

实验名称：衍射光栅研究

学生姓名：张一萌

学号：2313636

一、实验目的：

- 1、了解光栅的分光特性
- 2、测量光栅常量

二、实验原理：（文字简述实验原理、原理公式、光路图）

从广义的角度来说，光栅就是在空间上具有周期性的栅状物，并作为衍射元件的光学元件。

从产生衍射的机制上，光栅可分为振幅型和相位型两种。振幅型光栅是利用栅状物的透过率（或反射率）对入射光振幅在空间上进行调制；相位型光栅是利用栅状物对入射光的相位在空间上进行调制。

通常在光谱仪器中所用的光栅是振幅型的。

振幅型光栅多为面光栅。根据振幅型光栅的形状又可分为平面光栅和凹面光栅。

目前常用的栅状物透过率有正弦型（理想的全息光栅）和二元型（平行、等宽、等间距的刻痕）两种。

振幅型光栅又分为透射和反射两种类型。

本实验使用的是透射型的全息光栅。

二元光栅的分光原理：

二元光栅是平行等宽、等间距的多狭缝。

狭缝 S 处于透镜 L_1 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 L_1 出射的平行光垂直照射在光栅上，透镜 L_2 将与光栅法线成 θ 角的光会聚在焦平面上的 P 点。

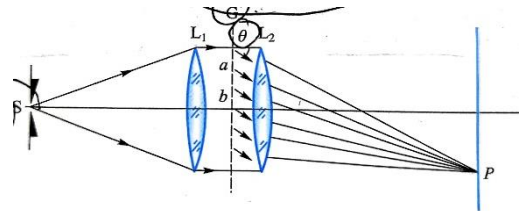


图 4-4-1 光栅的分光原理

光栅在 θ 方向上有主干涉极大的条件为

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

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时，而是与光栅的法线成 φ 角时，光栅方程变为

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

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。

当复色光以相同的入射角照射到光栅，不同波长的光对应不同的 θ 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。

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 $(a + b)(\sin\varphi \pm \sin\theta) = k\lambda$ ，如何解决这一问题？从式

$(a+b)(\sin\varphi \pm \sin\theta) = k\lambda$ 可以知道, 在斜入射的情况下, 光栅法线两侧同一级光谱的衍射角分别为

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

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

两式相减, 并且 $|\theta_+ - \theta_-| = \varphi$ 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。

实验使用的低压汞灯, 绿光波长为 546.1nm , 可根据此和上述公式来计算光栅常量。

三、实验仪器用具:

分光仪、平面透射光栅、半透半反镜、低压汞灯

四、实验步骤或内容:

1. 调节分光仪

按上次实验分光仪的调节与使用将分光仪调节到可以用于测量的状态。

2. 调节光栅

由于在实验中将用垂直入射的光栅方程式作为测量公式, 因此放置在载物台上的光栅必须满足以下条件:

- 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表面, 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, 使望远镜的分划板竖直中心线对准狭缝像。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 使叉丝像与分划板上端十字重合, 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。

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, 使两侧的谱线均与望远镜的分划板的中心横线垂直, 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。

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 、 ± 2 级光谱之间的夹角 $2\theta_1$ 和 $2\theta_2$, 利用式

$\sin\frac{\theta_+ + \theta_-}{2} = \frac{k\lambda}{d}$, 分别求出两个光栅常量, 并取它们的平均值作为测量结果。

