

## 实验须知

**氢氘光谱实验需要完整实验报告, 请参考本实验讲义最后的报告模板。**

### 1. 预习阶段

- (1) 认真阅读实验讲义。可查阅与实验相关的资料。
- (2) 预习后不需要写预习报告, **上课前在实验教学平台完成预习思考题。**

### 2. 实验阶段

- (1) 维护良好的课堂秩序, 在实验室内尽量保持安静。
- (2) 维护整洁的实验环境, 不要将水杯、饮料等放在实验台上, 不得在实验室内吃东西。
- (3) 爱护实验设备, 轻拿轻放。在老师讲解后才能动手操作。并且在动手前应仔细阅读实验操作说明。
- (4) 按照要求顺序打开实验仪器: 先控制电源后光谱仪再计算机。
- (5) 实验中入射狭缝可以根据信号强度适当调整, 出射狭缝不要调整。
- (6) 氢氘灯不可长时间处于打开状态, 记录光谱结束后立刻关闭。
- (7) 光电倍增管负高压严格按照实验操作板或者仪器面板要求设置。
- (8) 氢氘灯在入射狭缝前距离要调整适当, 保证入射光聚焦在狭缝上。
- (9) 结束实验时关机顺序为计算机, 光谱仪或控制电源。

**请在做完实验两天内在教学平台完成实验出门测!**

## 氢氘原子光谱

早在 19 世纪，那时人们虽然还不清楚原子内部结构，但已经认识到各种原子和分子发光都有其特征光谱，而且通常原子光谱是线状光谱，分子光谱是带状光谱。

随着科学的发展，人们逐渐打开了原子世界的大门，将原子内部结构和原子光谱联系了起来，氢原子是所有原子中最简单的，其光谱规律及原子核和核外电子间相互作用也是最简单和典型的，氢原子结构和光谱的研究是粒子物理研究的重要基础，促进了人们对于物质结构的深入认识，对氢原子光谱的研究不但有历史意义，也有现实意义。

待研究问题：

1. 同位素的原子光谱是否有区别，为什么？。
2. 光栅光谱仪的基本构造是怎么样的？如何使用光栅光谱仪测量光谱？
3. 怎样测通过光谱测量计算氢氘巴尔末线系前四条谱线的波长、里德伯常数和氢氘的质量比？

### 实验原理：

#### 1. 同位素和同位素位移

具有相同质子数，不同中子数（或不同质量数）同一元素的不同核素互为同位素。

在谱线上，同位素对应的谱线会发生移位，称同位素移位。移位大小与核质量有关：核质量越轻，移位效应越大，因此氢具有最大的同位素移位。

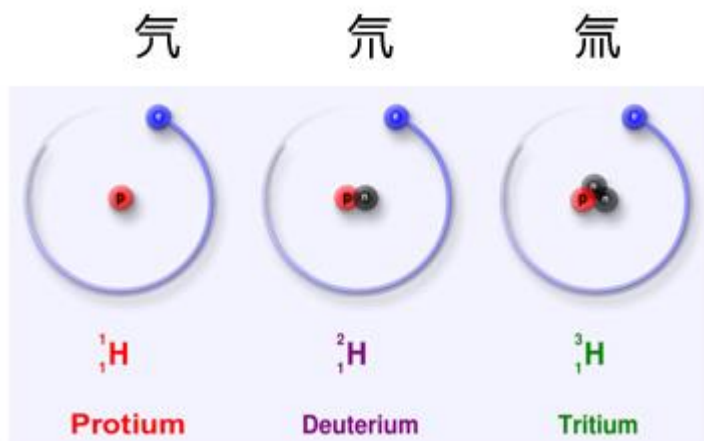


图 1 氢原子同位素示意图

1931 年年底，美国哥伦比亚大学的尤里教授和他的助手们，把四升液态氢在三相点 14K 下缓慢蒸发，最后只剩下几立方毫米液氢，然后用光谱分析。结果在氢原子光谱的谱线中，得到一些新谱线，它们的位置正好与预期的质量为 2 的氢谱线一致，从而发现了重氢（deuterium），即氘，符号 D，公认的氢元素同位素有三种，如图 1 所示，分别为氕氘氚。

