

围绕课程思政优化的电磁学课程教学尝试

杜宇涵¹ 江 雪² 袁 翔^{1,3}

(¹ 华东师范大学精密光谱科学与技术国家重点实验室, 上海 200241;

² 复旦大学信息科学与工程学院, 上海 200433; ³ 华东师范大学物理与电子科学学院, 上海 200241)

摘 要 “电磁学”是物理学及相关专业本科生的专业基础课程。它系统性地介绍并阐明了电磁学的相关规律, 并与日常生产实践紧密贴合, 能够训练学生发现并解决生活中电磁学相关问题的能力, 为将来从事物理学、信息学等研究与工作提供相适应的基础。电磁学课程与思政元素的结合可以在培养科学素养的同时, 使学生成为心怀科技事业, 肩负家国理想的青年人才。因而, 我们将课程思政融合下的核心素养作为课程的培养目标之一, 针对课程内容设置开展了思政优化的尝试。在基础课本知识传授的同时, 加入电磁学名家的科研教学生涯和电磁学在现代科技中的应用案例等思政元素, 通过将生动案例与科学知识结合, 起到融合教学的效果, 作为电磁学课堂的教学方案围绕思政优化的一次积极尝试。

关键词 电磁学; 课程教学; 课程思政

OPTIMIZE THE ELECTROMAGNETISM COURSE BY THE MORAL EDUCATION

DU Yuhan¹ JIANG Xue² YUAN Xiang^{1,3}

(¹ State Key Laboratory of Precision Spectroscopy, East China Normal University 200241;

² Department of Electronic Engineering, Fudan University, Shanghai 200433;

³ School of Physics and Electronic Science, East China Normal University, Shanghai 200241)

Abstract Electromagnetism is a fundamental course for undergraduate students of physics and systematically introduces the laws of electromagnetism and its application in daily life and industry. By learning the course, students are able to find, understand and solve electromagnetism-related problems in daily life which lays a foundation for their future careers in physics. Combining moral education with the electromagnetism course might be a beneficial attempt. Here, we report the optimization of the electromagnetism course by incorporating moral education. By adding historical science stories and the introduction of scientists, students are able to learn how the state of art science and technology were developed and beneficial to humans. It helps students to better understand electromagnetism and be aware of moral factors in science development.

Key words electromagnetism; teaching methods; moral education

收稿日期: 2022-08-23; 修回日期: 2022-09-19

基金项目: 教育部产学研合作协同育人项目(校企协同《低维物理与功能材料》前沿课程教学改革)。

通讯作者: 袁翔, 男, 研究员, 主要从事强磁场下的拓扑量子物态研究, 发展强磁场下的傅里叶红外光谱, xyuan@lps.ecnu.edu.cn。

引文格式: 杜宇涵, 江雪, 袁翔. 围绕课程思政优化的电磁学课程教学尝试[J]. 物理与工程, 2022, 32(5): 179-185.

Cite this article: DU Y H, JIANG X, YUAN X. Optimize the electromagnetism course by the moral education[J]. Physics and Engineering, 2022, 32(5): 179-185. (in Chinese)

1 电磁学课程简介

物理学描述了物质世界的运行规律,是帮助人类理解并探索自然世界的科学方法,是人类文明前进过程中积累下来的宝贵财富^[1]。电磁学作为经典物理学的重要组成部分和电动力学的前置课程,能够非常好地解释宏观世界中的各类有关电磁的现象。它阐释了“静电场的产生”“电流的产生”“磁场的产生和规律”“电磁场传播”等内容^[2,3]。电磁学与社会生活和生产实践具有广泛而密切的相关性,指导了科技创新发展中的产业升级、设备研发等工作,例如,能源开发、机电控制、信息传递^[3]等。因此,电磁学为培养适应中国现代化建设进程需求的科研和工程技术人才奠定了坚实的基础。

在以往的教学过程中,往往较为依靠讲解教材上的自然科学知识,而在对电磁学的发展历程、电磁学与社会生活和生产实践的相关性、电磁学在国家科学技术发展进程中起到的重要性的介绍上具有进一步提高的空间^[4]。因而,电磁学的课程亟须着眼于以下三个培养目标进行优化。首先,需要培养能够掌握电磁学基本规律,具有自我探究能力的,能够发现和认识生活中电磁学现象并利用所学知识加以思考和解释的学生。其次,需要培养了解电磁学发展历史,吸收发展过程中体现的物理思想和科学精神并运用于未来科学研究和技术发展中的学生。最后,需要培养能够了解电磁学发展进程,认识到电磁学在当今国家科学技术发展中所起到的重要作用,从而投身国家的高新科学技术发展,推动国家和社会发展进程的青年学子。

