

基于 HTML5 技术的大学物理实验认知困难节点解决方案研究与应用

白洪亮 王淑芬 关放 吴兴伟 李会杏 李建东 于杰 李雪春 李淑凤 王译

(大连理工大学物理学院, 辽宁 大连 116024)

摘要 针对大学物理实验课程中规模化教学与深度学习目标难以兼顾的困境, 本研究秉持“以学生发展为中心”的理念, 深度融合认知困难图谱与轻量化 H5 交互技术, 构建了三维突破路径: (1) 认知降维: 开发 60 余个针对物理认知节点的 H5 微仿真案例, 将抽象物理过程转化为可交互的动态模型, 并支持脚本级编程控制, 实现从被动观察到主动创造的转变; (2) 教学重构: 创建 H5 全数字讲义与“纸质+数字”混合实验报告, 通过动态生成差异化任务, 驱动教学重心从操作技能训练向科学思维培养转型; (3) 生态升级: 搭建云端智能平台, 形成“资源—应用—数据”闭环的教学生态, 有效突破了传统实验教学的时空限制。

关键词 大学物理实验; H5 技术; 认知困难; 交互式学习

DOI: 10.27024/j.wlygc.2026.03.01.01

RESEARCH AND APPLICATION OF SOLUTIONS FOR COGNITIVE DIFFICULTY NODES IN UNIVERSITY PHYSICS EXPERIMENTS BASED ON HTML5 TECHNOLOGY

BAI Hongliang WANG Shufen GUAN Fang WU Xingwei LI Huixing LI Jiandong YU Jie
LI Xuechun LI Shufeng WANG Yi

(School of Physics, Dalian University of Technology, Dalian, Liaoning 116024)

Abstract In response to the challenge of balancing large-scale instruction with the goal of deep learning in university physics laboratory courses, this study, grounded in a “student-centered development” philosophy, integrates cognitive difficulty maps with lightweight HTML5 interactive technology. A three-dimensional breakthrough path has been constructed: (1) Cognitive Dimensionality Reduction: Over 60 HTML5 micro-simulation cases targeting specific cognitive nodes have been developed. These transform abstract physical processes into interactive dynamic models and enable script-level control, shifting students from passive observation to active creation. (2) Instructional Reconstruction: Fully digital HTML5 teaching materials and a “paper + digital” hybrid laboratory report system have been created. By dynamically generating differentiated tasks, this approach shifts the teaching focus from operational skill training to the cultivation of scientific thinking. (3) Ecological Upgrading: A cloud-based intelligent platform has been established, forming a closed-loop “resources-application-data” ecosystem that

收稿日期: 2026-03-01; 修回日期: 2026-03-01; 出版日期: 2026-03-30

基金项目: 教育部高等学校大学物理课程教学指导委员会 2022 年立项的优秀结题研究项目。

通信作者: 白洪亮, hlbai@dlut.edu.cn。

引文格式: 白洪亮, 王淑芬, 关放, 等. 基于 HTML5 技术的大学物理实验认知困难节点解决方案研究与应用[J]. 物理与工程, 2026, 36(2): 92-100.

Cite this article: BAI H L, WANG S F, GUAN F, et al. Research and application of solutions for cognitive difficulty nodes in university physics experiments based on HTML5 technology[J]. Physics and Engineering, 2026, 36(2): 92-100. (in Chinese)

effectively overcomes the spatiotemporal constraints of traditional experimental teaching.

Key words university physics experiments; HTML5 technology; cognitive difficulty; interactive learning

大学物理实验是物理学习的入门和基础环节,通常在本科中低年级开设,旨在为学生后续的专业实验奠定操作技能和科学思维基础。理想的物理实验教学,应通过具象化抽象理论、解构科学发现历程,让学生在“假设—证伪—重构”的循环中掌握科学方法论,最终形成“观察→建模→验证→迭代”的科研思维范式,实现从具象到抽象的认知跃迁。然而,由于选课规模大、涉及学生多,大学物理实验课程常被迫采用“流水线”式教学模式。这种模式虽有效解决了资源受限与大班教学的效率问题,但难以支持规模化、深层次的个性化学习。因此,平衡教学效率与深度学习目标之间的矛盾,始终是大学物理实验课程改革的核心。

《2023年版理工科类大学物理实验课程教学基本要求》^[1](以下简称《要求》)为大学物理实验课程的分层次教学指明了改革方向与实施标准。实践表明,多数学生能够达成《要求》设定的基础性目标,但在追求提升与进阶要求时,不少学生表现出明显的认知困难,主要体现在两个方面:(1)内容认知困难:课程涉及的物理概念高度抽象,实验现象背后的微观机制与多维空间相互作用复杂,导致学生认知负荷过载,理解深度受限;(2)学习环境压力:繁重的学业负担导致学生时间与精力分配紧张,在高压环境下易倾向于“完成任务”而非深入思考,从而压缩了知识消化吸收的空间。

