva konstanta) formula (14) može da se napiše:

$$\tilde{\nu} = R_\infty Z^2 \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right). \quad \dots(15)$$

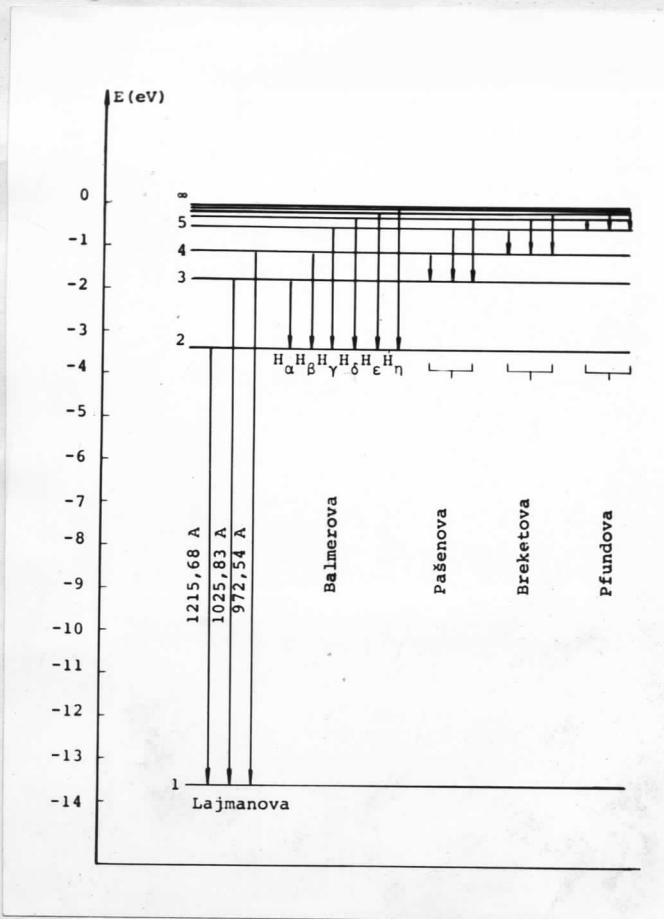
Tako je dobijena opšta Balmerova formula kojom se objašnjavaju prelazi medju nivelim energije u atomima vedenikev tipa.

Pri $Z=1$ dobija se opšta Balmerova formula za vedenikev atom:

$$\tilde{\nu} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad m=1,2,3,4,5, \quad n=m+1, \quad m+2, \dots \quad \dots(16)$$

Na sl.3. prikazani su emisioni prelazi kod atoma vedenika i energetski nivoi. Horizontalne pevučene linije predstavljaju diskretne vrednosti energije $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$. Svakom prelazu, medju diskretnim nivelim energije odgovara određena li-

nija u spektru atoma vedenika. Ovi prelazi su na slici prikazani vertikalnim linijama. Saglasne sa opštem fermulem Balmera za vedenikev atom razlikujene sledeće spektralne serije:



Sl.3.

ju pobudjenim stanjima atoma.

Pojam stacionarnog stanja i pravile frekvencije predstavljaju izvanredne ideje koje su poslužile kao osnova savremene atomske fizike. Ipak dalji razvitak Bereve teorije naišao je na niz poteškoća od kojih je važne istači sledeće:

a) Bereva teorija dežveljava da se odredi same energije stacionarnih stanja i frekvencija emitovanih linijskih negovoreći ništa o njihovem intenzitetu.

b) Bereva teorija nailazi na nepremestive teškoće prikušajima da objasni spektre atoma sa više elektrona.

Lajmanova serija $m=1, n>1$
Balmerova serija $m=2, n>2$
Pašenova serija $m=3, n>3$
Breketova serija $m=4, n>4$
Pfundova serija $m=5, n>5$
Leve pered Šeme nivea
data je skala energije u
elektronskem veltima (eV) i
kvantni broj (n) za svaki
nive. Ako $n \rightarrow \infty$ energija
teži graničnoj vrednosti -
sti za koju se arbitralno
uzima da je jednaka 0. To je istovreme
ne i maksimalna vrednost
energije pošto su estale
vrednosti energije nega
tivne. One vrednosti
energije koje stoje iz
medju maksimalne (E_∞) i
minimalne (E_1) edgevara-

2. ATOM U KVANTNOJ MEHANICI

Atom sa više od jednog elektrona predstavlja složen sistem elektrona, sa međusobnim dejstvom, koji se kreću u polju jezgra. Stanje elektrona u više elektronskom atomu može se karakterisati pomoću četiri kvantna broja: n, l, m_l i m_s . Vrednosti za kvantne brojeve su:

Glavni kvantni broj (n)	$n = 1, 2, 3, \dots$
Orbitalni kvantni broj (l)	$l = 0, 1, 2, 3, \dots, n-1$
Magnetni orbitalni kvantni broj (m_l)	$m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$
Magnetni spinski kvantni broj (m_s)	$m_s = \pm \frac{1}{2}$

...(17)

Orbitalni kvantni broj (l) određuje veličinu orbitalnog momenta količine kretanja elektrona u atomu. Kvantna mehanika prilikom rešavanja Šredingereove jednačine pokazuje da fizički smisao imaju sene ona rešenja kod kojih je orbitalni moment količine kretanja elektrona (p_l) jednak:

$$p_l = \sqrt{l(l+1)} \ h \quad l = 0, 1, 2, \dots, n-1 \quad \dots(18)$$

Numeričke vrednosti orbitalnog momenta količine kretanja elektrona za pojedina stanja su:

stanje s	$l=0$	$p_l = 0$
stanje p	$l=1$	$p_l = \sqrt{2} \ h$
stanje d	$l=2$	$p_l = \sqrt{6} \ h$
stanje f	$l=3$	$p_l = \sqrt{12} \ h$

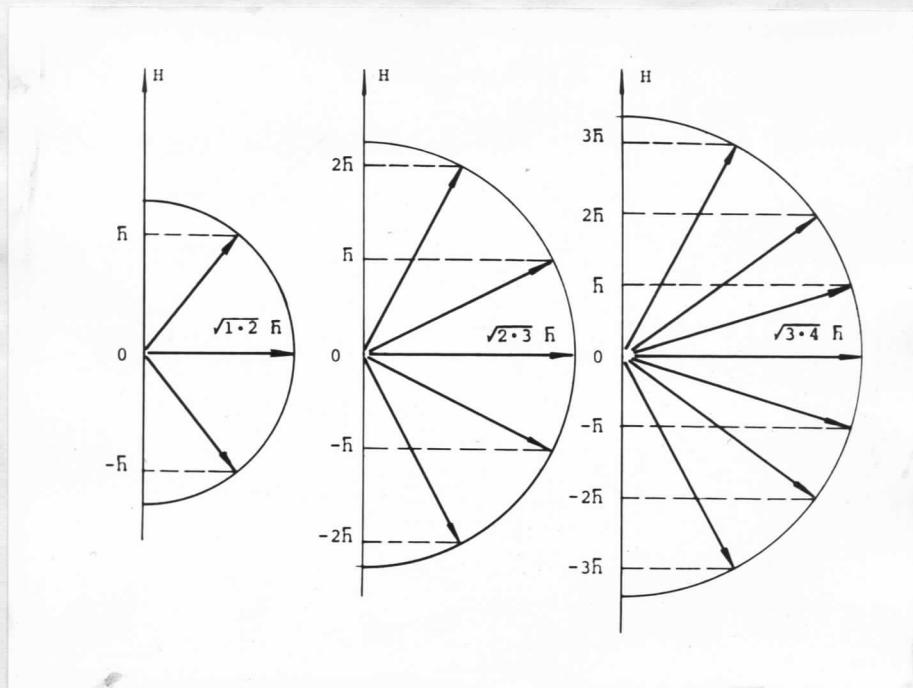
Magnetni orbitalni kvantni broj (m_l) određuje veličinu projekcije orbitalnog momenta količine kretanja elektrona na preizvjetljivo izabran pravac (pravac z-ose, pravac magnetnog polja H). Vrednost projekcije orbitalnog momenta količine kretanja elektrona može se izračunati po formuli:

$$p_{l_z} = m_l \ h \quad m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l. \quad \dots(19)$$

Za svake l pesteji $2l+1$ vrednosti projekcija orbitalnog momenta količine kretanja na z-osi, koje predstavljaju cele umnoške od h . Numeričke vrednosti projekcije orbitalnog momenta količine kretanja elektrona za pojedina stanja su:

stanje s $m_l=0$	$p_{l_z} = 0$
stanje p $m_l=\pm 1, 0, -1,$	$p_{l_z} = \pm h, 0, -h$
stanje d $m_l=\pm 2, \pm 1, 0, -1, -2,$	$p_{l_z} = \pm 2h, \pm h, 0, -h, -2h$
stanje f $m_l=\pm 3, \pm 2, \pm 1, 0, -1, -2, -3,$	$p_{l_z} = \pm 3h, \pm 2h, \pm h, 0, -h, -2h, -3h.$

Prestorne kvantevanje za stanja p,d i f slijedne je ilustrovane na sl.4.



Sl.4.

Kretanje elektrona po orbiti preizvedi orbitalni magnetni moment elektrona koji prema kvantnoj mehanici iznosi:

$$\vec{\mu}_l = -\frac{\mu_B}{\hbar} \vec{p}_l \quad \dots(20)$$

$$\text{i skalarne} \quad \mu_l = \mu_B \cdot \sqrt{l(l+1)}. \quad \dots(21)$$

Vrednost projekcije orbitalnog magnetnog momenta elektrona na z-osi iznosi: $\mu_{lz} = -\mu_l \mu_B$. $\dots(22)$

U jednačinama (20,21 i 22) veličina μ_B predstavlja Borev magneten čija je vrednost: $\mu_B = \frac{\mu_e e \hbar}{2m_e c}$. $\dots(23)$

Ako prikažemo spinski moment količine kretanja elektrona (p_s) i njegovu projekciju (p_{sz}) pomoću formula analognih formula (18) i (19) nalazimo:

$$p_s = \sqrt{s(s+1)} \hbar = 0,89\hbar \quad s = \frac{1}{2} \quad \dots(24)$$

$$p_{sz} = m_s \hbar = \pm 0,5\hbar \quad m_s = \pm \frac{1}{2} \quad \dots(25)$$

gde je s -spinski kvantni broj a m_s -magnetski spinski kvantni broj. Spinski magnetni moment elektrona jednak je:

$$\vec{\mu}_s = -2 \frac{\mu_B}{\hbar} \vec{p}_s \quad \dots(26)$$

$$\text{i skalarne:} \quad \mu_s = -2 \mu_B \sqrt{s(s+1)} \quad \dots(27)$$

a njegova projekcija na pravac z-ose iznosi:

$$\mu_{sz} = -2m_s \mu_B \quad \dots(28)$$

Energija elektrona zavisi od glavnog i orbitalnog kvantnog broja. Pri datom kvantnom broju n energija elektrona je manja ukoliko je manji kvantni broj ℓ .

