

文章编号:1007-2934(2020)01-0025-04

一种简便快速测量折射率的新方法研究

李春江,李陆余,杨靖垒,李廷荣,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: 利用分光计、钠光为光源、自主设计的等腰梯形槽为液体槽,搭建了一种测量液体折射率的平台,利用该平台简易快速确定折射角,并基于 Python 软件编程得出其折射率。利用该方法测量了去离子水和不同浓度的 NaCl 溶液的折射率。实验结果表明:溶液折射率相对误差均远远小于 5%,该方法实验操作简单、计算快捷、成本低、精确度高、效率高,具有较强的可操作性和应用价值,是测量液体折射率可推广的一种新方法。

关 键 词: 折射率;等腰梯形槽;Python

中图分类号: O 4-33 **文献标志码:** A **DOI:** 10.14139/j.cnki.cn22-1228.2020.01.006



折射率是油气田开采、煤矿产业、航空航天、电力系统、医学、生物化工等领域进行质量与安全监测的重要指标,在食品检测、生化医疗等领域,折射率也是重要物理参量之一。总之,物体的折射率在生产生活中有着重要意义。测量折射率的方法较多,诸如:最小偏向角法^[1]、牛顿环法^[2]、光栅杨氏干涉法^[3]、迈克耳孙干涉仪法^[4]、全反射测量法^[5]等。对于牛顿环法、光栅杨氏干涉法、迈克耳孙干涉仪法等方法在数干涉条纹时,由于环与环之间的距离比较小及环数的选取较多,较难操作。而大学物理传统实验一般用最小偏向角法^[1]测量折射率,实验操作中,最小偏向角的位置确定存在一定随机性,从而引入较大的误差。由此,本文设计了一种新方法,避开确定最小偏向角,利用分光计,钠光为光源,自主设计等腰梯形槽为液体槽,搭建了一种测量液体折射率的实验平台,利用该平台简易快速确定并测量几种透明液体的折射角,笔者推导了光源在待测液体中传播满足的公式,同时利用 Python 软件编程计算其折射率。

改变,即不会改变光线与待测液体界面的夹角^[6]。且光路垂直于梯形装置的上表面入射,还可确定上下两个面的法线。当光线从斜面入射,入射点为 B 时,令入射光线与上下两个面法线的夹角为 i 。光线进入梯形装置后会发生折射,折射光线与下表面交于 C 点,光线在 C 点再次发生折射进入空气,令折射角为 β 。如图 1 所示。

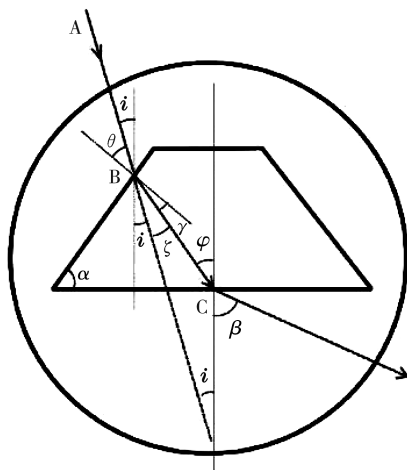


图 1 实验原理图

1 实验原理

本文自制了一个实验装置如图 1 所示,由于上下两个面平行,故玻璃壁相当于平行平板。光垂直于梯形上表面射入时,光的传播方向不发生

此时,过 B 点做斜面的法线,上下两个面法线的平行线,延长入射光线,找到在 B 点折射的入射角 θ 和折射角 γ ,在 C 点折射的入射角 φ 和折射角 β ;空气的折射率为 n_1 ,液体的折射率为 n_2 ;梯形的底角为 α 。

收稿日期:2019-11-13

基金项目:2018 年度云南省大学生创新创业训练计划项目(986 号)

