



面向工程前沿的大学物理教学探索与实践

谢双媛 许静平 张建卫 樊维佳 张志华
(同济大学物理科学与工程学院, 上海 200092)

摘要 随着全球科技革命和产业变革的加速演进,科学与工程前沿不断突破,对高等教育的人才培养提出了全新要求。特别是国家“四新”建设(新工科、新医科、新农科、新文科)的深入推进,使得大学物理作为公共基础课,面临着如何适应专业需求、融合新兴技术的巨大挑战。本文以同济大学为例,深入探讨了其在面向工程前沿的大学物理教学改革中的探索与实践。改革方案聚焦于课程体系、知识体系和教学体系的综合优化,通过重构“宽基础、专深化、融创新”的课程体系、持续打造精品教材以及构建融合信息技术的线上线下混合式教学模式,实现了对全校多学科专业的精准支撑,显著提升了学生的科学素养、创新能力和批判性思维。实践证明,大学物理教学改革有效支撑了“四新”专业人才培养,对新时代高素质、复合型、创新型人才的自主培养具有重要的借鉴意义。

关键词 大学物理;工程前沿;教学改革;人才培养

DOI: 10.27024/j.wlygc.2025.08.25.01

EXPLORATION AND PRACTICE OF COLLEGE PHYSICS TEACHING FACING THE FRONTIERS OF ENGINEERING

XIE Shuangyuan XU Jingping ZHANG Jianwei FAN Weijia ZHANG Zhihua

(School of Physical Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092)

Abstract With the accelerated evolution of the global technological revolution and industrial transformation, continuous breakthroughs in the frontiers of science and engineering have put forward new requirements for talent cultivation in higher education. In particular, the in-depth advancement of the national “Four New” construction (new engineering, new medicine, new agriculture, and new humanities and social sciences) has posed significant challenges for college physics as a general basic course in terms of adapting to professional needs and integrating emerging technologies. Taking Tongji University as an example, this paper deeply explores its exploration and practice in the reform of college physics teaching oriented to the engineering frontier. The reform plan focuses on the comprehensive optimization of the curriculum system, knowledge system, and teaching system. By reconstructing a curriculum system that is “broad-based, specialized in-depth, and integrated with innovation,” continuously creating high-quality textbooks, and building a blended teaching model that integrates information technology both online and offline, the reform has achieved precise support for multiple disci-

收稿日期: 2025-08-25

通信作者: 谢双媛, xieshuangyuan@tongji.edu.cn。

引文格式: 谢双媛, 许静平, 张建卫, 等. 面向工程前沿的大学物理教学探索与实践[J]. 物理与工程, 2026, 36(1): 47-52.

Cite this article: XIE S Y, XU J P, ZHANG J W, et al. Exploration and practice of college physics teaching facing the frontiers of engineering[J]. Physics and Engineering, 2026, 36(1): 47-52. (in Chinese)

plines and majors across the university, significantly enhancing students' scientific literacy, innovative capabilities, and critical thinking. Practice has proven that the reform of college physics teaching effectively supports the cultivation of "Four New" professionals and has important reference significance for the independent cultivation of high-quality, composite, and innovative talents in the new era.

Key words university physics; engineering frontiers; reform in education; talent cultivation

当前,世界正经历百年未有之大变局,新一轮科技革命和产业变革加速演进,以人工智能、大数据、生物技术、新能源等为代表的颠覆性技术层出不穷,深刻改变着人类的生产生活方式,也对全球经济格局和国家竞争力产生了深远影响。工程技术作为推动社会进步和经济发展的重要引擎,其前沿探索和创新实践已成为各国抢占未来发展制高点的战略选择。国务院发布的《国家重大科技基础设施建设中长期规划(2012—2030年)》^[1]以及中国工程院发布的《全球工程前沿2024》报告^[2],均清晰地描绘了未来工程技术的发展方向,强调了其在能源、生命、地球系统与环境、材料、粒子物理和核物理、空间和天文、工程技术等多个领域的战略意义。这些前沿领域的发展,无不与物理学的基本原理和前沿应用紧密相连。

