

新一代人工智能背景下大学物理教学改革探讨

卢树华 田 方 尹晓英

(中国人民公安大学信息安全学院, 北京 102600)

摘 要 新一代人工智能(Artificial Intelligence, AI)背景下,大数据、智能涌现等新技术对教育教学产生重大影响。物理学是自然科学的基础,其学科思想和方法对人工智能的起源与发展产生重要推动作用。为更好把握前沿技术发展趋势,紧扣时代发展脉搏,本文以“人工智能+”课程思想为指导,探讨在大学物理教学理念、教学内容及教学模式等方面进行改革尝试;提出转变教学理念、积极拥抱人工智能,通过 AI 辅助教学提升人工智能素养,构建 AI 教学助手与课程知识图谱,体现教学时代性并深化教学内容的内涵与外延等改革创新举措,以期提升新时代大学物理及相关课程教学质量,实现教学相长。

关键词 大学物理;人工智能;教学改革

DOI: 10.27024/j.wlygc.2025.07.16.03

DISCUSSION OF COLLEGE PHYSICS TEACHING REFORM UNDER NEW GENERATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

LU Shuhua TIAN Fang YIN Xiaoying

(People's Public Security University of China, Beijing 102600)

Abstract New technologies including big data and intelligence emergence etc., have a significant impact on education and teaching. Physics, as the foundation of natural science, plays a vital role in promoting the origin and development of artificial intelligence via its discipline ideas and methods. In order to follow the development trends of frontier technology and the pulse of The Times, in this paper, the reform attempts in the teaching concept, teaching content and teaching mode of college physics, have been discussed based on the course idea of “AI+”. And we propose some innovation measures including changing teaching concept to embrace artificial intelligence, using AI assist teaching to improve AI literacy and construct curriculum knowledge maps, and deepening the connotation and extension of teaching content. That is so as to improve the quality of college physics and others teaching in the new era.

Key words artificial intelligence; college physics; teaching reform

随着以 ChatGPT 及 Sora 等为代表的生成式人工智能的迅猛发展,新一代人工智能浪潮席卷全球^[1,2],给人类生产生活带来深刻变革,亦对教育教学领域产生重大影响,推动教育教学生态变

革与重塑^[3-6]。联合国教科文组织(UNESCO)相继发布《教育中的人工智能:可持续发展的挑战和机遇》《教师人工智能能力框架》《学生人工智能能力框架》等报告,提出师生需具备的人工智能素养

收稿日期: 2025-07-16

基金项目: 中国人民公安大学双一流建设项目(2023jxyj57)。

通信作者: 卢树华, lushuhua@ppsuc.edu.cn。

引文格式: 卢树华,田方,尹晓英. 新一代人工智能背景下大学物理教学改革探讨[J]. 物理与工程, 2026, 36(1): 122-128.

Cite this article: LU S H., TIAN F., YIN X Y. Discussion of college physics teaching reform under new generation of artificial intelligence [J]. Physics and Engineering, 2026, 36(1): 122-128. (in Chinese)

要求^[7,8]。近年来,以“双一流”“新工科”等建设为大背景,面向新一轮世界科技革命和产业变革的孕育兴起^[9],我国相继提出《新一代人工智能发展规划》和“一流课程”建设发展规划,面向未来科学技术发展布局“人工智能+”教育教学改革^[10],注重学科交叉融合,培养具备科学素养和人文情怀的多元化、复合型、创新型人才^[11]。

物理学是自然科学的典型代表,是自然科学与工程技术的基础,是培养大学生科学素养与专业基础知识的必修课,在高校人才培养中具有重要作用。物理学在发展过程中派生出诸多分支学科,很多学科亦利用物理学的理论与方法解决其专业领域的相关问题。同理,物理学与人工智能的起源与发展紧密相连,诸多学者借助物理学思想与方法设计早期人工神经网络,优化当前热门的深度神经网络模型,衍生出人工智能新范式。教育界对人工智能与大学物理学教学改革进行了诸多探索,包括课程思政建设^[12]、知识图谱构建^[13-15]等创新,上述文献对利用 AI 优化大学物理教学模式,丰富教学手段奠定了良好的基础。但是,传统上人工智能与物理学知识体系有较大差异,当前的大学物理教学体系与人工智能的快速发展仍不够充分匹配,主要体现在教学理念较为滞后、教学内容衔接度以及教学模式灵活性、时代性不充足等方面,因此探讨“人工智能+”大学物理教学具有重要的参考意义。本文结合大学物理与人工智能教学科研实践,主要提出在教学理念、教学内容及教学模式等方面的改革创新探索举措,提出人工智能辅助教学的启示与展望,以期提升新时代大学物理及其他相关课程教学提供一定借鉴。

