

我国物质结构研究的大型实验平台（续）

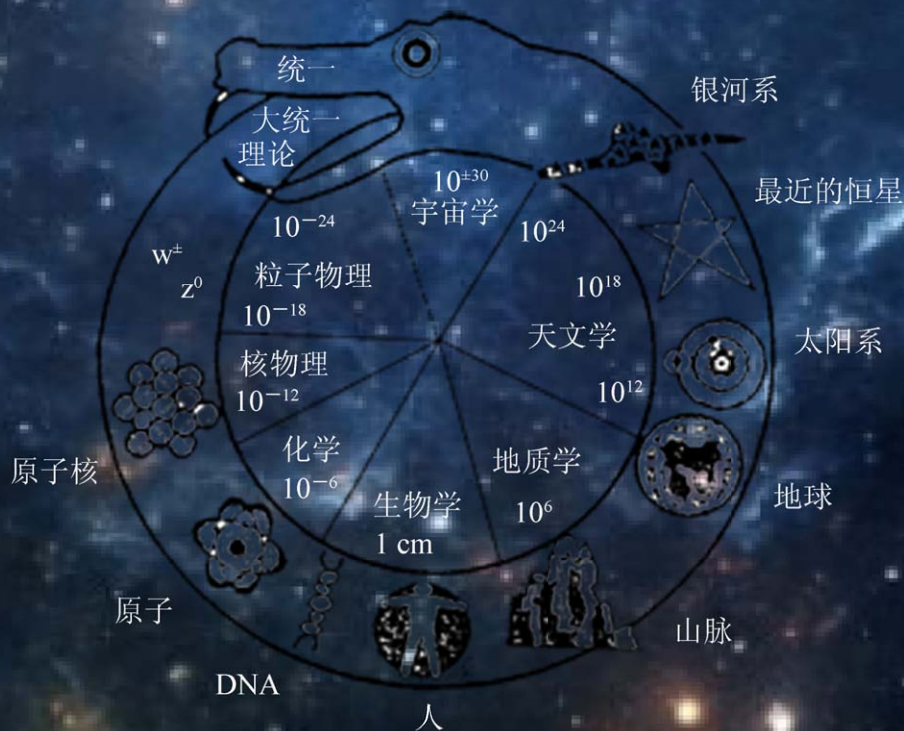
——天文观测设施

张 闯 组稿

《我国物质结构研究的大型实验平台》的彩插从粒子物理的实验设施开始，已经做了4期。这一期，也是最后一期，是关于天文的观测设施。细心的读者会注意到，这一页的图与2012年第4期彩插首页相似，都有“格拉肖蛇”。这不是疏忽，而是刻意强调物质结构各个层次及其与相应学科的密切关联，以及粒子物理与天文学、天体物理的交叉融合。

400年前望远镜和显微镜两项伟大的发明，极大地深化了人类对于物质世界的认识，带动了科学的复兴和社会的发展。如果我们把前面4期彩插中所展示的基于加速器、探测器和反应堆等实验设施看成从“基本粒子”到原子分子层次的显微镜和研究不同年龄时宇宙的望远镜，那么，这一期将要讲述的地面与空间望远镜和探测器等，则是早期望远镜的直接发展，也是探索宇宙起源和天体演化的显微镜。

