

基于 IDEA-Loop 科学思维理论的 物理教学探讨^{*}

——以“电磁阻尼和电磁驱动”的教学设计为例

李咏璇 区艺锋 周少娜 (华南师范大学物理学院 广东 510006)

摘 要 文章构建基于 IDEA-Loop 科学思维理论改进的物理教学范式,以培养学生的科学思维为教学目标,选择高中物理选择性必修二“电磁阻尼和电磁驱动”作为案例完成教学设计。将该教学范式运用至课堂中,能够让学生经历概念构建的过程,体验知识应用的乐趣,实现科学思维的进阶。

关键词 IDEA-Loop 科学思维 教学范式 教学设计

文章编号 1002-0748(2024)12-0006

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

科学思维是在科学实践活动中形成和应用的思维,包括了产生假设、实验设计、证据评估、推断思辨、得出科学结论等过程中的一切思维技能^[1]。科学思维作为物理学科核心素养的重要组成部分,已成为国内物理教育工作者关注的热点,国内对于科学思维的研究不断深入,但较少学者运用科学思维理论支撑研究^[2]。

国际上,科学思维是教育研究的重点之一,较为完善的科学思维模型主要有劳森的科学思维子技能研究^[3]、库恩关于多变量因果思维和理论—证据协调的研究^[4],以及克拉尔的科学发现双路搜索模型(SDDS)^[5]。包雷及其团队在现有模型的基础上,整合当前研究形成一个新的更完善的理论并定义了一个可操作的技能框架,他认为知识生成的思维过程将经过不断地循环,并对此循环构建模型,即 IDEA-Loop 思维模型^[6]。本文以培养学生科学思维为目标,构建基于 IDEA-Loop 思维模型改进的物理教学范式,以高中物理选择性必修二教材中“电磁阻尼和电磁驱动”为例完成教学设计。

1 基于 IDEA-Loop 思维模型的物理教学范式

1.1 IDEA-Loop 思维模型简介

IDEA-Loop 科学思维理论定义了五个类型的思维过程和操作,包括“I(Induction, 归纳)–过程”“D(Deduction, 演绎)–过程”“评估分析(Evaluation & Analysis, EA)”和循环(Loop),五者的关系如图 1 所示。

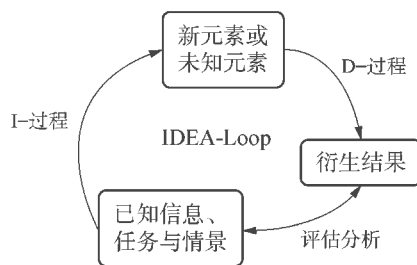


图 1 IDEA-Loop 思维模型的概念图

I-过程代表广义的发现型思维,它是一个创建或搜索要添加到当前思维中的新元素的过程,学生在经历 I-过程时运用的动作主要有归纳、推断、发现等。I-过程的结果包括广泛的认知内容,例如可能的变量、关系和机制,这些对学习来说通常是新的或未知的。结果的有效性、合理性以及有用性通常“不确定”,需要通过其他过程进行评估或检验。

D-过程代表广义的推演型思维,它是一个将场景特征(变量)合并(导入)到给定(现有)规则或函数集中以生成确定结果的过程,学生在经历 D-过程时运用的动作主要有推理、推导、应用等。D-过程的结果通常是“确定的”,也就是说,尽管一个结果对某个人而言是未知的,但在概念上、数学上和逻辑上保证有一个确定的结果。

在探究式学习中,D-过程通常与 I-过程创建的元素一起运行,以得出新的预测结果,通过对结果进一步处理可以评估 I-过程结果的有效性。评估分析(EA)过程用于分析和比较任务背景下 I-过程

^{*} 基金项目:本文系广东省哲学社会科学规划 2023 年度项目(编号:GD23XJY63)和 2022 年度教育部基础学科拔尖计划 2.0 研究课题(编号:20222512),和 2023 年度广东省本科高校教学质量与教学改革工程项目(编号:粤教高函[2024]9 号 611)的阶段性研究成果。

