

国防科技大学电动力学课程改革实践

徐新荣 胡理想 银燕 赵晶 余同普 邹德滨 刘可

(国防科技大学文理学院物理系, 湖南长沙 410073)

摘要 电动力学课程系统讲授经典电磁理论, 是物理学专业的一门重要本科基础课程, 其知识体系和研究方法在生产实践、科学前沿和国防领域有重要应用。国防科技大学电动力学教学团队着眼“为战育人”培养目标, 基于军队院校学情现状, 对教学内容、教学方法、评价方式等进行了全面改革, 引导学员透过繁琐的公式推导和抽象的数学符号掌握物理内涵和科学思想。课程改革有效消除了学员的畏难情绪, 充分调动了学员的学习热情和积极性, 极大地强化了学员的逻辑思维和理论分析能力。

关键词 电动力学; 教学改革; 军队院校

REFORM PRACTICE OF “ELECTRODYNAMICS” COURSE IN NATIONAL UNIVERSITY OF DEFENSE TECHNOLOGY

XU Xinrong HU Lixiang YIN Yan ZHAO Jing YU Tongpu ZOU Debin LIU Ke

(Department of Physics, College of Arts and Sciences, National University of Defense Technology, Changsha, Hunan 410073)

Abstract The “Electrodynamics” course systematically teaches classical electromagnetic theory. It is an important basic course for the undergraduate who majors in physics. Its knowledge system and research methods have important applications in production practice, scientific frontiers, and national defense. Based on the current academic situation of military academies, the electrodynamics teaching team of The National University of Defense Technology focuses on the training goal of “educating people for war”, carried out reform on the teaching content, teaching methods, and evaluation methods, etc. Grasp the connotation of physics and scientific thinking rather than mathematical derivation, students’ fear of difficulties is effectively eliminated, enthusiasm for learning is greatly aroused, and logical thinking ability and theoretical analysis ability are strengthened.

Key words electrodynamics; educational reform; military academies

电磁场和电磁波是物质存在的一种形态。人类对电磁现象的系统研究已持续了几百年, 随着对其物理本质和基本规律的深入理解和掌握, 相关应用已渗透到生产生活实践和前沿科学研究的众多领域中^[1]。电动力学课程系统讲解电磁场的基本属性、运动规律以及与带电物质相互

作用的经典理论, 是物理学、电子科学与技术、光电信息等专业的必修课程, 对于夯实学员的电磁场理论基础、提升科学思维 and 创新能力至关重要。

国防科技大学电动力学课程始建于 20 世纪 80 年代, 由国家级教学名师李承祖教授牵头建

收稿日期: 2021-08-23

基金项目: 国防科技大学研究生课程思政第二批重点建设项目《高等电动力学》(43451714145); 湖南省普通高等教育教学改革研究重点项目(HNJG-2021-0002)。

作者简介: 徐新荣, 女, 讲师, 主要从事物理教学科研工作, 研究方向为激光等离子体物理, xuxinrong@nudt.edu.cn。

引文格式: 徐新荣, 胡理想, 银燕, 等. 国防科技大学电动力学课程改革实践[J]. 物理与工程, 2022, 32(5): 76-80.

Cite this article: XU X R, HU L X, YIN Y, et al. Reform practice of “Electrodynamics” course in National University of Defense Technology[J]. Physics and Engineering, 2022, 32(5): 76-80. (in Chinese)

设。30多年来,教学团队面向国防和军队建设需求,着眼“为战育人”培养目标,不断就教学内容、教学模式、教学手段、考核方式等方面进行调整和改革。通过融入军事应用案例、前沿科学进展和思想政治元素等,增强了课堂内容的人文性、生动性和先进性;通过教与学的双边互动,有效完成了“知识传授、能力培养和价值观塑造”的教学目标,为部队输送了大量懂理论、能创新的专业军事人才。