在这一背景下,我国高等教育肩负着为国家培养创新型、复合型人才的时代重任。教育部积极推动“新工科、新医科、新农科、新文科”(简称“四新”)建设,旨在优化专业结构,深化人才培养模式改革,以适应新经济、新业态、新技术对人才的需求。人工智能、数据科学与大数据技术、新能源材料与器件、智能建造、智能制造工程等新兴“四新”专业的蓬勃发展,对作为其基础的大学物理课程提出了前所未有的挑战与机遇。传统大学物理教学体系,往往侧重于理论知识的传授,与工程实践和新兴技术前沿的结合不够紧密,难以满足新时代对学生跨学科思维、创新能力和解决复杂工程问题能力的需求。因此,如何改革大学物理课程体系,使其更好地契合专业需求,深度融合新兴技术,培养面向未来工程前沿的创新人才,已成为当前高等教育领域亟待解决的关键问题。

同济大学作为国内知名高等学府,始终秉持服务国家战略和行业发展的办学理念。面对新形势,2025年同济大学主动调整优化专业结构,直接对接国家需求,例如新增了机器人、工程互联网、智能网联车辆、智慧空间等领域的卓越计划

班。这些新兴专业对物理学的需求有增无减,且对物理知识的应用深度和广度提出了更高要求。基于此,物理科学与工程学院深入开展了大学物理教学综合改革,旨在探索构建一套能够主动适配工程前沿和“四新”专业人才培养需求的大学物理课程体系、知识体系和教学体系,为培养具有国际视野和创新能力的卓越工程人才奠定坚实基础。本文将详细阐述同济大学在这一改革中的探索实践、主要成果及其产生的深远影响,以期为其他高校的大学物理教学改革提供有益借鉴。

1 工程前沿与大学物理教学改革的时代背景

当前,全球工程前沿呈现出四大显著特点,这些特点不仅揭示了科技发展的趋势,也为大学物理教学改革指明了方向。

首先,工程前沿研究向极微观深入。以芯片、生物医学、量子物理等为代表的科技前沿不断突破,引发全球科技和产业创新的颠覆性变革。例如,半导体技术的飞速发展,使得芯片的集成度和性能持续提升,其背后离不开量子力学、固体物理等大学物理核心理论的支撑。生物医学工程中的基因编辑、纳米药物等研究,也需要深刻理解分子、原子层面的物理作用。量子计算和量子通信的兴起,更是直接将物理学的最前沿理论转化为现实应用。这要求大学物理教学不仅要传授经典物理知识,更要融入现代物理学,特别是量子物理、统计物理等内容,并强调其在微观工程领域的应用。

其次,工程前沿探索向极端条件迈进。在制造、能源、材料等领域,技术进步加速,对材料的抗灾、耐极温、耐腐蚀等性能提出了更高要求。例如,航空航天、深海探测、核能利用等领域,都需要在极端温度、高压、强辐射等条件下工作的材料和设备。这些材料的研发,依赖于对材料物理、热力学、电磁学等物理原理的深入理解和应用。大学

物理教学应引导学生关注物理学在极端环境下的行为规律,培养其解决复杂工程问题的能力。

再次,工程前沿开发向极精准拓展。全球卫星导航精确定位技术、机器人精准操控技术的发展,开辟了人类生产和生活的新空间。无论是自动驾驶汽车的厘米级定位,还是手术机器人的微米级操作,都离不开精确的物理测量、控制和反馈系统。这要求大学物理教学加强对测量原理、控制理论、光学、声学等相关内容的讲解,并结合实际应用案例,培养学生的工程实践能力和精益求精的科学态度。