* 通讯联系人

则根据几何关系可得:

$$\theta = \alpha - i \quad (1)$$

$$\gamma = \alpha - (\xi + i) \quad (2)$$

由光的折射原理:

$$B \text{ 点所在界面上有: } n_1 \sin \theta = n_x \sin \gamma \quad (3)$$

$$\text{即 } n_1 \sin(\alpha - i) = n_x \sin(\alpha - (\xi + i)) \quad (4)$$

$$\text{同理, } C \text{ 点所在界面上有: } n_x \sin \varphi = n_1 \sin \beta \quad (5)$$

$$\text{且 } \varphi = \xi + i \quad (6)$$

$$\text{即 } n_x \sin(\xi + i) = n_1 \sin \beta \quad (7)$$

故由(4)、(7)得

$$n_x = \sqrt{\left(\frac{n_1 \sin(\alpha - i) + n_1 \sin \beta \cos \alpha}{\sin \alpha} \right)^2 + (n_1 \sin \beta)^2} \quad (8)$$

根据式(8),如果玻璃梯形顶角 α 已知,可进一步简化。玻璃梯形顶角测量原理图如图2所示。

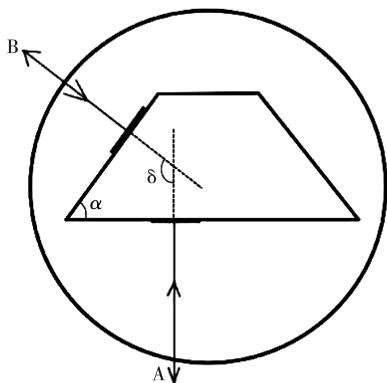


图2 α 角的测量原理图

测量方法为:在待测角 α 相邻的两边分别贴上平面镜,使分光计望远镜中的“十”字反射像与分划板上部的十字刻度重和,即平面镜与望远镜垂直,转动望远镜于另一面,再使望远镜中的“十”字反射像与分划板上部的十字刻度重和,望远镜转动的角度既是 δ ^[7],由几何关系得 $\alpha = \pi - \delta$,因此

$$\alpha = \pi - \delta \quad (9)$$

因此,当 α 值确定后,只需利用分光计测量出角度 i 和 β 。即可得出梯形玻璃槽中待测液体的折射率 n 。

2 实验平台的组装及测量

2.1 实验装置及制作

2.1.1 实验仪器的组装

实验装置如图3所示,梯形玻璃槽(后面20 mm×30 mm,侧面40 mm×30 mm,前面60 mm×

30 mm),内部盛装待测液体。该装置放在分光计载物台上,钠光的波长 $\lambda = 589.3$ ^[7]的单色光,单色光不能产生色散,减少实验的观察误差,从而提高实验的精确度。组装好的实验装置实物如图4和图5所示。

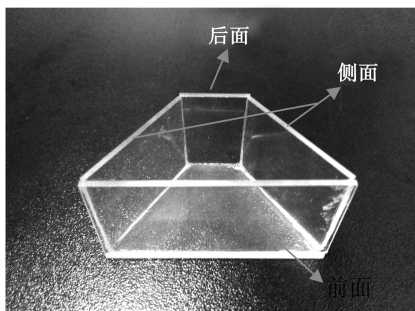


图3 梯形玻璃槽实物图



图4 实验装置实物图(正视图)



图5 实验装置实物图(侧视图)

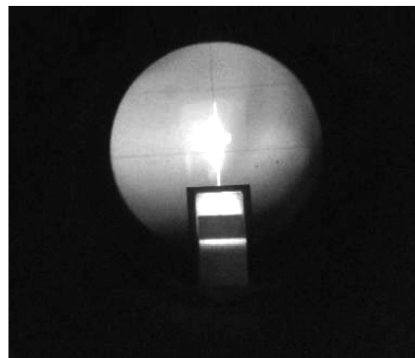


图6 梯形容器与望远镜垂直的视图

2.2 测量去离子水的折射率

调节分光计,使之达到实验要求。转动望远镜,找到狭缝像,使狭缝像与望远镜中的十字刻线的竖线重合,锁紧望远镜。此刻的角度为初始值。锁紧载物台,锁紧刻度盘与望远镜。在分光计的载物台上放上梯形玻璃槽装置,加入待测液体,在梯形玻璃槽装置的前面贴上一块平面镜,转动载物台,使“十”字反射像与十字刻线重合如图 6 所示。轻轻的取下平面镜,保证梯形玻璃槽装置不动。转动游标盘,使光线从梯形玻璃槽装置的一个侧面进入。记录下此刻的角度 i ,锁紧游标盘。转动望远镜,找到狭缝像,使之与十字刻线重合。记下此刻的角度 β 。重复实验 5 次,得到 5 组实验数据,利用 Python 计算出去离子水的折射率 n ,然后取其平均值。

