

跨学科研究生选修课的教学改革与实践

——以“量子物理”为例

邓志姣, 戴宏毅, 彭刚, 余同普
(国防科技大学 文理学院, 湖南 长沙 410073)

摘要: 跨学科研究生选修课对于完善研究生的知识结构, 培养其多学科前沿交叉研究的能力至关重要。本文以“量子物理”为例, 分析了开设跨学科研究生选修课的必要性和普遍存在的问题, 提出了跨学科研究生课程教学的基本理念, 开展了一系列教学实践并取得了初步成效。实践表明, 我们提出的教学改革措施对于培养多学科交叉研究生具有一定的参考价值。

关键词: 量子物理; 跨学科研究生选修课; 教学实践

中图分类号: G643 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-8874(2019)04-0105-06

Teaching Reform and Practice of Interdisciplinary Graduate Elective Course: The Case of “Quantum Physics”

DENG Zhi-jiao, DAI Hong-yi, PENG Gang, YU Tong-pu

(College of Liberal Arts and Sciences, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Interdisciplinary graduate electives are essential for improving the knowledge structure of graduate students and cultivating their ability to interdisciplinary frontier research. This article takes “Quantum Physics” as an example, analyzes the necessity and common problems of setting up interdisciplinary graduate elective courses, puts forward the basic concepts of interdisciplinary graduate course teaching, carries out a series of teaching practices and has achieved preliminary results. Practice shows that our teaching reform measures have certain reference value for cultivating multidisciplinary graduate students.

Key words: quantum physics; interdisciplinary graduate elective course; teaching practice

研究生选修课是研究生课程体系结构中的重要组成部分, 主要为研究生进一步拓宽专业基础、扩充知识面以及培养相应能力而开设。在研究生培养体系中开设好各类跨学科选修课程对于完善研究生的知识结构, 培养其多学科前沿交叉研究的能力至关重要。目前, 注重交叉学科的研究和教育是世界各研究型大学的显著特点之一^[1]。开展跨学科教研活动不仅有助于激发研究生的创新

思维, 拓展其知识面的广度和深度, 锻炼其多学科视角分析和解决问题的能力^[2], 而且也是培养高层次复合型人才, 增强国家原始创新力的战略举措。对于工科院校, 前沿交叉研究更是孕育新学科方向、培育新学科增长点的重要途径, 因此受到越来越多高校的重视。

跨学科课程按照授课方和授课对象的不同, 大致分为三类^[3]: 其一是学生专业课程以外的其

收稿日期: 2019-09-16

基金项目: 2018年湖南省学位与研究生教育教学改革研究课题(JG2018B002); 教育部高等学校大学物理课程教学指导委员会2019年高等学校教学研究课题(DJZW201928zn)

作者简介: 邓志姣(1980-), 女, 湖南衡东人。国防科技大学文理学院副教授, 博士, 主要从事量子信息和量子光学研究。

他已有课程,其二是一些学院向部分学生提供的拓展课程,其三是多个学院联合向全校学生开设的拓展课程。不同学科有着不同的知识体系和方法论,这导致传统单一学科结构的教学方法不再适用。比如,由理科院系向工科专业研究生开设课程就面临培养思路迥异的问题:理科是以基础科学研究为主,而工科则强调工程实践^[4];理科关心的是自然规律,而工科侧重的是实用性;工科生学习基础理论关注的是理论有什么用、怎么用,这导致教师不能直接照搬给理科生授课的方式。因此,跨学科课程特别是其中的研究生选修课程对教师的“教”和学生的“学”,都提出了新的挑战。在工科院校,如何跨学科给工科研究生上好理科专业课必将成为一个值得探讨和实践的课题。

“量子物理”课程是我校物理系针对工科研究生开设的跨学科选修课程。该课程开设的目的是帮助工科研究生掌握量子力学的基本理论,使他们较快适应与量子技术相关的工作。本文以笔者近5年来我校“量子物理”课程教学实践为例,分析了开设跨学科研究生选修课的必要性以及普遍存在的问题,提出了跨学科研究生教学的基本理念并进行了一系列教学改革,尤其在弱化数学推导、加强科教融合、注重学科交叉以及利用物理学史育人等方面进行了尝试,使研究生在掌握基础知识的同时,提高其物理思维能力,拓宽其知识视野,并培养其正确的科学观和价值观。多年的教学改革实践表明,我们提出的跨学科教改措施对于培养多学科交叉研究生的科研能力具有积极意义。