为破解上述难题,各类数字化资源(如虚拟仿真、教学视频、AI助手及数字教材等)应运而生,并取得了显著成效。然而,从课程整体角度看,仍存在一些结构性瓶颈:(1)交互深度不足:许多数字资源虽支持参数调节,但整体上仍偏向预设条件下的“单向演示”,缺乏支持学生自主探究、构建因果模型的深度交互功能。(2)平台兼容性与普及性受限:物理实验课程兼具标准化与个性化特征。商业化智慧教学平台功能丰富,却难以完美匹配实验课程的个性化教学需求;而能满足物理实验教学特定需求的工具,往往存在软硬件门槛,难以实现跨平台的无缝访问与规模化普及。(3)开发与维护成本高昂:高质量数智资源的定制

开发需要投入大量专业技术力量与资金,且后续更新迭代困难。(4)宏观平台资源的“粒度失配”:国家级线上教育平台在推动资源共享方面成效显著,但其资源架构主要面向宏观课程或完整实验项目,缺乏对微观认知节点(如特定概念迷思、空间建模障碍、数据处理误区)的精准识别与靶向干预能力,难以根据个体学生的实时认知状态提供动态反馈与适应性支持。

HTML5(以下简称H5)技术以其卓越的跨平台兼容性(无须插件,多终端访问)、强大的动态可视化能力(基于Canvas/SVG的高性能图形渲染)、丰富的开源资源库以及相对较低的技术开发门槛,为解决上述瓶颈提供了理想的工具支撑,并在实践中得到充分验证^[2-12]。例如,美国PhET互动仿真项目中基于H5技术开发的“曲线拟合”模块,通过允许学生实时调节参数并观察模型响应,显著深化了他们对数据拟合方法的理解。在国内,清华大学-原力超导开发的NuSEP系统以及上海交通大学主导的《大学物理模拟》项目,也充分展现了H5技术在物理现象可视化及交互式学习体验方面的显著优势。

围绕大学物理实验课程中存在的“认知堵点”,我们利用H5技术陆续开发了网络基础课程平台、物理仿真微案例、全数字讲义及“数字+纸质”混合式物理实验报告,积极探索并实践了破解教学难题的有效路径。

1 H5物理实验教学云平台

基于H5、Node.js及网络服务器技术,我们搭建了前后端协同的物理实验教学云平台。在架构设计上,平台以轻量化、跨平台、强交互为核心原则,致力于在不同终端上提供一致且流畅的用户体验,以增强使用黏性。在功能实现上,平台充分发挥H5技术优势:前端利用Canvas/WebGL进行二维和三维动态渲染与可视化交互;后端通过Node.js驱动各类库函数,处理复杂任务请求并进行数据管理。表1展示了平台集成的主要开源库及其应用场景。

表 1 平台使用的部分开源库函数

名称	类型	特点和应用场景
Matter.js	2D 物理引擎	轻量级、易用,支持刚体物理、碰撞检测、重力模拟,适用于经典力学实验仿真
Math.js	数学计算库	支持矩阵运算、单位换算、复杂公式解析,适用于数据处理与公式可视化
Three.js	3D 渲染+物理	集成 Cannon.js/Ammo.js,可创建三维物理世界,适用于空间干涉、光学路径等仿真
P5.js	2D/3D 创意绘图	学习曲线平缓,功能覆盖全面,生态活跃,适用于快速原型开发和艺术化科学可视化
SciPy.js	科学计算库	提供数值积分、微分方程求解、优化算法,适用于复杂物理过程的数值仿真
Bootstrap	前端框架	用于响应式页面设计与布局管理,确保多终端适配
KaTeX.js	公式渲染库	基于 TeX 语法,实现高效的数学公式渲染,适用于技术文档和在线讲义

为兼顾创新探索与教学稳定性,我们分别搭建了两个实验教学云平台:一个作为试验平台,用于探索新技术、新功能,保持开放性与前瞻性;另一个作为公开教学平台,在原有网站基础上改造而成,审慎引入经试验平台验证的成熟案例与功能,技术选型更为保守,系统运行稳定,用于支撑日常的整体教学。

2 H5 物理微仿真

我们持续开发了一系列基于 H5 技术的交互式物理仿真案例。这些案例紧密围绕实验教学中学生最难理解、教师最难讲授的理论与实践认知难点进行构建。每个案例力求聚焦一个核心物理概念、一个关键实验现象或一类典型问题的解决过程,通过高度可控的动态模拟、可视化参数交互与即时反馈机制,将抽象的公式、瞬变的微观过程或复杂的空间分布,转化为直观、可操作的动态演示。以下是几个典型案例:

