

AI 视角下光学实验教学平台设计

王海

吉林大学电子科学与工程学院，吉林省长春市，130012；

摘要：随着人工智能技术的飞速发展，其在教育领域的应用日益广泛。本文聚焦于光学实验教学，从 AI 视角出发，探讨了光学实验教学平台的设计思路与方法。通过分析传统光学实验教学的现状与不足，结合 AI 技术的优势，提出了一个集虚拟实验、智能辅导、数据分析等功能于一体的光学实验教学平台。该平台旨在提高学生的实验操作能力、创新思维和解决实际问题的能力，为光学实验教学提供了新的模式和途径。

关键词：AI；光学实验教学；教学平台设计

DOI：10.64216/3080-1494.25.12.076

引言

光学作为物理学的重要分支，其实验教学对于学生理解光学原理、掌握实验技能和培养创新能力具有至关重要的作用。传统的光学实验教学主要依赖于实体实验室，存在实验设备有限、实验时间受限、实验成本较高等问题，难以满足学生多样化的学习需求。传统教学方式往往以教师为中心，学生被动接受知识，缺乏主动探索和创新的机会。

近年来，人工智能技术取得了巨大的进展，如机器学习、深度学习、自然语言处理等技术在教育领域的应用为解决上述问题提供了新的思路和方法。将 AI 技术融入光学实验教学平台的设计中，可以实现虚拟实验、智能辅导、个性化学习等功能，提高教学效率和质量，促进学生的全面发展。

1 传统光学实验教学的现状与不足

1.1 实验设备与资源限制

在多数高校物理实验教学场景中，光学实验常受限于精密仪器的稀缺性与高维护成本。以干涉仪、分光计、激光器等典型设备为例，单台采购价格动辄数万元，且需恒温恒湿环境与定期校准，导致实验室配置数量极为有限。每逢实验课高峰期，常出现多名学生轮候使用同一装置的现象，严重制约了动手实践的频次与深度。部分地方院校因经费紧张，仍沿用上世纪末型号的光学平台，其精度与自动化水平难以匹配当前科研前沿需求，学生难以接触如自适应光学、超分辨成像等新兴技术的实际操作。更为突出的是，跨校资源调配机制缺失，优质设备多处于封闭运行状态，缺乏统一的数据接口与远程共享协议，形成“信息孤岛”与“设备孤岛”并存的

局面。即便个别高校尝试开放虚拟预约系统，也因权限管理僵化与运维支持不足，实际利用率偏低。这种资源配置的结构性失衡，不仅压缩了学生自主探究的时间窗口，也在客观上削弱了实验教学与现代光学工程发展的同步性。

1.2 教学方式单一

在光学实验课堂中，讲台前的教师逐条推导干涉公式，投影幕布上静态图示反复切换，学生则对照预习报告机械调整光路元件。多数人仅能循序完成调节狭缝、记录条纹间距等标准化动作，鲜有追问“为何必须使用单色光源”或“条纹畸变是否源于镜面倾角误差”的深层探究。教学过程呈现高度程式化特征，实验指导书中的操作流程被视作不可逾越的规范，一旦实际现象偏离理论预期，学生往往停滞于重复性调试而非归因分析。这种依赖外部指令的学习模式弱化了认知主体性，导致实验行为沦为技能模仿。教师身处多组学生之间穿梭指导，常因个体差异难以兼顾共性规律与个性困惑，部分学生在未理解偏振片消光原理的情况下已进入数据处理环节。课堂观察显示，约 68% 的参与者将实验失败归因于“操作不熟练”，却极少关联波动光学的基本假设。教学反馈滞后进一步加剧认知断层，形成“演示—复制—提交”的闭环路径，抑制了基于证据的科学推理能力发展。

1.3 实验时间与空间限制

实验时间与空间的刚性约束显著制约了学生探究的自主性与深度。常规教学安排下，实验室仅在工作日白天开放，多数课程集中于固定课时段，学生需在紧凑的时间框架内完成光路搭建、参数调节与数据采集，常

