



基于 ETA 物理教学法的教学设计与实践

——以“非纯电阻电路的电功及电功率”为例

其木格

(内蒙古师范大学物理与电子信息学院 内蒙古 呼和浩特 010022)

吕琦

(内蒙古鄂托克旗高级中学 内蒙古 鄂尔多斯 016100)

(收稿日期:2022-09-28)

摘要:ETA 物理教学法以构建物理认知为核心,按照实验物理认知(E)、理论物理认知(T)、应用物理认知(A)的认知过程组织教学.以“非纯电阻电路的电功及电功率”教学为例,详细阐述 ETA 物理教学法的教学设计思路、实施步骤.教学实践表明 ETA 物理教学法有助于学生知识建构和认知能力提升.

关键词:ETA 物理教学法;教学设计;非纯电阻电路

ETA 物理教学法^[1]是北京大学物理学院穆良柱教授在 ETA 物理认知模型^[2]的基础上提出的. ETA 物理认知模型分为实验物理(Experimental Physics)认知、理论物理(Theoretical Physics)认知、应用物理(Applying Physics)认知. ETA 物理教学法要求教师从物理的本源出发,引导学生合作探究,将知识点所对应的现象、实验、应用等要素紧密串接起来,建立物理认知系统. ETA 物理教学法由 11 个具体的教学步骤组成. 下面以“非纯电阻电路的电功及电功率”为例,论述基于 ETA 物理教学法的教学设计与实践.

1 ETA 物理教学法

1.1 实验物理认知阶段

实验物理认知阶段可分为 5 个具体的教学步骤:观察物理现象、挑选研究对象、明确研究问题、量化描述性质和寻找实验规律. 观察物理现象是将学生的注意力集中在与教学内容相关的一类问题上. 挑选研究对象是分析与这类问题有关的研究对象并挑选其中最佳的研究对象. 明确研究问题是对研究对象进行分析,利用主次法确定具体的研究问题. 量化描述性质是将物理量及其公式转换为学生所熟知

的表述. 最后根据表述进行实验,在实验中发现规律.

1.2 理论物理认知阶段

理论物理认知阶段可分为 3 个具体的教学步骤:建立理想模型、建立公理认知和实验证伪检验. 在实验物理认知的基础上,教师要把握共同性质不变的原则,引导学生利用理想模型法建立理想模型. 在理想模型中,问题的解决需要公理认知的建立,而公理认知的建立依靠严谨的逻辑推理,如分析、类比、反证和归纳等,这是理论物理认知阶段的重点和难点. 公理的选择并不固定,可以来源于已有的经验规律,也可以来源于物理实验^[3]. 进行证伪检验,要将建立的公理带到实验中去,测试理论推断和实验结果是否符合,这一过程的关键在于找出反例,即特例法. 如果所建立的公理是正确的,那么就可以将这一公理用于应用物理认知,如果公理是错误的,则需要换用其他办法重新建立公理认知.

1.3 应用物理认知阶段

应用物理认知阶段可分为 3 个具体的教学步骤:解释已有现象、预言可能事件和技术发明创造. 应用物理认知阶段的 3 个教学步骤可视为 3 个平行的应用层次. 基于此,可分别从定性和定量两个角度

设计3个不同层级的闯关训练.第1层级旨在夯实基础,将知识定性迁移到已有现象的阐释上;第2层级将基础知识拓宽,鼓励学生预言可能事件;第3层级在于创新能力培养,要求学生在实验改进和生活创造两个方向应用所学知识.

2 非纯电阻电路的电功及电功率的教学设计

教学设计中,ETA物理教学法在使用上要与常见的教学方法相结合,同时兼顾教学设计的原则、目标、步骤、学情分析、教材选择、教学反思等要素^[4].比如,要坚持以学生为主体来构建物理认知为核心的原则.同时要注重学情分析.学习“非纯电阻电路的电功及电功率”之前,学生已经学习了焦耳定律和纯电阻电路中的电功及电功率,但对非纯电阻电路的电功及电功率比较陌生,教师要结合学生发展的特点,引导学生加深基础概念,培养全面认知能力^[5-6].

2.1 实验物理认知

2.1.1 观察物理现象

教师按照电能的不同转化形式,展示生活中常见的电炉、白炽灯、电热毯、电动玩具车、电动牙刷、电动风扇等用电器并提问:上面展示的几种用电器中,请大家判断出它们分别将电能转化成了什么形式的能量?

