

实 验 报 告

评分:

管理系 20 级

学号 PB20151804

姓名 袁雨

日期 2021 年 6 月 3 日

一、实验题目：衍射实验

二、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。

三、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。

四、实验原理及方法：

1. 产生夫琅禾费衍射的光路

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 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 2。简化后的光路图如图 2 所示。

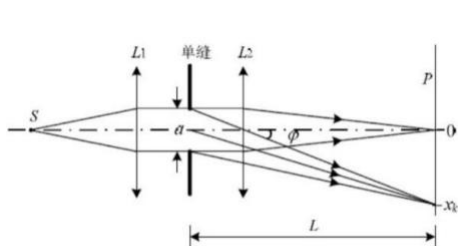


图 1 单缝夫琅禾费衍射光路

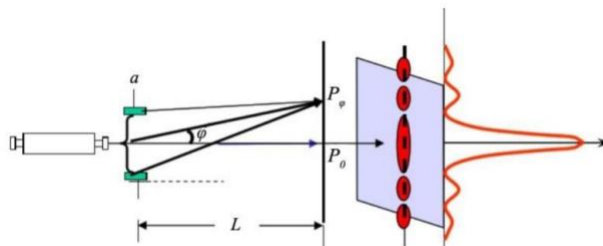


图 2 简化的单缝夫琅禾费衍射光路图

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： $I_{\varphi} = I_0 \left(\frac{\sin u}{u} \right)^2$ ， $u = \pi a \frac{\sin \varphi}{\lambda}$ （a:单缝的宽度， I_0 : 入射光光强， φ : 衍射光与光轴的夹角——衍射角）

①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。

②当 $a \sin \varphi = k\lambda$ ， $k = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ ，即 $u = k\pi$ （ $k = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ ）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 φ 很小，近似有 $\sin \varphi = \varphi$ ， $\varphi = \frac{k\lambda}{a}$ ，k 级暗条纹对应

的衍射角 $\varphi_k = \frac{x_k}{L}$ （ x_k : 第 k 级暗条纹距离中央亮条纹中心的距离），故有 $\frac{k\lambda}{a} = \frac{x_k}{L}$ ，记录单缝衍射各级暗条纹和中央主极大位置，便可计算单缝缝宽 a。

3. 双缝夫琅禾费衍射的光强分布

将图 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。

实验报告

评分:

管理系 20 级

学号 PB20151804

姓名 袁雨

日期 2021 年 6 月 3 日

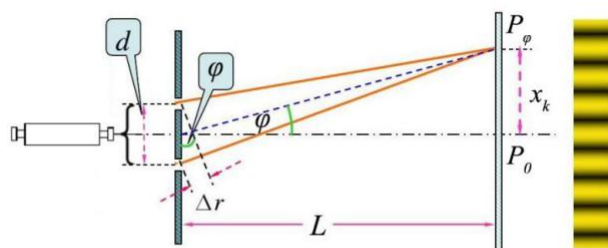


图 4 双缝衍射光路图

屏上 P_φ 处的光强分布为: $I_\varphi = 4I_0 \frac{\sin^2 u}{u^2} \cos^2 v$ 其中 $u = \pi a \frac{\sin \varphi}{\lambda}$, $v = \pi d \frac{\sin \varphi}{\lambda}$ 。

①光强为零: $u = \pi a \frac{\sin \varphi}{\lambda} = k\pi$, 即 $a \sin \varphi = k\lambda$ ($k = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$) 或

$$v = \pi d \frac{\sin \varphi}{\lambda} = \pm \left(m - \frac{1}{2}\right) \pi, \text{ 即 } d \sin \varphi = \pm \left(m - \frac{1}{2}\right) \lambda \quad (m = 1, 2, 3, \dots)$$

