

# 基础物理实验报告

## 光衍射的定量研究

姓 名：仇 是

学 号：2200011630

指导教师姓名：

序 号：7 组 1 号

二〇二三年 11 月

## 一、数据处理

(1) 参量设置：本实验 He-Ne 激光器的激光波长为 632.8nm；

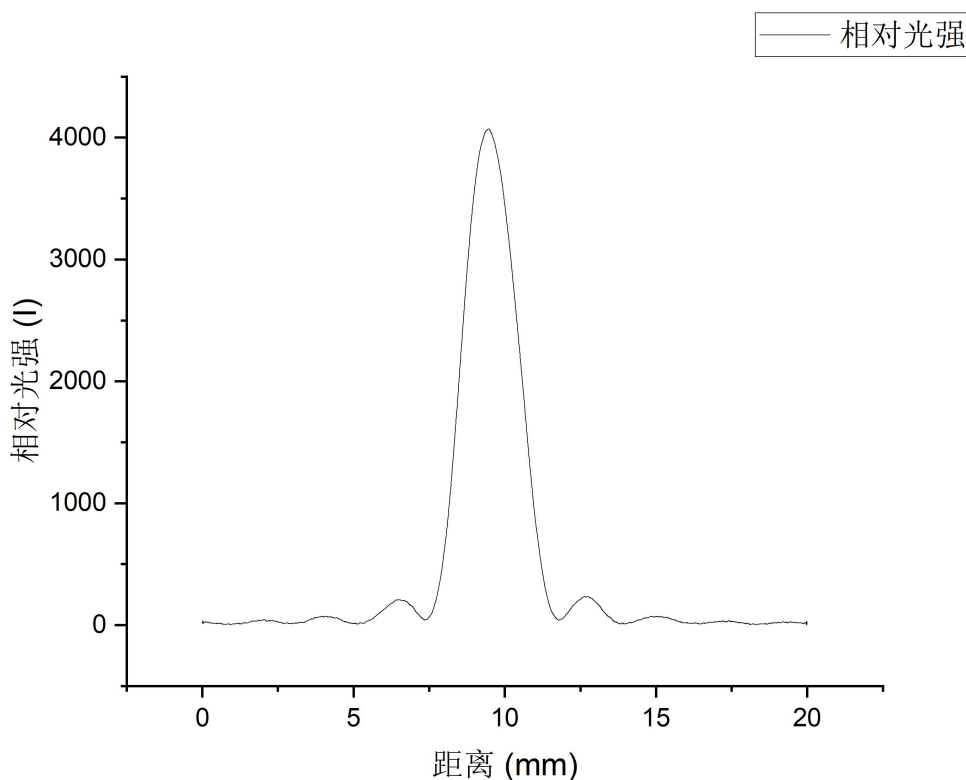
选用的单缝缝宽参考值是  $187\ \mu\text{m}$ ；

探测器取点间隔为 0.05mm，扫描距离 20mm；

衍射元件与接受屏距离需要加上 4mm。

(2) 处理单缝夫琅禾费衍射光强测量数据：

如图所示，使用 Origin 软件导入实验数据，得到下图：



初步概览：

其中主极强出现的位置  $x_0 = 9.480\text{ mm}$ ，相对光强  $I_0 = 4072$ ；

两个一级亮斑的位置分别为  $x_1 = 6.425\text{ mm}$ ， $x_2 = 12.655\text{ mm}$ ，相对光强分别为  $I_1 = 208$ ， $I_2 = 221$ ；

最靠近主极强的一个暗斑的位置  $x_d = 11.760\text{ mm}$ 。

探测器平面到单缝平面的距离用刻度尺测量为  $z = 663\text{ mm}$

验证取值的准确性：

$$\frac{I_1 + I_2}{2I_0} = 5.26\% \in (4\%, 5.5\%), \quad \frac{2|I_1 - I_2|}{I_1 + I_2} = 6.06\% < 10\%$$

以下进行数值计算：

采用一级亮斑公式  $a = \frac{1.43\lambda}{\sin\theta} = \frac{2 \times 1.43\lambda z}{x_2 - x_1} \approx 192.4\mu\text{m}$

