

基于5EX模型的教学评一体化高中物理教学设计

——以牛顿第二定律为例

裴静雅, 李晓伟*

赤峰大学物理与智能制造工程学院, 内蒙古 赤峰

收稿日期: 2026年7月17日; 录用日期: 2026年8月19日; 发布日期: 2026年8月27日

摘要

针对高中物理牛顿第二定律教学中学生迷思概念的转变需求以及教学评一体化理念对教学过程提出的新要求, 提出基于5EX模型的教学评一体化教学设计方案。本文从概念转变理论的视角, 系统阐明了5EX模型在物理规律课教学中促进概念转变的独特作用机制, 揭示了“启发与问题 - 探索与证据 - 解释与论证 - 迁移与交流 - 评价与创新”五环节所构成的递进式认知路径。同时, 从学习科学的角度阐释了诊断性评价、过程性评价与反思性评价的设计依据及其在5EX各环节中的嵌入逻辑, 并以牛顿第二定律为例完成各环节的详细教学设计, 呈现配套的评价工具与量规。此外, 本文还讨论了该方案的适用条件与实施风险, 增强了设计的可推广性。本设计可为高中物理核心规律课的教学评一体化设计提供一种可行的参考框架。

关键词

5EX模型, 教学评一体化, 概念转变, 牛顿第二定律, 高中物理

Teaching Design of Integration of Teaching, Learning and Assessment in High School Physics Based on the 5EX Model

—Taking Newton's Second Law as an Example

Jingya Pei, Xiaowei Li*

School of Physics and Intelligent Manufacturing Engineering, Chifeng University, Chifeng Inner Mongolia

Received: July 17, 2026; accepted: August 19, 2026; published: August 27, 2026

*通讯作者。

文章引用: 裴静雅, 李晓伟. 基于 5EX 模型的教学评一体化高中物理教学设计[J]. 教育进展, 2026, 16(8): 1733-1742.
DOI: 10.12677/ae.2026.1681810

Abstract

In view of the need to facilitate the conceptual change of students' misconceptions in high school physics teaching of Newton's Second Law and the new requirements posed by the integration of teaching, learning and assessment, this paper proposes a teaching design scheme based on the 5EX instructional model with integration of teaching, learning and assessment. From the perspective of conceptual change theory, this paper systematically elucidates the unique mechanism of the 5EX model in facilitating conceptual change in physics law instruction, revealing the progressive cognitive pathway constituted by five phases: Engage, Explore, Explain, Extend, and Evaluate. Meanwhile, from a learning sciences perspective, it explains the design rationale of diagnostic evaluation, formative evaluation, and reflective evaluation and their embedding logic across the 5EX phases. Using Newton's Second Law as a teaching vehicle, detailed instructional designs for each phase are completed with accompanying evaluation tools and rubrics presented. Moreover, this paper discusses the applicability conditions and implementation risks of the scheme, enhancing its generalizability. This design may provide a feasible reference framework for the integration of teaching, learning and assessment in teaching other core physics law courses in senior high schools.

Keywords

5EX Model, Integration of Teaching, Learning and Assessment, Conceptual Change, Newton's Second Law, High School Physics

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

牛顿第二定律($F = ma$)是经典力学体系的核心定律, 其将力、质量和加速度统一于一个定量关系之中, 是高中物理课程中的枢纽性概念。然而, 学生在学习该定律前后普遍持有若干稳定性较强的迷思概念, 如“恒力导致匀速运动”“力越大速度越快”等[1]。这些迷思概念多源于日常经验的自发性归纳, 具有一定的顽固性, 需要在教学中采取有针对性的概念转变策略加以引导。

概念转变理论指出, 概念转变的发生需满足四个条件: 对现有概念的不满、新概念的可理解性、合理性和有效性[1]。这意味着仅通过教师讲授往往难以实现真正的概念转变, 学生必须先认识到自身已有认知的不足, 进而通过探究活动验证新概念在不同情境中的解释力。当前, 课程标准所倡导的教学评一体化理念强调将评价嵌入教学全过程[2]。在此背景下, 如何将结构化的探究教学模式与过程性评价机制有机融合, 以促进学生核心素养的全面发展, 是值得深入探讨的课题。