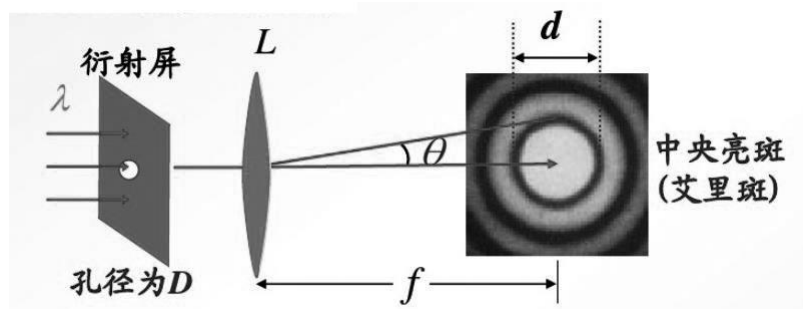
②光强极大值: $v = \pi d \frac{\sin \varphi}{\lambda} = n\pi$, 即 $d \sin \varphi = n\lambda$ ($n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$)

③缺级: 当 $d \sin \varphi = n\lambda$ 确定的干涉极大正好与由 $a \sin \varphi = k\lambda$ 确定的衍射极小的位置重合时, 即 $\frac{n}{k} = \frac{d}{a}$, 那么第 n 级干涉极大将不会出现, 称为缺级。

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: $x_k = \frac{L}{d} \lambda$ 。实际产生的图样是干涉、衍射效应的总和。

4. 圆孔夫琅禾费衍射的光强分布

由于光的波动性, 光通过小孔会发生衍射, 产生明暗相间的条纹衍射图样, 条纹间距随小孔尺寸的减少而变大。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。衍射图样的中心区域有最大的亮斑, 称为艾里 (Airy) 斑。艾里斑的角度与波长及小孔的直径满足关系: $\sin \theta = 1.22\lambda/D$



θ 即第一暗环的衍射方向角 (即从中央亮斑的中心到第一暗环对透镜光心的张角), 因为角一般都很小, 有 $\sin \theta \approx \theta$, 故 $\theta \approx 1.22\lambda/D$ 。

五、实验内容

(一) 基础实验

实 验 报 告

评分:

管理系 20 级

学号 PB20151804

姓名 袁雨

日期 2021 年 6 月 3 日

- 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；
- 2、观察并总结各元件缝宽（或直径）变化时衍射图样的变化规律。

（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；
- 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。

六、实验现象及测量记录

（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：中央亮条纹最亮最宽，其他各级暗、亮条纹以中央亮条纹中点为中心左右对称分布，暗条纹等间距分布，亮条纹宽度约为中央亮条纹的 $\frac{1}{2}$ ，且逐级减小。条纹边缘较粗糙，亮度依次减弱。
双缝：中央亮条纹最亮，其他各级暗、亮条纹以中央亮条纹中点为中心等间距、左右对称分布，两侧亮度逐级衰减，条纹边缘较粗糙，中间 5 个亮条纹左右出现缺级。
圆孔：中央亮斑最亮，以中央亮斑为中心有一系列亮暗相间的同心圆环，亮度逐渐减弱。
- 2、观察并总结各元件缝宽（或直径）变化时衍射图样的变化规律。
单缝： a 越大，条纹宽度和间距越小，光强越大。
双缝： d 越大，条纹宽度和间距越小。
小孔： r 越大，亮斑半径越大。

（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。

使用的单缝缝宽 $a=0.1\text{mm}$ ，衍射屏的坐标 $l_1 = 65.79\text{cm}$ ，CCD 的坐标 $l_2 = 90.99\text{cm}$ 。

表 1：单缝衍射

各级暗条纹/中央极大主轴序数	x_{-3}	x_{-2}	x_{-1}	x_0	x_1	x_2	x_3
相应的位置坐标/mm	11.443	13.147	14.891	16.520	18.190	19.849	21.435

- 2、记录双缝衍射各级亮条纹（或暗条纹）位置。

使用的双缝缝宽 $d=0.25\text{mm}$ ，衍射屏的坐标 $l_1' = 61.30\text{cm}$ ，CCD 的坐标 $l_2' = 90.99\text{cm}$ 。

表 2：双缝衍射

各级亮条纹中心位置序数	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}
相应的位置坐标/mm	13.162	13.740	缺级	15.221	15.940	16.651	17.332	17.982	缺级	19.457	20.079

