

凸显科学意蕴的物理教学探索：基于科学论证重构“离心现象”实践教学^{*}

黄铭舜（广州市海珠区教育发展研究院 广东 510230）

摘要 为探索体现科学教育意蕴、发展物理学科核心素养的课堂教学，提出基于科学论证的物理学科实践教学框架，并以“离心现象”的教学为例，从模型建构、探究推理、交流评估、质疑批判、完善修正、抽象概括六个环节呈现具体的教学过程，为促进学习优化教学提供参考。

关键词 科学论证 高中物理 学科实践活动 核心素养

文章编号 1002-0748(2026)4-0002

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

《基础教育课程教学改革深化行动方案》明确提出，深化中小学科学教育改革，发展学生科学素养^[1]。作为自然科学领域的核心学科，物理学是培养学生科学素养的关键学科。然而，传统的物理教学直接以知识作为学习的起点和终点，“接受知识——模仿重复”成为常见的学习模式，造成知识碎片化，窒碍学生科学素养的发展，不能适应加强科学教育的时代需要。科学教育不是一味地对学生注入正确无误的知识，学习科学也不是知识接受和机械应用的过程，应该是经历科学论证过程后的意义建构^[2]。以科学论证为导向设计学科实践活动，让学生的学习像学科专家一样思考和行动^[3]，亲历物理概念的发现、发展过程，是培养学生科学素养的关键所在。

本文以高中物理必修二“离心现象”教学为案例，探讨基于科学论证的学科实践教学理念以及在教学中的应用，为物理学科落实“科学教育做加法”提供借鉴。

1 基于科学论证的物理学科实践教学

1.1 基于科学论证的学科实践教学框架

科学论证的内涵是面对未确定的科学问题，通过社会性的协作过程，为各自的观点提供支持，并批驳相异的观点，以解决问题并获取知识的活动^[4]。学科实践是指学科专业共同体怀着共享的愿景与价值观，运用该学科的概念、思想与工具，整合心理过

程与操控技能，解决真实情境中的问题的一套典型做法。两者理念高度吻合，科学论证是物理学科最典型的学科实践活动之一^[5]。结合课程标准的要求，笔者基于科学论证设计适用于物理课堂教学的学科实践活动，理论框架如图1所示。

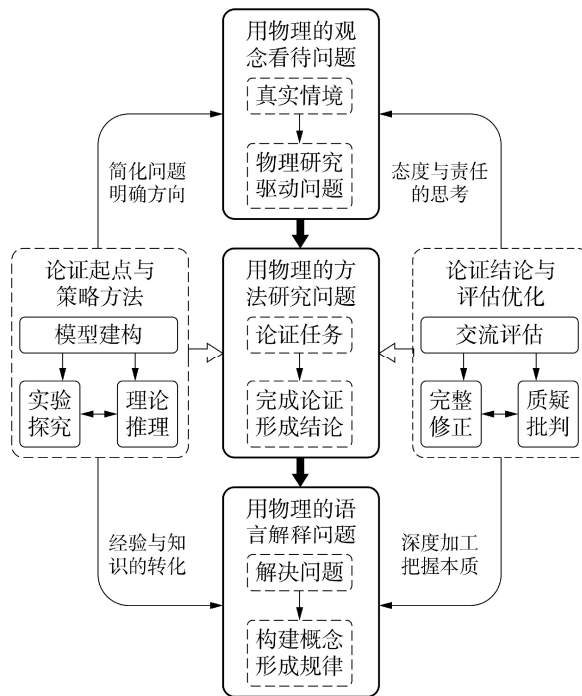


图1 基于科学论证的物理学科实践教学框架

^{*} 基金项目：本文系广东省教育科学规划2025年中小学教师教育科研能力提升计划项目“SNP教学模型在高中物理科学论证教学中的实践研究”（项目编号：2025YQJK0065）的阶段性研究成果。

1.2 基于科学论证的学科实践教学理念

1.2.1 构建论证实践任务,让学生“像学科专家一样思考和行动”

