

“以学生为中心”的大学物理课程教学改革与实践 ——以“非线性光学原理”课程为例

付 星

(清华大学精密仪器系, 北京 100084)

摘 要 “以学生为中心”教育理念倡导教师更加关注学生学习体验和需求的满足。本文以清华大学本科生课程“非线性光学原理”为例, 阐述了“以学生为中心”教学理念在大学物理课程教学改革中的重要作用。“非线性光学原理”课程在教学方法、课堂组织形式、学习效果检验方法等方面采取了一系列改革措施, 包括: 启发式教学、立体化教学、沉浸式教学等等, 有效提升了学生的互动交流兴趣, 强化了学生自主学习的意识和能力, 取得了显著的教学效果。

关键词 以学生为中心; 自主学习; 启发式教学; 立体化教学; 沉浸式教学

“STUDENT-CENTERED” REFORM PRACTICE OF COLLEGE PHYSICS COURSE: A CASE STUDY OF “PRINCIPLE OF NONLINEAR OPTICS”

FU Xing

(Department of Precision Instrument, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract “Student-centered” educational concept proposes the teachers to put more focus on the learning experience and fulfillment of learning demand. This paper studies the impact of “Student-centered” educational concept in the reform practice of college physics course, taking the case of “Principle of Nonlinear Optics”, a undergraduate course in Tsinghua University as an example. The reforming measures are taken in teaching method, class organization form, and evaluation method of learning performance, including the heuristic teaching, stereoscopic teaching, and immersive teaching, which enhances the students’ interaction interest, as well as their awareness and competence of autonomous learning, and has achieved remarkable educational effects.

Key words Student-centered; autonomous learning; heuristic teaching; stereoscopic teaching; immersive teaching

1952年, 卡尔·罗杰斯首先提出了“以学生为中心”的教育理念^[1]。该理念的主旨是从传统的“教师传授模式”(以教材、教师、教室为中心)向“学生学习模式”转变(突出学生发展、学生学习、

学习效果)^[2]。“以学生为中心”并不是改变教育关系中教师的“主导”地位, 而是突出学生的“主体”地位, 倡导教师在“主导”教育教学的过程中更加关注学生学习体验和需求的满足^[3-5]。“以学生

收稿日期: 2023-06-15

通信作者: 付星, fuxing@tsinghua.edu.cn。

引文格式: 付星. “以学生为中心”的大学物理课程教学改革与实践——以“非线性光学原理”课程为例[J]. 物理与工程, 2025, 35(3): 112-117.

Cite this article: FU X. “Student-centered” reform practice of college physics course: A case study of “Principle of Nonlinear Optics”[J]. Physics and Engineering, 2025, 35(3): 112-117. (in Chinese)

为中心”实践教学改革是教育部新工科研究与实践的重要组成部分,也是现代教育教学改革与发展的必然趋势^[6,7]。本文以“非线性光学原理”课程为例,阐述“以学生为中心”的大学物理课程教学改革与实践。

大学物理课程的本质是要培养和提高学生的科学素质、科学思维方法和科学世界观。清华大学“非线性光学原理”课程是一门具有较高难度的大学物理类课程,课程定位是使学生熟悉非线性光学这一近代光学的重要分支,理解强光与物质相互作用过程中出现的各类新现象、新效应及其重要应用,丰富并强化学生对光学基本概念的理解,以及描述、分析和解决光学问题的能力,为研究生深造和从事相关光电子专业的工作奠定理论基础。课程重视培养扎实的专业基础理论、厚重的人文素养,求真的学术追求,宽广的全球视野。

该课程具有三大特点:(a)教学内容与光学前沿研究联系紧密,学术界的新方法、新技术层出不穷,研究成果和应用实例更新速度快;(b)理论体系的主线核心概念相对集中,但分支丰富,知识体系庞大;(c)非线性光学发展过程中涌现出的多个代表性突破和多个大师级人物,对其理论和应用影响深远。

