

新兴交叉学科背景下计算物理课程教学改革

徐志宏, 冉宪文, 汤文辉

(国防科学技术大学 理学院, 湖南 长沙 410073)

[摘要] 科学技术的不断发展, 促使各个学科之间的交叉越来越深入, 同时也促进高校的教育改革。现代物理学建立在实验、理论和计算这三大支柱上。掌握一些在计算机上通过数值计算解决物理问题的能力, 已成为每个物理系学生必须具备的素养。在以理学为基础培育新兴交叉学科背景下, 针对学生的实际情况和特点, 以培养学生自身能力和素质教育为根本, 讨论了计算物理教学改革中如何渗透和推动科学计算能力教育, 培养适应社会发展的合格人才。

[关键词] 交叉学科; 计算物理; 科学计算; 教学改革

[中图分类号] G642.0 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1672-8874(2013)SO-0077-03

Considerations on Teaching Reformation of Computational Physics with the Newly Developing Interdisciplinary Subject

XU Zhi-hong, RAN Xian-wen, TANG Wen-hui

(College of Science, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: With the development of science and technology, the intersection of subjects has been promoted more deeply than before, which aroused the education reformation in colleges immensely. Modern physics is built on the relation of experiment, theory and computation. For the students working in the field of physics, it is necessary to master the ability to analyze physics problems with numerical methods. With the newly developing interdisciplinary subject raised on science, how to permeate and promote the education of scientific computational ability in computational physics teaching reformation is discussed according to the current condition and characteristic of the students, who would be trained to accommodate the highly development of science and technology.

Key words: interdisciplinary subject; computational physics; scientific computation; teaching reformation

一、引言

随着近代科学的迅速发展, 不同学科之间相互交叉、相互渗透, 逐渐形成一批新兴交叉学科, 如生命科学、材料科学、环境科学等。这些交叉学科的不断大大地推动了科学进步。一方面学科交叉研究体现了科学向综合性发展的趋势, 另一方面重视交叉学科将使科学本身向着更深层次和更高水平发展^[1,2]。物理学作为整个自然科学的基石, 在这些交叉学科的发展过程中起到了至关重要的作用。而作为现代物理学三大支柱之一的计算物理, 在计算机日益普及和计算技术飞速发展的今天, 已渗透到物理科学、工程学和社会科学等各个领域的研究, 在交叉学科的研究与

发展中扮演非常重要的角色。

计算物理是随着计算方法的发展和高速计算机的出现而快速发展起来的一门交叉学科, 是物理学、数学、计算机科学三者相结合的产物, 它不仅能够弥补理论模型难以完全描述复杂物理现象的不足, 而且可以克服实验物理中遇到的许多困难。虽然它的研究对象是物理学, 但是它的研究方法可以推广到其他的科学领域, 例如船舶设计、医药设计、地震预测、石油勘探、气象预报、金融模拟、航空航天、核技术等国民经济和国防建设的诸多重要领域, 甚至包括思维科学、决策和管理科学等社会科学领域。毫无疑问, 计算物理的发展将对自然科学、社会科学问题的研究以及计算机应用研究起着极大的推动作用。

[收稿日期] 2013-08-05

[作者简介] 徐志宏(1977—), 女, 湖南沅江人, 国防科学技术大学理学院工程物理研究所讲师, 博士, 主要研究方向: 计算流体力学及应用, 冲击动力学。

二、国内外计算物理课程的建设

在交叉学科高速发展的今天,对于物理学家来说,掌握必要的计算物理学知识和计算手段已变得越来越重要。具有科学计算能力已成为物理系学生的必备素质之一,培养学生用计算机进行学习和研究问题的能力刻不容缓^[3]。因此越来越多的大学将科学计算能力的培养作为素质教育的重要内容,针对将要从物理学及相关学科研究的研究生和本科生开设了计算物理课程。

