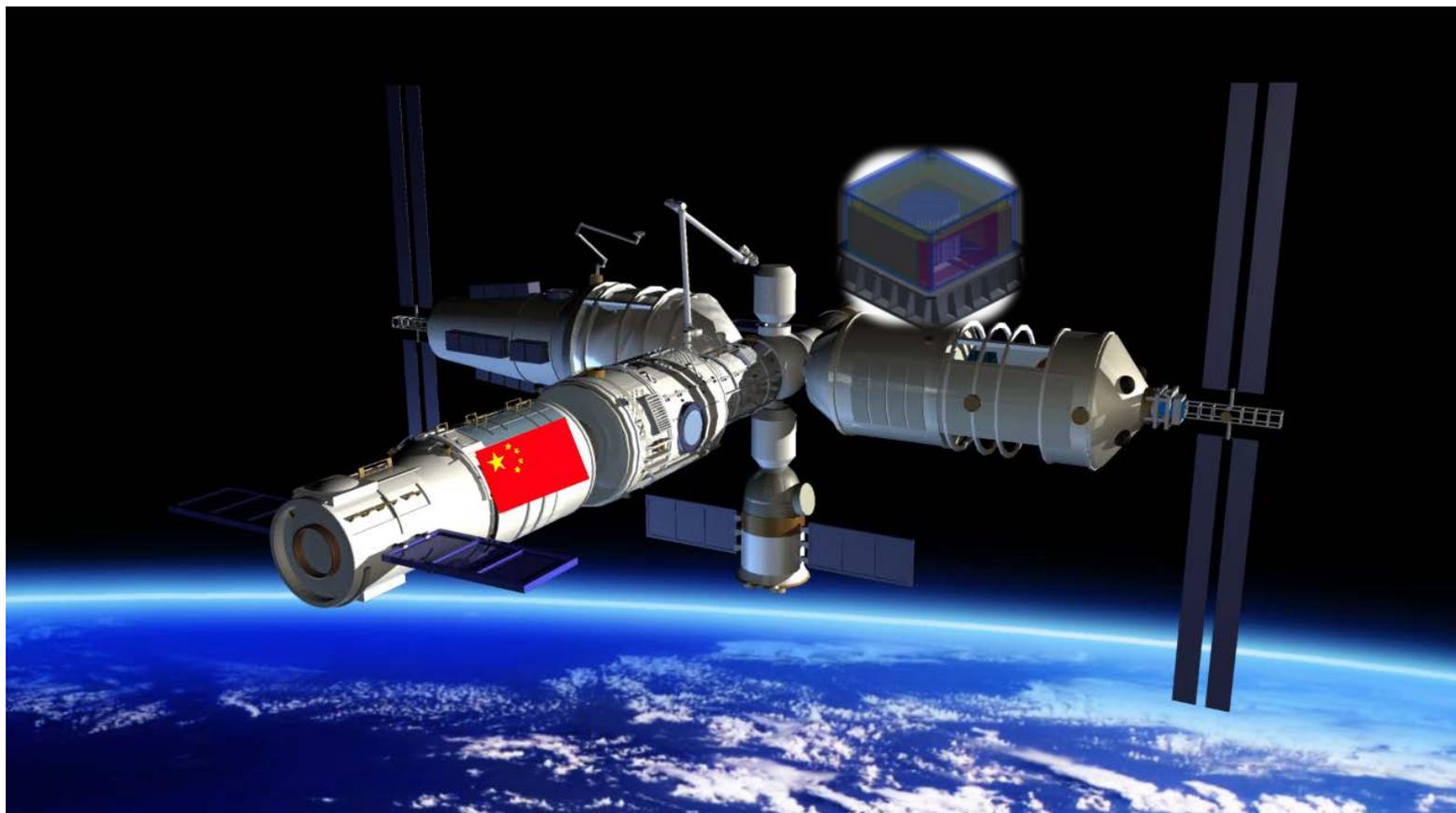


空间站高能宇宙辐射探测设施 (HERD) 项目进展

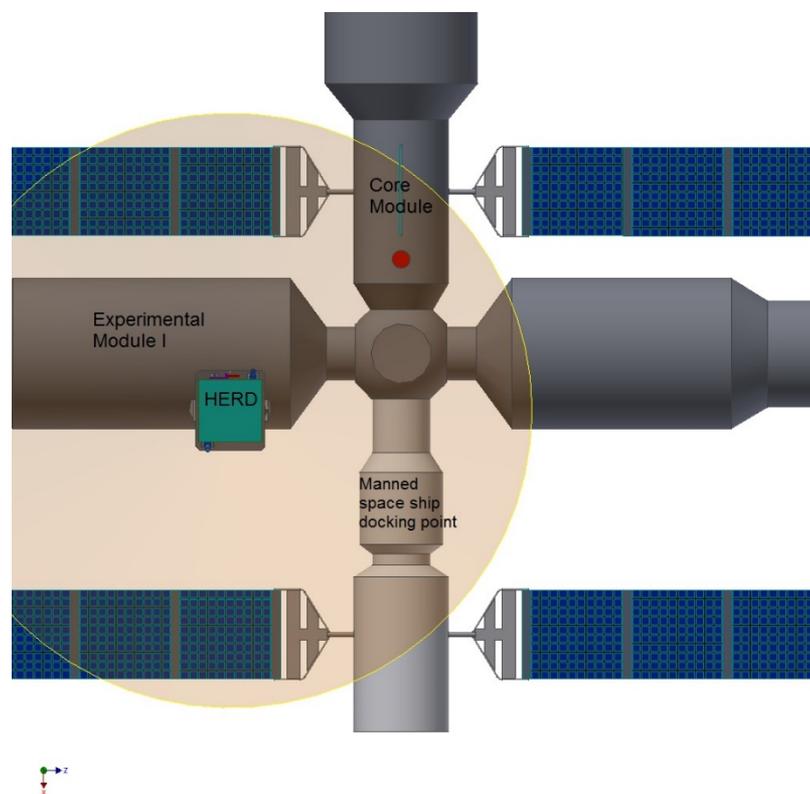
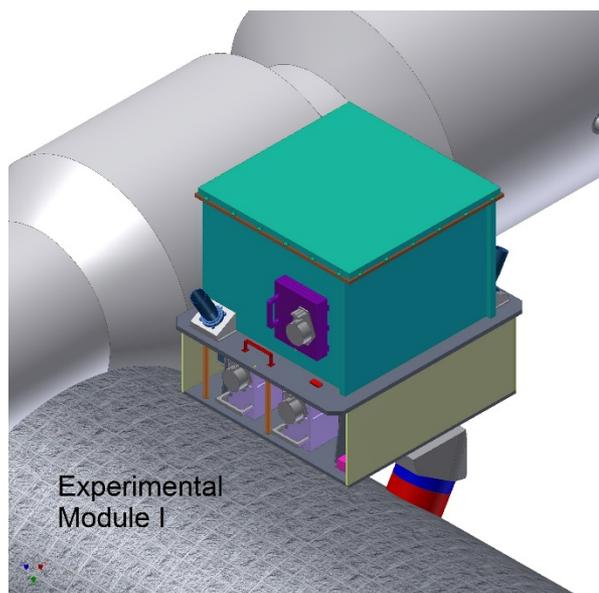


空间高能宇宙辐射探测设施HERD

高能宇宙辐射探测设施 HERD为未来中国空间站上规划中的科学载荷之一。采用了三维位置分辨五面灵敏的创新设计，探测能力比国际上已有的同类实验有约一个数量级的提高，将成为中国空间站上**标志性的旗舰级大型科学实验**。