为了实现以上的三个培养目标,仅仅依靠电磁学教材上的自然科学知识的不够的,更需要围绕课程思政对既有的电磁学课程进行优化。首先,课程的设计方针需要考虑到物理学、电子学及其相关专业的学生在国家和社会的科学技术发展过程中所应当承担的历史使命。其次,丰富的教学维度也不可或缺,只有思想教育与专业教育双管齐下,才能使学生在电磁学专业知识的精进的同时不断地增进自身的综合素质的发展与完善。最终,在以上围绕课程思政优化的电磁学课程的引领下,学生能够成为心怀国家,具有科技自信、文

化自信、理论自信、制度自信,在未来投身科技事业,为国家发展作出贡献的青年人才。

2 课程思政与教学理念

习近平总书记在2016年的全国高校思想政治工作会议上指出,立德树人是教育的中心环节,思想政治工作需要贯穿教育教学的全部过程^[5]。2020年教育部印发的《高等学校课程思政建设指导纲要》^[6]中提到课程思政建设具有立德树人、提高人才培养质量的重要作用。物理学教学质量的提高和优化对学生形成科学的世界观、人生观、价值观的形成具有重要的意义。因而电磁学作为物理学中无可替代的重要组成部分,其在育人方面的作用必须得到重视^[1,7-9]。

为了更好地将课程思政融入实际的电磁学教学过程中,达到“如盐在水”并努力靠拢“化合反应”的层次^[10,11],我们整合出六大核心素养(见表1)。这些核心要素在电磁学课堂的实现不仅是对学生的学习提出了更高的要求,更是对任课老师的教学提出了更高的要求^[12]。在优化电磁学的教学课程设计中,我们首先从电磁学的发展史讲起,让学生体会并吸收科学研究的素养和坚持不懈的信念;进而引入到我国科技发展中电磁学知识所起到的重要作用,在学生内心播下科技报国之愿。利用实际案例的介绍,引发学生的爱国热情,树立对科技、文化、理论、制度的四大自信,以及正确的世界观、人生观、价值观以及历史观、民族观、国家观。在专业知识的讲解过程中,我们力图结合清晰表达、粗细兼具、注重思路、授之以渔^[13],从而使得学生在熟练掌握电磁学基础知识的前提下能够具备独立思考、举一反三、触类旁通的能力,并具有批判性思维和严谨求实的科学素养。在课程的讲解过程中还要注重结合最新、最前沿的科学研究成果和工程技术应用,使得学生具有立足中国、放眼世界的国际视野。我们鼓励学生内外吸收人类文明的各类优秀成果,成为全面发展、服务祖国的科技人才。

在教学方式的选择和运用上,需要朝着打造面向未来的电磁学课程进行设计^[11]。既需要教师讲授,也需要师生讨论,我们尝试使用翻转课堂的立体化教学形式,线上线下相结合、课内课外相连接,从而打破传统课堂中存在的单项输出、交互

表 1 课程思政融合下的六大核心素养

核心素养	素养内涵
心怀国家， 投身建设	立足于中国国情，关心社会和民族的未来，身兼优秀的科研和技术能力，投身于中国的科学研究和工程技术的发展事业中
胸怀世界， 国际视野	心系人类文明的发展，关注国际上的科学研究进程，内化吸收人类科技文明的优秀成果并将之投入到科学和技术进步中
基础扎实， 知识全面	具有扎实的物理和数学的基础知识，能够全面了解各种交叉学科的知识 and 技能，兼收并蓄，拥有全面发展、跨界发展的机会
肩负理想， 勇于探索	怀有人生理想并为之努力奋斗，在坚实的基础上具有坚持不懈地探索未知的勇气和能力，适应新时代的要求
反思整合， 触类旁通	具有反思总结和归纳整理的能力和批判性思维，能够基于已有的知识举一反三，从而掌握各类相关知识技能
崇尚科学， 严谨求实	尊重科学，对科技发展具有浓厚的兴趣，对科学问题严谨地求证，具备发现问题、分析问题并进而解决问题的能力

