

OBE 理念下“高等原子分子物理”课程教学改革探索

李小红, 吕珍龙, 牛世峰, 王鑫鑫, 雍永亮
河南科技大学 物理工程学院, 河南 洛阳 471023
DOI: 10.61369/RTED.2026100022

摘 要 : 高等原子分子物理课程是物理类相关专业学术型研究生的核心学位课程之一。该课程理论性强, 内容抽象, 学生不容易理解。传统教学模式注重知识传授, 对学生的学习能力关注不够, 特别是讲课过程中教师没有对课程内容进行拓展和延伸, 因此难以引起学生的学习兴趣。传统教学中也很少涉及到对所学内容进行软件模拟研究, 不利于学生对所学知识的理解 and 应用。本文从理工院校的实际情况出发, 结合课程特点, 引入成果导向教育 (OBE) 理念, 探索在教学目标、课程内容、教学模式与教学评价上的改革, 提出了知识-能力-素养的课程目标体系, 以期提高研究生的专业知识和创新实践能力。

关 键 词 : 高等原子分子物理; OBE 理念; 研究生教育; 教学改革; 创新能力培养

Exploration of Teaching Reform in Advanced Atomic and Molecular Physics Under the OBE Concept

Li Xiaohong, Lv Zhenlong, Niu Shifeng, Wang Xinxin, Yong Yongliang

School of Physics and Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471023

Abstract : The Advanced Atomic and Molecular Physics course is one of the core degree programs for academic graduate students in physics related majors. This course is highly theoretical and abstract in content, making it difficult for students to understand. The traditional teaching model focuses on imparting knowledge and does not pay enough attention to students' learning abilities, especially during the teaching process where teachers do not expand and extend the course content, making it difficult to arouse students' interest in learning. Traditional teaching also rarely involves software simulation research on the learned content, which is not conducive to students' understanding and application of the knowledge. This article starts from the actual situation of science and engineering colleges, combined with the characteristics of the curriculum, introduces the concept of Outcome Based Education (OBE), explores reforms in teaching objectives, course content, teaching mode, and teaching evaluation, and proposes a curriculum objective system of knowledge ability literacy, in order to improve the professional knowledge level and innovative practical ability of graduate students.

Keywords : advanced atomic and molecular physics; OBE concept; graduate education; teaching reform; innovation ability cultivation

引言

高等原子分子物理是现代物理学的重要基石, 揭示了原子结构、分子光谱、电子关联效应及光与物质相互作用规律, 是在大学“原子物理”和“量子力学”基础上为相关专业物理学研究生开设的一门专业核心课程。该课程承担着夯实学科基础、训练科学思维、培养科学素养、衔接前沿研究的多重育人功能。目前, 高等原子分子物理课程在教学过程中面临以下问题: 第一个是课程内容重经典理论的课堂讲授, 对近年来快速发展的冷原子物理、量子调控、超快激光等前沿内容涉及不多, 导致学生“学完课程仍读不懂前沿文献”; 第二个是教学模式以教师讲授为主, 学生被动接受知识输出, 仍和本科、甚至高中的教学方法一样, 缺乏科学探究能力与研究创新思维的系统训练; 第三个是考核评价侧重期末闭卷考试, 对学生在文献阅读、学术表达、问题提出和解决等方面的高阶能力缺乏有效考查手段。这些问题的核心均在于课程教学的目标设定与研究生应当达成的能力之间存在错位。

与传统教育不同, OBE (Outcome Based Education) 教育理念强调以学习成果作为评价标准, 重视教育的实用性, 将学生及其学习成果作为教育的核心, 其最终目的是使每位同学能够达到具体可衡量的知识掌握和应用水平。近年来, 国内学者在原子物理学本科教学层面面对 OBE 理念的应用已有了一些探索^[1-3], 但针对研究生层次开设的“高等原子分子物理”课程的系统性改革研究仍较为薄弱。

本文将 OBE 教育理念引入“高等原子分子物理”研究生课程教学, 从教学目标、教学内容、模式创新与教学评价四个方面进行改革, 具体介绍了 OBE 教育理念的设计和实施, 探索了有效的研究生核心课程的教学改革方法, 以供开设这门课程的院校参考。

一、课程目标的重构：从“内容覆盖”走向“成果导向”

传统的研究生课程教学大纲难以量化课程目标。在 OBE 模式中，我们采用“反向设计”模式来评价量化课程目标，即把研究生完成课程后可以获得的学习成果作为教学目标，然后分析学生需要学习哪些内容，怎么学。我们将“高等原子分子物理”课程的预期学习成果设定为三个层级（见表1）。