以学生的学为主体,关键在于设计体现学科意蕴的学习实践活动^[5],让学生的知觉、思维、情感、意志、价值观等全面参与。课堂教学中基于真实情境架设科学论证任务,可为学生创设一个模拟专业研究的学习历程,培养学生以物理的观念看待问题,以物理的方式研究问题,以物理的语言解释问题,搭建形成核心素养的路径和阶梯。

1.2.2 在问题的论证解决中发现、发展物理概念和原理,实现“论证中学习”

概念和原理起源于人类解决真实问题的直接经验。以论证的方式解决问题,学生能充分经历发现问题、探究推理、交流评估、质疑批评等物理研究的核心过程,为概念和原理的抽象概括提供实践基础,以“论证——发现——发展”的方式实现物理概念的意义建构。形成“做中学,用中学,创中学”^[1]理念在物理教学中的具体路径:“论证中学习、论证中理解、论证中创新”。

1.2.3 通过论证冲突引发质疑批评,培养高阶思维

批判性思维是物理学科核心素养的核心内容^[6],是未来人才应该具备的关键能力,尤其在科学教育领域,其对于学生形成理性判断、批判评估与创新表达的能力尤为重要^[7]。在科学论证的实践过程中,不同论证之间的差异会形成认知冲突,引发质疑与批判,激发学生寻找新证据,探索更深刻、更完备的推理以化解矛盾,培养学生不断评估反思、探索创新的思维能力和品格态度。

2 基于科学论证的高中物理学科实践教学过程及案例探讨

2.1 从“知识主体”向“学生主体”转变

“离心现象及其应用”是粤教版高中物理必修二“圆周运动”章节的最后一节。“离心”作为超出临界条件后的必然结果,在“汽车转弯、拱桥、管、杆”等问题中广泛出现。然而受“知识主体”观念的影响,为了“先熟练掌握向心力公式计算”,即使学习中已出现“离心”的概念雏形,但教学仍会中断有关的讨论,错失概念的意义建构。“离心”概念被安排在章末由老师演绎讲授,再介绍其应用与危害,学习以聆听讲解为主,导致学生对“离心”的理解仅停留在“速度较快会飞出”的结论记忆,面对陌生情境时难以构建方

程推理阐明“离心”发生的动态过程和条件。

课标的要求是:“能用牛顿第二定律分析匀速圆周运动的向心力。了解生产生活中的离心现象及其产生的原因。”^[6]进一步理解课标,教学应回归到本单元的核心任务“研究圆周运动规律”,让学生通过实验探究和理论推理探索“离心”的发生过程,理解“圆周与离心”内在联系,“是否满足向心力等式”,培养学生从“力与运动”的观念去研究问题、建构概念。

梳理整合教材后,笔者以“汽车在平直公路上转弯防止侧滑”为真实情境,设计学生可操作的实践活动,引导学生以论证的方式解决问题,并由此帮助学生抽象概括“离心”的概念及原理,并在质疑批评及完善修正中发展高阶思维,教学设计的流程如图 2 所示。

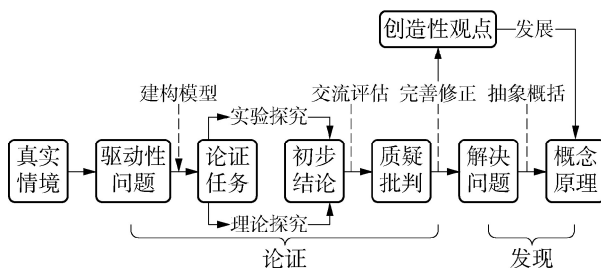


图 2 “离心现象及其应用”教学流程图

2.2 教学过程分析

2.2.1 模型建构:在真实情景中提出驱动性问题,架构论证任务

受知识储备、生活经验、认知水平等限制,学生不可能完全如专家一样研究,这要求教师充当连接学生和专家的桥梁。一是要帮助学生从真实情境中提出物理研究的驱动性问题,引导学生以物理的观念看待问题,二是把握科学论证的关键节点和核心方法,并通过模型建构把问题简化、重构为可操作的论证任务。

