

## 核类本科专业“电动力学”课程教学初探\*

李新霞 白乘源 王振华

(南华大学核科学技术学院 湖南 衡阳 421001)

(收稿日期:2019-05-10)

**摘要:**电动力学是南华大学核类本科专业重要的专业特色基础课程,在“以本为本”的教学理念下,依托学院核科学与技术优势特色学科开展课堂教学改革与尝试,通过强化基本物理概念与物理模型的教学,同时融合电磁场理论在核科学与技术中的应用开展课堂教学改革,促进了学生对课程的认识和理解,增强了课堂教学的效果,完成了课程教学改革目标。

**关键词:**电动力学 课程教学与改革 核类本科专业

电动力学研究电磁场基本性质、运动规律以及电磁场与带电物质之间相互作用<sup>[1,2]</sup>。《电动力学》课程与《理论力学》《量子力学》《热力学与统计物理》合称为高校理论物理学“四大力学”。南华大学是全国较早开办核类本科专业的高校之一,学校具有鲜明的“核特色”,在第四轮教育部本科教学评估中,核科学与技术学科优势突出<sup>[3]</sup>。南华大学核科学技术学院核类专业有60多年的办学历史,核科学与技术学科是国防特色学科和湖南省优势特色学科,也是湖南省国内一流建设学科。2007年,为了加强理科对工科核类专业的理论支撑作用,核物理本科专业2007年秋季开始面向全国招生(本科一批招生)<sup>[4]</sup>。学院目前拥有核物理、核工程与核技术、辐射防护与核安全、核化工与核燃料循环等4个本科专业。核科学与技术专业培养层次全覆盖。学校核类专业办学过程中,得到了中国原子能科学研究院、兰州大学、四川大学等兄弟院校的积极支持,目前在培养体系、课程设置、专业特色凝练等方面形成了特色。《电动力学》是核类本科专业重要的专业特色基础课程,安排在大二第二学期,4个学分64课时。

《电动力学》课程理论抽象,“场”的观点贯穿整个教材。关于电场和磁场的分析和求解,教材中涉及大量的理论公式推导和复杂的数学计算(包括矢量分析和算符的运算等),稳恒场泊松方程、电磁场亥姆霍兹方程和达朗贝尔方程等是二阶偏微分方程,

狭义相对论时空变换是矩阵运算等等,涉及很多的数学物理方程知识储备。因此,在教学过程中学生感觉课程太难,教师也感觉上课很累<sup>[4~8]</sup>。国内开设电动力学课程的高校,由于授课对象和学生培养目标不同,在课程的内容设置和教学重点上差异较大。南华大学是核工业集团人才培养基地,学院核类专业毕业生主要面向核工业系统和国防系统就业。事实上,电磁场理论在核科学与技术领域有着广泛的应用,静电探测仪、电磁法选矿、电磁波的定向传输(波导)、高能粒子电磁辐射(加速器)、核探测、核能科学与工程(磁约束聚变)等,都与电动力学课程密切相关<sup>[4,7]</sup>。另外,电动力学课程也是本专业学生报考硕士研究生的主要专业课。因此,核类本科专业客观上需要学生夯实电动力学的理论基础。本文在“以本为本”的教学理念下,针对电动力学课堂教学中传好“道”、授好“业”问题,总结了我们的课程教学组的经验体会。

### 1 夯实数学基础 讲透矢量分析

在绪论课之后,安排4.5个学时的矢量分析内容,重点是场论,这是后续课程能够顺利进行的根本保障。在教学中,我们总结归纳出2个物理量(标量、矢量)→3种运算(标积、矢积、并矢)→3个度(梯度、散度、旋度)→2个变换(高斯变换、斯托克斯变换)→2个推论( $\nabla \times \nabla \phi = 0$ 、 $\nabla \cdot \nabla \times \mathbf{A} = 0$ )。此外,突

\* 教育部首批“三全育人”综合改革(教思政厅函,【2018】36号)南华大学教改资助,项目编号:2016JGY-12

作者简介:李新霞(1973-),男,教授,主要从事核能科学与工程教学与科研工作。

破难点,通过图示讲透教材中源点、场点和位矢,如图1所示.

