

基于学习进阶理论的高中物理实验教学

——以“探究加速度与物体受力、物体质量的关系”为例

范文睿, 黄国锋*

赤峰学院物理与智能制造工程学院, 内蒙古 赤峰

收稿日期: 2025年9月5日; 录用日期: 2025年10月4日; 发布日期: 2025年10月13日

摘要

学习进阶理论日益成为教育研究的重要领域, 能帮助教师发现学生进阶路径, 帮助学生实现知识与素养的提升与进阶。而物理是一个以实验为基础的自然科学课程, 实验既是帮助建立学生对物理学习兴趣的重要方法, 又是物理学习的必要方法与手段。所以将学习进阶理论与物理实验教学结合, 能更好地帮助学生实现知识的掌握与素养的提升。本文对以“探究加速度与物体受力、物体质量的关系”实验为例进行设计, 在设计过程中结合北京师范大学郭玉英教授及其团队开发的科学教学设计模型, 希望能通过该过程展现出学习进阶理论与物理实验教学结合的重要价值。并通过该设计过程为其他想要将学习进阶理论与物理实验教学结合的教师提供一份参考。

关键词

学习进阶理论, 物理实验教学, 教学设计, 科学探究

Experimental Teaching of High School Physics Based on Advanced Learning Theory

—Taking “Exploring the Relationship between Acceleration, Object Force, and Object Mass” as an Example

Wenrui Fan, Guofeng Huang*

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

Received: September 5, 2025; accepted: October 4, 2025; published: October 13, 2025

Abstract

Learning progression theory has increasingly emerged as a critical domain in educational research, enabling teachers to identify students' developmental pathways and empowering students to

*通讯作者。

advance both their knowledge and competencies. Physics, as a natural science grounded in experimental practices, relies on experiments not only as a vital method to foster students' interest in physics but also as an indispensable approach to conceptual understanding and skill development. Integrating learning progression theory with physics experiment instruction can thus enhance students' mastery of knowledge and cultivation of scientific literacy. This study designs an instructional framework centered on the experiment "Exploring the Relationship between Acceleration, Object Force, and Object Mass", incorporating the scientific instructional design model developed by Professor Guo Yuying and her team at Beijing Normal University. Through this design, the study aims to demonstrate the significant value of merging learning progression theory with physics experiment pedagogy. Furthermore, the proposed framework seeks to provide a reference for educators interested in bridging learning progression theory with experiment-based physics teaching, offering actionable insights for optimizing instructional practices in science education.

Keywords

Learning Progression Theory, Physical Experiment Teaching, Instructional Design, Scientific Inquiry

Copyright © 2025 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

随着《普通高中物理课程标准(2017 年版 2020 年修订)》(以下简称“课程标准”)的颁布,物理教育对学生的素养与能力的形成越来越关注。而实验教学作为物理教育的核心,不仅是物理学的基础,也是学生在学习物理的过程中的必不可少的方法与手段。想要真正实现学生素养与能力的形成,必然要了解学生在实验学习的过程中在知识、思维与能力等方面在教学过程中所发生的变化。学习进阶理论通过揭示学生在一段时间跨度内所发生的变化,在此过程中不断发展与进阶,最终达到终点发展水平[1]。所以依据学习进阶理论进行教学设计必然能够深刻地掌握学生在学习过程中所发生的发展与变化。

学习进阶理论自 2007 年由美国国家研究理事会(NRC)系统提出成为科学教育研究热点。该理论聚焦学生核心概念理解随时间的连贯、递进式发展,为物理课程设计、教学与评价提供了新视角。而后由 Alonzo & Gotwals 明确从迷思概念到科学概念的关键“台阶”,为设计力、能量等核心概念的进阶路径提供框架[2]。随着理论传入我国,刘恩山、郭玉英等团队结合我国物理课程标准,探索了如“能量”、“运动与相互作用”等主题的进阶框架,为教材编写和教学设计提供了实证依据[3]。之后由罗莹、邢红军等学者通过具体案例(如电磁学),验证了基于学习进阶理论的教学设计能有效促进深层理解,提升问题解决能力,为学习进阶理论与教学实践结合提供指导[4]。

