



巧用智能手机精测激光波长

云书涵¹,王馨雨²,吴婷²,徐艺林²,孔伟金²

1. 山东省青岛市第二中学,山东 青岛 266071

2. 青岛大学物理科学学院,山东 青岛 266071

摘要:利用人眼观察干涉条纹变化数目的方法被广泛应用于光学有关实验中。为解决迈克尔逊干涉仪测定激光波长的实验中因人眼观察条纹吞吐数目容易误读的问题,巧用智能手机光传感器感应干涉条纹中心点的明暗变化,自动实时记录数据,生成“亮度-时间”图像,通过数图像中波峰或波谷个数的方法精确得到干涉条纹的变化数目,最终精确测出激光波长。这种方法与利用人眼进行观察的方法相比,不仅解决了实验者视觉疲劳的问题,而且提高了实验结果的精确度。

关键词:迈克尔逊干涉仪;条纹变化数目;激光波长;智能手机;光传感器

中图分类号:G633.7

文献标识码:A

文章编号:1003-6148(2019)2-0046-3

迈克尔逊干涉仪是利用分振幅法产生双光束干涉的一种精密光学仪器,可用来测量空气折射率^[1]、金属丝的杨氏模量^[2]、线膨胀系数^[3]、激光波长^[4]等。利用迈克尔逊干涉仪测量激光波长的实验中,需要在暗室环境中缓慢转动微调手轮,通过人眼观察干涉圆环中心冒出(或缩入)的干涉条纹数目,并记录动镜的位置读数,然后根据条纹变化数、光程差和光波长之间的关系计算出所用激光的波长。但是,暗室条件下人眼观察干涉条纹的吞吐数目容易产生视觉疲劳,导致漏数或重数从而产生误差。另外,长时间紧盯着高亮度的激光干涉条纹对视力也有一定程度的损伤。

为此,本文巧用智能手机光传感器实时感应干涉条纹中心点的明暗变化,绘制出“亮度-时间”变化图像,通过数其波峰或波谷的个数来准确得到条纹变化的数目,从而实现精确测定 He-Ne 激光波长的目的。这种方法既避免了人眼观测产生视觉疲劳而导致的误差,使得实验结果更为精确,又使实验操作更为简单轻松,还减少了对学生视力的损伤以及暗室、防震等多种实验条件的限制。此外,本文所述方法的灵活度极高。教材所述需每次实验中的条纹变化数目均为一固定值

50,以减小人眼观察条纹变化数目时所产生的误差。而本文巧用手机光传感器实时记录光强变化,在实验过程中条纹变化数目不需如教材中所述必须为固定值。同时,光程变化亦很灵活,可由实验者自行设置。

1 实验原理

迈克尔逊干涉仪光路图如图 1 所示,激光器发出激光,经扩束器和分束器分为两束光,光束 2 经定镜 M_2 反射,光束 1 经可动镜 M_1 反射,最终在观察屏 E 处相遇发生干涉,产生干涉条纹。反射镜 M_1 的移动采用蜗轮蜗杆传动系统,转动粗调手轮可以实现粗调。 M_1 移动距离的毫米数

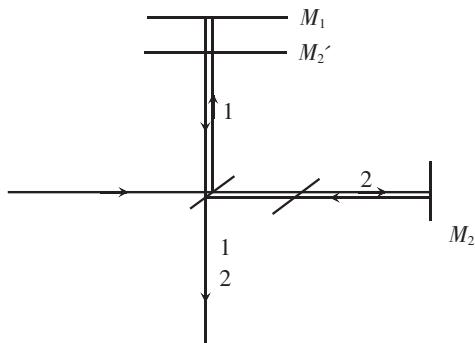


图 1 迈克尔逊干涉仪光路图

收稿日期:2018-10-15

基金项目:本文为山东省重点教学改革项目(No. 2015Z042)、教育部高等学校物理类专业教学指导委员会资助课题(No. JZW-16-DD-07)、山东省高等学校省级精品课程(No. 2012-111)资助项目的研究成果。

通讯作者:孔伟金(1976-),男,教授,主要研究方向为教育管理及微纳光子学。

可在机体侧面的毫米刻度尺上读得。通过读数窗口,在刻度盘上可读到 0.01 mm; 转动微调手轮可实现微调,微调手轮的分度值为 1×10^{-4} mm,可估读到 10^{-5} mm。迈克尔逊干涉仪如图 2 所示。



