

磁性液体 Rosensweig 尖峰的磁控研究

李艳琴

(大连大学 物理科学与技术学院, 辽宁 大连 116622)

摘 要: 设计了磁性液体 Rosensweig 尖峰展示球实验装置, 研究了不同磁感应强度时 Rosensweig 尖峰的个数和间距的变化, 展现了铁球磁体的磁场三维分布, 演示了磁场空间分布随磁感应强度的变化. 实验结果表明: 磁性液体 Rosensweig 尖峰个数随磁感应强度的增强而逐渐增加, 当磁感应强度达到 250 mT 后, 尖峰个数趋于平缓. 当磁感应强度较弱时, 磁性液体 Rosensweig 尖峰分布稀疏, 尖峰之间间距较大, 铁球磁体周围磁感线分布稀疏; 当磁感应强度较强时, Rosensweig 尖峰分布密集, 尖峰之间间距较小, 铁球磁体周围的磁感线分布密集.

关键词: 磁性液体; Rosensweig 尖峰; 磁控

中图分类号: O441 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-4642(2015)06-0004-04

1 引 言

磁性液体由包覆表面活性剂的纳米磁性颗粒融入无磁性的载液中形成的胶体溶液, 它具有特殊的磁性能^[1]. 无外加磁场作用时, 载液中的磁性颗粒在布朗运动作用下做杂乱无章运动, 各磁性颗粒磁矩方向无序排列, 磁矩互相抵消, 磁性颗粒均匀分散在载液中, 磁性液体不显示宏观磁性. 当磁性液体处于外加磁场中时, 磁性颗粒将沿磁场方向形成链状排列结构^[2-3], 且磁场越强处, 聚集的磁性颗粒越多, 磁性液体中磁性颗粒排列状态的变化将导致磁性液体的性能发生根本性变化. 当光通过磁性液体时, 其折射率和透射率会随磁感应强度的变化而改变^[4-5]; 磁性颗粒的链状结构会对磁性液体的表面张力系数和黏度产生较大影响^[6-8]. 磁场还会对磁性液体界面产生不稳定的影响, 出现磁性液体 Rosensweig 尖峰^[9].

对磁场的研究很多, 陈森等人研究了地磁场对光抽运信号的影响, 解决了光泵磁共振实验教学过程中的一个难点^[10]; 吕红英等人基于 LabVIEW 软件设计了亥姆霍兹线圈磁场自动测量系统^[11]; 李华设计了展示磁场分布实验装置, 演示了不同形状磁铁的磁感线二维的分布情况^[12]. 而对于磁场分布的三维展示, 仍然是物理实验的教学难点, 因此, 本文利用磁性液体的 Rosens-

weig 尖峰, 设计了磁性液体展示球实验装置, 研究了不同磁感应强度时磁性液体 Rosensweig 尖峰的变化情况, 分析了磁体周围的磁场分布, 实现了磁感线三维展示, 为学生的创新思维训练奠定基础, 引领学生主动去实施和探索未知的领域, 引导学生查阅文献、设计实验方案、解决实验过程中遇到的问题, 实现以学生自我训练为主的教学模式, 提高学生的创新思维和动手能力^[13].

2 实验装置

实验装置结构如图 1 所示, 其主要由直流稳压电源、电磁线圈、玻璃球、透明液体、铁球等构成. 透明液体的主要成分的去离子水和甘油^[14], 二者按照一定比例配置, 确保磁性液体不会附着在玻璃球表面. 由于磁性液体的附着力很强, 为避免磁性液体污染玻璃球内表面, 首先将透明液体装入玻璃球内, 然后进行密封, 最后用针管将磁性液体注入到透明液体中. 磁性液体被不相溶的透明液体包围, 即使接触到玻璃内表面, 也不会附着其上. 实验中所使用的磁性液体为采用大气压介质阻挡放电等离子体制备的 $\epsilon\text{-Fe}_3\text{N}$ 磁性液体, 载液为 7# 白油, 表面活性剂为聚丁烯基丁二酰亚胺四乙炔五胺. 按质量比配制载液和表面活性剂混合液, 超声处理 15 min, 使二者充分混合, 注入储存室; 通 Ar 置换反应腔内空气, 使用交变高

收稿日期: 2015-04-11

资助项目: 大连大学 2014 年度教改项目 (No. 2014-126G1)

作者简介: 李艳琴 (1979-), 女, 山西忻州人, 大连大学物理科学与技术学院讲师, 博士, 主要研究方向为磁性液体的性能及其应用.

频脉冲电压对 NH_3 和 Ar 放电产生氮的活性粒子,和 $\text{Fe}(\text{CO})_5$ 分解生成的铁粒子重新组合,控制好反应温度和时间,合成 $\epsilon\text{-Fe}_3\text{N}$ 磁性液体. 磁性液体中纳米磁性颗粒的直径为 $9\sim 15\text{ nm}$,饱和磁化强度为 67.18 mT .