Sležen atom sa edredjenim brojem elektrona N, ima karakterisane stanje kvantnim brojevima:

$$n_1^{\ell}, l_1^m, m_{s_1}; \quad n_2^{\ell}, l_2^m, m_{s_2}; \quad \dots, n_N^{\ell}, l_N^m, m_{s_N}.$$

Celokupnu energiju više elektrenskog atoma sačinjava kinetička energija elektrona, elektrestatička energija i magnetna energija N elektrona. Elektrestatička energija se sastoji od Kuleneve interakcije između jezgra i elektrona i Kuleneve interakcije između samih elektrona. Magnetna energija potiče od interakcije orbitalnog i spinskog magnetnog momenta koji su vezani sa orbitalnim odnosno spiskim momentima količine kretanja.

Uzajamne dejstve orbitalnog momenta količine kretanja elektrona (p_ℓ) i njegovega spina (p_s) može biti različite, što uveljavlja različite načine vezivanja individualnih momenta količine kretanja elektrona u totalni moment količine kretanja atoma (P_J). Moguće je razlikovati tri slučaja vezivanja:

a) Prvi slučaj predstavlja Rasel-Sanderseve vezivanje kada je Kuleneve edbijanje znatno jače nego spin-orbitalnu vezu pojedinih elektrona. Ova veza se označava kao L, S veza. U slučaju Rasel-Sanderseve veze slazu se orbitalni momenti količine kretanja individualnih elektrona (p_ℓ) u totalni orbitalni moment količine kretanja atoma (P_L). Što je prikazano formule:

$$\vec{P}_L = \sum_{i=1}^N \vec{p}_{\ell_i}. \quad \dots(29)$$

Analogne se vrši slaganje spiskih momenta količine kretanja individualnih elektrona (p_s) u totalni spiski moment količine kretanja atoma (P_S) koji je prikazan formule:

$$\vec{P}_S = \sum_{i=1}^N \vec{p}_{s_i}. \quad \dots(30)$$

Slaganjem totalnog orbitalnog momenta količine kretanja elektrona (P_L) i totalnog spiskog momenta količine kretanja (P_S)

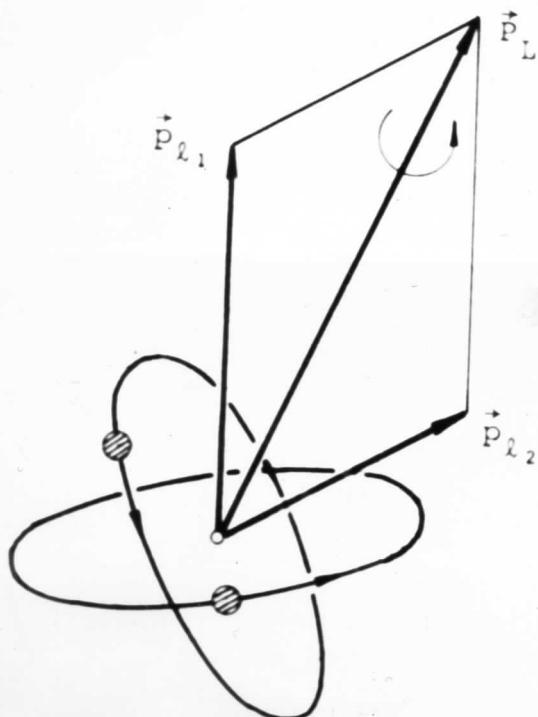
debija se totalni moment količine kretanja atoma (P_J). Totalni moment količine kretanja atoma prikazan je formulem:

$$\vec{P}_J = \vec{P}_L + \vec{P}_S. \quad \dots(31)$$

Uvedjenjem pojma totalnog orbitalnog momenta količine kretanja elektrona (P_L), totalnog spinskog momenta količine kretanja (P_S) i totalnog momenta količine kretanja atoma (P_J) uvede se kvantni brojevi: L, S i J.

Rasel-Sanderseve vezivanje može se razmatrati preko

vektorskog medela čiji se rezultati poklapaju sa rezultatima eksaktnih matematičkih teorija. Za slučaj više elektronskog atoma sa dva spajačnja elektrona kombinuju se vektorski orbitalni momenti količine kretanja prvega elektrona (\vec{p}_{ℓ_1}) i drugog elektrona (\vec{p}_{ℓ_2}) u totalni orbitalni moment količine kretanja atoma (\vec{P}_L). Što je prikazano u prethodnoj orijentaciji na sl.5. Ako su orbitalni momenti količine kretanja elektrona određeni vrednostima kvantnih brojeva $\ell_1=2$ i $\ell_2=1$ prema jednačini kvantne me-



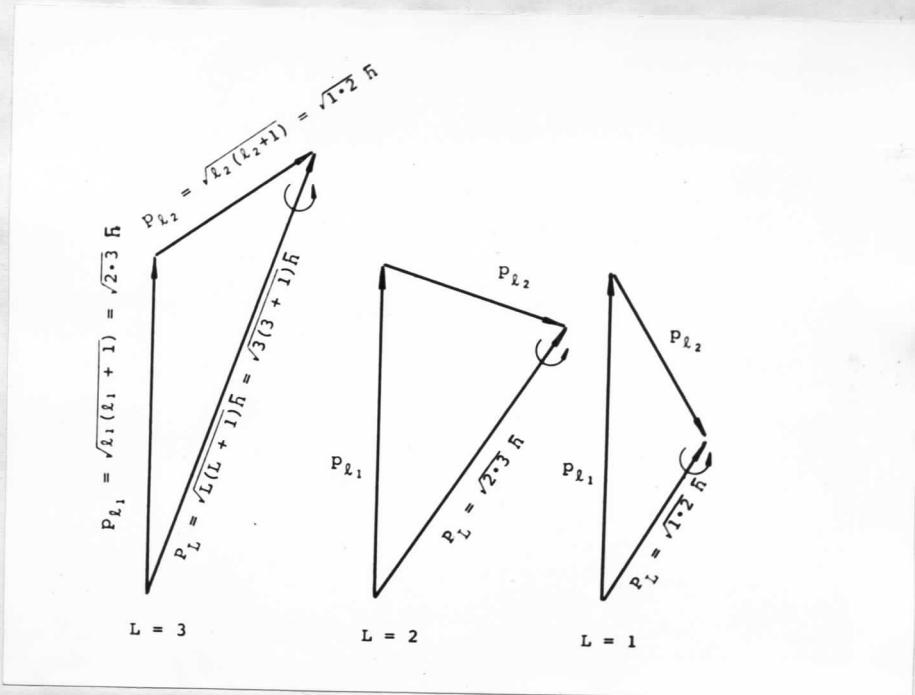
Sl.5.

hanike:

$$P_L = \sqrt{L(L+1)} \ h \quad L = \ell_1 + \ell_2; \quad \ell_1 + \ell_2 - 1, \dots, |\ell_1 - \ell_2|, \dots \quad \dots(32)$$

eni mogu biti sleženi na tri načina, dajući za kvantni broj L vrednosti 3, 2 i 1. Vektorske slaganje orbitalnih momenta količine kretanja elektrona (\vec{p}_{ℓ}) u totalni moment količine kretanja atoma (\vec{P}_L) za navedeni primer ilustrovane je na sl.6.

Iz slike sledi da se ugao izmedju p_{ℓ_1} i p_{ℓ_2} može izračunati



Sl.6.

po kosinusu teoremi i uz primenu napred navedenih jednačina (18) i (30). Prema kosinusu teoremi je:

$$p_L^2 = p_{\ell_1}^2 + p_{\ell_2}^2 - 2p_{\ell_1} p_{\ell_2} \cos \angle \ell_1 \ell_2 .$$

Zanemrav vrednosti za p_L , p_{ℓ_1} i p_{ℓ_2} iz jednačina (18) i (30) u navedenoj formuli dobija se:

$$L(L+1)h^2 = \ell_1(\ell_1+1)h^2 + \ell_2(\ell_2+1)h^2 - 2\sqrt{\ell_1(\ell_1+1)}h \cdot \sqrt{\ell_2(\ell_2+1)}h \cos \angle \ell_1 \ell_2$$

iz čega sledi da je:

