

粒子天体物理

Particle Astrophysics

云南落雪山宇宙线站

——中国第一个高山宇宙线实验室

羊八井国际宇宙线观测站

——国际四大超高能 γ 天文和超高能宇宙线研究阵列之一

球载高能X射线望远镜HAPI-I成功观测到蟹状星云脉冲星的X射线脉冲辐射

——我国第一次实现对宇宙天体的高能辐射探测

γ 射线暴探测器随“神舟二号”飞船升空

——实现我国星载空间天文观测零的突破

硬X射线调制望远镜卫星

——将成为我国第一颗X射线天文卫星



中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences

» 学科发展历程

■ 粒子天体物理是粒子物理和天体物理的交叉前沿，通过观测来自宇宙空间的各种高能粒子（带电粒子、光子和中微子等），研究天体的物理性质以及高能粒子加速、辐射和传播的过程与规律。

■ 高能所的粒子天体物理研究源于20世纪50年代开始的宇宙线物理研究。1951年，在王淦昌、肖健先生的领导下，中科院近代物理所（高能所前身）成立了宇宙线组，利用小云室开展宇宙线研究。1954年，在云南落雪山海拔3180m处建设了中国第一个高山宇宙线实验室。1958 – 1965年间在张文裕、肖健先生等的领导下，在落雪山建设了新的宇宙线高山站。该站的主要设备是总重近300吨的大型云室组，是当时世界上同类装置规模最大、水平最先进的仪器之一。大型云室的建造和一个重质量荷电粒子事例的发现获得1978年全国科学大会重大成果奖。



■ 云南落雪山宇宙线观测站

■ 1977年底，全国自然科学会议制定了我国宇宙线物理的规划纲要，宇宙线物理的研究进入了一个新的发展时期。高能所陆续开展了西藏甘巴拉山（海拔5500m）的乳胶室实验、北京怀柔广延大气簇射阵列实验、河北兴隆大气契伦科夫望远镜实验。1984年，西藏羊八井宇宙线观测站开始选址建设，现已成为国际著名的宇宙线观测基地和多学科研究平台。

■ 20世纪70年代中后期，高能所开始拓展空间高能天文观测，发展高空气球系统并建造Star系列和HAPI系列球载高能X射线望远镜，先后实现了对蟹状星云脉冲星的脉冲X射线辐射、天鹅座X-1的X射线能量谱以及天鹅座X-1的成像观测。2001年1月，高能所研制的 γ 射线暴探测器随“神舟二号”飞船升空，在轨运行半年，探测到30多例宇宙 γ 射线暴和近百例太阳耀斑现象，实现了我国星载空间天文观测零的突破。经过40年的努力，高能所已经成为我国重要的空间高能天文观测研究基地。

» 学科方向

■ 21世纪的粒子物理学和天体物理学面临严峻的挑战。最新的天文观测表明：粒子物理只能解释宇宙物质的5%左右，占宇宙物质27%的暗物质和68%的暗能量还无法解释，有待粒子物理学和天体物理学共同去探索和研究。宇宙中究竟还有没有反物质？如果没有，它们如何变成了物质？研究和回答这些问题，使21世纪的物理学正处于历史性重大发现和突破的前夜。

■ 高能所粒子天体物理研究紧紧围绕这些最基本的物理前沿问题，将“深层次的物质结构和大尺度的物理规律”的研究密切结合，利用从地下、地面到高山的宇宙线观测、中微子物理实验，以及球载、星载空间高能天文观测实验，研究各种宇宙线成分，宇宙中的各种爆发现象，黑洞、中子星等致密天体，星系、星系团的结构，深入研究物质微观最深层次结构的粒子物理规律和物质宇观大尺度的天体物理规律和宇宙的结构和演化，探索暗物质和暗能量。这是目前物理学研究最活跃的交叉前沿。

