

半智能化牛顿环曲率半径的测量

曹文军

(滨州学院航空工程学院 山东 滨州 256600)

(收稿日期:2018-04-03)

摘要:使测量牛顿环变得简便、快速、高效;系统自动储存所测数据并在液晶显示屏上显示,省去繁琐的数据记录过程,节省时间、节约纸张,而且方便观察和浏览数据;角编码器进行测量距离,CMOS进行采集图像,光敏模块进行识别条纹,将条纹数传给单片机,单片机进行计数,通过系统所测数据自动计算牛顿环半径,优化了实验步骤,避免了由于计算失误而导致的误差;同时设计断电自动保存数据,免去因线路故障丢失数据.故此种方法可以引入大学物理实验,有利于实验教学.

关键词:32 单片机 CMOS 无线通信 自动处理数据

1 引言

牛顿环实验是一个典型的等厚干涉实验,是光学基础性实验.通过实验观察等厚干涉现象,理解等厚干涉的原理和特点^[1],学习用牛顿环测定透镜曲率半径的方法.实验过程需要使用读数显微镜,利用逐差法处理数据.在传统的牛顿环曲率半径测量实验中使用光学显微镜对干涉环进行观察.但是读数显微镜视场范围较小,要实现精确的测量,一般需要测量几十环的直径.因此,在牛顿环数目测量的过程中,非常容易出现因为眼疲劳而导致的误差,而且有可能造成回程误差,这些往往是实验者花费较长实验时间和出现人为测量误差的主要原因.曲率半径是决定光学特性的重要参量,所以需要精确.本文采用遥控系统进行半智能化测量牛顿环,系统自动储存所测量的各项数据并且在液晶屏上显示,使测量高效、准确、减少眼疲劳.同时装置上保留原来的手动测量装置,可以锻炼学生动手能力.

2 实验原理

牛顿环装置是由一块曲率半径较大的平凸玻璃透镜,和一块平面玻璃片构成的曲率半径测量仪器.

平凸透镜的凸面与玻璃平板之间形成一层空气薄膜,其厚度从中心接触点到边缘逐渐增加^[2].若用平行单色光垂直照射牛顿环装置,则空气层上下表面反射光程差,发生干涉.干涉图样为以玻璃触点为中心的明相间的圆环,这种等厚同心环形干涉条纹称为牛顿环.装置如图1所示^[4].

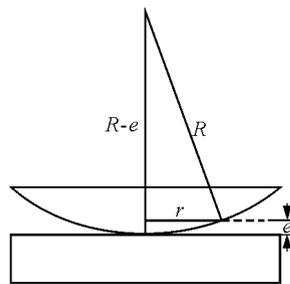


图1 牛顿环装置

设置平凸透镜的曲率半径为 R ,入射光的波长为 λ ,与接触点相距 r 处空气薄膜的厚度为 e ,在入射光 λ 已知的情况下,测出第 m 和 n 级暗环或明环的半径,可求得曲率半径 R

$$R = \frac{r_m^2 - r_n^2}{(m - n)\lambda} \quad (1)$$

由于暗环中心的位置不是理想的点,通过测量半径计算曲率半径会产生较大的误差,因此采用直

作者简介:曹文军(1996-),男,在读本科生.

通讯作者:郭洪岩(1968-),女,硕士,实验师,主要从事物理学、光学的实验教学及实验室管理工作.

径测量的方式,公式改写为

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

由于波长已知,只需测量第 m 和 n 级暗环的直径就可计算平凸透镜的曲率半径。

3 实验设计方案

本次改进装置是由 32 单片机、无线通信模块、光敏电阻模块、步进电机、角编码器、液晶屏组成,采用红外无线通信作为人机交换的媒介,控制整个测量牛顿环的系统;单片机通过红外解码向系统传递所测数据信息,并且在液晶显示屏上显示环数及所对应的半径、系统状态;步进电机驱动与 STM32 单片机信号线连接,使用者通过无线遥控器进行操作,获得使用者的指令,做出相应反应(前进后退暂退)。编码器与步进电机之间以柔性联轴器连接^[5],将位移转换成周期性的电信号,变成计数脉冲,用脉冲个数表示位移。CCD 摄像头在显微镜目镜位置,进行图像采集并显示在电脑屏幕上。每测量一个数据,即可在与 STM32 单片机相连的液晶显示屏上显示并保存。整个实验测量完数据后,系统将自动计算牛顿环半径并在液晶显示屏上显示。

3.1 单片机

STM32 系列高处理速度产品是 ST 公司近几年生产的一系列用来取代 51 和所有低端单片机的新型处理器,内置资源丰富,集成 12 位 AD 和两路高级定时器,运算速度较快,所以选择使用 32 单片机。

