

高能天体物理空间探测虚拟仿真实验设计与实践

陆翔^{1,2}, 吕静¹, 潘智毅¹

¹广西大学物理科学与工程技术学院, 广西 南宁

²广西大学国有资产与实验室管理处, 广西 南宁

收稿日期: 2025年5月28日; 录用日期: 2025年7月30日; 发布日期: 2025年8月7日

摘要

空间探测作为空间科学与技术创新的重要途径, 代表了空间科学领域的前沿科技。但空间粒子探测仪器的研发是一个复杂、长周期的过程, 故高能天体物理空间探测不适合开展大规模实验教学。为此, 设计了高能天体物理空间探测虚拟仿真实验。该实验通过模拟伽马暴现象的探测过程, 融合了高能天体物理理论学习、天文望远镜与探测器的设计、伽马暴的探测过程与数据处理等内容。该实验已开展了四年多的教学实践, 取得了良好的效果。

关键词

高能天体物理, 空间探测, 虚拟仿真, 实验教学, 教学改革

Design and Practice of Virtual Simulation Experiment for High-Energy Astrophysical Space Exploration

Xiang Lu^{1,2}, Jing Lyu¹, Zhiyi Pan¹

¹School of Physical Science and Technology, Guangxi University, Nanning Guangxi

²Department of State-Owned Assets and Laboratory Management, Guangxi University, Nanning Guangxi

Received: May 28th, 2025; accepted: Jul. 30th, 2025; published: Aug. 7th, 2025

Abstract

Space exploration, as an important avenue for innovation in space science and technology, represents the cutting-edge technology in the field of space science. However, the development of space

particle detection instruments is a complex and long-term process, so high-energy astrophysics space exploration is not suitable for large-scale experimental teaching. Therefore, a virtual simulation experiment for high-energy astrophysical space exploration was designed. This experiment simulates the detection process of gamma-ray burst, integrating theoretical learning of high-energy astrophysics, design of astronomical telescopes and detectors, gamma-ray burst detection process and data processing. This experiment has been carried out for more than four years of teaching practice and has obtained good results.

Keywords

High-Energy Astrophysics, Space Exploration, Virtual Simulation, Experimental Teaching, Teaching 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

随着信息化技术的快速发展,对高等学校实验教学质量和学生的创新能力培养也提出了新的更高要求。面对学科交叉性强、涉及知识面广、特殊应用场景等复杂问题,传统的实验课程已无法满足教学目标的要求。为此,教育部于2017年颁布了《关于2017~2020年开展示范性虚拟仿真实验教学项目建设的通知》,2018年又印发了《关于开展国家虚拟仿真实验教学项目建设的通知》,旨在深化信息技术与教育教学深度融合,提高高等教育教学质量[1][2]。2019年中共中央、国务院印发了《中国教育现代化2035》,进一步强调“充分利用信息化技术,丰富并创新课程形式”。在新形势下,各高校也在积极探索、推进虚拟仿真实验教学新模式,助推理论教学与实验教学深度融合,以提高教学质量和人才培养质量[3]。

虚拟仿真实验利用计算机技术虚拟实验场景和实验过程,具有不受时空限制、安全易行等优点,能将抽象深奥的理论知识变得具体形象,通过沉浸式交互设计实现“做中学”,增加了课程教学的深度和广度,弥补传统课堂教学无法实现的教学效果[4][5]。虚拟仿真实验在物理实验教学中也得到了广泛应用,如数电实验[6]、应用物理学实验[7]、大学物理实验[8]等。高能天体物理是一个研究宇宙中极端能量现象的前沿科学,广西大学在该领域拥有深厚的教学科研基础,承担了空间高能宇宙线穿越辐射探测器研究、高能宇宙辐射探测设施关键技术攻关等国家级项目。高能天体物理空间探测实验具有实践性强、理论知识复杂、实验内容丰富、操作设备特殊等特点,在传统实验教学中面临空间探测设备成本高、实验周期长、辐射安全限制等瓶颈,导致理论与实践容易脱节[9][10]。因此,本研究创新性地将科研项目成果转化为虚拟仿真实验课程,构建“理论建模-设备设计-数据采集-分析应用”的全链条教学体系,重点培养学生解决高能天体物理空间探测实际问题的能力,促进科教融合和协同育人。

