

科学前沿融入原子物理学课程的探讨

蒋 宁

内蒙古师范大学物理与电子信息学院，内蒙古 呼和浩特

收稿日期：2025年4月20日；录用日期：2025年5月23日；发布日期：2025年5月30日

摘 要

原子物理学是物理专业本科教学的必修课程，也是连接经典物理和现代物理的纽带与桥梁。将前沿知识融入该课程可以激发学生的学习兴趣，提高学习效率。原子制造是近年来迅速崛起的科学领域，推动了多个学科快速发展。从原子制造的先进理论 and 应用前景出发，通过合理设计教学内容将前沿知识有效地融入于原子物理学课程，不仅可以促进基础理论与科研前沿的有机融合还能助力学生适应科技快速发展，培养学生的科学思维 and 创新能力。

关键词

教学改革，原子物理，原子制造，学科交叉

Discussion on Integrating Scientific Frontiers into Atomic Physics Course

Ning Jiang

School of Physics and Electronic Information, Inner Mongolia Normal University, Hohhot Inner Mongolia

Received: Apr. 20th, 2025; accepted: May 23rd, 2025; published: May 30th, 2025

Abstract

Atomic physics is a compulsory course for undergraduate teaching in physics majors, serving as a bridge between classical physics and modern physics. Integrating cutting-edge knowledge into this course can stimulate interest in learning and enhance the learning efficiency of students. Atom manufacturing, a rapidly emerging scientific field in recent years, has driven the rapid development of multiple disciplines. Based on the advanced theories and application prospects of atomic manufacturing, integrating cutting-edge knowledge into the atomic physics course through thoughtful curriculum design is essential. This approach can not only promote the organic integration of basic theory and scientific research frontiers but also help students adapt to

the rapid development of science and technology, thereby cultivating their scientific thinking and innovation capabilities.

Keywords

Teaching Reform, Atomic Physics, Atomic Manufacturing, Interdisciplinary

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

习近平总书记提出：“人才是第一资源。国家科技创新力的根本源泉在于人。十年树木，百年树人。要把教育摆在更加重要位置，全面提高教育质量，注重培养学生创新意识和创新能力[1]。”然而，在科技日新月异的今天，传统的教学内容暴露出与科技进展脱节的问题，这不仅会导致学生学习兴趣的下降，也会对学生科学态度、科学方法与科学精神的塑造产生阻碍，难以全面满足现代教育对创新型人才培养的需求[2][3]。尤其是在以物理学为核心的学科中，课程所传授基础知识与科研前沿的失配会使学生难以全面理解知识点在实际应用中的价值与发展潜力。这种局限性削弱了学生思维与科技发展的关联性，阻碍了学生探索新知识的步伐，限制了创新思维的培养与提升。通过将最新的科研理论和应用多角度融入课程，可以有效增强前沿科技教育的资源供给，全面提升学生的自主学习动力和创新思维能力。

原子物理学是高等院校物理学、应用物理学等相关专业本科学生必修的专业课程之一，主要内容包括原子的能级结构(主要指电子结构)与光谱、原子间或者原子与其他微观粒子间的碰撞与相互作用等。原子物理学承接了经典物理概念与近现代量子物理知识，被视为学生打开微观世界的“钥匙”，也是学生理解、接受和掌握现代技术理论的基础课程[4]-[6]。然而，作为一门基础课程，原子物理学以理论定义传授和数学推导为主，具有较强的理论性和抽象性。特别是，由于课程中缺乏有关科技热点的内容，枯燥的理论会降低学生的学习动机，限制学生的学习积极性，阻碍学生创新能力的发展。对原子物理学课程教学进行改革，将前沿科技知识融入传统教学，进而培养学生的创新精神和能力已迫在眉睫。

