

物理实验四 光栅方程的应用

姓名	王博想	学号	2233316027	班级	2308	小组号	1
同组人员	饶宇帆 陈禹霖	日期	2025.4.24	温度	28.0°C	湿度	57%

实验目的

- 1. 掌握光栅衍射的基本原理和光栅方程的应用
- 2. 学习使用光栅测量激光波长、光盘光轨间距和手机屏幕分辨率
- 3. 分析实验误差并提出改进方案

实验仪器

光栅 ($d = 1/300\text{mm}$)、激光笔 (绿光 532nm)、米尺、接收屏、CD 光盘、iPhone 8 plus 手机 (分辨率 $1920 \times 1080\text{px}$)、直尺

实验原理

光栅方程为：

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

当 θ 较小时可以近似认为：

$$\sin \theta \approx \tan \theta = \frac{x_k}{L}$$

其中 x_k 为第 k 级衍射光斑到中央亮纹的距离， L 为光栅到接收屏的距离。

实验内容与数据处理

米尺测量激光波长

光栅常数 $d = 1/300\text{mm}$

光栅到接收屏距离 $L = 100\text{cm}$ 。

实验数据如下表，使用逐差法处理数据

测量级数	-2	-1	0	+1	+2	平均间距
衍射光斑位置/cm	-33.5	-16.2	0	17.0	33.6	33.375

计算过程：

$$\Delta x_1 = x_{+1} - x_{-1} = 17.0 - (-16.2) = 33.2 \text{ (cm)}$$

$$\Delta x_2 = \frac{x_{+2} - x_{-2}}{2} = \frac{33.6 - (-33.5)}{2} = 33.55 \text{ (cm)}$$

$$\overline{\Delta x} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{2} = \frac{33.2 + 33.55}{2} = 33.375 \text{ (cm)}$$

$$\lambda = \frac{d \cdot \overline{\Delta x}}{k \cdot L} = \frac{3.333 \times 10^{-6} \text{ m} \times 0.33375 \text{ m}}{2 \times 1.00 \text{ m}} = 5.56 \times 10^{-7} \text{ m} = 556 \text{ nm}$$

与标称值 532nm 的偏差：

$$\text{相对误差} = \frac{556 \text{ nm} - 532 \text{ nm}}{532 \text{ nm}} \times 100\% \approx 4.5\%$$

光盘光轨间距测量

使用绿光 $\lambda = 532\text{nm}$

光盘到接受屏的距离 $L = 42\text{cm}$ 。

测量数据如下表，使用逐差法处理数据

测量级数	-2	-1	0	+1	+2	平均间距
CD 衍射光斑位置/cm	-39.5	-17.3	0	15.5	39.3	36.1

计算过程：

$$\Delta x_1 = x_{+1} - x_{-1} = 15.5 - (-17.3) = 32.8 \text{ (cm)}$$

$$\Delta x_2 = \frac{x_{+2} - x_{-2}}{2} = \frac{39.3 - (-39.5)}{2} = 39.4 \text{ (cm)}$$

$$\overline{\Delta x} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{2} = \frac{32.8 + 39.4}{2} = 36.1 \text{ (cm)}$$

$$d = \frac{k\lambda L}{\overline{\Delta x}} = \frac{2 \times 5.32 \times 10^{-7} \text{ m} \times 0.42 \text{ m}}{0.361 \text{ m}} \approx 1.24 \mu\text{m}$$

