

光衍射的定量研究实验报告

2200011477 李昊润 四组 10 号

2023 年 12 月 12 日

实验所用氦氖激光器波长： $\lambda = 632.8 \text{ nm}$

1 测量单缝缝宽

1.1 实验数据

实验测量出单缝到接收器距离： $z = 37.10 \text{ cm} + 4 \text{ mm} = 375.0 \text{ mm}$ ，满足远场条件；选择第二行第五个单缝光栅进行测量。

表 1: 计算相关数据

项目	坐标	相对光强
主极强	$x_0 = 10.155 \text{ mm}$	$I_0 = 3498$
负一次极强	$x_1 = 8.195 \text{ mm}$	$I_1 = 159$
负一级暗纹	$x_3 = 8.735 \text{ mm}$	$I_3 = 11$
正一次极强	$x_2 = 12.260 \text{ mm}$	$I_2 = 147$
正一级暗纹	$x_4 = 11.725 \text{ mm}$	$I_4 = 30$

1.2 验证要求

由

$$\frac{|I_1 - I_2|}{\frac{I_1 + I_2}{2}} = 7.84\% < 10\% \quad (1)$$

$$\frac{I_1 + I_2}{2I_0} = 4.37\% \in (4\%, 5.5\%) \quad (2)$$

验证数据符合要求。

1.3 计算缝宽

利用第一次极强计算缝宽：

$$\Delta x_1 = \frac{x_2 - x_1}{2} = 2.0325 \text{ mm} \quad (3)$$

$$a = \frac{1.43\lambda}{\frac{\Delta x_1}{z}} = 0.1670 \text{ mm} \quad (4)$$

利用暗纹计算缝宽：

$$\Delta x_2 = \frac{x_4 - x_3}{2} = 1.495 \text{ mm} \quad (5)$$

$$a = \frac{\lambda}{\frac{\Delta x_2}{z}} = 0.1587 \text{ mm} \quad (6)$$

1.4 绘图分析

首先，利用 Mathematica 软件分别绘制出实验值与理论值图像见图 1，经比较分析拟合程度较好。

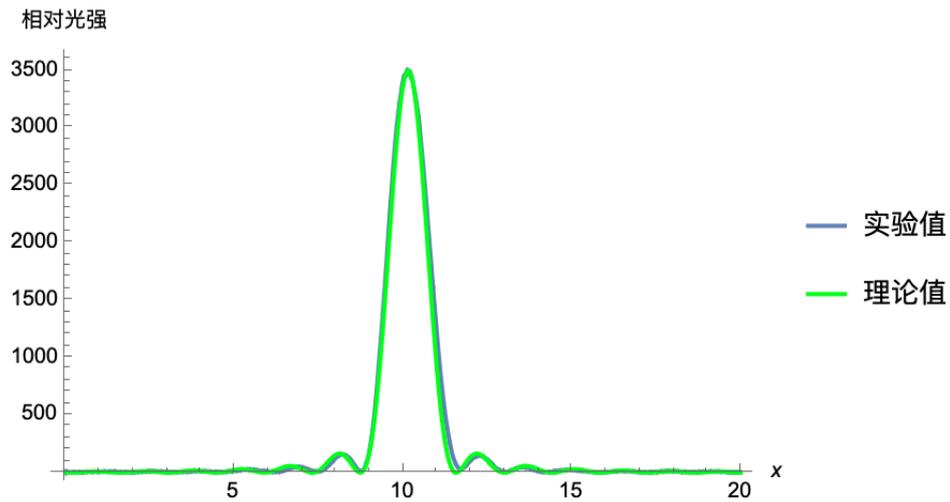


图 1: 单缝衍射实验值与理论值

