

# 实验报告

姓名 李霄奕 日期 2021 年 3 月 31 日 No. PB21511897 评分:

**实验题目：** 衍射实验

**实验目的：**

1. 对光学实验形成感性的认知，掌握组装、调整衍射实验光路的方法；
2. 使用不同结构衍射屏实现夫琅禾费衍射，观察实验现象，研究不同结构衍射屏的衍射光强分布特征；
3. 结合理论计算衍射屏的结构参数，包括单缝的缝宽，双缝中心间距以及小孔的直径。

**实验原理：**

根据光源—障碍物—接收屏距离的不同，衍射现象可分为夫琅禾费衍射和菲涅尔衍射两种，本实验仅研究夫琅禾费衍射。

当光源和接收屏都距离衍射屏无限远（或相当于无限远）时，在接收屏处由光源及衍射屏产生的衍射为夫琅禾费衍射，此时，入射光和衍射光都是平行光。它的衍射图样比较简单，便于用菲涅耳半波带法计算各级加强和减弱的位置。

## 1. 产生夫琅禾费衍射的光路

标准的夫琅禾费衍射实验光路如下图所示，其中光源  $S$  和接收屏  $P$  分别位于透镜  $L_1$  和  $L_2$  的焦平面上，用于实现光源和接收屏到衍射屏的距离无限远效果。

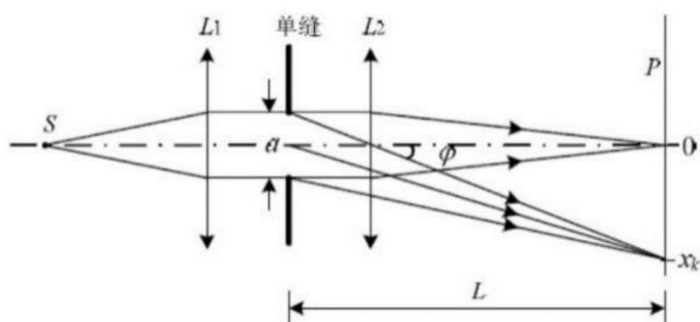


图 1 单缝夫琅禾费衍射光路

$S$  为波长为  $\lambda$  的单色光源，在  $L_1$  和  $L_2$  之间插入一个缝宽为  $a$  的狭缝后，可以在屏  $P$  上观察到亮暗交替按一定规律分布的衍射图样，其图样特点和狭缝缝宽以及光的波长  $\lambda$  相关。

为简化光路，本实验使用 He-Ne 激光器作为光源，利用激光优异的方向性省去准直透镜  $L_1$ ；同时使观察屏远离狭缝，由于狭缝的宽度远小于缝到屏的距离，省略透镜  $L_2$ 。简化后的光路图如图 2 所示。

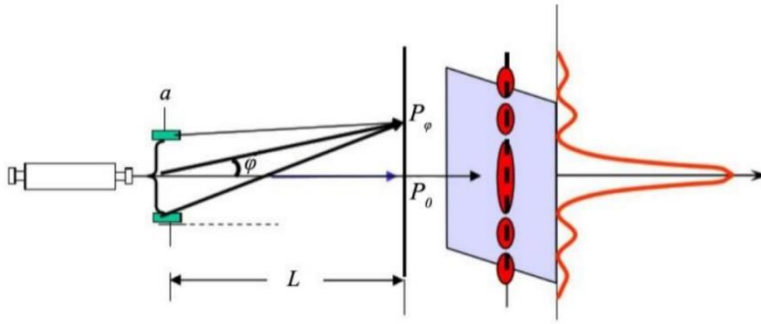


图 2 简化单缝夫琅禾费衍射光路图

## 2. 单缝夫琅禾费衍射的光强分布

从光源发出的平行光束垂直照射到狭缝上时，在后焦面（或无限远的屏）会形成一组明暗相间的条纹，这就是单缝夫琅禾费衍射现象。

依据惠更斯—菲涅尔原理，狭缝上各点都可以看成是发射子波的新波源，子波在后焦面（或无限远的屏）上叠加，其光强分布可计算为：

$$I_{\varphi} = I_0 \left( \frac{\sin u}{u} \right)^2$$

$$u = \pi a \frac{\sin \varphi}{\lambda}$$

式中 $a$ 为单缝的宽度， $I_0$ 为入射光光强， $\varphi$ 为衍射光与光轴的夹角——衍射角。在衍射角为 $\varphi$

时，观察点的光强值 $I_{\varphi}$ 与光波波长 $\lambda$ 和单缝宽度 $a$ 相关。 $\left( \frac{\sin u}{u} \right)^2$ 常称为单缝衍射因子，表征衍射

光场内任一点相对光强 $\frac{I_{\varphi}}{I_0}$ 的大小。若以 $\sin \varphi$ 为横坐标， $\frac{I_{\varphi}}{I_0}$ 为纵坐标，可以得到单缝衍射光强的分