望远镜和显微镜见证了人类认识宇宙的进程，其本身也已成为科学发展水平的一个重要标志。中国的望远镜和显微镜将使我们中华民族探索物质结构的梦想变为现实。

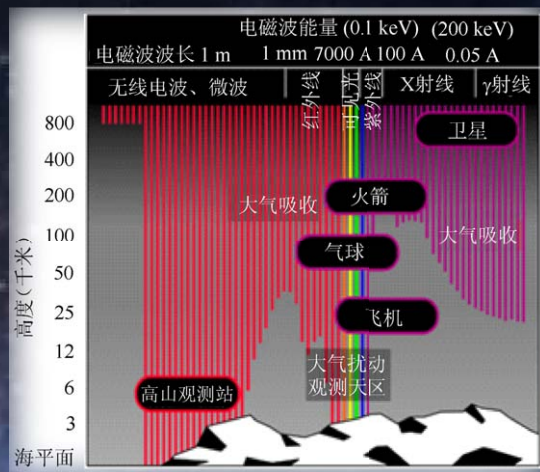


本期彩插的图片和资料由中科院高能物理所张双南、王焕玉和国家天文台赵永恒、李荫等提供。

地面望远镜

天文望远镜从地面起步，至今大量应用的仍然是地面望远镜。按观测的电磁波段，天文望远镜可分为射电与微波、红外、可见光、紫外、X射线和伽马射线望远镜。由于地球大气的阻拦，远红外、远紫外、X射线和伽马射线很难到达地球表面，因此地面望远镜主要是光学望远镜（可见光和近红外、近紫外光）和射电望远镜（波长从约1 mm到30 m）。

我国有着天文观测的悠久历史，而现代天文望远镜的建造却是从20世纪50年代才起步的。经过几代人的努力，我国的天文望远镜取得了长足的进步，并已站到了世界的前沿。下面，让我们从我国主要望远镜的分布开始，着重介绍新建成的郭守敬望远镜，即大天区面积多目标光纤光谱天文望远镜（LAMOST）和建设中的500 m口径球面射电望远镜（FAST）。



电磁波波谱的可探测高度



乌鲁木齐 25 m 射电望远镜



北京密云 50 m 射电望远镜



兴隆 2.16 m 光学望远镜



郭守敬望远镜 (LAMOST)