不足、方式单一、资源利用不足的特性^[14,15]。在授课过程中，既注重电磁学专业基础知识的讲解推导，也注重学科历史、案例分析、课程思政的融入，更不忘展开以小课题形式进行的有关电磁学前沿科学和应用的报告分享、交流讨论。具体而言，我们在课程中加以对国内名师、国内电磁学领域著名科学家、电磁学奠基人的生平和研究介绍，并设计讨论交流、反思感悟方面的环节，一方面让学生得以认识电磁学、了解电磁学，更是为了在潜移默化中在学生心中种下电磁学的种子、科学的种子；在科学榜样的光辉照耀下，培养起崇尚科学、热爱科学、求实创造、科学报国的美好品质。在课程的相关部分，我们对当下前沿科学和热点话题，例如5G通信技术、“卡脖子”的光刻问题、磁悬浮列车与环境影响方面进行穿插介绍，同样也设计讨论环节，请学生们针对此类话题发表自己的思考和见解，碰撞出思维的火花。由此，让学生领略前沿科学，感受时代力量，唤起为国家科技事业贡献力

量的责任感和使命感。

综上所述，学生能够在学会教材的基础上接触前沿科学知识、吸收思政价值观念、养成道德素质规范和形成核心科学素养。我们也在课后辅助以适量的作业训练和思考题，既巩固基础知识，又加强思维能力，保障良好的育人效果。

在上述教学理念和教学方式的指导和运用下，课程思政能够与电磁学课堂很好地交互和融合，从而培养出身兼六大核心素养，满足国家和社会发展要求的，向科技事业贡献力量的青年学子。

3 融入课程思政的教学设计

融入课程思政的电磁学课程教学中，各章节将具有兼顾知识要点与核心素养的教学设计。众所周知，赵凯华教授与陈熙谋教授合著的《电磁学》^[3]一书，是电磁学课程的经典教材之一，在许多高等学校物理专业被选用。因而，我们以赵凯华教授、陈熙谋教授合著的《电磁学》为蓝本，进行了设计，详见表2。

为清晰明了地展现课程设计，我们以课程绪论和收尾、名人事迹、科学前沿三部分详细阐述如何将课程思政有机融入电磁学教学中。

一个成熟的课程设计离不开对课程绪论和收尾部分的重视。因而，我们着眼于第1章“静电场”和第8章“麦克斯韦电磁理论与电磁波”两处进行相关课程设计的介绍。针对处于课程伊始的第1章“静电场”，我们设计了从生活中的静电现象入手逐步引入到静电场的分析的课程路径。如此，既激发学生的兴趣，更能激发学生的思考与讨论，对第1章“静电场”的内容，乃至电磁学的整体教学的顺利开展大有裨益。我们从几个生活中的静电案例入手，例如，生活中冬天脱下毛衣时产生的小火花，又如工业上静电除尘装置的设计，再如经过摩擦的塑料尺能够吸附纸屑的摩擦带电小实验^[16-19]。在此基础上，进一步阐明上述例子中异性电荷相互吸引、静电荷的分布和转移、静电场的产生等物理图像。熟悉以上物理图像后，我们将介绍相关的物理公式，从而在定性、定量两个维度双管齐下，最终使学生能够掌握并内化静电场的物理内涵。由此，学生能够经历到知识与应用相结合的学习思考过程，有利于培养崇尚科学之心和知识引导下的发明创新的理念。

