

# 基础物理实验报告

## 光栅衍射实验

杨哲涵 工物 22 班 2022011105

2023 年 5 月 22 日

### 摘要

#### 1 实验目的

- 进一步熟悉分光计的调整与使用。
- 学习利用衍射光栅测定光波波长及光栅常数的原理与方法。
- 加深理解光栅衍射公式及其成立条件。

#### 2 实验仪器

##### 2.1 分光计

分光计是实验用到的主要仪器，由平行光管、望远镜、度盘和平台构成。度盘采用游标结构，由刻度盘（主度盘）和游标盘组成。该仪器有一旋转对称轴（主轴），刻度盘、游标盘平面垂直于主轴。度盘、望远镜、平行光管和平台等均可绕主轴旋转，通过螺钉松、紧关系：可以实现某些部件的同步旋转（联动）、止动以及微动。

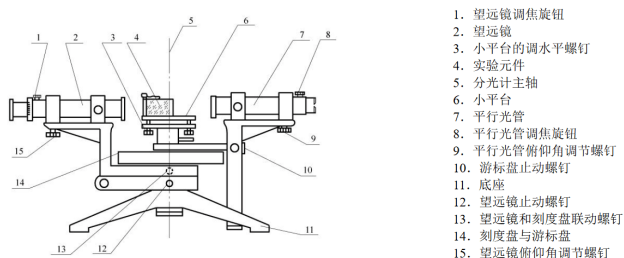


图 1: 分光计结构示意图

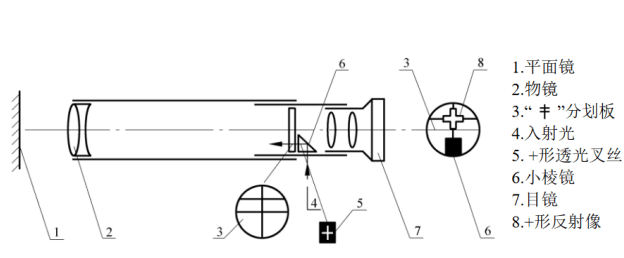


图 2: 望远镜结构示意图

**望远镜** 实验用到的望远镜是自准直望远镜，由物镜、叉丝分划板和目镜组成，分别装在三个套筒上，彼此可以自由滑动。在调节望远镜时，应当使“干”形叉丝与“+”形透光叉丝的反射像均清晰成像。

**平行光管** 平行光管由狭缝和透镜组成。狭缝与透镜之间距离可以通过伸缩狭缝套筒来调节。只要将狭缝调到透镜的焦平面上，则从狭缝发出的光经透镜后就成为平行光。

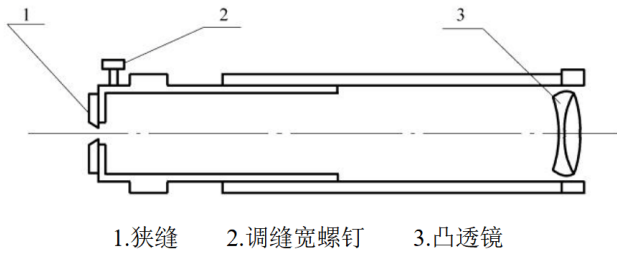


图 3: 平行光管结构示意图

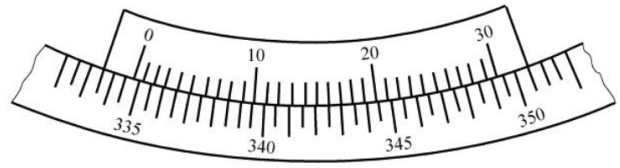


图 4: 刻度盘与游标

**刻度盘** 分光计的刻度盘垂直于分光计主轴并且可绕主轴转动。为消除刻度盘的偏心差，采用两个相差  $180^\circ$  的窗口读数。刻度盘的分度值为  $0.5^\circ$ ， $0.5^\circ$  以下则需用游标来读数。游标上的 30 格与刻度盘上的 29 格相等，故游标最小分度值为 1 分。

