

基于 Matlab 的牛顿环实验仿真研究

申惠娟 邓锂强 徐祥福 方运良 祁玲敏 赖国霞

(广东石油化工学院理学院 广东 茂名 525000)

(收稿日期:2017-06-19)

摘要:基于 Matlab 对牛顿环干涉实验进行了仿真. 仿真过程中,通过改变入射光波长、透镜曲率半径、介质折射率以及薄膜厚度等参数观察到清晰的牛顿环干涉现象及其变化规律,并通过理论验证了仿真结果的合理性,证实了 Matlab 仿真可以作为实验的有效补充.

关键词: Matlab 仿真 牛顿环 干涉

牛顿环实验是光学实验中关于光的干涉现象的重要实验内容. 在生产实践和科研中,牛顿环也常被用作各种精密测量,如测量入射光波波长,测量介质的折射率,以及测量薄膜的厚度等等,因此学生对该实验的掌握非常重要. 但是,在实验室中能实现的实验现象非常有限^[1],目前学生通过实验室只能观察到给定波长入射光,给定介质以及给定干涉薄膜下的牛顿环干涉现象,对该实验的理解易造成思维定势,不利于学生对知识的认识和理解,更不利于开发学生的知识应用能力和创新能力. 因此,通过计算机仿真实现以上各种情况下的牛顿环干涉现象,展现给学生直观清晰的物理图像,对该实验的教学内容是一个必不可少的补充.

Matlab 是美国 MathWorks 公司出品的商业数学软件^[2],用于算法开发、数据可视化、数据分析以及数值计算的高级技术计算语言和交互式环境,具有简单易学、可扩展性和交互性的优点,已经被广泛用于研究和解决各种工程问题. 目前利用计算机软件对该实验进行仿真的研究也有很多^[3~12],但系统的仿真还比较少,因此,本文将根据牛顿环的干涉原理^[13],拟对影响干涉结果的各项参数进行研究,实现全方位牛顿环干涉规律的仿真效果.

1 牛顿环干涉原理

牛顿环干涉是分振幅等厚干涉,如图 1 所示,考虑半波损失,介质薄膜上下两表面反射光的光程差为

$$\Delta = 2n(d + e) + \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

当 $\Delta = 2k \frac{\lambda}{2}$ 时,干涉加强,形成亮条纹;

当 $\Delta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$ 时,干涉减弱,形成暗条纹.

在某点 P 处,两等振幅相干光叠加后的光强分布为

$$I = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 A_2 \cos \Delta \varphi = 4A_1^2 \cos^2 \frac{\Delta \varphi}{2} \quad (2)$$

由于 $\Delta \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta$ (3)

两相干光光强近似相等,设其为 $I_1 = I_2 = I_0$,并近似取 $d \approx \frac{r^2}{2R}$.

将式(1)和式(3)代入式(2),得

$$I = 4I_0 \sin^2 \left(\frac{n\pi r^2}{R\lambda} + \frac{2ne\pi}{\lambda} \right) \quad (4)$$

可见,其干涉结果与透镜的曲率半径 R ,介质的折射率 n ,入射光波波长 λ 以及薄膜厚度 $(d + e)$ 有关,因此在计算机仿真过程中,可通过改变上述参数,观察牛顿环的变化规律.

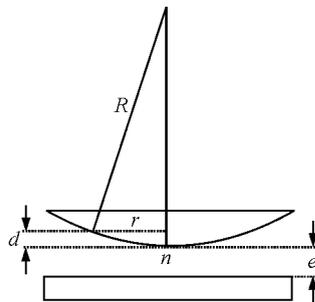


图 1 牛顿环干涉结构示意图

2 利用 Matlab 仿真不同参数下的牛顿环干涉现象

在 Matlab 仿真过程中, 利用 ‘meshgrid’ 和 ‘imshow’ 等命令将图像呈现出来. 通过改变透镜的曲率半径 R , 介质的折射率 n , 入射光波波长 λ 以及薄膜厚度 e 得到以下仿真图像.

2.1 改变透镜的曲率半径 R

改变透镜的曲率半径 R 得到的仿真图像如图 2 所示.

