

单色扩展光源杨氏双缝干涉可见度的理论模拟

何坤娜 韩 萍 金仲辉

(中国农业大学理学院 北京 100083)

(收稿日期:2016-12-29)

摘要:杨氏双缝干涉实验中,在理想单色扩展光源照射下,干涉条纹的可见度不仅仅和光源宽度有关.本文理论模拟了理想单色扩展光源照射情况下光源宽度、狭缝间距离等多项因素对干涉图样可见度的影响,模拟结果有助于学生对单色扩展光源干涉图样清晰程度的理解和掌握.

关键词:可见度 光源宽度 理论模拟

在杨氏双缝干涉实验中,用理想点或线光源照射下,双缝间距 d 为 0.1 mm 左右,双缝到观察屏距离 D 为 m 量级时,观察屏上一定范围内都能观察到清晰的干涉条纹.但实际光源均有一定宽度,其他条件不变,随着光源宽度在一定范围内增大,干涉条纹将变得模糊不清.

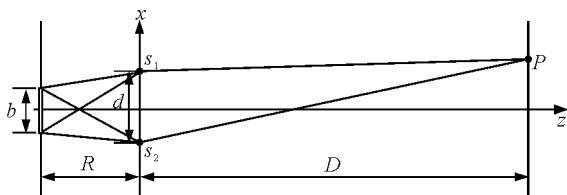


图1 单色扩展光源杨氏双缝干涉实验光路示意图

干涉条纹清晰程度通常用可见度来定量描述,如图1所示,杨氏双缝干涉实验中,若光源是 x 方向宽度为 b 的扩展光源,干涉条纹可见度 V 可表示为^[1]

$$V = \frac{I_{\text{Max}} - I_{\text{min}}}{I_{\text{Max}} + I_{\text{min}}} = \left| \frac{\sin u}{u} \right| \quad (1)$$

其中, I_{Max} 和 I_{min} 分别为光场中光强的极大和极小值, $u = \frac{\pi bd}{R\lambda}$, R 为光源所在平面与双缝所在平面之间的距离, b 为光源宽度, d 为狭缝间距离, λ 为单色光波长.由公式(1)知,可见度和 b, R, d 多个参数有关.实验中,为获得清晰的干涉条纹,需综合考虑 b, R, d 参数对 V 的影响.

事实上,很多文献^[2~19]已就理想单色光入射情

况下,扩展光源杨氏双缝干涉实验中的可见度进行过研究,但有些^[2]仅就扩展光源的临界宽度对可见度的影响进行了简单的定性分析,未做任何定量描述;更多的^[3~19]是通过定量分析得到光源的临界宽度.其中,大多先经过理论推导得到形式上类似于式(1)的可见度表达式,后通过分析表达式得出临界光源宽度,也有些未推导可见度表达式,而是通过定量分析给出了光源的临界宽度.但单色扩展光源情况下,干涉条纹的可见度不仅仅和光源宽度有关.

本文中,为了明确可见度 V 中各参量与可见度的关系,我们对式(1)进行了理论模拟,将理想单色光(扩展光源)入射情况下,可见度表达式中不同参数对可见度的影响形象直观、一目了然地表示了出来.模拟过程中,设入射单色光波长 λ 为 500 nm.

1 单色扩展光源可见度的理论模拟

图2给出了单色扩展光源情况下,可见度 V 和 u 的变化关系图.由图2可知,当 u 为 π 的整数倍时,可见度有最小值. $u = \frac{\pi bd}{R\lambda}$,若 u 的增加仅由光源宽度变化决定,则随着 b 的增加,当 b 增加至 $\frac{R\lambda}{d}$ 时,即 $u = \pi$ 时,可见度第一次变为零. $u = \pi$ 时对应的 b 值 $\frac{R\lambda}{d}$ 为一般大学物理教材中提到的极限宽度^[20,21],实际上,由图2可知,在 $u = \pi$ 附近,可见度都很小,当 u 在

1.885 ~ π 之间取值时,可见度 V 均小于 0.5; 当 u 在 $0 \sim 1.885$ 之间取值时,可见度 $V > 0.5$, 如 u 取 $\frac{1}{4}\pi$ 时,可见度 V 可达到 0.90. 另外, u 大于 π 时,可见度也不是全为零,只是比较小(小于等于 0.217 2),而且有起伏. 若以可见度 $V \geq 0.5$ 为观察到清晰干涉条纹的标准,由图 2 可知,为了观察到清晰的干涉条纹, $u = \frac{\pi bd}{R\lambda}$ 应小于 1.885.

