

《普通物理实验》实验报告

实验名称 光衍射的定量研究 实验日期 2023 年 11 月 17 日
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 331

第一部分 数据记录和数据处理

1 单缝衍射实验

实验使用的氦氖激光器波长为

$$\lambda = 632.8 \text{ nm}$$
$$\sigma_\lambda = \frac{e}{\sqrt{3}} = \frac{0.1}{\sqrt{3}} \text{ nm} = 5.8 \times 10^{-10} \text{ m}$$

调节光路后, 使用钢尺测量衍射屏到接收平面的距离(由于测量仪器量程不足, 不确定度较大)为

$$z = l_{\text{测量}} + \Delta z = (64.8 \pm 0.2) \text{ cm}$$

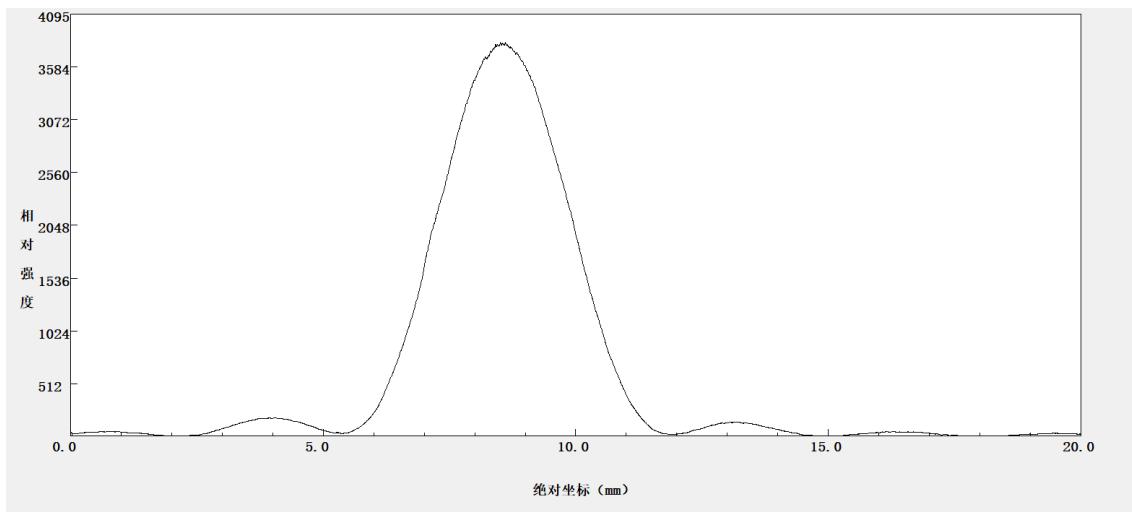


图 1: 单缝衍射实验光强测量图

表 1: 测量单缝衍射光强分布数据表

级次	相对光强	位置 x/mm
主极强	3701	8.410
左侧零级暗纹	25	5.285
右侧零级暗纹	15	11.670
左侧第一次极强	193	4.025
右侧第一次极强	177	12.805

《普通物理实验》实验报告

实验名称 光衍射的定量研究 实验日期 2023 年 11 月 17 日
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 331

检验数据质量：

$$\frac{I_1 + I_2}{2I_0} = 5.00\% \in (4\%, 5.5\%) \quad (1)$$

$$\frac{2|I_1 - I_2|}{I_1 + I_2} = 8.65\% < 10\% \quad (2)$$

符合数据质量要求。

使用零级暗纹计算单缝缝宽得到：

$$a = \frac{k\lambda}{\sin\theta} = \frac{2\lambda z}{x_{0r} - x_{0l}} = 128.44\mu m$$

由于峰值点位置存在一定的读数不确定度，故估计

$$\begin{aligned}\sigma_x &= 0.01 mm \\ \sigma_a &= a \sqrt{\left(\frac{\sigma_\lambda}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{2}\sigma_x}{x_{0r} - x_{0l}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_z}{z}\right)^2} = 0.44\mu m \\ a &= (128.4 \pm 0.4)\mu m\end{aligned}$$