- HERD主要科学目标

- 以前所未有的灵敏度搜寻暗物质
- 探究宇宙线起源的世纪之谜
- 开展高灵敏度的高能伽玛射线巡天

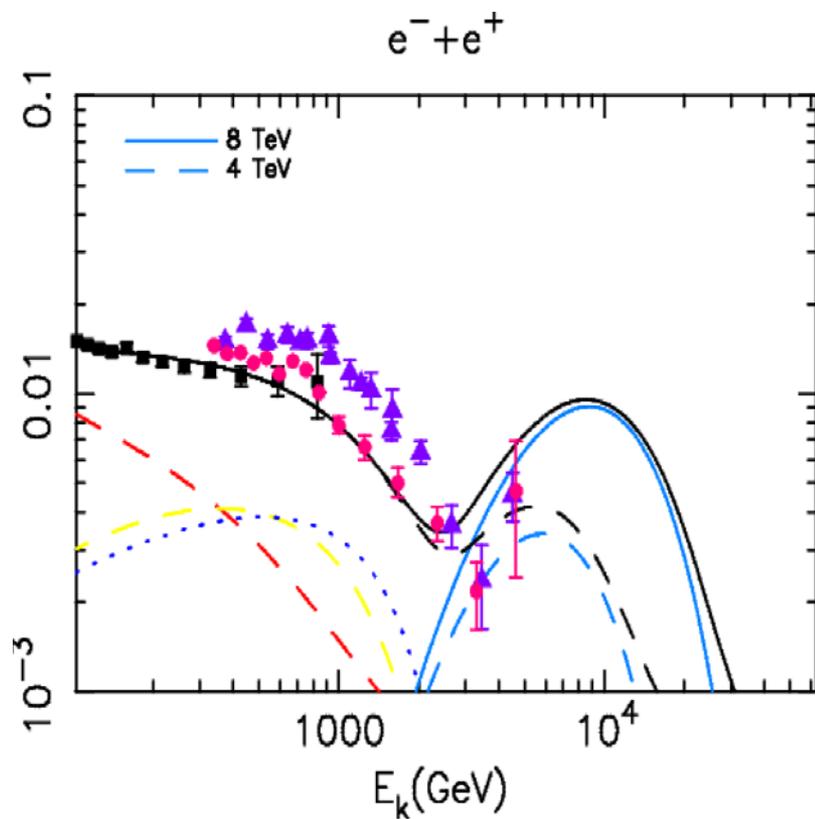
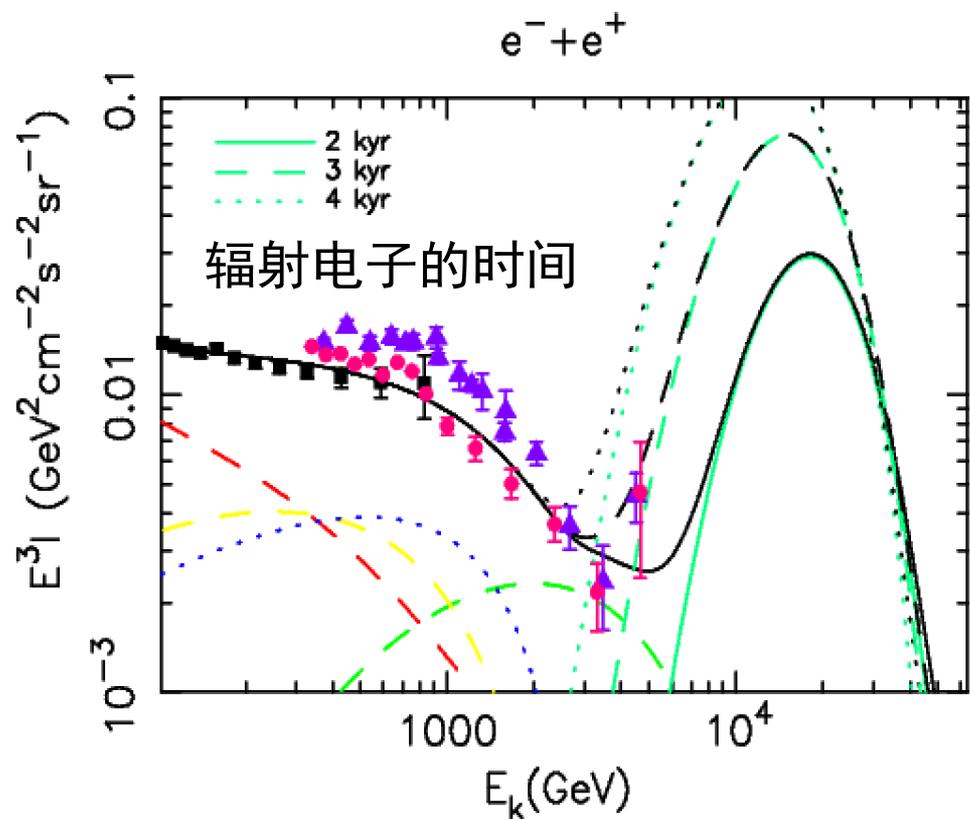


科学目标论证进展

科学/应用目标	已观测结果	观测实验	HERD预期成果
暗物质搜寻	百GeV正电子超出	PAMELA、AMS-02	通过各向异性测量确认来源 临近源电子谱高能结构
	0.9 TeV 电子谱拐折	HESS、VARITAS、 DAMPE	通过各向异性测量确认来源
	1.4 TeV“突起”	DAMPE	以最大统计量确认其是否存在， 通过各向异性测量确认来源
	无	AMS-02、FERMI、 DAMPE等	以最高灵敏度观测暗物质湮灭伽马 谱线或电子谱，搜寻Axion等暗物质 候选粒子
宇宙线起源	无直接观测 结果	ISS-CREAM	以最小的测量统计误差精确测量膝 区宇宙线能谱和成分
伽马天文	-	FERMI	变源监测，GW电磁对应体观测
脉冲星导航	无	无	同时对多颗脉冲星无间断监测，促 进脉冲星导航体制研究

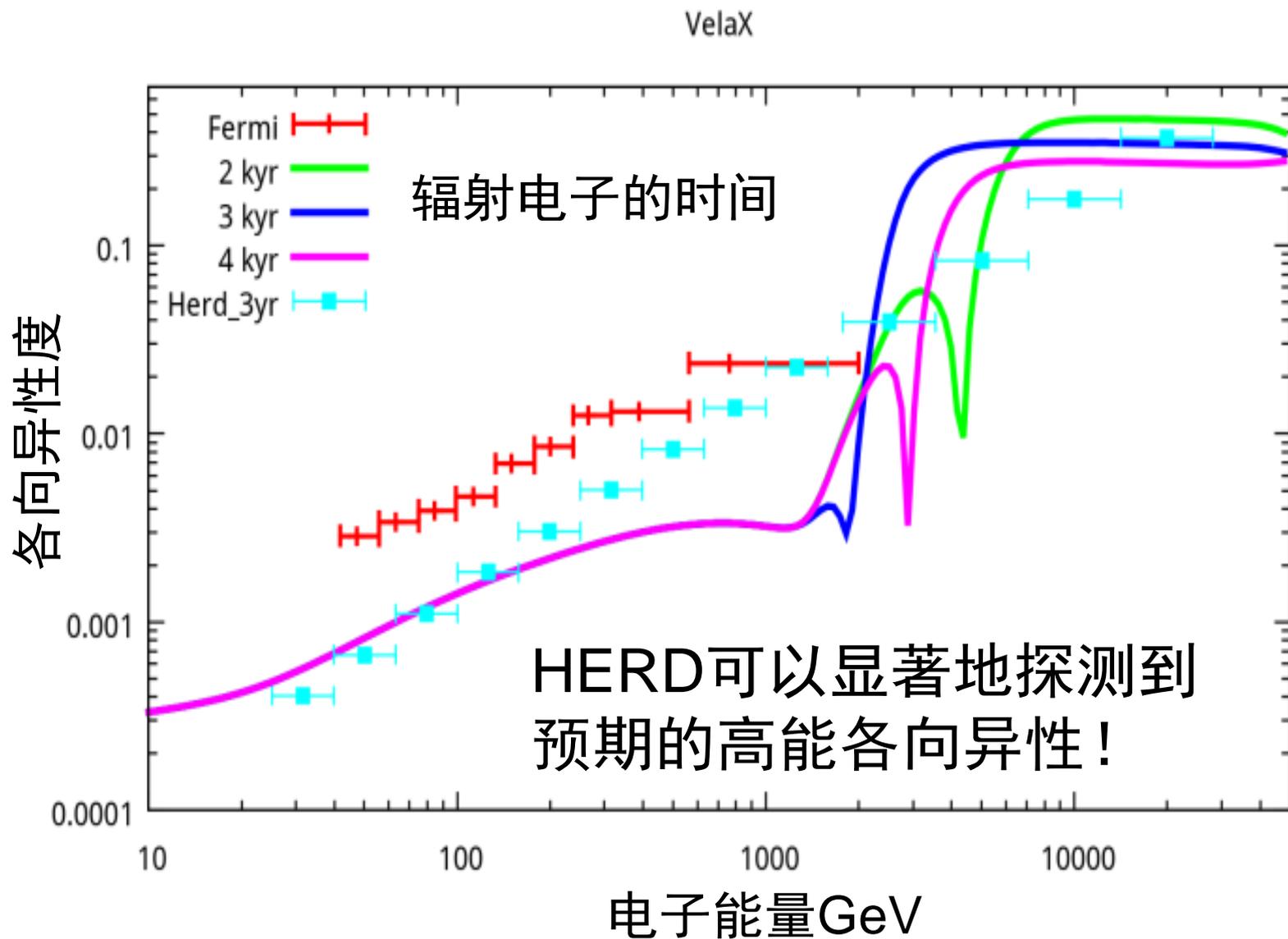
HERD暗物质、宇宙线和伽马天文等科学能力国际领先，具有不可替代性，将能够对AMS02和悟空等空间实验探测到的电子谱异常做出判决！