教学片段 1:以“不切实际”的问题触发模型建构。

学生提出了实验和方程推导两种研究方案。教师通过实验建模和理论建模,帮助学生架构可以操作的论证任务。教师首先提出“不切实际”的问题:“我们去买一辆汽车到路面上进行侧滑实验”,既营造了轻松讨论的氛围,又激发学生思考如何在课堂中开启替代性研究。用模型车替代真实汽车,把真实路面简化为可操控的转盘,建构了“模型车—转盘”实验模型。与此同时,通过“画立体小车受力分析的困难”引领学生经历“先分解再综合”分析策略,让结构复杂的问题得以简化为具体熟悉的物理模型。有了明确的实验装置、清晰的研究模型,探究的思路、方案、步骤可留给学生通过合作学习完成。

2.2.2 探究推理:在小组合作中寻求事实证据,构建初步结论

在研究模型确立后,教师提出两个探究任务:①设计必要的实验步骤和表格,在转盘模拟汽车转弯的实验中观察和记录各个因素带来的影响,根据结果说明汽车侧滑的原因和防止侧滑的办法,称为“实验探究小组”;②画出受力分析、写出必要方程,推理影响汽车安全转弯的原因,称为“理论探究小组”。考虑到能力、基础的差异,教师把论证任务设置为可选择,每位同学至少完成一种,有能力的完成两种。

从学生论证表现的过程性评价发现,这个安排是较为成功的:一是保证有足够时间完成任务;二是基于自我需要的选择能激发更强的学习内驱力;三是不同论证方式将带来不同的过程和结论,为质疑批判提供基础。

教学片段 2:小组合作,探究求“证”,推理成“论”。

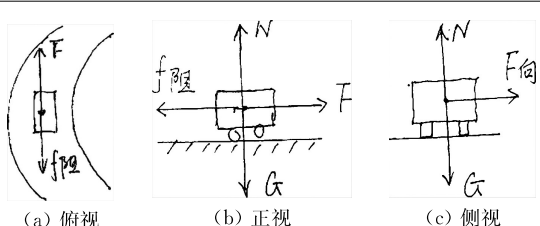
有了前置讨论和教师指导,各小组基本能梳理出实验探究和理论探究的方案和思路,实践表明,借

助小组合作,大部分小组能在规定时间内完成探究形成初步观点。以下是两种论证中较为典型的证据和推理,实验探究小组如表 1 所示,理论探究小组如表 2 所示。

表 1 实验探究典型的证据与推理

项目	证据	推理
速度	转动速度逐步增大,小车先保持“不动”,超过某个速度小车飞出	① 4 次实验,小车先与地面保持相对静止然后向外滑出,说明圆周运动中物体总有远离圆心的趋势,这符合静摩擦力的特征,防止侧滑的力应该是指向圆心的静摩擦力,静摩擦力不足汽车就会发生侧滑。 ② 速度越快、半径越大、质量越大,摩擦力较小,汽车越容易侧滑
半径	相同的小车放在不同半径位置上,半径较大的首先飞出	
质量	放在半径相同处,其中一辆小车上绑上钩码增加质量,速度逐步增加,绑上钩码的小车容易飞出	
摩擦力	小车放在半径相同处,其中一辆涂上润滑油,速度逐步增加,该小车首先滑出	

表 2 理论探究典型的证据与推理

内容	证据	证据推理
提供向心力的作用力	 <p>图 3 学生绘制的受力分析图</p>	① 侧视图[见图 3(c)]:汽车受到 5 个作用力:重力、支持力、向前的动力、路面阻力和空气阻力,通过受力分析发现这 5 个力都不指向圆心,排除。 ② 正视图[见图 3(b)]:向心力是水平方向的,重力和支持已被排除,只有地面可以提供,地面产生的水平方向作用力最有可能的是摩擦力
方程分析	$F_{向} = f = m \frac{v^2}{r}$	① 根据方程:速度 v 越大, f 越大;半径 r 越大, f 越小;质量 m 越大, f 越大。 ② 需要的摩擦力 f 越大,越容易侧滑