1 “非线性光学原理课程”建设

激光器问世之后,人们对光学的认知发生重要变革,突破了线性光学的局限。例如人们发现:(1)光束经过介质可能发生频率变化,产生新的波长;(2)交叠的光束可能相互传递强度甚至相位,而非互不干扰地独立传播;(3)介质的折射率、吸收系数等主要参数可能随入射光强改变等。作为近代光学的一个重要分支,非线性光学描述了强光与物质发生相互作用时的规律,反映了介质在外场作用下的响应及对外场的反作用,它所揭示的大量新现象极大地丰富了光学的内容和内涵。本课程通过课堂讲授、讨论展示和动手实践,使学生熟悉并理解发生于强光与物质相互作用过程中、在线性光学中并未显现的各类新现象和新效应(如光的和频差频、光参量振荡和放大、光束自聚焦、受激散射等),掌握光波在非线性介质中的传播规律,了解频率变换、超快光学(飞秒、阿秒等)、光学相位共轭等非线性光学的重要应用,丰

富并强化学生对光学基本概念的理解,为研究生深造和从事相关光电子专业的工作奠定理论基础。

课程的预期学习成效包括:(1)掌握强光与物质相互作用的基本物理过程和主要理论分析方法;(2)理解二阶和三阶非线性效应的现象及机理,包括频率变换、光束自聚焦、光学相位共轭和受激散射等;(3)能够应用耦合波方程基本原理和光学相位匹配技术,识别、表达、并通过文献研究分析复杂科学和工程问题,以获得有效结论。能够基于科学原理并采用科学方法对复杂工程问题进行研究,包括设计实验、分析与解释数据、并通过信息综合得到合理有效的结论;(4)培养自主学习和终身学习的意识,具备不断学习和适应发展的能力。

根据往年的课堂教学效果及学生反馈,该课程存在的主要问题包括:(a)学生对较为抽象的物理概念理解不够深入;(b)学生采用非线性光学原理分析、解决实际问题的能力有待加强;(c)课堂活跃度有待提高,学生展示环节的时间较短,互动交流不充分。

针对以上问题,本课程在教学方法、课堂组织形式、学习效果检验方法等方面开展了“以学生为中心”的教学改革探索,取得了显著的教学效果。

2 “以学生为中心”的教学改革措施及成效

2.1 教学方法的改革探索

改革举措 1:启发式教学。课程教学中不拘泥于知识点本身,鼓励学生梳理科学技术的发展脉络(主干、分支),构建思维导图。教学设计上,通过反传统、反常规的新现象,引出重要的科学发现和科学原理;通过公式推导和物理图景的描绘,介绍科学原理的基本框架和体系,明确与原有体系的联系和区别;通过丰富、生动的技术实现和应用实例,反复阐释科学原理的作用对象、作用机制、衍生形式、影响因素等;通过聚焦当前的研究热点和前沿,勾勒出技术的发展纵深和未来趋势,鼓励学生进行发散式、开放式的技术畅想(图1)。

• 例1:普克尔效应(基本原理、典型现象)→脉冲调Q、脉冲选单、光束净化等(丰富的技术实现及应用实例)→超强超短拍瓦激光大科学装置、激光约束核聚变大科学装置等(聚焦研究前沿)。