临近源能谱： Vela-X, Cygnus loop

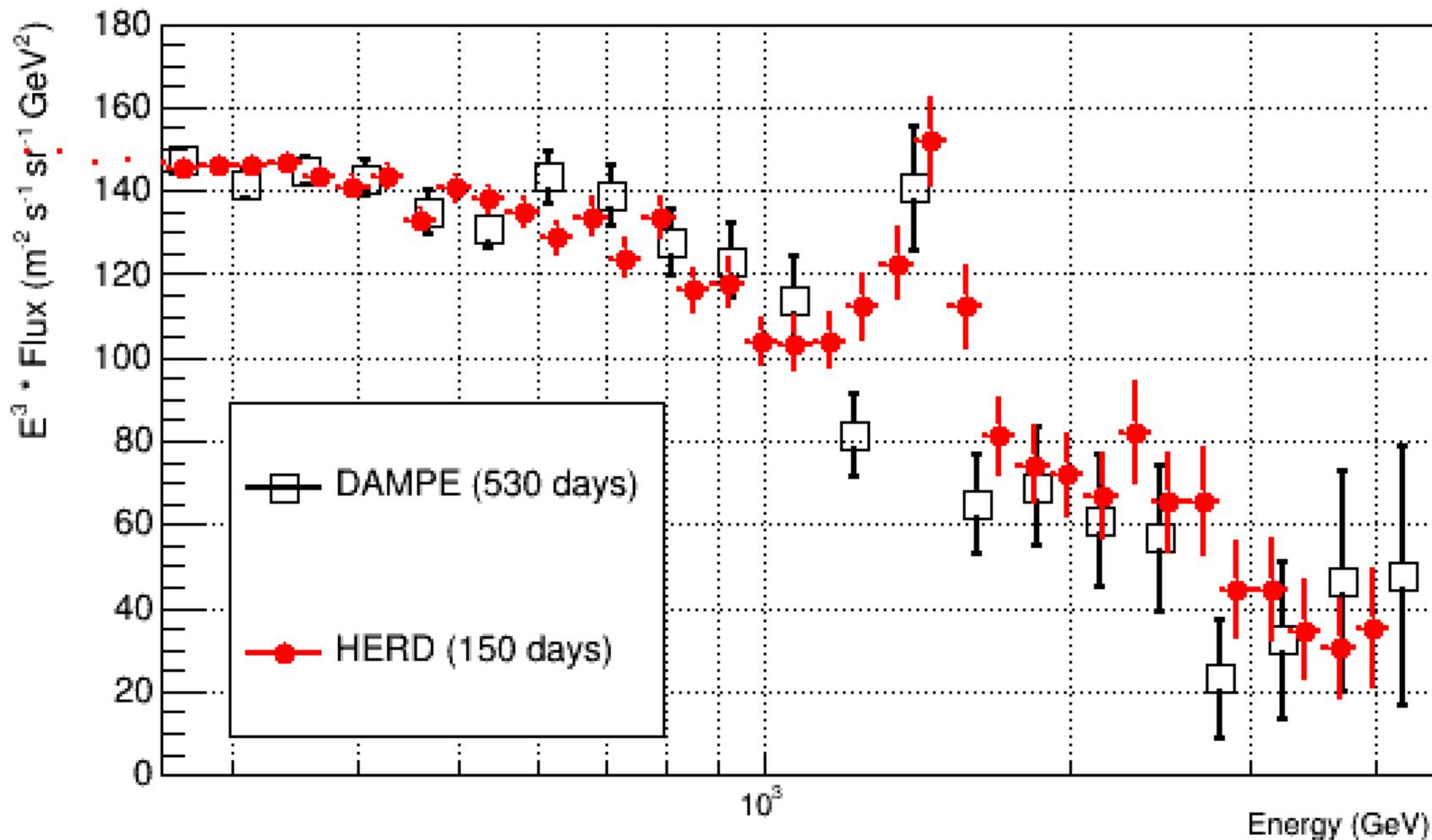


HERD可以显著地探测到几十TeV的高能峰

临近源高能电子空间各向异性：Vela-X



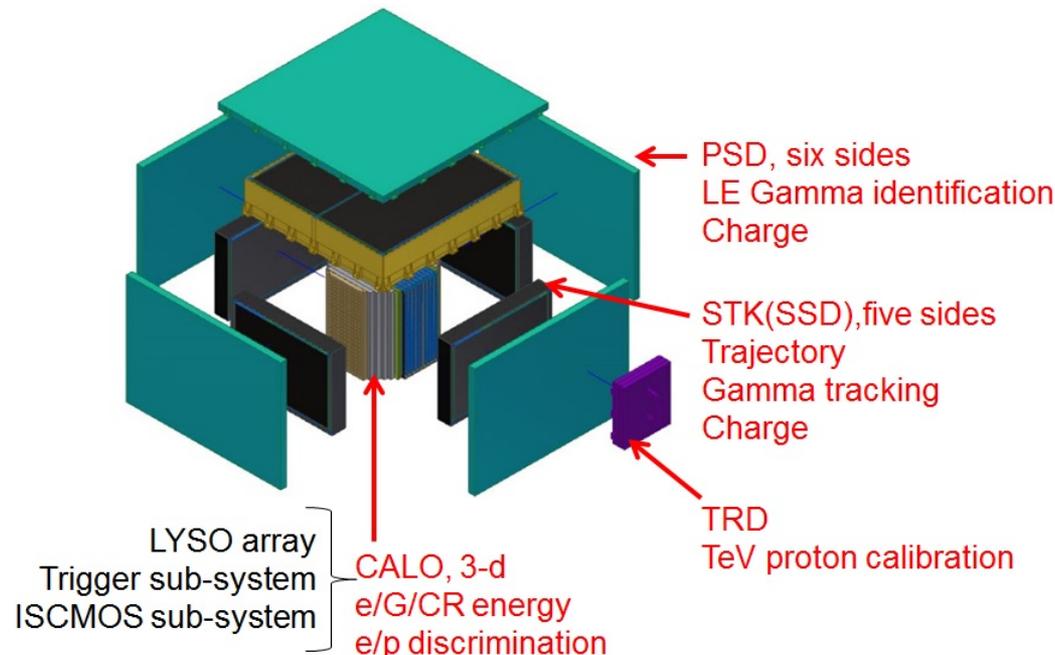
HERD和悟空对高能电子谱的能力比较



HERD上天开机即可验证悟空的电子谱高能“尖峰”，半年以内就可以达到国际公认的“发现”标准。

科学需求

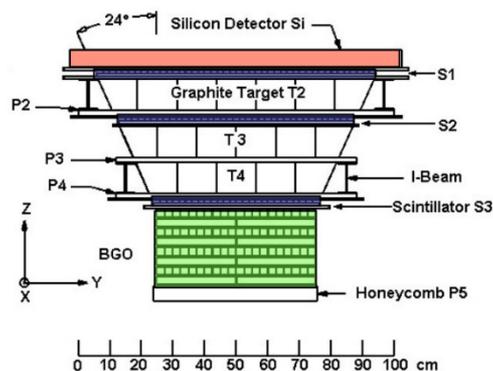
- Large exposure (i.e. $> \text{m}^2\text{sr}$ & 10 yrs)
 - High particle discrimination power
 - O(%) energy resolution for e/gamma
 - sub-degree angle resolution for e/gamma
 - O(20-30%) energy resolution for CRs
 - Real-time identification of GeV gamma-rays
 - In-orbit instrumental calibration
- > 3-d CALO
 - > Tracker, PSD
 - > Full absorbed CALO
 - > Tracker
 - > Large N.I.L CALO
 - > PSD
 - > TRD



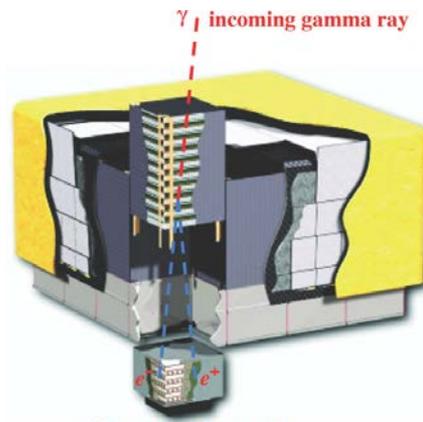
HERD技术指标

