

非单色性光源对杨氏干涉条纹可见度的影响*

张 燕 翟 影 候云浪 祝 昆

(六盘水师范学院物理与电子科学系 贵州 六盘水 553004)

(收稿日期:2016-12-29)

摘 要:光源的单色性影响其相干性.任何实际的波列都有一定的谱线宽度,谱线宽度表示了光源单色性的好坏,直接影响了干涉条纹的可见度.对非单色性光源通过典型杨氏双缝干涉装置产生干涉条纹的理论进行分析和仿真,得出谱线宽度与干涉条纹的可见度的关系.结论与实验相吻合.其结果对于干涉法工程测量具有现实意义.

关键词:干涉条纹 可见度 非单色性光源

1 引言

相干性是光源的一种重要特性,由干涉条纹的可见程度综合表现出来.单一波长的波列只是一种理想情况,任何实际的波列都有一定谱线宽度.谱线中心对应中心波长,谱线宽度表示了光源单色性的好坏,谱线宽度越小,单色程度越高.实际得到的干涉条纹往往是不同波长的多套干涉条纹的叠加.每一光源发出的光都不可能是单一波长的谐波,而是有一定波长范围的准单色光^[1].通常的干涉条纹往往由这类准单色光获得.多长的谱线宽度的准单色光能够获得较为明显的干涉条纹,成为利用干涉原理进行工程测量的基本问题.杨氏双缝干涉是典型的分波面干涉装置^[2],我们利用其原理通过计算机仿真分析了谱线宽度与干涉条纹的可见度关系,得出有用的结果.对于研究非单色性光源在工程测量中的应用具有参考意义.

2 理想单色光源下的杨氏干涉条纹的可见度

设杨氏双缝干涉中,两缝出射的相干光在空间 P 点相遇,该点的总光强为^[2]

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta\varphi \quad (1)$$

式中 I_1 和 I_2 分别为两束相干光的光强, $\Delta\varphi$ 为二者间的相位差,因两相干光束为同一光源发出,则有

$$I_0 = I_1 = I_2$$

式(1)可写为

$$I = 2I_0(1 + \cos \Delta\varphi) = 4I_0 \cos^2 \frac{\Delta\varphi}{2} \quad (2)$$

从式(2)可看出

$$I_{\max} = 4I_0$$

$$I_{\min} = 0$$

由干涉条纹可见度的定义

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

看出在理想单色光源下,杨氏干涉条纹的可见度 $V = 1$,条纹的反差最大,清晰可见.

3 非单色光源对杨氏干涉条纹可见度的影响

对于实际的单色光源,波长并非是单一值,有一定的波长范围 $\Delta\lambda$ (谱线宽度)^[2],如图1所示.从 $\lambda_0 - \frac{\Delta\lambda}{2}$ 到 $\lambda_0 + \frac{\Delta\lambda}{2}$ 内的每一个波长都将在观察屏上产生

* 贵州省教育厅本科教学质量工程教学内容与课程体系改革课堂基金,编号:GZSJG10977201403;六盘水师范学院2015年度大学生科研项目,编号:LPSSYDXS1511

作者简介:张燕(1993-),女,2013级应用物理学本科生.

通讯作者:祝昆(1976-),男,副教授,主要从事光学教学研究.

与该波长对应的一组干涉条纹,每一组干涉条纹的明暗条纹位置以及亮条纹的光强都有所不同.因此,每一组条纹将在观察屏上发生非相干叠加.