一、开设跨学科课程的必要性和面临的主要问题

在科学技术迅猛发展的今天,学科不断地从分化走向综合。人类社会发展和科技进步面临的重大问题,往往需要汇聚不同领域的专家共同攻关,更需要一大批具有跨学科思维、掌握多学科理论、善于创新和借鉴的高层次复合人才。美国、日本、德国等国家的著名高校纷纷通过建立跨学科研究中心、实验室、科研项目等方式推动跨学科教研活动。国防科技大学作为国家“双一流”建设院校,也在跨学科教学和研究中走在国内高校的前列。例如,为了促成和加强不同学院与量

子相关研究方向的交叉融合,学校于2015年正式成立了量子信息学科交叉中心。中心聚集了来自物理学以及计算机科学、控制科学、人工智能、信息科学、航天科学、电子科学等工科专业的研究小组。当前我校的一些军事应用背景很强的研究正朝着高、精、尖的方向迅速发展,当研究深入到一定阶段就会触碰到物质的基本结构和属性,也就离不开量子力学的理论支撑。近十几年来,量子通信、量子计算、量子陀螺、量子成像、量子控制等新兴研究方向纷纷涌现,基于量子力学的许多工科研究方向的学科交叉势在必行。

对于这些新兴交叉研究领域,要让学生融入其中并尽快开展深入研究,面临的首要问题是如何让学生尽快掌握多学科的知识背景。笔者认为,一个解决的有效途径是有选择、有针对性地开设好各类跨学科研究生选修课程。实际的课程设计中,不同的学科背景导致开设跨学科研究生选修课存在一些共性问题^[5],比如教学内容设计难、系统教材缺乏、教学时数少、学生思维方式固化等。“量子物理”课程是在我校量子技术跨学科研究的大背景下,由物理系为工科研究生开设的学习量子力学基础理论的选修课程。下面我们以该课程为例来具体阐述这几个共性问题:

1. 教学内容设计难

工科研究生的学科背景使得他们更注重知识的实用性,因此本课程既要介绍基础理论,又要重点讲好应用,教学内容分为两部分:一部分是关于量子力学的基础知识。讲授这一部分内容要注重把握好量子力学五大基本假设、微观粒子在有限空间运动(束缚态)和无限空间运动(散射)的定态问题,以及微观粒子的波包含时演化问题。通过具体问题讲透量子隧穿效应、零点能、不确定性关系、量子干涉等量子效应。另一部分是介绍量子力学在日常生产生活以及前沿科学中的应用。工科研究生最关心的就是理论怎么用,因此对于这部分内容的教学既要结合具体知识点,又要紧跟科学研究前沿,对教学内容设计提出了较高要求。

2. 课程教材缺乏

对于物理专业的学生,国内外有许多优秀的量子力学教材,比如周世勋、钱伯初、曾谨言、R. Shankar、J. J. Sakurai、D. J. Griffiths等人编写的经典教材。这些教材逻辑严密,推导严谨,侧重于介绍量子力学的完整数学体系。但对于非

物理专业研究生而言, 它们显得内容抽象、数学复杂, 而且大多不涉及实际应用和最新科技进展。学生学完理论之后进行具体应用还有一段理解上的距离。据笔者调研, 目前国内外还没有比较成熟的专门针对非物理专业研究生编写的量子力学教材。

3. 课程学时数偏少

物理专业的学生学习量子力学的基础理论至少需要 70 个学时, 这还不包含任何的应用举例和科研进展介绍。由于工科研究生的学习任务重, 还有不少必修的专业课和公共课, 本课程只安排了 54 个学时。这个时间相对于要讲授的内容来说偏少。如果仍采取传统单一讲授的方法, 不仅无法完成所有教学内容, 而且课堂效果差, 很多内容只能点到为止, 难以融会贯通。

