

里德伯常数的测定

氢原子的光谱按波长（或波数）大小的排列次序上显示出简单的规律性，测量氢灯各光谱线的波长值可以了解原子的能级结构。本实验用分光计测量氢原子的光谱线波长，并通过巴尔末公式推算里德伯常数。

原理

氢原子的光谱线在可见光区共有四条，分别用 H_α （红线） H_β （蓝绿线） H_γ （青线）和 H_δ （紫线）记号来标志。他们的波数 ν （波长 λ 的倒数）可以准确地用实验公式

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

表示，式中 n 是大于 2 的整数，即 3, 4, 5, ... 每一个数代表一条谱线，而 R_H 是一个实验常数，称为里德伯常数。式（1）就是著名的巴尔末公式。若利用分光计准确的测定上述四条谱线的波长，并分别代入（1）式，即可由实验方法确定里德伯常数。此外，根据玻尔关于原子构造的量子假设，里德伯常数与原子内部若干微观量和有关物理普适常数的关系是

$$R_H = \frac{e^4}{8c\epsilon_0^2 h^3} \frac{m}{\left(1 + \frac{m}{M_H}\right)} \quad (2)$$

式中 e 为电子电荷， m 为电子质量， M_H 为氢原子核的质量， $\frac{m}{M_H} = \frac{1}{1836.5}$ ， c 为光在真

空中的传播速度， ϵ_0 为真空介电常数， h 为普朗克常数。由此算出里德伯常数的理论值

$$R_H = 1.09678 \times 10^7 / m$$

光栅衍射

有大量等宽间隔的平行狭缝构成的光学元件成为光栅。设光栅的总缝数为 N ，缝宽为 a ，缝间不透光部分为 b ，则缝距 $d = a + b$ ，称为光栅常数。按夫琅和费光栅衍射理论，当一束平行光垂直入射到光栅平面上时，通过不同的缝，光要发生干涉，但同时，每条缝又都要发生衍射，且 N 条缝的 N 套衍射条纹通过透镜后将完全重合。如图 1 所示，当衍射角 θ 满足光栅方程 $d \sin \theta = k\lambda$ ($k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$) 时，任何两缝所发出的两束光都干涉相长，形成细而亮的主极大明条纹。

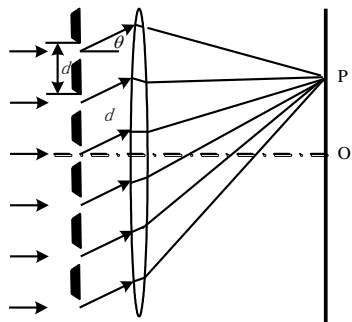


图1 光栅衍射光路图

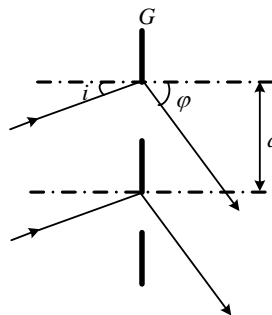


图2 斜入射时光栅的衍射

若入射光束不是垂直入射至光栅平面（图 2），则光栅的衍射光谱的分布规律将有所变化。理论指出：当入射角为 i 时，光栅方程变为

$$d (\sin\theta \pm \sin i) = k\lambda \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots), \quad (2)$$

式 (2) 中，+ 号表示衍射光与入射光在法线同侧，- 号则表示衍射光与入射光位于法线异侧。若只考虑一级衍射，则

$$\lambda = \frac{d(\sin\theta_{+1} + \sin\theta_{-1})}{2}$$

实验内容

- 1、用氢气放电管作为光源，分别测出氢原子三条谱线 (H_α , H_β , H_γ) 所对应的衍射角 φ_α 、 φ_β 、 φ_γ ，利用光栅衍射方程计算波长，求得相应的波长 λ_α ， λ_β ， λ_γ （人眼对 H_δ 线很不灵敏，故不作测量）。其中所使用光栅的光栅常数由实验室提供。
- 2、每组数据重复测量 6 次，利用式 (1) 计算里德伯常数的实验值。实验中所用的光栅常数为 $3.333 \times 10^{-3} \text{mm}$ 。
- 3、写出里德伯常数的实验结果。

表一

λ	+1 级读数		-1 级读数		零级读数	
	1 窗口读数	2 窗口读数	1 窗口读数	2 窗口读数	1 窗口读数	2 窗口读数
红 线 (λ_α)	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

