

# 浙江大学

## 物理实验报告

实验名称: 光的衍射 G

实验桌号: \_\_\_\_\_

指导教师: 蔡国安

班级: 机械工程

姓名: CyanHaze

学号: \_\_\_\_\_

实验日期: 2025 年 12 月 11 日 星期四 下午

## 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，包括必要的光路图、电路图、公式等。不超过500字。）

光的衍射：光在传播过程中，遇到障碍物或小孔时，光将偏离直线传播的路径而绕到障碍物后面传播的现象。光产生明显衍射现象的条件：衍射物尺度，光源相干性，光源强度。本实验观察光遇到单缝、光栅等障碍物时的衍射现象，呈现明暗交替的衍射图样。核心原理为惠更斯-菲涅尔原理，衍射分为夫琅禾费衍射（远场衍射）和菲涅耳衍射（近场衍射）两类；单缝衍射光强满足

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

其中  $\mu = \frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}$ ，光栅衍射遵循方程  $(a + b) \sin \theta = k\lambda$ 。在光栅衍射中，平行光照射透射光栅，同时存在每个缝的单缝衍射和缝与缝间光干涉。实验通过调节激光器与光学元件等高共轴，利用光强探测器测量衍射点位置与光强，计算光源波长和单缝宽度。

### 2. 实验重点（3分）

（简述本实验的学习重点，不超过100字。）

理解单缝、光栅的衍射光强分布特征，掌握基于衍射方程测量微小量（波长、单缝宽度）的方法，熟悉光路等高共轴调节及光强数据采集的关键步骤以及了解二维光栅衍射的特征。

### 3. 实验难点（2分）

（简述本实验的实现难点，不超过100字。）

- 光路等高共轴的精准调节，避免空程差影响测量。
- 光强微弱区域的数据采集准确性控制。
- 衍射角与测量距离的换算和相对误差分析。

## 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。）

#### 1.1 一维光栅

光栅  $L_1 = 80.01\text{cm}$ ，探测器  $L_2 = 116.02\text{cm}$ ，

$D = L_2 - L_1 = 36.01\text{cm}$ ， $\lambda_{\text{标}} = 657\text{nm}$ ， $a = 0.02\text{mm}$

测量数据如下表：

+1	亮纹中心	0	亮纹中心	-1	亮纹中心
位置(mm)	光强( $10^{-8}A$ )	位置(mm)	光强(A)	位置(mm)	光强(A)
53.422	797.9	65.141	1572.9	76.793	696.7
53.369	803.7	65.188	1582.9	76.882	705.4
53.607	758.3	65.350	1537.4	76.625	653.6

数据处理:

$$\lambda_1 = \frac{0.02 \times 11.686}{360.1} \times 10^6 \approx 649.0 \text{ nm}$$

$$\lambda_2 = \frac{0.02 \times 11.757}{360.1} \times 10^6 \approx 653.0 \text{ nm}$$

$$\lambda_3 = \frac{0.02 \times 11.509}{360.1} \times 10^6 \approx 639.2 \text{ nm}$$

$$\begin{aligned} \bar{\lambda} &= \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3}{3} \\ &= \frac{649.0 + 653.0 + 639.2}{3} \\ &= 647.07 \approx 647.1 \text{ nm} \end{aligned}$$