图 2 迈克尔逊干涉仪

本实验用 He-Ne 激光器作为光源, 激光通过短焦距透镜汇聚成一个强度很高的点光源 S , 射向迈克尔逊干涉仪, 点光源经平面镜 M_1, M_2 反射后, 相当于两个点光源发出的相干光束。只要观察屏放在两点光源发出光波的重叠区域内, 就能看到干涉现象, 故这种干涉称为非定域干涉。两相干光束的光程差为 M_1, M_2' 间距 d 的 2 倍, 当 d 增加时, 可看到圆环从中心一个个“冒”出; 反之当 d 减小时, 圆环向中心一个个“缩”进去。当 d 每改变 $\lambda/2$ 距离, 圆心就冒出或缩进一条条纹^[5]。若 M_1 的移动距离为 Δd , 相应冒出或缩进的干涉条纹数为 N , 则有:

$$\Delta d = N \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

则可得激光波长:

$$\lambda = \frac{2\Delta d}{N} \quad (2)$$

因此, 只要记录 M_1 的移动距离 Δd 和期间干涉条纹的吞(吐)数目 N , 即可计算出 He-Ne 激光的波长。

2 实验与手机光传感器的结合

随着高科技的发展, 智能手机不仅成为我们日常生活的必需品, 而且因其配置有光、声、磁及加速度等多种传感器, 使其功能不再局限于通讯, 还可以用于实验测量来提高精度及实验者的兴趣。

在手机上下载安装一款由英国开放大学提供的可实时记录一种或多种传感器数据并生成图像的 Sense-it 软件^[6], 利用智能手机光传感器实时感应迈克尔逊干涉条纹中心点的明暗变化,

实时记录数据,生成“亮度-时间”图像。详细的做法是^[7]:首先在“Share”界面创建一个项目, 选中该项目并点击“Record”进入记录界面, 然后再点击“+”添加光传感器, 设置采集数据的频率为每秒 5 个数据, 最后点击“Start”开始记录。实验结束后可在“Share”中点击“Data viewer”, 查看已生成的“亮度-时间”图像, 通过数图像中波峰或波谷的数目来确定干涉条纹的吞(吐)数目 N , 再根据记录的 Δd 计算出 He-Ne 激光的波长。

3 实验步骤

(1) 调节迈克尔逊干涉仪, 直至观察到明显的倾干涉条纹(如图 3)。

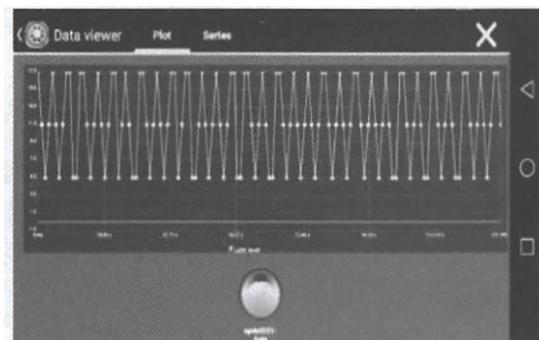


图 3 迈克尔逊干涉仪的观测图

(2) 读数并记录初始时刻的值。将毫米刻度尺、刻度盘以及侧面微调手轮的数值读出并相加即得初始时刻值。

(3) 将智能手机放置在观察屏上。注意将手机光传感器(通常是前置摄像头旁边的小黑点)对准干涉条纹的中心点。转动微调手轮改变 M_1, M_2' 的间距 d , 同时点击“Start”开始采集(通常先打开手机采集信息,再开始转动微调手轮)。

(4) 确定并记录干涉条纹的吞(吐)数目 N 。数出手机上图像的波峰或波谷数(如图 4), 即为干涉条纹的变化数目 N 。

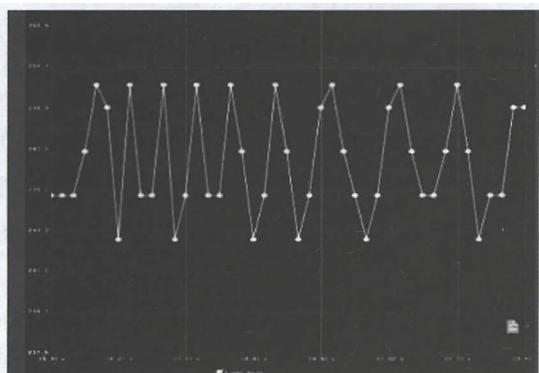


图 4 实验记录图像

(5) 读出并记录此时的 d 值, 再计算出改变

量 Δd 。

(6) 重复上述步骤,多次进行实验。

4 数据处理及误差分析

4.1 数据处理

将实验过程中记录的 Δd 和 N 值代入(2)式,计算出波长(见表 1),并将多次测量所得的结果取平均值以减小误差。

表 1 实验所测数据

M_1 移动距离 Δd (μm)	9.60	12.78	10.48	9.79	12.10
条纹变化数目 N	30	41	33	31	38
对应的光波长 λ (\AA)	6400	6234	6352	6316	6368

