

Испитивање Балмерове серије и одређивање Ридбергове константе

Увод

Циљ ове вежбе је одређивање константе дифракционе решетке помоћу спектралних линија живе и испитивање спектра водоника користећи дифракциону решетку. Познате спектралне линије живе се користе за одређивање константе решетке. Затим се одређују таласне дужине спектралних линија Балмерове серије водоника.

Задаци

1. Одређивање константе дифракционе решетке живином лампом.
2. Одређивање спектралних линија из видљивог дела спектра Балмерове серије водоника, Ридбергове константе и енергетских нивоа водоника.

Апаратура

Експериментална апаратура која се користи у овој вежби је приказана на Сlici 1. Водична или живина спектрална лампа повезана са напајањем високог напона се користи као извор зрачења. Извор напајања треба подесити на око 5 kV. Скала за читавање је постављена директно иза спектралне лампе како би се минимизирала грешка паралаксе. Дифракциона решетка треба бити постављена на око 50 cm од спектралне лампе на истој висини.



Слика 1. Експериментална апаратура за одређивање спектралних линија атома водоника

Решетка мора бити тако управљена да је паралелна са скалом за читавање.

Светлост лампе се посматра кроз дифракциону решетку. Просторија треба бити замрачена до мере када је још увек могуће прочитати подеке на скали. Растојање $2l$ између спектралних линија исте боје леве и десне стране првог реда спектра се читавају при истом положају главе посматрача. Растојање d између скале за читавање и дифракционе решетке се такође читава, Слика 2.

Три спектралне линије су јасно уочљиве у живином спектру. Константа дифракционе решетке g се одређује на основу познатих таласних дужина живиног спектра, приказаних у Табели 1. Ридбергова константа, и енергетски нивои водоника се одређују мерењем таласних дужина у спектру водоника користећи Балмерову формулу.

Теорија

1. Дифракциона решетка

Приликом проласка светлости таласне дужине λ кроз дифракциону решетку константе g , доћи ће до појаве дифракције светлости. Појачање интензитета светлости догодиће се када је путна разлика два талса једнака целобројном умношку таласне дужине светлости, тј. када је испуњен услов:

$$n \cdot \lambda = g \cdot \sin \alpha ; \quad n=0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

Светлост се сакупља на рожњачи ока, тако да се извор светлости види у боји спектралне линије која се опажа. Спектралне линије се опажају на скали за мерење као пројекција светлосног зрака, Слика 2.

За дифракционе максимуме n -тог реда, следећа једначина се може одредити на основу геометријске структуре на Сlici 2:

$$n \cdot \lambda = g \cdot \frac{l}{\sqrt{d^2 + l^2}} \quad (2)$$

У Табели 1 дате су вредности таласних дужина видљивих линија Hg спектра на основу којих ће се одредити константа дифракционе решетке.

Табела 1. Одређивање константе дифракционе решетке на основу таласних дужина Hg спектра.

боја	λ (nm)
žuta	578.0
zelena	564.1
plava	434.8

2. Спектар водоника

Услед судара молекула унутар спектралне лампе, молекули водоника H₂ се рекомбинују у атомска стања. Електрони атома Н се ексцитују на више енергетске нивое услед судара са електронима јонизованих атома. При преласку ексцитованих електрона на ниже енергетске нивое емитује се електромагнетно зрачење фреквенције ν одређене разликом енергије разматраних нивоа:

$$\Delta E = h \cdot \nu \tag{3}$$

где је h Планкова константа.

Према Боровом моделу атома, енергија E_n дозвољене орбите електрона је (Додатак) :

$$E_n = -\frac{1}{8} \frac{e^4 m_e}{\epsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n^2}, \quad n=1,2,3,\dots \tag{4}$$

где је $\epsilon_0 = 8.8542 \cdot 10^{-34} \text{ As/Vm}$ диелектрична пропустљивост вакуума, $e = 1.6021 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ наелектрисање електрона и $m_e = 9.1091 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ маса електрона у миру. Емитовано електромагнетно зрачење ће бити фреквенције:

$$\nu_{nm} = \frac{1}{8} \frac{e^4 m_e}{\epsilon_0^2 h^3} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad n,m=1,2,3,\dots \tag{5}$$

Користећи релацију $c = \lambda \cdot \nu$ можемо писати:

$$\frac{1}{\lambda} = R_{th} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \tag{6}$$

