

文章编号: 1007-2934(2019)05-0044-03

牛顿环中心暗斑对曲率半径测量的影响及实验改进

翁卫祥, 马靖, 许灿华, 吕佩伟*

(福州大学 物理与信息工程学院 福建 福州 350116)

摘要: 牛顿环中心暗斑的大小对测量得到的平凸透镜曲率半径存在较大的影响, 针对这一问题, 本文分析了其原因并对牛顿环装置进行改进。通过在平凸透镜与平板玻璃之间增加一环形薄垫圈, 使得两者之间的接触面积显著减小, 得到干涉圆环中间的暗斑也明显变小。利用改进后的装置测量得到的曲率半径接近参考值。研究结果表明增加垫圈的方法行之有效且易实现, 能够减小因暗斑大小不一致造成实验结果数据的分散性, 改善教学效果。

关键词: 牛顿环; 中心暗斑; 环形薄垫圈; 物理实验

中图分类号: O4-39

文献标志码: A

DOI: 10.14139/j.cnki.cn22-4228.2019.05.012

用牛顿环测曲率半径是理工科学生必做的大学物理实验项目, 通过该实验, 学生能够掌握等厚干涉的原理以及了解其在光学领域的广泛应用^[1-2]。大量的实验测量结果表明平凸透镜曲率半径的大小与牛顿环中心暗斑的尺寸有关, 暗斑越大则曲率半径越大^[3-6]。我们在实验教学中也发现, 学生的测量结果均大于厂家给的参考值 ($R_{\text{参}} = 855.1 \text{ mm}$), 并且测量结果数值分布范围较宽, 使得学生对实验结果存在不少疑问, 因此有必要详细分析中心暗斑带来的影响, 并对实验进行改进, 避免测量结果出现较大差异性。

1 实验原理及测量结果存在的问题分析

如图1所示, 平行单色光垂直入射到牛顿环装置, 则在平凸透镜与平板玻璃之间的空气膜上下表面的两束反射光将产生干涉, 形成一组以接触点为圆心的明暗相间的同心圆环。理想情况下, 在与接触点O相距r处, 两束反射光的光程差 Δ 为

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

λ 为入射光波的波长, d 为此处空气薄膜的

厚度^[1-3]。由于玻璃受重力作用的影响, 且实验时需用三个螺钉紧固牛顿环装置, 此时平凸透镜与平板玻璃之间不是点接触, 而是有一定的接触面积, 因此平凸透镜与平板玻璃之间存在接触压力, 对应存在弹性形变, 并且接触面积越大, 则平凸透镜的变形越大^[7-9]。

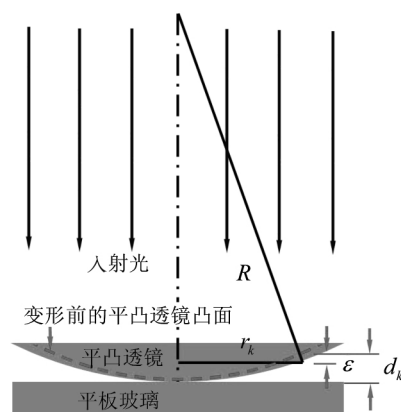


图1 牛顿环装置图

值得注意的是, 平板玻璃接触位置处也存在着弹性形变, 但其变形量远小于平凸透镜, 本文中不予讨论。理想点接触时, 平凸透镜的凸面如图1中红色虚线所示, 实际的平凸透镜则沿着凸面存在大小不一的变形。假设在距离接触中心 r_k 处平凸透镜存在一变形量 ε , 则实际的空气膜厚度变为 $d_k - \varepsilon$, 利用图1中的几何关系可得 $R^2 =$

收稿日期: 2019-05-13

基金项目: 福州大学一流本科其他教育教学改革建设经费(0360-00369825); 福建省教育厅中青年教师教育科研项目(JAT160089)

* 通讯联系人

$[R - (d_k - \varepsilon)]^2 + r_k^2$ 对此式化简,略去 d_k^2 ,得到

$$d_k = \frac{r_k^2}{2R} + \varepsilon \quad (2)$$

实验中我们是针对暗条纹进行测量,两反射光光程差满足

$$2d_k + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2} \quad (k=0, 1, 2, \dots) \quad (3)$$

