



基于 Matlab 牛顿环实验的仿真研究*

韦仙 冯中营 康睿丹

(太原工业学院理学系 山西 太原 030008)

(收稿日期:2016-05-12)

摘要:根据光的干涉理论,改变牛顿环实验参数,分析干涉条纹的疏密程度,采用 Matlab 编程,有效地观测光强分布情况.可将抽象的光学规律直观化,弥补实验条件的局限性,与真实牛顿环实验相结合,加深学生对等厚干涉现象的理解.

关键词:牛顿环 等厚干涉 Matlab 仿真

光的干涉现象揭示了光具有波动性^[1]. 两列或几列光波在空间相遇时相互叠加,在某些区域始终加强,在另一些区域则始终削弱,形成稳定的强弱分布的现象. 利用计算机模拟牛顿环干涉实验,一方面不受实验条件、场地的限制,另一方面能够直观地观察到实验现象,并通过改变曲率半径、入射光波、介质折射率等参数,分析牛顿环的干涉条纹变化与参数的关系,有助于学生理解等厚条纹的形成与特点^[2].

1 基本原理

牛顿环装置是由曲率半径较大的平凸透镜和平板玻璃组成,如图 1 所示.

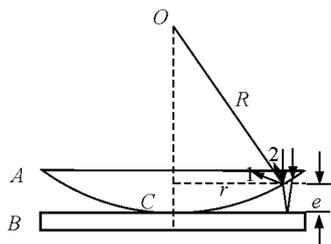


图 1 牛顿环装置

在透镜凸面和平板玻璃间形成一层空气薄膜,且空气层以接触点为中心向四周逐渐增厚,当单色光垂直入射到透镜上时,入射光将在此空气薄膜上下两表面反射,产生相干光,形成的干涉条纹是以接触点为圆心的一系列明暗相间、内疏外密的同心圆

环,称为牛顿环^[3].

设 R 为平凸透镜的曲率半径, r 为干涉条纹半径, e 为其空气薄膜的厚度, λ 为入射光的波长. 则透镜下表面所反射的光 1 与玻璃平板上表面的反射光 2 发生干涉,两束相干光的光程差

$$\Delta = 2ne + \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

其中 $\frac{\lambda}{2}$ 为附加光程差,这是由于反射光 2 从光疏介质(空气)入射到光密介质(玻璃)时,反射线有半波损失引起的^[2].

由图 1 中的几何关系可得

$$e = \frac{r^2}{2R}$$

由于各处空气膜的厚度不同,所以光程差也不同,因而会产生相长或者相消干涉. 相长干涉产生明纹的条件是

$$2ne + \frac{\lambda}{2} = k\lambda, k = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

得明环半径平方为

$$r_{\text{明}}^2 = \frac{2k-1}{2n} R\lambda \quad (3)$$

相消干涉产生暗纹的条件是

$$2ne + \frac{\lambda}{2} = (2k+1) \frac{\lambda}{2}, k = 1, 2, 3, \dots \quad (4)$$

得暗环半径平方为

* 太原工业学院院级青年科学基金,项目编号:2014LQ05

作者简介:韦仙(1988-),女,硕士,助理实验师,研究方向为压缩感知与矩阵填充.

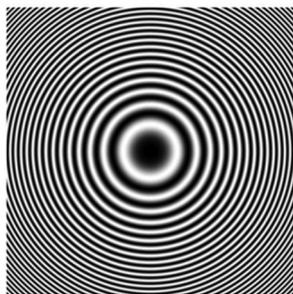
$$r_{\text{暗}}^2 = \frac{k}{n} R \lambda \quad (5)$$

2 实验仿真研究

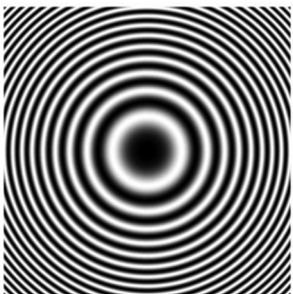
利用 Matlab 软件编程模拟得干涉图样,逐一改变入射波长 λ , 曲率半径 R 和介质折射率 n 这 3 个参数,分析牛顿环的变化情况^[4,5].

2.1 曲率半径对牛顿环的影响

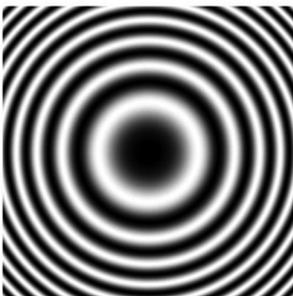
分别设置曲率半径的值为 $R_1 = 3 \text{ m}$, $R_2 = 5 \text{ m}$, $R_3 = 10 \text{ m}$, 得出牛顿环的图形变化如图 2 所示.



