

БОРОВИ ПОСТУЛАТИ И БОРОВ МОДЕЛ АТОМА

Помоћу Радерфордовога модел атома није могла да се објасни стабилност атома, ни атомски спектри.

Полазећи од експерименталних података, Нилс Бор је закључио да у микросвијету владају физички закони који не могу да се разумију на основу аналогије са макросвијетом. Бор је (1913.) повезао Радерфордов модел атома са Планковом теоријом кванта и формулисао нови модел атома. Своју теорију је базирао на претпоставци да су и стања електрона у атому квантована на сличан начин.

Борова атомска теорија заснована је на три постулата:

1. Електрони се око језгра крећу само по одређеним орбитама које се називају стационарне. Док се креће по стационарним орбитама електрон не емитује електромагнетно зрачење.
2. Електрони се око језгра крећу по кружним путањама (орбитама) за које момент импулса¹ једнак производу цијелог броја и Планкове константе \hbar .

$$mvr = n\hbar$$

где је:

m – маса електрона

v – брзина електрона

r – полупречник орбите

$n = 1, 2, 3, \dots$

$\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

Број n се назива **главни квантни број**.

3. Електрон емитује или апсорбује квант енергије (фотон) само када прелази са једне стационарне орбите на другу.

¹ Једна од основних величина којима се описује кружно кретање је момент импулса. Ако се систем конзервативан нема никаквих губитака енергије па је помент импулса константан.

$$hf = |E_n - E_m|$$

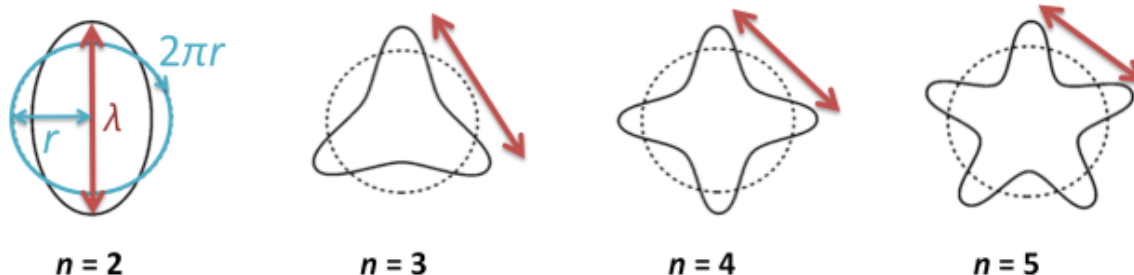
где су: E_n и E_m – енергије електрона на орбитама између којих се врши прелаз

Електрон емитује енергију када прелази из стања са вишом енергијом у стање са нижом енергијом. Електрон апсорбује (прима) енергију када прелази из стања са мањом енергијом у стање са вишом енергијом.

Првим Боровим постулатом објашњена је стабилност атома. Други постулат објашњава да физичке величине којима се описује кретање електрона по орбитама не могу да имају произвољне, већ само одређене вриједности (квантоване). Трећи постулат описује линијске спектре водениковог атома.

Додатак:

Након објављивања Де Бројеве хипотезе (1924.) показало се да Боров постулат о квантовању момента импулса може да се повеже са постојањем Де Бројевог стојећег таласа електрона. Стационарне орбите електрона су толике дужине да на њих може да стане цијели број таласних дужина Де Бројевих стојећих таласа електрона.



$$2r_n \pi = n\lambda \quad \lambda = \frac{h}{m_e \cdot v_n}$$

$$2r_n \pi = n \frac{h}{m_e v_n}$$

$$m_e v_n r_n = n \frac{h}{2\pi}$$

$$m_e v_n r_n = n\hbar$$

Полупречник стационарних орбита

Размотрићемо кретање електрона у атому водоника и јона који је сличан водонику (атоми код којих су из омотача уклоњени сви електрони осим једног).