其次，利用 Matlab 软件编程对于实验数据进行拟合，分别绘制出实验值与拟合值图像见图 2，经比较分析拟合程度较好。

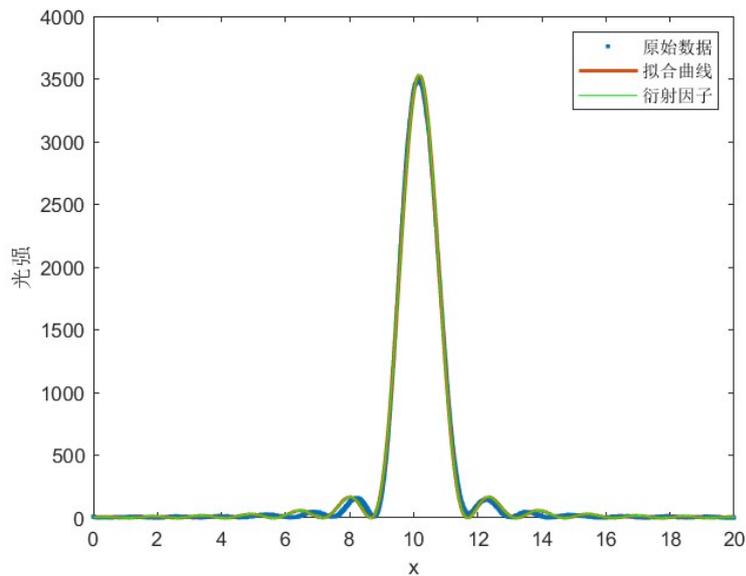


图 2: 单缝衍射实验值与拟合值

利用软件拟合得到单缝缝宽为 $a = 0.1569 \text{ mm}$ 。

1.5 误差分析

误差来源:

1. 对于基尔霍夫衍射进行远场近似带来部分误差。
2. $\sin \theta \approx \frac{\Delta x}{z}$ 带来部分误差。
3. 对于 z 和 x 的测量带来部分误差见以下 不确定度计算。

不确定度计算 (以更精确的利用第一次极强计算缝宽分析):

z 的允差: $e_z = 0.15 \text{ mm}$, z 的不确定度 $\sigma_z = \frac{e_z}{\sqrt{3}}$

x 的不确定度本应该包含两部分 (读数误差与对齐误差), 但是因为利用电脑软件精确寻峰, 对齐误差可忽略不计, 尽考虑读数误差 $\sigma_x = 0.005 \text{ mm}$

单缝宽度不确定度:

$$\sigma_a = 2.68\lambda \sqrt{\left(\frac{1}{x_2 - x_1} \sigma_z\right)^2 + \left(-\frac{z}{(x_2 - x_1)^2} \sigma_x\right)^2 + \left(\frac{z}{(x_2 - x_1)^2} \sigma_x\right)^2} = 3 \times 10^{-4} \text{ mm} \quad (7)$$

单缝宽度: $a = (0.1670 \pm 0.0003) \text{ mm}$

2 测量双缝缝宽和缝间距

2.1 实验数据

实验测量出双缝到接收器距离: $z = 36.90 \text{ cm} + 4 \text{ mm} = 373.0 \text{ mm}$, 满足远场条件。

表 2: 计算相关数据

项目	坐标	相对光强
主极强	$x'_0 = 30.550 \text{ mm}$	$I'_0 = 3745$
负一次极强	$x'_1 = 27.940 \text{ mm}$	$I'_1 = 2025$
正一次极强	$x'_2 = 32.845 \text{ mm}$	$I'_2 = 1662$

2.2 计算缝宽与缝间距

利用主极强计算缝间距:

$$\Delta x = \frac{x'_2 - x'_1}{2} = 2.4525 \text{ mm} \quad (8)$$

$$d = \frac{k\lambda}{\frac{\Delta x}{z}} = 0.09624 \text{ mm}$$

利用缺级计算缝宽: 缺级处单元因子暗点 $k_a = 1$, 结构因子主极峰 $k_d = 3$ 。

$$a = d \frac{k_a}{k_d} = \frac{d}{3} = 0.03208 \text{ mm} \quad (9)$$

2.3 绘图分析

首先，利用 Mathematica 软件分别绘制出实验值与理论值图像见图 3，经比较分析拟合程度不够好。

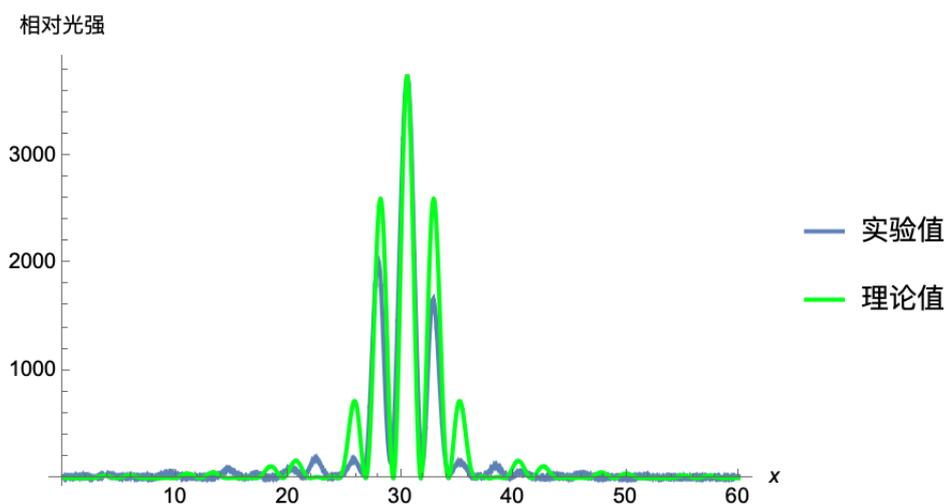


图 3: 双缝衍射实验值与理论值

其次，利用 Matlab 软件编程对于实验数据进行拟合，分别绘制出实验值与拟合值图像见图 4，经比较分析拟合程度不够好。

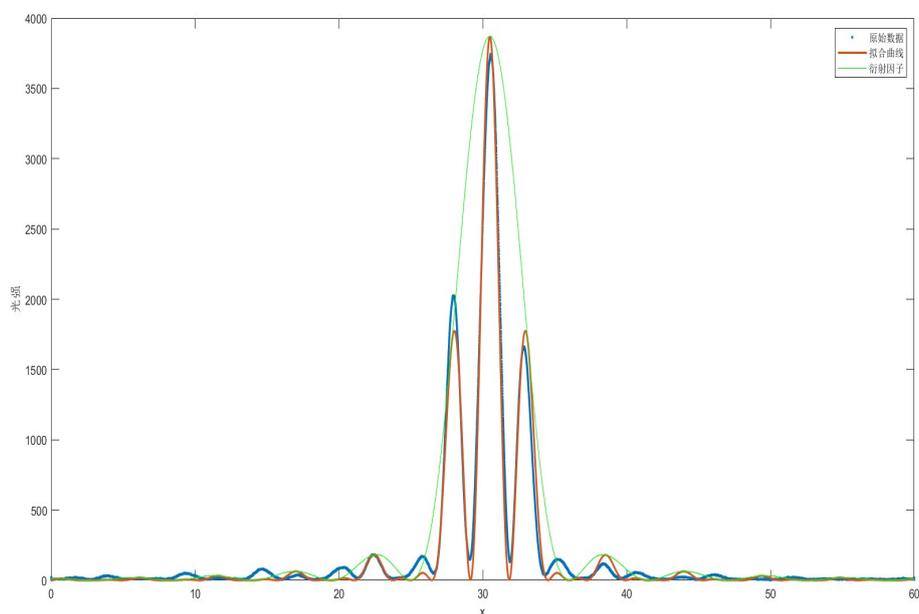


图 4: 双缝衍射实验值与拟合值

利用软件拟合得到双缝缝宽为 $a = 0.04281 \text{ mm}$ ，缝间距为 $d = 0.08765 \text{ mm}$ 。

2.4 误差分析

误差来源:

1. 对于基尔霍夫衍射进行远场近似带来部分误差。
2. $\sin \theta \approx \frac{\Delta x}{z}$ 带来部分误差。
3. 为了保证光强超过一定大小 (避免相对误差较大), 接收器前横向的缝开口较宽, 带来部分误差。
4. 对于 z 和 x 的测量带来部分误差见以下 不确定度计算。

不确定度计算 (以更精确的利用第一次极强计算缝宽分析):

z 的允差: $e_z = 0.15 \text{ mm}$, z 的不确定度 $\sigma_z = \frac{e_z}{\sqrt{3}}$

x 的不确定度本应该包含两部分 (读数误差与对齐误差), 但是因为利用电脑软件精确寻峰, 对齐误差可忽略不计, 尽考虑读数误差 $\sigma_x = 0.005 \text{ mm}$

缝间距不确定度:

$$\sigma_d = 2\lambda \sqrt{\left(\frac{1}{x'_2 - x'_1} \sigma_z\right)^2 + \left(-\frac{z}{(x'_2 - x'_1)^2} \sigma_x\right)^2 + \left(\frac{z}{(x - 2' - x'_1)^2} \sigma_x\right)^2} = 1.4 \times 10^{-4} \text{ mm} \quad (10)$$

缝间距: $d = (0.09624 \pm 0.00014) \text{ mm}$

缝宽不确定度:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_d}{3} = 5 \times 10^{-5} \text{ mm} \quad (11)$$

