

物理实验

一种牛顿环干涉实验数据处理新方法

花晓彬,花世群

(江苏大学 物理与电子工程学院 江苏 镇江 212013)

摘要: 基于牛顿环干涉实验中,相邻两个干涉圆环所在位置处,在竖直方向上的空气层厚度差为二分之一波长,将移动读数显微镜测得的干涉圆环直径数据作为横坐标,由干涉圆环级次差确定的空气层厚度差作为纵坐标,进而对牛顿环仪中平凸透镜球面所在的大圆方程进行拟合通过拟合,得到的大圆方程获取平凸透镜球面的曲率半径值.实验验证表明,新的实验数据处理方法所需测点少,过程简单,结果可靠.

关键词: 牛顿环; 曲率半径; 数据处理; 方程拟合

中图分类号: O 436.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-0712(2021) 07-0035-03

【DOI】10.16854/j.cnki.1000-0712.200471

牛顿环干涉不仅是大学物理理论课上薄膜干涉章节的重点讲授内容,同时,牛顿环干涉实验也是大学物理实验中重要的基础性光学实验之一,因此,吸引了许多教师和学生对该问题的研究兴趣.目前国内对牛顿环干涉的研究内容主要集中在如下3个方面: 1) 应用研究,如将牛顿环干涉仪用于测量透明玻璃或液体的折射率^[1-2]、玻璃材料弹性模量^[3]、微振动测量^[4]、单色光波长测量^[5]、应力测量^[6]和基于牛顿环干涉原理的光轴平行性校准方法研究等^[7-8]; 2) 测量方法研究,如曹佳妍、邓敏和胡解生等人分别提出在牛顿环干涉实验中最佳测量环数的选取方法和暗环直径的自动测量方法^[9-11]; 3) 数据处理方法研究,如赵纪平和徐红等人分析了牛顿环干涉实验中常用的逐差法、加权法和一元线性回归法等方法^[12,13],比较得出不同数据处理方法的优缺点.本文基于牛顿环干涉实验中,移动显微镜所测得的干涉条纹在水平方向的位置读数,再结合相邻两个干涉条纹所在位置,在竖直方向空气层厚度差为 $1/2$ 波长,巧妙获取牛顿环装置中平凸透镜球面上测点的横坐标和纵坐标,进而由拟合得到平凸透镜球面测点所在的大圆方程,求得平凸透镜球面的曲率半径值.

1 测量原理

图1所示的牛顿环干涉装置,由一个曲率半径较大的平凸透镜和一块光学平板玻璃叠合组成,位于上方的凸球面与下方平板玻璃上表面之间形成的空气薄层,在单色平行光自上而下垂直入射时,利用空气薄层上、下表面对入射光的依次反射,产生如图2所示,以平凸透镜和光学平板玻璃接触点为中心的一系列明暗交替排列的同心圆环,这些内疏外密的同心圆环可近似认为分布在平凸透镜的凸球面上.

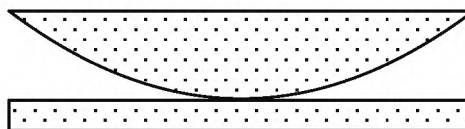


图1 牛顿环装置

在图3中,假设牛顿环平凸透镜的球面球心位于 C 点,球面的曲率半径为 R .在观测到的干涉条纹中,选取级次分别为 m 、 n 的两个圆环,设 m 级圆环的直径为 A_1A_2 ,大小记为 D_m , n 级圆环的直径为 B_1B_2 ,大小记为 D_n .则平凸透镜球面的曲率半径^[14]

收稿日期: 2020-10-15; 修回日期: 2020-11-22

基金项目: 江苏大学高级专业人才科研启动基金(14JDG173)项目资助

作者简介: 花晓彬(1993—),女,江苏海安人,江苏大学物理与电子工程学院物理实验中心助教,硕士,主要从事大学物理实验教学及激光测量与信息感知研究工作.