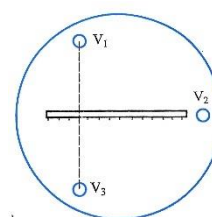


图 4-4-2 光栅在载物台上位置

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：

1、测定光栅常量

波长 /nm	级数	衍射角位置			角度 θ_+ + θ_-	无偏心 差角度 $\theta_+ + \theta_-$	光栅常量
		游 标 号	+k 级	-k 级			
546.1	1	1	31°24'	12°30'	18°54'	18°54'	$d_1 = \frac{k\lambda}{\sin \frac{\theta_+ + \theta_-}{2}} = \frac{1 \times 546.1 \text{ nm}}{\sin \frac{18^\circ 54'}{2}} \approx 3326 \text{ nm}$
		2	211°28'	192°34'	18°54'		
	2	1	40°56'	2°36'	38°20'	38°19'	$d_2 = \frac{k\lambda}{\sin \frac{\theta_+ + \theta_-}{2}} = \frac{2 \times 546.1 \text{ nm}}{\sin \frac{38^\circ 19'}{2}} \approx 3328 \text{ nm}$
		2	221°00'	182°42'	38°18'		

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{3326 \text{ nm} + 3328 \text{ nm}}{2} = 3327 \text{ nm}$$

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 $\theta_+ + \theta_-$	无偏心 差角度 $\theta_+ + \theta_-$	波长/nm
		游 标 号	+k 级	-k 级			
黄 1	2	1	42°2'	1°26'	40°36'	40°36'	$\lambda_{\text{黄}1} = \frac{d \sin \frac{\theta_+ + \theta_-}{2}}{k} = \frac{3327 \times \sin \frac{40^\circ 36'}{2}}{2} \approx 577.1 \text{ nm}$
		2	222°8'	181°32'	40°36'		
黄 2	2	1	42°5'	1°19'	40°46'	40°45'	$\lambda_{\text{黄}2} = \frac{d \sin \frac{\theta_+ + \theta_-}{2}}{k} = \frac{3327 \times \sin \frac{40^\circ 45'}{2}}{2} \approx 579.2 \text{ nm}$
		2	222°9'	181°25'	40°44'		

3、计算汞光谱中两条黄线波长的定值误差以及汞黄线处的角色散。

黄 1 波长 $\lambda_{\text{真}1} = 577.0 \text{ nm}$

黄 2 波长 $\lambda_{\text{真}2} = 579.1 \text{ nm}$

$$\text{定值误差 } \rho_{\text{黄}1} = \frac{\lambda_{\text{黄}1\text{测}} - \lambda_{\text{真}1}}{\lambda_{\text{真}1}} \times 100\% = \frac{577.1 - 577.0}{577.0} \times 100\% = 0.017\%$$

$$\text{定值误差 } \rho_{\text{黄}2} = \frac{\lambda_{\text{黄}2\text{测}} - \lambda_{\text{真}2}}{\lambda_{\text{真}2}} \times 100\% = \frac{579.2 - 579.1}{579.1} \times 100\% = 0.017\%$$

$$\text{角色散 } D = \frac{\Delta\theta}{\Delta\lambda} = \frac{\frac{(\theta_+ + \theta_-)}{2}_{\text{黄}2} - \frac{(\theta_+ + \theta_-)}{2}_{\text{黄}1}}{\lambda_{\text{黄}2} - \lambda_{\text{黄}1}} = \frac{\frac{40^\circ 45'}{2} - \frac{40^\circ 36'}{2}}{579.2 - 577.1} = 0.00062 \text{ rad/nm}$$

六、实验结果及讨论（学习反馈）

由于现实中几乎不可能出现完全平行的全息干板基片玻璃的两个表面，所以，通过测量对应正负级光谱之间的夹角，巧妙的减弱了这一不可抗因素实验结果的影响。

通过已知波长的绿线测量衍射光栅的光栅常量，这一方法运用了数学中的公式变换，通过实验测定了衍射光栅的光栅常量。

角色散的公式推导利用了数学求导公式计算，体现了数学公式在物理学上的应用。

同时，角色散及其公式也有鲜明的物理意义。

光学实验需要注意仪器的使用和维护。

分光仪结构复杂、构件精密、调节要求高，调整操作技术复杂，使用时必须按要求仔细进行调整，才能获得较高精度的实验结果。

分光仪作为精密的光学测量仪器，为得到相对准确的测量数据，需熟练掌握分光仪的调节方法。否则会影响整个实验的结果。