磁场对水及水溶液折射率影响的探究*

蔡 妍 苏 波** 曹新影

(首都师范大学物理系,太赫兹光电子学教育部重点实验室,太赫兹波谱与成像北京市重点实验室,
北京成像理论与技术高精尖创新中心,北京 100048)

摘要:本文研究了水和不同水溶液的折射率在磁场中的变化情况,定性分析其变化趋势,并对经磁场作用的水溶液进行去磁静置和振荡处理,综合分析了磁场对不同水溶液折射率改变的影响,进而分析和阐述了磁场对水作用的机理.

关键词:磁场;水;水溶液;折射率

中图分类号:O441.6 **DOI**:10.19789/j.1004-9398.2020.05.004

0 引 言

水是生命之源,对人类的生存和发展起着非常重要的作用.因此,人们从未停止过对水的结构和特性的研究[1-5],然而水还有许多性质尚未被研究清楚,如在磁场作用下水的性质.经磁场处理后水的许多特性,如介电常数、折射率、挥发性和表面张力等都会发生改变[6-13].本文探究磁场对水及水溶液折射率的影响,选取了蒸馏水和几类典型的水溶液(酸、碱和盐)进行测量并分析其异同,继而分析磁场影响水溶液折射率的机理.

1 激光照射法测量折射率的原理

研究磁场对水及水溶液折射率的影响,关键在于对水溶液折射率的测量.液体折射率的测量方法主要包括激光照射法、衍射光栅法、光纤杨氏干涉法和掠面入射法等[14].本文所采用的是激光照射法.

激光照射法是利用激光进入液体中时的折射特性和在液体表面的反射特性来测量折射率[15].实验光路如图 1 所示.采用功率为 2.22 mW 的氦氖激光器作为光源,水槽的底部放置一个反射率高的玻璃板.当激光以某一角度照射到水槽底部玻璃板的 D 点时,在玻璃板表面发生反射,反射的激光光束会投射到与水槽平行放置的白屏上.然后在水槽中加入待测液直至没过玻璃板并在其上面形成一层液体薄膜,此时入射的激光光束就形成 2 条光路:一条是直接在液体表面发生反射并投射在白屏上的 M_2 点;另一条是激光光束进入待测液发生折射并被玻璃板反射,然后从待测液中出来时再次发生折射,并投在白屏上的 M_1 点.

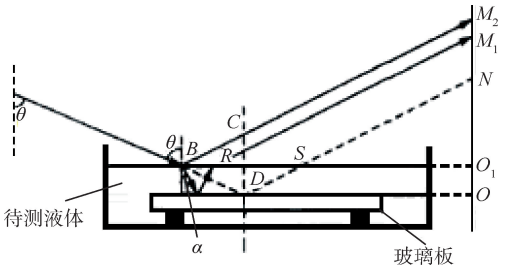


图 1 激光照射法原理

在假设空气折射率为 1 的情况下,根据几何关系及定律可推导出折射率(n)计算公式为[16]

$$n = \frac{\sin\theta}{\sin\alpha} = \frac{\sin\left[\arctan\dfrac{OD}{ON}\right]}{\sin\left[\arctan\left(\dfrac{M_2M_1}{NM_2}\cdot\dfrac{OD}{ON}\right)\right]}. \quad (1)$$

从式(1)可知,利用激光照射法可以将图 1 中难以测量的角度转化成可从刻度屏上直接读出的坐标,实现了从角度到长度的转化.在实际操作过程中,通过测量 M_2、M_1 和 N 这 3 个光点的间距和反光镜上光点与刻度屏距离(OD),带入公式计算即可得出待测液体的折射率.选用此方法的原因是激光照射法可以在磁场环境下长时间测量而不影响测量精度,且实验操作简单精确度高.

收稿日期:2019-09-01

* 国家自然科学基金(61575131,61675138,61575130)

** 通信作者:su-b@163.com

2　实验方法

选择 DH-HN250 型激光光源,即氦氖激光器,激光波长为 635 nm,功率为 2.22 mW,其容易获得且稳定性好.为实现实验中溶液磁化时折射率的同步测量,本实验采用静置磁化法.磁场源主要由密绕的线圈柱、铁芯等组成,实验用样品池置于2 个磁铁之间,并以直流稳流电源作为控制电源,通过调节电流大小来控制磁场,从而实现对样品溶液磁化时折射率的时间同步测量.磁场源磁场强弱由 WLY-104 型晶体管稳流电源控制.利用高斯计测量实验中磁场的大小,再利用激光照射法分别对不同溶液的折射率进行测量.

