

基于马赫-曾德尔干涉法测量物体的线膨胀系数^{*}

黄珍献 黄书彬 靳珍珍 张田苇 姚金涛 丁晓宇

(天津商业大学理学院物理系 天津 300134)

(收稿日期:2017-12-05)

摘要:基于马赫-曾德尔干涉原理,来测量物体线膨胀系数.将光路中的一个平面镜与被测物体固定接触,物体受热后产生的线膨胀量带动平面镜移动,引起光程差的变化.通过观察条纹的变化,从而实现物体线膨胀系数的测量.该方法光路简单,易操作,与迈克尔孙干涉测量法相比条纹数变化少,更易于学生的观察.

关键词:马赫-曾德尔干涉 线膨胀量 线膨胀系数 迈克尔孙干涉

物体的线膨胀系数是材料热学性能的重要参数之一,是材料性能的一项重要指标.随着科学技术的发展,在很多精密加工和高精度的材料测试中,样品受热后产生的线膨胀量需要精确的测定.由于线膨胀量很小,所以很难直观地测量出来.目前所采用的主要方法有望远镜直读法、电子膨胀仪和光学测量法^[1~6].由于前两种方法所采用的仪器价格较高,测量误差较大,所以在高精度的测量中不适合使用.本论文基于光学测量法,采用的是马赫-曾德尔干涉仪的光路图^[7].将受热被测物体与光路图中一个平面镜固定接触,当被测物体受热后,产生的线膨胀量带动平面镜移动,从而改变两束光的光程差,引起干涉条纹的变化.通过观察条纹的变化,可以得出光程差的变化量.根据光程差和线膨胀量的关系,进而实现物体线膨胀系数的测量.

本论文是大学生创新创业训练项目内容,用到的理论知识是光学中干涉的部分.通过对线膨胀系数测量的分析,将难以测量的线膨胀量转换为对应的光程差变化的测量,体现了学生对干涉原理及应用这一部分内容掌握的程度,同时提高了学生利用所学理论知识解决实际测量的能力.论文对马赫-曾德尔干涉光路进行了重新的调整,进行了原理的分析,实验验证结果证明该方法可以实现物体线膨胀系数的测量.

1 原理分析

如图1所示, M_1 和 M_2 为一对平行放置的平面

反射镜,平面镜 M_1 与受热物体固定接触. BS_1 和 BS_2 为一对平行放置分束镜,且与两个平面镜平行,与入射光束成 45° 夹角放置.光源选取氦氖激光器,波长为 632.8 nm ,出射的光束经过扩束镜和空间滤波器后照射到准直透镜上,然后照射到分束镜 BS_1 上.一束光经过分束镜 BS_1 反射后照射到反射镜 M_2 上.另一束光透过分束镜 BS_1 照射到反射镜 M_1 上.两束光经过 M_1 和 M_2 反射后通过 BS_2 后照射到观察屏上,形成相干的同心圆环.当物体受热后产生线膨胀量,带动平面镜 M_1 移动,两束反射光光程差发生变化,从而引起干涉条纹的变化.

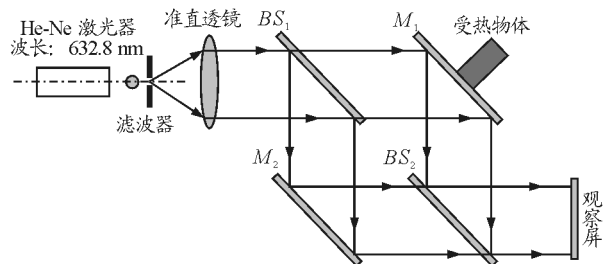


图1 实验光路图

图2为实验光路中的光程差分析, M_1' 为物体受热后产生的线膨胀量带动平面镜 M_1 移动位移 d 后的位置,两束光1和2的光程差为^[8,9]

$$\delta = 2d \sin \theta \quad (1)$$

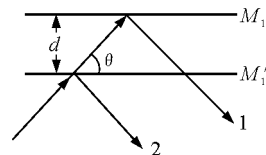


图2 光程差分析

^{*} 2017年天津市大学生创新创业训练计划项目(国家级),项目编号:201710069035

作者简介:黄珍献(1982-),男,硕士,实验师,主要从事光电检测技术和光信息处理的教学与研究工作.