1 转变教学理念,积极拥抱人工智能

1.1 物理学与人工智能起源紧密相连

物理学与人工智能的联系可追溯到 20 世纪 80 年代,理论物理学家霍普菲尔德于 1982 年提出的 Hopfield 人工神经网络模型,利用凝聚态物理领域的能量函数为人工神经网络训练与优化收敛性提供了数学解释,为后续新型神经网络设计奠定了理论基础,促进了神经网络的拓展与创新^[16,17]。图灵奖获得者辛顿与合作者提出的 Boltzmann 机,引入随机机制,神经元的兴奋与抑制依概率原

理随机呈现,其训练与优化类似统计力学中的非平衡态过程,体现出统计物理在机器学习中的深刻应用^[18]。2024 年 10 月 8 日,瑞典皇家科学院授予普林斯顿大学理论物理学家约翰·霍普菲尔德(John J. Hopfield)与多伦多大学“AI 教父”杰弗里·辛顿(Geoffrey E. Hinton)诺贝尔物理学奖,表彰其在人工神经网络领域的基础性贡献与发明,可见物理学与人工智能的起源紧密相连^[19]。

1.2 物理科学启发 AI 的新范式方兴未艾

不仅物理学与人工智能的起源紧密相连,物理科学启发 AI(Physics for AI)的新范式方兴未艾,借助于物理学的先验规律,探索和设计新型物理信息神经网络(Physics-informed neural networks),以提高人工智能模型的可解释性与泛化性^[20]。当前,人工智能在计算机视觉、自然语言处理等领域应用广泛,相继提出卷积神经网络、循环神经网络、图神经网络等模型,但是上述模型大多依赖于训练数据的质量和数量,其鲁棒性和泛化性受到限制。为克服上述问题,诸多学者提出物理机器学习及物理神经网络,通过融合物理定律驱动和数据驱动的学习过程,提升人工智能模型的推理能力及泛化能力。其中,Jiao 等^[21]全面总结了经典力学、电磁学、统计物理、量子力学等物理规律与 AI 之间的联系,重点讨论物理学科的机制及其如何启发 AI 深度学习范式,为探索和设计新一代人工智能模型提供了参考。

尽管在传统上,物理学与人工智能不属同一学科领域,根据以上分析,可见物理学与人工智能的起源及发展紧密联系,因此需要转变传统教学理念,把握人工智能发展趋势,主动在大学物理教学过程中与人工智能交叉渗透。该理念既符合新工科建设发展趋势,也会促进传统物理学的创新发展,展现大学物理教学的时代特色,提升教学质量。

2 利用 AI 辅助教学,提升人工智能素养

联合国教科文组织发布的《教师人工智能能力框架》^[7]指出教师如何安全、有效及规范地使用人工智能技术,对新时代高校教师提出了更高的要求。同理,运用人工智能提升大学物理学教学质量,应具备一定的的人工智能核心素养^[22],需付出一定时间和努力通过专题培训及学习获得。尽

管大学教师具备丰富的知识体系和较强学习能力,但鉴于教师年龄阅历、学科专业等知识背景具有一定差异,根据初步的调查分析,非计算机与人工智能专业的教师对人工智能的基本概念、基本原理仅限于了解层次,对人工智能的算法设计及实验运行环境了解有限,难言达到理解和掌握水平,对利用最新的 AI 技术辅助教学,理念转变和方法掌握等方面均存在一定困难。