人教版普通高中教科书《物理必修第一册》第 4 章第 2 节“探究加速度与力、质量的关系”,是高中物理实验教学的重点与难点,本实验是学生进入高中阶段后所接触的综合性实验,该实验将所学习的力与运动的知识相结合,既是对于“打点计时器的使用”、“探究小车速度随时间变化的规律”、“研究自由落体运动的规律”及“力的合成与分解”等实验的知识与原理进一步理解应用,也是后续“牛顿第二定律”的学习以及“验证机械能守恒”实验的基础,在高中物理教学中有着重要的地位[5]。

2. 问题提出

课程标准指出,物理学科核心素养是科学育人价值的集中体现,是学生通过学科学习逐步形成的正

确价值观、必备品格和关键能力[6]。物理是以实验为基础的自然学科，物理实验教学对于培养学生核心素养具有重要作用[7]。物理实验教学最主要的目的在于促进学生科学探究的发展，科学探究本质上是一种在发现问题，设计方案，最终解决问题的过程中的能力。“探究加速度与力、质量的关系”实验涉及到多个物理量的关系，需要学生从控制变量的角度进行思考，并且如果学生在实验的过程中不懂得实验流程的意义，实验教学的目的就难以达成，就易出现“为了操作而操作”的问题。所以在实验中如何保证学生的参与，如何促进学生科学探究能力的提升，也就成为了需要关注的问题。本文尝试通过学习进阶理论进行教学设计以保证学生参与，并促进学生科学探究能力的提升。

