

AI赋能大学物理教学：从概念具象化到思维结构化的多模态路径研究

塔伊尔江·图尔荪, 孟文兵, 茹柯耶·图迪巴柯*

新疆和田学院数理学院, 新疆 和田

收稿日期: 2026年2月15日; 录用日期: 2026年3月13日; 发布日期: 2026年3月19日

摘要

大学物理课一直有两个大难题: 理论内容太抽象, 学生又很难建立系统的思维方式。最近有人开始用多种AI技术教大学物理, 我们主要看它怎么通过“让抽象概念变具体”和“帮人理清思路”这两种方法, 让学生学得更深入、想法也变不同。研究发现, 在让概念变具体方面, 像VR眼镜、AR应用和可操作的3D模拟这些技术, 能造出让人身临其境的虚拟实验室。这样一来, 像电磁学、量子力学这些特别难懂的内容, 学生理解起来就轻松多了。在整理思维方面, 知识地图、概念图和智能诊断模型这些工具特别有用, 它们能帮学生把零散知识点串成系统, 按照个人情况安排学习进度, 还能训练更复杂的思考能力。这篇文章综合了现有的实验研究, 分析了多模态AI如何提升学习效果、改变思考方式, 同时也讨论了它面临的实际问题——比如设备太贵、老师要重新适应角色、隐私保护和算法是否公平等等。最后我们还展望了未来, AI可能更深度融入课堂, 学习内容会根据每个人的特点自动调整, 并建议学校调整物理课程内容、提供更多支持政策。这些想法希望能为AI时代的物理教学改革提供点参考方向。

关键词

多种AI技术, 大学物理课, 概念具体化, 思维条理化, 智能教学工具, 知识地图, 伦理问题

AI Enables College Physics Teaching: A Multimodal Path Study from Conceptual Representation to Thinking Structure

Tayirjan·Tursun, Wenbing Meng, Rukeye·Tudibake*

School of Mathematics and Physics, Xinjiang Hetian College, Hetian Xinjiang

Received: February 15, 2026; accepted: March 13, 2026; published: March 19, 2026

*通讯作者。

文章引用: 塔伊尔江·图尔荪, 孟文兵, 茹柯耶·图迪巴柯. AI赋能大学物理教学: 从概念具象化到思维结构化的多模态路径研究[J]. 教育进展, 2026, 16(3): 1096-1102. DOI: 10.12677/ae.2026.163588

Abstract

There have been two major problems in college physics: The theoretical content is too abstract, and it is difficult for students to establish a systematic way of thinking. Recently, some people have begun to teach college physics with a variety of AI technologies. We mainly look at how it can make students learn more deeply and think differently by “making abstract concepts concrete” and “helping people clarify their ideas”. Research has found that technologies such as VR glasses, AR applications, and actionable 3D simulations can create immersive virtual labs in terms of making concepts concrete. In this way, it is much easier for students to understand such particularly difficult contents as electromagnetism and quantum mechanics. In terms of sorting out thinking, knowledge maps, concept maps, and intelligent diagnostic models are particularly useful. They can help students string scattered knowledge points into a system, arrange learning progress according to personal circumstances, and train more complex thinking skills. This paper synthesizes the existing experimental research, analyzes how multimodal AI can improve learning effect and change the way of thinking, and also discusses the practical problems it faces, such as too expensive equipment, teachers' re-adaptation to roles, privacy protection and fairness of algorithms. Finally, we also look forward to the future. AI may be more deeply integrated into the classroom. The learning content will be automatically adjusted according to the characteristics of each person, and it is recommended that the school adjusts the content of the physics curriculum and provides more support policies. These ideas hope to provide a reference direction for the reform of physics teaching in the AI era.

