

光衍射的定量研究 实验报告

蔡丹杨

(北京大学化学与分子工程学院 1700011774)

1 数据处理

结果不确定度的计算见“分析与讨论”部分，这里先给出测量值结果。

(1) 单缝衍射

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后，将激光打在标号为III-3 的单缝上，可以在远场接收到单缝衍射图样。使用光强检测仪对衍射图样进行扫描，结果见附图 1。

在此衍射光强分布图中，通过局部寻峰功能读出主极大、左右一级次级大和左右一级暗纹的光强值和坐标值，如表 1 所示。

名称	主极大 I_0	左次极大 I_1	右次极大 I_2	左暗纹	右暗纹
相对光强	3080	154	128	4	6
绝对坐标/mm	9.315	4.540	14.430	5.745	13.080

$$L = 897.6 + 4.0 - 124.2 = 777.4\text{mm}$$

表 1 单缝衍射扫描图像的相关量

根据实验要求，求出对称性因子 $\frac{I_1 - I_2}{\frac{I_1 + I_2}{2}} = \frac{26}{282} = 9.2\%$ ，光强比值 $\frac{I_1 + I_2}{2I_0} = \frac{282}{6040} = 4.58\%$ ，与要求符合尚

好。其中光强比值和理论接近，证明了衍射光强分布推导的正确性。

使用 $\lambda=632.8\text{nm}$ 的 He-Ne 激光器，以上述数据估计缝宽。如用主极大到次级大距离作计算，则由

$$\sin \theta = \frac{1.43\lambda}{a} = \frac{\Delta x}{L} = \frac{14.430 - 4.540}{2 \times 777.4} \approx 6.361 \times 10^{-3}, \text{ 算得 } a = \mathbf{0.142\text{mm}}; \text{ 如果用主极大到第一暗斑作计算, 则由}$$

$$\sin \theta = \frac{\lambda}{a} = \frac{\Delta x}{L} = \frac{13.080 - 5.745}{2 \times 777.4} \approx 4.718 \times 10^{-3}, \text{ 算得 } a = \mathbf{0.1353\text{mm}}.$$

此外，可算得 $0.192\text{mm}^2 = a^2 \ll \lambda L = 0.4919\text{mm}^2$ ，即符合远场近似条件。

(2) 双缝及三缝干涉

将单缝依次换成双缝和三缝，调节光强检测仪的狭缝宽度，再次进行扫描，可以得到双缝和三缝干涉的光强分布曲线，结果见附图 2 和 3。对这一图线进行定性分析，观察到在每两个主极大之间，出现一（两）个极小值和零（一）个次极大，符合 $(N-1)$ 和 $(N-2)$ 规则。

对于双缝，取 $\sin \theta = \frac{\lambda}{d} = \frac{\Delta x}{L} = \frac{31.895 - 20.675}{2 \times 830.3} \approx 6.757 \times 10^{-3}$ ，算得缝间距 $d = \mathbf{0.09365\text{mm}}$ ；取 $\sin \theta = \frac{\lambda}{a} =$