4. 学生思维方式固化

工科专业研究生培养模式较注重实用性, 因此工科生学习理论知识往往不求甚解, 不重视物理模型的建立、物理公式成立的条件, 喜欢背公式、套公式。殊不知很多物理规律、物理概念都是通过大量的实验观察、推理、建模抽象归纳而来, 还有一些理论完全是凭借科学家的物理直觉、想象力和洞察力建立的, 规律量化后以数学符号表示出来。如果只是纯粹记公式, 而不去理解公式背后的物理思想, 学生不可能学会物理的思维方法, 也不会领悟到物理学基础理论在工科应用中的重要作用。

因此, 探讨并尝试新的教学方法和手段, 特别是针对跨学科研究生课程的特点进行完整的教学设计和教学改革, 是跨学科研究生课程教学面临的重大课题。

二、跨学科研究生课程的教学理念和改革实践

上述问题绝大部分来源于不同学科之间的背景差异。我们认为, 开展跨学科研究生教学应该不仅要让学生掌握基本的理论知识、了解前沿的进展和应用, 而且要帮助学生在跨学科课程的学习过程中建立新的认知方式和思维方法。以“量子物理”课程为例, 这中间就存在工科和理科的思维方式、创新方法的不同。比如, 理科生思维严谨, 善于抽象归纳。而工科生注重理论的实用化, 动手能力较强, 善于从实际着手解决具体问

题。工科的认知和创新基本上都来源于实践并且要服务于实践^[6]; 而理科的创新并非一定要源于实践, 以物理学为例可以有假说法、类比和模拟法以及直觉、灵感、想象等。这些学科背景的不同不应当成为教学的绊脚石, 教师应该因势利导, 让学生学会从多学科视角看待问题, 在学习中感受和接触其他学科的思维方式和研究方法。

基于这些基本的教学理念, 并结合本课程开设目的, 我们针对“量子物理”课程进行了较大的教学改革和实践。本课程选课人数不多, 每学期大约 10 人, 基本都是研究生一年级新生, 数理基础好, 学习兴趣浓厚, 思维活跃。笔者在具体教学中设定的教学目标包括: 1. 结合基本知识将最新的前沿应用直接引入课堂, 让理论和应用实现无缝对接; 2. 让学生接触物理研究中基本的科研思维范式和科研方法; 3. 为学生今后的交叉学科研究、协同合作搭建桥梁; 4. 树立学生勇于挑战权威、求真务实的科研态度。为了达到这些教学目标, 笔者在《量子物理》课程设计中, 着重从以下几个方面入手, 开展具体的教学实践:

1. 合理编排课程教学, 巧妙弱化数学推导

由于缺乏合适教材, 我们需要根据学校已有教学情况和学生的实际学习能力, 自行编排好适宜的教学内容和课件, 包括设计讲授内容、随堂练习、课堂讨论、课后作业以及调研选题, 采用合适的教学方式, 以最简练的语言既让学生掌握最基本的理论, 同时还要让他们了解这些理论是如何被应用的。

笔者在备课过程中参阅了大量书籍和资料, 在确定了课程的两大部分教学内容之后, 再探讨哪些内容或问题适合讲授, 哪些更适合学生自学和思考, 哪些又更适合研讨式教学。为了帮助学生缩短理论和应用之间的距离, 笔者打破两部分教学内容的界限, 将具体知识点与前沿应用直接对接, 同时注重灵活运用教学方法, 采用讲授式、启发式、研讨式、专题式等多种教学方式, 突出重点、突破难点, 通过最佳途径使学生高效掌握并领悟出知识点的深刻内涵。比如, 在讨论谐振子能级等间隔的特点时, 可以采取启发式教学: 引导学生思考如果不是抛物线势函数能级是否等间隔? 学生根据已学模型一般都能得出否定的答案; 然后进一步提问, 势函数的形状是如何影响能级间隔的? 通过层层设问启发学生自己总结规律, 培养其归纳总结的思维能力。