学生很快判断出前三者是发热的用电器,但不熟悉电动玩具车、电动牙刷和电动风扇的能量转化,这时教师从字眼“动”来引导学生认识这3种电器是将电能转化为了机械能,从而引出非纯电阻电路的问题.

2.1.2 挑选研究对象

教学过程中选择电动风扇作为教具,并准备已知参数的玩具电动机,利用主次法和简化法引导学生逐步把研究对象转向电动风扇,最后聚焦在玩具电动机上,将电动风扇简化为电学元件.

2.1.3 明确研究问题

通过对电能和热能的研究,学生掌握了纯电阻电路中电流通过电热元件做功时,电能几乎全部转化为热能的规律.对于非纯电阻电路,教师引导学生用类比法将机械能类比于纯电阻电路中的热能,从而明确要研究的问题是非纯电阻电路的电功及电功率.

2.1.4 量化描述性质

研究两者之间的转化关系,要量化描述电功和机械功.电功的计算学生已经掌握,而机械功的计算则要涉及描述性质的量化.教师引导学生将电动机转动(机械功)的测量转化为常见功的计算.教师让学生分组讨论电动机转动时的机械功能否直接测量,有什么方法可以间接测量这一机械功?

教学过程中,有的学生认为可以将电动机装进玩具车里,用玩具车在一定时间内匀速移动的距离和所受摩擦力的大小来计算电动机的机械能.有的学生认为玩具车运动时的摩擦力无法测量,同时很难保证玩具车可以匀速运动.还有的学生认为可以数出一定时间内电动机带动风扇的转动圈数,每一圈做的功固定,就可以得到机械能.有的学生否定,认为电动机的转速很高,即使知道每一圈做功的大小,但圈数也不容易数出来.

对于学生提出来的观点,教师给予积极鼓励,同时教师以“平等者中的首席”给出更加容易实现的方案.即用电动机来提升重物,重物在上升过程中所增加的重力势能就是要求的机械能.这样就轻松完成了量化描述性质.

2.1.5 寻找实验规律

【实验目的】

探究非纯电阻电路中电功和机械功的转化关系,揭示其电功及电功率的特点.

【实验用具】

学生电源,电流表,电压表,单刀单掷开关,导线,玩具电动机,细线,皮尺,砝码,秒表.

【实验电路】

如图1所示,用导线将电源、电压表、电流表和玩具电动机串联,电源选择合适的挡位,电压表选择合适的量程($0 \sim 15 \text{ V}$),用于测量电动机两端电压.电流表选择合适的量程($0 \sim 0.6 \text{ A}$),用于测量干路电流.

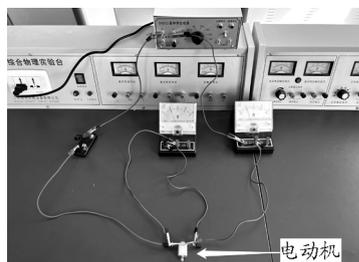


图1 实物电路

【实验过程】

实验准备:开关处于断开状态,用软尺量取长为1.2 m的细线,细线两端分别与电动机和砝码连接,在距电动机端1 m处标记刻度.将电动机固定于实验桌面边缘,使与之相连的砝码自然下垂并保持静止.

实验操作:

(1) 砝码总质量 m_1 为 20 g, 电源电压 E_1 选择 3 V, 闭合开关, 启动秒表, 记录电压表和电流表示数 U_1 和 I_1 , 待砝码上升至刻度处, 记录秒表示数 t_1 .

(2) 砝码总质量 m_2 为 70 g, 电源电压 E_2 选择 4.5 V, 闭合开关, 启动秒表, 记录电压表和电流表示数 U_2 和 I_2 , 待砝码上升至刻度处, 记录秒表示数 t_2 .

(3) 砝码总质量 m_3 为 100 g, 电源电压 E_3 选择 6 V, 闭合开关, 启动秒表, 记录电压表和电流表示数 U_3 和 I_3 , 待砝码上升至刻度处, 记录秒表示数 t_3 .

【数据收集】

将实验数据收集并记录在表 1 中.

