

实验 2.5 氢（氘）原子光谱

引言

光谱线系的规律与原子结构有内在的联系，因此，原子光谱是研究原子结构的一种重要方法。1885年巴尔末总结了人们对氢光谱测量的结果，发现了氢光谱的规律，提出了著名的巴尔末公式，氢光谱规律的发现为玻尔理论的建立提供了坚实的实验基础，对原子物理学和量子力学的发展起过重要作用。1932年尤里（H. C. Urey）根据里德伯常数随原子核质量不同而变化的规律，对重氢赖曼线系进行摄谱分析，发现氢的同位素——氘的存在。通过巴尔末公式求得的里德伯常数是物理学中少数几个最精确的常数之一，成为检验原子理论可靠性的标准和测量其他基本物理常数的依据。

Omni- λ 型光栅光谱仪用于近代物理实验中的氢（氘）原子光谱实验，一改以往在大型摄谱仪上用感光胶片记录的方法，而使光谱既可在微机屏幕上显示，又可打印成谱图保存，实验结果准确明了。

实验目的

1. 熟悉光栅光谱仪的性能与用法。
2. 用光栅光谱仪测量氢原子光谱巴尔末线系的波长，求里德伯常数。

实验原理

氢原子光谱是最简单、最典型的原子光谱。用电激发氢放电管（氢灯）中的稀薄氢气（压力在 10^2Pa 左右），可得到线状氢原子光谱。瑞士物理学家巴尔末根据实验结果给出氢原子光谱在可见光区域的经验公式

$$\lambda_H = \lambda_0 \frac{n^2}{n^2 - 4} \quad (2.5-1)$$

式中 λ_H 为氢原子谱线在真空中的波长。

$\lambda_0 = 364.57\text{nm}$ 是一经验常数。

n 取 3, 4, 5 等整数。

若用波数 $\tilde{\nu}$ 表示，则上式变为

$$\tilde{\nu}_H = \frac{1}{\lambda_H} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (2.5-2)$$

式中 R_H 称为氢的里德伯常数。

根据玻尔理论，对氢和类氢原子的里德伯常数的计算，得

$$R_z = \frac{2\pi^2 m e^4 z^2}{(4\pi\epsilon_0)^2 c h^3 (1 + m/M)} \quad (2.5-3)$$

式中 M 为原子核质量， m 为电子质量， e 为电子电荷， c 为光速， h 为普朗克常数， ϵ_0 为真空介电常数， z 为原子序数。

当 $M \rightarrow \infty$ 时，由上式可得出相当于原子核不动时的里德伯常数（普适的里德伯常数）

$$R_\infty = \frac{2\pi^2 m e^4 z^2}{(4\pi\epsilon_0)^2 c h^3} \quad (2.5-4)$$

所以

$$R_z = \frac{R_\infty}{(1 + m/M)} \quad (2.5-5)$$

对于氢，有

$$R_H = \frac{R_\infty}{(1 + m/M_H)} \quad (2.5-6)$$

这里 M_H 是氢原子核的质量。

由此可知，通过实验测得氢的巴尔末线系的前几条谱线的波长，借助(2.5-6)式可求得氢的里德伯常数。

里德伯常数 R_∞ 是重要的基本物理常数之一，对它的精密测量在科学上有重要意义，目前它的推荐值为 $R_\infty = 10973731.568549(83) \text{ m}^{-1}$

表 2.5-1 为氢的巴尔末线系的波长表。

图 2.5-1 是氢原子能级图。

表 2.5-1 氢的巴尔末线系波长

谱线符号	波长 (nm)
H α	656.280
H β	486.133
H γ	434.047
H δ	410.174
H ϵ	397.007
H ζ	388.906
H η	383.540
H θ	379.791
H ι	377.063
H κ	375.015

