

文章编号:1005-4642(2022)10-0060-04

自感现象演示实验的教学设计

程 柏

(新疆兵团第七师高级中学, 新疆 奎屯 833200)

摘 要:对传统自感演示实验的疑难问题作出理论分析,提出了新的实验教学设计. 通过 4 个自制实验展示板,形成科学探究的逻辑链,依照引入自感概念→确立自感规律→解惑自感疑难→深化自感本质的教学逻辑逐步展开,弥补了传统自感演示实验的逻辑断裂. 另外,将自感现象与力学现象类比,深化自感现象的本质——电磁惯性,实现新旧知识和力电思想方法的统一.

关键词:自感;实验教具;电磁惯性

中图分类号:G633.7

文献标识码:A

DOI:10.19655/j.cnki.1005-4642.2022.10.011

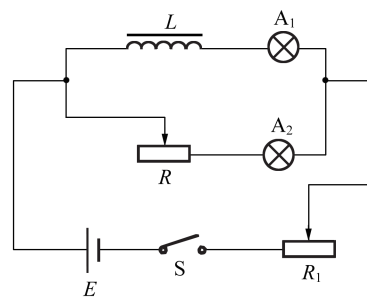
1 传统自感演示实验的不足

新教材^[1]继承传统自感演示实验,通过演示通电自感现象中灯泡的延迟发光和断电自感现象中灯泡的闪亮现象,让学生认识自感电动势对电流变化的阻碍作用. 通电自感和断电自感的实验电路如图 1 所示. 其中,对于通电自感[图 1(a)],当接通开关 S,可观察到灯泡 A₂ 立刻发光,而灯泡 A₁ 逐渐变亮,由此可知,线圈产生的自感电动势阻碍了电流的增加;对于断电自感[图 1(b)],当断开开关 S 后,可观察到灯泡 A 闪亮后熄灭,说明电感线圈 L 和灯 A 组成的回路中在外接电源已断开的情况下,还有电流通过,这是由于线圈中在断电时产生的自感电动势阻碍电流减小所致,即线圈中电流不是突变为 0. 以上演示实验在课堂实践中存在以下问题:

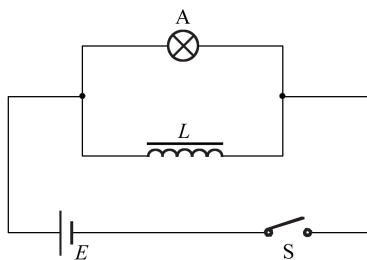
1) 通电自感和断电自感现象分别通过 2 个不同线圈在不同电路中演示得到,容易导致学生产生图 1(a)所示电路只能产生通电自感,图 1(b)所示电路只能产生断电自感的错误认知.

2) 断电自感闪亮的条件未从实验中显现. 尽管灯泡闪亮给了学生感官刺激,但灯泡闪亮是否是因为线圈中的电流突然激增而引起的,断电自

感是否一定会导致灯泡闪亮,均无法从图 1(b)中得到答案.



(a) 通电自感



(b) 断电自感

图 1 自感现象演示电路

3) 图 1(b)中灯泡 A 无法显示自感电流的方向,从而不能证明线圈中产生的自感电动势对电

收稿日期:2022-02-01;修改日期:2022-06-28

作者简介:程 柏(1982—),男,四川万县人,新疆兵团第七师高级中学高级教师,从事中学物理教育工作. E-mail: 279217213@qq.com

流减小的阻碍作用.

4) 容易让学生误认为图 1(b) 中产生的感应电动势大小与断电开关动作的快慢有关.

我校演示断电自感的实验装置如图 2 所示, 在纯电阻电路中, 电源电动势 (6 V) 不足以击穿氖管发光, 而在断电自感电路中, 氖管却能被瞬间击穿并发光. 由于氖管击穿电压至少需要 60~70 V, 说明此时线圈自感电动势远远大于电源电动势. 有学生依据自感电动势 $E = L \frac{\Delta i}{\Delta t}$ 来解释该现象, 从而误认为线圈电流变化的快慢与开关动作的速度有关, 即断开开关越快, 则自感电动势就越大.

