

新工科背景下大学物理教学创新实践

窦菲¹ 许博²

(¹北京工业大学物理与光电工程学院, 北京 100124; ²北京信息科技大学机械工程学院, 北京 101100)

摘要 面对新工科建设对工程人才创新能力的新要求, 大学物理教学急需解决理论与实践脱节的难题。本研究从教学内容更新、跨学科融合、工程实践强化、创新思维培养四个维度推进教学实践, 通过构建“基础原理-技术原型-工程应用”的教学链条, 实现知识传授与创新能力的协同发展。实践表明, 学生的理解力与创新思维得到显著提升。本文提出的教学方案为传统基础课转型提供了可复制的实施路径, 也为新工科建设中的大学物理教学改革提供了实践参考。

关键词 新工科; 大学物理教学; 四维度教学实践; 跨学科融合; 工程实践导向

DOI: 10.27024/j.wlygc.2024.11.08.02

INNOVATIVE PEDAGOGICAL PRACTICES IN UNIVERSITY PHYSICS EDUCATION UNDER THE EMERGING ENGINEERING EDUCATION FRAMEWORK

DOU Fei¹ XU Bo²

(¹ School of Physics and Optoelectronic Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124;

² School of Mechanical Engineering, Beijing Information Science and Technology University, Beijing 101100)

Abstract In light of the heightened requirements for cultivating innovative competencies in engineering talents under the Emerging Engineering Education(3E) initiatives, the imperative to bridge the theory-practice dichotomy in physics instruction at the tertiary level has become increasingly pronounced. This study advances pedagogical practices through four strategic dimensions: curricular content modernization, interdisciplinary convergence, engineering practice intensification, and innovative cognition cultivation. By architecting a tripartite instructional framework encompassing “fundamental principles-technological archetypes-engineering implementations”, we facilitate the synergistic integration of knowledge dissemination and innovation capability development. Empirical evidence indicates marked enhancement in students' conceptual assimilation and systems thinking aptitudes. The proposed didactic paradigm not only establishes a replicable implementation pathway for revitalizing conventional foundational curricula but also contributes empirical references to physics education reform within the 3E paradigm.

Key words Emerging Engineering Education; college physics teaching; four dimensional teaching practice; interdisciplinary integration; engineering practice orientation

收稿日期: 2024-11-08; 修回日期: 2025-04-21; 出版日期: 2026-03-30

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(11504011); 北京市教委科技计划项目(KM202310005013); 北京高校青年教师创新教改工作室专项经费; 北京信息科技大学 2025 年教改项目(2025JGYB03)。

通信作者: 许博, xubo821130@bistu.edu.cn。

引文格式: 窦菲, 许博. 新工科背景下大学物理教学创新实践[J]. 物理与工程, 2026, 36(2): 107-110, 123.

Cite this article: DOU F, XU B. Innovative pedagogical practices in university physics education under the emerging engineering education framework[J]. Physics and Engineering, 2026, 36(2): 107-110, 123. (in Chinese)

在全球科技创新加速迭代的背景下,新工科教育已成为高等教育应对技术变革的核心。作为揭示自然规律的基础学科,物理学在现代工程技术与前沿科技发展中具有双重价值:它不仅是人工智能、量子计算等新兴技术的理论根基,更是连接基础研究与工程应用的关键桥梁。这使得大学物理课程必须超越传统的知识传授模式,着力破解长期存在的“理论教学与工程实践脱节”问题,成为培养创新人才的重要阵地。

新工科教育强调学科交叉、技术融合与产业协同^[1-4],这要求大学物理教学进行创新式发展。课程建设需摆脱“单纯性原理学习”的模式,构建“理论-技术-工程全链条融入的原理学习”的教学体系。例如,在讲解光的偏振原理时,结合量子通信中的密钥分发技术;在教授电磁场理论时,引入5G天线设计的实际案例。教师应转型为“创新引导者”,通过设计工程情境帮助学生理解物理原理。本文提出四个维度的教学设计案例,在创新教学方法与强化实践环节中培养学生创新思维。