(1) 硅光电池输出特性仿真(图 1):基于硅光电池的物理等效模型,该仿真支持动态调节负载电阻、光照强度、温度及饱和电流等参数,直观揭示了短路电流、开路电压、最大输出功率等关键指

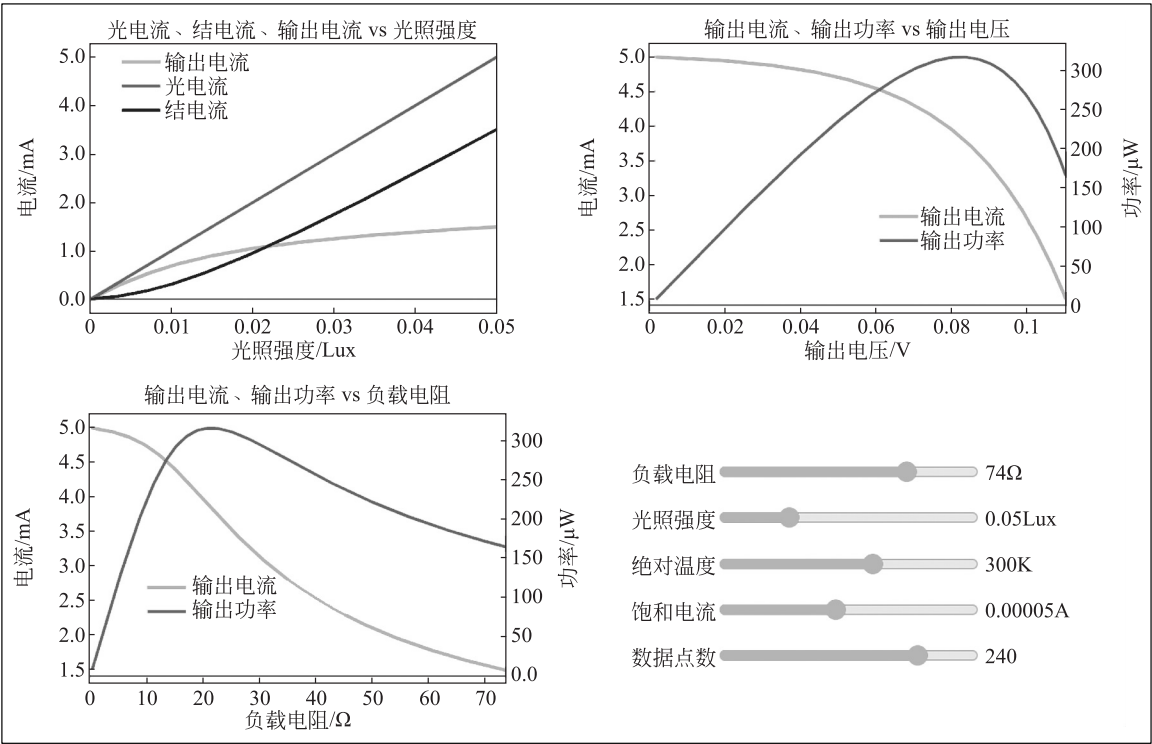


图 1 硅光电池输出特性仿真案例

标的决定因素与影响规律,有助于学生理解非线性电子元件的特性。

(2) 相控阵雷达原理演示仿真(图 2):该案例通过模拟波束形成与相位干涉的核心原理,生动展示了相控阵雷达如何通过电子扫描实现波束指向控制。此案例不仅加深了学生对于干涉原理的理解,还将基础物理知识与国防科技前沿(如 J-20 战机、预警雷达网)和民用技术(气象、安防)相联系,有助于引导学生关注国家战略需求,增强科技报

国的使命感。

(3) 薄膜孤岛智能标定系统(图 3):该系统面向科研需求开发,是将教学资源开发中积累的核心技术向科研领域转化的典型案例。它针对撕裂法制备样品过程中的薄膜碎片,实现了快速定位与精准测量,有效解决了传统人工计量效率低下、误差较大的痛点。基于 H5 技术构建并通过云平台分发,该系统支持多用户并发使用,实现了科研级测量工具的轻量化、普适化应用。