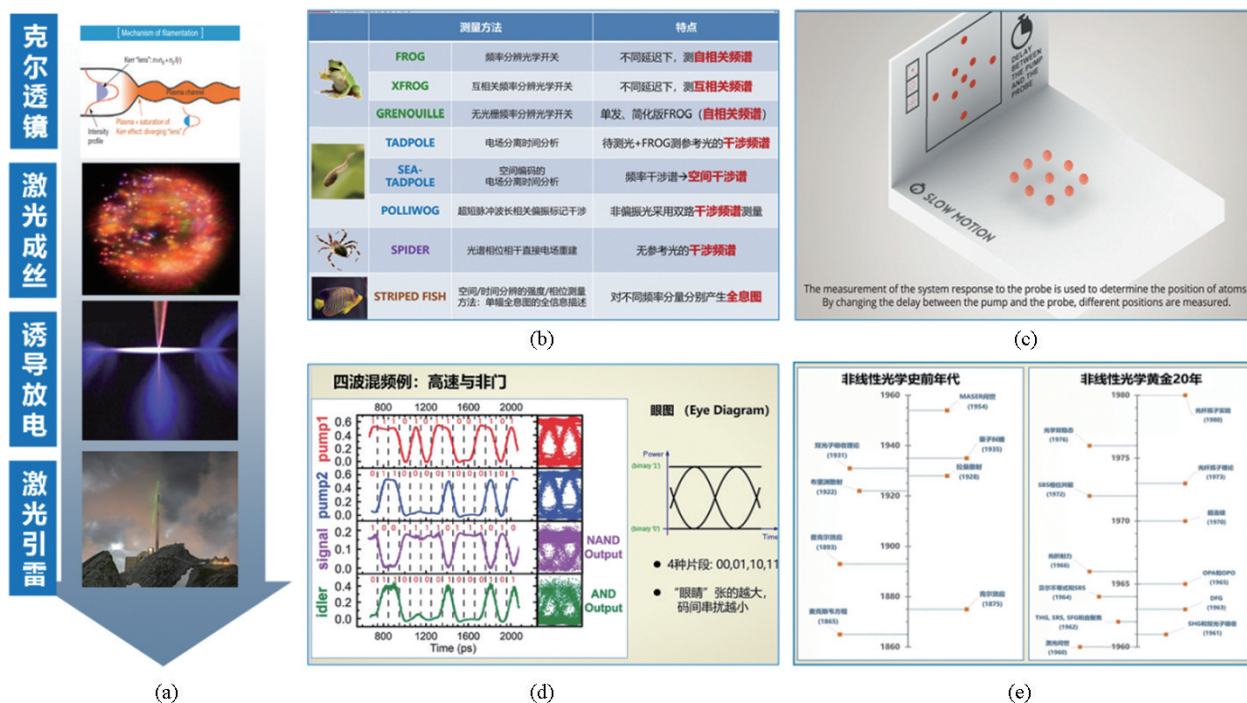


图1 启发式教学课件示例

- 例2: 光学克尔效应(基本原理) → 自聚焦、激光成丝等(典型现象) → 激光引雷、大气遥感、自锁模激光器等(丰富的技术实现及应用实例) → 欧洲“激光避雷针计划”、远程空气激光等(聚焦研究前沿)。

课堂教学和线上交流过程中, 引导、启发学生在讨论原理、技术、应用的同时, 关注共性问题, 进行宏观层面的思考: 观察到的新现象怎样凝练科学原理、进而归纳建立理论体系? 抽象的科学原理怎样转化为技术实现? 新技术如何在现实生活中“落地”而转化为生产力? 技术桎梏和瓶颈如何被挑战和突破、从而完成一次次技术更迭和革新?

改革举措2: 坚持兴趣驱动, 重视学生获得感。注重核心知识点的可视化、立体化, 围绕核心知识点录制教学实验视频, 与拓展知识微信推送、课后思考题等举措结合, 开展立体化教学设计。课堂教学中注重提炼直观、清晰的物理图景, 培养学生的物理直觉, 向学生呈现物理之美, 进一步加深学生对专业的兴趣和热爱。例如: 对于非线性光学原理课程中的核心概念之一“相位匹配”, 课堂上采用耦合波方程解析解、洛伦兹谐振子模型、相位矢量图等多种方法进行阐释, 对物理图景进行多角度、全方位地剖析和印证, 并设计实验让学生亲身体会相位匹配的影响。

