

氢氖原子光谱

王启骅 PB20020580

2022 年 3 月 30 日

1 实验目的

学习光谱仪等仪器的使用。通过测量氢氘原子光谱 3、4、5、6 级谱线的波长，计算氢氘谱线的里德伯常数、氢氘核质量比和质子电子质量比。

2 实验原理

氢原子光谱在可见光区的谱线系是巴耳末系,其代表线为 H_α H_β H_γ H_δ , 这些谱线的间隔和强度都向着短波方向递减,并满足下列规律:

$$\lambda = 364.56 \frac{n^2}{n^2 - 4} \quad (1)$$

若用波数 $\tilde{\nu} = 1/\lambda$ 表示谱线,则式 (1) 可写为:

$$\nu = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (2)$$

根据波尔理论和量子力学对氢原子和氘原子里德伯常量的分析有:

$$R_H = \frac{R_\infty}{1 + m_e/M_H} \quad (3)$$

$$R_D = \frac{R_\infty}{1 + m_e/M_D} \quad (4)$$

$$R_\infty = \frac{2\pi^2 m e^4}{(4\pi\epsilon_0)^2 c h^3} \quad (5)$$

M_h M_D 分别表示氢与氘原子核的质量。由 (3)、(4) 解得:

$$\frac{M_D}{M_h} = \frac{R_D/R_H}{1 - (R_D/R_H - 1)M_H/m_e} \quad (6)$$

根据氢与氘的巴耳末系公式形式相同:

$$\frac{1}{\lambda_H} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (7)$$

$$\frac{1}{\lambda_D} = R_D \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (8)$$

可得：

$$\frac{M_D}{M_h} = \frac{m}{M_H} \cdot \frac{\lambda_H}{\lambda_D - \lambda_H + \lambda_D m / M_H} \quad (9)$$

这样实验中只要测得各谱线的 λ_H 或 λ_D ，并辨认出与各谱线对应的 n ，即可算出 R_H 与 R_D 以及氢氦质量比。

同时，我们可以根据测量的波长计算氢氦谱峰波长差：

$$\Delta\lambda = \left(\frac{1}{R_H} - \frac{1}{R_D}\right) / \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \approx \frac{\frac{M+m}{M} - \frac{2M+m}{2M}}{1/\lambda} = \frac{m}{2M}\lambda \quad (10)$$

即：

$$\frac{M}{m} \approx \frac{\lambda}{2\Delta\lambda} \quad (11)$$

3 实验仪器

控制电源、汞灯、氢氦灯、光谱仪、光电倍增管、计算机。

4 数据处理

4.1 实验数据表格

表 1: 汞灯谱线波长

汞灯谱线序号	1	2	3	4	5
波长/nm	364.90	365.38	366.22	404.67	407.77
汞灯谱线序号	6	7	8	9	
波长/nm	435.73	546.61	577.67	579.64	

表 2: 氢氦灯光谱波长

能级 n	6	5	4	3
波长 λ_H /nm	410.01	433.96	486.38	657.94
波长 λ_D /nm	409.92	433.88	486.25	657.77

