

- СТАРА КВАНТНА ТЕОРИЈА -

- Започета Планковом теоријом зрачења црног тела.
- Аншутз, Дебај, Франк и Херц, нарочито Никол Радерфорд, овог облика.

- Оптички спектри H атома

~ 10000 спектралних линија (крајем 19. века) уређених у
виду таблица - савршене много податка о структури атома.

• "Крајњи циљ иако није прикључио чињеница него још даље веза
између различитих података на основу прикључених чињеница и прена-
лажења узрока за те везе."

- Балмерова серија

1885. 4 линије у видљивом делу спектра H атома, описане изразом

$$\lambda = b \frac{k^2}{k^2 - n^2} \quad n=2, k=3,4,5, \dots \quad b = 3645,6 \text{ \AA}$$

ТАКАМ ИЗРАЗ!

	израчунате вредности	измерене вредности (Å)	n	k
H _α	6562,08	6562,1	2	3
H _β	4860,80	4860,76	2	4
H _γ	4340,0	4340,1	2	5
H _δ	4101,3	4101,2	2	6

$$V = \frac{4c}{b} \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{k^2} \right)$$

Рунге 1886.

c - брзина
светлости
n, k цели
бројеви

$$V = cR \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right)$$

Ридберг 1890.

$$R = 109677,576 \pm 0,02 \text{ cm}^{-1}$$

$$\tilde{\nu} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right)$$

$$\tilde{\nu} = \frac{\nu}{c} = \frac{1}{\lambda} \rightarrow \text{ТАКАМ БРОЈ}$$

cm⁻¹

n=2 k=1,2...∞ (експериментално)

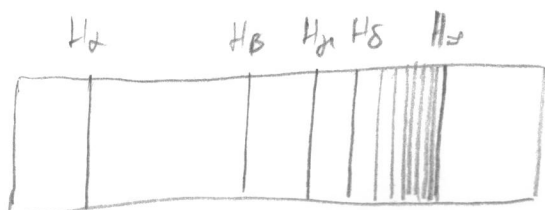
$$\tilde{\nu} = \frac{\nu}{c} = T_n - T_k$$

Риц 1908.

комбинациони принцип:
Ово важи за сваку линију у
спектру било којег атома.

T_n, T_k

спектрални термови



- Лазманова, Пащенкова и друге серије

Затим се и из других серија код H атома који се могу представити истом формулом:

- Лазманова серија 1914. - УЛТРАВИОЛЕТСКА ОБЛАСТ

$$\tilde{\nu} = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{k^2} \right)$$

- Пащенкова 1908.

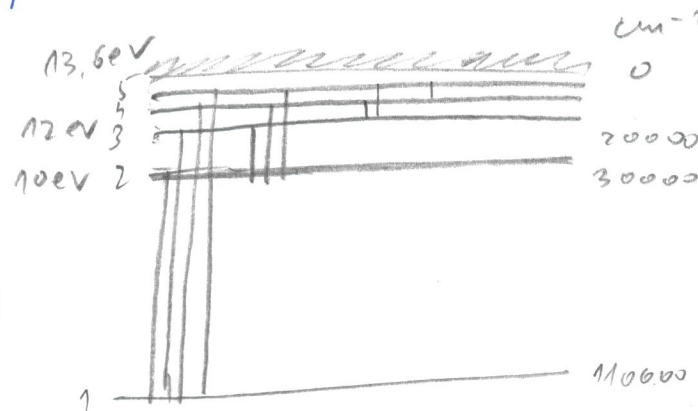
$$\tilde{\nu} = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{k^2} \right)$$

> ИНФРАЦРВЕНА ОБЛАСТ

- Брекетова 1922. $\tilde{\nu} = R \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{k^2} \right)$

- Пфундова 1924. $\tilde{\nu} = R \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{k^2} \right)$

n	1	2	3	4	5
k	Л	Б	П	БР	П
2	121,6 (82.000 cm ⁻¹)				
3		6563 (15.000 cm ⁻¹)			
4			1875,1 (5300 cm ⁻¹)		
5				4050,0 (2500 cm ⁻¹)	
6					7400,0 (1350 cm ⁻¹)



Планкова релација:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = hc\tilde{\nu}$$

Свакој фреквенцији се може придружити одређена енергија.

