

基于案例教学的《原子物理学》课程教学实践与研究

丁汉芹

新疆大学物理科学与技术学院, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2025年7月14日; 录用日期: 2025年8月13日; 发布日期: 2025年8月21日

摘要

针对《原子物理学》课程传统教学中概念抽象、理论体系复杂、学生理解困难等问题, 本文结合教学实践, 探讨案例教学在原子物理学课程中的应用策略与效果。研究结果表明, 案例教学能推动课程教学质量的整体提升和人才培养模式的创新发展。通过持续优化案例教学体系, 有望为高校原子物理学课程改革提供可复制的教学策略与实践框架。

关键词

《原子物理学》, 案例教学, 课程改革

Teaching Practice and Research of *Atomic Physics* Course Based on Case Teaching

Hanqin Ding

School of Physical Science and Technology, Xinjiang University, Urumqi Xinjiang

Received: Jul. 14th, 2025; accepted: Aug. 13th, 2025; published: Aug. 21st, 2025

Abstract

In view of the problems such as abstract concepts, complex theoretical systems and students' difficulty in understanding in the traditional teaching of the *Atomic Physics* course, this paper, based on teaching practice, explores the application strategies and effects of case teaching in the *Atomic Physics* course. The research results show that case teaching can promote the overall improvement of course teaching quality and the innovative development of talent cultivation models. Continuously optimizing the case teaching system is expected to provide replicable teaching strategies and practical frameworks for the reform of atomic physics courses in colleges and universities.

Keywords

Atomic Physics, Case Teaching, Curriculum Reform

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

原子物理学作为连接经典物理与量子力学的桥梁，其教学面临两大挑战：一是微观世界不可直接观测导致的认知困难，二是量子力学概念与传统经验冲突引发的理解障碍[1]。传统讲授式教学往往陷入“公式推导-概念灌输”常规教学方法，其抽象性与微观特性常使学生陷入“听得懂、用不会”的困境，学生难以建立物理图像与数学模型之间的有机联系。原子物理学的概念和理论较为抽象，学生理解起来有一定难度，容易感到枯燥乏味。案例教学法通过引入实际案例，将抽象理论与现实生活紧密联系起来，让学生感受到原子物理学的实用性和趣味性，从而激发他们的学习兴趣和好奇心。原子物理学的各个概念和理论之间相互关联，形成一个复杂的知识体系[2]。案例教学法可以通过一个综合性的案例，将多个相关的概念和理论串联起来，帮助学生揭示它们之间的内在联系，形成完整的知识框架。案例教学鼓励学生从不同的角度思考问题，提出独特的见解和解决方案。案例教学为学生提供创新的空间，学生可以在现有知识的基础上，提出新的理论和方法，培养创新意识和创新能力。

案例教学是以案例为基本教学材料，将学生引入教育实践的情境中，通过师生之间、学生之间的多向互动、平等对话和积极研究等形式，提高学生面对复杂教育情境的决策能力和行动能力的一系列教学方式的总和，是一种开放式、互动式的新型教学方式[3]。通常，案例教学要经过事先周密的策划和准备，要使用特定的案例并指导学生提前阅读，要组织学生开展讨论或争论，形成反复的互动与交流，并且，案例教学一般要结合一定理论，通过各种信息、知识、经验、观点的碰撞来达到启示理论和启迪思维的目的。例如，欧洲核子研究中心(CERN)的激光冷却正电子实验案例，则通过呈现实验参数优化、故障诊断等环节，培养学生的系统思维与工程实践能力。慕尼黑工业大学的教学实践显示，参与案例教学的学生在量子物理概念测试中的得分较传统教学组提升 27%，验证了案例教学在降低外在认知负荷、促进深度学习方面的有效性[4]。中国物理教育界在案例本土化改造中取得显著成果。天津大学开发的“半导体石墨烯制备”案例，通过呈现石墨烯带隙调控的技术瓶颈，引导学生运用固体物理知识提出解决方案。该案例被纳入国家级规划教材，并在 32 所高校推广使用，学生反馈显示其跨学科知识整合能力评分提升 1.2 个标准差[5]。

