

研究生理论物理课程教学策略的研究

——以《高等量子力学》课程为例

郭瑞芸, 孟令正

西安工业大学基础学院, 陕西 西安

收稿日期: 2025年3月20日; 录用日期: 2025年5月7日; 发布日期: 2025年5月15日

摘要

针对研究生理论物理课程存在的“学用脱节”“参与度低”等问题, 本文以《高等量子力学》课程为例, 基于建构主义学习理论, 提出“科研需求导向、问题驱动、多元评价”三位一体教学模式, 整合了相邻两届学生的课堂行为数据、学业表现。传统教学中, 60%的学生认为课程内容与科研脱节, 45%因数学基础薄弱畏难, 课堂互动率不足1次/课时。三位一体教学实践下, 采取模块化课程设计(基础理论 + 前沿案例)、翻转课堂与任务驱动教学、过程性考核(课堂贡献度15% + 学术汇报15%)等策略, 学生出勤率从85%提升至100%, 作业优秀率从26%增至45%, 课堂互动频次达2次/课。研究表明, 以科研需求为导向的教学模式可有效激发学生深度学习。不过, 未来还需进一步优化任务难度梯度, 提供更具针对性的个性化支持, 以完善该教学模式。

关键词

教学改革, 理论课程, 科研导向, 过程性评价

Research on Teaching Strategies for Graduate Theoretical Physics Courses

—A Case Study of “Advanced Quantum Mechanics” Course

Ruiyun Guo, Lingzheng Meng

School of Sciences, Xi'an Technological University, Xi'an Shaanxi

Received: Mar. 20th, 2025; accepted: May 7th, 2025; published: May 15th, 2025

Abstract

To address the issues of “disconnection between learning and application” and “low engagement” in postgraduate theoretical physics courses, this study takes the Advanced Quantum Mechanics course as an example and proposes a “research demand-oriented, problem-driven, and diverse evaluation” trinity teaching model based on constructivist learning theory. By analyzing classroom behavior data and academic performance from two cohorts, the study found that in traditional teaching: 60% of students perceived a disconnection between course content and scientific research, 45% felt intimidated due to weak mathematical foundations, and classroom interaction frequency was less than 1 time per class hour. After implementing reforms—including modular curriculum design (fundamental theory + cutting-edge case studies), flipped classroom and task-driven teaching, and process-oriented assessment (15% classroom contribution + 15% academic presentations)—the cohort demonstrated significant improvements: attendance rate increased from 85% to 100%, the excellent assignment rate rose from 26% to 45%, and classroom interaction frequency reached 2 times per class. The results indicate that a research-oriented teaching model effectively promotes deep learning. However, future efforts should focus on optimizing task difficulty gradients and providing more targeted personalized support to refine this pedagogical approach.

Keywords

Teaching Reform, Theoretical Courses, Research-Oriented, Process Evaluation

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

研究生教育作为培养高端创新人才的核心途径，其理论课程承担着构建学科知识体系的关键作用。这类课程通过深化知识整合与应用迁移，推动学生从被动接受者向主动研究者转变。研究指出，扎实的理论基础能显著提升科研产出水平[1]，若课程基础薄弱则易引发选题浅表化与创新力不足等隐患[2]。因此，教学模式革新成为提升研究生培养质量的重要突破口。

《高等量子力学》作为理论物理研究生的核心课程，是《原子物理学》和《量子力学》课程的深化和进阶，以前沿性和系统性著称。课程内容从量子力学建立背景、公理延伸至二次量子化、相对论量子力学及散射理论等，为材料计算物理、量子信息、场论、群论等领域提供理论支撑。例如，二次量子化方法在多体系统研究中普遍适用，以及散射理论通过分析中子、X 射线等散射截面，揭示核与晶体结构。该课程理论是连接微观规律与宏观应用的桥梁，推动现代科技革命，已成为解析“量子优越性”“拓扑保护态”等前沿问题的核心方法论[3]。

