

天文物理数学交叉融合下本科生科研创新探索

石维彬

山东大学（威海）空间科学与技术学院，山东 威海 264209

DOI:10.61369/EST.2025080026

摘 要： 针对基础学科交叉发展需求及本科生跨学科科研创新能力培养短板，本教改项目开展物理、数学、天文交叉融合教学实践。通过构建融合型教学内容体系、创新跨学科教学模式、搭建实践育人平台，开发系列教学资源，推动三学科知识联动教学与科研实践深度融合。实践表明，项目有效提升学生多学科融合应用与创新能力，形成成熟的跨学科教改成果与培养范式，为高校基础学科交叉教学改革及拔尖人才培养提供有力支撑，具有较好的实践价值与推广意义。

关键词： 交叉融合模式；人才培养；创新模式

Exploration of Undergraduate Scientific Research and Innovation Training Under the Interdisciplinary Integration of Astronomy, Physics and Mathematics

Shi Weibin

School of Space Science and Technology, Shandong University, Weihai, Shandong 264209

Abstract: In response to the demand for the interdisciplinary development of basic disciplines and the shortcomings in cultivating undergraduates' interdisciplinary scientific research and innovation capabilities, this educational reform project carries out teaching practice of interdisciplinary integration among physics, mathematics and astronomy. By constructing an integrated teaching content system, innovating interdisciplinary teaching models, building practical education platforms and developing a series of teaching resources, the project promotes the in-depth integration of knowledge-linked teaching and scientific research practice across the three disciplines. Practice has shown that the project has effectively improved students' abilities in multidisciplinary integration application and innovation, and formed mature interdisciplinary educational reform achievements and training paradigms. It provides strong support for the interdisciplinary teaching reform of basic disciplines and the cultivation of top talents in universities, and has good practical value and promotional significance.

Keywords: interdisciplinary integration model; talent cultivation; innovation model

引言

基础学科交叉融合是当代学术前沿突破与国家科技自立自强的核心路径，天文、物理、数学的交叉联动更是基础研究的热点领域。当前本科教育中，三学科传统培养壁垒明显，学生多局限于单一学科知识体系，跨学科应用与科研创新能力薄弱，难以适配学科发展潮流与拔尖人才需求。在此背景下，探索天文物理数学交叉融合的本科生科研创新训练模式极具现实意义。本研究明确该模式“学科联动、科研实践”等核心特征，阐述其契合学科趋势、弥补培养短板等必要性，构建“三维融合”教学-科研联动培养模式，提出跨学科教学体系构建等实现途径，并以银河系星流演化研究为实践载体，为高校提供可复制的拔尖人才培养范式，助力夯实本科生跨学科科研基础，为国家基础学科研究储备核心力量。

一、天文物理数学交叉融合模式探索研究的内涵与核心特征

（一）研究内容

高等教育聚焦基础学科拔尖人才培养，天文物理数学交叉融

合模式以“赋能本科生长远发展”为核心导向，以天文现象为载体、物理原理为支撑、数学工具为手段，打破学科壁垒，构建“现象观察—原理剖析—数学建模—实践验证”的科研训练逻辑。通过“行星轨道测算”等课题实践，引导学生联动运用三学科知识，夯实理论基础，培育跨学科思维与科研素养，最终实现

基金项目：2023年度山东大学（威海）的教改项目，课题名称是：天文物理数学交叉融合模式下的本科生科研创新训练探索研究，课题编号：Y2023058。

作者简介：石维彬（1973.08-），男，河北保定人，博士，副教授，研究方向：从事银河系结构的研究。

“知识融合—能力提升—拔尖人才培养”目标，适配学科发展与国家人才需求。

（二）核心特征

1. 学科联动性：以三学科内在逻辑关联为纽带，摒弃传统教学中单一学科割裂训练的弊端，形成“天文找问题、物理析本质、数学建方法”的协同育人逻辑。在教学实践中，这种联动体现为“案例式联动”，如讲解“黑洞辐射”时，先通过天文观测数据引入现象（天文），再用量子力学原理解析辐射本质（物理），最后通过黎曼几何与概率统计构建辐射强度模型（数学），让学生直观感受知识的互补性与融合性。

