

# 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 $\sigma$ 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， $\epsilon_0$ 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±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)	364.85	365.30	366.10	404.65	407.65	435.90	546.50	577.45	579.60
理论值(nm)	365.02	365.48	366.30	404.66	407.78	435.84	546.07	576.96	579.07

记录的HD灯的波长

序号	3	4	5
D峰值波长(nm)	657.44	486.21	433.95
H峰值波长(nm)	657.63	486.33	434.07

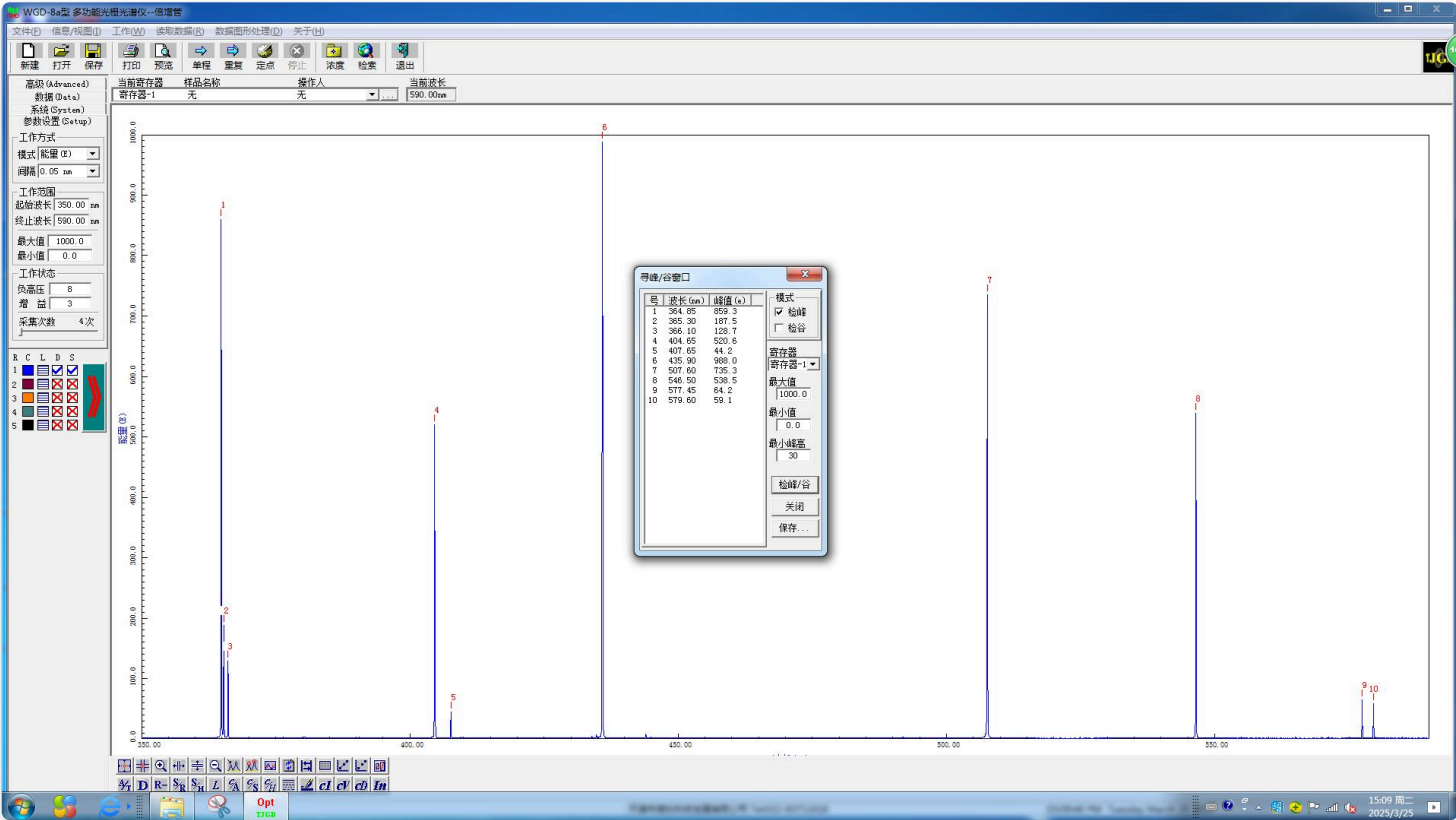