本文选取 5EX 教学模型与教学评一体化理念作为理论框架, 以牛顿第二定律为教学载体构建完整的教学设计方案, 着力探讨该模型在物理规律课教学中促进概念转变的独特作用机制, 以及教学评一体化设计在 5EX 各环节中的理论依据与实施策略。

2. 理论基础

2.1. 5EX 教学模型的内涵及其适用性

5E 教学模式由 Bybee 等人提出, 以建构主义和概念转变理论为基础, 涵盖 Engage (吸引)、Explore

(探究)、Explain (解释)、Elaborate (迁移)和 Evaluate (评价)五个环节[3]。在此基础上, 颜国英等人进一步将“交流(Exchange)”提升为独立环节, 据此构建了 5EX 教学模型, 形成“启发与问题、探索与证据、解释与论证、迁移与交流、评价与创新”的新结构[4]。相较于 5E 模型, 5EX 模型在三个维度上进行了拓展: 一是将交流提升为核心教学环节, 突出学生表达与合作的主体作用; 二是强调证据意识在各环节中的贯穿性培养; 三是在评价环节引入创新维度[4]。

5EX 模型在物理规律课教学中具有独特适配性。规律课的教学核心在于帮助学生经历“现象观察 - 数据分析 - 规律归纳 - 数学建模 - 情境迁移”的完整认知过程, 与 5EX 模型五环节高度映射。具体而言, 规律课具有三个显著特征: 第一, 往往涉及学生已有迷思概念的系统性转变, “启发与问题”环节能创设认知冲突情境使迷思概念显性化; 第二, 探究过程需要学生系统地收集和处理实证数据, “探索与证据”环节所强调的证据意识与这一需求契合; 第三, 迁移应用需要多情境的综合分析, 独立设置的“迁移与交流”环节为知识迁移提供了制度化空间, 避免了传统教学中迁移环节被压缩的常见问题。

2.2. 概念转变理论与教学策略

概念转变理论将概念建构区分为“同化”与“顺应”两种机制, 其中顺应即旧概念被新概念替代, 其发生需满足四个条件: 对现有概念的不满、新概念的可理解性、合理性和有效性[1]。基于该理论, POE (预测 - 观察 - 解释)策略被广泛应用于科学教育——“预测”环节将迷思概念外显化, “观察”环节通过实验产生认知冲突, “解释”环节在新旧概念间建立逻辑联系。侯新杰等人进一步提出 POEDA 策略, 增加了同伴讨论和情境应用环节以促进新概念的巩固与迁移[5]。

将概念转变理论与 5EX 模型对照分析可以发现, 五环节为概念转变提供了递进式认知路径——即按固定序列引导学生逐步经历认知冲突、实证体验、逻辑建模、多情境验证和元认知反思的完整认知过程: 在“启发与问题”环节使学生产生对迷思概念的不满(条件一); 在“探索与证据”环节通过实验使新概念具有经验基础(条件二: 可理解性); 在“解释与论证”环节通过数学建模体会新概念的逻辑一致性(条件三: 合理性); 在“迁移与交流”和“评价与创新”环节验证新概念在多种情境中的解释力(条件四: 有效性)。上述分析表明, 5EX 模型的环节序列与概念转变条件之间存在逻辑对应关系, 该认知路径为教师在规律课教学中系统规划概念转变过程提供了结构化参考。

2.3. 教学评一体化理念及其评价设计依据

教学评一体化是《普通高中物理课程标准(2017 年版 2025 年修订)》所倡导的重要教学理念, 将教学目标、教学活动和教学评价视为不可分割的有机整体[6]。其实践内涵可概括为三个层面: 目标一体化, 即三者共同指向核心素养发展; 过程一体化, 即评价贯穿课前诊断、课中形成和课后终结全过程; 主体一体化, 即教师、同伴和学生共同构成评价主体[2]。三类评价工具均有其学习科学依据: 诊断性评价基于概念转变理论的迷思概念识别需求, 为教学干预提供靶向依据[7]; 过程性评价依托社会建构主义理论, 同伴互评中学生的认知加工即可促进概念深化; 反思性评价基于元认知理论, 学习反思日志有助于形成稳固的概念理解[2]。