另一方面, 设置递进式、发散式、矛盾式等问题, 充分调动学生的互动交流兴趣。从学生耳熟能详的热点概念和重大科学工程应用入手, 引出重要的基础理论与关键技术, 进行专业认知拓展, 激发学生的好奇心和求知欲。例如: 从6G通信概念引出太赫兹的产生技术, 从3D打印应用引出双光子吸收原理, 从活体生物成像应用引出拉曼散射技术等等。充分利用专业资源增强教学的生动和趣味性, 例如: 精心挑选了“非线性光学”“拉曼效应”等纪念2015国际光年的科普微视频在课上播出(2~3分钟), 有效与讲授知识相结合, 提升了学生的关注度。

改革举措3: 设置“大作 & 大师”的沉浸式教学模块, 从非线性光学历史上的多次突破和攻坚中, 学习从科学原理到实际应用的生动案例, 深刻体会科学家的学术追求、科学素养和人文情怀, 弘扬科学家精神; 同时, 积极构建课程思政的育人格局, 将思政德育元素融入课程教学设计, 贯穿教学实施全过程, 实现潜移默化的思想引领和价值塑造, 激发学生的家国情怀, 增强学生的责任心和担当意识, 树立正确的人生观、价值观, 塑造健全人格。

例如: 在“中国牌晶体”教学模块中, 重点讲述陈创天院士团队在非线性光学材料BBO、LBO、

KBBF(中国首个对西方发达国家实行技术禁运的产品)研究上的创新探索之路,提升民族自豪感,鼓励同学们扎根中国土壤开展学术创新研究,树立科研报国的远大理想。此外,围绕该教学模块,本课程开发了日常用品类教学文创,包括18款“大师”笔筒,19款“大作”卡套,13款“大师+大作”文件夹,作为课堂互动、课后思考题、学生主讲的奖励下发,构建沉浸式学习体验。

改革举措4:重视以科研支撑教学,将课题组中多年积累的大量科研实例、素材经过再加工,融入教学内容中,结合重大课题项目中第一手的科研数据和科研攻关经验,设计沉浸式科研场景,引导学生运用所学知识,提出问题、分析问题、解决问题,锻炼处理实际科学工程问题的能力,例如高能脉冲激光放大的全链条设计、紫外光照射导致损伤的机理研究等等。同时,教师在日常浏览研究论文时,第一时间阅读、消化与教学内容相关的精品文章,积累教学素材,及时更新到课件中,不断丰富和完善教学内容。

改革成效与反馈:学生在展示环节中,充满自豪地向大家分享自己体会到的“非线性光学之美”,例如“啁啾”物理图景中蕴含的音律之美和哲学之美等。学生评价:“在上课时老师从简单的知识引入,再一步步深入讲解非线性光学知识并插入各种动画(视频)、进行启发式的提问,再结合实例分析知识的应用,层层深入,形式生动”;“老师用一种深入浅出的方式,将本质上非常难的内容的物理图景很明晰地讲给了我们,让我觉得这个领域不再可怕了,也对这个领域产生的探索 and 了解的兴趣”;“老师讲课深入浅出,会用丰富的例子、图片来帮助我们更形象化地理解非线性光学的各部分基础内容”;“在设计发放文创礼品方面非常有新意也非常慷慨”。

2.2 课堂组织形式的改革探索

改革目标:通过设计富有挑战性的“学生主讲”教学环节,鼓励学生摆脱对教师现场教学的过度依赖,主动地去获取、理解、消化有价值的信息,主动构建知识体系,提高学生自主学习的积极性和课堂上的关注度,激发学生的潜力。

改革举措:设置“学生主讲”环节(10~15分钟,共10次)。对于精选的知识点,课前发放由教师制作的课件及参考资料,全体学生自学,安排1组学生以合作方式,对原有课件补充完善、进行教

