

# 科研项目驱动物理教学内容创新的探索与实践

魏小平<sup>1\*</sup>, 杨江鹏<sup>1,2</sup>, 吴亮<sup>1</sup>

1. 兰州交通大学数理学院, 甘肃兰州;
2. 兰州城市学院培黎机械工程学院, 甘肃兰州

**摘要:** 随着新一轮科技革命和产业变革的深入发展, 传统物理教学模式已难以适应创新人才培养的需求。本文基于当前物理教学中的核心问题, 探讨了以科研项目为驱动推动物理教学内容创新的理论框架、实践路径与成效挑战。通过分析南开大学、哈尔滨工业大学等高校的实践案例, 系统阐述了由科研项目驱动的四环教学模式对物理教学内容的创新以及实践。研究表明, 该教学模式有效的促进了理论与实践的深度融合, 显著提升了学生的创新思维、科研能力与综合素养, 为新时代物理教育改革提供了可复制的范式与路径。

**关键词:** 科研项目驱动; 四环教学模式; 物理教学; 教学模式创新; 学科交叉; 实践能力

## Exploration and Practice of Driving Innovation in Physics Teaching through Scientific Research Projects

Xiao-Ping Wei<sup>1\*</sup>, Jiang-Peng Yang<sup>1,2</sup>, Liang Wu<sup>1</sup>

1. School of Mathematics and Physics, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou, Gansu;
2. School of Bailie Mechanical Engineering, Lanzhou City University, Lanzhou, Gansu

**Abstract:** As the in-depth development of a new round of scientific and technological revolution and industrial transformation, the traditional physical teaching model has failed to meet the needs of cultivating innovative talents. Based on the core issues in current physical teaching, this paper explores the theoretical framework, practical paths, and effectiveness challenges of promoting innovation in physical teaching content through research project-driven approaches. By analyzing practical cases from universities such as Nankai University and Harbin Institute of Technology, this paper systematically elaborates on the innovation and practice of physical teaching content driven by the four-ring teaching model based on research projects. The research shows that this teaching model effectively promotes the deep integration of theory and practice, significantly enhances students' innovative thinking, scientific research abilities, and comprehensive quality, and provides replicable models and paths for the reform of physical education in the new era.

**Keywords:** Research Project-Driven; Four-Ring Teaching Model; Physics Teaching; Teaching Model Innovation; Interdisciplinary Integration; Practical Ability Cultivation

\* 作者简介: 魏小平 (1983-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为计算物理, 电子邮箱: weixp2008@lztu.edu.cn。

1 引言

物理学作为自然科学的基础学科，其教学质量和创新水平直接关系到国家科技竞争力与人才培养质量。然而，传统物理教学中长期存在的学用分离、实践环节薄弱、学科壁垒森严、评价方式单一等问题，严重制约了学生创新能力和科学思维的发展。尤其是在高等教育普及化背景下，如何通过教学改革激发学生科研兴趣、培养学生实践能力，成为物理教育工作者面临的共同挑战。

随着国家“六卓越一拔尖2.0”[1]计划的深入推进，以科研项目为驱动的教学模式正成为物理教学改革的重要方向。这一模式将前沿科学研究与物理基础教学内容有机结合，通过真实情境下的问题发现、分析与解决，培养学生的科学思维、创新意识与实践能力。近年来，多所高校围绕科研项目驱动教学进行了积极探索，如南开大学物理科学学院的“3P+X”教学模式[2]、哈尔滨工业大学的“自主探究式物理实验教学”[3]等，均取得了显著成效。

本文基于现有实践案例，系统分析科研项目驱动物理教学内容创新的理论基础、实践路径、实施成效与面临挑战，以期为同类院校的物理教学改革提供参考，推动物理教育质量实现内涵式提升。

2 科研项目驱动教学的理论框架与模式构建

科研项目驱动物理教学本质上是一种以学生为中心、以真实科研问题为载体的教学模式，其核心理念是通过模拟真实的科研过程，实现知识建构、能力培养与素养提升的有机统一。在这一理念指导下，各高校结合自身特点，构建了多样化的教学模式与实施路径。