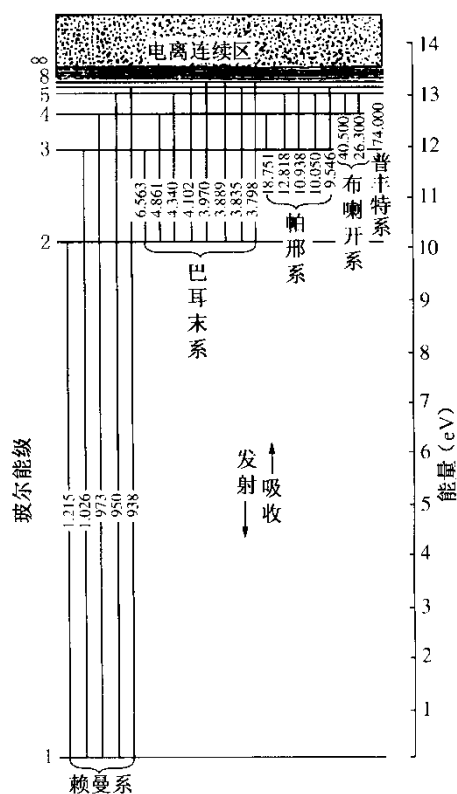


图 2.5-1 氢原子能级

值得注意的是，计算 R_H 和 R_∞ 时，应该用氢谱线在真空中的波长，而实验是在空气中进行的，所以应将空气中的波长转换成真空中的波长。即 $\lambda_{\text{真空}} = \lambda_{\text{空气}} + \Delta\lambda$ ，氢巴尔末线系前 6 条谱线的修正值如表 2.5-2 所示。

表 2.5-2 波长修正值

氢谱 线	H α	H β	H γ	H δ	H ϵ	H ζ
$\Delta\lambda$ (nm)	0.1 81	0.13 6	0. 121	0.11 6	0.11 2	0 .110

实验仪器

实验用光栅光谱仪为 Omni- λ 300 型，由光栅单色仪、数据采集系统、高压稳压电源、光电倍增管探测器以及包含氢、氦、氩、氖、汞放电管的多组放电灯组成。连接方式如图 2.5-2 所示。