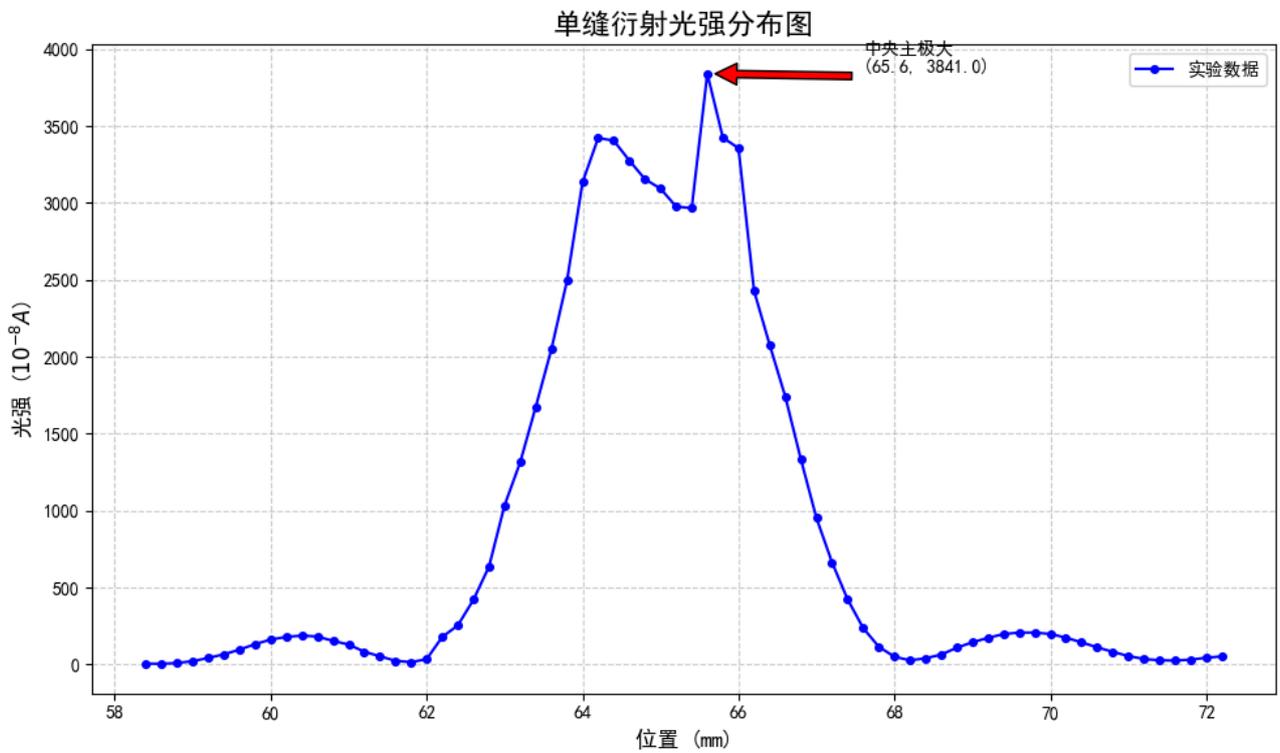
## 1.2 单缝衍射

光栅  $L_1 = 80.01\text{cm}$ , 探测器  $L_2 = 116.02\text{cm}$ ,

$D = L_2 - L_1 = 36.01\text{cm}$ ,  $\lambda_{\text{标}} = 657\text{nm}$ , 测量数据如下表:

位置(mm)	58.400	58.600	58.800	59.000	59.200
光强( $10^{-8}A$ )	5.9	4.8	9.6	21.7	42.9
位置(mm)	59.400	59.600	59.800	60.000	60.200
光强( $10^{-8}A$ )	66.3	96.7	132.5	162.0	179.6
位置(mm)	60.400	60.600	60.800	61.000	61.200
光强( $10^{-8}A$ )	187.7	181.8	153.3	129.9	83.1
位置(mm)	61.400	61.600	61.800	62.000	62.200
光强( $10^{-8}A$ )	53.2	24.3	14.9	35.2	178.9
位置(mm)	62.400	62.600	62.800	63.000	63.200
光强( $10^{-8}A$ )	254.4	420.7	636.4	1035.7	1314.9
位置(mm)	63.400	63.600	63.800	64.000	64.200
光强( $10^{-8}A$ )	1675.6	2049.1	2494.0	3135.7	3422.7
位置(mm)	64.400	64.600	64.800	65.000	65.200
光强( $10^{-8}A$ )	3405.5	3276.1	3155.2	3093.5	2976.9
位置(mm)	65.400	65.600	65.800	66.000	66.200
光强( $10^{-8}A$ )	2966.7	3841.0	3424.9	3356.5	2428.2
位置(mm)	66.400	66.600	66.800	67.000	67.200
光强( $10^{-8}A$ )	2077.3	1741.9	1334.1	951.7	663.6

