

文章编号:1005-4642(2020)09-0051-04

用中空三棱镜测量食盐水的折射率及色散

李瀚奕¹,熊安国¹,王 峰¹,吴晓立²

(1. 成都外国语学校,四川 成都 611731;2. 西南交通大学 物理科学与技术学院,四川 成都 610031)

摘 要:探究了食盐水对汞灯 5 条光谱线折射率与食盐水物质量浓度的关系,计算了不同浓度食盐水的色散关系,并绘制了相应的关系曲线,最后给出了在可见光范围内食盐水折射率与食盐水物质量浓度、光波长的二元函数关系。

关键词:液体折射率;柯西色散;中空三棱镜

中图分类号:O435.1;O436.3

文献标识码:A

DOI:10.19655/j.cnki.1005-4642.2020.09.010

折射率测量在各个领域中都有重要意义,一般采用干涉法^[1]测量气体的折射率,可以采用布儒斯特角^[2]、阿贝折射仪^[3]等方式测量^[4-7]固体和液体的折射率.在利用以上方法测量物质折射率及色散的过程中,常需要对仪器反复调节,测量过程繁琐,且依靠人的主观判断相对较多,导致实验误差较大,不能很好地确定物质的色散关系.在大学物理实验中,常常利用最小偏向角法、掠入射法、垂直底边入射法等方法测量三棱镜的折射率^[8].本实验通过中空三棱镜结合垂直底边入射法测量液体的折射率,这种测量方式操作简便,实验数据量小,且利用光学方法代替了人的主观调节,可以较为准确地测量液体的折射率及色散.此外,与大多数测量液体折射率随浓度变化关系的文献^[6-7]不同,本实验选择测量溶液物质量浓度而非质量分数与折射率的关系,原因是根据理论推导,溶液折射率与溶液中的分子数密度有更直接的关系.

1 实验原理

中空三棱镜(图 1)是将普通三棱镜镂空所制成的实验仪器,可通过 3 块平板介质切割粘合而成.中空三棱镜内外表面相互平行,实验者在中空三棱镜镂空部分注入不同液体样品便可以测量其折射率.

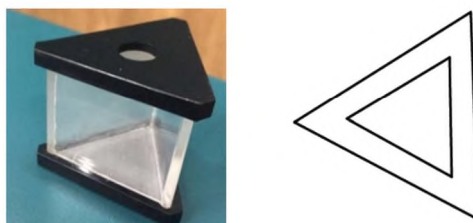
如图 2(a)所示,调节分光计到工作状态后,

可以利用自准直法使得准直光管的出射光垂直于 AB 边入射.设三棱镜顶角为 α ,中空三棱镜内部待测液体的折射率为 $n(\omega)$.

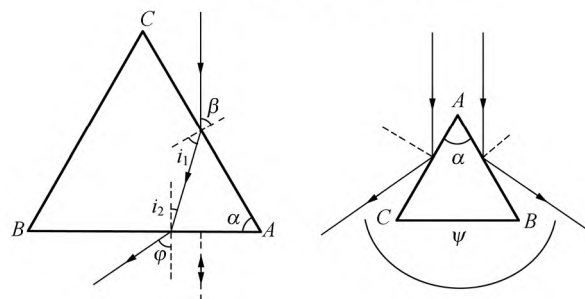
中空三棱镜的边框内外平行,故不会影响光线的传播方向.通过几何光学理论可以导出:

$$n(\omega) = \sqrt{\sin^2 \alpha + \left(\cos \alpha + \frac{\sin \varphi}{\sin \alpha} \right)^2}, \quad (1)$$

利用分光计测定 α 和 φ ,可计算待测液体折射率 $n(\omega)$.



(a)实物图 (b)俯视图
图 1 中空三棱镜实物图及俯视图



(a)垂直底边法 (b)分光束法
图 2 垂直底边法和分光束法

收稿日期:2020-05-20;修改日期:2020-07-01

作者简介:李瀚奕(2003—),男,四川成都人,成都外国语学校 2018 级学生.

通讯作者:吴晓立(1962—),男,四川成都人,西南交通大学物理科学与技术学院副教授,硕士,从事大学物理教学与实验研究. E-mail:2397106009@qq.com



2 实验测量

2.1 中空三棱镜顶角的测量

利用分光束法测量中空三棱镜的顶角,测量光路如图 2(b)所示.

$$\alpha = \frac{1}{2} \psi, \quad (2)$$

测得中空三棱镜顶角 $\alpha = 59^{\circ}55'$.