По Боровом моделу електрон обилази око језгра по кружној путањи (орбити) која је одређена сва два услова:

- класични услов: Кулонова сила има улогу центрипеталне силе²

$$F_{cp} = F_e$$

$$\frac{m_e \cdot v_n^2}{r_n} = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \frac{Z \cdot e^2}{r_n^2}$$

- квантни услов: на основу другог постулата

$$m_e v_n r_n = n\hbar$$

$$\frac{m_e \cdot v_n^2}{r_n} = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \frac{Z \cdot e^2}{r_n^2}$$

$$m_e \cdot v_n^2 = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \frac{Z \cdot e^2}{r_n}$$

$$m_e v_n r_n = n\hbar \quad \rightarrow \quad r_n = \frac{n\hbar}{m_e v_n}$$

² Центрипетална сила није никаква посебна врста силе већ само назив за било коју силу чије дјеловање доводи до кружног кретања тијела око неког центра. Центрипетална је сила свака сила (без обзира на њену природу) која приморава тијело да се креће по кружној путањи: електрони у атому око језгра – електрична сила.

Центрипетална сила не врши рад, јер њен правац увек заклапа са правцем кретања угао од 90°.

$$m_e \cdot v_n^2 = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \frac{Z \cdot e^2}{n\hbar} \frac{m_e v_n}{m_e v_n}$$

$$m_e \cdot v_n^2 = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \frac{m_e \cdot v_n \cdot Z \cdot e^2}{n \cdot \hbar}$$

Брзина електрона на стационарним путања око језгра

$$v_n = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{n\hbar}$$

$$v_n = \frac{Z}{n} \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\hbar}$$

обрнуто је сразмјерна главном квантном броју.

Замјеном добијене формуле за брзину у $r_n = \frac{n\hbar}{m_e v_n}$ добија се формула за полупречник

стационарних стања:

$$r_n = 4\pi\epsilon_0 \frac{n^2 \hbar^2}{m_e Z e^2}$$

$$r_n = \frac{n^2}{Z} \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{m_e e^2}$$

Полупречник стационарних орбита по којима може да се креће електрон у атому водоника сразмјеран је квадрату главног квантног броја.

Константа:

$$r_0 = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{m_e e^2} = 0,5 \cdot 10^{-10} m \quad - \text{ први Боров радијус}$$

Боров радијус – полупречник најниже стационарне орбите електрона у водениковом атому.

$$r_n = \frac{n^2}{Z} r_0$$

На основу ових података добија се да је пречник атома водоника $1,06 \cdot 10^{-10} m$, што се слаже са предвиђањима о димензијама атома добијеним на основу молекулско-кинетичке теорије.

Енергије стационарних стања

Према Боровом моделу атома електрон се креће у првој квантној путањи $n=1$, када се атом налази у основном односно у непобуђеном стању. У основном стању атоми водоника не могу да емитују енергију у облику свјетлосног зрачења. Атом може да пређе у побуђено стање кад апсорбује енергију (висока температура, електрично пражњење). У том случају електрон прелази на једну удаљену путању. Електрон се тада налази на вишем енергетском нивоу. За атом у коме се електрон налази на једном од виших енергетских нивоа каже се да се налази у побуђеном стању. У побуђеном стању атом не остаје дуже од 10^{-8} секунди, а затим прелази у основно стање при чему емитује енергију у виду кванта свјетлости.

Енергија електрона на n -тој орбити једнака је збиру кинетичке и потенцијалне енергије:

$$E = E_k + E_p$$

$$E = \frac{m_e v^2}{2} + \left(-\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r} \right)$$

раније смо написали да је (услов равнотеже сила):

$$\frac{m_e \cdot v_n^2}{r_n} = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \frac{Z \cdot e^2}{r_n^2}$$

$$m_e \cdot v_n^2 = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \frac{Z \cdot e^2}{r_n}$$

ако подијелимо и леву и десну страну са 2 добија се:

$$\frac{m_e \cdot v_n^2}{2} = \frac{1}{2 \cdot 4\pi \cdot \epsilon_0} \frac{Z \cdot e^2}{r_n} \text{ одавде се види да је } E_k = \frac{E_p}{2}$$