2.2.3 交流评估:在评估任务中抑制直觉优势,触发质疑批评

学生往往倾向根据结果直接得出结论,缺乏评估反思的习惯,也难以提出质疑批评对证据和推理进行完善修正,这源于学习者的直觉优势反应。抑制控制理论指出,批判性思维的认知基础在于学习者能否识别并抑制直觉优势反应,转而以缓慢、努力、反思性的方式进行逻辑分析,调动注意资源进行理性思考,促进批判性思维的培养需要提供支持抑制控制的物理课堂环境^[7]。

教学片段 3:设置交流评估任务,发现论证冲突与缺陷。

为了培养学生抑制仅凭探究结果生成结论的冲动、形成评估和反思的态度和习惯,教师不仅邀请两

种论证方式的代表展示和解释证据及推理,同时向全体同学安排了两个评估任务:①小组之间相互对照论证结果;②评估和判断证据和推理是否合理充分。学生通过对照、评估发现,理论探究和实验探究关于转弯半径影响的结果是矛盾冲突的,结论存疑。与此同时,评估还发现两种探究方式的证据和推理均存在缺陷:实验结果只用文字说明无法准确呈现各物理量整体的逻辑关系,理论探究对向心力来源的判断是仅基于排除缺乏直接证据。由此可见,设置交流评估任务,能有效抑制直觉冲动,触发学生的批判性思考。

2.2.4 修正完善:发现新结论提出新质疑,形成螺旋进阶深度学习

为了回应质疑和批判,学生会对自己或者他人的结论和推理进行深度的反思与评估,并积极寻求

完善修正的策略和方法,在修正原有缺陷、完善原有分析的过程中发现了更有价值的结论,又引发了新的质疑和创造性观点,循环发展形成一个螺旋进阶的深度学习过程(见图 4)。

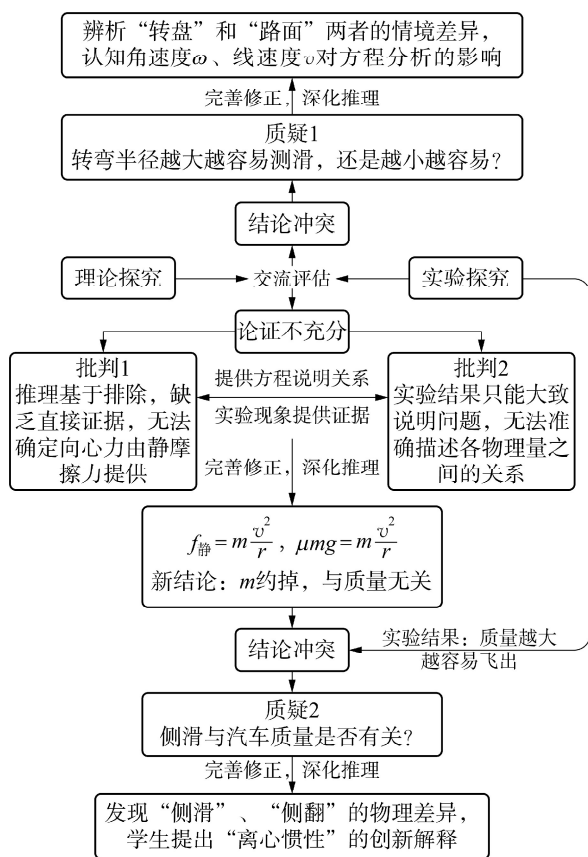


图 4 “离心现象”螺旋进阶的深度学习过程

教学片段 4:融合不同探究路径,完善方程和结论。

师:既然两种探究都存在不足,请大家尝试把两者融合起来解决质疑和批评,提出更为完善的结论和推理。

生:用向心力方程推理比文字说明的实验结果能更清晰反映规律,而实验过程则直观说明汽车转弯过程中有向外飞出的趋势,可以证明是静摩擦力提供向心力。

师:以静摩擦力为向心力修正方程,分析 m 、 v 、 r 变化带来的影响。

生:由方程 $f_{\text{静}} = m \frac{v^2}{r}$ 可得出了三个新结论:① m 变大、 v 变大、 r 变小,静摩擦力变大;② 当超过最大静摩擦力就会侧滑;③ (部分学生提出) 因为 $f_{\text{max}} = \mu mg$, 故 $\mu mg = m \frac{v^2}{r}$, m 被约掉,是否侧滑与

