

10 ATOMSKA FIZIKA

10.1 Borov model atoma vodonika

Početkom 20-tog veka na osnovu Radefordovih eksperimenata iz 1906-e. god. i zakonitosti koje su uočene u atomskim spektrima dolazi do spoznaje o strukturi atoma.

Radeford je u svojim eksperimentima bombardovao α česticama (dvostruko jonizovana jezgra atoma helijuma) tanke metalne (srebro, zlato, platina) folije. Na osnovu prostorne raspodele rasejanih α čestica došao je do sledećih zaključaka:

- 1) masa i naelektrisanje su diskretno raspoređeni u foliji;
- 2) gotovo celokupna masa atoma je skoncentrisana u relativno maloj zapremini u jezgri atoma;
- 3) najveći deo zapremine atoma je prazan, odnosno ispunjen je negativno naelektrisanim elektronima (otkriveni od strane Tomsona 1897-e god.).

Na osnovu eksperimentalnih zaključaka došlo se do Radefordovog modela atoma po kome se u centru atoma nalazi pozitivno naelektrisano, teško jezgro oko koga, po čitavoj zapremini koju zauzima atom, kruže negativno naelektrisani elektroni.

Model je bio u koliziji sa zakonima klasične fizike po kojima bi elektroni koji kruže morali postepeno gubiti energiju emitujući elektromagnetsko zračenje i usled toga bi u određenom trenutku pali na jezgro, a što se ne dešava.

Sledeća činjenica koja nije bila objašnjiva je zašto pobuđeni izolovani atomi u razređenom gasu ili pari metala emituju zračenja tačno određenih talasnih dužina, tzv. linijske spektre. Za atom vodonika talasne dužine iz emitovanog spektra date su relacijom

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad (10.1)$$

gde su $n, m \in N$ (elementi prirodnih brojeva) i $m_{\min} = n + 1$.

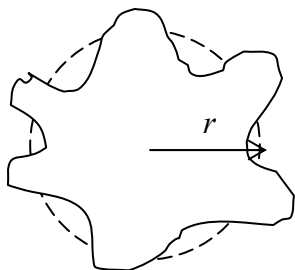
Odgovor na pitanja zašto elektroni ne padaju na jezgro, zašto su spektri linijski i koje je fizičko tumačenje brojeva n i m dao je Borov model atoma.

1913-e god. Nils Bor je dao nov model atoma zasnovan na dva postulata:

1) Postoje neke kružnice, nazvane stacionarnim, po kojima ako se elektron kreće ne zrači. Stacionarna kružnica je ona na kojoj je vrednost momenta količine kretanja elektrona jednaka celobrojnom umnošku konstante $\hbar$.

$$L = mvr = n\hbar, \quad n \in N. \quad (10.2)$$

Ova relacija je prvobitno data *ad hoc*. Kasnije je izvedena na osnovu talasnih svojstava elektrona. Kružeći oko jezgra na određenoj stacionarnoj kružnici elektron formira stojeći talas tako da se po obimu stacionarne kržnice smešta celobrojni unmožak talasnih dužina (vidi sl. 10.1).



$$2\pi r = n\lambda. \quad (10.3)$$

Kako je

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}. \quad (10.4)$$

Iz (9.1) i (9.2) sledi

$$mvr = n \frac{h}{2\pi} = n\hbar. \quad (10.5)$$

Sl.10.1 de Broljev stojeći talas

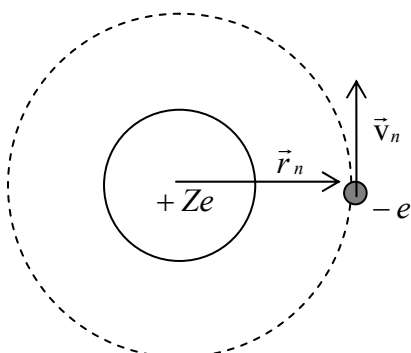
Dakle, intezitet momenta količine kretanja na stacionarnoj kružnici je kvantovana veličina.

2. Atom emituje (apsorbuje) energiju u vidu elektromagnetskog zračenja preko fotona energije $\hbar\omega$ prilikom prelaza elektrona između stacionarnih kružnica m i n .

$$\hbar\omega = E_m - E_n. \quad (10.6)$$

10.2 Energija sistema elektron i vodoniku sličnom jona težeg elementa

Vodoniku sličan jon težeg elementa je jon, naelektrisanja jezgra $+Ze$, koji je $Z-1$ put jonizovan tako da ima samo jedan elektron. U slučaju da je $Z=1$ imamo atom atoma vodonika. Ukupnu energiju ovakvog sistema čine kinetička energija elektrona (koji se nalazi na n -toj stacionarnoj kružnici) i potencijalna energija Kulonovske interakcije sistema jezgro-elektron (smatramo da jezgro miruje)



$$E_n = E_{kn} + E_{pn}. \quad (10.7)$$

$$E_{kn} = \frac{m_e v_n^2}{2}. \quad (10.8)$$

$$E_{pn} = -k \frac{Z e^2}{r_n}, \quad k = \frac{1}{4\pi \epsilon_0}. \quad (10.9)$$

Sl.10.2 Vodoniku sličan jon težeg elementa Kulonova sila ima ulogu centripetalne sile

$$\frac{m_e v_n^2}{2} = k \frac{Z e^2}{r_n^2}. \quad (10.10)$$

Na osnovu I Borovog postulata

$$m_e v_n r_n = n\hbar. \quad (10.11)$$

Iz (10.10) i (10.11) sledi da je

$$r_n = \frac{\hbar^2}{kZ e^2 m_e} n^2. \quad (10.12)$$

Za $Z=1$ i $n=1$ dobijamo vrednost *Borovog radijusa* (poluprečnik prve stacionarne kružnice atoma vodonika) $r_1 = 0,52 \times 10^{-10} \text{ m}$.