замјеном у формулу за укупну енергију:

$$E_n = \frac{m_e v^2}{2} + \left(-\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r_n} \right)$$

$$E_n = \frac{1}{2 \cdot 4\pi \cdot \epsilon_0} \frac{Z \cdot e^2}{r_n} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r_n}$$

$$E_n = -\frac{1}{2 \cdot 4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r_n}$$

$$E_n = -\frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r_n}$$

замјеном вриједности за полупречник $r_n = \frac{n^2 4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{Z m_e e^2}$ добија се:

$$E_n = -\frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{\frac{n^2 4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{Z m_e e^2}}$$

$$E_n = -\frac{1}{32\pi^2 \epsilon_0^2} \frac{Z^2 m_e e^4}{n^2 \hbar^2}$$

пошто је $\frac{m_e e^4}{32\pi^2 \epsilon_0^2 \hbar^2} = 13,6eV$ енергије стационарних стања водониковог атома одређене

су формулом:

$$E_n = -\frac{1}{n^2} \cdot Z^2 \cdot 13,6eV$$

Водоников спектар

Приликом преласка са вишег енергетског нивоа E_n на нижи енергетски ниво E_m електрон емитује квант енергије електромагнетног зрачења.

$$hf = E_n - E_m$$

$$\frac{hc}{\lambda} = -\frac{Z^2}{n^2} 13,6eV - \left(-\frac{Z^2}{m^2} 13,6eV \right)$$

$$\frac{hc}{\lambda} = -\frac{Z^2}{n^2} 13,6eV + \frac{Z^2}{m^2} 13,6eV$$

$$\frac{hc}{\lambda} = Z^2 13,6eV \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{Z^2}{hc} 13.6eV \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Константа $\frac{13.6eV}{hc} \approx 1,1 \cdot 10^7 \frac{1}{m}$, што је приближна вриједност експериментално добијене

Ридбергове константе.

