

新工科背景下量子力学教学内容优化研究

邓丽城 陈德媛 郭艳艳

(南京邮电大学集成电路科学与工程学院, 江苏 南京 210023)

摘要 量子力学是描述微观粒子运动规律的理论,在工科专业教学体系中起着基础性、先导性的作用。然而,当前工科专业的量子力学课程存在学时数少、学生数学知识储备不足的问题,给教学带来了巨大的挑战。为了解决上述问题,本文在新工科建设的背景下,对量子力学教学内容的优化开展了深入的探索研究。在多年教学实践基础上,根据立德树人的教育根本任务、量子力学课程特点以及我校微电子科学与工程专业教学情况,对量子力学教学内容给出了具体优化措施,并取得了较好的教学效果。

关键词 新工科;量子力学;量子物理;教学内容优化

RESEARCH ON OPTIMIZATION OF TEACHING CONTENT OF QUANTUM MECHANICS IN THE CONTEXT OF NEW ENGINEERING

DENG Licheng CHEN Deyuan GUO Yanyan

(College of Integrated Circuit Science and Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing, Jiangsu 210023)

Abstract Quantum mechanics is a theory that describes the motion law of microscopic particles, and plays a fundamental and pioneering role in the teaching system of engineering majors. However, the quantum mechanics course for engineering majors has the problems of few class hours and insufficient mathematical knowledge reserves for students at present, which brings great challenges to teaching. In order to solve these problems, this paper carries out in-depth exploration and research on the optimization of teaching content of quantum mechanics under the background of the construction of new engineering courses. Based on years of teaching practice, this paper gives specific optimization measures for the teaching content of quantum mechanics according to the fundamental task of building morality and cultivating people, the characteristics of quantum mechanics courses, and the teaching situation of microelectronics science and engineering in our school. After the optimization of teaching content, good teaching results have been achieved.

Key words new engineering; quantum mechanics; quantum physics; optimization of teaching content

1 量子力学教学内容优化的意义

量子力学是研究微观粒子运动规律的学科,

是高等工科院校微电子科学与工程、材料与化学等工科专业的专业基础课,在整个知识体系中起着基础性、先导性的作用。近年来,我国积极推进高等院校新工科建设,注重将工程和技术

收稿日期: 2022-08-19

基金项目: 国家自然科学基金(61904085)资助。

作者简介: 邓丽城,男,讲师,从事量子力学教学,主要从事微能源器件与系统研究工作, dlcc@njupt.edu.cn。

引文格式: 邓丽城,陈德媛,郭艳艳. 新工科背景下量子力学教学内容优化研究[J]. 物理与工程, 2023, 33(2): 88-92.

Cite this article: DENG L C, CHEN D Y, GUO Y Y. Research on optimization of teaching content of quantum mechanics in the context of new engineering[J]. Physics and Engineering, 2023, 33(2): 88-92. (in Chinese)

成果、行业对人才培养的最新要求等引入教学过程,培养具有国际竞争优势的创新人才^[1]。因此,更新量子力学教学内容具有重要的意义。

然而,量子力学教学改革多集中在教学方法、教学模式等方面^[2],关于工科专业量子力学教学内容优化的研究较少且较早^[3-5],已经无法适应时代发展对量子力学教学的需求。本文结合南京邮电大学的实际教学情况,就微电子科学与工程专业量子力学课程教学内容的优化,进行深入研究和探讨。

2 量子力学教学内容优化措施

本文以南京邮电大学微电子科学与工程专业的量子力学课程为研究对象进行教学内容优化研究。该专业将量子力学、统计物理和固体物理三门课程中的部分内容合并成为一门课程量子与固体物理,其中量子力学部分占用 20 学时左右,学时较少。该专业学生只修过高等数学、线性代数、概率论与数理统计等相关数学课程,没有修数学物理方程课程。因此,该课程面临学时数少,学生数学知识储备不足的现状。同时,为了适应新工科建设的需求,本文对量子力学的教学内容进行了以下优化。

2.1 增加课程思政内容,激发学生学习内驱力

课程思政工作贯穿教育教学全过程的教学理念越来越受到广大教育工作者的重视,在教学过程中融入课程思政内容是我国基础课程改革的一个重要方向。量子力学课程是描述微观世界运动规律的一门重要学科,是研究电子、原子和分子等微观粒子的必要理论工具。该课程不仅是物理学专业的专业必修课,也是很多工科专业如微电子科学与工程专业的专业必修课。因此在量子力学课程中引入课程思政内容对于立德树人的教育根本任务具有重要意义。我们总结多年来量子力学授课经验,对课程思政内容的引入进行优化,并将这些内容悄无声息地融入授课过程中,从而激发学生内驱力。

