

基于牛顿环等厚干涉的数值分析^{*}

杨利利

(宁夏大学物理与电子电气工程学院 宁夏 银川 750021)

(收稿日期:2019-06-11)

摘 要:在牛顿环等厚干涉现象中,为了研究透镜曲率半径对于干涉圆环半径和相邻暗环或明环间距的影响,揭示干涉圆环半径和相邻暗环或明环间距随干涉级次的变化规律,通过理论计算及数值分析,表明干涉圆环半径随干涉级次单调递增,相邻暗环或明环间距随干涉级次单调递减,并且均与透镜曲率半径的大小有关。

关键词:牛顿环 等厚干涉 曲率半径 干涉圆环 数值分析

在牛顿环等厚干涉实验中,可观察到干涉条纹是以接触点为中心的一系列同心圆环,且干涉圆环明暗相间,内疏外密.若采用不同曲率半径的透镜进行实验,则观察到干涉圆环半径也不同^[1].本文重点分析不同曲率透镜下牛顿环等厚干涉圆环的半径及相邻明环或暗环的间距,获悉牛顿环等厚干涉的特点,揭示其中蕴含的规律,帮助学生正确理解实验现象。

1 牛顿环等厚干涉原理

牛顿环等厚干涉原理图如图 1(a) 所示^[2,3],一曲率半径较大的平凸透镜的凸面与平面玻璃之间形成空气薄膜.当单色平行光垂直照射牛顿环时,入射光在空气薄膜上表面部分被反射.另一部分折射后又被空气薄膜下表面反射,并与上表面反射光相遇,如图 1(b) 所示。

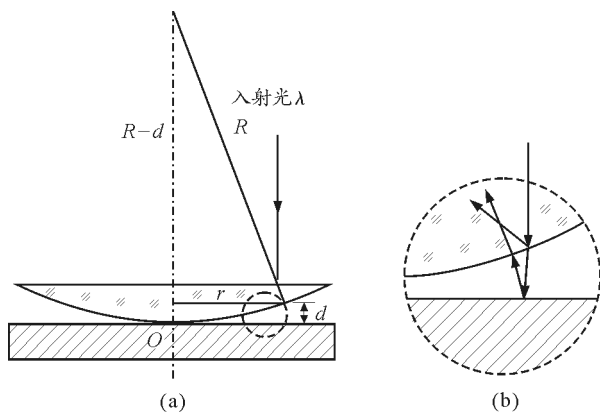


图 1 牛顿环等厚干涉原理图

若该两束反射光满足相干条件,相遇后则产生如图 2 所示的干涉图样。

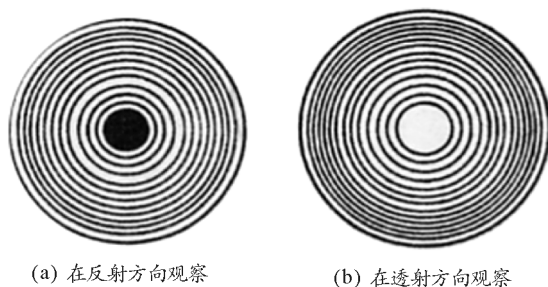


图 2 牛顿环等厚干涉图样

显然,空气薄膜厚度 d 相同的点,形成同一级干涉圆环,此时对应两束反射光的光程差为^[4,5]

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

而产生明、暗纹的条件即光程差与波长之间的关系为

$$2d + \frac{\lambda}{2} = (2k+1) \frac{\lambda}{2} \quad (k=0,1,2,\dots) \text{ 暗环} \quad (2)$$

