

基于 MATLAB 辅助测量透明介质折射率的新方法

肖伦刚 余 东 向文丽

(楚雄师范学院物理与电子科学学院, 云南 楚雄 675000)

【摘要】利用迈克尔逊干涉仪和自制的旋转卡尺组装形成可以测量透明介质折射率的装置,并通过 MATLAB 零点函数法编程求出该透明介质折射率,和阿贝折射仪直接测量折射率结果对比,发现两种测量结果误差较小,为 0.02%。该方法操作方便快捷,实验结果精确,可作为一种快捷测量折射率的新方法。

【关键词】迈克尔逊干涉仪;旋转卡尺;MATLAB 求解;折射率

【中图分类号】O43

【文献标识码】A

【文章编号】1008-1151(2017)02-0044-03

A new method for measuring refractive index of transparent medium based on MATLAB

Abstract:The refractive index of transparent medium can be measured by using the device assembled by Michelson interferometer and self rotating calipers, and then be calculated by using the zero function method of the MATLAB programming. By comparing the refractive index got directly from the Abbe Refractometer, this paper found that the error of the two kinds of measurements is only 0.02%. Thus, the new method proposed in this paper is convenient and rapid, and the result is accurate. So it can be used as a new method to measure the refractive index.

Key words:Michelson interferometer; rotating calipers; MATLAB solution; refractive index

1 引言

迈克尔逊干涉仪是光学实验中很常见的一种光学仪器,同时也是大学物理实验的基本组成部分。它的运用范围非常广泛,可以用来观察等倾干涉条纹、观察等厚干涉条纹^[1, 2]、测量激光或钠光的波长、测量钠光的双线波长差、观察白光干涉情况、测量光波的相干长度^[3]以及测量玻璃的厚度或折射率等。

折射率是有机物的特性之一。每种纯净有机物在一定温度下都有其固定的折射率,同时折射率又是物质的重要光学参数之一,借助折射率能了解物质的光学性能、纯度、浓度以及色散等性质,其他的一些参数(如热光系数)也与折射率密切相关。在化工、医药、食品、石油等工业部门及高校实验中,经常要测定一些液体和介质的折射率。折射率的测量和研究具有一定的实验价值和意义。

测量物体折射率的方法有很多,例如:通过测量光线透过三角形样品的最小偏转角法、测量液体和棱镜交界处的临界角法、用迈克尔逊干涉仪测量^[4]等多种方法。本文利用自制的旋转卡尺和迈克尔逊干涉仪组装的装置对负载在旋转卡尺上的透明介质进行 5° 内微小旋转,通过推导透明介质旋转时满足的公式并进行数学化简,再基于 MATLAB 辅助编程求解得出该透明介质折射率。

2 实验原理和操作

2.1 迈克尔逊干涉仪的结构和基本原理

迈克尔逊干涉仪是美国物理学家迈克尔逊和莫雷合作于 1883 年设计制造出来的精密光学仪器^[5, 6]。它利用分振幅法产生双光束来实现光的干涉,光路图如图 1 所示,一束入射光经过分光镜分为两束后各自被对应的平面镜反射回来,因为这两束光频率相同、振动方向相同且相位差恒定(即满足干涉条件),所以能够发生干涉。干涉中两束光的不同光程可以通过调节干涉臂长度以及改变介质的折射率来实现,从而能够形成不同的干涉(光的等倾、等厚和多光束干涉等)。

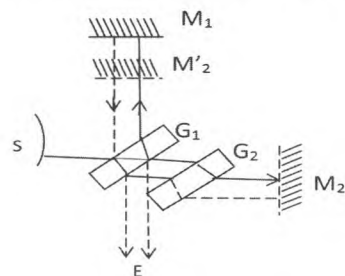


图 1 迈克尔逊干涉仪光路图

【收稿日期】2017-01-08

【作者简介】肖伦刚(1992—),男,楚雄师范学院学生,从事大学物理专业学习和物理实验研究。余东(1994—),男,楚雄师范学院学生,从事大学物理专业学习和物理实验研究。