第一,增加激发学生家国情怀的内容,增强学生学习量子力学的信心。量子力学建立过程中,以国外科学家的贡献为主,但也有中国科学家的身影,如康普顿散射实验中,中国物理学家吴有训做出了重要贡献。而且,近年来,中国科学家在量

子领域锐意进取,奋起直追,已经走在了世界的前列,如中国科学院潘建伟院士所带领的团队,已经成功将“墨子号”量子卫星发射升空等。

第二,增加量子力学发展史内容,培养学生严谨的科学精神、创新的科学方法、超前的科学思想。量子力学建立在五条基本假设之上,这些假设的建立,离不开量子力学大师们如普朗克、爱因斯坦、德布罗意、玻尔、海森堡、薛定谔等勇于挑战、突破传统的创新精神,更离不开他们科学辩证、严谨求实的思想指引。

第三,突出量子力学重要性,培养学生科学完整的世界观。量子力学是描述微观粒子运动规律的学科,与经典物理对宏观世界的描述完全不同,如果仅学习经典物理,永远也不会知道微观世界是什么样的,只有了解了微观世界,我们的认识才是科学完整的。可以通过引用名人名言进行论证,如中科院院士甘子钊说:量子力学是认识微观世界的钥匙,学习量子力学,你的人生更完整。

以上课程思政内容的引入,在教学实践中,基本不用增加学时数,但对于激发学生学习量子力学的内驱力,具有良好的效果。

2.2 精选课程教学内容,因材施教

与物理学专业不同,工科专业学习量子力学的目的主要是为后续专业课程服务,如对于微电子科学与工程专业,学习量子力学为了完成后续半导体物理、电子器件等课程服务,学时相对较少。本专业把量子力学、统计物理和固体物理三门课中的部分内容放在一起组成新的量子与固体物理一门课,其中量子力学的学时占 20 学时左右,东南大学微电子科学与工程专业也是类似的,把量子力学、统计物理和固体物理三门课中的部分内容放在一起组成新的固体物理基础一门课,而且学时还要少一些。因此,精选课程教学内容尤为重要,不但要满足后续专业课程的需求,做到因材施教,还要把握量子力学框架的完整性。

为此,我们根据本专业学生的情况以及专业后续课程的需求,基于周世勋《量子力学教程(第二版)》^[6]教材对量子力学教学内容进行了仔细的选择。在保证量子力学框架基本完整的情况下,删除了与后续课程无关的教学内容。优化的量子力学课程教学内容框图及其相应的学时安排如图 1 所示。在教学过程中,穿插引入量子力学国内外最新研究成果和发展动态介绍,保持教学内容的

先进性和前瞻性,例如,量子通讯、原子时钟和量子计算机等,激发学生的学习兴趣。

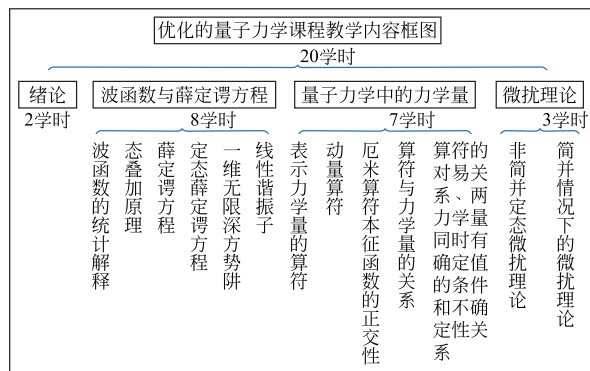


图1 优化的量子力学课程教学内容框图

上述内容可以满足本专业对量子力学课程的需求,同时保持了量子力学框架的完整性。量子力学是描述微观粒子运动规律的学科,在上述内容中,始终围绕如何描述微观粒子运动规律展开讨论。首先是微观粒子的状态如何描述——波函数,接着是粒子的状态如何随时间演化——薛定谔方程,最后是状态量如动量、能量的描述,由于微观粒子的状态量不像经典物理描述一样可以直接从状态中获得,因此引入了力学量算符的概念,通过力学量算符作用在波函数上获取力学量的值。到此为止如何描述微观粒子基本可以讲清楚了。剩下的内容就是关于波函数的性质以及薛定谔方程求解的问题。以上内容对应量子力学的四个基本假设,也体现了各个内容模块之间的内在联系。教学过程中,还应始终强调各个知识模块之间的内部联系,防止学生把知识割裂开学习,最终不明白自己到底学了什么。