2. 建设背景

2.1. 虚拟仿真实验破解空间探测实验“看不见、做不好”难题

空间探测作为空间科学与技术创新的重要途径,代表了空间科学领域的前沿科技,是国家科技发展战略的重要组成部分[11]。高能天体往往存在剧烈的爆发活动现象,如伽马射线暴,超新星爆发等。高能天体爆发活动会辐射出高能粒子,探测爆发活动产生的高能粒子有助于理解其爆发活动的性质。高能

天体爆发活动的观测依赖于空间探测器，而空间粒子探测仪器的研发过程复杂、实验周期长，涉及物理、探测技术、电子学、数据分析等，具体包含粒子的物理特性研究、天文望远镜设计、探测器设计、天文观测、数据处理等。为此，开展高能天体物理空间探测虚拟仿真实验教学极为必要，可以让学生在较短的时间内完整掌握探测仪器的研发过程以及粒子探测的整个过程，并掌握粒子物理的探测方法等。

2.2. 实现天体物理类理论课程的实验支撑

广西大学在天文学和高能天体物理领域拥有深厚的教学底蕴和优良的科研条件，在天文学和空间探测领域的研究处于国际领先水平。对本科生开设有《天体物理导论》《高能天体物理》《粒子天体物理学》等课程，涉及内容广。在空间探测方面，由于学生对空间探测知识缺乏直观认知，仅通过理论的学习难以达到好的教学效果。通过开设高能天体物理空间探测虚拟仿真实验，既可以让学生在实验中学习伽马暴爆发、超新星、X 射线双星、脉冲星、黑体辐射、韧致辐射、逆康普顿散射等基础概念，又可以更好地掌握天体物理中的辐射机制、探测器的研制、天体物理观测方法、天文数据处理等。同时，学院承担全校的物理学实验课，把该虚拟仿真实验纳入到大学物理实验课中，可以在大学生中普及空间探测知识。

3. 实验设计

3.1. 教学目标

通过本课程的学习，使学生理解高能天体爆发暂现源的物理知识与探测器的探测原理，构建完整的高能天体物理空间探测器体系，拓展学生在天体物理科研领域的视野，培养本科生的创新实践能力，并达到以下目标。

3.1.1. 知识目标

(1) 通过对高能天体物理中辐射机制及其主要辐射特点、不同的粒子在探测器中产生的物理过程、伽马暴的主要性质及高能天体爆发源的基本模型等的认知，使学生掌握高能天体物理的基本知识，培养学生对高能天体物理空间探测的兴趣。

(2) 通过天文望远镜的设计实验，使学生掌握天文望远镜的基本原理，并会根据实际探测情况来选择合适的望远镜。

(3) 通过探测器的设计实验，使学生掌握气体探测器、闪烁体探测器、半导体探测器等探测器的设计方法，并能应用到实际的探测中。

(4) 通过天文观测实验，使学生掌握伽马射线暴探测的方法，培养学生能根据实际的探测对象来对望远镜、探测器参数进行设计的能力。

(5) 通过数据处理实验，使学生了解伽马暴数据与 X 射线源图像处理流程，掌握对天体爆发暂现源的观测数据进行处理的方法。

3.1.2. 能力目标

(1) 获取知识能力。通过实验指导书、课件、实验教学视频、动画讲解等资源，对空间探测的知识进行自主学习，拓宽知识面。

(2) 解决工程问题能力。通过望远镜、探测器的设计等实验，掌握望远镜、探测器的设计方案，进而提升解决工程实际问题的能力。

(3) 综合创新能力。在天文观测实验环节，根据探测目标，选择合适的望远镜、探测器等，提出最优的设计方案并进行实验。进一步培养学生的创新能力，并形成初步的科研能力。

