

# 实验二十 光衍射的定量研究 实验报告

钱思天 1600011388 No.7

2018 年 3 月 12 日

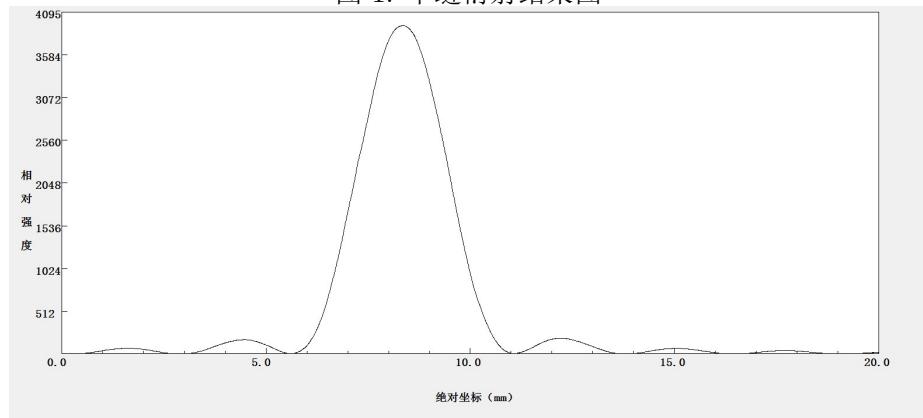
## 1 实验内容

### 1.1 单缝

#### 1.1.1 实验数据图

选用编号为 III4(缝宽参考值为 $133\mu\text{m}$ ) 经过测量，并运用数据分析软件，得图如下：

图 1：单缝衍射结果图



#### 1.1.2 计算

利用数据处理软件，可以得到如下的数据表：

表 1: 光强测量之数据

花样名	零级主大值	左方次极大	右方次极大	左方零级暗纹	右方零级暗纹
位置 /mm	$x_0 = 8.350$	$x_1 = 4.475$	$x_2 = 12.195$	$x_{01} = 5.605$	$x_{02} = 11.075$
相对强度	$I_0 = 3934$	$I_1 = 173$	$I_2 = 191$	$I_{01} = 5$	$I_{02} = 7$

此外，需测量一些距离参数如下表：

表 2: 光学元件距离

光学元件	探测器	单缝位置
位置 /cm	$z_0 = 14.88$	$z_1 = 72.55$

本实验中所用激光器为氦氖激光器，其波长  $\lambda = 632.8\text{nm}$ 。有远场条件  $z >> \frac{\rho^2}{\lambda}$  成立。

同时，其相对光强满足

$$\frac{I_1 + I_2}{2I_0} = 4.6\% \in (4\%, 5.5\%)$$

$$\frac{|I_1 - I_2|}{(I_1 + I_2)/2} = 9.8\% < 10\%$$

下进行计算：

利用一级级强计算缝宽 根据公式

$$a = \frac{1.43\lambda}{\sin \theta}$$

并由

$$\sin \theta \approx \frac{\Delta x}{z}$$

联立，并代入数据计算，得：

$$a = \frac{1.43 \times \lambda \times z}{\Delta x} = 135.20\mu\text{m}$$

式中：

$$\Delta x = |x_2 - x_1|/2 = 3.860\text{mm}$$

$$z = |z_0 - z_1| = 57.67\text{cm}$$

由于 135.20 与参考值 133 相差小于 2%，故认为实验结果是可靠的。

下计算不确定度:

从计算公式出发, 可看出共有三个参数, 其中  $\lambda$  值可视为准确值 (激光器产生)。从而有如下公式:

$$\frac{\sigma_a}{a} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_z}{z}\right)^2}$$