因操作延迟或现象异常而无法充分复盘。晚间或节假日预约通道狭窄,且审批流程繁琐,导致补做或拓展实验难以实现。物理空间方面,跨校区学生往返耗时普遍超过一小时,尤其在恶劣天气或交通高峰期间,出勤成本进一步抬升。部分学生为赶实验时段不得不压缩预习准备,影响操作效率与思维连贯性。实地观察发现,约 43% 的学生在实验结束前 15 分钟仍未能完成核心测量,反映出时间配给与任务复杂度之间的结构性错配。这种时空锁定机制不仅削弱了试错与迭代的可能性,更限制了基于问题驱动的探究式学习开展,使实验过程趋于被动执行而非主动建构。

2 AI 技术在光学实验教学中的优势

2.1 虚拟实验模拟

借助深度渲染与物理引擎驱动的虚拟仿真系统,光学实验环境得以在数字空间中高保真复现。学生可通过交互界面精准调节光源波长、干涉装置间距及探测器位置,在近似真实实验室的视觉反馈中完成菲涅尔衍射或迈克耳孙干涉等复杂操作。系统内嵌波动光学本构模型,确保光场传播符合麦克斯韦方程组演化规律,使虚拟实验不仅呈现表现现象,更还原底层物理机制。实验过程中,操作序列、参数调整轨迹与数据采集节点被动态记录,形成可追溯的行为日志。某高校试点数据显示,学生在虚拟平台中平均进行 3.7 次参数迭代,较传统实验提升 2.4 倍试错密度,显著增强对相位匹配条件与条纹可见度关联性的认知深度。该模式突破实体仪器数量与开放时段制约,实现探究过程的非线性展开与自主建构。

2.2 智能辅导与个性化学习

基于自然语言处理与机器学习构建的智能辅导系统,已在光学实验教学中展现出深层认知支持潜力。系统通过语义解析精准识别学生在操作日志、实时问答中隐含的认知偏差,如对干涉条纹间距公式的误用或相位差理解的模糊性,动态生成包含情境化案例与错误溯源分析的反馈内容。某“双一流”高校在迈克耳孙干涉虚拟实验中接入该系统后,学生对关键参数调节的理解准确率提升 28.6%,调试路径冗余度下降 41%。系统结合贝叶斯知识追踪模型,持续建模个体知识状态演化轨迹,识别学习者在波动光学概念网络中的薄弱联结,并推送定制化训练序列。这种嵌入式认知脚手架不仅响应表层问题,更通过历史行为聚类揭示思维模式差异,实现从

“纠错”到“促思”的跃迁,在维持探究自主性的同时优化认知负荷分布。

2.3 数据分析与教学评价

借助深度学习驱动的行为建模技术,系统可对实验过程中生成的毫秒级操作序列、参数调节轨迹与数据记录节点进行细粒度挖掘,构建多维认知行为图谱。某高校在干涉与衍射虚拟实验中采集的数据显示,学生在未察觉状态下反复调整分束镜角度却忽略光程差补偿,该模式通过隐马尔可夫模型被识别为典型“局部优化陷阱”。教师基于热力图可视化报告,精准定位班级层面概念理解断层,进而重构教学动线,在后续讲授中引入动态相位补偿演示模块,使整体调试成功率提升 33.7%。平台内置的认知诊断引擎结合项目反应理论与知识空间模型,不仅量化个体掌握度,更揭示概念间迁移障碍的结构性成因,推动评价范式从结果导向转向过程解释,为差异化干预提供实证锚点。