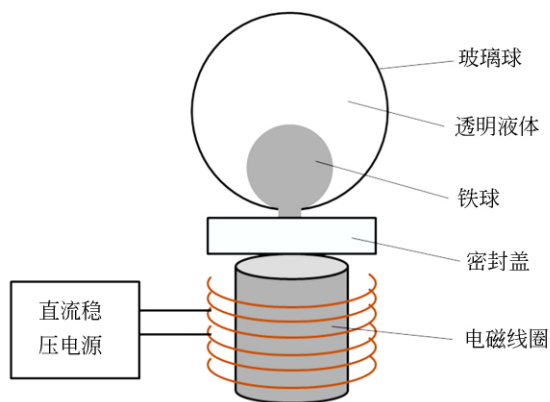


图 1 磁性液体 Rosensweig 尖峰展示球实验装置

接通电源,在电磁线圈作用下,铁球周围产生磁场. 在外加磁场作用下磁性液体产生 Rosensweig 尖峰,随励磁电流增加,外加磁场的磁感应强度增强,磁性液体的 Rosensweig 尖峰形成不同的状态,犹如运动的“海胆”,留给学生的无限的遐想,激发学生的创新思维.

3 磁感应强度对磁性液体 Rosensweig 尖峰的影响

铁球磁体周围的磁感线分布图如图 2 所示,磁感线沿铁球表面呈辐射状. 图 3 为铁球表面磁感应强度随电流变化曲线,随励磁电流增加,铁球

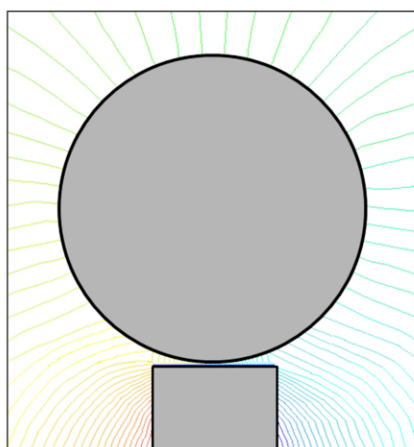


图 2 铁球磁体表面的磁感线图

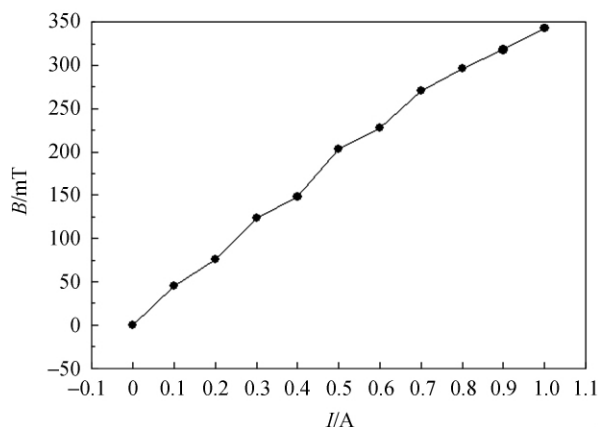


图 3 铁球表面磁感应强度随电流变化曲线

表面的磁感应强度逐渐增强. 随磁感应强度增强,磁感线的分布状态会发生变化,用磁性液体 Rosensweig 尖峰展示球演示了不同磁感应强度时,磁感线的分布状态,如图 4 所示.



(a)76 mT



(b)123 mT



(c)148 mT

图 4 不同磁感应强度时磁性液体 Rosensweig 尖峰

当磁感应强度为 76 mT 时,出现了 26 个 Rosensweig 尖峰,尖峰呈现类圆锥形状,离磁体越远,尖峰变得越细. 当磁感应强度为 123 mT 时,尖峰个数增加到了 41 个,尖峰长度无明显变化,但尖峰变细;当磁感应强度为 148 mT 时,尖峰个数持续增加变得非常密集,且尖峰变细. 图 4 中磁性液体 Rosensweig 尖峰的分布状态反映了磁感线的分布情况,磁感线越密集,磁体周围的磁感应强度越强. 当磁感应强度为 76 mT 时,磁性液体 Rosensweig 尖峰分布稀疏,尖峰之间间距较大,说明磁体周围磁感线分布稀疏,从侧面反映磁体周围的磁场较弱. 当磁感应强度为 148 mT 时, Rosensweig 尖峰分布密集,尖峰之间间距较小,说明此时磁体周围的磁感应强度较强. 由磁性液体 Rosensweig 尖峰的个数及间距的变化情况,能直观地反映磁体周围磁感线的变化情况以及磁感应强度的强弱. 图 5 为磁性液体 Rosens-

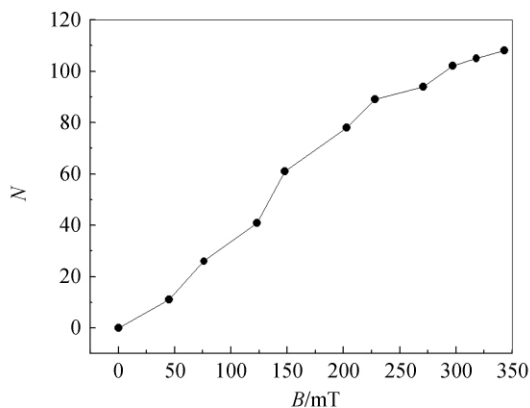


图 5 Rosensweig 尖峰个数随磁感应强度变化曲线

weig 尖峰个数随磁感应强度的变化规律,随磁感应强度增强,尖峰个数逐渐增加,当磁感应强度增加到 250 mT 后,尖峰个数的变化趋于平缓,主要是由于随磁感应强度增加,尖峰间距变小,尖峰之间也存在一定的排斥力.