表 2 各章节知识点与核心素养对应表

序号	课程章节	知识要点	核心素养
1	静电场	库仑定律的形式和适用性;高斯定理的推导和使用;正确计算电场强度;运用电势方法分析电场;计算带电体系静电能	基础扎实,知识全面 崇尚科学,严谨求实
2	静电场中的导体与电介质	静电平衡;电容器的电容和能量;电介质的极化;计算电场能量和能流密度	反思整合,触类旁通 崇尚科学,严谨求实
3	恒定电流	恒定电流的分析;计算电源的电动势;掌握基尔霍夫定律分析电路;了解温差电现象;了解气体导电和电子发射现象	心怀国家,投身建设 胸怀世界,国际视野
4	恒定磁场	毕奥-萨伐尔定律;磁场的高斯定理;安培环路定理;能够分析磁场对载流导线的作用;分析带电粒子在磁场中的作用	基础扎实,知识全面 反思整合,触类旁通
5	电磁感应和暂态过程	分析电磁感应;分析暂态过程	基础扎实,知识全面 崇尚科学,严谨求实
6	磁介质	分子电流观点;介质的磁化;磁路定理和边界条件;磁场的能量和能流密度	反思整合,触类旁通 崇尚科学,严谨求实
7	交流电	直流电与交流电比较;三相交流电的特性	基础扎实,知识全面 反思整合,触类旁通
8	麦克斯韦电磁理论与电磁波	麦克斯韦方程组;位移电流;电磁波的产生和传播;分析电磁场的能量和能流密度	肩负理想,勇于探索 反思整合,触类旁通

在课程的收尾部分,也即第 8 章“麦克斯韦电磁理论与电磁波”的部分,我们将不仅仅对麦克斯韦方程组、电磁波的产生和传播、电磁场的能量和能流密度等课本知识进行物理图像的介绍和公式内容的讲解,而且将注重对电磁学的发展历程进行回顾。我们将厘清电磁学的发展脉络,从库仑、奥斯特、安培、法拉第到麦克斯韦,科学研究是步步深入的,是从现象到规律、具象到抽象的过程,其中麦克斯韦更是以批判性思维和独立思考的方式,内化吸收前人的成果,不仅带领电磁学研究走向成熟,而且为电磁学在现代科学和工业中的运用奠定了无可替代的基础^[20,21]。从中,学生能够意识到批判思维的重要性,进而逐渐养成严谨求实、独立思考的能力,最终形成受益一生的正确的世界观、人生观、价值观。

在名人事迹部分,介绍中国电磁学教学名师,同时也是《电磁学》教材的编者——赵凯华教授的生动案例,让学生体会到赵凯华教授严谨治学的优秀品质以及为中国大学物理基础教育作出的卓越贡献。他投身科研,与科学前沿齐头并进,带领北京大学的学生从事等离子体理论和非线性物理

的研究,创建北京大学非线性科学中心,在神经网络、格点玻尔兹曼方程等方向作出诸多贡献;他深耕育人,热爱教学,钻研和优化教学方法,将课程细分却不琐碎,课程广度与深度并重,严谨与趣味并存,令学生回味无穷;他勤于著作,完成了《电磁学》《光学》《新概念物理教程》等教材的编写,这些教材突破了传统教材单一的缺陷,内容丰富又与前沿接轨,一经完成就被全国的多所高校选为教材,这不但促进了大学基础物理教材创作多样化,更大大加快了我国的基础物理学教育的发展进程^[22-24]。由此,学生不仅能够更好地树立起严谨求实的学习和研究态度,而且能够在心中植入爱国奉献的种子。

科学前沿将穿插在课程的各个部分,尤其是知识相近、相关的部分。

我们首先将进一步介绍电磁波理论在当今中国的科学技术事业中的广泛而重要的应用,例如,最新一代蜂窝移动通信技术——5G 技术,可以认为是与人们的日常生活距离最近的电磁波理论与技术的应用之一,它建立在电磁波理论上,具有高数据速率、减少延迟、提高系统容量和大规模

设备连接的特点。在新冠疫情的三年里,在 5G 技术的帮助下,医学专家得以对新冠肺炎患者进行远程超声诊断治疗,武汉火神山、雷神山医院得以飞速地建设。华为的 5G 技术更是领先世界,在国际上享有盛誉。从中,学生可以感知高新技术的应用与日常生活贴合之紧密,在克服艰难险阻时力量之强大;可以看到中国的优秀技术立足国内走向世界,引领时代的潮头。从中,我们希望提升学生们切身感受科技事业的蓬勃发展和光明前景,增强民族自信心和自豪感,种下投身科技事业的种子。

