

实验 4.9 单缝衍射的光强分布及缝宽测定

【实验目的】

- (1) 观察单缝的夫琅禾费衍射现象及其随单缝宽度变化的规律, 加深对光的衍射理论的理解.
- (2) 学习光强分布的光电测量方法.
- (3) 利用衍射花样测定单缝的宽度.

【实验器材】

光具座、He-Ne 激光器、可调单狭缝(或固定单缝)、光电池及测距支架、光点检流计、投影仪(或读数显微镜)

【实验原理】

夫琅禾费衍射是平行光的衍射, 即要求光源及接收屏到衍射屏的距离都是无限远(或相当于无限远). 在实验中, 它可借助两个凸透镜来实现. 如图 4.9.1 所示, 位于透镜 L_1 的前焦面上的单色狭缝光源 S , 经透镜 L_1 后变成平行光, 垂直照射在单缝 D 上, 通过单缝 D 衍射后在透镜 L_2 的后焦面上呈现出单缝的衍射花样, 它是一组平行于狭缝的明暗相间的条纹. 与光轴平行的衍射光束会聚于屏上 P_0 处, 是中央亮纹的中心, 其光强设为 I_0 , 与光轴成 θ 角的衍射光束则会聚于 P_θ 处, 可以证明

$$I_\theta = I_0 \frac{\sin^2 u}{u^2}, \quad u = \frac{\pi a \sin \theta}{\lambda} \quad (4.9.1)$$

式中, a 为狭缝宽度, λ 为单色光的波长. 由 (4.9.1) 式得到:

- (1) 当 $u=0$ (即 $\theta=0$) 时, $I_\theta=I_0$, 衍射光强有最大值. 此光强对应于屏上 P_0 点, 称为主极大. I_0 的大小决定于光源的亮度, 并和缝宽 a 的平方成正比.
- (2) 当 $u=k\pi$ ($k=\pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$), 即 $a \sin \theta=k\lambda$ 时, $I_\theta=0$, 衍射光强有极小值, 对应于屏上暗纹. 由于 θ 值实际上很小, 因此可近似地认为暗条纹所对应的衍射角为 $\theta \approx k\lambda/a$. 显然, 主极大两侧暗纹之间的角宽度 $\Delta\theta=2\lambda/a$, 而其他相邻暗纹之间的角宽度 $\Delta\theta=\lambda/a$, 即中央亮纹的宽度为其他亮纹宽度的两倍.
- (3) 除中央主极大外, 两相邻暗纹之间都有一个次极大, 由 (4.9.1) 式可以求得这些

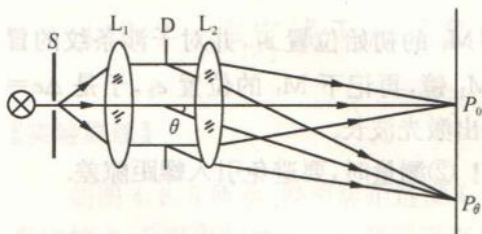


图 4.9.1

次极大的位置出现在 $\sin\theta = \pm 1.43 \frac{\lambda}{a}, \pm 2.46 \frac{\lambda}{a},$
 $\pm 3.47 \frac{\lambda}{a}, \pm 4.48 \frac{\lambda}{a} \dots$ 处; 其相对光强依次为 $\frac{I_{\theta}}{I_0} =$
 $0.047, 0.017, 0.008, 0.005 \dots$. 夫琅禾费单缝衍射光强
 分布曲线如图 4.9.2 所示.

【实验内容】

本实验使用 He-Ne 激光作光源, 因为 He-Ne 激
 光束具有良好的方向性(远场发散角为 1 毫弧度左
 右), 光束细锐, 能量集中, 加之一般衍射狭缝宽度 a 很
 小, 故准直透镜 L_1 可省略不用; 如果将观察屏放置在
 距离单缝较远处, 即 Z 远大于 a , 故聚焦透镜 L_2 也可
 省略. 实验中, 使屏到单缝之间的距离 Z 为 1.5m 左
 右, 单缝的宽度 a 为 0.1~0.3mm. 实验装置如图 4.9.3 所示.