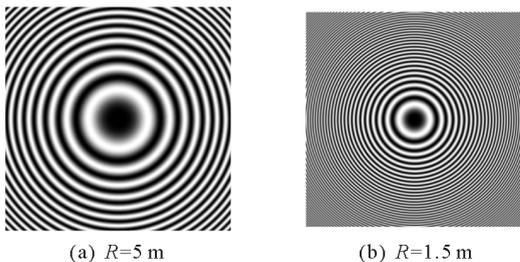


图 2 改变透镜曲率半径 R 下的牛顿环干涉图样

2.2 改变介质折射率 n

改变介质折射率 n 得到的仿真图像如图 3 所示.

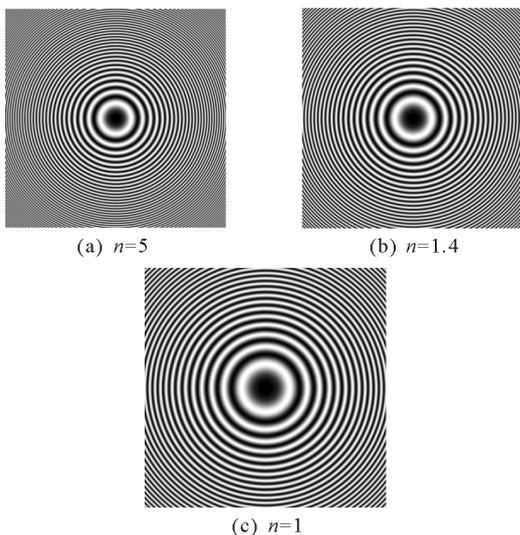


图 3 改变介质折射率 n 下的牛顿环干涉图样

2.3 改变入射光波波长 λ

改变入射光波波长 λ 得到的仿真图像如图 4 所示.

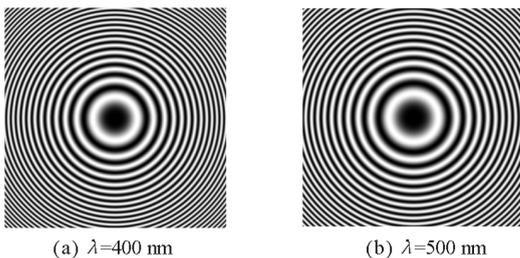
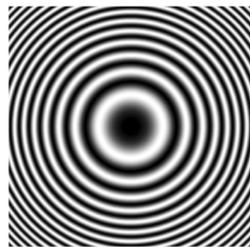


图 4 改变入射光波波长 λ 下的牛顿环干涉图样

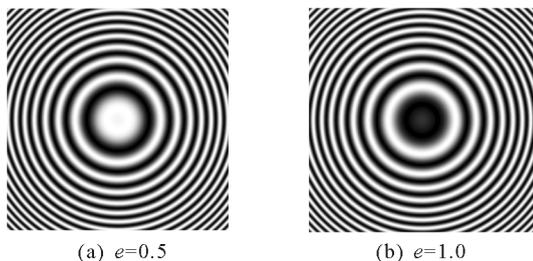


(c) $\lambda=700\text{ nm}$

图 4 改变入射光波波长 λ 下的牛顿环干涉图样

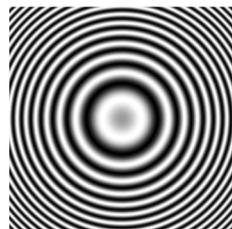
2.4 改变介质薄膜厚度 e

改变介质薄膜厚度 e 得到的仿真图像如图 5 所示.



(a) $e=0.5$

(b) $e=1.0$



(c) $e=1.5$

图 5 改变介质薄膜厚度 e 下的牛顿环干涉图样

3 结果讨论

根据以上仿真结果可见, 牛顿环干涉图像随着透镜的曲率半径 R , 介质的折射率 n , 入射光波波长 λ 以及薄膜厚度 e 的变化而变化.

3.1 透镜曲率半径越小 条纹半径越小 相邻条纹间距越小

根据牛顿环干涉原理, 可得第 k 级暗条纹的半径满足

$$r_k^2 \approx \frac{kR\lambda}{n} \quad (5)$$

即 k, n, λ 不变时, R 与 r^2 成正比, 因此随着 R 的增大(减小), 牛顿环半径也增大(减小).