然而，当前研究生理论物理课程教学普遍面临诸多挑战。课程内容与科研需求之间存在显著脱节，在传统教学模式下，理论物理课程往往侧重于知识的系统性传授，教师按照教材章节依次讲解复杂的理论公式推导，而较少关注这些理论知识在现代科研中的实际应用场景。学生参与度低，究其原因主要体现在两个方面。其一，理论物理课程内容抽象，数学推导繁杂，数学基础薄弱的学生会产生畏难心理，从而丧失学习兴趣和参与课堂互动的积极性。其二，传统课堂教学以教师讲授为主，教学方法单一，课

堂互动形式有限, 学生被动接受知识的学生缺乏主动思考和探索的能力。《高等量子力学》作为研究生理论课程的必修课程, 探究该课程的教学改革具有重要的代表性和示范意义。

当前, 研究生理论课程教学改革探索主要集中在课程内容设计、教学方法创新和评价体系优化三大方向。河南大学构建了“基础-拓展-前沿”渐进式知识模块, 通过科研案例库打通教学与学术训练壁垒[4], 但未针对不同生源层次设计差异化教学策略。吉首大学提出“概念重构+科研反哺+数字化赋能”的教改框架, 建立“文献研讨-课题驱动”双轨考核体系[5], 但教学效果跟踪数据支撑稍显薄弱。长沙理工大学深度融合学科特色, 初步形成“理论-计算-应用”闭环体系[6], 但缺少“量子开放系统”等前沿专题与量子机器学习等交叉领域的系统融入。延边大学提出“异步自主+同步研讨”双轨框架, 其亮点在于重构师生角色, 通过预留内化时间增强研究生自主学习能力, 利用线上分组讨论和实时弹幕深化互动, 破解抽象理论单向灌输困境[7], 但层任务设计未考虑学生量子基础差异对讨论深度的影响, 且缺乏与传统线下对分课堂的效果对比数据, 削弱了结论的普适性。我们将侧重“以学生为中心”, 以近年来的两届学生为例, 结合数据驱动分析与教学实践, 探索理论课程与科研训练融合的创新路径。

2. 教学改革模式构建思想

本文创新点在于构建“科研需求-问题驱动-多元评价”三位一体教学模式。建构主义学习理论在课程改革中重要的实践理论, 基于建构主义学习理论的教学改革可有效改善当前教育教学课程体系。长安大学的杨莹等人将建构主义理论应用到《高等数学》课程中[8], 实现了对《高等数学》课程教学的探索, 有效提升了教学效果。南京邮电大学的楚永杰等人基于建构主义学习理论[9], 通过将思政教育有机融入统计学课程, 促进理论与实践的结合, 培养学生的社会责任感和创新意识。乐山师范学院张超平等分析了建构主义理论在物理概念教学中的重要作用[10], 阐释了建构主义理论在物理概念教学中的应用。本文将建构主义学习理论运用于《高等量子力学》课程教学中, 构建“科研需求-问题驱动-多元评价”三位一体教学模式。

其一, 结合量子物理前沿需求重新设计课程内容, 在日常理论教学过程中融入超导量子处理器规模化、拓扑量子计算材料等科研案例, 联合理论与实践。例如, 利用非阿贝尔任意子和马约拉纳零能模的拓扑保护特性, 微软在 InAs-Al 纳米线观测电导峰, 基于 BdG 方程构建抗退相干量子比特, 通过编织操作作为容错计算提供了新方案, 培养学生的理论工程化思维。

其二, 在教学过程中设置启发式问题链, 如“如何从哈密顿量导出时间演化算符?”, 引导学生自主推导量子动力学方程, 深化算符理解, 提升问题分析与解决能力。

其三, 在教学过程中突破传统单一期末考评模式, 建立过程性评价体系, 提升过程考核意识, 丰富考核方式。例如设置课堂发言、课堂讨论、课堂学术汇报等等, 结合期末闭卷考试, 全方位评估学习成效, 激发学生参与主动性。