3. 理论介绍

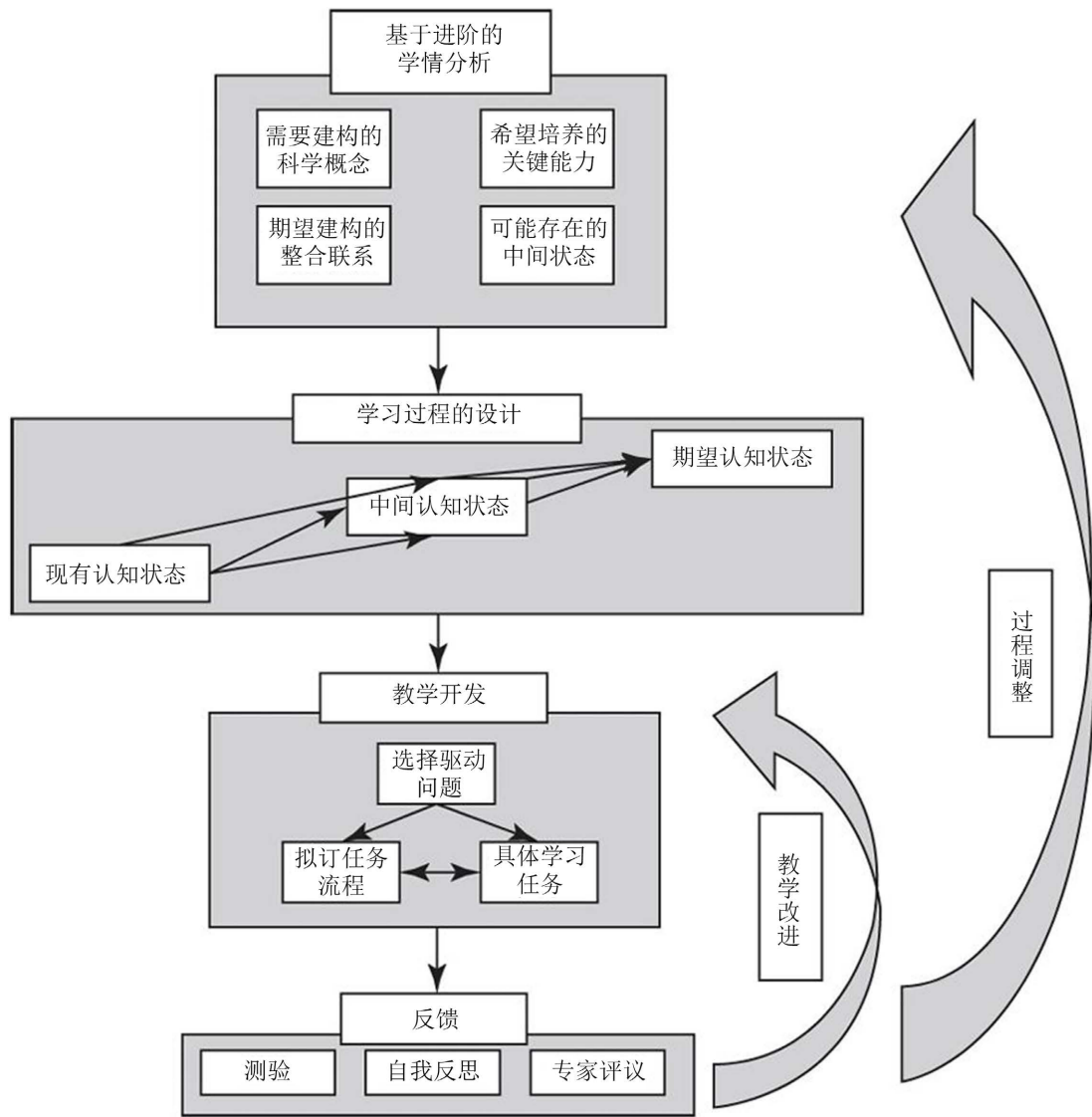


Figure 1. A science teaching design model based on learning progressions

图 1. 基于学习进阶的科学教学设计模型

我国北京师范大学郭玉英教师及其团队依据学习进阶理论，对于“能量”“机械运动与力”等核心概念和“科学解释”“科学论证”等关键能力的学习进阶，并提出基于学习进阶的科学教学设计模型，如

图 1 所示[8]。并在该模型下提出在教学设计中应当关注的四方面问题：(1) 希望促进哪个或哪些科学观念的构建？(2) 希望培养的关键能力是什么？(3) 希望帮助学生建构哪些联系？(4) 确定学生在学习过程中可能存在哪些中间认知状态和关键进阶节点？[8]

而以上的问题具体到“探究加速度与力、质量的关系”的实验教学设计中，需要考虑如下问题：(1) 如何促进学生运动与力观念的建构；(2) 如何促进学生的科学探究能力切实提升；(3) 如何帮助学生建构运动与力知识理解的相互联系，及思维能力与探究能力的整合；(4) 如何通过多样化评价方式，确定学生现有能力水平与期望水平，及中间的可能水平。

4. 实验设计

本节实验内容作为高中阶段第一个综合性且较为复杂的实验，预计分为两个课时，一节进行实验设计，另一节进行实验操作与数据分析。

4.1. 基于进阶的学情分析

Table 1. The current cognitive state and expected cognitive state of students

表 1. 学生的现有认知状态与期望认知状态

	现有认知状态	期望认知状态
提出科学问题	能依据现实情境提出较为合理的问题，如在“探究两个互成角度的力的合成规律”实验中能够依据实际情境中的例子，提出合力与分力关系的问题。	在教师的教学引入后，能提出合理的问题：本实验探究的是加速度与力、质量的关系。