Сваком терму се може придружити енергетски ниво.

Оципирано,
Свака серија има један основни терм који + комбинације са осталим, чине термовима генерише серију.

БОРОВ МОДЕЛ АТОМА

РАДЕРФОРДОВ НУКЛЕАРНИ МОДЕЛ АТОМА

СПЕКТРОСКОПСКА МЕРЕЊА И ДЕФИНИЦИЈЕ ЕНЕРГИЈСКИХ НИВОА АТОМА

електрони се морају кретати око
језгра и не би се сручили у њу
или привукли позитивним језгром

$\Rightarrow$ атом не би $\Rightarrow$ стабилан
 e^- на координатно
потпуно одо
језгра.

Посматрајмо

Атомско језгро: $+Ze$, M
електрон: $-e$, m

$M \gg m$ (2000 пута)

Креће језгра можемо занемарити
(случ и прав)

Кружно кретање: равнотежна сила: електростатичка и

$$F_g = F_c$$

$$F_g = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r^2} = F_c = \frac{mv^2}{r}$$

~~центробежна~~
центрифугална
центрипетална

v - периферна брзина
електрона по орбити
радијуса r

$$T = \frac{mv^2}{2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{2r}$$

- кинетичка енергија

Потенцијална енергија - јединка рад ΔA се електрон из
бесконатности доведе на растојање r :

$$A = \int_{\infty}^r F_g dr = \int_{\infty}^r \frac{Ze^2}{r^2} \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \right) dr = - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r} = - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r}$$

$$U = - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r} = - 2T$$

$\rightarrow$ негативна потенцијална енергија
(језгро и електрон се привлаче)

Укупна енергија

$$E = U + T = - 2T + T = - T$$

$$E = - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{2r}$$

" - " електрон $\times$ везаном стању

Класична електродинамика: • електрон би требало да непрекидно
емитује енергију

↓ електрон стабилан
спектар линијски

• губи енергију постепено
 $\Rightarrow$ континуални спектар
 $\Rightarrow 10^{-8} s$ рад $\times$ језгро

↓ непријемљива на атомске системе

- Борови постулати

1913. Нилс Бор - Нобелова награда 1922.

"... прелаз између дв. стационарних стања, и спектри емисије + апсорпције процесима + којима се сваки прелаз прати емисијом монохроматског светлости (кванта)"

- Борови постулати:

- 1) Кулонова сила саопштава планетарном електрону централно убрзање потребно за динамички стабилну кружну путњу.

планетарни модел
електростатичке интеракције

$$E = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r^2}$$

- 2) Дозвољене су само орбите код којих је момент импулса (тј. квантизиран) целобројни хамилтонијан $t = \frac{p}{2\pi}$ КВАНТИРАНИ
МОМЕНТ
ИМПУЛСА

$$L = mvr = n\hbar \quad t = \frac{L}{2\pi} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

- 3) електрон који се креће по стабилној орбити не зрачи:

$$E_1, E_2, E_3, \dots \text{ Дискретна, стабилна стања}$$

електрон
не мора
да зрачи

- 4) Емисија или апсорпција зрачења дешава се само за време преласка електрона из једне орбите у другу.

$$h\nu = (E_i - E_j)$$

веза са Планковом
теоријом зрачења

$$2) \quad mvr = n\hbar \quad v = \frac{n\hbar}{mr} \quad F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r} = \frac{n^2\hbar^2}{mr^3}$$

$$r = \frac{4\pi\epsilon_0}{Ze^2m} \frac{n^2\hbar^2}{2}$$

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

$$n=1 \quad r_1 = 0.529 \text{ \AA} \quad \{1. \text{ Боров радијус}\}$$

$$r_n = n^2 \frac{\hbar^2}{2mZe^2}$$

$$E_n = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{2r} = -\frac{1}{(4\pi\epsilon_0)^2} \frac{mZ^2e^4}{2\hbar^2 n^2}$$

$$E_n = -13.6 \frac{1}{n^2} \text{ eV}$$

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

Ридбергова константа и спектралне серије

$$\tilde{\nu} = \frac{E_n - E_k}{hc} \quad h\nu = \frac{hc}{\lambda} = E_n - E_k$$

$$D_{mk} = \frac{1}{(4\pi\epsilon_0)^2} \frac{me^4}{2\hbar^2 hc} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right) \frac{me^4}{16 \cdot \pi^2 \cdot \epsilon_0^2 \cdot 2 \cdot \hbar^2 \cdot \hbar \cdot 2\pi \cdot c} = \frac{me^4}{64\pi^3 \epsilon_0^2 c \hbar^3} = R$$

$$\tilde{\nu} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right)$$

$$R_H = \frac{me^4}{64\pi^3 \epsilon_0^2 c \hbar^3} = \frac{E_0}{hc}$$

Атомско дејство има бесконачит масу.