基于此,为快速提升非专业教师的人工智能辅助教学能力,本文从 AI 辅助教学角度总结了应具备的核心素养,包括 2 个层次:基础素养和高阶素养,每个层次包含知识、能力及价值 3 个维度,见表 1 所示。基础素养要求熟悉人工智能基本概念、基本原理和基本方法,了解人工智能伦理与风险知识,能够利用 AI 工具开展物理教学活动;人工智能高阶素养除具备基础素养以外,需要具备一定的计算思维、编程设计以及解决物理问题的能力,进一步地,可设计开发 AI 辅助教学工具。人工智能辅助教学,使大学物理课程教学紧跟时代发展趋势,提升师生人工智能素养,并实现教学相长。

2.1 基础教学模式创新

大学物理作为低年级本科生的自然科学基础课,课程教学体系较为传统,教学模式灵活性较为缺乏。借助大数据、人工智能等信息技术的快速发展,提升教学效果较为迫切。其基础要求是能够利用 AI 工具,创设 AI 教学环境,开展 AI 辅助教学。例如,借助超星泛雅平台、学堂在线或其他网络教学平台构建 AI 教学环境,形成智能问答、自主学习、作业批改、智能评价等学习场景;利用 AI 教学工具,构建课程知识体系,建设丰富的课

程数字化资源,优化课堂组织实施过程以及课程考核评价手段,提升教学体验。

2.2 高阶教学模式创新

高阶教学模式在教学中渗透人工智能理论与技术,并用来解决物理问题。因此,要求熟悉常用的人工智能相关软硬件知识,包括操作系统、编程语言(如 Python 等)及算力资源等,能够利用 PyCharm、VScode 或 Anaconda 等项目管理工具,配置 AI 编程运算环境,掌握常用的 Numpy、Scipy、Pandas 及 Matplotlib 等函数库使用方法,实现物理问题的 AI 运算求解,包括大学物理实验中的数据处理与绘图,以及仿真模拟等;此外,更进一步地,熟悉 GPT-4、DeepSeek 或 ChatGLM-6B 等常用大模型及其微调训练与提示方法,包括本地化部署方法、性能评测方法等,能够结合大学物理专业知识库,构建自主 AI 教学环境。在此基础上,利用 AI for Science 思想,研究开发 AI 辅助科研与教学工具,指导学生参加大学生物理学术竞赛、大学生物理实验竞赛,丰富第二课堂活动,提高学生综合实践创新能力。

3 AI 赋能课程教学探索

利用人工智能工具建立大学物理及实验“AI 教学助手”,构建课程思政图谱及知识图谱,提升教学体系时代性,深化教学内容的内涵与外延,有利于学生自主学习和深化理解大学物理理论及实验知识体系,提高教学质量。以数学、科学、工程实验交叉融合思想,提出符合新工科特征的大学物理知识图谱框架,如图 1 所示,主要包括课程思政知识图谱、物理学与数学知识图谱、物理学与公

表 1 人工智能辅助教学核心素养

人工智能素养	具体内容	相关知识体系
基础素养		
知识	1. 了解人工智能基本概念、基本原理和基本方法	人工智能导论、机器学习、网络 AI 教学平台操作手册及演示、人工智能伦理与风险等。
能力	2. 利用 AI 工具开展教学场景应用	
价值	3. 了解人工智能伦理与风险	
高阶素养		
知识	1. 掌握计算思维相关知识	Python 语言程序设计、算法设计与分析、PyCharm 等项目管理工具、神经网络与深度学习、ChatGPT 等大模型、多模态大模型、数据安全与隐私防护等。
能力	2. 掌握编程设计以及解决物理问题的能力	
能力	3. 利用人工智能研究开发教学辅助工具	
价值	4. 人工智能伦理与风险防护	

