

浙江大学

物理实验报告

实验名称: 光的衍射

实验桌号:

指导教师: 陈远利

班级:

姓名:

学号:

实验日期: 2025 年 12 月 9 日 星期二上午

(此处填实验选课系统内日期)

浙江大学物理实验教学中心

如有实验补做, 补做日期:

情况说明:

一、预习报告 (10 分)

(注：将已经写好的“物理实验预习报告”内容拷贝过来)

1. 实验综述（5 分）

（自述实验现象、实验原理和实验方法，不超过 300 字，5 分）

实验原理：

光的衍射是指光波在传播过程中遇到障碍物或孔隙时，绕过障碍物边缘继续传播的现象。

根据惠更斯-菲涅尔原理，波前上的每一点都可以视为一个新的球面子波的波源，这些子波在空间中相干叠加，决定了后续任一时刻的光场分布。

本实验涉及两种主要的衍射现象：

单缝衍射：当平行光通过一狭缝时，来自缝上不同位置的子波发生干涉，形成特定的光强分布。其光强分布公式：

$$I_\theta = I_0 \left(\frac{\sin \mu}{\mu} \right)^2$$

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

a : 单缝宽度

λ : 光波波长

θ : 衍射角

暗纹位置满足条件：

$$a \sin \theta = k\lambda, (k = \pm 1, \pm 2, \dots)$$

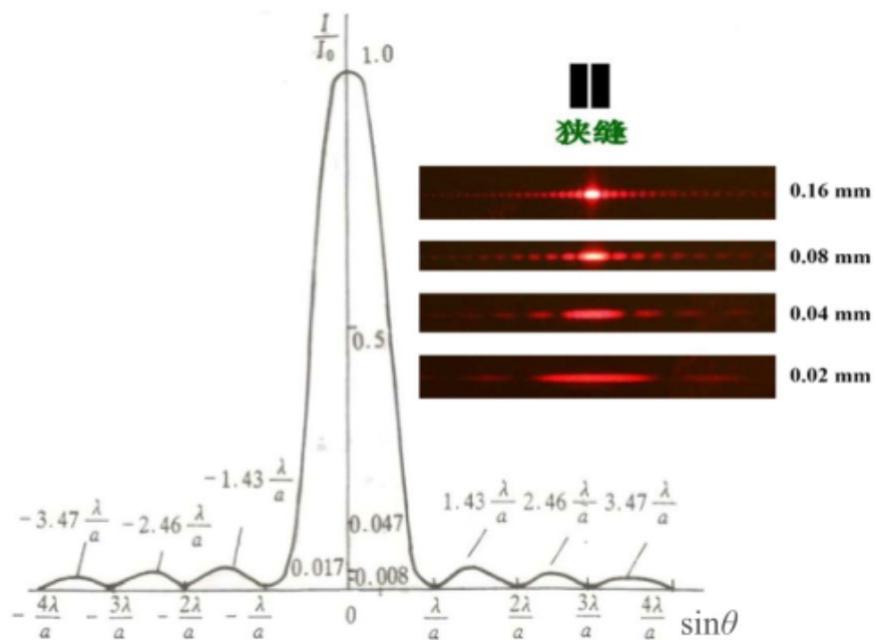


图 1 单缝衍射光强分布

光栅衍射：

光栅主极大方程：

$$d \sin \theta = k\lambda, (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

d : 光栅常数，即相邻两缝中心间的距离

实验内容：

- 1、调节激光器与光学导轨，确保各光学元件等高共轴。
- 2、观察衍射屏上不同形状的衍射图案，判断衍射点“形状”。
- 3、观察一维光栅衍射，测量 ± 1 级衍射点间距离，计算光源波长。

$$\tan \theta_1 = \frac{\Delta x}{2L}$$

可以近似认为 $\sin \theta \approx \tan \theta$ 。

通过测量光栅到屏的距离 L 以及屏上 ± 1 级主极大亮纹之间的距离 Δx 。将其代入一级谱线的光栅方程 $d \sin \theta_1 = \lambda$ ，即可计算出光源的波长 λ 。

4、绘制单缝衍射图案，计算单缝宽度。

绘制 ± 2 级暗纹间图案，不少于 50 个数据点。

利用光栅衍射得到的波长和 ± 1 级亮纹中心位置方程

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

可计算单缝宽度 a 。

5、验证 ± 1 级与中心 0 级光强比。

从绘制的单缝衍射光强分布图中，读取中心主极大的峰值光强 I_0 和第一级次极大的峰值光强 I_1 。计算两者的比值 $\frac{I_1}{I_0}$ ，并与理论值 $I_1 \approx 4.7\% I_0$ 进行比较和分析。

