

牛顿环测平凸透镜曲率半径的研究

张春勤

(泰州职业技术学院, 江苏 泰州 225300)

摘要:牛顿环仪是一种振幅分割的干涉器件, 用来测量平凸透镜的曲率半径, 且测量精密度较高。用牛顿环测平凸透镜曲率半径是工科院校物理课程中的基本实验, 本文从理论上阐述了其实验原理, 重点分析了实验过程中的常见问题, 并提出了具体的解决方法。对学生理解实验原理, 更好地指导学生实验, 具有一定的实用价值。

关键词:牛顿环; 平凸透镜; 曲率半径

中图分类号: O3

文献标识码: A

文章编号: 1671-0142(2005)01-0067-02

牛顿环仪是一种常见的观察光的干涉现象的实验装置。用牛顿环仪可以观察到光的等厚干涉条纹, 根据干涉条纹可进行有关的测量, 如测量单色光的波长、透镜的曲率半径、检查物体表面的光洁度等。用牛顿环测平凸透镜曲率半径是工科院校物理课程中的基本实验。

1、实验原理

牛顿环仪是由一块曲率半径 R 较大的平凸玻璃透镜 B 的凸面置于一光学平面玻璃 A 上构成的, 如图 1 所示。在透镜凸面和平面玻璃间就形成一层空气薄膜, 其厚度从中心接触点到边缘逐渐增加。当平行单色光垂直照射到牛顿环仪上, 经空气层上、下两表面反射的两束光产生光程差, 它们在平凸透镜的凸面相遇产生干涉。用显微镜进行观察时, 可清楚地看到干涉图样是以接触点为中心的一系列明暗相间的同心圆环, 称为牛顿环。

在距接触点 r_k 处产生第 k 级牛顿环, 此处空气层的厚度为 e_k , 空气层上下表面反射光的光程差为 $\delta_k = 2e_k + \frac{\lambda}{2}$, 式中 $\frac{\lambda}{2}$ 是光在空气层下表面反射时产生的半波损失, 由于这一光程差是由空气薄膜的厚度决定, 所以牛顿环也是一种等厚干涉。

由几何学可知: $R^2 = r_k^2 + (R - e_k)^2$, 化简后得到 $r_k^2 = 2e_k R - e_k^2$ 。因空气薄膜的厚度 e_k 远小于透镜的曲率半径 R , 则可略去二级小量 e_k^2 , 于是有 $e_k = \frac{r_k^2}{2R}$, 所以光程差为 $\delta_k = \frac{r_k^2}{R} + \frac{\lambda}{2}$ 。由干涉条件可知, 当 $\delta_k = \frac{r_k^2}{R} + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$ 时干涉条纹为暗纹, 于是有

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

式中 k 表示干涉暗纹的级数。如果已知入射光的波长 λ , 并测得第 k 级暗条纹的半径 r_k , 可计算出透镜的曲率半径 R 。反之, 如果 R 已知, 测出 r_k 后, 就可计算出入射单色光的波长 λ 。

2、常见问题分析及解决方法

2.1 牛顿环中心为亮斑

由上讨论可知, 入射光在空气膜下表面反射时, 由于光是从光疏媒质到光密媒质垂直反射, 会产生

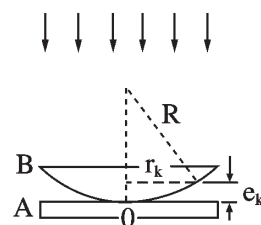


图1 牛顿环仪

半波损失,由式(1)可知,在牛顿环中心应为暗斑。而在测量时,经常会遇到牛顿环中心处不是暗斑而是亮斑,其原因在于牛顿环仪的平凸透镜与平面玻璃接触处有油污。

一般实验中平凸透镜和平玻璃的折射率是相同的,油脂或灰尘等其它原因会使二玻璃间形成间隔,间隙中介质的折射率多半小于上下二玻璃的。不管介质的折射率大于还是小于玻璃的折射率,当间隙厚度 e_0 满足:

$$2ne_0 \pm \frac{\lambda}{2} = m\lambda \quad (n \text{ 为间隙中介质的折射率}, m \text{ 取整数})$$

都会出现最亮的中央亮斑。接近满足上式时也会有亮斑,但亮度要低一些。解决的方法是将牛顿环装置进行清洗,去掉油污后,用揩镜纸轻轻揩拭。

2.2 接触点处形变或因灰尘引起附加程差

在观察牛顿环时将会发现,牛顿环中心不是一清晰点,而是一个不甚清晰暗的或亮的圆斑,从而使干涉圆环的级次很难确定,如直接测量从中心到暗环的半径,则误差较大。解决的方法是通过取两个暗条纹直径的平方差来消除附加程差带来的误差。

设附加厚度为 c ,则光程差为 $\delta = 2(e_k \pm c) + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$,即 $e_k = k\frac{\lambda}{2} \pm c$ 。将式 $e_k = \frac{r_k^2}{2R} = \frac{D_k^2}{8R}$ 代入,得暗条纹直径 $D_k^2 = 4kR\lambda \pm 8Rc$ 。取第 m, n 级暗纹,则 $D_m^2 - D_n^2 = 4(m-n)R\lambda$,可见 $D_m^2 - D_n^2$ 与附加厚度 c 无关,所以透镜的曲率半径为

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

由上式可知,已知单色光的波长 λ 、暗环的级数差 $m-n$,只要测出暗环的直径 D_m, D_n ,就能算出透镜的曲率半径 R ,这样就避免了在测量时所遇到的干涉圆环级次及中心无法确定的困难。

