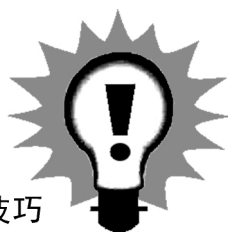


实验
技术
与技巧



利用迈克耳孙干涉仪测量蔗糖溶液的质量分数

梁小冲,汪仕元,于白茹,李伟,李紫源,郝彦军,朱俊

(四川大学基础物理实验教学中心,四川成都610064)

摘要:利用迈克耳孙干涉仪测量蔗糖溶液的质量分数,在光路中加入装有蔗糖溶液的玻璃杯,逐渐向玻璃杯中加入蔗糖,改变蔗糖的质量分数,进而改变蔗糖的折射率,通过记录相应干涉条纹的变化,计算出新溶液的质量分数.

关键词:迈克耳孙干涉仪;质量分数;折射率;干涉条纹

中图分类号:O436.1

文献标识码:A

文章编号:1005-4642(2014)09-0025-03

1 引言

溶质的质量分数与液体本身的性质息息相关. 在外界条件一定的情况下,掌握溶液的质量分数的变化情况可以更好的了解液体的其他性能,比如色散、折射、纯度等. 在化工、医药、粮油、酿酒等生产部门,都有大量的液态溶液,准确了解液体的质量分数,可以提高产品的质量. 因此,液体的质量分数是实际生产和教学实验中的一个重要参量^[1-3]. 测量液体质量分数的方法有很多,本文介绍了利用迈克耳孙干涉原理来测量液体质量分数的方法,详细阐述了测量原理、测量方法、以及测量的附加装置. 开拓了迈克耳孙干涉仪的测量用途.

2 实验原理

如图1所示,将玻璃杯平放在光路中,内装待测液体,利用自制的简易装置将反射镜铅直的放在待测液体中.

激光束投射到分束镜后被分成反射光和透射光. 透射光经玻璃杯、待测液体射向反射镜,反射光射向反射镜,它们经过反射镜反射后又经过分束镜反射和折射,并射向可变光阑. 改变可变光阑的孔径大小,滤除多余的反射光,利用凸透镜对光束进行聚焦,聚焦后的光束投射到扩束镜上,扩束后在观察屏上会合,形成干涉条纹^[4-8]. 这2束光在中心亮纹的光程差为:

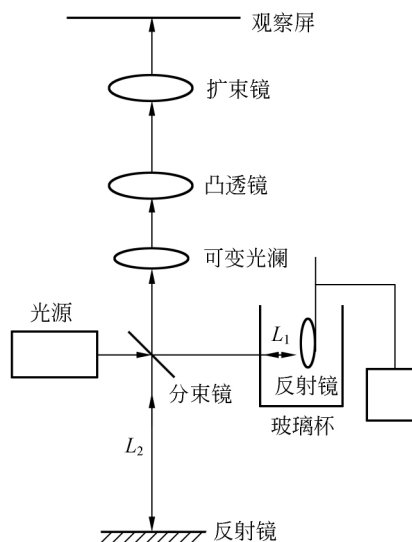


图1 实验装置光路图

$$\delta = k\lambda, \tag{1}$$

中心暗条纹的光程差为:

$$\delta = (2k+1)\lambda/2, \tag{2}$$

对上两式分别求导,都得到:

$$d\delta = \lambda dk. \tag{3}$$

当所有光学元器件都固定不动后,改变玻璃杯里面液体的质量分数,就会引起液体折射率的变化,进而改变了光程差的变化量 $d\delta$. 当玻璃杯中液体的折射率分别为 n_1 和 n_2 时,根据几何光学,光程差的变化量 $d\delta$ 为:

$$d\delta = 2 L_1 (n_1 - n_2), \tag{4}$$

收稿日期:2014-02-18;修改日期:2014-05-19

资助项目:四川大学新世纪教改项目六期(No. SCUY044)

作者简介:梁小冲(1986-),男,辽宁鞍山人,四川大学物理学院实验师,硕士,主要从事大学物理实验教学.