通信作者: 花世群, E-mail: huasq65@163.com



图2 牛顿环干涉图样

$$R = \frac{D_m^2 - D_n^2}{4(m-n)\lambda} \quad (1)$$

其中 $\lambda = 589.3 \text{ nm}$ 为钠光源波长。

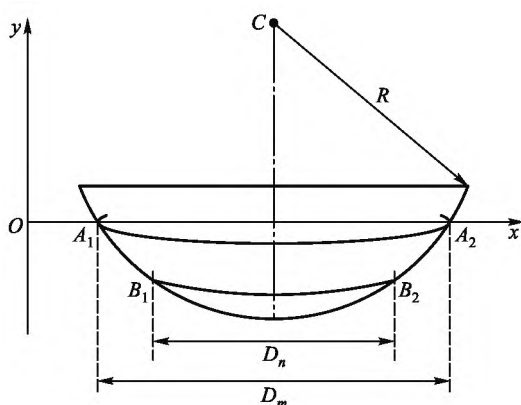


图3 平凸透镜球面大圆平面直角坐标系

现在干涉圆环直径所在的大圆平面内建立图3所示平面直角坐标系,其中 x 轴建立在干涉圆环的直径方向(即测量干涉圆环直径时读数显微镜的水平移动方向), y 轴建立在竖直向上方向。则牛顿环中平凸透镜球面在 xoy 平面内的大圆可表示为如下方程

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 = R^2 \quad (2)$$

其中 a 和 b 分别为大圆圆心(即牛顿环平凸透镜球面的球心)在图3所示平面直角坐标系中的横坐标和纵坐标。

理论上只需要测得平凸透镜球面位于图3所示平面直角坐标系上的任意3点坐标,即可利用式(2)求得牛顿环的曲率半径 R 。

若在实验中沿圆环的直径方向移动读数显微镜,依次测得图3中两个圆环直径 A_1A_2 和 B_1B_2 的四个端点 A_1 、 B_1 、 B_2 和 A_2 的位置读数,并且将结果分别作为四个测点的横坐标,分别用 x_{m1} 、 x_{n1} 、 x_{n2} 和 x_{m2} 表示。则干涉圆环直径和大圆圆心的横坐标可分别用

式(3)和(4)表示为

$$D_m = x_{m2} - x_{m1}, \quad D_n = x_{n2} - x_{n1} \quad (3)$$

$$a = \frac{x_{m1} + x_{n1} + x_{n2} + x_{m2}}{4} \quad (4)$$

令两个圆环直径 A_1A_2 和 B_1B_2 的四个端点 A_1 、 B_1 、 B_2 和 A_2 的纵坐标分别表示为 y_{m1} 、 y_{n1} 、 y_{n2} 和 y_{m2} ,则在图3所示平面直角坐标系中,有

$$y_{m1} = y_{m2} = 0 \quad (5)$$

考虑到牛顿环实验中入射光的垂直入射条件,相邻两个级次的暗环在竖直方向空气层厚度差为 $1/2$ 波长,则

$$y_{n1} = y_{n2} = -(m-n) \frac{\lambda}{2} \quad (6)$$

由上述分析可见,通过移动读数显微镜,只要依次测得两个不同级次干涉圆环直径的四个端点横坐标,再由式(5)和(6)确定的端点纵坐标,结合式(4)计算到的大圆圆心的横坐标,即可通过拟合出的式(2)求得牛顿环曲率半径的大小。

2 实验结果

为验证新方法的可行性,首先从参考文献[12]中《等厚干涉—牛顿环实验》一文中,选取了 $m = 50$ 和 $n = 25$ 两个级次的圆环测量数据: $x_{m1} = 23.678 \text{ mm}$ 、 $x_{n1} = 26.901 \text{ mm}$ 、 $x_{n2} = 42.870 \text{ mm}$ 和 $x_{m2} = 46.094 \text{ mm}$;令 $y_{m1} = y_{m2} = 0$,另由式(6)计算得到: $y_{n1} = y_{n2} = -0.00736625 \text{ mm}$ 。

基于七维高科公司提供的 1stOpt 软件平台,应用上面求到的4个测点的坐标数据,对式(2)表示的大圆进行拟合,拟合所得牛顿环曲率半径 R 为 4.20 m ,与参考文献[14]中由逐差法求得的曲率半径 4.22 m 结果吻合,两者相对误差为 0.47% 。

为进一步验证新的数据处理方法,按通常的实验操作步骤对级次 $m = 30$ 和 $n = 11$ 两级暗环进行了实际测量,实测数据见表1。将表1测量数据带入式(3)求出环直径,再由式(1)求得牛顿环曲率半径 $R = 873.92 \text{ mm}$ 。

表1 实验测量数据

级次	$m = 30$		$n = 11$	
横坐标	x_{m1}/mm	x_{m2}/mm	x_{n1}/mm	x_{n2}/mm
	21.165	29.175	22.668	27.670
纵坐标	y_{m1}/mm	y_{m2}/mm	y_{n1}/mm	y_{n2}/mm
	0	0	-0.0055984	-0.0055984

将表 1 中数据和按式(4)计算得到 $a = 25.1695 \text{ mm}$ 值一并输入 1stOpt 软件进行大圆方程拟合,拟合方程所用编写代码见图 4.