青海 13.7 m 毫米波望远镜



江苏盱眙 1.2 m 近地天体望远镜



昆明 40 m 射电望远镜



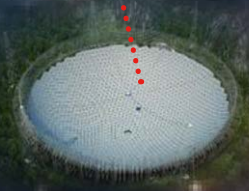
上海佘山 65 m 射电望远镜



抚仙湖 1 m 红外太阳望远镜



云南丽江 2.4 m 光学望远镜



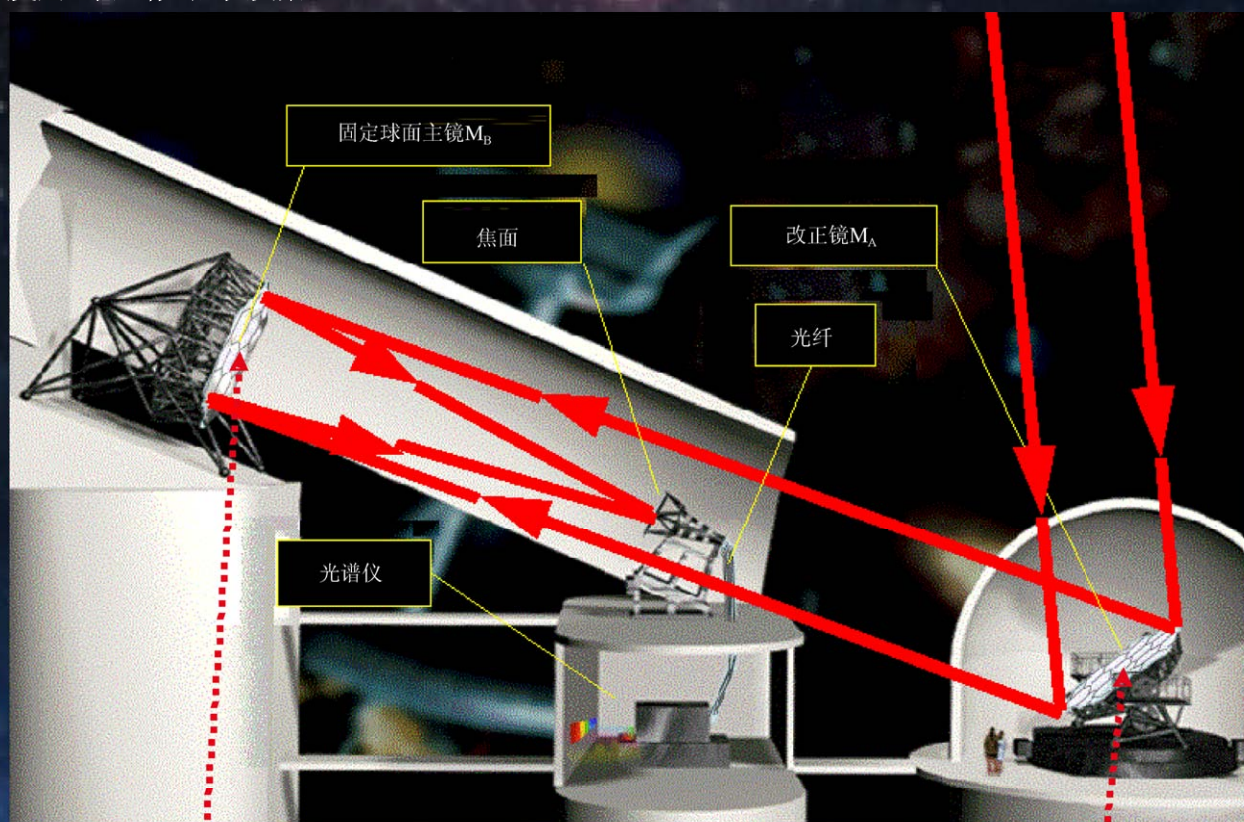
贵州 500 m 口径球面射电望远镜



上海天文台 1.56 m 光学望远镜

大天区面积多目标光纤 光谱天文望远镜

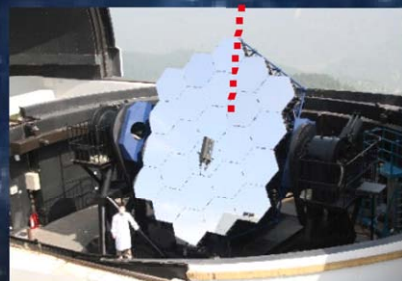
郭守敬望远镜，即大天区面积多目标光纤光谱天文望远镜（LAMOST），是我国自主设计并研制成功的大型光谱巡天望远镜。它是世界上口径最大的大视场望远镜，也是世界上光谱获取率最高的望远镜。LAMOST对上千万个天体进行光谱巡天，将在河外天体物理与宇宙学研究、河内天体物理与银河系研究和各类天体多波段交叉证认上作出重大贡献。



固定球面拼接主镜 M_B



LAMOST 英姿



反射施密特改正镜 M_A

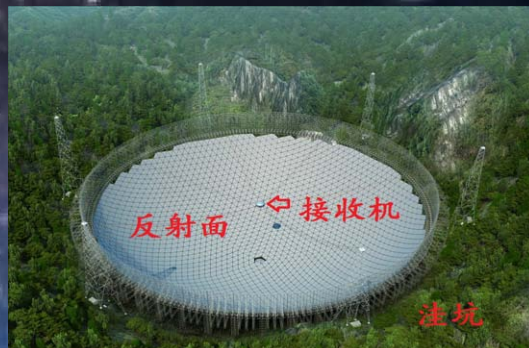
LAMOST 是一台横卧于南北方向的中星仪式反射施密特望远镜。它由在北端的反射施密特改正镜 M_A ，在南端的球面主镜 M_B 和在中间的焦面构成。球面主镜及焦面固定在地基上，反射施密特改正板作为定天镜跟踪天体的运动，望远镜在天体经过中天前后时进行观测。天体的光经改正镜 M_A 反射到主镜 M_B ，再经 M_B 反射后成像在焦面上。放置焦面上的光纤将天体的光分别传输到光谱仪的狭缝上，通过光谱仪分光后由 CCD 探测器同时获得大量天体的光谱。

500 米口径球面射电天文望远镜

瞄准宇宙大尺度物理和物质深层次结构与规律的科学目标，中国科学家提出建造世界最大的单口径射电望远镜——500 m 口径球面射电天文望远镜，即 FAST 的计划。FAST 涵盖的天文学内容丰富，从宇宙初始混浊、星系演化、恒星乃至太阳、行星与邻近空间事件等的观测研究，都有非常强的竞争力，其中脉冲星探测、中性氢和奇异暗弱天体成像等课题蕴藏着巨大的发现机遇。作为一个多学科研究平台，FAST 将要回答的问题不仅是天文的，也是面对人类与自然的；它将在日地环境研究、深空探测和国家安全等方面发挥重要作用。FAST 的建设将推动诸多高科技领域的发展。