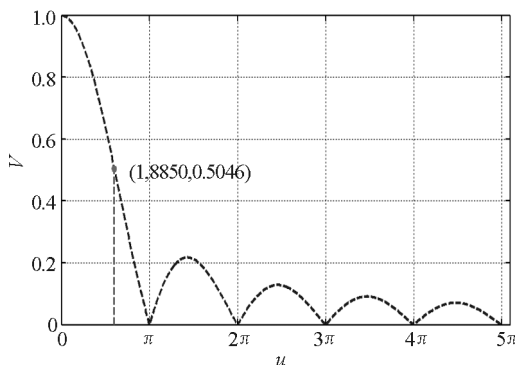


图 2 干涉条纹的可见度 V 随 u 的变化关系

因 u 并非仅与光源宽度 b 决定,为了进一步形象展示可见度和其他参数的关系,图 3(a) ~ (c) 给出了 d 取不同值(d 取 0.08, 0.1 和 0.5 mm), R 分别为 0.5 m, 1 m 和 1.5 m 时,可见度随光源宽度 b 的变化关系. 若以可见度 $V \geq 0.5$ 为观察到清晰干涉条纹的标准,由图 3(a) ~ (c) 可知, d 一定, R 增大时,光源最大允许宽度增大. 如图 3(b) 中, $d = 0.1$ mm, 在保证可见度 $V \geq 0.5$ 的情况下, R 分别为 0.5 m, 1 m 和 1.5 m 时,对应的光源最大宽度不能超过 1.5 mm, 3 mm 和 4.5 mm; 不同 d 值情况下,随着 d 值减小,同一 R 值下,光源的允许宽度增加. 综合上述结果可知,为了观察到清晰的干涉条纹,应尽量减小 d 的同时增大 R , 以便增大光源可允许宽度,从而能在确保可见度的情况下增大条纹的亮度,而具体的参数选择,应结合实验室具体条件而定.

由图 3 还知,可见度随光源宽度 b 并不是线性关系,对应一定光源宽度 b ,并不一定是 R 越大,干涉条纹越清晰. 因此,为了明确 R 和可见度的关系,图 4 给出了 $d = 0.1$ mm, b 取不同值时,可见度 V 与 R 之间的变化关系. 由图 4 可知,随着 b 的增加,需相应地增加 R 值,才能确保可见度 $V \geq 0.5$, 从而获得清

晰的干涉条纹. 当 b 取 2 mm, 3 mm 和 4.5 mm 时 R 值最小应该是 0.55 m, 0.83 m 和 1.24 m, 实验中 R 的具体取值,可根据实验要求结合模拟结果来确定; b 不同时,对于均能满足 $V \geq 0.5$ 条件的 R 值,随着光源宽度增加情况下,可见度 V 降低. 如 $R = 1.5$ m 情况下, b 取 2 mm, 3 mm 和 4.5 mm 时都能实现 $V \geq 0.5$ 的条件,并且随着 b 的增加,可见度逐渐降低. 当 b 取 2 mm, 3 mm 和 4.5 mm 时,对应的可见度分别为 0.92, 0.83 和 0.64.