$$R_H = 109737,31 \text{ cm}^{-1}$$

$$R_{exp} = 109677,57,6 \text{ cm}^{-1}$$

$$\Delta = 59 \text{ cm}^{-1}$$

Добро слагаше
Јонсх Борове



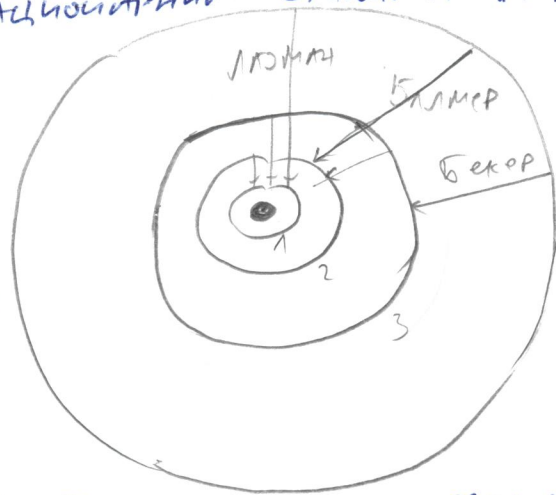
теорије → физички смисао Ридбергове константе.



• Спектрални термови представљају енергетска стања електрона у различитим стационарним стањима H атома.

- Асорпциони спектар
- Емисиони спектар

• Спектрална линија се јавља приликом прелазка електрона измеђ стања.



- Зависи од запуцетости стања, тј од почетног стања у коме се електрон налази. Асорпција подразумева да се електрон већ налазио у том стању. За емисију електрон мора бити подигнут у више стање (додајте енергије).

- Нормалне T — само линије Лоранцове серије ($n=1$ сви атоми)
- Познате Балмерове серије $\Rightarrow$ неки атом на $n=2$



Спектроскопско мерење температуре $\Rightarrow$ насељеност

Нивоа по Болцмановом расподелу $N_n = N_0 e^{\frac{-(E_n - E_1)}{kT}}$

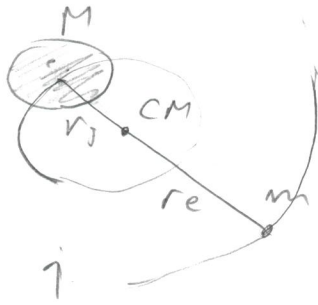
= Релативни интензитет линија у апсорпционом спектру се ист
 као однос масовености линија $\Rightarrow$ Равнотежна Т атома - H
 кои апсорбују зрачење

на површини Сунца: $\frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{168} \Rightarrow T = 6000 \text{ K}$

- Зависност Ридбергове константе од масе језгра

$\frac{R_H}{R_{\infty}}$ 0.1%, константе познате за титане $\Rightarrow$ несагласност теорије

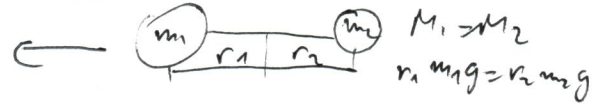
конечна маса језгра



$$m r_e = M r_j$$

$$r_e + r_j = r$$

$$r_e = \frac{M}{m} r_j$$



$$r_j \left(1 + \frac{M}{m}\right) = r$$

$$\boxed{r_j = \frac{m}{m+M} r}$$

$$\boxed{r_e = \frac{M}{m+M} r}$$

$$\omega = \frac{v}{r}$$

Језгро и електрон
 ротирају истовремено
 истом угловом брзином
 око заједничког центра
 масе.