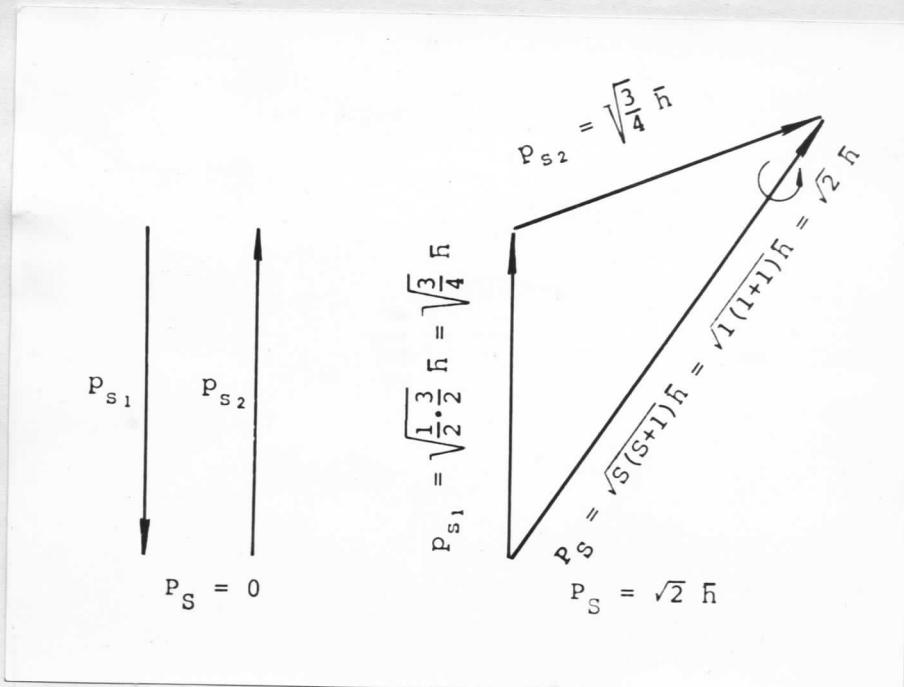
$$\cos \angle \ell_1 \ell_2 = \frac{\ell_1(\ell_1+1) + \ell_2(\ell_2+1) - L(L+1)}{2\sqrt{\ell_1(\ell_1+1)} \cdot \sqrt{\ell_2(\ell_2+1)}} . \quad \dots (35)$$

Analogne vektorске slaganje može se izvršiti i sa spinovima što je ilustrovano na sl.7. Palažeći od kvantne jednačine:

$$P_S = \sqrt{S(S+1)} h \quad S = s_1 + s_2 + \dots + s_N, \quad s_1 - s_2, \quad \dots (34)$$

za $s_1 > s_2$ u slučaju više elektronskog atoma sa dva speljačenja elektrena totalni spinski moment atoma (P_S) može imati celobrojne vrednosti. Ako su spinski momenti elektrena (p_{s_1}) i

(p_{S_2}) antiparalelni na osnovu jednačine (34) kvantni broj $S=0$,



Sl.7.

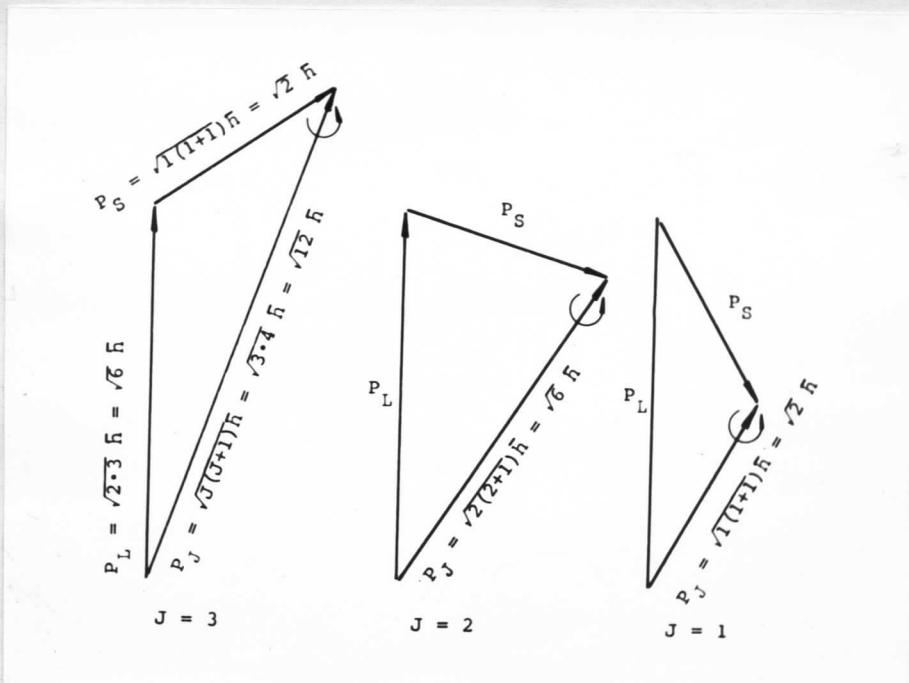
te je i totalni spinski moment atoma (P_S) jednak nuli. Ako su spinski mementi elektrena (p_{S_1}) i (p_{S_2}) paralelni, prema jednačini (34) kvantni broj $S=1$, te je totalni spinski moment atoma $P_S = \sqrt{2} \hbar$. Vektori spinskih mementata elektrena nikad se ne postavljaju strege paralelne, te njihova orijentacija na slici 7 nije tako ni prikazana.

Kao rezultat uzajamnog dejstva totalnog orbitalnog mimenta keličine kretanja atoma (P_L) i totalnog spinskog mimenta (P_S) dobija se totalni miment atoma (P_J), što prikazuje sl.8. Njegova vrednost može se izračunati koristeći jednačinu kvantne mehanike:

$$P_J = \sqrt{J(J+1)} \hbar \quad J=L+S, L+S-1, \dots, L-S. \quad \dots(35)$$

Pošto je kvantni broj J sležen iz kvantnih brojeva S i L za slučaj $S > L$ pesteji $2S+1$ mogućih kombinacija. Vektorska kombinacija totalnog mimenta atoma (P_J) prikazana na sl.8 pokazuje da za vrednosti kvantnih brojeva $S=1$ i $L=2$ pesteje tri moguće vrednosti kvantnog broja J . Te vrednosti iznese: 3, 2 i 1. Pri ovom vezivanju vremenski je strege određen samo totalni miment

atoma (\vec{P}_J) dok estala dva momenta \vec{P}_L i \vec{P}_S vrše precesiju oko njega.



Sl.8.

Kao što se slažu orbitalni i spinski mementi količine kretanja individualnih elektrona u totalni mement atoma, slažu se i magnetni mementi pojedinih orbita i spineva u jedan totalni magnetni mement atoma (μ). Orbitalni magnetni mementi individualnih elektrona (μ_L) može se prikazati fermulem:

$$\vec{\mu}_L = -\frac{\mu_B}{h} \vec{P}_L, \quad \dots(36)$$

a spinski magnetni mementi mogu se prikazati fermulem:

$$\vec{\mu}_S = -2 \frac{\mu_B}{h} \vec{P}_S. \quad \dots(37)$$

Slaganjem navedenih mamenata dobija se totalni magnetni mement atoma:

$$\vec{\mu} = -\frac{\mu_B}{h} (\vec{P}_L + 2\vec{P}_S). \quad \dots(38)$$

Rasel-Sanderseva veza se javlja kad elemenata koji se nalaze u levem gornjem uglu periodnog sistema.

b) Drugi slučaj vezivanja predstavlja tako zvana j,j veza. Ova veza se primenjuje u slučaju kad je jača spin-orbitalna veza svakog elektrona od Kuleneveg odbijanja. U ovom slučaju prvo se za svaki elektron slaže njegov orbitalni (p_{ℓ_i})

i spinski (p_{s_i}) moment u totalni moment (p_{j_i}) elektrena a zatim totalni momenti pojedinih elektrena slažu se u totalni moment atoma (P_j). To se može prikazati sledećim jednačinama:

$$\vec{p}_j = \vec{p}_e + \vec{p}_{s_i}; \quad \vec{p}_j = \sum_{i=1}^N \vec{p}_{j_i}; \quad i=1,2,3..,N. \quad \dots(39)$$

Za vrednost totalnog momenta atoma (P_j) kvantna mehanika daje izraz:

$$P_{j_i} = \sqrt{j_i(j_i+1)} \hbar \quad i=1,2,3..,N. \quad \dots(40)$$

Ova veza se javlja kad elemenata koji se nalaze u donjem desnom uglu periodnog sistema.

c) Treći slučaj veze imamo za one atome koji leže između dva granična slučaja, gde su sve interakcije veličine istog reda. Ova srednja veza postoji kad elemenata koji se nalaze u sredini periodnog sistema.

Za raspodelu elektrena po elektrenskim ljkuskama kad više elektronskog atoma važeći je Paulijev princip (1925.god.) prema kojem u jednom atomu ne mogu biti dva elektrena sa sva četiri kvantna broja ista. Iz Paulijevog principa sledi da u svakom kvantnom stanju koje se karakteriše sa četiri nezavisna kvantna broja može biti samo jedan elektron. Sa datim kvantnim brojevima n , ℓ i m_ℓ negu se nalaziti maksimalne dva elektrena koji se nedjusebne razlikuju po orijentaciji spina. Sa dva kvantna broja n i ℓ broj elektrena iznesi:

$$2(2\ell+1). \quad \dots(41)$$

Broj elektrena u popunjениm s,p,d i f stanjima ne može biti veći od 2,6,10 i 14 elektrena. Sa datim kvantnim brojem n ukupan broj elektrena dobija se prema formuli:

$$\sum_{\ell=0}^{n-1} 2(2\ell+1) = 2 \left[1+3+5+\dots+(2n-1) \right] = \\ = 2 \cdot \frac{(1+2n-1)}{2} \cdot n = 2n^2. \quad \dots(42)$$

Uzimajući u obzir Paulijev princip i Berov princip izgradnje iz kojeg sledi da kod izgradnje elektrenskih ljkusaka i podnivea u periodnom sistemu elemenata, sledeći elektron zauzima uvek nivo najniže energije, može se tačno odrediti broj elektrena u pojedinim ljkuskama. Na primer za atom Žive raspored

elektrena po kvantnim stanjima karakterisan brojem n i ℓ može se prikazati u vidu Šeme:

K	$1s^2$							
L		$2s^2 p^6$						
M			$3s^2 p^6 d^{10}$					
N				$4s^2 p^6 d^{10} f^{14}$				
O					$5s^2 p^6 d^{10}$			
P						$6s^2$		
								...(43)

Elektronska konfiguracija atoma žive u normalnom stanju prikazana je u tablici I.