通讯作者:汪仕元(1954-),男,四川达州人,四川大学物理学院高级工程师,学士,主要从事大学物理实验教学.

其中 L_1 为图 1 中反射镜与玻璃杯前表面的距离^[9-10]. 利用文献[7]的结论, 可知蔗糖质量分数与折射率的关系为:

$$n = 0.0032c + 1.3241. \quad (5)$$

把(5)式代入到(4)式为

$$d\delta = 2L_1 \times 0.0032(c_1 - c_2), \quad (6)$$

因此有:

$$2L_1 \times 0.0032(c_1 - c_2) = \lambda \Delta k, \quad (7)$$

即:

$$c_1 - c_2 = \frac{\lambda \Delta k}{2L_1 \times 0.0032}. \quad (8)$$

测量时, 先把质量分数已知的蔗糖溶液装入玻璃杯中, 调好干涉条纹, 然后逐渐向玻璃杯中加入蔗糖, 并记录相对应的条纹变化数 Δk , 就能利用(8)式求出新溶液的质量分数.

3 实验方案及操作

1) 先在玻璃杯中注入一定量质量分数已知的蔗糖溶液, 按照图 1 进行搭建光路. 利用激光器准直光路, 实现各个元器件等高、共轴.

2) 从光路中取出可变光阑、凸透镜、扩束镜. 开启激光器并调节位置, 使观察屏上看到分别由 2 个反射镜产生的若干个激光光斑.

3) 根据其亮度和几何位置关系, 选出 2 个反射镜对应的主反射光斑, 并使其重合. 根据图 1 的光路图加入可变光阑, 滤除掉其他的杂光斑.

4) 在可变光阑的后面依次加上凸透镜、扩束镜. 反复调整凸透镜和扩束镜之间的距离, 使从凸透镜出射的激光束聚焦在扩束镜上. 此时, 可以在观察屏上看到干涉条纹. 如果观察不到干涉条纹, 再反复调节光斑的重合度或者光程差, 直到在观察屏上看到明显的干涉条纹为止^[11-14].

5) 缓慢、逐渐地向玻璃杯中加入蔗糖, 由前面的理论分析可知改变蔗糖的质量分数会改变光程差, 引起干涉条纹的移动. 记录条纹的移动条数. 利用式(8)来计算蔗糖溶液的质量分数.

4 实验过程、结果及误差分析

利用搭建的光路和实验方案进行测量, 测量的数据见表 1.

表 1 不同质量分数对应的条纹移动数

次数	m/g	ΔN
1	5	3.4
2	5	3.3
3	5	2.8

实验开始前, 先在玻璃杯中加入 600 mL 温度为 40 °C 的纯净水; 再向玻璃杯中加入质量为 1 g 的蔗糖, 然后把玻璃杯放入光路中并调出明显的干涉条纹.

实验开始后, 在反射镜的镀膜面与玻璃杯后壁之间缓慢加入一定量的蔗糖; 尽量不要在镜前加入蔗糖, 避免不必要的干扰. 测量镜面与玻璃杯前表面之间的距离为 4.5 cm, 已知激光器的波长为 650 nm. 溶液的初始质量分数为 $c_0 = 0.16639\%$, 设加入蔗糖后, 质量分数依次变化为 c_1, c_2, c_3 , 利用式(8)和表 1 的数据, 可知: $c_1 = 0.93375\%$. 同理 $c_2 = 1.6785\%$, $c_3 = 2.3105\%$.

为了验证实验方案的正确性, 现利用表 1 中的数据, 求出蔗糖的实际质量分数并与实验计算得到的结果进行对比, 并列于表 2 中.