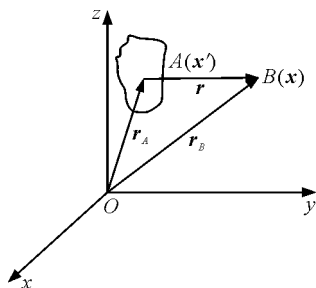


图1 源点、场点和位矢

矢量旋度的概念比较晦涩,可用图2告诉学生,如果该矢量场场线有类似的涡旋结构,则该矢量旋度不为零<sup>[2]</sup>.位矢既可以在常用的坐标系中用3个空间坐标来描述,也可以表示为 $\mathbf{r} = r\hat{e}_r$ ,因此有 $\nabla r = \left(\frac{\partial}{\partial r}\right)\hat{e}_r$ ,这个关系式经常要用到.对于类似的问题,在课堂中尽量的联系后续的教学内容,举一反三.

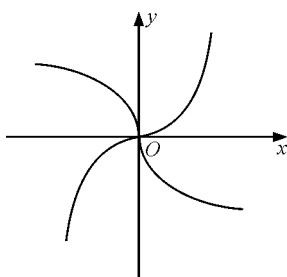


图2  $\nabla \times \mathbf{A} \neq 0$

电磁场麦克斯韦方程组完全描述了电磁场的性质和行为,但是数学上直接求解困难,即使是简单的真空条件,也包含了6个未知量和8个标量方程,如果考虑边界条件,其数学求解更加复杂.因此,通过巧妙地引入了标势和矢势,关于场量的方程转化为二阶偏微分方程,如泊松方程(拉普拉斯方程)、波动方程(亥姆霍兹方程)、达朗贝尔方程等.课堂上我们直接告诉学生,这已经是最好的数学处理方式了,因此,二阶偏微分方程的求解学生需要提前知识储备.值得一提的是,核物理专业培养方案中《数学物理方程》课程,我们遴选了核物理系有经验的老教授来主讲,极大地促进了电动力学的课程教学.

## 2 重视物理模型 强化基本物理概念的课堂教学

物理学是唯象理论,物理学的发展与物理模型的建立密切相关,对于各种复杂物理问题近似解的

获得,物理模型尤显重要<sup>[8~10]</sup>.电动力学最基本也是最重要的物理模型有点电荷模型、电偶极子模型、磁偶极子模型、平面电磁波模型等.这些典型物理模型的电磁性质,教学中要求学生熟记于心,解题的时候能够灵活运用.我们的课程教学实践表明,这些从教程中提炼出来的物理模型对学生影响深远,教学回访中发现,学生对电动力学课程记忆最深的也是这些物理模型.

抓住了物理模型,还需要强化对基本物理概念的教学.物理学的教学或者研究,物理图像最为重要.有正确的物理图像,才会有恰当的物理模型,然后获得对应的物理方程,最终得到物理解.在电动力学授课教师集体备课教学活动中,我们深刻地认识到基本物理概念教学的重要性,也反复强调物理概念必须传授准确、理解到位.对于某些比较晦涩的物理概念,也要求尽量用最通俗的语言来传授给学生.位移电流( $\mathbf{J}_D$ )和涡旋电场( $\mathbf{E}_i$ )是麦克斯韦引入的两个假设,却深刻地揭示了变化的电场和变化的磁场的相互依存关系;极化电荷( $\rho_P$ )与磁化电流( $\mathbf{J}_M$ ),是介质对外加电磁场反应的宏观效果;复电容率( $\epsilon'$ )是导体中电磁波传播问题处理的数学技巧;电磁场的能流密度矢量( $\mathbf{S}$ )和动量密度( $\mathbf{g}$ ),揭示了电磁场具有能量和动量.这些琐碎的知识点却也是发光点,使得电动力学的知识体系更加的明朗.