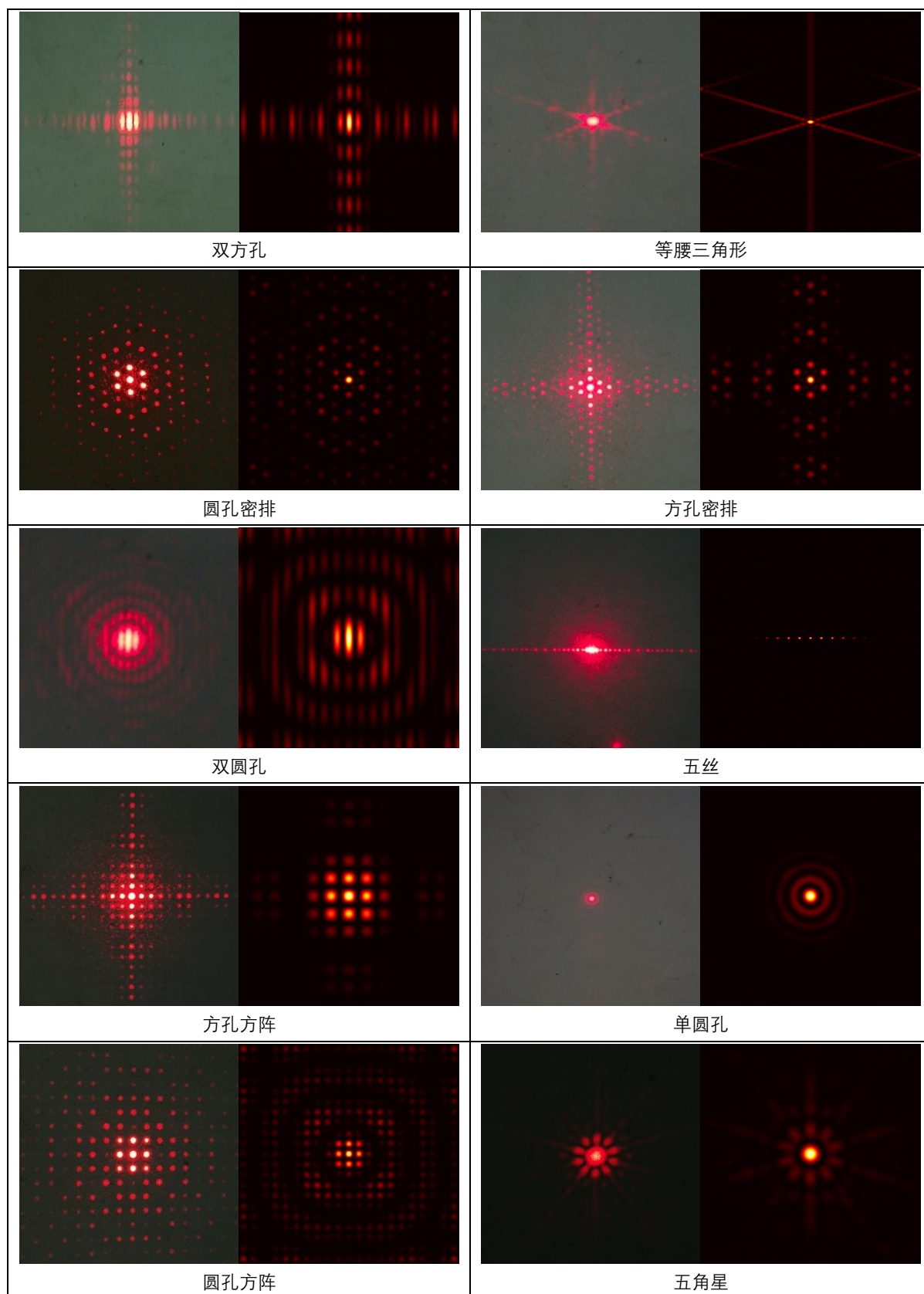
$$\frac{\Delta x}{L} = \frac{40.495 - 11.485}{2 \times 830.3} \approx 0.01747, \text{ 算得缝宽度 } a = \mathbf{0.03622\text{mm}}.$$

对于三缝，取 $\sin \theta = \frac{\lambda}{d} = \frac{2\Delta x}{L} = \frac{24.450 - 19.105}{774.8} \approx 6.899 \times 10^{-3}$ ，算得缝间距 $d = \mathbf{0.09173\text{mm}}$ ；取 $\sin \theta =$

$$\frac{\lambda}{a} = \frac{\Delta x}{L} = \frac{34.390 - 8.580}{2 \times 774.8} \approx 0.01666, \text{ 算得缝宽度 } a = \mathbf{0.03798\text{mm}}.$$

(3) 其他衍射结构的衍射图样

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。分别使用手机拍摄和计算机编程的方法生成了相应的衍射图样，如下列图所示。其中左侧为拍摄图，右侧为计算机生成图。