进行猜想假设	在真实情境中，能面对自己提出的问题提出一定的假设，但是提出的假设有时会偏离实际。	能依据引入与生活经验提出，需要通过控制变量法进行研究，并提出当质量一定时，加速度与受力可能成正比，当受力一定时，加速度可能与物体质量成反比的假设。
制定计划 设计实验	能够掌握控制变量的方法对于三个及以上变量的关系进行分析，设计实验。如初中阶段研究声音的音调、响度。	能在教师不进行帮助的情况下，通过“控制变量法”探究加速度、力、物体质量三个物理量的关系。
观察与实验 获取事实与证据	1、掌握测量质量大小的多种方法，如天平、电子秤。 2、掌握测量力大小的方法，如弹簧测力计，并了解使用传感器对力的大小进行测量的方法。 3、掌握测量加速度大小的多种方法。熟悉测量瞬时速度的装置。	能在多种测量质量、力的大小加速度大小的方式中选择合适方式。 能在“控制变量法”指导下进行两组实验操作，并利用表格进行数据记录，以便进行后续处理。
检验与评价分析 处理实验结果	1、实验处理，能依据实验得到的数据在指导下进行绘图，分析。 2、能对于实验的误差来源进行简单分析，如在“探究两个互成角度的力的合成规律”实验时能够分析出实验中描绘在纸面上的合力与分力不完全符合平行四边形法则的原因有多个。	1、能通过实验数据按照假设进行 $a-F$ 、 $a-m$ 的关系图，并能因为 $a-m$ 图所示无法确定加速度与质量的关系，而进一步依据假设进行 $a-1/m$ 图的绘制。 2、能对于实验的误差分析按照一定规律分析(如按照系统误差、偶然误差、操作误差)，进而完善实验过程，设想改进实验，验证假设。
表达与交流	能通过对实验数据的分析，对自身的假设进行合理验证，但需要在教师的帮助下才能通过语言表达实验结论。	能通过对实验数据的分析证明自己的假设，并做出合理的解释。 能用合理且流畅的语言表达实验的过程与结论。