学设计并备课;课堂上由该组学生讲授、教师补充;课下全体学生对“学生主讲”环节进行点评、补充。

改革成效与反馈:2022—2023 学年度课堂上共15位同学踊跃报名参加“学生主讲”环节(占选课总人数的71%),共讲述了10个专题故事,包括:首个非线性激光实验、“中国牌”晶体、线性电光效应、飞秒快门、快/慢可饱和吸收体、可饱和吸收镜、啁啾脉冲放大、拍瓦激光大科学装置、双光子吸收、拉曼散射成像。同学们在课前自主学习调研、精心组织素材、制作课件,在课上呈现出了非常好的演讲效果,显著增强了课堂互动效果。

学生评价:“我认为对自己提升最大的部分还是我们在课上负责的自行讲授部分。在为自己的讲授内容做准备的过程中,我不仅学习到了更为深入的知识,更自发地对这门学科的研究内容产生了兴趣。这种自行探索准备的形式也让我对这部分的知识了解的更为扎实了”;“在听同学的汇报时很有收获,一些同学的讲解非常地生动幽默,让人很容易跟着思路走,还会穿插一些历史故事,效果很好”。

2.3 学习效果检验方法的改革探索

改革目标:以学生为中心,强化自主学习。在教学中融入科研训练,拓宽学术视野,注重培养学生的阅读分析能力、归纳总结能力、学术表达能力、批判思辨能力,培养学生挑战权威的勇气、学术自信和自觉,激发自主成长的持续动力。

改革举措:学生以小组为单位,从非线性光学的基础、前沿研究方向中自选主题,自主检索、建立小规模“论文池”(6~10篇,主要关注近十年内的顶级、主流期刊论文),开展贯穿整门课程的精读和比较阅读,作为期中和期末的主要考核方式:期中精讲1~2篇论文,并选择其他组展示的论文,进行互评和延伸阅读,提交阅读报告;期末进行“论文池”的整体展示,提炼各论文异同点,梳理思维导图,总结相关方向的研究逻辑,提交“论文池”的阅读笔记和阅读报告。通过该举措,强化学生对科研论文的自主阅读,结合课件巩固、理解、消化教学知识点。

改革成效与反馈:期中展示和期末答辩中,小组汇报对所讲授文章的理解程度较高,PPT经过精心准备,对素材的选取适当,细节分享到位;现场问答环节讨论热烈,体现了深入思考。以上表

现出学生不仅了解、掌握了非线性光学涉及的主要知识点,而且能够灵活运用所学研究方法分析问题,更重要的是对非线性光学领域产生了较高的关注和较浓厚的兴趣。

学生评价摘录:“我觉得这门课最特别的一点是需要阅读很多文献,这也使它在本科生课程中显得很特殊”;“通过阅读论文,我了解了非线性光学研究的前沿,对于相位匹配等也有了更深入的认识;另一方面,课上听别的组讲解,也了解到很多新的东西”;“论文阅读展示的准备和演讲过程,增强了我文献阅读、梳理思路 and 演讲的能力,非常有帮助”。图2展示了学生从阅读的论文中梳理的思维导图。

3 结语

清华大学“非线性光学原理”课程秉承“以学生为中心”的教育理念,通过启发式教学、兴趣驱动型立体化教学、以“大作 & 大师”为线索的沉浸式教学等方式开展了教学方法的改革探索;通过

富有挑战性的“学生主讲”教学环节,开展了课堂组织形式的改革探索,通过“论文池”比较阅读和思维导图的梳理,开展了学习效果检验方法的改革探索。该课程充分调动学生的互动交流兴趣,增强了学生的获得感,强化了学生自主学习的意识和能力。