位置(mm)	67.400	67.600	67.800	68.000	68.200
光强( $10^{-8}A$ )	423.0	236.4	115.2	50.5	27.1
位置(mm)	68.400	68.600	68.800	69.000	69.200
光强( $10^{-8}A$ )	40.5	64.5	109.0	144.5	173.0
位置(mm)	69.400	69.600	69.800	70.000	70.200
光强( $10^{-8}A$ )	197.8	207.7	207.5	198.4	174.5
位置(mm)	70.400	70.600	70.800	71.000	71.200
光强( $10^{-8}A$ )	144.0	111.9	82.2	55.3	35.7
位置(mm)	71.400	71.600	71.800	72.000	72.200
光强( $10^{-8}A$ )	27.9	25.4	31.8	43.6	52.9



级数	位置(mm)	光强( $10^{-8}A$ )
$I_{-1}$	60.400	187.7
$I_0$	65.600	3841.0
$I_{+1}$	69.600	207.7

数据处理:

相对光强  $(I_{-1}/I_0)$  : 0.0489(4.89%)

相对光强  $(I_{+1}/I_0)$  : 0.0541(5.41%)

一级平均相对光强: 5.15%

计算单缝宽度  $a$ :

$$\begin{aligned} a &= \frac{2\lambda D}{\Delta} x \\ &= \frac{2 \times 657 \times 10^{-9} \times 0.3601}{6.400} \times 10^{-3} \\ &= 73.9 \times 10^{-5} m \end{aligned}$$

## 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。)

### 2.1 实验一

已知标准波长  $\lambda_{\text{std}} = 657.0 \text{ nm}$ , 测量平均值  $|\langle \lambda \rangle = 647.1 \text{ nm}$ 。相对误差  $E_r$  计算如下:

$$\begin{aligned} E_r &= \frac{|\lambda - \lambda_{\text{std}}|}{\lambda_{\text{std}}} \times 100\% \\ &= \frac{|647.1 - 657.0|}{657.0} \times 100\% \\ &= \frac{9.9}{657.0} \times 100\% \\ &\approx 1.51\% \end{aligned}$$

A 类不确定度 ( $u_A$ ) 本次实验测量次数  $n = 3$ , A 类不确定度公式为:

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_i - \langle \lambda \rangle)^2}{n(n-1)}}$$

1. 计算残差  $\delta_i = \lambda_i - \langle \lambda \rangle$ :

$$\delta_1 = 649.0 - 647.1 = 1.9 \text{ nm}$$

$$\delta_2 = 653.0 - 647.1 = 5.9 \text{ nm}$$

$$\delta_3 = 639.2 - 647.1 = -7.9 \text{ nm}$$

2. 计算残差平方和:

$$\sum \delta_i^2 = 1.9^2 + 5.9^2 + (-7.9)^2 = 3.61 + 34.81 + 62.41 = 100.83$$

3. 代入公式计算:

$$u_A = \sqrt{\frac{100.83}{3 \times (3-1)}} = \sqrt{\frac{100.83}{6}} \approx 4.10 \text{ nm}$$

