

牛 顿 环 实 验 误 差 分 析 及 改 进

左安友, 翁祝林, 李兴鳌

(湖北民族学院理学院 物理系, 湖北 恩施 445000)

**摘要:**详细分析了“用牛顿环测透镜的曲率半径”实验中的系统误差,发现产生较大系统误差的主要原因.提出  
了减小该实验系统误差的方法——叉丝交点对准法,结果显示新方法所产生的误差明显减小.  
**关键词:**牛顿环;曲率半径;系统误差  
**中图分类号:** O436.1      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1008-8423(2006)04-0410-03

在光学发展史上,光的干涉实验,证实了光的波动性.由同一光源发出的光,入射到透明物质界面上时,介质上下表面反射的光,在空间相遇就会形成等厚干涉条纹.牛顿环干涉是一种典型的等厚干涉现象.牛顿环实验不仅是高等院校必开的基础光学实验之一,而且在科学研究和实际生产中应用广泛.

1 问题的提出

在大学物理实验“用牛顿环测透镜的曲率半径”中,其主要目的是:观察等厚干涉现象,了解干涉条纹特点,并利用干涉原理测透镜曲率半径.实验数据的采集一般都是利用读数显微镜测出多级牛顿环暗环条纹的直径  $D_k$ ,再利用公式求出所用平凸透镜的曲率半径  $R$ .文献[1]讨论了不同的数据采集方法对测量结果  $R$  的影响;文献[2]分析了十字叉丝不能对准暗环中心  $A$  点时,引起的对准误差.但在批改学生实验报告时发现,不同的学生按相同的要求,利用同一牛顿环进行实验,而给出的曲率半径结果却相差较大.而后仔细观察学生实验发现,产生较大误差的原因除此以外主要还有以下两点:

- (1)牛顿环装置上的三个调节螺丝拧得过紧,从而使透镜发生形变(从牛顿环中心干涉斑的大小可看出),使测量结果产生较大误差.
- (2)关于调节读数显微镜“十字叉丝竖线与显微镜筒的移动方向垂直”<sup>[3~6]</sup>很难把握.没有判断的依据,仅凭学生通过自我感觉来调节,从而有的偏离“垂直”较远而给实验结果带来较大系统误差.

2 原理简述

牛顿环装置是由一块曲率半径很大(为  $R$ )的平凸透镜和一块平面玻璃所组成,如图 1 所示.在透镜的凸面与玻璃平面之间形成一个从中心  $O$  向四周逐渐增厚的空气层.当一束单色光(实验用钠光)垂直入射到装置面上时,从空气层上下两个表面反射,产生具有一定光程差的光束 1 和 2 在上表面相遇时产生明暗相间的干涉条纹.由于光程差相等的地方是以  $O$  点为中心的同心圆,因此其干涉条纹也是一组以  $O$  为圆心的明暗相间的同心圆环,称之为牛顿环.

由于从空气层下表面反射的光束 2 比光束 1 多走了二倍空气层厚度( $e$ )的距离,且在反射时具有半波损失(从光疏介质到光密介质),因而 1、2 两束光的光程差为:  $\Delta=2e+\lambda/2$

由干涉原理可知,产生暗环的条件为:  $\Delta=2e_k+\lambda/2=(2k+1)\lambda/2, k=0, 1, 2, 3, \dots$ .  
即  $e_k=k\lambda/2$ , 其中  $e_k$  为第  $k$  个暗环处空气层的厚度,  $\lambda$  为入射光波长.

由图 1 中的几何关系  $R^2=r_k^2+(R-e_k)^2$ , 而  $e_k\ll R$ , 可得:  $r_k^2=kR\lambda$   
其中  $R$  为透镜曲率半径,  $r_k$  为第  $k$  级干涉暗环半径.取环数差为  $m$  时,有透镜曲率半径公式:

$$R = (r_{k+m}^2 - r_k^2) / m\lambda = (D_{k+m}^2 - D_k^2) / 4m\lambda \tag{1}$$

其中  $D_k=2r_k$  为第  $k$  级干涉暗环的直径.

在大学物理实验“用牛顿环测透镜的曲率半径”中,一般是先用读数显微镜测量多级牛顿环暗环条纹的直径  $D$ ,再运用式(1)求出牛顿环装置中所用平凸透镜的曲率半径  $R$ .