贵州省黔南州平塘的大窝凼洼地



FAST 的仿真图

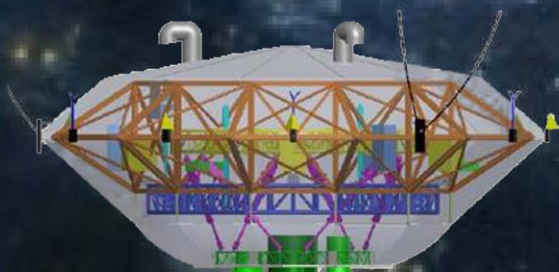
在贵州省黔南州平塘县有一个喀斯特地貌所特有的大片漏斗天坑群——大窝凼洼地，它就像一个天然的“巨碗”刚好盛起 FAST 直径 500 m、面积等同于 30 个足球场的巨型反射面。FAST 正在这里建造，建成后将填满整个山谷，成为世界最大的望远镜。选择喀斯特天然洼坑作为 FAST 的台址，不仅可以大大降低望远镜的造价。洼坑内敷设数千块单元组成 FAST 的巨型球状主动反射面，每一个单元都有计算机实时调节方位，形成可统一指向的巨型抛物面，从而大大提高望远镜的性能。



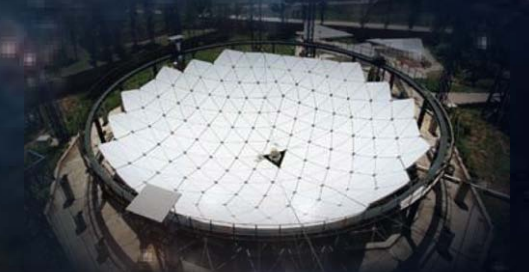
FAST 台址开挖



洼坑锚喷支护施工



FAST 馈源舱仿真图

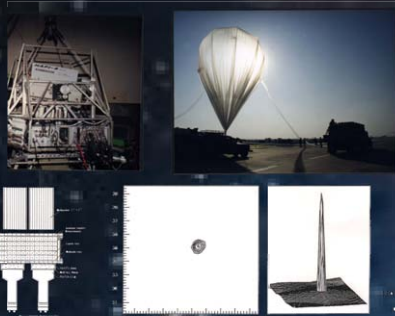


在密云建造的 FAST 的 50m 反射面模型

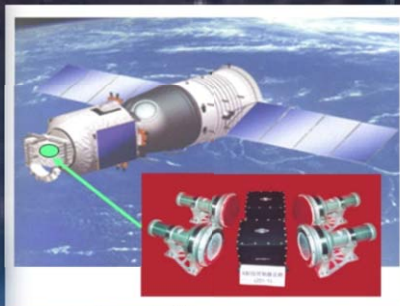
空间望远镜

由于地球大气的阻拦，在地面的望远镜上难以开展远红外、远紫外、X射线和伽马射线的观测和相应的研究，于是空间望远镜就应运而“升”。空间望远镜可以用各种飞行器发送到距地面不同的高度以至太空，捕捉地面上无法获得的信息，开辟在可见光和射电波段之外探索宇宙的第三个窗口。

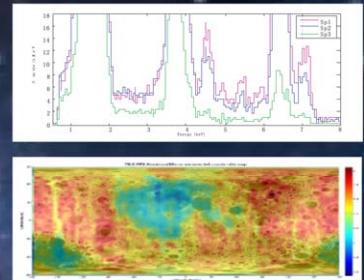
随着我国航天事业的发展和飞天梦想的实现，我国科学家在人造卫星和宇宙飞船以及航天飞机等飞行器上，搭载了各种望远镜和探测器，开展了天文学和粒子天体物理的研究，并围绕“一黑、两暗、三起源”（黑洞、暗物质和暗能量、宇宙和天体以及地外生命起源）等重大科学目标，提出了“黑洞探针”、“天体号脉”、“天体肖像”、“暗物质探测”和“宇宙灯塔”等诱人的计划。中国正在大踏步地进入太空观测。



