

文章编号:1005-4642(2022)04-0047-04



基础教育

多功能电涡流演示仪

刘 通¹, 王泽源¹, 于 琪²

(1. 天津师范大学 物理与材料科学学院, 天津 300387; 2. 天津市实验中学, 天津 300074)

摘 要:高中物理教学中,关于涡流部分的演示实验较少,利用电涡流演示仪可以弥补该不足,改善教学效果. 根据电磁感应中楞次定律的理论和基本原理设计了多功能电涡流演示仪,通过转动的铝盘与磁铁的不同磁极之间产生的相互作用,根据电磁阻尼和电磁驱动原理,完成电涡流悬浮、隔离传动、隔离制动和发电 4 种现象的演示.

关键词:电磁感应;楞次定律;涡流;电磁阻尼;电磁驱动

中图分类号:G633.7

文献标识码:A

DOI:10.19655/j.cnki.1005-4642.2022.04.009

1 高中涡流实验教学中的不足

高中物理教材在“涡流、电磁阻尼和电磁驱动”中,分析了感生电动势,对其形成的原因进行了初步探讨后,介绍了涡流及其成因、涡流的热效应和机械效应^[1]. 在机械效应方面,设置了简易的电磁阻尼摆实验和三相电流的电磁驱动实验,由于在教学过程中缺少配套、有效的演示实验装置,导致学生对该部分内容的直观认知有所缺失^[2]. 传统教学方式与新课改中注重课程的时代性,关注科技进步和社会发展需要的教学理念^[3]及教学目标相冲,在一定程度上不利于学生核心素养的进一步发展. 为解决以上问题,本文应用涡流的产生机制和机械效应原理,制作了集悬浮、制动、驱动、发电于一体的多功能电涡流演示仪. 此实验仪可以让学生直观地观察到涡流现象,帮助学生理解涡流的物理图象. 除教师的讲解外,学生还可以通过原理进一步定性分析涡流的技术应用.

2 多功能电涡流演示仪的原理

2.1 设计思路

有关电磁阻尼和电磁驱动演示实验创新与改进的文献有很多,例如文献^[4]介绍了 4 种实验教

具的相关制作和应用,文献^[5-6]介绍了钕磁铁沿金属板下滑的创新型实验. 这些演示实验具备以下优点:

- 1) 演示实验的现象明显,能够引发学生探索的兴趣和思考.
- 2) 制作和操作方法简便,实验装置取材方便.
- 3) 在教具设计理念方面,部分实验想法新颖,构思巧妙. 另外,还有部分实验将教材中涉及的实验进行了改进.
- 4) 在教具设计原理方面,部分原理在演示实验后再向学生进行解释,学生会更容易理解.

通过以上总结,可以看出目前电磁阻尼和电磁驱动演示实验优点突出,但不足也较为明显. 主要表现在以下方面:

- 1) 时代性:演示实验与实际生产生活有一定程度的脱离.
- 2) 推广性:演示实验仪器无法批量生产.
- 3) 创新性:目前的实验改进主要集中于磁铁在塑料管和铝管当中的运动,蹄形磁铁贴近铝盘的制动以及钕磁铁沿金属板构成的斜面下滑这 3 个实验,因此在设计方面存在一定程度的重复.
- 4) 发展性:上述演示实验不利于进一步拓展和提高学生对原理的深层次理解.

基于以上原因,设计了多功能电涡流演示仪,

“第 15 届高等学校物理演示实验教学研讨会”论文

收稿日期:2021-07-14;修改日期:2022-01-06

基金项目:2021 年天津市科学普及技术普及项目(No. 52P21002);天津师范大学教育基金项目(No. 52XJ2004)

作者简介:刘 通(1994—),男,天津人,天津师范大学物理与材料科学学院助理政工师,硕士,研究方向为中学物理实验教学. E-mail:985726518@qq.com

其设计理念为:在目前相关研究成果优点的基础上,联系课标要求与物理演示实验的特点,分别从时代性、推广性、创新性和发展性4个方面进行思考,综合解决以往演示实验出现的问题.将该演示仪应用于课堂教学中的各个环节,帮助一线教育工作者构建层次清晰、逻辑紧密的课程.