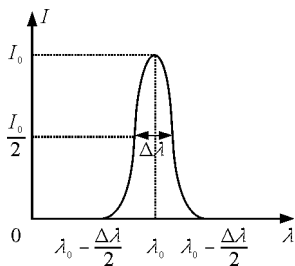


图1 非单色光源的谱线宽度

若波长分别为 $\lambda_0 - \frac{\Delta\lambda}{2}$ 与 $\lambda_0 + \frac{\Delta\lambda}{2}$ 对应的两组干涉条纹的明暗条纹位置刚好错开,则条纹可见度将为零,即 $\lambda_0 - \frac{\Delta\lambda}{2}$ 的第 $j+1$ 级亮纹与 $\lambda_0 + \frac{\Delta\lambda}{2}$ 的第 j 级亮纹重叠,中间的阴影部分被覆盖,示意图如图2所示.由 $y = j \frac{r_0 \lambda}{d}$ 知波长越大,同一干涉级所在的位置越大.谱线宽度 $\Delta\lambda$ 引起的同一级明条纹宽度 $\Delta y = j \frac{r_0}{d} \Delta\lambda$ 随着级数的增加而增加,即图2中的 $\Delta y_{j+1} > \Delta y_j$.令 $\Delta y'$ 等于 $\lambda_0 - \frac{\Delta\lambda}{2}$ 的第 $j+1$ 级明条纹与 $\lambda_0 + \frac{\Delta\lambda}{2}$ 的第 j 级明条纹间的距离,从图中可看出当 $\Delta y' = 0$ 时,图2中阴影部分被覆盖,第 j 级处的条纹可见度为零.

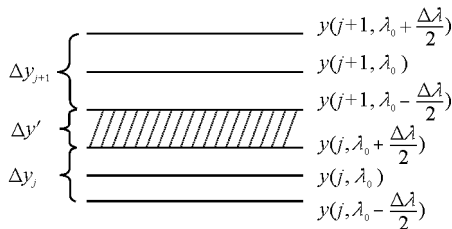


图2 第 j 级与第 $j+1$ 级明条纹宽度及其间隔示意图

从图2可看出

$$\Delta y' = (j+1) \frac{r_0}{d} \left(\lambda - \frac{\Delta\lambda}{2} \right) - j \frac{r_0}{d} \left(\lambda + \frac{\Delta\lambda}{2} \right) = \frac{r_0}{d} \left[\lambda_0 - \left(j + \frac{1}{2} \right) \Delta\lambda \right] \quad (3)$$

从式(3)可看出 $\Delta y'$ 与级数 j 跟谱线宽度 $\Delta\lambda$ 有

关,对于某一级数(即确定的观察点)的干涉条纹而言, $\Delta\lambda$ 越大,则 $\Delta y'$ 越小,条纹可见度低,随着 $\Delta\lambda$ 的不断增大,可见度逐渐变为零,此处条纹不可见.当 $\Delta\lambda$ 继续增大, $\Delta y' = 0$ 出现在小于 j 的级次处,则清晰可见的条纹数越少,直至观察不到干涉条纹.

4 Matlab 仿真不同谱线宽度下的干涉条纹

根据杨氏双缝干涉理论,利用 Matlab 软件编程计算双缝干涉的光强分布并作图,同时模拟双缝干涉的条纹图样.在此基础上将不同谱线宽度光源的干涉光强分布进行叠加并得到叠加后的光强分布图及干涉图样^[3].

设双缝间距离 $d = 0.12 \text{ mm}$, 观察屏到缝的距离 $r_0 = 1\ 000 \text{ mm}$, 光源的中心波长 $\lambda_0 = 500 \text{ nm}$, 观察范围从中央亮纹位置(0 mm)到 25 mm, 干涉图样是在观察范围(25 mm)取 100 个采样点作灰度图,横坐标为采样点,纵坐标为观察屏上的横向范围.谱线宽度 $\Delta\lambda$ 分别取 10, 30, 50 nm, 得到如图 3, 4, 5 所示的叠加前后的光强分布图及条纹图样.由图 3, 4, 5 中的光强分布图结合条纹可见度的定义式得到如图 6 所示的可见度大小分布曲线.