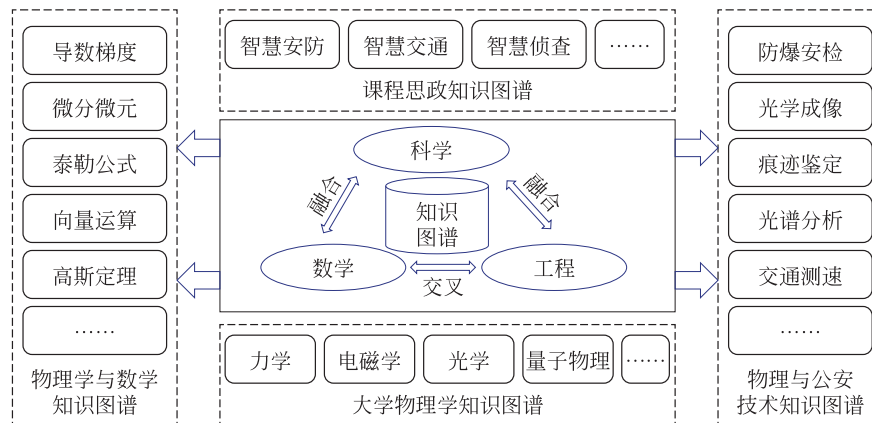


图1 大学物理知识图谱框架

安技术知识图谱及物理学知识点图谱。利用智慧教学平台,构建教学助手,赋能课程教学。

3.1 加强课程思政建设,提升科学素养

大学物理课程思政建设是学生价值观塑造的重要途径,物理课程思政素材较为丰富,利用物理定律的发现过程、科学家研究过程以及唯物辩证的研究方法培养学生科学思维、科学方法及科学素养等,当前已有诸多文献论述。除了常规的课程思政以外,利用物理学与人工智能的紧密联系,挖掘课程思政元素,培养智慧安防、智慧交通、智慧侦查等科技强警探索意识,提升物理学与现代警务技术及公安新质战斗力的关联,可激发学生兴趣,厚植科技兴警情怀。

3.2 构建课程知识图谱,深化教学内容的内涵及外延

当前大学物理课程教学课时相对较少,故利用 AI 工具建立数学、科学及工程实验等大学物理知识图谱,深化课堂教学内容的内涵及外延,建立知识体系的内在逻辑,提升教学效率较为重要。一是建立大学物理知识点图谱,利用知识图谱建立力学、电磁学、光学等大学物理及实验知识体系,有利于学生自主学习和深化理解物理学的基本概念、基本定律。二是建立数学与大学物理交叉知识图谱,掌握数学定理的物理意义,理解物理学为数学的深化及具象。例如,物理学中矢量的标积矢积与数学中向量的运算紧密联系,进而拓展到矩阵以及张量的运算,上述运算在图像处理、自然语言处理等人工智能领域的理论计算与分析中应用广泛,通过上述拓展,可加深对数理科学与人工智能的理解,建立学科交叉融合的逻辑关系,

起到举一反三、触类旁通的学习效果。三是建立物理学与工程交叉知识图谱,建立物理学内容与防爆安检、痕迹鉴定、交通事故力学分析等公安技术专业的知识图谱。例如,利用牛顿定律与社会力模型在人群疏散中的应用紧密联系。建立上述物理学原理与公安技术专业相关知识图谱,做好专业衔接,即可为后续专业课程学习打下良好的基础,亦可提升学生学习大学物理的主动性与内驱力。图2为依托智慧教育资源平台,利用知识图谱工具,通过可编辑知识点功能,构建的大学物理知识图谱,可有效建立起大学物理知识体系关联关系。

3.3 构建 AI 教学助手,提升教学体系时代性

以学校智慧教学平台为依托,构建 AI 教学助手“悟小理”智能体,如图3所示,该 AI 教学助手主要包括3部分:大学物理知识库、功能问答(交互)界面及对话日志。其构建过程简要描述如下:首先,依据智慧网络平台,新建智能体名称“悟小理”;其次,上传教学大纲、电子教案等材料,构建大学物理知识库;再次,利用 AI Agent 功能,配置基本信息,关联所构建知识库,设置智能体调用类型,选择 DeepSeek-R1-Distill-Qwen-32B 模型,设置检索模式及问答模式;最后,选择面向对象发布,通过智能问答赋能课程教学。该教学助手以 DeepSeek-R1-Distill-Qwen-32B 为基础模型,依据教学大纲、课程教案、实验教学指导书及电子教学资源等建设课程知识库,支撑智能体聚焦课程体系,精准学习课程知识,通过预训练模型与知识库学习相结合,开启具有课程特色的智能问答模式。该课程智能体可展示问答历史记录、多轮问答,且