4.2 汞灯标准谱线和测量谱线拟合方程和拟合图

根据拟合结果得到转换关系方程： $\lambda_{stan} = \lambda_{meas} - 0.15667$

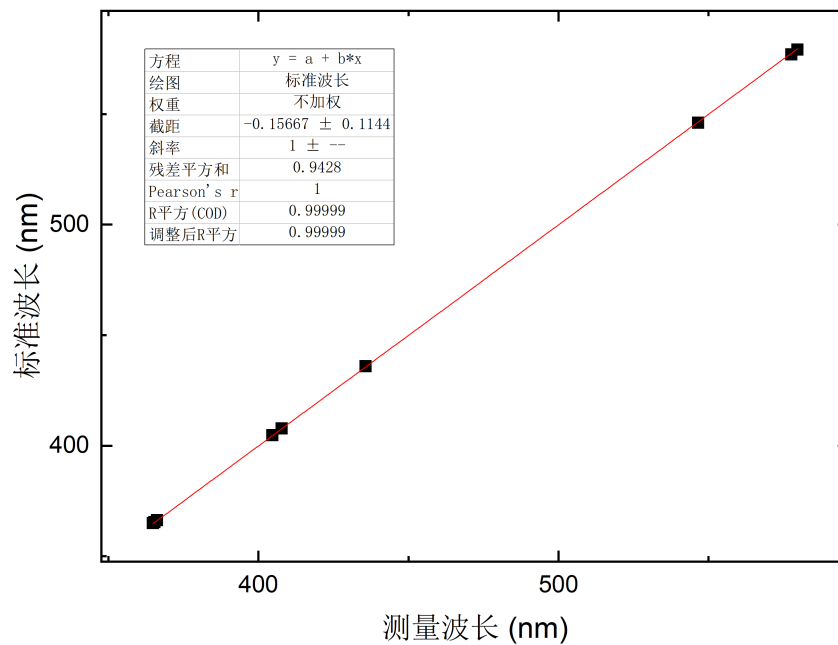


图 1: 汞灯校准拟合图

4.3 氢氫谱线校准后数据

表 3: 校准后氢氫灯光谱波长

能级 n	6	5	4	3
波长 λ_H/nm	409.85	433.80	486.22	657.78
波长 λ_D/nm	409.76	433.72	486.09	657.61

4.4 实验结果计算

对 $\frac{1}{\lambda}$ 关于 $\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}$ 线性拟合得到斜率即为里德伯常量数值。由图 2、3 得到

$$R_H = (1.0972 \pm 0.0006) \times 10^7 \text{m}^{-1}$$

$$R_D = (1.0975 \pm 0.0006) \times 10^7 \text{m}^{-1}$$

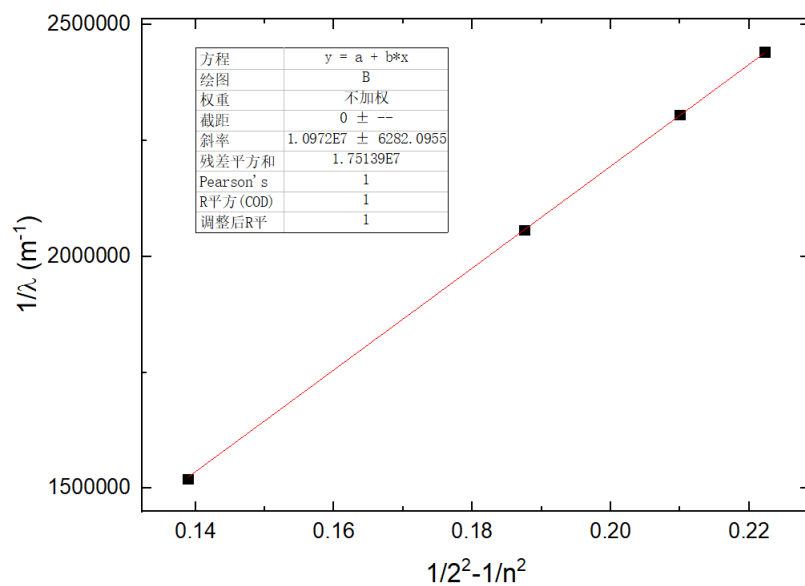


图 2: 氢原子谱线拟合图

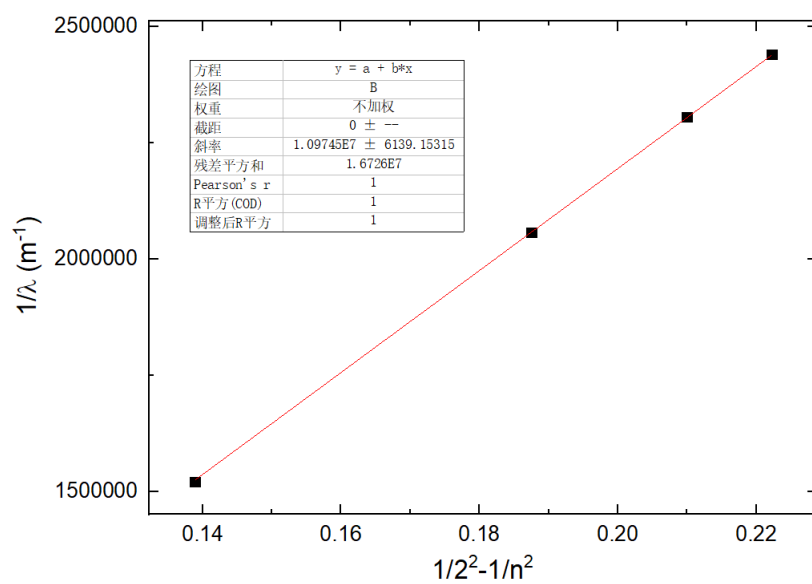


图 3: 氦原子谱线拟合图

带入公式 (6) 可得：

$$\frac{M_D}{M_H} = \frac{1.0975/1.0972}{1 - (1.0975/1.0972 - 1) \cdot 1836.1527} = 2.0088$$