与参考值  $187\mu\text{m}$  差距较小，为有效计算值；

用“零级”暗斑计算狭缝宽度  $a' = \frac{\lambda}{\sin\theta'} = \frac{\lambda z}{x_0 - x_d} \approx 188.9\mu\text{m}$

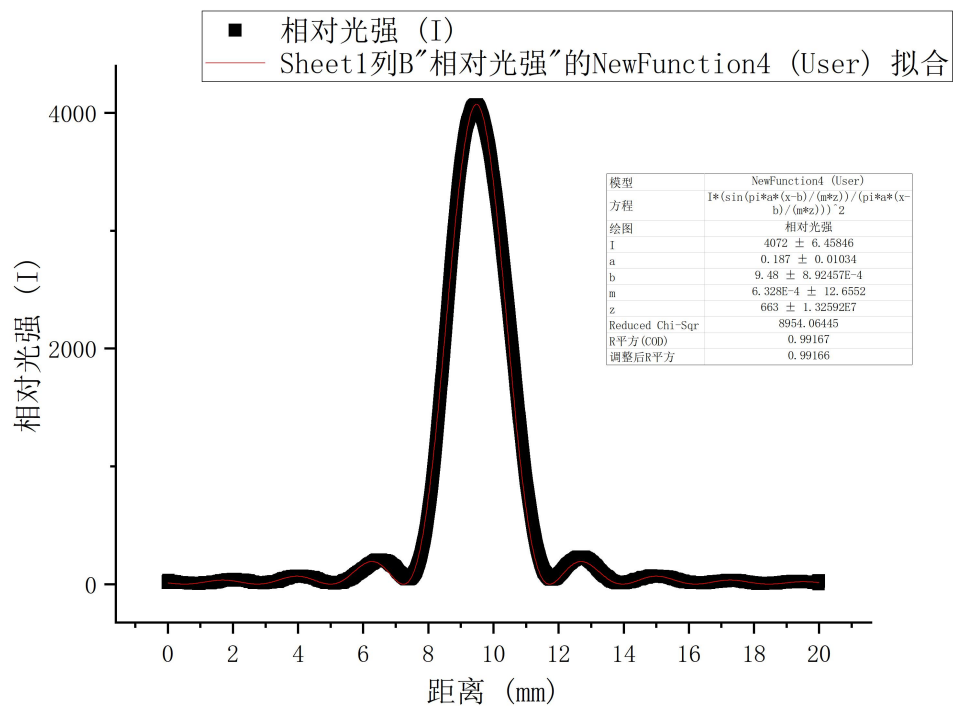
与参考值  $187\mu\text{m}$  基本一致，为有效计算值；

以下采用 Origin 自定义函数拟合功能进行图像整合与残差计算：

定义拟合函数  $y = I \left( \frac{\sin u}{u} \right)^2$ ,  $u = \frac{\pi a(x-b)}{mz}$ , 这里  $y$  是相对光强,  $I$  是比例系数,  $m$  是波长,  $b$  是主极强位置即对称轴  $x$  坐标单位都是毫米。

[注：输入公式的形式为  $I * (\sin(\pi * a * (x-b) / (m * z)) / (\pi * a * (x-b) / (m * z)))^2$ ]