选取蒸馏水、稀 H_2SO_4 溶液、NaOH 溶液和 $FeCl_3$ 溶液作为样本溶液进行探究,考虑到溶液浓度对实验结果的影响以及对实验仪器的腐蚀情况,对各溶液浓度有所选择.$FeCl_3$ 溶液是将$FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 和水按质量比 1∶4进行混合,NaOH 溶液的浓度为 0.5 mol/L,稀 H_2SO_4 溶液的浓度为 2.0 mol/L.

以蒸馏水为例,步骤如下:(1)搭建好实验光路,打开激光器电源;(2)将样品池中加满蒸馏水,水面尽量水平于样品池上壁边缘,放在实验光路中;(3)调整激光器方向角度使激光入射到样品池中,并且在不碰及样品池壁的情况下,肉眼可观察到刻度屏上出现 2 个光点,其中一个较亮(折射光),另一个较暗(水面反射光);(4)细微调整激光器方向,使上、下 2 个光点水平方向无视差;(5)固定激光器,取下样品池,将样品池中水倒出,将底部反光镜上的水吸干,重新放在桌面上,使激光打在反光镜上,测得 OD,而刻度屏上的示数即为 N;(6)将磁场电源打开,静置 30 min,重复步骤(2);(7)读取刻度屏上、下 2 个示数,分别为 M_2 和 M_1;(8)利用式(1)计算 n;(9)选取适当的时间间隔,依次重复步骤(7)和(8);(10)测量不同磁场强度(1 400 和 2 100 Gs)下多组溶液的折射率,整理并制作表格和折线图,总结和分析测量结果.

3　结果分析

不同磁场强度下,4 种溶液折射率随磁化时间变化如图 2 所示.在磁场强度为2 100 Gs(1 A/m = $4\pi \times 10^{-3}$ Gs)时,随着磁化时间的推移,蒸馏水的折射率逐渐变大,3 h 左右达到极大值并趋于稳定,

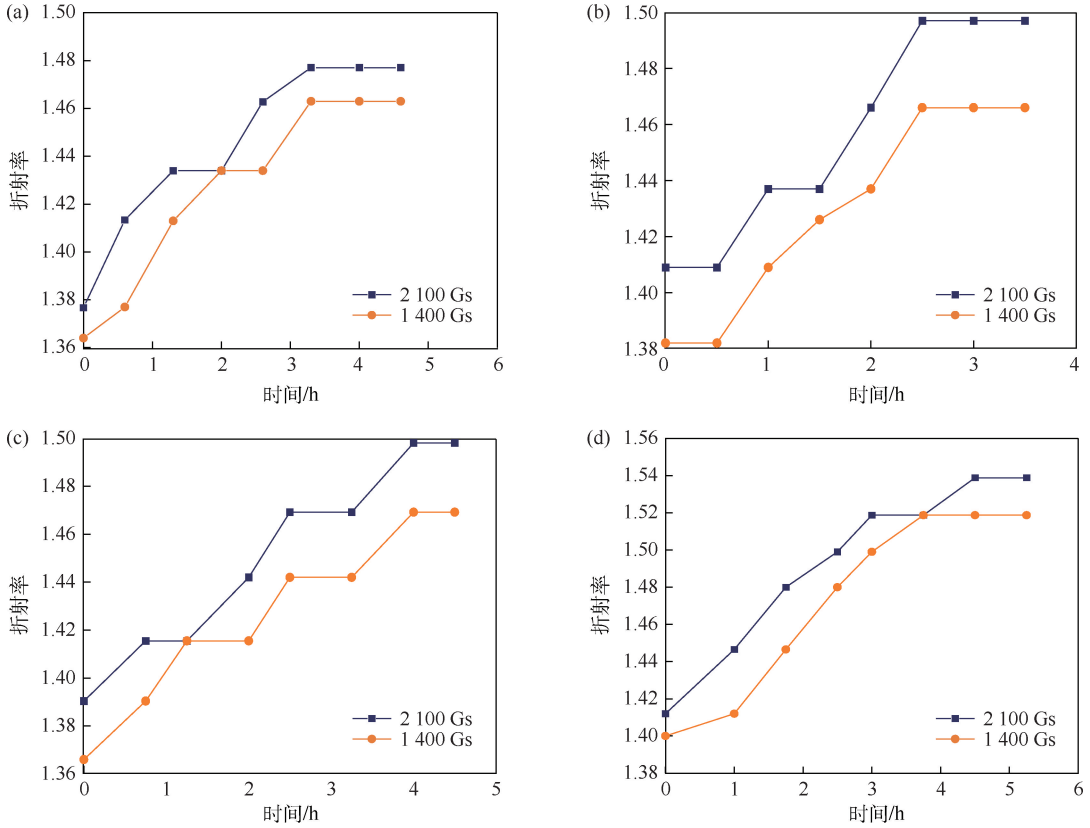


图 2　不同磁场下 4 种液体折射率随磁化时间变化

(a)蒸馏水;(b)稀 H_2SO_4 溶液;(c)NaOH 溶液;(d)$FeCl_3$ 溶液

注:1 A/m = $4\pi \times 10^{-3}$ Gs.