1 四维度教学创新案例

1.1 前沿科技驱动型教学案例:光的偏振与信息安全

1.1.1 课程设计

以“九章”量子计算机为技术载体,设计《光的偏振》课程内容体系。通过解析量子密钥分发中的偏振编码机制(如BB84协议),深度关联马吕斯定律的核心原理——光强随偏振角度变化的定量关系与量子保密通信的安全机制:当黑客实施偏振态测量时,量子态的坍缩特性会引发信息扰动警报,从而构建物理定律保障的不可破解加密系统。教学中设置偏振片旋转实验,使学生直观观

测旋转角变化对透射光强的调控规律(验证马吕斯定律),并模拟量子密钥传输过程,建立偏振方向($0^\circ/45^\circ$)与量子比特态($|0\rangle/|1\rangle$)的编码映射关系。该案例将偏振定律从经典光学延伸至量子工程领域,培养学生理解量子测量(检验偏振光)的底层物理思维。

1.1.2 教学实施路径

教学课件如图1所示,教学进程以“认知冲突-实验验证-知识迁移”为主线展开:(1)在完成马吕斯定律推导后,播放《九章量子计算机》纪录片片段建立认知冲突:“量子计算机为何不怕黑客?”;(2)回归教材分析线偏振光强度公式,通过旋转偏振片实验验证光强与 θ 角的余弦平方关系;(3)构建量子态编码模型,揭示 $0^\circ \rightarrow |0\rangle$ 、 $45^\circ \rightarrow |1\rangle$ 的偏振角-量子比特对应法则;(4)通过黑客测量引发量子态坍缩的物理过程演示,深化“观测行为改变系统状态”的量子力学本质;(5)开展传统二进制编码(电压信号)与量子偏振编码的对比实验,剖析量子通信防窃听的核心优势。全流程贯穿“现象观察 \rightarrow 定律验证 \rightarrow 工程反推”的逆向思维训练,实现从光学原理到量子安全系统的认知跃迁。

1.2 多学科耦合型教学案例:隐身涂层与薄膜干涉

1.2.1 课程设计

以歼-20隐身战机为工程载体设计“薄膜干涉”课程体系,通过解析战机吸波涂层的物理机制,系统揭示等厚干涉公式在雷达隐身技术中的核心作用:当电磁波入射介质时,特定厚度涂层通过相干相消显著削弱雷达回波强度。课程以“这么大的歼-20战机如何躲避雷达探测?”为驱动性问题,引导学生建立涂层厚度与雷达波长的定量关系。教学中采用真实雷达波段,计算相干相消的薄膜厚度,训练学生从等厚干涉理论公式推导

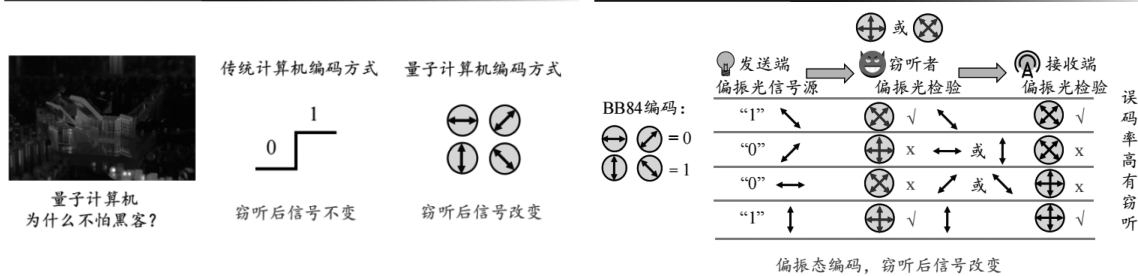


图1 光的偏振与信息安全课件截图

到工程参数的转化能力。该案例突破学科边界,以国防重器为载体实现基础理论与前沿技术的认知贯通,为培育具备学科交叉思维的复合型工程师提供支撑。

1.2.2 教学实施路径

教学课件如图 2 所示,教学流程分五阶段推进:(1)在完成等厚干涉公式推导后,展示歼-20 飞行影像并抛出核心问题“这么大的飞机如何隐身?”(2)强化公式应用,推导涂层厚度与雷达波长的工程关系式;(3)开展薄膜干涉实验,通过激光照射不同厚度薄膜观测反射光强衰减规律;(4)回归基础理论,布置雷达波段的单层涂层厚度计算任务。全流程贯穿“问题驱动-实验验证-工程反哺”的闭环设计,实现从光学原理到隐身技术的认知迁移。