## 2. 原子光谱规律

原子光谱是线光谱，光谱排列的规律不同，反映出原子结构的不同，研究原子结构的基本方法之一是进行光谱分析。

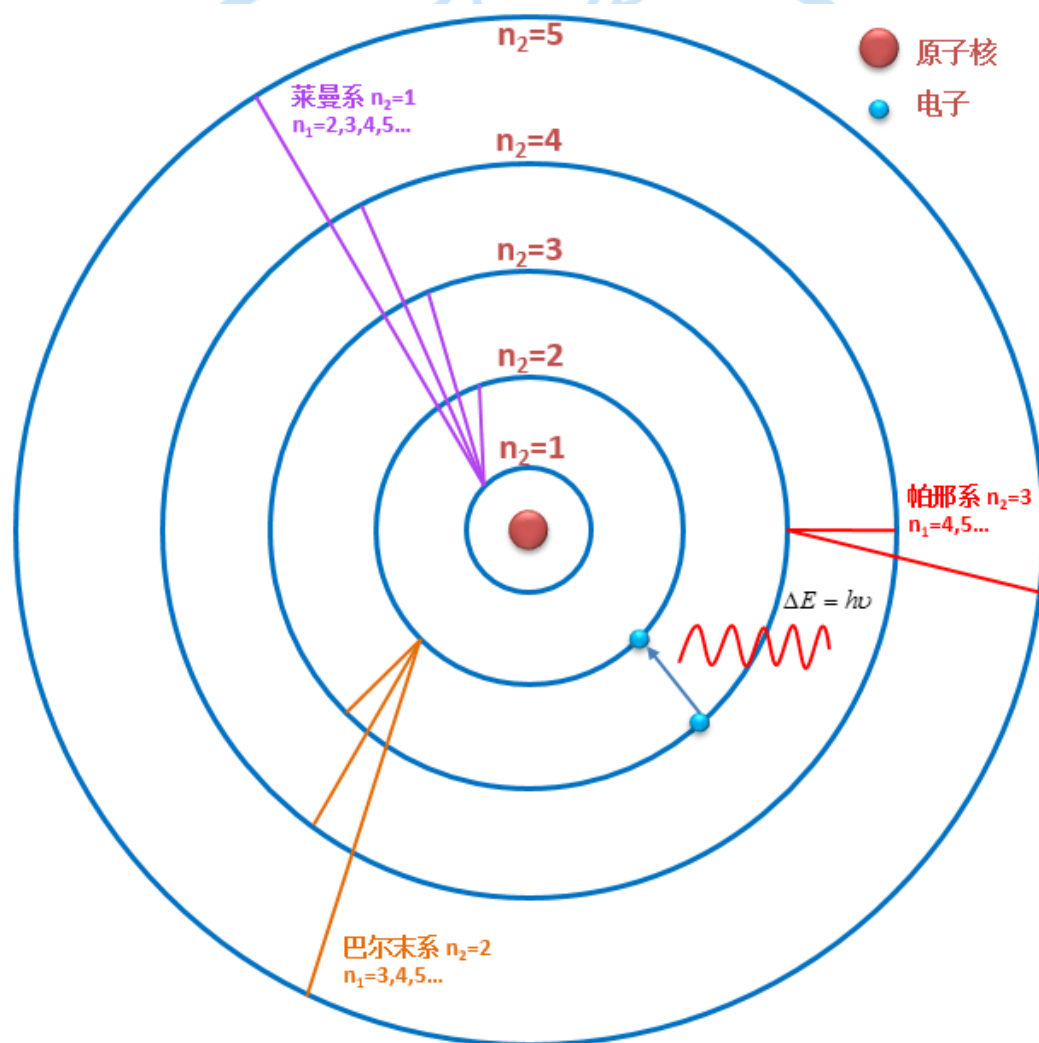


图 2 氢原子光谱规律示意图

氢原子光谱由许多谱线组成，如图 2 所示，在可见光区的谱线系是巴耳末系，其代表线为  $H_\alpha$ 、 $H_\beta$ 、 $H_\gamma$ 、 $H_\delta \dots$ ，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：