Tablica I.

redni broj	osnovni term	Ljuske					
		K	L	M	N	O	P
žive		s s p	s p d	s p d f	s p d f	s p d f	s p d f
80	1S_0	2 2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2	

Da bi se ukupne stanje elektronskog emetača jednog više elektronskog atoma moglo obeležiti u kraćem obliku primenjuje se određena simbolika termova atoma, koji su karakterisani kvantnim brojem L i obeležavaju se velikim slevima:

za $L=0, 1, 2, 3, 4..$

edgevara stanje= S, P, D, F, G.. ... (44)

Za potpunije obeležavanje kraj simbola svakog terma stavlja se dva indeksa. Sa leve strane gore od velikega sleva stavlja se u vidu indeksa vrednost multipletnosti sistema kojim je određen taj term a desne dale uz velike slevove označen je kvantni broj J . Na primer, ako se radi o osnovnom stanju atoma žive za koje je multipletnost jednaka jedinici a glavni kvantni broj (J) jednak nuli obeležava se simbolom 1S_0 . Multipletnost termova (N) više elektronskih atoma može biti različita što zavisi od broja spoljašnjih elektrona u atomu.

Pošte se multipletnost izračunava po formuli:

$$M=2S+1, \quad \dots (45)$$

za atone sa parnim brojem spoljašnjih elektrona multipletnost

je neparna i obrnute za atome sa neparnim speljašnjim elektronima multipletnost je parna. Za slučaj više elektronskog atoma sa dva speljašja elektrona kao što je živa, kvantni broj S može imati dve vrednosti: S=0 i S=1, a multipletnost je jedan ili tri, što znači da se dobijaju dva sistema termova: sistem singleta i sistem tripleta. Skup termova više elektronskog atoma sa dva speljašja elektrona i odgovarajućim kvantnim brojevima L i J prikazan je u tablici II.

Tablica II.

Singleti (S=0)					Tripleti (S=1)				
J	0	1	2	3	0	1	2	3	4
L=0	1S_0					3S_1			
L=1		1P_1			3P_0	3P_1	3P_2		
L=2			1D_2			3D_1	3D_2	3D_3	
L=3				1F_3			3F_2	3F_3	3F_4

Dosadašnje izlaganje odnesilo se na stacionarna energetska stanja atoma koja su stregi definisana elektronskom konfiguracijom a u kojima atom ne zrači. Ako elektron vrši prelaz sa višeg energetskega stanja na niže atom emituje svetlost. Prelaz elektrona na niži nivo može biti direktni ili u sukcesivnim skekvima. Prelazi izmedju energetskih stanja daju diskretnе linije u spektru. Take dobijame novu mogućnost za utvrđivanje energetskih stanja u atomu analizom debijenih spektara. Za postojanje jednog spektra potrebne je znati koji su kvantni prelazi mogući. Iz talasne mehanike i na osnovu iskustva utvrđena su sledeća epšta selekciona pravila:

1. Glavni kvantni broj može se menjati prilikom skoka za svaki iznos: $\Delta n=0,1,2,3..$... (46)

2. Kvantni broj L može se menjati samo za jedinicu:

$\Delta L=\pm 1.$... (47)

Iz teg pravila neposredno preizilazi da se međusobno mogu kombinovati samo termovi S i P, P i D a kombinacije S i D

($L= \pm 2$), S i S, P i P ($L=0$) su zabranjeni.

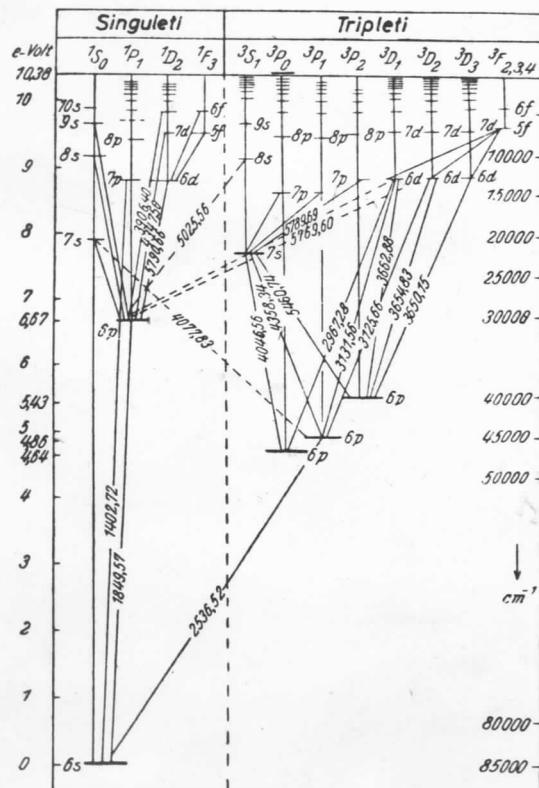
3. Kvantni broj J se ili ne sme menjati ili se može menjati samo za jednu jedinicu:

$$\Delta J = 0, \pm 1.$$

...(48)

U spektrima elemenata sa dva speljašna s-elektrona, kao što je slučaj sa atomom žive debijaju se dva sistema termova: singletni i tripletni termovi. Postoje i prelazi iz singletnih sistema u tripletni sistem. Interkombinacije singletne-tripletnog prelaza narušene su pravilima izbora i uslovljene spin-orbitalnom interakcijom.

Na sl.9. prikazana je termska šema za spektor atoma žive. Kratke horizontalne linije na pomenutoj termskoj šemi predstavljaju energetske nivoe atoma žive uz označavanje edgevarajućih simbola. Na levoj strani nalazi se skala na kojoj se čitava veličina energije u elektron voltima (eV), a na desnoj strani nalazi se skala sa edgevarajućim talasnim brojevima. Prelazi izmedju različitih energetskih nivoa prikazani su kesim linijama pored kojih su naznačene edgevarajuće talasne dužine izražene u angstromima (Å). U spektru na sl.9. obuhvaćene je devetnaest linija čiji su podaci izleženi u tablici III. Isprekidanim li-



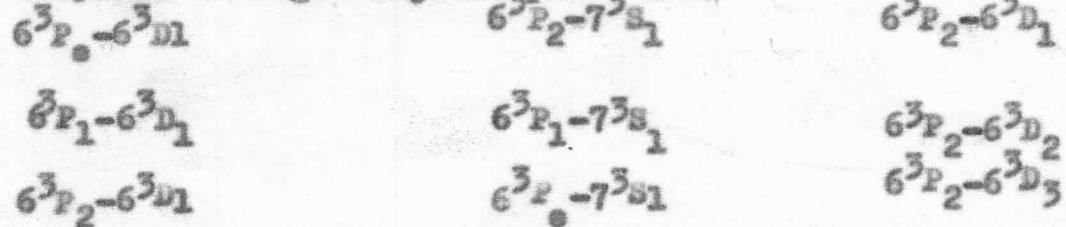
Sl.9.

nijama naznačene su tri interkombinacione linije sa talasnim dužinama: 5789,69 Å, 5769,60 Å i 4077,83 Å.

Tablica III.

TALASNA DUŽINA (Å)	PRELAZI	ENERGIJA POBUDJIVANJA (eV)
5790,66	$6^1P_1 - 6^1D_2$	8,84
5789,69	$6^1P_1 - 6^3D_1$	8,84
5769,60	$6^1P_1 - 6^3D_2$	8,85
5460,74	$6^3P_2 - 7^3S_1$	7,73
5025,56	$8^3S_1 - 6^1P_1$	9,75
4358,34	$6^3P_1 - 7^3S_1$	7,73
4347,50	$6^1P_1 - 7^1D_2$	9,55
4077,83	$6^3P_1 - 7^1S_0$	7,93
4046,56	$6^3P_0 - 7^3S_1$	7,73
3906,40	$6^1P_1 - 8^1D_2$	9,88
3662,88	$6^3P_2 - 6^3D_1$	8,84
3654,83	$6^3P_2 - 6^3D_2$	8,85
3650,15	$6^3P_2 - 6^3D_3$	8,86
3125,66	$6^3P_1 - 6^3D_2$	8,82
3131,56	$6^3P_1 - 6^3D_1$	8,81
2967,28	$6^3P_0 - 6^3D_1$	8,81
2536,52	$6^1S_0 - 6^3P_1$	4,87
1849,57	$6^1S_0 - 6^1P_1$	6,68
1402,72	$6^1S_0 - 7^1P_1$	8,84

Sa termake šeme na sl. 9. lako se mogu uočiti tripleti tj. grupe sa po tri linije. Kao primer izdvojena su tri tripleta sa odgovarajućim prelazima:



Rezonantna linija u spektru atoma žive je linija talasne dužine $\lambda = 2537\text{\AA}$, koja odgovara interkombinacionom prelazu $6^1S_0 - 6^3P_1$. Velika intenzivnost ove rezonantne linije objašnjava se velikim trajanjem srednjeg života (T) žive u stanju 6^3P_1 koji iznosi $5 \cdot 10^{-3}$ sec. Energija potrebna za pobudjivanje nivea 6^3P_1 , kako je naznačeno u tablici III, iznosi 4,89eV, što predstavlja prvi eksitacioni potencijal atoma žive.

3. POBUDJIVANJE ATOMA U SUDARU SA ELEKTRONIMA

Da bi atom emitovao svetlost mora primiti izvesnu energiju i preći u pobudjeno stanje. Postoje razni načini za pobudjivanje atoma: apsorpcija fotonata čija energija tačno odgovara jednom elektronskom prelazu, hemijske reakcije, dejstve Rentgenovih i radioaktivnih zraka, neelastični sudari atoma sa elektronima itd. Sudare elektrona i atoma možemo provesti direktnim bombardovanjem atoma elektronima. Elektroni određene brzine emituju se kroz neki gas i ako je njihova brzina manja od neke kritične vrednosti, elektroni ne predaju svoju energiju atому već se same odbijaju (masivni atom prima same neznatan deo energije). Takve sudare nazivamo elastičnim sudarima.

Ako se brzina elektrona poveća do neke kritične vrednosti, elektroni gube svoju energiju i predaju je atomu, koji pri tome prelazi u druge stacionarne stanje sa većom energijom. Takve sudare nazivamo neelastičnim sudarima, a najmanji iznos energije koji atom može da primi naziva se prva eksitaciona energija ili prva energija pobudjivanja. Ona je karakteristična za svaku vrstu atoma. Prva energija pobudjivanja izvesnih atoma:

za atom žive energija pobudjivanja je 4,9eV,

za atom heliuma energija pobudjivanja je 19,8eV i

za atom cezija energija pobudjivanja je 1,4eV.