3. 《高等量子力学》课程教学改革实施策略及分析

3.1. 基于量子理论前沿的模块化设计

《高等量子力学》课程内容设计成基础理论体系与前沿应用体系两部分。基础模块包含量子力学核心概念、基本原理及理论框架, 旨在加强学生的基础知识。前沿模块联合量子物理领域前沿课题, 涵盖量子计算与量子信息、量子材料与拓扑物态及冷原子与量子模拟等研究案例。通过深度解析案例, 加强学生将基础理论应用到科研前沿中, 促进理论与实践的深度融合。例如, 应用量子纠错码理论, 实现逻辑量子比特编码, 通过实时错误检测与修正提升量子比特稳定性, 推动容错量子计算发展, 同时

也揭示了二次量子化、对称性破缺等理论工具在硬件设计中的转化路径;应用超冷原子光晶格模拟,分析强关联电子系统的量子相变与奇异量子态,为高温超导机制研究提供新途径,同时诠释了路径积分方法在复杂量子系统建模中的关键作用。通过此类诸多设计,培养学生从理论认知向科研实践的迁移能力。

在课堂设计中,我们根据学生能力与科研需求,将科研任务进行分层化设计。对于基础较薄弱的学生,主要加强其物理问题的准确剖析和数学工具的熟练使用,选择一些典型的、简单的量子问题进行处理,并给出完整的解题过程。对于基础知识掌握较好的学生,我们将设计引入不同层级的科研问题,通过要求学生自己调研文献,挖掘求解方案,复现文献中的部分结果,形成调研分析报告,定期逐一汇报,让学生体验真实科研流程。

3.2. 翻转课堂与任务驱动教学

1) 翻转课堂:学生在课外自主学习相关知识视频内容,完成对基础知识的初步学习。课堂时间则主要用于组织学生进行小组讨论、答疑解惑以及开展案例分析等活动,促进学生之间的思想交流与碰撞,培养学生的团队协作能力和自主学习能力。

2) 任务驱动教学:布置具有明确目标和要求的任务,如“运用路径积分方法研究量子隧穿现象,并撰写研究报告”。学生在完成任务的过程中,需要主动查阅文献资料,深入理解课程相关知识,运用所学理论解决实际问题,从而有效提升学生的科研实践能力和创新思维。

3.3. 多元化过程性考核

过程性考核的严格执行与落实至关重要。教师根据课堂贡献度展开评价时,量化课堂表现十分繁杂。例如,教师需细致记录学生在课堂上每次发言的水准,以及参与小组讨论的踊跃程度等具体表现。针对阶段性任务,要依据任务的难易程度与具体要求,拟定详尽的评分准则。根据学生完成任务的完整性、创新性、理论应用是否精准等多个维度,进行全面且深入的评价。借助及时的反馈以及持续推进的过程性考核,助力学生清晰认识自身在学习进程中的长处与短板,进而不断对学习策略做出调整,实现学习效果的稳步提升。

教师基于学生课程表现可建立学生个人档案,记录学生行为数据,包括学生出勤率、课堂发言情况、课后提问情况(次数和类型)、作业完成情况(完成率和易错点),针对不同学生的学习情况进行个性化教学,不定期分配小组讨论。通过学生间的互补学习,结合教师针对性的任务分配,减少学生学习障碍,提高班级平均学习水平,加强学生理论知识的应用能力。

3.4. 教学改革效果分析

我们以本校相邻两届硕士生为实验对象,分别以传统式和改革式教学授课,分析两届学生的课堂表现和学业数据。对照组由2023级14名在教学系统选课的学生(男生7名,女生7名)组成,用以传统教授型,即教师主导课堂开展课堂教学;实验组由2024级15名同样在教学系统选课的学生(男生8人,女生7人)组成,使用“三位一体”的创新教学开展教学。两组学生均为物理学硕士,本科阶段已修《量子力学》课程,本科毕业于普通本科院校。根据课程设置,课程开展均在硕士一年级秋季学期,两组学生的授课教师相同,教室配置相同。通过前期的访谈,两组学生对量子理论相关课程的兴趣度基本一致。

在不同的教学模式下,本文分别记录了两组学生的出勤率、课堂平均发言频次、课后提问平均人次、作业完成率、平时成绩优秀占比、期末成绩优秀率。如表1所示:

Table 1. Student learning effectiveness
表 1. 学生学习效果表现

对象	出勤率	课堂发言人人次 (/课时)	课后提问人均次	作业完 成率	平时成绩优 秀率	期末成绩优秀 率
对照组	85%	1	1	86%	26%	35.5%
实验组	100%	2	1	100%	45%	40%

相较于传统教学，“三位一体”的创新教学开展教学下，学生的课堂参与度明显提高，教学效果明显改善。在课堂讨论环节，学生们积极发言，主动参与问题探讨，课堂互动氛围活跃。例如，在关于量子纠缠现象的小组讨论中，各小组学生能够结合前沿科研成果，提出多种创新性观点，并展开激烈辩论，充分展现出学生对课程内容的深入理解和主动思考。

学业表现也得到很大改善。作业优秀率提高：从作业完成情况来看，实验组作业优秀率从改革前的26%大幅增至 45%。学生作业质量明显提升，不仅能够准确运用所学理论知识解决问题，而且在解题思路和方法上更具创新性和灵活性。例如，在关于量子力学算符运算的作业中，许多学生能够突破传统解法，运用新学的知识和方法提出更为简洁高效的解题思路。科研论文引用率上升：在学生的科研实践方面，科研论文中主动引用课程理论。这表明学生在学习《高等量子力学》课程后，能够将所学理论知识有效应用于科研工作中，体现了课程教学对学生科研能力的积极影响。例如，部分学生在研究量子材料的电子结构时，运用课程中所学的量子力学微扰理论，对实验数据进行深入分析，取得了有价值的研究成果，并在相关科研论文中对课程理论进行了引用和应用阐述。

Table 2. Correlation analysis between the excellence rate of students' final grades and other assessment factors
表 2. 学生期末成绩优秀率与其他考核因素间的相关性分析

期末成绩优秀率	出勤率	课堂发言人人次 (/课时)	课后提问人均次	作业完 成率	平时成绩优秀率
皮尔逊相关性	0.782	0.665	-0.090	0.805	0.780
显著性	<0.001	<0.001	0.349	<0.001	<0.001

Table 3. Analysis of variance between the excellence rate of students' final grades and other assessment factors
表 3. 学生期末成绩优秀率与其他考核因素间的方差分析

	平方和	均方	F	显著性
回归	146.583	29.317	7.454	0.001
残差	58.993	3.933	-	-

我们用实验组和对照组所有学习数据分析了学生最终期末成绩优秀率与其他可量化的过程性考核因素间的相关性，利用 SPSS 软件对记录数据进行皮尔逊相关性分析和方差分析。在皮尔逊相关性分析中，相关系数是一种衡量两个变量线性相关程度的统计指标。当相关系数为 1 时，表示两个变量之间存在完美的正向线性关系。表 2 中的分析结果表明期末考核成绩与各过程性考核环节具有很强的相关性。由于课后作业在过程性考核中的占比较高，它对期末最终成绩的影响相对较大。在显著性检验中，<0.001 的结果通常说明在统计检验中观察到的数据差异具有极高的显著性，即几乎可以排除偶然因素造成这种差异的可能性。很明显，出勤率、课堂发言、课后作业以及平时成绩优秀率都与期末成绩具有明显的显著性。再对这些不同因素进行方差分析，F 值较大且对应的显著性较小时，这通常意味着模型中的自变量与

因变量强相关。表 3 中我们设定自变量为学生出勤率、课堂平均发言频次、课后提问平均人次、作业完成率、平时成绩优秀占比, 因变量为学生期末成绩优秀率。表 3 的分析结果表明培养学生的质量与过程性考核紧密相关。

