

物理实验室

# 用深度备课引领实验的深度学习\*

——以一个经典电磁感应实验的“颠覆”现象为例

丁佐建 陶兆宝 (常州市第一中学 江苏 213000)

**摘 要** 以一个经典电磁感应实验中的“颠覆”现象为例,通过教师的深度备课,让“颠覆”现象价值重塑,实现对实验相关内容的深度学习,同时对该实验在教材中的编撰提出建议。

**关键词** 实验教学 深度备课

**文章编号** 1002-0748(2024)6-0022

**中图分类号** G633·7

**文献标识码** B

物理实验在培养“必备品格”和提升“关键能力”这两方面具有毋庸置疑的功效,但只有对实验现象和结果等做全面深入的思考和分析,才能有效地提升学生的高阶实验能力,才能使实验课程充满着智慧的火花。

教师在实验教学过程中的角色是:通过深度备课,设置合理的问题链,引导学生在实验操作中进入深度学习状态,而对实验的深度备课是实现在实验中深度学习的前提和保障<sup>[1]</sup>。

## 1 一个经典电磁感应实验的常态备课

人教版高中《物理(选择性必修二)》第 29 页的“练习与应用”第 5 题:图 1 中的 A 和 B 都是铝环, A 环是闭合的, B 环是断开的,横梁可以绕中间的支点转动。某人在实验时,用磁铁的任意一极移近 A 环, A 环都会被推斥,把磁铁远离 A 环, A 环又会被磁铁吸引。但磁极移近或远离 B 环时,却没有发现与 A 环相同的现象。这是为什么?

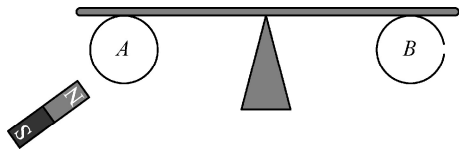


图 1

配套的教师教学用书给出的参考答案与提示为:“用磁体的任一极(如 N 极)接近 A 环时,穿过 A

环的磁通量增加,根据楞次定律, A 环中将产生感应电流,阻碍磁体与 A 环接近, A 环将会被磁体排斥;同理,当磁体远离 A 环时, A 环中产生感应电流的方向将阻碍 A 环与磁体远离, A 环将会被磁体吸引。由于 B 环是断开的,无论磁体移近或远离 B 环,都不会在 B 环中形成感应电流,所以 B 环将不移动。”

几十年来,人教版高中物理教材的各个版本中均保留有此经典习题实验,通常认为有两个教学层次,一是说明感应电流产生的条件;二是说明感应电流安培力的方向特征。第二个层次是较高要求,由老师根据学生整体水平决定是否深入教学,所以编撰者在教参中用“A 环中将产生感应电流,阻碍磁体与 A 环接近, A 环将会被磁体排斥”这样的模糊语言,并没有进行详细的受力分析。我们可以通过下列问题串,一边演示实验一边引导学生深入思考,总结出一般的规律。

问题 1:如图 2 所示,磁铁 N 极靠近 A 环, A 环中的感应电流方向如何?

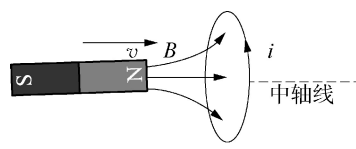


图 2

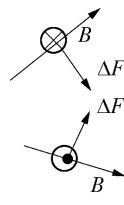


图 3

问题 2:画出磁铁 N 极靠近 A 环时, A 环的截面受力图。

\* 基金项目:本文系江苏省中小学教学研究第十四期立项课题“大概念视域下高中物理单元教学研究”(课题编号:2021JY14-L29)的阶段研究成果。

问题 3:如图 3 所示,通过问题 2 的受力分析,磁铁 N 极靠近 A 环时,A 环的受力除了有排斥的效果,还有什么样的形变趋势?(缩小)

问题 4:磁铁 N 极远离 A 环时,A 环的受力在改变运动状态和使环形变上有什么效果?(吸引和扩张)

问题 5:磁铁 S 极靠近(或远离)A 环,A 环的受力在改变运动状态和形变上有什么效果?(排斥和缩小)

问题 6:综上所述,A 环在什么情况下受排斥力或吸引力?(磁极靠近受排斥力,磁极远离受吸引力)

问题 7:综上所述,A 环在什么情况下有扩张或缩小形变?(磁极靠近缩小形变,磁极远离扩张形变)

问题 8:通过此实验的分析,能总结出感应电流的安培力在改变运动状态和形变上有什么样的效果?