【通信作者】向文丽(1982—),女,楚雄师范学院实验师,从事大学物理实验教学和科研。

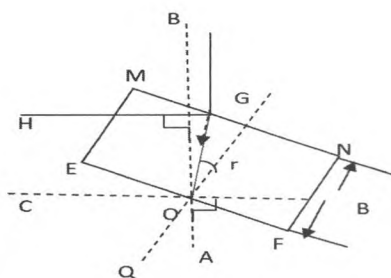


图2 旋转法光路图

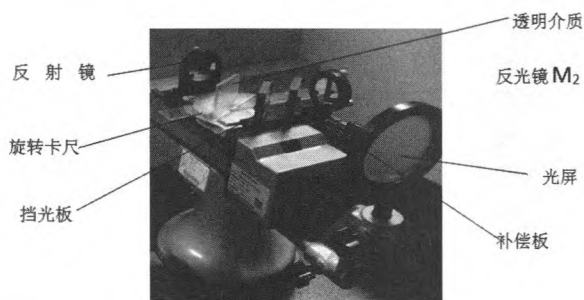


图3 实验装置

2.2 利用微小旋转透明介质测量折射率

根据光路图(如图1)调节迈克尔逊干涉仪使光屏上出现清晰的同心圆环。在迈克尔逊干涉仪的 M_1 之前加入安装好待测玻璃片的自制旋转卡尺(如图3所示), 旋转卡尺可以作为载体放置待测玻璃片, 同时也可以带动玻璃片旋转, 并即时地在旋转卡尺上方便捷地读出玻璃片所旋转的角度。

当顺时针旋转放置好的旋转卡尺时, 光屏上的同心圆环同时出现吞或吐的现象, 逆时针亦如此。如图2所示, AB线是垂直于 M_2 镜面的入射光线, 初始时垂直穿过玻璃片, CD是光线垂直玻璃片的边缘水平线, 将玻璃片旋转一定角度, AO是入射光线, OP是旋转角度后入射角 i 的法线, OG是折射光线, r 为折射角, G为光线两次折射的射出点, $\angle BOG = i - r$, $OK = l$, $OG = s$; 空气的折射率为 $n_0 = 1$, 玻璃片的折射率为 n , 根据其几何关系, 玻璃片旋转过 i 角度后光程的改变量为^[7]:

$$n_0 \sin i = n \sin r \Rightarrow \sin r = \frac{\sin i}{n} \quad (1)$$

$$\text{又 } \cos r = \frac{b}{s} \Rightarrow s = \frac{b}{\cos r} = \frac{b}{\sqrt{1 - \sin^2 r}} \quad (2)$$

$$\cos(i - r) = \frac{l}{s} \Rightarrow l = \cos(i - r)s \quad (3)$$

光程差的变化量则为:

$$\Delta x = 2[ns - nb - (l - b)] \quad (4)$$

且只要数出玻璃片旋转的角度 i 时所改变(吞或吐)圆环数 N , 就可以计算出光程的变化量如下关系式, 已知氦氖激光器发出波长为: 632.8nm :

$$\Delta x = 2 \frac{N}{2} 632.8 \times 10^{-6} \quad (5)$$

由(4)(5)两式两边相等:

$$ns - nb - (l - b) = \frac{N}{2} 632.8 \times 10^{-6} \quad (6)$$

由(1)(2)(3)(6)化解可得关于 n 和 b 方程组

$$\frac{nb}{\cos(\arcsin(\frac{\sin i}{n}))} - nb - \cos(i - \arcsin(\frac{\sin i}{n})) \frac{b}{\cos(\arcsin(\frac{\sin i}{n}))} + b = \frac{N}{2} \times 632.8 \times 10^{-6} \quad (7)$$

3 实验数据记录

利用迈克尔逊干涉仪和自制的旋转卡尺组装形成的测量透明介质折射率的装置测量出了透明介质的旋转角度与环数计入表1。

表1 透明介质旋转角度与环数, $b=4.78\text{mm}$

环数	1	2	3	4	5	平均角度
10	3.3	3.6	3.5	3.6	3.4	3.48

利用阿贝折射仪测出的透明介质折射率计入表2。

表2 用阿贝折射仪测出的透明介质折射率

材料	1	2	3	4	5	平均折射率
透明介质	1.5731	1.5948	1.5843	1.5863	1.5924	1.5862

4 基于 MATLAB 编程求解透明介质折射率

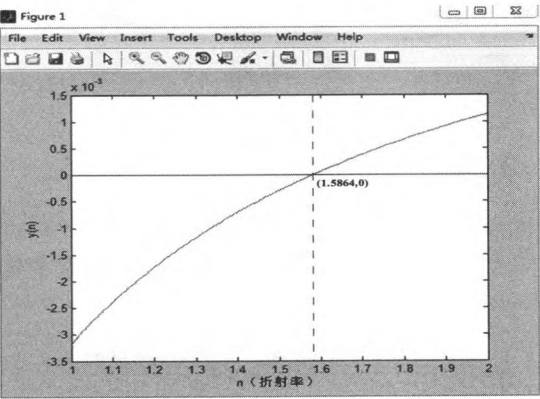
函数的零点是使函数值为0的点, 是函数重要的性质之一。代数方程求解问题可以归结为求零点。而求解函数的零点, 在 MATLAB 中提供了 `fzero` 函数进行求解, 该函数的调用格式为: `x=fzero(fun,x0,options)`; 其中, `fun` 为求解的方程, `x0` 可为标量或长度为2的向量, 为向量时两端的值应该符号相反, 此时求区间上的解, 只能求解 `x0` 附近的一个解。参数 `options` 为设定的属性值^[8,9]。结合式(6)式(7)可将方程改写为求零点方程并编写 MATLAB 程序进行运算, 其中, 该透明介质旋转角度为 3.48° (小于 5°), 则根据数学理论^[2]可将(7)式化简为:

$$\frac{nb}{\cos(\frac{i}{n})} - nb - \cos(i - \frac{i}{n}) \frac{b}{\cos(\frac{i}{n})} + b = \frac{N}{2} \times 632.8 \times 10^{-6} \quad (8)$$

