

## 实验 4-12 衍射光栅

衍射光栅是一种重要的分光元件。它不仅用于光谱学,还广泛用于计量、光通信、信息处理等方面。光栅分为透射光栅和反射光栅两类,本实验使用的是透射光栅;它相当于一组数目极多的等宽、等间距的平行排列的狭缝。

目前使用的光栅主要通过以下方法获得:(1)用精密的刻线机在玻璃或镀在玻璃上的铝膜上直接刻划得到;(2)用树脂在优质母光栅上复制;(3)采用全息照相的方法制作全息光栅。实验室通常使用复制光栅或全息光栅。

### 【实验目的】

1. 观察光栅衍射现象,了解衍射光栅的主要特性。
2. 掌握在分光计上用透射光栅测定光波波长、光栅常数及角色散的方法。

### 【仪器用具】

分光计、平行平面反射镜、汞灯、透射光栅。

### 【实验原理】

#### 1. 光栅分光原理

如图 4-12-1,  $G$  为光栅,光栅刻线方向垂直于纸面。根据衍射理论,当一束平行光入射到光栅平面上时,则透射光按衍射规律向各方向传播,经透镜  $L$  会聚后,在透镜第二焦平面上形成一组亮条纹(又称光谱线)。各级亮纹产生的条件是:

$$d(\sin \theta \pm \sin i) = k\lambda \quad (k=0, \pm 1, \pm 2 \cdots) \quad (4-12-1)$$

(4-12-1)式称为光栅方程。式中  $d$  是光栅常数,  $\theta$  是衍射角,  $i$  是入射光线与光栅法线的夹角,  $k$  是光谱级次,  $\lambda$  是光波波长。括号中的正号表示入射光和衍射光在法线的同侧,而负号表示它们在法线的异侧。

如果入射光不是单色光,则由(4-12-1)式可知,除  $k=0$  外,其余各级谱级将按波长的次序依次排开。

当平行光垂直入射时,  $i=0$ ,光栅方程简化为

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

$$(4-12-2)$$

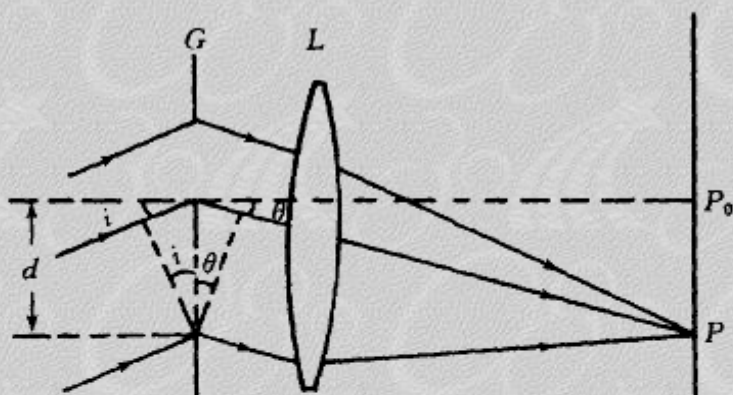


图 4-12-1

这时在  $\theta=0$  的方向上可以观察到中央谱线极强(称为零级谱线),其它级次的谱线则对称地分布在零级谱线的两侧。图 4-12-2 是汞灯光谱示意图。

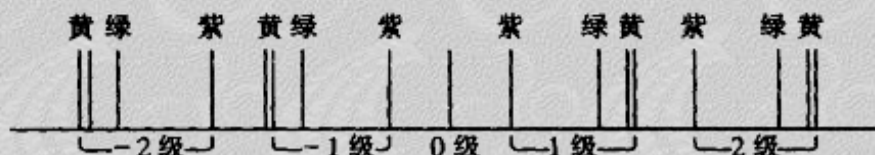


图 4-12-2

依据(4-12-2)式,用分光计测出各条谱线的衍射角  $\theta$ ,若已知入射光波波长,则可求得光栅常数  $d$ ;若已知光栅常数  $d$ ,则可求得入射光波长  $\lambda$ 。由于衍射角  $\theta$  最大不得超过  $90^\circ$ ,由(4-12-2)式可知某光栅能够测定的最大波长  $\lambda_m$  不能超过光栅常数  $d$ ,即  $\lambda_m < d$ 。