质量无关。(学生视最大静摩擦力等于滑动摩擦力,准确表述应为“最大静摩擦力为车重的 k 倍”,但不影响推理和结果)。

这一过程是形成最终结论的关键一步,也是学生对科学论证产生实践性理解的过程。首先,通过两种探究互补融合完善了向心力方程,为运用物理表征解释侧滑成因奠定了基础;其次,形成的新结论又引发新质疑,进一步深化论证;再者,学生认识到任何研究必然存在不足,综合不同研究有助于建构更完善的论证。

教学片段 5:辨析“质量影响”提出创造性观点,发展高阶思维。

“ m 被约掉,与质量无关”,与实验探究发现“质量越大越容易飞出”的结果冲突,再次引发学生提出质疑。关于“质量影响”的讨论原计划是通过习题讲解的,却意外地由学生在质疑批判中提出。这是本节最复杂的讨论,两者差异在于,方程推理的是“侧滑”问题,而实验观察到的是“侧翻”。对“侧翻”的解释涉及大学物理“力矩与转动”知识,实验中小车绑上钩码后导致小车质心升高,离心惯性力矩大于重力力矩侧翻飞出。而方程讨论的是质心不变的情况,力矩将保持平衡仅发生“侧滑”,质量成为无关变量。教师做了简单介绍,但有学生主动提出一个创造性的观点。

学生:这与刹车时惯性使人摔倒的情况类似,把钩码绑在小车上增加质量的同时也增加了车的高度,钩码和车都有向外飞的趋势,下面轮胎就如人的脚一样受到摩擦力作用保持不动,而钩码就如人的上半身一样继续向外飞,就倒下了。

学生运用类比方式,创造性地把圆周运动的离心飞出与直线运动的刹车惯性联系在一起,以已有知识解释新现象获得了其他同学的认可,把“离心”的概念建构从教材中的“现象表述”发展为“与惯性关联”。充分论证实践能触发学生打破知识的边界,开启更广泛的知识关联,提出大胆、创新的观点,并把论证学习延伸到课后,许多学生尝试通过 AI 搜索“侧翻”的成因。

2.2.5 抽象概括:在论证解决问题中发现、发展概念和原理

通过论证,学生对“侧滑”的成因有了清晰的认知,但这还不是学习的最终目标。这仅是“研究圆周运动规律”的一个案例,生产生活中还有大量类似的例子和问题,有必要引导学生以已经经历的论证实践为基础,进一步抽象概括更具普遍性的概念和原理,为此笔者设计了任务链条引导学生完成概括抽象,运用“物理的语言”表征概念和原理,过程如图 5 所示。