蓝线和青线同上。由表一可以分别计算这三根谱线的衍射角

波长及里德伯常数见表二。

表二

	$\varphi \pm \sigma_\varphi (^\circ)$	$\lambda \pm \sigma_\lambda (\text{Å})$	$R_H \pm \sigma_{R_H} (m^{-1})$
α			
β			
γ			

R_H 的平均值及标准偏差为

$$R_H \pm \sigma_{\hat{R}} = (\quad) \times /m$$

思考题

1. 氢原子在可见区、红外区、紫外区的所有谱线可统一用一个简单的公式表示：

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

式中 $n_{oi}=1, 2, 3, \dots$; $n=n_{oi}+1, n_{oi}+2, \dots$ 。根据什么原则来选定各氢光谱线的 n 的可能

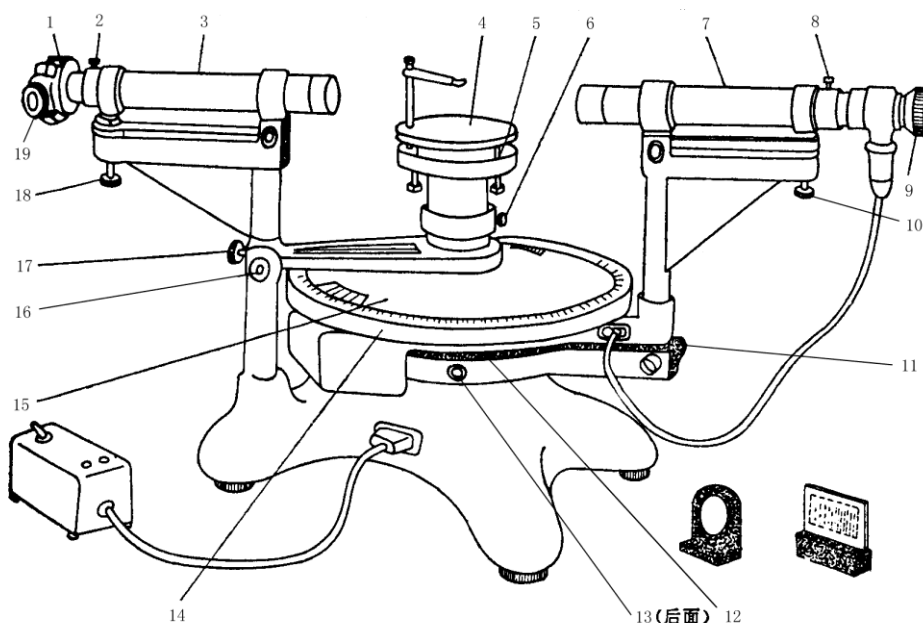
值？又怎么来判别某个 n 值的可能值是正确值？ n_{oi} 又怎么求得呢？（提示：可作 $\tilde{\nu} - \frac{1}{n^2}$ 图

线来判断所选定 n 的正确性及求得 n_{oi} 。）

2. 光谱中若出现不属于氢的谱线，应如何判断？

【附录】

光学测角仪



- | | | | |
|------------------|------------------|-----------------|--------|
| 1-狭缝装置; | 2-狭缝装置锁紧螺钉; | 3-平行光管镜筒; | 4-载物台; |
| 5-载物台调平螺钉 (3 只); | 6-载物台锁紧螺钉; | 7-望远镜镜筒; | |
| 8-目镜筒锁紧螺钉; | 9-目镜视度调节手轮; | 10-望远镜光轴仰角调节螺钉; | |
| 11-望远镜方位微调螺钉; | 12-转座与度盘止动螺钉; | 13-望远镜止动螺钉; | |
| 14-度盘; | 15-游标盘; | 16-游标盘微调螺钉; | |
| 17-游标盘止动螺钉; | 18-平行光管光轴仰角调节螺钉; | 19-狭缝宽度调节手轮 | |