1 改革举措和成效

1.1 优化教学内容

1.1.1 搭建框架,凝练内容

电动力学课程包括静电场、稳恒电磁场、电磁波的传播和辐射以及狭义相对论等内容,各个模块之间既相对独立,又存在着密切的联系。为了让学员更好地把握知识脉络,知晓目标方向,掌握重点难点,在课程伊始,我们详细地向学员介绍本课程的知识框架。具体讲授某个知识点时,我们不仅要讲清楚它是什么,还要讲清楚它在整个框架中的位置,以及与其他知识点的联系和对应。例如,通过引导学员发掘静电场和稳恒磁场在物理图像和解决问题方法上的相似性,以及电偶极辐射和磁偶极辐射的互易特性,帮助学员深刻理解麦克斯韦方程组的电磁对称性以及对称破缺。通过这种方式,学员对物理问题的理解在深度、广度和关联度上都能得到拓展,并建立起系统化和全局性的观点,有利于未来知识的灵活应用和创新发展。电磁理论的丰富内涵以抽象的数学公式为载体,推导过程涉及大量矢量分析和偏微分方程求解,成为了不少学员学习的“拦路虎”。对此,我们在开课前两周的学习中带领学员进行相关数学知识的复习回顾,为后续的理论学习巩固必要的数学基础。正式讲授时,重点带领学员理解和体会数学公式所描述的物理规律和内涵,在课件中突出关键的推导步骤和技巧,而把公式推导布置成作业安排学员课前或课后自主完成,并根据实际情况予以必要的指导和点评。这些做法既缓解了“学时有限”和“课程内容多、难度大”之间的矛盾,又加强了学员熟练使用数学工具的能力,同时也使学员课上将注意力集中在物理本身,加强了对电磁理论的认识和理解。

1.1.2 以战领教,为战育人

电磁频谱广泛存在于陆、海、空、天作战全时空,是现代战场的核心战略资源,对信息化战争的胜败起决定性作用。我们围绕实战搞教学,在教学过程中注重引入相关知识在军事上的具体应用和潜在价值,实现按需而教、教有所成。比如在学习麦克斯韦方程组时,引入苏联1961年进行空爆核试验时引发周围电子系统和通信设备瘫痪的故事,引导学员利用所学知识进行解释,并顺势简要介绍电磁脉冲武器的发展历史和毁伤效能。讲授电磁波的极化时,介绍基于电磁波极化特性发展起来的干扰抑制、极化滤波、极化检测等新型雷达技术手段,使学员深刻体会到物理学基础知识在武器装备技术革新中的重要作用,增强学习动力。学习电磁波的反射和折射时,抛出“如何实现雷达隐形”的问题作为引入,激发学员的好奇心和求知欲。讲授磁场的作用力时,给学员介绍电磁炮这一现代军事武器及其最新进展,使学员对新型武器装备有所了解。讲授波导中的电磁波时,引入激光的概念,并介绍激光武器的优良作战性能和目前的发展现状。通过呈现实例拉近课堂与战场之间的距离,不仅可以让学员充分认识到电磁理论知识的重要性,还能使学员靠前对接部队、了解战场,助力学员成长为“懂联合、晓实战、会打仗”的高素质军事人才。

1.1.3 与时俱进,聚焦前沿

为提高教学内容的时效性,我们依托课程团队的科研背景,将等离子体物理、原子分子物理、光学等学科的最新科研成果转化为教学案例,建设了多个教学案例库。例如,在讲授电磁场的能量和动量时,为了让学员更好地理解电磁场与实物粒子之间的能量转移和动量转移,我们将激光辐射压离子加速这个科学前沿问题引入课堂教学中,通过展示激光辐射压加速的数值模拟动画,帮助学员更好地理解课程知识,同时开拓学员的眼界,提高他们的学习兴趣。在讲授电磁波的传播时,拓展介绍飞秒激光在空气中传输时的成丝现象,并说明这一现象在诱导引雷、人工降雨、远程探测等方面的潜在应用和亟待解决的问题。在讲解洛伦兹变换时,通过带领学员求解电磁波经近光速运动镜面全反射后的频率变化,深刻理解等离子体中产生高次谐波和阿秒脉冲的辐射模型——相对论电子飞镜的物理内涵。在讲授带电