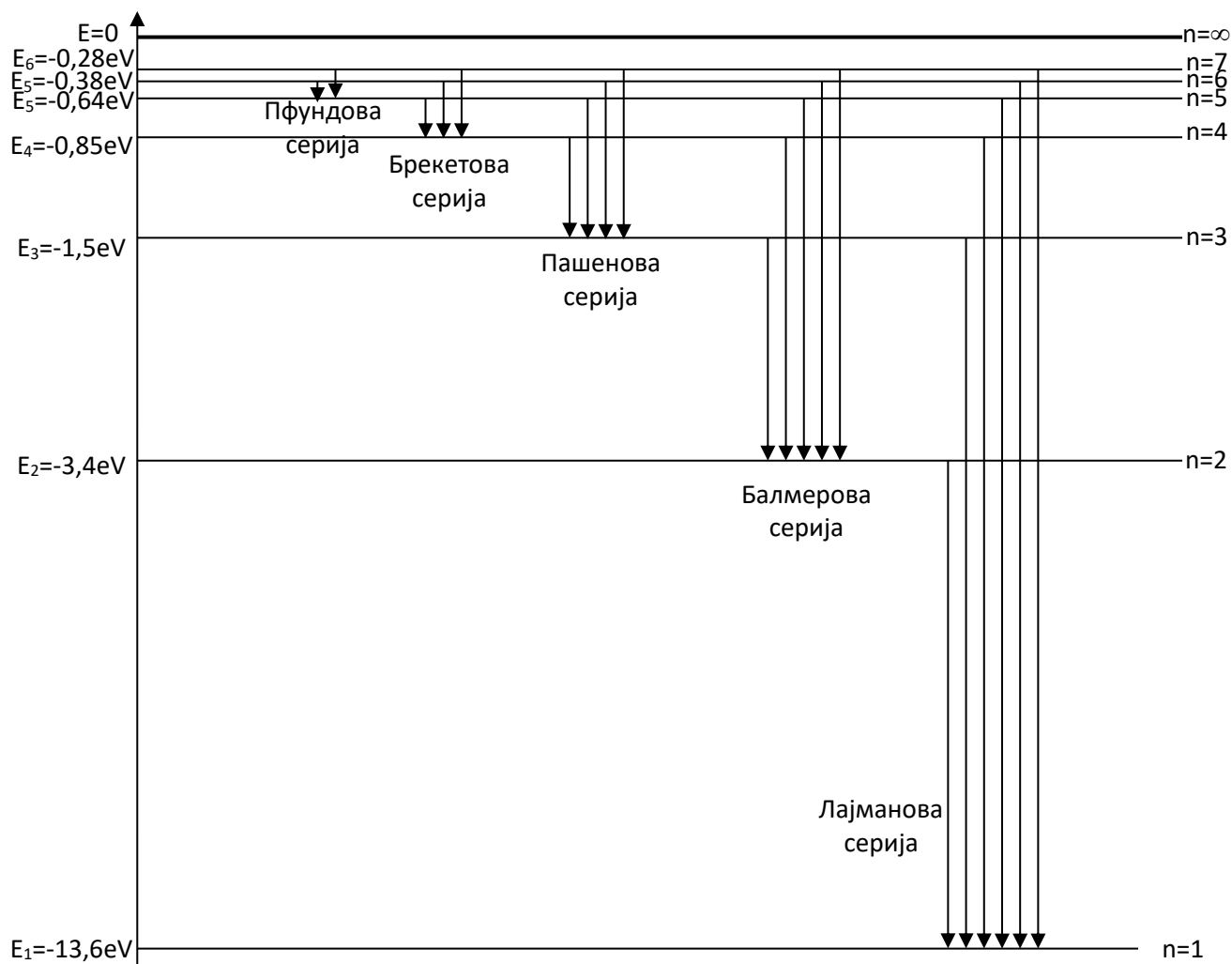
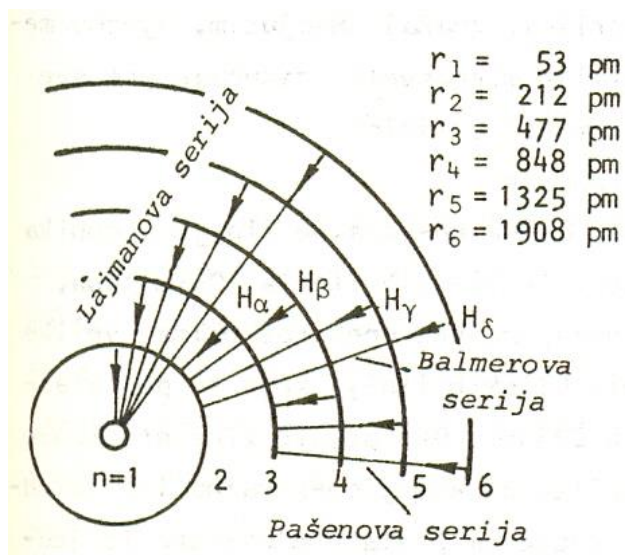
$$\frac{1}{\lambda} = RZ^2 \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

За водоников атом $Z=1$.

При преласку електрона из стања са главним квантним бројем m у стање са главним квантним бројем n емитује се фотон чија је таласна дужина одређена формулом:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Борова теорија објашњава спектар атома водоника. Лајманова серија се јавља при преласку електрона са удаљенијих орбита на прву орбиту, Балмерова при преласку на другу, Пашенова при преласку на трећу итд.



Недостаци Боровог модела атома

Боров модел је дао добро теоријско објашњење стабилности атома, спектра зрачења атома и димензија атома. Међутим, иако Боров модел атома представља важан корак у приказивању атома и атомских процеса, он није могао да објасни грађу и положај спектралних линија ни најпростијих атома са више електрона (хелијум, литијум). Помоћу овог модела нису могли да се опишу ни мјерени интензитети спектралних линија. Сви ови недостаци указују да Борова теорија нема добру основу, јер представља смјешу класичних и квантних претпоставки. Она представља прелазну етапу од класичне до квантне механике.

Борова теорија данас има само историјски значај.

Било је више покушаја да се изврше корекције Борове теорије. Најзначајнији допринос је дао њемачки физичар Арнолд Зомерфелд који је претпоставио да електрони могу да се крећу око језгра не само по кружним, већ и по елиптичним путањама. На тај начин за свако стање енергије постоји већи број могућих начина кретања.