

基于“能”概念理解的物理 创新实验设计与实施^{*}

——以“闭合电路欧姆定律”教学为例

冯长平 (江阴市成化高级中学 江苏 214430)

黄皓 (无锡市第一女子中学 江苏 214002)

于路军 (无锡市辅仁高级中学 江苏 214123)

摘要 物理概念学习是一种理解性学习,对于抽象概念,教师需在实验上做好创造性支持以帮助学生理解。在“闭合电路欧姆定律”的教学中,将电势高低的变化转化为电压表示数大小的变化,让隐性内容可视化,为学生基于能量观点学习闭合电路知识搭建了思维支架;文章设计解读性、探索性、比较性、评价性系列实验,引导学生建构理解“电动势”概念的框架,将碎片内容系统化,进而促进概念学习的有效开展。

关键词 创新实验 实验设计 能量转化 闭合电路欧姆定律 电动势

文章编号 1002-0748(2026)4-0021

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

1 研究背景

能量是一个基本而重要的物理概念,闭合电路欧姆定律是电学的核心内容之一,其原理蕴含着能量转化与守恒思想。然而,传统教学多以公式教学与纯理论推导来呈现,缺乏直观实验与理论的联结环节,因此学生难以转变“电源无内阻”“路端电压恒定”等前概念。物理概念教学的首要目标是形成核心概念体系,培养科学思维、科学探究能力,从而促进核心素养发展;实验是人类对自然现象的简化和纯化,它可以引发学习者对已有认知的再思考,建立对客观规律的正确认识。因此通过系列实验,理解闭合电路中不同形式“能”的转化,既有助于学生掌握电学知识,更是培养核心素养的重要途径,具有重要的意义^[1,2]。据此,笔者构建了“闭合电路欧姆定律”的实验教学设计并付诸实施。

2 前期分析

2.1 学习目标分析

通过实验探究闭合电路能量转化,阐述闭合电路欧姆定律的内容,从能量角度认识电路,是认识电

路的进阶阶段。

2.2 学习难点分析

电动势的物理意义比较抽象,学生缺乏直观感受,也无法与已有知识建立联系。

3 教学设计与实施

3.1 设计解读性实验,在解读中引发认知冲突环节一:制作电池。

教师使用三氯化铁溶液、镁棒、碳棒、电池盒等器材制作原电池,如图1所示。提问学生,这是一个电源吗?怎样证明?

生1:电源应有电压。

生2:电源可点亮灯泡。

环节二:使用电池。

师:用DIS电压传感器实测,正负极间电压为2V。再提问,这个电源能否点亮额定电压1.5V的小灯泡?

生:可以。



图1

^{*} 基金课题:本文系2021年江苏省中小学教学研究第十四期重点自筹课题“高中物理实验教学培养‘问题解决者’的项目学习研究”(课题编号:2021JY14-ZB38)的阶段性研究成果。

师:请实测。

生:实测,发现小灯泡不亮,学生惊讶。

环节三:电路分析。

师:请猜想电源无法点亮小灯泡的原因?

生:可能是灯泡坏了。

师:请学生使用 1.5 V 干电池连接小灯泡。

生:实测,小灯泡正常发光。学生有些迷惑。

师:是否是电源有问题呢?请学生用 LED 灯珠连接原电池(正向导通)。

生:实测,LED 灯珠正常发光。学生很是迷茫。

设计意图:环节一意在通过回顾电源特征,激活学生已有认知中与电源电压、电路知识等有关的先前经验。环节二旨在引发认知冲突,为下阶段的新知识学习做准备,环节三引导学生认识到电源与外电路的组合是问题的关键所在,由此自然过渡到闭合电路的学习。

3.2 设计探索性实验,在探索中获得直接体验

环节四:学生自主探究外电路沿电流方向电势的变化。

实验目的:探究外电路沿电流方向电势的变化和外电路中电场的方向。

实验器材:原电池、外电阻(500 Ω)、导线、探针。

说明:电压表负接线柱连接电池负极(镁棒),正接线柱连接探针;设电源负极电势为 0,则电压表示数 $U = \varphi^+ - \varphi^- = \varphi^+$,即探针在电路上移动时,电压表示数大小变化可代表探针对应位置电势高低的变化,从而将隐性内容可视化;再结合“沿电场方向电势降低”,便获得电路中电场方向。

实验操作:

(1) 电压表负接线柱连接电池负极,探针在外电阻上沿电流方向移动(如图 2 所示)。

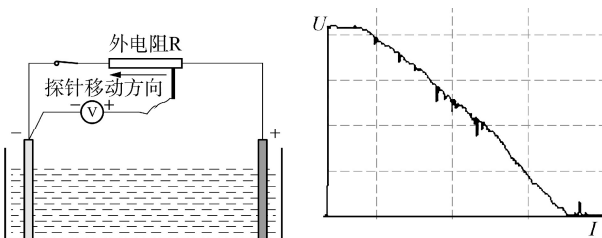


图 2

图 3

(2) 观察电压表示数变化。

师:介绍实验。

生:按要求进行操作,得出结论:(1)外电路沿电流方向电势降低;(2)外电路电场方向与电流方向相同。

师:用 DIS 电压传感器描绘图象,如图 3 所示。

环节五:用能量观点解释电路。

师:外电路中电场力做正功还是负功?电势能如何变化?

生:外电路中电场力对电荷做正功,电荷电势能减小,即外电路消耗电能。

师:小结。外电路中存在电场,由“沿电场方向电势降低”可知外电路中存在与电流方向一致的电场,电场力对电荷做正功,电势能减小,外电路将电能转化为其他形式的能。

设计意图:环节四意在使学生熟悉实验原理、操作,为探究内电路做好准备;环节五旨在引导学生应用电场知识从能量观念角度来认识电路,达成从“路”到“能”的认知转变。

3.3 设计比较性实验,在比较中促进深度理解

环节六:学生自主探究内电路电势沿电流方向的变化。

师:给出实验目的、介绍实验器材,要求学生自主探究内电路电势沿电流方向的变化。

实验目的:探究内电路沿电流方向电势变化、内电路中电场方向。

实验器材:同环节五。

生:讨论实验操作步骤,仿照环节五进行操作。

实验操作:(1)电压表负接线柱连接电池负极,探针在原电池内沿电流方向移动(见图 4)。(2)观察电压表示数变化。

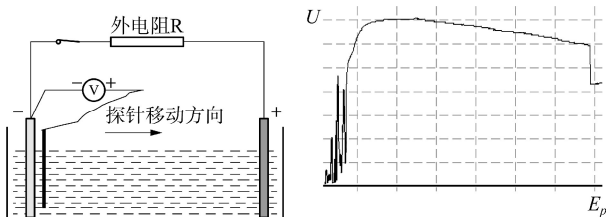


图 4

图 5

生:根据要求进行实验探究。得出结论:内电路沿电流方向电势有升高也有降低。

师:用 DIS 电压传感器描绘图象(见图 5)。

环节七:结合外电路探究经验分析实验。

师:结合外电路探究实验体验,分别回答:

(1) 电势降低说明电势能如何变化?

(2) 电势升高说明电势能如何变化?

(3) 电势升高部分与电势降低部分电荷受力有何不同?

生:结合电场知识以及外电路探究经验,小组讨

论,得出结论:(1)电势降低部分说明电池内部也存在消耗电能的过程,电势能减少;(2)电势升高应该对应电场力做负功,即产生电能,电势能增加;(3)电荷除受到电场阻力之外应该还受到与运动方向相同的力,即动力。

师:对学生的结论表示肯定。内电路电流方向由负极指向正极,电势降低意味着电源内部消耗电能,所以电源内部存在电阻(内阻 r)并占有电压($U_{内}$);电势升高意味着电荷逆着电场力运动,电势能增加;从力学角度分析存在“非静电力”搬运电荷克服电场力做功,意味着电源把其他形式的能转化为电能。

环节八:分析电源供电过程中的能量转化。

师:电源内部的反向电场是由非静电力搬运电荷产生的吗?

生 1:电源正负极间先由电荷产生反向电场,非静电力搬运电荷才能使电势能升高。

生 2:先由非静电力搬运电荷,使电源正负极聚集电荷,才会有反向电场提供电源电压。

师:好像都说得通,孰是孰非该怎么证明?

生:用实验求证。

师:实验演示。步骤 1:电池组装前(两极未放入溶液)测量两极间电压 $U_0 = 0$;步骤 2:电池组装后(两极放入溶液)测量两极间电压 $U = 2\text{V}$ 。

师:提问。组装后相对组装前有什么变化?

生:组装后两极与溶液发生化学反应。

师:化学反应使电源两极产生异种电荷,从而产生电压。这说明搬运电荷的非静电力来源是什么?

