

物理光学课程项目式教学设计与实践

崔珂, 周木春, 郑东晖, 马骏

(南京理工大学电子工程与光电技术学院, 江苏 南京 230026)

[摘要] 物理光学作为光学工程领域的重要学科基础,在科研、工业、国防、国民经济等领域有着广泛的应用和需求。传统的课堂教学方式,将物理光学局限在理论阶段,学生缺乏实战锻炼,导致课堂学习与实际工程的需求严重脱节。针对当前存在的教学痛点,提出项目式教学改革,利用工程项目进行教和学,在教学中以工程项目为背景,把相关知识点聚焦融合。通过工程问题,引导学生进行系统的分析和思考,培养学生解决问题的综合能力。聚焦于全面提升学生培养质量,目标主要有三个层次:掌握基础知识,锻炼方法能力,提升创新素养。借助于项目教学把不同维度的能力提升融合到统一的实现途径中。设计了共计 11 项项目课题,融会贯通物理光学所有核心知识体系,制定了符合项目式教学实施的考核标准。

[关键词] 物理光学,项目式教学,工程项目

[中图分类号] G642 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2025)01-0103-06

Method and Practice of Project-Based Teaching

Design for the Physical Optics Course

Cui Ke, Zhou Muchun, Zheng Donghui, Ma Jun

(School of Electronic and Optical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 230026, China)

Abstract: As an important foundational discipline in the field of optical engineering, physical optics has a wide range of applications in areas such as scientific research, industry, national defense, and national economy. However, traditional classroom teaching methods often confine physical optics to the theoretical coaching style, leaving students lacking practical experience, which results in significant gap between classroom learning and the requirements of actual engineering practice. To address the current teaching difficulties, our team proposes the project-based teaching method, which integrates actual engineering projects for knowledge imparting. By setting engineering projects as the teaching background, relevant knowledge points are integrated and focused. By synthesizing engineering problems, students are guided to conduct systematic analysis and critical thinking, their comprehensive problem-solving abilities. Focusing on enhancing the overall quality of student education, the goals of this project contain three levels, including mastering basic knowledge, methodological skills, and enhancing innovative competence. Through project-based teaching, different dimensions of abilities are integrated into the unified approach for improvement. We have designed a total of 11 project topics that comprehensively cover all core knowledge points of physical optics and have established assessment criteria suitable for the implementation of project-based teaching.

Key words: physical optics, project-based teaching, engineering projects

物理光学作为一门重要的专业必修基础课,在光电信息科学与工程的专业课程体系中起着承上启下的衔接作用^[1]。作为光学工程学科的重要基础,亦是众多高校研究生入学考试考察的课程内容,物理光学涵盖广泛的工程应用基础,在科研、工业、国防、国民经济等领域有着直接的应用和需求^[2]。该课程面向诸多工程领域,其中教学内容涉及的光学精密仪器便是国家重大需求之一。国家在当前的发展环境中面临“卡脖子”的封锁问题,光学中的某些技术便是其中之一。光电、测控、精密仪器等行业及交叉领域都需要具备物理光学方面的工程人才。但是,目前物理光学教学及人才培养过程存在一些瑕疵,导致学生能力无法匹配社会和科技

收稿日期:2024-06-16.

基金项目:江苏省高等教育教改立项研究重点课题资助项目(2023JSJG114).

通讯作者:马骏,博士,教授,研究方向:精密光学测量理论与仪器. E-mail: majun@njnu.edu.cn

需求. 要实现物理光学的自主创新,突破技术封锁,人才的培养是关键. 因此,物理光学课程对学生的培养应采取理论与实践结合、知识与能力、学习与创造相互促进的方式,培养国家亟需的创新性人才^[3].

1 传统教学中存在的人才培养问题

目前物理光学教学及人才培养过程中的主要问题有学生缺乏融会贯通能力,缺乏复杂光学问题解决能力,缺乏光学工程领域创新和综合能力,如图 1 所示. 物理光学课程以光的电磁理论为理论基础,讲述光在各向同性和异性介质中的传播规律、光的干涉、衍射、偏振特性以及光的吸收、色散和散射等内容^[4]. 该课程知识复杂,概念繁多,物理规律较为抽象,很多光学效应难以形象地呈现^[5]. 由于课程内容包含了大量的数学公式和原理推导,导致学生在学习时往往死记硬背公式而忽略公式背后的现实意义和分析方法. 传统课堂的教学方式,一般采用单纯讲课的方法将光传播条件与规律直接告知学生,学生对此难以形成深刻理解,这样单调的授课方法也降低了学生的探索兴趣,不利于学生创新能力和探索精神的培养^[6]. 从行业调研来看,毕业生在工作时遇到问题往往无从着手,虽然掌握物理光学的知识,却不知如何运用. 这反映出课堂学习与工程的要求和需求脱节,原因是学生的知识学习未融会贯通,分析解决问题三维能力匮乏,项目实施开展等方面的经验不足,不能满足行业需求.