指标	参数
电子/光子能区	10 GeV—100 TeV(e); 0.5 GeV – 100 TeV (γ)
核子能区	30 GeV—3 PeV
光子角分辨	0.1 deg. @10 GeV
电荷分辨	0.1-0.15 c.u
能量分辨(e)	1% @200 GeV
能量分辨(p)	20% @100 GeV-PeV
e/p鉴别能力	$\sim 10^{-6}$
几何因子(e)	$>3 \text{ m}^2\text{sr}$ @200 GeV
几何因子(p)	$>2 \text{ m}^2\text{sr}$ @100 TeV
指向	背地指向
视场	+/-70度(扩展+/-90度)
姿态测量精度	<0.1 度
角速度测量精度	<0.005 度/s
寿命	>10 年

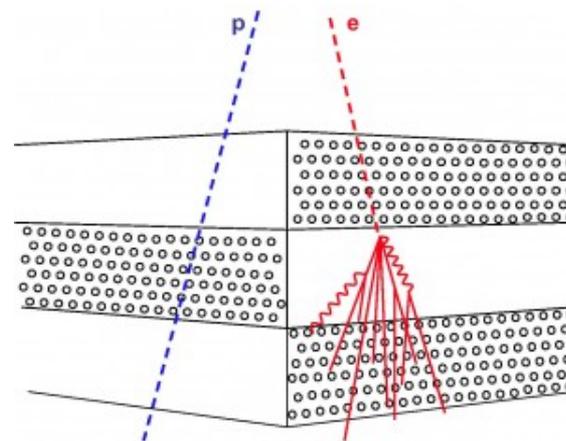
CALO三维成像量能器 - from bars to cubes



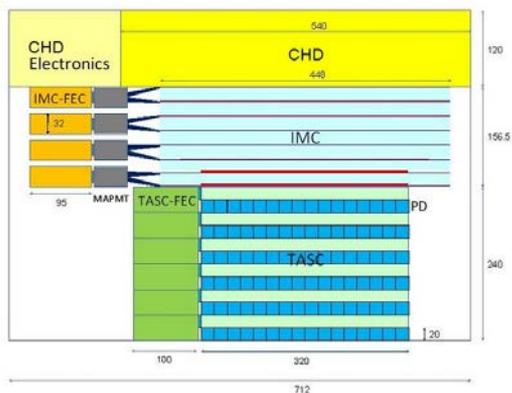
ATIC



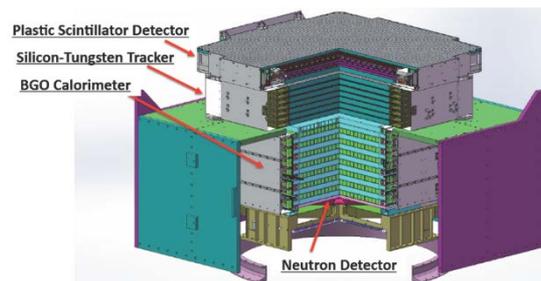
electron-positron pair
FERMI



AMS-02

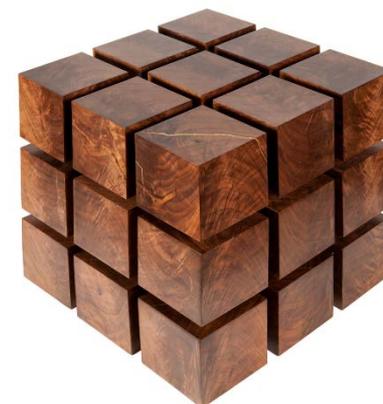


CALET



W converter + thick calorimeter (total 33 X₀)
+ precise tracking + charge measurement →
high energy γ-ray, electron and CR telescope