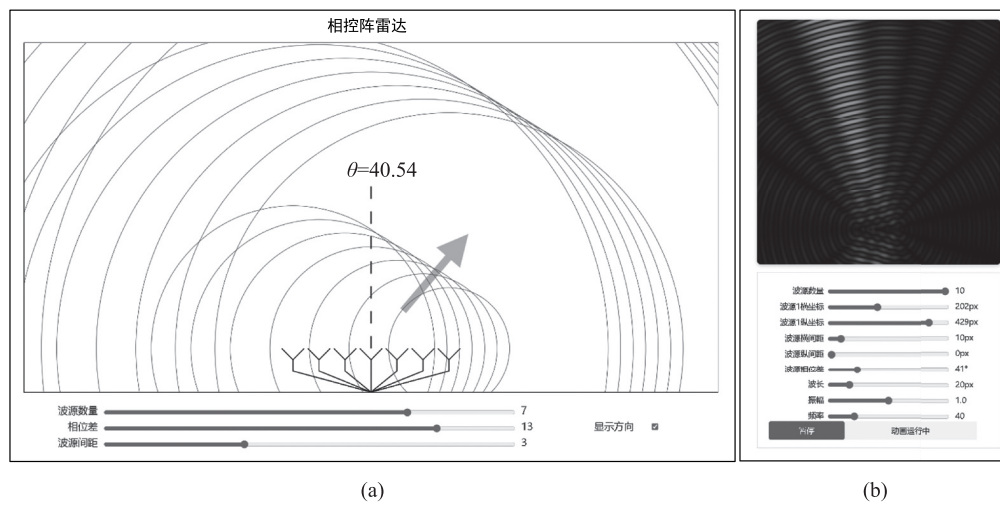


图 2 相控阵雷达原理仿真
(a) 波前合成与波束指向控制; (b) 多波源干涉波前强度分布



图 3 基于 H5 技术的薄膜孤岛智能标定系统

为进一步提升仿真案例的开放性与探究性,我们在平台中集成了在线可编程代码编辑器。学生可通过编写或修改 JavaScript 脚本,直接调控物理模型的参数与算法逻辑,实现“参数调整→代码修改→实时渲染”的秒级闭环交互。该模式突破了传统仿真的“黑箱”局限,将被动观察转化为基于脚本的创造实践,有效激发了学生的学习主动性与创新潜能。图 4 展示了利用该编辑器实现的两个案例,分别呈现了二维波的叠加与三维振动的合成效果。

3 H5 全数字讲义与实验报告

H5 全数字讲义是对传统纸质及“纸质+数

字”混合讲义的进一步升级。混合式教材虽能灵活引入数字资源,但数字资源往往仅嵌套其中,未能深度融入教学过程,教学潜能未得到充分发挥。为充分发挥 H5 微仿真案例的教学价值,我们将其系统化地嵌入两大核心教学载体:H5 全数字讲义与智能型数字实验报告。

依托 H5 技术在网络平台构建、数据管理、计算模拟与可视化等方面的综合优势,我们对传统讲义进行了全数字化改造。基于统一的 H5 技术栈,我们将微仿真案例、信息管理系统、交互模块等深度融合于数字讲义中,实现了数字资源与文本内容的有机统一。这种深度融合不仅提升了资源的可访问性与互动性,更构建了一个具备强大可扩展性与可持续性的教学基座。图 5 展示了数