在上述问题链的指引下,学生不难总结出一个楞次定律的衍生结论:感应电流的安培力有改变运动状态和使物体形变的效果(力的两大作用效果),其方向总是阻碍感应电流产生的原因。这其实是楞次定律在力学方面的体现,是一个很有价值的结论。

## 2 一个经典电磁感应实验的“颠覆”现象

### 2.1 课堂“翻车”的实录

在实施上述课堂实验演示和分析过程中时,有同学公开质疑实验现象和结论。大致过程实录如下:

学生:在家做过类似实验(一直鼓励和督促学生在家自己做简单实验),实验现象和教材上的表述不一样,磁体靠近或远离 B 环时,B 环也有排斥力或吸引力,横梁也会转动,现象很明显,见图 4。

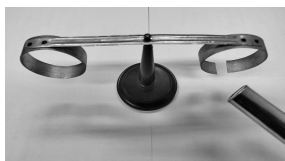


图 4

有学生公开质疑教材中的经典实验,先是一惊,又是一喜:对你有勇气质疑经典的精神提出表扬,但不可能。

学生:我拍摄了视频,现在就可以在“希沃”黑板上播放。

播放视频,真如学生所述,当磁体靠近或远离 B 环时,也有明显的吸引和排斥现象。但我注意到,学生实验中使用的磁体不是教材配图中常见的条形磁体,是圆柱状的棒,立即意识到这可能是引起实验出现“颠覆”现象的根本原因。

老师:你的磁体哪里来的?带来了吗?

学生:淘宝上买的,就在桌子下面。

将磁体拿上讲台(见图 5),长约 30 cm、直径约 2 cm、质量 300 g 左右,用此磁棒进行现场实验时,果如学生所言:磁棒靠近与远离时也能使 B 环有明显的排斥和吸引。



图 5

当磁棒与条形磁铁无意间接触后,不论怎样交换磁极,均表现出超强的吸引力;当磁棒与铁性黑板接触后,其吸合力强大到难以将磁棒从黑板上掰开。上述两个现象说明,此磁棒的磁性远远大于条形磁铁的磁性,这是“颠覆”经典实验的根本原因。

学生的质疑和“颠覆”现象是课堂动态生成的,超出了备课时的课堂预设。一个有价值的课堂动态生成值得深入挖掘和利用,因其背后的知识已经超越了教学进度,同时课堂时间有限,于是索性将此实验布置为课后的研究性作业。

老师:出现这种现象的原因,老师可能也没有搞清其中的缘由,请同学们课外购置器材,自己动手实验并思考,同时预习本章第三节——涡流,一周后再来研究这种“颠覆”现象背后的原因。

学生以为老师课堂翻车,挂了黑板,顿时表现出浓厚的兴趣,课间讨论的热情高涨。这是一个绝佳的引导学生进行深度学习的机会和载体,教师就应该有意识、有能力、有睿智利用好这一课堂动态生成。

### 2.2 “颠覆”现象的根由

前面已经定性认识到此磁棒的磁性远强于普通条形磁体,但到底有多强呢?

从实验室找来磁传感器(见图 6),探头接触条形磁铁的磁极时,磁感应强度的最大值约为 0.025 T,当探头与强磁棒接触时,磁传感器无法显示——远远超过了其量程。



图 6

强磁棒接近 B 环时,虽然 B 环断路看似没有感应电流,但变化的磁场穿越 B 环金属材料,在材料的内部激发出较强的涡流,涡流也是感应电流,涡流在产生涡流的磁场中也会受到安培力。所谓“颠覆”

现象并没有否定前文中关于感应电流安培力的方向特征——阻碍感应电流产生的原因,同时这个所谓的“颠覆”现象还是一个证明涡流存在的可视化事例。理清“颠覆”现象背后的原理,能加深对规律的理解,其思考探索的过程,就是高阶物理能力的形成过程,也就是深度学习的过程。

查阅资料表明,图 5 中的强磁棒磁极处的磁感应强度达 1 T 左右,约为普通条形磁铁的 40 倍,市面和网络上的类似商品并不罕见,价格合理。二十年前,有如此强磁性的磁体在日常生活中并不多见,近几十年来中国材料制造工业领域的巨大进步给中学物理教学带来的深刻影响,这是中国近几十年来高速发展与进步的体现,是个很好的“STS”教育的素材。

### 3 一个经典的电磁感应实验的深度备课

为了充分发挥这一经典实验“颠覆”现象的教学价值,将本章第三节“涡流、电磁阻尼和电磁驱动”分为两个教学课时,其中的涡流作为独立内容进行一个课时的教学,在“涡流”教学中插入如下学生分组实验环节。

