

班级 软件六班	学号 201811040809	姓名 乔翱
操作	处理	总分

单缝衍射实验

一、实验目的

1. 观察单缝夫琅禾费衍射现象，了解其特点。
2. 掌握单缝衍射相对光强的测量方法，并求出单缝宽度。

二、实验仪器

He-Ne 激光器、衍射狭缝、光具座、白屏、光电探头、光功率计。

三、实验原理

当波遇到障碍物时，它将偏离直线传播，这种现象叫做波的衍射。观察衍射现象的实验装置一般由光源、衍射屏和接收屏三部分组成。如果入射光和衍射光都是平行光，即光源距衍射屏和衍射屏距接收屏的距离都是无穷远，这类衍射称为夫琅禾费衍射，本实验仅研究夫琅禾费单缝衍射。

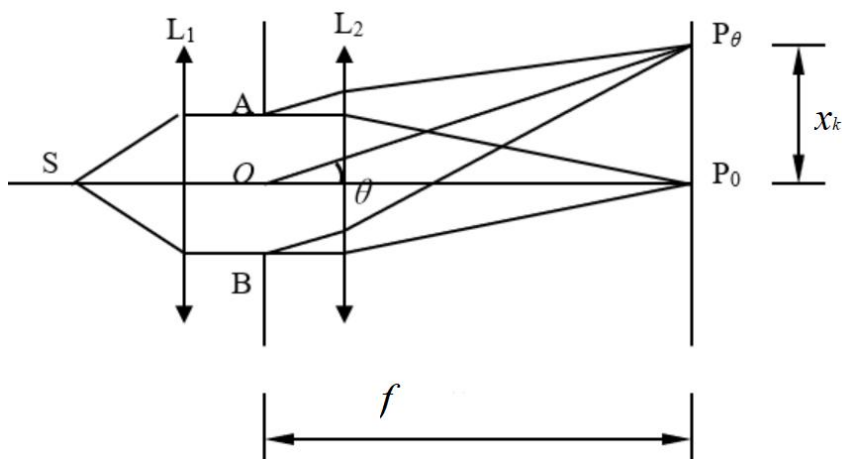


图 1 单缝衍射示意图

如图 1 所示，从光源 S 出发经透镜 L_1 形成的平行光束垂直照射到单缝 AB ，根据惠更斯—菲涅尔原理，位于单缝的波阵面上的每一点都可以看成一个新的子波源，他们向各个方向发射球面子波，这些子波在透镜 L_2 的后焦面叠加形成明暗相间的衍射条纹。和单缝平面垂直的衍射光束会聚于屏上 P_0 处，是中央亮纹的中心，其光强度设为 I_0 ，与光轴 OP_0 成 θ 角的衍射光束会聚于屏上 P_θ 处，计算得出 P_θ 处的光强度

$$I_{\theta} = I_0 \frac{\sin^2 u}{u^2} \quad u = \frac{\pi a \sin \theta}{\lambda} \quad (1)$$

(1) 式中, a 为单缝宽度; λ 为入射光波长; θ 为衍射光与光轴的夹角 (衍射角); 用式 (1) 可以很好的解释图 2 所给出的单缝衍射图像。

当 $\theta=0$ 时, $I_{\theta}=I_0$, 这就是中央明条纹中心点的光强, 是衍射图像中光强的极大值, 称为中央主极大。

当 $a \sin \theta = k\lambda$ ($k=\pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$) 时, $I=0$, 即为各级暗条纹, 与此衍射对应的位置为暗条纹的中心。由于实际上衍射角 θ 很小, 因此可以近似地认为