原子及近原子尺度的制造是当今科学、技术和产业界共同关注的前沿研究热点，主要指通过精确操控单个原子或分子实现材料和器件的构建，被视为迄今为止制造科学发展的最终目标。原子制造技术赋予了人类构建出极为复杂的人造材料和功能器件、精确调控各种反应以及精确控制基因片段等能力，将为物理、化学、生物等领域的研究提供强有力的支持手段，原子尺度下精度与性能的实现也必然要融合几乎所有自然科学与技术领域的前沿发展成果[7]。因此，将原子制造融入教学内容可以为教育教学带来创新机遇。本文旨在讨论如何将原子制造技术合理且有效地融入原子物理学课程。在推动基础理论与科技前沿深度融合的基础上，助力于课程现代化建设与高质量发展，提升学生的综合素质和创新能力。

2. 原子制造的背景

原子制造作为一项新兴的前沿技术，其核心理念在于对单个原子或其基本构成单位的多种自由度进行精确地操纵与控制，进而构筑出原子级细锐、精准、完美、性质优异的材料和器件产品[8]。可以说这项技术开创了对原子前所未有的规模化操控，代表了人类物质合成的极限。在即将来临的量子革命中，基于原子制造技术的产品将逐渐取代传统制造工艺生产的量子器件，成为量子科技的关键基础技术[9][10]。

原子制造的研究动机不仅在于设计基于单原子的器件,还在于构建具有原子级精度的复杂纳米系统。因此,原子制造开启了先进材料研究的新纪元,并推动了众多研究领域的发展[11]。国际学术界也高度关注原子制造技术在多个交叉领域的应用研究,包括但不限于原子级精度的信息存储与逻辑器件构建、可控自组装的功能纳米结构设计以及单原子多功能器件搭建等前沿方向[12][13]。这一趋势表明,原子制造正逐步从以基础物理和化学理论为核心的实验研究出发,迈向材料科学、电子工程、能源科学和生命科学等多个前沿领域,实现多学科的深度融合。其发展方向和理念也正在由原理验证迈向器件实用化和功能集成化,逐步成为支撑未来精密制造与智能系统构建的核心技术。具体主要体现在以下几个先进的领域:(1) 量子信息器件。当量子系统缩小至单个原子或分子尺度时,信息可以通过量子态实现高效编码和传输。量子信息技术涵盖量子通信、量子计算和量子测量等,其核心在于控制量子相干时间和长度,而这依赖于原子级精准构筑。目前,采用扫描隧道显微镜和原子层沉积技术可制备单原子及二维材料,这能够有效调控量子性质甚至衍生出新奇的人造量子特性。(2) 能源转换。催化剂是将地球上充足的能源转化为高附加值各类化学品的有效途径,许多关键反应都依赖高性能的催化剂。从原子尺度精细设计催化剂可通过调控活性位点的数量、几何构型及配位环境等显著提升性能。因此,基于原子制造技术制备的单原子和原子级薄的二维材料为优化催化效率提供了新的途径。(3) 生命科学。细胞作为最基本的生命系统,内部信息丰富且具有原子级组装精度,其重要性不言而喻。原子级别的操控能力是实现DNA、RNA以及蛋白质纳米结构功能性组装的关键。近年来呈现快速发展态势的原子制造技术,为仿生系统研究、生物物理学探索乃至细胞层级的诊疗手段提供了新的可能性。(4) 其他领域。尽管尚处于发展初期,原子制造技术已预期在诸多领域展现出可观的应用前景。在能源领域,材料活性位点以及电荷传输通道的精准调控与优化设计可通过原子制造技术得以有效实现,这使得器件在能量密度与循环寿命方面获得显著提升。在传感领域,量子传感器与生物传感器的研发进程将因原子级操控带来的灵敏度增强、选择性提高以及稳定性优化而明显加速。在智能材料领域,具有自诊断功能、自修复特性与自适应行为的智能材料可通过原子制造技术而有效构建。因此,传统材料科学面临的性能限制问题会随着该技术的持续完善从各种角度被突破。