(4) 分析问题能力。通过空间探测,对获取的实验数据进行分析与处理,使学生具备分析问题和解决实际问题的能力。

3.1.3. 课程思政目标

将我校在空间探测方面的重要科学发现引入到课堂,对比同类国外项目的科研产出等,激发学生投身于空间探测研究,激发学生的爱国情怀;实现师生对空间探测特色文化与精神的传承,践行立德树人的精神风貌。

以上所述的知识目标、能力目标、课程思政目标等三种教学目标的关系如图 1 所示。

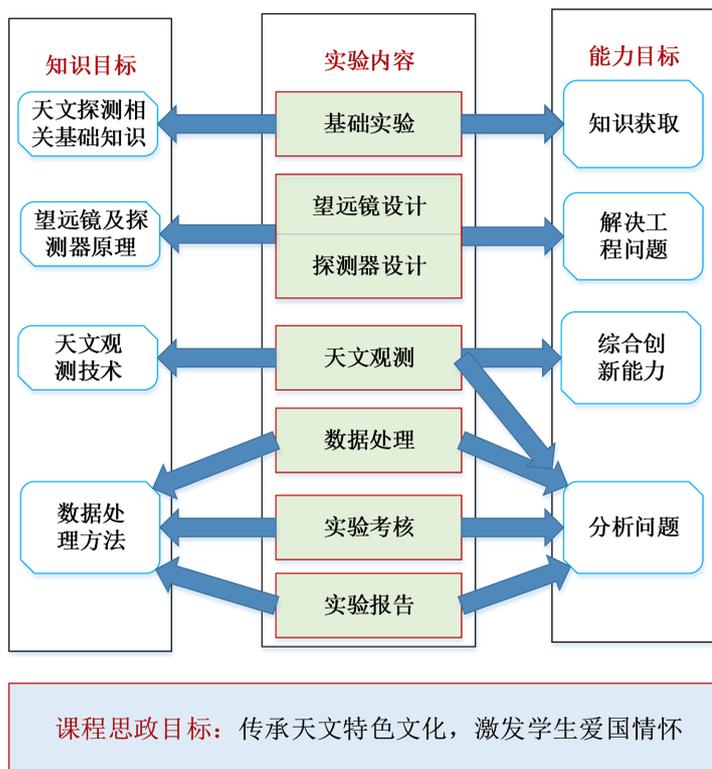


Figure 1. Experimental teaching objectives
图 1. 实验教学目标

3.2. 实验内容

实验内容主要包括基础实验、望远镜设计实验、探测器设计实验、天文观测实验、数据处理实验等五部分,具体内容如表 1 所示。

Table 1. Main experimental content and methods

表 1. 主要实验内容与实验方法

模块	名称	主要实验内容	实验类型	实验方法
1	基础知识	通过观看动画来学习高能天体爆发暂现源知识(包括伽马暴爆发、AGN、超新星、X 射线双星、脉冲星等天体爆发源等)、辐射机制知识(包括黑体辐射、韧致辐射、逆康普顿散射等)、探测器与粒子相互作用(包括光电效应、康普顿效应、电子对效应等)等。	演示实验	演示法、观察法