并将(8)式改写为零点方程, 并编程出 MATLAB 程序, 源程序中主要程序段如下:

```
y=inline('n*b/cos(a/n)-n*b-cos(a-a/n)*b/cos(a/n)+b-5*632.8
*10^(-6)','n','a','b')
a=0.06
b=4.78
n=1:0.01:2
y_c=vectorize(y)
Y=feval(y_c,n,a,b)
plot(n,Y,'m')
hold on
plot(n,zeros(size(n)),'b')
xlabel('n')
ylabel('y(n)')
zoom on
```

[nn,yy]=ginput(1)
运行程序得：



4 函数零点分布观察图

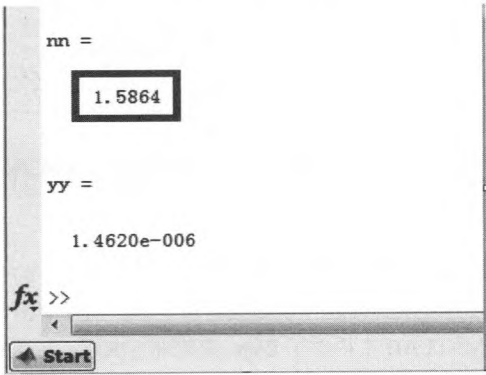


图 5 用 MATLAB 计算出的透明介质折射率截图图

从图 4、图 5 可看出，利用迈克尔逊干涉仪和自制的旋转卡尺组装形成测量透明介质折射率的装置，通过测出透明介质旋转角度与环数，并利用 MATLAB 零点函数法编程计算出透明介质折射率 $n=1.5864$ ，与阿贝折射仪测出该透明介质折射率 $n=1.5862$ 相比，误差小于 0.02%，由此可得出对于一些透明介质的折射率测量，用迈克尔逊干涉仪和自制的旋转卡尺微小旋转（小于 5° ）负载在旋转卡尺上的透明介质，并基

于 MATLAB 辅助编程求出透明介质折射率的方法是科学可行的，并且该方法操作简便、快捷，结果精确度高。

5 结束语

本文利用实验室常见仪器迈克尔逊干涉仪和自制旋转卡尺组装，微小旋转（小于 5° ）负载在旋转卡尺上的透明介质，测量出旋转角度和环数，基于 MATLAB 零点函数法编程辅助，求解测量透明介质的折射率。自制旋转卡尺使得实验操作过程简化，且自制旋转卡尺只需读出旋转卡尺旋转的角度即可精确读出透明介质旋转的角度，改善了实验中旋转角度不精确的现状。而通过 MATLAB 编程求解，得出的实验结果与阿贝折射仪所测量的结果相似，精确度较高。用 MATLAB 分析数据可以简化人工计算或一些复杂计算过程，提高了计算的精确度，使实验具有更高的可靠性。大学物理实验中自制旋转卡尺和迈克尔逊干涉仪组装测量透明介质折射率的新方法可进一步推广和运用。

【参考文献】

- [1] 孙宇航.用迈克尔逊干涉仪测定透明介质的折射率[J].西安邮电学院学报,2009,14(1):157-158.
- [2] 王昆林,岳开华.普通物理实验[M].成都:西南交通大学出版社,2014.
- [3] 雷前召.迈克尔逊干涉仪测量折射率的实验研究[J].渭南师范学院学报,2011(10):68-70.
- [4] 孙慕渊.棱镜折射率的几何光学测量法[J].湖北科技学院学报,1993 (2):36-39.
- [5] 闫凯,池红岩,韩仁学.迈克尔逊干涉仪测杨氏弹性模量的方法[J].实验科学与技术,2014,12(5):31-32.
- [6] 姚启军.光学教程[M].北京:高等教育出版社,2008.
- [7] 湛正良,廖艳林,赵青生.利用迈克尔逊干涉仪测量透明材料折射率的新方法[J].大学物理实验,2010,23(5):62-64.
- [8] 赵书兰.MATLAB编程与最优化设计应用[M].北京:电子工业出版社,2013.
- [9] 余东,向文丽.一种测量糖溶液旋光率的新方法和 MATLAB 分析[J].大学物理实验,2016,29(4):89-92.