唯一性定理是求解静电场问题和稳恒磁场问题的重要手段和理论依据.一方面,唯一性定理可以直接或间接求解静电场(稳恒磁场),如常用的试探法、镜像法等;另一方面,唯一性定理解决了所得解的正确性和唯一性问题.泊松方程和拉普拉斯方程是二阶偏微分方程,数学上求得的是通解,而电磁场问题是客观真实存在,是唯一的.从数学通解到物理特解,关键就是边界条件,第I类为Dirichlet边界条件即给定边界电势;第II类为Neumann边界条件即给定边界电势的法向导数;第III类为混合边界条件即已知一部分边界电势,已知一部分边界电势的法向导数.这样,学生就会主动地将数学物理方程课程与电动力学课程学习联系起来,促进了学科间相互融合.

## 3 学以致用 依托专业特色 增添研讨式教学环节

兴趣是学习的最大动力.学院核专业的本科

生,对“核”充满着激情,也都有很深的核工业情结,高考一志愿录取率 $>90\%$ ;同时,学生的高考成绩优秀,高考分数超过学校起录线30分以上.为了激发学生的学习兴趣,教学中充分依托学院核工程国家级实验教学示范中心、核能与核技术工程国家级虚拟仿真实验教学中心、南华大学—中国原子能科学研究院工程实践教育中心等3个国家级实验教学平台和氦—湖南省重点实验室等6个省级学科研究平台,将其中涉及的电动力学问题凝练出来.值得一提的是,学院中澳仿星器国际合作基地的仿星器磁约束核聚变装置,涉及到大量的电磁波的传播与传输、波阻尼、等离子体物理探测、射频波天线设计、电磁辐射场分析等,吸引了部分优秀的本科生来参与仿星器物理和工程研究,这也为课程的学习提供了独特的研究平台.

近年来电动力学课程教育教学改革,都充分重视研讨课<sup>[9~12]</sup>.充分依托学院的核特色和现有的教学科研平台,我们在课堂上凝练了多个研讨专题供学生选用:(1)静电技术及其在核技术中的应用;(2)电磁法选矿及其工艺进展;(3)超导与核技术应用;(4)等离子体中电磁波的传播与等离子体隐身;(5)波导管与TE<sub>10</sub>模;(6)天线辐射与天线阵;(7)加速器中高能粒子的电磁辐射分析;(8)托卡马克与仿星器装置等.我们鼓励学有余力的学生组成兴趣小组(2~3人),利用课后的时间自己调研文献、准备PPT(图文并茂),然后在研讨课上报告(15 min),学生们提问(3 min),教师点评(3~5 min).这些研讨专题一般安排在教材相关知识点章节之后,贯穿整个学期.为了鼓励学生主动参与课程专题的实践环节,对优秀的学生,我们给予课程平时成绩计满分的政策.多年实践表明,这些研讨专题能够吸引优秀的学生来挑战自己,学生之间的竞争机制客观上也促进了专题报告从内容到形式越来越棒.另外,我们还鼓励和支持学生依托电动力学课程内容,申报各类大学生科研项目、参与相关的学科竞赛等.总之,专题研讨课的开设极大地推动了电动力学课程教学的深入开展并取得了良好的效果.

#### 4 重视信息化教学与传统板书结合

重视信息化教学,着力打造电动力学“金课”.教学团队定期集体备课,团队成员积极参加慕课、微

课、快课等教研教改活动,发展和完善教学PPT,尤其是补充了大量的图片和视频资料.我们尤其重视学术大咖的影响力,利用课前和课间休息时间,准备了杨振宁先生的“物理学与美”,王贻芳院士、李建刚院士等科学家的“开讲啦”视频.我们的学生大部分都会选择继续攻读研究生,他们很有可能就会加入这些科研团队.信息化教学手段的引入,极大丰富了电动力学课堂教学效果,也吸引了更多的优秀学生爱上电动力学课程.另一方面,重视板书,讲练结合,是我们多年课程改革和实践保留下来的传统.电动力学理论抽象、公式多、矢量分析复杂、还涉及二阶偏微分方程,重要的物理过程推导,我们坚持黑板板书,讲透每一个细节,力求学生都能够掌握.部分教材中的习题,也带领学生在课堂中动笔推导计算,暴露的问题及时纠正.

