

课程编号 1800450034

得分	教师签名	批改日期

# 深 圳 大 学 实 验 报 告

课程名称: 大学物理实验(二)

实验名称: 光栅光谱仪

学 院: 电子与信息工程学院

指导教师: 蔡泽伟

报告人: 周昭宏 组号: 20

学号: 2022280575 实验地点: 212A

实验时间: 2023 年 10 月 17 日

提交时间: 2022 年 10 月 24 日

## 一、实验目的

- 1、光谱学的基础知识；
- 2、了解光栅光谱仪的工作原理；
- 3、掌握利用光栅光谱仪进行光谱测量的技术。

## 二、实验原理

### (1) 光谱

光谱是由原子内部运动的电子受激发后由较高能级向较低能级跃迁产生的，各种物质的原子内部电子

的运动情况不同，所以他们发射的光谱也不同，通过对原子、分子光谱的研究可了解原子、分子内部的结构，或对样品所含成分进行定性和定量分析。根据研究光谱方法的不同，习惯上把光谱区分为发射光谱、吸收光谱和散射光谱。这些不同类型的光谱，从不同方面提供物质微观结构。本实验中主要用光栅光谱仪研究发射光谱。

发射光谱从形状上来说可分为三种：线状光谱、带状光谱和连续光谱。线状光谱主要产生于原子，所以也叫原子光谱，带状光谱主要产生于分子，所以也叫分子光谱，连续光谱则主要产生于白炽的固体或气体放电。

线状光谱对元素具有特征性和专一性，称为元素的特征光谱。通过检测特征光谱就可以知道样品中的元素种类，这就是光谱的定性分析方法。根据谱线强度可以得出元素浓度，这就是定量分析方法。

### (2) 光栅的基础知识

#### 1. 光栅方程

光栅是直接影响光谱仪性能的核心色散器件。光栅是由一系列等宽又等间距的平行狭缝组成。如图 3-16-2 所示的光栅 G，由 N 条宽度为 a 的狭缝组成，相邻狭缝之间不透光部分的宽度 b，则光栅总宽度为  $W = N(a + b)$ ，其中  $d = a + b$ ，称为光栅常数，是表征光栅特性的重要参数。

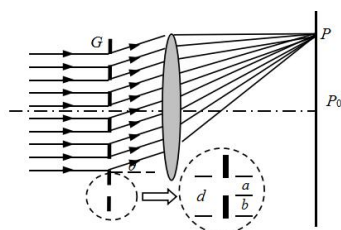


图 16-2 光栅的衍射

一束波长为  $\lambda$  的单色平行光垂直入射到光栅上，透过每一狭缝的光都要发生衍射，沿某一方向传播的各狭缝的衍射光经过透镜后会聚在焦平面上而相互干涉，形成一系列暗背景下的亮条纹，称为谱线。形成亮条纹的条件为

$$d \sin \theta_k = k\lambda \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (3-16-1)$$

式 (3-16-1) 称为光栅方程， $k$  为光谱线的级数， $\theta_k$  是第  $k$  级谱线对应的衍射角。若光栅常数  $d = a + b$  已知，用分光计测出第  $k$  级谱线相应的衍射角  $\theta_k$ ，由式 (3-16-1) 可求出光波波长  $\lambda$ 。

如果入射光为包含多种不同波长的复色光，除零级谱线外，同一级条纹 ( $k$  相同) 的衍射角  $\theta_k$  与入射光的波长有关。将各种波长的同一级次条纹合成的整体称为光栅的衍射光谱。

#### 2. 光栅的两个重要特性

##### 1) 分辨本领 R

依据瑞利判据波长  $\lambda$  的  $k$  级主最大恰好和  $(\lambda - \Delta\lambda)$  的  $k$  级主最大外侧第一个零光强点相重合时，则  $\lambda$  和  $(\lambda - \Delta\lambda)$  两条谱线恰可被分辨，我们定义分辨本领  $R = \lambda/\Delta\lambda$ ，可以推导出光栅分辨本领  $R$  的表达式为

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = kN \quad (3-16-2)$$

即使用的光栅刻痕  $N$ 、光栅级次  $k$  越大，分辨本领  $R$  就越大，可分辨的  $\Delta\lambda$  就越小。

## 2) 角色散 $D$

定义角色散  $D$  为同一级次中，两谱线主最大衍射角之差  $\Delta\theta$  和波长差  $\Delta\lambda$  之比，即

$$D = \frac{\Delta\theta}{\Delta\lambda} = \frac{k}{d \cos\theta} \quad (3-16-3)$$