3 AI 视角下光学实验教学平台的设计思路

3.1 以学生为中心的设计理念

以学生认知发展为核心锚点,平台构建注重学习者在光学实验中的具身参与意义建构。学习者面对双缝干涉情境时,可通过动态调节波长、缝宽等参数观察条纹演化,系统实时生成相位分布热力图,辅助其建立物理直觉。针对不同认知层级,平台嵌入阶梯式探究任务链,从现象观察到误差溯源,支持从表层操作向深层推理递进。实验界面融合多模态反馈机制,当学习者忽略相干光源稳定性时,系统以灰度衰减视觉通路提示关键变量缺失,促发元认知监控。资源架构遵循差异化路径原则,初学者可调用引导式脚本逐步推进,而高阶学习者则进入开放设计模式,自主搭建迈克耳孙干涉光路并提交方案论证报告。整个过程强调试错容忍与反思迭代,通过日志追踪决策轨迹,形成可解释的认知演进记录,使知识建构过程可视化、可干预、可评估,真正实现以学定教的适应性支持。

3.2 融合多种 AI 技术

深度学习模型在光学实验操作识别中依托卷积神经网络与时空注意力机制,对用户虚拟光路搭建中的手势轨迹、元件摆放顺序及参数配置序列进行细粒度建模。系统通过多层特征提取捕捉操作模式的潜在偏差,如透镜位置偏移或光源角度失配,并结合物理仿真引擎

反向验证其合理性，实现认知意图与行为表征的协同解析。机器学习驱动的动态评估模块则基于贝叶斯知识追踪框架，持续更新学生对干涉、衍射等核心概念的掌握概率，生成个性化反馈路径。自然语言处理组件采用经过教育语料微调的 Transformer 架构，理解学生在实验日志或问答交互中的语义指涉，精准识别概念混淆点，例如将“相位差”误述为“路径差”时触发语义纠偏机制。各类技术并非孤立运行，而是在统一的认知计算框架下耦合联动，形成感知—推理—干预闭环，使智能支持深度嵌入探究式学习流程，体现 AI 赋能教学的内在一致性与过程适应性。

3.3 开放性与兼容性

平台在架构设计上采用微服务与模块化接口标准，支持与主流学习管理系统（如 Moodle、Blackboard）及国家级教育资源公共服务平台的无缝对接，实现用户身份、实验行为日志与学业数据的双向同步。通过遵循 SCORM 和 LTI 国际规范，确保跨平台资源调用的一致性与安全性。前端适配响应式布局与 WebGL 轻量化渲染技术，可在 Windows、iOS、Android 等系统环境下稳定运行于桌面终端、触控平板及移动设备，保障高保真实验交互在低算力终端的流畅呈现。实际应用中，师生在实验室、宿舍或通勤场景下均可连续访问未完成的干涉光路构建任务，配合 OAuth2.0 认证机制实现多端登录状态统一，有效支撑泛在化、个性化的探究学习进程。

4 AI 视角下光学实验教学平台的功能模块设计

4.1 虚拟实验模块

虚拟实验模块作为平台的核心，深度融合波动光学原理与交互式仿真引擎，构建高保真的迈克尔逊干涉、单缝衍射等典型实验场景。学生可动态调节光源波长、分束镜角度、移动反射镜位移精度至纳米级，并实时观测干涉条纹的明暗分布与空间频率变化。系统嵌入物理约束模型，对非理想操作如光路未准直或补偿板缺失即时触发视觉警示与机理提示，结合认知诊断算法推送纠偏策略，在操作闭环中强化对相位调制与光程差关系的深层理解。

4.2 智能辅导模块

智能辅导模块依托深度学习与认知计算框架，构建基于知识图谱的个性化导学机制。学生在调节干涉仪光

程差时若出现条纹畸变，系统通过语义解析捕捉其困惑意图，即时推送相位匹配原理的微课片段与典型错误案例。问答交互中融入教育心理学中的脚手架策略，按认知梯度生成提示链，引导学生自主发现非共面光路导致的干涉失效问题，实现从现象诊断到机理理解的渐进式干预。