同理可得, 相邻条纹间距满足

$$\Delta r = r_{k+1} - r_k = (\sqrt{k+1} - \sqrt{k}) \cdot \sqrt{\frac{R\lambda}{n}} \quad (6)$$

即 k, n, λ 不变时, 条纹间距随透镜曲率半径 R 的增加(减小)而增加(减小).

由此可见,仿真结果与理论一致.

3.2 介质折射率越小 条纹半径越大 相邻条纹间距越大

根据式(5)、(6)可见,在 k, R, λ 不变时,条纹半径 r_k 和相邻条纹间距 Δr 随着介质折射率 n 的增加(减小)而减小(增加).因此,仿真结果与理论一致.

3.3 入射光波波长越大 条纹半径越大 条纹间距越大

同样根据式(5)、(6)可见,在 k, R, n 不变时,条纹半径 r_k 和相邻条纹间距 Δr 随着入射光波波长 λ 的增加(减小)而增加(减小).因此,仿真结果与理论一致.

3.4 改变介质薄膜的厚度 e 条纹半径和条纹间距不变 但是牛顿环的中心圆斑却出现亮暗程度的变化

在实际做实验过程中会发现,牛顿环中间有的是亮斑,有的是暗斑,甚至处于亮暗之间的灰色圆斑.通过计算机仿真就可以清楚地了解到产生这种现象的原因.

根据牛顿环的干涉原理可知

$$\text{当 } 2n(d+e) - \frac{\lambda}{2} = 2k \cdot \frac{\lambda}{2} (k=0, \pm 1, \pm 2 \dots)$$

时,干涉加强,形成亮条纹;

$$\text{当 } 2n(d+e) - \frac{\lambda}{2} = (2k+1) \cdot \frac{\lambda}{2} (k=0, \pm 1, \pm 2 \dots)$$

时,干涉减弱,形成暗条纹;

令 $k=0, n=1, d=0$,可得:

当薄膜厚度 $e = \frac{\lambda}{4}$ 时,牛顿环中心应为亮斑; $e =$

$\frac{\lambda}{2}$ 时,牛顿环中心应为暗斑.为此,通过 Matlab 程序进行验证,得到的干涉图像如图 5 所示.可见,仿真结果与理论一致.

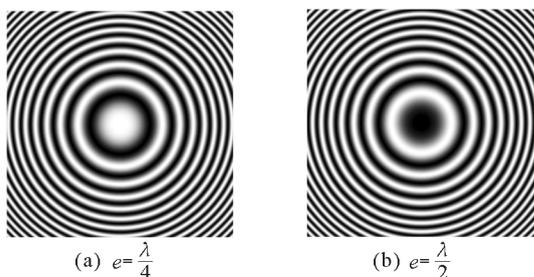


图 6 牛顿环中心为亮斑($e = \frac{\lambda}{4}$)和暗斑($e = \frac{\lambda}{2}$)

时的牛顿环干涉图样

4 结论与展望

本文基于根据牛顿环干涉原理,通过 Matlab 程序对牛顿环的干涉现象进行了仿真.仿真过程中改变干涉条件观察不同情况下的牛顿环干涉现象,仿真图像清晰,结果合理,因此可以用于实验及理论教学过程中,有效地弥补由于条件不足所产生的局限.通过程序改变不同参数,直观地观察到干涉现象,甚至对实验结果进行进一步的分析与验证,以达到对该知识全面的认识与理解,为学生进一步的探索与利用理论知识解决实际问题提供了不可缺少的途径.

Matlab 程序功能强大,且简单易学,学生在完成该实验仿真的基础上,可以进而尝试对其他物理现象进行仿真,比如光学实验中的劈尖干涉、迈克尔孙干涉、单缝衍射、光栅衍射等等.因此,将计算机仿真引入到课堂中,可以更好地带动学生的学习主动性和探索欲望,提高教学效果,为培养学生自主学习能力和创新能力提供基础.