以光的干涉及应用部分教学内容为例,从干涉原理、条件、光源的相干性,到不同类型的干涉系统,是彼此关联的,学生学习时当成离散化的知识点未能有机关联^[7]. 平行平板和楔形平板共用同组光程差公式,却分别产生等倾等厚不同的条纹,学生容易疑惑,在于忽视了系统条件的分析. 标准镜从干涉系统能够获取精密信息出发,可倒推条纹定域面,干涉装置,干涉类型等构成一个有机整体. 这些问题通过书面和口头阐述往往难以达到令人满意的效果,但是,从工程项目的角度出发,则能够为学生清晰呈现^[8]. 例如,对于从事大口径斐索干涉仪设备的研究,需要把标准参考面和被测面完全平行放置,此时参考面和被测面之间形成的干涉条纹是等倾干涉,原因是光波入射到参考面和被测面的角度是相同的(垂直入射). 如果不考虑被测面的面形缺陷,被测面每个点的干涉光强都是一致的,即无条纹明暗的变化. 实际测量中出现的条纹则反映了面形的表面起伏,通过数据分析可以计算得到面形分布. 然而实际使用中由于测量设备存在普遍的低频噪声,一般会将参考面倾斜一定小角度,此时形成的是等厚条纹,在参考面和被测面之前厚度相同的位置会形成连通条纹,相当于为信号加入一定载波,提高了条纹抵抗低频噪声的能力,在计算被测面面形时再将载波通过一定算法滤除,进而得到被测面的面形信息.

2 项目式教学改革的建设目标

为有效改善传统教学与人才培养上的不足,物理光学课程应以项目式教学为抓手,在讲授该课程时,既注意保持课程的理论完整性,又突出它在光电技术中的应用.

(1)将课程培养分为掌握基础知识,锻炼方法能力,提升创新素养三个层次,构建为以“物光视角”贯通牵引的课程教学树,掌握光波的基本特性及光波的各种数学表示方法、光波在均匀介质中以及介质界面上的传播规律等,能够运用这些基本知识理解、分析和描述光电信息工程领域中常见的光场描述及计算问题,锻炼分析解决问题的能力方法.

(2)进行课程的项目式教学,以提出问题,解决问题贯穿于课程教学全过程. 面向新工科建设的需求,培养学生综合和创造的工程素养. 掌握光干涉和衍射的基本原理和各种数学模型及其典型应用,掌握偏振器件的作用及偏振系统的琼斯矩阵分析方法,并应用相关原理分析光电信息工程领域中的复杂工程问题,能够采用适当有效的方法建立光电信息工程问题中涉及的光场数学模型,并对其进行求解和结果分析^[9].

(3)引领学生密切关注学科发展趋势,了解国家行业工程应用需求^[10]. 以行业需求进行课程衔接和导向,由知识到方法能力,再到素养,多层次梯度培养,使得学生具有从事光电信息工程领域工程技术开发

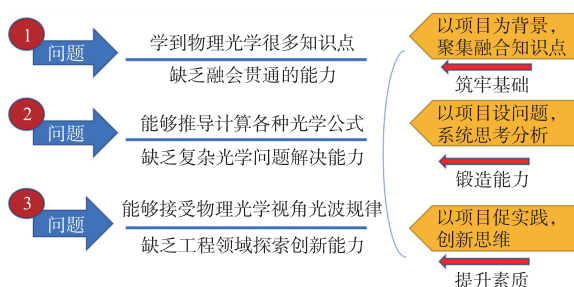


图 1 物理光学教学中人才培养问题

Fig. 1 Talent cultivation issues in teaching of physical optics

和研究所必需的物理光学基本理论、基础知识和实践能力,具有解决实际复杂工程问题的综合能力,以成为领域科技创新专业人才^[11]。

3 项目式教学改革的建设内容

项目式教学精选科研、竞赛、工程项目,提炼出难易适当的项目案例,利用工程项目进行教和学,教学中以工程项目为背景,把相关知识点聚焦融合,筑牢理论基础。挑战工程问题,引导学生系统思考和分析。通过项目实战练习,锻炼提升分析问题到解决问题的综合能力和创新思维能力^[12]。团队通过以下4个方面的内容建设和具体措施的实现达成建设目标。