布谱图，如图 3 所示。

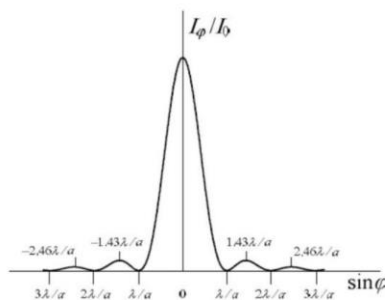


图 3 单缝衍射相对光强分布曲线

当 $u = 0$  即 $\varphi = 0$  时，

$$I_{\varphi} = I_0$$

这时平行于光轴的光线会聚处，中央亮条纹中心点的光强，是衍射图像中光强的极大值，称为中央主极大。当

$$a \sin \varphi = k\lambda, \quad k = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

则 $u = k\pi$  ( $k = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ )时,  $I_\varphi = 0$ , 即为暗条纹。与此衍射角对应的位置为暗条纹的中心。由于 $\varphi$ 很小,  $\sin \varphi = \varphi$ , (3)式可改写为:

$$\varphi = \frac{k\lambda}{a}$$

由图 1 可知,  $k$ 级暗条纹对应的衍射角

$$\varphi_k = \frac{x_k}{L}$$

,  $x_k$ 为第 $k$ 级暗条纹距离中央亮条纹中心的距离。故:

$$\frac{k\lambda}{a} = \frac{x_k}{L}$$

### 3. 双缝夫琅禾费衍射的光强分布

将图 1、2 中的单缝换成双缝, 每条狭缝的宽度仍为 $a$ , 中间不透光部分宽度为 $b$ , 则双缝中心间距 $d = a + b$ 。双缝衍射光路图如图 4 所示。

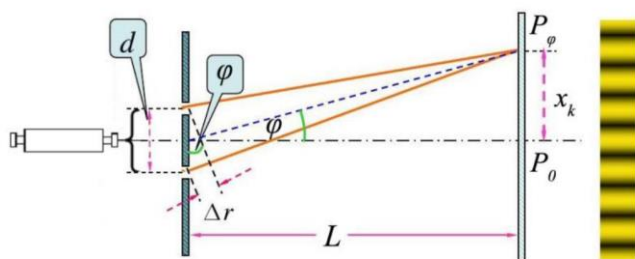


图 4 双缝衍射光路图

屏上 $P\varphi$ 处的光强分布为:

$$I_\varphi = 4I_0 \frac{\sin^2 u}{u^2} \cos^2 v$$

其中:

$$u = \pi \frac{a \sin \varphi}{\lambda}, \quad v = \pi d \frac{\sin \varphi}{\lambda}$$

当入射狭缝的宽度远小于入射光的波长时, 在观察屏上可以看到辐照度近似相等的干涉条纹。条纹宽度可用公式

$$x_k = \frac{L}{d} \lambda$$

表示, 其中 $x_k$ 表示双缝衍射条纹的间距,  $L$ 为屏到双缝的距离,

$\lambda$ 为单色光的波长。条纹间距 $x_k$ 与屏到双缝的距离 $L$ 成正比, 与双缝中心间距 $d$ 成反比。在双缝衍射中, 当入射波长一定时, 双缝中心间距越小, 衍射现象越明显, 条纹越宽。

#### 实验仪器:

光学导轨及附件, He-Ne 激光器 (632.8 nm) 及电源, 衰减片, 衍射元件 (单缝, 双缝, 圆孔等),

CCD，一维平移台，显示屏，支架等。

## 实验内容：

### 一、基础实验

1、观察单缝、双缝和小孔的衍射光强分布，总结各元件衍射图样的特点；

单缝衍射光强从中心到两侧逐渐减弱，衍射图样为多条平行的明暗交替的矩形光斑，从中心到两侧宽度逐渐缩窄

双缝衍射光强呈现在观察屏上的亮条纹中央最亮，两侧亮度逐渐衰减，且有部分亮条纹光度减弱甚至消失。衍射图样为多条平行的明暗交替的矩形光斑，宽度大致相等。

小孔衍射光强大约有 84%的光能量集中在中央亮斑，其余 16%的光能量分布在各级明环上。光通过小孔会发生衍射，产生明暗相间的条纹衍射图样。

2、观察并总结单缝、双缝和小孔缝宽（或直径）变化时衍射图样的变化规律。

单缝缝宽增大时，条纹宽度减小

双缝缝宽增大时，条纹宽度减小

小孔条纹间距随小孔尺寸的减少而变大。

### 二、提升实验

1、记录单缝衍射各级暗条纹和中央主极大位置，计算单缝缝宽 $a$ ，求相对误差；

见数据处理

2、记录双缝衍射各级亮条纹（或暗条纹）位置，计算双缝中心间距 $d$ （ $d=a+b$ ，为光栅

常数，即其空间周期， $a$ 为缝宽， $b$ 为不透光部分的宽度），求相对误差。

见数据处理

### 三、进阶实验

1、观察、分析不同形状的小孔衍射图样。

三角形小孔：六角形

矩形小孔：十字星外加一条穿过中心的斜线

正方形小孔：十字星

圆形小孔：明暗相间的同心圆

## 实验数据：

1.单缝：300 $\mu$ m，L=18cm， $\lambda$ =632.8nm

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
k	中央	1	2	3	4	5	6	7	8
x(mm)	4.625	5.022	5.409	5.792	6.205	6.602	7.038	7.470	7.868
xk(mm)	0.000	0.397	0.784	1.167	1.580	1.977	2.413	2.845	3.243