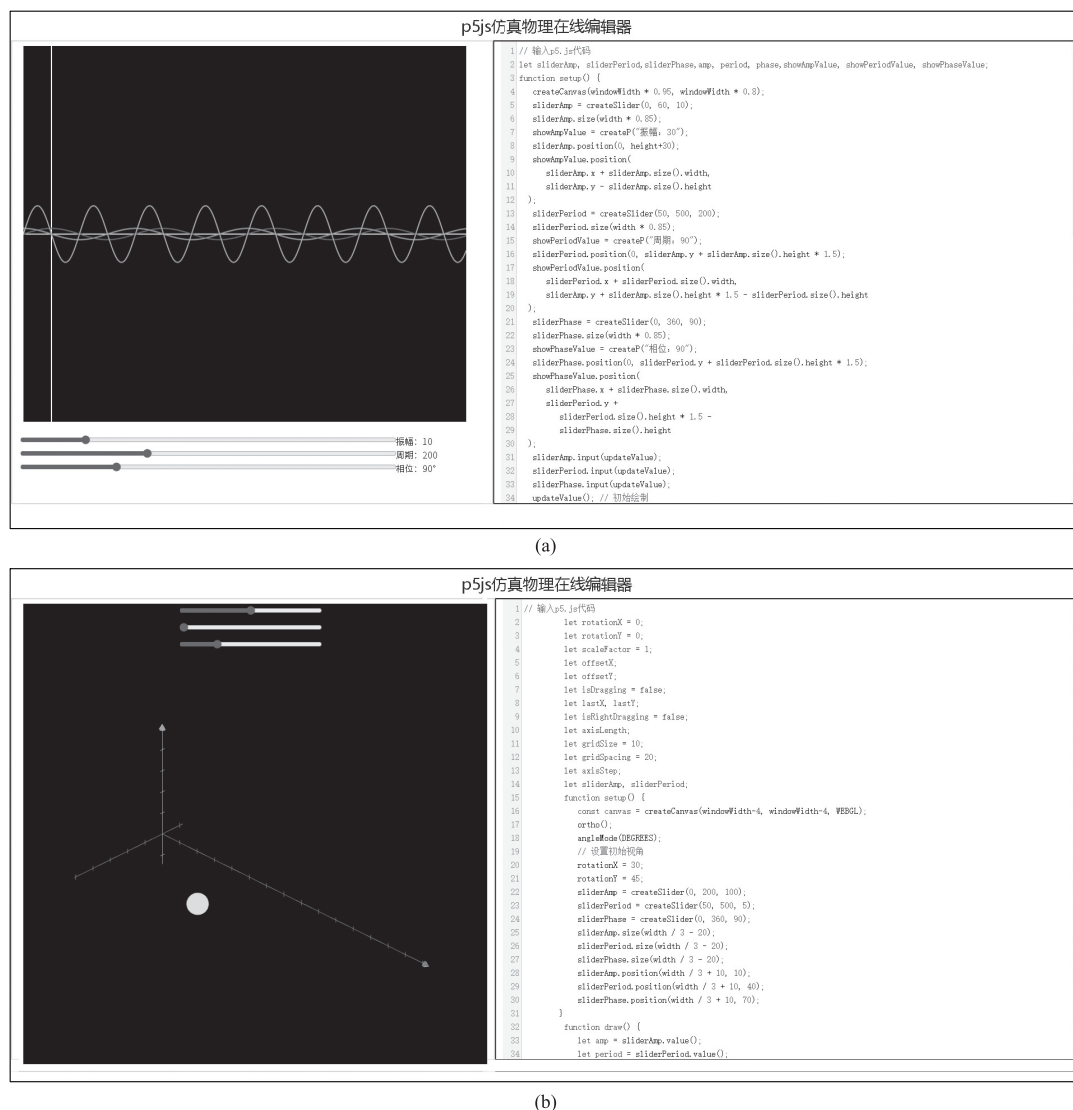
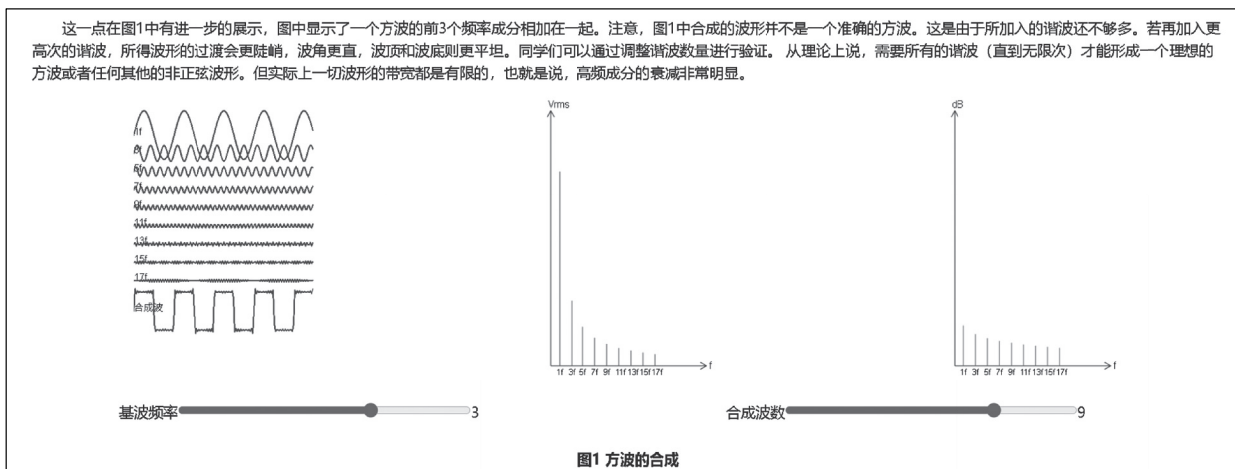
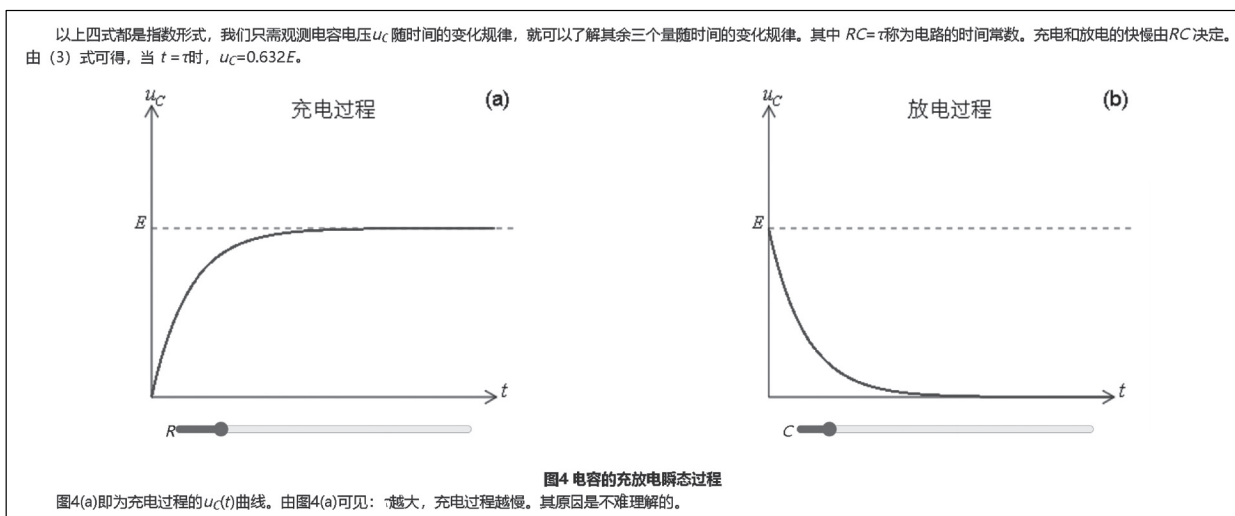