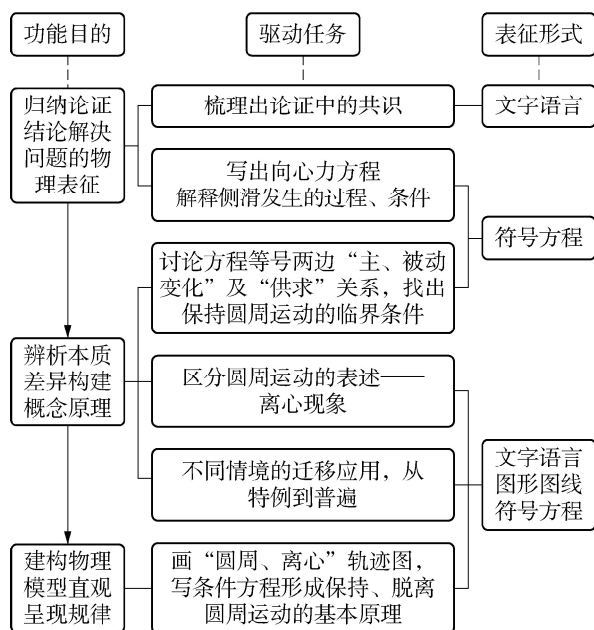


图 5 离心现象概念与原理的抽象概括过程

首先,学生整理完善后的结论,归纳出“发生侧滑”的物理解释——方程和临界条件。引导学生形成学科专业化表征,同时也进入学科化的抽象概括。

其次,指导学生对方程更进一步的演算和推理。从“主动与被动”的角度理解物理方程从等式演变为不等式的过程;进而明晰方程两边在真实情境中意义:左边是外界提供,右边是转弯需要。由此明确“脱离圆周”是圆周运动的一种延伸和演变,让学生站在“从圆周研究离心”的逻辑立场。顺理成章地以临界条件为界线,提出新概念“离心现象”。

最后,引导学生运用上述的分析步骤和思路解释其他案例,经历概念和原理在不同的情境中迁移应用,实现从特例到普遍的一般化概括。紧接着安排学生画出“圆周”“离心”的轨迹图、在图中标注对应方程,抽象概括为更直观、简明的物理模型图。

(上接第 9 页)

中最熟悉的天体,其能源机制的研究将抽象的量子概念与具体的自然现象联系起来,极大地增强了学习的趣味性和现实意义。这种联系有助于激发学生的学习兴趣,培养他们用物理眼光观察世界、思考问题的习惯。

太阳核聚变问题的解决过程,完美诠释了科学研究的完整范式:从实验矛盾出发,突破理论局限,建立新框架,最终实现理论与现实的统一。这种教学方式不仅传授知识,更重要的是让学生体验科学发现的思

3 结 语

本文定位于转变“接受知识——模仿重复”的物理学习模式,让物理课堂从知识的灌输走向素养的培养,基于在论证实践中学习、在解决问题中建构概念、在交流合作中培养质疑批判精神的育人理念,提出了基于科学论证的学科实践教学理念框架,为指向科学素养提升的物理教学提供参考。

笔者认为,物理教学要始终围绕学生的学来设计体现物理学科本质的实践活动,引导学生在解决真实问题的过程中持续地探索和论证,核心素养的培养才能有效落地,物理的科学教育学科价值才能真正体现。

参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部办公厅. 关于印发《基础教育课程教学改革深化行动方案》的通知[EB/OL]. (2023-05-09)[2025-07-20]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202306/content_6884785.htm.
- [2] 韩葵葵. 中学生的科学论证能力[D]. 西安:陕西师范大学,2016.
- [3] 崔永邵,王少菲,杨澄宇,等. 新课程关键词[M]. 北京:教育科学出版社,2023.
- [4] 马朝华. 对物理教学中科学论证的认识与实践[J]. 物理教学,2018(11):9—11,8.
- [5] 崔允灏,张紫红,郭洪瑞. 溯源与解读:学科实践即学习方式变革的新方向[J]. 教育研究,2021(12):55—63.
- [6] 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.
- [7] 肖洋,李彤,朱海琼,等. 抑制控制与批判性思维的关系及其对物理教学的启示[J]. 物理教学探讨,2025(6):1—7.
- [8] 周文叶. 中小学表现性评价的理论与技术[M]. 上海:华东师范大学出版社,2014.
- [9] 邓阳. 科学论证及其能力评价研究[D]. 武汉:华中师范大学,2015.
- [10] 李丽萍. 高中物理科学论证能力评价量表的研制及应用研究[D]. 长沙:湖南师范大学,2021.
- [11] 杨玉洁,李春密. 科学思维导向的高中物理教学设计——以“动量”教学为例[J]. 物理教学,2025(3):7—12.

维历程——如何构建模型、验证假说、突破定势。正如量子隧穿效应本身一样,教育的目的就是帮助学生们跨越认知的势垒,进入一个更广阔的知识世界。

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] 张亚丽. 浅析核裂变与核聚变产生条件的不同[J]. 物理教师,2010(2):16.
- [3] 黄燕萍. 能源与激光核聚变[J]. 物理教学,2009(11):8—11.