由表 1 计算出 He-Ne 激光波长 $\bar{\lambda}=6334 \text{ \AA}$,查阅相关资料知 He-Ne 激光波长的标准值为 $6328 \text{ \AA}^{[8]}$,故相对误差为 0.09%。根据计算结果可知,本实验方法相对误差较小,说明巧用手机光传感器可以精确测定 He-Ne 激光波长。

4.2 误差分析

分析本实验误差的来源主要有以下几点:

(1) 软件采集数据的滞后性。为尽量减小其带来的误差,应将数据采集率设置更高,但又要避免因采集率设置更高而更加灵敏、抗干扰能力更弱所带来的误差。

(2) 读数产生的不可避免的误差。主要包括由窗口刻度读出的粗调数值和由侧面微调手轮读出的微调数值,人眼在估读侧面微调手轮的最后一位示数时会有主观因素产生的误差。

(3) 不是严格的等倾干涉条纹引入的误差。实验过程中两反射镜不一定严格垂直,此时形成的不是严格的等倾干涉条纹,运用公式(1)就会对测量的波长引入误差。

5 结论

本实验巧用智能手机光传感器实时感应干涉条纹中心点的明暗变化,并绘制出“亮度-时间”变化图像,通过数图像中波峰或波谷个数的方法来得到干涉条纹的吞(吐)数目,从而更加精确地测出激光波长,相对误差降低为 0.09%。与传统的迈克尔逊干涉仪测量波长的方法相比:

(1) 该实验过程中,无需通过人眼观察条纹数目变化,不仅避免了因人眼观测产生视觉疲劳

而导致的误差,提高了实验精度,还减少了高亮度激光对学生视力的损伤。

(2) 灵活性极高,教材所述每次实验中的条纹变化数目均为一固定值 50,以减小人眼观察条纹变化数目时所产生的误差。而本文由于巧用手机光传感器实时记录光强变化,所以在实验过程中条纹变化数目不需如教材中所述必须为固定值。同时,光程变化亦很灵活,可由实验者自行设置。

(3) 克服了现有实验必须在暗室环境下操作的限制,巧用手机光传感器使该类实验在一般光强条件下即可进行,而且结果更加精确。

(4) 利用手机光传感器的高灵敏度还可以减少实验过程中外界微小震动等干扰而产生的误差,使结果更精确。

(5) 将实验与智能手机结合,不仅使实验操作更为简单轻松,大大提高学生的兴趣,更重要的是可以提高实验的精度。

本文所述方法的推广度极高,除可测激光波长外,还可在微小膜厚的测量、透明液体折射率的测量、金属线膨胀系数及杨氏模量测量等多个实验中采用,具有很好的推广应用前景。

参考文献:

- [1] 杭乐斌,李雪梅.迈克尔逊干涉仪测量空气折射率实验中最佳间隔条纹数的探讨[J].大学物理实验,2017,30(5):70-73.
- [2] 李儒颂,叶文江.金属丝杨氏模量测量装置的设计[J].大学物理实验,2014,27(5):51-53.
- [3] 候俊江,崔景闻,林峰,等.用迈克尔逊干涉仪测量金属的线膨胀系数[J].大学物理实验,2016,29(6):81-82.
- [4] 王小怀,李卓凡.迈克尔逊干涉仪测波长的一种便捷方法[J].大学物理实验,2014,27(5):47-50.
- [5] 赵凯华.光学[M].北京:高等教育出版社,2004:126-127.
- [6] Sharples M, Aristeidou M, Villasclaras -Fernández E, et al. Sense -it: A Smartphone Toolkit for Citizen Inquiry Learning [EB/OL]. http://dx.doi.org/doi:10.1007/978-3-319-25684-9_27.2015.03.12/2018.10.14.
- [7] 张余梦,丁益民,蒋富丽,等.巧用智能手机光传感器测量金属的线膨胀系数[J].大学物理实验,2018,31(3):39-41.
- [8] 杨运升,杜凯,吴家根,等.迈克尔逊干涉仪条纹采集和波长测量装置设计[J].微型机与应用,2013,32(17):14-15.

(栏目编辑 王柏庐)