又, 考虑到钢尺测距的误差 (尤其是测衍射装置位置时), 将其允差取为  $e_{zi} = 1\text{cm}$ , 并且, 将衍射光强接收器的允差视为  $e_{xi}0.010\text{mm}$  (即  $\pm 1$  个数据点)。

$$\sigma_x = \frac{e_x}{\sqrt{3}} = \frac{e_{x1} + e_{x2}}{\sqrt{3}} = 0.011\text{mm}$$

$$\sigma_z = \frac{e_z}{\sqrt{3}} = 0.6\text{ cm}$$

得

$$\sigma_a = a \times \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_z}{z}\right)^2} = 1.41\text{ }\mu\text{m}$$

$$a \pm \sigma_a = 135 \pm 1\mu\text{m}$$

利用零级暗纹测量缝宽 根据公式

$$a = \frac{\lambda}{\sin \theta}$$

并由

$$\sin \theta \approx \frac{\Delta x}{z}$$

联立, 并代入数据计算, 得:

$$a = \frac{\lambda z}{\Delta x} = 133.43\mu\text{m}$$

式中:

$$\Delta x = |x_2 - x_1|/2 = 2.735\text{mm}$$

$$z = |z_0 - z_1| = 57.67\text{cm}$$

由于 133.43与参考值133相差小于2%, 故认为实验结果是可靠的。

下计算不确定度:

仿照上问中: 从计算公式出发, 可看出共有三个参数, 其中

$$\lambda$$

值可视为准确值 (激光器产生)。从而有如下公式:

$$\frac{\sigma_a}{a} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_z}{z}\right)^2}$$

又, 考虑到钢尺测距的误差 (尤其是测衍射装置位置时), 将其允差取为  $e_{zi} = 1\text{cm}$ , 并且, 将衍射光强接收器的允差视为  $e_{xi}0.010\text{mm}$  (即  $\pm 1$  个数据点)。

$$\sigma_x = \frac{e_x}{\sqrt{3}} = \frac{e_{x1} + e_{x2}}{\sqrt{3}} = 0.011\text{mm}$$

$$\sigma_z = \frac{e_z}{\sqrt{3}} = 0.6\text{ cm}$$

得

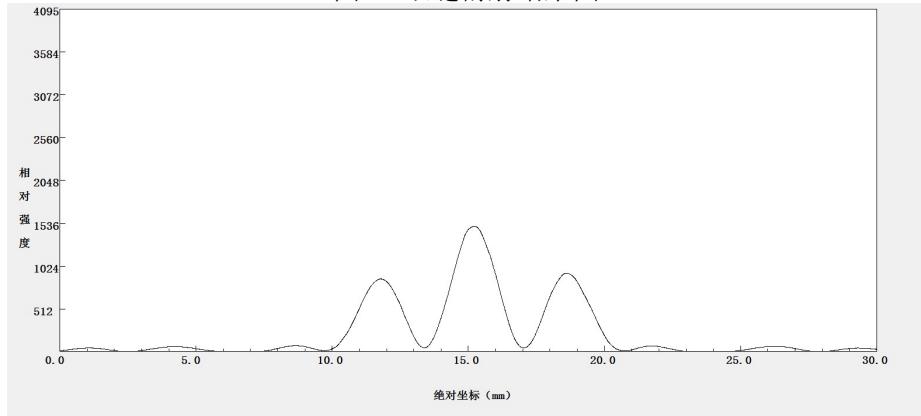
$$\sigma_a = a \times \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_z}{z}\right)^2} = 1.47\text{ }\mu\text{m}$$

$$a \pm \sigma_a = 133 \pm 1\mu\text{m}$$

## 1.2 双缝

### 1.2.1 实验数据图

图 2: 双缝衍射结果图



观察图像可知, 在二、三级亮纹之间出现了缺级现象。

### 1.2.2 计算

利用数据处理软件，可以得到如下的数据表：

表 3: 测量数据

花样名	零级主大值	左方次极大	右方次极大	左方缺级暗纹	右方缺级暗纹
位置 /mm	15.215	11.580	18.805	6.675	23.965

此外，需测量一些距离参数如下表：

表 4: 光学元件距离

光学元件	探测器	单缝位置
位置 /cm	$z_0 = 14.88$	$z_1 = 67.50$

本实验中所用激光器为氦氖激光器，其波长  $\lambda = 632.8\text{nm}$ 。有远场条件  $z >> \frac{\rho^2}{\lambda}$  成立。