粒子和电磁场的相互作用时,介绍基于超短超强激光的粒子加速和辐射研究,说明这一新型加速器和辐射源的独特优势、研究进展以及与传统方式之间的差别。通过这些前沿科学案例的引入,学员充分认识到基础知识对前沿科技发展的重要指导意义,同时了解到电磁理论的应用研究热点,学习热情高涨,知识内化更为有效。

1.2 多样化教学方法和模式

1.2.1 多媒体课件的开发与优化

多媒体课件由于具有良好的表现力、交互性和共享性而成为一种重要的教学手段。优秀的教学课件可以在一定程度上提高教学质量和教学效果。因此教学团队精心打磨开发了一套教学课件,并在教学实践中对之进行不断完善。例如,合理搭配文字和色彩,使得课件简明、易读;合理设计内容布局,将重难点放置在画面的黄金位置,达到美观、醒目双重目的;引入一些直观、清晰的图片和视频,增强课件的交互性和知识的直观性;合理设计动画,尤其在公式推导过程中,动画的使用增强了课件的逻辑性和启发性;在恰当位置插入声音,提高课堂的层次感和生动性;加入人机互动环节,提高课堂趣味性,例如在讲授相对论的时空理论时,通过不同参考系中时钟的即时显示,帮助学员深刻体会动钟变缓的效果,树立正确的相对论时空观;合理使用新型教学手段,比如通过雨课堂平台发布练习题,精准把握学员对相关知识的掌握程度,方便教员有针对性地引导学习,提高教学的反馈速度和效果。

1.2.2 基于计算机模拟的项目制教学

随着信息技术的发展,利用计算机进行数值模拟已成为理论推导和实验研究之外的第三种重要的研究手段。计算机模拟可将繁琐的公式推导过程及抽象复杂的文字、公式转化为直观可见的图像和动画,并且随着模拟程序的动态运行生动展示其中包含的物理概念和物理规律。团队在教学过程中积极开展项目制教学,通过从前沿科学研究和重大项目课题中提炼和简化科学问题,指导学员采用计算机模拟的方法来研究和解决问题。例如,通过模拟带电粒子在非均匀磁场中的运动,使学员深刻理解带电粒子在磁场中的箍缩效应和漂移效应;通过编程对比电偶极子和电四极子远场辐射势的近似解和精确解之间的差距,让学员验证近似解的可靠性,体会物理上近似处

理的合理性。项目的实施有效加深了学员对相关知识的理解和认识,同时提高了学员综合运用所学知识解决实际问题的能力,培养了他们实事求是、求真务实的治学精神,激发了应用计算机处理实际问题的热情,促使计算机模拟与专业课学习相辅相成、相伴相长。课程结束后,不少学员还主动寻找教员参加与课程相关的暑期实践活动,把对课程的喜爱延续到了课堂外。

