

大中衔接

以“科学表述-探究-原理-科学史”为主线
突破教学难点

——以对电磁感应的教学为例

方武增

(惠来慈云实验中学教科室, 广东 揭阳 515200)

摘 要 电磁感应是高中物理教学的重难点内容, 笔者以“科学表述-探究-原理-科学史”为教学主线践行突破这一难点。对《大学物理》等专业书中“楞次定律”表述的研究及课堂科学探究, 多维度引导学生理解该定律; 通过对感生类电动势的产生原理及动生类电动势方程的微观分析引导学生理解电磁感应规律。将科学史渗透于教学, 让学生了解相关概念或规律产生的背景及科学论证的过程, 培养学生科学态度与担当。

关键词 教学难点; 电磁感应; 楞次定律; 科学表述; 探究; 原理; 科学史

BREAK THROUGH THE TEACHING DIFFICULTIES WITH THE THREAD OF “SCIENTIFIC EXPRESSION-INQUIRY- PRINCIPLE-HISTORY OF SCIENCE” —TAKE THE TEACHING OF ELECTROMAGNETIC INDUCTION AS AN EXAMPLE

FANG Wuzeng

(Department of Education and Scientific Research, Huilai Ciyun Experimental Middle School, Jieyang, Guangdong 515200)

Abstract Electromagnetic induction is an important and difficult content in physics teaching in senior high school. The author takes “scientific expression-inquiry-principle-history of science” as the main line of teaching to break through this difficult point. The study of “Lenz’s Law” in college physics and other professional books and the scientific exploration in class lead students to understand the law in multi-dimension. Through the analysis of the generating principle of the induced electromotive force and the micro-analysis of the dynamic electromotive force equation, the students are guided to understand the law of electromagnetic induction. Infiltrate the history of science into teaching, which can help students understand the background of related concepts and laws and the process of scientific argumentation so as to cultivate their scientific attitude and responsibility.

Key words teaching difficulties; electromagnetic induction; Lenz’s law; scientific expression; inquiry; principle; history of science

电磁感应, 是高中物理的重点, 也是难点。它既是进一步揭示了前面所讲过的电学与磁学的内

在联系, 对前面知识学习的深入探究, 同时也对后面《交流电》《电磁振荡与电磁波》两章的理论打下

收稿日期: 2022-04-26

作者简介: 方武增, 男, 高中物理一级教师, 主要从事中学物理教学工作, 研究方向为中学物理教学, wulifwz@163.com。

引文格式: 方武增. 以“科学表述-探究-原理-科学史”为主线突破教学难点——以对电磁感应的教学为例[J]. 物理与工程, 2022, 32(6): 171-175, 194.

Cite this article: FANG W Z. Break through the teaching difficulties with the thread of “Scientific expression-inquiry-principle-history of science” — Take the teaching of electromagnetic induction as an example[J]. Physics and Engineering, 2022, 32(6): 171-175, 194. (in Chinese)

了基础,所以电磁感应电磁学体系中占据着重要的位置。但在实际教学中,笔者发现,许多高二学生学完电磁感应这一知识后,往往似懂非懂,甚至不知所云;不少高三学生情况亦然,在做此专题中考查概念、性质、规律、成因的选择题时,尚不知从何入题,遑论电磁感应与电路及动力学相结合的综合性题目。

对此,问题应该在高二时解决(或基本解决)。高二教师在上新授课前,要广取备课资料,学习并吸纳,针对重难点内容,将知识或方法以最简洁、准确、科学的物理语言传授给学生,对此,笔者做了以下尝试。

1 从科学表述中正确理解“楞次定律”

《物理选择性必修二》(人教版)中对楞次定律这样描述:感应电流具有这样的方向,即感应电流的磁场总要阻碍引起感应电流的磁通量的变化。楞次定律本身包含的内容比较复杂,加之定律的文字叙述又比较难以理解,所以许多的初学者学完后也是不太理解。

新中国成立以来,为满足国内物理教育教学的需要,老一辈物理教育家翻译了或编写了不少物理教科书,透过研究“史上”这些不同版本的物理专业书对“楞次定律”的表述,从中寻找较合适且较科学的表述。以下仅以《大学物理》(美 F.