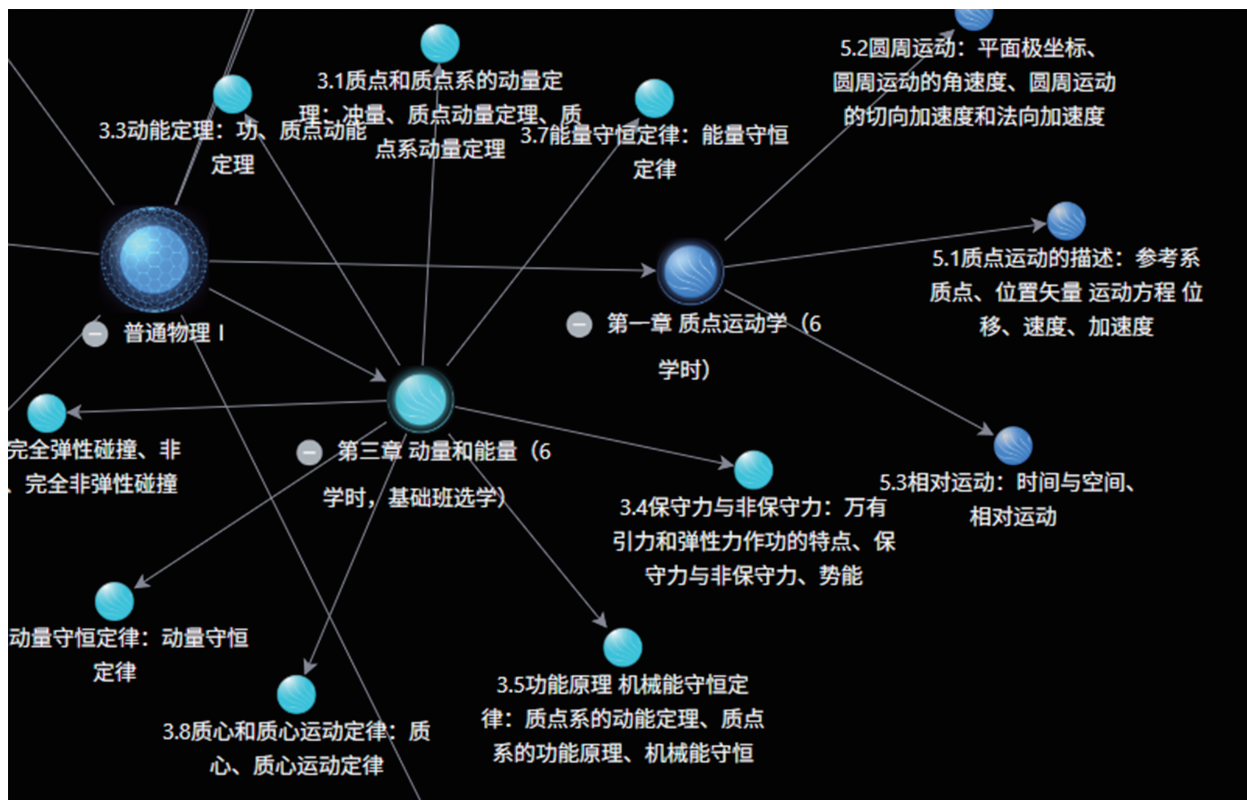


图2 大学物理知识图谱示例

无须终端安装,学生可通过电脑端或移动端链接进行登录问答,问答过程展示思考过程,标注所学习知识的源文件,帮助学生理解课程理论与实验问题的理解;课程教师通过问答历史记录,分析学情教情,表2为100条对话记录统计表,可见问题主要集中在实验报告的相关内容,与学期中实验课项目相关。此外,为帮助学生提升提出问题的能