角色散描述了分光元件将光谱散开能力的大小。

## 3. 光栅的选择

实验中，光栅的选择要考虑如下因素：

(1) 闪耀波长。闪耀波长为光栅最大衍射效率点，因此选择光栅时应尽量选择闪耀波长在实验需要波长的附近。如实验为可见光范围，可选择闪耀波长为 500nm。

(2) 光栅刻线。光栅刻线多少直接关系到光谱分辨率，刻线多光谱分辨率高，刻线少光谱覆盖范围宽，两者要根据实验灵活选择。

## (三) 光栅光谱仪的基本结构和光路

光谱仪的基本结构如图 3-16-3 所示。它由入射狭缝  $S_1$ 、准直球面反射镜  $M_1$ 、光栅  $G$ 、聚焦球面反射镜  $M_2$  以及输出狭缝  $S_2$  构成。

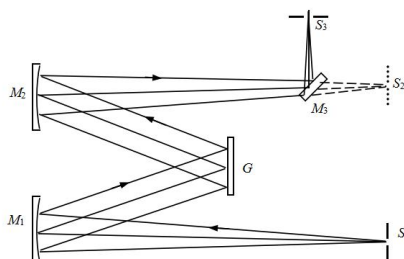


图 16-3 光栅光谱仪示意图

衍射光栅是光栅光谱仪的核心色散器件。入射光经光栅衍射后，相邻刻线产生的光程差  $\Delta = d(\sin\alpha \pm \sin\beta)$ ， $\alpha$  为入射角， $\beta$  为衍射角，则光栅方程为

$$d(\sin\alpha \pm \sin\beta) = k\lambda \quad (3-16-4)$$

式中  $d$  为光栅常数， $\lambda$  为入射光波长， $k$  为衍射级次， $k$  取 0,  $\pm 1$ ,  $\pm 2$ , ... 式中的“ $\pm$ ”号选取规则为：入射角和衍射角在光栅法线的同侧时取正号，在法线两侧时取负号。如果入射光为正入射  $\alpha = 0$ ，光栅方程变为  $d \sin\beta = k\lambda$ 。

衍射角度随波长的变化关系，称为光栅的角色散特性，当入射角给定时，可以由光

栅方程导出：

$$\frac{d\beta}{d\lambda} = \frac{k}{d \cos \beta} \quad (3-16-5)$$

复色光入射狭缝  $S_1$  后，经  $M_2$  变成复色平行光照射到光栅 G 上，经光栅色散后，形成不同波长的平行光束以不同的衍射角出射， $M_2$  将照射到它上面的某一波长的光聚焦在出射狭缝  $S_2$  上，再由  $S_2$  后面的光电探测器记录该波长的光强度。光栅 G 安装在一个转台上，当光栅旋转时，就将不同波长的光信号依次聚焦到出射狭缝上，光电探测器记录不同光栅旋转旋度（不同的角度代表不同的波长）时的输出光信号强度，即记录了光谱。这种光谱仪通过输出狭缝选择特定的波长进行记录，称为光栅单色仪。

在使用单色仪时，对波长进行扫描是通过旋转光栅来实现的。通过光栅方程可以给出出射波长和光栅角度之间的关系（如图 3-16-4 所示）为

$$\lambda = \frac{2d}{k} \cos \Psi \sin \eta \quad (3-16-6)$$

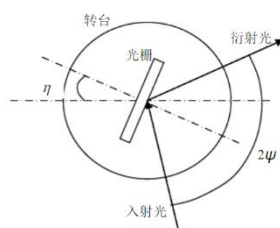


图 3-16-4 光栅转动系统示意图

其中， $\eta$  为光栅的旋转角度， $\Psi$  为入射角和衍射角之和的一半，对给定的单色仪来说  $\Psi$  为一常数。

### 三、实验仪器：

光栅光谱仪、溴钨灯、汞灯、玻璃片、计算机

### 四、实验内容：

#### 1、实验设置

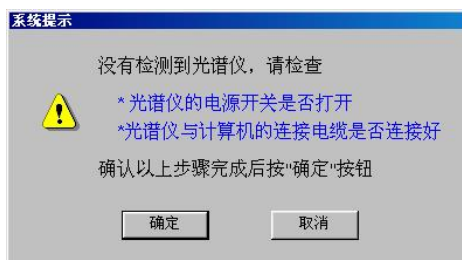
1.1 将汞灯下端铜柱对准入射狭缝下的铜柱保证高度一致。

1.2 确保电控箱的负高压旋钮逆时针旋至最小值。

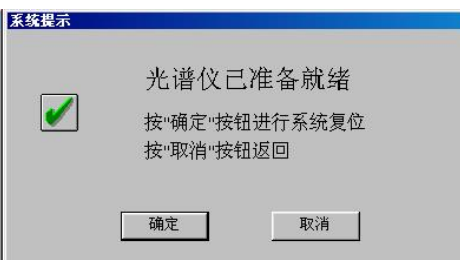
1.3 打开汞灯电源。

#### 2、开机与系统复位

确认光谱仪已经正确连接并打开电源。执行光栅光谱仪的操作程序。若光出现图 1 画面，请检查电控箱电源开关与 USB 接线，确认开关打开接线正常后，单击“确定”按钮，出现图 2 画面，提示进行系统复位。根据提示，按“确定”按钮，即进入仪器系统复位。等待约 5-7 分钟