表 2 实际质量分数与计算得到的质量分数

次数	$c/\%$		$E_r/\%$
	计算	实测	
1	0.93375	0.99010	5.7
2	1.6785	1.8003	6.8
3	2.3105	2.5974	11

实验结果与计算结果存在一定的偏差. 产生偏差的主要原因为: 质量分数增大, 条纹移动数计数困难, 蔗糖折射率与质量分数关系的公式引自其他参考文献, 可能存在一定的偏差; 蔗糖的纯度不高, 导致溶液不是标准的质量分数, 以及在测量反射镜与玻璃杯前表面的距离都存在一定的误差. 增加蔗糖的质量分数, 理论上可以增加条纹的移动数, 降低干涉条纹对实验误差的影响, 但在现有实验室条件下随着条纹移动数的增加会给计数工作带来更大的困难, 从而引起较大的实验误差, 这也有待进一步改进.

5 结束语

本实验利用迈克耳孙干涉原理,引入质量分数与折射率之间的线性关系,在实验室现有的条件下设计了实验方案,并自制简易实验装置测出了蔗糖溶液的质量分数.拓展了迈克耳孙干涉仪的应用范围.

参考文献:

- [1] 高德文,廖延彪,赖淑蓉,等.用红外光纤传感器技术测量液体的浓度[J].传感器世界,2004(10):25-28.
- [2] 王玉华,程方晓,孙颖,等.液体浓度智能检测装置[J].长春工业大学学报,2004,25(1):36-37.
- [3] 刘澄宇.用超声光栅仪测量液体的浓度[J].新宇高专学报,2007,12(6):80-82.
- [4] 王勇,汤剑峰.激光干涉法测固体的线膨胀系数[J].湖南文理学院学报,2009,21(3):48-49.
- [5] 杨庆华,周仁魁,赵保常,等.迈克尔逊干涉光谱仪动镜倾斜误差容限分析[J].光子学报,2009,38(3):677-679.
- [6] 谌正良,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].光子学报大学物理实验,2010,23(5):62-64.
- [7] 黄志贝,傅方聪,卢立娟.用光速测量仪探究蔗糖溶液折射率与浓度的关系[J].大学物理实验,2011,24(10):1-3.
- [8] 鲁晓东.迈克尔逊干涉条纹的计算机采集与处理[J].大学物理实验实验室研究与探讨,2009,28(11):47-49.
- [9] 王小怀,李卓凡,陈怀.迈克尔逊干涉仪应用功能的扩展[J].物理实验,2012,32(3):22-24.
- [10] 徐文韬,李全伟,李吉鹭,等.用迈克尔逊干涉测量厚透明材料折射率[J].物理实验,2012,32(6):35-39.
- [11] 王植恒,何原,朱俊.大学物理实验[M].北京:高等教育出版社,2008:93-102.
- [12] 张娜,何燕,张彦,等.基于菲涅尔反射的液体浓度精确测量系统[J].光学技术,2012,38(5):598-600.
- [13] 杨秀芳,王小明,高宗海,等.基于法布里-珀罗干涉仪的液体浓度实时检测系统的研究[J].光学学报,2005,25(10):1343-1345.
- [14] 汪晓春,杨博文,何冬慧.一种基于迈克尔逊干涉仪测量透明液体折射率的方法[J].光学仪器,2012,34(5):1-4.

Measuring mass fraction of sucrose solution using Michelson interferometer

LIANG Xiao-chong, WANG Shi-yuan, YU Bai-ru, LI Wei,
LI Zi-yuan, HAO Yan-jun, ZHU Jun

(Basic Experimental Physics Teaching Center, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

Abstract: A method for measuring the mass fraction of sucrose solution using Michelson interferometer was introduced, and the experimental scheme was designed. A glass container filled with sucrose solution was inserted in the light path of the interferometer. The refractive index and mass fraction of the sucrose solution was changed by adding sucrose, and the sucrose mass fraction was determined by measuring the number of fringes changed. This method extended the application of Michelson interferometer in teaching and research.

Key words: Michelson interferometer; mass fraction; refractive index; interference fringe

[责任编辑:郭伟]