2. 科研实践性：立足本科教学实际，将真实科研场景转化为可操作的训练内容，以科研项目、课题探究为主要载体，引导学生全程参与“选题—设计—实施—总结”的科研流程。不同于理论课堂的被动接受，这种模式强调学生的主动参与，例如在“宇宙微波背景辐射分析”课题中，学生需自主查阅文献、处理观测数据、运用物理公式推导、建立数学模型对比，通过亲身体验将理论知识转化为实践能力，解决“学用脱节”的教学痛点。

3. 创新导向性：聚焦三学科交叉前沿方向，结合本科生认知水平设计探究主题，如“系外行星大气成分的物理建模与数学分析”“引力波信号的数学降噪与物理解读”等，鼓励学生突破“按部就班”的思维定式。教学中通过设置“开放性问题”，如“如何优化现有模型提高系外行星探测精度”，引导学生探索多学科融合的新视角，侧重创新思维与原创能力的培育，为学生参与大学生创新创业项目奠定基础。

4. 素养综合性：兼顾多维度育人目标，不仅关注理论知识的融合应用，更重视科研技能实操（如天文观测设备使用、数据处理软件操作）、学术协作沟通（跨学科团队分工与讨论）、国际视野拓展（跟踪前沿文献、参与线上学术交流）等素养的培养。例如在团队课题中，要求学生定期开展组会汇报、撰写学术报告，全方位提升综合能力，契合拔尖科学人才的培养需求。

5. 模式可复制性：构建“标准化框架+个性化调整”的训练体系，标准化内容包括交叉基础知识模块、科研流程规范等，个性化部分则根据学生兴趣（如偏向观测天文或理论建模）与高校资源（如是否具备天文观测台）灵活调整。这种设计形成可推广、可优化的实施路径，既适用于重点高校的拔尖班培养，也能适配普通高校的本科科研基础训练。

二、天文物理数学交叉融合模式探索研究的必要性

1. 契合学科交叉趋势：基础研究突破多源于学科融合，天文、物理、数学交叉是国际前沿。本科阶段引入该模式，可让学生紧跟学科潮流，如通过“引力波探测”教学同步掌握观测技术、物理原理与建模方法，夯实科研基础。

2. 弥补传统培养短板：传统模式下三学科壁垒森严，导致学生“懂天文不懂建模，会物理不会数据分析”。交叉模式以问题为驱动，让学生在实践中联动用知识，破解“学用脱节、创新不足”的痛点。

3. 响应国家人才需求：国家“强基计划”聚焦基础学科与科技自立，亟需跨学科拔尖人才。高校通过天文物理数学交叉训练，可精准对接需求，为科研机构储备核心力量^[1-2]。

4. 提升科研竞争力：跨学科训练使学生形成“天文视角+物理思维+数学能力”的独特优势，掌握文献分析、数据处理等核心技能，在考研、科研团队选拔中更具竞争力。

三、核心培养模式

结合本科教学规律与学生认知特点，构建“‘三维融合’教学—科研联动培养模式”，以“知识融合、能力融合、平台融合”为核心，衔接“课堂教学—实践探究—成果转化”全流程，具体聚焦三类可落地的核心模式：

1. 项目驱动式培养模式：围绕三学科交叉主题设置专项科研项目，分为“基础验证型”（如“月球公转轨道的测算与验证”）与“创新探究型”（如“光学黑洞模拟的参数优化”），适配不同年级学生。引导学生组建3-5人跨学科团队，明确分工：天文基础好的学生负责现象筛选与观测，物理见长的学生拆解原理，数学能力强的学生构建模型。通过“项目开题—中期汇报—结题答辩”的完整流程，倒逼学生主动融合知识、提升能力，教师则全程跟踪指导，解决项目推进中的难点。

2. 导师引领式培养模式：组建“天文+物理+数学”跨学科导师团队，实行“1名主导师+2名辅助导师”制度。主导师根据学生兴趣确定研究方向，辅助导师分别负责物理原理与数学方法指导。依托本科生导师制、校级科研立项等平台，让学生深度参与导师的跨学科课题，例如协助处理天文观测数据、推导物理模型的数学表达式。通过定期组会、一对一指导，让学生逐步掌握科研方法，培养学术思维。