2 分析与讨论

(1) 测量误差来源及不确定度计算

实验对缝宽的测量误差来源于许多方面。由于缝宽的计算需要波长、接收屏的距离和主极大到次极大

的距离三个数据，不确定度也随之产生。

对于波长，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。计算缝宽或缝间距的公式为 $\sin \theta = \frac{\lambda}{a} = \frac{\Delta x}{L}$ ，其中实际假定了 $\sin \theta \approx \tan \theta$ ，因此存在系统误差。不过此次实验条件下相对误差

$$\frac{\tan \theta - \sin \theta}{\tan \theta} \approx \frac{\theta^2}{2} \approx 10^{-4}, \text{ 相比其他误差也可以忽略。}$$

则由相对误差的传递关系，知测量单缝宽的不确定度可表示为

$$\frac{\sigma_a}{a} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\Delta x}}{\Delta x}\right)^2}$$

。由于测量时直尺较难对正，估算 L 测量时的极限不确定度为 $e_L = 2\text{cm}$ 。仪器测量位移的不确定度约为 0.005mm ；仪器测得曲线上有一些毛刺，造成测量峰谷坐标时约有 0.01mm 的误差；故 Δx 的测量误差约为 $\Delta x = 0.01\text{mm}$ 。据此算出：

$$\text{取主极大到次级大距离计算的单缝宽的不确定度为 } \sigma_a = a \sqrt{\left(\frac{\sigma_L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\Delta x}}{\Delta x}\right)^2} = 0.142 \times$$

$$\sqrt{\left(\frac{2}{\sqrt{3} \times 777.4}\right)^2 + \left(\frac{0.01}{4.945}\right)^2} \approx 4 \times 10^{-4} \text{mm}, \text{ 故最终测量结果为 } a \pm \sigma_a = 142.3 \pm 0.4 \mu\text{m};$$



$$\text{取主极大到第一暗斑距离计算的单缝宽的不确定度为 } \sigma_a = a \sqrt{\left(\frac{\sigma_L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\Delta x}}{\Delta x}\right)^2} = 0.1353 \times$$

$$\sqrt{\left(\frac{2}{\sqrt{3} \times 777.4}\right)^2 + \left(\frac{0.01}{3.670}\right)^2} \approx 4 \times 10^{-4} \text{mm}, \text{ 故最终测量结果为 } a \pm \sigma_a = 135.3 \pm 0.4 \mu\text{m}.$$

两种测量结果相比较，可见取主极大到次级大距离计算的单缝宽较大，推测是因为使用暗斑计算距离时，仪器在暗斑附近受暗电流等噪声影响，不能准确记录光强极小值坐标，造成该法测量 Δx 误差大。

同理可以算出测量双缝、三缝的最终结果为（双缝） $d \pm \sigma_d = 93.6 \pm 0.2 \mu\text{m}$ ， $a \pm \sigma_a = 36.2 \pm 0.2 \mu\text{m}$ ，（三缝） $d \pm \sigma_d = 91.7 \pm 0.2 \mu\text{m}$ ， $a \pm \sigma_a = 38.0 \pm 0.2 \mu\text{m}$ 。

(2) 夫琅禾费衍射图样与衍射结构之间的关系

在不同形状衍射孔的夫琅禾费衍射图样中，都有衍射图样的对称性和衍射结构的对称性相同。例如：圆孔衍射图样有圆形对称；方孔衍射图样沿中心水平线、竖直线对称；五角星孔衍射图样有五重对称性。另外，在矩孔衍射中，沿长边缝宽较窄，衍射较为明显；沿短边的衍射缝宽较宽，条纹较窄。这些都是夫琅禾费衍射等价于光栅的傅里叶变换的证明，并且可与不确定性原理联系起来。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，这是用衍射对微小结构进行测定的原因之一。

(3) 其他

实验中，观察到扫描的峰形不是严格对称的，而是向左侧倾斜，推测是由于调节光路时光线传播方向未垂直传感器所致。对于肉眼观察这样的差别并不明显，但是对峰值的标记有较大的影响，增大了测量误差。此外，即使未加光栅，激光光斑周围就有一圈杂散光线，推测是光学表面不洁净所致，这些杂散光对传感器也有较大影响。

3 收获与感想

通过本次实验，我了解了光学实验需要注意的安全事项及仪器使用方法，进一步理解了衍射的规律，为以后的实验打下了基础。

感谢吴老师对实验过程和衍射理论知识的指导，以及王世伟同学对操作仪器的帮助。