W. SEARS 等著,恽瑛等译,以下简称《大学物理》)、《物理导学论》(美 F. J. BUECH 著,殷大钧等译,以下简称“殷大钧译版”)结合美国高中《物理原理与问题》及台湾地区《中山自然科学大辞典(物理)》(王云五版)对比分析,如表 1。

综合对比各种科学表述后,梳理并呈现在课堂教学中。

(1) **理清因果关系**:原磁场的磁通量要发生改变,是产生感应电流的必要条件,前者不改变,则不可能出现后者;

(2) **明确阻碍对象**:阻碍(或反对)原磁场的变化,并非阻碍原磁场本身;

(3) **明确阻碍效果**:力图抵消,“力图”为:极力谋求、竭力打算之意,但不是“完全阻止”;

(4) **明了两种类型**:一种是侧重于相对位置的变化,即回路面积的变化、另一种是侧重于磁感应强度的变化。

2 通过科学探究,以真实情境探究物理规律,再引出楞次定律

2.1 感生类感应电流的实验

要重视由现象到规律,并形成结论的科学分析,教材已很好地分成四种类型进行分析,如图 1:可分别研究穿过线圈的磁通量增大和减小的情况,并将产生的电流方向填入表 2 及表 3。

表 1 四个版本的物理专业书对“楞次定律”的表述

备课物理书	对“楞次定律”的表述	特点
《大学物理》	感生电流的方向是这样的:使得感生电流反抗着产生它自己的那个原因。感生电流产生的原因,可以是磁场中导体的运动,也可以是穿过静止不动导体回路的磁通量的变化。 ^[1]	强调了产生感应电流的两种类型“运动类”“非运动类”,相当于“动生类”与“感生类”。
《物理导学论》	通过一个回路的磁通量的变化,将在回路中产生感应电动势,感应电动势所产生的电流方向,力图使它自己引起的磁通量抵消通过回路的原磁通的变化 ^[2]	“力图”“抵消”两用词甚妙;另外“自己的磁通量”与“原磁通”,明确了前后两种磁场。
《物理原理与问题》	Lenz's law states that the direction of the induced current is such that the magnetic field resulting from the induced current opposes the change in the field that caused the induced current. Note that it is the change in the field and not the field itself that is opposed by the induced magnetic effects. ^[3]	最后一句话,提醒读者:注意感应电场的作用是指阻碍原磁场的变化,并非阻碍原磁场本身
《中山自然科学大辞典(物理)》	在电磁感应中,导体的感应电动势所产生电流的方向,即是反对此感应电动势的磁通量之改变的方向。 ^[4]	强调了“反对…改变”

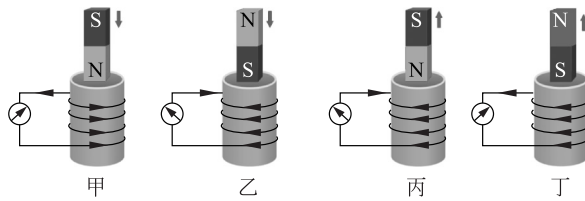


图1 对比四种类型产生的感应电流

表2 甲和乙,均是磁体靠近螺线管
(代表螺线管磁通量增大)的情况

图号	磁体磁场的方向	感应电流的方向	感应电流的磁场方向
甲	向下	逆时针(俯视)	向上
乙	向上	顺时针(俯视)	向下

表3 丙和丁,均是磁体远离螺线管
(代表螺线管磁通量减小)的情况

图号	磁体的磁场方向	感应电流的方向	感应电流的磁场方向
丙	向下	顺时针(俯视)	向下
丁	向上	逆时针(俯视)	向上

比较表2中的数据,可以发现,当穿过线圈的磁通量增大时,感应电流的磁场与磁体的磁场方向相反(力图去抵消),阻碍磁通量的增加。

根据实验结果填写表3,比较表3中的数据。当穿过线圈的磁通量减小时,感应电流的磁场与磁体磁场的方向是相同的(力图去减缓),阻碍了磁通量的减小。

梳理总结以上的实验结果,得出结论:当原磁场的磁通量发生变化时,闭合线圈中产生了感应电流,且感应电流的磁场总要阻碍原磁场的变化。

2.2 教学中可以适当补充动生类感应电流的产生过程

根据上面的结果,可知,感应电流方向与原磁场的变化有关,那么对于“切割类”感应电流又是如何?此时有必要将动生类感应电流的产生过程呈现给学生。图2为笔者在课堂上演示的装置,让线圈处于U形磁铁两磁极之间运动,线圈的两个线头与电流表串联形成闭合回路。分设为以下步骤进行:

(1) 改变线圈运动方向(磁场不变):先让线圈向右运动;再让线圈向左运动。对比前后两种情况,电流表指针的偏转方向。

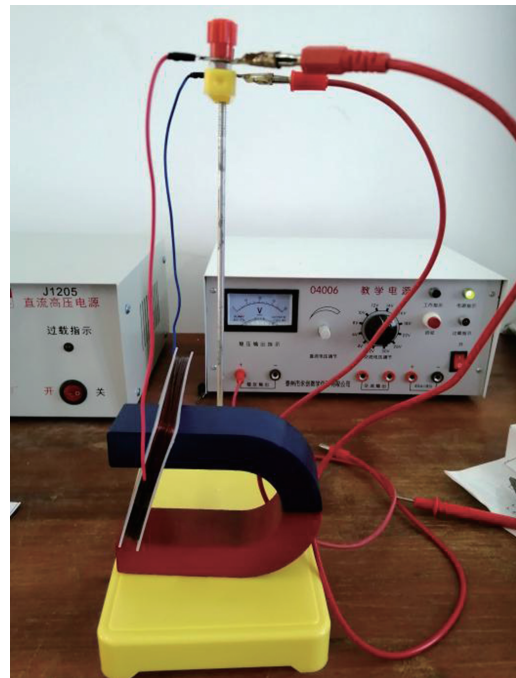


图2 研究动生类感应电流

(2) 改变线圈运动速度大小(磁场不变):先让线圈缓慢运动;再让线圈较快运动。对比前后两种情况,电流表指针的偏角大小。

(3) 仅改变磁场方向:先让U形磁体N极在下,S极在上;再让U形磁体S极在下,N极在上。对比前后两种情况,当同样是向右(也可对比同样向左)运动时,电流表指针的偏转方向。

梳理总结以上的实验结果,得出结论:在闭合线圈中,线圈运动方向、磁场方向均会影响感应电流方向,而且运动速度越大,电流表指针偏角越大(电流越大)。当然,在运动过程中,闭合线圈无论是靠近还是远离U形磁铁磁极,均属磁通量发生改变。

3 深入分析感应电动势产生的原理

3.1 感生类电动势的产生机理与电源正负极问题

《物理选择性必修二》中第二章习题A组第7题:如图3所示,在竖直方向的匀强磁场中,水平放置一圆环导体环。规定导体环中电流的正方向如图甲所示,磁场向上为正。当磁感应强度B随时间t按乙图变化时……那么问题来了,若如甲图电流方向(俯视顺时针)所示,回路中的电源正负极在哪?

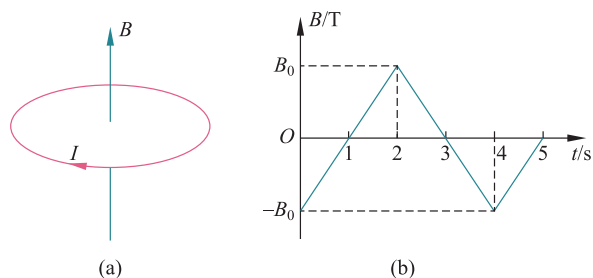


图3 感应线圈无接外电路时的电流
(a) 电流方向; (b) “感生类”磁场的变化

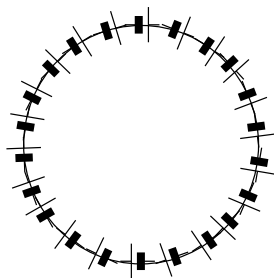


图4 等效电源(俯视)