3.1 教学方法设计

将课程内容分为基础知识、应用知识、项目创新设计3个层面,从掌握基础知识,锻炼方法能力,提升创新素养3个层次进行培养。以光的属性为例,如图2所示,从光波的波动属性出发,合理描述光波参数,到典型波动行为干涉、衍射、偏振等,显示出来的普遍和特征规律,到具体应用。如干涉测量仪器,将课程内容整合为“物光视角”贯通牵引的课程教学树。同时,把科研问题、工程项目、竞赛作品等项目案例和工程应用背景融入,将知识内容厚植在工程背景之中,支撑学生进行递升式学习。

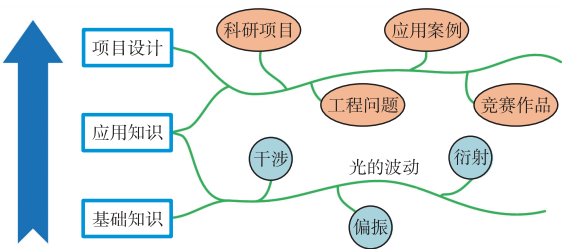


图2 物理光学项目式教学层次

Fig. 2 Levels of project-based teaching in physical optics

3.2 项目关联构建

项目式教学并非简单地完成一个案例或完成一个可视的展示成果,而是在学生学习的过程中凸显出其主动获取知识、解决实际问题的技能^[13]。这要求教师在设计项目式教学案例前从几个问题角度出发考虑,进行严谨的设计和管理:哪些教学单位需要被优化改造?在这些单元中,可以提出哪些具有现实意义的问题让学生们去尝试解决?在这个过程中,锻炼学生的哪些能力素质、思维方式?学生可以扮演哪些不同的角色,承担什么样的任务?学生可以如何被分组,协作完成这个项目?以及项目最终以怎样的形式呈现?每个问题环环相扣,既相互制约又相互支持^[14]。基于以上问题,在项目式教学中可以考虑关联以下几类项目^[15]:国家工程中的项目课题、教师科研课题中的项目、竞赛项目、自然现象中的问题认知。根据这些不同的项目类型特点精心设计项目式教学案例,过程如图3所示。在学生能力培养方面,主要关注基础概

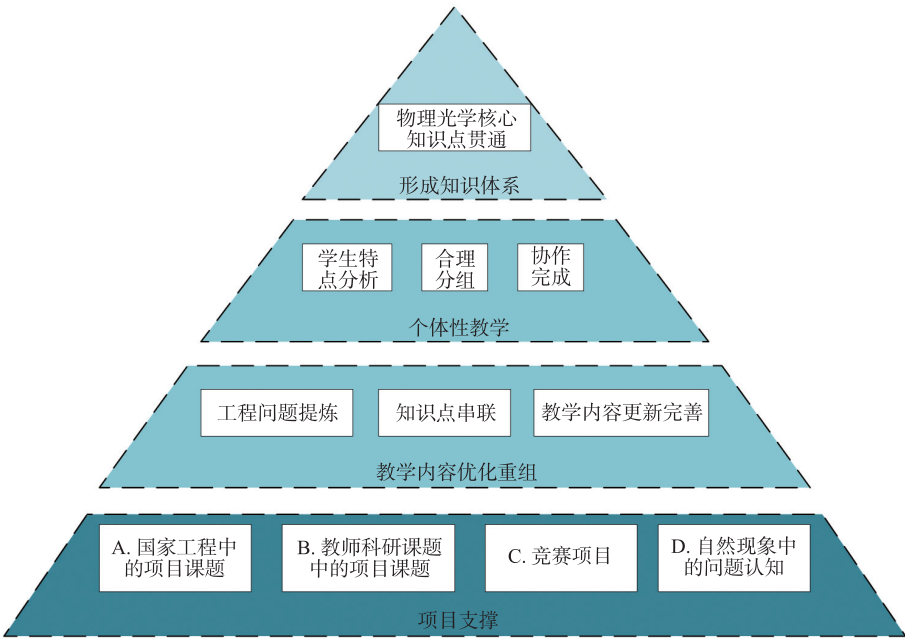


图3 基于“能力素养培养的关联构建”的项目式教学设计

Fig. 3 Project-based teaching design based on the "relevance construction for competency development"