图 4 在线物理仿真编辑器案例
(a) 波的相乘; (b) 三维空间中振动合成



(a)



(b)

图5 数字示波器实验 H5 全数字讲义

(a) 动态演示傅里叶变换现象; (b) 动态展示电容充放电规律

字示波器实验全数字讲义的界面,其中嵌入了傅里叶变换的动态演示和电容充放电过程的可视化模拟,使抽象概念变得直观可感。

配合全数字讲义的推广,我们同步设计了“纸质+数字”混合式实验报告。该模式兼顾了可靠性、可操作性与智能化需求:

纸质部分:充分发挥传统纸质报告在调动学生多感官协同操作方面的优势,主要用于完成基础性、规范性任务的考核(对标《要求》中的基础目标)。

数字部分:聚焦于能力提升与思维进阶。系统可动态生成差异化的初始实验条件与测试题目,实现数据的自动采集、处理与评测。这不仅大

幅减轻了教师的评阅负担,更通过标准化与随机化机制提升了考核的公平性,有效遏制了实验报告的同质化与抄袭现象。图6、图7分别展示了几何光学实验和数字示波器实验的数字报告界面截图。

4 实践成效

我们选取信息化素养较高、对编程有基础需求的集成电路、软件工程等专业作为试点,开展了H5微仿真、全数字讲义及混合式实验报告的应用实践。表2和表3分别列出了已完成数字化改造的实验项目。

表1 测量光学元件偏轴距离 (保持物像距不变)

	单位	1	2	3	平均值
x_1	单位▼				
x_2	单位▼				
$\Delta d_{\text{圆字形物屏}}$	单位▼				
x_1	单位▼				
x_2	单位▼				
$\Delta d_{\text{箭头形物屏}}$	单位▼				
x_1	单位▼				
x_2	单位▼				
$\Delta d_{\text{焦距待测凸透镜}}$	单位▼				

保存

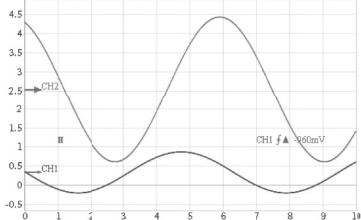
提交

图 6 几何光学实验数字报告

实验内容4 练一练

通过前三部分的学习，你是否对示波器的使用有了基本的了解，通过下面这个题目练一练吧。

刷新



用示波器测量两个待测信号，测量界面如上图所示，则从图中可以看出：

表5 综合练习

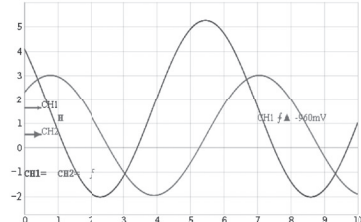
	CH1	CH2
耦合方式		
Vpp		
频率		
触发方式		
触发电平		

(a)

实验内容4 练一练

通过前三部分的学习，你是否对示波器的使用有了基本的了解，通过下面这个题目练一练吧。

刷新



用示波器测量两个待测信号，测量界面如上图所示，则从图中可以看出：

表5 综合练习

	CH1	CH2
耦合方式		
Vpp		
频率		
触发方式		
触发电平		

(b)