**计算缝宽** 观察图中可知，缺级条纹处：

$$a = \frac{\lambda}{\sin \theta}$$

◦

并由：

$$\sin \theta \approx \frac{\Delta x}{z}$$

代入数据计算得：

$$a = \frac{\lambda z}{\Delta x} = 38.52\mu\text{m}$$

式中：

$$z = |z_1 - z_0| = 52.62\text{cm}$$

$$\Delta x = 8.645\text{mm}$$

下计算不确定度：

仿照前问中：从计算公式出发，可看出共有三个参数，其中  $\lambda$  值可视  
为准确值（激光器产生）。从而有如下公式：

$$\frac{\sigma_a}{a} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_z}{z}\right)^2}$$

又，考虑到钢尺测距的误差（尤其是测衍射装置位置时），将其允差取  
为  $e_{zi} = 1\text{cm}$ ，并且，将衍射光强接收器的允差视为  $e_{xi} 0.010\text{mm}$ （即  $\pm 1$   
个数据点）。

$$\sigma_x = \frac{e_x}{\sqrt{3}} = \frac{e_{x1} + e_{x2}}{\sqrt{3}} = 0.011\text{mm}$$

$$\sigma_z = \frac{e_z}{\sqrt{3}} = 0.6\text{ cm}$$

得

$$\begin{aligned} \sigma_a &= a \times \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_z}{z}\right)^2} = 0.44\text{ }\mu\text{m} \\ a \pm \sigma_a &= 38.5 \pm 0.4\text{ }\mu\text{m} \end{aligned}$$

计算缝间隔 依题意，当出现一级极大时，有

$$d = \frac{\lambda}{\sin \theta}$$

且

$$\sin \theta \approx \frac{\Delta x}{z}$$

代入数据计算得：

$$d = \frac{\lambda z}{\Delta x} = 92.16\text{ }\mu\text{m}$$

式中：

$$z = |z_1 - z_0| = 52.62\text{cm}$$

$$\Delta x = 3.613\text{mm}$$

下计算不确定度：

仿照前问中：从计算公式出发，可看出共有三个参数，其中  $\lambda$  值可视  
为准确值（激光器产生）。从而有如下公式：

$$\frac{\sigma_a}{a} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_z}{z}\right)^2}$$

又，考虑到钢尺测距的误差（尤其是测衍射装置位置时），将其允差取为  $e_{zi} = 1\text{cm}$ ，并且，将衍射光强接收器的允差视为  $e_{xi}0.010\text{mm}$ （即  $\pm 1$  个数据点）。

$$\sigma_x = \frac{e_x}{\sqrt{3}} = \frac{e_{x1} + e_{x2}}{\sqrt{3}} = 0.011\text{mm}$$

$$\sigma_z = \frac{e_z}{\sqrt{3}} = 1.1\text{ cm}$$

得

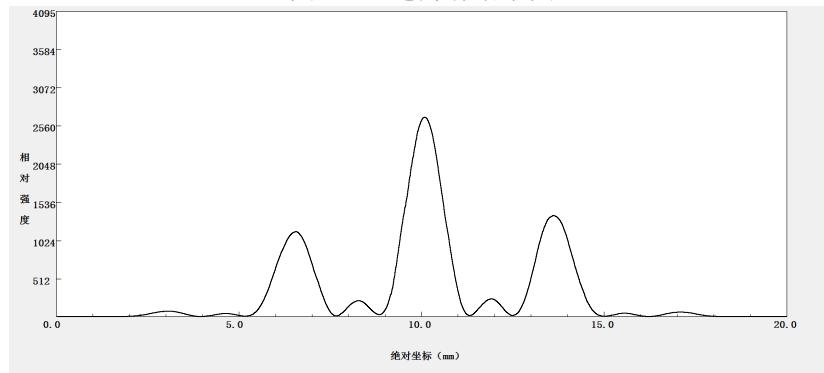
$$\sigma_a = a \times \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_z}{z}\right)^2} = 1.01\text{ }\mu\text{m}$$

$$a \pm \sigma_a = 92 \pm 1\text{ }\mu\text{m}$$

### 1.3 三缝

#### 1.3.1 实验数据图

图 3: 三缝衍射结果图



观察图像可知，在最外侧暗纹出现了缺级现象。

### 1.3.2 计算

利用数据处理软件，可以得到如下的数据表：

表 5: 测量数据

花样名	零级主大值	左方一级极大	右方一级极大	左方缺级暗纹	右方缺级暗纹
位置 /mm	10.070	8.250	11.905	1.145	18.625

此外，需测量一些距离参数如下表：

表 6: 光学元件距离

光学元件	探测器	单缝位置
位置 /cm	$z_0 = 14.88$	$z_1 = 67.50$

本实验中所用激光器为氦氖激光器，其波长  $\lambda = 632.8\text{nm}$ 。有远场条件  $z >> \frac{\rho^2}{\lambda}$  成立。