$$\sin \theta = \theta = k \frac{\lambda}{a} \quad (2)$$

由图 1 看出 k 级暗条纹对应的衍射角

$$\theta = \frac{x_k}{f} \quad (3)$$

(3) 式中, f 为单缝到接收屏的距离。

比较 (2) 和 (3) 式得 $k \frac{\lambda}{a} = \frac{x_k}{f}$

即

$$\frac{\lambda}{a} = \frac{\Delta x}{f} \quad (4)$$

式中 Δx 为相邻暗条纹之间的距离。

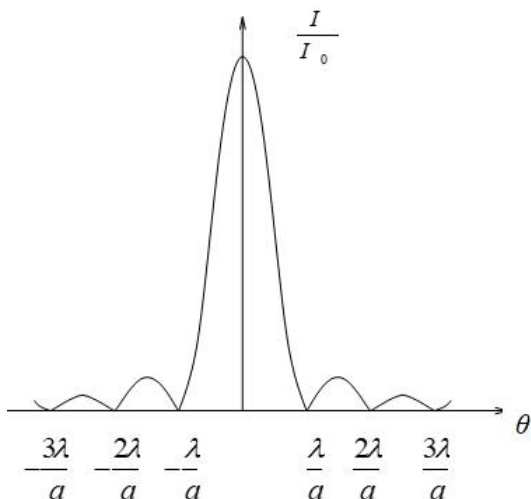


图 2 单缝夫琅禾费衍射图样的相对光强分布

由以上讨论可知:

(1) 中央亮条纹的宽度被 $k=\pm 1$ 的两个暗条纹的衍射角所确定, 即中央亮条纹的角宽度为 $\Delta\theta = 2\frac{\lambda}{a}$ 。

(2) 对于任意两条相邻的暗条纹，其衍射角的差值为 $\Delta\theta = \frac{\lambda}{a}$ 。暗条纹是以中央主极大 P_0 为中心，等间隔地左右对称分布的。

(3) 当入射光波长一定时，衍射角 θ 与缝宽 a 成反比关系，缝宽变大，衍射角变小，各级条纹向中央收缩；当缝宽 a 足够大 ($a \gg \lambda$) 时，衍射现象不明显，从而可以忽略不计，将光看成是沿直线传播的。

(4) 位于相邻暗条纹之间的是各级亮条纹，他们的宽度是中央亮条纹宽度的二分之一，这些亮条纹的光强最大值称为次极大。用衍射角表示这些次极大的位置分别为

$$\theta = \pm 1.43 \frac{\lambda}{a}, \pm 2.46 \frac{\lambda}{a}, \pm 3.47 \frac{\lambda}{a}, \dots \quad (5)$$

它们的相对光强分别为

$$\frac{I}{I_0} = 0.047, 0.017, 0.008 \dots \quad (6)$$

夫琅禾费单缝衍射的相对光强分布曲线如图 2 所示。

当使用激光作电源时，由于激光的准直性，可将透镜 L_1 省去。如果接收屏远离单缝 ($z \gg a$)，则透镜 L_2 也可省略。

实验中，如果已知单缝缝宽，由式 (4) 可求得单缝宽度为

$$a = \frac{f\lambda}{\Delta x} \quad (7)$$

实验装置示意图如图 3 所示。光电探头（即硅光电池探测器）是光电转换元件。当光照射到光电探头表面时，在光电探头的上下两表面产生电势差 ΔU ， ΔU 的大小与入射光强成线性关系。光电探头与光电流放大器连接形成回路，回路中电流的大小与 ΔU 成正比。因此，通过电流的大小就可以反映出入射到光电探头的光强大小。

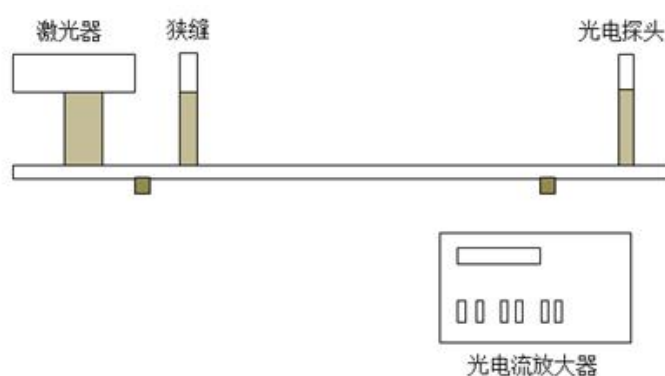


图 3 实验装置示意图

四、实验内容

1. 观察单缝衍射的衍射图形。

(1) 打开 He-Ne 激光器电源开关，完成预热。

(2) 解除衍射狭缝底座的锁定，移动衍射狭缝至合适位置（衍射狭缝距离激光器 5 厘米以内），然后旋紧底座固定螺丝，记录衍射狭缝底座的位置 L_1 。

(3) 调节狭缝宽度，同时观察白屏上衍射图样变化，至少调出 ± 3 级暗纹并且衍射光斑清晰，记录此时狭缝宽度（注意，千分尺零差为 0）。

2. 测定单缝衍射的光强分布。

(1) 打开光功率测试仪电源开关，对 2 mW 挡位调零。调零后，选择 20 mW 挡位，将白屏从导轨上取下，放置在桌面上。

(2) 记录光电探头底座上的位置 L_2 。已知光电探头接收口到测量架底座的距离 Δf 为 6.00 cm，则单缝到光电探头接收口的距离为 $f = |L_2 - L_1| + \Delta f$ 。