购买几十条强磁棒和相关设备,每一个实验小组配置两根强磁棒和两根条形磁体,异名磁极吸引如图 7 所示放置,利用下面的问题链驱动学生进行实验和思考。

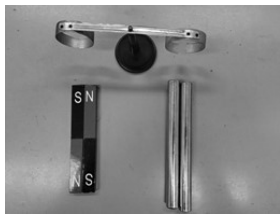


图 7

问题 1: 分开两类磁体的感受如何? 说明了什么问题? (分开磁棒非常难,说明磁棒的磁性远强于普通条形磁体。)

问题 2: 用普通条形磁体进行操作,实验现象是否与教材 29 页所述一致? (基本一致。)

问题 3: 用强磁棒进行操作,实验现象如何? (强磁棒靠近或远离 B 环时有明显的排斥和吸引现象。)

问题 4: B 环在强磁棒靠近时为什么也能后退? (B 环虽然断路,但在 B 环的材料内部产生了涡流,涡流在强磁棒的磁场中受到安培力。)

问题 5: 强磁棒靠近 A 环与靠近 B 环时, A 环和 B 环的后退有什么差别? (A 环的运动现象更明显,说明感应电流更大。)

问题 6: 强磁棒靠近 B 环, B 环后退的现象有没有否定感应电流的安培力的方向特征? (没有,涡流也是感应电流,感应电流的安培力阻碍感应电流的产生原因。)

问题 7: 请仔细观察普通条形磁体靠近 B 环后, B 环是否纹丝不动? (B 环也有微小的运动,涡流比较弱,实验现象很不明显。)

问题 8: 教材中实验现象的错误描述说明了什么社会和科技问题? (说明我国近几十年来在科技和制造领域的巨大进步。)

在下一课时“电磁阻尼和电磁驱动”教学中再次通过视频形式呈现实验,提出此实验的最后一个问题。

问题 9: 强磁棒靠近 B 环时, B 环后退,这是电磁驱动还是电磁阻尼? (对 B 环而言是电磁驱动,对磁棒而言是电磁阻尼。)

经过以上层层递进的问题链引导,学生通过实验观察和分析推理,对知识的掌握必然更牢固、规律理解也必然更深刻。

## 4 总结与思考

### 4.1 让实验真实发生

相对其他教学内容,实验具有不可替代的体验性,是学生最具体验感的学习活动。要想通过实验形成必备品格和提升关键能力,达到深度学习的效果,则必须发挥学习的主动性,唤醒学生的主体意识,让学生体验到知识和规律的获取过程<sup>[2]</sup>,也就是要让学生实验真实发生。

在条件许可的情况下,让学生尽可能多地参与到实验准备和实验操作的全流程活动中,即参与设计论证、准备器材、实际操作、现象分析、数据处理、得出结论、误差归因等诸多环节。人多则必然会出现各种智慧的碰撞和闪光点,发现各种隐含的实验变量,甚至会出现“颠覆”性的实验现象和创新性方案。前文中的“颠覆”性实验现象首先是学生发现的。

无须讳言,目前的中学物理实验教学,可以说是学生的被动实验。即使是课程标准中规定的学生实验,也基本是老师讲原理方案、实验室排布器材、学生动手实验,实验变成了实验操作活动课;教材演示实验,往往变成了老师的实验表演,甚至是实验阅读;至于课后实验、习题实验、生活实验则基本没有。这样的实验教学其实就是知识的灌输,学生被动接受老师传递的信息。没有学生的主动参与和对实验各方面的思考,则丧失实验的教学价值,丧失获取知

(下转第 6 页)