2.3 压缩旧量子论内容,避免概念混淆

此处所说的旧量子论主要指一般教材中所述的黑体辐射、光电效应、康普顿散射、玻尔的原子模型、德布罗意的物质波假设等内容。一方面,这些内容与中学物理有很大的重复,压缩该内容可以减少学时数,适应工科专业教学要求;另一方面,这些内容并不是微观物理的理论,而是在经典物理对实验现象无法解释后,不得已而硬凑出来的理论或数学模型。如普朗克为了解释黑体辐射现象,采用数学拟合的手段——内插法得到了一个公式,用普朗克自己的话说这个公式是“孤注一掷,放荡一回”的结果。虽然该公式提出的第二

天,普朗克好友鲁本斯在实验上验证了该公式的正确性,但普朗克却高兴不起来,因为没法用经典物理理论解释该公式。因此,该部分内容只能当作建立量子力学必要性的一个论证内容进行介绍。

此外,波粒二象性这个概念容易引起学生的概念混淆,不自觉的用经典物理的概念去理解量子力学,甚至很多学生认为微观粒子最重要的性质就是波粒二象性。在教学过程中,我们发现本专业很多学生,什么是波动性、什么是粒子性,以及这两种性质在经典物理中是互斥的这些概念都没有建立起来,再强调一个波粒二象性让学生更加迷惑,他们只知道波粒二象性这几个字,但不明白其中的意思。波粒二象性的提出,仅仅是为了把微观粒子展现出来的现象和经典物理做一个类比,但这种类比是不全面的,主要表现在:第一,比较的“单位”不一致,经典波动性是指物理量如位置、能量等在时空中的变化,而微观粒子的波动性描述的是粒子出现在时空中特定点的概率幅。第二,类比的内容也不完全一致,经典粒子性表现为粒子的整体性和粒子从一点到达另外一点具有确定的运动轨迹,而微观粒子只关注粒子的整体性,不关注其运动轨迹,即粒子从一点到达另外一点的运动轨迹可以是无数条,粒子走哪一条轨迹用概率表征。正是这种不全面的类比,导致学生容易把经典物理概念去理解量子力学,因此在教学中,应该强调为了与经典物理进行类比而引入了波粒二象性这个说法,重点突出微观粒子波函数的统计解释,至于微观粒子是什么性质,我们的经典语言还没有创造出这个词汇。

因此,在教学中,压缩旧量子论的内容,不但可以减少学时数,适应工科教学的要求,而且还能避免学生概念上的混淆。

2.4 突出基本概念,避免繁杂数学推导

根据上述精选内容,在授课过程中要求做到突出基本概念的讲解,避免繁杂公式的推导。为此,在教学过程中,增加与经典物理概念对比的内容,增加对量子力学概念比较的内容和去除复杂公式推导的内容。

第一,增加与经典物理概念对比内容,说明量子力学概念与经典物理概念的不同之处。经典物理概念在现实生活容易找到对应物,且学生长期以来接受经典物理的学习,这导致学生在量子力

学学习过程中,会不自觉地利用经典物理的思维去理解量子力学。因此,只有清晰的理解量子力学与经典物理的不同之处,才能更好地理解量子力学。例如在讲述量子波函数时,一定要去对比分析量子波函数与经典波函数的不同之处。概念上量子波函数并不表示物理量在时空中的变化,而是表示粒子在时空点上出现的概率幅,而经典波函数表示物理量在时空中的变化。这是最大的区别,只有深刻理解了这点,量子力学的后续内容才容易理解和接受。再如,讲述量子波函数干涉、衍射现象时,也要和经典波函数的干涉、衍射现象进行对比,理解为什么微观粒子的干涉、衍射发生在粒子自身,而不是粒子之间。授课过程中,为了防止学生不自觉地用经典物理思维理解微观粒子,需要把量子波函数的统计解释贯穿整个教学过程。

