

物理实验报告

陈建烨 12411913 2025.3.25 P4125

一. 实验名称：氢氘原子光谱

二. 实验目的

对氢原子的光谱巴尔末线系列进行测量和分析，同时学习光栅光谱仪的工作原理和谱线测量的基本技术，学习测量里德伯常量的方法；学习获得氘原子的光谱及其分析方法。通过对氢氘原子的研究，探究同位素光谱的研究方法。

三. 实验原理

1. 里德伯常量及氢氘原子核质比的计算

氢原子光谱图可以明显地看到有三个谱线系列，一个谱线系列在可见光和近紫外区，称为巴尔末系；一个谱线系列在紫外，为莱曼系；另一个谱线系列在红外，为帕邢系。此外，在长波长方向还有一些不很清楚的线系。每个谱线系都很有规律，间隔向短波方向递减变密变弱。巴尔末发现谱线的波长与谱线的序号 n 有关， $n=1,2,3,\dots$ ，它们之间的关系是：

$$\lambda = B \frac{n^2}{n^2 - 4}$$

其中 $B = 3.6465 \times 10^{-7} m$ ，是里德伯常量。

之后，瑞典物理学家里德伯（Johannes Rydberg）将公式改写为以波数 σ 表示的形式：

$$\sigma = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{B} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) = \frac{2\pi^2 m_e e^4 Z^2}{(4\pi\epsilon_0)^2 h^3 c (1 + \frac{m_e}{m_Z})} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

其中 Z 为原子核的电荷数， m_e 为电子的质量， m_Z 为原子核的质量， ϵ_0 为真空介电常数， h 为普朗克常数， c 为光速， e 为电子的电荷量。里德伯常数可写为：

$$R = \frac{2\pi^2 m_e e^4 Z^2}{(4\pi\epsilon_0)^2 h^3 c (1 + \frac{m_e}{m_Z})}$$

若 $m_Z \rightarrow \infty$ ，则 $R_\infty = \frac{2\pi^2 m_e e^4 Z^2}{(4\pi\epsilon_0)^2 h^3 c} = (10973731.534 \pm 0.012)m^{-1}$ ，所以 $R_Z = \frac{R_\infty}{(1 + \frac{m_e}{m_Z})}$ 。

因为 $\sigma_H = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ ， $\sigma_D = R_D \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ ，所以有：

$$\Delta\lambda = \lambda_H - \lambda_D = \lambda_H \left(1 - \frac{\lambda_D}{\lambda_H}\right) = \lambda_H \left(1 - \frac{\sigma_H}{\sigma_D}\right) = \lambda_H \left(1 - \frac{R_H}{R_D}\right)$$

因为 $R_H = \frac{R_\infty}{(1 + \frac{m_e}{m_H})}$, $R_D = \frac{R_\infty}{(1 + \frac{m_e}{m_D})}$, 所以有:

$$\frac{R_H}{R_D} = \frac{(1 + \frac{m_e}{m_D})}{(1 + \frac{m_e}{m_H})} \Leftrightarrow \frac{m_D}{m_H} = \frac{\frac{R_D}{R_H}}{1 - \frac{m_H}{m_e}(\frac{R_D}{R_H} - 1)}$$

四.实验仪器

光源（氢氖放电管）、光栅光谱仪、光点倍增管

五.实验内容

1.将光谱仪的电压旋钮逆时针旋至最小，启动设备，打开软件，复位光谱仪至200nm位置。

2.光谱仪的定标(Hg灯光谱的测量)

a)将Hg灯放在光谱仪入射狭缝前，开启电源，将负高压调至500V。

b)调节好以下设置后点击“单程”图标，开始扫描。

| 软件设置 | | | |
|----------|-----------|------------|------------|
| 模式：能量 | 间隔：0.05nm | 起始波长：350nm | 终止波长：590nm |
| 最大值：1000 | 最小值：0 | 采集次数：4 | 增益：3 |

c) 扫描后：

1) 如Hg灯的谱线峰值高过1000，适当降低电压值，重新扫描；

2) 如Hg灯的谱线峰值过低（最高峰<700），适当提高电压值，重新扫描；

3) 其中508nm附近为二级衍射峰，可视作干扰，不论峰值高低都应人为忽略。

d)依次记录谱线中每个峰对应的波长（共9个峰）。(如图1所示)