- Letters, 1991, 66(20):2593 - 2596.
- [8] Schmidt H and Imamoglu A. Giant Kerr nonlinearities obtained by electromagnetically induced transparency [J]. Optics Letters, 1996, 21(23):1936 - 1938.
- [9] Chuang I L and Yamamoto Y. Simple quantum computer [J]. Physical Review A, 1995, 52(5):3489.
- [10] Khurgin J B. Slow light in various media: a tutorial [J]. Advances in Optics and Photonics, 2010, 2(3):287.
- [11] Fleischhauer M, Imamolu A and Marangos J P. Electromagnetically induced transparency: Optics in coherent media [J]. Reviews of Modern Physics, 2005, 77:633 - 673.
- [12] Kasapi A, Jain M, Yin G Y, et al. Electromagnetically Induced Transparency: Propagation Dynamics [J]. Physical Review Letters, 1995, 74(13):2447 - 2450.
- [13] Hau L, Harris S, Dutton Z, et al. Light speed reduction to 17 metres per second in an ultracold atomic gas [J]. Nature, 1999, 397:594 - 598.
- [14] Kash M M, Sautenkov V A, Zibrov A A, et al. Ultraslow Group Velocity and Enhanced Nonlinear Optical Effects in a Coherently Driven Hot Atomic Gas [J]. Physical Review Letters, 1999, 82(26):5229.
- [15] Budker D, Kimball D F, Rochester S M, et al. Nonlinear Magneto-optics and Reduced Group Velocity of Light in Atomic Vapor with Slow Ground State Relaxation [J]. Physical Review Letters, 1999, 83(9):1767.
- [16] Turukhin A V, Sudarhanam V S, Shahriar M S, Musser J A, Ham B S, and Hemmer P R. Observation of Ultraslow and Stored Light Pulses in a Solid [J]. Physical Review Letters, 2001, 88(2):023602.
- [17] Ku P C, Sedgwick F, Chang-Hasnain C J, et al. Slow light in semiconductor quantum wells [J]. Optics Letters, 2004, 29(19):2291 - 2293.
- [18] Yuan C H, and Zhu K D. Voltage-controlled slow light in asymmetry double quantum dots [J]. Applied Physics Letters, 2006, 89(5):052115.
- [19] Fleischhauer M and Lukin M D. Dark-State Polaritons in Electromagnetically Induced Transparency [J]. Physical Review Letters, 2000, 84(22):5094.
- [20] Lvovsky A I, Sanders B C, and Tittel W. Optical quantum memory [J]. Nature photonics, 2009, 3(12):706 - 714.
- [21] Liu C, Dutton Z, Behroozi C H, et al. Observation of coherent optical information storage in an atomic medium using halted light pulses [J]. Nature, 2001, 409:490 - 493.
- [22] Honda K, Akamatsu D, Arikawa M, et al. Storage and Retrieval of a Squeezed Vacuum [J]. Physical Review Letters, 2008, 100(9):093601.
- [23] Appel J, Figueroa E, Korystov D, et al. Quantum Memory for Squeezed Light [J]. Physical Review Letters, 2008, 100(9):093602.
- [24] Nunn J, Reim K, Lee K C, et al. Multimode Memories in Atomic Ensembles [J]. Physical Review Letters, 2008, 101(26):260502.
- [25] Guo J, Feng X, Yang P, et al. High-performance Raman quantum memory with optimal control in room temperature atoms [J]. Nature Communications, 2019(10):148.
- [26] Hetet G, Longdell J J, Sellars M J, et al. Multimodal Properties and Dynamics of Gradient Echo Quantum Memory [J]. Physical Review Letters, 2008, 101(20):203601.

(上接第 24 页)

识和规律的体验,丧失可能出现的智慧火花。

#### 4.2 实验教学需要深度备课

实验教学备课绝不仅仅是教师对原理、流程、方法等内容的知识性备课,教师在实验课中的角色也不应仅仅是学生操作时的指导者。要想发挥实验教学的功能与价值,必须进行深度备课。

实验教学深度备课首先是深度挖掘实验的各个环节,找到其中具有能力培养价值的节点。更重要的是要设置好问题链,用任务驱动把学生嵌入到实验的各个环节中,在真实的实验中探索、分析和总结,这是深度备课的重点和难点。对于问题链的设置,要从操作性问题(深度备课的问题 1、2、3)入手,逐步上升到本质性问题(深度备课的问题 4、5),最后提高到结论性问题(深度备课的问题 6、7)。

人类对世界的认知是继承式学习与探究发现的过程,高中物理教学中不可能事事探究,而应该在老师指导下用最短的时间、最高的效率掌握前人留给我们的重点知识,并在这种高效的深度学习过程中

形成必备的学科核心素养,学会像科学家那样思考,激发出探究未知领域的内在动力。因此设置出简洁、合理、有深度、可探究的问题链是教师智慧的体现,也是深度备课的价值所在。

最后,基于上述实验的“颠覆”现象和实际教学感悟,考虑到中国材料制造业的巨大进步与发展,建议:①重新审视此电磁感应实验在教材中的位置,将本实验移至本章末的复习与提高部分,学生学完了全章,容易想到涡流在此所起的作用;②把原文表述中的肯定性语言“磁体移近或远离 B 环时,却没有发现与 A 环相同的现象”变为开放性说法,例如“磁体移近或远离 B 环时,会有什么样的现象?为什么?”教参中的相关内容也做相应的修改。

#### 参考文献

- [1] 姚秀伟. 打造证据课堂从深度备课开始[J]. 物理教师, 2021(2):38—39.
- [2] 陈晓冬. 指向学科素养发展的深度学习与思考[J]. 物理教学, 2021(1):37—40.