使用一级次极强计算得到：

$$\begin{aligned}a &= \frac{1.43k\lambda}{\sin\theta} = \frac{1.43 \times 2\lambda z}{x_{1r} - x_{1l}} = 133.57\mu m \\ \sigma_a &= a \sqrt{\left(\frac{\sigma_\lambda}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{2}\sigma_x}{x_{0r} - x_{0l}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_z}{z}\right)^2} = 0.47\mu m \\ a &= (133.6 \pm 0.5)\mu m\end{aligned}$$

检验远场条件

$$\frac{a\lambda}{z^2} = 2.0 \times 10^{-10} \ll 1$$

符合要求

误差来源分析：本实验的误差来源于屏间距的测量，波长的数值，光强的测量和极值点位置的读数 $\sin x \sim \tan x$ 的近似，经计算，发现屏间距的测量和极值点位置的读数是最主要的误差来源，前者主要是因为测量方法的不精确，后者主要是因为峰值位置读数本身存在的误差。

2 双缝干涉实验

实验使用的氦氖激光器波长为 $\lambda = 632.8 nm$

$$\sigma_\lambda = \frac{e}{\sqrt{3}} = \frac{0.1}{\sqrt{3}} nm = 5.8 \times 10^{-10} m$$

调节光路后，使用钢尺测量衍射屏到接收平面的距离（由于测量仪器量程不足，不确定度较大）为

$$z = l_{\text{测量}} + \Delta z = (64.9 \pm 0.2) cm$$

《普通物理实验》实验报告

实验名称 光衍射的定量研究 实验日期 2023 年 11 月 17 日
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 331

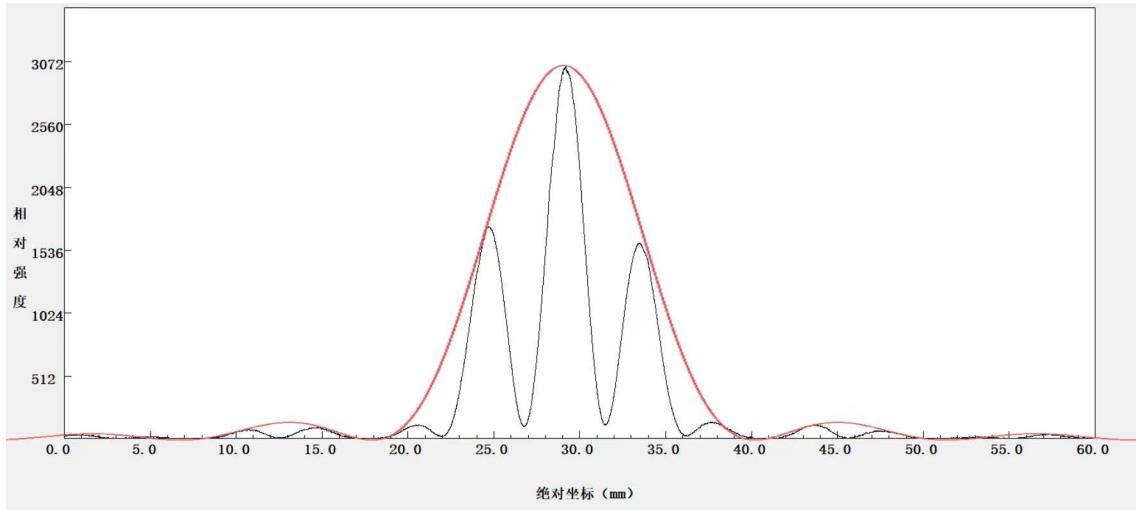


图 2: 双缝干涉实验光强测量图(红色实线为包络线)

表 2: 测量双缝干涉光强分布数据表

级次	相对光强	位置 x/mm
主极强	3023	29.180
左侧第一极小	103	26.775
右侧第一极小	113	31.485
左侧第一极强	1729	24.690
右侧第一极强	1596	33.495
包络线左侧第一零点	/	17.9
包络线右侧第一零点	/	40.2

使用第一极小计算缝间距得到:

$$d = \frac{k\lambda}{\sin\theta} = \frac{\lambda z}{(x_{0r} - x_{0l})} = 87.30 \mu m$$

由于峰值点位置存在一定的读数不确定度,故估计

$$\sigma_x = 0.01 mm$$

$$\sigma_d = d \sqrt{\left(\frac{\sigma_\lambda}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{2}\sigma_x}{x_{0r} - x_{0l}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_z}{z}\right)^2} = 0.38 \mu m$$
$$d = (87.3 \pm 0.4) \mu m$$