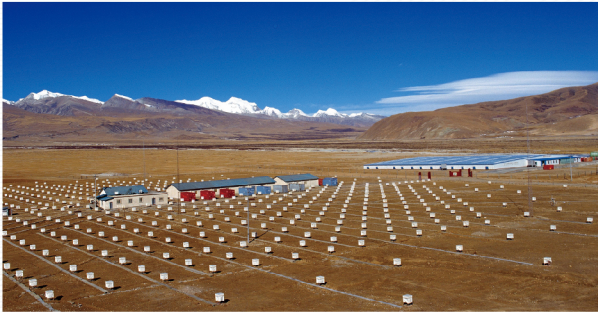


■ 高能所粒子天体物理研究相关的学科方向、实验手段和研究对象

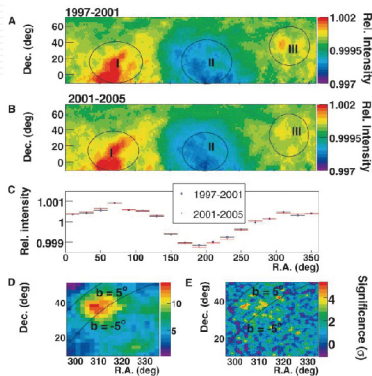
» 西藏羊八井国际宇宙线观测站

■ 宇宙线是来自宇宙深处的高能粒子流，携带着宇宙起源、天体演化、太阳活动及地球的空间环境等科学信息，是一种宝贵的科学资源。宇宙线进入地球大气层通过一系列物理过程可引发出地球上最壮观的多粒子现象——广延大气簇射(EAS)。在高山上可实现对EAS最精确的观测。

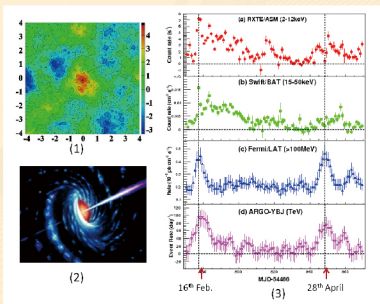
■ 羊八井宇宙线观测站位于西藏念青唐古拉山脚下，是目前世界上最佳高山站址。现在包括中日合作空气簇射(AS γ)宇宙线实验、中意合作天体物理地基观测研究(ARGO-YBJ)实验两个大型国际合作项目，可同时开展气候、空间天气等方面的研究。



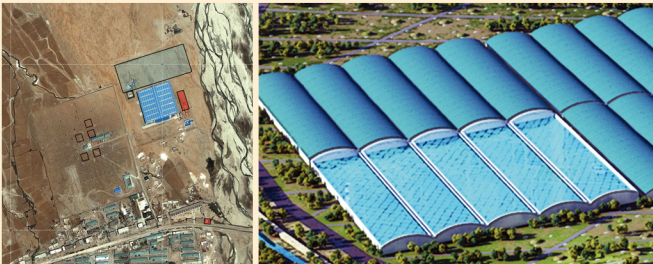
■ 西藏羊八井国际宇宙线观测站以及周围的地理环境，左侧为中日合作AS γ 实验阵列，右侧为中意合作ARGO-YBJ实验大厅



■ 中日合作AS γ 实验：1990年建成一期阵列，即成为当时国际上唯一达到10TeV阈能的地面阵列。1996年开始的二期加密阵列将阈能降到了3TeV，成为地面阵列中第一个观测到蟹状星云TeV光子辐射的实验，并在TeV能区观测到河外的活动星系核Mrk501和Mrk421的耀发，占当时北天区TeV源数目的一半。1996年增加了研究超高能宇宙线成分和能谱测量的探测器，得到了“膝区”能谱和成分的重要结果。2006年，发现了宇宙线的各向异性分布并得到了宇宙线和银河系共转的证据，论文发表于美国《科学》杂志，被誉为“里程碑”式的成果。



■ 中意合作ARGO-YBJ实验：2006年6月完成探测器安装并投入运行。实验大厅总面积10000m²，RPC（高阻性板）探测器面积6700m²，采用全覆盖地毯式安装结构，使观测阈能下降至0.1TeV，并大大提高探测灵敏度，可与大气契伦科夫光成像望远镜实验互补开展 γ 天文研究。ARGO-YBJ实验持续监测宇宙线随太阳活动的变化，研究其长周期变化与地球环境变化的关联。实验对活动星系核Mrk421耀发现象进行了多波段观测分析，对耀变体的发光机制做出了较为强烈的限制，被国际同行誉为“真正的物理研究”工作，并于2010年2月首次在天量级的尺度上利用地面阵列实验观测到了超出4倍显著性的信号。