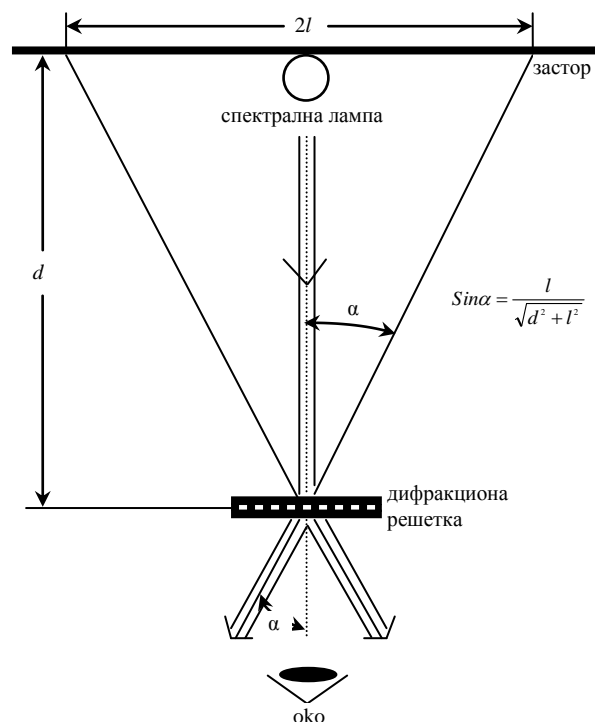
где је $R_{th} = \frac{1}{8} \frac{e^4 m_e}{\epsilon_0^2 h^3 c} = 1.097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$

R_{th} је Ридбергова константа, која следи из Боровог модела атома.

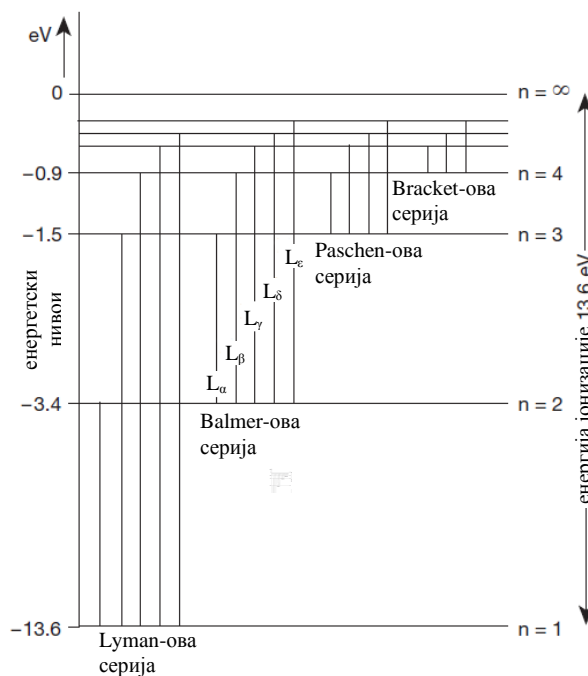
У зависности од квантног броја n можемо разликовати следеће серије:

$n=1$: Лајманова (Lyman) серија
Опсег спектра: ултраљубичасти

$n=2$: Балмерова (Balmer) серија



Слика 2. Дифракција на решетци



Слика 3. Енергетски дијаграм атома Н

$n=3$: Пашенова (Paschen) серија
Опсег спектра: инфрацрвени

$n=4$: Бракетова (Brackett) серија
Опсег спектра: инфрацрвени

$n=5$: Фундова (Pfund) серија
Опсег спектра: инфрацрвени

На Слици 3 је приказан енергетски дијаграм спектралних линија H атома. За $m \rightarrow \infty$ добија се граница серије; придружена енергија је у том случају енергија јонизације (или енергија везе) за електрон у n -тој дозвољеној орбити. Енергија везе се може израчунати једначином:

$$E_n = -R_{th} \cdot h \cdot c \frac{1}{n^2} \quad (7)$$

где је $c = 2.99795 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ и $h = 6.6259 \cdot 10^{-34} \text{ Js} = 4.13567 \cdot 10^{-15} \text{ eVs}$. Основно стање је 13.6 eV .

Напомена

- Уколико је просторија довољно замрачена, поред линија атома водоника, H, могуће је уочити појас у спектру који потиче од молекула водоника, H₂. Бројне линије, које су веома близу једна другој потичу од осцилаторног кретања молекула водоника.

- L_s линија се налази на граници видљивог дела спектра и веома је слаба да би се уочила једноставним методама.

- Третирање комплекснијих атома захтева квантномеханички прилаз. У том случају енергије нивоа се одређују својственим вредностима хамилтонијана атома. За водонику сличне атоме рачун даје исте резултате као и Боров модел атома.

Додатак

Боров модел атома

Боров модел атома представља атом са малим позитивно наелектрисаним језгром око којег се електрони крећу у кружним орбитама слично кретању планета око Сунца, при чему привлачна сила потиче од електростатичке интеракције. Овим моделом је успешно објашњена Ридбергова формула за спектралне емисионе линије атома водоника.

Из Радерфордових експеримента постало је јасно да су позитивно наелектрисање и маса атома сконцентрисани у центру атома око којег се налази дифузни облак електрона, носиоца негативног наелектрисања. На основу тога се природно наметнуо планетарни модел атома. Међутим планетарни модел наилазио је на бројне потешкоће у погледу објашњења стабилности атома и природе атомских спектра.