七、数据处理

1. 计算单缝缝宽 a ，求相对误差。

衍射屏到观察屏的距离 $L_1 = l_2 - l_1 - \sigma = 90.99\text{cm} - 65.79\text{cm} - 2.00\text{cm} = 23.20\text{cm}$

暗纹距离中央亮条纹中心的距离：

实 验 报 告

评分:

管理系 20 级

学号 PB20151804

姓名 袁雨

日期 2021 年 6 月 3 日

$$d_{-3} = x_0 - x_{-3} = 16.520\text{mm} - 11.443\text{mm} = 5.077\text{mm}$$

$$d_{-2} = x_0 - x_{-2} = 16.520\text{mm} - 13.147\text{mm} = 3.373\text{mm}$$

$$d_{-1} = x_0 - x_{-1} = 16.520\text{mm} - 14.891\text{mm} = 1.629\text{mm}$$

$$d_1 = x_1 - x_0 = 18.190\text{mm} - 16.520\text{mm} = 1.670\text{mm}$$

$$d_2 = x_1 - x_0 = 19.849\text{mm} - 16.520\text{mm} = 3.329\text{mm}$$

$$d_3 = x_3 - x_0 = 21.435\text{mm} - 16.520\text{mm} = 4.915\text{mm}$$

$$\text{由 } \frac{|k|\lambda}{a} = \frac{d_{|k|}}{L}, \text{ 得 } a = \frac{|k|\lambda L}{d_{|k|}}$$

$$a_{-3} = \frac{3 \times 632.8 \times 10^{-6} \times 23.20 \times 10}{5.077} = 0.08675\text{mm}$$

$$a_{-2} = \frac{2 \times 632.8 \times 10^{-6} \times 23.20 \times 10}{3.373} = 0.08705\text{mm}$$

$$a_{-1} = \frac{1 \times 632.8 \times 10^{-6} \times 23.20 \times 10}{1.629} = 0.09012\text{mm}$$

$$a_1 = \frac{1 \times 632.8 \times 10^{-6} \times 23.20 \times 10}{1.670} = 0.08791\text{mm}$$

$$a_2 = \frac{2 \times 632.8 \times 10^{-6} \times 23.20 \times 10}{3.329} = 0.8820\text{mm}$$

$$a_{-3} = \frac{3 \times 632.8 \times 10^{-6} \times 23.20 \times 10}{4.915} = 0.08961\text{mm}$$

$$\text{缝宽 } \bar{a} = \frac{a_{-3} + a_{-2} + a_{-1} + a_1 + a_2 + a_3}{6} = 0.08827\text{mm}$$

$$\text{相对误差 } \delta = \left| \frac{\bar{a} - a}{a} \right| \times 100\% = \left| \frac{0.08827 - 0.1}{0.1} \right| \times 100\% = 10\%$$

2. 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。

$$\text{衍射屏到观察屏的距离 } L_1 = l_2 - l_1 - \sigma = 90.99\text{cm} - 61.30\text{cm} - 2.00\text{cm} = 27.69\text{cm}$$

用最小二乘法作图如下:

实 验 报 告

评分:

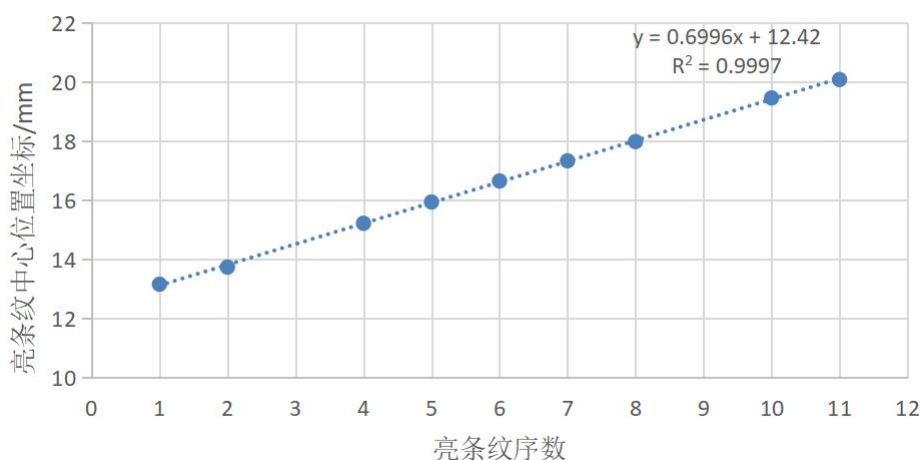
管理 系 20 级

学号 PB20151804

姓名 袁雨

日期 2021 年 6 月 3 日

亮条纹中心位置坐标与序数关系图



图像中斜率即为暗条纹的平均间距, $k = \Delta x = \frac{\lambda L}{d} = 0.6996mm$,

$$\text{双峰中心间距 } d = \frac{\lambda L}{\Delta x} = \frac{632.8 \times 10^{-6} mm \times 27.69 \times 10 mm}{0.6696 mm} = 0.2617 mm$$

$$\text{相对误差 } \delta = \left| \frac{d' - d}{d} \right| \times 100\% = \left| \frac{0.2617 - 0.25}{0.25} \right| \times 100\% = 4.7\%$$

八、误差分析

1. 人为、仪器读数误差;
2. 人眼无法精确判断条纹的位置坐标;
3. 在显微镜下观察,发现缝、孔等边缘粗糙,测量出的长度也与给出的长度有差距;
4. 主极大杂散光与室内环境光等的影响。

九、实验总结

答:通过该实验我掌握了组装、调整衍射实验光路的方法;

观察了不同结构衍射屏的衍射图样特征,但因为缝宽变化范围较小,未能确切观察到亮度等的变化;学会了计算衍射屏结构参数的方法。

十、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?

答:①当小孔较大时,则得到与小孔形状相同的亮斑;

②随着小孔直径的减小,会出现小孔成像现象,光屏上形成物的倒影,大小和亮度与物距、像距等有关;

③当小孔直径和光的波长接近时,出现小孔衍射现象。得到的是图案是:中央为半径大、亮度大的白色亮斑,以中央亮斑为中心有一系列亮暗相间的同心圆环,其亮度逐渐减弱、宽度变窄,若是白光,则是由里向外由紫到红的彩色圆环;若是单色光,则是单色圆环。

2. 白光照射到狭缝上,衍射条纹有什么特点?

实 验 报 告

评分：

管理 系 20 级

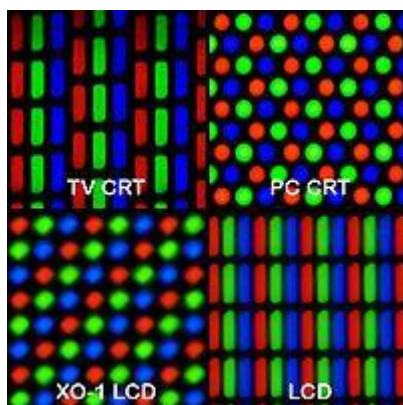
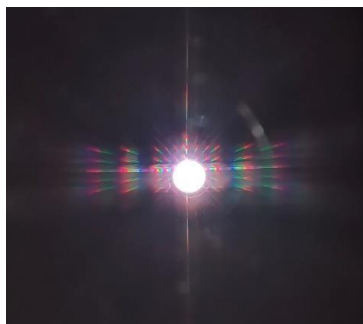
学号 PB20151804

姓名 袁雨

日期 2021 年 6 月 3 日

答：白光中的各种色光均在中央形成亮纹，复合后为白光，同时白光中各种色光衍射的程度不同，条纹宽度不一样，不能完全重合，致使其余亮纹依次错开，结果形成彩色衍射条纹。故衍射条纹的特点是：中央零级明条纹为白色，周围是以中央亮纹为对称点排列的彩色条纹，不同波长由短到长的次序自中央向外侧依次分开排列。

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。



答：手机屏幕的微观基本结构大体如上右图，其排列是规律的，呈现周期性的。这种排列使得屏幕形成了类似衍射光栅的结构，所以 LED 射灯照到手机屏幕就会发生衍射。中间光强过大形成圆形亮斑，不同颜色的光的波长不同，从而明暗条纹的间距等不同，形成图中现象。