■ LAWCA实验：将通过大幅提高大视场巡天技术的灵敏度，实现大视场、全天候、多波段的巡天扫描，开展天体剧烈活动以及时变现象研究，加强基高能弥散 γ 辐射的研究，提高我国大视场高灵敏度探测装置的研发水平。

» 高能天体物理研究

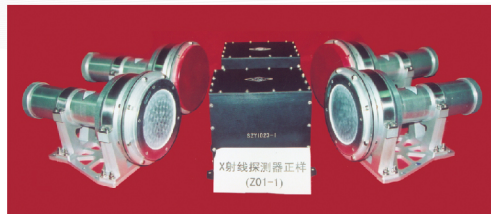
■ 宇宙 γ 射线暴（简称 γ 暴）是来自宇宙空间的、随机出现的短时标 γ 射线辐射增强现象，由美国核爆监测卫星Vela系列在1967年偶然发现。 γ 暴是极端物理条件下的天体物理现象，释放的能量巨大，涉及到极端相对论性的宏观运动，可能和黑洞等神秘天体有关。 γ 暴的观测与研究是天体物理研究的前沿热点，也是高能所的一个重要学科方向。

由高能所研制的X射线探测器，2001年1月10日搭载“神舟二号”飞船成功发射，在轨运行165天，探测到30多例 γ 暴和近百例太阳耀斑爆发现象，实现了我国星载空间天文观测零的突破。

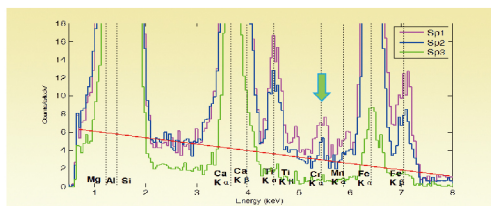
■ 高能所研制的X射线谱仪，是我国探月工程嫦娥一号、二号卫星的重要有效载荷之一。2007年10月24日，嫦娥一号X射线谱仪发射成功，在绕月200km轨道观测一年期间，利用半导体探测器首次成功实现了对月球10–60keV能区元素的X射线荧光探测，填补了国际上环月轨道在该能段的空白，迈出了我国深空X射线探测的第一步。

嫦娥二号X射线谱仪于2010年10月1日发射成功，在绕月100km轨道观测一年期间共获取190个地球日的月球观测数据，在国际上首次实现对月面X射线观测的全覆盖，获得国际首例月表铬元素X射线特征谱，首幅基于X射线谱段全月铝元素分布图。

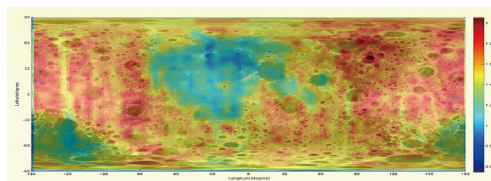
嫦娥三号粒子激发X射线谱仪是高能所研制的嫦娥三号巡视器有效载荷之一。作为巡视器机械臂上唯一的科学仪器，落月后将通过携带的激发源轰击月岩或月壤表面，对其元素特征X射线进行“就位”探测，通过分析获取月表主量元素种类和含量。