2.4. 5EX 模型与教学评一体化的融合机制

5EX 模型与教学评一体化之间存在内在互补关系, 其融合可从三个维度实现。第一, 评价嵌入教学环节: 在“启发与问题”环节嵌入概念诊断单开展诊断性评价, 在“探索与证据”环节通过实验探究评价表实施过程性评价, 在“解释与论证”环节通过概念建构图评价建构水平, 在“迁移与交流”环节通过同伴互评量规评价迁移能力, 在“评价与创新”环节通过表现性任务开展终结性评价[2]。相较于 Posner 概

念转变四条件仅提供静态诊断标准, 5EX 模型将评价嵌入教学过程, 使教师能够动态追踪学生在各环节的概念理解变化并据此调整教学策略。第二, 评价促进教学改进: 教师可根据各环节反馈动态调整策略, 不必等到课后才予以反馈[2]。第三, 评价发展核心素养: 多元评价聚焦探究、论证、交流和创新等素养维度[8]。

3. 教学设计

3.1. 学情分析与教学目标

牛顿第二定律在人教版高中物理必修课程中承接力和运动学知识, 是后续学习综合力学问题的基础。学生在学习本节之前已掌握力的合成与分解及运动学基础, 但尚未建立力与运动之间的定量因果联系。研究表明, 高中生关于力与运动关系的迷思概念主要包括三类: 一是将“力”与“速度”直接关联; 二是认为恒力作用下物体将加速至某一“终速度”后匀速; 三是混淆“质量”与“力”的概念[1]。基于 5EX 模型与核心素养培养要求, 本设计确立以下目标: 1) 物理观念: 理解牛顿第二定律内容及 $F=ma$ 的物理意义; 2) 科学思维: 能运用控制变量法设计实验, 绘制 $a-F$ 和 $a-1/m$ 图像并发现定量规律; 3) 科学探究: 能以小组为单位完成实验探究并规范记录数据; 4) 科学态度与责任: 形成严谨求实的科学态度, 感受定律在生活中的广泛应用。

3.2. 各环节教学设计

3.2.1. 启发与问题(Engage)

本环节旨在创设有效的认知冲突情境, 使学生的迷思概念从隐性状态显性化, 为后续概念转变奠定心理基础。教师依次呈现三个递进情境: 情境 A——在光滑水平面上, 分别用 10 N、20 N、30 N 的水平力推动同一辆小车, 要求学生预测小车运动情况; 情境 B——用相同 20 N 的力分别推动 1 kg 和 2 kg 的小车, 预测两车运动差异; 情境 C——一辆空载货车(质量约 2000 kg)和一辆满载重型卡车(质量约 8000 kg)在相同牵引力(均为 5000 N)作用下从静止起步, 预测哪辆车先达到相同速度。

上述设计体现了 POE 策略“预测”环节的核心功能[5]。学生预测后教师播放实验演示视频, 结果与多数学生直觉判断形成鲜明对比——情境 A 中小车持续加速而非匀速运动, 情境 C 中空载货车加速明显快于满载卡车。这种“预测-观察”的不一致性满足了概念转变的第一条件[1]。在此基础上, 学生完成“力与运动概念诊断单”(见表 1), 教师据此分类统计迷思概念, 为后续教学活动设计提供学情依据[7]。

诊断单采用二级分类法: 第一级判定概念类型(“力——速度关联型”“力——速度正比型”“质量——力混淆型”“亚里士多德直觉型”四类), 第二级评定转变准备度(“完全认同迷思概念”“存在犹豫”“倾向科学解释”三档)。教师据此进行异质分组——将不同迷思概念类型且转变准备度各异的学生组合至同一探究小组, 使组内认知差异能够激发充分的讨论与质疑。异质分组策略的理论依据在于, 概念转变不仅需要个体认知冲突, 也需要通过社会性互动获得多种认知视角的碰撞[2]。

【实施要点与教师引导策略】

本环节成功的关键在于认知冲突的有效激发。教师呈现情境后, 应要求每位学生先独立记录预测及理由, 再在小组内交流, 使迷思概念在表达中外显化。若部分学生试图用“摩擦力未被完全消除”等理由合理化错误预测, 教师不宜直接驳斥, 而应将质疑转为探究问题: “摩擦力确实存在, 但它足以解释我们观察到的持续加速吗? 让我们用实验来回答。”以此将抵触情绪转化为探究动力。诊断单的统计应在课前完成, 以便分组方案及时到位。

