

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

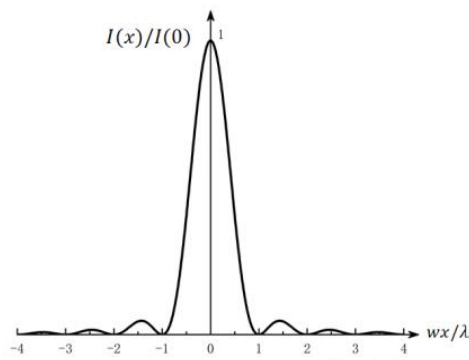
中图分类号: Oxx

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

2.2 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)。

3 实验内容

3.1 观察不同衍射元件的衍射光强分布特征



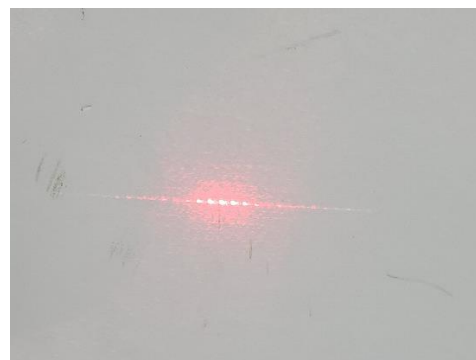
实验 1 矩形孔衍射



实验 2 圆孔衍射

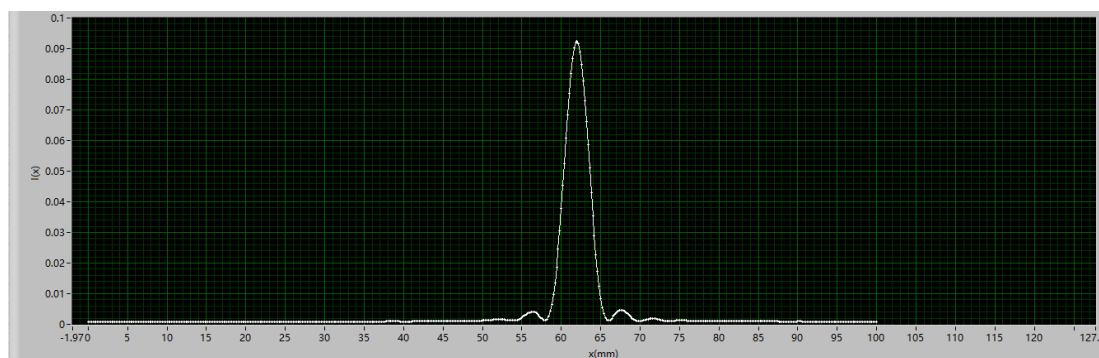


实验 1 正六边形孔衍射

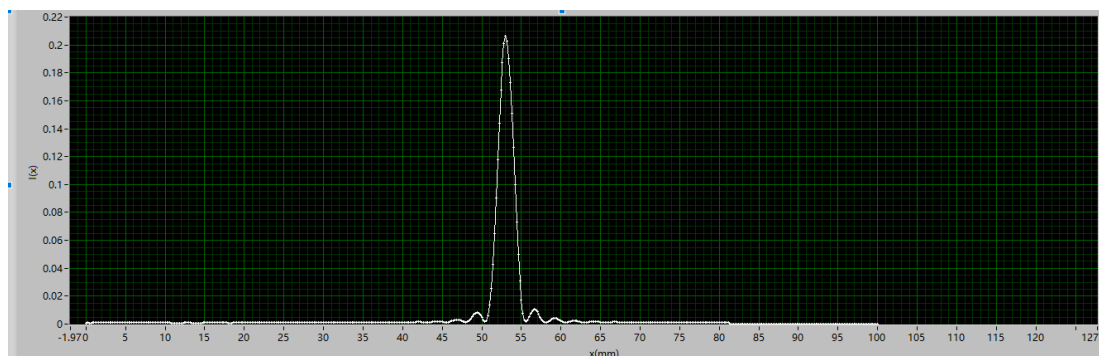