和 D-过程的结果,并为结果和任务目标之间的一致性生成基于证据的决策。这类过程通常经历多个循环,因此,整个过程可以理解为“发现—推演—评价—分析—循环”。

1.2 基于 IDEA-Loop 思维模型的物理教学范式构建

基于 IDEA-Loop 模型,结合物理教学的特点,构建物理教学范式,教师在教学中使学生的科学思维螺旋上升,实现培养学生科学思维的教学目标,如图 2 所示。

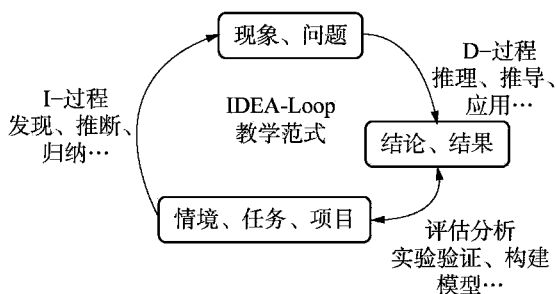


图 2 基于 IDEA-Loop 思维模型改进的物理教学范式

在物理课堂中,教师首先通过创设情境、布置任务、设置项目等形式进行课堂导入。例如,通过演示趣味实验以激发学生的学习兴趣,讲述物理学史以重走物理学家探索之路,介绍大国重器以培养学生的科学态度与责任。紧接着,教师引导学生聚焦于情境、任务、项目所出现的现象或问题,通过观察从而发现问题,进而提出问题,学生经历 I-过程。然后,教师通过问题串的形式引导学生从问题出发,运用已学的知识解决问题,学生经历 D-过程。例如,推理可能的结果,推导公式,应用于其他情境中等。最后,通过实验验证、构建模型等方式,评估分析该结果是否能解释情境、任务、项目中的问题。若可以解释,则进入下一个任务情境的循环;若不能解释,则再次经历 D-过程的推理,再次得出可能的结果,直到完成对情境、任务、项目中问题的解释。

2 基于 IDEA-Loop 思维模型的物理教学应用案例

下面以“电磁阻尼和电磁驱动”为例,阐述基于 IDEA-Loop 思维模型的物理教学范式。“电磁阻尼和电磁驱动”是电磁感应规律的应用,在教学过程中,以铝片切瓜实验、制动装置、阿拉果铜盘实验三个情境嵌套于循环中,分别以生活经验、大国重器、物理学史作为起点。每一个情境均完成一次循环,共三次循环,每个循环的思维训练目的不同,第一次为学生的定式思维排解疑惑,第二次让学生体会工