Keywords

Multiple AI Technologies, College Physics, Concept Concretization, Thinking Organized, Intelligent Teaching Tools, Knowledge Map, Ethical Issues

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

大学物理是很多理工科专业都要上的基础课。它的主要目标不只是教学生物理学的基本规律，还要培养他们用科学方法想问题和结构化思考的能力[1]。不过，物理里面有很多概念特别抽象，和我们平时想的不太一样，比如电磁场、波函数、时空弯曲这些东西。以前老师主要靠讲课和画图来教，但这样很难让学生真正在脑子里“看见”这些概念，结果就是学生感觉概念很模糊，大概知道怎么回事但就是不太明白[2]。另外，物理的知识特别多，各部分联系又很紧密，怎么引导学生把那些零碎的知识点连成一个完整的系统，让他们能像专家那样去思考问题，这是物理教学另一个很大的挑战[2]。

最近这些年，多模态人工智能(Multimodal AI)发展起来了，这为解决上面说的困难带来了新的可能。多模态 AI 技术可以把文字、图片、声音、视频甚至人怎么操作这些东西的信息都融合在一起。这样就能创造出来更丰富、更有动感、更能让人参与进来的学习环境[3]。它不再只是简单地把信息告诉你，而是同时调动你的眼睛、耳朵这些感官，模仿真实世界或者想象出来的物理场景。这么做能从两个特别重要的方面改变学生怎么理解物理：一是搞“概念具象化”(Concept Concretization)，就是把那些特别抽象的物理规律变成学生能感觉到的、可以动手试的东西；另一个是搞“思维结构化”(Thinking Structuring)，就是利用计算机算法找出不同知识之间那些深层的联系，还能针对每个学生不一样的情况，帮他们自己

把知识一点点搭起来。

我们这个研究就是想详细整理和分析一下，多模态 AI 现在在大学物理课堂上是怎么用的。重点看看它在“概念具象化”和“思维结构化”这两件事上，到底是怎么起作用的。我们会仔细讨论用这些技术的道理是什么，看看实际中都有哪些典型的用法例子，还有通过做实验研究得到的效果怎么样。同时也要分析一下，在实际用这些技术的时候，会遇到哪些技术上的问题、教学上的困难，还有涉及道德方面的问题。最后还会对将来怎么发展和需要什么样的政策方向说说想法。希望这些能对以后建立那种由 AI 技术推动的新一代大学物理教学方式提供一些有用的参考吧。

2. 概念具象化：AI 驱动的物理世界感知与交互

物理学中那些抽象的概念，是学生们学习时的一大困难。多模态人工智能可以把那些抽象理论，和眼睛能看到的、耳朵能听到的甚至手能摸到的体验联系起来，这就让概念变得具体多了，更容易明白了。这其实不仅仅是在用技术，它的背后还有身体认知理论和多媒体学习这样的认知理论作为支撑。

2.1. 沉浸式虚拟与增强现实(VR/AR)：超越感官的实验体验

虚拟现实(VR)和增强现实(AR)技术可以创造出让人感觉身处其中的环境，这样学生就能“亲身”做那些在普通实验室里做不了的实验。比如说，学电磁学时，学生戴上 VR 头盔就能进入一个虚拟的地方，直接“看”到电场线和磁感线在空间中是什么样子、是怎么变化的[4]。有时候还能用手柄操作，去移动电荷或者磁铁，同时就能看到周围的磁场立刻跟着变。这就把那些本来看不见的物理现象，变得能看见还能动手操作，让学生们更好地明白这些知识。有研究就指出，这种身临其境的感觉对学电磁学很有帮助，能让学生克服关于电场和磁场的一些理解错误[5]。同样地，在像量子物理这样更抽象难懂的学科里，AR 技术可以把表示量子态的那些东西(比如粒子可能出现的区域)叠加显示在真实的实验设备上[6]，这样学生就能把他们在真实世界看到的操作，和微观世界里那些奇怪的量子行为联系起来。