2.1 3P+X教学模式的构建与内涵

南开大学物理科学学院李川勇教授团队提出的“基于项目研究的理科学生综合成长3P+X教学模式”[2]，为解决理科实践教学中的核心问题提供了系统方案。该模式以教育部物理学育人模式改革

虚拟教研室为平台，整合了三类核心要素（3P）和多元发展路径（X），三类核心要素分别为：①基础知识：注重物理学科核心概念与理论方法的深度理解，为科研实践奠定坚实基础；②实践能力：通过多层次实验与项目设计，培养学生仪器操作、数据处理、误差分析等基本科研技能；③项目研究：以前沿科研问题为载体，引导学生经历完整的科研训练过程，实现知识迁移与能力内化。“X”则代表学生根据兴趣特长与专业方向选择的个性化发展路径，如学术科研、创新创业、交叉应用等，从而实现共性基础与个性发展的有机统一。这一模式采用“理论构建—模式开发—实践验证—迭代优化”的科学研究框架，并形成可复制推广的实践教学案例。其研究方向和内容获得了学术界的广泛认可，体现了科研项目驱动教学在高等教育改革中的前沿地位。

2.2 自主探究式物理实验教学模式探索

哈尔滨工业大学物理实验中心在长期实践中形成了以“自主设计、自主搭建、自主调试、自主探索”为特征的自主探究式物理实验教学模式[3]，实现了从“以教师为主”向“以学生为主”的教学模式的根本性转变。该模式的核心特征包括：①科教深度融合：将前沿科研成果转化为实验教学资源；②自制仪器助推教学：研制和改造多种物理实验设备，实现物理理论与实践探索的具象化体验；③云端赋能拓展空间：借助手机APP完成的自主创新实验项目，通过“云指导”方式打破时空限制，实现了“居家物理实验”的全国性示范引领。自主探究式物理实验教学模式特征与优势如表1所示。

表1. 自主探究式物理实验教学模式的特征与优势

特征维度	传统模式	自主探究模式	优势体现
教学目标	知识传授、技能训练	创新能力、科学思维培养	聚焦核心素养
教学过程	教师主导、按部就班	学生主体、自主探索	激发内在动机
教学内容	固定实验、验证性为主	开放项目、探究性为主	衔接前沿科研
评价方式	结果正确性、报告质量	过程表现、创新思路	多元综合评价

### 3 四环教学模式的构建与探索

我们提出一种四环物理教学模式，即以“前沿引领-问题驱动-实验探究-能力升华”为实践路径探索模式，该模式相较于“3P+X”模式而言，是一种“由上而下”的引领性学习，即先确立目标和框架，然后开展探究，结构更严谨，对核心知识的覆盖和前沿视野的开拓更有保障，具有显著的教学效率和系统性优势。相较于“自主探究式教学模式”，既保证了探究的开放性，又通过强有力的教师设计和干预，确保了教学方向不偏离、学习认知有深度。我们以“自旋电子学”这一诺贝尔奖级成果为例，教学团队围绕“巨磁电阻效应(GMR)”设计了名为“探索看不见的旋转——从原子磁矩到海量存储”的综合性教学案例。该案例遵循“前沿引领-问题驱动-实验探究-能力升华”的实施路径。