使用第一极强计算得到:

$$d = \frac{k\lambda}{\sin\theta} = \frac{2\lambda z}{(x_{1r} - x_{1l})} = 93.40 \mu m$$

《普通物理实验》实验报告

实验名称 光衍射的定量研究 实验日期 2023 年 11 月 17 日
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 331

由于峰值点位置存在一定的读数不确定度,故估计

$$\sigma_x = 0.01\text{mm}$$
$$\sigma_d = d \sqrt{\left(\frac{\sigma_\lambda}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{2}\sigma_x}{x_{0r} - x_{0l}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_z}{z}\right)^2} = 0.32\mu\text{m}$$
$$d = (93.4 \pm 0.3)\mu\text{m}$$

使用包络线第一零点计算缝宽得到:

$$a = \frac{k\lambda}{\sin\theta} = \frac{2\lambda z}{(x'_{0r} - x'_{0l})} = 36.88\mu\text{m}$$

由于包络线拟合和读数过程中存在较大的不确定度,故估计

$$\sigma_x = 0.1\text{mm}$$
$$\sigma_a = a \sqrt{\left(\frac{\sigma_\lambda}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{2}\sigma_x}{x_{0r} - x_{0l}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_z}{z}\right)^2} = 0.26\mu\text{m}$$
$$a = (36.9 \pm 0.3)\mu\text{m}$$

检验衍射条件和远场条件

$$a \sim d, \frac{d\lambda}{z^2} = 1.4 \times 10^{-10} \ll 1$$

符合要求

误差来源分析:本实验的误差来源于屏间距的测量,包络线拟合和读数过程中的误差,波长的数值,光强的测量和极值点位置的读数 $\sin x \sim \tan x$ 的近似,经计算,发现屏间距的测量和包络线拟合读数是最主要的误差来源,前者主要是因为测量方法的不精确,后者主要是因为峰值位置读数本身存在的误差。

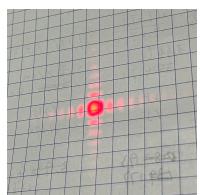
3 关于实验误差的进一步分析和可能的改进

1. 实验测量过程中,由于激光束并不是严格的平行光束,在竖直方向上有一定的孔径,而接收端接收的小孔在竖直方向上有一定的宽度,导致接收端接收时会受到竖直方向的干扰,接收到的光强并非严格的 d 单缝衍射分布。
2. 光强接收端的水平方向宽度和测量技术导致接收到的光强测量结果本身有一定的误差,而由于缺乏分析手段,实验误差分析中并没有考虑这一项的影响,对比实验结果,发现这一项的影响其实是不可忽略的,反映在以上计算过程中,就是对极大极小位置的测量和读数不确定度估计过小,应当适当增加。
3. 使用量程不足的钢尺测量造成的误差并不可忽略,为改进此情况,可换用量程更大的米尺进行距离的测量。
4. 缝宽的测量使用一组数据完成,可能引入较大的随机误差,可以通过引入多组其他位置(例如极大值一半处的位置)进行拟合以减小误差。

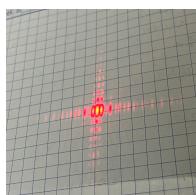
《普通物理实验》实验报告

实验名称 光衍射的定量研究 实验日期 2023 年 11 月 17 日
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 331