## 2. 光栅的基本特性

衍射光栅的基本特性有两个:一是角色散率,二是分辨本领。

(1) 角色散率。光栅的角色散率是指在同级光谱中两条谱线衍射角之差  $\Delta\theta$  与其波长差  $\Delta\lambda$  之比,即

$$D_\theta = \frac{\Delta\theta}{\Delta\lambda} \quad (4-12-3)$$

将(4-12-3)式微分得

$$D_\theta = \frac{\Delta\theta}{\Delta\lambda} = \frac{k}{d \cos \theta_k} \quad (4-12-4)$$

由上式可知,光栅的角色散率与光栅常数  $d$  成反比,与级次  $k$  成正比。但角色散率与光栅中衍射单元的总数  $N$  无关,它只反映两条谱线中心分开的程度,而不涉及它们是否能够分辨。当衍射角  $\theta_k$  很小时,(4-12-4)式中的  $\cos \theta_k \approx 1$ ,角色散率  $D_\theta$  可以近似看做常数,此时  $\Delta\theta$  与  $\Delta\lambda$  成正比,故光栅光谱称为匀排光谱。

(2) 分辨本领。分光仪器的分辨本领  $R$  通常定义为两条刚可被该仪器分辨开的谱线波长差  $\Delta\lambda$  去除它们的平均波长  $\lambda$ ,即

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \quad (4-12-5)$$

根据瑞利判据可求得光栅的分辨本领  $R$  的表达式为：

$$R = kN \quad (4-12-6)$$

上式说明光栅的分辨本领正比于有效使用面积内衍射单元总数  $N$  和光谱的级次  $k$ ，与光栅常数  $d$  无关。分辨本领  $R$  越大，表明刚刚能被分辨开的波长差  $\Delta\lambda$  越小，该光栅分辨细微结构的能力越高。

## 【实验内容】

### (一) 仪器调节

1. 参照实验 4-3，调节分光计至使用状态。
2. 调节光栅。分光计调节好后，将光栅置于载物台上，并进行下列调节：

(1) 调节光栅平面与平行光管光轴垂直。目的是使光栅平面平行于仪器主轴，并使入射光垂直于光栅平面，保证入射角为零。

调节方法：先把平行光管的狭缝照亮（光源为高压汞灯），转动望远镜，使其分划板叉丝竖线对准狭缝中央，并固定望远镜。然后把光栅如图 4-12-3 所示放置在载物台上，转动载物台，大致使光栅平面垂直于望远镜光轴。通过望远镜找到由光栅平面反射回来的十字像，调节载物台下的调平螺钉  $a_1$  或  $a_2$ ，用自准直法调节光栅平面严格与望远镜光轴垂直（只需对光栅一个表面进行调节，调节时，不能调动望远镜的倾斜度）。此时，通过望远镜应能看到如图 4-12-4 所示的图像。至此，光栅平面已与分光计的主轴平行，同时与入射光垂直。调好后，随即固定载物台。

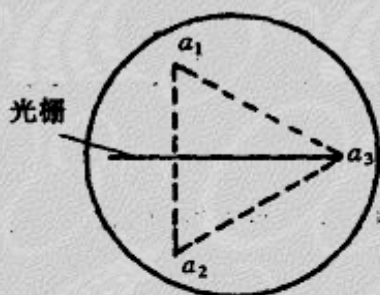
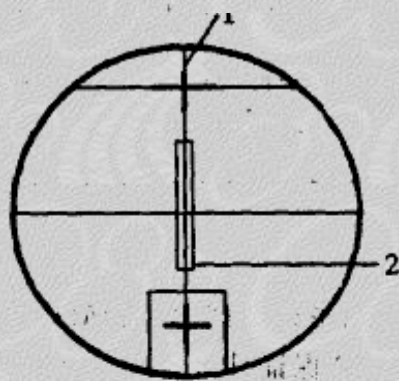


