

预习	操作记录	实验报告	总评成绩

《大学物理实验》课程实验报告

专业：实验人姓名：学号：

参加人姓名：

日期： 年 月 日 室温：相对湿度：

实验14 单缝衍射的相对光强分布

[实验前思考题]

1. 当缝宽增加一倍时，衍射花样的光强和条纹的宽度将会怎样改变？如缝宽减半。又怎样改变？
2. 检查光功率计探头是否工作在线性区时，能否用激光光源？

[实验目的]

- 1. 了解和掌握多种基本光学元器件的功能和使用方法；
- 2. 掌握用光功率计定量测量光强的方法；
- 3. 观察单缝的夫琅和费衍射现象及用光电元件测量其相对光强分布；
- 4. 由单缝衍射相对光强分布曲线计算狭缝宽度。

[仪器用具]

编号	仪器名称	数量	主要参数（型号，测量范围，精度）
1	光学平台		
2	He-Ne 激光器		
3	半导体激光器		
4	可调狭缝		
5	光功率计及探头		
6	白屏		
7	磁性底座		
8	白光光源		
9	磁性底座		

[原理概述]

光的衍射是光的波动性的基本特征之一，在光谱分析、晶体分析、全息技术、光信息处理等精密测量和近代光学技术中，衍射已成为一种有力的研究手段和方法。

光在传播过程中遇到尺寸接近于光波长的障碍物时（如狭缝、小孔、细丝等），发生偏离直线路径的现象，称为光的衍射。光的衍射现象通常分为两类，一类是菲涅尔衍射，一类是夫琅和费衍射。菲涅尔衍射指障碍物与光源和衍射图样的距离分别为有限远的情况。夫琅和费衍射指障碍物与光源和衍射图样的距离均为无限远的情况，亦即入射光和衍射光都是平行光束，也称平行光束的衍射。

1. 单缝夫琅和费衍射

单缝夫琅和费衍射如图 1 所示。光源 S 置于透镜 L₁ 的焦面上，出射后变成平行光

束垂直射到宽度为 a 的狭缝 D 上。根据惠更斯—菲涅尔原理，狭缝上各点可以看成是新的波源，由这些点向各方发出球面次波，这些次波在透镜 L_2 的后焦面上叠加形成一组明暗相间的条纹。按惠更斯—菲涅尔原理，可以导出屏上任一点 P_θ 处的光强为：

$$I_\theta = I_0 \sin^2\left(\frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}\right) \bigg/ \left(\frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}\right)^2$$

(1)

其中 λ 为入射光波长， θ 为衍射角， I_0 为 P_0 处的光强，称为主极大。

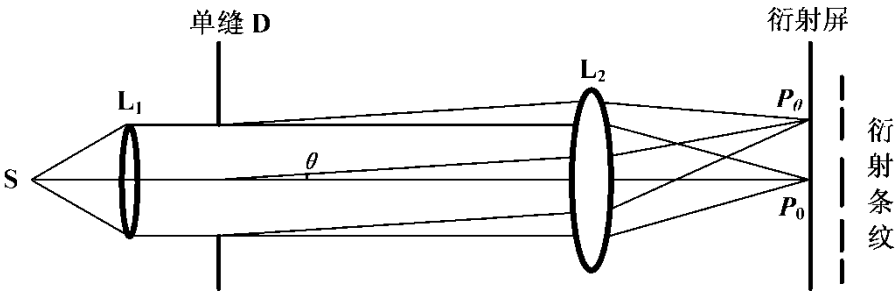


图 1 单缝夫琅和费衍射光路图

根据上式可画出单缝衍射的光强分布曲线如图 2 所示。从曲线上可以看出：

(1) 当 $\theta=0$ 时，光强有最大值 I_0 ，称为主极大，大部分能量落在主极大上。

(2) 当 $\sin \theta = k\lambda / a$ ($k = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$) 时， $I_\theta = 0$ ，出现暗条纹。因 θ 角很小，有 $\theta \approx \sin \theta$ ，可近似认为暗条纹在 $\theta = k\lambda / a$ 的位置上。可见，主极大两侧暗纹之间的角距离 $\Delta \theta = 2\lambda / a$ ，其他相邻暗纹之间的角距离均为 ($\Delta \theta = \lambda / a$)。