表1 高等原子分子物理课程预期学习成果三级目标体系				
层级	目标维度	具体能力描述	对应教学模块	评价示例
第一层	知识整合	阐述原子结构、单/双原子光谱、分子光谱等核心理论体系；辨析光谱线系区别	经典理论模块	课堂提问、概念、课后作业
		独立阅读近五年前沿文献；初步使用主流计算软件（如 Gaussian，VASP）进行体系的模拟分析		文献剖析报告、计算模拟作业
第二层	前沿衔接与工具运用	确定科学问题；设计包含理论框架或计算路径的初步研究方案	前沿进展、工具模块	研究计划书
第三层	问题提出			

第一层：知识整合。研究生需课前熟悉本课程的整体框架，初步掌握核心知识点，提前完成课前预习。教师课前了解学生的预习情况，掌握学生预习过程中存在的共性问题，针对学生的知识薄弱点进行课堂教学，逐一梳理各章节的重点和难点。教师结合课程中的核心理论进行知识拓展和延伸，丰富课堂教学内容，激发学生的学习兴趣，有效指导学生完成课程学习。

第二层：工具运用。研究生通过阅读原子分子物理领域的学术论文，使用计算软件（如 Gaussian，Dmol3，VASP）模拟论文中所涉及的计算，并进行简单的数据处理和分析。由此使学生能够掌握相关模拟软件的应用，加深学生对所学知识的理解和应用。

第三层：问题提出。研究生根据所阅读的学术论文，结合高等原子分子物理的课程学习，提炼出论文中所涉及的科学问题，设计研究方案（包括要计算什么、怎么计算），给出预期结果。借此培养学生文献汇总、逻辑思维、提出问题、解决问题等方面的能力。

知识整合是课程学习的基础，工具运用是课程和科研的衔接，问题提出是科学问题的提出，这三个方面逐层递进。“高等原子分子物理”课程要围绕这三层级来实施相应的教学。

二、教学内容的重组：经典、前沿与工具的深度融合

传统高等原子分子物理课程的内容组织常按“原子结构→原子光谱→分子结构→分子光谱”的线性逻辑展开，虽体系完整，但在有限的课时内，这种组织方式容易导致两个后果：一是课程重心偏向经典理论，前沿进展仅在最后一两次课蜻蜓点水、一带而过；二是理论讲授与工具训练分离，学生知道“薛定谔方程怎么解”但不知道“实际体系怎么算”。针对上述问题，本文提出

“三模块并行、纵横交织”的内容重构方案。

模块一：经典理论（占50%课时）。高等原子分子物理课程理论性强，涵盖了从单电子体系到多电子体系、从静态结构到动态光谱等内容，并且所讲授内容与当前研究热点密切相关。因此，在授课过程中，教师应力求从知识的传授者转变为研究引导者，针对不同理论体系搭建直观清晰的物理模型，帮助学生掌握课程的重点内容。例如，在讲授微扰论时，教师引导学生查阅文献，说明在强场原子物理中微扰论为何失败，有哪些改进方法？

模块二：前沿进展（约占30%课时）。教师每年设立若干个主题，比如：冷原子分子与离子^[4]、光与物质相互作用^[5]、量子精密测量^[6]、量子计算与量子模拟^[7]等。每个主题都依托一篇经典文献展开讨论，学生通过研读文献了解文献的主要研究内容，以及与课程内容之间的关联。教师可以引导学生把课程知识应用到前沿研究中，从而打破基础课堂理论与前沿科学的壁垒。

模块三：计算方法与工具（约占20%课时）。教师在讲授原子分子结构时，介绍一些原子分子结构计算程序（如 Gaussian，Dmol3，VASP）的基本使用方法，引导学生使用量子化学软件计算简单分子的基态能量、分子轨道、光谱。这种教学模式不仅可以使学生在实际操作中理解课堂上学到的抽象理论，还可以使学生获得计算技能。南京大学董昊教授在本科课程中引入分子动力学模拟软件操作的教学实践表明^[8]，学生亲自搭建模拟体系可以明显帮助其对理论知识点的理解。

三、教学模式的创新：三层递进的活动设计

针对研究生学习特点（已有本科阶段的知识储备、具备一定的自主学习能力、最终目的是“为科研做准备”），本文设计“三层递进”形式的教学活动体系，使学生在“做科研”的过程中“学物理”。

第一层：经典理论的学习。这种学习方式改变了课堂上教师推导、学生抄写的模式。教师选取课程中的主要理论内容（如氢原子和多电子原子超精细光谱结构处理、塞曼效应），提供原始文献与推导思路，让学生在课前进行研读，课堂上以“学生讲解+教师提问+学生评议”的方式进行。这种学习方式将部分课堂时间用于学生自主学习探讨，可以使学生被迫进行思考，进而更深入地理解所学知识。

第二层：前沿文献的研讨。每个主题结束时，教师布置一篇与主题直接相关的研究论文，要求学生以小组形式完成，具体包括：论文解决了什么问题？用了什么方法？研究结果是什么？与课程中的哪个知识点有关联？还可以有什么改进或延伸？每个小组选出代表在课堂上进行10分钟汇报，教师和其他学生进行提问和相互讨论。这一活动可以锻炼研究生的文献阅读能力、语言组织能力和表达能力。