图 7 随机生成的差异化数字示波器报告模板

(a) 学生 a 的数字报告模板；(b) 学生 b 的数字报告模板

表 2 全数字讲义清单

序号	项目名称
1	误差分析
2	数字示波器、函数信号发生器的原理和应用(上、下)
3	动态法测量磁化曲线实验
4	几何光学实验
5	偏振光实验
6	迈克尔逊干涉实验
7	分光计实验
8	等厚干涉
9	光电效应实验
10	光纤综合实验

表 3 “纸质+数字”混合式实验报告清单

序号	项目名称
1	数字示波器实验 A
2	数字示波器实验 B
3	几何光学实验
4	偏振光实验
5	动态法测量磁化曲线实验
6	光纤综合实验

教学实践表明,深度融合现代技术的课程资源有效激发了学生的学习兴趣与探究精神,尤其对因校区分散导致的实验资源不足问题起到了显著的缓解作用。在相控阵雷达仿真、薄膜孤岛识别等项目的开发与迭代中,参与学生均做出了重要贡献。依托这些项目成果,学生团队在全国及省级计算机设计大赛、大学生物理竞赛中屡获佳绩,并成功登记多项软件著作权。基于上述成果,项目团队荣获 2024 年辽宁省高校教师教学创新大赛二等奖。

5 结语

本研究坚守“以学生发展为中心”的教育理念,精准锚定大学物理实验课程中的认知困难节点,将认知图谱的导航作用与轻量化 H5 交互技术的赋能优势深度融合,系统构建了“认知降维—教学重构—生态升级”的三维突破路径。通过靶向开发 60 余个可交互、可编程的 H5 微仿真案

例,我们将高度抽象的物理过程转化为直观可视的动态模型,有效降低了学生的认知门槛;通过建设 H5 全数字讲义与“纸质+数字”混合式实验报告,实现了教学重心从操作技能训练向科学思维培养的转型;通过搭建云端智能平台,初步形成了“资源—应用—数据”闭环的智慧教学生态,为破解规模化教学中效率与深度难以兼顾的固有矛盾提供了可行方案。

当前,项目在技术实现、知识整合与工程化应用层面仍面临诸多挑战,现有成果尚需在更广泛的教学实践中持续优化与迭代。面向未来,项目团队将秉持技术自主与教学创新双轮驱动的原则,紧扣学生发展需求与教学实际,深化 H5 技术与人工智能、学习分析等前沿方向的融合探索,推动物理实验教学资源从“可用”向“好用”“慧用”迈进。

参 考 文 献

- [1] 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.
Compiled by the Steering Committee for College Physics Instruction of Higher Education Institutions, Ministry of Education. Basic Requirements for University Physics Course Teaching in Science and Engineering & Basic Requirements for University Physics Experiment Course Teaching in Science and Engineering (2023 Edition). Beijing: Higher Education Press, 2023. (in Chinese)
- [2] 邵长金,周广刚,杨振清,等. 从 PhET 看国内高校物理虚拟仿真实验教学项目建设[J]. 大学物理实验, 2019, 32(5): 118-122.
SHAO C J, ZHOU G G, YANG Z Q, et al. Looking at the construction of physical virtual simulation experiment teaching project in domestic universities from PhET[J]. College Physics Experiment, 2019, 32(5): 118-122. (in Chinese)
- [3] 顾晨,张留碗,魏斌,等. 清华大学 H5 数值仿真物理实验建设[J]. 物理与工程, 2022, 32(4): 125-130.
GU C, ZHANG L W, WEI B, et al. Construction of H5 numerical simulation experiment of physics in Tsinghua University[J]. Physics and Engineering, 2022, 32(4): 125-130. (in Chinese)
- [4] 宋洪晓,张琦玮,刘建强. 基于 HTML5 技术的物理动画开发与应用[J]. 大学物理, 2021, 40(7): 51-54.
SONG H X, ZHANG Q W, LIU J Q. Development and application of physics animation based on HTML5 technology [J]. College Physics, 2021, 40(7): 51-54. (in Chinese)

