

实验报告

衍射实验

少年班学院

马天开 PB21000030 (9 号)

2022 年 5 月 16 日

1 实验目的

对光学实验形成初步认识,熟悉基本概念,掌握组装、调整实验仪器的方法。

观察夫琅禾费衍射现象,研究不同结构衍射屏的光强分布特征,对夫琅禾费衍射图样的条纹进行测量。

结合理论计算衍射屏的结构参数(单缝的宽度,双缝中心间距,小孔直径)

2 实验器材

光学导轨、电源、He-Ne 激光器 ($\lambda = 632.8nm$)、衍射元件、CCD、显示器。

3 实验原理

当光源和接收屏都离衍射屏足够远的时候,即菲涅耳数 $F \triangleq \frac{a^2}{L\lambda} \ll 1$ 时,在接收屏产生的衍射即为夫琅禾费衍射。

其中 a 是孔径的尺寸, L 是孔径与观察屏之间的距离, λ 是入射波的波长。

由标量衍射理论,有基尔霍夫衍射积分公式:

$$\widetilde{U}(P) = -\frac{1}{2} \iint_{\Sigma} \frac{1}{2} (\cos \theta_0 + \cos \theta) \widetilde{U}_0(Q) \frac{e^{ikr}}{r} dS$$

利用上述公式,适当近似之后,可以得到特殊种类的衍射光强分布。

3.1 单缝夫琅禾费衍射

单缝夫琅禾费衍射的光强分布为:

$$\begin{cases} I(\phi) = I_0 \left(\frac{\sin u}{u} \right)^2 \\ u \triangleq \frac{\pi a \sin \phi}{\lambda} \end{cases}$$

其中 a 为单缝的宽度, I_0 为入射光光强, ϕ 为衍射光与光轴的夹角 (衍射角)。

当 $\phi = 0$ 时,光强取最大值 I_0 ,对应的衍射条纹为中央大条纹;当 $a \sin \phi = k\lambda, k = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ 时, $I(\phi) = 0$,此时为暗条纹。

做小角度近似 $\sin \phi \approx \phi \approx \tan \phi$, 因此有:

$$\frac{k\lambda}{a} = \frac{x_k}{L}$$

其中 x_k 为第 k 条暗条纹与中央亮条纹的距离。

3.2 双缝夫琅禾费衍射

双缝夫琅禾费衍射的光强分布为:

$$\begin{cases} I(\phi) = 4I_0 \left(\frac{\sin u}{u} \right)^2 \cos^2 v \\ u \triangleq \frac{\pi a \sin \phi}{\lambda} \\ v \triangleq \frac{\pi d \sin \phi}{\lambda} \end{cases}$$

其中 a 为单缝的宽度, d 为双缝间距, I_0 为入射光光强, ϕ 为衍射光与光轴的夹角 (衍射角)。

当 $\phi = 0$ 时,光强取最大值 I_0 ,对应的衍射条纹为中央大条纹;当 $v = n\pi$ 时,即 $d \sin \phi = n\lambda, n = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$,此时为双缝干涉的极大值。

当 $\frac{n\lambda}{d} = \frac{x_n}{L}$, 其中 x_n 为第 n 级暗条纹与中央亮条纹的距离。

若上面两个式子 ($d \sin \phi = n\lambda$ 与 $a \sin \phi = k\lambda$) 位置相重合,此时第 n 级干涉极大将不会出现,称为缺级。

3.3 圆孔夫琅禾费衍射

圆孔夫琅禾费衍射的光强分布为:

$$\begin{cases} I(\theta) = I_0 \left(\frac{2J_1(m)}{m} \right)^2 \\ m = \frac{2\pi R \sin \theta}{\lambda} \end{cases}$$

其中 R 为圆孔, $J_1(m)$ 为一阶 Bessel 函数。

当 $m_1 = 3.83$ 处,对应角半径为 $\theta_1 \approx \sin \theta_1 = \frac{3.83\lambda}{2\pi R} = \frac{0.61\lambda}{R}$, 即为零级亮斑。

因此,艾里斑的半角宽度为:

$$\theta_0 = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

4 实验方法

- 调节导轨及 *CCD*:

依次装好激光器、衰减片、衍射原件支架和 *CCD* 镜头, 并保持它们的中心位置在一条与导轨平行的直线上。

- 将衍射元件置于支架上, 接通装置中所有电源, 调

整衍射元件的位置, 使光路通过元件待观察部分。调整衰减片相对位置, 使得照在 *CCD* 的光强处在合适水平, 去掉 *CCD* 上的保护盖, 待显示屏稳定之后观察现象。