图1

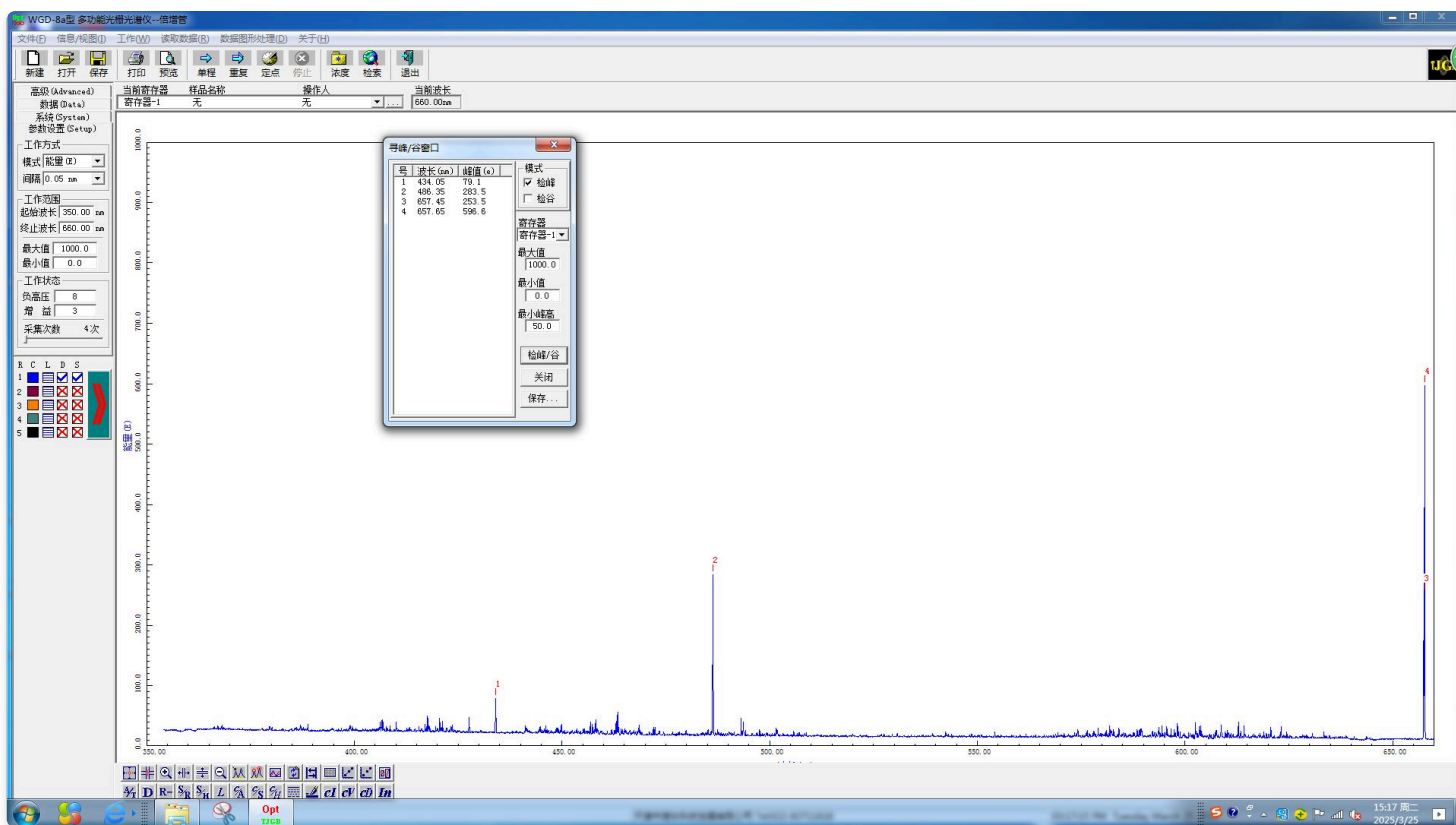


图2

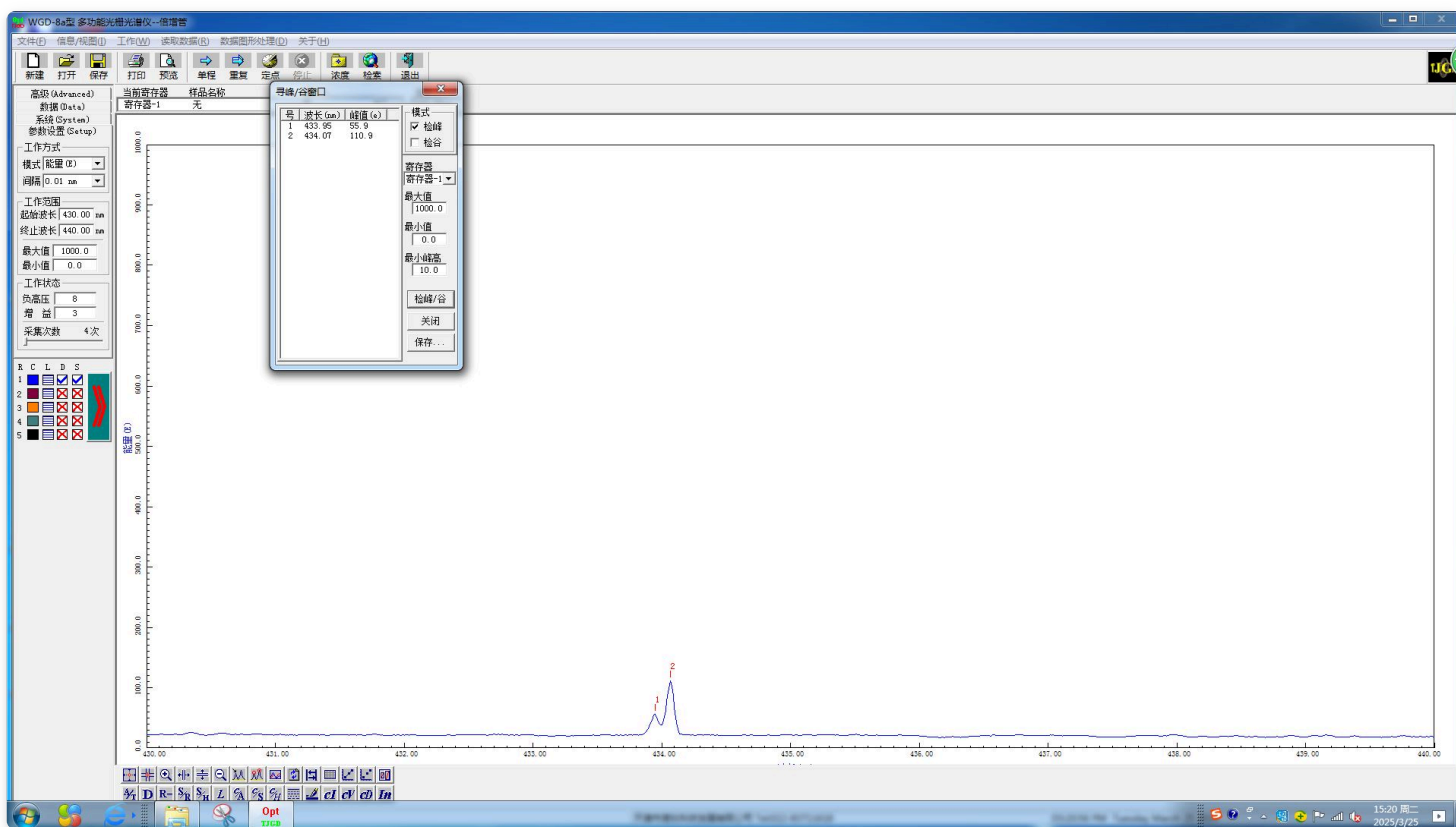


图3

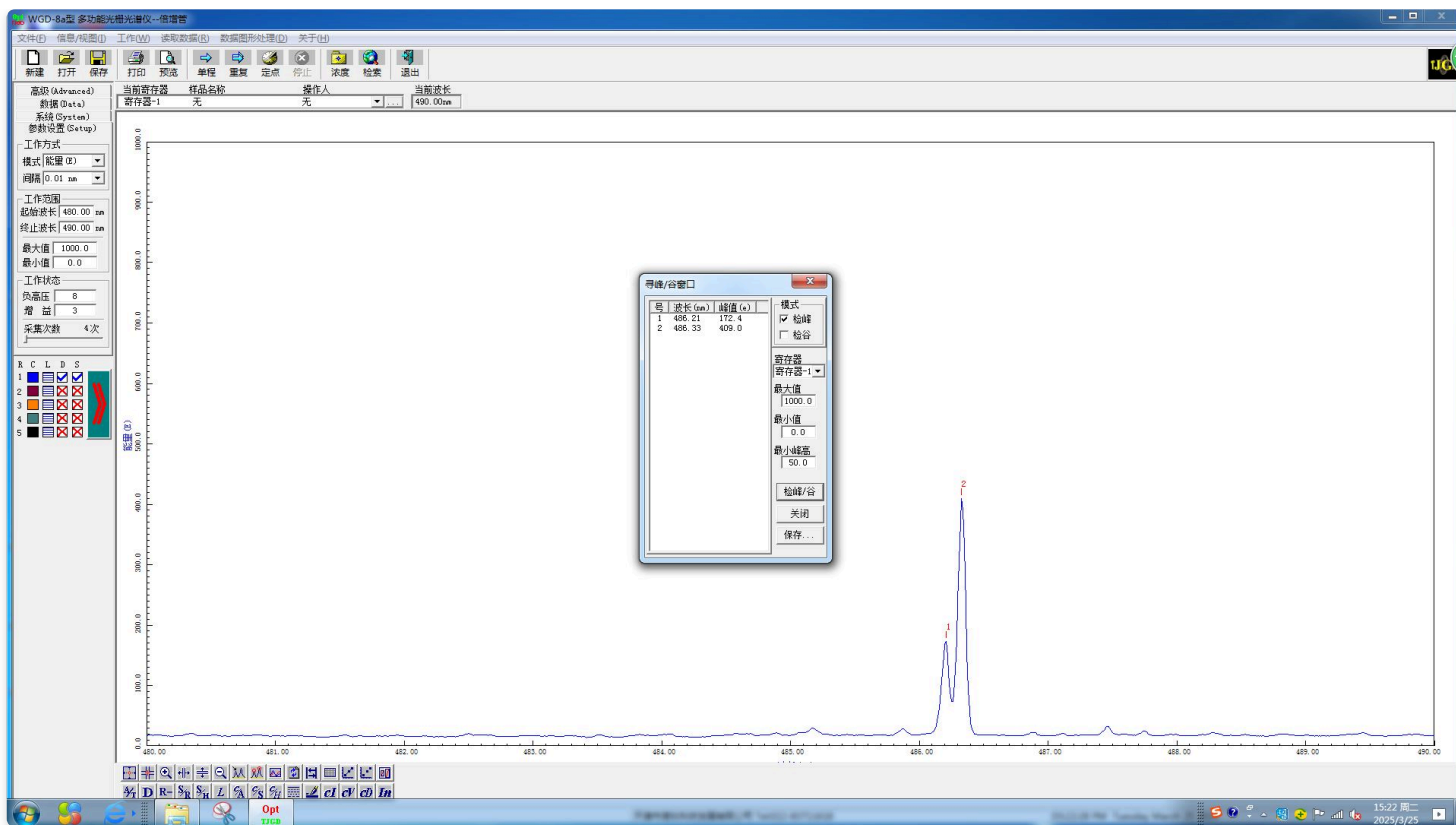


图4