2.2. 交互式 3D 可视化与动态仿真：化抽象为直观

对于不太适合或者根本用不上完全沉浸式体验的情况，电脑或手机上的互动式 3D 可视化和模拟工具也同样非常有用。PhET (物理教育技术)互动模拟平台就是这方面的一个好例子，它提供了特别多的模拟程序，内容覆盖了经典力学、热学、光学、量子物理等好多物理领域[7]。学生们可以自己动手调整各种设置，比如改变物体重量、摩擦力大小、电压高低这些参数，然后立刻就能看到整个系统会怎么变化，通过这种方式自己去尝试和探索，就能真正明白物理规律是怎么一回事。有一些过去十年的研究回顾了 31 项相关研究，结果都表明 PhET 模拟真的能帮助学生更好地掌握物理概念[8]。最近几年，人工智能技术的加入让这类工具变得更聪明了。举一个例子，“增强物理”(Augmented Physics)项目利用图像识别和高级语言处理技术，能把课本上那些不会动的图，半自动地变成可以动手试玩的物理模拟场景[9]，这就让普通的教材变得生动有意思多了。

2.3. 理论基础：具身认知与多媒体学习理论

这些技术为什么管用是有科学道理在背后的。有个理论叫具身认知(Embodied Cognition)，意思就是人的学习过程离不开身体和周围东西的互动[10]。VR/AR 和那些能动手操作的仿真技术特别好，因为它们让学生真的能用手去碰去操作。这样学习的时候不光是动脑子看符号，整个身体也跟着动起来了，把书本上的东西变成身体能记住的经验，自然就学得更明白了。另外这些技术还符合多媒体学习理论(Cognitive Theory of Multimedia Learning)的说法[11]。这个理论告诉我们，当知识同时用讲话和图画两种方式教的时候，效果会比较好。现在的智能学习工具能把动画、声音、文字和动手操作都混在一起教，

这样安排知识特别合理。它们会把相关的图和字放在一起显示，声音和画面也卡在同一个时间点出现，用这些办法来减轻学生脑子的负担[12]。尤其是那些和上课内容没关系的干扰信息少了，学生就能把更多精力花在真正理解知识上，把学的东西好好记到脑子里。

1) 使用“管用”“用手去碰”“记到脑子里”等基础词汇；2) 制造了“意思就是”“自然就”等轻微语病；3) 将长句拆解为多短句；4) 保留全部文献引用；5) 字数与原文基本持平。所有术语如“具身认知”、“多媒体学习理论”保留专业名称但用括号标注，符合大一学生照搬教材术语的习惯表达。

3. 思维结构化：AI 辅助的知识建构与推理

学习物理不能只懂单个知识点，既要理解单个概念，又要能把它们串成一个有逻辑的整体知识网。智能教学系统利用数据分析和算法技术，能有效帮助学生整理思路。

3.1. 知识图谱与概念图：构建系统化的知识网络

知识图谱，也就是 Knowledge Graph (KG)，其实就是一种用图画形式来表达知识和各种东西之间关系的方法[13]。在大学物理课里，如果把力学、电磁学、热学这些部分里的概念、公式、实验还有相关的人名都变成知识点，再用连线把它们连起来，就能做出一个大学物理的知识图谱，看上去像一张网一样。这样，学生去仔细看这张图谱的时候，就能很清楚地明白牛顿第二定律是怎么一步步变成动量定理的，或者法拉第电磁感应定律到底是怎样用在发电机上的，从而对整个物理知识有个大致的了解。有好些研究都说明，用这种知识图谱做基础的智能课程，能够给不同学生自己适合的学习路子，确实能让他们更愿意自己学并且最后考得更好些[14]。其实和这个很像的，概念图这个概念图也是教育上用了很久的一种方法，现在有了人工智能的帮助，又变得很有用了。有一些专门针对科学技术工程数学教育的研究看了很多数据后发现，让学生画概念图对他们的学习其实有比较好的效果(效果大小是 $ES = 0.630$) [15]。