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

当  $n = 3, 4, 5, 6$  时, 上式分别给出  $H_\alpha, H_\beta, H_\gamma, H_\delta$  各谱线波长, (1) 式是瑞士物理学家巴耳末根据实验结果首先总结出来的, 故称为巴耳末公式。

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

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

其中  $R_H$  被称为里德伯常量, 根据波尔理论和量子力学对氢原子和类氢原子里德伯常量的分析有:

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

式(3)中  $m_e$  为电子质量,  $M$  为原子核质量。由上式看出里得伯常量与原子核的质量有关, 其中

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

$h$  是普朗克常量,  $c$  是光速,  $\epsilon_0$  为真空中介电常数。由于  $M$  相对于  $m_e$  来说是很大的, 若把  $M$  当作无限大, 即原子核不动, 电子绕原子核运动, 这时  $R$  即为  $R_\infty$ 。

氘是氢的同位素, 它们有相同的质子和核外电子, 只是氘比氢多了一个中子而使原子核的质量发生变化, 从而使得它的里德伯常量值也发生了变化, 故氢和氘的里德伯常量分别为:

$$R_H = \frac{R_\infty}{1 + m_e / M_H} \quad (5)$$

$$R_D = \frac{R_\infty}{1 + m_e / M_D} \quad (6)$$

$M_H$ 、 $M_D$  分别表示氢与氘原子核的质量。由(5), (6)两式解出:

$$\frac{M_D}{M_H} = \frac{R_D / R_H}{1 - (R_D / R_H - 1) M_H / m_e} \quad (7)$$

$M_H / m_e$  为氢原子核质量与电子质量之比（取值为 1836.1527），如果通过实验测出  $R_D / R_H$ ，则可算出氢与氘原子核质量比。

由于氢与氘的光谱有相同的规律性，故氢和氘的巴耳末公式的形式相同，分别为：

$$\frac{1}{\lambda_H} = \tilde{\nu}_H = R_H \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (8)$$

$$\frac{1}{\lambda_D} = \tilde{\nu}_D = R_D \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (9)$$

通过(7),(8),(9)三式可得：

$$\frac{M_D}{M_H} = \frac{m}{M_H} \cdot \frac{\lambda_H}{(\lambda_D - \lambda_H + \lambda_D m / M_H)} \quad (10)$$

这样实验中只要测得各谱线的  $\lambda_H$  或  $\lambda_D$ ，并辨认出与各谱线对应的  $n$ ，即可算出  $R_H$  与  $R_D$  以及氢氘质量比。

同时，我们可以根据测量的波长计算氢氘谱峰波长差：

$$\Delta\lambda = \lambda_H - \lambda_D = \left( \frac{1}{R_H} - \frac{1}{R_D} \right) / \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \approx \frac{\frac{M+m}{M} - \frac{2M+m}{2M}}{1/\lambda} = \frac{m}{2M} \lambda \quad (11)$$

$$\text{即: } \frac{M}{m} \approx \frac{\lambda}{2\Delta\lambda} \quad (12)$$

## 实验内容：

1. 仔细阅读实验操作板，理解实验原理和仪器使用方法。
2. 使用光谱仪测量汞灯光谱，使用软件进行寻峰并记录汞灯谱线波长位置。
3. 使用光谱仪测量氢氘光谱各个谱峰位置，放大各个谱峰后记录氢氘谱峰数据。
4. 实验报告要求使用汞灯谱线测量数据与标准数据参考拟合，获得转换关系方程。
5. 将实验测量得到的氢氘光谱数据代入该方程式中，获得近似标准氢氘谱线数据。
6. 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。
7. 思考题和实验总结。