2.2 演示仪实验原理

在电磁设备中常常存在大块金属,当这些金属块处在变化的磁场中或相对磁场运动时,其内部会产生感应电流,此时可以将金属看做是由一系列半径逐渐变化的圆柱状薄壳组成,每层薄壳自成闭合回路,从而在每层薄壳中产生的电流流线条呈闭合涡旋状,如图1所示.将这种金属导体中的感应电流叫做涡电流,涡电流产生的机械效应在工程技术中有着非常广泛的应用.

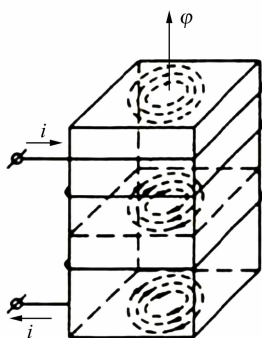


图1 导体中的涡流示意图

磁悬浮、电涡流非接触制动、电涡流非接触传动和电涡流发电这4种现象的原理均为电磁阻尼与电磁驱动,只是在内部结构的设置上有一定的差异.将实验原理图简化为如图2所示的俯视图,选取左侧的铝盘区域 $abcd$ (区域的大小和形状可以任意假设)作为研究对象.演示仪的4个悬臂上悬挂的都是磁铁,磁铁的极性不确定,为讨论问题的方便,先假设演示仪中靠近铝盘的磁铁面均为N极,磁铁在铝盘上方,因此磁感线的方向为垂直纸面向里.

当铝盘由左向右运动时,穿过铝盘的磁通量逐渐增加,根据楞次定律, $abcd$ 中将会产生感应电流,感应电流的方向为逆时针,产生的安培力会阻碍铝盘进入到磁场区域中,磁铁和铝盘之间的受力情况如图3所示.具体表现为:a.铝盘受到向下的斥力 F_1 和与铝盘运动方向相反的切向力 F_2 ,如图3(a)所示;b.磁铁受到向上的斥力 F_1'

和与铝盘运动方向相同的切向力 F_2' ,如图3(b)所示.

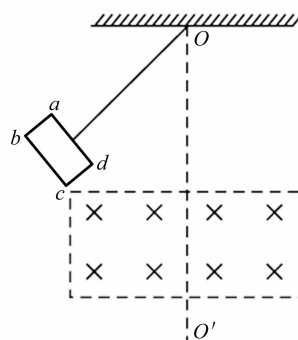
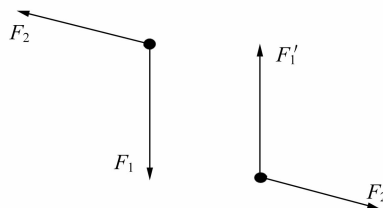


图2 电磁阻尼演示



(a) 铝盘受力情况 (b) 磁铁受力情况

图3 受力情况

下面分别介绍磁悬浮、电涡流非接触制动、电涡流非接触传动和电涡流发电这4种现象的实验原理.

2.2.1 磁悬浮

采用磁性较弱的磁铁(对铝盘运动的影响较小),使其在竖直方向上能够自由活动,水平方向上被固定,如图4所示.磁铁受到的重力(竖直向下)和与铝盘之间的斥力(竖直向上)相互抵消,达到稳定后实现悬浮.



图4 磁悬浮悬臂

2.2.2 电涡流非接触制动

采用磁性较强的磁铁(对铝盘运动的影响较大),使其被完全固定,即磁铁既不能在竖直方向

上运动也不能在水平方向上自由转动,如图5所示.铝盘将受到竖直向下的力和与铝盘转速方向相反的斥力,产生的感应电流与磁极发生相互作用,阻碍铝盘的运动.磁铁和铝盘之间的距离越近,阻碍效果越明显;距离过近时,铝盘几乎不再转动.



图5 电涡流非接触制动悬臂

2.2.3 电涡流非接触传动

采用磁性较弱的磁铁(对铝盘运动的影响较小),在两端磁铁中间衔接可以转动的转轴,这时磁铁在竖直方向和水平方向上均能够自由移动,如图6所示.磁铁受到的重力(竖直向下)和与铝盘之间的斥力(竖直向上)相互抵消,除此之外,磁铁还受到与铝盘转速方向相同的力,从而导致悬臂上两端磁铁发生转动.磁铁与铝盘之间的距离越近,转速越快.