Table 1. Concept diagnostic scale of force and motion**表 1.** 力与运动概念诊断单(节选)

题目	内容	迷思概念类型
第 1 题	一个物体在光滑水平面上受到 10 N 的恒力作用, 其运动状态将如何变化?	力——速度关联
第 2 题	若将上述恒力增大为 20 N, 物体的速度会如何变化?	力——速度正比
第 3 题	一辆空载小货车和一辆满载重型卡车在相同牵引力作用下从静止起步, 哪辆车能更快达到相同速度? 为什么?	质量——力混淆
第 4 题(开放题)	请解释: 为什么踢出去的足球最终会停下来?	亚里士多德直觉

3.2.2. 探索与证据(Explore)

本环节为教学设计的核心, 学生通过控制变量实验定量探究加速度与力、质量的关系。教师首先引导学生围绕三个核心问题展开讨论: 如何保持质量不变改变合力? 如何保持合力不变改变质量? 如何准确测量加速度? 在条件允许时, 选用气垫导轨配合光电门和位移传感器以减小摩擦力影响; 若实验条件有限, 可采用小车——打点计时器装置或利用 PhET 等虚拟实验平台作为替代方案, 同样能够实现数据采集与规律探究的教学目标。实验分两组并行: 实验一保持质量不变, 改变砝码质量以改变拉力, 每组采集五组以上数据; 实验二保持拉力不变, 增减配重改变质量, 同样采集五组以上数据, 以减小实验误差。需要指出的是, 不同实验手段的数据精度存在差异: 气垫导轨方案精度较高, 打点计时器方案因摩擦力未能完全消除会产生系统误差, 虚拟实验平台生成的是仿真数据而非实证数据。因此, 在“解释与论证”环节汇总数据时应按实验手段分组呈现, 并在图像分析中引导学生讨论数据差异的来源, 使学生认识到实验条件对结论可靠性的影响。

【实施要点与教师引导策略】

教师应在实验前进行关键操作演示(如气垫导轨调平、光电门对位、打点计时器纸带处理等), 并明确各组分工。器材配置可根据学校条件灵活选择: 气垫导轨方案精度最高; 小车——打点计时器方案可通过垫高轨道补偿摩擦力; 手动测距计时方案精度较低但探究逻辑不变; PhET 虚拟仿真方案适合器材匮乏的学校。教师应告知学生所采用方案的局限, 并引导在解释环节讨论误差来源。数据采集底线为每组各采集 5 组以上数据; 若时间不足, 可安排相邻小组分别承担实验一和实验二, 然后共享数据。

在实验探究过程中, 教师使用“实验探究评价表”(见表 2)进行嵌入式过程性评价[8]。评价维度分为“变量控制的正确性”“操作行为的规范性”“数据记录的完整性”和“小组协作的积极性”四方面, 设定“优秀”“合格”“需改进”三级标准, 既为教师提供系统的观察记录工具, 也使评价标准对学生透明化, 有助于学生明确学习目标并自主调节探究行为。教师以观察为主, 在学生遇到实际困难时适度给予方法引导, 典型问题留待后续讨论环节共同分析。

3.2.3. 解释与论证(Explain)

各小组汇报后, 教师汇总全班数据, 引导学生共同绘制 $a-F$ 图像和 $a-1/m$ 图像。学生通过图像分析发现两条定量规律: 质量一定时加速度与合力成正比, 合力一定时加速度与质量成反比。在此基础上, 教师引导学生用数学语言表达规律, 认识到可将两条规律合并为 $a \propto F/m$, 即 $F \propto ma$ 。讨论比例系数 k 后, 当取国际单位制时 $k=1$, 自然得出 $F=ma$ 。

该过程体现了 POE 策略“解释”环节的核心功能: 学生基于实验证据在旧迷思概念和新科学概念间建立逻辑联系[5], 满足了概念转变的“可理解性”和“合理性”条件。在论证层面, 教师引导学生按 CER