念掌握、分析实际光学问题和依据布置的项目课题延展创新的能力. 在课堂分组方面,会提前发放问卷,汇总学生的前期基础能力以及兴趣爱好调研,让学生先自己选择 1-3 项意愿项目课题,最终由主讲老师统筹评估后进行分组. 分组的优先原则是安排兴趣相近并且意愿完成同一课题的学生为一组,同时为每组分配一名前期基础较好的学生担任组长.

依托本课程建设项目,设计的项目式教学案例库汇总如表 1 所示,基本涵盖了物理光学课程的所有核心知识体系,并在授课的过程中合理加入思政元素^[16].

表 1 项目式教学案例库汇总
Table 1 Summary of the project-based teaching cases

序号	项目题目	关联知识点	讲授要点及思政元素
1	φ -OTDR 系统相干衰落特性研究	光的干涉	突出讲解光纤传感在国防安全中的应用,提高爱国主义情怀教育
2	透明物体内部应力揭秘——偏振光干涉研究	光的偏振特性	回顾物体内部应力的测量发展历程,培养学生树立坚持不懈的科学家精神
3	基于空间偏振编码的导航定位研究	光的偏振特性	讲解光电探测技术与导航应用的关联性,培养学生使用发展、连续的眼光看待事物
4	基于液晶空间光调制器的相控阵光束扫描	光的衍射	回顾光束整形技术的发展历程在国防安全中的应用,培养学生树立坚持不懈的科学家精神
5	光源离焦对干涉测量的影响	光的干涉	突出精密光学检测技术在国防安全中的应用,提高爱国主义情怀教育
6	基于光的全反射的雨滴传感器设计	光的反射和折射	使用深奥的物理光学知识在解释身边物理知识的作用,培养学生理论联系实践的科学精神
7	基于多模光纤的光源相干噪声抑制技术	光的波动性	分析光源噪声抑制技术的发展现状和趋势,培养学生防止用孤立的、片面的眼光看待事物
8	基于光源阵列移相的动态干涉技术	光的干涉	突出精密光学检测技术在国防安全中的应用,提高爱国主义情怀教育
9	准直激光波前测试技术	光的波动性	回顾准直激光波前测试发展历程,培养学生树立坚持不懈的科学家精神
10	宽光谱光源相干特性研究	光的干涉	讲解光源相干特性的分析方法,融合光的波动、相干、干涉等多个概念,培养学生使用关联的、整体的思维方式看待事物
11	短相干光源相干长度测试方法	光的波动性	突出物理光学知识在光源参数评估方面的作用,培养学生理论联系实践的科学精神

3.3 建立完整教学机制

结合教学团队近些年的科研经历和物理光学课程的核心知识体系,筛选和确定教学项目库,确定能够帮助学生深入掌握知识点的科研工程项目,明确该项目主要关联的物理光学课程知识点. 由教师完成项目的任务描述及实现目标,围绕物理光学核心知识拆解若干建议的研究内容,并提前向学生发布. 学生了解项目情况后,制定项目计划,允许学生从建议的研究内容中选择一条或若干条展开调研和探索,同时鼓励学生根据项目的实现目标,结合已经学习到的课程知识体系,自行提出研究内容申请解决. 依据学生选取的研究内容进行分组,阶段性交流和考核各个学生分组的工作进展,重点评估学生对于课程知识体系的理解和灵活应用能力^[17].