稳定后去除磁场静置,水的折射率随时间缓慢下降,接近 4 h 后基本不再下降,并到达另一稳定状态,此状态会维持较长一段时间(48 h). 剧烈振荡后测量,蒸馏水的折射率基本恢复到未加磁场时的折射率值. 在磁场强度为 1 400 Gs 时,蒸馏水折射率变大,静置一段时间(33 h)后,折射率下降,振荡后恢复至不加磁场时的初始值.

H_2SO_4 溶液无论在弱磁场还是在强磁场中,其折射率都增大,在静置一段时间后,溶液折射率都有所下降,并在一段时间内稳定.

NaOH 溶液随着施加磁场时间的增加,其折射率总体趋势变大,并在一定时间内达到最大值并趋于稳定,在弱磁场和强磁场中折射率的涨幅相同. 在去除磁场并静置一段时间后,溶液的折射率会有所下降.

$FeCl_3$ 溶液在磁场作用下,折射率也逐渐变大,达到一定时间之后不再变化. 在弱磁场和强磁场中折射率的涨幅相同,静置一段时间,溶液折射率都有一定幅度的下降. 但经过剧烈的晃动后,$FeCl_3$ 水溶液的折射率基本恢复无磁化时的值.

不同磁场强度处理 4 种溶液的折射率变化如表 1 所示. 水及 3 种溶液在磁场中的折射率都有所升高,但其变化率和涨幅时间并不相同. 对同一种溶液而言,不同磁场强度对溶液折射的变化率影响不大.

表 1　2 种磁场强度下不同溶液折射率变化情况

溶液	1 400 Gs			2 100 Gs		
	涨幅百分比/%	涨幅时间/h	下降百分比/%	涨幅百分比/%	涨幅时间/h	下降百分比/%
蒸馏水	7	3.33	3	7	3.33	2
稀 H_2SO_4 溶液	6	2.50	2	6	2.50	2
NaOH 溶液	7	4.00	2	7	4.00	4
$FeCl_3$ 溶液	9	3.75	6	9	4.50	5

4　理论分析

通过实验可知,在磁场作用下水和水溶液的折射率都会发生暂时的变化. 为了分析磁场对水溶液作用的机理,需从水的自身结构出发. 水分子(H_2O)是极性分子[17-18],氢原子与电负性大的氧原子以共价键相连,且可以和另一个 H_2O 分子中电负性大的氧原子间产生一定的结合力,形成较弱的氢键,即 O—H…O.

水中大量氢键将 H_2O 相互联系在一起,从而使 H_2O 以一种团簇的形式存在. 液态水里的每个 H_2O 分子与周围最邻近的 4 个 H_2O 分子以氢键结合形成了类似于冰的点阵结构,进而形成规则不明显的空间网络结构,在这过程中氢键不断产生和断裂形成一种动态平衡[19]. 伴随着氢键的形成和断裂,H_2O 间也处于一种不断缔合成大分子团簇和结缔成小分子的动态平衡中:

$$(H_2O)_n \rightleftharpoons xH_2O + (H_2O)_{n-x}. \qquad (2)$$

虽然磁场为水提供的能量远没有氢键的键能大,但是由于氢键不是化学键,而是一种分子间作用力,存在依靠分子热运动碰撞来维持的动态平衡. 实验中磁场能量不大,但是足以驱使这个平衡向氢键断裂的方向移动,导致水的多分子团簇结构就会解离变成较小的分子团,其宏观表现就是折射率增加.

在实验中,用磁场强度为 2 100 和 1 400 Gs 分别处理同一种液体,磁场强度大的折射率大. 因为磁场越大对氢键破坏效果越明显,折射率升高的就越大. 去磁场静置一段时间后,折射率都有不同程度的回落,但对水剧烈振荡后,折射率恢复最初水平. 因为在去磁场后,水会逐渐向原平衡方向移动,但并不能完全恢复到原有平衡,但若对水溶液进行剧烈振荡,磁场对水的影响基本消失,水溶液基本达到初始状态. 稀 H_2SO_4、NaOH 以及 $FeCl_3$ 溶液在加磁场后的折射率都比 H_2O 大,因为在这 3 种溶液中,溶解在水中的离子会和 H_2O 分子结合成水合离子,其在磁场中会受到洛伦兹力的作用,作螺旋式圆周运动,而电性相反的离子旋转方向也相反. 水合离子在洛伦兹力下的旋转会扭断氢键,使得动态平衡方程向右边移动,加速小分子团的形成,进而使得折射率增高.