#### 3.1 前沿引领：从物理现象到技术革命

史料与现状结合的教学设计沿两条主线展开。历史脉络方面，从1856年威廉·汤姆逊发现各向异性磁电阻效应讲起，重点介绍1988年费尔和格林贝格独立发现巨磁电阻效应的开创性工作，以及2007年获得诺贝尔物理学奖的意义。技术演进方面，展示硬盘存储密度从1997年的1Gb/in<sup>2</sup>到现在的1000Gb/in<sup>2</sup>以上的增长曲线[4]，直观体现GMR效应的产业价值。实物展示与案例分析环节，我们准备了三组材料：拆卸的硬盘磁头实物让学生观察GMR传感器的实际结构；IBM公司在1997年推出的首个商用量子GMR磁头技术资料展示了原始专利图纸；现代MRAM存储芯片实物与工作原理动画演示了自旋电子学的新发展方向。通过这些具象化的材料，抽象的物理概念转化为可触摸的技术成果。跨学科视野拓展部分着重阐述GMR效应在不同领域的创新应用。在生物医学领域，介绍基于GMR效应的生物传感器如何通过检测磁性标记物实现癌症早期诊断；在工业检测领域，分析非接触式GMR位移传感器在精密制造中的应用原理；在汽车工业领域，展示GMR角度传感器在电动汽车电机控制系统中的关键作用。前沿

动态追踪环节聚焦最新研究进展。包括南京大学在拓扑绝缘体/GMR异质结中观测到的新型自旋轨道力矩[5]；中科院物理所在二维材料GMR器件方面取得的突破[6]；以及西部数据公司最新发布的基于GMR的微波辅助磁记录技术。这些内容让学生了解科学研究的前沿方向。

#### 3.2 问题驱动：构建递进式问题链

设定核心问题“为什么在多层膜结构中，微小的磁场变化能引起电阻的急剧变化？”该问题既包含对物理本质的探究，也隐含对技术现象的解释。理论探究问题链从基础到深入分为四个层次：①磁场如何影响材料的电子输运性质？（衔接大学物理的电磁学知识）；②铁磁材料中自旋极化电子的运动有何特性？（引入量子力学概念）；③多层膜结构中界面散射的物理机制是什么？（深入材料物理层面）；④反铁磁耦合在GMR效应中起什么作用？（触及本质物理机理）。实验探究着重方法论训练：①如何测量纳米尺度薄膜的电阻变化？（实验技术问题）；②如何分离普通磁电阻与巨磁电阻的贡献？（数据分析问题）③如何设计实验验证自旋相关散射模型？（实验设计问题）。技术应用问题集理论与实践结合：①GMR传感器与传统霍尔传感器相比有什么优势？（性能比较问题）；②为什么硬盘容量提升与GMR效应密切相关？（技术演进问题）；③如何基于GMR效应设计新型存储器件？（创新设计问题）。最后，组织学生分组讨论“GMR效应发现过程中的偶然与必然”，引导他们分析基础研究与应用开发的关系。包括比较费尔和格林贝格的研究路径异同，探讨工业需求如何推动基础研究，通过文献考证与小组辩论培养学生的科学史观与创新思维。

#### 3.3 实验探究：分层递进的实践训练

在基础实验验证部分，通过GMR传感器特性测量实验，测量电阻随磁场变化曲线，学习四线法测量技巧。各向异性对比实验通过改变磁场方向与电流方向的夹角，验证磁电阻的各向异性特征。温度效应实验研究不同温度下GMR曲线的变化规律，



理解热扰动对自旋极化的影响。在进阶探究实验部分，通过磁控溅射设备制备Fe/Cr多层膜，学习超真空技术、膜厚监控、结构表征等方法。磁性测量实验采用振动样品磁强计测量磁化曲线，分析反铁磁耦合特征。微观机制验证实验通过变温测量，验证自旋相关散射模型的理论预言。综合设计实验充分激发学生创新潜能。GMR磁强计设计项目要求学生基于GMR传感器设计地磁场测量装置，重点解决灵敏度校准、温度补偿、噪声抑制等工程问题。磁存储器设计挑战要求学生设计基于GMR效应的新型存储单元，考虑读写速度、功耗、集成度等实际约束。