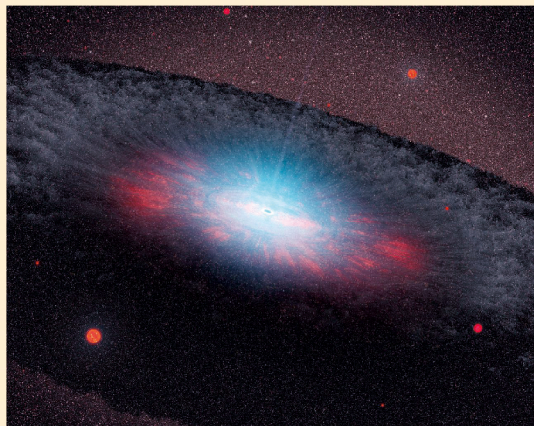
■ 搭载“神舟二号”飞船成功发射的X射线探测器



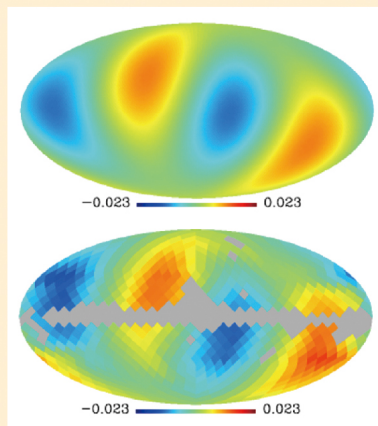
■ 国际首例月表铬元素X射线特征谱



■ 国际首幅基于X射线谱段全月铝元素分布图



■ 研究发现一类特殊黑洞是一种性质优异的新型标准烛光，它们比Ia型超新星亮10–100倍，可将距离阶梯延伸到更远的宇宙，有望探测宇宙加速膨胀历史中的关键时期，探索暗能量演化。



■ 研究发现美国WMAP卫星的数据处理过程存在错误，指出其发布的宇宙微波背景辐射的“四级矩”（上）是系统误差（下），修正了WMAP组发布的宇宙普通物质、暗物质和暗能量的相对比例。欧洲PLANCK卫星2013年发布的关于宇宙组成的数值与该结果一致。

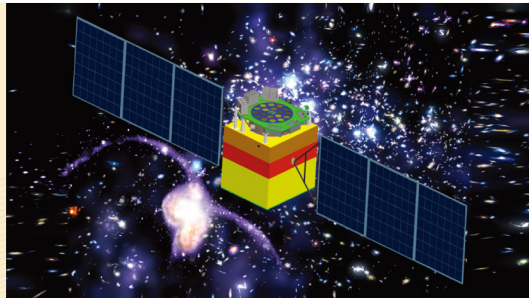
» 先进的空间高能天文观测设施

■ 硬 X 射线调制望远镜 (Hard X-ray Modulation Telescope, 简称 HXMT) 卫星是我国第一颗空间天文卫星, 于 2011 年 3 月正式开始工程研制, 计划在“十二五”期间完成卫星的研制和发射, 完成地面应用系统建设, 开始科学观测, 将实现 1–250 keV 能区的高灵敏度的巡天和定点观测。HXMT 的上天, 将使我国的高能天体物理观测研究进入国际前沿。

■ HXMT 包括四种有效载荷: 高能 X 射线望远镜 HE、中能 X 射线望远镜 ME、低能 X 射线望远镜 LE、空间环境监测器 SEM。

■ 主要科学目标:

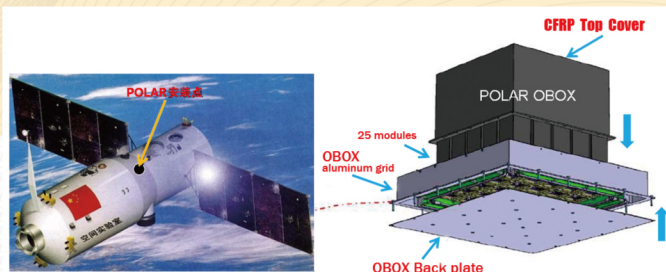
1. 开展宽波段大天区巡天, 发现新的硬 X 射线天体并监视重要高能天体的变化过程。
2. 观测 X 射线双星系统的 X 射线快速光变, 研究黑洞视界和中子星附近的物质和辐射的动力学过程。
3. 测量 X 射线双星和脉冲星等的宽波段能谱, 测量黑洞的自转, 以及研究中子星表面的磁场和内部物质状态。



