

衍射实验实验报告

姓名：宋建宏 学号：PB21020677 班级：203 院 22 级 5 班

日期：2023 年 5 月 16 日

实验目的

掌握组装、调整衍射光路的方法。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。结合理论计算衍射屏的结构参数，（单缝的缝宽，双缝中心间距）。

实验原理

本实验讨论夫琅禾费衍射。

单孔衍射

光通过小孔发生衍射，在接收屏上呈现出一个中央亮斑和环绕中央亮斑的环状衍射图样。大约有 84% 的光强集中于中央亮斑，这个亮斑被称为艾里斑。

单缝衍射

利用能发出平行光的波源，通过单缝后在一个接收屏上可以收到衍射图样。由惠更斯-菲涅尔原理可知，单缝上的每个点都可以看做是新的波源。这些波源发出的子波在接收屏上叠加，由理论计算得，其光强分布表现为：

$$I_{\varphi} = I_0 \left(\frac{\sin u}{u} \right)^2, \text{ 其中 } u = \pi a \frac{\sin \varphi}{\lambda}$$

式中 a 为单缝的宽度， I_0 为入射光光强， φ 为衍射光与光轴的夹角，即衍射角。当衍射角 φ 固定时，观察点的光强值与波长 λ 和单缝缝宽 a 有关。当 $u = 0$ 即 $\varphi = 0$ 时， I_{φ} 取得最大值，即 I_0 ，此时对应的衍射亮斑在所有条纹中最亮，被称为中央主极大。而

$$a \sin \varphi = k\lambda \text{ 时, } k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$$

时，有 $u = k\pi$ ，即 $\sin u = 0$ ，表现为暗纹。此时衍射角对应的位置为暗纹的中心。在本实验中，衍射角 φ 很小，可以认为 $\sin \varphi = \varphi$ ，于是有

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

即

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

双缝衍射

双缝元件狭缝的宽度为 a , 中间不透光部分宽度为 b , 则双缝中心间距 $d = a + b$. 因此, 屏上 P_φ 处的光强分布为

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

其中 $u = \pi a \frac{\sin \varphi}{\lambda}$, $v = \pi d \frac{\sin \varphi}{\lambda}$; 上式表明: 双缝衍射的光强由两个因素共同决定。其中 u 是单缝衍射带来的决定项, 而 v 表示两个缝产生的两束光的相位差带来的影响结果。因此双缝夫琅禾费衍射的光强由两个因素乘积共同作用而成。因此, 当两个因子有一个值为 0 时, 接收屏上接收到的图像为暗纹。

对 u 而言, 使得 $\frac{\sin u}{u}$ 为 0 的条件是: $u = \pi a \frac{\sin \varphi}{\lambda} = k\pi$, 即

$$a \sin \varphi = k\lambda, k \in \mathbb{Z} \text{ 且 } k \neq 0$$

对 v 而言, 使得 $\cos^2 v = 0$ 的条件是: $v = \pi d \frac{\sin \varphi}{\lambda} = \pm \left(m - \frac{1}{2}\right) \pi$, 即

$$d \sin \varphi = \pm \left(m - \frac{1}{2}\right) \lambda, m \in N^*$$

同样, 出现衍射极大值的条件是: $v = \pi d \frac{\sin \varphi}{\lambda} = n\pi$, 即

$$d \sin \varphi = n\lambda, n \in \mathbb{Z}$$

但是, 当 $d \sin \varphi = n\lambda, n \in \mathbb{Z}$ 确定的最大值与 $a \sin \varphi = k\lambda, k \in \mathbb{Z}$ 且 $k \neq 0$ 确定的最小值重合时, 第 n 级干涉条纹不会出现, 这种现象称为缺级。第 n 级缺级的条件是:

$$\frac{n}{k} = \frac{d}{a}$$

根据以上推导可得: 当狭缝宽度较小时, 尤其是小于光的波长时, 观察到的衍射条纹, 从中央向两端的亮度基本不衰减; 同时, 条纹之间的间距与屏与双缝的距离成正比, 与双缝间距成反比。

