

原子物理学的三要素模式教学探究

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10月29日; 录用日期: 2025年12月12日; 发布日期: 2025年12月23日

摘要

原子物理学是连接经典物理与量子物理的桥梁, 在高等教育中对培养学生的科学思维、创新能力和对微观世界的认知能力具有重要意义。传统的原子物理学教学模式存在一定的弊端, 探索适合中国式现代化的教学模式, 成为当前教育工作者亟待解决的重要课题。本文运用“三要素模式”的教学手段, 从教学内容优化、教学方法创新、思政教育渗透及考核方式多元化四个层面进行教学探究, 实现知识传授、能力培养和价值引领的融合教学, 以适应现代科技发展对物理学人才的需求。

关键词

原子物理学, 三要素模式, 教学探究

Teaching Exploration of Three-Element Models in Atomic Physics

Hanqin Ding

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

Received: October 29, 2025; accepted: December 12, 2025; published: December 23, 2025

Abstract

Atomic physics serves as a bridge connecting classical physics and quantum physics, and it is of great significance in higher education for cultivating students' scientific thinking, innovation ability and cognitive ability of the microscopic world. The traditional teaching mode of atomic physics has certain drawbacks. Exploring a teaching mode suitable for Chinese-style modernization has become an important issue that educators urgently need to solve at present. This article conducts a "three-element model" teaching exploration from four aspects: optimization of teaching content, innovation of teaching methods, infiltration of ideological and political education, and diversification of assessment methods, to achieve an integrated teaching of knowledge imparting, ability cultivation,

and value guidance, in order to meet the demand for physics talents in modern technological development.

Keywords

Atomic Physics, Three-Element Models, Teaching Exploration

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

原子物理学自 19 世纪末进入黄金发展期以来,始终是探索物质微观结构的前沿阵地,是研究原子结构、原子光谱、原子核等微观世界物理规律的基础学科。从道尔顿的原子不可分论到玻尔的量子化轨道模型,再到现代精密测量技术揭示的原子局域化现象,其研究范式深刻影响着激光冷却、量子信息处理等高新技术的发展。它不仅在基础科学研究中占据关键地位,而且在能源、材料、信息技术等众多领域有着广泛的应用。原子物理学研究的是微观粒子的结构和运动规律,这些微观现象在日常生活中不易观察到,导致学生缺乏感性认识,难以激发学习兴趣。传统的原子物理学教学往往以教师为中心,采用“满堂灌”的方式,侧重于理论知识的传授;教师在课堂上大量讲解复杂的公式推导、抽象的物理概念,缺乏生动有趣的案例和实际应用场景的引入,学生主要是被动地接受知识;师生互动较少,课堂氛围沉闷,学生容易产生疲劳和厌倦情绪,这种单向的教学过程使得学生的学习积极性不高。原子物理学作为物理学的重要分支,是连接经典物理与量子物理的桥梁,其教学探究需兼顾理论深度与实践应用,在高等教育中对培养学生的科学思维、创新能力和对微观世界的认知能力具有重要意义[1]。传统的原子物理学教学模式在长期实践中逐渐暴露出诸多问题,难以满足现代教育教学和学生发展的需求。因此,探索适合中国式现代化的教学模式,成为当前教育工作者亟待解决的重要课题[2]-[5]。本文以杨福家的《原子物理学》(第 5 版)教材为例[6],运用“三要素模式”的教学手段,从教学内容优化、教学方法创新、思政教育渗透及考核方式多元化四个层面进行教学探究,实现知识传授、能力培养和价值引领的融合教学。以下为具体分析。

2. 贯彻“知识 - 能力 - 价值”的教学目标

原子物理学作为现代自然科学的核心领域,其教学不仅是知识传授与能力培养的过程,更是价值观塑造的关键路径。通过将思政教育有机融入专业教学,可实现知识传授、能力培养、价值引领的三维同频共振,培养兼具科学精神与家国情怀的新时代人才。