Taj gubitak estaje stalan pri povećanju bombardujuće energije za sledećih nekoliko eV. Manju energiju elektrona atom ne prima a u slučaju veće energije atom epet prima strege određen iznos. Nedjutim prva energija pobudjivanja nije je-

dini iznes energije koji atom može da primi. Pri povećanju energije bombardujućeg elektrona utvrđene je da postaje i drugi iznesi energije koje atomi mogu da prime od elektrona a koje zovemo višim ekscitacionim energijama. Znači atomi mogu menjati sveju unutrašnju energiju ali su te premenе ograničene strege definisanim skelevima.

4. OSNOVNA IDEJA FRANK-HERC-A KOJA SLEDI IZ KVANTNIH PRETPOSTAVKI

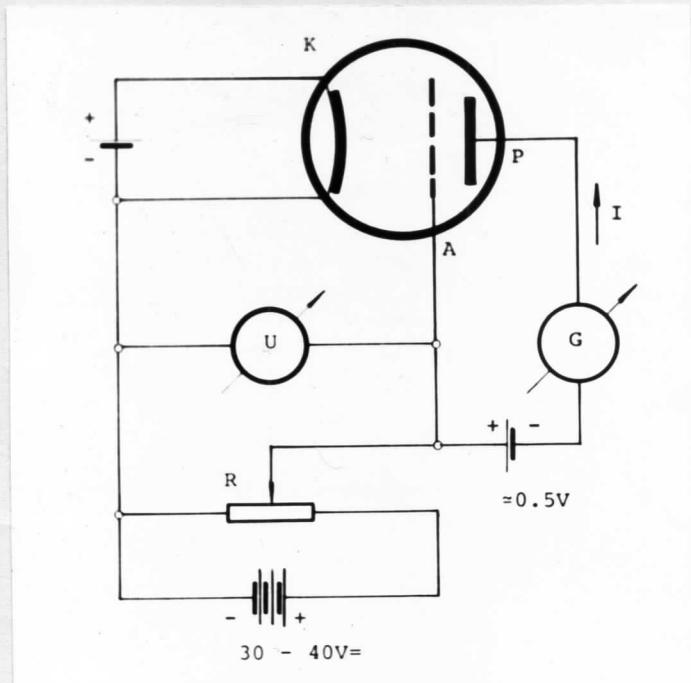
Premene energije atoma u tačne odredjenim iznesima i energetska stanja atoma prvi su eksperimentalne preverili i dokazali Džens Frank i Gustav Herc u Nemačkoj 1913. godine, znači iste godine kad i Niels Ber definiše svoje postulate. Ideja njihevega eksperimenta sastojala se u tome da se elektronima koji su stekli izvesnu brzinu u električnom polju mogući sudar sa atomima žive. Ogled je pokazao da se elektroni sa manjom energijom od $4,9\text{eV}$ odbijaju elastično, dok sa energijom od $4,9\text{eV}$ vrše neelastične sudare i potpune predaju energiju atomima žive koji prelaze u pobudjene stanje. Pobudjeni atomi žive posle kratkog vremena emituju jednu jedinu liniju ljubičaste boje talasne dužine 2537\AA . Ovaj eksperiment Frank-Herc-a smatra se prvom potvrdom postojanja kvanta energije i predstavlja ključ za rešavanje problema atomske strukture.

II EKSPERIMENTALNI DEO

1. DETALJAN OPIS FRANK-HERC-OVIH OGLEDA I KASNIJE IZVEDENA POBOLJŠANJA

Uredjaj za prvebitne Frank-Herc-ove ogledе prikazan je na sl.10. U elektronskoj cevi nalazi se rasredjena živina para pod pritiskom od oko 1mm Hg i 3 elektrode. Kad (K) služi kac izver elektrona koji se ubrzavaju prema anodi (A) pomoću premenljivog napona (U). U kulu između anode i katodata (P) vezan je izver EMS koji obezbeđuje negativnost katodata u odnosu na anodu, negde za

svega 0,5-1V. U anodnom kolu nalazi se dosta esetljiv instrument mikreampernetar ili galvanometar (G) koji omogućava merenje struje (I) u anodnom kolu.

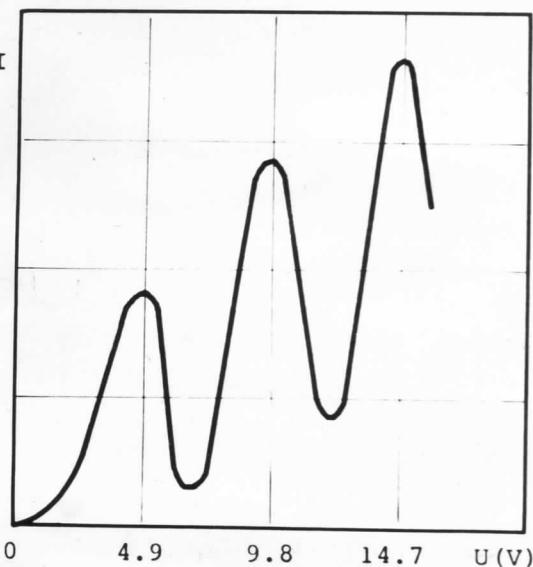


Sl.10.

merenje struje (I) u anodnom kolu. Voltmetar (U) omogućava merenje napona izmedju katode (K) i anode (A). Ako se postepeno povećava napon, elektroni se ubrzavaju prema anodi i trpe u cevi sudare sa atomima žive. Njihova kinetička energija raste ali nije dovoljna da izvrši ekscitaciju atoma žive zbog čega postaje samo elastični sudari. Elektroni prelaze kroz anodu padaju na kolektor i struja počinje da teče. Kad se elektroni i dalje ubrzavaju, jednog trenutka destiču vrednost energije od 4,9eV, koju mogu da prime atomi žive te sudari nastaju neelastični. Pri ovakvim sudarima elektroni celekupnu energiju predaju atomima žive koji prelaze u pobudjene stanje a za kratke vreme emituju spektar. Elektroni ne mogu više da ssvladaju napon kočenja izmedju anode i kolektora koji ih usporava i jačina struje opada. Tako se objašnjava porast jačine struje do maksimuma i pad. Ako se napon i dalje povećava elektroni destiču energiju potrebnu za pobudjivanje atoma žive ranije, na kraćem rastojanju od katode. Prema tome i ako je brzina pri sudaru postane jednaka nuli, prester je dovoljno velik da se elektroni ubrzaju, pređu kroz anodu i padnu

na kolektor, pri čemu struja poneve raste. Ako se napen i dalje povećava, energija elektrona raste i postaje dovoljna za pobudjivanje atoma žive već negde u sredini cevi. Posle sudara elektroni se ubrzavaju i pred anodom trpe drugi sudar, pri čemu gube stečenu kinetičku energiju zbog čega nisu u mogućnosti da savladaju napen kačenja anoda-kolekter. Tačke se objašnjava drugi pad jačine struje. Sa porastom napena povećava se broj mogućih sudara koji počinju na $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ i $\frac{1}{5}$ cevi. Posle višestrukih sudara kriva jačine struje pokazuje više uzastopnih maksimuma, koji se nalaze na međusobnom rastojanju od 4,9V. Maksimumi na karakteristici I-U sl.11 ne znače da živini atomi imaju različite energetske nivoe, nego da elektroni mogu da pobudjuju na svom putu jedan ili više puta atome žive.

Spektroskopskim ispitivanjem emisije atoma žive ustanovljena je linija talasne dužine 2537\AA . Da je pobudjivanje izazvane elektronima energije 4,9eV može se pokazati ako se atom žive izrači monohromatičnom svetlošću talasne dužine 2537\AA . Atomi žive će apsorbevati energiju ove svetlosti i prelaziti u pobudjene stanje sa energijom od 4,9eV.



Sl.11.

Prelazom u normalne stanje atomi žive emituju svetlost koja daje samo jednu spektralnu liniju sa istom talasnom dužinom. Ove spektralne linije čije su talasne dužine jednake talasnoj dužini apsorbevanog zračenja pri pobudjivanju atoma nazivaju se rezonantnim linijama.

Prema drugom Barovom postulatu (jed.2) ako je energija kvanta $\hbar\nu=4,9\text{eV}$ frekvencija je:

$$\nu = \frac{4,9\text{eV}}{\hbar} \quad \dots(49)$$

Pošte je $\lambda = \frac{c}{\nu}$, izlazi da spektralne linijsi sa frekvencijom (jed.49) odgovara talasna dužina:

$$\lambda = \frac{hc}{4,9 \text{ eV}} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{sec} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}}{4,9 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 2530 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 2530 \text{ Å} \dots (50)$$

Ovaj rezultat potvrđuje da elektroni koji pobudjuju atome žive imaju energiju 4,9eV. Kinetička energija elektrona u električnom polju može se izračunati:

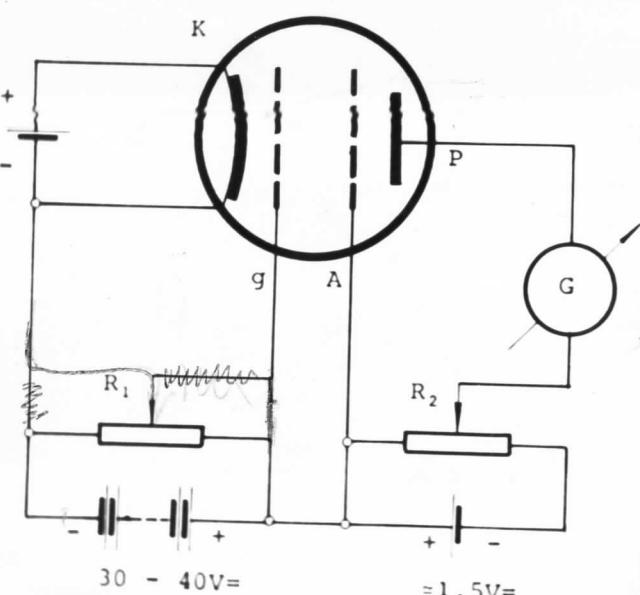
$$E_k = e \cdot U = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 4,9 \text{ V} = 7,8 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 4,9 \text{ eV} \dots (51)$$