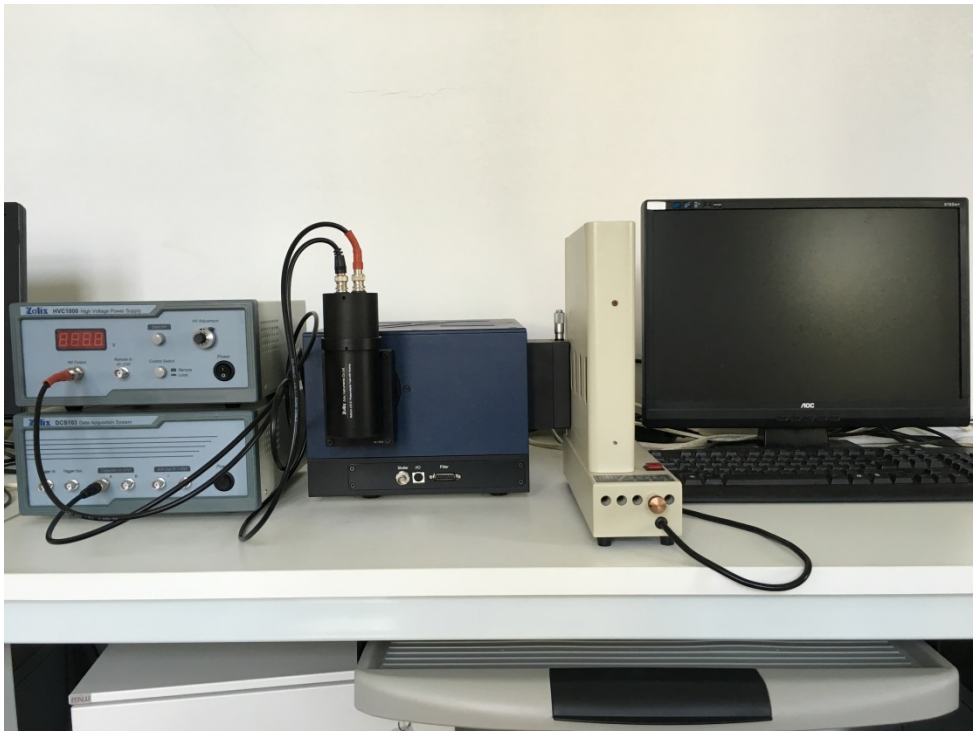


图 2.5-2 光栅光谱仪连接图

图 2.5-3 为 **Omni-λ300** 单色仪结构图。

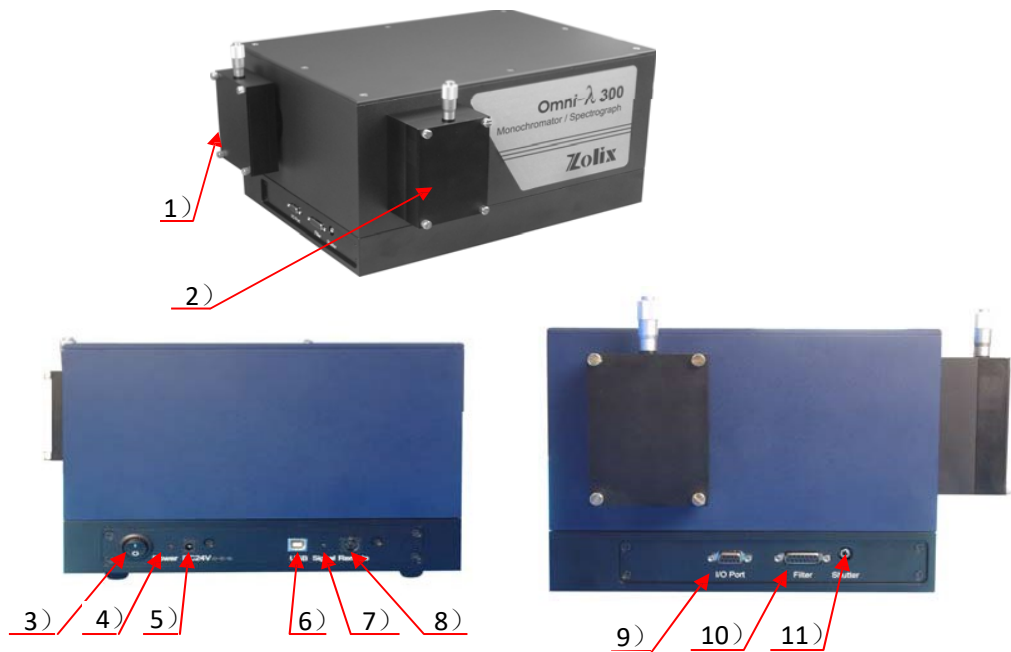
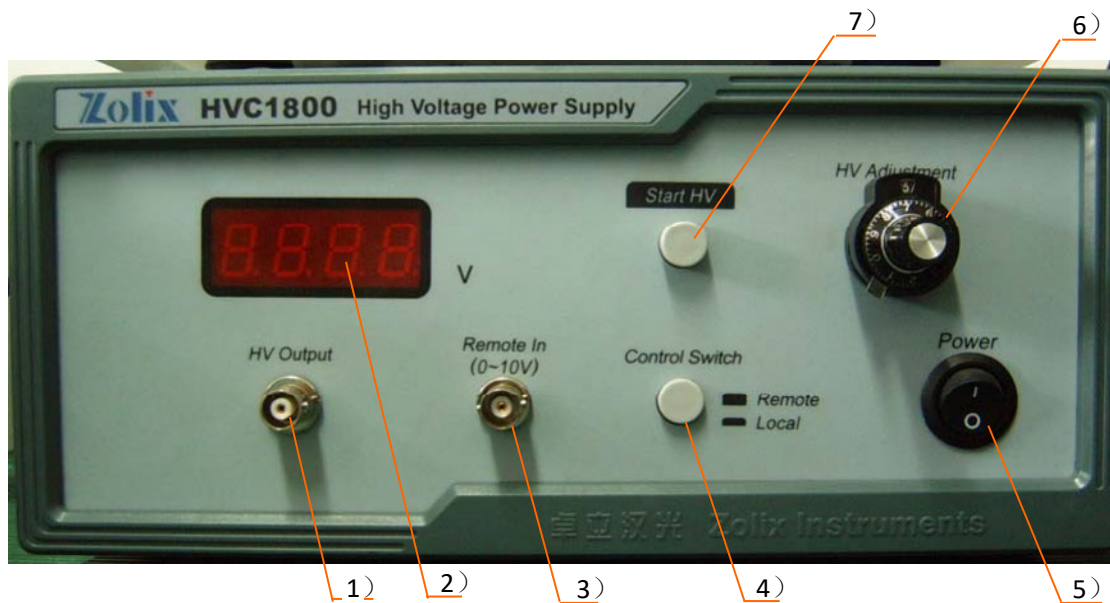