生:非静电力来自化学反应。

师:对。化学反应产生非静电力,非静电力搬运电荷在正负两极聚集,从而产生电压。

生:明白了。先有非静电力搬运电荷做功,才会产生反向电场,电流流过电源内部时,电荷电势能增加,电能产生。

师:从能量守恒的角度来说,某种能量增加,必定有其他能量减少,电源供电过程能量是如何转化的?

生:化学能转化为电能。

师:各种电源的电能都是由化学能转化而来的吗?

生:不是,譬如水力发电就是把机械能转为电能。

师:总结。电源输出的电能,来自非静电力搬运电荷,搬运电荷的非静电力不同,转化为电能的能量自然也不同。

环节九:分析电源供电能力,给出电动势概念。

师:提问。搬运电荷形成的电场与平行板电容器两极板间电场类似,设与原电池化学反应对应的“化学力” F (非静电力)大小恒定,等效电容器极板距离 d ;那么,原电池能产生的最大电压是多大呢?

生:小组讨论,总结。非静电力 F 搬运电荷越多,电压越大、电场越强,直到非静电力小于电场力,非静电力无法搬运电荷时电源电压达到最大 U 。 $F = qE = qU/d$,得到 $U = Fd/q$ 。

师:提问。公式 $U = Fd/q$ 中的 d 是电池尺寸吗?有依据吗?

生 1:电源内部有电势升高,也有电势降低。我们讨论的是电势升高部分,只占电池的一部分,不可能是电池的全部尺寸。

生 2:干电池也是化学电池,但是常见的 5 号、7 号电池尺寸差别很明显,它们都能提供 1.5V 的电源电压。

生 3:电势升高是化学反应造成的,化学反应只在电源两极附近发生,所以 d 应该是发生化学反应区域的尺寸(化学反应层厚度)。

师:总结。电源输出电能能力由非静电力、非静电力搬运电荷对应的距离和搬运电荷量共同决定。令 $W = Fd$,即 W 为非静电力做的功。物理学上把 $\frac{W}{q}$ 定义为电动势 ξ ,即 $\xi = \frac{W}{q}$,电动势表示电源内部非静电力将单位正电荷从负极移动到正极所做的功,数值上等于电源两端的断路电压,电动势反映电源将化学能、机械能等非电能转化为电能的本领。

环节十:分析闭合电路能量转化,推导闭合电路欧姆定律。

师:上述实验表明,闭合电路中有电能产生也有电能消耗,那么电能的产生和消耗之间有什么关系呢?

生:讨论并总结。闭合电路应遵循能量守恒,即产生的电能等于消耗的电能。产生的电能就等于非静电力做功 W ,消耗的电能对应电路电流做功,其中电流做功有内电路和外电路两部分,所以 $W = U_{内}It + U_{外}It$ 。

师:提问。电路中有电势升高也有电势降低,那么电势的升高和降低是否可以写出关系式呢?

生:讨论并总结。电势升高对应电动势,电势降低对应电路占用电压,等式两边同除以 q ,且 $q = It$,可得 $\frac{W}{q} = U_{内} + U_{外}$,又 $\xi = \frac{W}{q}$,所以 $\xi = U_{内} + U_{外}$ 。

师:内电路消耗电能只用来发热,所以内电路符合纯电阻特征,适用欧姆定律,得到 $\xi = Ir + U_{\text{外}}$ 。外电路是否也可以适用欧姆定律呢?

生:如果外电路是纯电阻电路可以用欧姆定律,如果外电路不是纯电阻电路就不可以。

师:总结。如果外电路也是纯电阻电路,阻值 R ,那么 $U_{\text{外}} = IR$ 。这时,可以写成 $I = \frac{\xi}{r+R}$ 。在物理学上 $\xi = U_{\text{内}} + U_{\text{外}}$; $I = \frac{\xi}{r+R}$ 便是闭合电路欧姆定律的表达式。

设计意图:环节六、七意在巩固学生用“能”的观念解释电路,建构“电动势”概念理解的框架,为“电动势”和“闭合电路欧姆定律”的概念学习铺垫基础。环节八旨在了解电源供电的微观过程,理解电源供电是由非静电力决定,为电动势概念建立思维桥梁。环节九意在通过模型建立,理解电动势定义以及定义式。环节十旨在引导学生理解闭合电路全电路的能量转化和守恒。