探究性实验其过程一般具有六个要素：(1) 提出科学问题，在实际的情境中能够发现问题，并提出通

过探究可解决的问题; (2) 进行猜想假设, 能针对自己所提出的问题依据已有科学知识、经验, 通过思考做出猜想与假设; (3) 制定计划, 设计实验, 能针对自己做出的猜想与假设, 选择合适的仪器与方法, 制定相应的计划; (4) 观察与实验, 获取事实与证据, 使用计划中的仪器与方法进行实验与调查, 记录实验结果; (5) 检验与评价分析、处理实验结果, 与猜想和假设进行比较, 做出合理的解释, 必要时提出改进措施; (6) 表达与交流, 以合适的方式表达自己的结论[9]。所以在“探究加速度与力、质量的关系”实验中, 可以将以上的六个环节作为进阶维度, 分析学生的现有认知状态与期望的认知状态。本实验教学学生的现有认知状态与期望认知状态如表 1 所示。

4.2. 基于进阶的学习过程分析

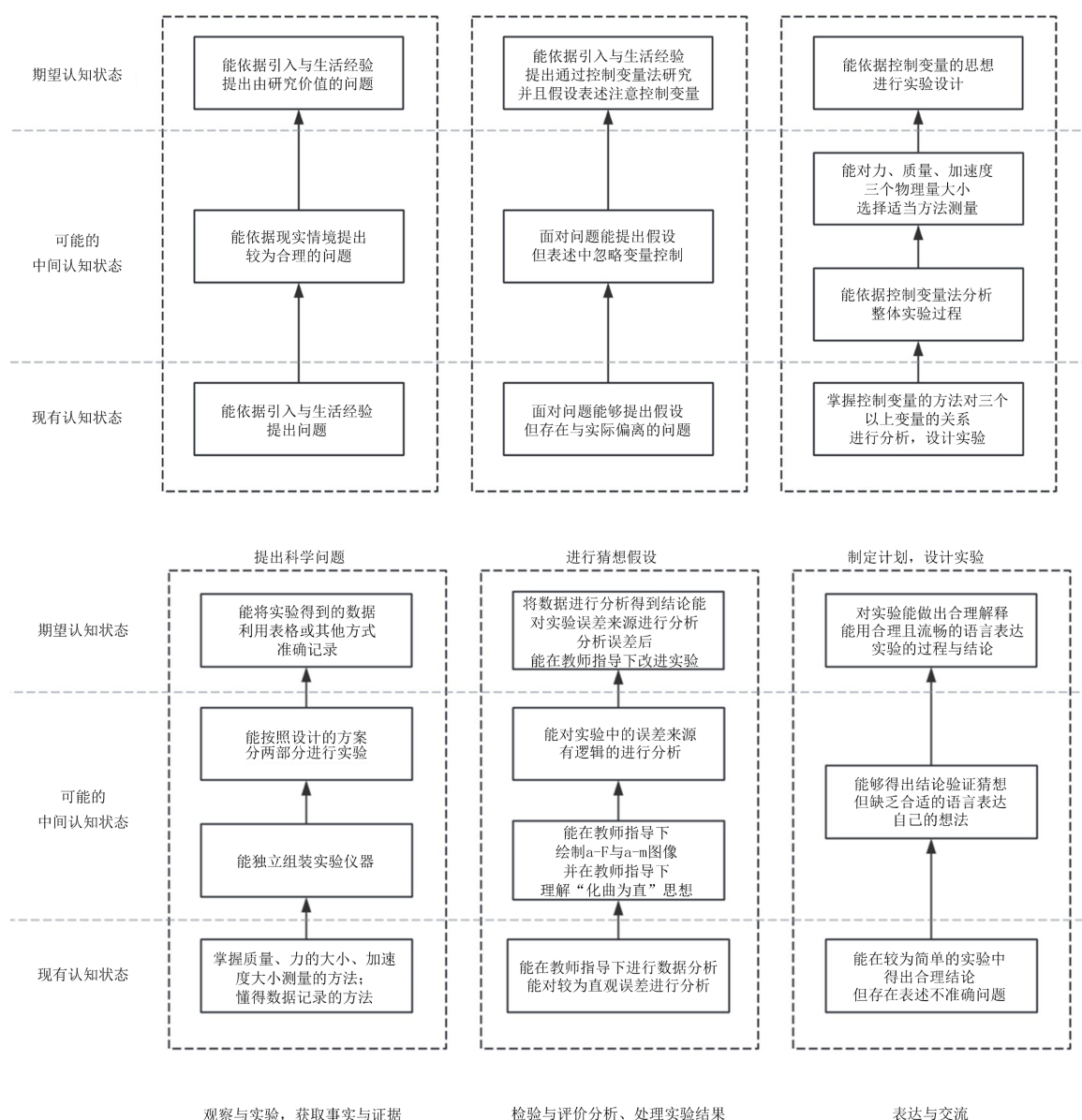


Figure 2. The learning process of the experiment “Exploring the relationship between acceleration, force and mass” based on learning progression

图 2. 基于学习进阶的“探究加速度与力、质量关系”实验学习过程

依据郭玉英教授及其团队提出的基于学习进阶的科学教学设计模型, 已经将学生现有的认知状态与期望的认知状态进行分析, 但却对于学生的中间认知状态不甚清楚, 所以需要结合教学确定学生的中间认知状态, 并且中间认知状态的确定过程并不是一蹴而就的, 需要经过不断的反思调整, 逐步的使得中间认知状态与学生实际贴合, 基于学习进阶的“探究加速度与力、质量关系”实验学习过程如图 2 所示。

4.3. 基于进阶的教学设计

教学开发阶段强调驱动问题的选择, 任务流程的拟定及具体学习任务的确立, 在模型中强调教学开发过程中的三步, 不是单一线性流程, 而是以设计驱动问题和锚基任务为起点一方面激发学生的兴趣与好奇心, 另一方面顺畅的引出能力发展的具体任务情境[8]。在驱动问题确定后在进行具体学习任务与任务流程的拟定, 并且这两部分在设计中也是相互影响, 相互作用的[10]。具体到本实验的研究设计中通过让学生来多次使用相同与不同的力推质量不同小车, 让学生直观的观察三个物理量之间的相互关系, 构建一个情境, 既是为了引发学生的兴趣也是为了引出具体的任务情境, 并在该情景下完成本实验。

4.3.1. 新课引入

引入的环节主要目的在于构建情境, 既能引发学生兴趣又能引出任务情境, 在本实验中通过让学生推动小车, 观察小车速度的变化, 但是可能肉眼观察小车的速度变化不明显, 此时就可以通过数字化手段像是光电门, 加速度传感器等手段, 将不明显的速度变化转化为直观的数字大小, 同样这样的教学也能够对于学生的数字素养有所促进。本实验的引入环节预计分为三个部分。

环节一: 一个学生分别用不同大小的力, 推动同质量的小车, 观察小车的速度变化。

环节二: 一个学生用相同大小的力, 推动小车, 但此时将其中的一个小车质量变大, 观察小车的速度变化。

环节三: 一个学生用不同大小的力, 推动同质量的小车, 观察速度的变化。

问题 1、同学们回顾牛顿第一定律, 它是如何表述的?