图6 电涡流非接触传动悬臂

2.2.4 电涡流发电

采用磁性较弱的环状磁铁(对铝盘运动的影响较小),在环状磁铁中间固定转轴,转轴上连有简易的发电机,如图7所示.环状磁铁将受到与铝盘转速方向相同的力,导致转轴高速转动,从而带动内部的发电机发电,使得发光二极管发出明亮的白光.



图7 电涡流非接触传动悬臂

3 多功能电涡流演示仪的使用

3.1 演示仪结构

实验装置如图8所示,箱体上方左右分别为操纵杆和铝盘,箱体内部有令铝盘高速转动的电机,操纵杆上有4个悬臂,左侧2个悬臂依次可演示发电和制动现象,右侧2个悬臂依次可演示传动和悬浮现象.根据演示要求的不同,悬臂上悬挂4块形状、磁性不同的磁铁,用来产生磁场.操纵杆的最上方为把手,转动把手可以使旋转杆转动,从而可分别调节4个悬臂转动至铝盘的正上方.把手与下端固定杆之间连有弹簧,通过施加力改变弹簧的形变实现悬臂的升降.演示仪的4个悬臂对应4个独立的实验现象,其设计的关键在于悬臂和高速转动的铝盘.掌握该演示仪的设计思路,结合以上实验原理,即可发掘身边的器材自制与该演示仪相同的教学演示仪器.

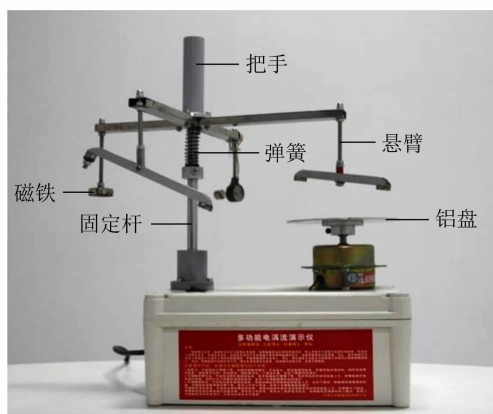


图8 多功能电涡流演示仪

3.2 实验步骤及现象

3.2.1 电涡流磁悬浮

- 1) 按动操纵杆,使磁铁缓慢靠近铝盘;

2) 开动电机使铝盘旋转, 随着铝盘转速增加, 磁铁逐渐悬浮;

3) 磁铁悬浮到一定高度时, 将保持在该高度不变.

3.2.2 非接触电涡流隔离传动

1) 开动电机使铝盘旋转;

2) 按动操纵杆, 使磁铁缓慢下降;

3) 将旋转杆转到铝盘上方, 随着旋转杆接近铝盘, 观察到旋转杆也旋转起来.

3.2.3 非接触电涡流制动

1) 开动电机使铝盘旋转;

2) 按动操纵杆将磁铁转到铝盘上方, 且使磁铁逐渐靠近铝盘, 观察到铝盘的转速逐渐减小.

3.2.4 非接触电涡流发电

1) 开动电机使铝盘旋转;

2) 按动操纵杆将电涡流微型发电机转到铝盘上方, 并使其逐渐靠近铝盘, 观察到微型发电机迅速转动, 并立刻发电, 使得发光二极管发出白光.

在实验过程中, 由于铝盘转速较高, 悬臂上的各装置不能紧贴铝盘, 以防装置发生摩擦而损坏.

4 多功能电涡流演示仪的设计特点

在课堂教学中, 采用多功能演示仪演示与电涡流相关的各种实验现象时, 能够产生如下效果:

1) 实验现象明显直观, 辅助物理课堂教学, 激发学生学习物理的兴趣. 演示仪涉及的 4 个实验是学生在日常生活中不常遇到的, 但在日常生活中又有一定的应用, 因此通过教师引导学生观察实验现象, 可以使学生在学习相关知识前先获得一定的感性认知.

上述实验现象能够让学生感到新奇、有趣, 进而使学生在头脑中形成关于涡流的物理表象, 并意识到用已有的知识基础不能够解释上述现象, 产生认知冲突, 为后面的涡流概念和应用的学习奠定了基础.

2) 结合了楞次定律、涡流和电磁阻尼的原理, 帮助学生完善物理概念的建构. 涡流是学生构建电磁场理论的重要铺垫, 是完善电磁场理论较为重要的环节. 如果学生不能形成对物理概念和物理规律的完整认知, 将可能误认为物理概念和物理规律是零散的、毫无逻辑的知识点.