(Claim-Evidence-Reasoning)框架组织汇报：先陈述结论(Claim)，再呈现图像和数据等证据(Evidence)，最后运用牛顿第二定律解释证据与结论之间的因果联系(Reasoning)。为评价概念建构深度，教师要求学生完成“概念建构图”——以牛顿第二定律为中心节点，画出力、质量、加速度的逻辑关系并标注前提条件。评分标准(见表3)涵盖“核心概念准确性”“逻辑关系完整性”“条件标注规范性”和“实例关联丰富度”四维度，采用4分制。该任务既是形成性评价工具，也是认知工具——绘制过程中学生对概念关系进行梳理和反思，有助于概念网络化表征和长期保持[7]。

Table 2. Experimental inquiry evaluation rubric
表 2. 实验探究评价量规

评价维度	优秀(3分)	合格(2分)	需改进(1分)
变量控制的正确性	能独立正确运用控制变量法，准确识别和控制无关变量	在教师提示下完成控制变量操作，偶有疏漏但能自行纠正	控制变量操作存在明显错误，需反复指导
操作行为的规范性	器材操作规范熟练，数据读取准确，注重安全	操作基本规范，个别环节需同伴或教师提示	操作不够规范，数据记录有缺失
数据记录的完整性	表格设计合理，数据齐全且标注清晰	数据记录基本完整，格式或标注有待优化	数据记录不完整，缺乏组织性
小组协作的积极性	主动参与讨论，有效分工协作，乐于分享倾听	能参与小组活动，主动性和交流深度有待提升	参与度较低，较少主动交流

【实施要点与教师引导策略】

本环节的最大挑战在于应对学生实验数据与理论预期不符的情形。当小组数据点明显偏离趋势线时，教师可按梯度引导：第一梯度(识别异常)——请该组展示数据采集细节，自查操作失误；第二梯度(归因分析)——引导全班讨论“哪些因素可能导致数据偏高或偏低？”，将误差分析变为教学资源；第三梯度(理论校准)——引导学生反思“图像是否过原点？不过原点意味着什么？”若全班数据普遍存在系统偏差，教师可示范误差修正方法，或引导学生从“有摩擦的近似”过渡到“理想光滑条件下的规律”，使学生理解物理定律是在理想化模型下建立的。

Table 3. Concept map scoring rubric
表 3. 概念建构图评分量规

评分维度	评分标准	分值
核心概念的准确性	牛顿第二定律表达式正确，力、质量、加速度定义与单位准确	1分
逻辑关系的完整性	正确标注力与加速度的正比关系、质量与加速度的反比关系	1分
条件标注的规范性	标注“质量一定时 $a \propto F$ ”和“合力一定时 $a \propto 1/m$ ”等前提条件	1分
实例关联的丰富度	至少联系两个实际应用实例，正确标注其与核心概念的关系	1分

3.2.4. 迁移与交流(Extend)

“迁移与交流”是5EX模型区别于5E模型的关键创新。传统教学中知识迁移往往被压缩为课末少量练习，学生缺乏系统交流。5EX模型将其确立为独立环节，一方面为学生提供制度化空间将新概念应用于多种情境，满足概念转变“有效性”条件；另一方面通过同伴互评使学生在社会性互动中深化概念

理解[2]。

教师设计三个层次递进的应用任务。分层依据为情境复杂度：从单一维度情境逐步过渡到多维度综合情境。单一情境应用——运用 $F=ma$ 分析电梯超重与失重：向上加速时 $N=m(g+a)>mg$ （超重），向下加速时 $N=m(g-a)<mg$ （失重）。跨情境综合应用——推导汽车制动距离公式 $x=v_0^2/(2a)$ ，理解制动距离与初速度平方成正比及其交通安全意义。开放性创新任务——校园力学安全分析：学生自主选择校园内一处安全隐患场景(如楼梯坡度、雨后走廊摩擦系数、弯道限速等)，运用牛顿第二定律进行分析，撰写包含物理模型图、受力分析图、定量计算和改进建议的安全评估报告。

各小组完成应用任务后制作展示材料向全班汇报，其他小组使用“同伴互评表”(见表 4)从五个维度量化评价。同伴互评基于社会建构主义理论：评价者调取自身物理知识进行判断可促进概念深化，被评价者通过反馈获得新认知视角[2]。互评后各小组根据反馈修订完善，教师抽查点评以保证有效性。