分析:这一类型是感生类电磁感应,而感生电动势的提法,纯粹是从实验的观点提出来看。此时感应线圈并无接外电路,当磁感应强度 B 变化,磁通量变化时,激发出一个感生电场(不同于之前在《必修三》所学的静电场,对于两者可以简要对比如表4),在闭合导体环中,导体中的自由电荷就会在感生电场的作用下做定向移动(这种作用力类似于“非静电力”)。当然,由于此时电场为非保守场,所以此处谈电势毫无意义,在闭合线圈中无所谓正负极问题;由于整个回路的对称性,回

路上各个点都是等价的,所以感应电动势局限某一小段也是不正确的,当然,有时可将电源等效于由无数个小电源串联而成(相当于内循环),如图4的效果。所以当闭合的感应线圈发生电磁感应现象且无接外电路时,并无正负极之说。

当然,若是自感线圈接外电路,如图5(a),当线圈中有指向纸内方向的磁场,由磁通量在按图5(b)所示规律变化,根据楞次定律,可以判断出线圈电流的方向是逆时针方向,此时 A 点相当于电源的正极, B 点为负极。

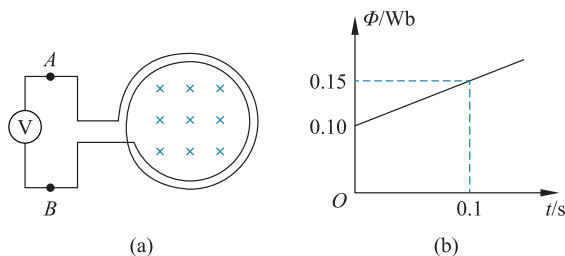


图5 感应线圈接外电路

3.2 对动生类电动势方程的微观分析

《物理选择性必修二》(人教版)中的电动势方程 $E = Blv$,是由法拉第电磁感应定律方程 $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 在一定条件下推导出来的,那么很多学生认为,该公式仅仅是 $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 的一个推论。在实际课堂教学中,教师可创造意境,积极引导,拓展学生思维^[5],可以结合本节中的《思考与讨论》(课本此处原本留白,仅设置问题,需要教师引导学生思考补白),如

表4 感生电场与静电场的对比

项目	感生电场	静电场
产生	由电磁感应产生的电场	静止的电荷激发的电场
电场的特点	非保守场	保守场
电场线的特点	电场线是闭合的曲线	电场线是非闭合的曲线
计算电场中任意两点的电势差	电势在此类电场中无意义	$U_{AB} = \frac{W_{电AB}}{q}, U_{AB} = -\int_B^A E \cdot dl$ (若 A, B 为同一点,则 $U_{AB} = 0$)
任意曲面与任意曲线的公式对比	对任意曲面: $\oiint E_1 \cdot dS = 0$ 对任意曲线: $\oint_L E_1 \cdot dl = -\iint_S \frac{\partial B}{\partial t} \cdot dS$ (其中 S 是以 L 为边界的曲面)	对任意曲面: $\oiint E_2 \cdot dS = \frac{q_{内}}{\epsilon_0}$ 对任意曲线: $\oint E_2 \cdot dl = 0$
相同之处	都对电荷有作用力	

图,用微观导体内电荷受到的的作用力来推导出方程 $E = Blv$,从另一个方面,多维度地研究动生类电动势的来源,具体如下:

(1) 导体棒运动时,如图 6(a),导体中的电荷受到洛伦兹力的作用,使得正负电荷在两个极端聚集,形成电势差,导体棒相当于一个电源,而洛伦兹力相当于非静电力;

(2) 稳定时,洛伦兹力 $f_{\text{洛}} = qvB$ 与电场力 $F_{\text{电}} = q \frac{U}{l}$ 等大反向,由 $qvB = q \frac{U}{l}$,解得电动势 $E = U = Blv$ 。若外接一闭合回路,如图 6(b),则形成感应电流。

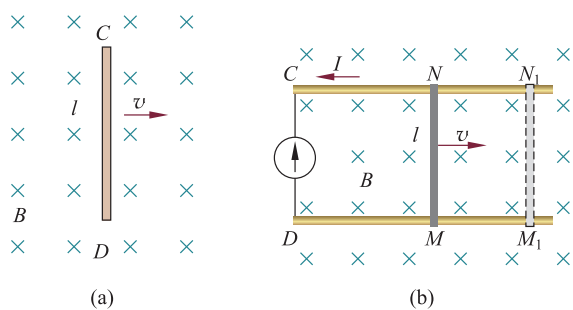


图 6 动生类电动势

4 将科学史渗透于教学,培养科学态度与担当

任何科学的新分支从产生、发展到把道理弄清都要经过不少曲折^[6]。学生物理学科素养的提高不单纯是引导研究物理规律、培养科学逻辑、数理论证的能力,还要在科学史的学习中了解科学的发展历程,学习科学精神。