相比于迈克尔孙干涉测量垂直照射时的光程差 $\delta = 2d$ 要小, 对应 k 级明条纹时: $\delta = k\lambda$, 当光程差发生变化时, 该方法对应引起的干涉条纹变化要少^[10], 通过观察屏更易于观察条纹的变化情况. 由式(1)可得

$$\delta = 2d \sin \theta = k\lambda \quad (2)$$

当平面镜 M_1 移动距离 Δd 后, 观察到条纹变化数 Δn , 就能得出平面镜移动的距离

$$\Delta d = \frac{\Delta n \lambda}{2 \sin \theta} \quad (3)$$

2 线膨胀系数测量原理

当物体温度变化 dt 时, 物体的线膨胀量变化为 dL , 线膨胀系数可表示为

$$\alpha = \frac{dL}{L dt} \quad (4)$$

其中 L 为常温下物体的长度. 然而在实际的测量中, 通常采用测量一定温度间隔 Δt 内物体的平均线膨胀量 ΔL , 用平均线膨胀系数来表示, 即为

$$\bar{\alpha} = \frac{\Delta L}{L \Delta t} = \frac{L_2 - L_1}{L(t_2 - t_1)} \quad (5)$$

在改进的光路中, 平面镜 M_1 与被测物体紧密接触, 物体受热后产生的线膨胀量与平面镜移动的距离关系为

$$\Delta L = \Delta d$$

由式(3)得到

$$\Delta L = \frac{\Delta n \lambda}{2 \sin \theta} \quad (6)$$

将式(6)代入式(5)就可以得出物体的平均线膨胀系数.

3 实验测试

按照光路图 1 组装光路并进行实验验证. 被测件为铜棒, 在室温下测得铜棒的长度为: $L = 400$ mm, 将其放置在恒温炉中. 恒温炉采用 HAD-FD-LEA-B 线膨胀系数测试实验仪中的恒温炉, 温度可调范围为: 室温 ~ 80 $^{\circ}\text{C}$. 将平面镜 M_1 固定在铜棒的伸缩端. 入射光以 45° 的夹角照射到两平面镜上. 将铜棒加热到 30 $^{\circ}\text{C}$, 然后每隔 5 $^{\circ}\text{C}$ 记下条纹缩进的条纹数, 实验结果如表 1 所示.

表 1 测量热膨胀系数结果

$\Delta t / ^{\circ}\text{C}$	Δn	$\alpha / \times 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$	$\bar{\alpha} / \times 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$
30 ~ 35	74	16.56	
35 ~ 40	76	17.01	
40 ~ 45	73	16.33	
45 ~ 50	75	16.78	
50 ~ 55	74	16.56	16.73
55 ~ 60	77	17.23	
60 ~ 65	75	16.78	
65 ~ 70	76	17.01	
70 ~ 75	73	16.33	

通过查找相关的文献资料可知, 铜棒在 $20 \sim 100$ $^{\circ}\text{C}$ 的线膨胀系数理论值为: $16.7 \sim 17.1$ ($\times 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$), 实验结果与理论值相符, 说明该方法可以实现物体线膨胀系数的测量.

4 结论

本论文基于光学干涉测量技术, 将被测物体受热产生的线膨胀量与平面镜移动的距离相结合, 从而实现物体线膨胀系数的测量. 实验结果证明该方法可以实现测量. 相比于用迈克尔孙干涉法测量线膨胀系数, 该方法在相同变化温度下, 条纹变化数少, 更易于观察条纹的变化. 该方法温度测量范围在室温到 80 $^{\circ}\text{C}$, 对于高温下物体的线膨胀系数不能进行测量, 这也是后面需要进一步研究的方向.