1.2.3 翻转课堂

电动力学由于课程难度大、学时少,通常全部依靠教员讲解。而军队院校中,大量的军事训练和体能训练消耗了学员很多时间精力,且由于没有就业压力,学员的学习内在动力不足。不少学员上课“无备而来”,课堂上又习惯跟着教员的思路走,逐渐弱化了独立思考能力。在知识日新月异的今天,传授学员已有的知识和技能已不能满足时代的需求,只有“授人以渔”,锻炼学员的思维能力和探索能力,才能更好地适应瞬息万变的未来。翻转课堂通过调整“教与学”的顺序,互换“师与生”的角色,可极大提高和刺激学员的学习主动性^[2]。考虑到课程特点和学校特色,我们目前仅针对狭义相对论部分开展了翻转课堂实践。狭义相对论是现代物理学的基础,通过建立新的时空理论,解决了电磁理论与相对性原理之间的矛盾,将电动力学的基本方程推广至一切惯性参考系中。这部分内容公式推导较少且相对简单,关键的重难点在于如何让学员通过思维实验和理论分析深刻领悟相对论所揭示的科学内涵,获得对空间、时间、物质和运动等物理概念的全新理解,建立科学系统的时空观、物质观和运动观。在翻转课堂教学模式中,学员们首先通过课前观看视频、阅读教材或课件掌握相关知识,然后以小组形式围绕教员提出的问题进行调研、讨论和归纳,并以报告形式与其他人开展课堂讨论,在思维碰撞中完成知识内化,获得对问题更深入透彻的理解。实践发现,在翻转课堂模式中,学员的“主人翁”意识较强,与教员之间的关系更加平等和谐,学习主动性和积极性得到了极大调动,通过自主思考、质疑、辩论、归纳等过程,学员的综合能力,比如团队协作能力、调研分析能力、整合表达能力、探索思辨能力等得到了有效锻炼,自信心获得了极大满足。表1、表2列出了近两年的翻转课堂分组题目。

表 1 2019 年春季学期翻转课堂分组题目

组别	第一次	第二次	第三次	第四次
1	光行差的狭义相对论解释	高维时空观	电子束谬论	原子能
2	菲索流水实验的狭义相对论解释	洛伦兹变换中蕴含的因果律	动生电动势佯谬	二维多普勒频移
3	双生子佯谬	直角杠杆佯谬	矩形线圈的电动势佯谬	宇宙微波背景辐射和红移
4	不同参考系中光波面的观察	单摆佯谬	磁针偏转佯谬	“光子箱”悖论
5	洛伦兹收缩关系-以太讨论	任何粒子的速度不可能超过光速	尺缩效应与“视觉形象”	粒子碰撞问题

表 2 2020 年春季学期翻转课堂分组题目

组别	第一次	第二次	第三次	第四次
1	光行差现象调研	光行差现象和菲索流水实验的狭义相对论解释	电子束谬论	相对论加速度合成
2	菲索流水实验调研	双生子佯谬解释	矩形线圈的电动势佯谬	直角杠杆佯谬
3	超新星调研	不同参考系中光波面的观察	磁针偏转佯谬	粒子碰撞问题
4	迈克耳孙莫雷实验调研	洛伦兹变换与因果律	动生电动势佯谬	光子箱悖论

1.3 挖掘素材,课政融合

教育以知识传授和能力培养为手段来完成育人目标。长久以来,思政教育与专业教育各自为阵、缺乏协同,存在着固有“界限”。在应试教育下,知识的获取不是由好奇心驱动,而是为了“改变命运”的功利目标。一些学员走向社会后由于缺乏正确的价值观、人生观引领而容易出现各种心理问题,甚至做出一些伤害自己和他人的行为。党中央一直高度重视大中小学的思政教育工作,2004 年上海率先开启了学科德育的课程改革探索之路,并逐步构建起全员、全程、全课的育人格局^[4]。2016 年习近平总书记在高校思想政治工作会议上强调,高校的立身之本在于立德树人,要把思政工作贯穿教育教学全过程,开创我国高等教育事业发展新局面。他指出,思政工作必须围绕学生、关照学生、服务学生,不断提高学生思想水平、政治觉悟、道德品质、文化素养,让学生成为德才兼备、全面发展的人才^[5]。

教学团队积极响应党中央部署,以融入思政元素为主要抓手,以课程知识为载体,使课程内容有血有肉有温度。例如讲授电磁波传播时,通过“银河号事件”使学员清楚我国研制北斗导航