图 2.5-3 **Omni-λ300** 单色仪结构图

1) 出射狭缝, 2) 入射狭缝, 3) 电源开关, 4) 电源指示灯, 5) 电源输入 DC24V (必需使用 Zolix 专用适配器), 6) USB 接口, 7) 信号指示灯 (通讯时闪烁), 8) 微控制器接口: 用于连接微控制, 也可连接专用 线缆与 PC 机连接, 或为 RS232 接口使用, 9) I/O 口: 客户用输入/输出口, 可用 PC 控制及查询各口状态, 10) 滤光片轮接口, 11) 快门接口

图 2.5-4 为 HVC1800 高压稳压电源。



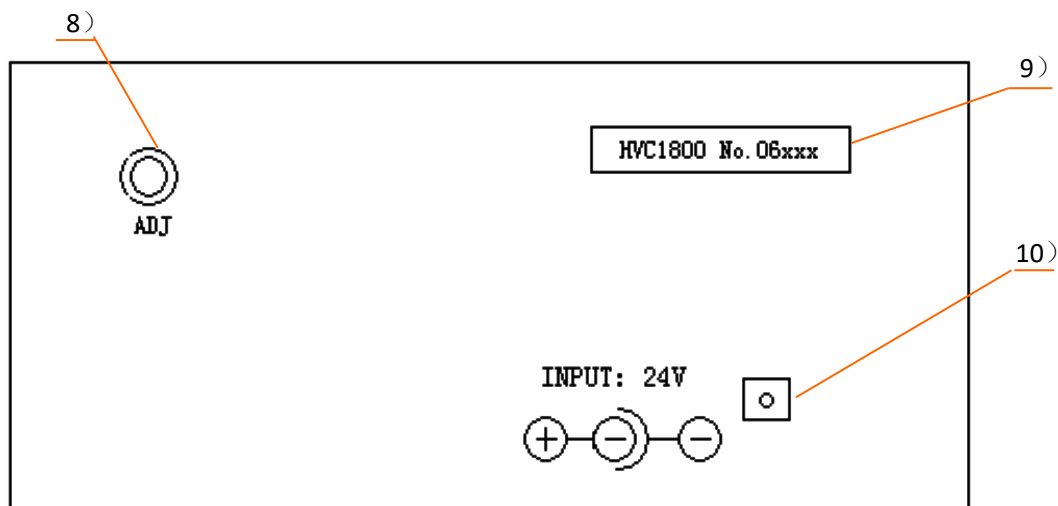


图 2.5-4 为 HVC1800 高压稳压电源

1) **HV Output** 高压信号输出 BNC 接口: 输出高压 0~1800V, 2) 电压指示: 3 1/2 LED 显示, 3) **Remote In** 外部控制电压信号输入 BNC 接口: 0~10V, 4) **Control Switch**: 弹起为外部控制, 按下为本机控制方式, 5) **Power** 电源开关, 6) **HV Adjustment** 电压调节旋钮: 调节输出高压电压的大小, 7) **Start HV** 打开和关闭高压开关: 按下为输出高压, 弹起不输出高压电压信号, 8) **ADJ** 最大输出电压控制电位器, 9) 产品出厂编号, 10) 24V 电源适配器输入插口

由光源发出的复合光通过入射狭缝投射到准直物镜上, 形成平行光束投射到光栅上, 经色散后的光通过聚焦镜, 成像在出射狭缝处。当光栅按逆时针方向旋转时, 可以在出射狭缝面前得到按波长顺序排列的光谱。把仪器出射狭缝开启一定的宽度, 此时通过出射狭缝的光束只是光谱宽度很小的一束单色光, 这就是单色仪能够把复合光色散分解为单色光的简单原理, 如图 2.5-5。