4 结 论

用磁性液体 Rosensweig 尖峰展示球研究了铁球磁体周围的磁场分布,使铁球磁体周围的磁感线真实动态地三维展现出来,且演示了随磁感应强度增强,磁感线分布情况的变化. 磁性液体 Rosensweig 尖峰个数随磁感应强度的增强而逐渐增加,当磁感应强度达到 250 mT 后,尖峰个数趋于平缓,这是因为随磁感应强度增加,尖峰间距变小,尖峰之间也存在排斥力. 当磁感应强度较弱时,磁性液体 Rosensweig 尖峰分布稀疏,尖峰之间间距较大,说明磁体周围磁感线分布稀疏,从侧面反映磁体周围磁场的较弱. 当磁感应强度较强时, Rosensweig 尖峰分布密集,尖峰之间间距较小,说明此时磁体周围的磁感应强度较强.

参考文献:

- [1] 马涛,吴静芝,杨丽珍,等. 纳米磁性液体的制备和性能[J]. 机械工程材料,2006,30(2):58-60.
- [2] 邓海东,李海. 磁性液体中非磁性小球与磁性纳米颗粒的相互作用及磁组装[J]. 物理学报,2013,62(12):127501(1-6).
- [3] 王士彬,杜林,孙才新,等. 水基铁磁流体磁致凝聚行为的三维耗散粒子动力学研究[J]. 功能材料,2011,42(2):298-301.
- [4] 王正良,陈善飞. 磁性液体在磁场中产生光的双折射效应机理[J]. 光学技术,2003,29(1):119-121.
- [5] 陆樟献,王军,夏肆华. 煤油基 Fe_3O_4 磁性液体薄层的光学特性研究[J]. 光学学报,2011,31(2):0216003(1-8).
- [6] 陈达畅,程西云. 基于磁液表面张力磁流体密封模型的研究[J]. 润滑与密封,2005(5):117-120.
- [7] 刘雪莉,杨庆新,杨文荣,等. 磁性液体磁粘特性的研究[J]. 功能材料,2013,44(24):3554-3557.
- [8] 李艳琴. 磁场强度对磁性液体磁表面张力系数的影响[J]. 物理实验,2015,35(5):30-33.
- [9] Kats E I. Rosensweig instability in ferrofluids [J]. Low Temperature Physics, 2011,37(10):812-814.
- [10] 陈森,王点庄,曹庆睿,等. 垂直磁场对光抽运信号的影响[J]. 物理实验,2015,35(2):5-7.

- [11] 吕红英,顾明华,李凌燕,等. 基于 LabVIEW 的亥姆霍兹线圈磁场自动测量系统[J]. 物理实验, 2014,34(5):20-23.
- [12] 李华. 磁极和磁场实验的创新设计[J]. 物理实验, 2009,29(11):11.
- [13] 王丽梅. 基于创新性应用型人才培养的实验教学方法研究[J]. 实验技术与管理, 2014,31(1):19-21.
- [14] Sudo S, Hashimoto H, Ikeda A. Measurements of the surface tension of a magnetic fluid and interfacial phenomena [J]. Japan Society of Mechanical Engineers, 1989,32(1):47-51.

Research on the Rosensweig peak of ferrofluid by magnetic field control

LI Yan-qin

(College of Physical Science and Technology, Dalian University, Dalian 116622, China)

Abstract: An experiment device for exhibiting the Rosensweig peak of ferrofluid was designed. The variation of the number and gap of the Rosensweig peak was studied for different magnetic induction. The spatial distribution of magnetic field was demonstrated dynamically, its evolution under different magnetic induction was exhibited. The number of peaks increased with increasing magnetic induction. When magnetic induction was up to 250 mT, the variance of the number of peaks slowed down. When magnetic induction was weak, the Rosensweig peaks were sparse and the gap was wide, and the distribution of magnetic induction line was sparse. When magnetic induction became stronger, the Rosensweig peaks turned out to be dense and the gap was narrow, and the distribution of magnetic induction line was also dense.

Key words: ferrofluid; Rosensweig peak; magnetic field control

[责任编辑:任德香]

(上接第3页)

Mie scattering experiment

WU Xiao-yan, ZUO Hao-yi

(College of Physics and Technology, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: When parallel polychromatic light created by LED source passed polydispersed particles such as steam, the Mie scattering appeared. The angle distribution of the intensity of spherical particle scattering was analyzed, the scattering chroma spectrum of steam was obtained, and the optical thickness was measured. The corona phenomena were observed when parallel light passed the steam created by boiling water and humidifier, and the principle of rainbow and Mie scattering was compared.

Key words: parallel polychromatic light; polydisperse particle; Mie scattering

[责任编辑:任德香]