

单缝衍射实验与模拟结果对比分析

邓志宏, 夏湘芳, 刘 归, 王国友, 陈光伟

(湖南工业大学 理学院, 湖南 株洲 412008)

摘 要: 利用线阵 CCD 和改进的教学用实验仪器可以很好地测量出各级明条纹的光强分布。在实验中测量出夫琅和费衍射各级明条纹的光强分布情况, 并利用 matlab 模拟了夫琅和费衍射。实验测量结果与夫琅和费衍射理论模拟结果能在一定程度上吻合。

关键词: 线阵 CCD; 夫琅和费衍射; 光强分布

中图分类号: O4-33; G642.423

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2010)03-0040-03

Comparative Analysis on Single-Slit Diffraction Experiment and the Analog Result

Deng Zhihong, Xia Xiangfang, Liu Gui, Wang Guoyou, Chen Guangwei

(School of science, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412008)

Abstract: High-ranking light intensity distribution can be measured by linear array CCD and improved experimental apparatus. In the experiment different bright fringes of light intensity distribution of Fraunhofer diffraction are measured and matlab is used to simulate the Fraunhofer diffraction. To a certain extent the experimental result tallies with the analog result of Fraunhofer diffraction theory.

Keywords: linear array CCD; Fraunhofer diffraction; light intensity distribution

大学物理实验中, 单缝衍射实验一般只要求计算一级明条纹与零级明条纹的光强比。这是因为二级明条纹的光强只有零级明条纹光强的 0.017 倍, 如果入射光强太弱, CCD (charge coupled device, 即电荷耦合器件) 将无法感应二级以上明条纹; 而入射光强太强, 又会使得零级明条纹太强, 从而使得 CCD 输出电压达到饱和值^[1]。笔者在实践中发现, 只需对实验装置稍作改进, 即可精确测量出 1,2 级、甚至更高级次明条纹的光强分布。从而可在实验中验证单缝在较大角度衍射时是否与夫琅和费衍射理论计算结果吻合。

1 实验原理

CCD 是一种光敏元件, 它具有较宽的光谱响应范围, 且灵敏度高、暗电流小, 在很多测量实验中有重

要应用, 在光谱分析中占有较重要的地位^[2]。在这里分析用 CCD 完成光的单缝衍射实验的基本原理。

光的衍射现象是光的波动性的一种表现, 可分为菲涅耳衍射与夫琅和费衍射 2 类。菲涅耳衍射是近场衍射; 夫琅和费衍射是远场衍射, 又称平行光衍射, 其衍射光路如图 1 所示。

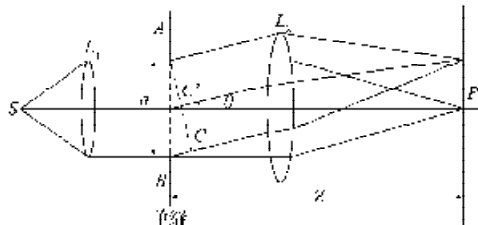


图 1 单缝衍射光路图

Fig. 1 Single-slit diffraction

收稿日期: 2010-01-03

通信作者: 邓志宏 (1980-), 男, 湖南益阳人, 湖南工业大学讲师, 硕士, 主要研究方向为理论物理和固体光谱学,

E-mail: zhihongdeng@126.com

图1中, 单色点光源 S 放置在透镜 L_1 的前焦面, 经透镜后的光束成为平行光垂直照射在单缝 AB 上, 按惠更斯-菲涅耳原理, 位于狭缝波阵面上的每一点都可看成新的子波源, 它们向各个方向发射球面子波, 这些子波经透镜 L_2 会聚后, 在其后焦面上叠加而形成明暗相间的衍射条纹, 其光强分布规律为^[3]:

$$I_{\theta} = I_0 \frac{\sin^2 \varphi}{\varphi^2}, \quad (1)$$

式中: $\varphi = \pi a \sin \theta / \lambda$, a 为单缝宽度, θ 为衍射角, λ 为入射光波长。

由式(1)可见:

1) 当 $\theta=0$ 时, $I_{\theta} = I_0$, 为中央主极大的强度, 此处光强最强, 绝大部分入射光能都落在中央明纹区域;