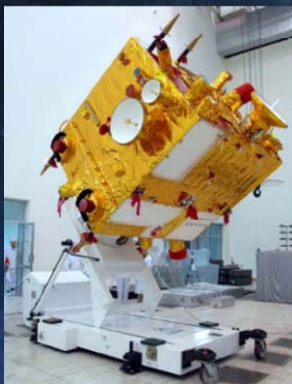
高空科学气球搭载硬 X 射线望远镜
及其对天鹅座 X-1 的观测成像



神舟二号飞船上搭载的探测器，
用来开展伽马射线暴的探测



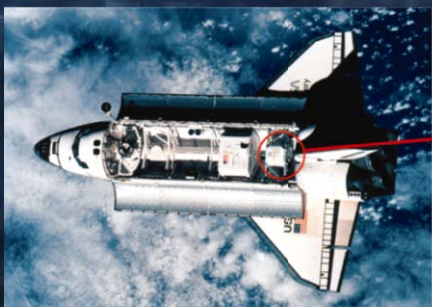
嫦娥卫星 X 射线谱仪获得国际首例月
表铬元素 X 射线特征谱 (上) 和全月
铝元素分布图 (下)



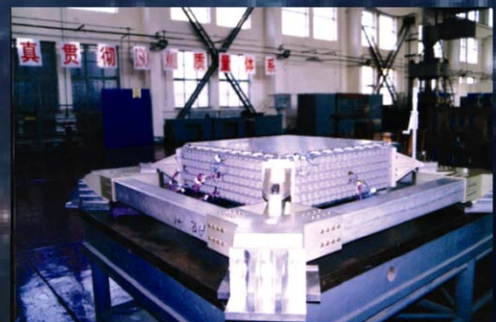
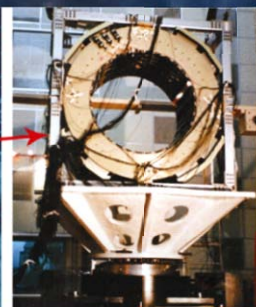
在嫦娥一号卫星上安装我国首台空
间半导体 X 射线探测器、首台月球 X
射线探测器和首台空间软 X 射线
能谱探测器



嫦娥三号卫星上搭载的粒子激发
X 射线谱仪



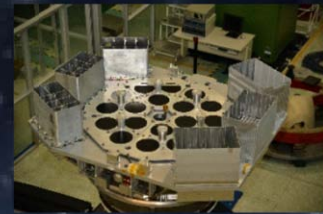
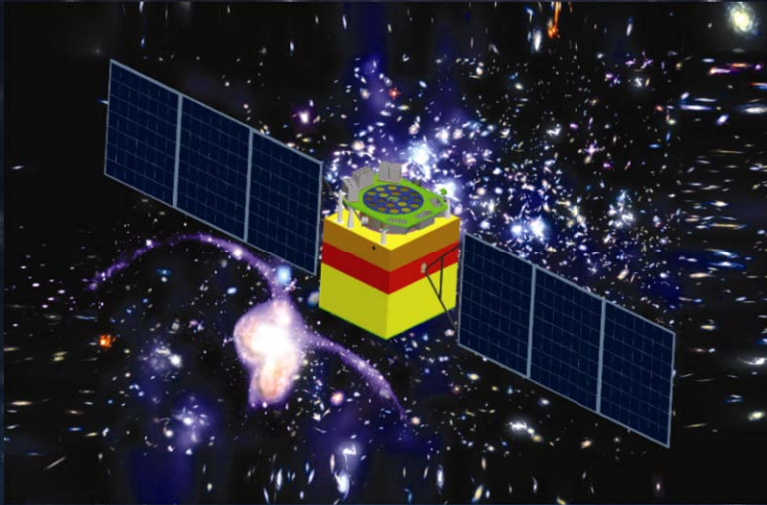
中国科学家在丁肇中领导的阿尔法磁谱仪实验中，承担了永磁体系统和
电磁量能器等项目，发挥了重要作用。永磁体系统于 1999 年和 2011 年
两次搭载航天飞机进入国际空间站