程设计的乐趣,第三次将课堂置身于历史中,体会科学探究的苦与乐。三次循环,螺旋上升,一步一步地完成学生的科学思维进阶,如图 3 所示。

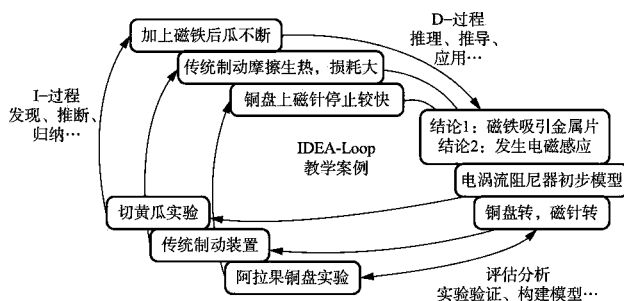


图 3 基于 IDEA-Loop 思维模型的物理教学范式教学案例

2.1 循环 1: 从生活经验出发,排解定式思维之惑

首先经历第一个循环的课堂教学,以“铝片切瓜”作为情境引出问题,从生活出发,构建电磁阻尼概念,如图 4 所示。

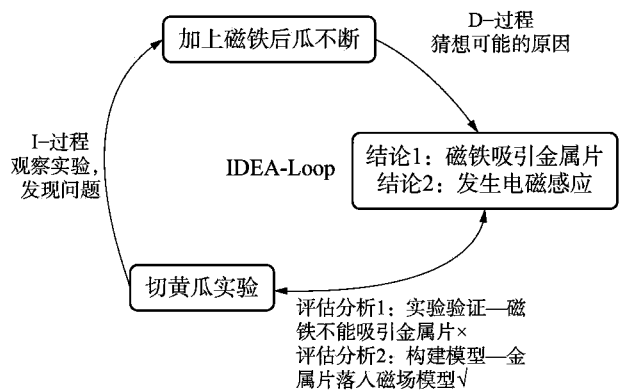


图 4 循环 1 教学过程

2.1.1 I-过程: 观察实验,提出问题

教师运用自制轨道模拟“切黄瓜”实验,共进行两次实验,分别为未加磁铁铝板下滑的情况,以及加上磁铁铝板下滑的情况,如图 5 所示。第一次实验,教师在未加磁铁时,在轨道顶端释放金属片,引导学生观察黄瓜状态,学生观察到“瓜断”现象。第二次实验,教师增加神秘物件,邀请一位学生再次切瓜,教师引导学生让金属片从同一高度下落,学生观察实验现象,第二次实验结果为“瓜不断”。

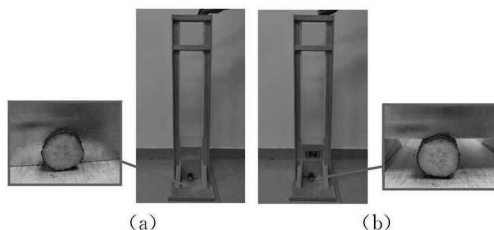


图 5 “切黄瓜”实验

2.1.2 D-过程:大胆猜想,提出观点

“瓜不断”间接证明加上神秘物件后导致金属片减速。教师通过问答法引导学生推断“瓜不断”的原因,由于金属片为银白色,学生误以为金属片为铁片,铁能与磁铁相吸。

师:为什么加上磁铁后金属片会减速?

生:由于磁铁吸引金属片,因此金属片会减速。

2.1.3 评估分析:实验探究,小心求证

教师邀请学生用磁铁吸引金属片,学生发现金属片并不能被磁铁吸引,诱发学生的认知冲突。教师揭晓金属片的材质为铝片,铝片不能与磁铁相吸,因此磁铁吸引金属片的结论不能解释“瓜不断”的实验现象。

2.1.4 D-过程:回顾旧知,再提观点

磁铁吸引金属片的猜想失败,教师引导学生再次推断可能的结论,学生再次经历 D-过程。

师:为什么加上磁铁后金属片会减速?

生:由于金属片发生电磁感应现象,因此金属片会减速。

2.1.5 评估分析:模型构建,温故知新

为了更好地完成实验现象背后原理的探究,教师引导学生回忆电磁感应的知识。学生提取主要因素,忽略次要因素,构建物理模型,将铝片落入磁场类比先前学习的导体框落入磁场模型。教师自制教具,将长方形板切割为多个长方形框,框背后贴有磁铁,使其能够直观地展示在黑板上。教师引导学生回顾导体框落入磁场的物理模型,通过不同颜色的箭头表示电流方向和受力方向,复习左手定则与右手定则,引导学生得出结论。

师:安培力对导体框的运动起着什么样的影响呢?

生:安培力对导体框的运动起着阻碍的作用。

师:同样地,小一点的导体框落入磁场也会受到安培力的阻碍作用,无数个导体框组合在一起就是一块完整的导体,在切割磁感线的过程中会受到安培力的阻碍作用。

教师引导学生运用极限的思想分析金属板受到安培力的原理,结合导体框在磁场中的运动,引出电磁阻尼的概念,如图 6 所示。通过构建模型得出结论,学生能够自主解释铝片切不断黄瓜的现象,本次循环结束,教学进入下一循环。

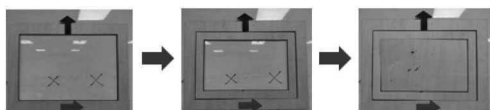


图 6 黑板磁吸演示

2.2 循环 2:从大国重器出发,体验工程设计之巧

学生在循环 1 经历从生活走向物理,已构建电磁阻尼的概念。课堂教学开始循环 2 过程,以高铁制动装置作为情境,学生经历从物理走向社会的过程,化身“工程师”,体会工程思想,培养学生的科学态度与责任,如图 7 所示。

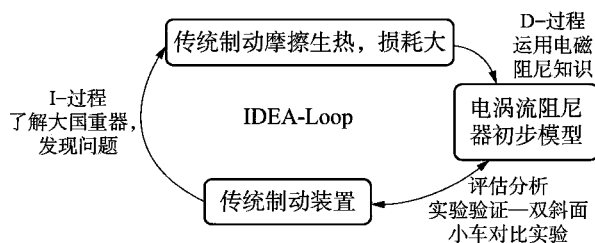


图 7 循环 2 教学过程

2.2.1 I-过程:思考讨论,发现问题

教师开启减速的话题,引导学生围绕减速的话题开展讨论,讲述传统摩擦制动装置的缺点。

师:生活中什么场合需要减速?