第二,增加对量子力学概念对比的教学内容,明确概念的内涵。例如量子力学中经常出现的本征波函数、本征态和量子态。很多同学不明白这三个概念。本征波函数是指某个力学量本征方程的解,不是描述某个具体系统状态的波函数;量子态是指某个具体微观系统的状态,这个状态用一个特定波函数描述,这个波函数可能由这些本征波函数的线性叠加构成,也可能是这些本征波函数中的某一个本征波函数;如果描述量子态的波函数正好是这些本征波函数中的某一个本征波函数,那么这个微观系统就处在这个力学量对应的本征态上。

第三,教学过程中,避免繁杂的数学推导,注重物理意义的阐述。本专业的学生只修过高等数学、线性代数课程,而量子力学会涉及更复杂的微分方程的求解,需要用到数学物理方程中的知识。如果花大量的时间去讲述公式推导,不仅会浪费

学时,学生也不一定能搞明白公式推导,反而容易产生畏难情绪,把学生的注意力转移到数学公式上,忽视量子力学基本概念的理解。例如在讲解一维无限深方势阱时,授课过程中,需要注重定态薛定谔方程的求解步骤,以及如何应用波函数的自然边界条件和归一化要求确定波函数解的待定系数。方程求解完成后,需要对本征波函数、能量本征值进行物理意义说明。由于一维无限深方势阱的定态薛定谔方程求解较为容易,具体解方程可以让学生课后推导。有了一维无限深方势阱的基础后,在讲解线性谐振子定态薛定谔方程时,整个求解过程都可以不讲,直接对求解薛定谔方程得到的本征波函数和能量本征值进行物理意义说明。

3 教学效果与讨论

以上教学内容优化是在长期的教学实践中逐步总结完善的。本文以学生期末总评成绩作为教学效果的评判依据。期末总评成绩包括平时成绩和期末考试成绩,其中平时成绩占30%,期末考试成绩占70%。平时成绩从上课出勤率、上课回答问题、作业完成情况等几方面进行考核;期末考试成绩通过闭卷考试的方式获得,考试试卷由本课程组的三位教师共同出卷,试卷难度每年基本一致,试卷题型涉及基本概念题大概为60%左右,计算证明题30%左右,另外10%左右的题目会有一定难度。本文以近三年学生期末总评成绩进行对比分析,表1列出来近三年学生期末总评成绩分布情况。由于每年上课人数不一样,因此,表中各分数段的人数用人数占比表示。为了便于分析,根据表1,分别绘制了近三年期末总评成绩、平时成绩和期末考试成绩分布图,如图2~图4所示。

表1 近三年学生期末总评成绩分布情况

学年 分数段	2019—2020 学年			2020—2021 学年			2021—2022 学年		
	平时成绩	期末考试成绩	期末总评成绩	平时成绩	期末考试成绩	期末总评成绩	平时成绩	期末考试成绩	期末总评成绩
90分以上	30.77%	5.13%	6.85%	32.05%	11.54%	12.82%	40.63%	21.88%	18.75%
80~89分	51.28%	28.21%	21.92%	51.28%	17.95%	23.08%	50.00%	45.31%	40.63%
70~79分	17.95%	12.82%	20.55%	12.82%	17.95%	32.05%	7.81%	15.63%	29.68%
60~69分	0.00%	17.95%	26.03%	3.85%	21.79%	19.23%	0.00%	7.81%	9.38%
60分以下	0.00%	35.90%	24.65%	0.00%	30.77%	12.82%	1.56%	9.38%	1.56%
平均分	82.5	61.9	68.1	86.0	66.9	72.6	86.9	77.7	80.1