原子物理学作为现代物理学的基石，其教学研究长期聚焦于抽象概念的可视化与认知负荷的优化。物理教育领域正经历从知识传授向能力培养的范式转型，案例教学法通过真实情境的还原与多维度互动，成为突破传统教学困境的关键工具。本文结合亲身教学实践，探讨案例教学在原子物理学课程中的实施应用，促进学生深度认知的内在机制，为物理教育创新提供理论支撑与实践框架。

2. 《原子物理学》课程特点

2.1. 知识体系特点：经典与量子的双重性

历史演进性——科学范式转换。原子物理学的发展史是一部典型的科学范式转换史，其知识体系呈现“连续性断裂”特征[6]。经典理论阶段(19 世纪末之前)：以汤姆逊“葡萄干面包”模型为代表，试图

用经典电磁理论解释原子稳定性，但无法解释氢原子光谱的离散性；量子突破阶段(1900~1930)：普朗克黑体辐射、玻尔轨道量子化、德布罗意物质波等理论相继出现，从根本上挑战了经典连续性假设；现代深化阶段(1930~至今)：量子电动力学、量子场论等理论进一步揭示原子内部相互作用机制。

微观抽象性——不可直接观测的挑战。原子尺度(约 0.1 nm)远小于可见光波长(400~700 nm)，导致其结构无法通过光学显微镜直接观察。学生需依赖间接证据构建物理图像，其中，实验证据有 α 粒子散射实验(原子核的存在)、弗兰克 - 赫兹实验(能级的量子化)、施特恩 - 格拉赫实验(电子自旋的量子化)等；数学描述有波函数、概率幅、算符等抽象概念取代经典轨迹描述。

2.2. 思维方法特点：从连续到离散的范式转换

非直观性——量子概念的认知冲突。量子力学中的许多概念(如叠加态、坍缩、纠缠)与日常经验严重冲突，学生易产生“理解和认知障碍”。例如，叠加态中的电子同时处于多个状态(如自旋向上和向下)，直到被观测时才“选择”一个状态。

数学严密性——抽象符号与物理图像的联结。原子物理学需运用数学工具(如微分方程、矩阵、群论)描述微观现象，但学生常陷入“符号游戏”困境。例如，波函数 $\psi(\mathbf{x},t)$ 的物理意义需通过概率密度($|\psi|^2$)解释，动量算符($p = -i\hbar\nabla$)与经典动量 p 的对应关系。

2.3. 教学实现特点：理论与实验的叠加

概念碎片化——知识点孤立与系统性的矛盾。原子物理学涉及大量独立概念(如能级、自旋、选择定则)，学生易陷入“记忆负担”，如学生能背诵玻尔模型公式，但无法解释其与量子力学形式体系的联系。

实验不可达性——微观现象的宏观表征困难。传统实验(如 α 粒子散射)需昂贵设备(如金箔、真空腔)，且操作复杂，导致学生缺乏直观体验。

3. 构建三维案例教学体系

3.1. 历史维度：科学革命案例群

以“原子模型演化史”为教学主线，精选 5 个关键转折点构建案例库：

汤姆逊葡萄干面包模型(1897)：通过电子发现实验数据，引导学生分析经典电磁理论与原子稳定性的矛盾。

卢瑟福核式模型(1911)：重现 α 粒子散射实验的原始数据(如 1:8000 比例的大角度散射)，组织学生推导核半径公式，理解科学假说的验证逻辑。

玻尔轨道量子化(1913)：以氢原子光谱的里德伯公式为切入点，通过能量守恒与角动量量子化的矛盾冲突，阐释量子化假设的必然性。

电子自旋假说(1925)：还原乌伦贝克与古兹密特提出自旋的原始论文，结合施特恩 - 格拉赫实验数据，讨论“偶然发现”背后的科学素养品质。

量子电动力学(1947)：以兰姆移位实验为案例，展示量子场论对精细结构的解释，衔接后续量子力学课程。

实施效果：比较传统教学，历史案例教学使绝大部分的学生能清晰描述原子模型演化路径。

3.2. 实验维度：虚拟仿真案例群

针对实验设备昂贵、操作复杂等问题，开发 3 类虚拟实验案例：

经典实验复现：利用 Matlab 模拟弗兰克 - 赫兹实验的 I-U 曲线，通过调整电子能量与汞原子能级差，

观察电流突降现象，验证量子化能级假设。

量子现象可视化：构建电子双缝衍射仿真平台，学生可实时调节缝宽(0.1~1 μm)、缝距(0.1~0.5 μm)等参数，观察衍射图样变化，直观理解微观粒子的波粒二象性[7]。