得到如下结果：



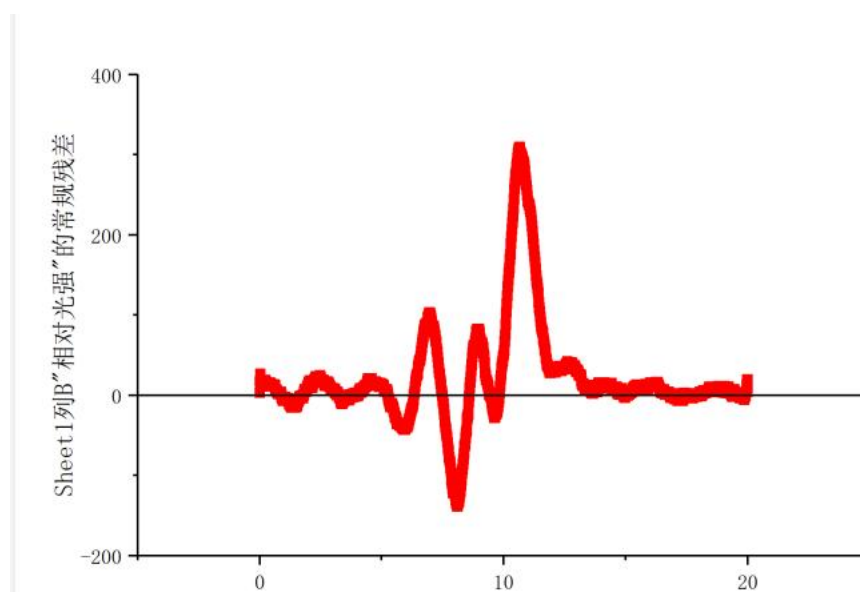
可见拟合结果合格。

下面进行误差解释：

对比图像发现在暗纹处拟合结果相对误差较大，可能原因是没有将衍射光打在接收屏正中间，导致接受光强偏弱。

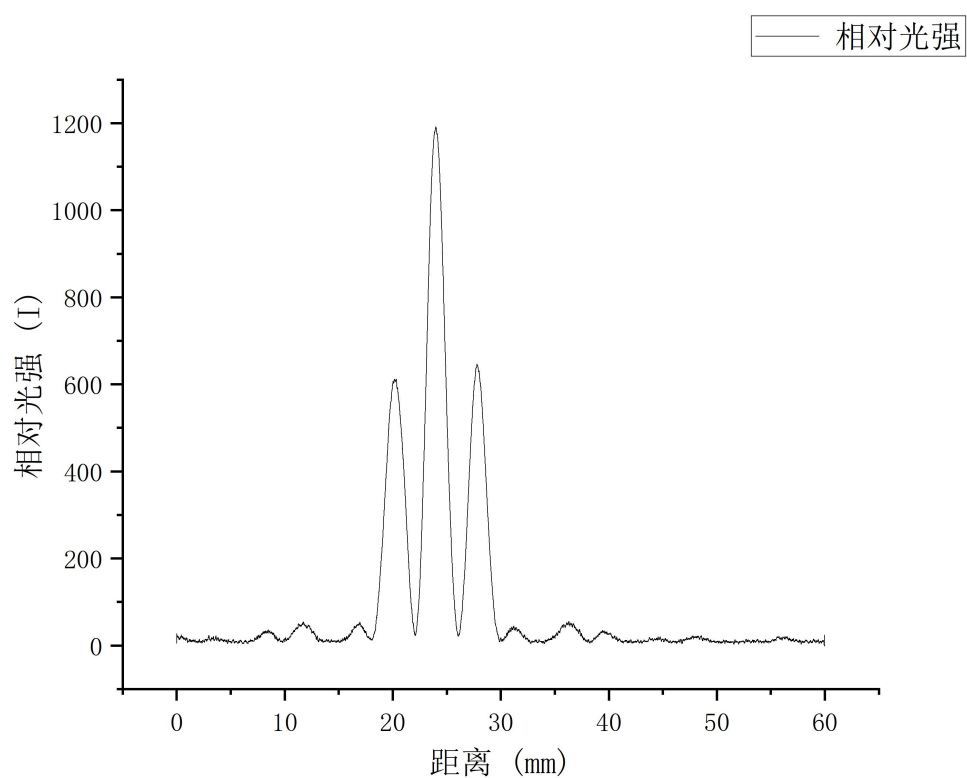
此外可能导致偏差的测量误差有衍射元件到接收屏的距离  $z$ ，实验室中  $z$  较大时需要用两把刻度尺辅助测量，这样会引起相对较大的误差。