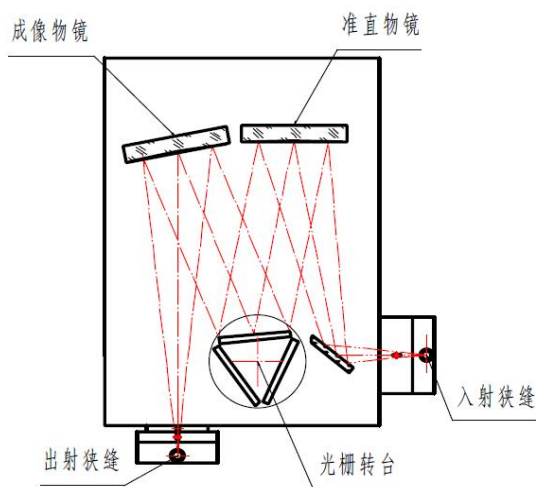


图 2.5-5 光栅光谱仪反射原理图

在光栅光谱仪中常使用反射式闪耀光栅。如图 2.5-6 所示，锯齿形是光栅刻痕形状。现考虑相邻刻槽的相应点上反射的光线。PQ 和 P'Q' 是以 I 角入射的光线。QR 和 Q'R' 是以 I' 角衍射的两条光线。PQR 和 P'Q'R' 两条光线之间的光程差是 $b(\sin I + \sin I')$,

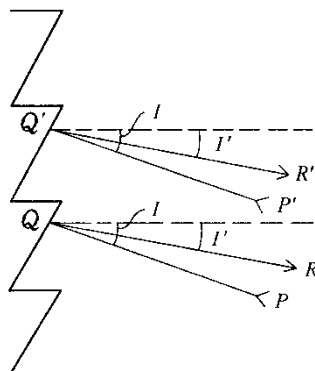


图 2.5-6 闪耀光栅示意图

其中 b 是相邻刻槽间的距离，称为光栅常数。当光程差满足光栅方程

$$b(\sin I + \sin I') = k\lambda, \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

时，光强有一极大值，或者说将出现一亮的光谱线。

对同一 k ，根据 I 、 I' 可以确定衍射光的波长 λ ，这就是光栅测量光谱的原理。闪耀光栅将同一波长的衍射光集中到某一特定的级 k 上。

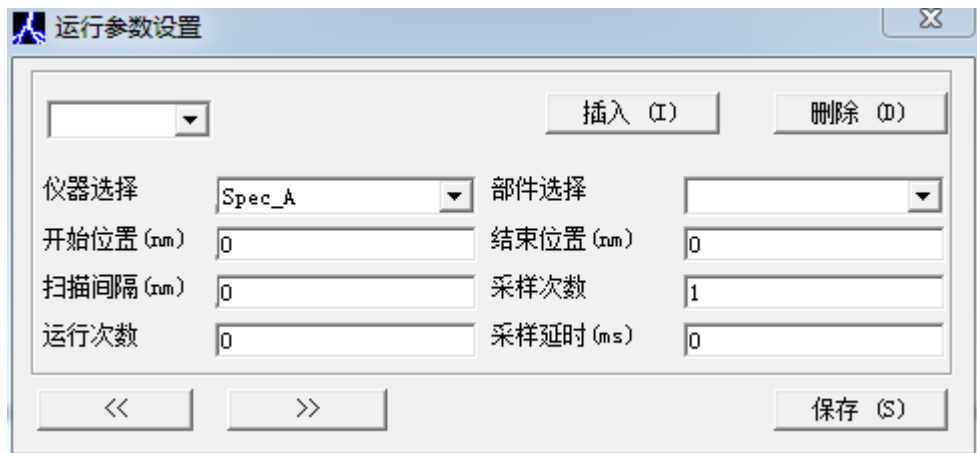
为了对光谱扫描，将光栅安装在转盘上，转盘由电机驱动，转动转盘，可以改变入射角 I ，改变波长范围，实现较大波长范围的扫描，软件中的初始化工作，就是改变 I 的大小，改变测试波长范围。

实验内容

- 1、开机。打开单色仪、高压电源、数据采集器、计算机、灯源。
- 2、在桌面上打开“ZolixScan”软件。请确认软件右下角侧提示信息处显示“SBP 和 DCS 都连接成功”