实验 1 狭缝衍射

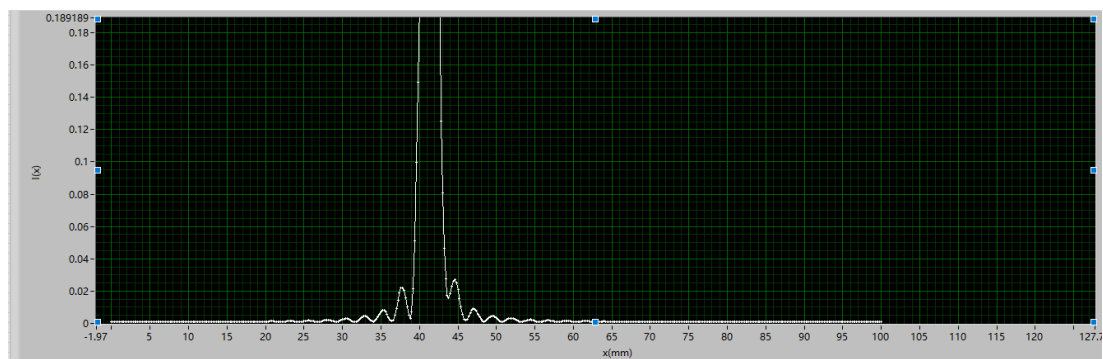
3.2 测量一维衍射物的相对光强分布



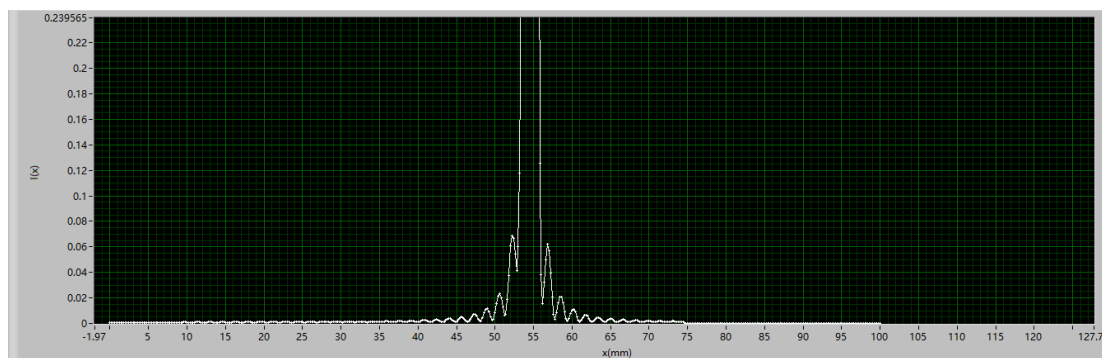
实验 2 0.1mm 单缝



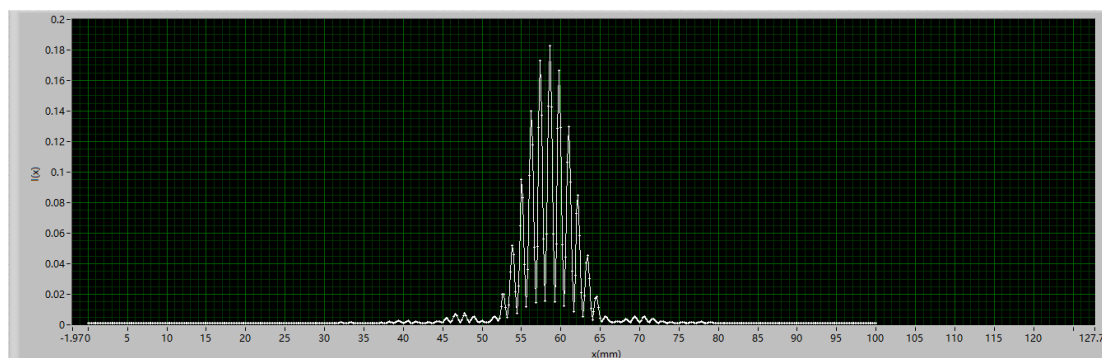
实验 2 0.15mm 单缝



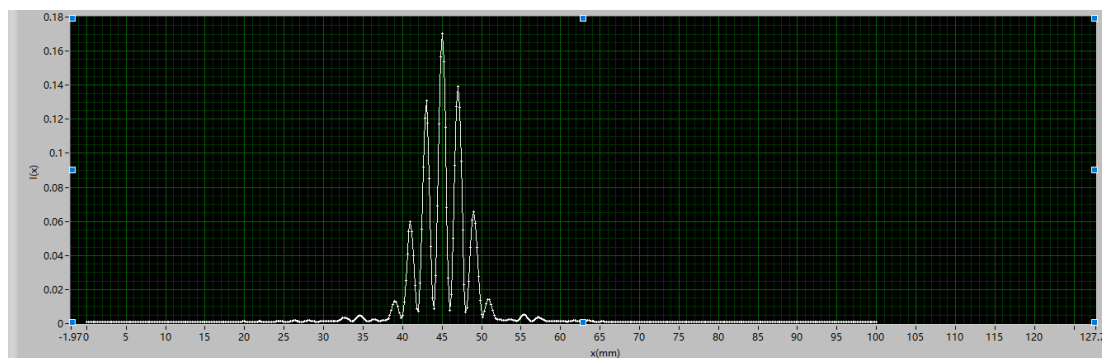
实验 2 1 号铁丝



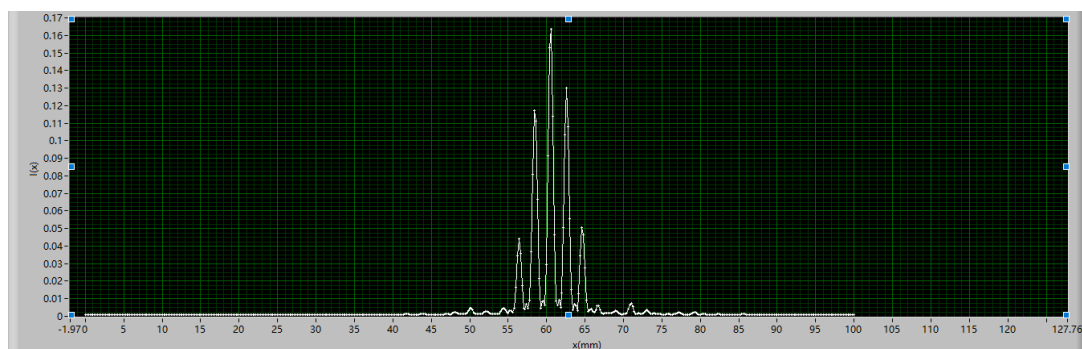
实验 2 2 号铁丝



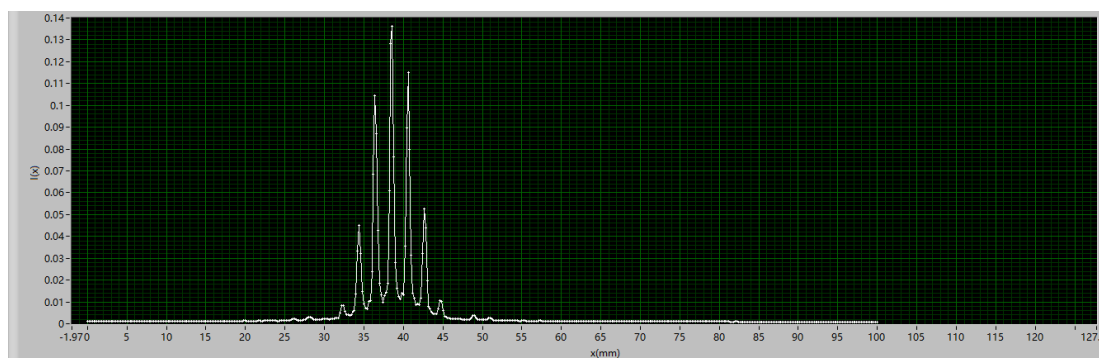
实验 2 宽 0.05 间距 0.30 双缝



实验 2 宽 0.05 间距 0.175 双缝



实验 2 三缝



实验 2 四缝

3.3 利用测量的相对光强拟合参数测量衍射物的参数

对得到的相对光强数据进行拟合, 得到参数 α 与 β 的值
根据

$$\alpha = \frac{\pi w}{\lambda z} \quad \beta = \frac{\pi h}{\lambda z}$$

式中, λ 为我们使用的激光波长, 取650nm; h 为多缝衍射物, 狭缝之间的间隙; z 为接收屏与衍射物之间的距离, 取58.90cm

缝数	α	β	实际缝宽/mm	测量缝宽/mm	实际间距/mm	测量间距/mm
1	0.793	1	0.10	0.096		
1	1.225	1	0.15	1.492		
2	0.391	2.620	0.05	0.047	0.30	0.319
2	0.405	1.427	0.05	0.049	0.175	0.173
3	0.439	1.399	0.05	0.053	0.175	0.170
4	0.410	1.407	0.05	0.049	0.175	0.171