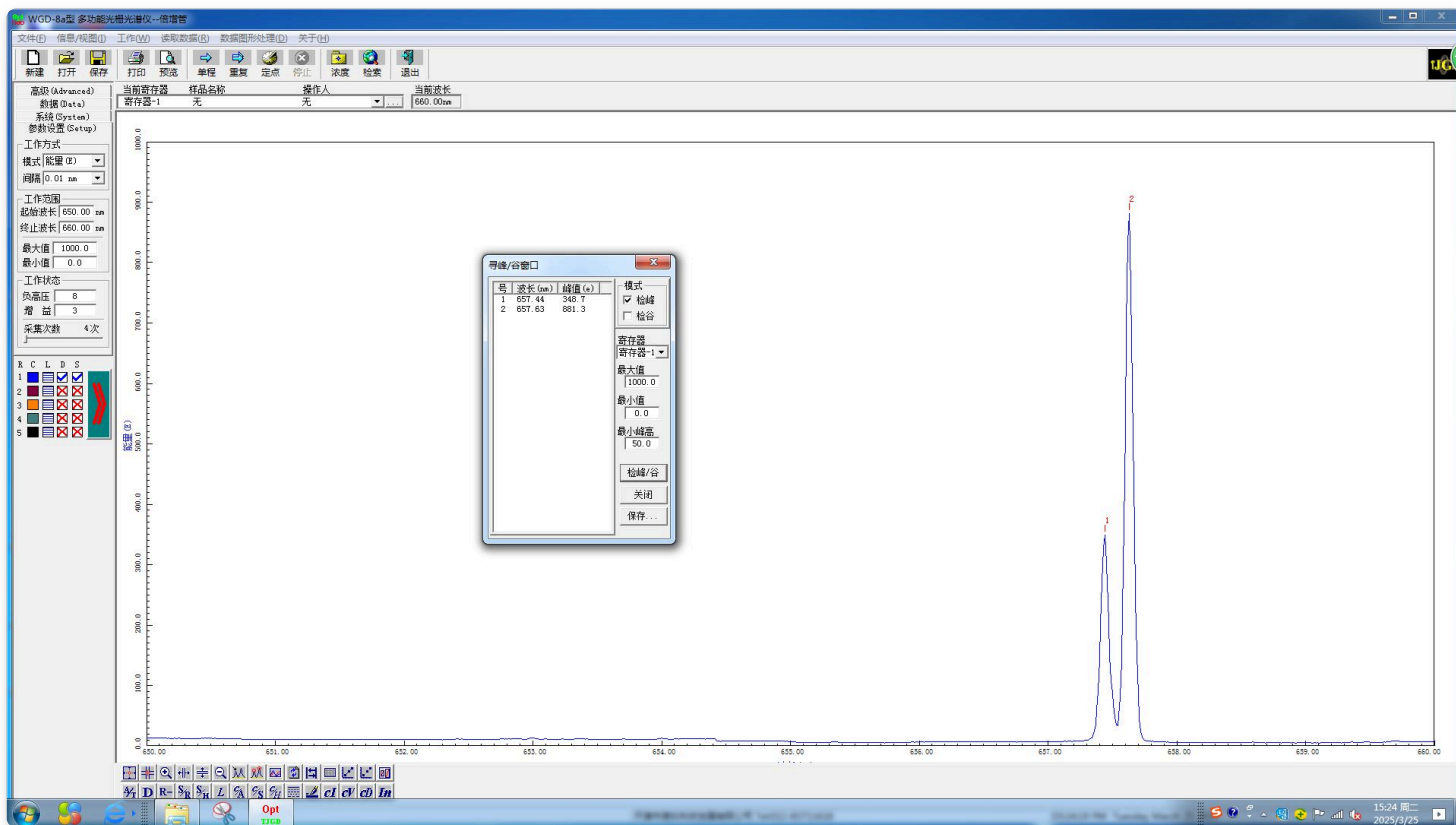


图5

## 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：

$$\lambda_{Hg} = \alpha + \beta \lambda_{Hg}^0 = 1.3963 + 0.9967 \lambda_{Hg}^0$$