图一



图二

### 3、汞灯谱线校准

3.1 将负高压调节至 240 左右，点击光谱扫描。

3.2 扫描完成后，点击峰值检索，系统将当前图谱中一定范围内的峰值检索出来。

3.3 在对话框中输入系统值与实际波长值的差值，点击确定即可。

### 4、钨灯谱线测量

4.1 将钨灯放置在入射狭缝处，将负高压调节至 240~260 左右，点击光谱扫描。

4.2 扫描完成后，点击数据处理，点击检索数据，数据列表，然后右键复制所有数据，导入至 EXL 中。

4.3 保存文件后装入玻璃片，然后重复 4.1 和 4.2 步骤。

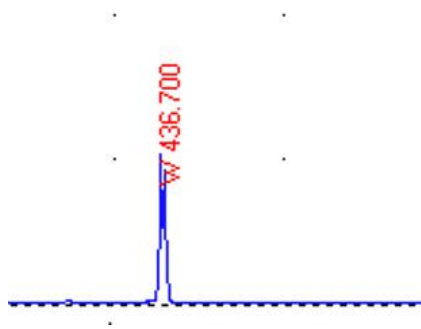
### 5、退出系统与关机

5.1 当系统测试结束后，将入射狭缝调节至 0.1mm 左右，将电控箱的负高压旋钮逆时针旋转至最小值。点击菜单栏中“文件/退出系统”，按照提示关闭电源退出仪器操作系统。

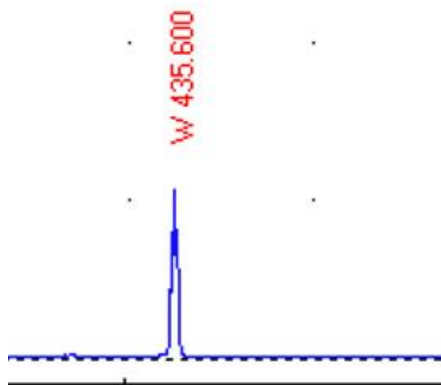
## 五、数据记录：

组号： 20 ； 姓名 周昭宏

第一次测量时汞灯波长：



校正后的汞灯波长：

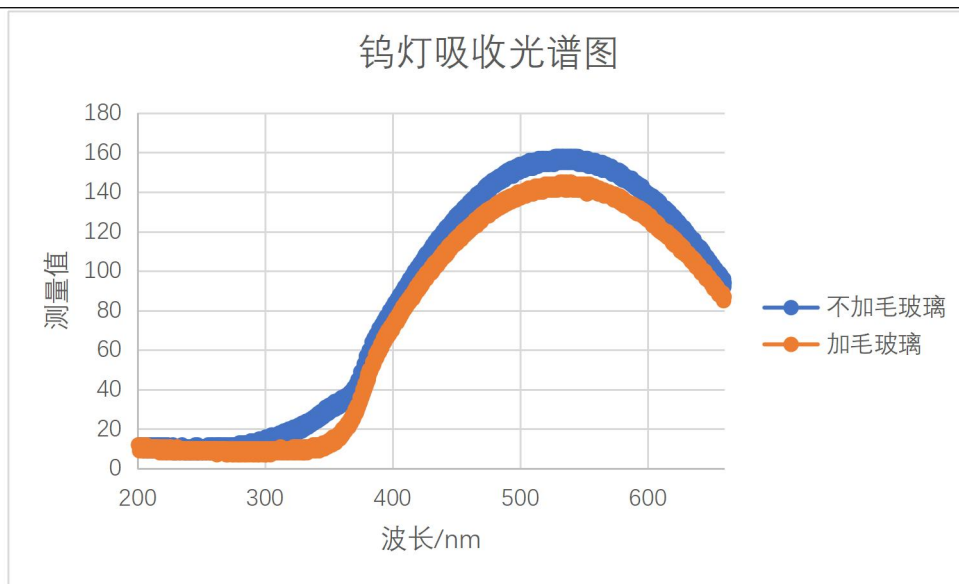


钨灯正常波长数据（部分）：      放置玻璃片后钨灯波长数据（部分）：

波长	测量值		波长	测量值
200	64		200	54
201	64		201	54
202	64		202	54
203	64		203	54
204	64		204	54
205	64		205	54
206	64		206	54
207	63		207	54
208	64		208	55
209	64		209	54
210	64		210	54
211	64		211	54
212	64		212	54
213	64		213	54
214	64		214	54
215	64		215	54