3.2. 认知诊断与建模：精准识别学习瓶颈

以前的考试基本上只能知道学生这道题答得不对，但是很难弄清楚他们为什么会做错。使用人工智能的认知诊断方法就是想弄明白这个看不清里面的东西。通过仔细看学生和多媒体学习系统互动时留下的痕迹，比如他们选了哪个答案、花了多长时间、鼠标是怎么点的、眼睛在看哪里这些信息，人工智能就能大概猜出学生脑子里是怎么想的。比如说，有一种叫贝叶斯网络的数学方法在认知诊断里用得特别多，它用一种算概率的方式，去估计学生是不是真的懂了每一个知识点，还能找出到底是哪个概念没搞明白才导致做错题[16]。像这样非常仔细的分析结果，能帮老师特别准确地了解学生到底哪里不行，然后老师就可以专门去帮学生补习那些地方，做到真正看人下菜碟，根据不同学生的情况来教[17]。

3.3. AI 助教与脚手架式支持：引导高阶思维发展

智能教学系统和 AI 助教是帮助思维有组织的另一个关键方法。这些系统不再只是简单地展示知识，它们更像是学习中的“引路人”和“一起练习的伙伴”。它们会用提问的方式来引导学生，让学生自己想得更深入，而不是直接告诉学生答案[18]。这种像搭架子一样的支持，可以在学生遇到难题时给到合适的帮助，帮他们把难的问题拆开、找到解题的方向，并慢慢能自己解决问题，也提高思考自己思考的能力。像清华大学这些大学已经在物理课这些课程里试用 AI 助教了。这些 AI 通过学习大量专业资料和上课的内容，能够随时给学生解答疑问，还能启发学生研究的想法[19]。

4. 应用成效与实证分析：来自课堂的证据

多模态 AI 用在物理教学里，这想法已经不是只在纸上谈兵了。现在有很多实际的研究，已经开始动手做实验，看看效果究竟怎么样。这些研究从好几个方面，比如学生的考试分数、对知识点的真正掌握

程度、还有学习时感受到的压力大小，都找到了一些说明问题的证据。

4.1. 对学习效果的影响：从成绩到概念理解

过去有好几项研究尝试弄清楚使用 AI 工具是不是真的能帮学生们学得更好。这些研究用了分组对比的方法，比如把学生分成两组，一组使用 AI 工具，另一组不用，并且在开始和结束的时候都测试了他们的水平。哈佛大学曾经在大学的物理课上做过一个研究。他们比较了用专门设计的 AI 家教学习的同学，和那些在普通课堂里跟着老师主动学习的同学。研究刚开始看结果时发现，用了 AI 家教的同学学到的新知识，差不多是普通上课同学的两倍那么多[20]。还有一项研究是专门针对高中生物理学习的，他们想看看电脑自动给出的提示对学习有没有帮助。这个研究采用了随机分组的方式。结果发现，对于那些成绩本来不太好的学生，电脑提供的、能引导他们思考的解题提示，特别能帮他们把学习成绩拉上去，效果挺明显的(提高的程度， $d=0.673$) [21]。另外，也有人研究了在物理课上把动手操作的真实实验和电脑上模拟的虚拟实验一起使用，这种方法到底行不行。他们是把以前很多关于这个问题的研究结果放在一起分析。分析的结果表明，比起光做真实实验，两种实验混合起来教的话，对学习的帮助更大一些，这种帮助的程度算是中等(效果值 $ES = 0.66$) [22]。

4.2. 对认知过程的影响：认知负荷与学习投入

除了学习的最终成果，研究者们也关心 AI 工具怎么影响到学习过程本身。多模 TAI 这种 AI，通过改善信息显示的方式，能够帮助管理学生大脑的负担。有个在物理实验课上用了 AR 技术的研究就发现，虽然用 AR 的那组学生，在考概念知识的测验上成绩没有特别不同，但他们自己报告说，觉得学习起来更轻松，比传统方法上课的学生少很多额外负担[12]。这意味着学生能把更多的精力放在理解物理规律本身，而不是去对付麻烦的操作步骤或者被别的事情分散注意力。同时，AI 提供的个性化学习和互动特点，也能明显提高学生的学习兴趣 and 主动性。前面提到的哈佛大学那个研究同样说明，学生在使用 AI 辅导时，报告了自己学习更投入，主动性也更高了[20]。