DAMPE



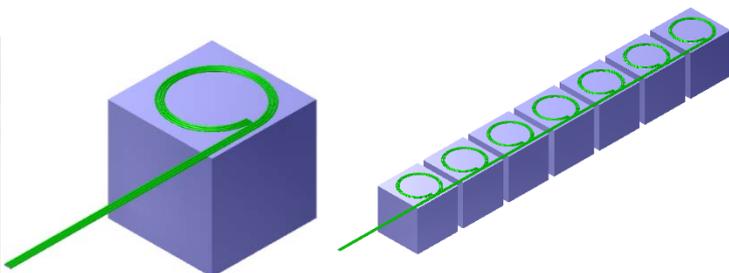
HERD

三维量能器概念可显著提升几何因子，并改善粒子鉴别能力，
系统误差更小，实测结果更可靠

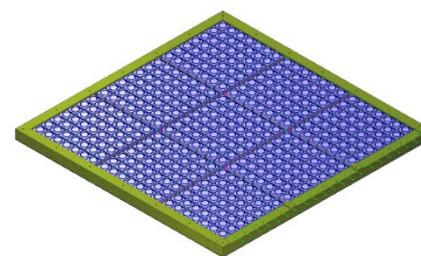
CALO晶体阵列子系统



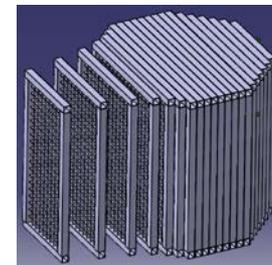
光纤缠绕



光纤引出



单层晶体



21层晶体组装为
三维量能器阵列

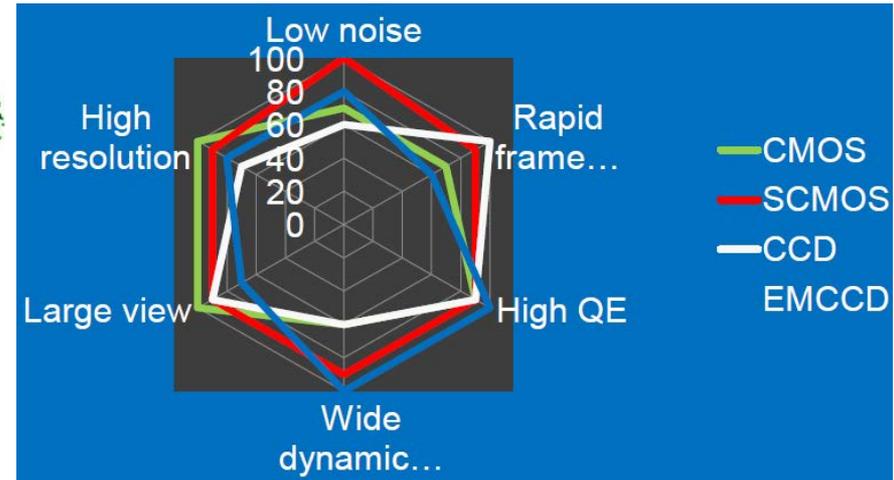
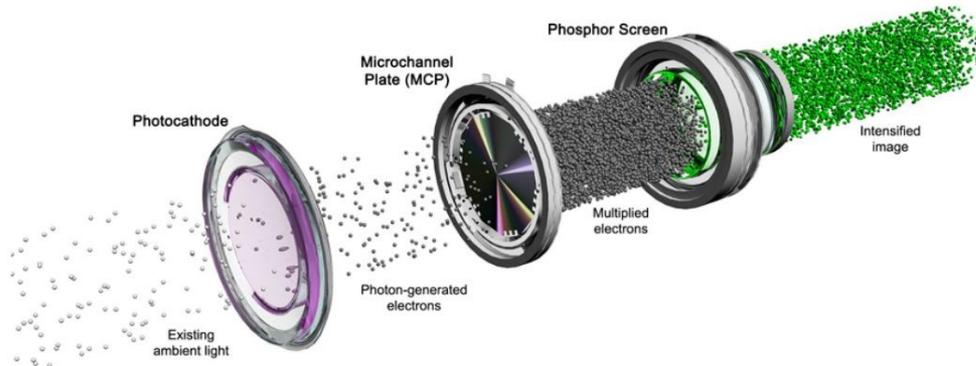
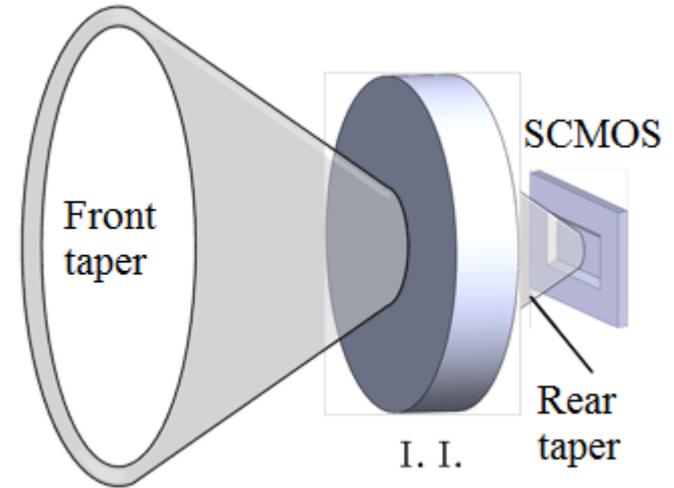
指标项	数值	备注
晶体类型	LYSO	控制总包络尺寸
核作用长度	3	等效21块晶体，保证能区上限
晶体数量	~7500块	俯视八边形布局，控制总重
晶体尺寸	3cm*3cm*3cm	保证e/p粒子鉴别能力
输出光纤	三根/晶体	保证大动态范围，提供触发

触发子系统

高、低量程增强相机子系统

增强相机子系统

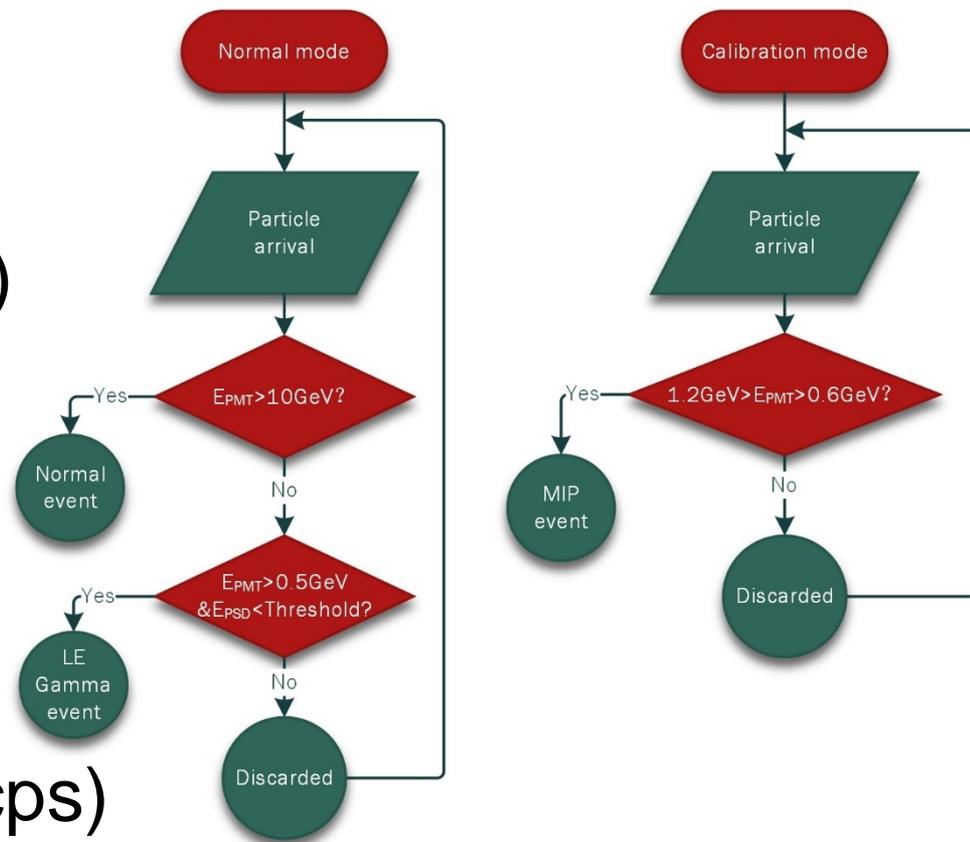
- 波长转移光纤+IsCMOS相机
 - 高帧频(500fps); 全局快门
 - ROI读出; 低噪声
- 精确能量测量
 - 单根光纤匹配400个CMOS像素
 - 利用光斑饱和修正扩展动态范围



Alternative approach: photon diode readout

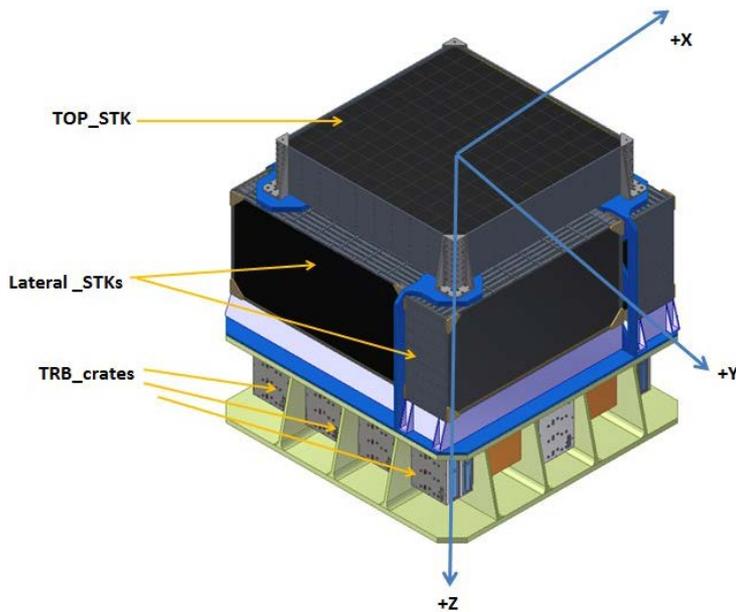
CALO触发子系统

- 提供触发信号，切换工作模式
 - Core/shell regions + PMTs
- 兼具粗略能量测量
- Normal mode (150cps)
 - HE trigger
 - LE photon
 - LE electron
 - Unbiased trigger
- Calibration mode(350cps)
 - MIP trigger