3.2 步进电机

步进电机也称脉冲电动机,它是一种将电脉冲

信号转变为角位移或线位移的执行电动机,它一般用作于开环控制系统的执行装置,当步进驱动器接收到一个脉冲信号,它就驱动步进电机按设定的方向转动一个固定的角度(及步进角)您可以通过控制脉冲个数来控制角位移量,从而达到准确定位的目的;同时您可以通过控制脉冲频率来控制电机转动的速度和加速度,从而达到调速的目的。所以最后采用单片机控制步进电机及驱动器。

3.3 编码器

增量式编码器是将位移转换成周期性的电信号,再把这个电信号转变成计数脉冲,用脉冲的个数表示位移的大小。编码器是把角位移或直线位移转换成电信号的一种装置。这样有效地避免回程误差。

3.4 光敏电阻传感器模块

采用灵敏型光敏电阻传感器,信号干净,波形好,驱动能力强,配着可调电位器可以进行调节光线亮度,适应性强,可调节。光敏电阻 DO 输出端与单片机直接连接,通过单片机来检测高低电平,来检测黑暗条纹,进行牛顿环环数的计算。



图2 实验仪器

4 实验数据

改进前的数据如表 1 所示。

表 1 改进前的数据

环数 / m	$X_L /$ $\times 10^{-3} \text{ m}$	$X_R /$ $\times 10^{-3} \text{ m}$	D_m $\times 10^{-3} \text{ m}$	环数 / n	$X_L /$ $\times 10^{-3} \text{ m}$	$X_R /$ $\times 10^{-3} \text{ m}$	D_n $\times 10^{-3} \text{ m}$	$(D_m^2 - D_n^2) /$ $\times 10^{-6} \text{ m}^2$
55	29.765	18.931	10.834	30	28.417	20.278	8.139	51.132
50	29.526	19.110	10.416	25	28.177	20.013	7.463	52.797
45	29.263	19.429	9.834	20	27.725	20.963	6.762	50.982
40	28.998	19.692	9.306	15	27.299	21.388	5.911	51.660
35	28.701	19.972	8.729	10	26.822	21.856	5.017	51.025

令 $D_m^2 - D_n^2 = M$

$\bar{M} =$

$$\frac{51.132 + 52.797 + 50.982 + 51.660 + 51.025}{5} \times$$

$$10^{-6} \text{ m}^2 = 51.519 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

曲率半径的最佳值

$$S_M = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2}{n-1}} =$$

$$\sqrt{\frac{(51.132 - 51.519)^2 + (52.797 - 51.519)^2 + (50.982 - 51.519)^2 + (51.660 - 51.519)^2 + (51.025 - 51.519)^2}{5-1}} \times$$

$$10^{-6} \text{ m}^2 = 0.29 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

B 类不确定度

仪器误差

$$\Delta_{\text{仪}} = 5 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$\Delta_{D_m} = \Delta_{D_n} = \sqrt{\Delta_{\text{仪右}}^2 + \Delta_{\text{仪左}}^2} = \sqrt{2} \Delta_{\text{仪}} =$$

$$\sqrt{2} \times 5 \times 10^{-6} \text{ m} = 7 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$\Delta_{BM} = \Delta_{(D_m^2 - D_n^2)} = \sqrt{(2D_m \Delta_{D_m})^2 + (2D_n \Delta_{D_n})^2} =$$

$$\sqrt{(2 \times 10.834 \times 0.007)^2 + (2 \times 8.139 \times 0.007)^2}$$

$$\times 10^{-6} \text{ m}^2 = 0.19 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

注： D_{m0}, D_n 取值最大值， $D_m = D_{55} = 10.834 \times$

$10^{-3} \text{ m}, D_n = D_{30} = 8.139 \times 10^{-3} \text{ m}$

所以

$$\Delta_M = \sqrt{S_M^2 + \Delta_{BM}^2} =$$

$$\sqrt{(0.29)^2 + (0.19)^2} \times 10^{-6} \text{ m}^2 = 0.35 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

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

$$\frac{51.519 \times 10^{-6}}{4 \times 25 \times 5.893 \times 10^{-7}} \text{ mm} = 0.8743 \text{ m}$$

A 类不确定度

故

$$\Delta_R = \frac{\Delta_M}{4(m-n)\lambda} =$$

$$\frac{0.35 \times 10^{-6}}{4 \times 25 \times 5.893 \times 10^{-7}} \text{ m} = 6.0 \times 10^{-3} \text{ m}$$

实验结果

$$R = \bar{R} \pm \Delta_R = (8.743 \pm 0.060) \times 10^{-1} \text{ m}$$

相对不确定度

$$E_{\bar{R}} = \frac{\Delta_R}{\bar{R}} = \frac{6.0 \times 10^{-3}}{874.3 \times 10^{-3}} \times 100 = 0.68\%$$