知识目标——挖掘科学理论中的思政元素。原子物理学的发展史是一部人类突破认知边界、追求真理的历史,蕴含丰富的思政资源。科学精神:以玻尔提出量子化假设、海森堡创立矩阵力学为例,强调“敢于质疑、勇于创新”的科研态度。文化自信:介绍我国在量子通信(如“墨子号”卫星)、高精度原子钟等领域的世界领先成果,增强民族自豪感。辩证思维:通过波粒二象性、不确定性关系等概念,阐释“矛盾统一”的哲学观,引导学生用辩证眼光看待科学问题。

能力目标——在科学实践中培育责任担当。原子物理学的实验与技术应用具有高精度、高风险的特点,需通过实践环节强化学生的责任意识:严谨治学:在激光冷却、原子光谱实验中,强调数据记录的真实性、误差分析的客观性,培养“求真务实”的科研态度。团队协作:通过小组完成“塞曼效应观测”

等任务,渗透“集体主义”价值观,提升沟通协作能力。伦理反思:讨论原子能利用的双重性,引导学生思考科技发展与人类福祉的关系,树立“科技向善”的价值观。

价值目标——以科学家精神引领人生选择。原子物理学领域涌现出众多杰出科学家,其人生轨迹与科研追求是思政教育的生动素材:爱国情怀:以钱三强、邓稼先等“两弹一星”元勋为例,讲述他们放弃国外优厚条件、回国投身核物理研究的感人事迹。奉献精神:介绍居里夫人、费米等科学家在艰苦条件下坚持研究的经历,诠释“淡泊名利、专注事业”的品格。全球视野:通过国际合作项目案例,培养学生“开放包容、合作共赢”的国际观。

在教学过程中,要注意思政元素融入的策略和难点。原子物理学知识抽象,思政元素若强行插入,易使教学逻辑混乱,影响知识传授与思政教育效果。部分教师对思政元素挖掘停留在表面,难以深入挖掘其中蕴含的精神内涵,无法有效感染学生。此外,学生知识基础、价值观不同,对思政元素接受程度有差异,统一教学难以满足个性化需求。

3. 构建“基础 - 前沿 - 应用”的教学内容

为有效突破微观抽象性带来的认知障碍,提升教学效果并培养学生科学素养,在教学过程中,构建“基础 - 前沿 - 应用”的梯度框架,有助于学生掌握原子物理的核心知识、了解学科前沿动态和培养将理论知识应用于实际问题的能力。

基础理论模块化。将原子物理学核心内容划分为独立模块,每个模块设置明确的学习目标和重难点,并注重模块间的逻辑衔接。第一,原子结构模型演进:从汤姆逊的“葡萄干布丁”模型到卢瑟福的核式结构模型,再到玻尔的量子化轨道模型,系统梳理原子结构理论的演进过程。强调每个模型的历史背景、实验依据和局限性,帮助学生理解科学理论的逐步完善。第二,量子力学基础:深入讲解波函数、薛定谔方程、不确定性原理等量子力学基本概念。通过简单系统(如一维无限深势阱、谐振子)的求解,让学生掌握量子力学的基本方法。引入量子态、算符、本征值等概念,为后续学习量子力学应用打下基础。第三,电磁相互作用与原子光谱:讲解原子中电子与原子核的电磁相互作用,以及这种相互作用如何决定原子的能级结构。通过氢原子光谱的实验观察,引导学生理解能级跃迁和光谱线的产生机制。介绍选择定则、精细结构、超精细结构等高级光谱现象,拓宽学生视野。

前沿进展动态化。在原子物理学的前沿进展教学中,可选取冷原子与物质波研究、强激光场中的原子现象等实例,通过理论解析、实验案例和跨学科应用,帮助学生深入理解原子物理学的最新发展。以获诺贝尔物理学奖的激光冷却俘获原子为物理前沿展示教学:讲解激光冷却的原理,包括共振激光与原子束的相互作用、光子的动量传递等。同时,可以展示实验装置和实验结果,让学生直观感受冷原子的制备过程。