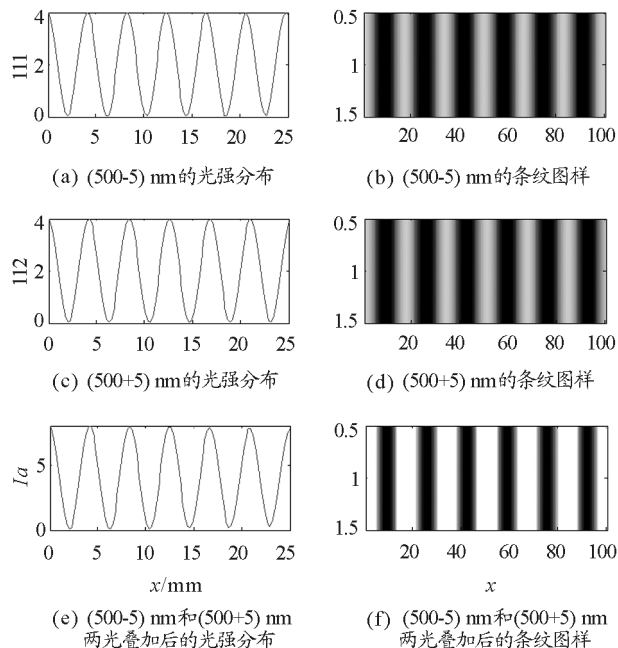


图3 $\Delta\lambda = 10 \text{ nm}$ 时的光强分布图及条纹图样

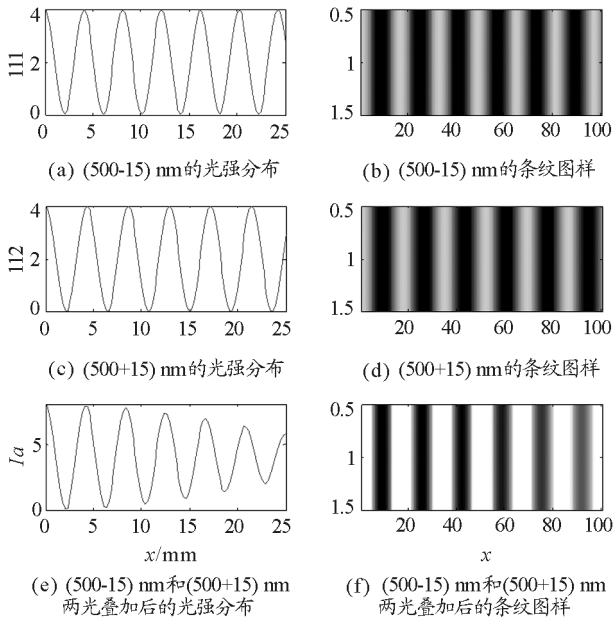


图4 $\Delta\lambda = 30 \text{ nm}$ 时的光强分布图及条纹图样

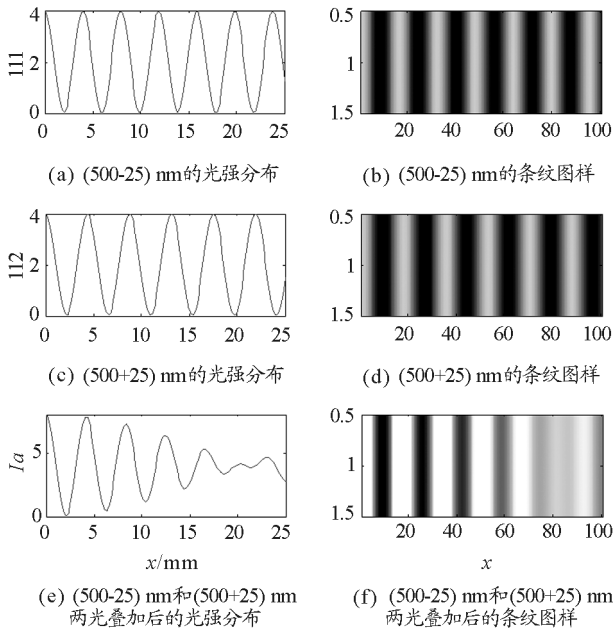


图5 $\Delta\lambda = 50 \text{ nm}$ 时的光强分布图及条纹图样

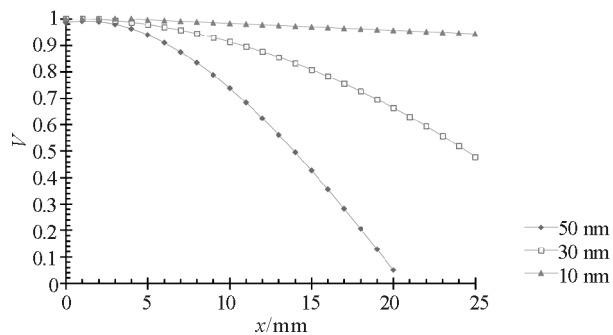


图6 条纹可见度分布曲线 $V-x$

从图6可看出,观察范围内的条纹可见度随着观察位置的增大(即 j 越来越大)而减小,条纹逐渐变模糊.当 $\Delta\lambda = 10 \text{ nm}$ 时,可见度值变化甚小,近似为1,条纹清晰可见,如图3(b)所示. $\Delta\lambda$ 逐渐增大,可见度随观察位置的增大减小得越快,出现模糊的条纹的位置越小,如图4(b)、5(b)所示,即观察范围内清晰可见的条纹数越少.对于某固定的观察点,此处的条纹可见度随着 $\Delta\lambda$ 的增大而减小,与第3部分的理论分析结果一致.该结论与文献[4]中描述的实验结果相吻合,进一步说明了理论分析的合理性.

5 小结

本文通过一个简单的示意图对不同谱线宽度光源的干涉条纹进行理论分析,同时利用 Matlab 得到不同谱线宽度光源下的干涉条纹光强分布图、干涉条纹图样以及条纹可见度分布曲线,定性分析了光源的非单色性,即谱线宽度,对干涉条纹可见度的影响:谱线宽度越小,光源的非单色性越好,条纹可见度变化越小,条纹清晰可见且能观察到的干涉条纹越多.与非单色光的实验结果相吻合,为利用非单色光源测量工程参量数提供了理论支撑.

参考文献

- 1 廖延彪. 现代光信息传感原理. 北京:清华大学出版社, 2009
- 2 姚启钧. 光学教程(第5版). 北京:高等教育出版社, 2004
- 3 王立明. 计算机模拟光源的光谱强度分布对杨氏双缝干涉条纹的影响. 高等函授学报(自然科学版), 2007(05): 45 ~ 49
- 4 石友彬, 王文华, 陈春雷, 等. 根据干涉条纹测量未知光源的波长. 物理实验, 2007(11): 35 ~ 37, 40

基于声卡和 Labview 软件的摩擦力实验教学新方式研究

古启蒙

(中山市华侨中学 广东 中山 528400)

(收稿日期:2017-02-08)

摘要:利用电子、传感器技术和 Labview 软件研制了一个成本低、实用性强的基于声卡和 Labview 软件的摩擦力测量装置,克服了传统摩擦力实验教学中读数不准,难以控制匀速、很难观察到瞬间变化的过程等缺点,实现了定性研究与定量研究相结合. 实验操作简单,现象明显直观,为摩擦力实验的有效教学提供了一个新的方式.