Energija elektrona koji pobudjuje atome žive zaista je 4,9eV. Opisana metoda imala je bitne nedostatke:

a) Nije mogla da razdvaja bliške maksimume.

b) Nije mogla da odredi energije viših stepena eksitacije. Da bi se otklenili ovi nedostaci Frank i Hertz su izmjenili metodu tako da su se elektroni ubrzavali u jednom delu aparature a sudarali se sa ispitivanim atomima u drugom delu. Za ove je bile dovoljne da se uvede rešetka (g) koja je udaljena od katede (K) na rastojanje male u poređenju sa srednjem dužinom slebedne putanje elektrona. Šema aparature prikazana je na sl.12. U prostoru između katede (K) i rešetke (g) elektroni se ubrzavaju i kad debiju doveljne brzine, oni prelaze kroz rešetku (g) u prostor između rešetke i anode (A). U ovom prostoru nastaju mnoge brežnji sudari elektrona sa atomima žive. Ovi sudari u početku biće elastični tako da brzina elektrona ne menja svoj intenzitet. Posle sudara neki elektroni imaju doveljnu kinetičku energiju da savladaju napon kačenja između

rešetke (g) elektroni se ubrzavaju i kad debiju doveljne brzine, oni prelaze kroz rešetku (g) u prostor između rešetke i anode (A). U ovom prostoru nastaju mnoge brežnji sudari elektrona sa atomima žive. Ovi sudari u početku biće elastični tako da brzina elektrona ne menja svoj intenzitet. Posle sudara neki elektroni imaju doveljnu kinetičku energiju da savladaju napon kačenja između



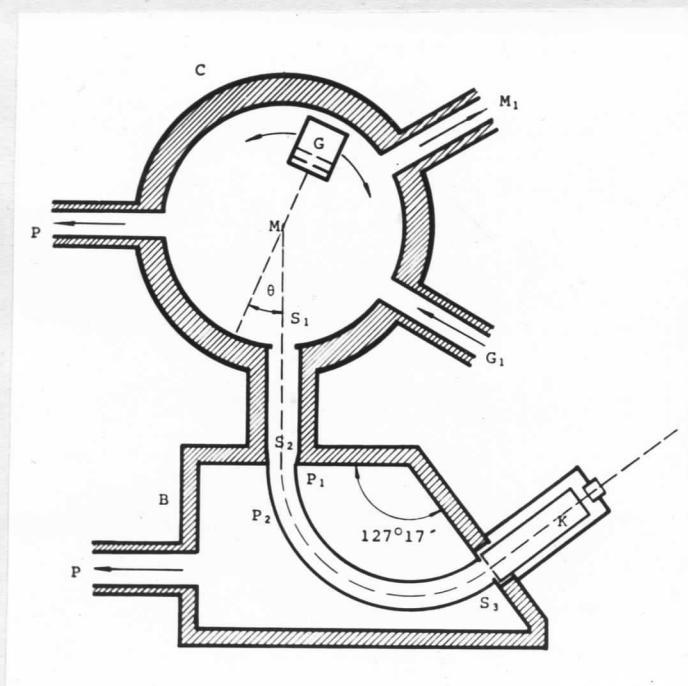
Sl.12.

ljnu kinetičku energiju da savladaju napon kačenja između

anode i kolektera (P_1), predju kroz galvanometar i edu u zemlju. Na galvanometru se može prečitati debitna struja. Ako se povećava napon između katode i rešetke elektroni debijaju sve veću energiju a sudari pestaju neelastični, pa se ponavljaju isti postupak kao u cevi sa tri elektrede. Za određivanje viših ekscitacionih potencijala neposrednim merenjem na živinej pari, eksperimentalne vrednosti ne daju stvarne vrednosti. Izmerene vrednosti za više ekscitacione potencijale su: 4,9; 9,8; 11,2; 13,5; 14,7; 16; 17,6; 19,3; 20,2 i 21,2V. Lako se može videti da navedeni potencijali nastaju kombinacijom ekscitacionih potencijala 4,9 i 6,7V. Ako je $a=4,9V$ a drugi ekscitacioni potencijal $b=6,7V$, onda je potencijal od $9,8V = 2a$, potencijal $11,2V=a+b$; potencijal $17,6V=a+2b$ i $21,2V=3a+b$.

Primenom metoda Hjuza, Mak-Milena i Rožanskog sa uspehom se mogu jednovremeno određivati viši ekscitacioni potencijali (metodom elektrenskih sudara). Ideja egleda sastoji se u sledećem: strege hemogeni mlaz elektrona sa energijom koja prelazi najveći ekscitacioni potencijal ispitivanih atoma usmerava se u razredjen gas. Pri neelastičnim sudarima različiti elektroni gube delimične svoje energije u iznesima koji odgovaraju raznim kritičnim potencijalima atoma. Ako se posle sudara mlaz elektrona razlaži u spektar on daje ednak sve nastale gubitke u energiji i sve moguće ekscitacione potencijale. Aparatura za određivanje svih ekscitacionih potencijala atoma sl.13., sastoji se iz elektrenskog topa (G) posudu koga se može debitni hemogeni mlaz elektrona potrebne energije. Elektronski top postavljen je u metalni cilindar (C) tako da je mlaz elektrona upravljen duž prečnika cilindra. Kroz cev (P_1) može se pomoću šmrka za razređivanje vazduha izvući vazduh iz cilindra a kroz cev (G_1) ubaciti u cilindar gas za čije se atome traže ekscitacioni potencijali. Cev (M_1) vodi iz cilindra ka manometru koji služi za merenje maleg pritiska razredjenog gasa. Iz cilindra (C) u posudu (B) kroz cev (S_1) i (S_2) mogu da predju same eni elektroni mlaza koji posle sudara sa atomima gasa u centru cilindra (M) skrenu pod ugлом teta (Θ) sa sveg prvebitnog pravca duž prečnika cilindra. Skrenuti elektroni ulaze između dve cilindrične savijene pliče (P_1) i (P_2), koje predstavljaju cilindrični kondenzator, savijaju pod

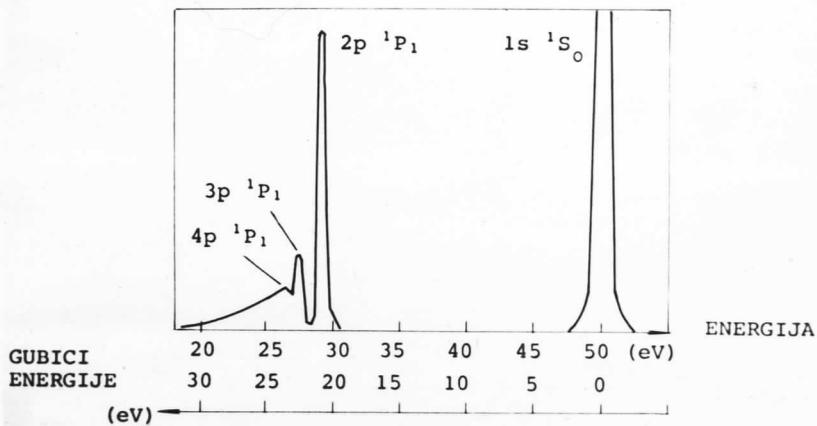
uglem ($127^{\circ}17'$) i tako ulete u Paradejev cilindar (K). Ugao savijanja obezbeđuje fokusiranje maza elektrona, koji je



Sl.13.

pri ulazu u cev (S_1) bie nešto divergentan. Despevši u Paradejev cilindar (K), elektroni ga nanelektrišu a nanelektrisanje se meri pomoću elektrometra. Pri odredjenoj potencijalnoj razlici izmedju pleča cilindričnog kondenzatora, kroz kondenzater negu da predju same elektroni odredjene brzine. Kondenzater služi kao filter brzina elektrona pa prema teme i filter za raspodelu elektrona po energijama. Menjajući jačinu električnog polja među plečama cilindričnog kondenzatora možemo neposredno naći raspodelu elektrona po energijama, rasturenih pod uglovima teta (θ) a time i sve rezonantne potencijale za date atome. Pomeranjem elektronskog topa u smjeru kretanja kazaljke na časovniku ili u suprotnom smjeru može se menjati ugao skretanja elektrona. Ova metoda pokazala je dobre rezultate pri eksperimentima sa heliumom. Atomi heliuma bombardovani su elektronima čija je početna energija iznesila 50eV. Posle sudara sa atomima heliuma dobiven je energetski spektar elektrona u kojem su zapaženi maksimi od 28,8eV, 27,2eV i 26,38eV. Ovi maksimumi energije potvr-

dajuju energetske nivoe u atomima heliuma jer elektroni gube struge određene iznese energije od 21,2eV, 22,8eV i 23,6eV. Energetski spektar elektrona posle sudara sa atomima heliuma



Sl.14.

prikazan je na sl.14. Maksimum kod 50eV odnesi se na elektrone koji nisu pretrpeli sudar sa atomima heliuma.