(3) 两相邻暗纹之间都有一个次极大，这些极大的位置和相对强度列表如下，可以看到相邻两个次极大之间的距离并不完全相等。

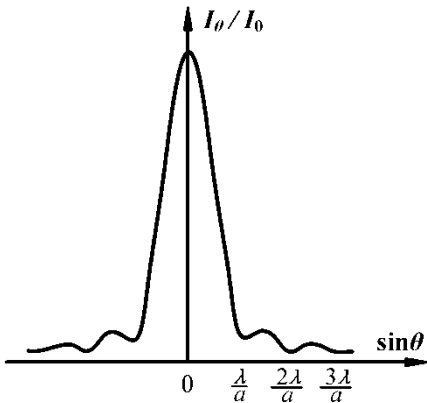


图 2 单缝衍射光强分布图

极大的级数	$\sin \theta / (\lambda a^{-1})$	I_θ / I_0
0 (主极大)	0	1
第一次极大	1.430	0.0469
第二次极大	2.459	0.0166
第三次极大	3.471	0.0083
第四次极大	4.477	0.0050

2. 满足夫琅和费衍射条件的讨论

在实验中，如果我们采用激光作为光源，则不用图 1 中的透镜 L_1 和 L_2 也可获得夫琅和费衍射图样。(1) 因激光束的发射角很小 ($d \approx 1 \text{ m} \cdot \text{rad}$)，单缝的宽度 a 也很小，所以用激光束直接照射狭缝，可认为是平行光入射，可撤去透镜 L_1 。(2) 只要接收屏（白屏）与狭缝的距离满足 $a^2 / 8Z\lambda \ll 1$ ，即可撤去透镜 L_2 ，直接在屏上观察到夫琅和费衍射条纹。下面导出这一条件：

如图 2 图 3， P_0 为衍射角 $\theta = 0$ 对应的点。对于夫琅和费衍射，要求狭缝上各点发出的次波到 P_0 时均有相同的光程，这一条件只有把屏移到无穷远才能真正满足。但实验过程中，只要 AP_0 与 OP_0 的差远远小于一个波长 λ ，就可近似认为该条件满足，即

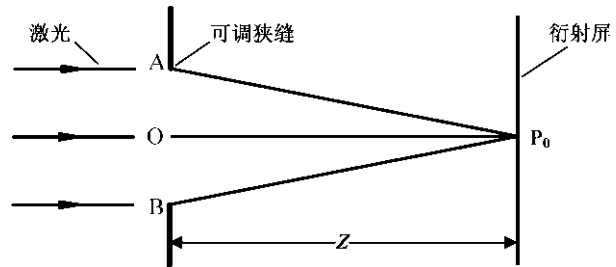


图 3 激光光源单缝衍射

$$(AP_0 - OP_0) = \left(\sqrt{Z^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2} - Z \right) = \lambda \quad (2)$$

因 $Z \gg a$ ，有

$$\sqrt{Z^2 + \frac{a^2}{4}} - Z \approx Z \left(1 + \frac{a^2}{8Z^2} \right) - Z = \frac{a^2}{8Z} = \lambda \quad (3)$$

即：

$$a^2 / (8Z\lambda) = 1 \quad (4)$$

在本实验中， $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ 或 635 nm ，缝宽 $a \approx 0.05 \text{ mm}$ ， $Z \approx 1 \text{ m}$ ，可满足式 (4)。

[安全注意事项]

- (1) **警告：**本实验中光源采用 He-Ne 激光器或半导体激光器，实验过程中严禁激光束直射眼睛，有导致失明的可能。
- (2) 实验过程中观察屏始终摆放在光路的末端，将激光束限制在自己的实验桌范围内，以免误射其他学生的眼睛。
- (3) He-Ne 激光器工作过程中导线之间的电压超过 1000V，通电后严禁接触激光器电源的输出端。
- (4) **可调狭缝极易损坏**，必须在观察屏上观察到光斑或条纹后才能调节狭缝的宽度，否则极易导致狭缝的刀口相碰而损坏。并禁止用手直接接触狭缝的刀口。

- (5) 本实验在光学平台上完成，对防震要求较高，实验过程中动作需轻柔，避免碰撞光学平台。

[实验内容及步骤]

