

# 光衍射的定量研究

张欣睿<sup>\*</sup>

北京大学化学与分子工程学院 学号：1600011783

**摘 要：**本实验通过光强检测仪配合计算机，测定了单缝衍射图样的光强分布曲线，验证了对称性和光强关系，并通过有关数据求出了狭缝宽度。另外，还进行了三缝衍射的曲线测量，观察了不同衍射结构的衍射图样。

**关键词：**夫琅和费衍射；单缝衍射；光强；衍射图样

---

<sup>\*</sup> e-mail: zhangxinrui16@pku.edu.cn; mobile number: 18801391162

## 1 数据处理

### 1.1 单缝衍射及相关量的求算

在正确调节了激光器的光路水平、调节平面镜和衍射单缝的位置和方向合适后，将激光打在单缝上，可以在远场接收到清晰的单缝衍射图样。使用光强检测仪对衍射图样进行扫描。扫描结果如附图 1 所示。

在此衍射光强分布图中，通过局部寻峰功能读出左右一级次极大和主极大的光强值和坐标值，如表 1 所示。

	主极大	左一级次极大	右一级次极大
相对光强值	$I_0 = 2534$	$I_1 = 126$	$I_2 = 124$
绝对坐标值 (mm)	$x_0 = 9.520$	$x_1 = 5.560$	$x_2 = 14.260$

表 1 单缝衍射扫描图像的相关量

根据对称性要求，求算对称因子：

$$\frac{I_1 - I_2}{(I_1 + I_2)/2} = \frac{2}{125} = 1.6 \%$$

低于 10 %，符合要求。

在此衍射结果中，光强比值：

$$\frac{I_1 + I_2}{2I_0} = \frac{125}{2534} = 4.9 \%$$

和理论值的 4.7 %接近，证明了衍射光强分布的正确性。

从以上数据可知衍射结果较为准确、合理。因此，用该衍射结果对缝宽进行计算。光源为 632.8 nm 的 He-Ne 激光器；根据衍射光强分布，次极大到主极大的位移为：

$$\Delta x = \frac{1}{2}(x_2 - x_1) = 4.350 \text{ mm}$$

使用刻度尺测量衍射屏到检测器的距离  $Z = (93.95 + 0.40 - 11.65) \text{ cm} = 82.70 \text{ cm}$ ，根据衍射条件公式

$$\sin\theta = \frac{1.43\lambda}{b} = \frac{\Delta x}{Z}$$

可以计算缝宽  $b$  为：

$$b = \frac{1.43\lambda Z}{\Delta x} = 172 \text{ } \mu\text{m}$$

计算值与标称值  $175\ \mu\text{m}$  接近，偏差为 1.7 %，是合理的计算结果。

**结论：**将激光打在单缝上，可以在远场接收到清晰的单缝衍射图样，用光强检测仪进行扫描，可以得到光强分布曲线。在衍射光路调节合适时，分析该曲线基本符合对称性，并求得一级次极大和主极大的光强比为 4.9 %，通过衍射条件计算出缝宽  $172\ \mu\text{m}$ ，结果合理。