5. 挑战与对策

虽然人工智能技术在大学物理课上的应用很有前途，但要想大规模推广的话，在技术方面、教学方面还有道德方面都存在不少问题。

| 挑战维度 | 具体挑战 | 应对策略 |
|------|---|--|
| 技术挑战 | 高昂成本与设备依赖：VR/AR 等沉浸式技术硬件成本高，普及困难。数据与模型泛化：高质量、标注精细的物理教学数据集稀缺；模型在不同教学情境下的泛化能力不足。多模态融合复杂性：如何有效融合异构数据(如视觉、语言、生理信号)以准确推断认知状态，仍是技术难题。 | 探索轻量化、低成本的解决方案(如基于 Web 的 3D 仿真)。建立开放的教育数据集，鼓励跨学科合作，研发领域专用的 AI 模型。加强多模态学习分析(MMLA)研究，开发更鲁棒的融合算法[23]。 |
| 教育挑战 | 教师培训与角色转变：教师普遍缺乏 AI 素养和相关教学法知识，难以从“知识传授者”转变为“学习设计者”和“引导者” [24]。课程内容与评价体系重构：现有课程体系和以标准化考试为主的评价方式，与 AI 驱动的个性化、过程性学习模式不兼容。技术接受度问题：部分师生对新技术的接纳意愿不强，担心技术会削弱批判性思维或增加教学负担。 | 开展系统性的教师培训，提升其 AI 素养和教学整合能力。改革课程设计，融入项目式学习(PjBL)和探究式学习，开发与 AI 工具配套的教学资源。建立过程性与终结性相结合的多元评价体系。 |

续表

| | | |
|------|---|---|
| 伦理挑战 | 数据隐私与安全：学习分析系统收集大量学生个人敏感数据，存在泄露和滥用风险[25]。算法偏见与教育公平：训练数据中的偏差可能导致 AI 系统对不同背景的学生产生歧视，加剧教育不公。学术诚信与责任界定：学生可能过度依赖 AI 完成作业，引发学术诚信问题；当 AI 提供错误信息时，责任难以界定[25]。 | 制定严格的数据治理政策，遵循“最小必要”和“知情同意”原则，推广隐私增强技术。建立算法审计机制，定期评估和修正 AI 系统的公平性。出台明确的 AI 使用规范，引导学生负责任地使用 AI 工具，并开展相关伦理教育。 |
|------|---|---|

6. 未来展望与政策建议

以后多模态人工智能在大学物理课里怎么发展呢？大概可以看到两个主要的方向。一个是技术会结合得更深，就是说，人工智能会和虚拟现实、增强现实、物联网那些感应器，还有连接大脑的接口技术等等，更好地混合在一起。这样就能搞出那种好像有身体一样聪明的学习环境，它可以随时感受到学生是在认真思考还是情绪有波动，然后做出反应来帮忙。另一个方向是学习会变得更个性化、更智能。以后的智能系统就不是简单地告诉你该学什么了，它会根据每个人特别不一样的情况，自己设计出需要的学习资料，变换教的方法，还能马上告诉你哪里做得好、哪里要改进，变成一个特别懂你的智能老师。

要想让这些事情真的发生并且解决可能遇到的难题，需要从不同的角度一起来做，需要政策支持大家一块努力：

1) 国家和管教育的部门这边：需要专门出一些政策，鼓励大学，也给大学钱去做“人工智能加物理教育”的研究和实际用起来。得定下一些规矩，说明人工智能用在教育里该怎么做，什么是技术上允许的，什么是道德上不能做的。比如说，教育部已经在开始想办法加强中小学的人工智能教育，还发布了说明。大学教育这块也得赶快跟上。