3 主要误差分析

对于读数显微镜“十字叉丝竖线与显微镜筒的移动方向垂直”调节的问题,没有判断的依据,仅凭学生通过自我感觉来调节,从而有的偏离“垂直”较远而给实验结果带来系统误差.下面对其产生的误差进行分析,并给出解决的办法.

如图 2 所示,由于叉丝竖线与显微镜筒移动方向的不垂直,使得牛顿干涉环任意暗环  $k$  的直径  $D_k$  的实际测量值为  $L_k$ ,其关系式为:  $D_k = L_k \sin\theta$  即  $L_k = D_k / \sin\theta$  因此有:  $R = (L_{k+m}^2 - L_k^2) / 4m\lambda = (D_{k+m}^2 - D_k^2) / 4m\lambda \sin^2\theta$ .

由于  $\sin^2\theta \leq 1$ ,所以测量值  $R$  偏大,是实际值的  $1/\sin^2\theta$  倍.

对此引起的系统误差,笔者通过分析研究,找到了行之有效的同块方法.即在显微镜调节中,不必要求“十字叉丝竖线与显微镜筒的移动方向垂直”,并且只要使叉丝交点大约在干涉圆环的中心即可(要求叉丝交点与干涉圆环的中心重合也是很难把握的).然后利用叉丝交点对准待测干涉暗环,记下左右相应的读数值,从而求得干涉暗环的“直径”,但此时求得的并非直径  $D_k$ ,而是弦长  $L_k$ ,但其结果不会给透镜曲率半径的测量引进误差.原理分析如下:

如图 3 所示,  $k$  级暗环的直径  $D_k$  与弦长  $L_k$  有如下关系:  $(D_k/2)^2 = (L_k/2)^2 + b^2$ ,即  $L_k^2 = D_k^2 - 4b^2$ .

其中  $b$  为测量弦到牛顿环中心的距离,对每次调节好的装置为一定值.因此有:  $D_{k+m}^2 - D_k^2 = L_{k+m}^2 - L_k^2$

所以有:  $R = (D_{k+m}^2 - D_k^2) / 4m\lambda = (L_{k+m}^2 - L_k^2) / 4m\lambda \tag{2}$

由式(2)可知,利用弦长  $L_k$  代替直径  $D_k$  计算透镜曲率半径  $R$ ,不会产生系统误差.并且顺利地解决了读数显微镜“十字叉丝竖线与显微镜筒的移动方向垂直”无法判准而给透镜曲率半径的计算结果引进系统误差的问题.

4 减小系统误差的改进方法

(1)调节牛顿环装置上的三个螺丝:螺丝不能拧得过紧(或过松),通过观察,调到中心干涉斑为最小且又不至于松动为好,从而使透镜形变减至最小,进而将测量结果误差减至最小.

(2)将牛顿环置于读数显微镜的载物台上,调节好钠光光源.

(3)调节读数显微镜的目镜,使分划板十字叉丝最清晰,然后调节显微镜筒,找到清晰的干涉圆环.移动牛顿环装置,使叉丝交点对准干涉环中心(不要求一定对准).并调整光源使整个视场中的干涉条纹清晰可见.

(4)向左移动显微镜筒,使叉丝交点由中心向右移到待测最大级干涉暗环的较外层,再反转一直向右缓慢移动显微镜筒,使叉丝交点依次对准各待测干涉暗环条纹中心,记下对应的左右读数  $L_{k左}$ 、 $L_{k右}$ .

(5)计算出  $L_k = L_{k右} - L_{k左}$ ,再由式(2)即可求出透镜曲率半径  $R$ .

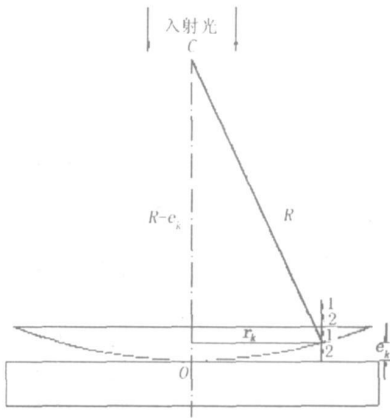


图 1 牛顿环装置及光路示意图  
Fig 1 The device of Newton's rings and the route of the rays

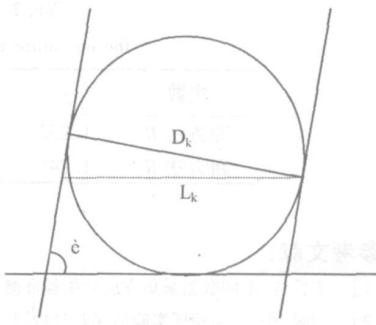


图 2 叉丝竖线与显微镜筒移动方向不垂直  
Fig 2 The moving direction of the microscope is not vertical to the upright line of the crossing lines