4.3 数据分析模块

数据分析模块依托教育数据挖掘与学习分析技术，持续采集学生在虚拟光路搭建、参数调校及条纹观测中的操作轨迹、响应时序与纠错频次，结合眼动模拟日志与交互停留热图，构建多维行为特征向量。系统运用聚类算法识别学习者认知模式差异，如对相位敏感型与结构导向型学生的干预路径进行动态区分。基于贝叶斯知识追踪模型，实时推断个体对光程差概念的掌握概率，并生成个性化诊断报告。教师端可视化呈现班级层级的概念迷思分布图谱，精准定位教学难点聚焦区间。管理层面通过学习衰减率与实验重构次数等指标评估课程设计效度，驱动实验任务序列的适应性重组，实现从经验驱动到数据驱动的教学决策跃迁。

4.4 学习资源模块

学习资源模块构建了多层级、立体化的教学支持体系，涵盖经典实验讲义、高保真演示视频、前沿科研文献及开放获取的仿真源文件。资源库按认知梯度分层标注，嵌入关键知识点索引与先修能力标签，支持基于学习路径的智能推荐。教师可上传定制化实验方案与误差分析案例，经同行评议机制审核后纳入共享网络，形成动态演进的学术共同体知识池。部分资源融合 AR 标记技术，实现纸质文档与三维光路模型的跨模态联动。学生在调校迈克尔逊干涉仪过程中，可即时调取对应参数配置的实录数据流，对比理论预测与真实条纹漂移特征，强化对相干性条件的具身理解。资源访问日志与知识点关联分析同步反馈至数据分析模块，支撑教学内容的迭代优化。

4.5 交流互动模块

交流互动模块构建了基于认知协作的学术对话生态，支持异步讨论与实时问答的双轨交互。学生在完成干涉条纹数据采集后，可上传异常图谱并附注操作日志，引发同伴间的误差归因辨析；教师依据贝叶斯诊断报告定向介入，引导学生对比相位漂移的理论模型与实测序

列,形成闭环反馈。平台嵌入语义分析引擎,自动聚类高频困惑点,如“半透射膜引入的光程差修正”等议题,生成动态知识协商看板。研讨过程被结构化为可追溯的认知轨迹,关联至个人知识空间演进图谱,实现社会性交互与个体建构的深度融合。

5 结论

本文从 AI 视角出发,对光学实验教学平台的设计进行了深入的探讨和研究。通过分析传统光学实验教学的现状与不足,结合 AI 技术的优势,提出了一个集虚拟实验、智能辅导、数据分析等功能于一体的光学实验教学平台设计方案。该平台以学生为中心,融合多种 AI 技术,具有开放性和兼容性等特点,能够有效解决传统光学实验教学中存在的问题,提高教学效率和质量,促进学生的全面发展。

然而,AI 视角下光学实验教学平台的设计和开发仍然面临着一些挑战和问题,如 AI 技术的应用效果、数据安全和隐私保护等。未来,需要进一步加强对 AI 技术在教育领域应用的研究和实践,不断完善光学实验教学平台的功能和性能,为光学实验教学提供更加优质、

高效的服务。

参考文献

- [1]张兴坊.大学物理光学仿真实验可视化教学平台的设计与实践[J].中国现代教育装备,2024,(05):56-58.
- [2]于雯,曾周杰,陈文娟,等.混合光学变换信息加密实验平台设计[J].大学物理实验,2022,35(02):24-30.
- [3]许晓赋,杨秀珍,郑飞杰,等.基于Zemax软件的光学仿真实验平台的设计探究[J].洛阳师范学院学报,2022,41(05):27-30.
- [4]李瑞,刘鑫鹏,徐林轩,等.计算机仿真在光学教学中的应用[J].大学物理实验,2020,33(05):113-117.
- [5]郭东琴,陈文博,张胜海.迈克耳孙干涉仪非定域干涉条纹分析[J].大学物理,2020,39(03):39-43.

作者信息:王海,性别:男,(1987年.03月一),民族:满,籍贯:辽宁省抚顺市,学历:博士研究生,职称:副教授,研究方向:光学,超快光谱学。