2.3 测量不同浓度的 NaCl 溶液折射率的梯度变化

配制百分比浓度为 5.0%, 7.5%, 10.0%, 12.5%, 15.0%, 17.5%, 20.0%, 22.5%, 25.0% 的 NaCl 溶液。按照测量去离子水折射率的实验步骤进行测量不同浓度的 NaCl 溶液的折射率。

注意:做完一种浓度的溶液时,要对实验装置进行冲洗,用吹风机吹干,再进行下一种溶液的测量。减少两种不同溶液之间的混合,达到减少实验误差的效果。

3 实验结果及分析

3.1 α 角的测定

实验数据如表 1 所示。

表 1 α 角的测量数据, $t=23\text{ }^{\circ}\text{C}$

次数	初始值		侧面数值		δ 数值		α 数值 平均值
	左游标	右游标	左游标	右游标	左游标	右游标	
1	303°55′	123°55′	63°52′	243°52′	119°57′	119°57′	60°3′
2	303°55′	123°55′	63°52′	243°52′	119°57′	119°57′	60°3′
3	303°57′	123°57′	63°54′	243°52′	119°57′	119°55′	60°4′
4	303°57′	123°57′	63°55′	243°53′	119°58′	119°56′	60°3′
5	303°58′	123°57′	63°55′	243°54′	119°57′	119°57′	60°3′
平均值							60°3′

α 的角度测量值为 60° 3′。 $\sin 60^{\circ} 3' = 0.866\ 461\ 41$, $\sin 60^{\circ} = 0.866\ 025\ 4$, $\cos 60^{\circ} 3' = 0.499\ 244\ 06$, $\cos 60^{\circ} = 0.5$ 。可以近似的把 60° 3′ 看成 60°。空气的折射率 $n_1 = 1$ 。将 $\alpha = 60^{\circ}$, $n_1 = 1$ 。带入(8)式化简得

$$n = \sqrt{\left(\sin i - \frac{\sqrt{3}}{3} \sin i + \frac{\sqrt{3}}{3} \sin \beta\right)^2 + (\sin \beta)^2} \quad (10)$$

3.2 去离子水折射率的测定及分析

利用自制的实验装置平台对去离子水的 i 和 β 进行测量,测量的实验数据记录在表 2 中,利用(10)即可计算得出待测液体的折射率,但是折射率

的测量公式(10)式较为复杂,由于近几年来,物理实验用 Python 进行分析研究收到了明显效果^[8-11]。为了高效准确计算待测液体的折射率,本文用 Python 基于(10)式进行编程,快速得出折射率 n 。

利用阿贝折射仪测量出该去离子水的折射率为 1.333 1,把阿贝折射仪测出来的值作为去离子水的参考值,通过比较,发现利用本文的方法测定的去离子水折射率的相对误差仅为 0.002 2%,远远小于 5%,因此利用基于 Python 计算的简便快速测量折射率的新方法测量液体折射率,高效精确,具有一定的价值意义和科学意义。

表 2 去离子水数据, $t=23\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\lambda=589.3\text{ nm}$

次数	初始值		i		β		n
	左游标	右游标	左游标	右游标	左游标	右游标	
1	113°55′	293°53′	82°6′	262°3′	56°25′	236°22′	1.332 99
2	113°55′	293°53′	83°33′	263°31′	58°22′	238°20′	1.332 77
3	113°55′	293°53′	81°17′	261°15′	55°16′	235°14′	1.333 27
4	113°55′	293°53′	84°49′	264°47′	59°57′	239°55′	1.333 15
5	113°55′	293°53′	82°26′	262°24′	56°51′	236°49′	1.333 19
平均值							1.333 07

3.3 不同百分比浓度 NaCl 溶液的折射率及分析

同样地,本文测量了不同浓度的 NaCl 溶液折

射率,阿贝折射仪测出各不同浓度的 NaCl 溶液折射率 n_0 为参考值,数据记于表 3 中。

表 3 不同百分比浓度 NaCl 溶液数据表, $t=23\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\lambda=589.3\text{ nm}$