应用案例场景化。在原子物理学的教学中,采用场景化教学的方式,通过具体的应用案例,可以帮助学生更直观地理解抽象的物理概念,并激发他们对原子物理学的兴趣。例如,在“X 射线”教学中,可将材料分析实验室设定为场景,介绍 X 射线的产生原理,强调 X 射线与原子内层电子相互作用产生的特征 X 射线谱;展示 X 射线衍射仪,演示如何利用 X 射线衍射分析晶体结构。引导学生观察衍射图谱,讨论如何通过衍射角计算晶格常数。

4. 打造“互动 - 探究 - 辅助”的教学方法

原子物理学作为物理学专业的基础课程,其研究内容抽象深奥,更需要通过科学探究来激发学生的学习兴趣 and 主动性。其教学需突破传统“理论灌输 + 公式推导”模式,构建以互动为纽带、探究为核心、实践为载体的三要素课堂,帮助学生建立正确的物理观念,培养科学思维和科学探究能力。

从单向传递到双向对话的互动。传统课堂以教师讲授为主，学生被动接受知识。互动式课堂通过问题驱动、小组协作、即时反馈，将课堂转化为师生、生生互动的场域。例如，教师提出“为什么氢原子光谱是分立的？”引发学生辩论，在观点碰撞中深化对量子化概念的理解。教师围绕核心概念(如电子自旋、泡利不相容原理)设计阶梯式问题，例如，基础层讲电子自旋的量子数为何是 $\pm 1/2$ ？深化层讲自旋如何影响原子光谱的精细结构？拓展层讲自旋在量子计算中如何作为量子比特？学生分组讨论后，教师通过“追问 - 补充 - 总结”推动深度互动。

从知识记忆到思维训练的探究。原子物理学的核心是科学方法的渗透，以“猜想 - 实验 - 验证”为主线，引导学生像科学家一样思考。例如，学生基于卢瑟福散射实验数据，提出原子核式结构的假设，并通过模拟软件验证其合理性。教师提供前沿研究方向(如“三维原子局域化中的量子干涉效应”)，学生自主查阅文献、设计实验方案，并通过科研团队指导完成研究，培养学术研究能力。

AI 工具正逐渐成为辅助学习与研究的得力助手，但合理使用涉及诸多伦理与规范问题。从学术诚信层面看，AI 工具虽能快速提供资料、解答问题，但学生若过度依赖，直接复制粘贴 AI 生成内容完成作业或报告，将严重违背学术诚信原则。在数据隐私与安全方面，使用 AI 工具时，存在泄露风险，可能导致严重后果。为规范 AI 工具在原子物理学教学中的使用，应制定明确的使用准则。引导学生正确利用 AI 工具进行资料收集、思路拓展，而不是抄袭，合理、合法地借助 AI 提升学习效果，让 AI 真正成为原子物理学学习与研究的助力。

5. 建立“过程 - 能力 - 价值”的评价体系

原子物理学作为理工科核心课程，其考核方式需突破传统“一考定终身”的模式，转向关注学生学习全过程、能力发展多维性及价值观塑造的综合性评价。通过构建“过程 - 能力 - 价值”三维评价体系，可实现知识掌握、科学素养与人格培养的协同提升，为培养创新型、责任型人才提供制度保障。

“过程 - 能力 - 价值”评价体系以学生学习轨迹为线索，以能力提升为核心，以价值观内化为目标，形成“动态跟踪、分层评估、价值引领”的立体化考核模式(图 1)。

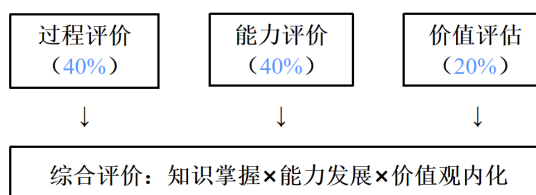


Figure 1. Framework diagram of the three-dimensional evaluation system of “process-capability-value” in atomic physics
图 1. 原子物理学“过程 - 能力 - 价值”三维评价体系框架图

