

牛顿环测透镜曲率半径数据分析和结果探讨

苗 琦 王明东 杨晓段 姚宏林

(装备指挥技术学院, 北京 101416)

(收稿日期: 2009-06-10; 修回日期: 2009-09-19)

摘 要 文中用 Origin 软件对牛顿环实验的数据进行线性拟合与处理, 具有简洁、快捷与直观等特点. 并讨论了所得拟合曲线的截距与牛顿环实验装置的关系.

关键词 牛顿环实验; Origin 软件; 数据处理

DATA ANALYSIS AND RESULT DISCUSSION OF THE CURVATURE RADIUS MEASUREMENT OF LENS BY NEWTON'S RING

Miao Qi Wang Mingdong Yang Xiaoduan Yao Honglin

(Academy of Equipment Command and Technology, Beijing 101416)

Abstract It is concise, rapid and visual to use the Origin software to process data of the Newton's ring experiment by linear fitting. The relationship between the intercepts of the fitting curves and the setting of Newton's ring experiment has been discussed.

Key Words Newton's ring experiment; Origin software; data processing

1 “牛顿环”测凸透镜曲率半径实验原理

牛顿环装置是在平面玻璃板上放置一曲率半径为 R 的玻璃平凸透镜 (见图 1). 两者之间形成一空气薄层. 在以接触点 O 为圆心、任意 r 为半径的圆周上, 各点的空气层厚度相等. 则经空气层上、下表面反射的二光束存在光程差, 它们在平凸透镜的凸面相遇后, 将发生干涉. 由于同一干涉环上各处的空气层厚度是相同的, 因此它属于等厚干涉. 条纹是一组以接触点为中心的明暗相间的同心圆环, 叫做牛顿环^[1~3], 如图 2 所示.

如图 1 所示, 设透镜凸面曲率半径为 R ; 所用光波长为 λ ; 设 h_k 为第 k 级暗条纹所在处空气层的厚度; r_k 为该级暗条纹的半径, 由几何定律得

$$h_k = \frac{r_k^2}{2R - h_k} \quad (1)$$

由于 $R \gg h_k$, 故

$$h_k \approx \frac{r_k^2}{2R} \quad (2)$$

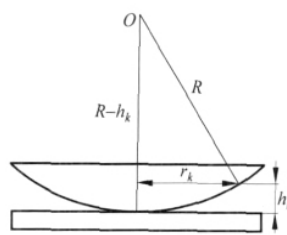


图 1 牛顿环装置图



图 2 牛顿环干涉图样

对于第 k 级暗条纹, 干涉光光程差

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

将式(2)代入式(3), 得

$$r_k^2 = kR\lambda, \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (4)$$

或

$$D_k^2 = (4R\lambda)k \quad (5)$$

根据上式, 实验中只要测出牛顿环的直径, 作出 $D_k^2 - k$ 的关系曲线, 求出斜率即可得到 R .

2 数据处理

调试好仪器,在牛顿环中心圆斑上取直径最大处,移动显微镜的十字叉丝的位置,依次使叉丝对准第 25、20、15、10、5 个暗环环纹中央,记下对应的读数.表 1 是测得的 $k=10、15、20、25、30$ 的 5 个环 10 个位置的坐标.

表 1 实验数据 单位: mm

k	暗环坐标		暗环直径 D
	左	右	
10	25.880	30.695	4.815
15	25.402	31.190	5.788
20	24.998	31.605	6.607
25	24.628	31.980	7.352
30	24.305	32.312	8.007

用 Origin 软件对实验数据进行线性拟合得到 D_k^2-k 关系曲线: $D_k^2=2.7314+2.0481k$; 曲线斜率 $a=2.0481$, 关联系数为 $\gamma=0.9999$; 即 $4R\lambda=2.0481$, 其中, $\lambda=589.3\text{nm}$, 求出平凸透镜曲率半径 $R=0.8688\text{mm}$.

