

实验 44 光栅衍射

衍射光栅简称光栅，是利用多缝衍射原理使光发生色散的一种光学元件。它是一组数目极多、平行等宽、均匀排列的狭缝，通常分为透射光栅和反射光栅。1821 年夫琅禾费创制了用细金属丝制成的衍射光栅，并且用它测量了太阳光谱暗线的波长。后来他又在贴于玻璃表面的金箔上用金刚石刻画平行线做成色散更大的光栅。现代使用的光栅多是以刻线光栅为模版，复制于以光学玻璃为基板的薄膜上做成，也可用全息照相法制做。由于光栅衍射条纹狭窄细锐，分辨本领比棱镜高，所以常用光栅作为摄谱仪，单色仪等光谱仪器中的分光元件。

【预习重点】

- (1) 分光计的调节方法
- (2) 光栅衍射的基本规律，原子光谱的特征波长。
- (3) 光栅的主要参数（光栅常数、角色散）的测量方法。

【实验目的】

- (1) 了解光栅的分光作用原理，分析光栅光谱的特点，加深对光的干涉衍射的理解。
- (2) 理解光谱的概念，并要求学会测量谱线波长的测量方法。

【实验仪器】

汞灯，分光计，双面平面镜，光栅。

【实验原理】

1) 光栅的衍射规律

光栅是由大量互相平行、等宽、等距的刻痕构成。光栅上的刻痕起着不透光的作用，若以一束单色平行光垂直照射到光栅上，通过每个狭缝的光都将发生衍射。这些衍射光又在一些特殊方向上经过透镜聚焦于其焦平面上。因干涉加强而形成各级亮线，如图 44-1 所示。

根据夫琅禾费衍射理论，当入射光垂直入射时经光栅衍射后，具有相同衍射角 φ 的光束经透镜会聚后相干加强必须满足关系式

$$d \sin \varphi_k = k \lambda \quad (44-1)$$

即光程差等于单色光波长的整数倍。这就是光垂直入射光栅时的光栅方程式。式中 d 称作光栅常数，它等于透光（狭缝）宽度与不透光（刻痕）宽度之和。 k 为衍射级次， φ_k 是第 k 级谱线的衍射角。 λ 为入射光的波长。

如果入射光为一束复色光（汞光源）且垂直入射，经光栅衍射，在透镜的焦平面上得到每一级有几种颜色的一些细锐的亮线称为光谱线。对于 $k=0$ 而言，所有波长的光其光程差都等于零。因此都产生相干加强，其合成结果形成无色散的中央极大，即零级谱线。

对应于 $k = \pm 1$ ，不同波长的光因衍射角不同，在零级两侧出现左右对称的由短波长到长波长分立排列的彩色谱线称为一级谱线，如图 44-2 所示。同样 $k = \pm 2$ 时，出现的谱线为二级谱线，依次类推。

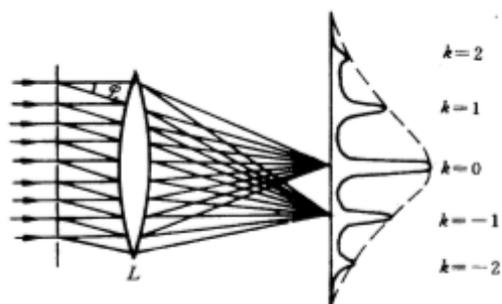


图 44-1 单色光的光栅衍射

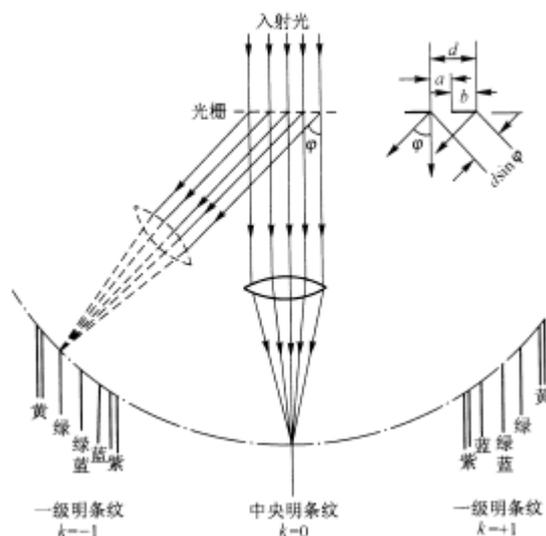


图 44-2 不同波长光的光栅衍射示意图

2) 光的特性参数

- (1) 光栅常数 d 。表征光栅色散程度的量。相对而言光栅常数越小其色散本领越高。
- (2) 光栅的角色散率 D 。同级两条谱线的角距离与波长之差的比

$$D = \frac{\Delta\varphi}{\Delta\lambda} \quad (44-2)$$

用微分表示

$$D = \frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{k}{d \cos\varphi_k}$$

通常取 $k=1$ ，则

$$D = \frac{1}{d \cos\varphi} \quad (44-3)$$

在同一级之内，各谱线波长所对应的衍射角变化不大， $\cos\varphi$ 很接近， D 近似相等。 $\Delta\varphi$ 与 $\Delta\lambda$ 成正比，光栅的 φ - λ 色散曲线近似直线。这也说明光栅光谱具有匀排特点。

(3) 光栅的分辨本领 R 。由于谱线有一定的宽度，当两条谱线靠近到一定程度时将不能分辨。通常把波长 λ 与该波长附近刚能分辨的最小波长差 $\Delta\lambda$ 之比作为光栅的分辨本领。即

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \quad (44-4)$$

光栅的分辨本领 R 的理论值为

$$R = kN = kl/d \quad (44-5)$$

式中 l 为光栅的有效宽度， N 为参与光栅衍射的总光束数。光栅的衍射级次越高分辨本领越高。一个高品质的光栅其最小分辨本领都是由 $k=1$ 给出的，而实际的光栅光谱仪通常也只观测一级光谱，它所能分辨的最小波长差 $\Delta\lambda$ 由 $k=1$ 计算而得。

【实验内容及要求】

1) 仪器调节

- (1) 按实验 36 要求调解分光计。
- (2) 调节光栅面与平行光管垂直。

将光栅放在载物台上，光栅作为平面镜使用，只调解平台下的螺丝让反射的亮十字像与望远镜目镜中的上方十字线重合。

- (3) 调节光栅刻度与平行光管狭缝平行。

转动望远镜观察汞原子的光谱。对称于零线左右各条谱线被分划板中心的水平线均分。否则调节平台下螺丝 a（不准调节望远镜）的仰角螺丝，直至达到上述要求。

2) 测汞原子光谱的各谱线的衍射角

转动望远镜，同时刻度盘应随望远镜一起转动。分别用游标盘上的左右游标读数。读出 ± 1 级各谱线的角位置，设计数据表格，计算各衍射角。

3) 数据处理要求

- (1) 用汞绿线 $\lambda=546.1\text{nm}$ 为标准计算光栅常数，并估算其不确定度。
- (2) 用已求出的 d 代入光栅公式，求各谱线的波长，求出波长的不确定度。
- (3) 用两条黄光的 $\Delta\varphi$ 和 $\Delta\lambda$ 计算角色散率。
- (4) 作 $\varphi-\lambda$ 曲线，说明光栅的匀排特点。