学习行为跟踪的过程评价。覆盖课前预习、课堂互动、课后实践等环节，通过数字化工具实现学习行为可视化。在线预习测试(占比 10%)，考察对“氢原子光谱”“塞曼效应”等基础概念的预理解；课堂参与度(占比 15%)，包括提问质量、小组讨论贡献、实验操作规范性；作业完成度(占比 15%)，重点评价“量子力学推导”“原子模型仿真”等任务的逻辑性与创新性。

科学素养与解决问题的能力评价。聚焦实验设计、数据分析、跨学科应用等高阶能力，采用“项目制 + 竞赛制”考核。实验能力(占比 20%)：通过“激光冷却原子实验”“原子钟频率测量”等项目，评估仪器操作、误差控制、结果解释能力；创新能力(占比 10%)：鼓励学生提出“基于原子干涉的引力波探测方案”等创新课题，通过开题报告、中期答辩、成果展示进行评审；协作能力(占比 10%)：在“核物理模拟软件开发”团队项目中，考核角色分工、沟通效率与冲突解决能力。

科学精神与责任意识价值评价。通过情境化任务与反思性写作,考察学生对科技伦理、社会影响的认知。伦理决策(占比 10%):设计“核废料处理方案选择”“量子计算军事应用辩论”等情境,评估利益权衡与道德判断能力;家国情怀(占比 5%):结合“中国散裂中子源”“人造太阳”等国家重大科技工程,撰写《原子物理与科技自立自强》分析报告;职业规划(占比 5%):通过《我的科研理想》陈述,明确个人发展与社会需求的结合点。

建立多元化的评价体系,综合考虑知识、能力、素养等多个方面的因素。采用过程性评价与终结性评价相结合的方式,不仅关注学生的学习成绩,还关注学生的学习过程和表现。评价方法可以包括课堂表现评价、小组讨论评价、实验操作评价、项目作业评价等,全面、客观地评价学生的学习效果。

原子物理学“过程-能力-价值”综合评价体系的建立,实现了从“结果导向”到“发展导向”、从“单一维度”到“立体评估”的转变。未来,随着人工智能技术的深入应用,评价体系将进一步向智能化(AI 辅助评分)、个性化(动态调整考核内容)、社会化(引入行业评价标准)方向发展,构建培养“知识扎实、能力突出、价值观正确”的复合型人才考核新范式。

6. 实践与效果分析

原子物理学作为物理学专业的重要基础课程,其教学质量直接影响学生对后续专业课程的学习以及对物理学科整体认知的构建。传统教学模式侧重于知识传授,在一定程度上忽视了学生能力培养与价值观塑造。三要素教学模式强调知识、能力、素养的协同发展,为原子物理学教学改革提供了新思路。为验证该模式有效性,我们选取一个教学班开展试点研究。选取我校物理学专业一个自然教学班,共 30 名学生作为研究对象。该班级学生基础水平较为均衡,具有一定的代表性。