由于篇幅的限制,教材难以将某一定律的发展史较好地呈现出来,所以教师应该充分备课,将科学史渗透到课堂教学中,避免物理教学过于公式化,要着力提升育人价值。可与学生了解相关的科学史:楞次并非发现“阻碍变化”规律的第一人;而法拉第也并非发现“电磁感应”的第一人;总结出法拉第定律的也并非法拉第本人;但法拉第却是电磁学标志性的人物。

1834 年,楞次(俄)在分析了许多实验结果后,总结了后人熟知的“楞次定律”。而法拉第(英)早于 1831 年发现了电磁感应定律,并且也发现了如何去确定感生电动势的方向,但他没有把他的结果表达得像楞次那样简明。法拉第得到奥

斯特电流的磁效应的启发,确信反过来也是可能的,并于 1822 年在自己的日记中写下了“由磁产生电”的设想,并为此进行了长达 10 年的探索。最初,法拉第认为,很强的磁体或很强的电流可能会在邻近的闭合导线中感应出电流。他尝试了很多次,都没有得到预想的结果。1831 年,法拉第把两个线圈绕在一个铁环上一个线圈接电源,另一个线圈接“电流表”。当给一个线圈通电或断电的瞬间,在另一个线圈上出现了电流。他在 1831 年 8 月 29 日的日记中写下了首次成功的记录,1831 年 10 月 28 日,法拉第在一次会议上展示了他发明的圆盘发电机。它是利用电磁感应的原理制成的,是人类历史上的第一台发电机;一年以后,比克西将一个导线圈放在磁铁的磁场中旋转,由此成功地产生了交流电源。但实际在美国,一位物理教师,后来成为史密森尼学会第一秘书的 J. 亨利(电感单位纪念的那位科学家)于 1830 年,比法拉第稍早发现电磁感应电流,可惜发表结果较迟^[4]。

在对电磁感应的探索中,法拉第引入了磁力线这一概念,通过他的力线概念来统一地理解各种电磁感应现象,这一创新的研究方式显示出他是一位高超的数学家,而未来的数学家将能从他那里获得丰富而有价值的研究方法^[7]。

德国物理学家纽曼、韦伯在对理论和实验资料严格分析后,于 1845 年和 1846 年先后分别指出:闭合电路中感应电动势的大小,跟穿过这一电路的磁通量的变化率成正比,并从理论上推导出表达式 $E = -k \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$,法拉第于 1850 年通过实验证明了这一公式是正确的。后人为纪念法拉第对电磁感应现象研究的巨大贡献,后人称之为法拉第电磁感应定律。当然,后来麦克斯韦用数学形式表现了法拉第的思想,发展并推广了电磁感应定律。

但正如我国民国时期科学著作《科学概论》所述:“发扬光大此门学科(电磁学)为法拉第,在静电学上完成甚多而系统之实验。彼建树电学上许多基本观念,如电介质、感应电荷、电容等,彼之最大发现为电磁感应,自此以后电磁学走上堂堂坦途”^[8],电磁感应定律的发现与应用,也促进了物理学和现代电工学的发展。

(下转第 194 页)

界和谐统一的内在联系。

在试题中融入思政元素。如分析题“静电场与万有引力场一样,都是保守场。请你类比描述静电场的物理量(电场强度、电势)以及研究方法(高斯定理、环路定理),对万有引力场作一描述及研究,找出相应的物理量及定理。”本题是考核学生对物理学中的“类比方法”的掌握情况,通过类比静电场的研究,探求万有引力场的描述量和相应的定理。又如分析题“2011年11月,天宫一号与神舟飞船交会对接圆满成功,我国成为世界上第三个自主掌握空间交会对接技术的国家。请分析天宫一号与神舟飞船交会对接属于哪一类碰撞?为什么?碰撞过程中机械能是否守恒?分析能量是如何变化的?”本题意在让学生了解我国航空航天事业的巨大成就,培养学生的爱国主义精神和民族自豪感。