上述多领域应用清晰地展示了原子制造技术兼具基础研究价值与实际应用意义的双重属性。在课程体系的现代化建设中融入该新兴技术的内容,不仅能够提升教材的时代性与应用性,更对学生创新能力的培养形成有效促进。

3. 原子制造与原子物理学课程的融合

3.1. 量子力学导论

现代物理学的重要构成部分当属量子力学,其教学内容构建涵盖三个维度。首先为介绍催生新概念的关键实验现象;其次为区别于经典物理体系的全新理论框架;第三为针对实际问题求解的具体方法论。通过这三个层面的递进式展开实现学生传统认知范式的突破并接纳量子概念。理论知识与实际应用的有机融合对于学习兴趣的激发和学习动机的提升具有显著效果。由此可见,当理论模块的讲授完成时,为避免学生对量子物理的认知仅仅停留在基础层面,引入原子制造领域的趣味性实验案例以帮助学生联系理论的实际应用显得尤为必要。例如,单原子操控以及量子点制备实验能够生动诠释能级量子化和量子隧穿等概念,便于学生直观理解理论。当前研究热点中的若干量子输运特性也值得以研讨形式引入课堂,包括但不限于量子自旋霍尔效应和量子反常霍尔效应等现象及其潜在应用价值。引导学生理解并探讨量子与经典输运之间存在本质差异的同时,进一步充分展示发展原子制造技术对于促进量子输运特性研究的作用。

此外,适当补充低维材料体系中的能带理论同样具有必要性,这有助于学生群体对新兴量子物理概

念形成初步认知。在此前提下，结合材料能带结构的实际调控和应用案例进行讲解，显著提升学生对相关理论的理解程度。典型案例可以为通过改变堆垛方式在多层石墨烯体系中实现超导态的精确调控，利用原子尺度的掺杂工艺与缺陷工程优化带隙以提升光电探测性能等。这些紧密结合学科前沿的实例不仅能够有效激发学习兴趣，更能使学生认识到能带理论在多个领域中的广泛应用价值，进而深入理解原子级精确操控在量子物理研究领域的重要地位。

3.2. 外场对原子的作用

原子能级和精细结构的研究对于理解和应用原子物理学有着重要意义。当前此教学模块中主要介绍原子中电子轨道运动引起的磁矩，并将量子化概念拓展至三维。在此基础上，进一步介绍原子体系与外磁场间的相互作用现象，以及由原子内部磁场所引起的相互作用机制。为提升学生关于精细结构的理解，在系统讲授磁场对电子自旋态的调控作用及塞曼效应导致能级分裂现象后，应当适当补充电场通过斯塔克效应使原子的能级和光谱发生分裂以及光子动量传递对原子运动操控作用等知识点。实现各种外场引起原子/分子精细能级分裂或位移本质的全面讨论和分析。课程教学中还应引入外场效应在原子制造前沿领域中的具体应用案例以加深学生对理论的理解。例如，通过磁光耦合场实现超冷原子捕获、利用电场精确操控量子点的光电特性、采用光学镊子实现单原子操控与排列等。通过理论与实践的全面结合，引导学生认识外场调控技术的应用价值。

在本模块内容讲解结束后，可以通过知识拓展形式增加磁电耦合相关内容。具体为讨论特定材料中磁场和电场相互耦合而影响物性的情况，实现学生知识视野的拓宽。教学过程中首先应当阐述的是空间反演对称性与时间反演对称性破缺导致磁电耦合产生的理论基础。随后需要分析的是磁电耦合相互调控机制及其在高灵敏传感器、能量收集器和低功耗存储器件等前沿领域中的应用前景。进一步地，结合原子制造技术的最新实验和理论进展，探讨在原子尺度上通过材料结构与缺陷调控来优化磁电耦合性能具有的独特优势。通过逐步构建从理论原理到实践应用的完整知识体系来帮助学生全面把握磁电耦合现象的量子本质特征及其未来发展潜力。