2) 当 $\sin \theta = k\lambda/a$ ($k = \pm 1, \pm 2, \dots$)时, $I_{\theta} = 0$, 为第 k 级暗纹, 由于夫琅禾费衍射时, θ 很小, 有 $\theta \approx \sin \theta$, 因此暗纹出现的条件为:

$$\theta = k\lambda/a; \quad (2)$$

3) 从式(2)可见, 当 $k = \pm 1$ 时, 为主极大两侧第一级暗条纹的衍射角, 由此决定了中央明纹的角宽度为 $\Delta\theta_0 = 2\lambda/a$, 而其余各级明纹角宽度则近似为 $\Delta\theta_k = \lambda/a$, 故中央明纹宽度是其它各级明纹宽度的2倍;

4) 除中央主极大外, 其它相邻2暗纹间还存在着次极大, 次极大的位置可对式(2)求导并使之等于0而得到, 结果如表1所示。

表1 次级大相对光强

Table 1 Diffraction intensity ratio at different levels

明纹级次 k	次级极大衍射角 θ	相对光强 I/I_0
± 1	$\pm 1.43\lambda/a$	0.047
± 2	$\pm 2.46\lambda/a$	0.017
± 3	$\pm 3.47\lambda/a$	0.008

2 实验内容

单缝衍射实验装置包括LS650-5型半导体激光器(激光波长为650 nm), 组合光栅, LM601S型线阵CCD, DS1062C型数字示波器, 实验装置如图2。图中数据采集系统即为线阵CCD, 其作用是将接收到的衍射光强信号转化为电压信号输出。

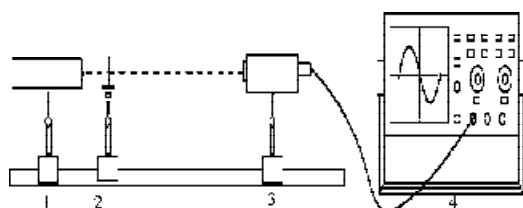


图2 单缝衍射测试仪

Fig. 2 Single-slit diffraction tester

对实验装置做适当改进即可测量单缝衍射高级次明条纹的光强。方法一, 在线阵CCD附近加1个挡光板, 刚好挡住零级明条纹及右侧各级衍射明纹的入射光强, 只让零级明条纹左侧的次级明条纹衍射光线打在线阵CCD上。方法二, 适当调整组合光栅或线阵CCD的角度, 使线阵CCD只能接收到左侧明条纹的衍射光线。

在实验过程中发现: 第一种方法操作简单, 容易调节; 第二种方法则因激光器、光栅和线阵CCD放在同一直导轨上, 调节起来难度较大, 若需测量角度较大的次级衍射光强, 必须将其中的1个仪器移出直轨道, 使3个仪器成一定夹角。

3 实验数据及分析

实验时单缝宽为0.08 mm, 单缝与线阵CCD的距离为518.0 mm, 示波器输出的单缝衍射光强分布图样如图3。图中所示最强的峰是1级亮纹引起的电压信号峰, 1级亮纹右侧的零级亮条纹已被挡板挡住。

