文章编号: 1674-8085(2018)03-0009-04

光的干涉与衍射的 Matlab 仿真及其实验观测

*曾建华,曾 伟,王志峰,赖宁安,桑志文,常 山,何鹏浩

(上饶师范学院物理与电子信息学院,江西,上饶 334001)

摘 要:利用 Matlab 仿真模拟了双缝干涉随缝宽变化的光强分布曲线,结果表明随着缝宽的增大,干涉条纹受到 单缝衍射的调制,最终变成双缝衍射。通过实验观测了不同缝宽的双缝干涉与衍射图样,发现缝宽较大呈现的是 双缝衍射现象,缝宽减小后才观测到明暗相间、等间距的双缝干涉条纹,与模拟结果一致。同时根据光的双缝干 涉与单缝衍射所测数据测定了激光波长。通过从理论与实验上对光的干涉与衍射的探究,直观地展示干涉与衍射 条纹分布特点,这能加深对光的干涉与衍射的理解和掌握。

关键词:干涉;衍射; Matlab; 缝宽; 激光波长

中图分类号: O436.1 文献标识码: A DOI:10.3969/j.issn.1674-8085.2018.03.003

MATLAB SIMULATION AND EXPERIMENTAL OBSERVATION ON INTERFERENCE AND DIFFRACTION OF LIGHT

ZENG Jian-hua, ZENG Wei, WANG Zhi-feng, LAI Ning-an, SANG Zhi-wen, Chang Shan, HE Peng-hao (School of Physics and Electronic Information, Shangrao Normal University, Shangrao, Jiangxi 334001, China)

Abstract: The distribution curve of light intensity with slit width for two-slit interference was presented by using Matlab simulation. The results show that two-slit interference becomes two-slit diffraction while increasing slit width, which is caused by the modulation of single-slit diffraction. Two-slit interference and diffraction patterns with different slit widths were observed through experiments, two-slit diffraction was showed for wide slit. Light-dark interchange and equal spacing stripes were observed after slit width was reduced, which was consistent with simulation results. At the same time, the laser wavelength was measured based on two-slit interference and single-slit diffraction. By exploring interference and diffraction of light in the theory and experiment, the characteristics of interference and diffraction fringe distribution are shown intuitively, which can deepen the understanding and mastery of interference and diffraction of light. **Key words:** interference; diffraction; Matlab; slit width; laser wavelength

光学是物理学中一门应用性较强的基础学 科,也是当前物理学很活跃的领域。光的干涉与 衍射现象是光学课程最主要的内容之一,它们都 反映出光的波动性本质,彼此之间又有着明显的 区别,而且两者常常同时出现在波动现象中。光 的干涉产生干涉条纹,光的衍射产生衍射条纹, 都表现为光在遇到障碍物之后出现光的强度或明 暗在空间稳定分布的现象。从本质上看,光的干

收稿日期: 2018-04-11; 修改日期: 2018-04-30

基金项目: 江西省教育厅科技项目(GJJ170923); 江西省上饶市科技局工业科技项目(5000110-255); 上饶师范学院博士科研启动基金项目(6000108) 作者简介: *曾建华(1978-), 男, 江西宁都人, 讲师, 博士, 主要从事光学实验教学和微、纳光电材料与器件的研究(E-mail:zjhndkm@sina.com); 曾 伟(1996-), 男, 江西会昌人, 上饶师范学院物理与电子信息学院本科生(E-mail:1712605467 @qq.com); 王志峰(1996-), 男, 江西信丰人, 上饶师范学院物理与电子信息学院本科生(E-mail:1592562649@qq.com);

赖宁安(1995-), 男, 江西兴国人, 上饶师范学院物理与电子信息学院本科生(E-mail:1822404154@qq.com);

桑志文(1962-),男,江西玉山人,副教授,硕士,主要从事光纤通信的研究(E-mail:sangzhiwen@126.com);

常 山(1964-),男,山东阳谷人,副教授,硕士,主要从事信息光学的研究(E-mail:cs0328@126.com);

何鹏浩(1991-),男,江西上饶人,助教,硕士,主要从事光学实验教学和光电成像的研究(E-mail:1156717605@qq.com).

