



学号: 12313124 姓名: 吴世群 日期: 2023.11.14 星期 二 上午

氢气光谱实验

一、实验目的

通过对氢原子光谱巴尔末线系在可见光区域内谱线的测量与分析,学习光栅光谱仪的工作原理和谱线测量的基本技术,学习确定里德伯常量的方法。并以氢原子光谱为研究对象,研究获得同位素光谱的实验方法、分析方法及其在微观测量中的应用。

二、实验仪器

氢气放电管、光栅光谱仪、光电倍增管、汞灯

三、实验原理

(一) 里德伯常量及氢原子核质量的计算

在氢原子光谱图中可以明显地看到有三个谱线系列,其中在可见光和近紫外区的谱线系列被称为巴尔末系。1895年,巴尔末根据实验结果,确定了可见光区域氢光谱的谱线分布规律为

$$\lambda = B \frac{n^2}{n^2 - 4}, n = 3, 4, 5, \dots \quad (1)$$

式(1)称为巴尔末公式, $B = 3.6465 \times 10^{-7} \text{m}$, 是谱线系极限值, 即 $n \rightarrow \infty$ 时的波长值。

1896年, 里德伯将巴尔末公式改写成用波数 σ 来表示, σ 为单位长度波列中波的数目, λ 是一个周期波的长度, 即 $\sigma = \frac{1}{\lambda}$, 频率 $\nu = \sigma c$, c 为光速。氢和类氢原子的巴尔末线系对应光谱线波数为

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

其中 m_Z 为原子核质量, m_e 为电子质量, e 为电子电荷, h 为普朗克常量, ϵ_0 为真空介电常量, c 为光速, Z 为原子序数, 因此类氢原子的里德伯常量可写为

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



物理实验报告纸



SUSTech

明德求是
日新自强

学号: _____ 姓名: _____ 日期: _____ 星期: _____ ☐ 上午 ☐ 下午

若 $m_z \rightarrow \infty$, 即假定原子核不动, 则有

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

在1986年国际激光光谱学会议上发表并被推荐的里德伯常量值为

$$R_\infty = (10973731.534 \pm 0.012) \text{ m}^{-1}$$

由(3)、(4)两个式子, 可求出:

$$R_z = \frac{R_\infty}{1 + \frac{m_e}{m_z}} \quad (5)$$

设氢和氘的里德伯常量分别为 R_H 和 R_D , 则氢、氘光谱线的波数 σ_H, σ_D 分别为

$$\sigma_H = R_H \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (n=3, 4, 5, \dots) \quad (6)$$

$$\sigma_D = R_D \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (n=3, 4, 5, \dots) \quad (7)$$

因此, 测出氢和氘的波长, 求出波数, 即可计算出氢、氘原子的里德伯常量 R_H 和 R_D .
~~根据式(5)有~~ 另外, 氢和氘光谱相应的波长差为

$$\Delta\lambda = \lambda_H - \lambda_D = \lambda_H \left(1 - \frac{\lambda_D}{\lambda_H} \right) = \lambda_H \left(1 - \frac{\sigma_H}{\sigma_D} \right) = \lambda_H \left(1 - \frac{R_H}{R_D} \right) \quad (8)$$

因此, 通过实验测得氢波长和氘的波长差, 根据式(8)也可以求得 R_H 和 R_D .
根据式(5)有

$$R_H = \frac{R_\infty}{1 + \frac{m_e}{m_H}} \quad (9)$$

$$R_D = \frac{R_\infty}{1 + \frac{m_e}{m_D}} \quad (10)$$

其中 m_H 和 m_D 分别为氢和氘原子核的质量, 式(10)除以式(9), 得

$$\frac{R_D}{R_H} = \frac{1 + \frac{m_e}{m_H}}{1 + \frac{m_e}{m_D}} \quad (11) \quad \text{解(11)得} \quad \frac{m_D}{m_H} = \frac{\frac{R_D}{R_H}}{1 - \frac{m_H}{m_e} \left(\frac{R_D}{R_H} - 1 \right)} \quad (12)$$

式中 $\frac{m_H}{m_e}$ 为氢原子核质量与电子质量比, 公认值为 1836.1515. 因此通过将实验测得的 λ_H 和 λ_D 由式(8)得到的 $\frac{R_D}{R_H}$ 代入式(12), 可求得氘和氢原子核质量比 $\frac{m_D}{m_H}$.