### 3.4 能力升华：从知识到素养的转化

知识体系建构通过三个途径实现：概念图绘制要求学生以GMR为核心，连接固体物理、量子力学、材料科学、电子技术等相关概念，形成网状知识结构；专题综述写作训练学生系统梳理“自旋电子学发展历程”或“磁性存储技术演进”等主题，培养文献整合能力；模拟课题申请让学生撰写“基于GMR效应的新型传感器研究”等项目申请书，体验科研组织过程。科学思维培养注重多维度训练：组织机理分析辩论会，围绕“界面散射与体散射哪个是GMR的主要机制”展开辩论，培养批判性思维；要求学生撰写技术预见报告，基于GMR发展规律预测自旋电子学未来方向，训练科学预见能力；举办创新设计竞赛，以“GMR技术在物联网中的应用”为主题，鼓励学生提出创新方案，培养工程思维。科研成果转化环节建立与产业界的联系：邀请行业专家介绍GMR技术的产业化历程，分析从实验室发现到产品的转化路径；组织学生参观相关企业研发部门，了解技术需求与研发流程；通过案例分析学习专利撰写与知识产权保护策略，理解科研成果转化的完整价值链。教学评价改革建立多元评价体系：学习档案记录整个学习过程的表现，包括实验记录、讨论贡献、阶段成果等；项目成果评价注重创新性和完成质量；综合能力考核通过口头报告、书面总结和答辩表现评估；团队协作与科学态度通过同伴评价和教师观察评定。该评价方式

全面反映学生的成长轨迹。教学反思机制包含三个层次：学生通过学习日志记录认知变化过程，总结收获与困惑；教师通过教学观察记录分析各环节效果，及时调整教学策略；课程组通过比较往届学生表现评估教学模式的长效性，并建立毕业生跟踪机制，了解学生发展情况，为课程改进提供依据。

## 4 结论与展望

科研项目驱动物理教学内容创新的探索与实践表明，以科研项目为载体、以学生为中心的教学模式，有效解决了传统物理教学中学用分离、实践环节薄弱、学科壁垒森严等突出问题，显著提升了学生的创新思维、科研能力与综合素养。四环模式汲取了探究式教学和项目式教学的优点，同时通过其鲜明的四个环节，有效规避了后者易出现的“知识碎片化、教师角色弱化、学习效率低下、能力升华不足”等核心问题，体现了一种更为成熟、稳健和高效的教学设计思想。未来，科研项目驱动教学的深化发展应以智能技术赋能构建智慧教学新生态；深化跨界协同拓展教学资源网络；提升教师专业素养以支持教学模式转型；完善评价体系以保障教学质量。总之，科研项目驱动物理教学内容创新是一项系统工程，需要教学内容、教学方法、评价方式、师资队伍等多要素的协同变革。只有坚持“以学生发展为中心”的理念，持续推进教学创新，才能培养出更多具有科学思维、创新精神和实践能力的优秀人才，为教育强国建设提供坚实支撑。

## 致谢

本文由基金：兰州交通大学“科研反哺教学优秀典型案例”项目（FB-Z202527）资助。

## 参考文献

- [1] 教育部：实施“六卓越一拔尖”计划2.0建设高水平本科教育[OL].(2019-4-29)[2025-10-24].[http://www.moe.gov.cn/fbh/live/2019/50601/sfcl/201904/t20190429\\_379943.html](http://www.moe.gov.cn/fbh/live/2019/50601/sfcl/201904/t20190429_379943.html).
- [2] 李川勇. 基于项目研究的理科学子综合成长3P+X教学模式探索与实践(批准号：25LK0205)[Z].北京：中国高等教育学会, 2025.

- [3] 钟瑞, 王拴, 韩建卫,等. 虚实结合式物理实验教学设计——以磁光效应及其在光通信中的应用为例[J]. 大学物理实验, 2024, 37(4): 24-29.
- [4] 李正华. 超高密度磁记录用硬盘核心磁性器件的微磁学分析[D]. 兰州大学. 2009.
- [5] 贺家电, 丁逸凡, 滕博伦, 等. 拓扑绝缘体/超导体异质结中的近邻效应[J]. 物理学进展, 2021, 41(3): 113-135.
- [6] J. G. Na, C. T. Yu, X. G. Zhao, W. Y. Lai, et al.,. Anisotropic giant magnetoresistance induced by magneto annealing in Fe-Ag granular films, Journal of Applied Physics 6 (1994) 20-23.