4. 教学改革的反思与展望

通过“三位一体”的创新式教学实践, 在任务驱动教学过程中发现, 部分任务难度过高或过低, 导致部分学生难以完成任务而产生挫败感, 或者部分学生因任务过于简单, 缺乏挑战性, 降低了学习积极性。例如, 涉及复杂数学模型构建的学习中, 由于学生自身差异化, 基础薄弱的学生认为存在较大困难, 无法完成, 而基础较好的学生则因任务难度不够, 主动性、积极性体现较弱。为改善这点, 我们后续将进一步细化任务设计, 根据学生的知识水平和能力层次, 设置不同难度级别的任务。在任务布置时, 为学生提供清晰的任务指南和难度说明, 让学生能够根据自身实际情况选择合适难度的任务。同时, 鼓励学生在完成基础任务后, 挑战更高难度的任务, 实现个性化发展。

学生在基础知识、自身学习能力以及科研兴趣等层面, 呈现出较为显著的个体差异。然而, 当前的教学改革在满足学生个性化需求、提供针对性支持这一方面, 仍有待完善。为解决这一问题, 我们应当实时构建学生学习档案, 以此全方位掌握学生的学习状况以及个性化诉求。依据不同学生各自的特性, 给予个性化的学习引导, 并推荐适配的资源。针对数学基础较为薄弱的学生, 推荐与之相关的数学辅导资料以及在线课程等。借助更为精准的个性化支持举措, 契合学生多样化的学习需要, 从而进一步增强教学改革所取得的成效。

5. 结论

本文以“科研需求导向、问题驱动、多元评价”三位一体的教学模式创新, 以物理学科核心课程《高等量子力学》的教学实践为例, 以建构主义学习理论为核心思想。教学实践表明, 这一改革切实解决了“学用分离”“参与程度低”“课堂积极性差”等研究生理论物理课程教学中的难点问题, 促进了学生的课堂参与度, 提高了学生的学业成绩, 激发了学生的学习积极性。

然而, 教学实践是一个不断推进的过程, 即便是三位一体的教学模式也存在问题。在中国科研能力不断增强的同时, 也不断涌现出科研成果。理论与实践的相辅相成, 要求我们不断优化任务难度梯度设置, 根据实际情况加强对学生的个性化支持, 对现有教学模式进行不断改进。课堂内容的与时俱进, 为培养具有创新能力和实践能力的高素质研究生人才提供坚实有力的保证。

基金项目

本文获得西安工业大学研究生课程思政示范课程项目(项目号: XAGDYJ240514)资助。

参考文献

- [1] Freeman, S., Eddy, S.L., McDonough, M., Smith, M.K., Okoroafor, N., Jordt, H., *et al.* (2014) Active Learning Increases Student Performance in Science, Engineering, and Mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **111**, 8410-8415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- [2] Imai, H. and Hayashi, M. (2006) Quantum Computation and Quantum Information. Springer.
- [3] Prince, M. (2004) Does Active Learning Work? A Review of the Research. *Journal of Engineering Education*, **93**, 223-231. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x>
- [4] 张丽莹, 罗艳伟, 王书杰. 高等量子力学研究生课程教学改革[J]. 物理通报, 2024(8): 2-5.
- [5] 廖文虎, 钟宏华. 高等量子力学课程教学改革与建设措施研究[J]. 中国西部科技, 2012, 11(11): 89.
- [6] 李春先, 王成志, 张卫兵, 等. 双一流背景下研究生高等量子力学优质课程建设和改革探讨——以长沙理工大学

- 学为例[J]. 物理通报, 2023(8): 11-14.
- [7] 曹吉, 张寿, 徐晶, 等. 对分课堂模式在线上研究生教学中的应用探究——以《高等量子力学》课程为例[J]. 中国多媒体与网络教学学报, 2023(2): 30-33.
- [8] 杨莹, 王维琼, 杨丽娟. 基于建构主义学习理论的《高等数学》课程教学设计与实践——以“对弧长的曲线积分”为例[J]. 高等数学研究, 2025, 28(1): 102-104.
- [9] 楚永杰, 王红果. 基于建构主义学习理论的物流管理专业统计学课程思政实施路径[J]. 物流工程与管理, 2024, 46(11): 165-168.
- [10] 张超平. 基于建构主义理论的大学物理概念教学——以磁通量概念的教学思路为例[J]. 科技视界, 2024, 14(27): 29-31.