对 λ 根据 $2\Delta\lambda$ 线性拟合可以得到拟合直线斜率即为质子与电子质量比

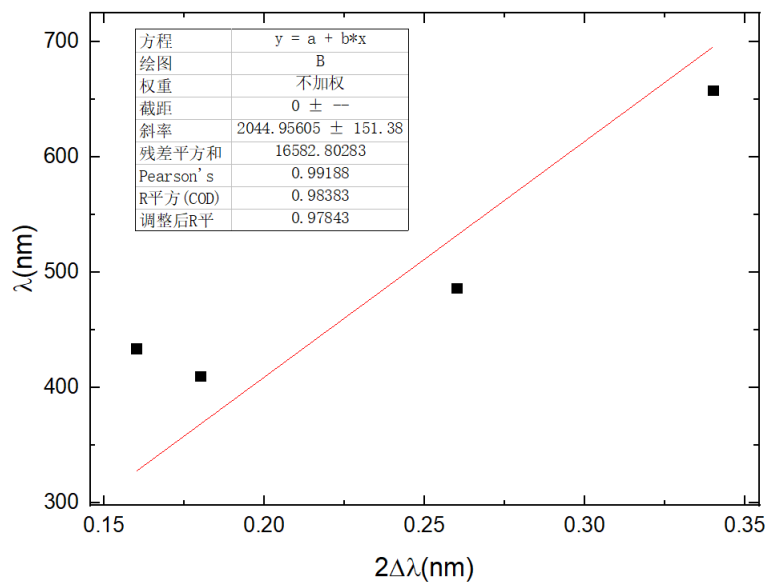


图 4: λ 关于 $2\Delta\lambda$ 线性拟合图

根据图 (4) 得到：

$$\frac{M_H}{m_e} = 2045.0 \pm 151.4$$

5 实验结果误差分析

$$\frac{U_{\frac{R_D}{R_H}}}{\frac{R_D}{R_H}} = \sqrt{\left(\frac{U_{R_H}}{R_H}\right)^2 + \left(\frac{U_{R_D}}{R_D}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0.0006}{1.0972}\right)^2 + \left(\frac{0.0006}{1.0975}\right)^2} = 8 \times 10^{-4}$$

, P=0.95

$$\frac{U_{\frac{M_D}{M_H}}}{\frac{M_D}{M_H}} = \sqrt{\left(\frac{U_{\frac{R_D}{R_H}}}{\frac{R_D}{R_H}}\right)^2 + \left(\frac{M_H/m_e U_{\frac{R_D}{R_H}}}{M_H/m_e \frac{R_D}{R_H}}\right)^2} = \sqrt{(8 \times 10^4)^2 + (8 \times 10^4)^2} = 1.1 \times 10^{-3}$$

, P=0.95

则在 P=0.95 下, 实验结果为:

$$R_H = (1.0972 \pm 0.0006) \times 10^7 m^{-1}$$

$$R_D = (1.0975 \pm 0.0006) \times 10^7 m^{-1}$$

$$\frac{M_D}{M_H} = \frac{1.0975/1.0972}{1 - (1.0975/1.0972 - 1) \cdot 1836.1527} = 2.0088 \pm 0.0022$$

$$\frac{M_H}{m_e} = (2.05 \pm 0.15) \times 10^3$$

6 思考题和实验总结

6.1 思考题

1. 由介质中波长公式:

$$\lambda' = \lambda/n$$

得到修正公式:

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

得到修正后 $R_H = 1.0969 \times 10^7 m^{-1}$, $R_D = 1.0972 \times 10^7 m^{-1}$

与公认值 $1.0974 \times 10^7 m^{-1}$ 分别相差 0.046%, 0.020%

2. 由于光谱仪本身测量存在一定误差, 相较于零点有一定的偏移, 通过测量汞灯的光谱并与标准谱线进行对比与线性拟合, 可以得到直线的截距即为光谱仪零点的偏移量。在测量数据后需要加上零点偏移的修正项, 以减少误差。

方案: 选取一系列单色性较好的不同波长的激光器, 且需要各个激光器的波长位于氢原子光谱附近。利用光谱仪测量各个激光器的波长后根据标准波长进行线性拟合, 并求出拟合直线截距, 作为零点的偏移量。

3. 要求需要提高仪器的分辨率。氢原子已经是原子序数最低的原子, 随

着原子序数的提高，位移效应越小，同位素发射的光波长越接近，难以测量出不同核素的光谱。因此需要提高仪器分辨率以区分不同核素的相同能级的谱线波长。

6.2 实验总结

通过本实验学习了光谱仪等仪器的使用，测量了氢氘原子光谱并计算得到了非近似情况下的里德伯常量数值、氢氘原子核质量比，和质子电子质量比。同时，实验结果与真是值存在一定偏差，主要原因为氢氘灯较弱，且光谱仪精度不足，难以探测出精确的波长差。