STK分系统

- 径迹测量
- 伽玛转换和方向测量
- 电荷测量
 - 定制ASIC芯片

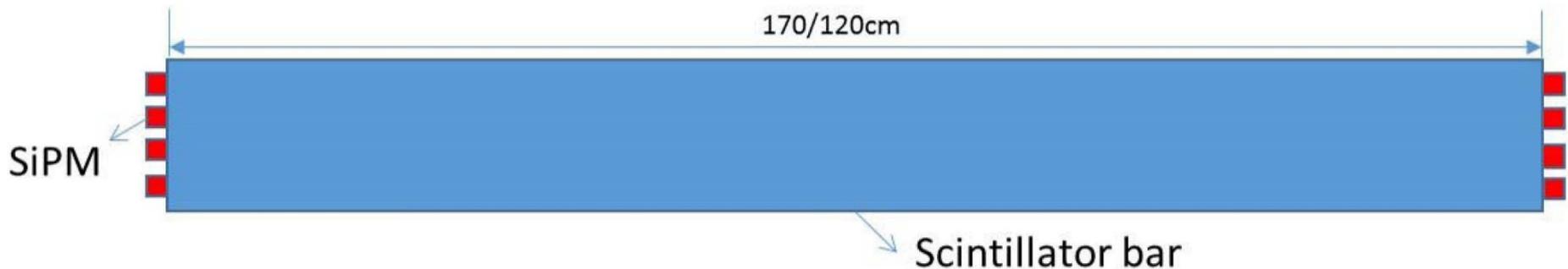
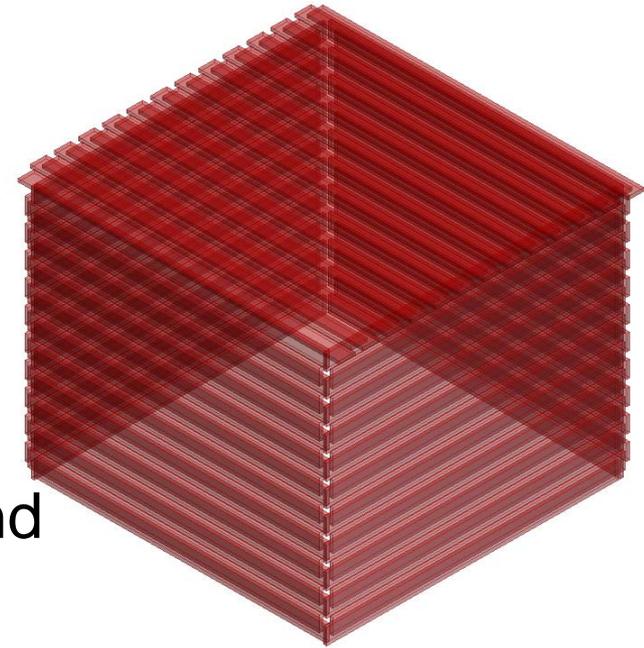


指标项	数值
对CALO有效覆盖	~80%
电荷测量范围	1 - 20 (26)电荷; 0.1-0.15 c.u.
角分辨率	0.1%@10 GeV(顶)
硅微条层数	6层X/Y(顶); 3层X/Y(侧)
转换体厚度	1辐射长度 (顶)
死时间	≤ 2 ms
工作模式	触发响应
探测面积	1.4m*1.4m(顶); 1.2m*0.7m(侧)
电子学路数	~24万路

Alternative approach: Fiber Tracker(FIT); Tracker in Calorimeter

塑闪探测器分系统

- 低能伽玛识别
- 电荷测量
- 1 X/Y layer on top and 4 lateral sides
 - X layer for LE photon trigger
 - X & Y layers for Z measurement and e/gamma discrimination
- 1 X layer on bottom side
- SiPM + IDE3380 ASIC chip



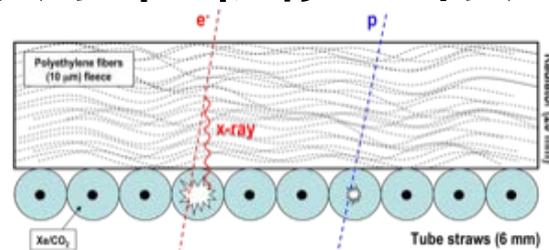
Alternative approach: tile geometry

穿越辐射探测器分系统

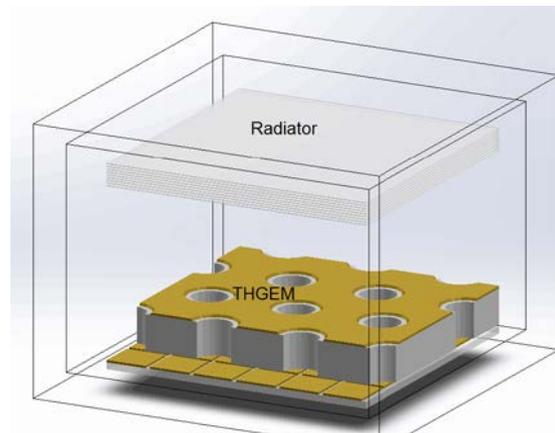
- TeV质子和重核绝对能量标定
- 设计1-3个月完成一次TeV质子在轨能量标定
- 技术实现方案