2. MERENJE PRVOG EKSCITACIONOG POTENCIJALA KOD ATOMA ŽIVE POMOĆU UREDJAJA ZA FRANK-HERC-OVU METODU IZ ZBIRKE „LEYBOLD“

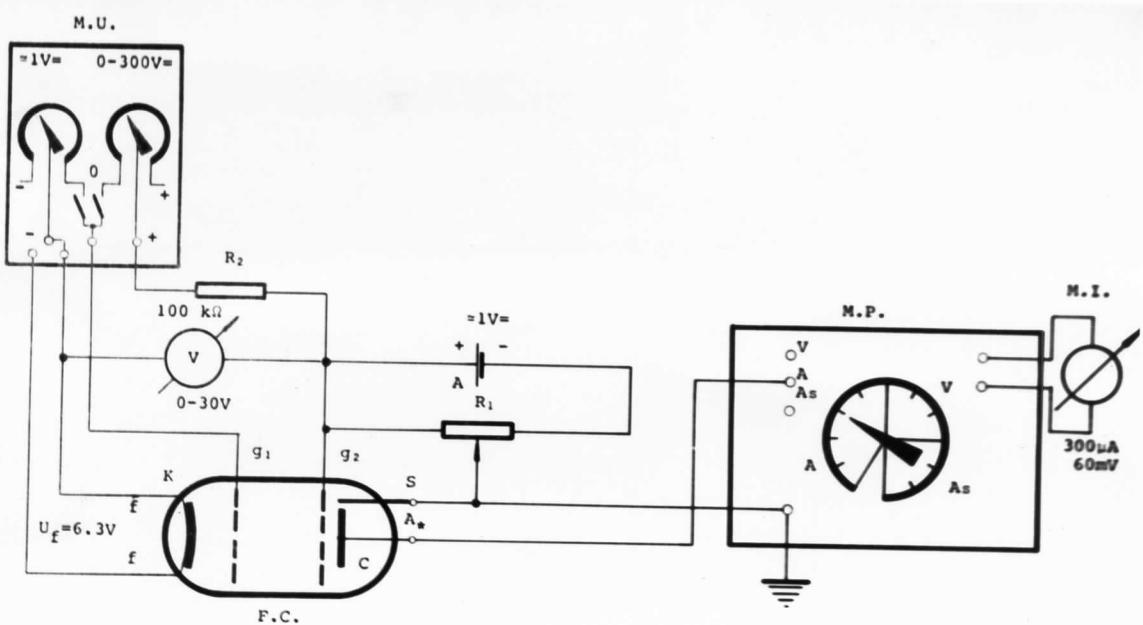
Uredaj za Frank-Herc-svu metodu koji je upotrebljen za određivanje prvega eksitacionog potencijala kod atoma žive sadrži sledeće deeleve:

Frank-Herc-svu cev (F.C.) sl.15., uredaj za priključak na mrežu (M.U.), merni pojčavač (M.P.), merni instrument (M.I.), voltmeter (V), merni otpornik (R_2), potenciometar (R_1) i akumulator (A).

Frank-Herc-sva cev je tetreda sa indirektnim grejanjem katede (K). Iza katede u cevi se nalazi rešetka presternega nanelektrisanja (s_1), zatim dolazi rešetka ubrzavajućeg potencijala (s_2) i kolektor (C). U cevi se nalazi jedna kap žive.

Za Frank-Herc-svu cev su potrebni sledeći napeni:

- a)Naizmenični napen grejanja (f) katode koji iznosi 6,3V.
- b)Jednosmerni napen izmedju rešetke presterneg nadelektrisanja (g_1) i katode (K) može se regulisati u intervalu od 0-4V.
- c)Jednosmerni napen izmedju ubrzavajuće rešetke (g_2) i katode (K) može se podešavati u intervalu od 0-30V.
- d)Napen kočenja izmedju kolektera (C) i ubrzavajuće rešetke (g_2) je eks 1V.

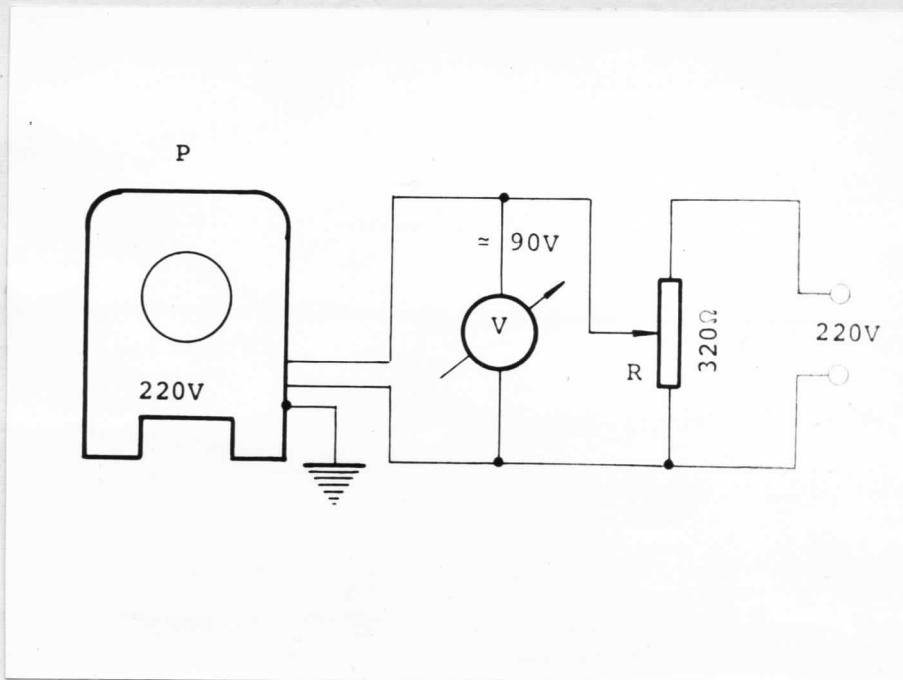


Sl.15.

Potrebiti napeni za Frank-Herc-svu cev dobijaju se iz posebnog uređaja (M.U.) koji se priključuje na mrežu. Kad Frank-Herc-sve cevi keristi se struja male jačine, reda veličine eks 10^{-9} A. Zbeg tega je potreban merni pejačavač (M.P.) i vrlo esetljiv merni instrument (M.I.) čiji je opseg 300μ A.

U Frank-Herc-svoj cevi vrše se neelastični sudari elektrona sa atomima žive. Za izvedjenje eksperimenta potreban je pritisak živine pare od 5-20 tora. Odgovarajući pritisak može se pestići ako se cev održava na temperaturi od 150° - 200° C. Zagrevanje doeve temperature vrši se pomoću elektri-

čne peći (P) sl.16. To je jedna keramička peć sa cilindričnim presterom grejanja od 37mm širine-100mm dužine. Ako se priključi na 220V može se posle jednog časa zagrevanja pa-



Sl.16.

stiči temperatura i do 600°C . Zbog tega se peć priključuje na mrežu preko potencijometra (R) od 320Ω a napon peći se mjeri voltmetrom (V) opsega 120V.

U izvedjenju eksperimenta pesteji sledeća postupnost:

a)Frank-Herč-eva cev se obavije zaštitnom felijem $10 \cdot 14$ cm od brenze, koja ima zadatak da zaštiti Frank-Herč-evu cev od spoljašnjih smetnji. Posle tega cev se stavlja u peć.

b)Električna peć se uključi po prikazanej řemi (sl.16) na željeni radni napon, koji se bira u intervalu od 60-100V. Posle uključivanja peći, uključuje se merni pojačavač.

c)Jedan sat posle uljučivanja mernog pojačavača i peći uključi se napon ubrzavanja i grejanje katede. Tako se doveđe napon na rešetku (g_2). U toku eksperimenta napon rešetke (g_2) se postepeno povećava u skokovima od 0,5V ili 1V. Napon rešetke (g_1) se odabere u intervalu od 0-1V i ostaje konstantan u toku eksperimenta. Regulator mernog pojačavača (A) postavi se na područje $30 \cdot 10^{-10}$.

Da se cev ne bi brze oštetila pri radu, treba obratiti pažnju na napon pedi koji nikako ne smi da pređe 120V. Cev ne smi da bude uključena uzastopne više časeva. Napon između rešetke (E_2) i katede (K) ne treba da pređe 30V, kako ne bi došlo do jenizacije sudara.

Zadatak eksperimenta je da se izmeri struja kroz Frank-Hero-ovu cev. Sve podatke dobijene eksperimentalno treba srediti tablične a zatim nacrtati grafik jačine struje-napon. Iz učenih maksimuma krive odrediti ekscitacioni potencijal kod atoma žive.

Jedan najuspeliji eksperiment izveden je pri sledećim uslovima:

- Radni napon pedi 80V.
- Napon na rešetki $E_1 = 0,2V$.
- Napon na rešetki $E_2 = 0-27V$.
- Regulator mernog pojačavača se postavi na pedruče $3 \cdot 10^{-10}$.

-Vreme zagrevanja pedi za početak rada iznosilo je 1 čas i 25minuta.

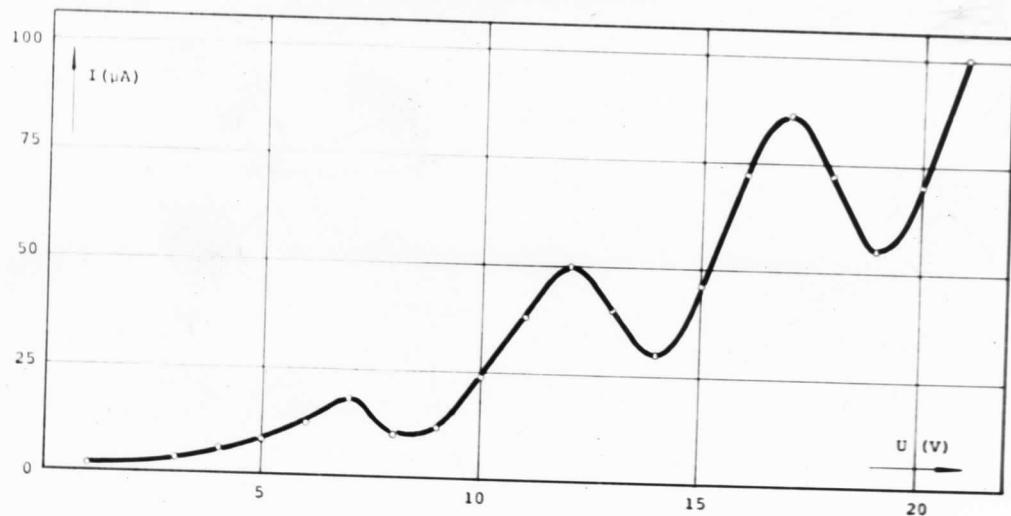
Rezultati koji su dobijeni pri eksperimentalnom merenju izlaženi su u tablici IV.