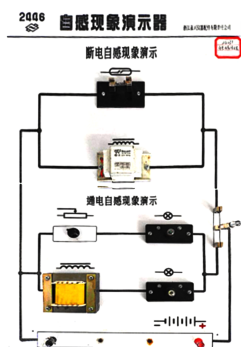


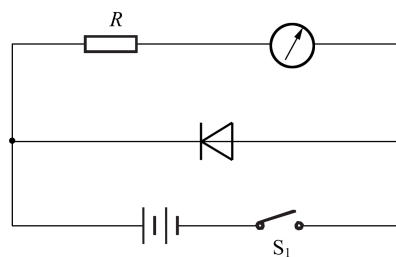
图 2 断电自感的实验装置

2 自感演示实验的改进

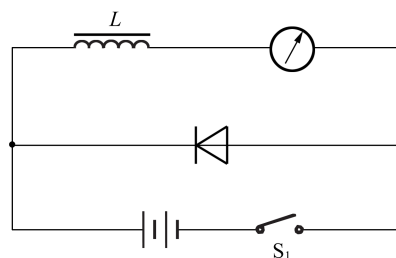
2.1 引入自感概念

设计演示电路如图 3 所示, 对于纯电阻电路 [图 3(a)], 当开关 S_1 接通时, 电流计指针迅速增大至最大值; 当开关 S_1 断开时, 电流计迅速减小至 0. 用自制线圈替代纯电阻得到自感电路 [图 3(b)], 重复以上操作, 当开关 S_1 接通时, 电流计指针缓慢增大至最大值, 并且越接近最大值, 电流增加越慢; 当开关 S_1 断开时, 理想二极管相当于导线, 回路中电流变化通过电流计显示为从最大值逐渐减小至 0, 并且越接近 0, 电流变化越慢.

该演示电路结构简单、干扰少, 通过对比实验, 凸显出自感实验的本质现象, 学生更容易接受纯电阻电路中电流可以突变, 而通过电感线圈的电流不能突变, 引导学生进一步思考线圈中电流不可突变的原因, 从而顺利建立自感概念: 当线圈中电流变化时, 线圈本身会激发感应电动势, 又称自感电动势, 根据楞次定律, 自感电动势会阻碍线圈中电流的变化, 该现象为自感现象.



(a) 纯电阻电路



(b) 自感电路

图 3 演示实验电路 1

2.2 确立自感规律

为了进一步加深自感概念的理解, 确切看到“延缓熄灭”的规律, 凸显自感的本质, 将教材的原始实验电路改进为图 4 所示电路.

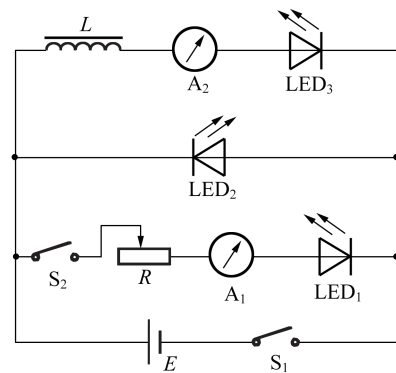


图 4 改进后的演示电路 2

为了使得时间足够长, 电路中的 LED 均为 16 个发光二极管并联而成的 LED 组, 电流表量程为 300 mA. 具体操作步骤为:

- 1) 闭合开关 S_1 和 S_2 , 调整滑动变阻器 R 使稳态时的 LED_1 和 LED_3 亮度相同, 断开开关 S_1 .
- 2) 演示通电电感: 闭合开关 S_1 , 可观察到电流计指针 A_2 的偏转速度比 A_1 慢, LED_3 比 LED_1 亮得缓慢、滞后, 以及 LED_2 不亮.
- 3) 演示断电自感: 断开开关 S_1 , 可观察到电

流计 A_2 的指针摆回速度比 A_1 慢, LED_3 比 LED_1 延缓熄灭, 以及断开开关 S_1 的瞬间, LED_3 变亮后再与 LED_2 同时熄灭.