第三层：研究项目的训练^[9]。在研一下学期后半阶段，学生自由组成2-3人小组，各组通过阅读文献自主开展一项探索性研究项目。该研究项目选题须与本课程教学内容直接相关。课程结束时，各小组分别汇报项目进展，提交项目研究报告。这种训练

方式可以锻炼学生的团队协作精神，帮助学生完成学习身份的转变，即从知识的接收者转变为能够运用课程所学知识来解决问题的科研探索者。

四、评价机制的革新：过程性与发展性并重

传统的期末闭卷考试主要衡量学生对知识的记忆与基本应用能力，但对研究生课程应重点培养的文献分析、问题提出、研究设计等能力几乎无法评价。本文提出“334”评价结构：课堂参与占30%，前沿文献剖析占30%，微型研究项目占40%，期末不再设置闭卷考试。具体设计如下：

课堂参与包括：课堂中的学生讲解、学生提问或回应他人问题的频率、学生完成课后思考题情况。以课前学生准备的充分程度和课堂上学生思维的活跃度为评价标准，而不只是依赖答案的正确程度。

前沿文献剖析：以小组为单位提交研究报告，并进行课堂汇报。评价标准包括：对论文科学问题的把握程度（20%），与课程知识关联度（30%），批判性思考（30%），表达能力（20%）。学生可以在一学期内进行两次前沿文献剖析，取完成最好的那次计入成绩。

研究项目的评价标准包括：自选项目的科学价值（20%），研究方法运用合理（25%），结果解析深度（25%），研究报告的规范性（15%），现场汇报效果（15%）。研究项目可以以“阶段性

完成”或“实验结果与初始设想不一致，但发现了具备研究价值的新问题”作为研究成果^[10]。这种评价方式与 OBE 理念以持续改善为导向的宗旨一致，为课程内容及教学方法的持续改进提供了依据，即学生对哪些选题普遍感到困难？学生在应用哪些理论时会出现偏差？这些信息可直接反馈至下一轮的教学设计。

五、结语

高等原子分子物理作为物理学科研究生培养体系的核心课程，其教学质量直接关系到学生后续科研能力的形成。本文将 OBE 理念引入高等原子分子物理课程的教学改革，可概括为“一个转变、三个融合”。即从“教为中心、知识传授”转变为“学为中心、成果产出”；“经典理论与前沿进展的融合、理论讲授与计算工具的融合、课程学习与科研活动的融合”。

在研究生课程中实施 OBE 教育理念还有以下问题需要考虑：（1）如何建立更为精细的评价指标体系，使“成果产出”可量化、可比较；（2）在研究生生源质量差异较大的情况下，如何实现 OBE 所倡导的因材施教；（3）在微型研究项目中，如何控制项目持续的时间。这些问题需要在持续的教学实践中逐渐摸索解决。

总之，让研究生在课程学习中“像物理学家一样思考、像研究者一样工作”，是高等原子分子物理乃至所有研究生核心课程改革的方向。

参考文献

[1] 王以林, 刘敏, 刘文英. OBE 理念下的原子物理学课程教学设计研究 [J]. 物理与工程, 2025, 35(2): 110–113.
[2] 随晓红. 基于 OBE 教育理念下的“信号与系统”课程教学改革 [J]. 黑龙江教育, 2021, 3: 68–69.
[3] 张云山, 许吉, 万洪丹. 基于 OBE 理念的半导体工艺类课程教学改革初探——以《光电子器件工艺与设计》课程为例 [J]. 科技风, 2021, 2: 21–22.
[4] 鹿博, 王大军. 超冷极性分子 [J]. 物理学报, 2019, 68(4): 043301.
[5] Yuan H, Chen S, Wang F, Song J, Yang C, Ou T, Zhang R, Sun Y. Control of attosecond-pulse helicity and ellipticity by the ionization-gating technique[J]. Phys. Rev. A, 2024, 110: 063116.
[6] 向涛. 高温超导：推动量子多体理论革命的引擎 [J]. 物理学报, 2025, 74(7): 077403.
[7] Du L. New excitons in multilayer 2D materials[J]. Nat. Rev. Phys., 2024, 6: 157–159.
[8] Wang X, Yang Y, Yang H, Dong H. The intrinsic fluorescence of peptide self-assemblies across pH levels [J]. Angew. Chem. Int. Edit., 2025, 64: e202420567.
[9] 李言荣. 研究生要学会研究 [J]. 学位与研究生教育, 2025, 3: 1–5.
[10] 肖庆华. 论研究生理论学习的三重境界 [J]. 学位与研究生教育, 2025, 10: 7–11.