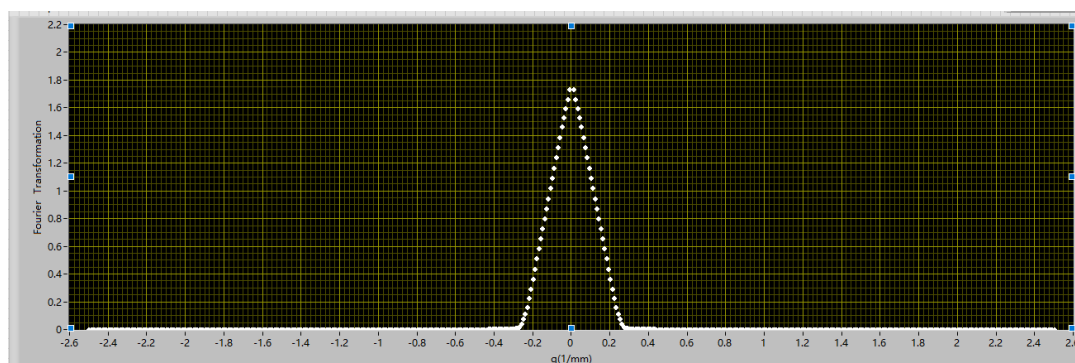
对于铁丝, 我们利用显微镜测量出其利用其实际宽度

	α	实际宽度/mm	测量宽度/mm	相对误差
一号铁丝	1.219	0.143	0.148	3.49%
二号铁丝	1.791	0.207	0.218	5.31%

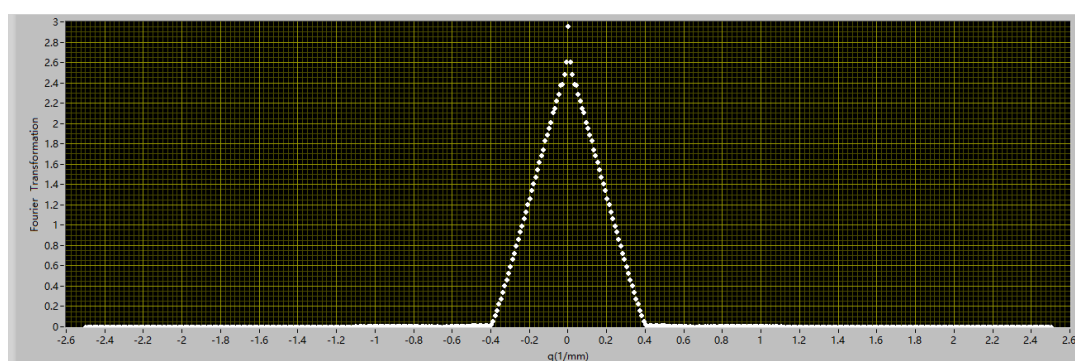
3.3 利用傅里叶变换测量衍射物的参数

对于具有 N 个狭缝的衍射物, 它的傅里叶变换由 $2N - 1$ 个等距离排列的三角波组成
三角形与坐标轴的交点为 $\pm q_0$, 则

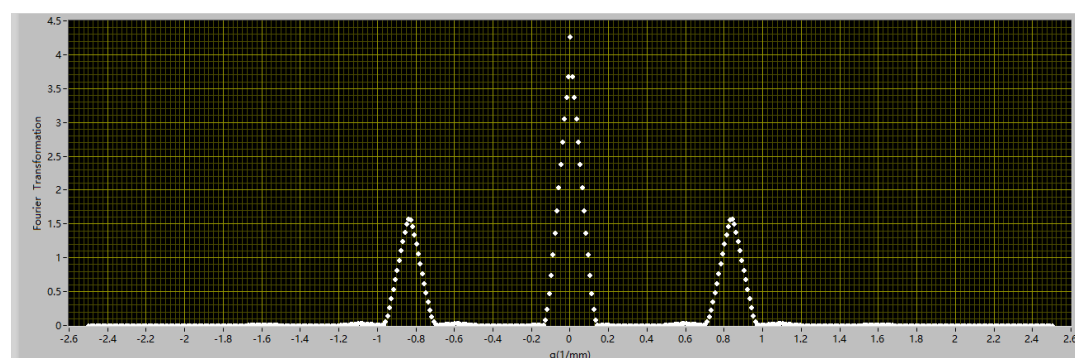
$$w = \lambda z q_0$$



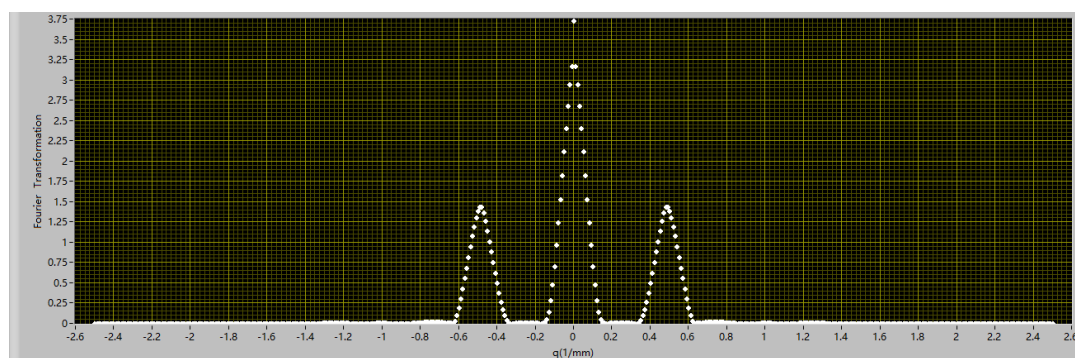
实验 3 0.10mm 单缝



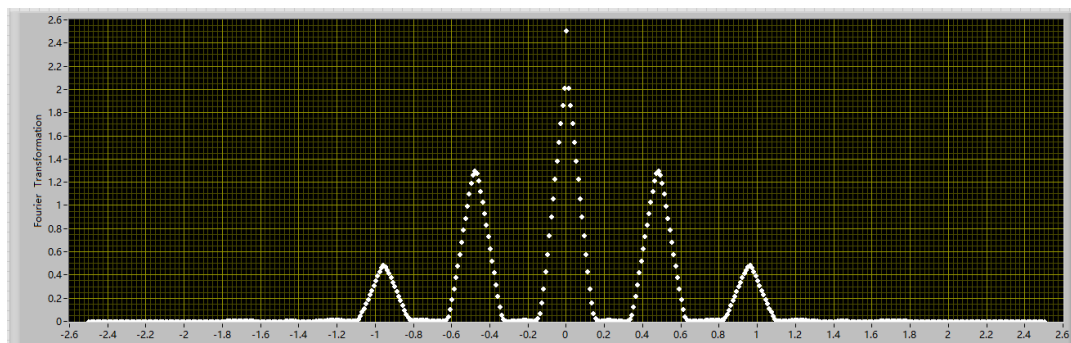
实验 3 0.15mm 单缝