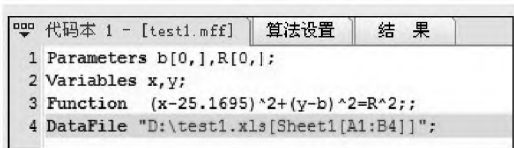


图 4 数据拟合软件代码界面

拟合结果的均方差 = 0.0001038,残差和 = 4.3091307×10^{-8} ,相关系数 = 0.9999998,曲率半径 $R = 879.45 \text{ mm}$.拟合结果与式(1)的计算结果一致,两者相对误差 0.63%.

3 结论

新方法的实验验证表明,将牛顿环干涉实验中观测到的等厚干涉圆环直径和级次数据转化为牛顿环中平凸透镜球面的大圆上的测点坐标,通过拟合大圆方程,求得牛顿环平凸透镜球面的曲率半径的方法不仅可行,而且结果可靠的.另外,新的数据处理方法不仅通过实验中体现的物理原理和思想,强化了学生对牛顿环仪等厚干涉特点的理解,还训练了学生学会用物理语言和基本的数学方法处理科学问题.

参考文献:

[1] 王玉平. 用牛顿环产生的干涉条纹测量液体的折射率[J].大学物理,2001,20(10):29-30.

- [2] 贾小文,范海英,赵云飞,等. 利用牛顿环装置测量平玻璃折射率[J].物理实验,2019,39(1):27-30.
- [3] 王必利.利用牛顿环实验测定玻璃的弹性模量[J].大学物理实验,2012,25(2):44-46.
- [4] 黄振永.反射式牛顿环系统在微振动测量中的应用[J].光学技术,2012,38(5):638-640.
- [5] 元凯,王杰,杨长通,等. 牛顿环测量单色光波长的实验研究[J].大学物理实验,2016,29(6):73-75.
- [6] 王守全.基于 MSP430 的牛顿环应力测量方法研究[D].西安:西安科技大学,2016.
- [7] 徐丹慧,唐霞辉,方国明,等.基于干涉条纹的光轴平行性校准方法研究[J/OL].光学学报,https://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1252.O4.20200615.1743.002.html.
- [8] 周国全.正交柱面透镜的椭圆(双曲)型等厚干涉条纹[J].大学物理,2016,35(7):6-11.
- [9] 曹佳妍,顾菊观,苏婷燕.牛顿环最佳测量环数的探讨[J].大学物理实验,2014,27(4):445-47.
- [10] 邓敏,赵丹,湛建飞,等.等厚干涉实验中牛顿环暗纹直径自动测量方法[J].实验技术与管理,2018,35(8):64-68.
- [11] 胡解生,向东,郭萍,等.光电等厚干涉实验仪[J].大学物理,2004,23(10):43-43.
- [12] 赵纪平,徐庆强.牛顿环实验数据处理的最佳方法[J].徐州师范大学学报(自然科学版),2001,19(4):48-50.
- [13] 徐红,宋蓓,王海军,等.牛顿环曲率半径测量的多种数据处理方法[J].延安大学学报(自然科学版),2014,33(4):26-30.
- [14] 潘人培,董宝昌.物理实验教学参考书[M].北京:高等教育出版社,1990,235-241.

A new data processing method for Newton ring interference experiment

HUA Xiao-bin, HUA Shi-qun

(School of Physics and Electronic Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu 212013, China)

Abstract: Based on Newton's ring interference experiment, the air layer thickness difference in the vertical direction between two adjacent interference rings is half wavelength. By taking the diameters of interference rings measured by moving reading microscope as horizontal coordinates, and taking the air layer thickness differences determined by the order difference of interference rings as longitudinal coordinates, the large circle equation of the planoconvex lens sphere in Newton's ring device can be fitted and used to obtain the curvature radius of the planoconvex lens sphere. The experimental results show that the new experimental data processing method needs less measuring points, the process is simple and the results are reliable.

Key words: newton ring; curvature radius; data processing; equation fitting