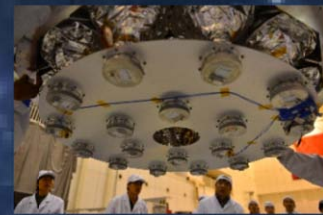
阿尔法磁谱仪 (AMS-02) 上的电磁量能器
(ECAL) 在组装中

“黑洞探针”计划

“黑洞探针”计划旨在通过观测宇宙中的各种黑洞等致密天体以及伽马射线暴，研究宇宙天体的高能过程和黑洞物理，以黑洞等极端天体作为恒星和星系演化的探针，理解宇宙极端物理过程和规律。在这个计划中，正在实施的项目有“硬 X 射线调制望远镜 (HXMT)”、“伽马暴偏振探测项目 (POLAR)”和“空间变源监视器 (SVOM)”等。

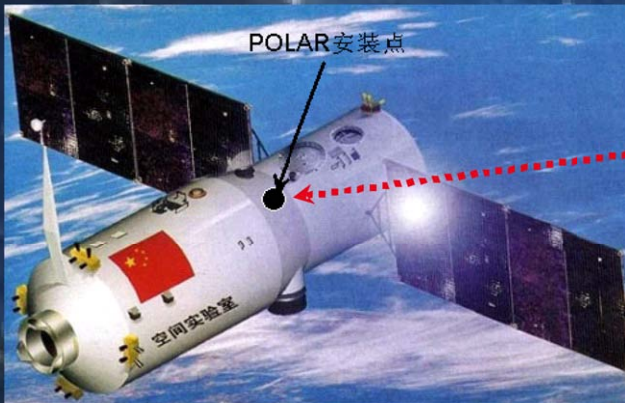


HXMT 有效载荷电性件

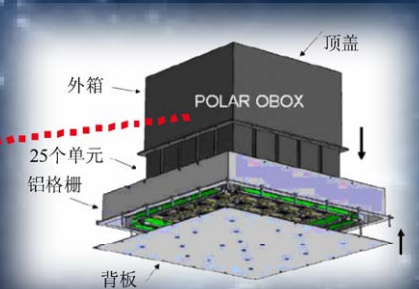


HXMT 望远镜吊装到卫星载荷舱

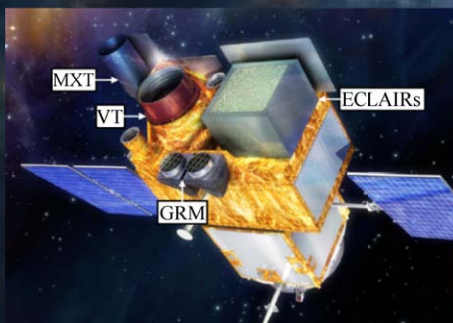
HXMT 是迄今世界上灵敏度最高、分辨本领最好的空间硬 X 射线望远镜，计划于 2015 年发射运行，开展硬 X 射线高分辨巡天，以发现大批高能天体和天体高能辐射新现象，并对黑洞、中子星等致密天体进行高灵敏度定向观测，深化人类对极端条件下高能天体物理动力学、粒子加速和辐射过程的认识。



POLAR 安装点



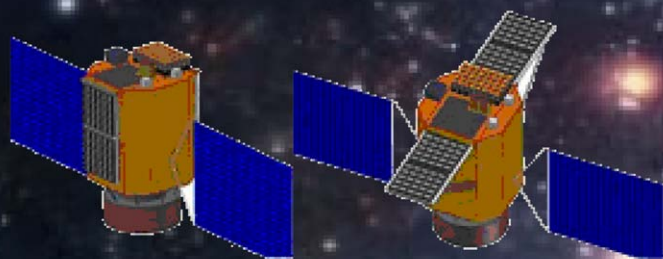
POLAR 是世界上首台高灵敏度伽马暴偏振测量的专用设备，计划于 2014 年随天宫实验室 2 号发射升空