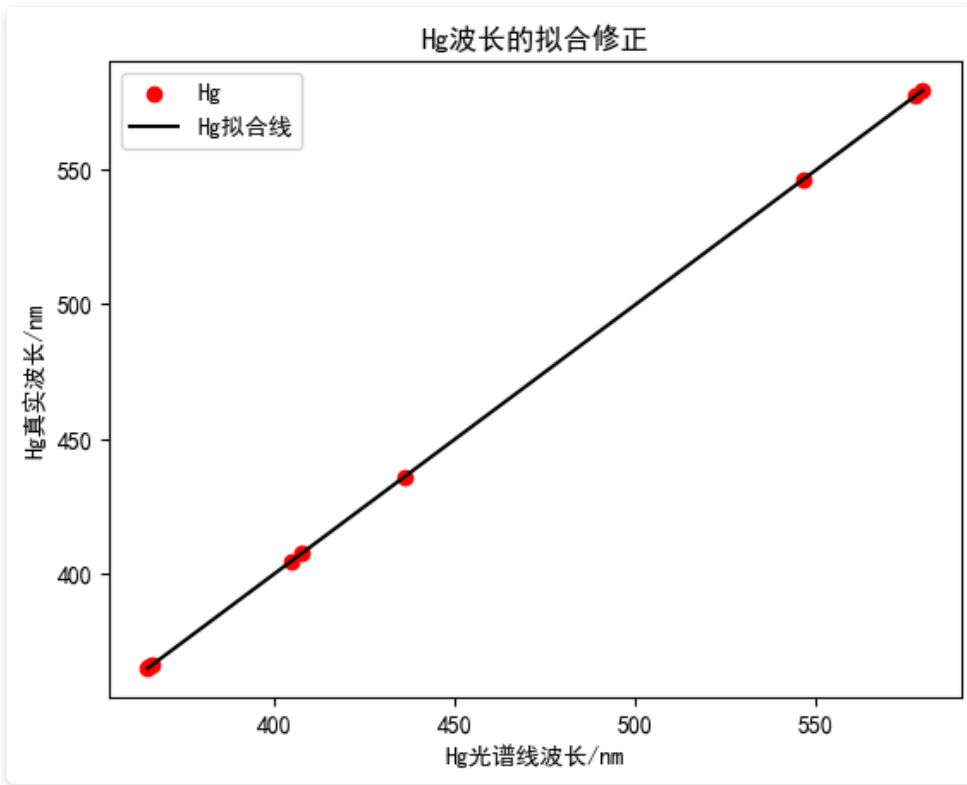


图6

### 2.修正HD灯的波长

$$\lambda_{H,3} = \alpha + \beta \lambda_{H,3}^0 = 1.3963 + 0.9967 \times 657.63 = 656.85nm$$

$$\lambda_{D,3} = \alpha + \beta \lambda_{D,3}^0 = 1.3963 + 0.9967 \times 657.44 = 656.66nm$$

$$\lambda_{H,4} = \alpha + \beta \lambda_{H,4}^0 = 1.3963 + 0.9967 \times 486.33 = 486.12nm$$

$$\lambda_{D,4} = \alpha + \beta \lambda_{D,4}^0 = 1.3963 + 0.9967 \times 486.21 = 486.00nm$$

$$\lambda_{H,5} = \alpha + \beta \lambda_{H,5}^0 = 1.3963 + 0.9967 \times 434.07 = 434.03nm$$

$$\lambda_{D,5} = \alpha + \beta \lambda_{D,5}^0 = 1.3963 + 0.9967 \times 433.95 = 433.91nm$$