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

2 干涉圆环半径的数值分析

若已知牛顿环仪平凸透镜的曲率半径为 R , k 级干涉条纹的半径为 r_k ,则由几何关系可得

$$r_k^2 = 2dR - d^2 \quad (4)$$

因为空气薄膜的厚度 d 远小于透镜的曲率半径 R ,即 $d \ll R$,忽略式(4)中的二阶无穷小量,可得

$$r_k^2 = 2dR \quad (5)$$

^{*} 宁夏大学自然科学基金,项目编号:ZR18014

作者简介:杨利利(1984-),男,硕士,实验师,主要从事物理实验教学以及晶硅太阳能电池工艺技术研究工作。

联立式(2)、式(3) 和式(5),并消去公式中的 d , 则形成的 k 级干涉暗纹半径 r_k 和明纹半径 r'_k 分别为

$$r_k=\sqrt{kR\lambda}\qquad(k=0,1,2,\cdots)\tag{6}$$

$$r'_k=\sqrt{(2k-1)R\frac{\lambda}{2}}\qquad(k=1,2,3,\cdots)\tag{7}$$

式(6) 和式(7) 表明,牛顿环等厚干涉圆环半径与入射光波长 λ 、透镜曲率半径 R 以及干涉级次 k 有关. 为了探究干涉圆环半径 r 与透镜曲率半径 R 之间的关系,本文采用单色钠光源,以排除不同光源的干扰^[6]. 若以干涉暗环为例,通过理论计算,利用 Origin 软件绘图,分别在不同透镜曲率半径下讨论干涉圆环半径的变化规律,如图 3 所示.

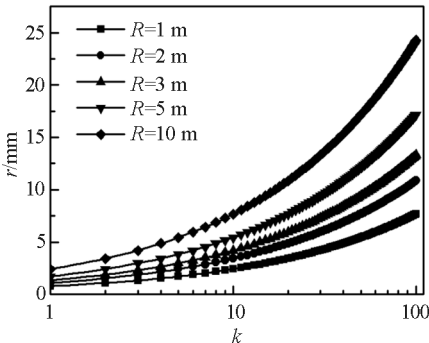


图 3 不同 R 对应干涉暗环半径随 k 的变化

由图 3 可知,对于不同曲率半径的透镜,其等厚干涉形成的圆环半径均随干涉级次 k 的增加而单调递增,且透镜曲率半径越大,干涉圆环半径增大趋势越明显;对于同一干涉级次,透镜曲率半径 R 越大,则干涉圆环半径 r 越大.

3 相邻干涉圆环间距的数值分析

从式(6) 和式(7) 可以看出,干涉圆环半径的表达式不是等差数列^[7],即干涉圆环半径 r 随干涉级次 k 的增大并非呈线性关系,图 3 也客观地证明了这一点. 这表明相邻暗环或明纹间距并不相等,根据式(6) 和式(7),可得相邻暗环间距 Δr 和相邻明环间距 $\Delta r'$ 分别为

$$\begin{aligned}\Delta r &= r_{k+1} - r_k = \\ &(\sqrt{k+1} - \sqrt{k})\sqrt{R\lambda}\end{aligned}\tag{8}$$

$$\begin{aligned}\Delta r' &= r'_{k+1} - r'_k = \\ &(\sqrt{2k+1} - \sqrt{2k-1})\sqrt{\frac{R\lambda}{2}}\end{aligned}\tag{9}$$

同样,式(8) 和式(9) 表明,牛顿环等厚干涉形

成的相邻暗环或明环间距与入射光波长 λ 、透镜曲率半径 R 以及干涉级次 k 有关. 同样以干涉暗环为例,通过理论计算,利用 Origin 软件绘图,分别在不同曲率半径下讨论干涉条纹间距的变化规律,如图 4 所示.

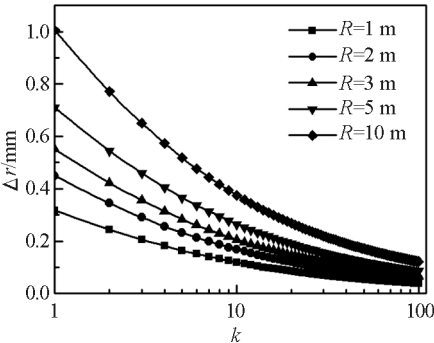


图 4 不同 R 对应相邻干涉暗环间距随 k 的变化

由图 4 可知,对于不同曲率半径的透镜,其等厚干涉形成的相邻暗环间距均随干涉级次 k 的增加而单调递减;对于同一干涉级次,透镜曲率半径 R 越大,对应相邻干涉暗纹间距 Δr 也越大;当干涉级次较小时,透镜曲率半径越大则相邻暗环间距递减趋势越明显;当干涉级次较大时,相邻暗环间距基本趋于稳定,且不同曲率透镜下的圆环间距差别甚小. 不难证明,对于牛顿环等厚干涉形成的明环,同样具有类似的规律.