2.2 食盐水的配置

本实验选用食盐(纯 NaCl, 相对分子量 58.5, 碘添加量小于 5 mg/kg). 利用精确度为 0.01 g 的电子秤称量相应质量的食用盐(表 1), 在室温下(22 °C)配置相应物质量浓度食盐水溶液各 100 mL, 配置溶液浓度的误差小于 2 mmol/L. 再取过量食盐配置饱和食盐水溶液.

表 1 食盐水的配置参量

| $c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$ | m/g | $c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$ | m/g |
|--------------------------------------|--------------|--------------------------------------|--------------|
| 0 | 0 | 3.00 | 17.55 |
| 0.50 | 2.92 | 3.50 | 20.48 |
| 1.00 | 5.85 | 4.00 | 23.40 |
| 1.50 | 8.78 | 4.50 | 26.32 |
| 2.00 | 11.70 | 饱和 | — |
| 2.50 | 14.62 | | |

2.3 不同物质量浓度食盐水折射角的测量

1) 将分光计调节至工作状态后, 转动望远镜使其与准直管在同一直线上, 然后将中空三棱镜

放置于载物平台上, 转动载物平台使得中空三棱镜外表面反射的绿色十字叉像位于望远镜准线位置, 此时准直管的出射光垂直于中空三棱镜底边入射, 记录此时望远镜的位置, 亦即入射光线的角位置.

2) 用滴管将已配置好的食盐水滴入中空三棱镜中, 注意滴管不要触碰到中空三棱镜, 导致其位置移动.

3) 测量不同物质量浓度食盐溶液对不同波长汞灯光谱的折射角位置, 得出 φ .

注意: 在测量完每一浓度的食盐溶液的数据后, 都必须清洗中空三棱镜, 并且要用蒸馏水润洗, 待中空三棱镜内部充分干燥后方可进行下一浓度的实验.

3 数据处理及分析

3.1 计算不同物质量浓度食盐水溶液对不同波长光的折射率

实验数据如表 2 所示. 利用式(1)计算相应的折射率, 计算结果如表 2 所示.

由表 2 可以得到食盐水对不同波长光的折射率与浓度的关系, 如图 3 所示. 从图 3 可以看出, 食盐溶液物质量浓度越高, 其折射率越大, 且折射率随食盐浓度的变化基本上是线性的. 另外, 本实验测得的蒸馏水折射率与其它文献给出的值相近^[9], 误差不超过 0.1%, 在一定程度上说明了利用中空三棱镜测量液体折射率的可行性.

表 2 不同浓度食盐溶液对不同波长光的折射角和折射率

| $c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$ | $\varphi(c, \lambda)$ | | | | | $n(c, \lambda)$ | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------|----------|----------|----------|----------|-----------------|----------|----------|----------|----------|
| | 404.7 nm | 435.8 nm | 491.6 nm | 546.1 nm | 577.0 nm | 404.7 nm | 435.8 nm | 491.6 nm | 546.1 nm | 577.0 nm |
| 0 | 27°2' | 26°50' | 26°36' | 26°24' | 26°20' | 1.343 | 1.340 | 1.337 | 1.334 | 1.333 |
| 0.50 | 27°27' | 27°16' | 27°0' | 26°50' | 26°45' | 1.348 | 1.346 | 1.342 | 1.340 | 1.339 |
| 1.00 | 27°52' | 27°39' | 27°24' | 27°12' | 27°8' | 1.354 | 1.351 | 1.348 | 1.345 | 1.344 |
| 1.50 | 28°15' | 28°1' | 27°45' | 27°34' | 27°29' | 1.359 | 1.356 | 1.352 | 1.350 | 1.349 |
| 2.00 | 28°37' | 28°24' | 28°8' | 27°56' | 27°51' | 1.364 | 1.361 | 1.358 | 1.355 | 1.354 |
| 2.50 | 29°2' | 28°50' | 28°32' | 28°20' | 28°15' | 1.370 | 1.367 | 1.363 | 1.360 | 1.359 |
| 3.00 | 29°26' | 29°12' | 28°54' | 28°41' | 28°36' | 1.375 | 1.372 | 1.368 | 1.365 | 1.364 |
| 3.50 | 29°47' | 29°32' | 29°14' | 29°1' | 28°56' | 1.380 | 1.377 | 1.373 | 1.370 | 1.369 |
| 4.00 | 30°8' | 29°53' | 29°34' | 29°21' | 29°16' | 1.385 | 1.382 | 1.377 | 1.374 | 1.373 |
| 4.50 | 30°27' | 30°12' | 28°53' | 29°40' | 29°35' | 1.389 | 1.386 | 1.382 | 1.379 | 1.378 |
| 饱和 | 30°39' | 30°23' | 30°3' | 29°49' | 29°44' | 1.392 | 1.388 | 1.384 | 1.381 | 1.380 |