**计算缝宽** 观察图中可知，缺级条纹处：

$$a = \frac{\lambda}{\sin \theta}$$

◦

并由：

$$\sin \theta \approx \frac{\Delta x}{z}$$

代入数据计算得：

$$a = \frac{\lambda z}{\Delta x} = 38.09\mu\text{m}$$

式中：

$$z = |z_1 - z_0| = 52.62\text{cm}$$

$$\Delta x = 8.740\text{mm}$$

下计算不确定度：

仿照前问中：从计算公式出发，可看出共有三个参数，其中  $\lambda$  值可视  
为准确值（激光器产生）。从而有如下公式：

$$\frac{\sigma_a}{a} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_z}{z}\right)^2}$$

又，考虑到钢尺测距的误差（尤其是测衍射装置位置时），将其允差取  
为  $e_{zi} = 1\text{cm}$ ，并且，将衍射光强接收器的允差视为  $e_{xi} 0.010\text{mm}$ （即  $\pm 1$   
个数据点）。

$$\sigma_x = \frac{e_x}{\sqrt{3}} = \frac{e_{x1} + e_{x2}}{\sqrt{3}} = 0.011\text{mm}$$

$$\sigma_z = \frac{e_z}{\sqrt{3}} = 0.6\text{ cm}$$

得

$$\begin{aligned} \sigma_a &= a \times \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_z}{z}\right)^2} = 0.42\text{ }\mu\text{m} \\ a \pm \sigma_a &= 38.1 \pm 0.4\text{ }\mu\text{m} \end{aligned}$$

计算缝间隔 依题意，当出现一级极大时，有

$$d = \frac{\lambda}{\sin \theta}$$

且

$$\sin \theta \approx \frac{\Delta x}{z}$$

代入数据计算得：

$$d = \frac{\lambda z}{\Delta x} = 91.10\text{ }\mu\text{m}$$

式中：

$$z = |z_1 - z_0| = 52.62\text{cm}$$

$$\Delta x = 3.655\text{mm}$$

下计算不确定度：

仿照前问中：从计算公式出发，可看出共有三个参数，其中  $\lambda$  值可视  
为准确值（激光器产生）。从而有如下公式：

$$\frac{\sigma_a}{a} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_z}{z}\right)^2}$$

又，考虑到钢尺测距的误差（尤其是测衍射装置位置时），将其允差取为  $e_{zi} = 1\text{cm}$ ，并且，将衍射光强接收器的允差视为  $e_{xi} 0.010\text{mm}$ （即  $\pm 1$  个数据点）。

$$\sigma_x = \frac{e_x}{\sqrt{3}} = \frac{e_{x1} + e_{x2}}{\sqrt{3}} = 0.011\text{mm}$$

$$\sigma_z = \frac{e_{z1} - e_{z0}}{\sqrt{3}} = 1.1\text{ cm}$$

得

$$\sigma_a = a \times \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_z}{z}\right)^2} = 1.00\text{ }\mu\text{m}$$