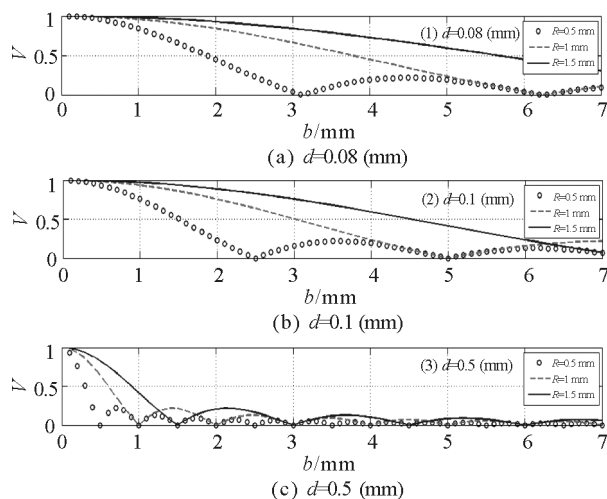


图 3 干涉条纹的可见度 V 随 b 的变化关系

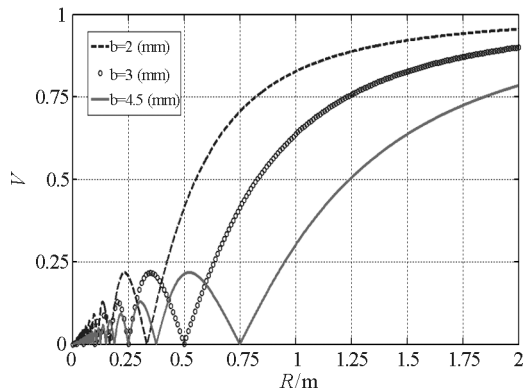


图 4 干涉条纹的可见度 V 随 R 的变化关系

2 小结

本文形象直观地给出了单色扩展光源杨氏双缝实验中,干涉条纹可见度与不同参数之间的变化关系,理论模拟结果不但有利于学生对杨氏双缝实验中单色扩展光源情况下条纹可见度的理解和掌握,而且有助于学生体会实验条件的重要性.

参考文献

- 1 赵凯华. 光学. 北京:高等教育出版社,2004. 113
- 2 薛立范. 光源对干涉条纹的影响. 科技创新论坛,2011. 186,33
- 3 黄瑞如. 谈“光的干涉”的教学. 湖南师院学报(自然科学版),1983增刊,59~65
- 4 郑树梓. 干涉仪中准单色非相干光源的临界宽度. 松辽学刊(自然科学版),1989(3):61~68,87
- 5 寇培林,刘玫. 二相干点光源干涉条纹分布和可见度研究. 陕西师大学报(自然科学版),1991,19(1):36~38
- 6 洪林. 干涉条纹可见度随光源线度和谱宽变化规律探析. 信息工程学院学报,1995,14(4):20~26
- 7 潘留仙,徐勇. 影响干涉条纹可见度的几个主要因素. 广西物理,1996,17(1):36~39,12
- 8 刘晓军. 光源宽度对杨氏干涉实验的影响. 胜利油田师范专科学校学报,2002,16(4):8~9
- 9 翟琛. 论光源的线度及单色性对干涉条纹可见度的影响. 内蒙古民族大学学报(自然科学版),2002,17(4):369~371
- 10 吕永生. 光源宽度对干涉条纹可见度的影响. 滁州师专学报,2003,5(2):94~96
- 11 张静芳. 对影响光波干涉条纹可见度因素的探究. 渝西学院学报(自然科学版),2004,3(4):24~27
- 12 刘忠魁,黄海清. 用范西泰特-策尼克定理研究干涉条纹的可见度. 渭南师范学院学报,2005,20(2):36~38
- 13 方兴. 干涉孔径角与光源宽度的推导和估算. 保山学院学报,2010(2):16~18
- 14 顾铮,卜胜利,童元伟. 浅析“光的干涉”中的光源性质及作用. 大学物理,2013,32(4):53~56,65
- 15 柴继平. 关于杨氏双缝实验中光源宽度的讨论. 雁北师范学院学报,2001,17(3):37
- 16 王世平. 光源宽度与干涉条纹可见度的关系. 山东大学学报(理学版),2005,40(5):85~87,112
- 17 徐爱英,罗华平. 光源线度对干涉条纹可见度的影响. 大众科技,2011(11):112,111
- 18 梅立坤,朱剑玫,费波涛,等. 杨氏双缝干涉实验装置的研究. 科技传播,2013,9(下):128~129,127
- 19 刘桂香,熊建文. 杨氏双缝干涉中的两个近似计算及其误差分析. 海南师范学院学报(自然科学版),2014,17(4):333~336
- 20 张三慧. 波动与光学(第二版). 北京:清华大学出版社 2000. 136
- 21 程守洵,江之永. 普通物理学(第五版). 北京:高等教育出版社,1998. 209

Theoretical Simulation on Visibility of Young Double Slit Interference of Monochromatic Extended Light Source

He Kunna Han Ping Jin Zhonghui

(College of Science, China Agricultural University, Beijing 100083)

Abstract: Under the light irradiation of the ideal monochromatic extension, visibility of interference fringes is not just related to light source width in Young's double-slit interference experiment. In this paper, we theoretically simulated the influence of many factors to visibility of interference fringes such as the distance between two slits and the light source width. The simulation result is helpful for students to understand and master interference pattern in Young's Double-slit interference experiment with extended monochromatic light source.

Key words: visibility; width of the light source; theoretical simulation