

《大学基础物理实验》课程实验报告

姓名：柯云超 学号：2413575

学院：计算机学院 时间：2025 年 4 月 29 日 组别：L 组 11 号

衍射光栅

[实验目的]

1. 了解光栅的分光特性。
2. 测量光栅常量。

[实验器材]

分光仪，平面投射光栅，平面反射镜，低压汞灯

[实验原理]

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 方向上有主干涉极大的条件为

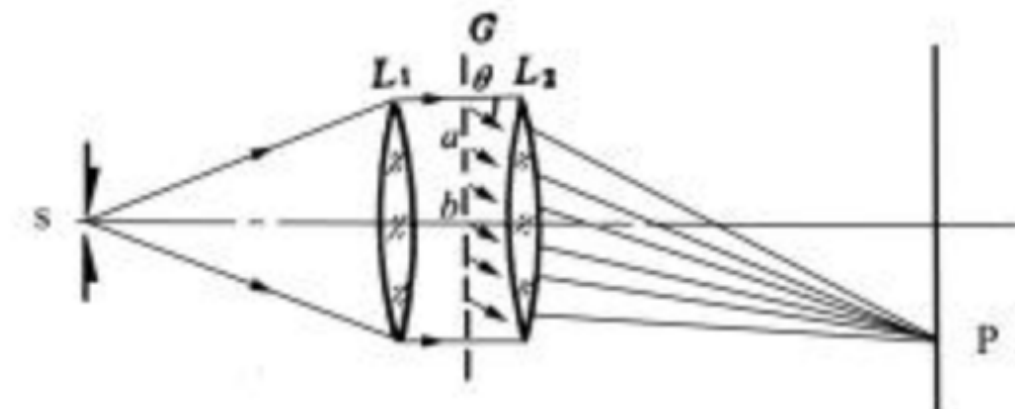


图 1: 光栅原理

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

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

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

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。

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。

[实验内容]

调节分光仪

按上次实验的方法调节分光仪到可以使用的状态。

调节光栅

实验中的光栅必须调节到以下状态。

- (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。

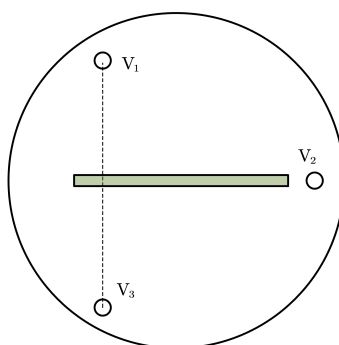


图 2: 光栅位置

将光栅按图 1 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。这时就达到了光栅与入射的平行光垂直的要求。此时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，使两侧谱线均与叉丝的中心横线垂直，并且上下对称。这时光栅就已经调节好了。

误差来源及解决办法

实验所用的透射光栅是做在一个全息干板上，全息干版的两个面不可能完全平行，因此无论怎样都不可能让入射光线完全垂直与光栅表面。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

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

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

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

当 φ 很小的时， $\sin \frac{\theta_+ - \theta_-}{2} = \frac{k\lambda}{d}$

测量数据

利用汞光谱线中绿线 $\lambda = 546.1 \text{ nm}$ 的 $\pm 1, \pm 2$ 级光谱之间的夹角 $2\theta_1, 2\theta_2$ ，分别求出两个光栅常量。

[数据处理]

根据公式 $\sin \frac{\theta_+ - \theta_-}{2} = \frac{k\lambda}{d}$ 计算得：

波长	级数	衍射角位置			角度	无偏心角度	光栅常量
		游标号	+k 级	-k 级			
546.1 nm	1	1	9°24'	9°28'	18°54'	18°54'30"	3324.64nm
		2	9°28'	9°27'	18°55'		
	2	1	19°7'	19°7'	38°14'	38°28'	3315.56nm
		2	19°5'	19°37'	38°42'		