关键词:摩擦力 传感器 Labview 声卡 数据采集器

众所周知,实验在物理教学中是十分重要的. 作为物理教师对于课程中的实验都很重视,在不断探索物理教学中,也在寻求实验教学的提高和突破,从而达到良好的教学效果.

由于在新课程标准中,物理实验内容的增加,实验要求和方式的变化,对物理实验教学和实验资源也就相应地提出了较高的新要求. 对于摩擦力实验,一直是高中物理教学的一大难点,传统实验是利用弹簧测力计来进行实验的,如图 1 所示,为高中物理

教材粤教版必修 1 中摩擦力实验的原理图. 仪器简单,但操作要求较高.

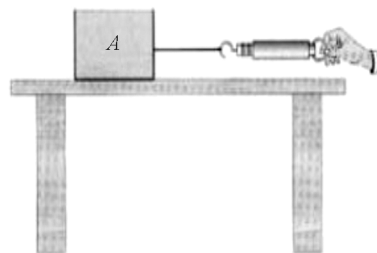


图 1 传统实验原理图

The Influence of Non Monochromatic Light Source on the Young Interference Fringe Visibility

Zhang Yan Zhai Ying Hou Yunlang Zhu Kun

(Department of Physics and Electronic Science, Liupanshui normal university, Liupanshui, Guizhou 553004)

Abstract: The monochromatic light source affects its coherence. The visibility of interference fringe was directly affected by linewidth. what generally comprise wave trains shows light source quality. In this paper, Young's double-slit interference device produces interference fringes by Non-monochromatic light source is analysed and simulated. It's show that the Relationship between Spectral Line Width and Visibility of Interference, from which we obtain the following conclusions. It's a result for the light interfering method has the realistic meaning.

Key words: interference fringes; visibility; non-monochromatic light source