以上实验现象充分彰显了自感的本质——阻碍电流的变化.

2.3 解惑自感疑难

2.3.1 断电自感灯泡一定会闪亮吗?

新教材中关于断电自感灯泡闪亮的实验, 容易给学生造成“断电自感就是灯泡一定要闪亮”的前概念, 也容易让学生形成“是线圈中电流激增导致灯泡闪亮”的错误认知. 针对以上问题, 设计如图 5 所示电路进行演示^[2], 以破除学生的错误认知. 具体操作如下:

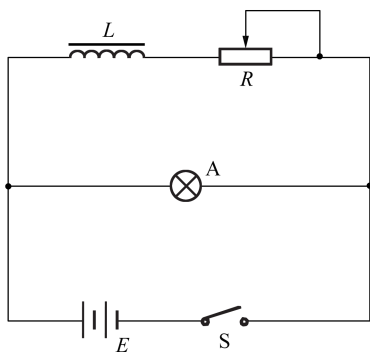


图 5 演示实验电路 3

1) 调节滑动变阻器 $R=0$, 断开开关 S , 可观察到灯泡闪亮的现象. 这是由于电路处于稳态时, 线圈中的电流大于灯泡中的电流. 由于断开开关 S 后, 线圈中的电流不能突变, 而是从稳态值逐渐下降, 造成回路灯泡中的电流突然比原来大, 从而出现灯泡闪亮的现象, 而并非线圈中电流激增引起的.

2) 增大滑动变阻器电阻 R , 使线圈支路电阻大于灯泡 A 的电阻, 断开开关 S 后, 未观察到灯泡闪亮的现象. 这是由于电路处于稳态时, 线圈中的电流小于灯泡中的电流, 当断开开关 S 后, 线圈中电流从稳态值逐渐下降, 造成回路灯泡中的电流比原来小, 从而不会出现灯泡闪亮的现象.

2.3.2 断电自感引起的感应电动势可任意大吗?

有学生依据自感电动势 $E = L \frac{\Delta i}{\Delta t}$, 认为线圈电流变化越快, 自感电动势越大. 若增加开关断开的速度, 自感电动势是否更大? 针对该问题, 设计演示实验电路如图 6 所示. 当滑动变阻器 $R=0$

时, 可观察到电压表在断电自感瞬间, 指针几乎不动; 但随着滑动变阻器电阻 R 增大, 电压表指针偏转角度变大, 甚至可能超过电源电压. 因此, 在电感 L 不变的情况下, 电流的变化率取决于支路中的电阻大小, 与开关通断的快慢无关^[3].

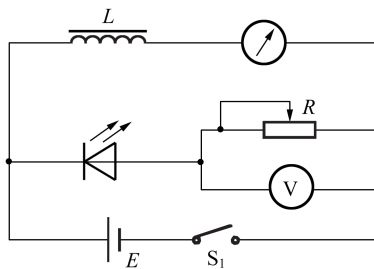


图 6 演示实验电路 4

2.4 深化自感本质

为什么线圈中的电流不能突变? 自感现象的本质为什么被称为“电磁惯性”^[4]? 针对以上问题, 本文采用类比法, 把自感现象及规律和力学现象及规律做了对比, 如表 1 所示.

表 1 自感与力学的区别和联系

自感	力学
法拉第电磁感应定律	牛顿第二定律
$E = L \frac{\Delta i}{\Delta t}$	$F = m \frac{\Delta v}{\Delta t}$
电流 i 不能突变	速度 v 不能突变
自感系数 L	物体质量 m
(电磁惯性大小的量度)	(力学惯性大小的量度)
电流变化率 $\frac{\Delta i}{\Delta t}$	速度变化率 $\frac{\Delta v}{\Delta t}$