在早期的课程教学中,笔者还发现学生遇到的最大困难就是数学推导。冗长的推导过程使学生迷失最初的听课思路,几次课下来往往不知所云。笔者针对这个问题,在教学中仅给出简单的计算过程,对于复杂情况只介绍计算思路,让学生课后结合参考书自己推导。笔者还发现,有些复杂问题的解的特点已经隐含在简单问题的解中。利用这一规律,我们引导学生根据已知结论猜测复杂问题解的特点,既巧妙绕开了数学推导、锻炼了学生的科研直觉,而且还节约出时间用于讨论更多的物理内容。

2. 物理思维贯穿课堂, 前沿研究丰富教学

将前沿领域的研究内容和研究方法融合到教学中需要注重两个关键问题^[7]: 一是怎样将物理研究的逻辑思维贯穿于课程教学的全过程, 着重培养学生提出问题和解决问题的实际能力; 二是如何使科研资源有效地转化为教学资源, 以丰富教学内容和教学手段。笔者在教学中引导学生利用已知结论猜测新问题的解、将复杂问题简单化, 安排随堂动手演算、课堂相互讨论、学生口头报告及相互提问等环节。这些都是理论物理研究中的常用方法。在此过程中潜移默化地锻炼工科学生物理学思维能力。在教学内容上增加了大量的科研热点作为素材, 选材上注重典型性、通俗性、前沿性; 教学风格上力求深入浅出地讲好应用, 以引起学生的广泛兴趣。为此, 笔者将各种应用素材以举例或者专题形式穿插到相应知识点。例如, 利用近年来实验上纳米机械振子的态叠加、冷原子团的干涉来展示量子态的叠加原理; 引入化学键以及杂化轨道辅助说明原子的电子云分布具有空间取向性; 揭秘神奇的引力波探测中作用机制的描述仅需要量子谐振子模型等。这不但极大地丰富和深化了教学内容, 而且拓宽了学生的知识视野, 激发了其学习基础理论的热情及课堂参与度。

3. 注重学科交叉融合, 鼓励协同创新研究

学科交叉融合往往产生新的学科生长点, 甚至导致重大科学突破。以量子力学为例, 它经历了三个方面的交叉融合: 一是在物理学科内部的交叉融合, 原子核物理、量子光学、量子电子学、纳米科学、粒子物理等都是在其基础上发展起来的; 二是量子力学与化学、生命科学交叉形成了量子化学、量子生物学; 三是近三十多年来量子力学与信息学、计算机科学、控制科学交叉形成了量子信息学, 这也是几个学科当前最活跃的研

究前沿之一。

“量子物理”这门选修课程就是针对不同工科研究生进行跨学科交叉研究特意开设的, 在教学中要特别注重不同学科方向的交叉融合。针对不同工科专业研究生的特点, 要联系实际, 因材施教, 融合相关前沿知识。这就要求在应用素材的选取上尽量兼顾不同的学科背景。笔者在教学内容设计上采用的素材涉及面广, 有半导体器件、激光、量子计算、分子键结构、分子光谱、核物理、多光子干涉等。引入的形式多样化, 有课堂举例、思考练习题, 调研讨论内容等。考虑到学生今后都将从事量子技术的相关研究工作, 笔者安排他们课后调研所在课题组的研究方向、课堂汇报、相互提问讨论。这也是一种增进彼此了解、搭建今后合作桥梁的重要手段。学生的报告内容涵盖冷原子干涉仪及陀螺仪、基于量子算法的信号探测、量子导航、量子保密通信、原子钟、量子神经网络、量子计算等等, 基本集聚了学校量子领域的相关研究方向。这些不同方向实现的研究目标不同, 但都运用了量子力学的基本原理, 在研究思路和技术手段上有相互借鉴的地方。通过这种平等交流研讨, 有效激活了学生的创新思维, 活跃了课堂气氛, 取得了较好的预期效果。