问题 2、牛顿第一定律说明了“力”与“质量”具有什么特性?

问题 3、结合演示实验的观察, 力与加速度和质量是否存在某种关系?

设计意图: 问题 1 与问题 2 的意图在于对牛顿第一定律的回顾, 引导学生回忆, 力是改变“物体运动变化”的原因, 质量是维持“物体运动变化”的原因, 通过第三个问题同样也是本实验的驱动问题, 引导出加速度是“物体运动变化”快慢的属性, 这三者都是描述“物体运动变化”的物理量, 所以三者可能有某种联系, 通过课前的演示性实验让学生亲身参与, 感受这三个物理量具有某种关系, 从理论和实践的两个角度帮助学生认识到三者的关系, 引出本实验的任务。此时学生就认知状态而言处于最基本的认知状态, 并在该步骤希望实现“提出问题”要素的进阶。

4.3.2. 实验思路

通过小车情境, 即作为教学的引入, 也作为解决问题任务, 通过教学引入的分析已经明确要研究的在于力、加速度、质量三者的关系, 所以实验思路分析的阶段主要目的在于引导学生采用控制变量法来进行实验设计。

问题 4、研究力、加速度、物体质量这样多变量间的关系应当采用什么方式进行呢?

学生回答: 研究多个变量关系需要采用控制变量的方式进行, 当研究力与加速度关系时, 需要控制物体质量不变; 当研究物体质量与加速度关系时, 需要控制力不变。

设计意图: 控制变量法进行研究对于学生不存在认知负荷过大的问题, 因为在初中阶段学生研究声音的特性时已经接触过这种思想, 所以本问题的主要目的在于强化学生在面对多变量问题时的意识。

问题 5: 请根据生活中的经验分析力、加速度、物体质量这三者间存在什么关系呢?

学生回答: 当所受的力一定时, 加速度的大小与物体质量成反比; 当物体质量一定时, 加速度的大小与力的大小成反比。

设计意图: 该实验作为探究性实验, 按照实验的要求先进行假设, 而后设计实验方案验证假设, 所以明确实验的主要思路在于控制变量后, 需要引导学生在控制变量的思想下提出实验的假设, 这同样也有利于学生逻辑思维的养成。希望能够通过实验思路设计引导学生认知状态向可能的中间认知状态转变, 并在该步骤力图实现“进行猜想与假设”要素的进阶。

4.3.3. 物理量测量

问题 6: 本实验需要测量的物理量都有哪些, 它们都应该采用什么方式测量呢?

学生回答: 需要对力的大小、物体质量大小及加速度的大小进行测量, 力的大小可以采用钩码的重力代替, 物体质量的大小可以采用天平测量, 加速度的大小可以采用打点计时器测量。

设计意图: 实验思路完成后需要明确实验中要测量的物理量及其测量方式, 本实验中涉及到三个物理量的测量, 并在之前的学习中学习过对于这三个物理量的测量有多种方式, 如力的大小测量学生可能会回答使用弹簧测力计, 此时需要教师引导, 引导学生人手拉弹簧测力计虽然能明确力的大小, 但是却不能保证测量数值的稳定, 这样无法满足控制变量思想。通过教师的引导学生最终对物理量选择了合适的方式进行测量。面对学生提出的其他正确的测量方式也要予以鼓励, 并在后面的实验改进环节中进行分析。此阶段的主要目的在于促进学生“制定计划, 设计实验”要素的进阶, 实验设计必然围绕实验目的进行, 而本实验的目的具体而言就是对于力的大小、物体质量大小及加速度的大小进行测量, 这三个物理量的测量学生已掌握多种方式, 面对多种方式如何选择与本实验目的最匹配的方式是该步骤的难点, 学生一旦领悟面对不同的问题要具体分析选择何种方式测量物理量, 那么就在该要素上实现了跨越。

4.3.4. 试验方案设计

问题 7: 在进行该实验的过程中, 将小车导轨如课前演示那样水平放置是否可以? (可在此阶段搭建支架, 通过与学生对小车进行受力分析进一步提出问题, 受到的摩擦力是否需要平衡?)