1.3 工程系统型教学案例:相控阵雷达与光栅衍射

1.3.1 课程设计

以空警-2000 预警机为工程原型重构“光栅衍射”教学设计,聚焦光栅方程的工程映射。课程在讲授光栅方程后,通过预警机雷达扫描动画引发学生对 360°监测机制的思考。将相控阵雷达的单元阵列类比光栅多缝结构,推导相邻单元相位差公式,揭示波束方向调控的物理本质;当相位差满足整数倍关系时,阵列信号相干叠加形成主瓣。通过几何建模展示,训练其从物理公式到系统模型的

抽象能力。该案例使学生理解光的衍射理论的核心价值——从传统光栅的波长分光上升至雷达阵列的空间感知,培育复杂工程系统的设计思维。

1.3.2 教学实施路径

教学课件如图 3 所示,教学流程分四阶段推进:(1)在完成光栅方程的理论教学后,通过播放空警-2000 预警机雷达扫描动画创设工程情境,抛出核心问题“如何实现 360°无死角监测?”(2)公式迁移:将雷达阵列间距 d 类比光栅常数,电磁波波长映射至可见光波段,解析参数对应关系;(3)机理推导:基于波动叠加原理,推导相邻阵元相位差公式阐明相位差调控波束方向的物理规律;(4)工程建模:分析多波束合成条件最大化原理,探讨阵列信号干涉增强的数学本质。本案例全流程贯穿“问题驱动-模型建构-工程反哺”的闭环逻辑,实现从光栅衍射理论到预警机设计的工程系统思维。

1.4 科幻溯源型教学案例:引力弹弓与动量守恒

1.4.1 教学设计重构

基于《流浪地球》的星际航行构想,重构《动量守恒定律》的认知维度。课程在定律推导完成后,通过影片中地球借助木星引力的片段设问:“如何用物理定律实现地球搬家?”建立木星(质量 M)—地球(质量 m)二体模型,定量推导速度增量公式。结合旅行者 1 号轨迹数据,解析引力弹弓效应,并讨论质量悬殊时地球获得加速的工程意义。案例

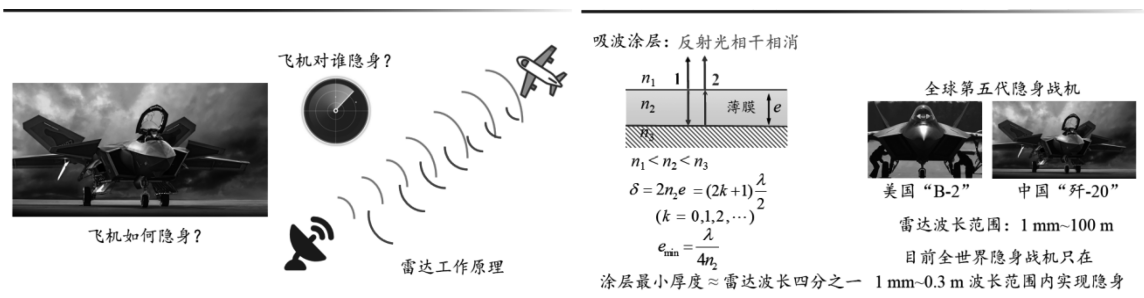


图 2 隐身涂层与薄膜干涉课件截图



图 3 相控阵雷达与光栅衍射课件截图

使学生在宇宙尺度下重新审视守恒定律,理解动量交换从微观粒子到宏观天体的统一性。该案例突破传统教学范畴,将科幻想象转化为可量化的物理模型,培育学生基于守恒定律的技术预见力与跨尺度建模能力。

1.4.2 教学实施路径

教学课件如图4所示,教学流程分五阶段闭环设计:(1)引入时机:在质点系动量守恒定律推导完成后,播放《流浪地球》加速片段,设问“如何用物理知识实现地球搬家?”(2)案例建模:建立木星-地球二体系统,推导速度增量公式,强调封闭系统总动量守恒;(3)极限推演:探讨 $M \gg m$ 时加速的物理本质,揭示引力助推效率最大化原理;(4)回归基础:完成从科幻想象到物理建模到科学实际的认知闭环。全流程贯穿“科幻情境-定律解析-航天实证”的逻辑链条,重塑守恒定律的工程价值认知。