2.双缝：100μm，L=18cm，λ=632.8nm

x(mm)	2.268	3.366	4.488	5.608	6.708	7.856	8.964	10.102
Δx(mm)	0.000	1.098	1.122	1.120	1.100	1.148	1.108	1.138

数据处理：

1. 单缝：

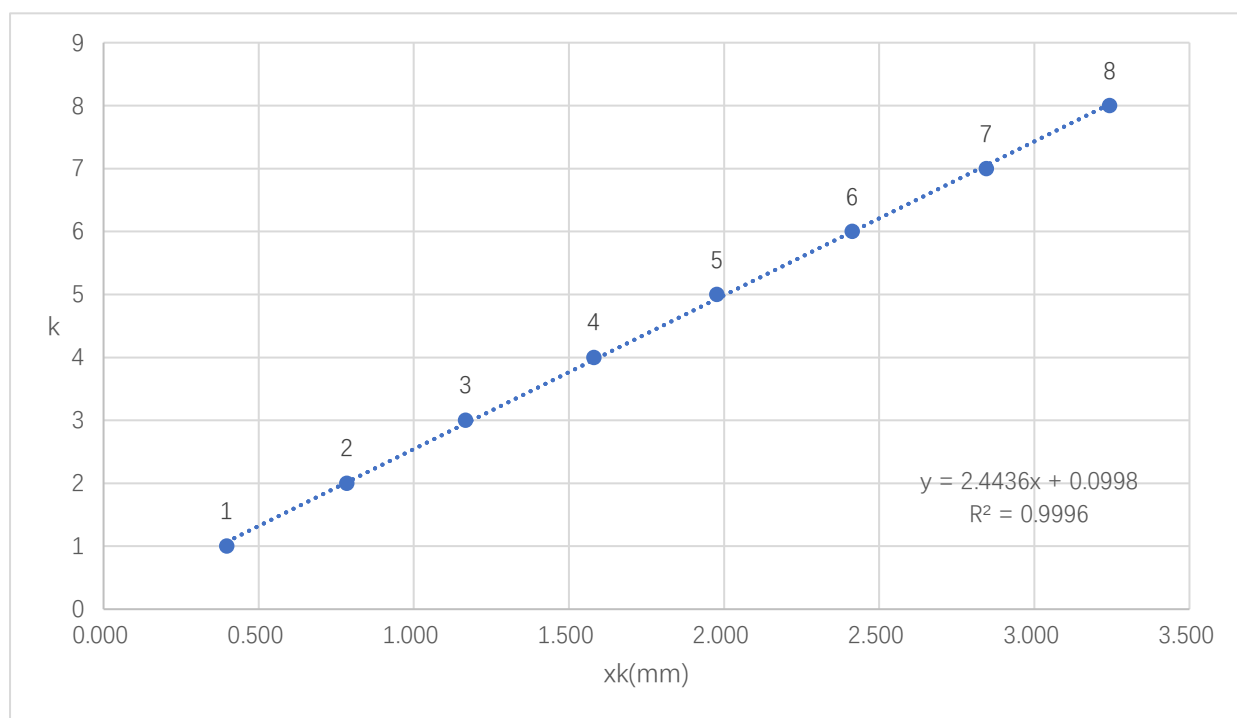
由公式：

$$\frac{k\lambda}{a} = \frac{x_k}{L}$$

得出：

$$a = \frac{k}{x_k} \cdot \lambda L$$

对上述表格作 k-x<sub>k</sub> 图，进行线性拟合：



得出  $k/x_k=2.4436\text{mm}^{-1}$ ，从而计算出：

$$a = 2.783 \times 10^{-4}\text{m}$$

相对误差为：

$$\delta = \frac{\Delta a}{a_0} = 7.22\%$$

2.双缝：

条纹宽度平均值由上述表格可得：

$$\overline{\Delta x} = 1.119\text{mm}$$

由  $x_k = \frac{L}{a} \lambda k$  可计算：

$$d = 1.018 \times 10^{-4} m$$

相对误差为：

$$\delta = \frac{\Delta d}{d_0} = 1.79\%$$

**思考题：**

1. 当光通过一个小孔时，在后面的光屏上会得到什么样的图案？

会得到明暗相间的同心圆光斑，中央亮斑亮度最高。

2. 白光照射到狭缝上，衍射条纹有什么特点？

呈现出中心为白色，之后向两侧延伸为彩色条纹，亮度由中间向两侧逐渐减弱。

3. LED 射灯照到手机屏幕时可观察到下图中的现象，解释其原因

手机屏幕含有光栅结构，LED 射灯为白光混合光，照到手机屏幕发生衍射现象，不同波长的光衍射条纹间距不同，从而产生彩色条纹。