

实验名称：衍射光栅

学生姓名：张耕嘉

学号：2313725

一、实验目的：

- 1、了解光栅的分光特性。
- 2、测量光栅常数。

二、实验原理：（文字简述实验原理、原理公式、光路图）

1、狭缝S处于透镜L₁的焦平面上，并认为它是无限细的；G是衍射光栅，它有N个宽度为a的狭缝，相邻狭缝间不透明部分的宽度为b。如果自透镜L₁出射的平行光垂直照射在光栅上，透镜L₂将与光栅法线成θ角的光会聚在焦平面上的P点。光栅在θ方向上有干涉极大的条件为

$$(a + b)\sin\theta = k\lambda$$

这就是垂直入射条件下的光栅方程，式中，k为光谱的级次、λ是波长、θ是衍射角、(a + b)是光栅常量。光栅常量通常用d表示，d = a + b。

当入射光不是垂直照射在光栅上，而是与光栅的法线成φ角时，光栅方程变为

$$d(\sin\phi \pm \sin\theta) = k\lambda$$

式中“+”代表入射光和衍射光在法线同侧，“-”代表在法线两侧。光栅的衍射角θ仍定义为与光栅表面法线的夹角。

在复色光以相同的入射角照射到光栅，不同波长的光对应有不同的角，也就是说在经过光栅后，不同波长的光在空间角方向上被分开了，并按一定的顺序排列。这就是光栅的分光原理。

2、下表为汞灯谱线的波长。

波长/nm	579.1	577.0	546.1	491.6	435.8	407.8	404.7
颜色	黄		绿	深绿	蓝	紫	
相对强度	强	强	强	弱	强	弱	强

3、在斜入射的情况下，光栅法线两侧同级光谱的衍射角分别为

$$\begin{cases} \sin\phi - \sin\theta_- = -\frac{k\lambda}{d} \\ \sin\phi + \sin\theta_+ = \frac{k\lambda}{d} \end{cases}$$

两式相减，并考虑到 $|\theta_+ - \theta_-| = \phi$ 有

$$\sin \frac{\theta_+ - \theta_-}{2} \cos \frac{\phi}{2} = \frac{k\lambda}{d}$$

当φ很小时， $\cos \frac{\phi}{2} \approx 1$ ，因此，

$$\sin \frac{\theta_+ - \theta_-}{2} = \frac{k\lambda}{d}$$

4、定值误差： $\frac{|\lambda_{测} - \lambda_{真}|}{\lambda_{真}} \times 100\%$

5、角色散： $D = \frac{|\Delta\phi|}{2.1nm} = \frac{|\phi_1 - \phi_2|}{2.1nm}$

三、实验仪器用具：

分光仪、平面透射光栅、平面反射镜、低压汞灯。

四、实验步骤或内容：(文字简要说明)

1. 调节分光仪

- ① 目测粗调。
- ② 利用自准法将望远镜调焦于无限远。
- ③ 用各半调节法使望远镜的光轴与仪器的转轴垂直。
- ④ 调节平行光管使之出射平行光，并且其光轴和仪器转轴垂直。

2. 调节光栅

由于在实验中将用垂直入射的光栅方程式 $(a+b)\sin\theta=k\lambda$ 作为测量公式，因此放置在载物台上的光栅必须满足下列条件：

- (1) 平行光垂直照射在光栅表面。
- (2) 光栅的刻痕垂直于刻度盘平面，即与仪器转轴平行。
- (3) 狭缝与光栅刻痕平行。

将光栅按图 4-4-2 所示的方式放置在载物台上。光栅平面与 V_1 、 V_3 的连线垂直。用汞灯照亮狭缝，使望远镜的叉丝对准狭缝像。这样望远镜的光轴与平行光管的光轴共线。将游标盘与载物台锁定在一起，转动载物台，找到平面光栅反射回来的叉丝像，调节 V_1 、 V_3 使叉丝像与叉丝重合，随即锁住游标盘，并保持 V_1 、 V_3 不动。这时就达到光栅与入射的平行光垂直的要求。

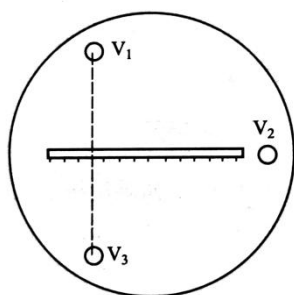


图 4-4-2 光栅在载物台上位置

转动望远镜观察位于零级谱两侧的一级或二级谱线，调节 V_2 和稍微旋转狭缝，使两侧的谱线均与叉丝的中心横线垂直，并上下对称。这时光栅的刻痕就与仪器转轴平行，同时狭缝也与刻痕平行。