3.3. 表面增强量子现象

作为核外电子所产生的短波电磁辐射之一，X 射线表现出特有的物理属性并被广泛地应用。当前此模块的教学内容中，关于 X 射线的历史发现过程及其波动性与粒子性的经典验证实验构成了主要内容。然而，现有教学内容存在明显的滞后性，未能涵盖前沿研究进展。由此可见，本章节可考虑引入原子尺度表面增强量子现象的相关内容，该领域具有显著的跨学科交叉特征。例如，电磁增强效应的核心要素是分析纳米结构的表面局域场分布，而化学增强效应则主要是讨论分子与金属表面之间的相互作用影响。由于该效应涉及到电磁相互作用、电子结构演变以及外场调控等多个研究理论体系，选择具有代表性的理论模型进行剖析显得尤为必要。同时，结合表面增强拉曼散射和表面调控光学响应等实际应用案例，协助学生理解通过调控表面原子结构来优化增强效应的基本原理。值得探讨的是将表面增强量子现象与其他量子效应相耦合的可能性，这为开发新型功能材料提供了潜在路径。这种综合性视角的建立不仅能够深化学生对量子现象的认知程度，更有利于培养其在交叉学科领域的创新性思维模式。

4. 将原子制造融入课程的实践路径

通过引入与原子制造技术相关的多项理论与实验内容对原子物理学课程进行改革，以帮助学生逐步建立从基础理论到前沿应用的完整知识链条。课程革新主要从教学目标、教学内容、教学评价三个方面进行论述。

4.1. 教学目标革新

(1) 知识目标：扎实掌握原子物理课程的基本知识。通过引入应用案例并结合模拟与可视化工具使学生深入理解科学理论，并直观感受原子制造技术在前沿科学中的应用价值。

(2) 能力目标：培养创新与科研能力。通过课堂互动讨论和章节大作业培养学生的逻辑推理能力和团队合作意识，在激发创新潜力的同时为未来从事科学研究或技术开发奠定坚实的基础。

(3) 素质目标：拓宽学科视野与思维模式。通过在原子物理学课程中融入新理论以及多方面新应用展示原子制造的发展价值，帮助学生理解物理与化学、生物、材料等学科的关联性以及交叉学科发展的优势，并提升他们对实际物理问题进行多学科分析与探究的能力。

(4) 思政目标：形成科学辩证思维，提升自主学习能力。通过开放性课题的设置配合教学资源的丰富化供给，鼓励学生探索原子制造的有关内容。锻炼学生信息搜集、资料整理和自学能力以帮助他们应对未来科研和工作环境的动态变化，养成终身学习的习惯。

4.2. 教学内容革新

为有效将原子制造相应内容融入现有课程体系，在合理安排教学内容且以学生为主体的教学设计前提下，制定的具体实施步骤和策略如下所述。

(1) 搭建知识窗口：全面分析当前教材所含内容，明确出能与原子制造相关理论相结合的各个知识点，然后以合理的方式融入前述几部分关键理论。例如，在部分基础课程内容的学习结束后，补充科技前沿领域的研究动态，吸引学生的兴趣。此外，新内容的引入需注意学生知识基础和接受能力的差异性，这决定了需适当进行部分高阶理论的筛选或简化工作，以确保新知识和已有知识结合起来。实现在保证课程流畅性的前提下，将前沿理论与传统原子物理学内容进行有机融合，形成连贯的教学体系。

(2) 案例分析：原子制造技术的具体应用实例能够展示其在推动未来科技发展中的理论基础与实际意义，这有助于加深学生对理论的理解。因此，在已有和新引入理论模块后面添加有关原子制造的多学科实例是十分必要的。基于知识深度和认知程度，鼓励学生提出原子制造技术在各学科领域未来应用的猜想，提高学生的创新意识。在基础理论与前沿应用相结合的教学设计思路下，引导学生将理论应用于实际问题，进而培养学生的主动探索能力。