– 气体稻草管

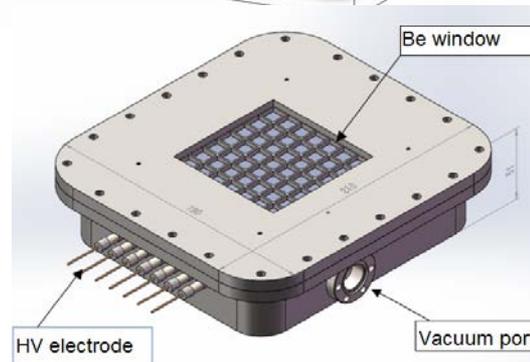
– THGEM、MWPC



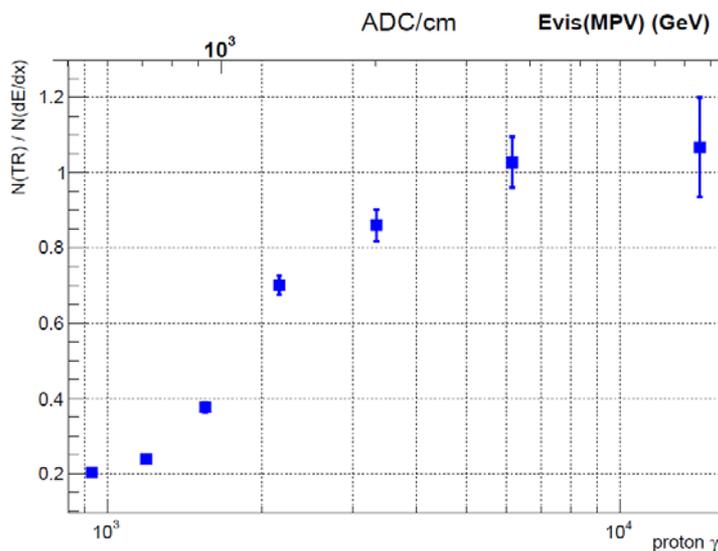
Straw tube



THGEM



MWPC

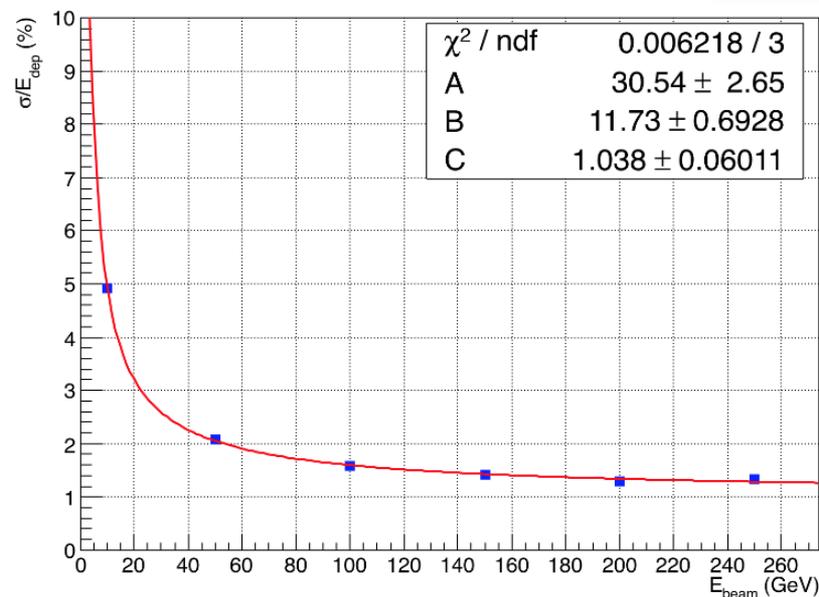
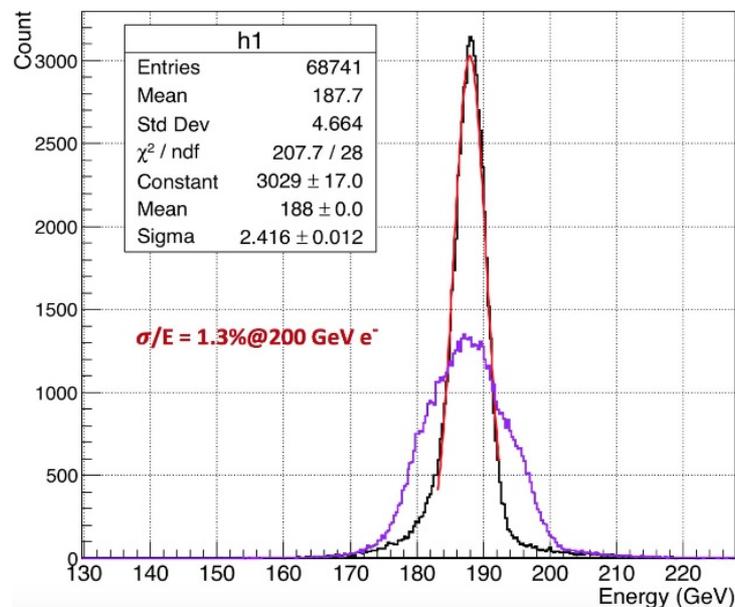


~6300 cm² TRD 2个月模拟观测

第二次CERN束流实验结果

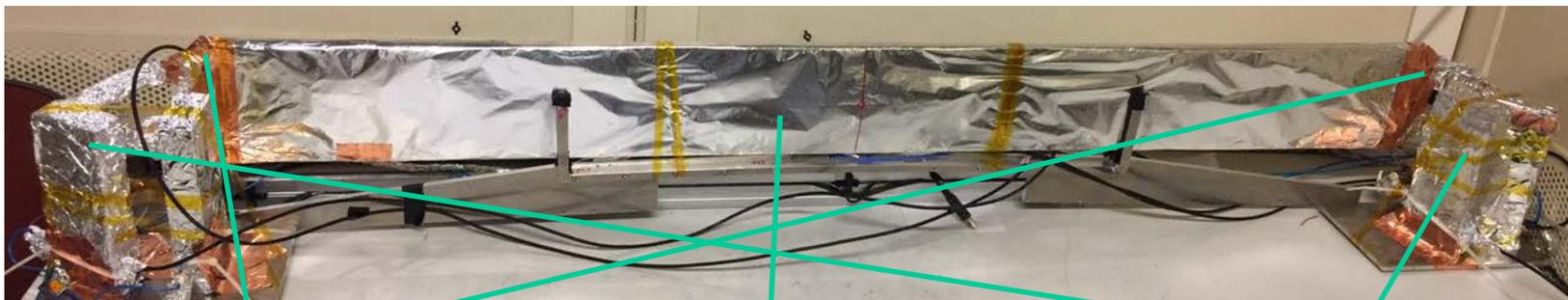
- 质子束流实验结果
 - 能量分辨率好于**1.3% @ 200 GeV e⁻**，实现预期实验目标
 - 本底排斥率达0.999 @ 90%信号效率
 - 质子能量分辨达40%
- 实验结果表明，三维量能器方案和光纤+增强型相机信号读出方案进行高能量分辨和大动态范围观测是完全可行的。

Reconstructed spectrum of 200 GeV electron



第二次CERN束流实验结果

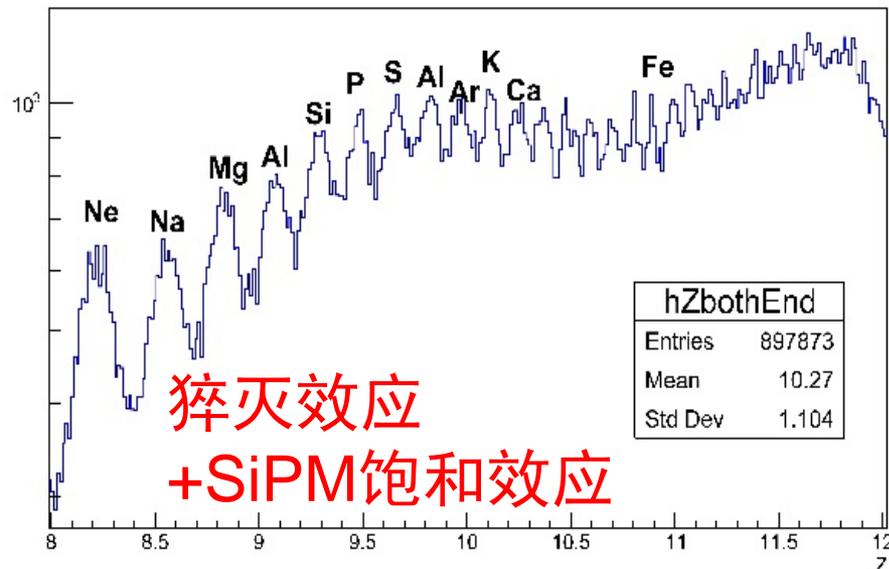
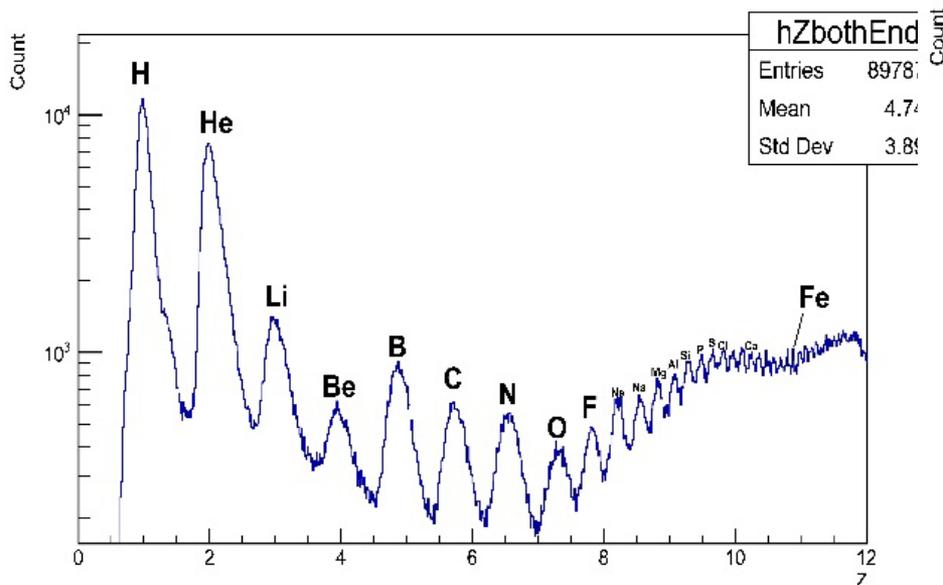
- 重核束流实验结果
 - 长条形塑闪样机可识别 $Z > 26$ 电荷，超预期完成实验