生:车辆遇到紧急情况时需要减速或停车。

师:但传统的制动方式采用的是摩擦制动,具有噪声大、粉尘多、零件容易损坏的缺点。

2.2.2 D-过程:工程设计,解决问题

教师通过问题串的形式引导学生对传统摩擦制动方式进行改进,渗透 STEM 理念,引导学生运用所学知识设计制动装置,体会工程设计思想。

师:能否运用所学知识实现无接触制动?

生:电磁阻尼。

师:电磁阻尼产生需要什么条件?

生:磁场和导体。

师:磁场可以用什么产生?

生:永磁铁、电磁铁。

师:永磁铁一直有磁性,而使用电磁铁能够控制磁性的有无,用哪个会更好一些呢?

生:电磁铁。

师:其实同学们刚刚设想的制动装置已经用在我国高铁的涡流制动装置中,通过控制电磁铁的开关从而实现制动的效果。

2.2.3 评估分析:实验模拟,验证结论

教师演示双斜面小车实验以模拟涡流制动的原理,两辆小车车尾处分别粘有铁块和磁铁块,铁块与磁铁块均不与底面接触。教师首先让两辆小车同时在木板的同一高度释放,引导学生观察实验现象,发现两辆小车同时到达斜面底端。教师在其中一块木板的斜面上加上铝片,再次让两辆小车在同一高度

释放,教师引导学生观察实验现象,学生观察到在铝片上带有磁铁块的小车缓慢下滑,如图 8 所示。

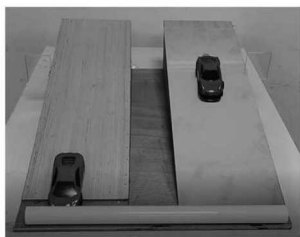


图 8 涡流制动模拟装置

通过双斜面小车实验,学生直观地体会了涡流制动装置背后的原理。

教师引导学生运用所学知识解释带有磁铁的小车减速的原因,完成对制动装置的改进,结束本次循环。

2.3 循环 3:从物理学史出发,重走科学探索之路

学生经历以上两次循环,完成对电磁阻尼概念的构建及应用,学生的科学思维在循环中得到提高。课堂开始循环 3,从阿拉果铜盘实验出发,学生化身“物理学家”,经历提出问题、猜想、实验等过程,体会物理学家探究过程中的苦与乐,如图 9 所示。

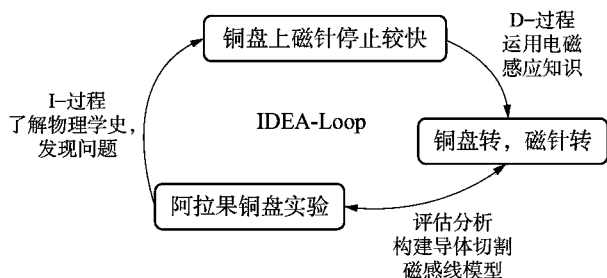


图 9 循环 3 教学过程

2.3.1 I-过程:重现旧史,思考现象

教师引入物理学史上的阿拉果铜盘实验。法国物理学家阿拉果在一次偶然中发现放在铜底座上的小磁针的摆动,比孤立放置的磁针摆动停止得快。通过自制 Flash 动画演示阿拉果进行铜盘实验的过程,重现阿拉果发现的实验现象,教师引导学生运用电磁阻尼的知识对阿拉果发现的实验现象进行解释。

2.3.2 D-过程:代入角色,提出猜想

教师引导学生根据阿拉果发现的实验现象提出猜想。

师:假如你是阿拉果,你会提出什么样的实验猜想呢?