【实施要点与教师引导策略】

分层任务中，“单一情境应用”由全体学生课堂独立完成后同桌互评；“跨情境综合应用”以小组为单位课堂完成并进行组间互评；“开放性创新任务”作为课后拓展项目。对于基础薄弱的学生，可提供半结构化脚手架(如给出受力分析图框架)；对于学有余力的学生，鼓励其引入多力综合分析和定量优化。同伴互评前，教师需提供 1~2 个示例，训练学生依据量规给出具体、建设性的评价，以提升互评信度。

Table 4. Peer assessment rubric
表 4. 同伴互评量规

评价维度	评分标准	评分	评价者备注
物理模型的合理性	能建立简化物理模型，合理忽略次要因素	1~3 分	
受力分析的完整性	受力分析图正确完整，合力方向与加速度方向一致	1~3 分	
公式运用的规范性	正确运用 $F=ma$ 及相关公式，步骤清晰，单位正确	1~3 分	
表达逻辑的清晰度	推导条理清晰，结论表述准确	1~3 分	
创新性贡献	提出超出基本要求的新见解或改进建议	1~3 分	

3.2.5. 评价与创新(Evaluate)

“评价与创新”环节是 5EX 模型的显著特征，区别于 5E 模型将 Evaluate 作为贯穿性评价活动，5EX 将其作为独立环节置于流程末端，同时保留评价嵌入其他各环节的设计。该环节承担两项功能：一是终结性评价，检验概念转变的实际效果；二是创新性任务，将评价目标拓展到创新思维和社会责任意识的培养[4]。

终结性评价采用“牛顿第二定律概念理解测试卷”，涵盖概念辨析、公式运用、实验数据分析和综合应用，与课前诊断对比可量化反映概念转变幅度。创新性任务要求以小组为单位完成“校园力学安全调查项目”最终报告，整合调查数据、力学分析和改进建议。创新思维评价维度(见表 5)涵盖“问题原创性”“分析深度”“建议可行性”和“跨领域思维”四方面，旨在引导学生将物理思维运用于真实社会问题分析[4]。

此外，学生撰写“学习反思日志”，系统回顾“我原本认为……”“实验让我发现……”“我现在理解为……”“我还有哪些困惑”四个核心问题，实质上是在训练元认知监控能力，使其不仅“知道”正确概念，更“知道”自己如何从迷思概念转变为科学概念[7]。教师据此给予个性化反馈，形成教学评一体化循环的闭环，教学流程总览见表 6。

Table 5. Innovative task evaluation rubric
表 5. 创新性任务评价量规

评价维度	评分标准	分值
问题的原创性	能发现他人未关注的力学安全隐患，或提出新颖分析视角	1~3 分
分析的深度	不仅正确运用牛顿第二定律，还能综合多个概念进行多角度分析	1~3 分
建议的可行性	改进建议具有可操作性，能给出具体数值依据和方案	1~3 分
跨领域思维的体现	能将物理分析与工程、安全等领域知识结合	1~3 分

Table 6. Overview of 5EX teaching process
表 6. 基于教学评一体化的牛顿第二定律 5EX 教学流程总览

环节	教学活动	学生活动	评价任务与工具
启发与问题	创设 POE 认知冲突情境，播放实验视频	预测运动状态，完成概念诊断单	诊断性评价 (概念诊断单，表 1)
探索与证据	引导设计控制变量实验方案	分组实验，采集数据，填写记录单	过程性评价 (实验探究量规，表 2)
解释与论证	组织数据汇总与图像分析讨论	绘制图像，归纳规律，完成概念建构图	形成性评价 (概念建构图量规，表 3)
迁移与交流	设计分层迁移任务，组织展示互评	完成应用任务，制作展示材料，互评	过程性评价 (同伴互评量规，表 4)
评价与创新	组织后测，布置创新性调查项目	完成测试卷，撰写调查报告与反思日志	终结性评价 (测试卷 + 创新量规，表 5 + 反思日志)

3.3. 实施细节与差异化调整策略

本设计以“标准条件”(班级规模 40~50 人，配备气垫导轨或小车 - 打点计时器系统，1 课时)为基准方案。依据人教版教师教学用书建议，本节内容 1 课时完成，五环节时间分配可结合学生学情灵活调控，但应优先保障“启发与问题”“探索与证据”“解释与论证”三个核心环节的充分展开。班级组织采用 4~5 人异质分组，组内设操作员、记录员、汇报员等角色并定期轮换。