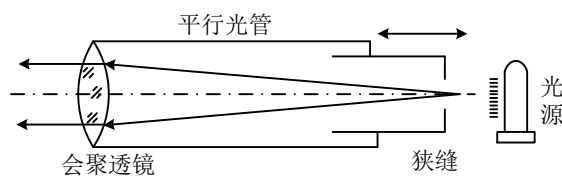
附图 1 JJY-1 型分光计外形图

光学测角仪又称分光计，是一种精密测量平行光线偏转角的光学仪器，它常被用于测量棱镜顶角、光波波长和观察光谱等。

一. 结构

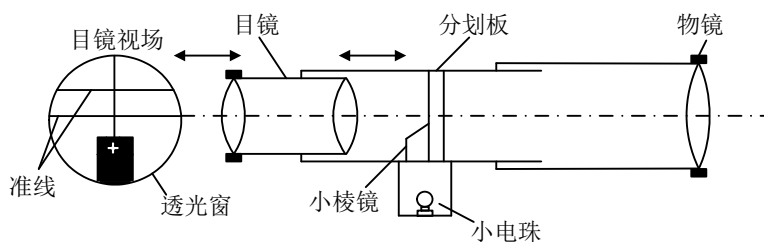
光学测角仪的型号很多，结构基本相同，都有四个部件组成：平行光管、自准直望远镜、载物小平台和读数装置（参阅附图 1）。分光计的下部是一个三脚底座，中心有一个竖轴，称为分光计的中心轴。现将 JJY-1 型分光计介绍如下：

(1) 平行光管。管的一端装有会聚透镜，另一端内插入一套筒，其末端为一宽度可调的狭缝。如附图 2 所示。当狭缝位于透镜的焦平面上时，就能使照在狭缝上的光经过透镜后成为平行光。

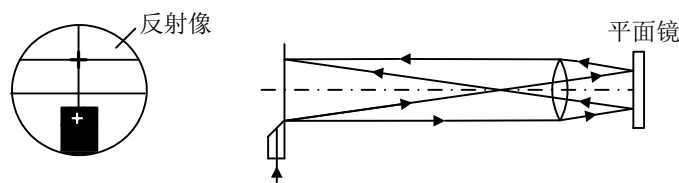


附图 2 平行光管

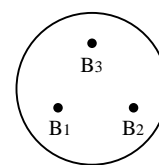
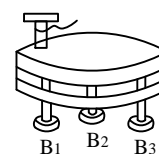
(2) 自准直望远镜 (阿贝式). 阿贝式自准直望远镜与一般望远镜一样具有目镜、分划板几物镜三部分. 分划板上刻的是“十”形的准线, 在边上粘有一块 45° 全反射小棱镜, 其表面上涂了不透明薄膜, 薄膜上刻了一个空心十字窗口, 小电珠光从管侧射入后, 调节目镜前后位置, 可在望远镜目镜视场中看到附图 3- (a) 中所示的景象. 若在物镜前放一平面镜, 前后调节目镜 (连同分划板) 与物镜的间距, 使分划板位于物镜焦平面上时, 小电珠发出透过空心十字窗口的光经物镜后成平行光射于平面镜, 反射光经物镜后在分划板上形成十字窗口的像. 若平面镜镜面与望远镜光轴垂直, 此像将落在“十”准线上部的交叉点上, 如附图 3- (b) 所示.



(a)



(b)



附图 3 自准望远镜

附图 4 载物台

(3) 载物小平台. 载物小平台用以放置待测物体, 台上有一弹簧压片夹, 用以夹紧物体, 台下有三个螺丝 B_1 、 B_2 、 B_3 , 可调节平台水平, 如附图 4 所示.

(4) 读数装置. 读数装置由刻度圆盘和沿圆盘边相隔 180° 对称安置的两个游标 T 、 T' 组成. 刻度圆盘分成 360° , 最小分度为半度 ($30'$), 小于半度的读数, 利用游标读出. 角游标读数方法与一般游标相同 (类似于游标卡尺读取数据方法). 注意: 如果游标刻度线与主尺刻度线对齐, 中间会有一根亮线将两者联在一起.

两个游标对称放置, 是为了消除刻度盘中心与分光计中心轴线之间的偏心差, 测量时, 要同时记下两游标所示的读数.