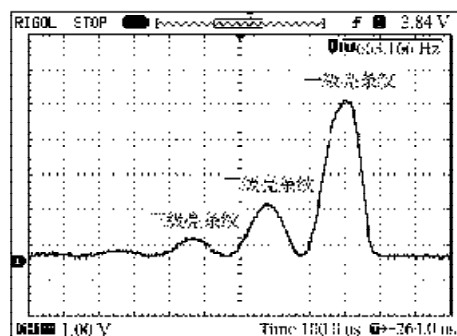


图3 次级明纹衍射光强

Fig. 3 Diffraction light intensity of secondary bright fringe

实验测量与理论计算结果比较见图4。其中理论计算选择的参数与实验时所选参数相同, 波长为650 nm, 单缝宽为0.08 mm。

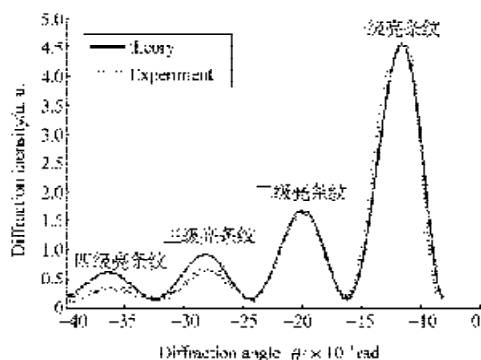


图4 单缝衍射实验与理论结果对比

Fig. 4 Contrast of single-slit diffraction experiment and the theory result

从图4可观察到,实验测量到的1,2级亮条纹的位置和强度与理论模拟图像几乎完全吻合。这表明夫琅和费衍射理论在解释小角度的单缝衍射时是完全合理和正确的^[4]。

同时从图4中也可观察到,实验测得3,4级亮条纹的强度相对理论值偏低。这是由于实验采用的线阵CCD宽度只有11 μm ,只有单缝衍射光线刚好打在线阵CCD上,才能准确反映出单缝衍射光强。而实验仪器只是教学用仪器,很难做到衍射光线与线阵CCD完全平行。实验中衍射光线与线阵CCD是2条相交线,只有在被测衍射光线与线阵CCD交叉点附近测量出来的光强分布才是最准确的。若线阵CCD的位置离交叉点越远,则测得光强分布越不准确。

另外从图4还观察到,3,4级明纹峰值所对应的位值相对于理论值更靠近中央0级明纹。对于这种峰位的偏移,有相关的文献曾经提到,各种文献观点和结论不一。对于本实验中的峰位偏移,本人偏向于是系统误差,其真正原因还有待于进一步研究^[5-6]。

4 结语

通过对单缝衍射实验装置作简单改进,实验测量了单缝衍射高级次衍射明条纹的光强分布,并将实验测量结果与夫琅和费衍射理论计算结果进行了比较。发现实验测得1,2级明条纹的位置和强度与夫琅和费衍射理论计算结果吻合程度较高。但更高级次明条纹的位置和强度与理论计算结果相差较大,其原因较复杂,有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 杨述武. 普通物理实验[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 92-96.
- [2] 杨述武. General Physics Experiments[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 92-96.
- [2] 魏淑芳, 夏湘芳, 陈光伟, 等. 用线阵CCD测量固体材料的杨氏模量[J]. 湖南工业大学学报, 2009, 23(4): 45-47.
- [2] Guo Shufang, Xia Xiangfang, Chen Guangwei, et al. Measuring Young's Modulus of Solid Material with Line Scan CCD[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2009, 23(4): 45-47.
- [3] 惠淑兰, 段存丽, 陈智利. 夫琅和费衍射模拟显示研究[J]. 应用光学, 2000, 21(3): 23-24.
- [3] Hui Shulan, Duan Cunli, Chen Zhili. Research on Simulated Display of Fraunhofer Diffraction[J]. Applied Optics, 2000, 21(3): 23-24.
- [4] 李建龙, 吕百达. 非傍轴矢量高斯光束单缝衍射的严格理论[J]. 物理学报, 2008, 57(6): 3481-3485.
- [4] Li Jianlong, Lv Baida. The Rigorous Theory of Nonparaxial Vectorial Gaussian Beams Diffracted at A Slit[J]. Acta Physica Sinica, 2008, 57(6): 3481-3485.
- [5] 柳金龙, 李 铮. 单缝衍射图纹极大值位置的研究[J]. 郑州工业高等专科学校学报, 2004, 20(1): 4-6.
- [5] Liu Jinlong, Li Zheng. On the Positions of Single Suture Diffraction Figure[J]. Journal of Zhengzhou Polytechnic Institute, 2004, 20(1): 4-6.
- [6] 徐寿泉. 用衍射屏平移相因子计算夫琅和费衍射场强分布[J]. 大学物理, 2004, 23(5): 28-29.
- [6] Xu Shouquan. A Study Intensity Distribution of the Fraunhofer Diffraction Field with Translation Phase Factor of the Screen[J]. College Physics, 2004, 23(5): 28-29.

(责任编辑: 李玉珍)