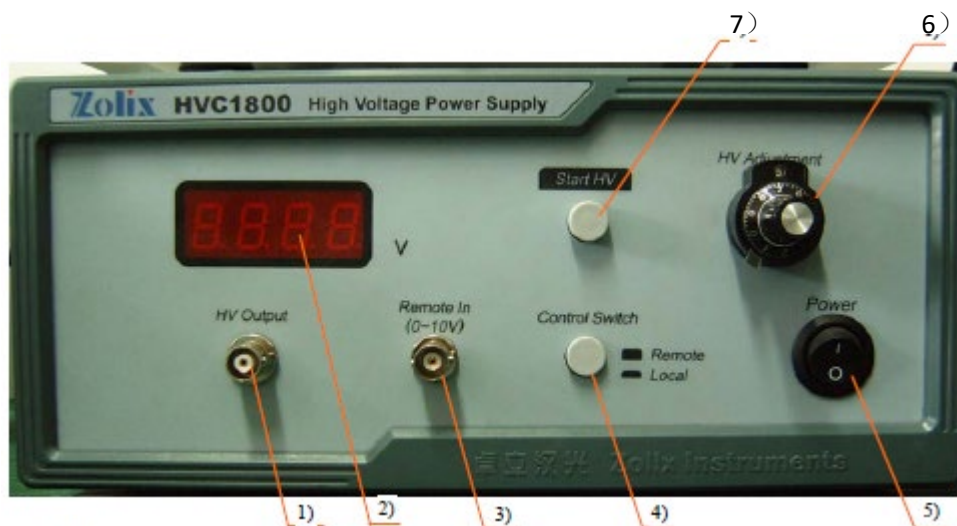
3、打开设定-运行参数。打开运行参数对话框。



4、点击“插入”，仪器选择“spec_A”，部件选择“1”，开始位置和结束位置根据不同的光源而定，扫描间隔选择“1”，采样次数“1”，运行次数“1”，采样延时“0”。点击“保存”。左下角会显示具体的运行参数。

运行参数设置										
序	仪器名称	光栅	起始位置	结束位置	采集间隔	采样延时	采样次数	运行次数	峰值位置	半波宽
1	Spec_A	1	200.00	800.00	1.00	0	1	1	0.000000	0.00

5、调高压。



按一下 4，再按一下 7，此时面板 2 上会有示数，调节 6 旋钮，将高压调到 500V。

6、点击软件上方的图标“扫描”。



7、结束，得到光谱。点击编辑-查看曲线数据，找到其中纵坐标最大值，即为对应的光源谱线。

数据处理

- 1、将氢谱线空气中的波长修正为真空波长。
- 2、由（2.5-2）式计算各谱线的里德伯常数 R_H ，求 R_H 的平均值。
- 3、由（2.5-6）式计算普适里德伯常数 R_∞ ，并与推荐值比较，求相对误差。

注意事项

- 1、光谱仪是精密贵重仪器，需倍加爱护，单色仪和电箱不得擅自打开，狭缝调节须小心，不可用力拧。
- 2、氢灯等放电管都用了高压电源，使用时务必注意安全。换灯前先关闭电源，再拨旋钮。
- 3、仪器断电和先启动软件再给仪器通电，均可能造成波长混乱。此时应关闭软件，在先给仪器通电情况下，对仪器重新初始化。
- 4、实验中应采取防噪声和干扰的措施。例如，实验室尽量暗一些，防止实验桌的振动，狭缝勿开太大，对供电电源进行稳压等。

预习思考题

- 1、光源的位置不同，是否得到不同的谱图？是否影响波长测量的准确度？
- 2、测量中对入射狭缝和出射狭缝宽度有何要求？两狭缝的宽度是否要相同？

实验问答题

- 1、氢光谱巴尔末线系的极限波长是多少？
- 2、谱线计算值具有唯一的波长，但实测谱线有一定宽度，其主要原因是什么？

参考资料

[1] 杨福家, 原子物理, 高等教育出版社, 1990: 62

[2] 戴乐山等, 近代物理实验, 复旦大学出版社, 1995: 100

[3] 北京卓立汉光仪器有限公司, Omni- λ 300 系列光栅光谱仪使用说明书,

2007