力,设置提示词模板,使智能体更好地理解提问者的问题,作出更为精准的推理与回答,辅助开展课程教学。

图3中为霍尔效应实验中有关最小二乘法处理数据的问答记录,可以看出,该回答准确地展现出最小二乘法的原理及运算过程,能够为学生在实验中处理数据提供较好的参考。值得一提的

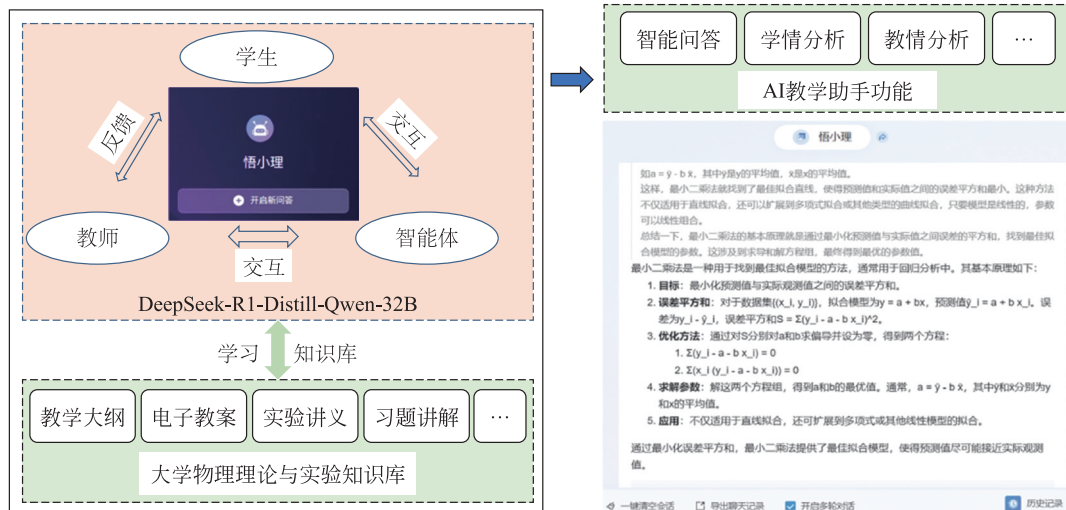


图3 AI教学助手框架体系

表 2 问答记录统计表

问题类型	实验数据处理	实验报告	结果与误差分析	物理内容	其他
占比	8%	26%	21%	13%	32%
举例	霍尔效应实验 数据处理	示波器实验 报告	长度测量的 误差分析	梳理电势的 知识点	和 DeepSeek 的 区别

是,在诸多较为复杂的问题中,智能体的回答仍存在一定的偏差,对初学者存在一定误导,需要教师提前设置好提示词,做好知识库体系的建设,为智能精准问答提供良好基础。

4 启示与展望

物理学是自然科学与工程技术的基础,其学科思想和方法对人工智能的起源与发展曾经产生并正在产生重要推动作用。为更好跟踪前沿技术发展趋势,把握时代发展脉搏,本文结合教学科研实践,以“人工智能+”课程思想,探讨了大学物理教学改革问题。

AI 辅助教学,理念为先。新一代人工智能浪潮席卷全球,引发新一轮科技革命和产业变革,人工智能技术已与生产生活密不可分,亦会对教育教学产生重大影响,“人工智能+”教育时代已来,物理学虽是自然科学的典型代表,但其教学理念相对传统,如何科学、有效、规范地利用人工智能技术辅助大学物理教学,甚至推动教学体系变革重塑是必须认真回答的命题。当前及未来,需要主动更新教学理念,掌握人工智能技术,提升人工智能核心素养,引领和推动大学物理教学改革创新。

AI 辅助教学,资源为基。众所周知,生成式人工智能的训练与测试需要高昂的软硬件资源,包括网络教学平台及 AI 工具的开发使用需要基本保障。人工智能核心素养,并非先天具备,对高校及教师提出了较高的要求,需要相当的努力和时间,通过一定的培训和学习才能达到相关要求。特别是大学物理内容晦涩难懂、公式繁多、知识体系复杂,创设 AI 教学环境面临诸多挑战。