3. 分层递进式培养模式：按年级分层设计训练内容，形成循序渐进的培养梯度。低年级开设“天文物理数学交叉导论”选修课，结合案例进行科研思维启蒙，铺垫交叉基础知识；中年级依托实验室开展“科研技能实操”，如天文望远镜使用、MATLAB数据处理等，同步开展小型课题探究；高年级安排学生参与国家级科研项目子课题，重点培养成果产出能力，支持学生发表论文、申请专利，实现“从知识输入到成果输出”的跨越，全面提升综合素养。

四、实现途径

（一）构建跨学科融合教学支撑体系

1. 整合三学科交叉知识点，开发模块化课程内容（如“天体物理与数学建模”“天文现象的物理原理解读”等），编制融合型教案、课件与学习手册，夯实理论基础；

2. 创新教学模式，采用项目式学习（PBL）、探究式教学等，将科研训练融入课堂，通过交叉案例分析、小组协作探究，培养跨学科思维；

3. 组建跨学科教研团队，开展联合备课、教学研讨，提升教师跨学科教学与指导能力，保障训练质量。

（二）搭建多元化科研实践平台

1. 依托高校现有资源，盘活本科生科研立项、科研助理岗位、毕业设计等平台，设立跨学科专项课题，吸引学生参与；

2. 建设跨学科实践载体，如虚拟仿真实验室（光学黑洞模拟、天体轨道测算等）、天文观测实践基地，提供实操场景；

3. 联动科研院所、行业机构, 搭建校外实践平台, 组织学生参与跨学科科研交流、实地观测等活动, 拓展学术视野。

(三) 完善分层培养与指导机制

1. 按年级分层制定训练计划, 匹配对应训练内容与目标, 实现循序渐进培养;

2. 实行“跨学科多导师联合指导”, 明确各学科导师指导侧重点, 形成互补指导格局, 精准解决学生科研中的跨学科难题;

3. 建立阶段性督导机制, 定期开展科研进度汇报、成果交流, 及时调整训练方案, 保障训练成效。

(四) 健全多元评价与激励体系

1. 构建“知识融合+技能实操+创新成果+协作能力”的综合评价标准, 采用项目评审、成果展示、综合答辩等多元评价方式, 全面评估训练效果;

2. 设立跨学科科研奖励机制, 对优秀科研成果、获奖项目给予表彰, 激励学生主动参与跨学科科研训练;

3. 将跨学科科研训练成果与学业考核、评优评先、升学推荐挂钩, 提升学生参与积极性。

银河系星流演化研究中天文、物理、数学的交叉融合模式, 为大学生创新本科教育提供了极具价值的实践载体与培养路径, 既贴合学科交叉的教育发展趋势, 又能精准锤炼本科生的创新思维、科研能力与综合素养, 具体融合应用及发展意义如下:

五、在本科教育中

可依托银河系星流研究的交叉特性, 搭建“观测认知-理论支撑-模拟实践”的阶梯式创新培养体系。

天文学层面, 引导本科生借助公开天文观测数据库(如 Gaia 卫星观测数据), 学习星流相关基础观测数据的筛选、整理与特征分析, 掌握天文现象的观测解读方法, 培养对天体现象的精准认知能力; 物理学层面, 以银河系引力势理论、天体力学规律为核心教学内容, 结合星流演化^[3-5]的实际场景拆解理论知识, 让本科生理解引力作用支配星流运动的底层逻辑, 学会将基础物理理论与天文实际问题结合, 打破学科理论与实践应用的壁垒^[6]; 数学层面, 指导本科生运用数值计算方法、流体力学方程建模等技能, 将物理理论转化为可操作的数学模拟模型, 通过编程实现简易星流演化过程模拟, 锻炼数学建模、数值求解及结果分析的实