扫描全能王 创建

学号: _____ 姓名: _____ 日期: _____ 星期: _____ ☐ 上午 ☐ 下午

(二) 实验仪器工作原理

1. 光源

实验中使用氦氖放电管作为光源。该放电管将氦气和氖气充入同一管内。当高压施加在两极上时,管内的游离电子获得动能并与氦、氖分子碰撞,使其解离为氦原子和氖原子并进入激发状态,当它们回到低能级时产生光辐射。

2. 光谱仪

光栅光谱仪利用入射光在光栅上的衍射将不同波长的光分离。

3. 光电倍增管

光电倍增管是利用光电子发射效应和二次电子发射效应来实现将微弱的光信号转化为较强的电信号的光电器件。

四、实验内容

(一) 启动设备, 复位光谱仪

(二) 光谱仪的定标 (Hg 灯光谱的测量)

安装 Hg 灯, 将光谱仪上负高压调至 500V。设置好软件后进行扫描, 依次记录谱线中每个峰对应的波长 (共 9 个峰)。截图见图 1。

(三) HD 灯的测量

将光谱仪上的负高压调至 800V 左右。在合适位置摆放 HD 灯, 使得尽可能多的光线进入光谱仪。

1. 设置好软件, 粗扫 HD 光谱, 确定谱线峰值的大致范围。截图见图 2。

图 2.

2. 设置好软件, 细扫 HD 光谱, 确定谱线峰值的准确波长。依次在 $n=3, 4, 5$ (即 656 nm、486 nm、434 nm) 的 3 个峰附近 ± 5 nm 的范围内扫描。目的是将每一个 n 值 (主量子数) 对应的 H、D 谱线峰值分离开, 共需测出 3 组 ($n=3, 4, 5$) 的 H、D 双峰, 记录峰值波长 (短波长为 D, 长波长为 H)。截图分别见图 3 ($n=5$)、图 4 ($n=4$)、图 5 ($n=3$)。



物理实验报告纸

学号: _____ 姓名: _____ 日期: _____ 星期: _____ ☐ 上午 ☐ 下午

(四) 数据处理

1. 拟合修正公式。以实验测得Hg波长为横轴, 以Hg理论波长为纵轴, 作图6, 并拟合修正公式。

2. 修正实验所测的氢波长和氦波长

3. 计算氢的里德伯常量 R_H , 并计算平均值

4. 计算氦的里德伯常量 R_D , 并计算平均值

5. 计算氦和氢原子核质量比 $\frac{m_D}{m_H}$

五、数据记录

见原始数据记录表

六、数据处理

(一) 拟合修正公式

以实验测得Hg波长为横轴, 以Hg理论波长为纵轴, 作图6, 拟合得到修正公式

$$y = 0.9935x + 2.8069 \quad (13)$$

(二) 修正实验所测的氢波长和氦波长

$$0.9935 \times 433.86 + 2.8069 \approx 433.85, \quad 0.9935 \times 486.33 + 2.8069 \approx 485.98$$

$$0.9935 \times 658.44 + 2.8069 \approx 656.97, \quad 0.9935 \times 433.97 + 2.8069 \approx 433.96$$

$$0.9935 \times 486.45 + 2.8069 \approx 486.09, \quad 0.9935 \times 658.62 + 2.8069 \approx 657.15$$

修正波长(nm)	$n=5$	$n=4$	$n=3$
D	433.85	485.98	656.97
H	433.96	486.09	657.15

(三) 计算氢的里德伯常量 R_H , 并计算平均值

$$\text{由 } \sigma = \lambda \text{ 及式(6)得 } R_H = \frac{1}{\lambda_H \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{n^2} \right)} \quad (n=3, 4, 5, \dots)$$

$$R_{H1} = \frac{1}{433.96 \times 10^{-9} \times \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{5^2} \right)} = 10973142.14 \text{ m}^{-1}$$

$$R_{H2} = \frac{1}{486.09 \times 10^{-9} \times \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{4^2} \right)} = 10971905.07 \text{ m}^{-1}$$



物理实验报告纸



SUSTech

明德求是
日新自强

学号: _____ 姓名: _____ 日期: _____ 星期: _____ ☐ 上午 ☐ 下午

$$R_{H3} = \frac{1}{657.15 \times 10^{-9} \times (\frac{1}{2} - \frac{1}{5})} = 10956402.65 \text{ m}^{-1}$$

$$\overline{R_H} = \frac{R_{H1} + R_{H2} + R_{H3}}{3} = \frac{10973142.14 + 10971905.07 + 10956402.65}{3} = 10967149.95 \text{ m}^{-1}$$