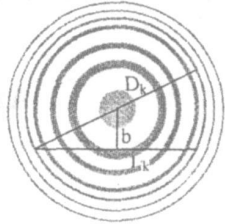


图 3 暗环直径  $D$  与弦长  $L$  的关系  
Fig 3 The relationship of the diameter of the gloomy ring ( $D$ ) and the length of the bowstring ( $L$ )

5 实验结果比较

取  $m=10$ ,  $k=6, 7, 8, 9, 10$ , 按原教材方法和改进后的方法测得实验数据如表 1 所示:

表 1 测透镜曲率半径 R 的实验数据

Tab 1		The datum of the experiment of measuring the curvature radius of a convex(R)m=10								$\lambda=5.893\times10^{-4}\text{mm}$		单位: mm	
环数		6	7	8	9	10	16	17	18	19	20		
原方法 叉丝竖 线与暗 环相切	L <sub>右</sub>	31.523	31.689	31.842	31.996	32.135	32.850	32.995	33.058	33.156	33.247		
	L <sub>左</sub>	27.272	27.108	26.952	26.800	26.665	25.952	25.844	25.736	25.641	25.545		
	L	4.251	4.581	4.890	5.196	5.470	6.898	7.111	7.322	7.515	7.702		
	L <sub>k+m</sub> +L <sub>k</sub>	11.149	11.692	12.212	12.711	13.172	——	——	——	——	——		
	L <sub>k+m</sub> -L <sub>k</sub>	2.647	2.530	2.432	2.319	2.232	——	——	——	——	——		
新方法 叉丝交 点对准 暗环	L <sub>右</sub>	31.254	31.412	31.575	31.719	31.861	32.579	32.685	32.788	32.889	32.986		
	L <sub>左</sub>	27.072	26.904	26.747	26.594	26.455	25.735	25.626	25.522	25.423	25.327		
	L	4.182	4.508	4.828	5.125	5.406	6.844	7.059	7.266	7.466	7.659		
	L <sub>k+m</sub> +L <sub>k</sub>	11.026	11.567	12.094	12.591	13.065	——	——	——	——	——		
	L <sub>k+m</sub> -L <sub>k</sub>	2.662	2.551	2.438	2.341	2.253	——	——	——	——	——		

由公式  $R=(L_{k+m}^2-L_k^2)/4m\lambda=(L_{k+m}+L_k)(L_{k+m}-L_k)/4m\lambda$  计算结果如表 2 所示.

表 2 两种方法测得透镜曲率半径 R 的对照

Tab 2 The comparison between the two methods to measuring the curvature radius of a convex 曲率半径标称值 $R_0=1.250\text{m}$ 单位: m							
次数	1	2	3	4	5	平均	相对误差
原方法 R	1.252	1.255	1.260	1.251	1.247	1.253	0.24%
新方法 R	1.245	1.252	1.251	1.250	1.249	1.249	-0.08%

参考文献:

[1] 王雅红.不同数据采集方法对牛顿环测曲率半径准确度的影响[J].物理与工程, 2005, 1(4): 36~38.  
[2] 刘鹏,张亮.牛顿环实验的误差分析[J].邢台学院学报, 2003(2): 64~65.  
[3] 吴泳华.大学物理实验(第一册)[M].北京:高等教育出版社, 2001.  
[4] 杨述武.普通物理实验(第三版 三、光学部分)[M].北京:高等教育出版社, 2002.  
[5] 周殿清.大学物理实验[M].武汉:武汉大学出版社, 2002.  
[6] 赵家风.大学物理实验[M].北京:科学出版社, 2004.

Analysis and Improvement of the Errors on the Experiment of Newton's Rings

ZUO An-you WENG Zhu-lin LI Xing-ao

(Department of Physics Hubei Institute of Nationalities Enshi 445000, China)

Abstract This paper analyzed the systematic experiment errors about “measuring the curvature radius of a convex through Newton's rings” in detail and found out the main reasons why the system the system has errors The paper proposes effective measures to reduce the errors—aiming at the intersection point of the crossing lines The result shows the new method can reduce errors considerably.

Key words Newton's rings; curvature radius; systematic experiment errors