### 3.计算 $R_H$

$$R_{H,3} = \frac{1}{\lambda_{H,3}(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2})} = \frac{1}{656.85nm * (\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2})} = 10961381.48m^{-1}$$

$$R_{H,4} = \frac{1}{\lambda_{H,4}(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2})} = \frac{1}{486.12nm * (\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2})} = 10971272.89m^{-1}$$

$$R_{H,5} = \frac{1}{\lambda_{H,5}(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{5^2})} = \frac{1}{434.03nm * (\frac{1}{2^2} - \frac{1}{5^2})} = 10971351.28m^{-1}$$

$$\bar{R}_H = \frac{R_{H,3} + R_{H,4} + R_{H,5}}{3} = \frac{10961381.48 + 10971272.89 + 10971351.28}{3} = 10968001.89m^{-1}$$

#### 4. 计算 $R_D$

$$R_{D,3} = \frac{1}{\lambda_{D,3}(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2})} = \frac{1}{656.66nm * (\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2})} = 10964542.58m^{-1}$$

$$R_{D,4} = \frac{1}{\lambda_{D,4}(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2})} = \frac{1}{486.00nm * (\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2})} = 10973972.90m^{-1}$$

$$R_{D,5} = \frac{1}{\lambda_{D,5}(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{5^2})} = \frac{1}{433.91nm * (\frac{1}{2^2} - \frac{1}{5^2})} = 10974375.42m^{-1}$$

$$\bar{R}_D = \frac{R_{D,3} + R_{D,4} + R_{D,5}}{3} = \frac{10964542.58 + 10973972.90 + 10974375.42}{3} = 10970963.64m^{-1}$$

#### 5. 计算 $\frac{m_D}{m_H}$

$$\frac{m_D}{m_H} = \frac{\frac{R_D}{R_H}}{1 - \frac{m_H}{m_e}(\frac{R_D}{R_H} - 1)} = \frac{\frac{10968001.89}{10970963.64}}{1 - \frac{1.674 \times 10^{-27}}{9.109 \times 10^{-31}}(\frac{10970963.64}{10968001.89} - 1)} = 1.984.$$

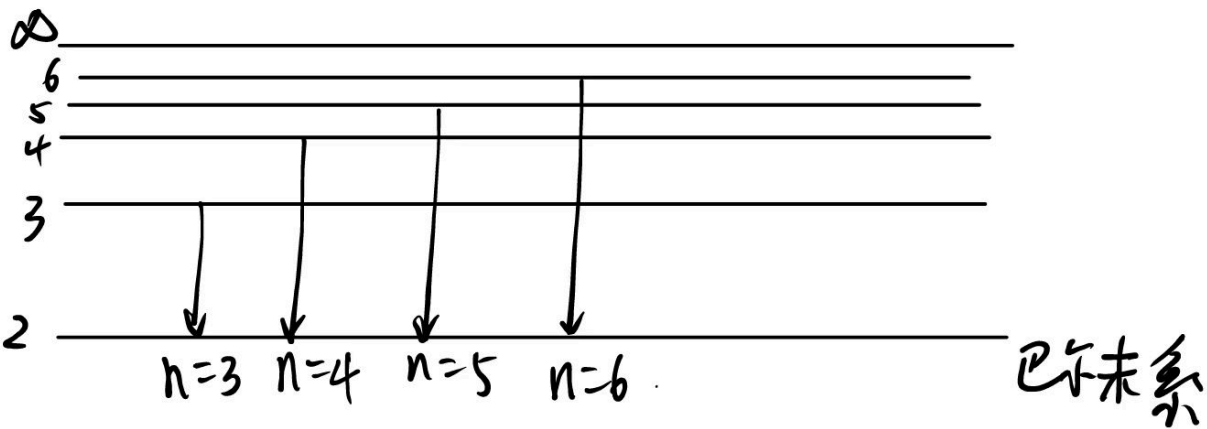
### 八. 误差分析

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  $R_H = 10968001.89m^{-1}$ ，氘的里德伯系数为  $R_D = 10970963.64m^{-1}$ ，计算得同位素质量比为  $\frac{m_D}{m_H} = 1.984$ ，与理论值基本相符。

### 十. 思考题



	3	4	5	6
<i>H</i> 波长( <i>nm</i> )	656.3	486.1	434.1	410.2
<i>D</i> 波长( <i>nm</i> )	656.1	486.0	433.9	410.1