$$m v r = n \hbar$$

$$L = L_e + L_j = m v_e r_e + M v_j r_j = m \omega r_e^2 + M \omega r_j^2$$

$$= \omega (m r_e^2 + M r_j^2)$$

$$= \omega r^2 \left[\frac{m M^2}{(m+M)^2} + \frac{M m^2}{(m+M)^2} \right]$$

редукована маса

$$= \omega r^2 \frac{m M}{m+M} = \omega r^2 \mu \quad \mu = \frac{m M}{m+M} = \frac{1}{\frac{1}{m} + \frac{1}{M}}$$

Ротација круга тега са две тачке масе M и m на растојању r може се
 представити као ротација тачке масе μ
 по кружном путу полупречника r.

$$M \ll m \ll M$$

$$T = T_e + T_j = \frac{m v_e^2}{2} + \frac{M v_j^2}{2} = \omega \frac{m r_e^2 + M r_j^2}{2} = \frac{1}{2} \mu r^2 \omega^2$$

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

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

$$\boxed{R_\mu = \frac{\mu e^4}{64 \pi^3 \epsilon_0^2 \hbar^3}}$$

$$\frac{R_{\infty}}{R_H} = \frac{M}{m} = \frac{1}{1 + \frac{m}{M}}$$

$$R_H^{\text{th}} = 109678 \text{ cm}^{-1}$$

$$R_{\text{exp}} = 109678 \text{ cm}^{-1}$$

$$\Delta = 0 \text{ cm}^{-1}$$

$$\begin{cases} 109677,58 \\ 109677,576 \end{cases}$$

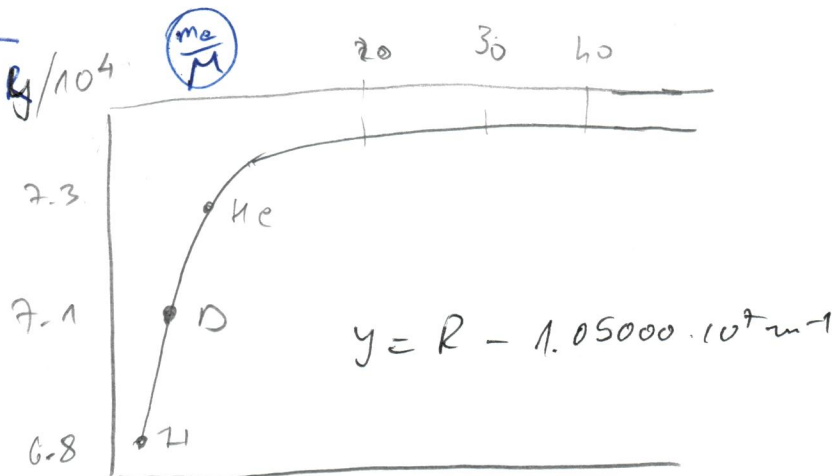
7 значащих цифра



Исправность Боровых
постулата и валидность Борове
теории за спектре атома H.