国外已普遍开设计算物理课程,如斯坦福大学针对研究生开设的 Computational Physics 课程,哈佛大学为研究生与本科生开设的课程是 Computational Physics Methods and Applications,俄勒冈州立大学对一二年级本科生开设 Introductory Scientific Computing 课程,对研究生开设 Computational Physics 课程。这些课程通常围绕一些非常基本但难以解析求解的物理问题展开,通过各个物理学专题引入物理学研究中各种基本的计算机数值计算方法,有侧重地讲述用于解决实际物理问题的基本数值方法。通过课程学习,学生可以全面了解物理学中主要的计算技术,从而具有利用计算机进行数值计算解决复杂体系物理问题的能力。

在国内,计算物理学会在推广计算物理的应用与计算物理教育作了大量的工作。98 年“教育部物理学与天文学教学指导委员会专业物理与应用物理教学指导组”在第三次工作会议纪要中建议,将计算物理列为研究生 8 门基础课之一。99 年在第四次工作会议纪要又再次肯定了 this 建议。2004 年计算科学暂作为北京大学数学学院计算数学、力学与工程科学系流体力学、物理学院凝聚态物理、信息科学技术学院计算机科学与技术、化学与分子工程学院物理化学、生物信息学、地球与空间科学学院固体地球物理学等七个专业的研究方向正式招生。同年“教育部物理学与天文学教学指导委员会”建议本科生开设“计算物理基础”课程。

我校开展与计算物理相关的研究和教学由来已久,早在 87 年就出版了《计算物理引论》一书。现阶段开设的计算物理课程面向物理专业大三学员开设,开课时间为春季学期。

三、计算物理课程改革的一些思考

(一) 教学内容的改革

目前我校计算物理课程的教学内容主要包括解偏微分方程的有限差分方法,和求解随机问题的蒙特卡罗方法。虽然这两种方法是数值计算复杂物理问题的有效手段。但是从物理专业培养方案的课程体系来

看,这些内容不能完全满足计算的需要。例如理论物理学中要求解的问题往往是积分问题或常微分问题;一些前沿的科学知识如非线性力学的知识,许多都来自数值求解常微分方程;实验物理中常常需要对实验数据进行处理,从而总结归纳出经验公式提供工程使用^[4]。这些问题都属于计算物理研究的范畴。

因此有必要进一步丰富课程的教学内容,增加数值微分、数值积分、解常微分方程和数据处理等内容,目标是通过该课程的学习,学员可以对经典物理问题(例如理论力学、电磁学问题等)进行数值求解,使学生能将计算物理知识应用到普通物理和四大力学的学习中。并且教学过程中应尽量选择物理系学生熟悉的内容作为例题,而不要从过于专门的领域中选取,以免把讲授的重点从计算方法的应用转到物理原理解释上去^[4]。

另外还应该尽可能将计算机模拟和可视化技术作为基本内容引入计算物理课程,一方面可以提高课程的实用性与趣味性,加深学员对抽象物理概念(例如统计力学、量子力学、数学物理方程等)的理解和掌握,也更有利于提高学生的兴趣,发挥学生的想像力与创造力。

(二) 教学手段的改革

计算物理课程的目标是培养学生使用计算机解决物理问题的能力。对学生这几个方面的综合能力提出了要求:物理问题的分析能力,数值分析能力,计算机程序设计能力。培养这种综合能力的最有效的途径是上机实践,学生只有通过独立完成若干个实践作业,对计算物理的工作流程有了全面的了解和掌握,才能具备独立工作的能力。实践题应尽量选择学生熟悉的领域,这对于加深他们对物理知识的理解和融会贯通有极大的促进作用。

我校针对物理专业本科生开设的计算机语言教学以 C++ 语言为主,难度较大,大多数学员在学习以后还不能真正应用,只能是纸上谈兵,无法完成程序设计这一实践环节。MATLAB 编程语言的出现为非计算机专业的学员进行科学计算提供了非常好的平台。它具有“入门就能用”的特点,同时强大的计算功能与全面的可视化功能也使得我们在解决和分析问题的时候得心应手。它能有效地解决本课程课时少,内容多的困难。简捷的 MATLAB 的编程使学生可以潜心研究物理问题本身而不埋没在繁杂的语言编程中。其他大学的教学实践表明,仅仅通过 8 个学时的 MATLAB 教学,学生不仅学会了基本的数值计算,还做出了许多有创造性的成果^[5]。