表 1 实验数据记录

编号	E/V	U/V	I/A	t/s	m/kg
1	3.0	2.0	0.14	1.33	0.02
2	4.5	3.0	0.30	1.65	0.07
3	6.0	4.5	0.42	1.28	0.10

【数据分析】

利用 $W_{\text{电}} = UI t$ 计算电功, 利用 $W = mgh$ ($h = 1$ m, g 取 10 N/kg) 计算机械能, 将表 1 中的数据代入公式得到

电能: $W_{\text{电}1} \approx 0.372$ J, $W_{\text{电}2} = 1.485$ J, $W_{\text{电}3} \approx 2.420$ J

机械能: $W_1 = 0.200$ J, $W_2 = 0.700$ J, $W_3 = 1.000$ J

教师引导学生将对应角标的 $W_{\text{电}}$ 和 W 代入机械效率 $\eta = \frac{W}{W_{\text{电}}}$ 进行计算, 分析电能到机械能的转化情况.

通过计算可得到 $\eta_1 \approx 0.54$, $\eta_2 \approx 0.47$, $\eta_3 \approx 0.41$, 与焦耳定律中电能几乎全部转化为热能的结论相比较, 初步得出在非纯电阻电路中电能不完全转化为机械能的规律.

2.2 理论物理认知

2.2.1 建立理想模型

结合实验中得到的规律, 教师提出问题: 演示实验中得到的规律是正确的吗?

学生有两种不同意见, 一种意见认为正确, 理由是机械能几乎只占了电能的一半, 另一半的电能可能转化成了其他形式的能量. 另一种意见认为不正确, 理由是电能的数量级很小, 导线产生热能消耗可能占了电能的另一半.

两种意见都有正确的理论支持, 解决问题的关键在于建立理想模型. 教师将实物电路转化为电路图, 如图 2 所示. 在忽略导线电阻的情况下, 教师引导学生重新思考: 生活中电炉的热效率可以达到 90% 以上, 所以我们在学习焦耳定律时忽略了导线的热能消耗, 认为电能几乎全部转化为热能. 此时学生意识到导线电阻不会造成太多的能量消耗, 在非纯电阻电路中, 电能转化为机械能的同时还存在其他形式的能量转化.

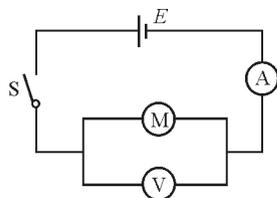


图 2 电路图

2.2.2 建立公理认知

这一教学环节要分析学生学情, 将学生已知经验进行逻辑推理, 建立公理认知. 通过上节课的学习, 学生已经知道电路中有多个元件时, 总电功等于各个元件电流做功之和, 总电功率等于各个元件的电功率之和. 教师可提问学生能否将这一经验经逻辑推理为: 电路中有多个元件时, 总电功等于各个元件的各组分的电流做功之和, 总电功率等于各个元件的各组分的电功率之和呢?

学生思考后, 有的学生认为可以, 有的学生认为不可以. 此时, 教师将这一问题转换为具体问题. 比如, 如果我们将上述电路图上的电动机换成阻值为 10 Ω 的定值电阻, 或者换成两个阻值为 5 Ω 的串联定值电阻, 那么这两种情况中电路的电功和电功率是否也一样呢?

学生经过思考, 一致认为两种情况中的电功和电功率相同. 学生也理解了公理. 两个 5 Ω 的串联定值电阻可以看做是一个 10 Ω 定值电阻的两个组分. 根据推理所得公理, 类比可知非纯电阻用电器也可以分为两个组分, 一部分产生机械能, 一部分产生热

能. 教师可引导学生利用 $Q = I^2 R t$ 计算上述实验中电动机在工作过程中产生的热能. 经过计算得到, $Q_1 \approx 0.130 \text{ J}$, $Q_2 \approx 0.743 \text{ J}$, $Q_3 \approx 1.129 \text{ J}$. 从而验证电能和机械能与热能之间的关系, $W_{\text{电}1} \approx W_1 + Q_1$, $W_{\text{电}2} \approx W_2 + Q_2$, $W_{\text{电}3} \approx W_3 + Q_3$. 功率是功对时间的比值. 于是得到非纯电阻电路的电功由机械功和热功组成, 电功率由机械功率和热功率组成.