鼓轮转动速度选择“转速 4”，横向移动光电探头位置，使衍射图形中央主极大进入光电探头接收口，同时观察光功率测试仪读数的变化，当光功率示数最大时，调节光电探头的限光狭缝调节螺旋，使光功率示数在 1.0~2.0 mW，将光功率测试仪挡位置于 2 mW。

(3) 从衍射图样左侧第 -3、-4 级暗纹之间开始读数，记录此处 x 的位置（读数定义为 0.000 mm）及光功率测试仪的示数 I （单位为 mW），每转半圈（即光电探头横向移动 0.500 mm），记录光功率测试仪读数，直到光电探头移动到超过右侧第 +3、+4 级衍射暗纹之间为止。仿真实验中，左击鼠标，光电探头横向位置向右运动。

3. 关闭光功率测试仪、He-Ne 激光器电源。

4. 利用光强分布图形计算单缝宽度，写出单缝宽度的实验结果表达式，将缝宽计算值与真值比较求相对误差。

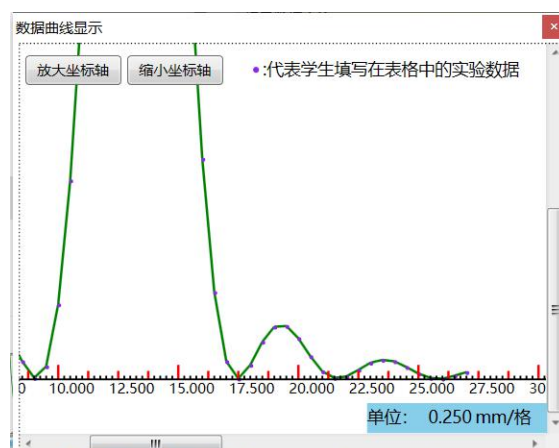
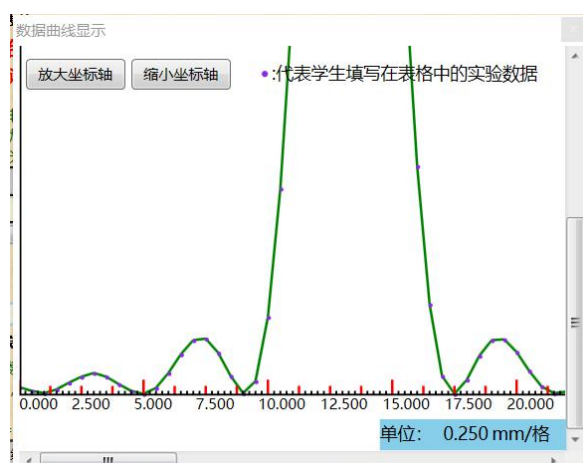
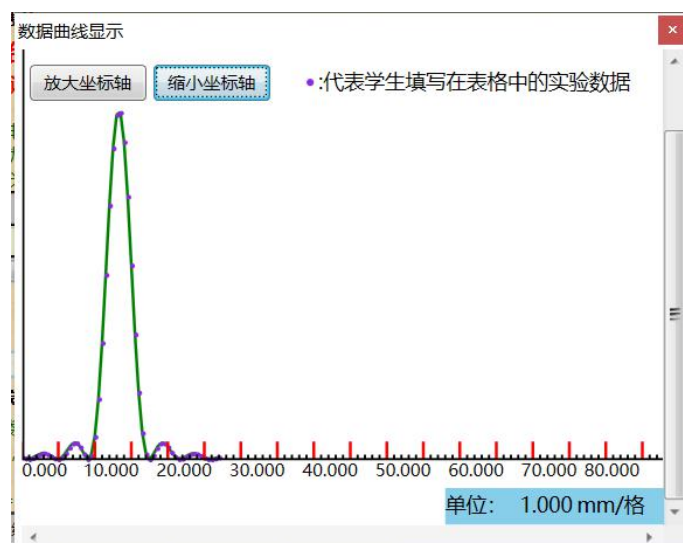
五、原始数据记录