2. 实验重点 (3 分)

(简述本实验的学习重点，不超过 100 字，3 分)

1、掌握利用衍射原理进行精密测量的方法。深刻理解并应用光栅方程 $d \sin \theta = k\lambda$ 和单缝衍射暗纹条件 $a \sin \theta = k\lambda$ ，通过对宏观量（如条纹间距 Δx 、屏缝距离 L ）的测量，来精确计算微观量（如光波波长 λ 、单缝宽度 a ）。

2、掌握光学实验中光路的共轴调节方法。熟练调节激光器、狭缝、光栅、探测器等光学元件，使其达到等高和共轴。

3、准确辨认衍射图样中的明暗条纹及其级别。能够从复杂的衍射图样中正确识别出中央主极大、各级次极大以及各级暗纹的位置。

3. 实验难点 (2 分)

(简述本实验的实现难点，不超过 100 字，2 分)

1、光学元件的等高共轴调节精度。要将所有光学元件的几何中心精确调整到同一条直线上，存在一定难度。

2、次级条纹的精确定位。单缝衍射的次级亮纹光强非常弱，中心位置难以精确判定。而暗纹位置虽然理论上光强为零，但受背景光等干扰，难以找到极小值点。

3、多种误差来源的综合影响。实验结果的准确性受到多种不确定因素的制约，包括：仪器移动部件可能存在的空程差，人工读取数据的偶然误差，以及激光器本身输出的微小波动等。

二、原始数据（20 分）

（将有老师签名的“自备数据记录草稿纸”的扫描或手机拍摄图粘贴在下方，完整保留姓名，学号，教师签字和日期。）

三、结果与分析 (60 分)

1. 数据处理与结果 (30 分)

(列出数据表格、选择适合的数据处理方法、写出测量或计算结果。)

(1) 一维光栅

表 1 一维光栅实验数据记录

光栅位置 L1/mm	360.0	探测器位置 L2/mm	1165.8
测量次数	-1 极亮点位置 x_{-1}/mm	+1 极亮点位置 x_{+1}/mm	$\Delta x/\text{mm}$
1	76.342	24.980	51.362
2	76.312	24.944	51.368
3	76.258	24.908	51.350
4	76.302	24.991	51.311
5	76.309	24.978	51.331
6	76.298	24.962	51.336

根据光栅方程 $d \sin \theta = \pm \lambda$ 和近似 $\sin \theta \approx \tan \theta = \frac{\Delta x}{2 \Delta L}$, 取 $d = 0.02 \text{ mm}$ 计算光源波长:

± 1 级亮纹间距的平均值:

$$\overline{\Delta x} = 51.343 \text{ mm}$$

$$\Delta L = L_2 - L_1 = 805.8 \text{ mm}$$

将上述平均值代入公式, 计算波长的平均值 $\bar{\lambda}$:

$$\bar{\lambda} = \frac{d \overline{\Delta x}}{2 \Delta L} = \frac{0.02 \text{ mm} \times 51.343 \text{ mm}}{2 \times 805.8 \text{ mm}} \approx 0.000637168 \text{ mm} = 637.168 \text{ nm}$$

(2) 单缝

表 2 单缝实验数据记录

序号	相对位置/mm	光强电流/uA	序号	相对位置/mm	光强电流/uA
1	0.000	2.2	37	14.400	2282.4
2	0.400	0.0	38	14.800	2208.3
3	0.800	0.0	39	15.200	2124.4
4	1.200	0.2	40	15.600	1983.7
5	1.600	6.7	41	16.000	1820.2
6	2.000	18.6	42	16.400	1626.4
7	2.400	31.8	43	16.800	1420.7
8	2.800	48.2	44	17.200	1194.3
9	3.200	65.1	45	17.600	968.1
10	3.600	82.3	46	18.000	767.9
11	4.000	92.4	47	18.400	575.2
12	4.400	98.9	48	18.800	403.3
13	4.800	99.0	49	19.200	271.6