参 考 文 献

- [1] 刘献君. 论“以学生为中心”[J]. 高等教育研究, 2012, 33(8):1-6.
LIU X J. Discussion of “Student-centering”[J]. Journal of Higher Education[J]. 2012,33(8):1-6. (in Chinese)
- [2] 赵炬明,高筱卉. 关于实施“以学生为中心”的本科教学改革思考[J]. 中国高教研究, 2017,8:36-40.
ZHAO J M, GAO X H. On the student-centered undergraduate education reform[J]. China Higher Education Research, 2017, 8: 36-40. (in Chinese)
- [3] 李琼,杨格丹,李敏辉. “以学生为中心”的融合交互教学模式研究——以清华大学深圳国际研究生院为例[J]. 现代教育技术, 2021,31(10):110-117.
LI Q, YANG G D, LI M H. Research on the “student-centered” integrated and interactive teaching model—Taking

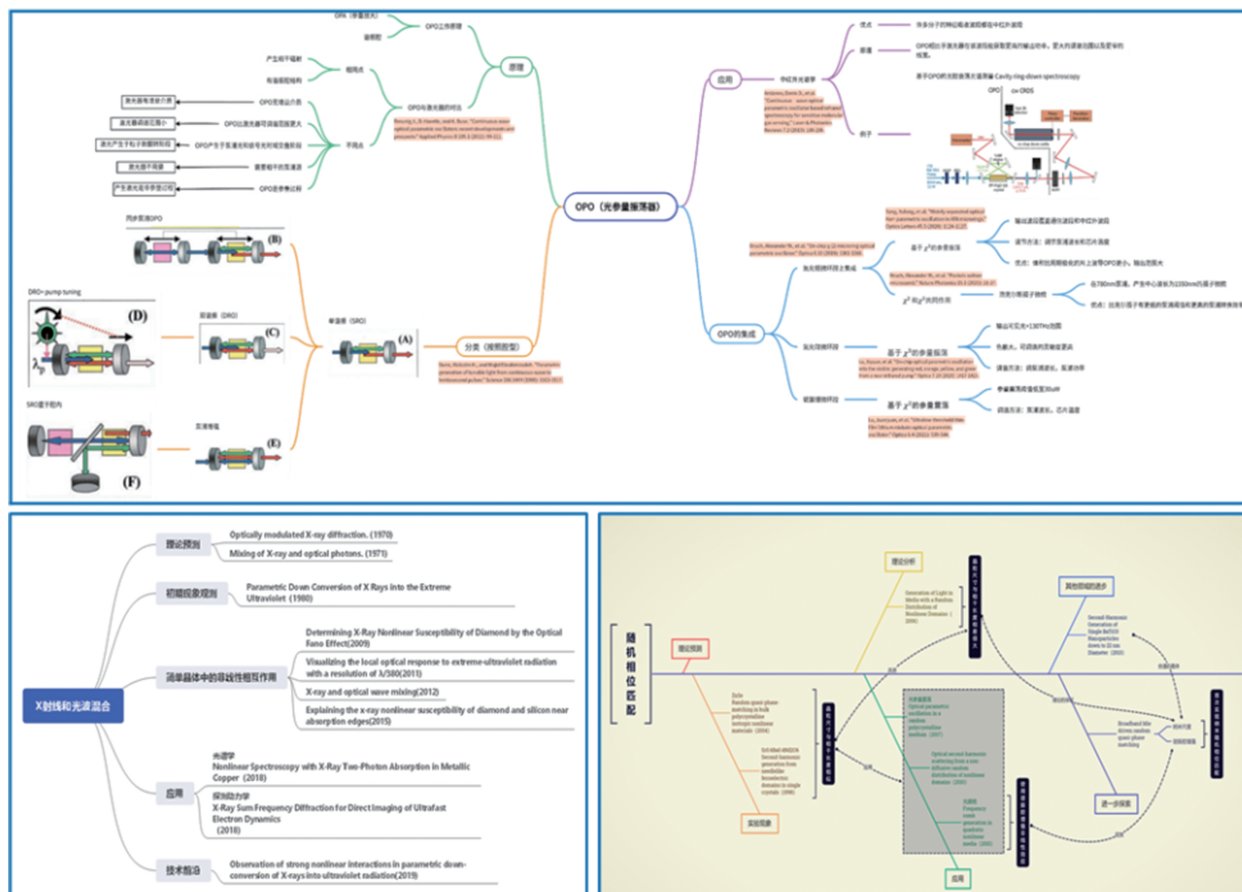


图2 学生从阅读的论文中梳理的思维导图

- Shenzhen International Graduate School of Tsinghua University as an example[J]. Modern Educational Technology, 2021, 31(10): 110-117. (in Chinese)
- [4] 左青卉, 韩东来, 司振君. 以学生为中心教学模式在课程教学中的探索——以“有机电致发光材料与技术”课程为例[J]. 教育教学论坛, 2020, 38: 196-198.
- ZUO Q H, HAN D L, SI Z J. Exploration on “student-centered” teaching model applied in the course teaching—A case study of materials and display technology of organic electroluminescence[J]. Education Forum, 2020, 38: 196-198. (in Chinese)
- [5] 刘晨华, 王希云, 李丽萍, 等. 以学生为中心的高等数学课堂教学管理机制研究[J]. 大学教育, 2021: 119-121.
- LIU C H, WANG X Y, LI L P, et al. Research on “student-centered” management mechanism of higher mathematics classroom teaching [J]. University Education, 2021: 119-121. (in Chinese)
- [6] 鲍永杰, 王永青, 钱希兴, 等. 新工科“以学生为中心”实践探索性教学改革[J]. 实验室科学, 2020, 23(4): 139-143.
- BAO Y J, WANG Y Q, QIAN X X, et al. New engineering “Student-centered” practice exploratory teaching reform[J]. Laboratory Science, 2020, 23(4): 139-143. (in Chinese)
- [7] 戴玉蓉, 董科, 周雨青. 新工科项目引领下大学物理及实验课程体系的改革与探索[J]. 物理与工程, 2023, 32(1): 76-80.