2 教学效果

通过四个维度的教学案例实施,加深了学生对课程核心知识点的理解:光栅方程习题正确率从传统教学的65%提升至92%(提升27个百分点),薄膜干涉案例的涂层厚度计算准确率达到90%以上(较传统教学提升30%)。学生的实践创新能力也同步增强,两年累计孵化大学生创新项目35项(其中13项获北京市级奖项),采用本教案的试点班级在全国物理竞赛中的获奖率较未采用本教案的非试点班级高出20%。

教学创新成效体现在师生双重成长:学生学习主动性显著提升,课上学生与教师互动频次增加2.3倍,92%的学生反馈案例教学“激发了对物理学的研究兴趣”;同时,教师团队中78%的教师通过跨学科教研提升了工程问题的解析能力,教

师获市级教学竞赛奖项达到8人次。该案例体系凭借突出的实践效果,获评2024年北京市高等学校本科“优秀教案”。

3 结语

本研究从四个维度探索了新工科背景下大学物理教育的创新路径:第一,以前沿科技应用深化实践教学内涵;第二,以跨学科知识融合拓展学术视域;第三,以工程实践导向提升问题解决能力;第四,以科学幻想解构培育创新思维品质。教学实践表明,这种多维度创新不仅有效彰显了跨学科融合与创新能力培养的育人价值,更实现了大学物理课程的孵化作用,为新工科人才培养提供了具有推广价值的实施方案。

值得关注的是,教育数字化转型将重塑未来物理课堂形态。教师团队需要实现双重转变:在专业维度上,既要深入把握物理本质形成认知穿透力,又要培育技术预见与系统集成能力;在角色定位上,应从单一学科专家转型为具备产业视角的跨界架构师。建议通过产学研深度协同,构建动态更新的知识体系,使教学内容始终与科技前沿保持同步。当我们的课堂能够实现基础理论与工程实践的有效对话——例如在半导体器件教学中揭示薛定谔方程的工程价值,在移动通信课程中阐释麦克斯韦方程组的现代应用——这样的物理教育才能真正成为智能时代的创新策源地。

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国教育部. 新工科研究与实践项目指南[EB/OL]. 2017年6月12日. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/201707/t20170703_308464.html.
- [2] 贾瑜,王炜. 2023版《理工科类大学物理课程教学基本要求》内容细化修订解读[J]. 物理与工程, 2024, 34(1):3-10.

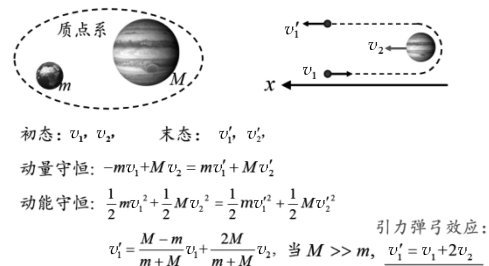
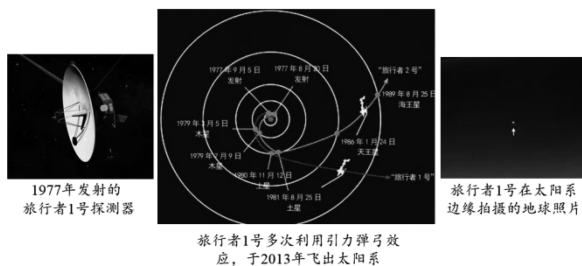


图4 引力弹弓与动量守恒课件截图

(下转第123页)

能会发生极其微小的弹性形变和振动,这会耗散一部分能量。同样,附加的砝码块与上尺之间、下尺与桌面之间虽然利用胶水、胶带等进行固定,但实验时仍可能存在微小的相对滑动或振动,二者之间并不是严格固定。此外,上尺在转动过程中受到的空气阻力也会导致能量的耗散。