操能力^[7]。

这种交叉融合的培养模式, 既契合本科生创新教育中“理论联系实际、跨学科协同”的核心需求, 又能为本科生提供具象化的科研创新载体^[8]: 一方面, 可依托该研究主题设计本科生创新训练项目, 鼓励学生组建跨专业团队(天文、物理、数学相关专业学生协作), 从观测数据整理、物理模型构建到数学模拟实现逐步推进, 在团队协作中深化跨学科知识融合, 培养问题拆解、协同攻关的创新能力; 另一方面, 通过将前沿科研问题融入本科教学实践, 打破传统单一学科的教学局限, 让本科生接触天文领域前沿研究方向, 激发科研兴趣与创新意识, 同时锤炼数据处理、理论应用、数值模拟等科研基础技能, 为后续深造或科研工作积累扎实功底, 实现前沿科研与本科创新教育的双向赋能, 推动本科生创新素养与学科交叉能力的协同提升^[9-10]。

三者的交叉融合推动该领域持续发展: 早期依托天文观测发现星流现象, 结合经典引力理论初步推测其演化动因; 随着观测精度提升与物理理论完善, 数学模拟方法不断优化, 实现对星流演化过程的精细化还原, 反过来验证并补充天文观测结论与物理理论; 当前, 高精度天文观测数据为数学模拟提供更精准的初始输入, 物理理论的深化优化模拟的核心逻辑, 数学算法的升级则提升模拟的效率与精度, 三者协同助力揭示星流演化背后的银河系形成与动力学演化规律, 推动银河系子结构研究不断突破。

六、结语

天文、物理、数学的交叉融合是基础学科发展的核心趋势, 也是本科生科研创新能力培育的重要抓手。本研究探索的跨学科科研创新训练模式, 打破了传统学科壁垒, 搭建了“理论融合-实践探究-能力提升”的培养路径, 既助力本科生夯实多学科基础、培育跨学科科研思维, 又为高校拔尖科学人才培养提供了可复制、可推广的实践范式。未来, 需持续优化训练体系, 弥补实施过程中的不足, 进一步深化三学科交叉融合深度, 完善资源支撑与机制保障, 不断提升训练质量, 切实培养出具备扎实理论基础、较强创新意识与综合科研能力的拔尖人才, 为国家基础研究突破、科技自立自强提供坚实的人才支撑, 助力基础学科交叉领域持续产出原创性成果, 推动学术发展与国家科技战略需求深度契合。

参考文献

- [1] 王赤. 加速空间科学发展 建设世界科技强国 [J]. 红旗文稿, 2022, 19: 16-19.
- [2] 王赤. 加速空间科学发展 建设航天强国——中科院研究所负责人谈“四个面向” [N]. 科技日报, 202212-29(5).
- [3] Shi, W. B., Chen, Y. Q., Carrell, K., & Zhao, G. The Kinematics and Chemistry of Red Horizontal Branch Stars in the Sagittarius Streams. 2012, ApJ, 751, 130
- [4] Yan, H. H., Shi, W. B., Chen, Y. Q., Zhao, J. K., & Zhao, G. Evidence of a common origin for the Virgo overdensity and Hercules-Aquila Cloud from abundances and orbital parameters. 2023, A&A, 674, A78
- [5] Zhang, X., Shi, W. B., Chen, Y. Q., et al. The properties of red giant stars along the Sagittarius tidal tails. 2017, A&A, 597, A54
- [6] 杨庆, 孔纲强, 孔宪京, 等. 多学科交叉融合背景下高校土木类专业人才培养模式探索 [J]. 科教发展研究, 2024, 4(04): 95-107.
- [7] 刘佩佩, 李丹琴. 基于多学科交叉融合的研究生创新人才培养模式探究 [J]. 江西科技师范大学学报, 2024, (06): 120-122.
- [8] 姜建, 刘鑫一. 高校加强学科交叉融合的思路和对策研究 [J]. 教育教学论坛, 2024, (09): 9-12.
- [9] 孙立山, 许琰, 戴璐. 本科拔尖培养中的科研训练考核创新模式研究 [J]. 教育教学论坛, 2023, (19): 1-4.
- [10] 张浩鹏, 谢凤英, 赵丹培, 等. 航天信息工程本科生创新能力培养课程设计 [C]// 教育部高等学校航空航天类专业教学指导委员会. 第六届全国高等学校航空航天类专业教育研讨会论文集. 北京航空航天大学宇航学院, 2024: 374-379.