单缝的实际宽度 a : 0.120mm	
单缝在导轨上的位置 L_1 : 19.00cm	光电探头光具座在导轨上的位置 L_2 : 92.00cm
光电探头接受口横向位置读数 x (mm)	光功率测试仪读数 I (mW)
0.000	0.010
0.500	0.005
1.000	0.002
1.500	0.007
2.000	0.016
2.500	0.024
3.000	0.029
3.500	0.024
4.000	0.014
4.500	0.005
5.000	0.001
5.500	0.009
6.000	0.029
6.500	0.054
7.000	0.073
7.500	0.075

8.000	0.056
8.500	0.025
9.000	0.002
9.500	0.018
10.000	0.104
10.500	0.276
11.000	0.532
11.500	0.843
12.000	1.159
12.500	1.420
13.000	1.572
13.500	1.582
14.000	1.448
14.500	1.199
15.000	0.886
15.500	0.571
16.000	0.306
16.500	0.121
17.000	0.025
17.500	0.001
18.000	0.020
18.500	0.052
19.000	0.073
19.500	0.074
20.000	0.057
20.500	0.032
21.000	0.011
21.500	0.002
22.000	0.004
22.500	0.013
23.000	0.023
23.500	0.027
24.000	0.025
24.500	0.017
25.000	0.008
25.500	0.002
26.000	0.001
26.500	0.005
27.000	0.010

六、数据处理

系统生成的单缝衍射强度分布曲线:



1、逐差法（计算相邻暗纹的距离）

由图可得

$$x_{-3} = 0.000\text{mm}, x_{-2} = 5.000\text{mm}, x_{-1} = 9.000\text{mm}$$

$$x_3 = 25.500\text{mm}, x_2 = 21.750\text{mm}, x_1 = 17.500\text{mm}$$

$$\Delta x_1 = \frac{x_3 - x_{-1}}{4} = \frac{25.500 - 9.000}{4} = 4.125\text{mm}$$

$$\Delta x_2 = \frac{x_2 - x_{-2}}{4} = \frac{21.750 - 5.000}{4} = 4.188\text{mm}$$

$$\Delta x_3 = \frac{x_1 - x_{-3}}{4} = \frac{17.500 - 0.000}{4} = 4.375\text{mm}$$

$$\overline{\Delta x} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3}{3} = \frac{4.125 + 4.188 + 4.375}{3} = 4.2293\text{mm}$$

2、计算单缝宽度 a

$$f = |L_2 - L_1| + \Delta f = 92.00 - 19.00 + 6.00 = 79.00\text{cm} = 790.0\text{mm}$$

$$\overline{a} = \frac{f\lambda}{\overline{\Delta x}} = \frac{790.0 \times 632.8 \times 10^{-6}}{4.2293} = 0.1182\text{mm}$$

3、计算单缝宽度的标准误差

$$S(\overline{\Delta x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta x_i - \overline{\Delta x})^2}{n \times (n-1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{(4.125 - 4.2293)^2 + (4.188 - 4.2293)^2 + (4.375 - 4.2293)^2}{3 \times 2}}$$

$$= 0.0751\text{mm} \approx 0.08\text{mm}$$

$$\text{而 } \Delta = 0.05\text{mm} < S(\overline{\Delta x})$$

$$\text{所以 } S(\overline{\Delta x}) = 0.08\text{mm}$$

$$E = \frac{S(\overline{a})}{\overline{a}} \times 100\% = \frac{S(\overline{\Delta x})}{\overline{\Delta x}} \times 100\% = \frac{0.0751}{4.2293} \times 100\% = 1.776\% \approx 1.8\%$$

$$S(\overline{a}) = \overline{a} \cdot E = 0.1182 \times 1.776\% = 0.003\text{mm}$$

单缝宽度表达式:

$$\overline{a} = \overline{a} \pm S(\overline{a}) = (0.118 \pm 0.003)\text{mm}$$

$$E = \frac{S(\overline{a})}{\overline{a}} \times 100\% = 1.8\%$$


误差分析:

1 实验仪器本身有磨损会导致误差的产生。

2 环境因素带来的误差, 例如光线、环境温度。

3 仪器的精度带来的误差。

注意事项

1. 若对光功率测试仪的 2 mW 挡位调零时，出现, 此时左击调零旋钮，直到示数为 0。
2. 测量过程中不能换档。
3. 为避免空程差，测量过程中，鼓轮只能向同一个方向转动。