(四) 计算氦的里德伯常量 R_D , 并计算平均值

由 $\sigma = \frac{1}{\lambda}$ 及式 (7) 得 $R_D = \frac{1}{\lambda_D (\frac{1}{2} - \frac{1}{n^2})} \quad (n=3, 4, 5)$

$$R_{D1} = \frac{1}{433.85 \times 10^{-9} \times (\frac{1}{2} - \frac{1}{5})} = 10975924.31 \text{ m}^{-1}$$

$$R_{D2} = \frac{1}{485.98 \times 10^{-9} \times (\frac{1}{2} - \frac{1}{4})} = 10974388.52 \text{ m}^{-1}$$

$$R_{D3} = \frac{1}{656.97 \times 10^{-9} \times (\frac{1}{2} - \frac{1}{3})} = 10959404.54 \text{ m}^{-1}$$

$$\overline{R_D} = \frac{R_{D1} + R_{D2} + R_{D3}}{3} = \frac{10975924.31 + 10974388.52 + 10959404.54}{3} = 10969905.79 \text{ m}^{-1}$$

(五) 计算氦和氢原子核质量比 $\frac{m_D}{m_H}$

由式 (8) 得 $\frac{R_H}{R_D} = \frac{\lambda_D}{\lambda_H}$

$$\left(\frac{R_H}{R_D}\right) = \frac{\frac{\lambda_{D1}}{\lambda_{H1}} + \frac{\lambda_{D2}}{\lambda_{H2}} + \frac{\lambda_{D3}}{\lambda_{H3}}}{3} = \frac{\frac{433.85}{433.96} + \frac{485.98}{486.09} + \frac{656.97}{657.15}}{3} = 0.9997487716$$

由式 (12) $\frac{m_D}{m_H} = \frac{\frac{R_D}{R_H}}{1 - \frac{m_H}{m_e} (\frac{R_D}{R_H} - 1)} = \frac{0.9997487716}{1 - 1836.1515 \times (0.9997487716 - 1)} = 1.8571641$

七、误差分析

- (一) 氦气放电管所成实像无法恰好落在入射狭缝上
- (二) 光谱仪的扫描精度有限, 且仪器处于空气中而非真空中, 理论上用真空中波长。
- (三) 光在衍射时波长可能发生微小改变, 且存在周围环境中杂光干扰。

八、实验结论

本实验先利用汞灯的标准谱线标定光栅光谱仪, 然后通过标定完成了氦原子巴耳末线系的光栅光谱仪测量了氦原子的巴耳末线系。测得氦的里德伯常量 $R_H = 10967149.95 \text{ m}^{-1}$, 氦的里德伯常量 $R_D = 10969905.79 \text{ m}^{-1}$, 氦和氢原子核质量比 $\frac{m_D}{m_H} = 1.8571641$ 。



扫描全能王 创建

物理实验报告纸



SUSTech

明德求是
日新自强

学号: 12313124 姓名: 余世洋 日期: 2023.11.14 星期 二 上午

Hg 灯波长

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
测量波长 (nm)	364.55	365.05	365.95	404.45	407.65	435.75	546.75	577.95	580.05
理论波长 (nm)	365.02	365.48	366.30	404.66	407.78	435.84	546.07	578.96	579.07

HD 灯波长

峰值波长 (nm)

$n=5$

$n=4$

$n=3$

D

433.86

486.33

658.44

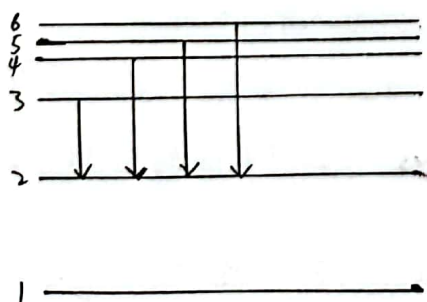
H

433.97

486.45

658.62 *11.14*

九、思考题



巴耳末线系

能级3 → 能级2: $\lambda = 657.1429 \text{ nm}$
 $\sigma = 1.5217 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$

能级4 → 能级2: $\lambda = 487.0588 \text{ nm}$
 $\sigma = 2.0531 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$

能级5 → 能级2: $\lambda = 434.8739 \text{ nm}$
 $\sigma = 2.2995 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$

能级6 → 能级2: $\lambda = 410.9861 \text{ nm}$
 $\sigma = 2.4332 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$