缝宽: $a = (0.03208 \pm 0.00005) \text{ mm}$

3 其他衍射结构的衍射图样

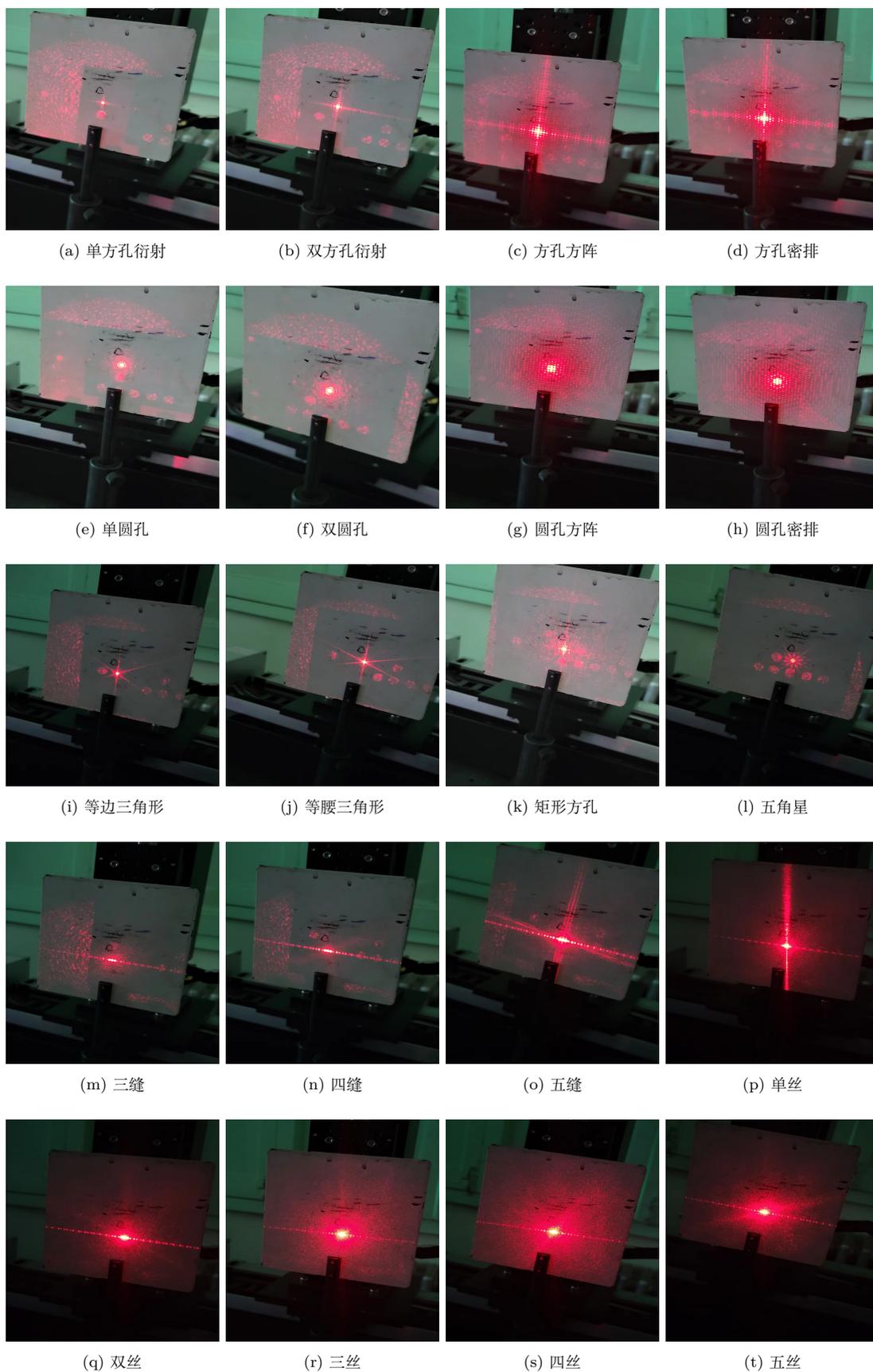


图 5: 其他衍射结构的衍射图样

总结出夫朗和费衍射图样与衍射结构之间的关系：

1. 当结构为方形时，图样成十字排布。
2. 当结构为圆形时，图样成圆对称。
3. 当结构为多边形时，图样大体沿各边垂直平分线延展。
4. 当结构为缝或丝时，图样垂直于线的方向，且随着数量增加，明纹变密。

4 收获与感想

本次实验中在进行双缝衍射的测量时，我的图像总是不够尽如人意，老师指出来是因为我的接收器没有调节到适当的高度，体现出我进行实验时不够细致的问题，令我更加深刻地认识到了实验工作的严谨细致、一丝不苟，希望我能够在今后的实验中，学习和体会前辈物理学家进行物理实验的精神与思想，能够真切益于我的物理学学习甚至生活之中。