4. 物理学史立德树人, 激励学生求真探索

量子力学的教学中存在两条线索: 一条是与量子力学教学内容相联系的科学精神线索, 这能使认识量子力学理论的内在逻辑; 另一条是与量子力学的产生、发展相联系的量子物理学史线索, 也可称为人文精神线索。科学精神在传统的教学中一直处于绝对优势地位。但是从立德树人的角度来看, 人文精神对于培养学生的人生观、价值观是不可或缺的, 在教学过程中也应占有一席之地。因此, 我们要深入挖掘量子物理学史的育人功能, 把量子物理学史与量子物理教学内容一道贯穿于教学的全过程, 着力培养学生的人文精神和科学精神, 实现立德树人。

量子理论的建立不是哪一个科学家的贡献, 而是由普朗克、玻尔、海森堡、薛定谔等一大批科学家在协同合作与相互争辩中历经 30 年逐步建立的。海森堡、德布罗意、狄拉克都是在二三十岁时就对理论的建立和完善提出了关键思想。玻尔和爱因斯坦两位科学大师围绕着对量子理论的解释展开了几十年的世纪之争。关于量子理论的诠释问题一直是众说纷纭、各执一词, 从发展之

初到现在已经有几十种诠释版本, 至今仍然是基础物理研究的热点问题^[8]。在教学中我们要启迪学生弘扬科学家们追求科学、崇尚学术、不惧权威、勇于奋斗和善于原始创新的精神。笔者在课堂上穿插科学家的小故事, 介绍学生阅读相关史学资料, 鼓励他们课堂上讨论最欣赏的量子物理大师, 谈谈玻尔和爱因斯坦争论的焦点和历史细

节等等。让学生在理论学习的过程中感受科学家们求真探索的精神和思考问题的独特视角, 同时鼓励他们通过自己的智慧和不懈追求去实现科研上的一个个突破。

立足于这些教学理念和实践活动, 我们的课程教学在授课、作业、考核等方面都发生了明显的变化(如表1所示)。

表1 教改前后课程教学对比

	教改前	教改后
教师人数	5人	1人
教学内容	严格分成两部分: 1人讲基本理论+4人介绍量子相关研究方向	理论和应用相结合: 将知识点和前沿应用直接对接
教学风格	理论部分沿用对合训类物理本科生的传统讲法, 章节结构清晰、物理概念阐述严谨、数学推导详细, 应用部分采取科普讲座法	理论部分精炼出核心知识点, 弱化数学推导, 通过设计思考练习题引导学生发现规律、理解知识点的内在联系; 应用素材放在相应知识点后面
教学方式	单一的讲授式	讲授式、研讨式、启发式、专题式等
物理学史的涉及	课堂引入科学家小故事增加趣味性	课堂穿插科学家小故事, 介绍课外阅读资料, 预留1-2学时课堂讨论
学时分配	54学时全部由教师讲授	教师授课42学时(3学时/次, 2学时讲授, 1学时讨论课); 学生口头报告6学时; 学生作业题交流6学时
平时作业	使用合训类物理本科生量子力学作业题, 作业有标准答案	根据教学需求自行设计作业题, 可能需要绕弯、讨论或者编程
考核方式	笔试50%+书面报告50%(书面报告要求自己感兴趣的某一与量子相关的主题展开调研)	笔试50%+口头报告50%(口头报告要求调研本课题组研究方向, 提问交流表现计入报告成绩)

三、结语

跨学科研究生选修课对完善研究生的知识结构、培养其多学科前沿交叉研究的能力至关重要, 但却普遍面临由于学科背景差异所导致的教学内容设计难、系统配套教材缺乏、教学时数偏少、学生思维方式固化等问题。本文以“量子物理”的教学实践为例, 提出了跨学科研究生课程教学的基本思想并进行了具体的教学改革实践, 特别是在弱化数学推导、加强科教融合、注重学科交叉以及利用物理学史育人几个方面进行了有效尝试, 通过讲授式、研讨式、启发式、专题式等多种教学方式, 引导学生学会主动思考。通过这些改革措施, 学生的课堂参与度、物理思维能力、