其次,我们也希望加入国外对中国“卡脖子”的技术方面的介绍,例如,光刻技术,它既运用于科研,也应用于生活。在科学研究中,光刻技术在制作二维材料相关器件时常常被使用。我们将在课堂上对光刻技术及其在如今的前沿科学研究中重要性进行科普和讲解,无论是 MoS_2 、 Ta_2NiSe_5 等材料的光电响应^[25,26],还是三维量子霍尔效应^[27,28]、非线性霍尔效应^[29]、魔角石墨烯超导与绝缘体相的调控^[30]等重要科学成果的探索、发现和应用都离不开基于光刻技术制作的电学微纳器件。而在生活中,光刻技术更是与日常使用的手机、电脑等电子设备中的芯片息息相关,芯片上的纳米级集成电路正是由光刻技术实现的,可以想象基于同样大小的芯片,光刻技术的分辨率越高,集成电路的复杂程度越高,进而计算能力大大增强,而这正是国外对中国“卡脖子”之处。当世界上最领先的光刻公司 ASML 能够成熟制作并出售商用 5 纳米工艺的光刻机时,中国的光刻工艺还停留在两位数。一旦国外在芯片制造方面对中国展开限制将极大地阻碍中国前进的脚步。通过以上部分的介绍,我们期待学生能够感知高新科技在生活水平提升、国家综合实力提升方面的重要地位,感受中国科技发展刻不容缓、挑战严峻的时代形势,从而增强学生们的爱国热情和投身科技事业的向往。

与此同时,我们还设计了“从磁悬浮列车看科技发展与环境保护平衡性”的专题研讨活动,学生通过资料查找与总结、课堂展示与讨论等环节发表见解,从而引发学生们对科技与环境相关性问题的思考。磁悬浮列车是电磁场与电磁波在交通工具方面的具体结合与应用。通过电磁力将列车悬浮于轨道上方,进而驱动列车运行。从能源节

约方面来看,与传统高速列车相比,磁悬浮列车具有耗电更少、速度更快的优势。然而目前磁悬浮列车还面临噪声污染、振动污染、生态污染等社会争议问题。首先,磁悬浮列车的高速运行背后有四大噪声源:空气动力器噪声、电磁噪声、机械噪声和固定源噪声。它们分别来自高速运行时的气流涡旋、长定子绕组通电、道岔变轨、施工维护。这些噪声源对周边房屋和基础设施建设造成了显著的困扰。另一方面,由于磁悬浮列车高速运行时,列车导向与制动、轨道支撑等方面都会产生明显的振动,并能传递到基座,进而传递到地面,因而列车高速行进路线的周边区域将不得不面对明显的振动干扰。最后,磁悬浮列车的制造、运行和淘汰还将产生废水污染、固体污染等生态环境问题。由此而言,我们希望学生们在总体上能够意识到科技的进步带来的不仅仅是纯粹的利好,同时也伴随可能的争议和需要解决的问题;在具体问题的讨论中,就磁悬浮列车问题而论,科技的发展和进步带来了磁悬浮列车,我们期望学生们既认识到它为人类生活带来了巨大的便利,也要同时认识到它潜在的污染问题。正如习近平总书记提出的“绿水青山就是金山银山”的科学论断^[31],在科技发展进程中也应当坚持绿色发展方式,重视潜在的生态环境问题并加以解决。

通过以上科技前沿的相关介绍与讨论,学生能够对科技发展具有更加深刻的认识,意识到科学技术在当今社会中的重要作用,唯有打好基础、学好知识才能为科学技术发展贡献力量;意识到科学技术发展可能伴随的潜在问题,包括社会争议和环境污染问题,唯有发展与保护并重才能真正利于社会、利于国家;意识到科学技术发展伴随综合国力的竞争,唯有用知识武装头脑才能立于中国的科技潮头,为国家的高新科技发展贡献力量,成为科技自信、文化自信、理论自信、制度自信的青年人才。

4 结语

综上所述,在课程思政融入电磁学的教学尝试中,我们根据课程思政建设的指导提出了育人的六大核心素养,在培养学生的世界观、人生观、价值观、历史观、民族观、国家观方面作出努力。结合课堂需求,使用翻转课堂形式将授课内容和

课程思政融合一体,达到线上线下、课内课外相联系的系统化教学。在课程的设计上,将电磁学每一章节的知识点与核心素养相互对应,从而使课程思政在电磁学课堂中起到润物细无声的作用,对学生的全面发展具有十分积极的作用。将电磁学发展史与中国科技发展进步史结合,以具体的典型案例为切入点,引发学生对科学研究、技术发展的思考与讨论,激发学生的爱国热情和民族自豪感,在学生的心中播种下为国家科学技术进步事业和人类文明发展进程贡献力量的种子,从而培养出具有科技自信、文化自信、理论自信、制度自信的青年人才。