3.4 设计评价性实验,在评价中发展核心素养
环节十一:应用性评价。

师:解释“引入”环节实验。我们用原电池连接小灯泡和 LED 小灯珠,两者的额定工作电压相差不多,但是小灯泡不发光,LED 小灯珠却可以发光。请用本节课学习的知识解释。

生:讨论并总结。根据 $U = IR$, $I = \frac{\xi}{r+R}$,可得 $U = \frac{1}{\frac{r}{R} + 1} \xi$ 。对同一个电池电动势 ξ 、内阻 r 相

同,由此推测小灯泡电阻太小,得不到足够的电压发光,小灯珠电阻很大可以分到足够的电压从而发光。

师:设计实验验证猜想。用多用电表分别测量小灯泡电阻 R_1 和 LED 小灯珠(正向)电阻 R_2 。

生:进行测量。小灯泡电阻 $R_1 = 5 \Omega$,小灯珠(正向)电阻 $R_2 = 1.5 \text{ k}\Omega$ 。

师:只看灯泡(珠)的电阻大小是否严谨?为什么干电池既能点亮小灯泡也能点亮小灯珠?

生:讨论总结。不严谨,外电压 U 不仅与外电阻 R 有关,还与电动势、内电阻有关。根据关系式 $U = \frac{1}{\frac{r}{R} + 1} \xi$,推测原电池内阻很大,干电池内阻

很小。

师:进行实测。原电池分别连接小灯泡和 LED 灯珠,DIS 电压传感器测量路端电压在连接小灯泡

和 LED 灯珠前和连接后的电压示数变化。

生:观察操作和传感器示数。连接前(断路)电压 2.120 V,小灯泡连接后电压接近于 0(实测为 0.013 V);LED 灯珠连接后电压 1.712 V。

师:依据数据,用本课时所学知识,计算原电池内阻。

生:讨论并总结。由 $U = \frac{1}{\frac{r}{R} + 1} \xi$, DIS 电压传

感器电阻非常大,因此可认为电动势 $\xi = 2.12 \text{ V}$,根据连接小灯珠的实验数据(小灯泡数据太极端误差大,弃用),代入外电压 $U = 1.7 \text{ V}$,外电阻 $R = 1.5 \text{ k}\Omega$,可以计算出原电池内阻 $r \approx 350 \Omega$ 。

环节十三:反馈性评价。

师:演示实验。

实验器材:一节干电池连接 3 个并联的小灯泡(如图 6 所示)。

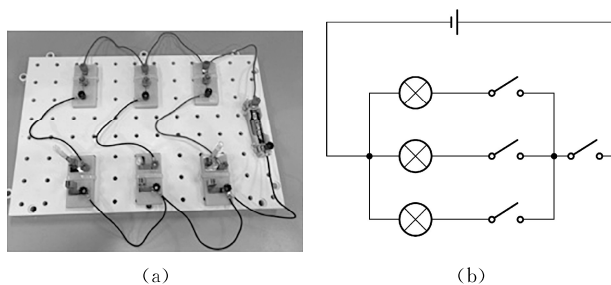


图 6

逐个闭合开关,让学生观察小灯泡亮度变化,并做出解释。

生:灯泡并联得越多,外电阻越小,外电压越小,单个小灯泡内电流越小,亮度越低。

设计意图:环节十一、十二意在通过解释前期实验现象,巩固新学知识,将碎片内容系统化。环节十三旨在检测学生知识迁移应用能力。

3.5 课后拓展

环节十四:深入研究原电池。

任务一:继续原电池探究。(1)描绘原电池在断路状态下的内部电势升降图。(2)描绘原电池连接外电阻(500Ω)的内电路电势升降图。观察两个状态下电池内部电势升降有什么不同。

任务二:查阅资料,结合实验解释上述现象;查阅资料,了解生产生活中实际使用的电池的发展史,了解新能源汽车电池的研发进展以及困难。

设计意图:引导学生理论与实践相结合,全面提升科学素养。

(下转第 27 页)

上方小球每上升一格,即两球心间距增加 1.0 cm。例如球心间距依次可取 5.5 cm、6.5 cm、7.5 cm、8.5 cm、9.5 cm 进行实验,观察电子秤示数。