因此在课程教学中有必要采用 MATLAB 软件,从建立工程开始,通过课堂编程,数据处理,可视化等手段,一方面可以直观地演示物理实验(如光学实

验、热传导等),另一方面使学生尽快进入实践作业阶段,开展综合能力的训练。

(三) 增设面向研究生开设的计算物理课程

由于课时有限,本科阶段计算物理教学强调以用为主,少讲算法设计,目的是加强学员对物理知识掌握,使学员掌握基本的数值计算手段。而在研究生阶段,在学科之间的交叉融合越来越强的背景下,解决的问题将越来越复杂,数值方法在很多情况下是解决物理问题的唯一手段。本科阶段的知识远不能满足计算的需求。例如多尺度计算,不仅涉及到微观和宏观数值计算,还需要应用并行算法的思想。因此有必要在研究生阶段继续开始计算物理课程的教学,内容侧重算法研究及程序设计,以培养学员创新性思维和解决新问题的能力。本阶段教学中应采用 C++ 或 Fortran 语言编程,通过编程训练,有助于学生对算法的理解,以及提高学生处理复杂问题的能力。教师还可以根据自己的科研背景以及所教授的学生的专业知识结构,选择合适的交叉学科知识穿插在适当的章节中。交叉学科知识不但可以作为计算物理课程本身的一种延伸和拓展,很大程度上将促进学生获取新知,激发科学探索的兴趣。

(四) 发挥课程交叉性强的特色,打破专业界限,鼓励其他专业学员选修

计算物理是一门交叉性、辐射性强的课程,对物理学专业的本科和研究生是一门重要的专业基础课程,同时对于材料、生物、化学、控制科学等专业的学生在素质培养方面也是一门优秀的专业或专业基础课程。我们应该充分发挥计算物理课程的特色和优势,打破专业的限制,针对材料学、化学、生物学和控制科学等不同的专业特点进行有针对性的教学改革,使得计算物理成为相关专业的必修和选修课程。

教学中还应该紧密结合其他学科的发展,把相关学科的发展状况及时在教学中体现出来。可以通过开设名师讲堂,邀请国内外计算物理方面的知名学者进行前沿性讲学等方式,激发学生对计算物理的浓厚兴

趣和认知度,切实提高学生的创新精神、科研能力、学术涵养,使学员具备从事其它学科专业方面的研究能力,满足交叉学科发展对跨学科人才的需求。

四、总结

通过了解计算物理的发展历史和在未来应用前景,我们可以看到计算物理教学的发展趋势体现在本科生研究生分层次开课、引入数学软件和可视化、与物理教学结合等三个方面^[3]。作为一门实践性强的课程,在教学中应倡导自主探索、研究学习、学以致用理念,以解决经典物理学中的问题作为实践,培养学生用计算机学习与研究实际问题能力,激发学生的求知欲与创新能力。

教学是创造性的活动,在计算物理教学过程中渗透交叉学科知识,一方面可以促进教师追踪学科前沿知识的动态发展,不断提升自己的知识结构和科研能力,形成多元的知识结构,另一方面,通过在计算物理教学中渗透交叉学科知识,可以激励学生对未知世界保持好奇,对科学前沿保持一种热情地、探索地态度,这对于人才培养极具现实意义,为更高阶段的交叉学科创新性研究以及相关交叉学科的产业输送人才打下基础。

[参考文献]

- [1] 陈继量. 高校以优势学科促交叉学科建设与发展[J]. 科教导刊, 2011(5): 37-38.
- [2] 郑晓瑛. 交叉学科的重要性及其发展[J]. 北京大学学报(哲学社会科学版), 2007, 44(3): 141-147.
- [3] 彭芳麟. 计算物理基础[M]. 北京:高等教育出版社, 2010.
- [4] 秦克诚. 对大学物理系计算物理课程和教材的设想[J]. 中国大学教学, 1992, 20(2): 36-37.
- [5] 潮兴兵, 刘坚强. 大学物理课程内容与教学模式整合目的、方法及要点[J]. 大学物理, 2010, 29(2): 47-53.

(责任编辑:胡志刚)