中法合作的“空间变源监视器”SVOM 将在一颗小卫星平台上携带可见光望远镜 (VT, 中国)、软 X 射线望远镜 (MXT, 法国)、硬 X 射线成像 (ECLAIRS, 法国)、伽马射线监视器 (GRM, 中国) 等多波段科学仪器，计划于 2016 年发射，其目标是发现和快速定位各种伽马射线暴，全面测量伽马暴的电磁辐射性质，提供伽马暴的基本参数和利用伽马暴研究宇宙的早期演化、暗物质和暗能量的宏观性质等。

“天体号脉”计划

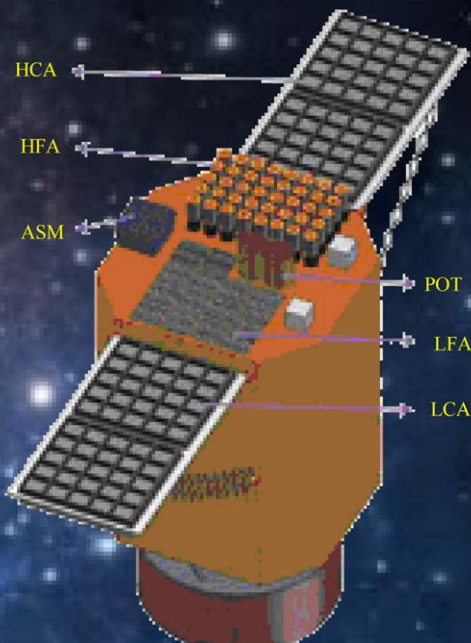
空间辐射是天体的“脉搏”。“天体号脉”计划，就是对天体的各种波段的电磁波和非电磁波辐射进行高测光精度和高定时精度的探测，旨在理解和研究各种天体的内部结构和各种剧烈活动过程。目前规划的主要项目是 X 射线时变和偏振卫星 (XTP)。



侧面两组准直型探测器阵列打开之前和打开之后的示意图

XTP 采用短焦距、小口径 X 射线望远镜阵列式和准直型探测器阵列，具有大探测面积、宽波段和高时间分辨率等先进探测能力。XTP 采用技术相对成熟且造价较低的短焦距小口径 X 射线望远镜阵列和准直型探测器阵列，具有大探测面积、宽波段和高时间分辨率等优点。

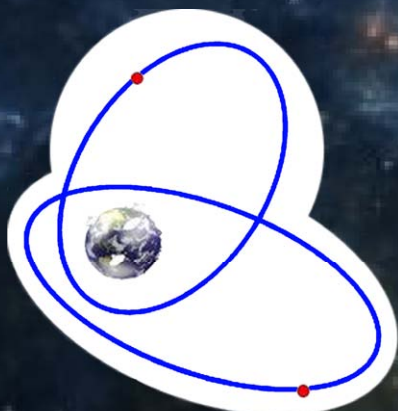
XTP 项目的概念研究和关键技术攻关业已完成，并于 2012 年进入背景型号研究，预期 2015 年左右立项并进入工程研制，2020 年前后发射运行。



安装在卫星中的各种探测器，其中 LCA 为 1-15 keV 低能准直型探测器阵列，HCA 为 5-30 keV 高能准直型探测器阵列，LFA 为 1-10 keV 低能聚集型望远镜阵列，HFA 为 2-30 keV 高能聚集型望远镜阵列

“天体肖像”计划

“天体肖像”计划的目的是获得太阳系外的恒星、行星、白矮星、中子星、黑洞等天体的直接照片和星系中心、恒星形成区、超新星遗迹、喷流等结构的高清晰度照片，开展各个波段的深度成像巡天，并绘制各个波段宇宙背景辐射的高精度天图。这些美妙的天体照片将有助于理解“宇宙是由什么组成的？”这一重大科学问题。