最后,工程前沿创新向极综合交叉发力。多学科交叉渗透,理论应用互相促进,传统研究和新兴研究互相结合并扩散拓展,为全球科技创新与产业创新深度融合开辟了新途径。例如,生物物理、信息物理、材料物理等交叉学科的兴起,使得单一学科知识已不足以解决复杂问题。大学物理教学必须打破学科壁垒,强调物理学与其他学科的融合,培养学生的跨学科思维和系统集成能力。

《全球工程前沿 2024》报告^[2]中遴选出的 2024 全球十大工程成就,如 CAR-T 细胞疗法、嫦娥六号、低轨通信卫星星座、柔性显示、高温气冷堆核电站、智能工厂、无人驾驶汽车、手术机器人、文生视频大模型 Sora、超大型风力发电装备,更是生动体现了工程技术发展的三个核心特点:一是代表了某一或多个工程技术领域最先进的技术水平或重大的原创性突破,能够引领未来技术进步方向;二是通过技术整合、资源优化配置达成了整体目标,呈现出显著的系统集成创新特色;三是催生新产业、新动能,具有重要的产业带动和经济驱动价值,代表新质生产力发展方向。这些成就的取得,无不以深厚的物理学原理为基石,并融合了信息、材料、生物等多个学科的最新成果。

在这样的时代背景下,新一轮科技革命和产业变革加速演进,呈现出交叉融合、智能赋能、绿色环保的趋势,工程技术创新进入密集活跃期,工程前沿不断取得颠覆性突破。社会对高素质人才的需求已不再局限于单一学科的专才,而是更加青睐具备跨学科知识背景、创新能力和解决复杂问题能力的复合型人才。学科交叉融合的改革创新和交叉复合型、创新型人才培养的重要性日益受到关注,已成为新时代人才自主培养的新质态。

高等教育作为人才培养的主阵地,必须主动

适应这一变革。高等教育要以习近平新时代中国特色社会主义思想统领工作,大力发展新工科、新医科、新农科和新文科。人工智能、大数据、区块链、基因工程、虚拟技术、5G 技术等现代信息技术迅速发展,各专业与新技术越来越多地融合,催生了人工智能、数据科学与大数据技术、新能源材料与器件、智能建造、智能制造工程等一系列“四新”专业。这些新兴专业,虽然名称各异,但其核心技术原理和发展路径都离不开物理学的支撑。例如,智能建造需要力学、材料物理、光学等知识;新能源材料与器件则直接与半导体物理、电磁学、热力学等紧密相关。

然而,这些专业对物理学的需求已不再是传统意义上的“普适性”基础知识,而是更为“精准化”和“应用化”的物理学原理和方法。这使得大学物理课程面临巨大挑战,迫切需要大学物理教学进行一场深刻而全面的综合改革。同济大学普通物理教研室基于对这一时代背景的深刻洞察,积极推进大学物理教学改革,旨在构建与工程前沿同频共振、与“四新”专业人才培养深度融合的大学物理教育新范式。

2 同济大学大学物理教学综合改革

同济大学普通物理教研室在深刻理解工程前沿发展趋势和国家“四新”建设要求的基础上,以“面向工程前沿的大学物理教学探索与实践”为核心,系统性地推进了大学物理课程的综合改革。这一改革方案秉持“以学生为中心”的教学理念,紧密围绕“课程体系、知识体系、教学体系”三个核心要素展开,力求解决传统大学物理教学与新兴专业需求脱节的痛点,为培养新时代创新型、复合型人才奠定坚实基础。

2.1 改革理念与目标

同济大学的大学物理教学改革,其核心理念在于主动适应国家战略需求和学科发展前沿,将物理学作为支撑多学科专业发展的基础和桥梁。改革目标明确:一是构建与“四新”专业精准适配的课程体系,确保物理知识的广度与深度兼顾,满足不同专业对物理学的个性化需求;二是打造具有时代性、前瞻性和实践性的精品教材,将物理学前沿、工程应用和思政元素有机融入,提升教材的科学性和育人功能;三是创新教学模式,充分利用