4 结束语

通过数值分析,客观反映了牛顿环等厚干涉形成的条纹半径及相邻明、暗纹间距随干涉级次的变化规律,且均与平凸透镜的曲率半径有关. 从本质上理清这种变化规律,有利于学生在学习时正确理解等厚干涉的原理及特点.

参考文献

1 王筠,王翩. 牛顿环测透镜曲率半径实验的对比研究. 湖北第二师范学院学报,2015,32(8):19 ~ 23

2 杨有贞,曾建成. 大学物理实验教程. 上海:复旦大学出版社,2016. 153 ~ 154

3 高永伟,俞艳蓉. 大学物理实验. 西安:西安交通大学出版社,2018. 114 ~ 116

4 左武魁,周惟公,魏民云,等. 半波损失的形成和机理分析. 物理通报,2019(1):33 ~ 35

5 曹卫军. 薄膜干涉中半波损失与附加光程差的讨论. 昌吉学院学报,2018(6):104 ~ 109

参考文献

1 陈小平. MOOC 的发展及对高校物理课程的影响. 大学物理, 2015(8):38 ~ 40

2 http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/201504/t20150416_189454.html

3 http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s5664/moe_1623/s3843/201801/t20180112_324478.html

4 http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s5664/moe_1623/s3843/201901/t20190121_367540.html

5 郝丹. 国内 MOOC 研究现状的文献分析. 中国远程教育, 2013(11):42 ~ 50

6 郑奇, 杨竹筠. SPOC: 结合高校教学的融合创新. 物理与工程, 2014(1):15 ~ 18

7 王祖源, 张睿, 顾壮, 等. 基于 SPOC 的大学物理课程混合式教学设计与实践. 物理与工程, 2018(4):3 ~ 19

8 郭英剑. “慕课”与中国高等教育的未来. 高校教育管理, 2014(9):29 ~ 33

9 梁琳, 李雁翎. 美国高校 MOOCs 现状与问题探析. 外国教育研究, 2015(6):66 ~ 77

Attempt on Blended Teaching of MOOC Course and Campus *Univesity Physics Classroom*

Xu Hongxia Wang Shunzhi Liu Ye

(School of Fundamental Studies, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620)

Abstract: With the popularity of the internet and the improvement of the intelligence of multi-media terminals ,online study has gradually become a major study method .Blended teaching of MOOC and campus college physics courses was attempted by the author . The practice statistics may provide certain preference value for teachers developing MOOC .

Key words:MOOC; college physics course; blended teaching

(上接第 27 页)

6 商继敏, 冯学超. 不同光源对牛顿环实验现象的影响. 新乡学院学报(自然科学版), 2012, 29(6):495 ~ 496

7 刘敏敏. 牛顿环等厚干涉与迈克尔孙等倾干涉的比较. 物理通报, 2019, 38(1):17 ~ 20

Numerical Analysis Based on Equal Thickness Interference of Newton Ring

Yang Lili

(School of Physics and Electronic - Electrical Engineering, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

Abstract:In the equal thickness interference phenomenon of Newton ring, in order to study the influence of the radius of curvature of the lens on the radius of the interference rings and the spacing of the adjacent dark rings or the bright rings, reveal the variation of the radius of the interference rings and the spacing of adjacent dark or bright rings with the interference level. Through theoretical calculations and numerical analysis, shows that the radius of the interference rings increases monotonically with the interference level, and the adjacent dark rings or bright rings spacing decreases monotonically with the interference level, and both are related to the radius of curvature of the lens.

Key words:Newton ring; equal thickness interference; radius of curvature; interference ring; numerical analysis