

夫琅禾费衍射光强分布

陈依皓

(北京师范大学 物理学系, 北京 100875)

摘要: 本次实验的目的是: 掌握观察和测量夫琅禾费衍射光强分布的方法; 测量不同衍射元件的衍射光强分布, 加深对光的夫琅禾费衍射规律的理解; 掌握利用夫琅禾费衍射测量微小几何量的方法。

关键词: 夫琅禾费衍射, 测量微小几何量

中图分类号: Oxx

文献标识码: A

文章编号: 1000-0000(0000)00-0000-00

1 引言

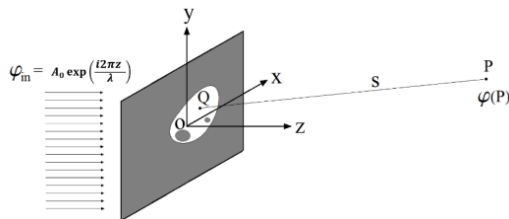
光的衍射指的光波在传播过程中的一类不能用几何光学解释的行为, 比如绕过障碍物在几何阴影区内形成有规律的图案, 或者光入射光栅表面后沿着与波长有关的特殊角度出射。如今衍射作为一种重要的研究手段在光谱分析、晶体分析、全息技术、光信息处理等光学技术中有着广泛的应用。

2 实验原理

2.1 夫琅禾费衍射

本实验考虑一个简单情况:

波长为 λ 的平行光垂直入射遮光屏, 在屏的中心有一个透光区域作为衍射物, 其形状可以是细缝、双缝、方孔、圆孔等。在遮光屏后面放置一块与之平行的接收屏, 二者距离为 L



如果 L 非常小, 接收屏上的光强分布是与透光区域形状相同的亮斑, 这可以用光的直线传播来解释。随着 L 逐渐增大, 会发现亮斑的边界开始模糊, 而且在原来的阴影区会出现光强分布, 这就是光的衍射现象。

如果 L 足够远, 会发现衍射光强的分布形式(即衍射图样)不再改变, 只是其尺寸会与 L 成正比例变化, 这就进到夫琅禾费衍射的区间

足够远满足的远场条件为:

$$\frac{a^2}{L\lambda} \ll 1$$

式中, a 为衍射物的特征尺度

2.2 常见物体的夫琅禾费衍射光强分布

2.2.1 单缝

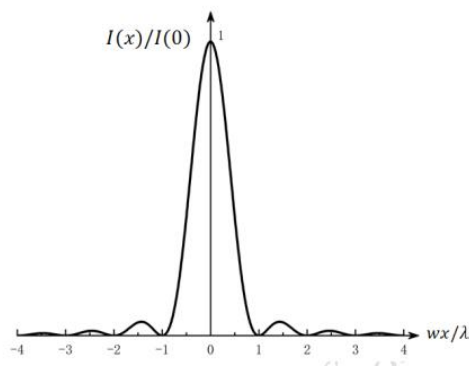
设缝的两个边缘位于 $x = \pm \frac{1}{2}w$, 接收屏与狭缝的距离为 z 。实验中我们只关心 x 方向的光强分布, 忽略一些常数因子, 衍射光复振幅为

$$\varphi(x) \propto \lambda z \frac{\sin\left(\frac{\pi x w}{\lambda z}\right)}{\pi x}$$

因此衍射光强分布

$$I(x) = |\varphi(x)|^2 \propto w^2 \frac{\sin^2\left(\frac{\pi x w}{\lambda z}\right)}{\left(\frac{\pi x w}{\lambda z}\right)^2}$$

在 $x = 0$ 处取最大值, 在 $x = k \frac{\lambda z}{w}$ 处光强为零



2.2.2 双缝和多缝

对于双缝(两条平行的等宽单缝), 设每条单缝的宽度为 w , 它们中线的间距为 h 。不妨令

两条缝的中心坐标分别为 $y = \pm h/2$, 与前面的计算类似, 忽略一些常数因子, 衍射光复振幅:

$$\varphi(x) \propto \frac{2w \cos(\beta x) \sin(\alpha x)}{\alpha x}$$

式中, $\alpha = \pi w / \lambda z, \beta = \pi h / \lambda z$

因此衍射光强分布

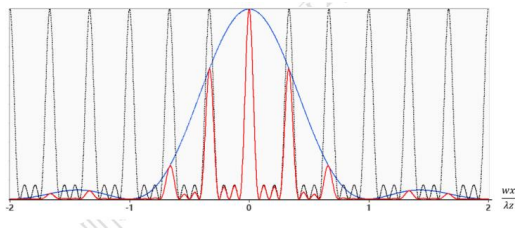
$$I(x) = |\varphi(x)|^2 \propto \frac{4w^2 \cos^2(\beta x) \sin^2(\alpha x)}{(\alpha x)^2}$$

推广到 N 缝衍射的光强分布为

$$I(x) = |\varphi(x)|^2 \propto \frac{w^2 \sin^2(N\beta x) \sin^2(\alpha x)}{\sin^2(\beta x) (\alpha x)^2}$$