实验仪器

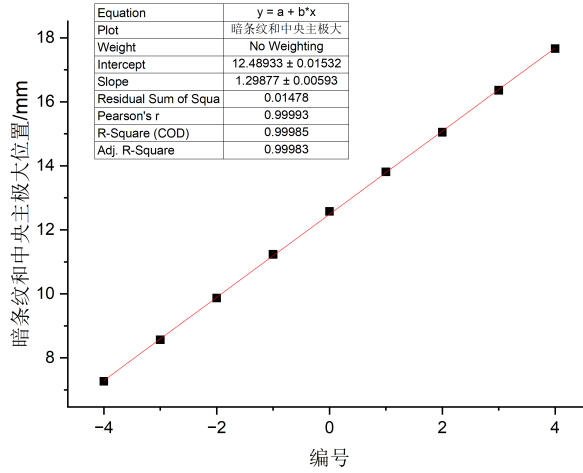
光学导轨及附件, He-Ne 激光器 (632.8 nm) 及电源, 衰减片, 衍射元件 (单缝, 双缝, 圆孔等), CCD, 一维平移台, 显示屏, 支架, 弹簧, 细金属丝等。

测量记录

见原始数据

数据处理

光路中 L 的长度为 $L = 82.00 - 40.00 - 2.00 = 40.00 \text{ cm} = 0.4 \text{ m}$



单缝衍射

使用 Origin 进行线性拟合如图
得图象斜率绝对值约为 1.299，即

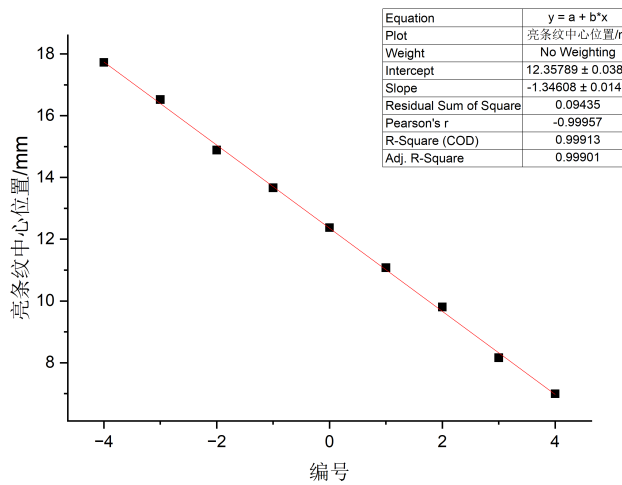
$$\left| \frac{k}{x_k - x_0} \right| = \frac{1}{1.299 \times 10^{-3}} m^{-1} = 796.96 m^{-1}$$

得单缝缝宽

$$a = \lambda L \left| \frac{k}{x_k - x_0} \right| = 632.8 \times 10^{-9} \times 0.4 \times 796.96 = 201.7 \mu m$$

双缝衍射

线性拟合如图



得图象斜率绝对值约为 1.346，即

$$\left| \frac{k}{x_k - x_0} \right| = \frac{1}{1.346 \times 10^{-3}} m^{-1} = 742.94 m^{-1}$$

则双缝间距为

$$d = \lambda L \left| \frac{k}{x_k - x_0} \right| = 632.8 \times 10^{-9} \times 0.4 \times 742.94 = 188.1 \mu\text{m}$$

误差分析

单缝的标定宽度为 $200 \mu\text{m}$ ，相对误差为

$$\delta = \left| \frac{201.7 - 200}{200} \right| \times 100\% = 0.85\%$$

双缝的标定间距为 $190 \mu\text{m}$ ，相对误差为

$$\delta = \left| \frac{188.1 - 190}{190} \right| \times 100\% = 1\%$$

总体来看相对误差较小。

误差来源

1. CCD 镜头的凸出距离无法精确测量，导致 L 不够精确。
2. 衍射图象边界较模糊，较难精准测量衍射光斑位置。
3. 调节 ccd 镜头的齿轮具有回程差，测量时只能单向转动，无法精确测量光斑位置。
4. 光路中的衍射元件难以调整至与光线垂直。

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？
若小孔较大，则仅仅出现一个光斑；当小孔较小时，出现一个夫琅禾费小孔衍射图案。如果是多颜色叠加的光，则其衍射条纹将有不同色光分布。
2. 白光照射到狭缝上，衍射条纹有什么特点？
中间形成白色亮条纹，两边分布不同颜色的彩条纹。
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。
光在手机屏幕透明层里多次折射和衍射，可以形成这种状态。