现代信息技术,激发学生的学习兴趣和创新能力,培养其分析问题、解决问题的能力以及批判性思维和科学素养。最终,通过综合改革,实现大学物理课程对全校工、理、医、管、经等多门类专业的全覆盖、精准支撑,提高课程与“四新”专业建设的适配度,形成促进学科融合与个性化培养的课程体系。

2.2 完善重构课程体系,精准适配“四新”专业建设

为提升大学物理教学满足不同专业的培养需求,我们深入分析了学校学科发展特点和专业布局,对标 2023 年 8 月教育部发布的《理工科类大学物理课程教学基本要求》^[3],通过对课程内容进行整合、优化、重组,构建了独具特色的“宽基础、专深化、融创新”三维协变统一的课程体系,旨在兼顾物理学基础的广博性、专业需求的专精性以及跨学科融合的创新性,以适应多元化人才培养的需求。

宽基础(Broad Foundation):强化对学生科学素养的要求,确保所有学生都能掌握物理学的基本概念、原理和方法,为后续专业学习打下坚实的基础。这部分内容涵盖了经典力学、热学、电磁学、光学等传统物理学的核心知识,但其讲解方式和案例选择会更注重与最新工程实践的关联性。

专深化(Specialized Deepening):针对不同“四新”专业的特点和需求,按照专业强化其对应物理学知识的深度和专业化应用。例如,对于信息类专业,会深化电磁学、光学、半导体物理等内容;对于材料类专业,则会加强固体物理、凝聚态物理等知识的讲解;对于土木类专业,则增加其力学、声学、热学的工程应用案例;对于理科类学生,则增加物理学史方面的内容,强化其科学思维。这种分层教学模式,使得物理知识能够更精准地服务于各专业的核心需求。

融创新(Integrated Innovation):强调物理学与工程、信息技术、生命医学等其他学科的深度交叉融合。通过引入跨学科案例、前沿技术应用和研究性课题,培养学生的跨学科思维、系统集成能力和创新意识。这部分内容鼓励学生将物理知识应用于解决实际工程问题,甚至参与到前沿科学研究中。

大学物理课程体系包含 6 门课程,实现了对全校工学、理学、医学、管理学、经济学 5 个门类、

10 个培养大类、44 个专业的全覆盖和精准支撑:

“普通物理 A”:主要支撑理科、工程力学等相关专业,侧重物理学基本原理和底层逻辑的深入理解和其在基础科学研究中的应用。

“大学物理精 I”:针对信息类相关专业,强化电磁学、光学、半导体物理等内容,并结合通信、计算机、电子信息等领域的应用。

“大学物理精 II”:面向智能建造等相关专业,突出力学、材料物理、光学等在土木工程、建筑学、智能建造中的应用。

“普通物理 B”:服务智能制造等相关专业,注重力学、热学、电磁学在机械、自动化、机器人等制造领域的应用。

“医用物理学”:专为生命、医学相关专业设计,讲解物理学在生物、医学成像、诊断治疗等方面的应用,如生物力学、医学光学、辐射物理等。

“普通物理 C”:支撑新文科相关专业,旨在培养文科学生的基本科学素养和批判性思维,侧重物理学思想方法和科学史的普及。

这种精细化的课程设置,不仅提高了大学物理课程与“四新”专业建设的适配度,更形成了促进学科融合与个性化培养的课程体系。通过重构课程体系,自然带动了“五融合”的实现:学科内容融合(物理知识与专业知识的相互渗透)、各学科教师融合(不同专业背景教师的协同教学)、师生融合(教师引导学生进行跨学科探究)、教学科研融合(将最新科研成果融入教学)、高校与业界的校内外融合(引入工程案例和行业专家)。这种多维度的融合,为“四新”专业多元化人才培养提供了强有力的教学内容、教学方法和教学团队支撑。