#### 5 总结

电动力学的教学和改革,是大家非常关注的课题,很多的同行也做出了积极的探讨<sup>[4~6]</sup>.本文中,我们根据自己在南华大学核类本科专业电动力学课程10余年的改革与实践,积极探索,初步形成了适用本专业的教学模式.根据历年来本专业学生考研的情况来看,大约30%的学生入学选考科目选择了电动力学.我们相信,电动力学课程的学习过程,更是学生宝贵的知识财富.

#### 参考文献

- 1 郭硕鸿,黄迺本,李志兵.电动力学(第3版).北京:高等教育出版社,2008
- 2 John David Jackson. Classical Electrodynamics. San Francisco: University of California, Berkeley, 1998
- 3 <http://www.cdgc.edu.cn/xwyyjsjyxx/xkpgjg/>
- 4 李新霞,龚学余,王镇华.在创新中建设好核物理本科专业.高等理科教育,2011(5):79~82
- 5 汪映海,赵鸿.优化电动力学课程内容体系和结构的一些探讨.高等理科教学,2001(4):29~31
- 6 熊万杰.电动力学教学的调查研究.教育与现代化,2007(1):30~33
- 7 邹德滨,刘可,银燕,等.物理学研究生基础课程教学改革的探索与实践——以“高等电动力学”为例.高等教育研究学报,2019(1):102~107
- 8 胡要花,韩运侠,姚丽萍.电动力学教学中调动学生积极性的对策研究.教育教学论坛,2018(12):189~191



## 大概念理念下的“势能”教学设计

吴爱兄

(陈经纶中学 北京 100037)

(收稿日期:2019-03-09)

**摘要:**传统应试教育理念下的高三物理教学只关注考试说明文件中列举的大量具体零散的知识,缺乏围绕学科核心概念对知识合理的组织与整合,很难使学生的认知能力得到长足发展,以高三“势能”这节课的教学设计为例,说明如何基于大概念教学理念进行高三课堂教学设计.

**关键词:**大概念 整合 势能

随着“核心素养”的提出和发展,近几年物理高考越来越注重在真实情境中考查学生对物理核心概念的深入理解,注重在解决问题的过程中考查学生对核心方法的灵活应用.高三物理教学不仅要帮助学生唤醒和重组知识,更重要的是提升学生的建构能力.

使其更加深入地理解高中阶段的核心概念,领悟学科思想,提升学科素养,促进学生的深度学习.基于大概念理念的教学主张围绕一些大概念把比较零散的知识进行整合,既是提高教学质量和课堂教学效率的关键,也是提高学生物理核心素养的基本要求.

9 曾永志,游双华.应用目标达成度对电动力学进行教学质量评价.物理通报,2017(4):36~38

10 刘倩,李彩霞,郑国旭,等.基于主动学习法的《电磁学与电动力学》教学方法改革研究.物理通报,2017(9):11~13

11 刘晓军,李奇楠,丁振瑞.经典电动力学现代化学习的思考与设计.物理通报,2012(11):20~23

12 田莲花,金迎九,朱爱东.浅谈如何在电动力学课程教学中体现学生的主体地位.教育教学论坛,2017(12),207~208

## Preliminary Exploration on the Teaching of *Electrodynamics* Course for Undergraduate Major in Nuclear Science

Li Xinxia Bai Chengyuan Wang Zhenhua

(School of Nuclear Science and Technology, University of South China, Hengyang, Hunan 421001)

**Abstract:** Electrodynamics is the core course for undergraduate majors of nuclear physics in our school, and it also taken to be an special basic courses for nuclear science and technology undergraduate majors for its general application. Based on the ideal of "Taking the college teaching as the Foundation", active reform and attempt of classroom teaching on Electrodynamics are performed. By strengthen the class teaching of its basic physical concepts and physical models, especially for adding its general application in the major of nuclear science and technology, good understand of the course is obtained, moreover, the improvement of the class teaching of the course results in excellent achievement of the teaching objectives.

**Key words:** electrodynamics; reform and class teaching; nuclear characteristics