核反应模拟：基于数值方法开发 α 衰变模拟程序，展示半衰期的统计规律，纠正“半衰期与原子核数量相关”的常见误解。

实施效果：在期末考试中，涉及实验原理的题目平均得分较以往有较大提高。

3.3. 生活维度：学科交叉案例群

挖掘原子物理学在医学、能源、信息等领域的交叉应用：

核医学成像：以 PET-CT 为例，解析正电子湮灭产生的 γ 光子对，计算符合探测的时间窗口(约 6 ns)，理解反物质在医学诊断中的应用。

核能安全：结合福岛核事故数据，分析 U-235 链式反应的控制原理，讨论慢化剂(石墨/重水)的作用机制，量化核废料处理难度与能源产出效率。

量子计算：以超导量子比特为例，解释量子叠加态在信息编码中的优势，对比经典比特与量子比特的存储容量差异。

实施效果：跨学科案例使更多的学生认识到原子物理学的现实价值，在课程论文中，选择应用类题目的比例有所提升。

4. 案例教学实施策略

4.1. 明确教学目标，聚焦核心概念

- 知识目标
掌握原子结构模型(如卢瑟福模型、玻尔模型、量子力学模型)的演进逻辑。
理解量子化现象(如能级跃迁、光谱分析)的物理本质。
认识原子物理在技术中的应用(如激光、半导体、核能)。
- 能力目标
培养通过案例分析解决实际问题的能力(如计算氢原子能级、解释光谱线)。
提升科学思维，如从经典到量子的认知转变、模型与实验的辩证关系。
- 情感目标
激发对微观世界的好奇心，体会科学探索的严谨性与创造性。

4.2. 设置科学问题，构建知识桥梁

以“电子自旋假说”案例为例，设计 5 层递进问题链：

- 1) 碱金属原子光谱的双线结构能否用轨道角动量解释？
- 2) 施特恩 - 格拉赫实验中银原子束分裂为两束，说明什么物理量量子化？
- 3) 若电子自旋为 1/2，如何计算塞曼效应中的能级分裂？
- 4) 自旋磁矩与轨道磁矩的耦合如何影响原子总角动量？
- 5) 现代物理中，自旋还体现在哪些现象？