2.3 持续打造精品教材,引领学术前沿

教材是教学内容和教学思想的载体,是实现教学目标的关键。同济大学普通物理教研室在大学物理教学改革中,高度重视教材建设,致力于打造扎根中国大地、引领学术前沿的精品教材。教材建设遵循正确的政治方向和价值导向,突出思想性、科学性、时代性,并成功实现了物理学思想、原理、方法与科学技术的深度融合。

在传统经典教材的基础上,积极进行融合创新。本教研室编著的《普通物理学》《大学物理学》《物理学》《医用物理学》等教材内容不仅包含了传统的物理知识和理论,更融入了现代物理学前沿进展和新技术应用,如量子信息、纳米技术、生

物物理、智能传感等,充分反映了物理学与相关学科交叉融合发展的新成就。同时,教材建设还与课程思政建设紧密结合,充分挖掘物理学知识中所蕴含的科学精神、科学方法和家国情怀等思政元素,将其有机融入教材之中,使学生在科学学习的同时,潜移默化地接受思想熏陶,实现价值塑造、知识传授和能力培养的有机统一。

此外,注重教材的数字化建设与课程建设齐头并进。积极探索知识图谱、能力图谱的构建(<https://kgc.tongji.edu.cn>),将教材内容进行结构化、可视化呈现(<https://eb.tongji.edu.cn>),方便学生进行个性化学习和知识检索。教师自觉将科学前沿发展和自身科研擅长融入教学,形成课程教学实践成果,并将其固化为典型案例,升华为学生的学习成果,持续更新课程教案和教材数据库(canvas.tongji.edu.cn)。这种动态更新机制,使得教材能够及时反映最新的科学进展和工程应用,保持其前沿性和生命力。学生在创新性教学中基于课程内容进行的实践探索和学习成果,也成为教材持续更新、迭代升级的丰富素材资源,从而焕发教材的生命力,日臻完善。

同济大学普通物理教研室已持续建设了《普通物理学》《大学物理学》《物理学》《医用物理学》等国家规划教材 10 部、全国优秀教材二等奖 1 项、普通高校教育精品教材 2 部、上海市普通高校优秀教材奖 2 项等一批精品教材,学术成果辐射全国,产生了广泛而深远的社会影响。

这些精品教材的使用,不仅为全国高校提供了高质量的教学资源,更引发了教师教学成果的迭代积累。教材配套资源不断丰富,新增知识点小测题 496 道、课后实践研究课题 202 个、教学视频 315 个、混合式教学案例集 1 套等。这些丰富的教学辅助资源,极大地便利了教师的教学活动,也为学生的自主学习提供了更多选择。

2.4 构建融合信息技术的课程教学新模式

同济大学普通物理教研室秉持“以学生为中心”的教学理念,充分利用现代信息技术,构建了“在线学习+课堂讨论+实践探索”的线上线下混合式教学模式。这一模式旨在为学生提供“认知、分析、创新”的思维梯度递进学习路径,引导学生全面发展,有效提升其分析解决问题能力、批判性思维能力和科学素养。

在线学习(Online Learning):学生利用碎片

化时间进行自主学习,通过登录 MOOC 平台、Canvas 平台、Look 平台浏览在线视频课程、互动习题、模拟仿真等资源,掌握基本概念和理论知识。这部分内容注重知识的广度和基础性,为后续的深度学习打下铺垫。在线平台还提供了丰富的拓展资料和前沿资讯,激发学生的学习兴趣和自主探究精神。

课堂讨论(Classroom Discussion):线下课堂不再是单向的知识灌输,而是以问题为导向,进行深度研讨和交流。教师引导学生对在线学习中遇到的难点、疑点进行讨论,分享学习心得,并通过案例分析、小组合作等形式,培养学生的批判性思维和团队协作能力。课堂讨论还融入了引入问题、寻找方法、科学分析、有效解决、效果评价的研究性学习方式,贯穿于每一章的问题求解小循环和整个课程的综合问题求解大循环中,引导学生系统性地思考和解决问题。