续表

2	望远镜设计	望远镜设计实验分为聚焦型望远镜、准直型望远镜设计及聚焦型与准直型望远镜对比分析三部分内容,可以直观看到望远镜探测面积和探测时间对望远镜灵敏度的影响。	综合性、设计性实验	观察法、改变控制变量法、比较法
3	探测器设计	通过该实验,理解气体探测器、半导体探测器设计、闪烁体探测器等的探测原理,探究探测器不同参数对于探测性能(探测效率)的影响等;选择不同的探测器类型及探测器厚度,分析、研究其探测效率。	综合性、设计性实验	改变控制变量法、比较法、曲线拟合法
4	天文观测	针对不同的天体观测对象,选用不同的望远镜与探测器,对不同的天体源进行观测,研究不同探测时间,不同望远镜与探测器组合对观测到的天体源的影响。	综合性、探究性实验	改变控制变量法、比较法、曲线拟合法、师生研讨法
5	数据处理实验	主要包含两部分:(1)伽马暴数据处理:包含伽马暴数据处理的基本方法,并分析GRB在不同能段上的光变曲线、能谱特点,对能谱和光变曲线进行拟合,给出拟合曲线及结果参数。(2)X射线源图像处理:包含X射线源图像处理的基本方法,通过选择不同的观测时间来探测X射线源,分析观测时间对X射线源图像的影响。运用Geant 4、Heasoft、SIXTE等软件对伽马暴和X射线源图像进行数据处理。	综合性实验	改变控制变量法、比较法、曲线拟合法等

4. 实验教学过程设计

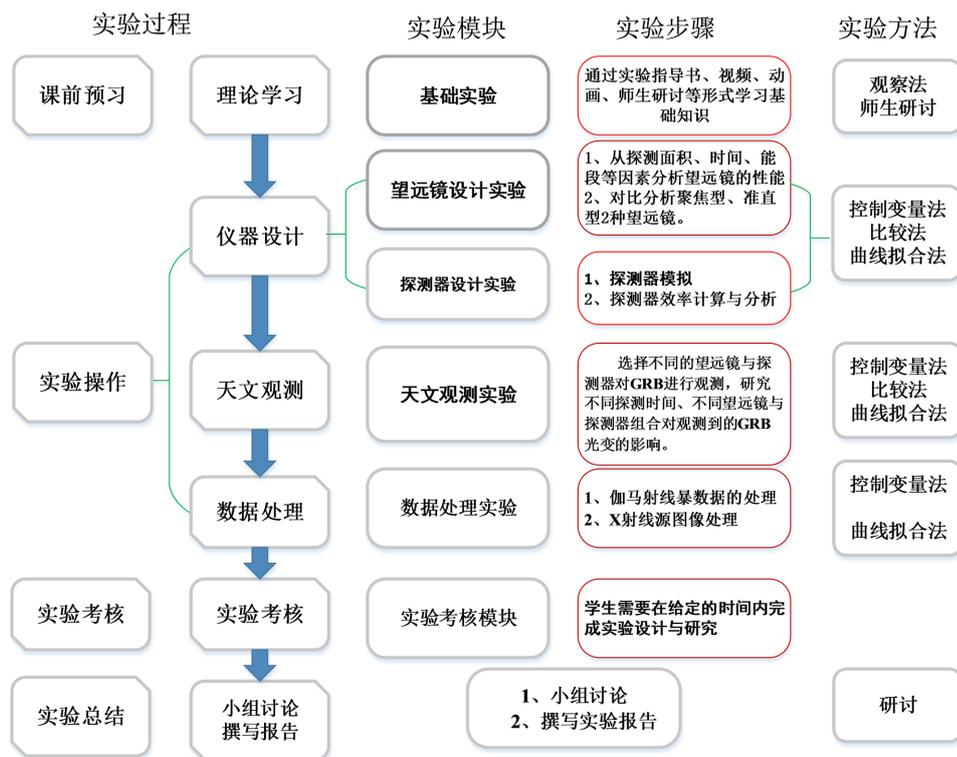


Figure 2. Corresponding diagram of experimental teaching process, experimental modules, and experimental methods

图 2. 实验教学过程与实验模块、实验方法的对应图

在教学过程中,坚持以学生为中心,注重培养学生的自主学习与实验能力,进一步培养学生独立思考、敢于交流、勇于批判的科学精神。实验教学以问题与兴趣作为导向驱动,实验教学过程与实验内容、实验方法的对应关系如图 2 所示。