## 六、数据处理：

1. 钨灯吸收光谱图：

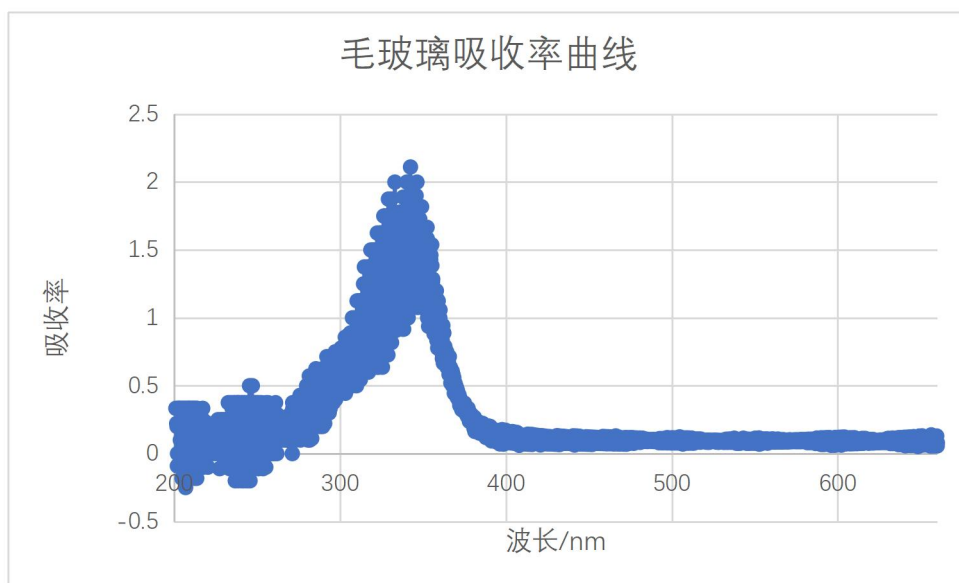


用 excel 处理后得：

不加毛玻璃，波长约在 533nm 左右时，测量值达到峰值 158。

加毛玻璃，波长约在 531nm 左右时，测量值达到峰值 145。

## 2. 毛玻璃吸收率



## 七、结果陈述：

钨灯谱线图相比于标准值的图像较为相似。测量值都在 500-600 达到峰值，且吸收后的光谱比吸收前的光谱低。而钨灯光谱图中在 300-400 之间两曲线稍微有不同，这可能是人为原因导致产生的误差，如不小心轻微震动桌面，导致钨灯稍有震动，光线波动，导致此处变化。

## 八、实验总结与思考题：

### 实验总结：

此次实验中，钨灯谱线图相比于标准值的图像较为相似。测量值都在 500-600 达到峰值，且吸收后的光谱比吸收前的光谱低。

### 实验误差：

1. 当光栅平面与入射角不垂直时，以及平行光管的狭缝与光栅刻痕不平行时都会使测量产生实验误差。
2. 当平行光管的狭缝测量值大于真实值，且入射光偏离光栅平面法线越多，则产生的实验误差就会愈大。
3. 当光栅刻痕的测量值小于真实值时，且平行光管的狭缝与光栅刻痕的夹角越大，则测量值  $\lambda$  减小的就越多，即实验误差就越大。

### 思考题：

1. 查找相关资料，阐述光谱定性分析的基本原理，说明光谱定性分析的过程。

光谱分析一般可依据物质与光的相互作用产生的光谱的特征来定，不同光谱特征有很大差异。原子光谱由于属于线光谱，每种原子都有其独特的 C 谱，它们按一定规律形成若干光谱线系，原光谱线系的性质与原子结构是紧密相联的，是研究：原子结构的重要依据。每一种元素都有它特有的标识谱线，把某种物质所生成的明线光谱和已知元素的标识谱线行比较就可以知道这些物质是由哪些元素组成的。因此，可直接依据其特征谱线波长来定性，如原子发射光谱即可依据某元素的特征波长判断是否为该元素，对于子吸收光谱由于通常是单元素分析，且光源即为待测元素灯，因此，一般不采用子吸收光谱来定性。而分子光谱属于连续光谱，一般根据其光谱的形状以及某些征峰来定性，但由于分子光谱的形状除了与物质的分子本身结构有关，还受其它-多个因素的影响，某些分子光谱，如紫外可见吸收光谱特征性不明显，单独用于定性往往有一定的困难。

2. 设计外部入射光路，能够接收并扫描太阳光的光谱。





指导教师批阅意见：

成绩评定：

预习 (20 分)	操作及记录 (40 分)	数据处理 20 分	结果陈述实验 总结 10 分	思考题 10 分	报告整体 印象	总分