教师需要为学生演示平衡摩擦力的步骤与详细过程。

学生回答: 导轨不能水平放置, 需要将导轨进行倾斜以平衡摩擦力对小车加速度的影响。

设计意图: 该套实验仪器学生在测量瞬时速度的实验中已有所触, 所以不存在明显认知困难, 但该实验需要考虑摩擦力的影响, 所以需要教师引导学生在轨道水平时, 对小车进行受力分析, 得出结论水平轨道条件下钩码的重力与小车所受的合外力不一致, 由此通过营造认知冲突, 帮助学生明白“平衡摩擦力”的重要性。该步骤本质而言仍属于“制定计划, 设计实验”要素下, 其主要目的仍然在于通过实验设计帮助学生实现进阶, 使学生明白同样的仪器在面对不同实验目的情况下, 实验设计要灵活变通。

4.3.5. 小组合作实验

在学生进行小组合作实验前, 教师需要进行实验的步骤演示与总结, 教师的实验步骤来源于学生的实验设计, 但要高于学生的实验设计, 需将学生的步骤进行综合性概括总结, 得到实验步骤。学生设计的实验步骤也可以作为评价中的一个部分, 以实现全程评价与多方面评价。教师的实验演示环节在数据处理过程中教师只处理较少数据, 使学生明白处理数据的方法即可。

在学生进行小组实验过程中, 教师要深入小组对于小组实验的过程进行监控, 当学生操作出现问题时帮助改正, 在改正过程中教师既要让学生明确自己操作到哪一步, 也要使学生明白这一步骤在实验过程中的作用, 不能使学生成为操作的“奴隶”。在该阶段学生已观察过教师进行实验操作, 对实验已

有一定印象,所以要在该阶段实现学生在“观察与实验,获取事实与证据”要素上的进阶,让学生能将过往经验整合,从而实现独立组装仪器与按照实验步骤进行实验。

4.3.6. 成果展示

以小组为单位展示数据处理的 $a-m$ 与 $a-F$ 图像。

问题 8: 从 $a-F$ 图像中我们得出结论,验证了我们的假设,那么在 $a-m$ 图像中我们能够验证我们的假设呢? 学生回答: 不能证。

问题 9: 如果不能验证我们要怎么证明我们的结论呢? 学生回答: 可以看 $a-m^2$ 或者 $a-1/m$ 的图像。

设计意图: 加速度与力关系的图像证明了结论,这一点对于学生不存在认知上的难度,但是在加速度与质量的关系上却存在明显的难度,因为学生的假设是“当质量一定时,加速度与质量成反比”情况下会将 $a-m$ 图像视为双曲线的一支,但是实际上它是否是双曲线的一支是有待验证的。学生在初中阶段学习中接触过“化曲为直”的思想,但是该处在实际教学中对于学生存在较大困难,所以面对学生该处的问题,可以在 $a-m$ 图像中多多描绘出几支曲线,让学生猜测哪一个是双曲线中的一只,引发学生的认知冲突,进而让学生理解为什么要看 $a-m^2$ 或者 $a-1/m$ 的关系,这样才能让学生懂得为何要“化曲为直”,最终实现探究能力的进阶。在该阶段的主要目的在于促进学生在“检验与评价分析、处理实验结果”要素上的进阶。

4.3.7. 误差分析

问题 10: 探究小车加速度与力、质量关系的实验已经完成,在该实验中哪里存在误差呢?

问题 11: 这些误差会如何影响实验的结果呢? 有没有更好的改进方式?