Iz (10.10) i (10.12) dobijamo izraz za brzinu elektrona na n -toj stacionarnoj kružnici

$$v_n = \frac{kZ e^2}{n\hbar}. \quad (10.13)$$

Na osnovu (10.7)-(10.9), (10.12)-(10.13) dobijamo izraz za ukupnu energiju

$$E_n = -\frac{k^2 m_e Z^2 e^4}{2\hbar^2} \cdot \frac{1}{n^2} = -13,6 \text{ eV} \cdot \frac{Z^2}{n^2}, \quad 1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}. \quad (10.14)$$

Iz (10.14) zaključujemo da je energetska spektar ovakvog sistema diskretan, odnosno da je energija kvantovana. Slobodan elektron ima kontinualan energetska spektar i vrednosti energije veće od nule.

Jonizacija predstavlja transformaciju "vezanog" elektrona u "slobodan". Za atom vodonika energija jonizacije je $E_j = |E_n(Z=1, n=1)| = 13,6 \text{ eV}$.

Iz II Borovog postulata $\hbar\omega = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = E_m - E_n$ i (10.12) dobijamo vrednost Ridbergove konstante koja figuriše u izrazu za talasnu dužinu linijskih spektara (10.1)

$$R = \frac{2\pi^2 k^2 m_e Z^2 e^4}{c h^3}. \quad (10.15)$$

Za atom vodonika $R_H = R(Z=1) \approx 1,1 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$.

10.3 Kvantni brojevi

Za opis energetskih stanja atoma po Borovom modelu potrebno je znati samo jednu veličinu n koja se naziva *glavni kvantni broj*. U mnogo strožoj kvantnoj teoriji koriste se još tri kvantna broja: *orbitalni* (l), *magnetski* (m) i *spinski* (s).

1. glavni kvantni broj

Sopstvene vrednosti ukupne energije koje se dobijaju kao rešenja Šredingerove jednačine koja opisuju stacionarna stanja jednog elektrona

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial r^2} + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E - \left(-\frac{kZe^2}{r} \right) \right) \Psi = 0, \quad (10.16)$$

su

$$E_n = -\frac{Z^2 R_H h}{n^2} = -13,6 \text{ eV} \cdot \frac{Z^2}{n^2}, \quad n \in N. \quad (10.17)$$

Rezultat je isti kao i rezultat Borove teorije. Glavni kvantni broj određuje energije kvantnih stanja.

2. orbitalni kvantni broj

Za kretanje elektrona u polju Kulonovske sile važi zakon o održanju vektora momenta količine kretanja $\vec{L} = \text{const}$. Rešenje (10.16) dovodi do toga da je intezitet momenta količine kretanja elektrona kvantovana veličina

$$L = \hbar \sqrt{l(l+1)}. \quad (10.18)$$

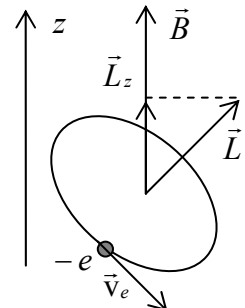
Orbitalni kvantni broj za dati glavni kvantni broj može imati vrednosti $l = 0, 1, 2, \dots, (n-1)$.

3. magnetski kvantni broj

Kada se atom nađe u spoljašnjem magnetskom polju indukcije $\vec{B}$ vrednost projekcije momenta količine kretanja elektrona na pravac magnetskog polja može imati samo vrednosti određene relacijom

$$L_z = m\hbar. \quad (10.19)$$

Magnetski kvantni broj za date vrednosti orbitalnog kvantnog broja može imati vrednosti $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$.



4. spinski kvantni broj

Usled obrtanja oko sopstvene ose elektron poseduje i sopstveni moment količine kretanja $\vec{S}$. Intezitet projekcije ovog vektora na pravac spoljašnjeg magnetskog polja ($\vec{B} = B \cdot \vec{z}$) može imati vrednosti odrežene relacijom

$$S_z = s\hbar. \quad (10.20)$$

Spinski kvantni broj može imati vrednosti $s = \pm 1/2$.

Paulijev princip zabrane: Dva elektrona u atomu ne mogu biti u istom kvantnom stanju, odnosno dva elektrona u atomu ne mogu imati isti komplet kvantnih brojeva.

Maksimalan broj elektrona na stacionarnoj kružnici reda n je $N_{\max} = 2n^2$.