2.2.3 实验证伪检验

在探究式教学中, 学生在教师的帮助下探究并得出结论. 而ETA物理教学法的本质是对物理规律的认知, 那么就不得不进行证伪检验, 这一环节也是对学生的思维和能力提出的更高要求.

教师引导学生进行证伪, 关键在于找出结论的对立面进行验证: 假设在非纯电阻电路中欧姆定律成立, 利用上述实验表格中的第二组数据进行验证. 回顾数据 $U_2 = 3.0 \text{ V}$, 查询铭牌得知玩具电动机内阻 $R = 5 \Omega$, 利用欧姆定律 $U = \frac{I}{R}$ 计算得到 $I = 0.6 \text{ A}$, 显然与电流表示数 (0.3 A) 相矛盾. 继续假设欧姆定律成立, 利用 $I = 0.6 \text{ A}$ 计算对应的热能为 $Q = 2.97 \text{ J}$, 显然热能大于电能 ($W_{\text{电}2} = 1.485 \text{ J}$), 与能量守恒定律相矛盾. 通过证伪得到结论: 在非纯电阻电路中, 欧姆定律不再适用^[6-7].

2.3 应用物理认知

2.3.1 解释已有现象

解释已有现象是第1层级的训练, 其目标在于夯实基础, 让学生能定性解释生活现象. 教师带领学生观察生活中的用电器铭牌, 让学生思考并回答额定功率和实际功率之间有什么关系, 并结合学生的回答, 给出额定功率和实际功率的概念.

2.3.2 预言可能事件

拥有举一反三的思维才能对可能事件进行正确的预测, 属于第2层级的训练. 以所学知识为中心, 教师引导学生进行拓展, 对可能的事件做基于所学知识的推断. 在这一教学环节, 教师可提问学生还可以用什么方法得到非纯电阻电路中的机械效率 η , 引导学生从热功和热功率的角度进行公式变形来计算机械效率.

2.3.3 技术发明创造

技术发明创造从实验改进和生活创造两个方面出发, 以培养学生的创新能力为核心, 属于第3层级的训练. 实验改进方面, 由于实验桌面的高度限制,

细线的长度只能取到 1 m , 导致计时操作较困难, 误差大. 教师引导学生结合初中所学的滑轮知识将实验装置从纵向操作变为横向操作, 以简化实验中的计时操作. 在生活创造方面, 从机械效率 η 出发, 思考如何设计用电器以使其实际功率更加接近额定功率等.

2.4 教学反思

“非纯电阻电路的电功及电功率”是恒定电流中的教学难点, 与纯电阻电路不同, 非纯电阻电路中电功转化为机械能和热能两部分, 因此焦耳定律不适用. 相比教师直接讲授结论, ETA物理教学法将本节内容按照认知过程展开教学, 探究过程具有逻辑性, 符合认知规律.

3 总结

基于ETA物理教学法的教学设计在课堂形式上不同于传统物理教学, 不是以教师的讲授为主, 而是充分发挥学生在课堂中的主体地位. 教师以合作者的角色引导学生完成一个又一个教学步骤. 学生不再局限于从教师口中得出结论, 而是在探究中建构知识. ETA物理教学法没有死记硬背的公式推导和机械的习题训练, 而是更加注重学生对知识的认知过程. 应用ETA物理教学法开展教学, 可以清晰地看到认知构建的过程, 符合当前课程改革的目的是和要求.

参考文献

- [1] 穆良柱. 什么是ETA物理教学法[J]. 物理与工程, 2020, 30(2): 32-36.
- [2] 穆良柱. 什么是ETA物理认知模型[J]. 物理与工程, 2020, 30(1): 29-33.
- [3] 张君可, 王君翔. 基于ETA物理认知模型的教学设计——以“超重和失重”为例[J]. 中学物理教学参考, 2021, 50(15): 37-39.
- [4] 常宁. 课程设计的要素[J]. 考试周刊, 2011(49): 104-105.
- [5] 赵兴芳, 张树东. 基于物理观念导向的教学设计——以“焦耳定律”教学为例[J]. 物理教学探讨, 2019, 37(5): 28-32.
- [6] 朝斌, 王卫. 用电器发热功率综合计算探析[J]. 物理教师, 2018, 40(8): 54-56.
- [7] 张璋, 贾宗伟. 电磁感应中基于能量观的电功率安培力功率热功率辨析[J]. 物理教师, 2021, 43(8): 57-59.