将(2)带入(3)可得

$$R = \frac{r_k^2}{k\lambda - 2\varepsilon} \quad (4)$$

可见,平凸透镜凸面的弹性形变将使得曲率半径的测量结果偏大,实验测量结果也证明了这一推导结论。我们对同一牛顿环装置在不同中心暗斑直径条件下进行测量,得到的曲率半径如图2所示。可见,平凸透镜与平板之间的压力越大,则平凸透镜变形越大,接触面对应形成的暗斑直径越大,曲率半径亦将越大,这是影响测量结果的主要原因。为了消除暗斑对结果带来的影响,我们尝试选择离暗斑中心较远的干涉圆环(从第40个暗环开始)作为测量对象,计算得到曲率半径仍然普遍大于厂家给的参考值,结果表明测量级数高的条纹并不能明显消除玻璃变形对曲率半径带来的影响。

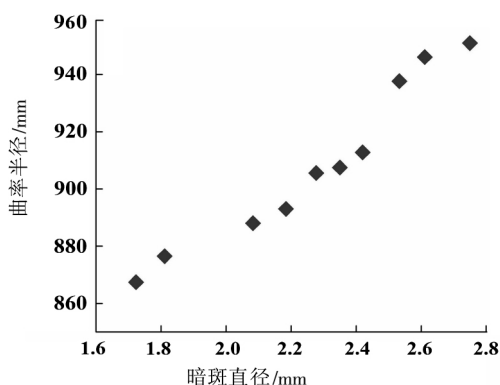


图2 牛顿环中心暗斑与曲率半径测量结果关系图

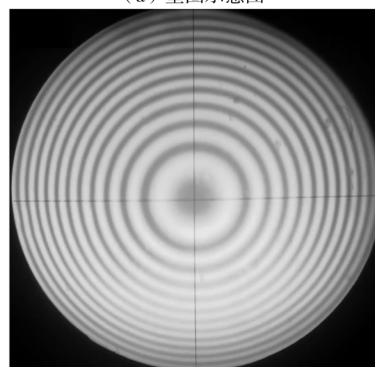
2 实验改进与结果分析

由于平凸透镜与平板玻璃外半径处存在很小的间隙,通过在平板玻璃边缘处添加一定厚度的环垫圈可以减小两块玻璃之间的接触;实践表明,垫圈直径应在36 mm,厚度0.24 mm,宽度2 mm为宜。图3(a)所示为某个牛顿环装置所加的纸环垫圈。图3(b)为加垫圈之后产生的干涉条纹,相比没加垫圈的牛顿环装置(图3(c)),加垫圈之后牛顿环中间的暗斑明显变小,可见此时平凸

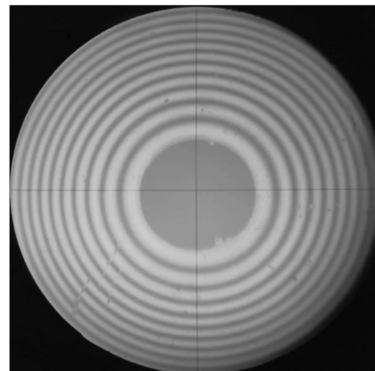
透镜与平板玻璃的接触范围缩小,与之相应的弹性变形量也减小。



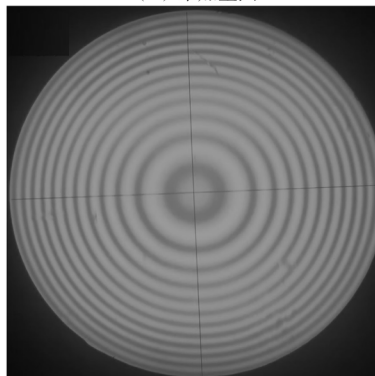
(a) 垫圈示意图



(b) 加垫圈之后,中心为暗斑



(c) 未加垫圈



(d) 加垫圈之后,中心为亮斑

图3 牛顿环装置加垫圈前后产生的干涉圆环照片

实验中同时发现 ,加垫圈之后牛顿环中心也有可能出现亮斑 ,如图 3 (d) 所示 ,此时平凸透镜凸面与平板玻璃之间存在一定的间隙 ,并且玻璃中心位置处反射光的光程差刚好为波长的整数倍 ,此时干涉条纹的中心呈现亮纹。利用图 3 (b) 的干涉图样测量曲率半径 ,数据见表 1 ,计算得到