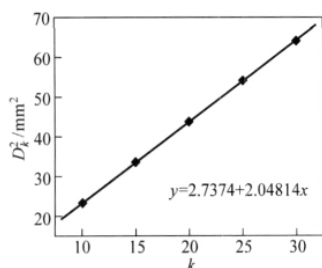


图 3 D_k^2 与 k 关系的变化

由式(5)分析可知,曲率半径 R 的不确定度的主要来源是拟合直线时产生的不确定度 $\mu(\alpha)$ 和波长的不确定度 $\mu(\lambda)$ [4], 其中

$$\mu(\alpha) = \sqrt{\frac{1-\gamma^2}{n-2}} \frac{\alpha}{\gamma} = 0.0118 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$\mu(\bar{\lambda}) = 0.3\text{nm}$$

合成不确定度为

$$\mu_c = \bar{R} \sqrt{\left[\frac{\mu(\alpha)}{\alpha}\right]^2 + \left[\frac{\mu(\bar{\lambda})}{\bar{\lambda}}\right]^2} = 0.00503 \text{ (m)}$$

当取置信概率 P 为 95% 时, $k=2$, 扩展不确定度为

$$U_{95} = k\mu_c = 0.0101$$

即, 当取置信概率为 95% 时, 测量结果为

$$R = 0.869 \pm 0.010 \text{ (m)}$$

3 结果分析

根据式(2), 如果实验十分准确, D_k^2-k 的图像是通过原点的一条直线. 由图 2 知, 由实验数据拟合出来的直线并不通过原点. 影响测量结果准确度的因素是多方面的, 这里仅从测量过程中容易产生误差的几个主要方面, 谈谈它们的影响和分析处理方法.

3.1 条纹的定位精度

在光学测量中, 只要眼睛参与了测量, 总的测量误差中, 调焦误差将是重要的一个方面. 本实验在使用读数显微镜进行测量时, 就有调焦误差存在, 应加以注意 [5]. 测量时, 将显微镜正对牛顿环. 然后调节目镜, 实际观察到的牛顿圆环中心往往是一个不大清晰的暗斑或亮斑, 使得牛顿环中心不易确定. 我们使用读数显微镜进行测量时, 显微镜视场十字叉丝常常不能准确地通过环心, 我们所测的是圆环弦长 L 而不是直径 D .

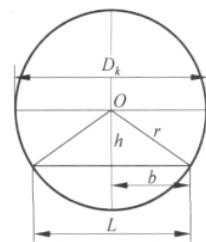


图 4 直径和弦的关系

由图 4 得, $D_k^2 = L^2 + 4h^2$, 则我们实际拟合得到的直线为

$$L^2 = 4k\lambda R - 4h^2 \quad (6)$$

其截距为 $b = -4h^2$. 拟合直线不通过原点是正常的. 由函数可知, 直线(式(5))和直线(式(6))的斜率是相同的, 故拟合直线不通过原点对测量结果无影响.

3.2 牛顿环装置调节得太紧

牛顿环装置上的三个调节螺丝, 是可以用来调节凸透镜与平面镜之间接触的位置和力度的, 当三个调节螺丝拧得过重时, 凸透镜就会发生形变; 造成它与平面镜之间不是理想的点接触, 而是一种面接触. 由于该处空气膜厚度为零, 故为一暗斑. 假如凸面其余部分不发生形变(仍保持为球面, 如图 5), 设第 k 级暗纹半径为 r_k . 对于第 k 级暗纹, 有 $2h_k = k\lambda$. 利用式(2), 可得到 $h_k + l = \frac{r_k^2}{2R}$. 则

(下转第 57 页)

下,就使得课堂变成了学生的舞台.而且还可以把课堂报告进一步整理充实完善,并当成最后的结课论文.这样不仅鼓励了自学,同时也可防止结课论文的抄袭和雷同.因为要求讲过的内容下一个学生不能再重复,鼓励学生尽早地参与.通过这种途径,不仅使学生得到了一种学习的体验,而且也有情感的体验.从开始的受挫沮丧到最终的兴奋,体验都在进行,这种体验对学生思想的成熟也是有帮助的.