参考文献

- 1 方运良,王德明.大学物理实验.北京:科学出版社,2016
- 2 陈堉光.精通 Matlab GUI 设计.北京:电子工业出版社,2010
- 3 陈志歆,李斌.基于 Matlab GUI 的牛顿环仿真课件制作.实验科学与技术,2013,11(4):330~333
- 4 王蕴杰.基于 Matlab 的牛顿环白光干涉实验仿真.大学物理实验,2014,27(4):97~99
- 5 李珏璇,蓝海江.利用七色光仿真白光牛顿环干涉实验.实验室科学,2012,15(2):65~67
- 6 李继军. Matlab GUI 在光学仿真中的应用.通化师范学院学报,2010,31(2):52~54
- 7 刘伟.光学干涉光谱的模拟与分析.光谱实验室,2012,29(1):516~518
- 8 王贤平,周华清,桑明煌.《光学》实验仿真及可视化教学研究——以“牛顿环干涉”为例.鞍山师范学院学报,2015,17(6):36~38
- 9 周党培,陈业仙.牛顿环实验的计算机仿真.四川兵工学报,2009,30(7):139~141
- 10 宫彦军,史小飞.牛顿环光学干涉实验计算机仿真.长春大学学报,2016,26(4):32~35
- 11 韦仙,冯中营,康睿丹.基于 MATLAB 牛顿环实验的仿真研究.物理通报,2016(8):67~69
- 12 董朝云,王旭军.大学物理仿真实验的应用研究.科技创新导报,2014(23):241
- 13 张三慧.大学物理学(第三版).北京:大学出版社,2008

(下转第 95 页)

$$\Delta_A = \frac{t}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}$$

$$\Delta_A = 0.6 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

与铝的公认线膨胀系数参数($\alpha = 2.30 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)比较,百分偏差由公式

$$E = \frac{|\bar{\alpha} - \alpha_{\text{理}}|}{\alpha_{\text{理}}} \times 100\% = 39.1\%$$

4 结论

对于线膨胀系数和透镜焦距,它们都是非常难以直接测量的物理量.我们通常会采用经典的接触性测量的方法,例如使用千分尺等度量工具.本文提供了一种更加精确的非接触性测量方法,通过莫尔条纹实现了对微小量的测量,并提供了一套完备的微小位移的测量方法,避免了由于接触测量而导致的结果不精确等问题,是一种更加有效而精确的方法.

实验中我们使用了照相机实时摄影与电脑画板坐标结合的方法来测量激光莫尔条纹角度,对于条纹的移动能够准确的记录,也从数据记录上减少了读数误差,做到更精确.解决了激光条纹角度难以测量的问题.同时这种方法简单易行,使用的器材也

非常简易.实验中采用了程序算法,可实时输出实验结果,检验测量的准确度,并且避免了一些较为复杂的计算,减小了实验数据处理的难度,使实验简单可行且高效.

通过相对不确定度和百分误差的计算,在一定误差范围内,测量结果与公认值相差不远.实验误差主要来源于读数误差和系统误差,采取多次测量求平均值的方式,以减小实验的偶然性,并采用逐差法进行数据处理.另一方面,在实验测量中读数时,若两光栅的相对移动太快,很容易引起测量数据的误差增大,其主要原因是错数莫尔条纹引起,因而要求实验测量时,要控制好温度的上升速度.

参考文献

- 1 何春娟,刘绒霞,曹磊.莫尔条纹技术在微小位移测量中的应用.西安工业学院学报,2005(06)
- 2 李田泽,秦荫青.使用莫尔条纹对冲击场气流密度的测试.红外与激光工程,1998(02)
- 3 汪逸新.微弱振动的干涉测量方法.信阳师范学院学报(自然科学版),1992(04)
- 4 李柱峰,徐秀平.双光栅弹性模量测量实验方法.物理实验,2013(01)
- 5 白宏,荣健,王秀.光束漂移的莫尔条纹检测原理.应用光学,2007(05)

(上接第90页)

Simulation of Newton Ring Based on Matlab

Shen Huijuan Deng Liqiang Xu Xiangfu Fang Yunliang Qi Lingmin Lai Guoxia

(Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming, Guangdong 525000)

Abstract: The Newton ring interference experiment is simulated based on Matlab. In the simulation process, by changing the wavelength, the radius of curvature of a lens, the refractive index and thickness of films, the interference phenomenon of Newton's ring and its variation can be clearly observed. And the rationality of the simulation results are verified through theory, which confirmed that Matlab simulation can be used as an effective supplement to the experimental results.

Key words: simulation on matlab; newton ring interference