SiPM

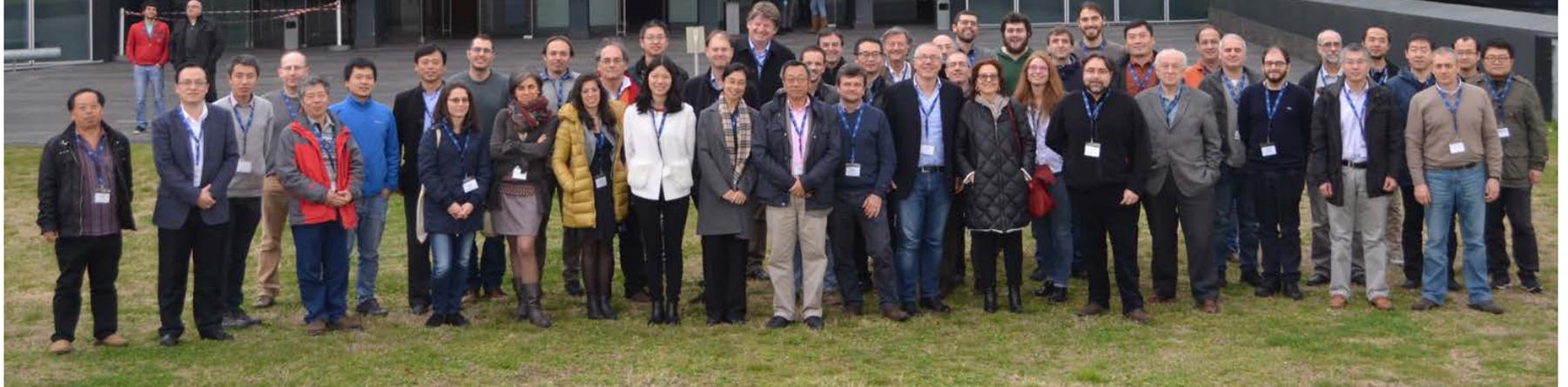
PS, $120 \times 12 \times 1 \text{ cm}^3$

SiPM evaluation circuit



HERD合作团队中目前有120多位成员，其中国内合作团队主要包括中科院高能物理研究所、西安光机所、紫金山天文台、中国科技大学、地质与地球物理研究所、新疆天文台、南京大学、北京大学、清华大学、云南大学、广西大学、宁波大学、国台、中山大学、香港大学等多家单位；国际合作团队包括意大利佩鲁贾大学、巴里大学、佛罗伦萨大学、萨伦托大学、那不勒斯大学，瑞士日内瓦大学，瑞典皇家理工学院、西班牙能源环境技术研究中心、日本东京大学、德国、俄罗斯科研院校等多个单位

第4届HERD国际学术研讨会
意大利航天局，罗马，2017.2.9

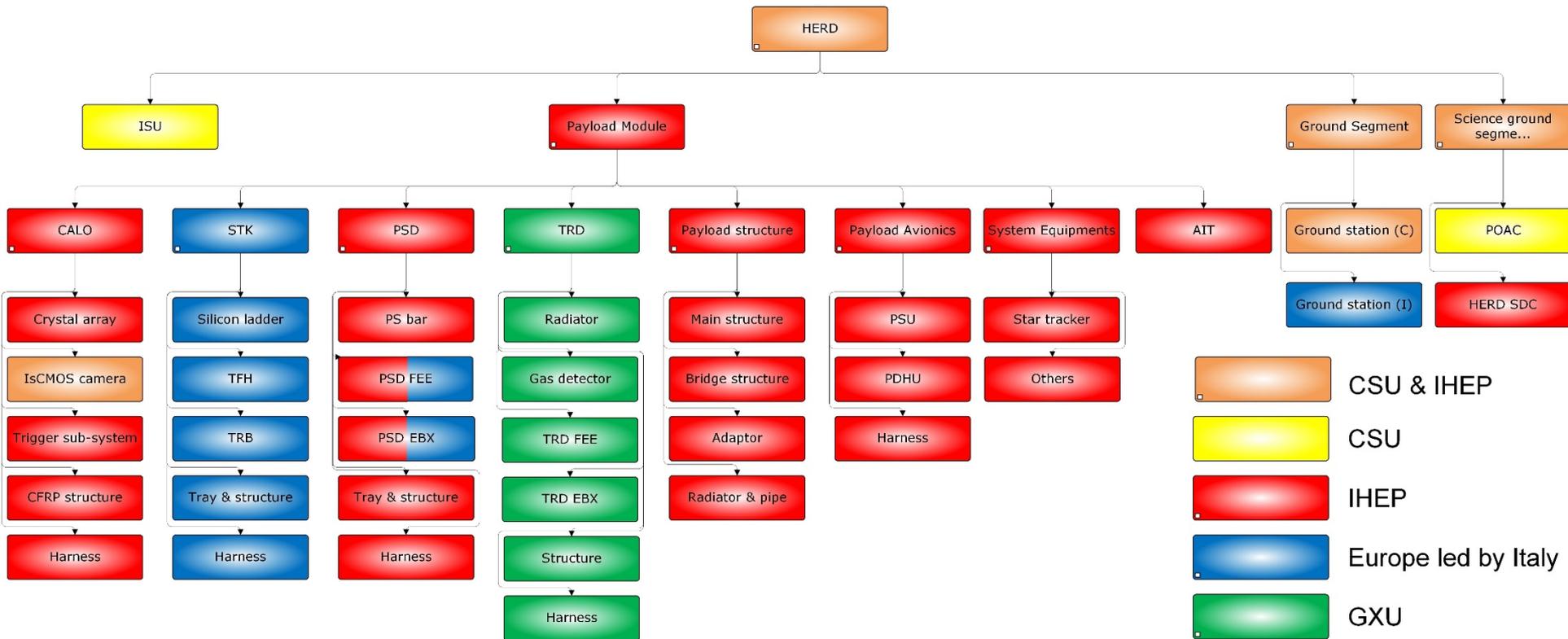


立项工作进展

- Joint HERD working group including CSU, IHEP, INFN sections, etc. was established in Jan. 2017.
- Agreement between the Italian Space Agency and the China Manned Space Agency was signed in Feb. 2017
- Letter of Intent for the collaboration on the design and implementation of the HERD scientific instrument between IHEP and INFN was signed in May 2017
- Joint Working Group on space science and utilization between ASI and CSU in Feb. 2018, including HERD JWT
- To have HERD proposal reviewed by a RB jointly organized by CSU and ASI in May 2018
- To submit proposal to CSU/CMSA and ASI for approval of China-Italy HERD collaboration
- To sign MoU on China-Italy HERD collaboration
- To sign MoUs with other agencies and ESA
- HERD formally kicked-off early 2019
- HERD launch around 2025

HERD意向分工

- 首席科学家：张双南
- 项目经理：朱科军



小结

- HERD是中国领导的大型国际合作科学实验设施
- HERD在暗物质、宇宙线和伽玛天文等科学能力国际领先，具有不可替代性
 - 将能够对AMS02和悟空等空间实验探测到的电子谱异常做出判决
- 项目国际立项工作稳步推进，预计2018年底或2019年初正式立项
- 3D量能器方案**国际独创**，并且得到束流实验的验证
 - 载荷详细方案将在进一步模拟、设计和验证后确定
- 欢迎国内外科学家、团队参加HERD项目
 - 科学、模拟、载荷研制、运行等