考虑残差图：



进一步探讨波谷拟合偏差的差异：测量的波谷的光强并不是零，并且比最远端的背景值要大，这可能是由于探测器感光窗口左右有一定宽度，不能严格反映零光强点导致的。

(3)：处理双缝夫琅禾费衍射光强测量数据：



这里能看出各主极强间有一个暗纹，与  $N-1=1$  的规律相符，平坦的波谷分界很明显。光强分布图中的峰变多了，也变得更加细锐，这正是多缝衍射的特点之一。最高峰出现在 24.000mm 处。

下面进行数据拟合：

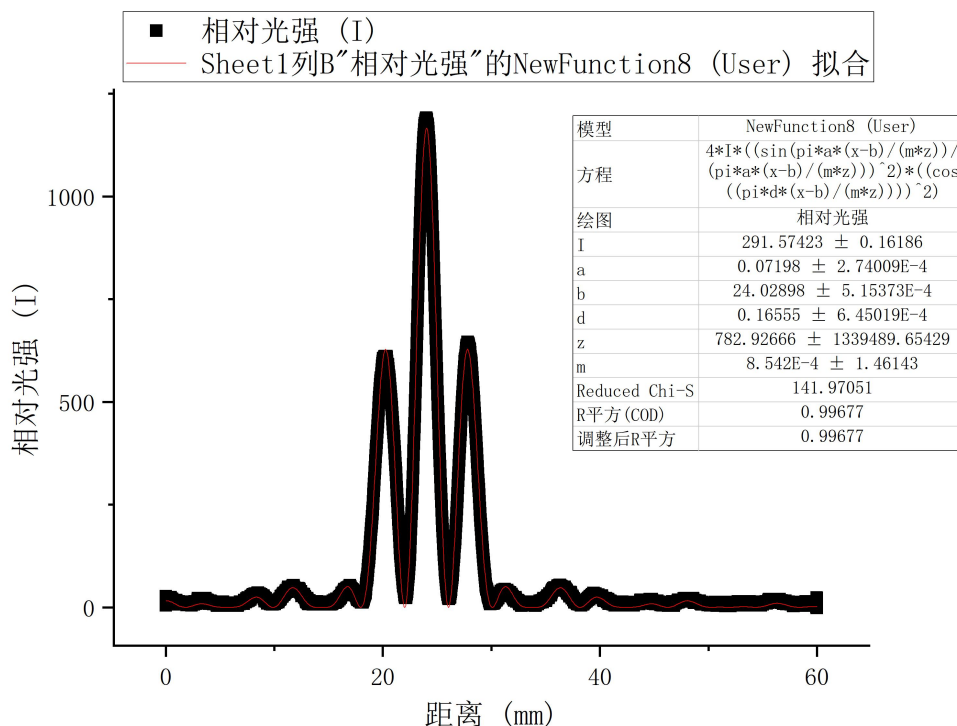
由理论公式：

$$I = I_0 \left( \frac{\sin u}{u} \right)^2 \left( \frac{\sin N\beta}{\sin \beta} \right)^2, \quad u = \pi a \frac{\sin \theta}{\lambda}, \quad \beta = \pi d \frac{\sin \theta}{\lambda}$$

[注：输入公式为

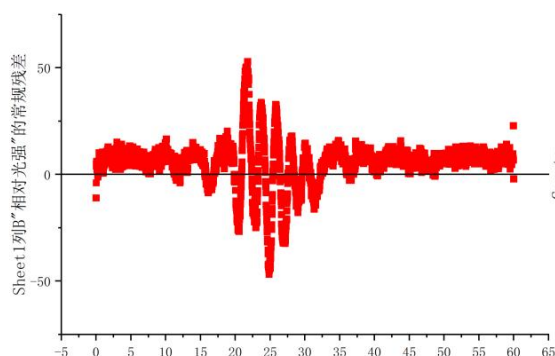
$4*I*((\sin(\pi*a*(x-b)/(m*z)))/(\pi*a*(x-b)/(m*z)))^2*((\cos((\pi*d*(x-b)/(m*z))))^2)$  ]