参考文献

- 杨新圆, 孙建平, 张金涛. 材料线热膨胀系数测量的近代发展与方法对比介绍. 计量技术, 2008(7): 33 ~ 36
- 王青, 戴剑锋, 李维学. 测定金属热膨胀系数的新方法研究. 大学物理实验, 2003, 16(3): 9 ~ 11
- 黄力群, 黄卫平, 王里, 等. 用光纤光栅测量材料的热膨胀系数. 光电子·激光, 2003, 14(10): 1121 ~ 1123
- 严琴, 李东风. 低膨胀固体材料线膨胀系数的干涉测量方法. 激光技术, 2004, 28(2): 202 ~ 204
- 孙建平, 范开果, 荆卓寅, 等. 基于激光干涉法精密测量材料线膨胀系数装置的研究. 计量学报, 2008, 29(S1): 164 ~ 167
- 李相剑, 李华祯, 郑改革, 等. 以改进的迈克尔孙干涉仪测量 LED 封装材料的热膨胀系数. 大学物理, 2014, 27(4): 3 ~ 5
- 洪建勋, 陈建平, 李新碗, 等. 基于马赫-曾德尔干涉仪的聚合物电光系数测量方法的性能改善. 中国激光, 2005, 32(9): 1271 ~ 1274
- 孙长库, 叶声华. 激光测量技术. 天津: 天津大学出版社, 2005.

用强力磁铁自制高中物理演示实验两例

陈 涵 陈 雪

(成都市新都一中 四川 成都 610500)

(收稿日期:2017-12-04)

摘要:强力磁铁是指钕铁硼磁铁,是目前磁力最强的永久性磁铁,不仅成本较低,还能产生比普通磁铁磁感应强度大很多的磁场.因此在高中物理教学中可以用来自制实验仪器或改进一些实验器材,以达到更好的演示效果.笔者叙述两个实例和大家一起研究和探讨.

关键词:演示实验 楞次定律 安培力

中学物理教学中不仅要求教师引导学生准确掌握物理概念和规律,而且部分章节还要求通过演示实验把要研究的物理现象展示在学生眼前,引导学生观察,思考,总结规律,完善概念,使学生对物理学科有一个完整的认识.教学过程也符合由感性到理性的认识规律,学生在头脑中不仅有定义和公式,而且有鲜明的物理表象^[1].然而由于实际条件限制,部分学校仅靠校内实验室所提供的有限器材无法很好地演示出教学所需的实验现象.这种情况下,需要教师自制或者改进实验仪器,使之符合教学的要求.

1 楞次定律的“增反减同”规律演示实验

如图1所示,该实验是探究电磁感应电流变化规律的一个比较经典的课堂演示实验.利用了二极管的单向导通性和感应电流方向的规律,取颜色不同发光二极管两只,按图1连接成电路.当磁铁不断进入和离开螺线管的时候,根据楞次定律的“增反减同”原理会看到红灯和绿灯交替发亮.接下来我们以一种非常粗略的方式来推导一下螺线管中的电流和哪些因素有关.

2001.37~81

9 姚启钧. 光学教程. 北京:高等教育出版社,2009.42~44

10 程文德,杨文艳,孙宝光,等.用迈克尔孙干涉法测量固体线膨胀系数.实验技术与管理,2016,5(33):32~36

Measuring the Linear Expansion Coefficient of an Object Based on the Mach – Zehnder Interference Method

Huang Zhenxian Huang Shubin Jin Zhenzhen Zhang Tianwei Yao Jintao Ding Xiaoyu

(Department of Physics, School of Science, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134)

Abstract: This paper is based on the Mach-Zehnder interference to measure the coefficient of linear expansion of objects. A plane mirror of the optical path is fixed on the measured object. The optical path difference will be changed when the linear expansion which is caused by the heat of the object will drive the plane mirror to move. According to the change of the interference fringe, the measurement of the coefficient of linear expansion of the object can be realized. The optical path of this method is simple and easy to operate. Compared with Michelson interference, the number of the interference fringe is changed more less and easier for students to observe.

Key words: Mach – Zehnder interference; linear expansion; coefficient of linear expansion; Michelson interference