以光纤传感器科研项目为例,光纤传感器是以光纤为介质,基于光波的干涉和衍射等原理实现对外界信号的高灵敏度检测,具备灵敏度高、抗电磁干扰、传感范围广等多方面优势,在诸多学科和领域如地震波检测、水下探测、油气探测、周界安防等得到了大面积的应用. 关联的核心物理光学知识点包括:光的干涉、常见的干涉仪结构、傅里叶信号分析方法、光的偏振性及偏振器件. 实现目标:通过物理光学的原理,将外界振动信号编码到光强信息,并评估实际物理器件(例如光强的双折射效应)对传感效果的影响. 面向学生提出以下建议研究内容:(1)干涉型光纤传感器的工作原理,需要学生掌握光的波动概念及干涉原理,了解和分析光纤传感器中的光强信号的变化特点.(2)光纤中的双折射现象及对光强传感器信噪比的影响. 需要学生掌握光的偏振概念,能够使用琼斯矩阵分析光的传输特点.(3)光纤光栅传感原理. 需要学生掌握光的波动性概念和衍射概念. 以上由师生共同参与,以学生为主体,最终提交对于研究内容的解决方案和研究结论或者实现效果^[18]. 完整的项目实施、指导、交流反馈机制贯穿于课程的教学全过程,锻炼学生提出问题、分析问题、解决问题和总结问题的能力.

3.4 改革考核方法

要进行项目式教学必然要求对评价考核方式也进行相应的改革,制定考核方式,明确考核标准. 改革课程教学考评从多片段、多能力和多角度进行考评^[19]. 考核覆盖授课的全过程,包括线上自学、测试作业、

项目设计、实验实践和期末考试等,形成了系统的适合物理光学课程的项目式教学评价体系,课程实施全过程追踪、多元化考核. 最终成绩由平时成绩和期末成绩组成,平时成绩以过程性考核为主,涵盖知识习得、能力达成、素养提升、育人质效等多方面考核,作业练习(线上线下题库)占 10%,课堂表现(随堂检测,互动讨论)占 10%,项目式教学实践(复杂问题的解决能力和创新意识)占 10%,期末考试(物理光学知识掌握及应用分析能力)占 70%. 考核后进行达成度评价,不断改进. 考核体系设计如图 4 所示.



图 4 物理光学课程项目式教学考核体系

Fig. 4 Assessment system for project-based teaching in the course of physical optics

对于过程性学习,基于在线课堂等进行即时测试和过程考评. 就项目设计实施这一关键环节,对体现的多项能力展开考评,如分析、设计、实践及综合能力、创新思维等. 考核方式结合书面报告和口头表达. 从多角度考评,评价人员不限于教师,包括学生的自我评价和互相评价. 考评结果及时分析,既掌握学生的整体薄弱项,又精准关注个体学生的不足. 考评结果及时反馈学生,促进学生修正提升,同时也利于教师及时改进教学策略^[20]. 项目式教学设计的成绩评定标准如表 2 所示.

表 2 项目式教学设计成绩评定标准

Table 2 Grading criteria for the project-based teaching design

占比/%		评分项目(标准)	分值
选题情况	20	题目的难易程度及题目的工作量	20
实施情况	45	自我学习的能力(考察是否自行查阅了较多的文献资料,是否自学了新知识)	10
		有无创新(新问题、新方法、新设计、新的实现途径等)	10
		团队合作能力(分工的合理性、是否各成员都全程参与了题目的讨论、方案制订、编程工作)	10
		题目完成质量(是否完成练习题目基本功能,有无扩展、进阶性及挑战性内容)	15
成果质量	35	汇报演示效果(阐明所得结果的物理意义以及对解决项目问题的启示、沟通表达能力)	20
		设计报告的质量(自己的理解,对结果分析的深度,以及正文内容与排版格式规范性等)	15

4 项目式教学改革取得的成效

依托本课程建设项目,本教学团队在 2023 年度物理光学课程中首次开展了项目式教学实践,注重师生共同参与,以学生为主体,锻炼提出问题、分析问题、解决问题和总结问题的能力,完整机制贯穿于课程的教学全过程. 组织同学们进行课程展示交流,提升了学习积极性,获得了积极的教学反馈.

项目式教学要求将学习的知识点通过科研、工程、竞赛项目关联,这些措施促进了课堂教学效果的提

升,取得了积极的人才培养效果,表明通过合理的教学改革有助于提升教学效果^[21]. 教学团队教师指导学生多次在全国光电大赛获奖.“便携式光学表面三维形貌在线检测仪”项目获第十三届“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品竞赛全国特等奖,关联课程中要学习的知识点“光的干涉”. 项目“四源动态-突破光学波像差在线测量极限”获得第八届“互联网+”大学生创新创业大赛江苏省一等奖,关联课程中要学习的知识点“偏振光学”. 2023年,学校组织部分优秀物理专业本科生参加第九届中国国际“互联网+”大学生创新创业大赛,题目为“晶层测量—中国半导体晶圆面形分析仪的开创者”,取得了第十二届江苏省大学生创新创业大赛高教主赛道一等奖,第九届中国国际“互联网+”大学生创新创业大赛银奖.