进行拟合得到的结果为：



可见拟合度非常高。

残差为：

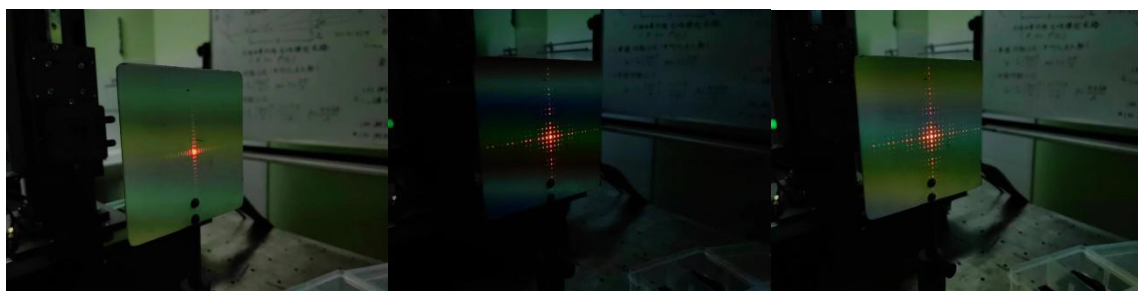


双缝衍射实验图像有一个新的误差分析点：主峰旁边的两个峰高低差异明显。从原始数据读出两处相对光强分别为 612 和 646，二者相差 34。产生这种差别可能是：

- (a) 探测器平面并没有与入射狭缝的光线完全垂直；
- (b) 双缝在平面上的摆放位置并不是完全竖直；
- (c) 实验室要求反射镜摆放满足反射回的光线应不完全与激光器出射窗口重合，这有一定的角度误差。