涉与衍射都是相干迭加的结果,它们之间并不存 在实质性的物理差别,只是强调的侧重点不同: 光的干涉是有限几束光振动在叠加过程中的相长 和相消,强调的是光的直线传播;而光的衍射则 是无限多次子波的相干叠加,强调的是光的非直 线传播^[1-4]。

双缝干涉和双缝衍射都是波的叠加结果。但 是双缝干涉得到理想结果有一个重要前提:每一 条缝的宽度必须非常小甚至可以忽略,即缝宽应 远远小于光源波长。如果缝宽不能忽略,双缝干 涉要受到单缝衍射的调制,转化为双缝衍射。双 缝衍射产生的图样是单缝衍射调制下的双缝干 涉,是干涉和衍射的组合^[5-6]。本文利用 Matlab 仿真模拟了双缝干涉与衍射以及单缝衍射的光强 分布曲线,通过实验观测了不同缝宽的双缝干涉 与衍射和单缝衍射的图样,根据光的双缝干涉和 单缝衍射所测数据测定了光源波长。

1 利用光栅光谱探讨光的干涉与衍射

光栅光谱的光强分布为[1]:

$$I = I_0 \frac{\sin^2 u}{u^2} \times \frac{\sin^2 Nv}{\sin^2 v}$$
(1)

其中

$$u = \frac{\pi b \sin \theta}{\lambda} \tag{2}$$

$$v = \frac{\pi d \sin \theta}{\lambda} \tag{3}$$

b 为缝宽, d 为缝间距。可以看出它是两部分的乘 积: 第一部分 $\frac{\sin^2 u}{u^2}$ 为单缝衍射因子, 第二部分 $\frac{\sin^2 Nv}{\sin^2 v}$ 为多缝干涉因子。所以光栅衍射是单缝衍

射和缝间干涉共同作用的结果,可以看作是多缝干 涉受单缝衍射调制而成。对于光栅光谱的光强分布 公式,当 N=1时,

$$I = I_0 \frac{\sin^2 u}{u^2} \tag{4}$$

为单缝衍射光强分布;当 N=2 时,

$$I = I_0 \frac{\sin^2 u}{u^2} \times \frac{\sin^2 2v}{\sin^2 v} = 4I_0 \frac{\sin^2 u}{u^2} \times \cos^2 v \quad (5)$$

成为双缝衍射光强分布函数。在b≪λ时, u 趋近

于 0,
$$\frac{\sin^2 u}{u^2}$$
 趋近于 1, 此时 I 趋近于
$$I_0 \frac{\sin^2 2v}{\sin^2 v} = 4I_0 \cos^2 v$$
(6)

即双缝干涉光强分布。从此可以看出,双缝干涉是 在缝宽远小于波长时双缝衍射的近似表现;当缝宽 增大时,衍射现象明显,双缝干涉图样就转变成双 缝衍射图样^[7-9]。

2 双缝干涉与衍射光强分布的仿真

模拟

综合应用大学物理、高等数学、数值算法和编 程语言等相关知识对物理问题进行仿真和模拟有 利于理解物理概念及现象^[10-12]。我们运用 Matlab 模拟计算了光的干涉和衍射的光强分布图。光栅光 谱的光强分布公式中, N=2 时就可模拟双缝干涉与 衍射的光强分布,输入不同的 b 或 d,可观察它们 对光谱分布的影响。图 1 所示为缝数 N=2,缝间距 d=0.599 mm,透射缝宽 b 从 0.0001 mm 到 0.1 mm 变化的几张模拟结果,可以清楚地看出透射缝宽 b 对光强分布的影响。

因为光源波长 λ 为 632.8 nm。在 缝宽 b 为 0.0001 mm 时, b << λ, 衍射现象不明显, 光谱表现 为干涉图样, 如图 1 (a)。在缝宽 b 为 0.01 mm 时, 衍射现象开始显现, 如图 1 (d)。在缝宽 b 为 0.05 mm 时, 衍射现象明显, 如图 1 (e)。在缝宽 b 为 0.1 mm 时, 已经可以看清单缝衍射整个轮廓, 如图 1 (f)。



图 1 运用 Matlab 模拟双缝干涉与衍射光强分布随缝宽的变化 Fig.1 The variation of the light intensity distribution on two-slit interference and diffraction with slit widths by Matlab simulation