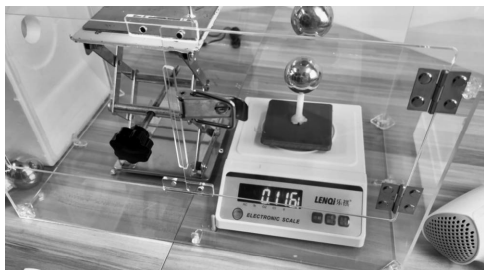


图 6 探究静电力与距离的关系

将实验观测得到的数据填入表 1,并用 Excel 表格绘制 $F-1/r^2$ 拟合图象如图 7 所示:

表 1 改变下方两带电小球的距离实验数据记录

$1/r^2 / \text{cm}^{-2}$	m/g	$F/\times 10^{-3} \text{N}$
0.033	0.206	2.01
0.024	0.145	1.42
0.018	0.116	1.14
0.014	0.092	0.90

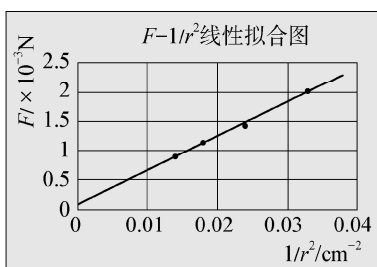


图 7 静电力 F 与距离 $1/r^2$ 的关系

结论 1:在实验误差允许范围之内,电荷间作用力与距离的二次方成反比,即 $F \propto 1/r^2$ 。

3.2 探究静电力与电荷量的关系

实验二 验证电荷间作用力与电荷量乘积的正比关系:控制距离不变,改变金属球的电荷量。

本实验中验证静电力和电荷量的正比关系,采用将两个完全相同的带电导体接触后再分开,二者将原来所带电量的总和平均分配的做法,也就是说如果用与两金属球相同的不带电小球每接触下方小

(上接第 24 页)

4 结 语

物理教学中有大量的抽象概念学习,对于此类学习,需要有些创新性实验予以支持。执教者实验创新,将电势高低的变化转化为电压表示数大小的变化,从而能够描绘内外电路电势升降曲线,将隐性内容可视化;通过解读性实验引发认知冲突,通过探索性实验获得直接体验,通过比较性实验促进深度理解,通过评价性实验发展核心素养,为学生基于能

球一次,下方小球电荷量就减少为原来的一半,如果每次取电后两球间静电力也减少为原来的一半,则可证明静电力与电荷量成正比,检测得到的数据见表 2。

根据表 2 不难看出,静电力与电荷量大小成正比。用 Excel 表格绘制静电力 F 与电荷 q 的关系,如图 8 所示。

表 2 改变下方小球电荷量实验数据记录

q_1/q_2	m/g	$F/\times 10^{-3} \text{N}$
1/8	0.018	0.18
1/4	0.034	0.33
1/2	0.064	0.63
1	0.129	1.26

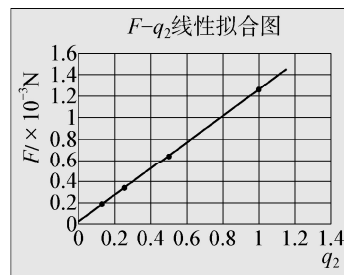


图 8 静电力 F 与电荷量 q_2 的关系

结论 2:在实验误差允许范围之内,电荷间作用力与电荷量成正比,即 $F \propto q_2$ 。

由于两球间的静电力是相互的,如果用同种方法改变上方小球的电荷量,我们也能得到相同的结果,同样能间接证明两球间静电力与上方小球的电荷量成正比的结论,即 $F \propto q_1 q_2$ 。

4 结 束 语

物理学是一门以实验为基础的自然学科,所有的结论都来源于实验事实。教师基于可视化技术进行高中物理实验创新,是教师“教而后知其困”中困惑解决的有效途径,更为学生建构物理知识提供真实直观的情境支持。

参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017 年版 2020 年修订)[S]. 北京:人民教育出版社,2020.
- [2] 彭前程,黄恕伯. 物理(必修三)[M]. 北京:人民教育出版社,2019:6—7.

量观念学习闭合电路知识搭建了思维支架,建构了理解“电动势”概念的框架,将碎片内容系统化,从而有力地促进了“电动势”概念学习的有效开展。

参考文献

- [1] 柳斌,张瑞琨. 中学教学全书(物理卷)[M]. 上海:上海教育出版社,1996:271—275.
- [2] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017 年版 2020 年修订)[S]. 北京:人民教育出版社,2020.