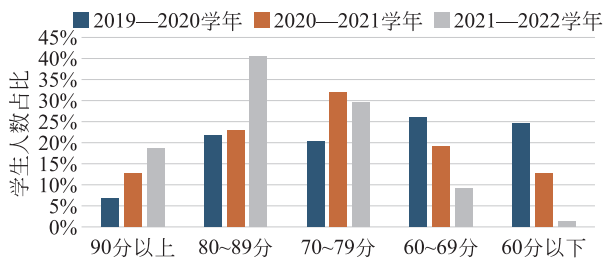


图2 近三年学生期末总评成绩分布图

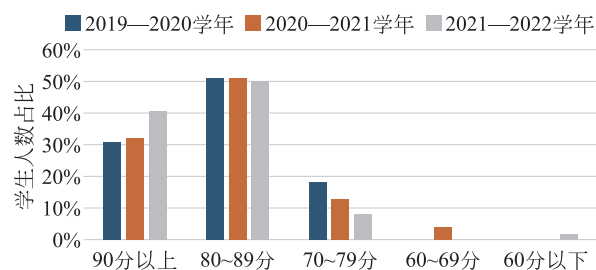


图3 近三年学生平时成绩分布图

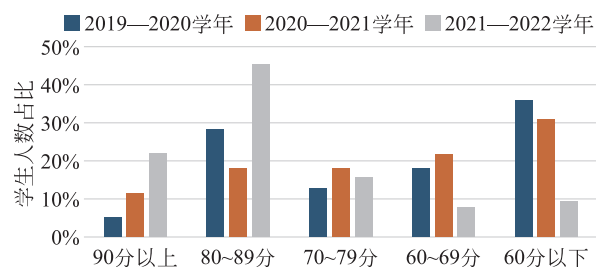


图4 近三年学生期末考试成绩分布图

图2和图4表明,期末总评成绩和期末考试成绩中,60分以下学生人数占比逐年降低,这表明,经过教学内容优化后,越来越多的同学能够基本掌握量子力学基本概念;90分以上的学生人数占比逐年升高,这表明,越来越多的同学能够利用量子力学知识处理较为复杂的问题;表1可以看出,近三年来,期末总评成绩和期末考试成绩的平均分都在稳步增长,这表明,教学内容优化取得了较好的教学效果。图3表明大部分学生平时成绩不错,说明大部分学生平时能够认真学习;近三年学生平时成绩变化不大,其主要原因可能是平时作业完成中,有部分学生可能存在参考标准答案的情况,而平时作业完成情况占平时成绩的主要部分。

4 结语

基于新工科建设的大背景,以及工科专业量

子力学学时数少、学生数学知识储备不足的现状,结合我校微电子科学与工程专业量子力学的教学情况,本文对量子力学教学内容优化进行了深入的探索,并根据多年的教学实践给出了具体优化措施。从不同的角度增加课程思政的内容,激发学生学习内驱力,实现立德树人的教育根本任务;精选课程教学内容,压缩容易造成概念混淆的旧量子论内容和容易转移学生注意力的复杂数学公式的推导,增加与经典物理概念对比和量子力学概念之间对比的内容,突出对量子力学基本概念的理解;注重量子力学知识框架的完整性以及知识之间的内在联系。在教学实践中,教学内容优化取得了较好的教学效果。

参 考 文 献

- [1] 钟登华. 新工科建设的内涵与行动[J]. 高等工程教育研究, 2017, 164(3): 1-6.
ZHONG D H. Connotations and actions for establishing the emerging engineering education[J]. Research in Higher Education of Engineering, 2017, 164(3): 1-6. (in Chinese)
- [2] 李娇阳, 杨玉平, 刘蓓, 等. 基于“问题链”模式的量子力学教学改革与实践[J]. 高师理科学刊, 2021, 41(2): 94-98.
LI J Y, YANG Y P, LIU B, et al. Teaching reform and practice of quantum mechanics based on problem chain model[J]. Journal of Science of Teachers' College and University, 2021, 41(2): 94-98. (in Chinese)
- [3] 张千帆, 段林彤. 新工科背景下教学改革与创新——以量子力学教学为例[J]. 河北师范大学学报: 教育科学版, 2021, 23(2): 135-140.
ZHANG Q F, DUAN L T. Teaching reform and innovation in the context of new engineering—taking quantum mechanics teaching as an example[J]. Journal of Hebei Normal University (Educational Science Edition), 2021, 23(2): 135-140. (in Chinese)
- [4] 盛嘉茂. 关于工科量子物理教学内容的讨论[J]. 大学物理, 2013, 32(10): 27-29.
SHENG J M. Discussion on contents of quantum physics of engineering course[J]. College Physics, 2013, 32(10): 27-29. (in Chinese)
- [5] 魏环, 莫文玲, 王红梅, 等. 工科量子物理教学初探[J]. 大学物理, 2009, 28(8): 51-53.
WEI H, MO W L, WANG H M, et al. Exploring teaching of quantum physics in engineering course[J]. College Physics, 2009, 28(8): 51-53. (in Chinese)
- [6] 周世勋, 陈灏. 量子力学教程[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2009.