Према класичним законима електродинамике наелектрисање при убрзаном кретању мора да емитује електромагнетно зрачење губећи при томе енергију. Тако би електрон у кружној путањи око језгра требало непрекидно да емитује зрачење и да због губитка енергије спирално падне на атомско језгро. Емитовано зрачење треба да има континуални карактер. Међутим, још крајем 19. века у бројним експериментима са електричним пражњењем у разређеним гасовима, показано је да атоми емитују зрачење са дискретним фреквенцијама.

Бор је на основу опажања у експериментима постулирао следеће:

1. Дозвољене су само оне орбите код којих је момент импулса, L (орбитални момент импулса) електрона целобројни умножак \hbar , $L = n\hbar$, $n = 1, 2, 3, \dots$
2. Електрон који се креће по стационарној орбити не емитује електромагнетно зрачење.
3. Емисија или апсорпција зрачења дешава се само приликом преласка електрона из једне стационарне орбите у другу.

Укупна енергија електрона у орбити водониковог атома је сума његове кинетичке и потенцијалне енергије:

$$E = \frac{1}{2} m_e v^2 - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r} \quad (1)$$

Према првом постулату момент импулса је:

$$L = m_e v r = n\hbar \quad (2)$$

На електрон у орбити делује кулонова сила која је у равнотежи са центрипеталном силом:

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} = \frac{m_e v^2}{r} \quad (3)$$

Множењем леве и десне стране (3) са r и комбиновањем са (1) добија се:

$$E = -\frac{1}{2} m_e v^2 \quad (4)$$

Решавањем (2) по r и заменом у (3) можемо одредити брзину електрона у датој орбити:

$$v = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{n\hbar} \quad (5)$$

Уврставањем (5) у израз за енергију (4) знајући да је $\hbar = h / 2\pi$ налазимо да енергија електрона атома

водоника има дискретне вредности које зависе од главног квантног броја n :

$$E_n = -\frac{1}{8} \frac{e^4 m_e}{\epsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n^2}, \quad n=1,2,3,\dots \quad (6)$$

Поступак извођења вежбе

Апаратура која се користи у овом експерименту треба бити постављена као на Слици 1. Монтирати живину спектралну лампу и повезати са извором високог напона који треба поставити на 5 kV. Просторију у којој се експеримент изводи замрачити до границе видљивости подеока на скали која се налази иза спектралне лампе. Држач дифракционе решетке поставити тако да се решетка налази паралелно са лењиром. Не померајући главу прочитати вредности на лењиру где не налазе дифракциони максимума првог реда. Практично, треба прочитати на којем подеоку са леве и десне стране лампе се налази линија исте боје и израчунати растојање између ове две линије, $2l$. Мерењем растојања између дисракционе решетке и лењира одређујете d . Користећи релацију 2, датој у теоријском делу вежбе, водећи рачуна о томе да се ради о првом реду дифракционих максимума можете израчунати константу дифракционе решетке, g . Таласне дужине одговарајућих линија, тј. боја су дате у Табели 1.

Поступак мерења поновити за три различита растојања d . За сваку спектралну линију на тај начин ће се добити три вредности дифракционе решетке које треба усредњити и табеларно приказати као у Табели 2.

Табела 2. Приказ резултата мерења константе дифракционе решетке

боја	$\lambda_{\text{Hg}} (nm)$	l	d	g
žuta	578.0			
zelena	564.1			
plava	434.8			

Коначна вредност константе дифракционе решетке која се користи за одређивање Ридбергове константе се одређује усредњавањем три вредности за жуту зелену и плаву боју.

Боров модел атома је успешно објаснио спектар водониковог атома. Овај модел се може применити и на водонику сличне атоме. Борова теорија представља прелазну етапу између класичне и квантне физике.

По одређивању константе дифракционе решетке искључити апаратуру и заменити живину, водоничном спектралном лампом. Овај поступак треба бити одрађен од стране лаборанта или асистента, због предострожности услед коришћења извора високог напона. Укључити апаратуру и напон поставити на 5kV. Очитавања се врше као и у случају коришћења живине лампе где је потребно измерити растојање између дифракционих максимума првог реда спектралних линија које су уочљиве на лењиру. То је потребно поновити за 3 различита растојања између дифракционе решетке и лењира за очитавање. Коришћењем релације 2 одредити таласне дужине а на основу релације 6 одредити вредност Ридбергове константе за сваку линију – боју коју уочавате у спектру водоника и за свако растојање d . n и m у релацији 6 представљају квантне бројеве енергетских нивоа између којих се врши прелаз електрона. За Балмерову серију $n=2$, а m одредити на основу боје спектралне линије. Резултате приказати као у Табели 3.

Табела 3. Приказ резултата мерења Ридбергове константе

боја	l	d	$\lambda_{\text{Hg}}(nm)$	g	R_{th}

Крајњу вредност Ридбергове константе одредити усредњавањем вредности из Табеле 3 за сваку линију. Проверити да ли се добијена вредност у границама грешке поклапа са теоријском.

За сваку величину која је речуната одредити апсолутну и релативну грешку користећи:

$$\Delta l = 0.5 \text{ mm}$$

$$\Delta d = 0.5 \text{ mm}$$

$$\Delta \lambda_{\text{Hg}} = 0$$