## 2.2 光栅

在本实验中应使光栅刻线与分光计主轴平行。如果光栅刻线不平行于分光计主轴，将会发现衍射光谱是倾斜的。通过调整小平台，可以使光栅刻痕平行于分光计主轴。

## 2.3 汞灯

本实验用到的汞灯在可见光范围内强度较高的谱线有四条，波长分别为  $435.8\text{ nm}$ (紫)， $546.1\text{ nm}$ (绿)， $577.0\text{ nm}$ (黄)， $579.1\text{ nm}$ (黄)，它们也是本实验测量所用到的谱线。在使用汞灯时，有以下注意事项：

1. 汞灯在使用中必须与扼流圈串接，不能直接接 220 伏电源，否则会烧毁。
2. 汞灯在使用过程中不要频繁启闭，否则会降低其寿命。
3. 汞灯的紫外线很强，不可直视。如需观察，必须在狭缝前加一两层白纸以减弱其光强。

# 3 实验准备

## 3.1 实验原理

本实验的基本原理为光栅衍射公式，设光栅常数为  $d$ ，入射平行光与光栅法线成角度  $i$ ，那么光栅衍射公式为：

$$d(\sin i \pm \sin \phi_m) = m\lambda$$

其中  $\phi$  为衍射光线与法线的夹角，两者分居法线异侧时取负号。 $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$  其符号取决于光程差的符号。

特别地，正入射的情况下， $i = 0$ 。

在本实验中， $i$  已知，通过分光计可以方便地测出  $\phi$ ，并且谱线的级别可以直接看出。若已知衍射光线波长  $\lambda$ ，则可以得到光栅常数  $d$ ，反之亦然。

## 3.2 仪器调节

**定主轴** 这一过程需要调节小平台，使得分光计主轴在之后的测量中与光栅刻线平行。

为此可以使用手机的重力传感器，将手机（脱去手机壳为佳）放置在小平台上，调节小平台下的三个螺丝，直到手机重力传感器显示无任何偏移。

### 望远镜调节

1. 调节目镜，看清叉丝
2. 将一反射镜贴在物镜镜头前，使得叉丝处发出的光被反射回目镜处，调节物镜直到能看清“+”字
3. 将反射镜放在小平台上，旋转望远镜俯仰角调节螺钉，使得“+”字与叉丝上交点重合
4. 取下反射镜

### 平行光源调节

1. 将望远镜对准光源
2. 调节平行光管伸缩套筒，直到狭缝线清晰成像
3. 旋转狭缝，使得狭缝与“+”字竖线重合
4. 调节狭缝宽度，保证像宽度  $< 0.5 \text{ mm}$ ，以便减少长时间观察对眼睛的影响
5. 调整平行光管俯仰，使得狭缝像在望远镜视场中间

### 调光栅

1. 将反射镜放在小平台上，并且应调节至反射镜与望远镜方向垂直，在视场中相应位置能看到“+”
2. 将光栅与反射镜平行放置，在视场中应当能看到两个“+”字像
3. 调整光栅的放置角度，可以用指节顶在光栅边框从而小幅调节，使得视野中的两个“+”像的竖线重合
4. 取下反射镜，保持光栅位置不动

至此，仪器已经调整就绪，可以进行实验。

## 4 实验任务

### 4.1 正入射

在光线垂直入射光栅的情形 ( $i = 0^\circ$ ) 下，测定光栅常数与光波波长。

**测定光栅常数** 实验准备时，已经使平行光垂直入射于光栅平面，因此可直接进行实验。

在实验中，记录 1-5 不同衍射级对应的绿光的衍射角  $\phi_m$ ，约定汞灯绿线波长为  $\lambda = 546.1 \text{ nm}$ ，可以得出对应  $d$  的值。

所得数据见表 3，我们选取第 4 级衍射级对应的数据进行计算，公式为：

$$U_r = \frac{U_d}{d} = \sqrt{\left(\frac{1}{\lambda} U_\lambda\right)^2 + \left(\frac{\cos \phi_m}{\sin \phi_m} U_{\phi_m}\right)^2}$$

$$d = \frac{m\lambda}{\sin \phi_m}$$

注意波长为约定真值，因此  $U_\lambda = 0$ ,  $U_{\phi_m} = \Delta_{\text{INS}}$ . 带入数据得：

$$d = 3335.162175 \text{ nm}, U_r = 0.000335613$$

最终测量结果为  $d = (3335.2 \pm 1.1)\text{nm}$ .