Tablica IV.

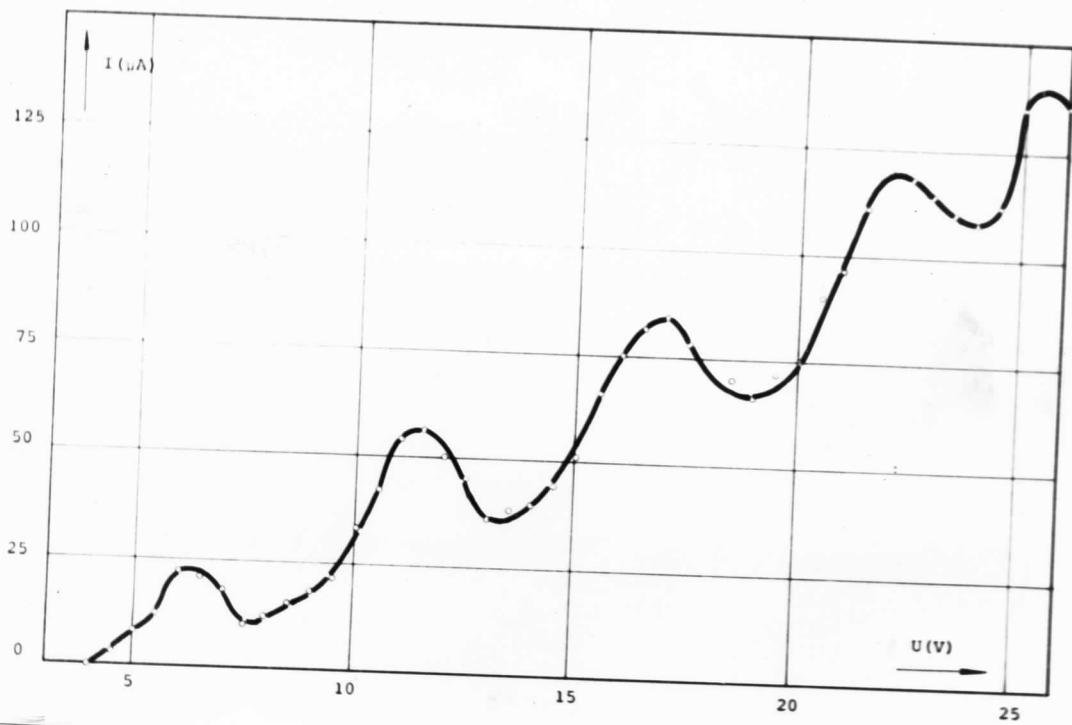
$U(V)$	$I(\mu A)$	$U(V)$	$I(\mu A)$	$U(V)$	$I(\mu A)$
1	2	10	24	19	55
2	4	11	38	20	70
3	5	12	50	21	102
4	6	13	40	22	104
5	8	14	30	23	114
6	12	15	46	24	110
7	18	16	72	25	126
8	10	17	86	26	175
9	12	18	62	27	200

Na osnovu podataka izlaženih u tablici IV nacrtan je grafik na sl.17. Na apscisu su nanesene su vrednosti napona u voltima a na ordinatu su vrednosti jačine struje u mikro amperima (μA). Kriva koja je dobijena eksperimentalne sastoji se iz tri maksi-

muna. Prvi maksimum se nalazi na 7V, drugi na 12V i treći na 17V. Ovi maksimumi se nalaze na međusobnom rastojanju od 5V. Pored episanog grafika priležena su još dva: grafik na sl.18 i grafik na sl.19.

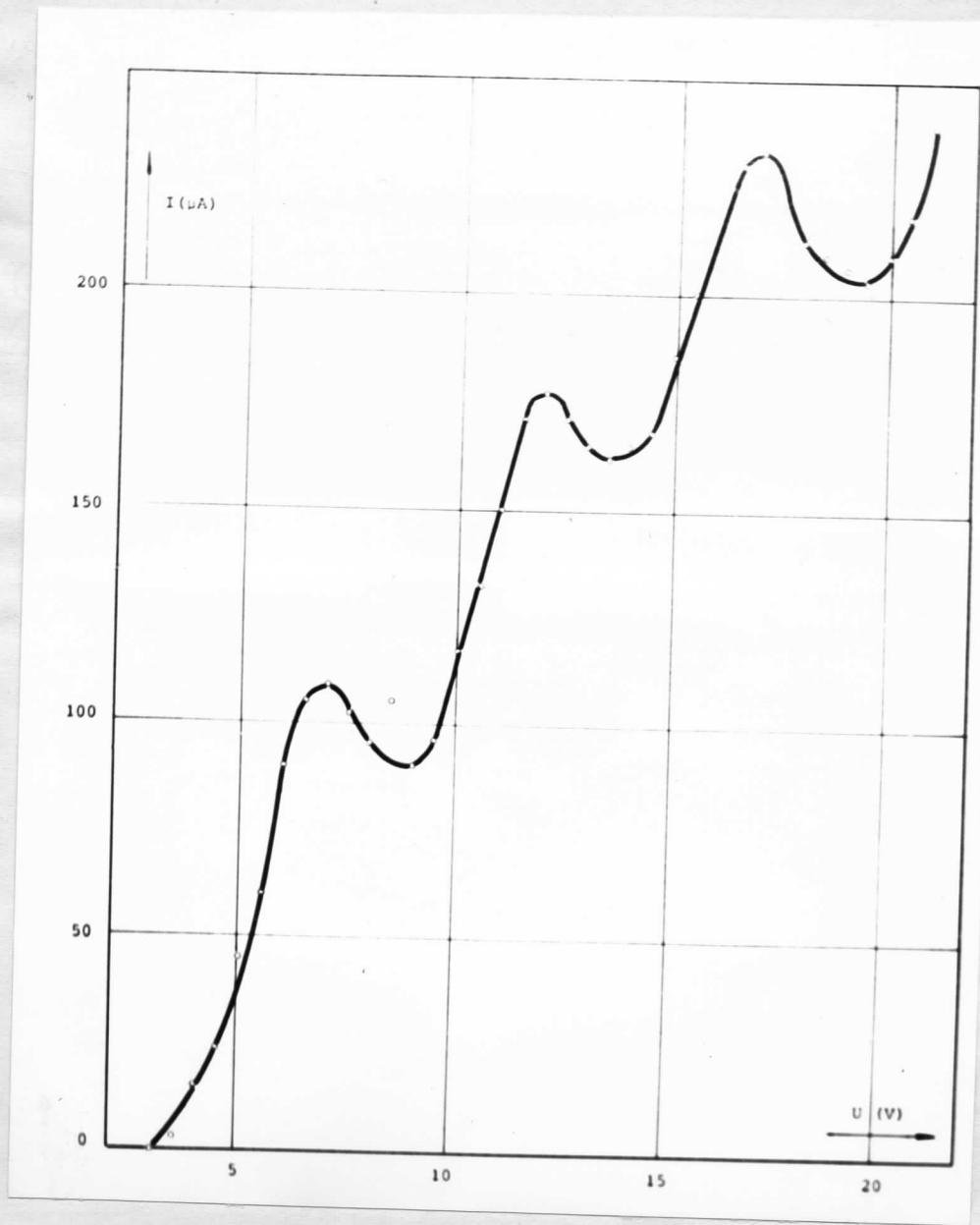


Sl.17.



Sl.18.

Krive jačine struje na ova grafika dobijene su istim postupkom kao i kod grafika na sl.17. Nedjusebna rastejanja maksimuma na ova grafika potvrđuju da je za atom Žive karakteristična energija ekscitacije 5eV, što znači da atomi Žive ne mogu primiti manji iznes energije niti neke preizvajne vrednosti, već stoga odredjene što je u saglasnosti sa pr-



sl.19.

vim Borevim postulatom, prema kome u atomima postaje stacionarna stanja energije koja odgovaraju prelazu $6^1S \rightarrow 6^3P_1$ na sl.9. Belje rezultate uređaj ne može dati usled nemogućnosti održavanja konstantne temperature (od 150° - 200° C) za duži vremenski interval, pošto peć nije termostatirana.

ZAKLJUČAK

U ovom radu date je teoretske objašnjenje i načini praktične realizacije za određivanje ekscitacionog potencijala atoma žive. Metoda koja je korišćena bazira na primeni Frank-Herz-eve metode koja svojom realizacijom pruža mogućnost merenja prvega ekscitacionog potencijala. Eksperimenti su pokazali da dobijanje pozitivnih rezultata veoma zavisi od napona pare žive, odnosne temperature peći. Najupečatljiviji radni napon peći je 80V pri čemu je napon rešetke $U_{g_1} = 0,2V$, a vrednosti napona koje se mogu postići na rešetki $U_{g_2} = 0-27V$. Ako se koristi radni napon peći od 90V, najbolje je rešetki g_1 dati napon od 1V, pri čemu se mogu koristiti naponi na rešetki $U_{g_2} = 0-40V$. Pri tome se vreme zagrevanja skraćuje na trideset minuta a broj maksimuma se povećava ali međusobna rastejanja između njih nisu ravnomerna. Pri radnom napunu peći od 60-70V ne dobijaju se jasno izraženi maksimumi.

LITERATURA

1. N.V.Špaljskij, Atonska fizika I., Beograd, 1963.
2. Friš i Timeriseva, Kurs opšte fizike, Beograd, 1969.
3. M.I. Kersunskij, Optika, gradja atoma, jezgre atoma, Moskva, 1967.
4. I.V.Saveljev, Kurs opšte fizike, Moskva, 1968.
5. R.V.Pel, Optika i atomska fizika, Moskva, 1966.
6. Henry Semat, Fundamentals of physics, third edition, New York, 1957.
7. Harrisen, Lerd i Leefbeurew, Praktična spektroskopija, Beograd, 1962.
8. Ivan Janić, Fizika IV, Novi Sad, 1970.
9. Branko Djurić-Živejin Čulum, Fizika V, Beograd, 1969.
10. Dragiša M.Ivanović i Vlastimir M.Vučić, Atonska i nuklearna fizika III, Beograd, 1966.