(a) $R = 3 \text{ m}$



(b) $R = 5 \text{ m}$



(c) $R = 10 \text{ m}$

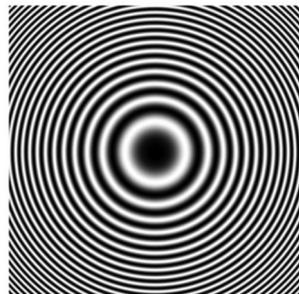
图 2 曲率半径对干涉条纹的影响

由图 2 可以看出,随着曲率半径的增加,条纹间距逐渐变大,这是由于根据光程差表达式及干涉条件知,每级明或暗环都与一定的膜厚度 e 相对应,即介质膜上表面同一条等厚线上形成同一级次的干涉条纹,而条纹级数从中心到四周逐级变大,当曲率半

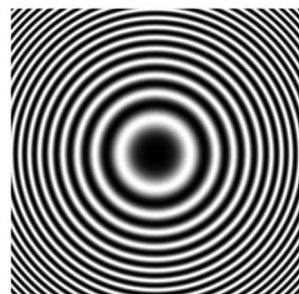
径增大时,介质膜厚度变小,级数也随之变小,说明内层条纹向外移动,也可由式(3)或者式(5)看出,对于同一级条纹, R 逐渐增大,明环(或暗环)的半径 r 也随之增大,所以观察到条纹变疏的现象.

2.2 入射光波对牛顿环的影响

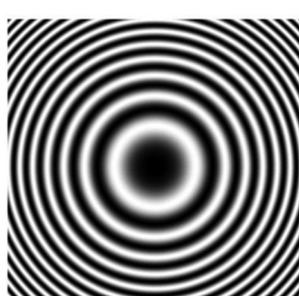
选择不同的入射光波,紫光($\lambda_1 = 435.8 \text{ nm}$)、黄光($\lambda_2 = 589.3 \text{ nm}$)、红光($\lambda_3 = 435.8 \text{ nm}$),不同波长对应的干涉图样如图 3 所示,根据式(3)或式(5),明或暗环的半径值与波长成正比,即随着波长逐渐增大,牛顿环的条纹间距逐渐变宽.



(a) $\lambda = 435.8 \text{ nm}$



(b) $\lambda = 589.3 \text{ nm}$



(c) $\lambda = 435.8 \text{ nm}$

图 3 入射光波对干涉条纹的影响

2.3 介质折射率对牛顿环的影响

改变牛顿环装置中平凸透镜间隙介质的折射率能够得到不同的干涉条纹,设 $R = 5 \text{ m}$, 单色黄光 $\lambda = 589.3 \text{ nm}$, 介质折射率分别为空气($n_1 = 1$)、酒精($n_2 = 1.329$)、甘油($n_3 = 1.4730$),从图 4 看出,折射率越大,

牛顿环干涉条纹越密,这是由于在式(3)和式(5)中,明环或者暗环的半径值与介质折射率成反比.

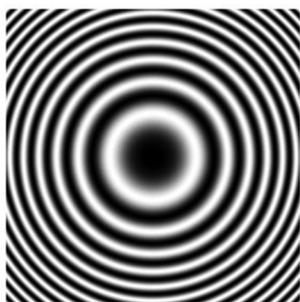
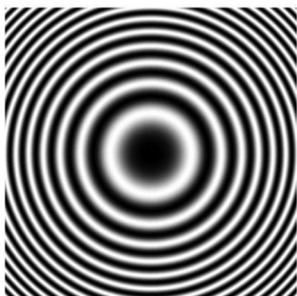
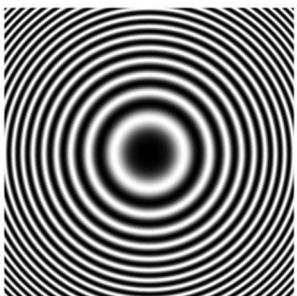
(a) $n = 1$ (b) $n = 1.329$ (c) $n = 1.773$

图4 介质折射率对于干涉条纹的影响

3 结论

本文根据光学等厚干涉条纹理论,分析入射光波波长、曲率半径、介质折射率对干涉条纹的影响,并利用 Matlab 语言编程,通过调整输入参数,模拟牛顿环干涉实验的光强分布情况,更直观地显示随着参数改变牛顿环疏密程度的变化.这种计算机仿真的方法广泛应用于理论及实验教学的各方面,既弥补了实验教学中参数条件难以改变的不足,又解决了实际实验中单色光源较难找到的问题,加深学生理解.当然,仿真模拟得再好,也是对实际实验的一种补充与辅助,任何时候也不能替代真实实验,只有真实实验和仿真模拟相结合,教学才能达到更好的效果.

参考文献

- 1 姚启钧. 光学教程(第3版). 北京:高等教育出版社,2002
- 2 张三慧. 大学物理学(第3版). 北京:清华大学出版社,2008
- 3 仇志余,冯中营. 大学物理实验(第3版). 北京:机械工业出版社,2014
- 4 姚琴芬. Matlab 语言在物理实验数据处理中的应用. 大学物理实验,2011,24(6):52 ~ 54
- 5 韩敬,钟方川. Matlab 在大学物理实验数据处理中的应用. 大学物理实验,2008,21(1):88 ~ 90

The Simulation Study on Newton Ring Experiment Based on Matlab

Wei Xian Feng Zhongying Kang Ruidan

(Faculty of Science, Taiyuan Institute of Technology, Taiyuan, Shanxi 030008)

Abstract: According to the theory of optical interference, we can do an analysis of the interference fringe density by changing the Newton ring experiment parameters. And we can effectively observe the distribution of light intensity by Matlab programming. That provide the help for the understanding of the phenomenon of equal thickness interference. It has positive effect to show the abstract optical laws to the students and make up for the limitations of the experimental conditions.

Key words: Newton ring; equal thickness interference; Matlab; simulation