称 $\frac{\sin^2(\alpha x)}{(\alpha x)^2}$ 为衍射项, $\frac{\sin^2(N\beta x)}{\sin^2(\beta x)}$ 为干涉项

由于衍射项变化相对平缓, 一般情况下衍射光强在每个主极大值点附近都存在一个亮斑, 称为一级亮斑。随着 N 增大, 一级亮斑在变亮的同时会变得更窄(反比于 N)。



2.2.3 圆孔

设透光区域为 $D = \{(x, y) | \sqrt{x^2 + y^2} \leq \frac{D}{2}\}$,

忽略一些常数因子, 衍射光振幅:

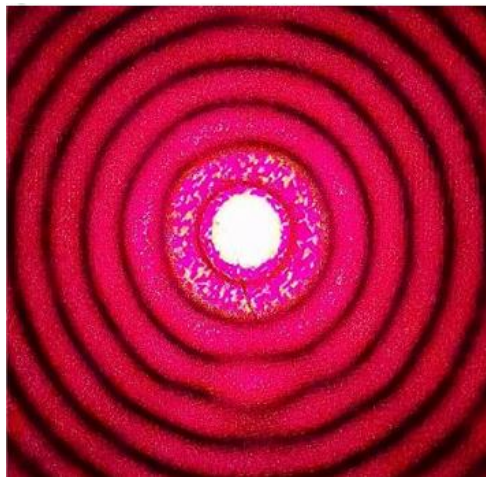
$$\varphi(x) \propto \frac{\pi D^2}{2} \frac{J_1(ar)}{ar}$$

式中, $r = \sqrt{x^2 + y^2}, \alpha = \pi D / \lambda z$

因此衍射光强分布为

$$I(x) = |\varphi(x)|^2 \propto D^4 \left(\frac{J_1(ar)}{ar} \right)^2$$

$J_1(x)$ 的第一个零点在 $x \approx 3.8317$, 对应圆孔衍射中心亮斑, 称为艾里斑, 其半径为 $1.22\lambda z/D$ 。艾里斑的大小常用于估算成像系统的分辨本领。



3 实验内容

3.1 观察不同衍射元件的衍射光强分布特征

3.2 测量一维衍射物的相对光强分布

3.3 利用衍射测量细丝的宽度

4 预习思考题

4.1 是否只有衍射物的尺寸达到波长量级时才能观察到衍射现象?

衍射并不仅限于尺寸与波长相当的物体, 尽管在这种情况下衍射效应可能更为显著。即使物体的尺寸远小于波长, 也可以观察到衍射现象, 当光通过狭缝或光栅时, 即使物体尺寸远小于光的波长, 也会观察到衍射条纹。

4.2 对于单缝衍射, 当缝宽增加一倍时, 衍射图样的光强和条纹宽度将会怎样改变?

根据

$$\varphi(x) \propto \frac{2w \cos(\beta x) \sin(\alpha x)}{\alpha x}$$

当缝宽增加一倍时, 光强为原来的 4 倍, 宽度为原来的 $1/2$

4.3 多缝衍射光强分布由哪两部分构成?

N 缝衍射的光强分布为

$$I(x) = |\varphi(x)|^2 \propto \frac{w^2 \sin^2(N\beta x) \sin^2(\alpha x)}{\sin^2(\beta x) (\alpha x)^2}$$

该式由两部分组成

$$\frac{\sin^2(\alpha x)}{(\alpha x)^2} \text{ 为衍射项}$$

$$\frac{\sin^2(N\beta x)}{\sin^2(\beta x)} \text{ 为干涉项}$$

4.4 对于多缝衍射, 随着缝数目的增加, 衍射光强分布怎样变化?

1. 光的能量向主极大的位置集中, 使其变为单缝衍射的 N^2 倍
2. 亮条纹变得为原来的 $1/N$, 同时变得更加明亮

4.5 以圆孔衍射为例, 说明远场条件相当于要求衍射图样的特征尺度要远大于衍射

物的特征尺度

圆孔衍射中心亮斑, 即艾里斑, 可以作为圆孔衍射衍射图样的特征尺度 其半径为

$$r = \frac{1.22\lambda z}{D}$$

远场条件

$$\frac{a^2}{z\lambda} \ll 1$$

当衍射图样的特征尺度即 r 远大于 a 时, 满足远场条件

5 参考文献

- [1] 北京师范大学物理实验教学中心. 普通物理实验讲义 II, 2023

Intensity distribution of Fraunhofer diffraction light

CHEN Yi-hao

(Department of Physics, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: The purpose of this experiment is to master the method of observing and measuring the intensity distribution of Fraunhofer diffraction; The distribution of diffracted light intensity of different diffractive elements is measured to deepen the understanding of the Fraunhofer diffraction law. Master the method of measuring small geometric quantities by Fraunhofer diffraction.

Key words: fraunhofer diffraction, measuring small geometric quantities