(3) 教学模式多样化：借助学生已经掌握的计算机软件工具、虚拟仿真平台、科研实验室设备等辅助手段呈现部分原子制造的理论与技术细节，让学生直观地感受前沿科学。此外，根据学生擅长的工具不同，进行差异化教学。具体实施三个差异化策略：其一，建立工具适配机制，对 Python/Matlab 使用群体分别设计梯度化案例库；其二，构建动态难度调节系统，根据虚拟仿真平台实时反馈学生操作所用时间，自动调整原子制造实验难度系数；其三，设置双路径验证环节，擅长理论推导的学生可通过计算验证课程中的结果，而擅长实验操作的学生则利用仿真平台数据对比分析。实现通过可视化手段，将原子物理学教学从抽象的传统理论分析转向先进的科技实践探索。理论学习与科技实际应用的深度结合能够加强学生对复杂物理现象的直观理解，从而激发他们在原子级材料科学领域的创新思维。

(4) 学习方式多样化：在课前阶段，完成原子制造领域经典期刊文献及优质网络学习素材的搜集与系统化整理，然后经由学习通等数字化平台实现资源共享化操作，为学生提供接触学科前沿动态的机会。在课堂教学中，通过授课学习和小组讨论等形式实现知识传递的有效性，帮助他们理解原子制造技术的最新动态。在课后阶段，要求学生参与线上学术讲座等拓展性活动，确保课内外学习在连贯性与深度性达到统一。此外，鼓励学生基于这些资源开展课题研究或毕业设计，从而进一步提升个人的学习能力和创新能力。

4.3. 教学评价革新

教学改革成效的评估需通过多维度的考察体系予以实现。首先,采用问卷调研形式,定期收集学生学习体验的反馈。由于原子制造技术涉及的部分理论抽象性较强,关于教学内容与教学模式的反馈收集显得尤为必要。其次,在课程各阶段完成之际,要求学生基于课堂所学提出个人见解,并以小组研讨或集中汇报的形式呈现。学生根据原子制造领域前沿研究提出的新观点应给予鼓励,对于新概念的疑惑也不容忽视。通过与学生相互之间的交流过程,了解学生探索问题的能力,由此对课程改革实施效果进行判断。再次,合理使用课堂即时互动工具动态监测学生的知识吸收程度。同时,设置多样化的课程考核机制以匹配教学目标:如针对知识目标,安排阶段性测验和基于仿真软件的实验报告,以检验学生对原子物理基础知识和相关技术原理的掌握程度;针对能力目标,设计章节大作业或文献综述任务,结合课堂参与表现和创新点评等方式评估学生的科研潜力与团队合作能力;针对素质目标,开展跨学科案例分析与思维拓展作业,考察学生对物理与其他学科交叉关联的理解与整合能力;针对思政目标,通过开放性思考题和自主展示等方式,评估学生的信息搜集、自主学习和科学思辨能力。上述评估机制具有双重积极作用,其一可帮助教师据此及时调整教学内容,其二可促使学生通过发现并提出问题的方式提升主动学习能力,最终实现教学效果和学习效率的双重提升。

以上策略可以在保持课程原有逻辑链条完整性的前提下,实现原子制造相关内容与既有知识框架的无缝整合。对于学生而言,原子制造所具有的显著前沿特征、多元内容维度以及交叉学科属性能够促使他们从更加宏观的角度理解物理学与其他学科领域之间的关联性。教学过程中采用的多样化方法,不仅有助于学生基础理论认知深度的提升,更能使学生直观感知到相关知识在当代科技发展进程中的具体应用场景。对于教师而言,引入学科前沿内容既增强了课堂教学的吸引力,同时也为教学理念和手段的革新提供了契机。甚至还可能激发出教师群体的创新思维活力,进而对课程建设与科研进展起到积极推动作用。