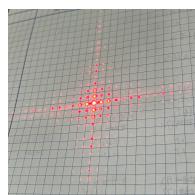
第二部分 其他衍射结构的衍射图案



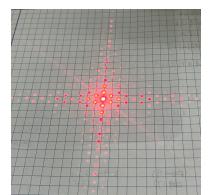
(a) 单方孔



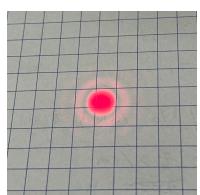
(b) 双方孔



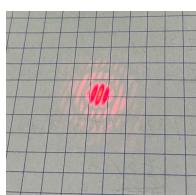
(c) 方孔方阵



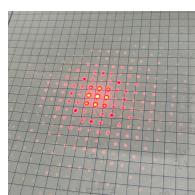
(d) 方孔密排



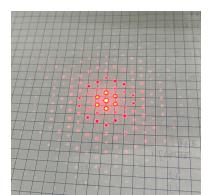
(e) 单圆孔



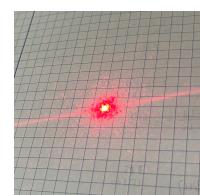
(f) 双圆孔



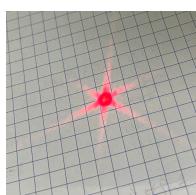
(g) 圆孔方阵



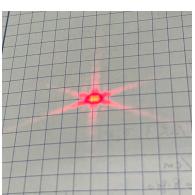
(h) 圆孔密排



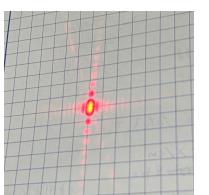
(i) 单方屏



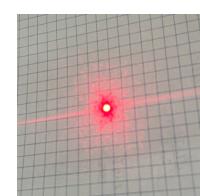
(j) 等边三角形



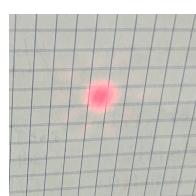
(k) 等腰三角形



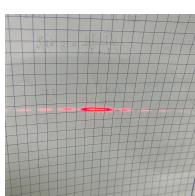
(l) 矩形方孔



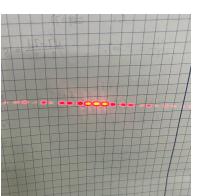
(m) 单圆屏



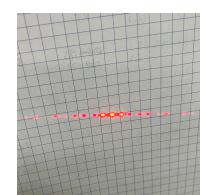
(n) 五角星



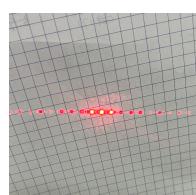
(o) 单缝



(p) 双缝



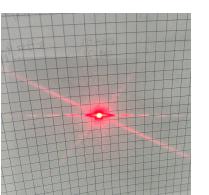
(q) 三缝



(r) 四缝



(s) 五缝



(t) 单丝

《普通物理实验》实验报告

实验名称 光衍射的定量研究 实验日期 2023 年 11 月 17 日
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 331

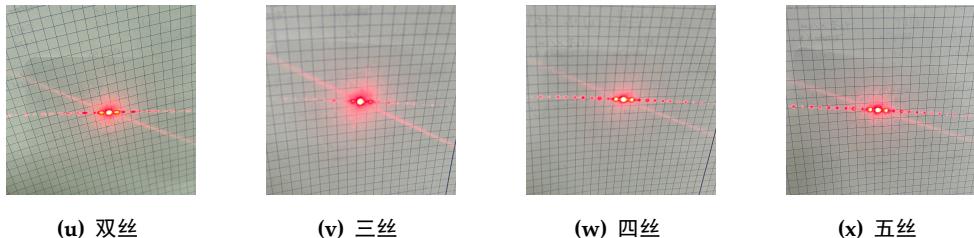


图 3: 不同衍射结构的衍射图案

第三部分 收获与感想

1 夫朗和费衍射图样与衍射结构之间的关系

1. 衍射光场分布可以分解为 $I/I_0 = (\text{衍射因子})^2 \times (\text{结构因子})^2$
2. (巴比涅原理)互补的振幅型衍射屏夫朗和费衍射图形是一样的。
3. 衍射图案的对称性由衍射结构决定, 衍射图案和衍射结构具有同类型的对称性。
4. 多缝衍射的主极大间的次极大个数由缝数决定, 缝数越多, 次极大数越多。

2 其他

1. 实验过程中, 实验系统的调节非常重要, 实验数据的质量直接受到调节好坏的影响。
2. 得到实验数据后, 应当注意初步检查数据质量是否正常, 如果数据质量较差(例如对称性不好), 应当分析是实验设计, 调节还是测量过程中出现了问题, 并作相应的修正重测。
3. 在实验条件有限的情况下, 可以使用较简单的方法初测待测量的值(例如手绘图像拟合), 但是如果条件允许, 使用更好的数据测量处理方法(例如使用计算机软件拟合)能够得到更精确的结果。
4. 实验设计中进行的近似处理可能引入系统误差, 实验测量完成后, 应当检验近似处理是否合理, 近似条件是否满足, 如果不满足, 应当对实验设计或数据处理作出合理的修正。