AI 辅助教学,规范为要。AI 技术发展迅速,如何科学、规范地应用在教育领域,需引起足够重视。在 AI 辅助教学过程中,可能产生海量文本、视频、音频、图像等多模态数据,其中可能涉及师生以及教育教学的各种隐私数据,如何规范各

种数据的管理和使用需要提前作好应对之策。AI 生成内容存在篡改、伪造、价值观等伦理风险,且如何避免过度依赖人工智能而忽视物理学教学自身的规律等问题,均需要提前谋划预防措施。此外,AI 辅助教学深刻影响传统教育教学模式,教育新生态尚不健全,可能对学生的心理、心绪、心智等带来不同程度的影响。

当前,人工智能赋能教学时代已来,为大学教学带来新的机遇,积极转变教学理念,提升人工智能素养可为实现教育教学改革创新奠定坚实基础;高校可通过加强学科交叉融合,搭建教学资源平台,开展专题培训,制定“一课一策”等方式辅助师生进行“人工智能+”课程教学改革创新,协同提升课程教学质量。

参 考 文 献

- [1] SAIF N, KHAN S U, SHAHEEN I, et al. Chat-GPT: validating Technology Acceptance Model (TAM) in education sector via ubiquitous learning mechanism[J]. Computers in Human Behavior, 2024, 154: 108097.
- [2] 穆肃,陈孝然,周德青. 生成式人工智能赋能教学设计分析: 需求、方法和发展[J]. 开放教育研究, 2025, 31(1): 61-72.
- MU S, CHEN X R, ZHOU D Q. Generative artificial intelligence empowers instructional design analysis: needs, methods, and prospects [J]. Open Education Research, 2025, 31(1): 61-72. (in Chinese)
- [3] TSAI M L, ONG C W, CHEN C L. Exploring the use of large language models (LLMs) in chemical engineering education: Building core course problem models with Chat-GPT [J]. Education for Chemical Engineers, 2023, 44: 71-95.
- [4] FUCHS K. Exploring the opportunities and challenges of NLP models in higher education: is Chat GPT a blessing or a curse? [C]. Frontiers in Education Frontiers Media SA, 2023, 8: 1166682.
- [5] HU B, ZHENG L, ZHU J, et al. Teaching Plan Generation and Evaluation With GPT-4: Unleashing the Potential of LLM in Instructional Design[J]. IEEE Transactions on Learning Technologies, 2024, 17: 1445-1459.
- [6] GOFMAN M, JIN Z. Artificial intelligence, education, and entrepreneurship [J]. The Journal of Finance, 2024, 79(1): 631-667.