系统的重要战略意义,明白唯有自力更生才能不受制于人的道理。讲授电磁波辐射时,举例我国具有自主知识产权的天眼工程,介绍南仁东先生为了该项目呕心沥血、鞠躬尽瘁的感人事迹,引导学员以国家需求为己任,敢为天下先、甘为奠基石。讲授超导体的电磁性质时,给学员介绍国防科大磁浮技术研究团队和他们的研究成果,让学员感受到大神就在身边,激励他们认真学习、报效祖国。讲授质能关系时,通过简述我国第一颗原子弹的艰难研制过程和科学家的感人事迹,使学员明白科技强国的重要性,教育学员要牢记使命,勇于奉献,为实现中华民族伟大复兴而努力奋斗。通过这些真实案例的呈现,在润物细无声中极大地增强了学员的文化自信,激发了他们的爱国情怀和献身国防的使命感,实现了课程思政教育与课程质量提升的相互促进,价值相得益彰。

1.4 优化考核方式

进入了科技飞速发展的 21 世纪,本科教育的任务不仅仅在于传授具体的知识和技能,更重要的是能够激发学员的想象力和创造力,培养他们终身学习的能力和动力。而以卷面考核为主的传统方式只会促使大部分学员在有限的学习时间内

通过死记硬背和题海战术来获取知识,让学习变成一件功利繁琐的事情,而且记忆的知识随着时间流逝很快就被遗忘。为了让学员能够在好奇心、求知欲的驱动下去学习、探索,积极参与课堂,找到自己的优势潜力,我们设计了一套突出能力导向、涵盖过程性考核与结果性考核的学业评价方案,以实现学员全过程、多维度的指导、评价和考核。该课程的评定方式如下:平时成绩 30%+期末成绩 70%=总评成绩,其中平时成绩由课堂表现、模拟实践、作业质量和翻转课堂等综合给定,期末成绩则由卷面考试给出。平时成绩中翻转课堂和模拟实践各占 10%,以提高对学员综合能力的考核。经过改革,学员的学习热情和主动性得到了极大调动,成绩获得明显提升,课程的评价中“有趣”“有用”等积极字眼的出现率也逐渐超过了“难”“繁”等消极词汇。

2 结语

经典电磁理论的建立有力推动了近代以来两次工业革命的发展,也将在未来继续助力科学技术的进步。介绍经典电磁动力学理论的电动力学课程是相关理工科专业的必修课程,在培养创新型应用人才上发挥着举足轻重的作用。课程组围绕培养高素质国防科技人才和联合作战保障人才总目标,就教学内容、教学方法以及考核方式等方面进行了全面改革,通过融合基础与前沿、理论与

思政,努力打造精讲多练、特色鲜明、全员参与、全面提升的高品质课程,使学员都能因需而学,学有所获。改革取得良好效果,学员对待课程由初期的望而生畏逐步到津津乐道,甚至意犹未尽。教学改革是一项长期而艰巨的任务,要求教员紧跟科技潮流、契合国家需求、对接学员岗位持续推进。唯有如此,课程才能真正实现“育人”“育才”的教学目的。

参 考 文 献

- [1] 李承祖,赵凤章. 电动力学教程[M]. 长沙:国防科技大学出版社,2005.
- [2] 张萍, DING Lin, 张文硕. 翻转课堂的理念、演变与有效性研究[J]. 教育学报, 2017, 13 (1): 46-55.
ZHANG P, DING L, ZHANG W S. Research on the concept, evolution and effectiveness of flipped classroom[J]. Journal of Education, 2017, 13 (1): 46-55. (in Chinese)
- [3] 王青. 小班教学与翻转课堂:《费曼物理学Ⅱ》的 10 年教学实践——纪念费曼先生百年诞辰[J]. 物理与工程, 2018, 28(4): 20-38.
WANG Q. Small class teaching and flipped classroom: 10-year teaching practice of “Feynman Physics II”—To commemorate Mr. Feynman’s 100th birthday[J]. Physics and Engineering, 2018, 28 (4): 20-38. (in Chinese)
- [4] 刘昕璐. “课程思政”改革的“上海经验”[N]. 青年报, 2018-07-27 (A08). 7(A08). (in Chinese)
- [5] 吴晶, 胡浩. 习近平: 把思想政治工作贯穿教育教学全过程[R/OL]. [2021-8-20]. http://www.xinhuanet.com/politics/2016-12/08/c_1120082577.htm.