14	5.200	91.6	50	19.600	160.0
15	5.600	76.9	51	20.000	85.7
16	6.000	59.1	52	20.400	34.3
17	6.400	35.0	53	20.800	8.7
18	6.800	17.1	54	21.200	3.4
19	7.200	3.1	55	21.600	12.7
20	7.600	0.3	56	22.000	29.1
21	8.000	12.7	57	22.400	48.7
22	8.400	47.3	58	22.800	69.1
23	8.800	113.3	59	23.200	86.6
24	9.200	200.4	60	23.600	97.7
25	9.600	322.9	61	24.000	102.3
26	10.000	466.4	62	24.400	101.7
27	10.400	645.6	63	24.800	92.1
28	10.800	849.6	64	25.200	77.3
29	11.200	1079.9	65	25.600	60.0
30	11.600	1304.2	66	26.000	43.7
31	12.000	1518.6	67	26.400	28.1
32	12.400	1729.6	68	26.800	14.9
33	12.800	1905.4	69	27.200	5.9
34	13.200	2062.4	70	27.600	0.5
35	13.600	2178.2	71	27.600	0.2
36	14.000	2243.2	72	27.600	0.9

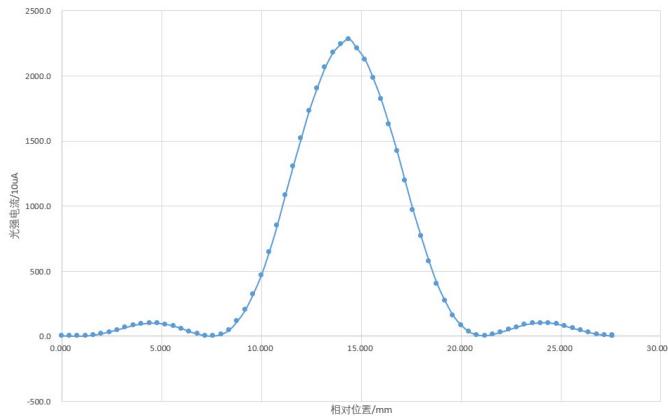


图 2 单缝衍射光强分布图

表 3 单缝衍射结果记录

$I_1(-1)/\mu A$	99.0
$I_1(+1)/\mu A$	102.3
$I_0/\mu A$	2282.0
$I_1(-1)/I_0$	4.34%
$I_1(+1)/I_0$	4.48%
x_{-1}/mm	4.800
x_{+1}/mm	24.000

1、计算单缝宽度 a :

第一级亮纹的峰值位置满足关系式 $as \in \theta_1 \approx 1.43$ 。

在小角度近似下, $\sin \theta \approx \tan \theta = \frac{\Delta x}{2AL}$

激光波长 (由光栅衍射实验测得): $\lambda = 637.2 \text{ nm} = 6.372 \times 10^{-4} \text{ mm}$

单缝到屏的距离 (沿用上一实验数据): $L = 805.8 \text{ mm}$

第一级亮纹到衍射图样中心的平均距离 x_1 :

$$x_1 = \frac{x_{+1} - x_{-1}}{2} = \frac{24.000 \text{ mm} - 4.800 \text{ mm}}{2} = 9.600 \text{ mm}$$
$$a = \frac{1.43\lambda L}{x_1} = \frac{1.43 \times (6.372 \times 10^{-4} \text{ mm}) \times (805.8 \text{ mm})}{9.600 \text{ mm}} \approx 0.0765 \text{ mm}$$

2、光强比验证:

根据实验数据记录:

中心明纹光强 $I_0 = 2282.4 \mu A$

负一级明纹光强 $I_{-1} = 99.0 \mu A$

正一级明纹光强 $I_{+1} = 102.3 \mu A$

分别计算两侧亮纹与中心亮纹的光强比:

负一级光强比: $\frac{I_{-1}}{I_0} = \frac{99.0 \mu A}{2282.000 \mu A} \times 100\% \approx 4.34\%$

正一级光强比: $\frac{I_{+1}}{I_0} = \frac{102.3 \mu A}{2282.000 \mu A} \times 100\% \approx 4.48\%$

实验测得的两侧光强比分别为 4.34% 和 4.48%, 平均值为 4.41%, 均与理论值 4.7% 较为接近, 但存在差异。

2. 误差分析 (20 分)

(运用测量误差、相对误差或不确定度等分析实验结果, 写出完整的结果表达式, 并分析误差原因。)

(1) 一维光栅

实验测得的激光波长平均值为 $\bar{\lambda} = 637.168 \text{ nm}$

已知激光波长的标准值为 $\lambda_0 = 650.0 \text{ nm}$

相对误差 E_r :

$$E_r = \frac{\lambda_{\text{实}} - \lambda_{\text{理}}}{\lambda_{\text{理}}} \times 100\%$$

$$E_r = \left| \frac{637.168 \text{ nm} - 650.0 \text{ nm}}{650.0 \text{ nm}} \right| \times 100\% = \frac{12.832}{650.0} \times 100\% \approx 1.97\%$$