总之,给本科生开设“非线性物理”课程是一个新的课题,我们的工作也仅仅是开了个头,今后还有待于进一步发展和完善.

(上接第 33 页)

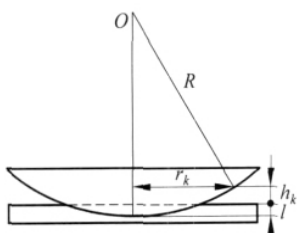


图 5 牛顿环装置调节得太紧的情况

$$r_k^2 = kR\lambda + 2lR \quad \text{即} \quad D_k^2 = 4kR\lambda + 8lR \quad (7)$$

与标准状况相比,同级条纹半径增大,这等于给中央零级暗条纹带来了一个正值的零位误差,基于最小二乘法的曲线拟合结果就出现了一个正的截距因子.但拟合曲线(式(7))和曲线(式(5))的斜率是相同的,对测量结果无影响.

3.3 牛顿环装置调节得过松

当牛顿环装置上的固定螺丝太松时,平凸透镜与平面玻璃不存在接触点,相当于平面玻璃向下平移,则空气膜厚度均匀增加 l ,这时,式(2)变为 $h_k - l = \frac{r_k^2}{2R}$. 对于第 k 级暗纹,有 $2h_k = k\lambda$. 则有

$$r_k^2 = kR\lambda - 2lR \quad \text{即} \quad D_k^2 = 4kR\lambda - 8lR \quad (8)$$

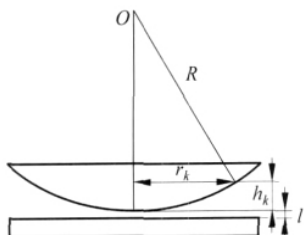


图 6 牛顿环装置调节得过松的情况

参 考 文 献

- [1] 魏诺. 非线性科学基础与应用. 北京: 科学出版社
- [2] 黄润生等. 混沌及其应用. 武汉: 武汉大学出版社
- [3] 王兴元. 复杂非线性系统中的混沌 第一版. 北京: 电子工业出版社, 2003
- [4] 大卫·吕埃勒. 机遇与混沌. 上海: 上海科技教育出版社
- [5] 孙霞等. 分形原理及其应用. 合肥: 中国科学技术大学出版社
- [6] 刘式达等. 自然科学中的混沌和分形. 北京: 北京大学出版社
- [7] 郝柏林. 从抛物线谈起——混沌动力学引论. 上海: 上海科技教育出版社

与标准状况相比,同级条纹半径缩小,即为在中央暗条纹上引入了一个负零位误差,所以 $L_k^2 - k$ 直线的截距 $b = -8lR$, 一定是负的. 同样,拟合曲线式(8)和曲线式(5)的斜率也是相同的,对测量结果无影响.

4 结 论

借助 Origin 软件用作图法对牛顿环实验的数据进行线性拟合与作图,计算过程及作图完全由计算机完成,具有简洁、快速、直观、精确等特点,避免了一些人为因素所造成的误差.

由于平凸透镜与平面玻璃之间通常不是理想的点接触,所以实验数据拟合得到的曲线往往不通过原点,根据拟合曲线在坐标轴上的截距,可以判断牛顿环实验装置的状态,截距为负,说明透镜的凸面与平面玻璃之间有间隙;若截距为正,是透镜的凸面与平面玻璃挤压所致. 根据截距 $b = 4R\Delta$,即可估算附加光程差 Δ 的值.

参 考 文 献

- [1] 姚启钧. 光学教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003. 72~73
- [2] 陈守川. 大学物理实验教程[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1995
- [3] 李允中, 潘维济. 基础光学实验[M]. 天津: 南开大学出版社, 1987
- [4] 杨述武. 普通物理实验[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000. 11~34
- [5] 梁华翰, 朱良铨, 张立. 大学物理实验[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1996