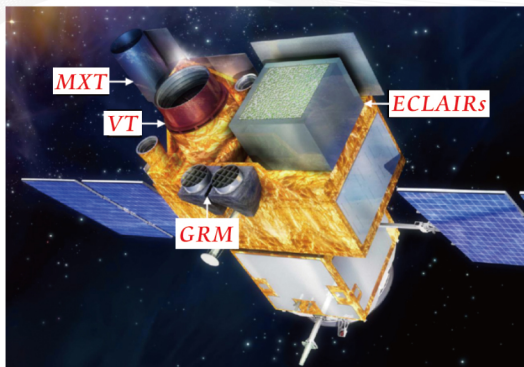
■ 硬X射线调制望远镜HXMT卫星示意图



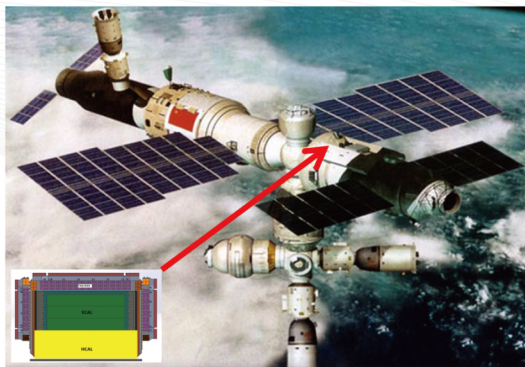
■ HXMT有效载荷望远镜电性件集成调试现场



■ POLAR是世界首台高灵敏度测量 γ 暴偏振的专用设备, 计划于2014年随天宫实验室2号 (TG-2) 发射升空



■ 中法合作多波段 γ 暴卫星SVOM计划于2016–2017年发射运行, 高能所负责研制其中的 γ 射线监视器GRM



■ 高能宇宙辐射探测设施将于2020年前后在中国空间站运行

» 大型高海拔空气簇射观测站LHAASO



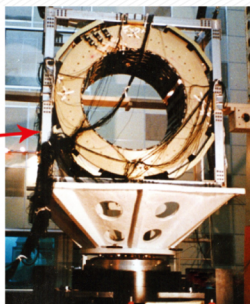
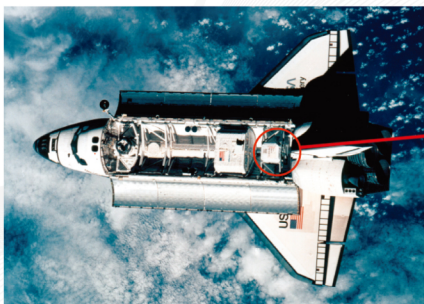
■ 大型高海拔空气簇射观测站（LHAASO）已列入国家“十二五”重大科技基础设施规划，选址在云南省迪庆州香格里拉县石卡雪山海拔4300m的高山平地，将在宇宙线的起源、宇宙高能 γ 射线源的搜寻、监测及空间环境预报研究方面做出重大贡献。

■ 实验优势：

1. 世界上最灵敏的 TeV 扫描 γ 探测器。将大大提高甚高能 γ 源的发现能力，大量发现新 γ 源，特别是河外源，积累各种源的统计样本，探索高能辐射机制。
2. 10TeV 以上世界上最灵敏的 γ 探测器。将实现高端能谱的精细测量，搜索银河宇宙线源。
3. 世界上能量跨度最大的宇宙线探测器。将实现 0.1PeV 以上宇宙线单成分能谱测量，桥接空间直接测量和地面测量结果，获得连续、一致的宇宙线能谱。

» 阿尔法磁谱仪（AMS）实验

■ AMS实验是丁肇中教授领导的大型国际合作项目，其科学目标是寻找宇宙中的反物质、暗物质及精确测量宇宙线的成分和能谱。参加AMS实验的科学工作者来自三大洲（美洲、欧洲、亚洲）的16个国家（地区）的60所大学或研究机构，共有600多人。



■ AMS永磁体系统于1998年、2011年两次搭载航天飞机进入国际空间站

■ AMS一期中，中科院电工所、高能所和中国运载火箭技术研究院合作研制了其核心部分——永磁体系统和主结构，于1998年搭载美国发现号航天飞机进行了太空飞行，是人类送入太空的第一个大型磁体。

■ AMS二期中，高能所和意大利比萨大学、法国LAPP实验室共同研制了重达700kg的电磁量能器。AMS02于2011年安装到空间站上，各子探测器功能精确，符合设计要求。2013年4月，实验发表了第一批物理成果：0.5 – 350 GeV正电子比例的测量结果。

中国科学院高能物理研究所

地址：北京市石景山区玉泉路19号（乙）
邮编：100049
电话：010-88235008
传真：010-88233105
网址：www.ihep.cas.cn

中国科学院粒子天体物理重点实验室

地址：北京市石景山区玉泉路19号（乙）粒子天体楼
邮编：100049
电话：010-88236208
Email：lzt@ihep.ac.cn
网址：www.ihep.cas.cn/zdsys/lztlab/