知识视野等方面都得到了提升。一个学期初步统计下来, 有30%的学生回答问题的次数超过10次, 有80%的学生回答问题的次数超过5次。每位学生都有上台报告交流的机会至少两次。所有的学生都参与了课堂思考讨论、报告提问环节。在这些交流碰撞的过程中, 极个别学生甚至能够提出一些尚未解决的基本物理问题。从学生的课堂表现来看, 他们对各种应用素材都表现出浓厚兴趣。特别是口头报告环节, 学生在听报告的过程中会思考其他方向是如何利用量子力学的基本原理的, 与自己的研究是否存在共性, 对自己的研究是否有启发等等。有些研究需要不同学科背景的人员相互合作, 这也为他们今后的学科交叉研究建立了初步联系。从考核结果来看, 学生基本上掌握了量子力学的理论框架, 对自己将来要

进行的研究工作有较为清晰的认识,对其他同学的研究也形成了大致的了解。大部分学生升入了博士阶段继续深造,有的本校直博,有的出国深造。还有个别学生硕士阶段就在物理类国际著名期刊上发表了学术论文。当然,这些教学改革切实发挥作用离不开学生的积极配合,课后他们需要花费不少时间和精力才能取得较好的效果。我们在实际教学中也还存在一些问题,比如,未编写配套讲义,作业题难度偏大而讨论时间偏少,有些应用素材难以理解等。这些还需要在实际的教学过程中进一步优化。

参考文献:

- [1] 王大中. 建设研究型大学人才培养和教学体系创建世界一流大学[J]. 清华大学教育研究, 2002(1): 1-8.
- [2] 吴学萍, 袁李兰. 美国研究型大学研究生创新人才培养的基础、经验及其启示[J]. 高等教育研究, 2019

(6): 102-109.

- [3] 王建梁, 岳书杰. 跨学科理念之下墨尔本模式课程改革的影响及启示[J]. 江苏高教, 2010(2): 144-146.
- [4] 李飞, 李拓宇, 陆国栋. 以科教融合、学科交叉提升工科人才培养质量[J]. 高等工程教育研究, 2015(4): 5-9.
- [5] 覃玉荣. 地方综合大学开设跨学科选修课的思考[J]. 广西大学学报: 哲学社会科学版, 2000(10): 112-116.
- [6] 孙康宁, 傅水根, 梁延德, 等. 赋予实践教学新使命 避免工科教育理科化[J]. 中国大学教学, 2014(6): 17-20.
- [7] 吴德星. 科教融合培养创新型人才[J]. 中国大学教学, 2014(1): 4-7.
- [8] 孙昌璞. 量子力学诠释问题[J]. 物理, 2017(8): 481-496.

(责任编辑: 王新峰)

征稿启事

《高等教育研究学报》是军队院校唯一面向国内外公开出版发行的教育类期刊(CN43-1330/G4、ISSN1672-8874)。2009年获“中国学术期刊检索与评价数据规范(CAJ-CD)执行优秀期刊奖”。2012年获评“中国国际影响力优秀学术期刊”。自创刊以来,本刊以其独特的学术地位与刊物风格深受军内外广大教育理论工作者、高校师生及教育管理人员的欢迎和厚爱。本刊来稿需观点明确,论证充分;结构严谨,层次清晰;资料可靠,数据准确;文字精炼,图表规范。本录用稿格式详见《高等教育研究学报》专题网站(国防科技大学官网首页有链接)。篇幅(含图、表)8000字左右为宜,军内作者投稿时请同时提交论文保密审查证明。《高等教育研究学报》每期定价15元,全年80元(含邮资)。

欢迎订阅与投稿!

本刊投稿方式如下:

网 址: <http://gdjyyjxb.nudt.edu.cn> (互联网) <http://gdjyyjxb.gfkd.mtn> (军网)

Email: gdjyyjxb@nudt.edu.cn (互联网) gdjyyjxb@gfkd.mtn (军网)

地 址: 湖南省长沙市开福区德雅路109号国防科技大学《高等教育研究学报》编辑部
(邮编: 410073)

联系电话: 0731-84572393 (地方线) 0731-572393 (军线)

0731-84573598 (地方线) 0731-573598 (军线)

联 系 人: 毛鸽枝