3 光的干涉与衍射的实验观测

3.1 双缝干涉图样的观测

我们对缝宽不同的双缝开展了光的干涉实验。 由于钠光灯亮度不够,无法在光屏上得到清晰的干 涉条纹,因此实验中的光源采用 He-Ne 激光器。对 于如图 2 (b)中缝宽和缝间距过大的双缝 I,观测 到的不是干涉条纹,而是两单缝衍射的叠加图样: 将其中一个缝用遮光板挡去后观察图样,再换另一 个缝进行遮挡观察图样,经比对发现都是单缝衍射 条纹。实验中我们还在光源与双缝之间放置了一个 焦距很小的凸透镜,对激光进行扩束,使得照射到 双缝上的光源从点光源变为线光源,观测到的两种 光源状态下的干涉图样,如图 2 (c)和图 2 (d) 所示。从图 2 显示的结果能明显看出,此时产生的 是双缝衍射现象。



(a): 光路原理图, 其中 S、D 和 M 分别为光源、双缝和光屏, S₁和 S₂为两个狭缝; (b): 缝宽和缝间距较大的双缝 I; (c): 激光未扩束观 测到的图样; (d): 激光扩束后观测到的图样

图 2 缝宽和缝间距较大的双缝干涉 Fig.2 Interference of two-slit with wide slit width and spacing

为了得到更好的干涉效果,我们刻制了两个缝 宽和缝间距都较小的双缝Ⅱ和Ⅲ进行实验,如图 3 (a)和图 3 (d)所示。缝间距小于激光光斑尺寸, 使得激光能照亮整个双缝。相比而言,此次实验显 示出了较好的干涉图样,干涉明(暗)条纹等间距。 对于激光未扩束的点光源的条纹,其外围能观察到 因受单缝衍射而产生的包络线,如图 3 (b)和图 3 (e)。这也说明任何时候都存在衍射,纯干涉只是 一种理想近似,实验上较难实现。激光扩束后观测 到了明显的双缝干涉图样,明暗相间、等间距的竖 条纹显示在光屏上,如图 3 (c)和图 3 (f)。接着 我们测量了激光扩束时双缝位置 x₀、光屏位置 x₁、 双缝到光屏的距离 *l*、双缝间距 *d*和相邻明纹间距 Δx,并根据公式^[1]

$$\lambda = \frac{d}{l}\Delta x \tag{7}$$

计算出了激光波长 λ,如表 1 和表 2。而 He-Ne 激 光器的激光波长理论值为 632.8 nm,所以基于双 缝 II 和III干涉测量激光波长的误差分别为:

$$\delta_{\rm II} = \frac{634.3 - 632.8}{632.8} \times 100\% \approx 0.24\% \tag{8}$$

$$\delta_{\rm III} = \frac{642.5 - 632.8}{632.8} \times 100\% \approx 1.53\% \tag{9}$$

均在允许的范围内。误差主要来源于公式(7)中参数的测量,以及单缝衍射、双缝间距对干涉图样的影响。



(a): 双缝Ⅱ(*d*=0.60 mm); (b): 双缝Ⅱ激光未扩束的干涉图样; (c): 双缝Ⅲ激光扩束后的干涉图样; (d): 双缝Ⅲ(*d*=0.70 mm); (e): 双缝Ⅲ激光未扩束的干涉图样; (f): 双缝Ⅲ激光扩束后的干涉图样

图 3 缝宽和缝间距都较小的双缝干涉 Fig.3 Interference of two-slit with narrow slit width and spacing

表 1 利用双缝 Ⅱ 的干涉对激光波长的测定

Table 1 Determination of laser wavelength based on the interference of two-slit II

物理参量	数值	物理参量	数值
x_0 /mm	0	d /mm	0.60
x_1/mm	927.00	$\Delta x / \text{mm}$	0.98
$l = x_1 - x_0 / \text{mm}$	927.00	λ /nm	634.30

表 2 利用双缝Ⅲ的干涉对激光波长的测定

Table 2 Determination of laser wavelength based on the interference of two-slit III

物理参量	数值	物理参量	数值			
x_0 /mm	0	<i>d</i> /mm	0.70			
x_I/mm	1351.00	$\Delta x / \text{mm}$	1.24			
$l = x_1 - x_0 / \text{mm}$	1351.00	λ /nm	642.50			