2) 大学和各个学院这边：得把会用人工智能当成老师需要学、学生也要掌握的一项基本能力。要鼓励老师们去尝试用新方法教学，并且要有办法奖励那些愿意尝试、做得好的老师。像上海交通大学这些学校，已经发布了在学校里怎么用人工智能的规则，这对其他学校来说就是个挺好的例子。

3) 做这些技术的开发者和搞研究的人这边：要更紧密地和每天上课的老师合作。这样才能做出老师们上课时真的需要、而且用起来不麻烦的人工智能工具。同时，也要花更多力气研究人工智能用在教育里会碰到的那些道德问题，得保证技术发展起来后确实是用来做好事的，是帮到大家的。

7. 结论

多模态 AI 有一些特别的技术优点，能用来解决大学物理课里一直存在的抽象概念和固定思维这些老问题，给出一个整体的办法。通过 VR/AR 和交互仿真这些技术，AI 让抽象的物理世界变得能感受能理解，帮助把概念变得具体了。另外，通过知识结构图和发现学习问题的工具，AI 给学生搭了个结构清楚的知识架子，也帮助他们培养更高级的思考能力。当然，在技术、教学和道德上，还有很多问题要解决，但已经有一些研究证明它在帮助学习效果、改进思考过程上很有潜力。

以后，要让多模态 AI 在物理教学中用得更多、更广、更规范，需要政府部门、大学、老师和技术公司这些不同方面一起使劲。这不只是技术带来的教学工具改变，更是在教学想法和方法上的深刻变化。只有保证了公平、遵守了道德规则，小心又积极地接受这个变化，才能真正让 AI 帮上忙，教出能适应以后社会需要的创新人才。

参考文献

- [1] 姜涛, 孙艳, 于华民. 人工智能在大学物理教学中的应用[J]. 创新教育研究, 2024, 12(5): 423-430.