在教学前后分别发放问卷,了解学生对原子物理学的兴趣、学习态度、自主学习能力等方面的变化。问卷采用 Likert 五级量表,共设置 20 个问题。教学前,学生对原子物理学的兴趣平均得分为 2.8 分(满分 5 分),学习态度平均得分为 3.0 分,自主学习能力平均得分为 2.9 分。教学后,兴趣平均得分提升至 3.8 分,学习态度平均得分提升至 3.7 分,自主学习能力平均得分提升至 3.6 分。数据表明,三要素教学模式显著提高了学生对原子物理学的兴趣,改善了学习态度,增强了自主学习能力。收集学生该课程期末考试成绩,并与上一届同课程成绩进行对比分析。本班级学生期末考试平均成绩为 82 分,优秀率(成绩 ≥ 85 分)为 30%,及格率为 96.7%。上一届同课程平均成绩为 76 分,优秀率为 15%,及格率为 90%。对比可知,本班级学生在成绩上有明显提升,说明三维教学模式有助于提高学生的学习效果。随机选取 10 名学生进行访谈,深入了解他们对三维教学模式的体验与感受。学生访谈反馈访谈中,学生普遍表示三维教学模式使课堂更加生动有趣,小组讨论和实验操作让他们更深入地理解知识,培养了团队协作和解决问题的能力。同时,科学史与科学家事迹的融入,激发了他们的学习动力和爱国情怀。教师记录教学过程观察与反思,分析教学模式实施过程中的问题与改进措施。三要素教学模式实施初期遇到了一些困难,如学生不适应小组讨论形式、实验操作时间把控不准等。但通过不断调整教学策略,如提前明确小组讨论规则、优化实验流程等,这些问题得到有效解决,教学过程逐渐顺畅,教学效果显著提升。

三要素模式在不同类型高校的实施策略有所差异,在此以研究型大学 vs. 地方应用型院校为例分析。研究型大学科研资源丰富,师资力量雄厚,学生基础较好且科研兴趣浓厚。在原子物理学教学中实施三要素教学模式时,可充分发挥科研优势。在知识要素,邀请科研领域的专家开展前沿讲座,将最新科研成果融入教学内容,拓宽学生视野;能力要素上,鼓励学生参与科研项目,开展自主探究性实验,培养学生的科研创新能力;素养要素方面,组织学生参加学术研讨会、科研竞赛等活动,营造浓厚的学术氛围,培养学生的学术素养和批判性思维。地方应用型院校注重培养学生的实践应用能力,与地方产业联系紧密。在实施三要素教学模式时,应突出应用导向。知识要素上,结合地方产业需求,调整教学内容,

增加与实际应用相关的案例分析；能力要素上，加强实践教学环节，与企业合作建立实习基地，让学生在真实工作环境中锻炼实践操作能力和解决实际问题的能力；素养要素方面，注重培养学生的职业道德和职业素养，引导学生树立正确的职业观和就业观。

7. 总结

原子物理学作为连接经典物理与量子物理的核心桥梁，其教学长期面临微观现象抽象性、理论模型复杂化以及学生感性认知缺失等挑战。原子物理学教学探究不仅是科学传播的需要，更是应对量子技术革命、培养创新人才、推动教育现代化的战略选择。通过三要素模式教学，可实现从“知识传递”到“认知建构”、从“理论验证”到“前沿探索”、从“统一教学”到“个性发展”的转型，为构建适应未来科技发展的物理学教育生态提供关键支撑。三要素教学模式对教师综合素质要求较高，不仅需要教师具备扎实的专业知识，还需要掌握多样化的教学方法和现代教育技术，同时要具备良好的组织协调能力和沟通能力。三要素教学模式注重学生的全面发展，评价内容不仅包括知识掌握情况，还包括能力培养和素养提升。总之，原子物理学的三要素教学模式是一种具有创新性和可行性的教学模式，值得在高校物理教学中进一步推广和应用。

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] 何娟, 李京颖, 余功方, 刘程程. 原子物理学课程思政素材的挖掘[J]. 安庆师范大学学报(自然科学版), 2020, 26(2): 122-124.
- [2] 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): 1235-1240.
- [3] 丁汉芹. 基于案例教学的《原子物理学》课程教学实践与研究[J]. 教育进展, 2025, 15(8): 116-120.
- [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, 31(2): 54-62.
- [5] 崔丽玲, 廖湘萍, 张国华, 张丹, 肖金. “一体两核四结合”的“原子物理学”线上线下混合教学模式的探索与实践[J]. 大学物理, 2023, 42(1): 42-54.
- [6] 杨福家. 原子物理学[M]. 第 5 版. 北京: 高等教育出版社, 2008.