

实验 4 衍射光栅研究

一. 目的要求

1. 了解光栅的分光特性
2. 测量光栅常数

二. 引言

从广义的角度来讲, 所谓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, 光栅可以分为振幅型和位相型两种。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, 位相型光栅则是利用栅状物对入射光的位相在空间上进行调制。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。振幅型光栅又分透射和反射两种类型。本实验使用的是透射型的全息光栅。

光栅是光谱仪中重要的分光元件。在本书滤波片的研究实验中将使用的单色仪分光元件是闪耀光栅。

三. 原理

二元光栅是平行等宽、等间距的多狭缝, 它的分光原理如图 4-1 所示。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。光栅在 θ 方向上有干涉主极大的条为:

$$(a+b)\sin\theta = k\lambda \quad (4.1)$$

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、 $(a+b)$ 是光栅常数。光栅常数通常用 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:

$$d(\sin\varphi \pm \sin\theta) = k\lambda \quad (4.2)$$

式中“+”代表入射光和衍射光在法线同侧, 用“-”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 θ 角, 也就是说在经

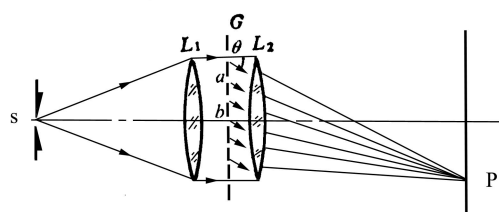


图 4-1 光栅的分光原理

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。

实验使用的低压汞灯，波长见表 4-1

表 4-1 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

四. 仪器用品

分光仪、平面透射光栅、平面反射镜、低压汞灯。

五. 实验内容

1. 调节分光仪

按照实验 3 分光仪的调节与使用方法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 (4-1)，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，

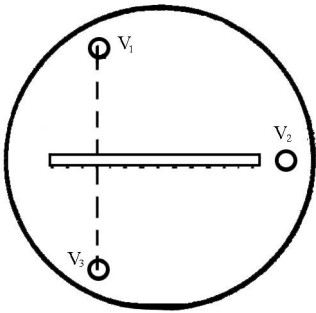


图 4-2 光栅在载物台上位置

- (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 4-2 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象。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象，调节 V_1 、 V_3 使叉丝象与叉丝重合，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。

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，但有一个因数没有考虑在内，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。这时无论利用那一个面来调节，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(4-2)。如何解决这一问题，从式(4-2)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，

$$\begin{aligned}\sin \varphi - \sin \theta_- &= -\frac{k\lambda}{d} \\ \sin \varphi + \sin \theta_+ &= \frac{k\lambda}{d}\end{aligned}\quad (4.3)$$

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

$$\sin \frac{\theta_+ + \theta_-}{2} \cos \frac{\varphi}{2} = \frac{k\lambda}{d} \quad (4.4)$$

当 φ 很小时， $\cos \varphi/2 \approx 1$ ，因此，

$$\sin \frac{\theta_+ + \theta_-}{2} = \frac{k\lambda}{d} \quad (4.5)$$

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

3. 利用汞绿线测定光栅常数

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(4.5)，分

别求出两个光栅常数，并取它们的平均值作为测量结果。

4. 测定汞光谱中两条黄线的波长。计算角色散。

六. 考查题

1. 为正确测量光栅的衍射角，仪器装置必须满足那些要求？
2. 那些现象可以说明仪器装置达到了要求？
3. 解释光栅为什么需按图 4-2 的方式放置。
4. 在调整光栅平面垂直平行光时，能否用各半调节法，使光栅的反射叉丝象与叉丝重合？

七. 思考题

1. 实验中如果没按要求将光栅放置在仪器转轴位置，即仪器的转轴没有通过光栅平面时，对测量衍射角有影响吗？如有影响应采取什么方法解决？
2. 试用实验中所用的光栅，设计一个实验装置。要求这个实验装置能够使钠黄光的两个波长（钠黄光的波长为 589.0nm 和 589.6nm ）在成像物镜的焦上分开 1mm 。画实验装置

光路图，并注明各元件的参数，给出计算过程。

3. 光栅的角色散与衍射角成正比。而由式(4-2)又可知在斜入射时,可以增大衍射角(仅某一方向上)。现设计一个实验,利用实验中的光栅,测量汞黄线处的角色散与入射角的关系。当入射角变化范围是 $0^{\circ}\sim 45^{\circ}$, 所用分光仪测量精度至少到多少?

八. 数据处理

1. 测定光栅常数

波长 (nm)	级 数	衍射角位置			角度 $\theta_+ + \theta_-$	无偏心差 角度 $\theta_+ + \theta_-$	光栅 常数
		游标号	+k 级	-k 级			

$d =$ _____nm, 光栅刻痕密度_____条/mm

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							
黄 2							

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