实践探索(Practical Exploration):这是教学模式的亮点,强调将物理知识应用于实际工程问题。通过实验、项目设计、工程案例、创新竞赛等形式,让学生亲身参与到解决问题的过程中。实践探索不仅巩固了理论知识,更培养了学生的动手能力、创新能力和解决复杂工程问题的能力。例如,学生可以参与设计智能传感器、分析新能源器件性能、模拟物理系统等。

这种线上线下混合式教学模式,通过提高课程挑战度促进基于元认知策略的深度学习,强调整合知识、积极主动、合作探究,对知识进行结构化和深度加工,发展高阶思维和问题解决能力。它改变了传统的“教”与“学”的关系,将教师从知识的传授者转变为学习的引导者和促进者,将学生从被动接受者转变为主动的探索者和创造者。通过这种模式,学生在学习过程中获得了探究精神的沉浸式熏陶,有效激发了创新潜能,培养了核心素养,促进了全面发展。

3 结语

同济大学普通物理教研室通过大学物理教学综合改革,构建“宽基础、专深化、融创新”三维协变统一的课程体系,实现了对“四新”专业人才培养的精准有力支撑。极大地激发了学生的问题意识和探究兴趣,增强了学生学习的自主性,学生不

再满足于被动接受知识,而是主动思考、积极探究,在思维和创新方面都有明显提升,促进了学生个性化发展。学生自主探索实现了全覆盖,学生的学习成果持续演化,主要有知识点总结、探究报告或论文、实验设计、原创视频等多种类型,近4年累计达1万3千余份。这些教与学的原创性成果,不仅是学生学习成效的直接体现,也为教材的持续性建设提供了丰富的取材资源,更为数字教材建设、AI赋能教学奠定了坚实基础。通过创建信息技术赋能的教学模式,在课程建设方面取得了突破性进展,新增上海市一流课程1门,上海市重点课程1门,校级重点课程1门。全院高层次人才主讲大学物理课程,不仅提升了大学物理教学的整体水平,也带动了青年教师的成长。自2022年以来,共有3人次在校级青年教师讲课比赛中获奖,6人次在校级教学创新大赛中获奖,3人次在市级青年教师讲课比赛中获奖,今年邓晓老师更是获得了全国高等学校物理基础课程青年教师讲课比赛决赛二等奖。所有这些举措都为面向工程前沿领域人才培养提供了有益的探索与尝试,实践成效已获2025年同济大学教学成果奖一等奖。

参 考 文 献

- [1] 国务院关于印发《国家重大科技基础设施建设中长期规划(2012—2030年)》的通知(国发〔2013〕8号),https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2013-03/04/content_5176.htm, (2013-02).
Notice of the State Council on Issuing the Medium- and Long-Term Plan for the Construction of Major National Science and Technology Infrastructure (2012—2030) (State Council Document No. 8 [2013]), https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2013-03/04/content_5176.htm, (2013-02). (in Chinese)
- [2] 中国工程院全球工程前沿项目组著. 全球工程前沿 2024 [M]. 北京:高等教育出版社,2024.
Global Engineering Frontier Project Group of the Chinese Academy of Engineering. Global engineering frontier 2024 [M]. Beijing: Higher Education Press, 2024. (in Chinese)
- [3] 教育部高等学校大学物理课程教学指导委员会编制,理工科类大学物理课程教学基本要求理工科类大学物理实验课程教学基本要求(2023年版)[M]. 北京:高等教育出版社,2023.
Teaching Guidance Committee for University Physics Courses in Higher Education Institutions of the Ministry of Education. Basic requirements for physics teaching in science and engineering universities (2023 edition) [M]. Beijing: Higher Education Press, 2023. (in Chinese)