延伸讨论：经典物理的局限性和引入电子自旋概念的必然性。

4.3. 优化教学方法，增强课堂互动

- 问题导向学习

提出开放性问题，如“为什么钠灯发出黄光而汞灯发出蓝光？”引导学生通过能级差计算解释现象。

- 角色扮演与辩论

通过重现卢瑟福团队分析 α 粒子散射数据的历程。

情境创设：播放 1909 年盖革报告“发现直接反射 α 粒子”的原始实验影像，重现卢瑟福团队“2 年无成果”的实验探索阶段。

角色扮演：学生分组扮演卢瑟福、盖革、马斯登，基于散射角数据推导原子正电荷分布，对比汤姆逊模型与核式模型的预测差异。

冲突解决：通过数学推导证明，若原子正电荷均匀分布，大角度散射概率将比实验值低多个数量级，从而理解“科学突破需突破经典框架”的思维特质。

- 虚拟仿真实验

利用 PhET 等互动模拟工具，让学生动态调整参数(如磁场强度、电子轨道)，观察量子效应(如斯塔克效应、塞曼效应)。

- 翻转课堂与微课

课前发布微课视频(如“量子隧穿效应在扫描隧道显微镜中的应用”)，课堂时间用于案例讨论与问题解决。

5. 转型教师角色，整合多方资源

- 从讲授者到引导者

教师需熟悉前沿应用(如量子计算中的原子囚禁技术)，将最新科研成果融入案例。

- 跨学科资源整合

联合化学、材料学科教师设计综合案例(如半导体掺杂与能带理论)。

- 持续专业发展

参与原子物理教学研讨会，学习案例设计最佳实践(如 MIT 的“量子力学可视化”案例库)。

6. 成效评估与反馈

6.1. 量化评估

专业知识：对比传统教学班，案例教学班期末考试平均分高出 8.7 分。

探究能力提升：在课程设计项目中，案例教学班学生提出“基于塞曼效应的磁场测量方案”等创新课题的比例达 43%，显著高于对照班的 18%。

情感态度：案例教学班的学生表示“对原子物理学产生浓厚兴趣”、“案例教学降低了学习难度”。

6.2. 质性反馈

学生普遍认为案例教学“使理论更贴近实际”、“激发了探索兴趣”。

部分学生反映“案例讨论时间不足”、“对数学推导的深度需求未被充分满足”。

6.3. 局限性与改进

案例教学法通过具体问题情境促进学生理解抽象概念，但在原子物理学教学中也存在其局限性。以下从三个核心问题展开分析，并提出针对性改进。

案例教学强调应用导向，但原子物理学的理论体系具有高度抽象性，过度依赖案例可能导致学生缺乏系统性认知框架。例如，在讲解氢原子光谱时，若仅通过实验数据案例推导里德伯公式，而忽略薛定

谓方程的数学推导,学生可能难以理解量子化条件的物理本质。我们可以将课程分为“理论模块”与“案例模块”,前者以推导为主(如波函数归一化、算符运算),后者以应用为主(如激光原理、核磁共振)。

原子物理学与量子光学、凝聚态物理等领域交叉紧密,学生可能提出如“如何用密度泛函理论计算多电子原子能级?”等超出基础案例范围的问题,暴露出案例设计的封闭性缺陷。我们将复杂问题分解为可操作的子问题,例如将多电子问题拆解为“中心场近似→自旋轨道耦合→微扰论修正”的阶梯式案例,引导学生逐步深入。

原子物理学案例常涉及数值计算(如求解氢原子径向方程)、可视化(如波函数概率密度分布),但部分教师缺乏编程技能,导致案例设计停留在定性分析层面。可以直接使 Desmo 等图形化计算工具,例如通过 Desmos 绘制径向波函数曲线,避免直接编写递归算法。也可通过标准化案例模板(如基于 MATLAB 的 Stark 效应模拟、Python 的塞曼效应数据拟合),教师只需修改参数即可生成新案例,如提供 hydrogen_orbital.py 模板,教师仅需调整主量子数 n 和角量子数 l 即可生成不同轨道的可视化结果。

7. 总结

在基于案例教学的《原子物理学》课程教学实践与研究中,我们通过精心筛选与原子物理知识紧密关联且具现实意义的案例融入课堂教学。实践中发现,此方式极大激发了学生的学习兴趣与主动性,使其从被动接受转为主动探索,能深入理解原子物理抽象概念,有效构建完整知识体系。同时,学生分析问题、团队协作沟通及创新思维等能力得到显著提升,实现了知识从理论到实践的迁移应用。研究层面,持续优化案例设计、教学流程与评价体系,为案例教学在《原子物理学》的深化应用提供理论支撑与实践范例,推动该课程教学质量的整体提升与人才培养模式的创新发展。本研究提出的框架为原子物理学课程提供了一种结构化、可调整的教学改进方案,其核心价值在于:通过模块化设计降低案例教学实施门槛为差异化教学需求提供资源支持促进理论推导与实验观测的有机融合未来研究需在不同类型高校中开展多中心试验,探索框架与生成式 AI 工具(如 ChatGPT 辅助案例生成)的整合路径,并构建更精细的认知负荷评估体系,以实现教学效率与深度的双重优化。

基金项目

本论文受 2023 年度自治区高校本科教育教学研究和改革项目资助(XJGXPTJG-202314)。

参考文献

- [1] 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, 31(2): 54-62.
- [2] 杨福家. 原子物理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2019.
- [3] 傅飞娜. 会计学教学理论与实践探索[M]. 北京: 中国原子能出版社, 2021.
- [4] 慕尼黑工业大学物理教育研究中心. 案例教学法在量子物理教学中的应用[J]. 欧洲物理教育杂志, 2023(2): 45-52.
- [5] 天津大学石墨烯研究团队. 半导体石墨烯教学案例开发报告[R]. 2024.
- [6] 褚圣麟. 原子物理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2022.
- [7] 高娟,李洋,孙亚娟,圣宗强,王兵. Matlab 在《原子物理学》教学中的应用——以电子双缝衍射实验为例[J]. 创新教育研究, 2021, 9(1): 106-113.