百分比 浓度/%	初始值		i		β		n	n_0
	左游标	右游标	左游标	右游标	左游标	右游标		
5.0	137°13′	317°11′	103°30′	283°28′	76°14′	256°12′	1.340 66	1.341 6
7.5	136°33′	316°31′	102°55′	282°53′	75°4′	255°2′	1.346 38	1.345 9
10.0	125°37′	305°35′	97°3′	277°1′	70°43′	250°40′	1.350 65	1.350 7
12.5	117°52′	297°50′	85°59′	265°58′	58°0′	237°58′	1.355 43	1.355 0
15.0	107°45′	287°43′	84°12′	264°10′	58°7′	238°5′	1.359 49	1.359 1
17.5	141°46′	321°44′	107°24′	287°22′	77°3′	257°1′	1.364 26	1.363 9
20.0	108°26′	288°24′	75°22′	255°20′	45°21′	225°19′	1.368 27	1.368 0
22.5	116°20′	296°18′	84°18′	264°15′	54°17′	234°14′	1.373 28	1.372 9
25.0	114°45′	294°43′	87°22′	267°20′	58°46′	238°43′	1.378 18	1.377 8

实验结果表明,不同浓度的 NaCl 溶液折射率的相对误差均远远小于 5%,进一步证明了该方法可操作性、实用性强、精确度极高、简便快速,可应用于测量透明液体。

4 结 论

文章利用分光计,钠光为光源,自主设计等腰梯形槽为液体槽搭建了一种测量液体折射率的平台,利用该平台简易快速确定折射角,并基于 Python 软件编程得出液体折射率。利用该方法测量了去离子水和不同浓度的 NaCl 溶液的折射率,其相对误差均远远小于 5%,精确度极高。该方法完全避开传统方法的最小偏向角的判断,操作简单精确,实验效果明显,测量液体方便,基于 Python 运算简单快捷,精确度高,具有较强的应用价值,是测量液体折射率可推广的一种新方法。

参考文献:

[1] 陈余行,马振斌.最小偏向角法测量 NaCl 溶液浓度与折射率[J].实验科学与技术,2010(6):16-17.

[2] 贾小文,范海英,赵云飞,等.利用牛顿环装置测量平玻璃折射率[J].物理实验,2019,39(1):27-30.
[3] 孙晶华,王明.用光栅杨氏干涉测量液体的折射率[J].大学物理实验,2005,18(1):8-10.
[4] 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.
[5] 余文芳,黄佐华,周进朝,等.用全反射法测冰醋酸和酒精的折射率[J].激光技术,2014,38(2):161-164.
[6] 刘海山,李铭士,陈家明,等.方形容器测量液体折射率和色散率[J].大学物理,2017,36(12):62-65.
[7] 王昆林,岳开华.普通物理实验[M].成都:西南交通大学出版社,2014:211-215.
[8] 林奇川,程敏熙.基于云计算的大学物理实验数据在线处理[J].大学物理,2019,38(4):28-32.
[9] 钟志强.基于 Python 语言的大学物理实验数据处理方法研究[J].鞍山师范学院学报,2016,18(2):77-81.
[10] 吴迪,张星海.Python 在热敏电阻测量实验数据处理中的应用[J].大学物理实验,2013,26(5):97-100.
[11] 马天成,李全彬.基于 Python 的牛顿环实验数据拟合及分析方法[J].大学物理实验,2019,32(3):112-115.

A New Method for Simple and Rapid Measurement of Refractive Index

LI Chunjiang, LI Luyu, YANG Jinglei, LI Tingrong, XIANG Wenli*

(School of Physics and Electronic Science, ChuXiong Normal University, Chuxiong 675000, China)

Abstract: Using the spectrometer, sodium light as the light source, and the self-designed isosceles trapezoidal groove as the liquid trough, a platform for measuring the refractive index of the liquid is built. The refraction angle is easily and quickly determined by the platform, and the refractive index is obtained by programming based on Python software. The refractive index of deionized water and different concentrations of NaCl solution was measured by this method. The experimental results show that the relative error of the refractive index of the solution is far less than 5%. The method is simple in operation, fast in calculation, low in cost, high in accuracy, high in efficiency, and has strong operability and application value. It is measuring liquid refraction. It is a new method to measure the refractive index of liquid.

Key words: refractive index; isosceles trapezoid groove; Python