## 实验仪器：

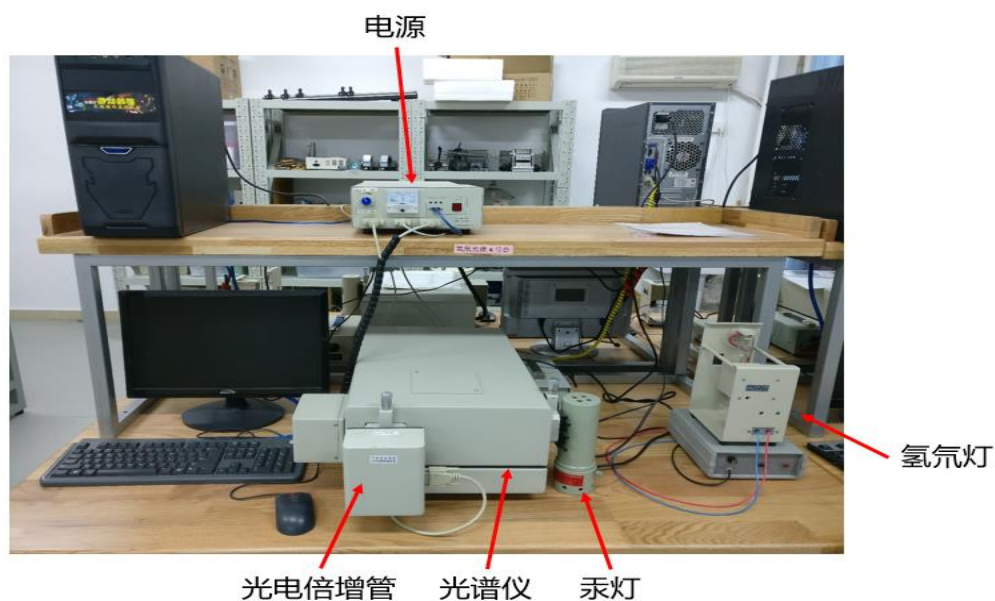


图 3 氢氘光谱仪器示意图

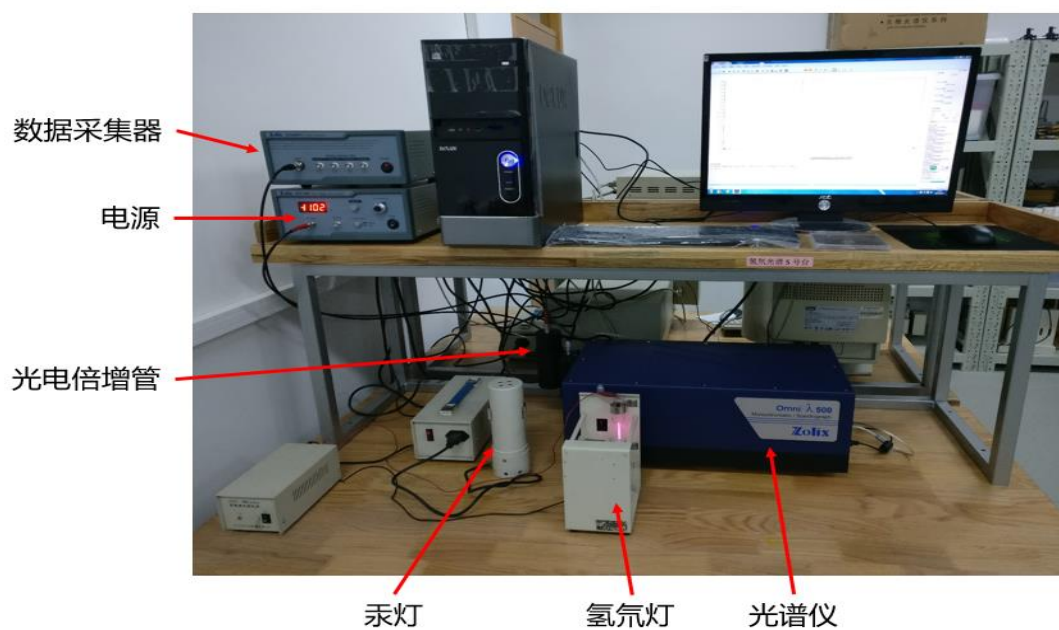


图 4 氢氘光谱仪器示意图

图 3 和图 4 为氢氘光谱实验仪器实物图，实验室配备两种单色仪，光源有汞灯和氢氘灯，使用数据采集器和计算机采集光谱数据。使用说明可以参考实验室操作板和课堂讲解。

## 数据记录格式参考：

汞灯：

汞灯谱线序号	1	2	3	4	5
波长/nm					
汞灯谱线序号	6	7	8	9	
波长/nm					

氢氘灯:

能级 $n$	3	4	5	6
波长 $\lambda_H$ /nm				
波长 $\lambda_D$ /nm				

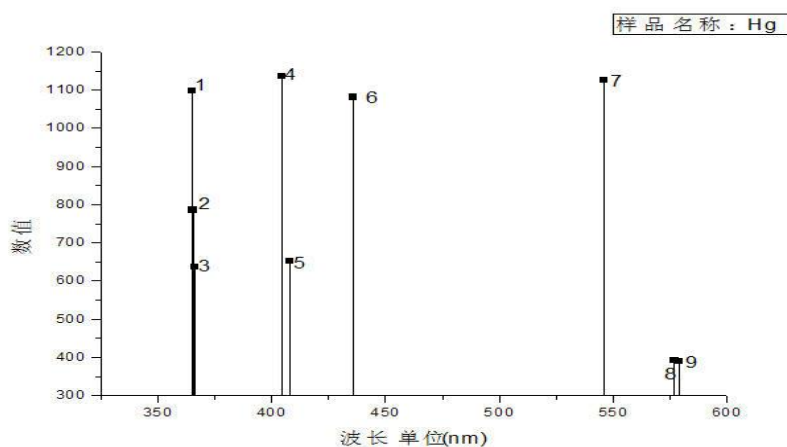
思考题:

1. 在计算  $R_H$ 、 $R_D$  时, 应该以真空中的波长代入公式计算, 但实验中的测量是在空气中进行的。若空气的折射率为  $n=1.00029$ , 请推导波长修正公式, 并将修正后的  $R_H$ 、 $R_D$  值与公认值比较。
2. 本实验中测量汞灯光谱目的是什么? 请问若要使用其他光源或者方法代替测量汞灯光谱, 给出方案。
3. 若想要测量其他元素同位素光谱, 对仪器有什么要求? 为什么?

参考文献:

大学物理实验第三册, 轩植华, 霍剑青, 姚焜, 张淑贞 高等教育出版社, 2006

参考用汞灯光谱:



序号      波长 (nm)  
1          365.02

序号      波长 (nm)  
6          435.84

2	365.48	7	546.07
3	366.3	8	576.96
4	404.66	9	579.07
5	407.78		

## 实验报告模板

实验目的：

实验原理：

实验仪器：

实验数据处理：

### 1. 实验数据表格：

汞灯：

汞灯谱线序号	1	2	3	4	5
波长/nm					
汞灯谱线序号	6	7	8	9	
波长/nm					

氢氘灯测量数据：

能级 $n$	3	4	5	6
波长 $\lambda_H$ /nm				
波长 $\lambda_D$ /nm				

2. 汞灯标准谱线和测量谱线拟合方程和拟合图。

3. 将氢氘谱线数据代入拟合方程后得到的校准后数据。

校准后氢氘灯数据：

能级 $n$	3	4	5	6
波长 $\lambda_H$ /nm				
波长 $\lambda_D$ /nm				

4. 计算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。

实验结果误差分析：

思考题和实验总结：