百分差

$$E_R = \left| \frac{\bar{R} - R_{\text{标}}}{R_{\text{标}}} \right| \times 100\% =$$

$$\frac{(874.3 - 855.1) \times 10^{-3}}{855.1 \times 10^{-3}} \times 100\% = 2.3\%$$

改进后的实验数据如表 2 所示。

表 2 改进后的实验数据

环数 / m	$X_L /$ $\times 10^{-3} \text{ m}$	$X_R /$ $\times 10^{-3} \text{ m}$	D_m $\times 10^{-3} \text{ m}$	环数 / n	$X_L /$ $\times 10^{-3} \text{ m}$	$X_R /$ $\times 10^{-3} \text{ m}$	D_n $\times 10^{-3} \text{ m}$	$(D_m^2 - D_n^2) /$ $\times 10^{-6} \text{ m}^2$
55	31.255	20.471	10.784	30	29.873	21.784	8.089	50.864
50	31.023	20.698	10.325	25	29.535	22.122	7.413	51.649
45	30.816	20.852	9.964	20	29.126	22.204	6.922	51.372
40	30.527	21.256	9.271	15	28.743	22.809	5.934	50.743
35	30.206	21.572	8.634	10	28.379	23.551	4.828	51.237

实验结果

$$R = \bar{R} \pm \Delta_R = (8.683 \pm 0.046) \times 10^{-1} \text{ m}$$

相对不确定度

$$E_{\bar{R}} = \frac{\Delta_R}{\bar{R}} = \frac{4.6 \times 10^{-3}}{868.3 \times 10^{-3}} \times 100 = 0.53\%$$

“逐差法”不仅可以求加速度

李伟康 朱小勤

(芜湖市第一中学 安徽 芜湖 241000)

(收稿日期:2018-04-08)

摘要:“逐差法”是求匀变速直线运动加速度最常用的方法,经过不断强化使用,教师和学生已经耳熟能详。然而,对“逐差法”的内涵和外延,很多学生却较为陌生。本文将就这一问题展开分析讨论,并给出其拓展应用。

关键词:逐差法 加速度 劲度系数 电池组 内阻

1 “逐差法”的内涵和意义

【例1】(2006年高考重庆卷第22题)某同学用如图1所示装置测量重力加速度 g ,所用交流电的频率为50 Hz,在所选纸带上取某点为0号计数点,然后每3个点取一个计数点,所有测量数据及其标记符号如图2所示。该同学用两种方法处理数据(T 为相邻两计数点的时间间隔):

$$\text{方法 A: 由 } g_1 = \frac{S_2 - S_1}{T^2}, g_2 = \frac{S_3 - S_2}{T^2}, \dots,$$

$$g_5 = \frac{S_6 - S_3}{T^2}, \text{取平均值 } \bar{g} = 8.667 \text{ m/s}^2;$$

$$\text{方法 B: 由 } g_1 = \frac{S_4 - S_1}{3T^2}, g_2 = \frac{S_5 - S_2}{3T^2}, g_3 =$$

$$\frac{S_6 - S_3}{3T^2}, \text{取平均值 } \bar{g} = 8.673 \text{ m/s}^2.$$

百分差

$$E_{\bar{R}} = \left| \frac{\bar{R} - R_{\text{标}}}{R_{\text{标}}} \right| \times 100\% =$$

$$\frac{(868.3 - 855.1) \times 10^{-3}}{855.1 \times 10^{-3}} \times 100\% = 1.5\%$$

5 创新点

(1) 通过无线设备遥控测量牛顿环,使系统简便且易于操作。

(2) 对于实验中的条纹数目是经过CMOS镜头,将条纹清晰地显示在电脑屏幕上,利用光敏模块进行计数条纹。系统可记录每环数据并在液晶显示屏上显示,避免繁琐的数据记录过程,减少眼疲劳,方便浏览。

(3) 利用角编码器进行测量位移,这样就可以避免回程误差。

(4) 系统通过所测数据自动计算牛顿环半径,优化了实验步骤,提高了准确度,减少了误差。

(5) 断电自动保存实验所测数据,免去因线路故障丢失数据。

6 结论

改进后的装置与原装置相比,百分差由2.3%降为了1.5%,误差减少了0.8%,相对不确定度由0.68%降为0.53%。改进后优化了实验步骤,系统简便且易于操作,减少眼疲劳带来实验误差,有效避免了回程误差,实验数据更加准确,效率高效。

参考文献

- 1 吴福根,周誉昌.大学物理实验.北京:高等教育出版社,2007.99~105
- 2 马国利,郭洪岩,刘伟波.大学物理实验教程.东营:中国石油大学出版社,2010.79
- 4 姚启钧.光学教程.北京:高等教育出版社,2002.72~78
- 5 毕海,李国栋,李永新,等.绝对式旋转编码器用于线位移测量的研究.传感器技术,1998(6):238~256