- DAI Y R, DONG K, ZHOU, Y Q, Reform and exploration of the curriculum system of university physics and physics experiment courses under the guidance of “New engineering and technical disciplines” projects[J]. Physics and Engineering, 2023, 32(1): 76-80. (in Chinese)
- (上接第 111 页)
- Teaching Guidance Committee for College Physics Courses in Higher Education Institutions of the Ministry of Education. Basic Requirements for Physics Experiment Courses in Science and Engineering Universities[M]. Beijing: Higher Education Press, 2023. (in Chinese)
- [9] 胡祥青, 夏灏. 立德树人润物无声——大学物理课程思政初探[J]. 物理与工程, 2022, 32(6): 189-194.
- HU X Q, XIA H. Moral education cultivates people and moistens things silently—A preliminary exploration of ideological and political education in college physics courses[J]. Physics and Engineering, 2022, 32(6): 189-194.
- [10] 陈杰, 贾辉, 叶太兵. 大学物理教学中军事资源的开发与融入——以力学部分为例[J]. 物理与工程, 2022, 32(2): 88-92.
- CHEN J, JIA H, YE T B. The development and integration of military resources in university physics teaching: Taking mechanics as an example[J]. Physics and Engineering, 2022, 32(2): 88-92.
- [11] 李春燕, 余同普, 彭小涓. 大学物理中军事案例教学的设计与探索——以枪炮后坐力为例[J]. 物理与工程, 2023, 33(5): 23-27.
- LI C Y, YU T P, PENG X H. Design and Exploration of Military Case Teaching in University Physics: Taking Gun recoil as an Example. Physics and Engineering, 2023, 33(5): 23-27. (in Chinese)
- [12] 刘琴. 教员信息化教学对学员自主学习能力培养与提升研究[J]. 大学: 研究与管理, 2021(6): 3.
- LIU Q. Research on the cultivation and improvement of students' self-learning ability through teacher information technology teaching[J]. University: Research and Management, 2021(6): 3. (in Chinese)