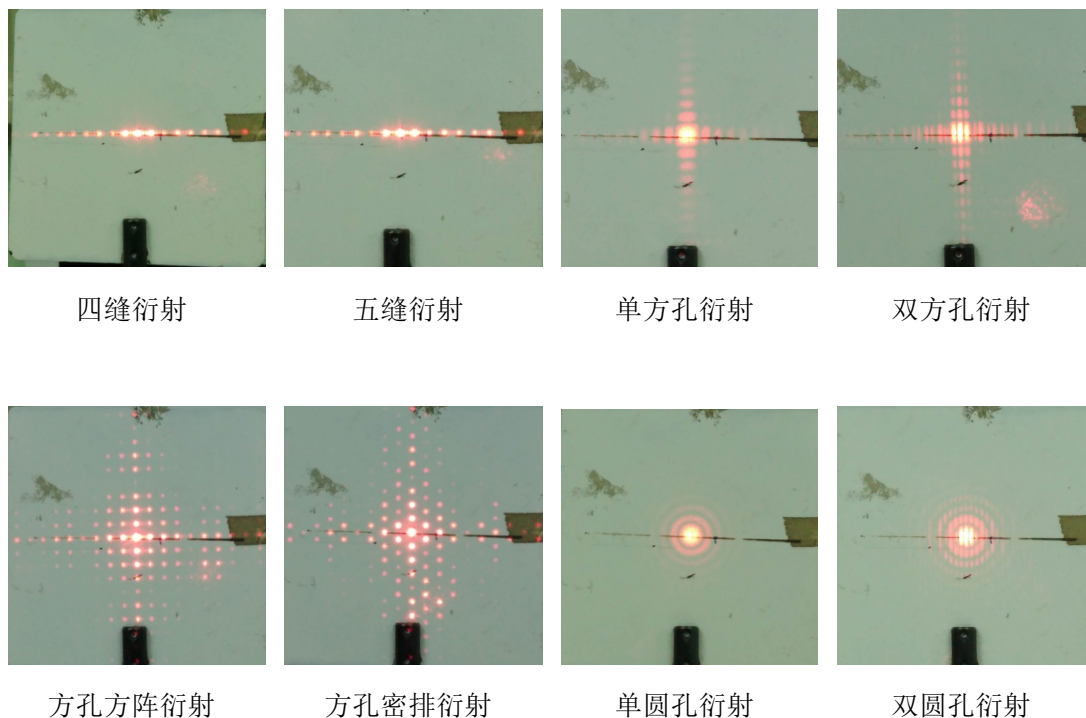
## 1.2 三缝衍射的光强分布

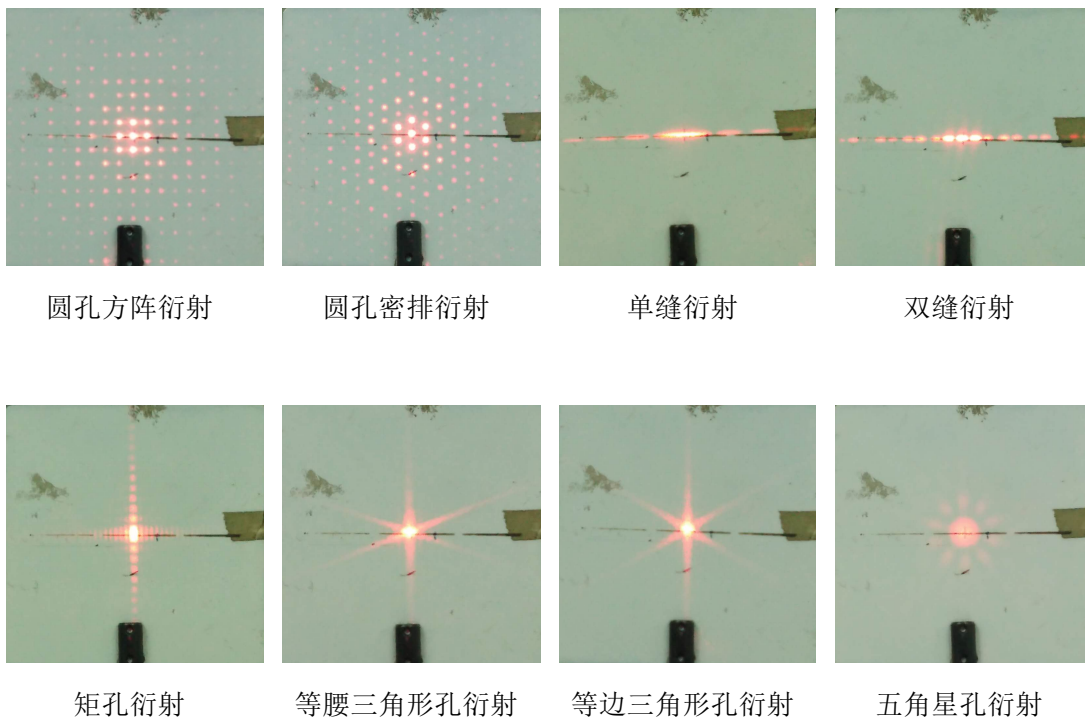
将单缝换成三缝，调节光强检测仪的狭缝宽度，再次进行扫描，可以得到三缝衍射的光强分布曲线，结果如附图 2 所示。

对这一图线进行定性分析，在每两个主极大之间，出现两个极小值和一个次极大，符合  $(N-1)$  和  $(N-2)$  规则。光强分布与理论预期一致，零级衍射主极大出现最大，而一级衍射的主极大较小。次极大也呈现光强随衍射级数增大而减小的规律。

## 1.3 其它衍射结构及对应衍射图样

将单缝进一步换成更多衍射孔（缝），可以得到不同孔的衍射图样。如下图所示。





**结论：**对不同形状的衍射孔（缝），产生的衍射图样都不一样。这些衍射图样从理论上是孔的傅立叶变换结果，在实际观测中，这些衍射图样和衍射孔（缝）具有相同的对称性，这也是用衍射对微小结构进行测定的原因之一。

## 2 分析与讨论

实验对缝宽的测量误差来源于许多方面。由于缝宽的计算来自于波长、接收场的距离和主极大到次极大的距离，不确定度也随之产生。

对于波长，应该考察光源产生光波波长的范围。由于激光光源有较好的单色性和准直性，因而这一因素可以忽略。

对于接受场的距离，测量仪器为刻度尺。由于位置坐标的测量不准确，以及接收光的部位在检测仪内凹陷的距离估计不准，粗略判断有  $\sigma_Z = 0.2 \text{ cm}$  的不确定度。

对于主极大到次极大的距离，这一结果与检测仪精度、测量间隔和曲线平滑程度有关；本实验中曲线平滑，没有明显毛刺；测量间隔为  $0.020 \text{ ms}$ ，而在约  $30 \text{ s}$  中扫描经过了  $20 \text{ mm}$ ，扫描速度  $0.7 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ 。故由于扫描间隔带来的不确定度约为  $0.01 \text{ mm}$ ；仪器测量的不确定度体现在有效数字中约  $0.001 \text{ mm}$ ，因而粗略判断有  $\sigma_{\Delta x} = 0.01 \text{ mm}$  的不确定度。

由于传递公式，得到缝宽的不确定度为

$$\sigma_b = b \cdot \sqrt{\left(\frac{\sigma_Z}{Z}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\Delta x}}{\Delta x}\right)^2} = 172 \cdot \sqrt{\left(\frac{0.2}{82.70}\right)^2 + \left(\frac{0.01}{4.350}\right)^2} \mu\text{m} = 0.6 \mu\text{m}$$

故加入不确定度影响，测定得到的缝宽应为  $(172 \pm 1) \mu\text{m}$ 。

在不同形状衍射孔的夫琅和费衍射图样中，有一个明显特征，即衍射图样的对称性和衍射结构的对称性相同。例如：圆孔衍射图样也为圆形对称，方孔衍射图样沿中心水平线、竖直线对称，等边三角形衍射图样有三重对称性，五角星孔衍射图样有五重对称性，等等。另外，衍射规律可以体现在衍射图像的不同方向上。以矩孔衍射为例，沿长边缝宽较窄，衍射较为明显，条纹较窄；沿短边的衍射缝宽较宽，条纹较宽。在图形更加复杂的情况下会有更复杂的体现。

### 3 致谢

感谢史俊杰老师对实验过程和衍射理论知识的指导。