所以 $\bar{d} = 3320.1 \text{ nm}$ ，光栅刻痕密度 301 条/mm。

汞黄线	级数	衍射角位置			角度	无偏心角度	波长
		游标号	k	k			
黄 1	2	1	20°08'	20°50'	40°58'	40°48'	570.5nm
		2	19°52'	20°40'	40°38'		
黄 2	2	1	20°15'	20°40'	40°55'	40°58'	572.7nm
		2	20°11'	20°50'	41°01'		

跟标准值 $\lambda_1 = 577.0nm$, $\lambda_2 = 579.1nm$ 计算得到误差为:

$$\Delta\lambda_1 = \frac{|577.0 - 570.5|}{577.0} = 0.011$$

$$\Delta\lambda_1 = \frac{|579.1 - 572.7|}{579.1} = 0.011$$

而角色散

$$D = \frac{\Delta\varphi}{2.1nm} = \frac{10'}{2.1nm} = \frac{\frac{10'}{180^\circ} \times \pi}{2.1nm} = 1.358 \times 10^{-3} \times rad \times nm^{-1}$$

[思考题]

1. 对测量衍射角的影响及解决方法

影响：仪器转轴未通过光栅平面时，左右两侧衍射光线不对称，导致测量的衍射角偏差，结果不准确。解决方法：用自准直法调整，通过调节载物台螺丝，使光栅平面反射的十字像与望远镜上十字叉丝重合，确保光栅平面与转轴平行且过轴。

2. 根据光栅方程

$$d \sin \theta = k\lambda \quad (1)$$

对于钠黄光的两个波长 $\lambda_1 = 589.0 nm$ 和 $\lambda_2 = 589.6 nm$ ，在同一级次 k 下，衍射角分别为 θ_1 和 θ_2 。由于在成像物镜焦平面上，衍射角较小时， $\tan \theta \approx \sin \theta$ ，设成像物镜焦距为 f ，两个波长在焦平面上分开的距离 Δx 满足：

$$\Delta x = f(\sin \theta_2 - \sin \theta_1) \quad (2)$$

由光栅方程可得 $\sin \theta_1 = \frac{k\lambda_1}{d}$ ， $\sin \theta_2 = \frac{k\lambda_2}{d}$ ，则

$$\Delta x = \frac{kf(\lambda_2 - \lambda_1)}{d} \quad (3)$$

已知 $\Delta x = 1 mm = 1 \times 10^{-3} m$ ， $\lambda_2 - \lambda_1 = (589.6 - 589.0) \times 10^{-9} m = 0.6 \times 10^{-9} m$ 。假设选择 $k = 1$ （一级衍射），若选取常见的成像物镜焦距 $f = 1 m$ ，由 $\Delta x = \frac{kf(\lambda_2 - \lambda_1)}{d}$

可得：

$$\begin{aligned}
 d &= \frac{kf(\lambda_2 - \lambda_1)}{\Delta x} \\
 &= \frac{1 \times 1 \times 0.6 \times 10^{-9}}{1 \times 10^{-3}} \\
 &= 6 \times 10^{-7} \text{ m} = 600 \text{ nm}
 \end{aligned}$$

钠光灯：提供钠黄光（含 589.0 nm 和 589.6 nm 两个波长）。

狭缝：限制光束宽度，形成线光源。

准直透镜：将从狭缝出射的光变为平行光，假设焦距为 f_1 。

光栅：光栅常数 $d = 600 \text{ nm}$ ，对钠黄光进行衍射分光。

成像物镜：焦距 $f = 1 \text{ m}$ ，将衍射光会聚到焦平面。

观察屏：放置在成像物镜焦平面处，用于观察两个波长分开的像。

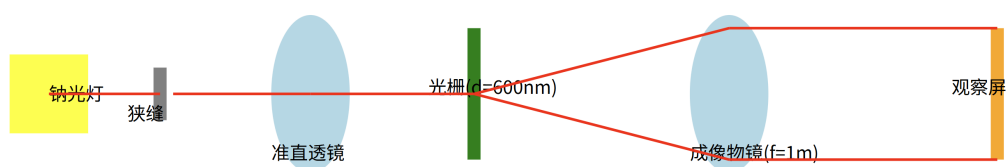


图 3: 光路图