本次实验测量的相对误差为 1.97%。

不确定度:

A 类不确定度:

测量列的样本标准差 $s(\Delta x)$:

$$s(\Delta x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta x_i - \bar{\Delta x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0.002254 \text{ mm}^2}{6-1}} \approx 0.0212 \text{ mm}$$

Δx 平均值的 A 类标准不确定度 $u_A(\bar{\Delta x})$ 为:

$$u_A(\bar{\Delta x}) = \frac{s(\Delta x)}{\sqrt{n}} = \frac{0.0212 \text{ mm}}{\sqrt{6}} \approx 0.00866 \text{ mm}$$

B 类不确定度:

B 类不确定度由测量仪器的允差引入, 假设其分布为均匀分布, 则其标准不确定度为 $\frac{\Delta}{\sqrt{3}}$ 。

1、距离 ΔL 的 B 类不确定度 $u_B(\Delta L)$

测量仪器为一维导轨, 其允差 $\Delta_L = 0.5 \text{ mm}$ 。

$$u_B(\Delta L) = \frac{\Delta_L}{\sqrt{3}} = \frac{0.5 \text{ mm}}{\sqrt{3}} \approx 0.289 \text{ mm}$$

2、间距 Δx 的 B 类不确定度 $u_B(\Delta x)$

测量仪器为转动手轮, 其允差 $\Delta_x = 0.04 \text{ mm}$ 。

$$u_B(\Delta x) = \frac{\Delta_x}{\sqrt{3}} = \frac{0.04 \text{ mm}}{\sqrt{3}} \approx 0.0231 \text{ mm}$$

综合 A 类与 B 类不确定度, 得到各直接测量量的标准不确定度 $u(\Delta x)$ 和 $u(\Delta L)$ 分别为:

$$u(\Delta x) = \sqrt{u_A(\bar{\Delta x})^2 + u_B(\Delta x)^2} = \sqrt{(0.00866)^2 + (0.0231)^2} \text{ mm} \approx 0.0247 \text{ mm}$$

$$u(\Delta L) = u_B(\Delta L) \approx 0.289 \text{ mm}$$

根据不确定度传播公式, 波长 λ 的合成标准不确定度 $u(\lambda)$ 可由下式计算:

$$\begin{aligned} \frac{u(\lambda)}{\bar{\lambda}} &= \sqrt{\left(\frac{u(\Delta x)}{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{u(\Delta L)}{\Delta L}\right)^2} \\ u(\lambda) &= \bar{\lambda} \times \sqrt{\left(\frac{0.0247 \text{ mm}}{51.343 \text{ mm}}\right)^2 + \left(\frac{0.289 \text{ mm}}{805.8 \text{ mm}}\right)^2} \approx 0.382 \text{ nm} \end{aligned}$$

根据不确定度修约规则, U 取一位有效数字, 即 $U \approx 0.4 \text{ nm}$ 。相应地, 将测量结果平均值 $\bar{\lambda}$ 修约至与不确定度 U 的小数位数一致:

$$\bar{\lambda} \approx 637.2 \text{ nm}$$

因此，本次实验测得的激光波长最终表达式为：

$$\lambda = (\bar{\lambda} \pm U) = (637.2 \pm 0.4) \text{ nm}$$

本次实验的测量结果 $\lambda = (637.2 \pm 0.4) \text{ nm}$ 与标准值 $\lambda_0 = 650.0 \text{ nm}$ 存在 1.97% 的相对误差。值得注意的是，标准值并不在测量结果的不确定度区间 [636.8 nm, 637.6 nm] 之内，这表明实验中可能存在尚未被不确定度评定所包含的系统误差，这些误差是导致测量结果系统性偏离标准值的主要原因。

系统误差分析：

导致本次测量结果产生系统性偏差的可能因素主要包括：

光栅常数的准确性：实验中采用的光栅常数 $d = 0.02 \text{ mm}$ 为其标称值，若实际值与标称值存在偏差，将直接导致波长计算结果产生固定的、同方向的偏移。

光学系统的共轴性：激光束、光栅平面与探测器接收面三者未能实现严格的等高、共轴与垂直，尤其当激光束未能垂直入射光栅时，会引起衍射条纹的不对称，从而使测得的条纹间距 Δx 存在系统性偏差。