**测定黄线波长** 保持光栅位置不变，现观察汞灯长黄线，测量其衍射角并据此计算其波长。

在实验中共测得 4 组数据，使用第 2 级衍射级计算其波长，公式为：

$$\lambda = \frac{d \sin \phi_m}{m}$$

$$U_\lambda = \sqrt{\left(\frac{d}{m} \cos \theta \Delta_{\text{INS}}\right)^2 + \left(\frac{\sin \theta}{m} U_d\right)^2}$$

带入表 4 中数据计算得：

$$\lambda = 578.5433305 \text{ nm}, U_\lambda = 0.494652429 \text{ nm}$$

最终汞灯长黄线波长的测量结果为  $\lambda = (578.54 \pm 0.49)\text{nm}$ .

对比汞灯长黄线波长约定真值  $\lambda = 579.1 \text{ nm}$ ，测量结果涵盖该约定真值，结果有效。

## 4.2 斜入射

在  $i = 15^\circ$  时，测量汞灯光谱中波长较长 (579.1 nm) 的黄线的波长。

**调整夹角** 调整光栅平面法线与平行光管光轴的夹角为  $15^\circ$  有多种方法：

1. 利用已经测得的光栅常数  $d$ ，按照斜入射公式计算对应汞灯绿线第 2 级衍射角  $\phi_m$ ，将望远镜旋转到对应方位角后，旋转光栅，使得绿线第 2 级衍射谱线与视野中“+”像重合。此时完成了光栅平面的调整。
2. 拧紧螺钉，使得小平台与游标盘一同旋转，旋转至游标盘上的刻度为  $15^\circ$ ，固定游标盘，此时完成了光栅平面的调整。

**测定黄光波长** 完成上述调整后，分别测量对应衍射级的衍射角，并判断衍射光线和入射光线位居光栅平面法线同侧还是异侧。根据数据计算长黄线波长。

实验中所测得数据记录在表 5 中，按照斜入射计算公式可得：

表 1: 斜入射黄线波长

衍射级别	1	2	3	-1	-2
衍射角	4°58'	4°57'	15°1'	25°29'	36°50'
是否同侧	否	是	是	否	否
波长 nm	574.45	575.49	575.78	571.75	568.10

注意这一测量结果与长黄线约定真值  $\lambda = 579.1 \text{ nm}$  相差较大，这是因为实验中调整  $i = 15^\circ$  不够精确，使得实际  $i$  有  $3'$  左右的偏差。

## 5 讨论

**仪器搭建** 在搭建仪器，校准光路的过程中，可以不拘泥于讲义上的方法，根据准确便利的原则，采用合适的方法调整光路。

例如，使用手机的重力传感器可以方便地大致保证小平台的水平放置，调节望远镜与光栅时均可使用反射镜，以便简化原先较为繁琐的操作。

**测量偏差** 在测量光栅常数  $d$  的过程中，选择合适的衍射级别可以有效减少测量误差。

已知计算公式为：

$$\lambda = \frac{d \sin \phi_m}{m}$$
$$U_\lambda = \sqrt{\left(\frac{d}{m} \cos \theta \Delta_{\text{INS}}\right)^2 + \left(\frac{\sin \theta}{m} U_d\right)^2}$$

使用该公式对表 3 中 1-5 级绿线衍射角数据进行计算，可以得到：

表 2: 正入射绿线衍射级对应不确定度

衍射级别	1	2	3	4	5
光栅常数 (nm)	3343.620	3337.836	3333.872	3335.162	3336.726
不确定度 (nm)	5.875	2.804	1.719	1.119	0.682

我们从中发现，衍射级别越高，误差越低，这是因为仪器误差限是固定的，在衍射角较大时，相对地，测量误差会更小。因此在实际数据处理时，选用了 4 级绿线衍射角数据进行计算。

### A 原始数据

注：征得实验指导老师同意后，原始数据采用电子表格记录，并未手写签字。

表 3: 正入射绿线衍射角

衍射级别	1	2	3	4	5
衍射角	9°24'	19°6'	29°26'	40°55'	54°55'

表 4: 正入射黄线衍射角

衍射级别	1	2	3	4
衍射角	9°59'	20°18'	31°49'	44°0'

表 5: 斜入射黄线衍射角

衍射级别	1	2	3	-1	-2
衍射角	4°58'	4°57'	15°1'	25°29'	36°50'
是否同侧	否	是	是	否	否