生 1:静止的铜盘可以让磁针停止摆动,那转动的铜盘会让磁针运动起来。

生 2:静止的铜盘让磁针停止摆动,那转动的铜盘也会让磁针停止摆动。

教师对学生根据实验现象提出的猜想给予肯定。阿拉果根据该猜想进行了著名的“阿拉果铜盘实验”。阿拉果将一个圆铜盘装在一根垂直轴上,使

其可以自由转动,再在铜盘正上方悬吊一根磁针,他通过实验发现,当铜盘旋转时,磁针也跟着一起旋转,但在时间上稍有滞后。

2.3.3 评估分析:构建模型,验证猜想

为了验证猜想的正确性,教师引导学生结合所学知识进行分析,采用化繁为简的建模方法,提取铜盘中的一条半径视作导体,学生对该条导体进行受力分析。运用电磁感应的知识,学生得出安培力方向和磁场运动方向相同的结论。教师根据此结论总结电磁驱动的概念,并从能量观的角度,引导学生分析导体的能量转化。通过构建模型的方式,构建新概念,学生能够自主完成对“阿拉果铜盘实验”现象的解释,循环结束。

3 评价与总结

本研究基于 IDEA-Loop 科学思维模型,结合高中物理教学过程的特点,构建了基于 IDEA-Loop 科学思维理论的物理教学范式,并通过“电磁阻尼和电磁驱动”一课进行应用。下面对本范式及其课例进行评价与总结。

3.1 在循环中经历概念构建的过程

目前教学中学生的概念形成缺乏知识建构的过程,易造成“背概念”现象,学生对概念并没有完全理解。教学过程经历循环后,学生经历了一次完整的概念构建过程。例如,在课例的循环 1 中引入“铝片切瓜”的情境,并通过一问一答的形式使学生产生认知冲突,引导学生对实验现象提出科学性问题的,从而建立物理模型,讨论实验过程,构建电磁阻尼的物理概念;循环 3 设置物理学史上的“阿拉果铜盘实验”为情境,让学生代入“阿拉果”的角色中,重温科学探究的过程,体会科学发现的偶然,感悟从科学猜想到实验验证的过程,从而构建物理概念,体会科学家的科学探究精神。两个循环均在已有知识的基础上,经过发现、推理、评价分析的过程,构建新概念。

3.2 在循环中体验知识应用的乐趣

在教学中,教师通常会在新授课后讲述与该知识点相关的生活生产中的应用,但学生此时仅处于“看热闹”的状态,并没有运用所学知识点应用进行解释,难以达到学以致用效果。教学过程经过循环后,学生能够体会将知识应用到生产生活中的全过程。例如,在课例的循环 2 中引入高铁中的“轨道涡流制动”技术,教师通过问题串的形式引导学生设置简易涡流制动装置,让学生体会工程设计过程;再通过演示小车双斜面对比实验,使学生直观地观

(下转第 61 页)

果 cd 棒电阻趋于零,那么电流将会在极短时间内达到 1.2 A ,加速度也在极短时间内从 6.6 m/s^2 减为 6 m/s^2 ;当 $t=1.2\text{ s}$ 时, $v=7.24\text{ m/s}$, $x=4.37\text{ m}$,这与原答案依然非常接近,因此在题目所给的数据条件下, cd 棒的实际电阻可忽略是合理的,这再一次让我们体会到高考试题命制的高端水准。

5 反思与启示

导体棒在含阻或含容电路中切割磁感线做变速运动,虽然安培力是变力,但可以基于微元法建立动量定理方程,例如 $I_{\text{安}} = \sum \frac{B^2 L^2 v}{R} \Delta t = \frac{B^2 L^2}{R} x$, $I_{\text{安}} = \sum BiL \Delta t = BL \Delta q$ 等,这是学生非常熟悉的。海南卷第 13 题中, cd 棒的运动同样可以使用动量定理,但是需要想到 $\Delta q = CBL \Delta v_0$,这一步不容易,学生容易卡壳。又如在 2024 年全国甲卷压轴题中,导体棒匀速运动且给电容器充电时,要求计算安培力做的功,解法多种多样,但最基本的方法: $W_{\text{安}} = \sum F_{\text{安}} \Delta x = \sum BiLv \Delta t = BLv \Delta q$ 也不容易想到。究其根本,还是学生习惯于利用“固定公式”来求解“固定问题”,如果将常见问题略作改动,在考试过程中容易造成思维困惑,考完之后又恍然大悟。如何引导学生在有限时间内构建最佳解法,避免陷入复杂的公式代换,值得我们反思教学。