4 结语

课程思政,铸魂育人。推行课程思政是高校落实立德树人根本任务,提高人才培养质量的战略举措。物理学博大精深,蕴含着丰富的思政资源,不断挖掘思政元素、探索教书育人的路径,是

我们的永恒课题。为将大学物理打造成有思想、有温度、有灵魂的课程,还要继续努力,不断实践。

参 考 文 献

- [1] 习近平. 做党和人民满意的好老师[N]. 人民日报, 2014-09-10(1).
- [2] 教育部. 教育部关于印发《高等学校课程思政建设指导纲要》的通知[EB/OL]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/202006/t20200603_462437.html.
- [3] 王小力. 大学物理课程思政研究与实践[J]. 中国大学教学, 2020(10): 54-57.
WANG X L. Practical research of ideological and political education of college physics[J]. China University Teaching, 2020(10): 54-57. (in Chinese)
- [4] 贺梦冬, 朱彦华, 李建波, 等. 大学物理课程思政教学内容的四个关键着力点[J]. 湖南科技学院学报, 2020, 41(3): 77-79.
HE M D, ZHU Y H, LI J B, et al. Four key focal points of the ideological and political teaching content of the university physics courses[J]. Journal of Hunan University of Science and Engineering, 2020, 41(3): 77-79. (in Chinese)
- [5] 马文蔚, 周雨青. 物理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2014: 94, 315.
- [6] 杨建邺. 物理学之美[M]. 北京: 北京大学出版社, 2019: 13, 112.

(上接第 175 页)

5 结语

电磁感应, 是许多学生心中的一道坎, 而如何将这一知识较完整、较合理、较科学地呈现给学生是许多老师费神之事。没有捷径可走, 只有充分备课, 才能深入浅出地教学。

学习物理, 本来就是一个充满挑战的探索过程, 即使是浏览最通俗的科普读物, 也不能是轻松惬意的。对于已选择物理方向的高中生来说, 应该不吝自己的时间与精力, 注重过程与方法, 刻苦学习; 对于教师来说, 课前阅读各种资料, 新授课尤其重要, 要充分了解相关物理概念或规律产生的背景、规律总结及科学论证的过程, 并精心设计以最佳的方式呈现于课堂, 重视由现象到规律的教学, 引导学生对得到的结论进行科学分析, 才能突破类似电磁感应这样的重难点内容。

参 考 文 献

- [1] SEARS F W. 大学物理学第三册[M]. 恽瑛, 黄福元, 朱培

豫, 译. 北京: 人民教育出版社, 1979: 272.

- [2] BUECH F J. 物理导学论[M]. 殷大钧, 王荣庆, 汤发宇, 译. 北京: 人民教育出版社, 1980: 332.
- [3] PAUL W Z, JAMES T M. Physics: Principles & Problems [M]. Columbus, Ohio: McGraw-Hill Education Companies, 1990.
- [4] 王云五. 中山自然科学大辞典(物理)[M]. 台北: 台湾商务印书馆, 1973: 122.
- [5] 方武增. “情境教学”之于高一物理课堂的实践探析及冷思考[J]. 物理通报, 2021(12): 39-43.
FANG W Z. Practice and analysis of “Situational teaching” in physics class of grade one in senior high school[J]. Physics Bulletin, 2021(12): 39-43. (in Chinese)
- [6] 钱三强. 对“物理之窗”的一点希望[J]. 物理教学, 1982(1): 42.
QIAN S Q. A little hope for the “Physical window”. [J]. Physics Teaching, 1982(1): 42. (in Chinese)
- [7] 杨振宁, 汪忠. 麦克斯韦方程和规范理论的观念起源[J]. 物理, 2014, 43(12): 780-786.
YANG Z N, WANG Z. The conceptual origins of Maxwell's equations and normative theory[J]. Physics, 2014, 43(12): 780-786. (in Chinese)
- [8] 李书华. 科学概论[M]. 上海: 上海商务印书馆, 1945: 58.