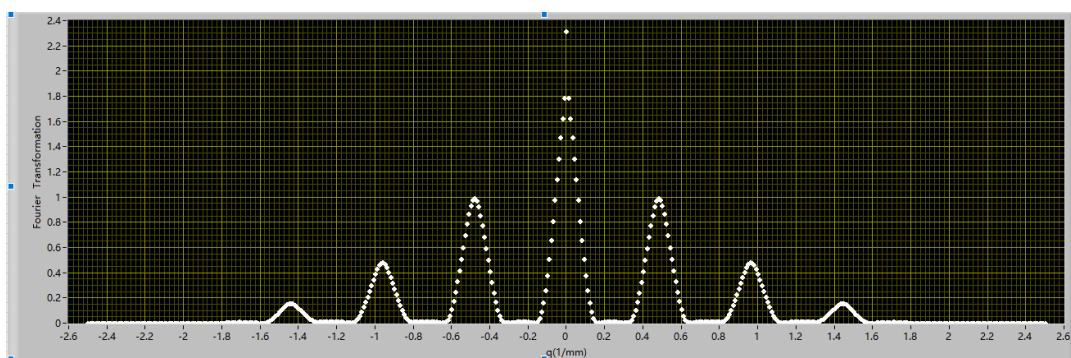
实验 3 宽 0.05 间距 0.30 双缝



实验 3 宽 0.05 间距 0.175 双缝



实验 3 三缝



实验 3 四缝

狭缝数	FTT 测量狭缝数	q_0/mm^{-1}	实际缝宽/mm	测量缝宽/mm
1	1	0.275	0.100	0.105
1	1	0.390	0.150	0.149
2	2	0.130	0.050	0.049
2	2	0.137	0.050	0.052
3	3	0.140	0.050	0.053
4	4	0.140	0.050	0.053

得到的测量值相对于利用拟合得到的误差较大，考虑数格子引入的读数误差较大。

4 复习思考题

4.1 比较实验测量的夫琅禾费衍射光强分布与理论公式，哪些特征相符合，哪些不符合？不符合可能的原因是什么？

实际测量出的光强分布基本上满足夫琅禾费衍射的理论光强分布，但是存在以下不符合的特征：

1. 理论上的衍射图像关于 0 级主极大对称，但实验中由于激光光源与狭缝的对准问题，导致得到的测量并不严格对称。
2. 实验的测量以一定的步长进行测量，可能

会丢失一些极大值点

3. 在利用衍射测量铁丝宽度时，由于铁丝表面并不光滑且有一定曲度，导致光强分布上下波动情况较大，与理论有一定的偏差。

4.2 给定一个多缝衍射光强分布曲线，如何快速估计多缝的参数？

读出两个主极大点之间次极大点的个数 n ， $n + 2$ 即为缝数 N

读出两个主极大点的距离，利用 $\Delta x = \frac{z\lambda}{d}$ 即

可计算出狭缝间距

找到缺级现象的位置，确定衍射项曲线宽度

$\Delta u = 2 \frac{z\lambda}{w}$ 计算得到缝宽

4.3 如果复色光通过一个狭缝, 衍射光的相对光谱分布是否会发生变化?

对于复色光, 由于不同波长的光波在衍射过程中会以不同的方式相互干涉, 因此相对光谱分布可能会发生变化, 得到的结果应该是

复色光所含各单色光夫琅禾费衍射的理论光强分布的叠加

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