参 考 文 献

- [1] 王小力. 大学物理课程思政研究与实践[J]. 中国大学教学, 2020(10): 54-57.
WANG X L. Research and practice of ideological education in university physics courses[J]. China University Teaching, 2020(10): 54-57. (in Chinese)
- [2] 涂平华. 经典电磁学发展里程概述[J]. 内江科技, 2009, 30(8): 25.
TU P H. Overview of the development of classical electromagnetism[J]. Neijiang Science and Technology, 2009, 30(8): 25. (in Chinese)
- [3] 赵凯华, 陈熙谋. 电磁学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2011: 668.
- [4] 陈真英, 彭富平. 大学物理课程思政实施策略及实践——以电磁学教学内容为例[J]. 高教论坛, 2022(6): 58-60.
CHEN Z Y, PENG F P. The implementation strategy and practice of ideological and political education in college physics course—Taking the teaching content of electromagnetics as an example[J]. Higher Education Forum, 2022(6): 58-60. (in Chinese)
- [5] 学习贯彻习近平总书记在全国高校思想政治工作会议重要讲话[EB/OL]. [2022-07-10]. http://www.moe.gov.cn/jyb_xwfb/s5148/201612/t20161209_291329.html.
- [6] 教育部关于印发《高等学校课程思政建设指导纲要》的通知[EB/OL]. [2022-07-10]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-06/06/content_5517606.htm.
- [7] 冯军兰, 张雪华, 李利平, 等. 物理学中的电磁学课程教学实践[J]. 集成电路应用, 2022, 39(2): 126-127.
FENG J L, ZHANG X H, LI L P, et al. Study on practice of teaching electromagnetism in physics[J]. Applications of IC, 2022, 39(2): 126-127. (in Chinese)
- [8] 彭勇宜, 阳军亮, 何军, 等. 电磁学课程思政的探索与实践[J]. 物理通报, 2022(2): 77-81.
PENG Y Y, YANG J L, HE J, et al. Exploration and practice on ideological and political education of curriculum in electromagnetism [J]. Physics Bulletin, 2022(2): 77-81. (in Chinese)
- [9] 姜伟棣, 焦志伟. 以培根铸魂启智润心为目标的《电磁学》课程思政探索与实践[J]. 物理与工程, 2021, 31(Z1): 112-117.
JIANG W D, JIAO Z W. Ideological and political exploration and practice of electromagnetics course with goal of casting soul enlightening wisdom and moistening heart[J]. Physics and Engineering, 2021, 31(Z1): 112-117. (in Chinese)
- [10] 王青, 忻蓓. 物理专业课程思政建设的认识与思考[J]. 中国大学教学, 2021(3): 52-54.
WANG Q, XIN B. Understanding and thinking about the construction of ideological education in physics courses[J]. China University Teaching, 2021(3): 52-54. (in Chinese)
- [11] 王青. 课程思政背景下面向未来的课程建设[J]. 物理与工程, 2021, 31(5): 3-6.
WANG Q. Future oriented curriculum construction under the background of curriculum ideology and politics [J]. Physics and Engineering, 2021, 31(5): 3-6. (in Chinese)
- [12] 王振林. “电动力学”课程思政建设的思考[J]. 大学物理, 2021, 40(6): 53-56, 61.
WANG Z L. Thoughts on the ideological and political construction of electrodynamics course[J]. College Physics, 2021, 40(6): 53-56, 61. (in Chinese)
- [13] 赵凯华. 如何讲好基础课[J]. 中国大学教学, 2008(7): 4-7.
ZHAO K H. How to lecture the basic course well[J]. China University Teaching, 2008(7): 4-7. (in Chinese)
- [14] 王海飞, 李洁. 翻转课堂在大学物理教学中的应用路径探索[J]. 新课程研究, 2022(12): 28-30.
WANG H F, LI J. Exploring the application path of flipped classroom in university physics teaching[J]. New Curriculum Research, 2022(12): 28-30. (in Chinese)
- [15] 卓嘎. 翻转课堂教学模式在大学物理教学中的应用[J]. 广西物理, 2020, 41(4): 73-75.
ZHUO G. The application of flipped classroom teaching model in university physics teaching[J]. Guangxi Physics, 2020, 41(4): 73-75. (in Chinese)
- [16] 王俊博. 静电实验研究[J]. 陕西教育(教学版), 2020(3): 30.
WANG J B. Experimental research on static electricity[J]. Shaanxi Education (Teaching Edition), 2020(3): 30. (in Chinese)
- [17] 王伟. 静电在生活中的应用与防护[J]. 潍坊工程职业学院学报, 2013, 26(3): 107-108.
WANG W. Static electricity in the life of the application and protection[J]. Journal of Weifang Engineering Vocational College, 2013, 26(3): 107-108. (in Chinese)
- [18] 陈燕琴. 静电实验的创新与拓展[J]. 物理教学, 2020, 42(5): 27-28.