4 结论

本文从转动惯量和几何关系入手,对两把刚性直尺间所夹的圆形射弹进行了详细的动力学分析,成功建立了一个描述刚性直尺与圆形射弹相互作用的耦合运动模型。本研究结合 Matlab 数值仿真与严谨的对照实验,系统性地探究了尺子长度 L 、钢球半径 R 、附加质量 m_2 和附加质量块位置 a 四个参量对射弹出射速度 v_f 的影响。实验结果显示:出射速度随尺子长度呈现“先减后增再减”的趋势,随射弹半径增大而单调递减,同时与附加物体质量及其到转轴的距离均表现出非单调的依赖关系。本实验所用的器材简单且操作简便,蕴含了丰富的力学原理,适合作为大学物理实验教学的拓展内容。

参 考 文 献

- [1] 沈航正,蔡卓凡,陶小平,等.基于张量方法探究导体球在线性梯度磁场中的运动[J].大学物理,2025,44(1):106-111.
SHEN H Z, CAI Z F, TAO X P, et al. Exploration of the motion of conduct sphere in a linear gradient magnetic field by the tensors method[J]. College Physics, 2025, 44(1): 106-111. (in Chinese)
- [2] 宋思盈,魏榕晟,张紫勃,等.摆动螺钉振幅的实验探究[J].大学物理实验,2024,37(5):7-12.
SONG S Y, WEI R S, ZHANG Z B, et al. Experimental investigation of oscillating screw amplitude[J]. Physical Experiment of College, 2024, 37(5): 7-12. (in Chinese)
- [3] 肖竹,谢佳伶,肖国梁,等.磁机械振荡器模型的弹簧片运动参数探究[J].大学物理实验,2024,37(5):44-53.
XIAO Z, XIE J L, XIAO G L, et al. Exploration of the spring sheet motion parameters of the magnetic mechanical oscillator models [J]. Physical Experiment of College, 2024, 37(5): 44-53. (in Chinese)
- [4] 成海英,孙慧,俞晓明.磁机械振荡器的拍振动研究[J].物理与工程,2024,34(5):168-174.
CHENG H Y, SUN H, YU X M. Study on beat vibrations of magnetic mechanical oscillators[J]. Physics and Engineering, 2024, 34(5): 168-174. (in Chinese)
- [5] 周胜坤,唐智行,李创业,等.电荷测量计[J].物理教师,2024,45(11):48-52.
ZHOU S K, TANG Z X, LI C Y, et al. Charge measuring instrument[J]. Physics Teacher, 2024, 45(11): 48-52. (in Chinese)
- [6] 龚凡准,侯吉旋,黎秋航,等.螺丝钉沿斜坡下滑时振幅增大现象的力学分析[J].物理与工程,2024,34(6):57-62.
GONG F Z, HOU J X, LI Q H, et al. Mechanical analysis of the phenomenon of amplitude increase when screws slide down a slope[J]. Physics and Engineering, 2024, 34(6): 57-62. (in Chinese)
- [7] 李明洋,成立贤,顾吉林.光盘上的“彩色线”传输特性理论分析与实验探究[J].物理与工程,2024,34(6):179-187.
LI M Y, CHENG L X, GU J L. Theoretical analysis and experimental exploration of the transmission characteristics of “Color Lines” on optical discs[J]. Physics and Engineering, 2024, 34(6): 179-187. (in Chinese)
- [8] 唐艳妮,李雪琴,何楚沅,等.基于 CUPT 模式的大学物理实验教学研究与探索[J].教育教学论坛,2025(25):97-100.
TANG Y N, LI X Q, HE C H, et al. Research and exploration of college physics experiment teaching based on the CUPT mode [J]. Education and Teaching Forum, 2025(25): 97-100. (in Chinese)
- [9] 陈靖.CUPT 实践教学中的思政内涵探索与实践[J].物理实验,2025,45(4):22-28,41.
CHEN J. Exploration and integration of ideological and political connotation in CUPT practical teaching[J]. Physics Experimentation, 2025, 45(4): 22-28, 41. (in Chinese)
- [10] 王珩,徐世峰,王利岩,等.以物理学术竞赛为依托培养高素质人才——以沈阳航空航天大学为例[J].大学物理实验,2020,33(3):118-121.
WANG H, XU S F, WANG L Y, et al. Cultivation of high-quality talent a based on China undergraduate physicists' tournament—Shenyang erospace university as an example [J]. Physical Experiment of College, 2020, 33(3): 118-121. (in Chinese)