设计意图: 学生在实验操作中在教师的指导下必然已对实验的误差因素有所了解,但是学生在此阶段对误差的描述处于“看到什么说什么”的阶段,所以在该阶段教师因应帮助学生建立逻辑意识,不论是从力方面的误差、质量方面的误差、加速度方面的误差还是从系统误差,操作误差的角度,总要按照一定的逻辑结构顺序帮助学生总结误差,这样逐步培养学生的探究能力。该阶段的主要目的在于促进学生在“检验与评价分析、处理实验结果”与“表达与交流”要素上的进阶。在该阶段既是教师指导下学生对实验误差的准确分析,同样需要学生能够用流畅科学的预言表达出自己的想法,虽然学生可能不一定能够自己完善的独立表达,但是此时可以教师帮助学生进行,在之后的教学中逐渐撤销掉教师的帮助,最终实现学生在这两个要素上进阶。

4.3.8. 实验改进

在物理量测量阶段学生可能会提出多种测量方法,并且在实验过程中学生可能会随操作而产生新奇的想法,所以此阶段,教师要结合以上的两点,帮助学生改进实验设计,如学生可能提出采用传感器对小车加速度大小进行测量;可能提出对于导轨进行修改以无需平衡摩擦力,此时教师需要及时的对学生提出的改进进行甄别与帮助,帮助学生更好改进实验设计。在此过程同样也是引导学生对于实验的再思考,进一步加强探究能力的养成[5]。在该阶段的目的是实现科学探究能力的综合进阶,因为在该阶段不仅涉及到评估与反思,同样涉及到对实验的再设计,所以该步骤既是教学的重点,也是实现学生能力进阶的抓手[11]。

5. 小结

学习进阶理论逐渐成为教育领域研究的重要课题,基于学习进阶进行教学设计也可能在未来成为趋势,本文参考了学习进阶理论与北京师范大学郭玉英教授及其团队开发设计的模型,开发了“探究加速度与力、质量的关系”的教学设计。但同时需要重点强调学习进阶并非一蹴而就的,学习进阶是在较长

时间内所发生的持续的变化, 所以仅通过本节实验教学是必然不能实现学生科学探究能力的进阶, 只有依照模型进行设计, 并持之以恒地实施才能真正实现学生科学探究能力的进阶[12]。

在本实验的教学设计中注重于学生科学探究能力的提升, 在教学阶段设计了实验的改进部分, 该部分不仅能够帮助学生领会实验内容, 同样也为学生科学探究能力的提升提供有效指引。

基金项目

本文为内蒙古自治区赤峰市赤峰学院校级项目《基于学习进阶理论的初中物理科学探究素养的模型研究》(项目编号: Cfxyyjskycx2025041)的阶段性研究成果。

参考文献

- [1] 皇甫倩, 常珊珊, 王后雄. 美国学习进阶的研究进展及启示[J]. 外国中小学教育, 2015(8): 53-59+52.
- [2] Alonzo, A.C. and Gotwals, A.W. (2012) Learning Progressions in Science: Current Challenges and Future Directions. Sense Publishers.
- [3] 刘恩山, 郭玉英. 学习进阶: 关注学生认知发展和生活经验[J]. 课程·教材·教法, 2010, 30(2): 15-19.
- [4] 罗莹, 邢红军. 基于学习进阶的中学物理概念教学研究[J]. 物理教师, 2015, 36(6): 1-4.
- [5] 戴耀东. 基于学习进阶的高中物理实验教学设计——以“探究加速度与力、质量的关系”为例[J]. 物理教师, 2023, 44(9): 13-16.
- [6] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准[M]. 北京: 人民教育出版社, 2017.
- [7] 秦娜娜. 基于学生核心素养培养的初中物理实验教学——以“声音的产生与传播”教学设计为例[J]. 中国教育技术装备, 2024(17): 152-154+158.
- [8] 郭玉英, 姚建欣. 基于核心素养学习进阶的科学教学设计[J]. 课程·教材·教法, 2016, 36(11): 64-70.
- [9] 弭乐. 物理教育视域下整合式进阶教学研究[J]. 物理教学, 2021, 43(2): 12-19.
- [10] 付桐. 中学物理探究性实验的教学设计及实践研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 东北师范大学, 2005.
- [11] 邹杰. 中学物理探究式教学方法研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 东北师范大学, 2007.
- [12] 郝琦蕾, 万雅馨, 杨小微. 国内外科学素养研究的进展与反思[J]. 中国教育科学(中英文), 2023, 6(6): 122-137.