4.1. 实验教学过程

本实验项目的教学过程,包括课前预习、实验操作、实验考核、实验总结四个环节,具体内容如图 3 所示。

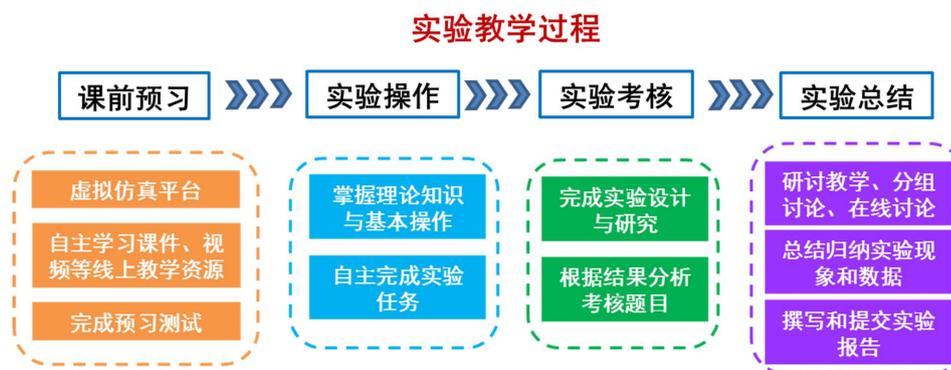


Figure 3. Experimental teaching process
图 3. 实验教学过程

4.2. 实验方法

该虚拟仿真实验,涉及到的实验方法有演示法、观察法、改变控制变量法、比较法、曲线拟合法、师生研讨法等。各实验模块采用的实验方法如表 1 所示。

其中,在探测器设计实验中,采用设置不同材料、不同参数等不同观测仪器,对气体探测器、半导体探测器、闪烁体探测器进行对比分析,掌握它们的观测优点和特长。在教学过程中,我们注重让学生对探测器参数设置进行对比分析,优化实验参数。在选择半导体探测器时,我们让学生根据理论与实际需要来选择探测器种类(Si-PIN 探测器或是 CdTe 探测器)、探测器半导体厚度、探测能段等,并对所设计的探测器性能、对不同天体源的探测效果等情况进行对比分析。并根据实验情况,对探测器参数的设置进行优化和选择。该部分的内容,采用改变控制变量法、比较法、曲线拟合法等,属于综合性、设计性实验。

4.3. 实验教学特色

(1) 将科研成果转化为实验教学内容,实现科教融合。以高能天体物理空间探测为主线,构建了从高能天体源的模拟、望远镜及空间探测器的设计,到搭建起虚拟的空间高能探测器卫星平台,模拟观测高能天体爆发过程,并对数据进行处理等的完整实验过程,内容涉及天文学、空间探测等前沿交叉科学技术。随着科研不断深入、科研成果产出,实验内容会不断更新、完善,提高理论深度。学生通过实验掌握高能天体物理空间探测的方法及其科学研究思路,并运用所学知识及先进的探测技术来开展高能天体物理的研究,培养综合创新型人才。

(2) 多元化教学方法

将探究式教学法引入到实验教学中。学生在实验过程中,是带着问题来开展实验,对高能天体物理空间探测方法进行探索、研究。通过这一训练,让学生对开展科研的具体过程及方法有初步的了解,促

进了学生探究式学习能力、多学科交叉综合运用能力的培养，进而培养学生勇于探索的科学精神。

将互动式教学法引入到实验教学中。在开展仿真实验教学的过程中，加强教师与学生、学生与学生之间的互动交流。把一些关键的问题提出来，让学生展开讨论。通过这一训练，进一步培养学生独立思考、敢于交流、敢于批判的科学精神。

(3) 多方位评价体系。在评价体系上，实行实验操作过程和结果考核并重的原则。我们不只看学生的实验数据与所撰写的实验报告，还要将实验数据、实验报告、探究报告、互动交流等环节来综合评定学生成绩。通过实验平台，可以查看到学生学习时长、实验操作过程、重要实验参数的设置、实验结果等；通过课堂讨论与在线交流，了解到学生对问题的理解能力，并将之作为成绩评定之一。通过对学生进行多元化评价，更注重学生创新能力的培养。