3.2 光的单缝衍射实验

为了进一步验证通过双缝干涉实验对激光波 长的测定结果,我们又开展了光的单缝衍射实验, 并分别观测了激光扩束前、后的衍射图样,如图 4 所示。从图 4 (c)和图 4 (d)的实验结果可以看 到:单缝衍射条纹中央亮条纹亮度最大;中央亮条 纹宽度是两侧亮条纹宽度的2倍;未扩束的点光源 与扩束后的线光源产生的衍射条纹间距相同,其不 同点在于点光源产生的干涉条纹较亮,线光源产生 的干涉条纹较暗。同时,我们对照实验的单缝参数 运用 Matlab 仿真模拟了单缝衍射的光强分布,发现 模拟结果和实验结果相吻合,如图5所示。然后我 们测量了单缝的缝宽 b、单缝与光屏的距离 l 和同 级条纹间距 2 x_k,并根据公式^[1]

$$2x_k \frac{b}{l} = (2k+1)\lambda \tag{10}$$

计算出了激光波长 λ,如表 3 所示。与根据双缝干 涉测量激光波长的情况一致,通过单缝衍射测得的 激光波长与理论值也很接近,误差也在允许的范 围内。



(a):单缝衍射光路原理图,其中 S₁、S₂、L、M 和 x 分别是光源、单 缝、用来聚焦的凸透镜、光屏和各级亮条纹到中央亮条纹的间距;(b): 单缝;(c):激光未扩束的单缝衍射图样;(d):激光扩束后的单缝衍射 图样

图 4 光的单缝衍射 Fig.4 Single-slit diffraction of light





表 3 利用单缝衍射测定激光波长

Table 3 Determination of laser wavelength based on single-slit diffraction

数值

	single-sin diffidetion		
物理参量	数值	物理参量	
衍射级数	1	衍射级数	

衍射级数	1	衍射级数	2
b /mm	0.06	b /mm	0.06
<i>l/</i> mm	81.0	<i>l</i> /mm	81.0
$2x_k/mm$	26.0	$2x_k$ /mm	42.0
λ /nm	642.0	λ /nm	622.2
误差	1.45%	误差	1.7%

4 结论

本文利用 Matlab 仿真模拟了双缝干涉随缝宽 变化的光强分布曲线,发现随着缝宽的增大,干涉 条纹在单缝衍射的调制下变为双缝衍射。在实验上 也观测到了双缝干涉图案随缝宽变化而变化,与 Matlab 仿真模拟结果一致。同时根据光的双缝干涉 与单缝衍射所测数据测定了He-Ne激光器的激光波 长。通过从理论与实验上对光的干涉与衍射的探 究,直观地展示干涉与衍射条纹分布特点,这有助 于对光的干涉与衍射的理解和掌握。

参考文献:

- 姚启钧. 光学教程[M]. 5 版.北京:高等教育出版社, 2011.
- [2] 程守洙,江之永. 普通物理[M]. 北京: 高等教育出版社 出版, 1987.
- [3] 双惠,侯维娜,杨志宏,等.光的干涉与衍射的区别与联系[J].石家庄学院学报,2010,12(6):86-90.
- [4] 宣桂鑫. 光的干涉和衍射的区别和联系[J]. 物理教学, 2010, 32(11): 8-12.
- [5] 杨植宗,段永法,刘洋,等.光的干涉与衍射现象的物理本质[J]. 高师理科学刊, 2011, 31(1): 57-58.
- [6] 解霞,董正超,杨建华. 夫琅禾费缝衍射的计算机模拟[J]. 物理通报, 2017, 36(5): 15-18.
- [7] 王瑞敏. 双缝衍射-联系干涉与衍射的桥梁[J]. 物理与 工程, 2004, 14 (3): 52-62.
- [8] 滕琴. 干涉与衍射异同点的探讨[J]. 光学仪器, 2008, 30(4): 60-63.
- [9] 秦林,王佳. 光的干涉与衍射的比较与 MATLAB 仿真[J]. 工程技术, 2013, 25: 57-58.
- [10] 李元杰,汤正新.现代数值计算、模拟技术与力学典型 模型教学[J].大学物理,2002,21(10):35-39.
- [11] 管靖,彭芳麟,胡静,等. 数值计算与素质培养-理论力学
 教学改革取得突破性进展[J]. 大学物理, 2002, 21(10):
 40-42.
- [12] 段晓勇,单永明.光的干涉和衍射的 Matlab 数值模 拟[J].大学物理实验, 2012, 25(3): 95-97.