课堂教学中, 教师可以结合多功能电涡流演示仪讲解涡流及其成因、电磁阻尼和电磁驱动等

内容, 帮助学生进一步加深对涡流概念的理解, 并用涡流和电磁感应的原理正确解释日常应用, 从而达到物理概念提炼与升华的目的.

3) 紧密联系电涡流在现代工程技术中的应用, 引导学生正确认识 STSE(科学、技术、社会、环境) 的关系, 增强其掌握科学知识的责任感.

新课程改革后, 高中物理课程在内容上更加注重与生产生活、现代社会及科技发展的联系, 在教学中展现当代科学技术发展的重要成果和科学思想尤为重要. 本演示仪的 4 个现象是现代生产生活应用中会涉及到的内容, 教师可以以此为基础, 向学生介绍一些具体的应用案例, 例如: 磁悬浮列车、涡流制动器等, 让学生意识到科学研究和应用科学技术为生活带来的便利, 以及为国家的综合国力提升带来的重要价值, 从而促进学生掌握科学知识, 增强学生建设祖国、推进科技发展的责任感.

5 结束语

通过对高中涡流演示实验进行改进, 设计制作了多功能电涡流演示仪, 以更好地帮助学生掌握涡流的相关知识, 构建完整的电磁学理论体系. 同时, 通过实验演示可以激发学生的学习兴趣, 提高学生的观察能力, 完善学生物理概念的建构, 为学生物理观念的形成奠定了基础, 并增强了学生学习物理学科的动力, 从而达到优化教学的效果.

参考文献:

- [1] 人民教育出版社, 课程教材研究所, 物理课程教材研究开发中心. 普通高中教科书·物理(选择性必修第二册)[M]. 北京: 人民教育出版社, 2020: 33-37.
- [2] 徐益勇. 涡流热效应演示实验的改进[J]. 物理教师, 2016, 37(1): 57-59.
- [3] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017年版)[S]. 北京: 人民教育出版社, 2018: 1-6.
- [4] 尹文慧, 卢世才, 张军朋. 电磁驱动和电磁阻尼系列实验教具创新设计[J]. 物理之友, 2021, 37(3): 8-9, 16.
- [5] 徐婷婷. 一款涡流电磁阻尼演示仪的自制与创新[J]. 中学物理, 2019, 37(21): 48-49.
- [6] 何忠燕. 电磁驱动与电磁阻尼演示实验的改进[J]. 新智慧, 2019(15): 26.

(下转 56 页)

- 实验, 2012, 32(3): 19-21. 一节设计为例[J]. 中小学实验与装备, 2018, 28
[4] 王爱生. 基于体验性学习的物理教学——以“压强” (5): 25-27.

Teaching research on fluid pressure

WANG Ai-sheng, GUAN Wei-san
(Mongolian Middle School, Songyuan 138000, China)

Abstract: Starting from the abstractness of knowledge, the influence of students' wrong pre-concepts, the monotony of the experimental device and the shortcoming of logical system, the strategy was put forward to break through these teaching difficulties. From the perspective of students' cognitive thinking and laws, the eight small experiments were designed to conquer the teaching difficulties and furthermore allow students to enrich their experience, enhance their experimental skills, and improve their scientific literacy during the experiment.

Key words: fluid pressure; self-created experiment; experimental teaching

[责任编辑:郭 伟]

(上接 50 页)

Multi-purpose instrument to demonstrate eddy currents

LIU Tong¹, WANG Ze-yuan¹, YU Qi²

- (1. School of Physics and Materials Science, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China;
2. Tianjin Experimental High School, Tianjin 300074, China)

Abstract: There were few demonstration experiments about eddy current in high school physics teaching. And the eddy current demonstration instrument was used to make up for this deficiency and improve the teaching effect. Based on theoretical knowledge and the basic principles of Lenz law in electromagnetic induction, a multi-purpose eddy current demonstration instrument had been developed. The demonstration process of eddy current suspension, insulated transmission, insulated braking and energy generation had been completed through the interaction between the aluminium rotating disc and the magnet based on the electromagnetic damping and drive.

Key words: electromagnetic induction; Lenz law; eddy current; electromagnetic damping; electromagnetic drive

[责任编辑:郭 伟]