5. 未来展望

关于教学的深入优化可从多个角度持续推进。首先是促进交流,如定期邀请在原子物理学课程建设方面和原子制造领域具有影响力的知名学者前来为教师和学生开展讲座。支持学生积极参与国内外暑期学校、交叉学科论坛以及校内教师的科研实践项目,由此实现基础知识与科学前沿的有效结合。其次是与企业建立合作关系,实现课程内容所涉及仿真模拟的持续更新。最后是促进教材理论内容的整合,联合化学、材料科学或生物学等学院的教师共同尝试开设跨学科章节,提升教学内容的深度和广度。将原子制造技术融入原子物理学课程之中是推进课程前沿化的重要举措,但想要充分发挥其作用仍需多层次、多方向的持续改进。

6. 总结

构建前沿课程体系是高等教育现代化的关键任务。作为现代科技领域的前沿代表之一,原子制造对众多学科产生了深远的影响。在原子物理学课程体系中融入该技术的相关理论与实际应用不仅能够显著提升教学内容的前沿性,还有利于学生创新思维能力的培养。探索这一路径将为构建具有应用性、交叉性和时代性的原子物理学课程提供支持,同时也为培养具备扎实物理学基础和前沿科研能力的高端科技人才创造条件,实现科教融合的发展目标。

基金项目

内蒙古自治区自然科学基金(2023QN01008)。

参考文献

- [1] 中华人民共和国中央人民政府网. 习近平: 在科学家座谈会上的讲话[EB/OL]. 2020-09-11. https://www.gov.cn/xinwen/2020-09/11/content_5542862.htm, 2025-02-23.
- [2] 张玉青, 付响云, 谢素霞, 彭朝晖. 原子物理学教学内容和教学方法的改革探究[J]. 当代教育理论与实践, 2017, 9(9): 55-58.
- [3] 王亚民, 班丽瑛, 庞绍芳, 鱼海涛. 工科近代物理教学改革的现代化[J]. 物理与工程, 2017, 27(S1): 328.
- [4] 靳奉涛, 高城, 王小伟, 戴佳钰. 原子物理学的课程思政研究与实践[J]. 大学物理, 2024, 43(9): 54-62.
- [5] 杨阳, 谢罗刚, 阮小苹, 王永强. 原子物理学教学问题及探讨[J]. 教育现代化, 2018, 5(23): 303-304.
- [6] 朱必学, 朱纯, 袁强. 现代物理化学课程教学改革与实践[J]. 高教学刊, 2024, 10(8): 125-128.
- [7] 戴庆, 宋凤麒, 潘曹峰, 刘开辉, 姚广保, 郑浩, 谭元植, 潘金波, 杜灵杰, 黄璞, 王曾晖, 陈辉, 张晨栋, 费付聪, 徐红星, 戴亚飞. 原子制造的物质科学基础[J]. 科学通报, 2024, 69(19): 2777-2788.
- [8] 宋凤麒, 戴庆. 原子制造:物质科学的未来技术[J]. 物理, 2023, 52(6): 371-380.
- [9] 付奇. 原子级制造, 亟待“萌芽”破土[N]. 新华日报, 2024-09-24(003).
- [10] 钱林茂, 陈蓉, 朱利民, 赵德文, 彭小强, 周平, 邓辉, 余家欣, 曹坤, 杜春阳, 武恩秀, 江亮, 石鹏飞, 陈磊. 原子层制造的研究现状与科学挑战[J]. 中国科学基金. 2024, 38(1): 99-114.
- [11] 王周扬, 丁一然, 曾梦琪, 付磊. 先进材料的原子制造[J]. 科学通报, 2023, 68(30): 4035-4054.
- [12] Pitters, J., Croshaw, J., Achal, R., Livadaru, L., Ng, S., Lupoiu, R., *et al.* (2024) Atomically Precise Manufacturing of Silicon Electronics. *ACS Nano*, **18**, 6766-6816. <https://doi.org/10.1021/acsnano.3c10412>
- [13] Yoo, J., Nam, C. and Bussmann, E. (2024) Atomic Precision Processing of Two-Dimensional Materials for Next-Generation Microelectronics. *ACS Nano*, **18**, 21614-21622. <https://doi.org/10.1021/acsnano.4c04908>