- [7] MIAO F, CUKUROVA M. AI competency framework for teachers[EB/OL]. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000391104>, html, 2024. 09.
- [8] MIAO F, SHIOHIRA K, LAO N, et al. AI competency framework for students[EB/OL]. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000391105>, html, 2024. 09.
- [9] 吴岩. 新工科: 高等工程教育的未来, 高等工程教育研究, 2018, 6: 1-3.
WU Y. New engineering: the future of higher engineering education[J]. Research in Higher Education of Engineering, 2018, 6: 1-3. (in Chinese)
- [10] 郑庆华. 人工智能赋能 STEM 教育创新发展: 认识与实践[J]. 中国高教研究, 2025, (1): 1-7.
ZHENG Q H. Artificial intelligence empowering the innovative development of STEM education: insights and practices[J]. China Higher Education Research, 2025, (1): 1-7. (in Chinese)
- [11] 章丽辉, 钟圣怡, 赵加强, 等. 新工科视域下数理基础课程的跨学科教学[J]. 高等工程教育研究, 2019, (6): 44-49.
ZHANG L H, ZHONG S Y, ZHAO J Q, et al. Interdisciplinary teaching of foundation courses from the perspective of emerging engineering education[J]. Research in Higher Education of Engineering, 2019, (6): 44-49. (in Chinese)
- [12] 王小力. 大学物理课程思政研究与实践[J]. 中国大学教学, 2020, 10: 54-57.
WANG X L. Research and practice on ideological and political education in university physics courses[J]. China University Teaching, 2020, 10: 54-57. (in Chinese)
- [13] 何钰, 孙燕云, 谢东, 等. 基于知识图谱的大学物理课程建设与实践[J]. 物理与工程, 2024, 34(6): 149-157.
HE Y, SUN Y Y, XIE D, et al. Construction and practice of college physics curriculum based on knowledge graph[J]. Physics and Engineering, 2024, 34(6): 149-157. (in Chinese)
- [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.
ZHANG H G, LI Y T, YANG Z H, et al., Construction and practice of artificial intelligence course of university physics based on knowledge map[J]. College physics, 2025, 44(5): 41-47, 75. (in Chinese)
- [15] 周可雅, 孟庆鑫, 曹永印, 等. 问题牵引式大学物理课程知识图谱探索与实践[J]. 大学物理, 2025, 44(1): 66-69, 75.
ZHOU K Y, MENG Q X, CAO Y Y, et al. Exploration and practice based on a problem driven knowledge graph of college physics[J]. College physics, 2025, 44(1): 66-69, 75. (in Chinese)
- [16] 唐泽宸, 段文晖, 徐勇. 物理学与深度学习: 2024 年诺贝尔物理学奖介绍[J]. 物理, 2025, 54(1): 1-9.
TANG Z C, DUAN W H, XU Y. Physics and deep learning: an introduction to the 2024 Nobel Prize in Physics[J]. Physics, 2025, 54(1): 1-9. (in Chinese)
- [17] MILLER J L. Nobel Prize highlights neural networks' physics roots[J]. Physics Today, 2024, 77(12): 12-16.
- [18] 唐乾元. 物理学与人工智能的连接: 2024 年诺贝尔物理学奖解析[J]. 科学通报, 2025, 70: 1413-1420.
TANG Q Y. The connections between physics and AI: A review of the 2024 Nobel Prize in physics[J]. Chinese Science Bulletin, 2025, 70: 1413-1420. (in Chinese)
- [19] KARNIADAKIS G E, KEVREKIDIS I G, LU L, et al. Physics-informed machine learning[J]. Nature Reviews Physics, 2021, 3(6): 422-440.
- [20] CHEN Z, YANG L, SUN H. Physics-informed learning of governing equations from scarce data[J]. Nature Communications, 2021, 12.1: 6136.
- [21] JIAO L, SONG X, YOU C, et al. AI meets physics: a comprehensive survey[J]. Artificial Intelligence Review, 2024, 57: 256.
- [22] 李艳, 孙凌云, 江全元, 等. 高校教师人工智能素养及提升策略[J]. 开放教育研究, 2025, 31(1): 23-33.
LI Y, SUN L Y, JIANG Q Y, et al. Artificial intelligence literacy of university educators and improvement strategies[J]. Open Education Research, 2025, 31(1): 23-33. (in Chinese)

(上接第 121 页)

- [10] 张灿, 周卫康, 陈天. 波传播算法在量子力学中的应用及其数值模拟[J]. 物理与工程, 2022, 32(5): 150-156.
ZHANG C, ZHOU W K, CHEN T. Application of beam propagation method in quantum mechanics and its numerical simulation[J]. Physics and Engineering, 2022, 32(5): 150-156. (in Chinese)
- [11] 杜炳毅, 徐岩. 势垒隧穿含时演化的 Julia 数值模拟[J]. 物理与工程, 2022, 32(3): 21-25.
DU B Y, XU Y. Numerical calculation of quantum tunneling based on Julia[J]. Physics and Engineering, 2022, 32(3): 21-25. (in Chinese)
- [12] TANNOR D J. Introduction to quantum mechanics: a time-dependent perspective [M]. California: University Science Books, 2007.
- [13] MCKAGAN S B, PERKINS K K, WIEMAN C E. Deeper look at student learning of quantum mechanics: The case of tunneling[J]. Physical Review Special Topics-Physics Education Reserach 2008, 4, 020103-1-18.
- [14] PRIETO A L P, BROUARD S, MUGA J G. Explicit solution for a Gaussian wave packet impinging on a square barrier[J]. Journal of Physics A: Mathematical and General, 2003, (36): 2371-2378.