在完成了上述调节后，表面上达到了测量所需的所有要求，但有一个因素没有考虑在内，这就是光栅。实验中所用的透射光栅是做在一个全息干板上，全息干板基片玻璃的两个表面不可能完全平行，这时无论利用哪一个面来调节，都无法让平行光真正与光栅表面垂直，利用垂直照明的光栅方程测量显然是不合适的。如果基片玻璃两个表面之

间的夹角不知道，同时也无法利用光栅方程式 $d(\sin\varphi \pm \sin\theta) = k\lambda$ 。

从式子 $d(\sin\varphi \pm \sin\theta) = k\lambda$ 中可以知道，在斜入射的情况下，光栅法线两侧的同一级光谱的衍射角分别为

$$\left. \begin{aligned} \sin\varphi - \sin\theta_- &= -\frac{k\lambda}{d} \\ \sin\varphi + \sin\theta_+ &= \frac{k\lambda}{d} \end{aligned} \right\}$$

两式相减，并考虑到 $|\theta_+ - \theta_-| = \varphi$ 有

$$\sin\frac{\theta_+ - \theta_-}{2} \cos\frac{\varphi}{2} = \frac{k\lambda}{d}$$

当 φ 很小时, $\cos \frac{\varphi}{2} \approx 1$, 因此,

$$\sin \frac{\theta_+ + \theta_-}{2} = \frac{k\lambda}{d}$$

所以在实验中, 只要测量对应正负级光谱之间的夹角, 就可以减小这一因素对测量结果的影响。

3. 利用汞绿线测定光栅常量

测量汞光谱中绿线 $\lambda=546.1\text{nm}$ 的 ± 1 级光谱之间的夹角 $2\theta_1$, 利用

$$\sin \frac{\theta_+ + \theta_-}{2} = \frac{k\lambda}{d}$$

求出光栅常量。

4. 测定汞光谱中两条黄线的波长, 计算角色散。

五、实验数据记录及处理: (列表格记录实验数据, 标注单位, 注意有效数字, 计算过程, 误差分析)

1、测定光栅常量

波长	级数	衍射角位置			角度 $2\varphi_k$	无偏心差 角度 $2\varphi'_k$	光栅常数 d /nm
		读数窗	+k 级	-k 级			
546.1 nm	1	1 号窗	1° 40'	343° 08'	18° 32'	18° 32'	3384
		2 号窗	181° 42'	163° 10'	18° 32'		
546.1 nm	2	1 号窗	11° 20'	333° 44'	37° 36'	37° 38'	3384
		2 号窗	191° 19'	153° 39'	37° 40'		

$$d_1 = \frac{k_1 \lambda}{\sin \varphi_{k1}} = 3384 \text{ nm} \quad d_2 = \frac{k_2 \lambda}{\sin \varphi_{k2}} = 3384 \text{ nm}$$

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} = 3384 \text{ nm}$$

2、测定汞光谱中两条黄线的波长

汞黄线	级数	衍射角位置			角度 $2\varphi_k$	无偏心差 角度 $2\varphi'_k$	波长 λ / nm
		读数窗	+k 级	-k 级			
黄 1	2	1 号窗	318° 50'	338° 46'	19° 56'	19° 56'	576.8
		2 号窗	138° 52'	158° 48'	19° 56'		
黄 2	2	1 号窗	318° 48'	338° 47'	19° 59'	19° 59'	578.1
		2 号窗	138° 50'	158° 49'	19° 59'		

$$\lambda_1 = \frac{d \sin \varphi_1}{k} \approx 576.8 \text{ nm}$$

$$\lambda_2 = \frac{d \sin \varphi_2}{k} \approx 578.1 \text{ nm}$$

定值误差:

$$k_1 = \frac{|577.0 - 576.8|}{577.0} \times 100\% \approx 0.035\%$$

$$k_2 = \frac{|579.1 - 578.1|}{579.1} \times 100\% \approx 0.17\%$$

角色散:

$$D = \frac{|9^\circ 59.5' - 9^\circ 58'|}{2.1nm} \approx 0.00014rad/nm$$

六、实验结果及讨论（学习反馈）（实验结果分析，测量方法优缺点分析，实验中遇到的问题和如何解决的，或由于条件所限无法解决的问题，实验心得体会）

学习了如何测量光栅常数，并进行其他光的波长计算

实验结果的定制误差值较小，可认为测量比较准确

测量采用分光仪进行，实验精度高，误差小

实验可能存在的误差有：读数误差（偶然误差）、仪器存在误差（系统误差），由于仪器存在系统误差，实验误差不能被完全消除，可以进一步改进实验方法，获得更准确的数据