## 二、分析与讨论（误差分析已与数据处理合并）

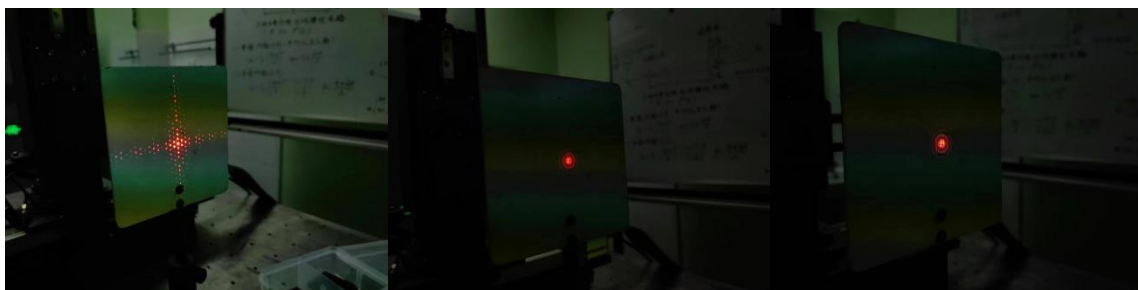
(1) 23 种衍射图样（单方屏未能成功拍摄到）：



单方孔

双方孔

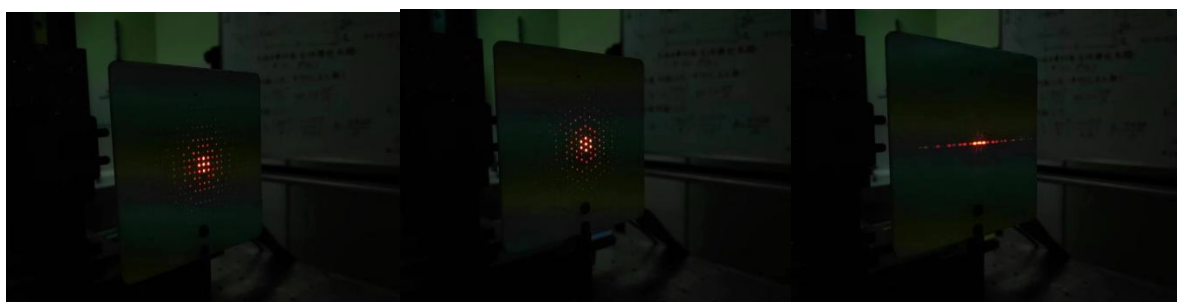
方孔方阵



方孔密排

单圆孔

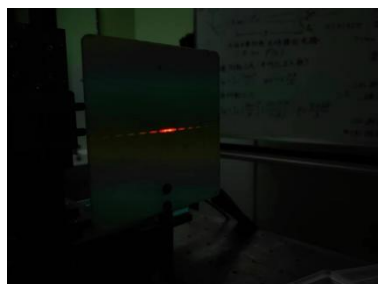
双圆孔



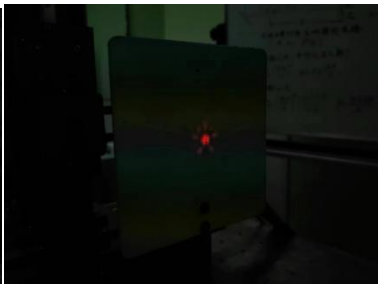
圆孔方阵

圆孔密排

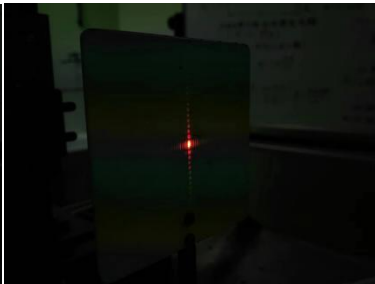
双缝



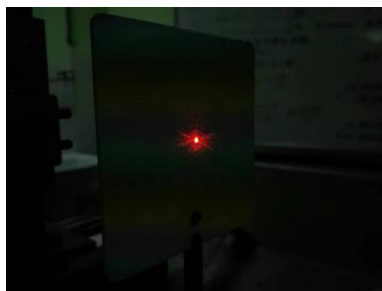
单缝



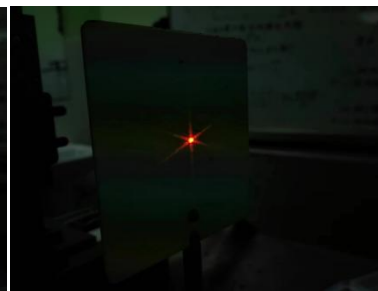
五角星



矩形方孔



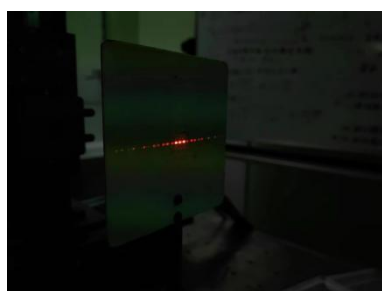
单圆孔



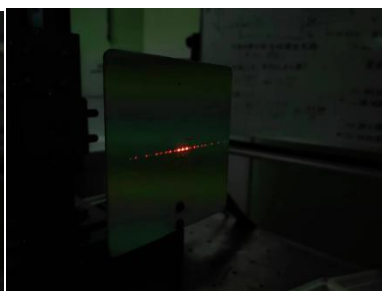
等腰三角形



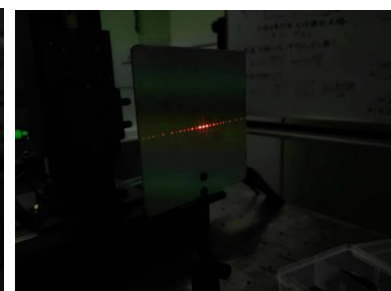
等边三角形



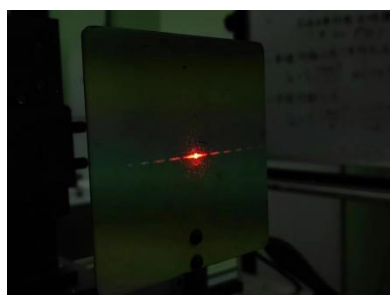
三缝



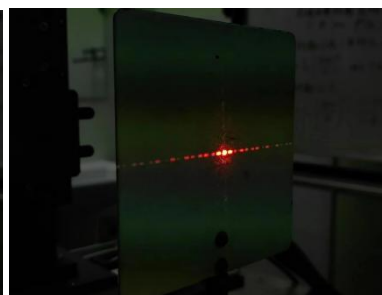
四缝



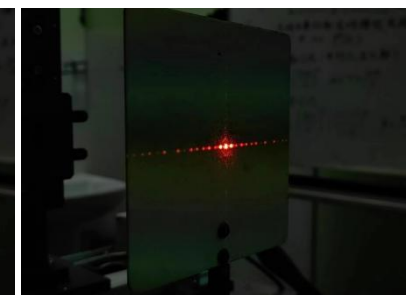
五缝



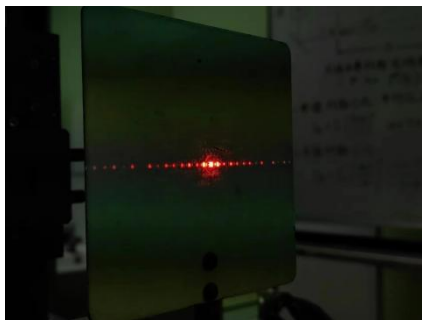
单丝



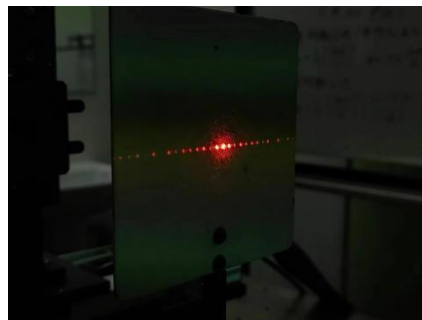
双丝



三丝



四丝



五丝

对衍射图样有如下分析：

(a) 衍射图样取决于衍射元件的几何结构。元件单体形状决定衍射图样基本图形结构，具体可以通过单缝的规律进行组合（各方向的叠加）；另一方面单体的组合方式决定图样的排列结构，其中方阵会导致方形结构，密排会导致六边形结构。