图 4-12-3



1. 十字反射像 2. 狭缝像

图 4-12-4

(2) 调节光栅使其刻线与仪器转轴平行。放松望远镜的制动螺钉，转动望远镜观察中央亮纹两侧的光谱线是否等高。若光栅刻线与仪器主轴不平行，则谱线不等高，这时可调节载物台下的调平螺钉  $a_3$ ，直到各条谱线等高为止，如图 4-12-5 所示。调后再检查光栅平面是否仍与平行光管光轴垂直，若有变化，则按上述两个步骤反复调节，直到两个条件均能满足为止。

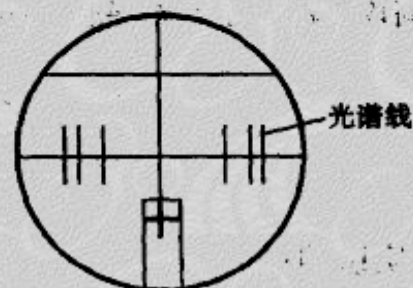


图 4-12-5

注意:光栅调好后,游标盘(连同载物台)应固定,测量时只转动望远镜(连同刻度盘),不再转动和碰动光栅。

### (二) 测定光栅常数

以汞灯的546.1 nm的绿光为已知波长,测出其  $k = \pm 1$  级的衍射角,重复测量三次,求  $\bar{d}$ 。注意+1级与-1级的衍射角相差不能超过几分,否则应重新检查入射角是否为零。

### (三) 测定未知光波波长及角色散率

以汞灯其它谱线(例如选其中的两条黄线)为未知波长。测出各谱线所对应的衍射角  $\theta$ ,重复测量三次,取平均值。将结果及前面所得到的  $d$  值代入(4-12-2)式,计算各谱线波长,与公认值比较,计算相对误差。再利用(4-12-3)式计算两条黄线的一级谱线的角色散率 ( $D_\theta$  的单位为 rad/nm)。

### (四)\* 观察分辨本领与光栅中衍射单元的总数 $N$ 的关系

用钠光灯代替汞灯照亮狭缝,调节缝宽直到在望远镜中能分辨钠光的两条一级谱线。调整光源位置,使谱线最亮。然后用一可变缝光阑,套在平行光管的物镜上,适当调节光阑的宽度,减少光栅的有效使用面积(即  $N$  减小),观察钠光两条黄色谱线随  $N$  的减小发生的变化,记录观察结果,并用读数显微镜测出这两条谱线刚能分辨时的狭缝光阑的宽度,由(4-12-5)和(4-12-6)式分别计算一级谱线的分辨本领  $R$ ,并进行比较。

## 【数据表格】

| 谱线 | 0级读数 |     | +1级读数 |     | -1级读数 |     | 衍射角 $\theta$ |
|----|------|-----|-------|-----|-------|-----|--------------|
|    | 游标1  | 游标2 | 游标1   | 游标2 | 游标1   | 游标2 |              |
| 绿  |      |     |       |     |       |     |              |
| 黄1 |      |     |       |     |       |     |              |
| 黄2 |      |     |       |     |       |     |              |

## 【习题】

1. 若光栅平面平行于仪器主轴但不垂直于平行光管光轴,能否按(4-12-2)式测量  $d$  和  $\lambda$ ? 用(4-12-2)式要保证什么实验条件? 实验中如何实现?
2. 实验中如果两边谱线不等高,对测量结果有无影响? 如果光栅平面不通过仪器主轴(即光栅不放在  $a_1$ 、 $a_2$  两螺钉的中垂线上)对实验结果有无影响?
3. 仍然用本实验的分光计,换一个光栅常数相同但总刻线数目  $N$  更多的光栅,能否提高该套装置的分辨本领? 请说明理由。