- CHEN Y Q. Innovation and expansion of experiments on static electricity[J]. *Physics Teaching*, 2020, 42(5): 27-28. (in Chinese)
- [19] 陈雨. 生活中的静电现象[J]. *电子技术与软件工程*, 2018(3): 231.
- CHEN Y. The static electricity phenomenon in life[J]. *Electronic Technology & Software Engineering*, 2018(3): 231. (in Chinese)
- [20] 梁瑶, 徐小泉, 桑芝芳. 麦克斯韦电磁场理论的建立及意义——纪念 2015 国际光年[J]. *物理教师*, 2015, 36(6): 74-76.
- LIANG Y, XU X Q, SANG Z F. The establishment and significance of Maxwell's electromagnetic field theory—In commemoration of the international year of light 2015[J]. *Physics Teacher*, 2015, 36(6): 74-76. (in Chinese)
- [21] 李林, 单长吉, 徐楠, 等. 电磁学发展历史概述[J]. *吉林省教育学院学报(学科版)*, 2011, 27(2): 136-137.
- LI L, SHAN C J, XU N, et al. Overview of the history of electromagnetism[J]. *Journal of educational institute of Jilin province (Academic Edition)*, 2011, 27(2): 136-137. (in Chinese)
- [22] 秦克诚. 赵凯华[J]. *大学物理*, 2020, 39(11): 10-13, 25.
- QIN K C. ZHAO Kai-hua[J]. *College Physics*, 2020, 39(11): 10-13, 25. (in Chinese)
- [23] 宋菲君. 从物理教学到产业——“赵凯华模式”[J]. *物理*, 2020, 49(7): 454-457.
- Song F J. From physics teaching to industry—“Zhao Kaihua Model”[J]. *Physics*, 2020, 49(7): 454-457. (in Chinese)
- [24] 北京大学物理学院. 赵凯华先生教学科研生涯回顾[J]. *物理*, 2020, 49(7): 460-461.
- School of Physics (Peking University). Review of Mr. Zhao Kaihua's teaching and research career[J]. *Physics*, 2020, 49(7): 460-461. (in Chinese)
- [25] BECKMANN Y, GRUNDMANN A, DANIEL L, et al. Role of Surface Adsorbates on the Photoresponse of (MO) CVD-Grown Graphene-MoS₂ Heterostructure Photodetectors[J]. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2022, 14(30): 35184-35193.
- [26] LIU Q M, WU D, LI Z A, et al. Photoinduced multistage phase transitions in Ta₂NiSe₅ [J]. *Nature Communications*, 2021, 12(1): 2050.
- [27] ZHANG C, ZHANG Y, YUAN X, et al. Quantum Hall effect based on Weyl orbits in Cd₃As₂[J]. *Nature*, 2019, 565(7739): 331-336.
- [28] TANG F, REN Y, WANG P, et al. Three-dimensional quantum Hall effect and metal-insulator transition in ZrTe₅ [J]. *Nature*, 2019, 569(7757): 537-541.
- [29] KUMAR D, HSU C-H, SHARMA R, et al. Room-temperature nonlinear Hall effect and wireless radiofrequency rectification in Weyl semimetal TaIrTe₄[J]. *Nature Nanotechnology*, 2021, 16(4): 421-425.
- [30] CAO Y, FATEMI V, FANG S, et al. Unconventional superconductivity in magic-angle graphene superlattices[J]. *Nature*, 2018, 556(7699): 43-50.
- [31] 习近平. 决胜全面建成小康社会 夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利[N]. *人民日报*, 2017.