за $M = 20 \text{ a.m}$

R_H независима от массы
ядра



$$\frac{M_D}{M_H} = 1836.15$$

• Дейтерий $H/D \cdot (H) = 4861.326 \text{ \AA}$

$$M_D = 1$$

$$H/D \cdot (D) = 4860.000 \text{ \AA}$$

$$M_D = 2 \quad (1832.7 \text{ a.m})$$

• Одноэлектронные ионы: $Z \neq 1$

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

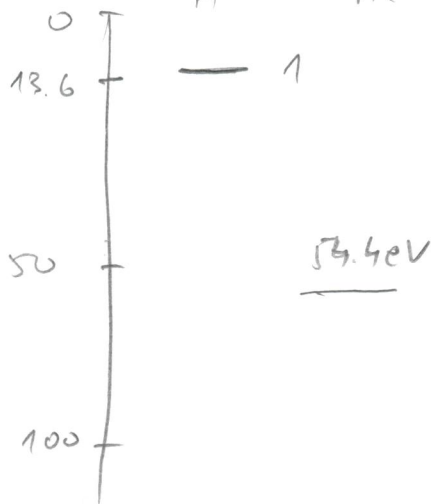
$$E_n^I = E_0 \frac{Z^2}{n^2}$$

$$r_1 = \frac{r_H}{Z}$$

$$E_n^I = E_0 Z^2$$

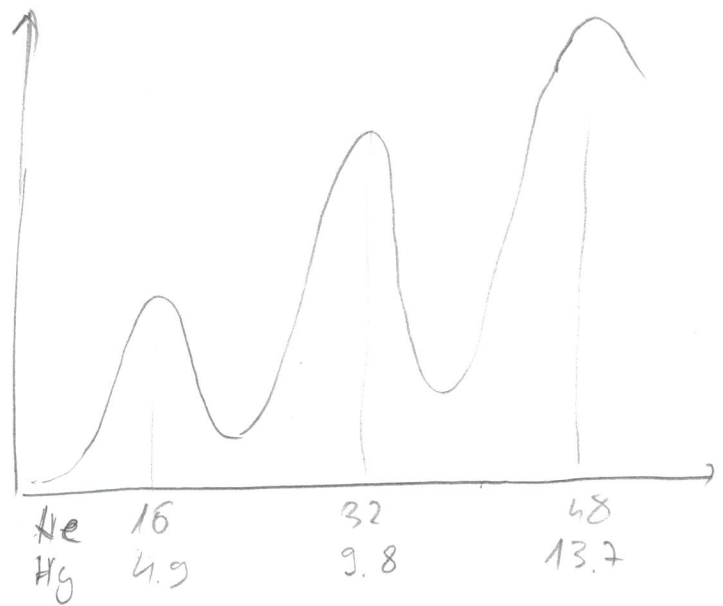
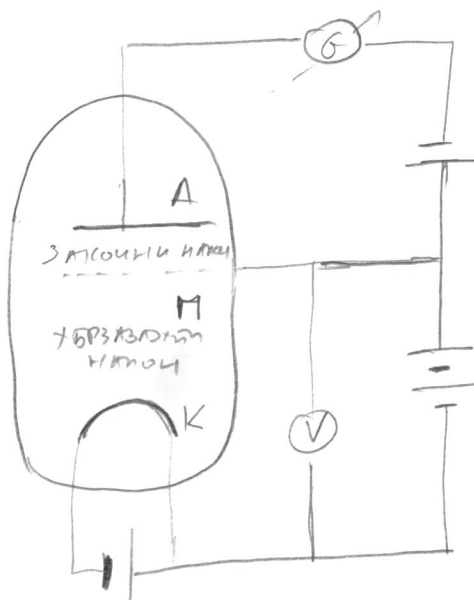
Критические радиусы

поведение энергии резонанса H He^+ Z^2

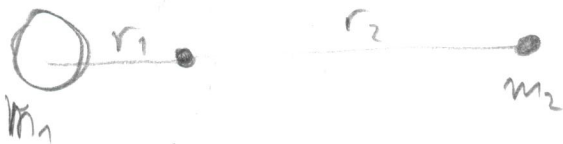


$$122.5 \text{ eV}$$

ФРАНК - ХЕРЦОВ ОГЛЕД 1913.



ПРОБЛЕМ ДВА ТЕЛА



$\omega_1 = \omega_2$ - ОБИДТ КРУГ ЗА ИСТО ВРЕМЕ

$$\frac{v_1}{r_1} = \frac{v_2}{r_2} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{r_1}{r_2}$$

ДВИЖЕ СЕ БРЗИНЕ СЕ ОДНОСЕ
КАО РАДИЈИЈИ ОРБИТА

ЦЕНТРИПЕТЛНА СБРЗАЊА

$$g_1 = \frac{v_1^2}{r_1} = \frac{F_1}{m_1}$$

$F_1 = F_2$ ЈЕР СИЛА

$$g_2 = \frac{v_2^2}{r_2} = \frac{F_2}{m_2}$$

ДЕЈСТВОУЈЕ ИСТО
ИЗМЕДЬ ДВА ТЕЛА

$$\frac{\frac{v_1^2}{r_1}}{\frac{v_2^2}{r_2}} = \frac{\frac{F_1}{m_1}}{\frac{F_2}{m_2}}$$

$$\Rightarrow \frac{r_2}{r_1} \frac{v_1^2}{v_2^2} = \frac{m_2}{m_1}$$

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{m_2}{m_1}$$

РАЗМАК МЕДЬ ЦЕНТРА
КРУЖЕЊА ОБИДНО СЕ СРЪЗМЕРАВ
МАСАМА МЕХ ТЕЛА

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{m_2}{m_1} \quad r_1 m_1 = m_2 r_2$$