手机分辨率的测量

手机型号：iPhone 8 plus，官方给出的分辨率：1920 × 1080px

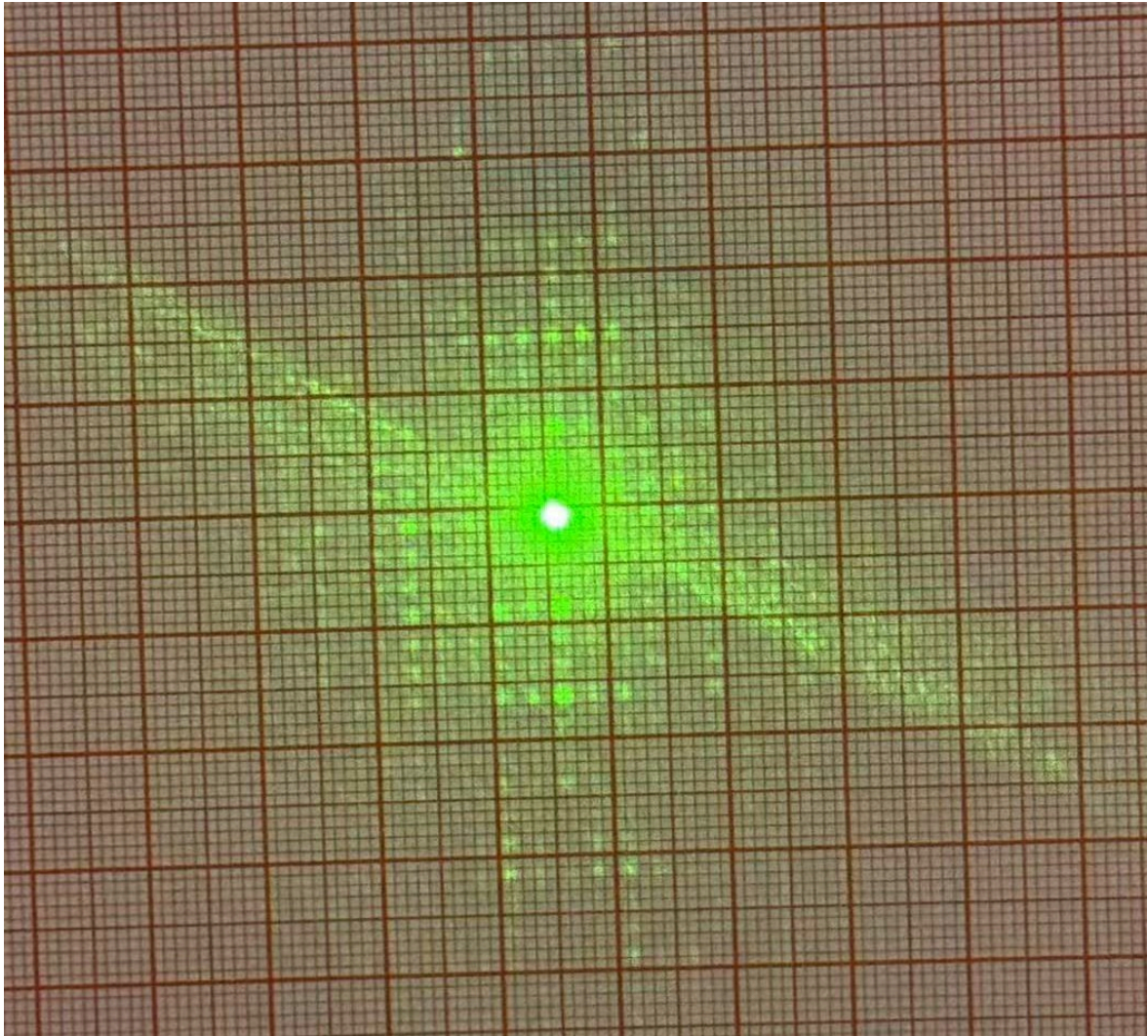
入射光波长 $\lambda = 532\text{nm}$ 。

手机屏到接受屏之间的距离 $D = 30.0\text{cm}$ 。

手机屏幕显示区的长 $a = 121.0\text{mm}$ ，宽 $b = 68.0\text{mm}$ 。

实验步骤：

1. 测量手机屏幕显示区的长 a 和宽 b
2. 将手机屏幕与坐标纸平行相隔距离 D
3. 将激光笔尽量贴近手机屏，以小角度使光通过手机屏反射在坐标纸上形成衍射光斑
4. 拍照记录，处理数据



如图，观察得相邻斑点距离约为 2.5mm

计算像素间距：

$$\Delta x = 2.5 \text{ mm}$$

$$d_h = \frac{\lambda D}{\Delta x} = \frac{532 \times 10^{-6} \text{ mm} \times 300 \text{ mm}}{2.5 \text{ mm}} = 63.8 \mu\text{m}$$

计算理论像素间距：

$$\text{水平} = \frac{a}{1920} = \frac{121.0 \text{ mm}}{1920} \approx 63.02 \mu\text{m}$$

$$\text{垂直} = \frac{b}{1080} = \frac{68.0 \text{ mm}}{1080} \approx 62.96 \mu\text{m}$$

实验结果与理论值较符合

误差分析

- 激光波长测量：条纹位置读数粗糙；光栅与屏幕未完全对准；环境光干扰。
- CD 轨道间距：入射角度偏离理想；光盘表面不规则。
- 手机分辨率测量：实验距离测量不精准；Pentile 排列导致实际周期偏大；屏幕防反射涂层影响衍射。

改进方案与建议

- 使用游标卡尺等高精度测量工具
- 在暗室或加装遮光装置，减小环境光影响
- 通过调节支架保证光栅与屏幕平行对齐
- 多次重复测量并取平均值
- 手机屏幕测试时可使用标准网格图案以提高精度

结论

验证了光栅方程的正确性，成功测量了：

- 绿光波长为 567nm 误差 4.5%
- CD 光轨间距约为 $1.24\mu\text{m}$
- iPhone 8 plus 手机像素间距：实验值 $63.8\mu\text{m}$ ，与水平理论值 $63.02\mu\text{m}$ 和垂直理论值 $62.96\mu\text{m}$ 十分接近

实验数据合理，误差较小，验证了光栅衍射原理的实际应用价值。