- [5] 宋洪晓,徐建强,韩广兵.物理实验课堂教学与手机动画技术的融合实践:以迈克耳孙干涉实验为例[J].物理实验,2022,42(4):41-46.
SONG H X, XU J Q, HAN G B. Practice of integrating physics experimentation classroom teaching and mobile telephone animation technology: Taking the Michelson interference experiment as an example[J]. Physics Experimentation, 2022, 42(4): 41-46. (in Chinese)
- [6] 闫慧仙,吴天刚,王祖源.基于HTML5Canvas的跨平台物理模型构建[J].物理与工程,2014,(S1):19-20.
YAN H X, WU T G, WANG Z Y. Cross-platform physics model construction based on HTML5 Canvas[J]. Physics and Engineering, 2014, (S1): 19-20. (in Chinese)
- [7] 白亮,马成举.基于微信结合H5技术的大学物理实验教学创新研究[J].大学物理,2019,38(12):40-43.
BAI L, MA C J. Research on teaching innovation of university physics experiment based on WeChat combined with H5 technology[J]. College Physics, 2019, 38(12): 40-43. (in Chinese)
- [8] 饶益花,管亮,唐益群,等.基于组件开发及动画技术的快速电子动量与动能的相对论关系虚拟仿真实验[J].物理实验,2020,40(1):30-34.
RAO Y H, GUAN L, TANG Y Q, et al. Virtual simulation experiment of relativistic relationship between electron momentum and kinetic energy based on component development and animation technology[J]. Physics Experimentation, 2020, 40(1): 30-34. (in Chinese)
- [9] 关丽,郭颖楠,王凤和.物理类新形态教材建设现状与思考[J].物理通报,2024(8):156-159.
GUAN L, GUO Y N, WANG F H. Current situation and reflection on the construction of new form textbooks in physics[J]. Physics Bulletin, 2024(8): 156-159. (in Chinese)
- [10] 杨虎威.交互式电子教材测验机制的研究与实现[D].湖北武汉:华中师范大学,2016.
YANG H W. Research and implementation of testing mechanism in interactive electronic textbooks[D]. Wuhan, Hubei: Central China Normal University, 2016. (in Chinese)
- [11] 周燕霞,闫晓勇.“互联网+教育”时代新形态课程教学资源的建设与应用[J].高教学刊,2022,8(6):57-60.
ZHOU Y X, YAN X Y. Construction and application of teaching resources for new form of curriculum in the era of “Internet + Education”[J]. Journal of Higher Education, 2022, 8(6): 57-60. (in Chinese)
- [12] 王希光,傅林,成禹,等.融入HTML5的数值仿真在光学教学中的应用研究[J].大学物理,2025,44(3):64-69.
WANG X G, FU L, CHENG Y, et al. Research on the application of numerical simulation integrated with HTML5 in optics teaching[J]. College Physics, 2025, 44(3): 64-69. (in Chinese)

(上接第91页)

- JIANG B G, CHEN Y, LIN W F, et al. Thinking on the application of MATLAB simulation in laser principle teaching[J]. Journal of Changsha University, 2019, 33(5):17-20. (in Chinese)
- [2] 李伦,龚马利,刘兴占,等. MATLAB用于激光光束质量分析[J].激光技术,2000,24(6):405-408.
LI L, GONG M L, LIU X Z, et al. A software for laser beam analysis[J]. Laser Technology, 2000, 24(6): 405-408. (in Chinese)
- [3] 王玉杰,李武军,李恩琪.方形镜对称共焦腔激光模式的数值模拟研究[J].河南科技,2021(6):42-46.
WANG Y J, LI W J, LI E Q. Numerical simulation research on laser mode of square mirror symmetrical confocal cavity[J]. Henan Science and Technology, 2021(6): 42-46. (in Chinese)
- [4] 殷建玲,敖志伟,沈学举,等.基于MATLAB GUI的激光原理仿真[J].教育教学论坛,2017(36):275-276.
YIN J L, AO Z W, SHEN X J, et al. Simulation of laser principle based on MATLAB GUI[J]. Education Teaching Forum, 2017(36): 275-276. (in Chinese)
- [5] 毛少娟,陈玉丹,殷建玲.基于MATLAB的物理光学仿真[J].教育教学论坛,2016(44):100-102.
MAO S J, CHEN Y D, YIN J L. Physical optics simulation based on MATLAB[J]. Education Teaching Forum, 2016(44): 100-102. (in Chinese)
- [6] 王晓峰,康冬丽,树俊波,等.激光形成过程和谐振腔自再现模的数值分析[J].大学物理,2011,30(11):10-14.
WANG X F, KANG D L, SHU J B, et al. Numerical simulation of the laser formation and self-reproducing in optical oscillator[J]. College Physics, 2011, 30(11): 10-14. (in Chinese)
- [7] 李文材.激光原理及应用课程教学与MATLAB仿真结合的探索[J].办公自动化,2025(3):46-49.
LI W C. Exploration of integrating MATLAB simulation with the teaching of the course(Laser Principles and Applications)[J]. Office Informatization, 2025(3): 46-49. (in Chinese)
- [8] 李适民.激光器件原理与设计[M].北京:国防工业出版社,1998:158-175.
LI S M. Principle and design of laser device[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1998: 158-175. (in Chinese)
- [9] 周炳琨.激光原理[M].7版.北京:国防工业出版社,2017:227-230.
ZHOU B K. The Principle of Laser[M]. 7th ed. Beijing: National Defense Industry Press, 2017: 227-230. (in Chinese)