扫描全能王 创建



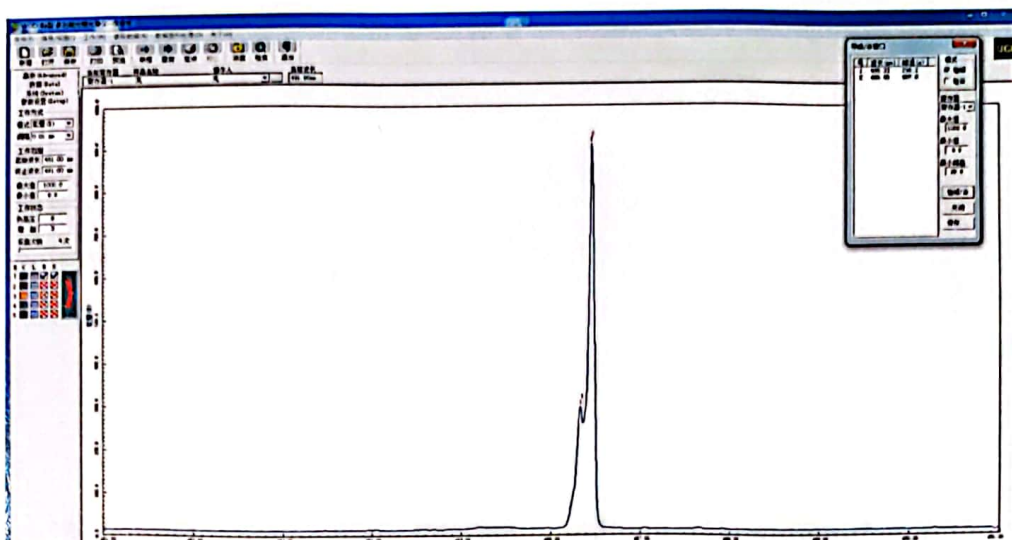


图 4

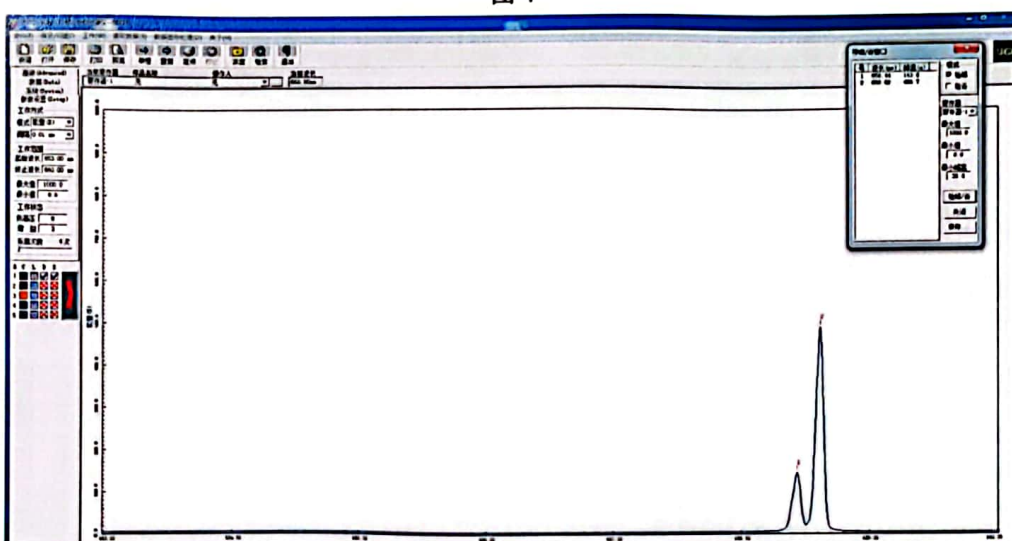


图 5

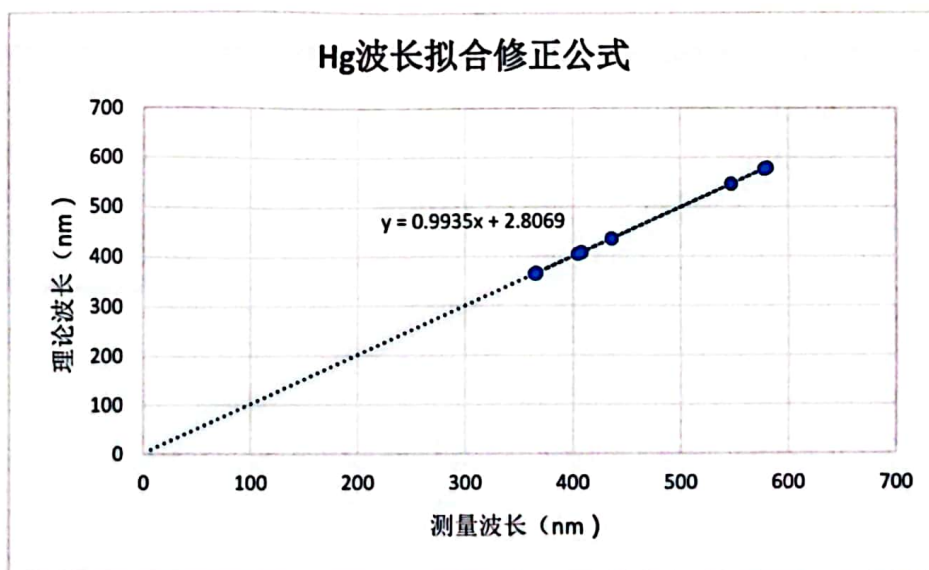


图 6