5. 实施效果

该虚拟仿真实验项目于 2019 年 12 月开始上线，2021 年 7 月对接到实验空间 - 国家虚拟仿真实验教学项目共享服务平台，2023 年 5 月被认定为国家一流本科课程，2024 年 12 月入选中国教育技术协会首届数字教育示范案例(特色案例)。已面向《高能天体物理》《大学物理实验》《学科前沿讲座》等本科课程开展实验，自 2021 年 7 月上线实验空间起，已有 59878 人次利用平台进行学习，其中有 14279 人次完成实验，如图 4 所示。实验人员覆盖 10 个省份、19 所高校。基于本文所提实验教学理念、教学方法，在 2025 年 1 月以《高能天体物理空间探测虚拟仿真实验》为课题参加第二十三届广西高校教育教学数字化大赛，得到专家高度认可，获得一等奖。



Figure 4. Statistical chart of participants in the course

图 4. 参与课程人员统计图

6. 结语

经过四年多的上机操作和教学实践，目前本实验取得了良好的教学效果：

(1) 学生对高能天体物理空间探测原理、过程、数据处理有更直观的感受与理解。破解空间探测实验“看不见、做不好”、探测器研发时间长、数据处理耗时等引起的实验教学难题。

(2) 拓宽了实验的空间，使高能天体物理探测实验延伸到普通实验室或宿舍，不受时间与空间的限

制。

(3) 课程采用多元化探究式实验教学方法, 以学生为中心, 推进学生“自主学习、合作学习、研究性学习”。

基金项目

广西高等教育本科教学改革工程重点项目(项目编号: 2021JGZ105); 广西高等教育本科教学改革工程项目(项目编号: 2025JGB100); 2021 年第一批教育部产学研合作协同育人项目(项目编号: 202101003061); 广西大学校级本科教学改革工程重点项目(项目编号: JG2025ZDIAN017)。

参考文献

- [1] 教育部. 关于 2017-2020 年开展示范性虚拟仿真实验教学项目建设的通知: (教高厅[2017] 4 号) [Z]. 2017.
- [2] 教育部. 关于开展国家虚拟仿真实验教学项目建设工作的通知: (教高函[2018] 5 号) [Z]. 2018.
- [3] 尹亚玲, 占若卉, 孔祥戈. 虚拟仿真技术应用于物理教学的可视化分析[J]. 实验室研究与探索, 2025, 44(4): 76-80+85.
- [4] 蒋铁珍, 宋钦. 基于虚实结合的混合式高校理工科实验教学方法[J]. 实验室科学, 2025, 28(1): 83-87.
- [5] 董桂伟, 赵国群, 郑超, 等. 基于雨课堂的虚拟仿真实验教学模式设计与实践[J]. 实验室研究与探索, 2021, 40(10): 215-218.
- [6] 张涛, 王鸿鹏. “虚实结合、多元评价”的数电实验教学模式构建[J]. 中国现代教育装备, 2025(7): 74-76.
- [7] 张玮, 杨景发, 关丽. 虚拟仿真在应用物理实验教学中的应用思考[J]. 实验室科学, 2022, 25(5): 119-122.
- [8] 吴芳, 乔庆鹏. 虚拟仿真技术在大学物理实验教学中的应用[J]. 河南财政金融学院学报(自然科学版), 2024, 33(4): 61-64.
- [9] 杨智慧, 刘海林, 王晓峰, 等. 康普顿散射虚拟仿真实验设计及教学实践[J]. 实验室研究与探索, 2021, 40(3): 102-106+128.
- [10] 陶丹, 史顺平, 陈建华, 等. 融合虚拟仿真技术的空间探测类课程实践教学改革探析[J]. 高教学刊, 2025, 11(6): 148-151.
- [11] 于登云, 马继楠. 中国深空探测进展与展望[J]. 前瞻科技, 2022, 1(1): 17-27.