(b) 23 个干涉图样中，有 17 个图样的中央亮斑存在一定模糊与图样扩大，干扰了衍射图样点阵结构的识别与分析。初步分析可能是散射导致。

(2) 其他讨论要点：

(a)：不确定度的计算

1、受目测、刻度尺精度、摆放方向和相继测量尾端和首端对齐度的影响， $z$  的测量的极限误差大概是 1cm，这样产生的相对不确定度

$1/66=1.5\%$ ，由此带来的缝宽不确定度约为 0.002mm，影响在千分之一量级，可忽略。

2、探测器取点间隔是 0.005mm，估计峰值时可能有 0.01mm 的允差，这带来的相对不确定度在千分之一量级，影响可忽略。

3、对极大光强的读数精确到个位，至多带来 1% 的相对误差，影响也较小。

可见，测量的不准确主要来源于衍射图样本身与理论预测的偏离。

(b)：远场条件近似的合理性：

经计算得到远场条件需要满足  $\theta < 5^\circ$ ，实验中  $\Delta x/z$  的量级满足需求，故可以进行近似处理。



### 三、收获与感想

(1)：关于拟合曲线的方式选取。一开始使用 `scipy.optimize.curve_fit` 进行最小二乘拟合，借助 `python` 的科学运算库进行拟合，发现导入数据存在一定缺陷，而且手写代码较为麻烦，多个函数处理较为复杂。于是转而学习 `Origin` 软件的拟合窗口，尝试自定义函数拟合，发现效果较好。这一点带给我的启示便是，多学一些专业的科研软件对于日后的学业以及研究之路都有着无可比拟的帮助，与其用手写代码这一“自我欺骗”的方式来无谓提高工作量，不如高效便捷解决问题。

(2)：关于实验室操作过程中的几点要点。激光器的危险性不可忽视，实验前一定注意检查有无佩戴手表等可以产生镜面反射的器具。在实验过程中，检查光路时切记用可以产生漫反射的接受屏寻找反射光路，不可让其影响其他人的实验。在实验过程中，曾出现自己的光路被隔壁同学的光源干扰的情况，这导致光强最大值变为理论值最大的 1.7 倍，极大干扰了数据处理。