1. 测定单缝衍射的相对光强分布

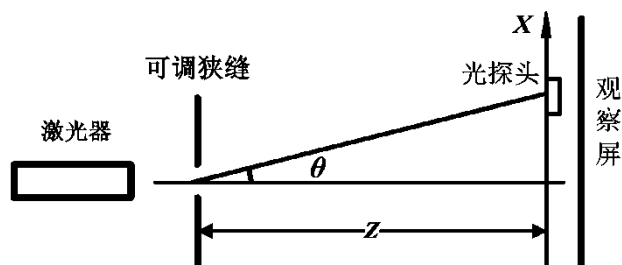


图 4 激光单缝衍射实验光路俯视图

(1) 激光器、可调狭缝、光探头、观察屏等统称为光学元器件。激光器、观察屏安装在一维磁性底座上，狭缝、光探头安装在二维磁性底座上。

(2) 粗调

①光路如图 4，先只摆放激光器和观察屏，调节激光器底座，让激光束打在观察屏上。屏上光点高度与激光器出光口高度一致，在水平面上确定一基准光路。将底座的开关拨至“on”。

②摆上可调狭缝，狭缝沿竖直方向放置，与激光器出光口的距离不大于 10cm。沿 X 方向移动狭缝底座，使光束从狭缝穿过，观察屏上出现光斑或条纹，且条纹落在与光探头进光狭缝垂直的水平线上。

③调节狭缝底座上的螺杆，使光斑或条纹最亮。将底座的开关拨至“on”。

④调节狭缝宽度，使条纹中心亮纹的宽度约为 5mm。

⑤将光探头底座平移螺杆的初始位置调至 1mm，将光探头放入光路，并尽可能靠近观察屏，使图 4 中的 z 值尽可能大。沿 X 方向移动光探头，使光探头读数最大。将底座的开关拨至“on”。

至此，所有光学元器件底座的开关都拨至“on”的位置，粗调结束。

(3) 细调

分别调节狭缝底座的平移螺杆、光探头底座的平移螺杆和垂直调节旋钮，使得光功率读数最大，上述任何一个旋钮改变，读数都变小。该最大值为衍射条纹主极大的光强。

要求最大值读数在 100-160 μ W 之间，如若不符合要求，则可以调节狭缝的宽度，再按上述方法进行一次细调。

(4) 测量衍射条纹的光强

- ①测量前先用黑纸遮挡光探头，对光功率读数进行调零。
- ②调节光探头底座平移螺杆，观察光功率读数的变化，保证在螺杆移动至 10mm 时能观察到第三暗纹。之后调节螺杆将光探头移动回主极大处。
- ③调节光探头底座平移螺杆，在 X 方向上每隔 0.1-0.3mm 测一次光强（具体间隔由学生根据光强读数变化的快慢自行调整）。从主极大一直测到第三条暗纹。

(5) 记录光学元器件的位置

2. 检测光功率计的读数与入射光强的线性关系

- (1) 光源采用白炽灯，光探头初始位置离白炽灯出光口的距离不小于 20cm，初始光强读数不小于实验内容 1 主极大的读数。
- (2) 逐渐增大光探头与光源的距离 Z ，直至探头尽可能靠近观察屏。每隔 5cm 测一次光强 P 。每个位置读数前都必需在 X 和 Y 方向上微移光探头，使光强读数最大。

1. 测定单缝衍射的相对光强分布

[illegible]

2. 检测光功率计的读数与入射光强的线性关系

白光点光源位置：_____， 光探头初始位置：_____

位置 Z / mm								
光功率 $P / \mu\text{W}$								
位置 Z / mm								
光功率 $P / \mu\text{W}$								
位置 Z / mm								
光功率 $P / \mu\text{W}$								
位置 Z / mm								
光功率 $P / \mu\text{W}$								

[数据处理与分析]

1. 画出激光单缝衍射相对光强分布曲线。
2. 计算各次极大光强与主极大光强的比值，与理论值比较，并讨论有差异的原因。
3. 画出白光光强 P 与距离平方的倒数 ($1/Z^2$) 的关系曲线，讨论光探头是否工作在
线性区。

[实验后思考题]

1. 使用光功率计应注意那些问题？光功率计进光狭缝的宽度对实验结果有何影响？
2. 证明本实验能满足夫琅和费衍射条件。