$$a \pm \sigma_a = 91 \pm 1\text{ }\mu\text{m}$$

#### 1.4 各种屏的衍射花样

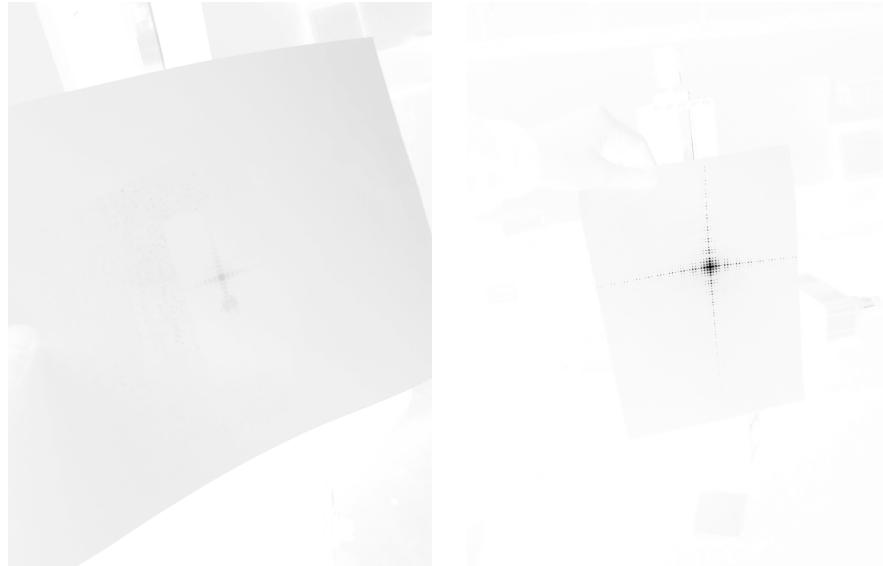


图 4: 单方孔

图 5: 方孔方阵



图 6: 等边三角形



图 7: 矩形方孔



图 8: 双圆孔



图 9: 单圆孔

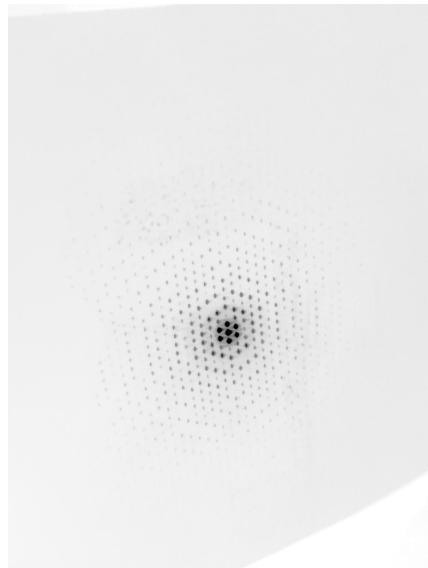


图 10: 圆孔密排



图 11: 方孔密排



图 12: 双方孔

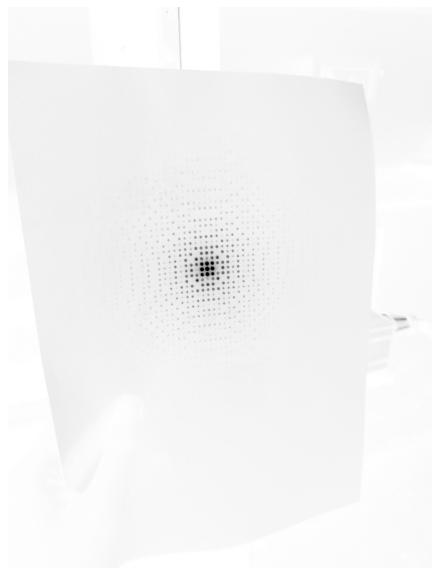


图 13: 圆孔方阵

## 2 分析与讨论

### 2.1 分析不确定度

答 分析不确定度的过程见计算。

### 2.2 夫琅禾费衍射和衍射结构间的关系

答 夫琅禾费衍射可以看作衍射结构的傅里叶变换，夫琅禾费衍射结构可以看作空间频谱分析器，夫琅禾费衍射实现了屏函数的傅里叶变换。

## 3 收获与感想

本次实验是本学期的第一个实验，都说万事开头难，我也是，为这学期的实验开了个不好的头。

实验的过程中，总是出现漏测，或者是调节不到位，因此操作比他人慢了不少，又想着早点完成实验，便出现了纰漏。

感谢老师对我的指导，在今后的实验课程学习中，我一定会巩固自己的实验技巧，同时也会认真领会实验理论，做到脑海中有清晰的物理图像。

同时，本次实验中我也感受到先进的技术设备对实验的提高，并了解了夫琅禾费衍射与傅里叶变换的关系，为以后的实验打下基础。