- 观察单缝、双缝、小孔衍射光强分布, 总结各元件衍射图样的特点
- 观察并总结单缝、双缝、小孔缝宽 (或直径) 与衍射图样变化之间的关系
- 记录单缝衍射各级暗条纹及中央主极大位置, 计算单缝宽 a , 求相对误差

5 实验数据

单缝宽度	衍射元件位置读数	<i>CCD</i> 位置读数	<i>CCD</i> 镜头凸出	中心位置	左 1	左 2	左 3
0.2	59.00	89.21	2.00	14.186	13.268	12.432	11.443
0.2	59.00	89.21	2.00	14.165	13.278	12.437	11.463
0.2	59.00	89.21	2.00	14.146	13.268	12.396	11.462
0.1	59.00	89.21	2.00	14.416	12.487	10.705	8.872
0.1	59.00	89.21	2.00	14.350	12.498	10.709	8.878
0.1	59.00	89.21	2.00	14.345	12.475	10.676	8.793
0.05	59.00	89.21	2.00	14.352	11.055	-	-
0.05	59.00	89.21	2.00	14.269	11.080	-	-
0.05	59.00	89.21	2.00	14.215	11.110	-	-
0.2	75.61	89.21	2.00	14.328	14.000	-	-
0.2	75.61	89.21	2.00	14.365	13.395	-	-
0.2	75.61	89.21	2.00	14.351	13.975	-	-
0.1	75.61	89.21	2.00	14.537	13.725	-	-
0.1	75.61	89.21	2.00	14.523	13.520	-	-
0.1	75.61	89.21	2.00	14.538	13.719	-	-
0.05	75.61	89.21	2.00	14.453	13.136	-	-
0.05	75.61	89.21	2.00	14.475	13.125	-	-
0.05	75.61	89.21	2.00	14.458	13.132	-	-
0.2	54.82	89.21	2.00	13.761	12.680	-	-
0.2	54.82	89.21	2.00	13.750	12.897	-	-
0.2	54.82	89.21	2.00	13.703	12.681	-	-
0.1	54.82	89.21	2.00	14.339	12.198	-	-
0.1	54.82	89.21	2.00	14.338	12.212	-	-
0.1	54.82	89.21	2.00	14.351	12.228	-	-
0.05	54.82	89.21	2.00	14.316	10.778	-	-
0.05	54.82	89.21	2.00	14.461	10.770	-	-
0.05	54.82	89.21	2.00	14.382	10.807	-	-

6 实验结果

利用 $\frac{k\lambda}{a} = \frac{x_k - x_0}{L}$, 可以计算出 (其中大部分数据无法线性拟合):

单缝宽度	衍射元件位置读数	CCD 位置读数	\bar{a}	相对误差
0.2	59.00	89.21	0.1932	3.4%
0.1	59.00	89.21	0.1023	2.3%
0.05	59.00	89.21	0.04872	2.6%
0.2	75.61	89.21	0.1956	1.2%
0.1	75.61	89.21	0.1114	1.1%
0.05	75.61	89.21	0.05061	1.2%
0.2	54.82	89.21	0.2103	5.2%
0.1	54.82	89.21	0.0923	7.7%
0.05	54.82	89.21	0.04974	0.5%

7 实验分析

7.1 总结

本次实验观察了各种元件夫琅禾费衍射图像的观察, 以及单缝、双缝的测量, 误差主要来源于条纹中心的不确定性, 产生了较大偏差。

7.2 思考题

- 当光通过一个小孔时, 在后面的光屏会得到什么样的图案? 当小孔孔径较小时, 与圆孔夫琅禾费衍射图案类似。当孔径稍微更大时, 在边缘处会产生衍射现象。
- 白光照射到狭缝上, 衍射条纹有什么特点? 为多种波长衍射条纹的叠加图案, 除中央大条纹, 其他不存在全波长的极大值。
- LED 射灯照到手机屏幕可观察到特殊的图案, 解释其原因。LED 照射到手机屏幕时, 会分别在上下表面分别折射; 特别的, 在像素点上照射会产生类似圆孔夫琅禾费衍射的图案, 多种波长衍射图案叠加在一起, 即为图中所示图案。