器材配置可根据学校条件灵活选择：气垫导轨 + 光电门方案精度最高；小车 + 打点计时器方案可通过垫高轨道补偿摩擦力；手动测距计时方案精度较低但探究逻辑不变；PhET 虚拟仿真方案适合器材匮乏的学校，不同方案下的核心探究逻辑保持一致。对于大班额(超过 50 人)，可采用“组内合作 + 组间共享”模式，各组分别完成不同变量的实验后全班汇总数据；若课时紧张，可将“迁移与交流”中的开放性任务和“评价与创新”中的反思日志布置为课后作业，但不应取消“迁移与交流”环节，因其对概念转变的有效性验证具有不可替代的功能。对基础薄弱班级，可提供半结构化实验操作指南；对学有余力的学生，可增加实验自主设计成分和更复杂的多物体系统分析任务。

4. 讨论

4.1. 5EX 模型在促进概念转变中的功能分析

从概念转变视角审视，5EX 模型的五个环节在牛顿第二定律教学中发挥了递进的认知功能，共同构成了概念转变的完整路径。“启发与问题”通过 POE 策略的“预测 - 观察”机制使学生产生对迷思概念

的不满。然而仅有认知冲突并不足以确保转变——若后续探究无法建立对新概念的理解,冲突可能被以“忽略”或“特殊化”的方式消解[1]。因此“探索与证据”和“解释与论证”的关键功能在于,通过亲手采集数据和数学建模使学生理解新概念的经验基础与逻辑结构,满足“可理解性”和“合理性”条件。上述由认知冲突到经验验证再到逻辑建模的递进过程,在5E模型中同样具备基本框架。5EX模型的独特增量贡献主要体现在两个方面。其一,独立的“迁移与交流”环节将知识迁移从5E模型中课末附加的练习活动提升为制度化教学环节,嵌入同伴互评机制——学生在评价他人任务时需调取自身概念知识进行判断并给出理由,这一认知加工过程使评价者自身概念也得到深化,其促进概念转变的功能是5E模型的Elaborate环节所不具备的[2]。其二,“评价与创新”环节在5E模型的终结性评价基础上引入创新维度,通过创新性任务评价量规和反思日志将评价目标拓展到创新思维和社会责任意识的培养。其中反思日志引导学生将“我知道什么”与“我是如何知道的”进行整合,从元认知层面促进概念的长期保持和稳定迁移[7],这是5E模型将评价作为贯穿性活动但未专门设置独立反思环节的架构所无法系统性实现的。

4.2. 模型实施中的潜在风险与应对策略

尽管5EX模型具有较强的理论优势,但其课堂实施仍面临若干潜在风险,需要教师具备相应的应变能力与预案设计。

1) 认知冲突激发与数据偏差的风险。若部分学生因迷思概念顽固而回避认知冲突,教师可追加追问将问题锚定于学生的直接经验,并在后续环节安排其亲自操作实验[1]。若实验数据过于离散,教师应课前预做实验以掌握器材的典型误差范围,巡视中及时纠正操作偏差;在全班汇总时先呈现“理想数据组”与“偏差数据组”的对比,将误差分析转化为教学资源,引导学生理解物理定律是在理想化模型下建立的[7]。

2) 时间管理与评价质量的风险。5EX模型五环节完整实施对时间要求较高,教师应明确各环节的“硬终止点”,并准备备用方案,如超时时可缩减数据采集组数但保留图像绘制的完整性。此外,同伴互评的质量取决于学生对量规的理解程度,教师需在首次互评前提供示范样例并引导全班逐条讨论,以统一评分标准并提升互评信度[8]。

3) 评价量规过度细化导致教学僵化的风险。本设计在各环节嵌入了多项评价量规,虽提升了评价的规范性,但亦可能诱使教师将注意力从“理解学生思维”转向“逐项打分”。应对策略:教师应明确量规的“诊断性定位”而非“控制性工具”,以质性观察为主、量规打分为辅,鼓励学生提出量规之外的新思路。