在新授课的教学中,老师们都注重通过情境创设、小组活动、实验探究、信息技术融合等丰富多样

的教学手段和课堂活动来启发学生思考,引导学生构建新的物理认知,从而提升学科素养。笔者认为在习题课的教学中也应该注重学生的思维体验,而不是对参考答案进行详细描述和计算,也不是单纯给出多解。学生在考试中即使遇到老师讲过的“原题”依然会出错,学生对于解决实际问题的能力还没有真正提升。因此,如何从审题到联系哪些所学知识再到求解思路的构建,这个过程的经历远比做出一道题本身更有价值。以导体棒问题为例,建议教师在课堂教学前、中、后,都要关注学生现有的错误思路,在这个基础之上进行备课和教学,引导学生理解物理情境,结合所学知识构建以 $x = \sum \bar{v} \Delta t$ 和 $\Delta q = \sum \bar{i} \Delta t$ 为核心的微元思想,而不是被动接受“标准答案”。只有真正与学生深度互动,做学生的“贴心人”,我们的教学才能更有效。

参考文献

- [1] 王金兵. 关于电磁感应“单棒带电源”问题的探讨[J]. 物理教师, 2023(11): 89—93.
- [2] 张争光. 含电磁感应 RC 放电并联电路动态变化规律探析[J]. 物理教师, 2023(5): 58—61.
- [3] 谭国锋, 梁旭. 用微元法处理变力做功问题探讨——基于错误诊断的教学设计[J]. 物理教学, 2024(7): 47—51.
- [4] 辛亚. 对电磁感应中电容器放电问题的定量研究——以 2022 年高考全国甲卷第 20 题为例[J]. 物理教师, 2022(11): 84—86.
- [5] 陈伍仔, 高建平. 对 2024 年全国高考物理甲卷压轴题的赏析及拓展[J]. 物理教学, 2024(9): 60—63.

(上接第 9 页)

察涡流制动的现象,并引导学生解释实验现象。联系国家热点,灌输工程思想,培养学生的爱国情怀,种下为国奉献的种子。

3.3 在循环中实现科学思维的进阶

IDEA-Loop 思维模型阐述了学生在发展科学思维的过程中所需要经历的步骤,并通过循环的形式实现科学思维的进阶。在教学过程中,学生思维在经历一个个循环,结合 IDEA-Loop 模型,可以对应到课堂的每一个环节的实施。学生思维的卡顿,可能是由于循环中的某一个环节出现了缺漏,从而产生了疑惑。为此,教师在教学过程中需要“有头有尾”,所设置的情境不应仅仅戛然而止,而应引导学生置身于不同的情境中完成教学。引导学生从已有知识出发,经过归纳的过程,自行发现问题或规律,再通过演绎的过程,进行评价与分析,从而循环往复,实现科学思维进阶。

参考文献

- [1] 董博清, 彭前程. 核心素养视域下科学思维的内涵及其实现路径[J]. 课程·教材·教法, 2019(4): 84—90.
- [2] 于士博, 于海波. 国内科学思维研究内容的综述与思考——以物理学科视角[J]. 物理教师, 2022(4): 2—6, 9.
- [3] A. E. Lawson. The Nature and Development of Scientific Reasoning: A Synthetic View [J]. International Journal of Science and Mathematics Education, 2004, 2(3): 307—338.
- [4] D. Kuhn, M. Pease, Wirkala and Clarice. Coordinating the effects of multiple variables: a skill fundamental to scientific thinking [J]. Journal of Experimental Child Psychology, 2009, 103(3): 268—284.
- [5] D. Klahr. Exploring science: The cognition and development of discovery processes, Cambridge [M], MA: MIT Press, 2002.
- [6] Bao L., Koenig K., Xiao Y., etc. Theoretical model and quantitative assessment of scientific thinking and reasoning [J]. Physical Review Physics Education Research, 2022, 18(1): 010115.