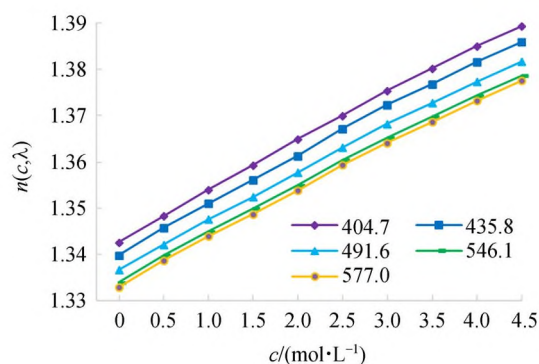


图 3 不同浓度食盐水对不同波长光的折射率

3.2 计算不同物质质量浓度食盐水溶液对不同波长光的色散

一般地,介质的色散关系可以表述为柯西经验公式^[10]

$$n = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} + \dots, \quad (3)$$

在本实验的精度范围内,只需取前 2 项,即

$$n = A + \frac{B}{\lambda^2}, \quad (4)$$

拟合得到食盐溶液各种浓度下的系数 A, B, 如表 3 所示.

表 3 不同物质质量浓度食盐溶液的色散关系

| $c/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$ | A | B/nm ² |
|--------------------------------------|-------|-------------------|
| 0 | 1.324 | 3 113 |
| 0.50 | 1.329 | 3 109 |
| 1.00 | 1.333 | 3 242 |
| 1.50 | 1.339 | 3 379 |
| 2.00 | 1.344 | 3 375 |
| 2.50 | 1.349 | 3 482 |
| 3.00 | 1.353 | 3 665 |
| 3.50 | 1.357 | 3 727 |
| 4.00 | 1.362 | 3 818 |
| 4.50 | 1.366 | 3 818 |
| 饱和 | 1.367 | 4 039 |

从图 4~5 可以看出,食盐水的柯西系数 A, B 均随食盐水浓度增大而增大,且 A 基本是线性的, B 可以近似认为是线性的,这与理论推导相吻合^[10-11].

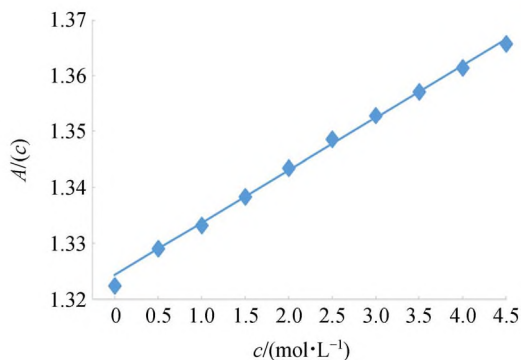


图 4 食盐水的柯西系数 A 与浓度 c 的关系

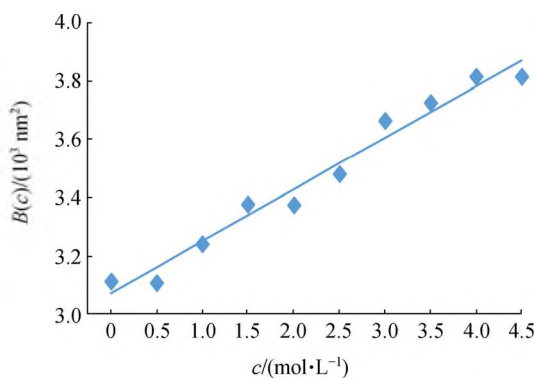


图 5 食盐水的柯西系数 B 与浓度 c 的关系

3.3 可见光范围内食盐水折射率与食盐水物质质量浓度、光波长的二元函数关系

对图 4 和图 5 线性拟合给出 A 和 B 与浓度 c 的关系为

$$A = 0.009 4c + 1.324, \quad (5)$$

$$B = (178.2c + 3 072) \text{ nm}^2. \quad (6)$$

对于盐溶液的色散系数 B,从图 5 中可以看到,其线性关系并不是非常理想,这是由于 B 与不同波长光对应折射率之差相关,该差距较小,容易受到仪器等误差的影响;而系数 A 则更多依赖折射率的平均值,受误差影响较小.