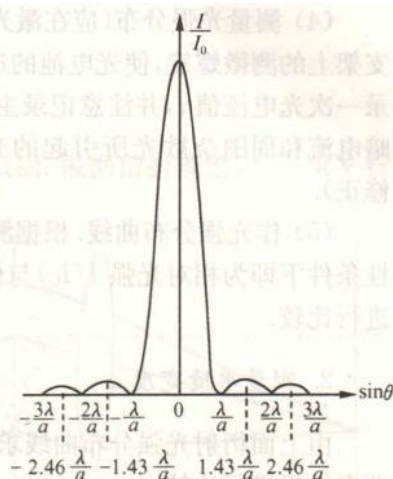


图 4.9.2

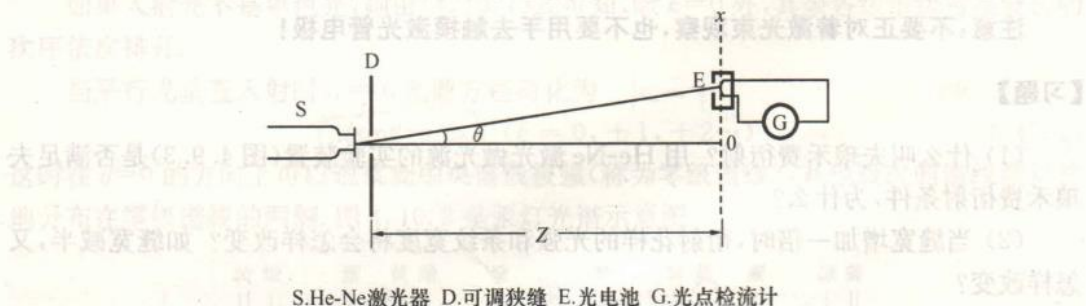


图 4.9.3

1. 测量夫琅禾费单缝衍射光强分布

- (1) 按图 4.9.3 在光具座上依次放置激光管 S、单缝 D 和光电池 E. 光电池(带有进光小孔)装在一个横向测距的支架上, 可以沿水平方向(x 方向)移动, 即相当于改变衍射角 θ , 并使单缝到光电池的距离 Z 为 1.5m 左右.
- (2) 开启激光电源, 调节其工作电流在 5mA 左右, 使激光束垂直照射在单缝上, 可先用纸屏在光电池处观察衍射图样. 调节狭缝成竖直状态, 使衍射图样平行于 x 方向展开, 以保证光电池横向移动时, 进光小孔不离开衍射花样. 调节狭缝宽度和测距支架的位置, 使光电池至少能完整地测量衍射花样的主极大和 ± 1 级次极大, 并使主极大处光电流 i_0 的大小为能使检流计偏转 100 格(使用检流计 $\times 0.1$ 挡, 其零点值调至标尺端点 60 格处).
- (3) 为使测量准确, 应检查衍射花样的光强分布是否对称. 方法是用光电池检查 ± 1 级次极大的光电流是否相等, 同时粗测它们相对主极大的距离是否相等来. 如果不相等, 可进一步微调狭缝的横向位置和缝宽(注意将缝宽控制在 0.1~0.3mm 之间)等.

(4) 测量光强分布(应在激光器点燃半小时后做测量,以保证光强的稳定). 旋转测距支架上的测微螺旋,使光电池的进光小孔从左到右(或从右到左)逐点扫描,每隔 1mm 记录一次光电流值 i ,并注意记录主极大、各级次极大和极小值(测量时,还应注意探测器的暗电流和周围杂散光所引起的光电流,应先测量这部分光电流值,以对测量数据做出修正).

(5) 作光强分布曲线. 根据测量数据,在坐标纸上做出相对光电流 i/i_0 (在光电池线性条件下即为相对光强 I/I_0) 与位置 x 的关系曲线,即衍射光强分布曲线,并与理论结果进行比较.

2. 测量单缝宽度 a

由上面衍射光强分布曲线求单缝宽度 a ,并用投影仪(或读数显微镜)直接测量 a ,将两者结果进行比较.

3. 调节可变单缝的宽度,观察衍射图样的变化.

实验完毕后,将各仪器的电源断开,光点检流计的倍率挡转至短路状态.

注意:不要正对着激光束观察,也不要用手去触摸激光管电极!

【习题】

(1) 什么叫夫琅禾费衍射? 用 He-Ne 激光做光源的实验装置(图 4.9.3)是否满足夫琅禾费衍射条件,为什么?

(2) 当缝宽增加一倍时,衍射花样的光强和条纹宽度将会怎样改变? 如缝宽减半,又怎样改变?