的曲率半径与厂家给的参考值基本一致。对图 3 (d) 对应的牛顿环进行测量也能得到接近参考值的结果。因此 ,在牛顿环装置玻璃边缘添加薄垫圈能够明显减小平凸透镜与平板玻璃之间的弹性接触与弹性变形 ,从而使测量得到的曲率半径更接近参考值。

表 1 实验改进后平凸透镜曲率半径测量数据

圈数 m	显微镜位置读数 /mm		牛顿环直径 D_m /mm	圈数 n	显微镜位置读数 /mm		牛顿环直径 D_n /mm	$D_m^2 - D_n^2$ (mm) ²
	左	右			左	右		
24	32.669	26.161	6.508	18	32.165	26.660	5.505	12.05
23	32.592	26.239	6.353	17	32.071	26.749	5.322	12.04
22	32.514	26.320	6.194	16	31.972	26.841	5.131	12.04
21	32.432	26.405	6.027	15	31.870	26.949	4.921	12.11
20	32.342	26.494	5.848	14	31.765	27.068	4.697	12.14
19	32.257	26.575	5.682	13	32.165	26.660	5.505	12.05
$\overline{D_m^2 - D_n^2}$		12.07 (mm ²)		曲率半径		$\overline{R} = \frac{\overline{D_m^2 - D_n^2}}{4(m-n)\lambda} = 853.7 \text{ (mm)}$		

3 结 论

牛顿环实验中 ,干涉条纹中心的暗斑越大 ,相应的平凸透镜的变形越大 ,使得学生测量得到的曲率半径均大于标准值。通过在平凸透镜与平板玻璃之间增加一环形薄垫圈 ,能够显著减小两者之间的接触面积 ,观察到的干涉圆环中间的暗斑也相应地变小 ,测量得到的曲率半径接近参考值。结果表明增加垫圈的方法简便易行 ,能够对批量牛顿环装置进行改进。实践表明 ,所加垫圈直径应在 36 mm ,厚度 0.24 mm ,宽度 2 mm 为宜。

参考文献:

[1] 何佳清 ,霍剑青. 大学物理基础与综合性实验 [M].

北京:高等教育出版社 2018.

[2] 马靖 ,马宋设 ,施洋. 大学物理实验 [M]. 北京:高等教育出版社 2015.
[3] 周希尚 ,杨之昌. 牛顿环实验综述 [J]. 物理实验 , 1993 ,13(2) :66-69.
[4] 翁存程 ,冯尚源. 牛顿环实验的研究 [J]. 实验室科学 2017 20(2) :20-22.
[5] 褚巧燕 ,袁小燕. 牛顿环干涉实验中若干问题的讨论 [J]. 实验室科学 2015 ,18(3) :25-28.
[6] 唐勤. 对牛顿环实验教学的思考与探索 [J]. 实验技术与管理 2007 24(3) :35-36.
[7] 赵文汇 ,王茂香. 牛顿环中心明暗斑对实验测量的影响 [J]. 大学物理实验 2018 31(3) :70-74.
[8] 宋淑珍 ,张永利 ,王教方. 牛顿环中心暗斑大小对测量结果影响的研究 [J]. 大学物理实验 ,2006 ,19(3) :33-35.
[9] 刘才明 ,许毓敏. 对牛顿环干涉实验中若干问题的研究 [J]. 实验室研究与探索 2003 22(6) :13-14.

Influence of Dark Spot in Newton’s Ring on Curvature Radius Measurement and Experimental Improvement

WENG Weixiang ,MA Jing ,XU Canhua ,LV Peiwei*

(College of Physics and Information Engineering ,Fuzhou University ,Fuzhou 350116 ,China)

Abstract: The size of the dark spot in the center of Newton’s ring has a great influence on the measured radius of curvature of the plano-convex lens. In this paper ,this problem was analyzed and an improvement was made in Newton ring device. The contact area between the plano-convex lens and the plate glass is significantly reduced by adding an annular thin gasket ,and the dark spot is also reduced. The radius of curvature measured using the improved device is consistent with the standard value. The results show that the method of adding the gasket is an effective and easy way ,which can reduce the dispersibility of the experimental data and promote the teaching effect.

Key words: Newton’s ring;central dark spot;annular thin gasket;physical experiment