5　结　论

本文研究了磁场对水及水溶液折射率特性的影响,通过实验探讨了不同溶液在不同磁场强度下折射率的变化情况. 所有液体在加磁场时,初始折射率都有所增大,并且磁场增强时这种变化就较明

显.不同磁场强度时,折射率涨幅百分比和涨幅到下一个稳定状态时间都大致相同.本文可为研究水的本质特性提供参考,并为今后水的更充分利用提供实验基础和思路创新.

参 考 文 献

[1] 黎礼丽,朱伯和,黄静文,等.水分子结构及其应用研究综述[J].农业与技术,2019(16):50 - 51.

[2] 李金玉,茅方玥.用光速测定仪探究水的折射率[J].大学物理实验,2015(2):28 - 30.

[3] 蔡凡一. 低温液态水的性质新探[D].合肥:中国科学技术大学,2014.

[4] 秦序,郭明霞.利用原子荧光光谱法测定水中的总砷探析[J].首都师范大学学报(自然科学版),2013,34(1):34 - 36.

[5] 高凤义.拉脱法测水表面张力系数实验稳定性的探讨[J].首都师范大学学报(自然科学版),1997,18(S1):125 - 127.

[6] 郭韶帅. 静磁场作用下海水介电频率特性研究[D]. 新乡:河南师范大学,2017.

[7] AMIRI M C,DADKHAH A A. On reduction in the surface tension of water due to magnetic treatment[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects,2006,278(1):252 - 255.

[8] 陈本,胡小慧,李俊亨,等.电磁场处理水电导率提高的机理[J].生物磁学,2003(3):1 - 3.

[9] 张军,张立红.磁场对水扩散系数影响的分子动力学模拟研究[J].曲阜师范大学学报(自然科学版),2003(1):64 - 67.

[10] 杨桂娟,胡玉才,白亚乡.磁处理水光学性质的研究[J].大连水产学院学报,2002(4):301 - 306.

[11] 李冠成,康永林,李明,等.水在电场、磁场作用下物理性质变化及其影响[J].现代物理知识,2001(2):30 - 31.

[12] 刘芳玲,蒋佩琳.磁场处理条件与水的表面张力关系的研究[J].四川师范大学学报(自然科学版),1997,20(5):127 - 131.

[13] HIGASHITANI K,OSHITANI J,OHMURA N. Effects of magnetic field on water investigated with fluorescent probes[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects,1996,109:167 - 173.

[14] 宋书玮.液体折射率的测量方法分析[J].科技风,2016(23):153.

[15] 辛督强,朱民,解延雷,等.测量液体折射率的几种方法[J].大学物理,2007(1):34 - 37.

[16] SINGH S. Measuring the refractive index of a liquid using a laser[J]. Physics Education,2002,37(2): 152 - 153.

[17] 陈静,潘章,纪青.水分子间氢键判别标准的从头分子动力学模拟研究[J].河北工业大学学报,2014(4):84 - 88.

[18] 王波. 水团簇中氢键的电子结构理论研究[D]. 长春:吉林大学,2016.

[19] 张建平,赵林,谭欣.水分子团簇结构的改变及其生物效应[J].化学通报,2004(4):278 - 283.

Study on the Influence of External Magnetic Field on Refractive Index of Water and Aqueous Solution

CAI Yan　SU Bo　CAO Xinying

(Department of Physics,Capital Normal University;Key Laboratory of Terahertz Optoelectronics, Ministry of Education;Beijing Key Laboratory for Terahertz Spectroscopy and Imaging;Beijing Advanced Innovation Center for Imaging Theory and Technology,Beijing　100048)

Abstract: The change of refractive index of water and several different aqueous solutions in the magnetic field was studied,and the change trend was analyzed qualitatively. The demagnetization static and oscillation treatment were carried out for the aqueous solution under the action of the magnetic field. The influence of the magnetic field on the change of the refractive index of different aqueous solutions was analyzed comprehensively, and the mechanism of the magnetic field on water and aqueous solutions was analyzed and expounded.

Keywords: magnetic field;water;aqueous solution;refractive index