E 是阻碍线圈电流变化的原因 F 是使物体产生加速度的原因

根据表 1, 自感电动势 E 对应力 F , 自感系数 L 对应物体质量 m , 电流 i 对应物体的速度 v , 电流变化率 $\frac{\Delta i}{\Delta t}$ 对应速度变化率 $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ 即加速度 a . 因此, 从物理意义上来说, 电磁惯性对应力学惯性. 由于物体的速度不能突变, 故线圈中的电磁惯性也决定了电流不能突变; 物体质量 m 是物体惯性大小的量度, m 越大物体运动状态越难改变, 而自感系数 L 则是电磁惯性大小的量度, L 越大线圈中的电流就越难改变; 力是迫使物体产生加速度的原因, 而自感电动势是阻碍线圈电流变化的原因. 综上所述, 力学现象和自感现象有相似的规

律.从内涵实质上来说,牛顿第一定律对惯性的描述为:“一切物体总保持匀速直线运动状态或静止状态,除非作用在它上面的力迫使它改变这种状态.”^[5]牛顿描述的惯性实际上是“力学惯性”,揭示了物体具有抵抗运动状态发生变化的本领.同样,惯性在电磁学范畴仍然存在,这种惯性被称为电磁惯性,可以表述为:“一切闭合回路总保持磁通量不变,除非有外加磁场迫使它改变这种状态.”^[6]电磁惯性反映了闭合回路具有抵抗磁通量发生变化的本领.

在自感现象中,线圈总是保持自身电流不变,产生的自感电动势总是反抗自身电流发生变化,因此线圈中的电流不能突变,只能缓慢变化.自感现象的本质是电磁惯性,是惯性概念在电磁学中的体现.

3 结束语

本文采用 4 块自制电路演示板,共用 1 个绕制线圈,弥补了传统自感实验的不足,设计了更符合物理教学逻辑、学生认知规律的实验流程.演示电路 1 呈现了自感最本质的现象,即线圈中的电流是缓慢变化的,从而顺利建立了正确的自感概念;演示电路 2 呈现了 LED 缓慢变亮和缓慢熄灭的现象,进一步增强了学生对自感规律的理解;

演示电路 3 显化了断电自感灯泡闪亮的条件;演示电路 4 破除了学生对自感电动势大小与开关动作快慢有关的错误认知.另外,本文将自感与力学从本质上进行了科学性的类比,深化了学生对自感的理解,使学生既扎实了基础知识,又发散了科学思维,并形成了力、电物理本质统一的思想,帮助学生感受物理世界的丰富多彩和简单和谐,让学生了解物理规律既具有多样性,又具有统一性,从而实现物理学的美育.

参考文献:

- [1] 人民教育出版社,课程教材研究所,物理课程教材开发中心.普通高中教科书·物理(选择性必修 2)[M].北京:人民教育出版社,2019:39-40.
- [2] 罗星凯.中学物理疑难实验专题研究自感现象演示实验的进一步研究[J].物理通报,1997(4):28-31.
- [3] 梁灿彬,秦光戎,梁竹健.电磁学[M].北京:高等教育出版社,1980:404-414.
- [4] 梁昌洪,陈曦.论电磁惯性[J].电气电子教学学报,2011,33(2):1-3,7.
- [5] 邢红军,童大振.楞次定律高端备课再出发[J].中学物理(高中版),2019,37(5):10-12.
- [6] 人民教育出版社,课程教材研究所,物理课程教材开发中心.普通高中课程标准实验教科书·物理(选修 3-2)[M].北京:人民教育出版社,2010:11.

Teaching design of self-inductance phenomenon demonstration

CHENG Bai

(Xinjiang Corps 7th Division Senior Middle School, Kuntun 833200, China)

Abstract: According to the theoretical analysis of the difficult problems in the traditional self-inductance demonstration experiment, a new experimental teaching design was proposed. Through four demonstration circuits, the logic chain of scientific inquiry was formed. The teaching logic for introducing self-inductance concept, establishing self-inductance law, solving puzzles, deepening the nature of self-inductance was gradually developed, which made up for the logical break of traditional self-inductance demonstration experiment. In addition, by comparing self-induced phenomena with mechanical phenomena, the essence of self-inductance phenomena called electro-magnetic inertia was deepened, and the thinking methods of mechanics and electricity were unified.

Key words: self-inductance; experiment teaching aids; electromagnetic inertia

[责任编辑:郭 伟]