合成标准不确定度  $u_c \approx u_A = 4.10 \text{ nm}$ 。测量结果表示为:

$$\lambda = (647.1 \pm 8.2) \text{ nm}$$

其中相对误差  $E_r = 1.51\%$ 。计算结果 (647.1 nm) 略小于标准值 (657 nm)。

主要误差来源可能包括：光栅未完全垂直于入射光、读数时的视差、以及确定亮纹中心时的肉眼判断误差，导致了较大的 A 类不确定度。

## 2.2 实验二

已知单缝宽度标准值  $a_{\text{std}} = 0.080 \text{ mm}$ ，根据实验数据反推的测量值  $a_{\text{meas}} = 0.074 \text{ mm}$ 。相对误差  $E_r$  计算如下：

$$\begin{aligned} E_r &= \frac{|a_{\text{meas}} - a_{\text{std}}|}{a_{\text{std}}} \times 100\% \\ &= \frac{|0.074 - 0.080|}{0.080} \times 100\% \\ &= \frac{0.006}{0.080} \times 100\% \\ &= 7.50\% \end{aligned}$$

相对合成不确定度为：

$$\begin{aligned} u_{r(a)} &= \frac{u_{c(a)}}{a} = \sqrt{\left(\frac{u(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{u(\Delta x)}{\Delta x}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{0.58}{360.1}\right)^2 + \left(\frac{0.23}{6.4}\right)^2} \\ &= \sqrt{(0.0016)^2 + (0.0359)^2} \\ &\approx 3.60\% \end{aligned}$$

由此得到合成标准不确定度：

$$u_{c(a)} = a \times u_{r(a)} = 0.074 \times 3.60\% \approx 0.0027 \text{ mm}$$

单缝宽度的测量结果表示为：

$$a = (0.074 \pm 0.005) \text{ mm}$$

误差主要来源是暗纹间距  $\Delta x$  的测量。由于光强极小值点不够尖锐，导致位置判定存在系统性偏差。此外，背景杂散光可能导致极小值位置漂移。

## 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。)

本实验通过测量一维光栅  $\pm 1$  级衍射条纹间距，求得激光波长为 647 nm，与标准值 657 nm 偏差较小。同时绘制单缝衍射光强分布曲线，验证了中心亮纹最强、两侧逐渐衰减的规律，并测得  $\pm 1$  级光强比符合合理理论预期。

## 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、不同形状的障碍物衍射图案的特征，举一两个例子详细说明。

- 圆孔衍射：图案由一个明亮的中心圆斑和周围一组同心的明暗相间圆环组成。当光通过一个小圆孔时，中心光强最大。随着离中心距离增加，光强呈现震荡衰减。
- 单缝衍射：图案由中间一条最宽、最亮的中央明条纹，以及两侧对称分布的、较窄且较暗的次级明条纹组成。条纹的方向与狭缝的方向垂直。中央明纹集中了绝大部分能量。随着级数增加，次级明纹的亮度迅速下降。

## 2、单缝衍射图案随着入射光波长和狭缝尺寸的改变会如何变化？

- 入射光波长增加：衍射图案会变得更宽，条纹间距增大，中央明纹和次级明纹的宽度也会增加。
- 狭缝尺寸减小：衍射图案也会变得更宽，条纹间距增大。狭缝越窄，衍射效应越明显，条纹越宽。

## 3、光栅衍射亮纹分布和单缝衍射亮纹分布有何区别，原因是什么？

- 光栅衍射：亮纹分布由多个尖锐且间隔均匀的明纹组成，亮纹位置由光栅方程决定。光栅具有多个狭缝，产生强烈的干涉效应，导致亮纹更集中。
- 单缝衍射：亮纹分布由一个宽而明的中央明纹和逐渐减弱的次级明纹组成。单缝只有一个狭缝，主要表现为衍射效应，亮纹较宽且分布较为平缓。
- 原因：光栅的多缝结构增强了干涉效应，而单缝主要体现衍射效应。

## 4、单缝衍射两侧光强不是严格对称的原因是什么？

- 实验装置的对准误差：如果光源、狭缝和探测器没有完全对齐，可能导致光强分布不对称。
- 狭缝边缘不均匀：狭缝的制造缺陷或污损可能导致光通过狭缝时产生不均匀的衍射。
- 环境光干扰：实验环境中的杂散光可能影响测量结果，导致光强分布不对称。

### • 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。