利用(3)式的柯西关系,得到:

$$n(c, \lambda) = 0.009 4c + 1.324 + (178.2c + 3 072) / \lambda^2, \quad (7)$$

对于(7)式,利用上述实验数据进行验证,其误差不超过 0.1%.

由(5)式外推可得饱和食盐溶液的浓度为 $c_0 = 4.60 \text{ mol/L}$.

3.4 实验误差来源

实验的误差来源有以下几方面:a. 中空三棱镜工艺引入的误差,如内外表面不平行,存在曲率,反射面不垂直于底面等;b. 光谱线 404. 7/491. 6 相对强度较弱导致的偏差;c. 仪器误差;d. 配制溶液时引入的误差.

4 结束语

利用中空三棱镜,结合垂直底边入射法测量了液体折射率及色散系数. 利用此种方法测量同一浓度下不同光谱线的折射率时,数据点相比其他文献中^[3-7]使用的实验方式减少了接近一半,可以更为便捷地测量液体的色散率. 得出了食盐水折射率与食盐水物质量浓度,光波长的二元函数关系,在可见光范围内误差不超过0.1%,可以作为经验公式使用.

致谢:感谢成都外国语学校贺秀兰老师、代佳乐同学,河南实验中学朱岳宸同学等提供的帮助.

参考文献:

- [1] 宋立尔. 用迈克尔逊干涉仪测量气体固体折射率[J]. 物理实验,1983,3(6):272-273.
- [2] 郭秀芝,陈若辉. 用布儒斯特角法测量各向同性固体的折射率[J]. 吉林师范大学学报(自然科学版),2006,27(3):81-82.
- [3] 魏家祺,陈永华,丁霞. 利用阿贝折射仪测定不同盐度海水的折射率[J]. 科技经济导刊,2016(36):127-128.
- [4] 张凌,高孔,何群秋,等. 固体材料折射率测试方法概述[J]. 计量与测试技术,2015,42(10):1-4,8.
- [5] 赵锦柱,张蕾,王思慧,等. 不同浓度下溶液的色散研究[J]. 大学物理,2007,26(2):59-63.
- [6] 许释文,徐怡冰,邱妙婵,等. 自制仪器测量不同质量分数的盐水折射率[J]. 物理实验,2018,38(8):56-59.
- [7] 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.
- [8] 西南交通大学物理实验中心. 大学物理实验[M]. 北京:科学出版社,2018:87-102.
- [9] Fernández-Prini R. Release on the refractive index of ordinary water substance as a function of wavelength, temperature and pressure [C]//The International Association for the Properties of Water and Steam. Erlangen, 1997.
- [10] 赵凯华. 新概念物理·光学[M]. 北京:高等教育出版社,2004:343-351.
- [11] (美)费恩曼,(美)莱顿,(美)桑兹. 费恩曼物理学讲义(第二卷)[M]. 上海:上海科学技术出版社,2013:433-457.
- [12] 黄思俞,许艳秋,王宗箴,等. 海市蜃楼形成的理论分析与实验模拟再现[J]. 物理实验,2019,39(6):23-26.
- [13] 种晴,袁志峰,范婷. 利用折射率衡量蔗糖水解反应的进程[J]. 物理实验,2017,37(8):48-50,53.

Measuring the refractive index and chromatic dispersion of salt solution using hollow triple prism

LI Han-yi¹, XIONG An-guo¹, WANG Zheng¹, WU Xiao-li²

(1. Chengdu Foreign Languages School, Chengdu 611731, China;

2. School of Physical Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: The relations between refractive index and concentration of salt solution were explored for different wavelengths. The chromatic dispersion curves of salt solution were calculated and plotted.

Key words: liquid refractive index; Cauchy dispersion; hollow triple prism

[责任编辑:郭 伟]