由于仪器中心轴和度盘刻度中心在制造及装配时, 不可能完全重合, 且轴套之间也总存在间隙, 故望远镜的实际转角 φ 与刻度盘读数窗上读得的角度 θ 不尽一致, 如附图 5 所示. 图

附图 5 读数装置

中, O 为转轴中心, O' 为度盘刻度中心, φ 为望远镜实际转角, θ_1 及 θ_2 分别为从游标读数窗口读出的角度值. 这种测角仪器的“偏心差”上一种系统误差一般通过安置在转轴直径上的两个对称的游标读数窗来消除. 显然, 从附图 6 所示的几何关系可知

$$\varphi + \angle 1 = \theta_1 + \angle 2,$$

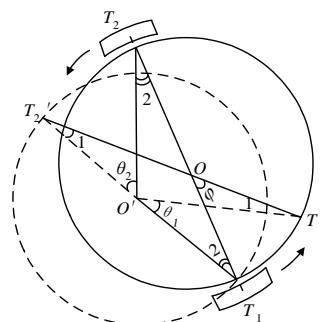
$$\varphi + \angle 2 = \theta_2 + \angle 1,$$

两式相加得

$$2\varphi + (\angle 2 + \angle 1) = \theta_1 + \theta_2 + (\angle 1 + \angle 2)$$

故 $2\varphi = \theta_1 + \theta_2$

$$\varphi = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$$



附图5 偏心差的示意及消除

二. 光学测角仪调整要求和方法

正式使用光学测角仪前，必须按下列程序进行调整：

(1) 望远镜和载物台粗调。

- 1、用眼睛从仪器侧面观察望远镜光轴、平行光管光轴平行，载物台面水平。
- 2、调节目镜，使得目镜视场中能清晰地看清“十”准线。
- 3、调节目镜（连同分划板）与物镜间距，使分划板位于物镜焦平面上，此时视场中可同时看清“十”准线及“+”字反射像，（且使两者无视差）。
- 4、将双面镜放置在载物台上，其中一边对准一个底角螺丝，另外一边位于两个螺丝之间。
- 5、转动载物台，双面镜两面反射的十字反射像均能看到。（不用管在何位置）。

(2) 望远镜和载物台细调。

- 1、望远镜轴与中心轴是否垂直，可根据反射“+”字像是否位于“十”准线最上面水平上来判断。因为望远镜和载物台均可能不平，因此两者必须协同调节。调节方法是“逐次逼近各半调节法”。
如附图6所示。由于调整时双面镜总是放在载物台上，因此只要转动载物台使双面镜随同转动，反射“+”字像也将随着发生相应的移动。在双面镜旋转180°前、后均能看到准线及“+”字反射像，但它们又相互错开的情况下，即可先调节望远镜轴的仰角螺丝以消除错开距离的一半 $h/2$ ，而另一半则可调节载物台位于双面镜两侧的螺丝来消除，使“+”字反射像落在“十”准线的上交点上。反复进行调整直至载物台每转过180°，反射“+”字像都与准线上部交点重合为止。
- 2、将载物台上双面镜转90度，只调节一直未动的，与双面镜对齐的螺丝，使得反射“+”字像再次与准线上部交点重合。（其它螺丝包括望远镜仰角螺丝都不要动）。此时即可认为望远镜光轴已垂直于中心轴了。固定望远镜倾斜紧定螺丝，并以此作为以后调节其他部分的基准。

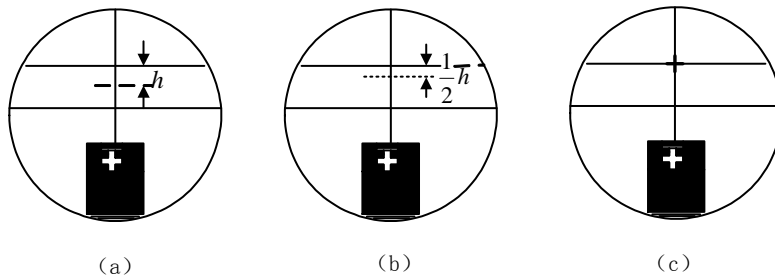
(3) 调整平行光管产生平行光。

- 1、首先从侧面和俯视两个方向用目测法把平行光管轴大致调节到与望远镜光轴相一致：
- 2、从望远镜中进行观察狭缝像，松开平行光管上的狭缝锁紧螺钉，前后移动狭缝，使得狭缝像清晰，此时狭缝位于透镜的焦平面上，产生平行光；调节平

行光管的倾斜度，使狭缝竖直，中点与准线中心相重合。将狭缝锁紧螺钉固定。

3、转动狭缝宽度调节手轮，调节缝宽约为 1 mm。

(4) 将光栅放置在载物台上，光栅面垂直于望远镜轴线。此时即可正式测量。



附图 6 逐次逼近各半调节法调整望远镜