4.3. 设计特点与后续研究方向

本设计的主要特点在于:第一,将概念转变理论系统融入5EX模型各环节,揭示了“认知冲突-实证体验-逻辑建模-多情境验证-元认知反思”的递进式认知路径;第二,各类评价工具的设计均以学习科学原理为依据,形成了评价与教学之间的深层逻辑关联,而非“环节+评价工具”的简单拼接;第三,强化了“迁移与交流”和“评价与创新”两个5EX模型特有环节的设计深度,前者通过分层迁移任务与同伴互评突出了知识迁移的社交性,后者通过创新性任务与反思日志突出了评价的多元性与反思性。第四,在教学设计中系统嵌入了实施细节与现实考量,针对大班额、资源有限、课时不足等不同条件提出了变通方案,增强了设计的可推广性;第五,对模型的潜在风险进行了批判性审视,提出了可操作的应急预案。

本设计存在一定的适用边界:情境创设和迁移任务需根据具体学情灵活调整,评价量规的信效度尚需经教学实践检验。后续研究可从以下方面深化:其一,采用准实验设计,以“力与运动概念诊断单”为

前测和后测工具, 量化评估教学效果; 其二, 探索如何在教学实施前对学生进行系统的互评方法培训, 以提升互评的可靠性; 其三, 检验创新性任务评价量规(见表 5)在实际应用中的信度和效度; 其四, 探索该设计在不同层次学校和不同学情条件下的适用性与调整策略。其五, 开展多轮行动研究, 收集教师在实施该模型过程中的实践性知识和应变策略, 进一步丰富 5EX 模型的实践内涵。

5. 结论

本文基于 5EX 教学模型与教学评一体化理念, 以牛顿第二定律为教学载体, 构建了系统的教学设计框架。本文的核心贡献在于: 第一, 从概念转变理论视角阐明了 5EX 模型各环节的功能定位, 揭示了“认知冲突 - 实证体验 - 逻辑建模 - 多情境验证 - 元认知反思”的递进式认知路径, 为 5EX 模型在物理规律课教学中的应用提供了理论解释; 第二, 从学习科学角度阐释了各类评价工具的理论依据, 为教学评一体化在 5EX 各环节中的嵌入提供了逻辑支撑; 第三, 通过实施要点、器材替代方案 and 不同条件下的变通建议, 回应了理论模型向课堂实践转化中的现实困境; 第四, 通过对认知冲突失效、数据偏差、时间失控、互评失准等潜在风险的批判性分析, 揭示了模型的适用边界与局限。

本设计的基本思路可为动量定理、动能定理、法拉第电磁感应定律等高中物理核心规律课的教学设计提供参考。需要指出的是, 不同规律课的迷思概念类型和实验条件存在差异, 具体应用时需结合学情对情境创设和评价工具进行适应性调整。未来研究可从以下方向深入: 一是开展准实验设计的教学效果研究; 二是开发与 5EX 各环节配套的标准化评价工具体系; 三是探索信息技术支持下的教学评一体化实施路径; 四是积累不同学校生态条件下模型变式应用的案例库, 形成更具情境敏感性的实施指南。

参考文献

- [1] Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W. and Gertzog, W.A. (1982) Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education*, **66**, 211-227. <https://doi.org/10.1002/sce.3730660207>
- [2] 梁振圣, 符程. 核心素养下的“教·学·评”一体化教学设计[J]. 中学物理教学参考, 2021(32): 16-18.
- [3] Bybee, R.W., Taylor, J.A., Gardner, A., et al. (2006) The BSCS 5E Instructional Model: Origins and Effectiveness. BSCS.
- [4] 颜国英, 闫立雯, 陈海深. 中学物理学习活动 5EX 模型的构建与案例研究[J]. 物理教师, 2024, 45(5): 23-27.
- [5] 侯新杰, 赵鑫媛, 陈留定. 基于 POEDA 教学策略的物理概念转变教学模式构建及应用——以“牛顿第三定律”教学设计为例[J]. 中学物理, 2025, 43(7): 2-5.
- [6] 廖伯琴. 《普通高中物理课程标准日常修订版(2017 年版 2025 年修订)》解读[J]. 基础教育课程, 2025(12): 16-19.
- [7] Duit, R. and Treagust, D.F. (2003) Conceptual Change: A Powerful Framework for Improving Science Teaching and Learning. *International Journal of Science Education*, **25**, 671-688. <https://doi.org/10.1080/09500690305016>
- [8] 宋晓丹, 张勇. 指向高中物理核心素养的学习评价量规设计——以“摩擦力”教学为例[J]. 广西物理, 2022, 43(2): 118-120.