由于牛顿环中心位置不确定,所以圆环的直径很难准确确定。若我们测量的不是圆环直径 AB 而是弦 CD ,如图 2 所示, $r^2 = b^2 + h^2$,对第 m 环和第 n 环的 h 相同,分别有 $r_m^2 = b_m^2 + h^2, r_n^2 = b_n^2 + h^2$;又因弦长 $L = 2b$,于是有 $r_m^2 - r_n^2 = b_m^2 - b_n^2$ 和 $D_m^2 - D_n^2 = L_m^2 - L_n^2$,即直径平方之差等于弦长平方之差。因此可用弦长平方差代替直径平方差,由式(2)得 $R = \frac{L_m^2 - L_n^2}{4(m-n)\lambda}$ 。由此可见,在实验操作时不必在意同心圆环的圆心位置。

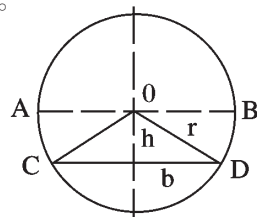


图 2 直径和弦的关系

2.3 $D_k^2 \sim k$ 图线不通过原点

同样的不必确定牛顿环的中心,实验中只要测出牛顿环的直径,通过作图法就可求出透镜的曲率半径 R 。由(1)式得到 $D_k^2 = 4kR\lambda$,式中 k 为正整数,因此 D_k^2 不是 k 的连续函数。在 k 比较大是才可近视为连续函数,作 $D_k^2 \sim k$ 曲线。如果实验装置十分准确, $D_k^2 = 4kR\lambda = ak$ 的图象是通过原点的一条直线。令 $D_k^2 = y, k = x$,则利用 $y = ax$ 拟出直线,求出斜率 a 。若已知单色光的波长,就可以由 $a = 4R\lambda$ 算出透镜曲率半径 R 的实验值。

通常在作出 $D_k^2 \sim k$ 图象后,发现直线不通过原点,其原因是平凸透镜与平面玻璃片之间不是理想的点接触,所以实际观察到的牛顿环中心往往是一个不大清晰的暗斑或亮斑。由图 2 得, $D^2 = L^2 + 4h^2$,直线 $L^2 = ak - 4h^2$ 就不可能通过原点。由函数可知,二直线的斜率是相同的。而我们通常所测的是圆环弦长 L 而不是直径 D ,直线不通过原点是正常的。 $L_k^2 \sim k$ 直线的截距 $b = -4h^2$,一定是负的,说明透镜的凸面与平面玻璃之间有间隙;若截距 b 为正时,肯定是实验装置中二玻璃受压所致。根据截距 $b = -4R\Delta$,即可估算出附加程差 Δ 的值^[2]。

3、结语

用牛顿环测平凸透镜的曲率半径,其测量精密度较高。实验中为了减少误差,应将干涉圆环的级数差 $m-n$ 取大一些,通常级数差取 $m-n=20$,则干涉条纹的相对误差就可减少近 20 倍。实验中只要测量出相隔 $m-n$ 个干涉圆环的直径(或弦长),选取相继的 5 组干涉圆环的直径,用逐差法求出直径的平方差,然后取平均值,则可获得最佳的透镜曲率半径 R 的实验值。

(下转第 71 页)

分析排除:由于发动机起动后运转正常,高、低压油路应该没有空气,可能是低压油路气密性不好所致,因而先后检查更换了输油泵、输油管、滤清器等,故障仍未根除,当拨动熄火拉杆感觉有卡滞现象,经逐一检查原来喷油泵有一柱塞偶件在极限位置有卡滞,更换柱塞副,发动机能正常起动。

参考文献:

- [1] 陈文华.汽车发动机构造与维修[M].北京:人民交通出版社,2003.
- [2] 顾尚忠,江铃.庆铃汽车 300 问[M].北京:人民交通出版社,2002.
- [3] 杜仕武,简晓春.现代柴油机喷油泵喷油器维修与调试[M].北京:人民交通出版社,2004.

Reasons of Diesel Engine Starting Hard and Fault Removing

HUANG Zhong-min

(Wuxi Transportation Technological College, Wuxi Jiangsu 214081, China)

Abstract: Diesel engine is more steady and economical than petrol engine, thus it is used widely. Breakdown reason and how to remove the fault are different from petrol engine. In this thesis, the writer talks about reasons of diesel engine starting hard and fault removing in high-pressure way, low-pressure way, character of diesel, quantity of diesel injection and injection quality. In this paper, the writer gives us many living examples to analyze.

Keywords: starting hard; high-pressure way; low-pressure way; diesel; injection valve; injection pump

(责任编辑 施 翔)

(上接第 68 页)

参考文献:

- [1] 王纪龙.大学物理[M].北京:科学出版社,2002.
- [2] 梁华翰,朱良铤,张立.大学物理实验[M].上海:上海交通大学出版社,1996.

Measuring Curvature Radius of Convexo-Plane Lens by Newton Ring

ZHANG Chun-qin

(Taizhou Polytechnical Institute, Taizhou Jiangsu 225300, China)

Abstract: This article describes the interferometry of Newton ring, analyses the common problems for measuring curvature radius of convexo-plane lens by means of Newton ring, and raises specific methods to solve the problems.

Key words: Newton ring ; convexo-plane lens ; curvature radius

(责任编辑 刘 红)