5 结论

为有效改善传统教学与人才培养上的不足,课程团队以项目式教学为抓手,既注意保持课程的理论完整性,又突出它在光电技术中的应用. 为匹配这种教学方式,进一步优化教学内容,改革教学方法和评价考核方法. 将课程核心知识点与项目关联,立题设问,引导学生参与项目调研、仿真、实施. 引导学生主动完成项目实施的全过程,变被动学习为主动学习,教学也由以教师为中心转变为以学生为主体^[18]. 学生在深度参与的过程中掌握了获取知识的方法,提高了分析问题、解决问题的能力,培养了理论科学素质和实践创新能力.

[参考文献](References)

- [1] 云茂金,刘眉洁,王进,等.“物理光学”一流课程建设探索与实践[J]. 物理与工程,2023,33(2):101-104.
- [2] 江敏.新工科背景下的物理光学与应用光学教学改革思考:从基础理论到实践应用的协同创新路径[J]. 科技风,2023(20):113-115.
- [3] 周哲海.在物理光学课程教学中培养学生创新能力的探索[J]. 现代职业教育,2016(1):76-77.
- [4] 沈骁.“物理光学”课程教学改革探讨[J]. 科技视界,2021(26):49-50.
- [5] 黄元申,李柏承,徐邦联,等.物理光学本科教学体会[J]. 上海理工大学学报(社会科学版),2014,36(3):293-296.
- [6] 杨亮亮,刘成林,尤源.基于三位一体的创新型教学模式研究:以光学课程为例[J]. 科技风,2023(12):114-116.
- [7] 王兴林,孙明国.基于创新型人才培养的大学物理教学探索[J]. 阜阳师范大学学报(自然科学版),2024,41(1):110-114.
- [8] 张林睿,孙咏萍.光学课程与教学改革的思考[J]. 物理通报,2022(11):20-24.
- [9] 胡国庆,赵爽,周哲海.基于真实科研问题的“物理光学”教学改进探究:以“基于偏振干涉的多波长光纤激光器”为例[J]. 科教导刊,2024(9):112-114.
- [10] 邱彩虹.新工科和课程思政双重背景下大学物理实验教学改革研究[J]. 湖北开放职业学院学报,2024,37(6):180-181,184.
- [11] 张荣香,丁文革,李红莲,等.新工科背景下的以践促学教学模式研究与实践[J]. 物理通报,2023(6):7-10.
- [12] 王楠.项目学习在高中物理光学教学中的应用研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨师范大学,2022.
- [13] 曲芳,王锦.浅谈以学生为本的教学理念在工科物理光学教学中的应用[J]. 教育教学论坛,2018(2):225-226.
- [14] 张荣香,郭建新,丁文革,等.“链条式”课程思政育人模式研究与实践:以物理光学课程为例[J]. 高等理科教育,2023(5):94-100.
- [15] 翟凤潇,刘楠楠,李萍萍,等.工程教育专业认证背景下课程思政体系的构建与实践:以物理光学为例[J]. 物理通报,2023(12):74-77.
- [16] 张来线,孙华燕,郑海晶,等.新工科理念下的军校工科专业基础课程教学改革研究:以光电信息科学与工程专业本科“物理光学”为例[J]. 高等教育研究学报,2022,45(3):60-64.
- [17] 张菊凌,骆芳琳,吴海刚.融入课程思政的PBL和BOPPPS交叉式教学法探析:以药物化学的绪论为例[J]. 南京师范大学学报(工程技术版),2024,24(1):86-92.
- [18] 郭丽君,李昌立,任玉,等.物理光学课程“以学生为中心”教学模式改革探索与实践[J]. 中国现代教育装备,2023(1):150-152.
- [19] 杨太群,朱纯,王继成,等.大学物理实验教学中操作考核的评价方法探讨[J]. 广西物理,2023,44(3):45-47.
- [20] 商巾杰.“基因组学”教学建设的初步探索[J]. 南京师范大学学报(工程技术版),2024,24(1):80-85.
- [21] 丁昌江,宋智青,王景峰,等.“课程+创新”教学模式在“大学物理实验”教学中的应用研究[J]. 科技风,2024(14):136-138.

[责任编辑:陈 庆]