3.HD灯光谱的测量

a)将HD灯放在光谱仪入射狭缝前，开启电源，将负高压调至800V左右。

b)从HD灯后部的小孔望进去，并移动HD灯，找到光线的焦平面（即最细最亮的线），并使其与光谱仪的入射狭缝重合，以便尽可能多的光线进入光谱仪。

c)调节好以下设置后点击“单程”图标，开始粗扫。

| 软件设置 | | |
|-----------|------------|------------|
| 间隔：0.05nm | 起始波长：350nm | 终止波长：660nm |

扫描之后，找到3个明显的峰。（如图2所示）

d)细扫光谱 确定准确波长

- 1) 设定采集间隔为 $0.01nm$ ，依次在 $n = 3, 4, 5$ （即 $656nm, 486nm, 434nm$ ）的 3个峰附近 $\pm 5nm$ 的范围内扫描。光谱仪上的负高压可根据谱线的高低而调节。目的将每一个n值（主量子数）对应的 H、D谱线峰值分离开，共需测出3组($n = 3, 4, 5$) HD 双峰。
- 2) 如H、D谱线峰值不能分离（ $20nm$ 范围的谱线只有一个峰值），可微调HD灯的摆放位置。
- 3) 得到H、D双峰后，记录峰值波长（短波长为D，长波长为H）。（如图3，图4，图5所示）

六.实验数据

Hg灯的波长

| 序号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 测量值(nm) | 365.0 | 404.7 | 435.8 | 546.1 | 577.0 | 579.1 | 584.3 | 589.0 | 597.0 |
| 理论值(nm) | 365.0 | 404.7 | 435.8 | 546.1 | 577.0 | 579.1 | 584.3 | 589.0 | 597.0 |

HD灯的波长

| 序号 | 3 | 4 | 5 |
|---------------|-------|-------|-------|
| D峰值波长(nm) | 656.0 | 486.0 | 434.0 |
| H峰值波长(nm) | 656.0 | 486.0 | 434.0 |



图1



图2



图3



图4



图5

七.数据处理

1.拟合修正公式

以Hg灯的测量波长为横轴，理论Hg波长为纵轴，进行线性拟合，得到修正公式：

$$\lambda_{Hg} = \alpha + \beta \lambda_{Hg}^0$$

!(图6)[]

2.修正HD灯的波长

$$\lambda_{H,3} = \alpha + \beta \lambda_{H,3}^0$$

$$\lambda_{D,3} = \alpha + \beta \lambda_{D,3}^0$$

$$\lambda_{H,4} = \alpha + \beta \lambda_{H,4}^0$$

$$\lambda_{D,4} = \alpha + \beta \lambda_{D,4}^0$$

$$\lambda_{H,5} = \alpha + \beta \lambda_{H,5}^0$$

$$\lambda_{D,5} = \alpha + \beta \lambda_{D,5}^0$$

3.计算 R_H

$$R_{H,3} = \frac{1}{\lambda_{H,3}(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2})} =$$

$$R_{H,4} = \frac{1}{\lambda_{H,4}(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2})} =$$

$$R_{H,5} = \frac{1}{\lambda_{H,5}(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{5^2})} =$$

$$\bar{R}_H = \frac{R_{H,3} + R_{H,4} + R_{H,5}}{3} =$$

4.计算 R_D

$$R_{D,3} = \frac{1}{\lambda_{D,3}(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2})} =$$

$$R_{D,4} = \frac{1}{\lambda_{D,4}(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2})} =$$

$$R_{D,5} = \frac{1}{\lambda_{D,5}(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{5^2})} =$$

$$\bar{R}_D = \frac{R_{D,3} + R_{D,4} + R_{D,5}}{3} =$$

5.计算 $\frac{m_D}{m_H}$

$$\frac{m_D}{m_H} = \frac{\frac{\bar{R}_D}{\bar{R}_H}}{1 - \frac{m_H}{m_e}(\frac{\bar{R}_D}{\bar{R}_H} - 1)} =$$

其中 $m_H = 1.6737 \times 10^{-27} kg$, $m_e = 9.1094 \times 10^{-31} kg$ 。

八.误差分析

- 1.光谱仪的仪器误差，机械测量的误差
- 2.衍射过程中微小的误差
- 3.环境光干扰
- 4.测量环境不严格真空

九.实验结论

本实验使用光栅光谱仪测量氢氘原子光谱，测得氢的里德伯系数为 $R_H =$ ，氘的里德伯系数为 $R_D =$ ，计算得同位素质量比为 $\frac{m_D}{m_H} =$ ，与理论值相符。

十.思考题

图7

| | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|
| H 波长(nm) | 656.3 | 486.1 | 434.1 | 410.2 |
| D 波长(nm) | 656.1 | 486.0 | 433.9 | 410.1 |