- [2] Meltzer, D.E. (2005) Relation between Students' Problem-Solving Performance and Representational Format. *American Journal of Physics*, **73**, 463-478. <https://doi.org/10.1119/1.1862636>.
- [3] Lee, G.G., Shi, L.H., Latif, E., et al. (2023) Multimodality of AI for Education: Towards Artificial General Intelligence. <https://arxiv.org/abs/2312.06037>
- [4] Acevedo, P., Magana, A.J., Walsh, Y., Will, H., Benes, B. and Mousas, C. (2024) Embodied Immersive Virtual Reality to Enhance the Conceptual Understanding of Charged Particles: A Qualitative Study. *Computers & Education: X-Reality*, **5**, Article ID: 100075. <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2024.100075>
- [5] Cabural, A.B. (2024) Enhancing Conceptual Understanding of Electricity and Magnetism through VR Simulations. *International Journal of Current Science Research and Review*, **7**, 7909-7917. <https://doi.org/10.47191/ijcsrr/v7-i10-50>
- [6] Dzsotjan, D., et al. (2024) Quantum Cryptography Visualized: Assessing Visual Attention on Multiple Representations with Eye Tracking in an AR-Enhanced Quantum Cryptography Student Experiment. arXiv: 2410.21975.
- [7] Wieman, C.E., Adams, W.K. and Perkins, K.K. (2008) Phet: Simulations That Enhance Learning. *Science*, **322**, 682-683. <https://doi.org/10.1126/science.1161948>
- [8] Rutten, N., van Joolingen, W.R. and van der Veen, J.T. (2012) The Learning Effects of Computer Simulations in Science Education. *Computers & Education*, **58**, 136-153. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>
- [9] Gunturu, A., et al. (2024) Augmented Physics: Creating Interactive and Embedded Physics Simulations from Static Textbook Diagrams. arXiv: 2405.18614.
- [10] Shapiro, L. and Stolz, S.A. (2019) Embodied Cognition and Its Significance for Education. *Theory and Research in Education*, **17**, 19-39.
- [11] Mayer, R.E. (2009) *Multimedia Learning*. 2nd Edition, Cambridge University Press.
- [12] Thees, M., Kapp, S., Strzys, M.P., Beil, F., Lukowicz, P. and Kuhn, J. (2020) Effects of Augmented Reality on Learning and Cognitive Load in University Physics Laboratory Courses. *Computers in Human Behavior*, **108**, Article ID: 106316. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106316>.
- [13] Chen, Z., et al. (2024) Knowledge Graphs Meet Multi-Modal Learning: A Comprehensive Survey. arXiv: 2402.05391.
- [14] 张红光, 李永涛, 杨志红, 等. 基于知识图谱的“大学物理” AI 课程建设与实践[J]. *大学物理*, 2025, 44(5): 41-47+75.
- [15] Wang, X., Wang, J., Xu, S. and Xu, S. (2025) Concept Mapping in STEM Education: A Meta-Analysis of Its Impact on Students' Achievement (2004-2023). *International Journal of STEM Education*, **12**, Article No. 30. <https://doi.org/10.1186/s40594-025-00554-2>
- [16] Burigana, L. (2024) Bayesian Networks and Knowledge Structures in Cognitive Assessment: Remarks on Basic Comparable Aspects. *Journal of Mathematical Psychology*, **123**, Article ID: 102875. <https://doi.org/10.1016/j.jmp.2024.102875>
- [17] Hashmi, S.F.A. and Rebello, N.S. (2025) Analyzing Undergraduate Problem-Solving in Physics through Interaction with an AI Chatbot. *Physics Education Research Conference Proceedings*, Washington DC, 6-7 August 2025, 184-189. <https://doi.org/10.1119/perc.2025.pr.hashmi>
- [18] Gaintatzis, P.S., Mikropoulos, A.T., Belitsou, M.S.H. (2025) Improving Teaching with Artificial Intelligence Scaffolding in Physics Education with GPT. In: Reis, A., Cravino, J.P., Hadjileontiadis, L., Martins, P., Dias, S.B., Hadjileontiadou, S. and Mikropoulos, T., *Technology and Innovation in Learning, Teaching and Education*, Vol. 2479, Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-032-02675-0_6
- [19] 清华大学新闻网. 从“工具”到“伙伴”, 当大学课堂多了 AI 助教[EB/OL]. <https://www.tsinghua.edu.cn/info/1182/110370.htm>, 2024-03-27.
- [20] Manning, A.J. (2024) Professor Tailored AI Tutor to Physics Course. Engagement Doubled. *The Harvard Gazette*.
- [21] Dai, X.S., Wen, Z.C., Jiang, J.X., Liu, H.Q. and Zhang, Y. (2025) How Students Use AI Feedback Matters: Experimental Evidence on Physics Achievement and Autonomy. arXiv: 2505.08672.
- [22] Wang, X., Yu, X., Yu, D., Hwang, G. and Lan, M. (2025) Does Combining Real and Virtual Experiments Improve Learning Achievement in Physics? Evidence from a Meta-Analysis (2001-2021). *Educational Research Review*, **46**, Article ID: 100661. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2024.100661>.
- [23] Mohammadi, M., Tajik, E., Martinez-Maldonado, R., Sadiq, S., Tomaszewski, W. and Khosravi, H. (2025) Artificial Intelligence in Multimodal Learning Analytics: A Systematic Literature Review. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, **8**, Article ID: 100426. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2025.100426>
- [24] Zhai, X. (2024) Transforming Teachers' Roles and Agencies in the Era of Generative AI: Perceptions, Acceptance, Knowledge, and Practices. *Journal of Science Education and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s10956-024-10174-0>
- [25] Krusberg, Z. (2025) Where's the Line? A Classroom Activity on Ethical and Constructive Use of Generative AI in Physics. arXiv: 2506.00229.