仪器的固有校准误差：用于测量光栅与探测器间距 ΔL 的光学导轨标尺，其自身可能存在的刻度误差会引入系统误差。

随机误差分析：

测量结果的不确定度主要由随机误差所贡献，其来源包括：

衍射光斑中心的定位误差：由于衍射主极大具有一定的宽度且边缘模糊，在通过目探测器寻找其光强峰值位置时，存在仪器分辨的随机性，这是造成多次测量的 Δx 值存在分散性的主要原因。

环境与光源的波动：实验环境中的杂散光干扰、空气扰动，以及激光器自身输出功率和波长的微小起伏，均可能对光强信号的稳定接收造成影响，从而给峰值定位带来随机扰动。

(2) 单缝

计算得到的单缝宽度约为 $a=0.0765 \text{ mm}$ 。

负一级光强比： $\frac{I_{-1}}{I_0} = 4.34\%$

正一级光强比： $\frac{I_{+1}}{I_0} = 4.48\%$

相对误差

将实验测得的两侧光强比分别与理论值 4.7% 进行比较，计算其相对误差 E_r ：

负一级光强比的相对误差： $E_r = \left| \frac{4.34\% - 4.7\%}{4.7\%} \right| \times 100\% \approx 7.66\%$

正一级光强比的相对误差： $E_r = \left| \frac{4.48\% - 4.7\%}{4.7\%} \right| \times 100\% \approx 4.68\%$

误差原因分析：

在本实验中，单缝宽度 a 的计算是基于 ± 1 级亮纹的空间位置。根据数据，这两个位置关于一个中心点 (14.400 mm) 是对称的，因此无论使用哪一侧亮纹或者使用平均距离，计算

出的宽度 a 都是一致的。这反映了衍射图样在空间几何分布上的对称性。

与此不同，光强比的测量是基于衍射图样的能量分布。实验数据显示， $+1$ 级和 -1 级亮纹的光强并不相等。这说明，尽管几何位置可能对称，但到达对称位置的光能量却相等。

(具体分析见思考题)

3. 实验探讨 (10 分)

(对实验内容、现象和过程的小结，不超过 100 字。)

本实验通过调节光路，分别观察了单缝和光栅的衍射图样。通过测量条纹间距和光强，利用衍射公式成功计算了激光波长和单缝宽度，并验证了光强分布规律。

四、思考题 (10 分)

(解答教材或讲义或老师布置的思考题，请先写题干，再作答。)

1、单缝衍射两侧光强不是严格对称的原因是什么？

激光光斑能量分布不均且未对准中心：激光器输出的光束截面能量通常呈高斯分布，即中心强、边缘弱。如果光斑的能量峰值没有精确地对准单缝的几何中心，那么单缝两侧接收到的入射光能量就会不同，从而导致衍射图样中一侧的亮纹整体比另一侧更亮。

光路未严格共轴或垂直入射：如果激光束并非垂直入射到单缝平面，而是存在一个微小的入射角，将会导致衍射能量在空间中的分布发生倾斜，使得能量更多地集中于一侧，造成两侧光强不对称。

2、狭缝宽度是否越小越好，为什么？

不是。

虽然狭缝宽度越小，衍射现象越明显，衍射条纹会变得更宽、间距更大。但是，狭缝变窄的同时，通过的总光能量会急剧减少，导致整个衍射图样变得非常暗淡，尤其是亮度本就很弱的次级条纹，可能会淹没在背景光中而无法分辨。

3、描述一个生活中光的衍射现象，怎么做？现象是什么？简述 (100 字以内)

做法：将拇指和食指并拢，通过缝隙观察远处明亮的光源。

现象：可以观察到光在缝隙两侧展开，形成一系列与缝隙平行的、模糊的明暗相间条纹，且中央条纹最亮。

原理：这是光波绕过手指边缘发生衍射，使其传播方向偏离直线所形成的现象。

注意事项：

1. 用 PDF 格式上传“实验报告”，文件名：学生姓名+学号+实验名称+周次。
2. “实验报告”必须递交在“学在浙大”本课程内对应实验项目的“作业”模块内。
3. “实验报告”成绩必须在“浙江大学物理实验教学中心网站” – “选课系统”内查询。
4. 教学评价必须在“浙江大学物理实验教学中心网站” – “选课系统”内进行，学生必须进行教学评价，才能看到实验报告成绩，教学评价须在本次实验结束后 3 天内进行。