可是，如何获得遥远天体精确而清晰的“肖像”呢？科学家提出了空间-地面长基线射电天文观测阵列的办法（如左图所示）。“天体肖像”计划分三步实施：第一步为长毫米波甚长基线干涉 (VLBI) 阵列，建造 2 台 10 米级的长毫米波天线，将其发射到太空，开展高分辨率空地长毫米波 VLBI 阵观测。第二步为毫米波 VLBI 阵，建造 3 台 12~15 米级的毫米波天线，开展高分辨率空间毫米波 VLBI 阵观测研究。第三步为亚毫米波 VLBI，建造 3~4 台 12~15 米级的亚毫米波空间射电望远镜。有了这样的巨大的“望远照相机”，就能获得极高分辨率的“天体肖像”，突破重大天文学难题。

“暗物质”探测计划

观测和研究表明，宇宙中的物质主要以不发出电磁波辐射的暗物质组成，因此对于暗物质的探测研究具有重大的科学意义。



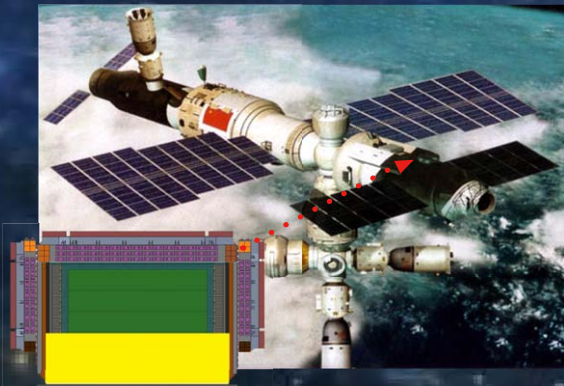
中国暗物质粒子探测卫星在空间运行的示意图

对于暗物质的探测主要分为地面探测和空间探测两种，两者各有优势。空间暗物质探测的主要原理是试图探测各种理论模型预言的暗物质湮灭或衰变的产物，需要大体积较重的和复杂的粒子探测器系统。我国“暗物质探测”计划的第一步是在2015年前后发射一颗暗物质粒子探测卫星，通过高分辨探测高能伽马射线和电子能谱，寻找暗物质粒子。

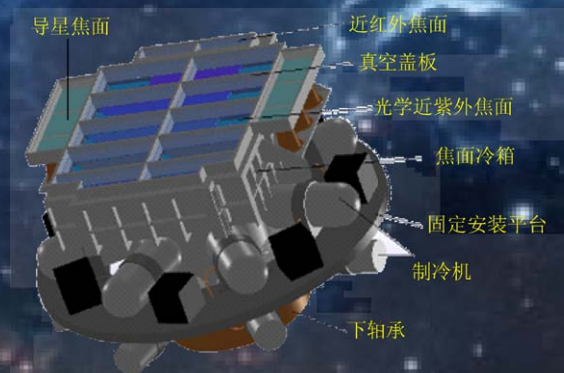
暗物质探测不需要卫星平台的高精度指向，更适合于在空间站平台上开展研究。“暗物质探测”计划的第二步，是2020年前后在中国空间站放置一个大型量能器型望远镜——高能宇宙辐射探测设施（HERD）。HERD实验也是下面介绍的“宇宙灯塔”计划中的一个主要项目。

“宇宙灯塔”计划

“宇宙灯塔”计划，将使用中国空间站作为天文观测和物理实验平台，探索和试验利用宇宙中遥远脉冲星的X射线信号作为天然和超稳定的永久时间脉冲信号，实现航天器自主定位和导航，捕捉宇宙中各种天体的快速变化信号，研究宇宙中剧烈和极端的物理过程，搜寻暗物质湮灭所产生的伽马射线或其他次级粒子，并通过普查巡天和长期监视等手段，探测多种天体的信号，研究宇宙的起源与演化，测量占宇宙组分73%的暗能量的属性。



作为“宇宙灯塔”计划第一步，HERD准备在2020年前后随中国空间站一起升空，点亮宇宙灯塔



计划安放在中国空间站上的大规模多色成像与无缝光谱巡天相机

中国空间站不但要使用宇宙中自然灯塔服务于人类，也要探测宇宙中各种携带宇宙奥秘灯塔的信号，同时也是中国科学家放置于太空的一个瞩目的灯塔，向中国和全世界的科学家不断发送它所探测到的携带宇宙信息和基础物理规律的大量信号。