

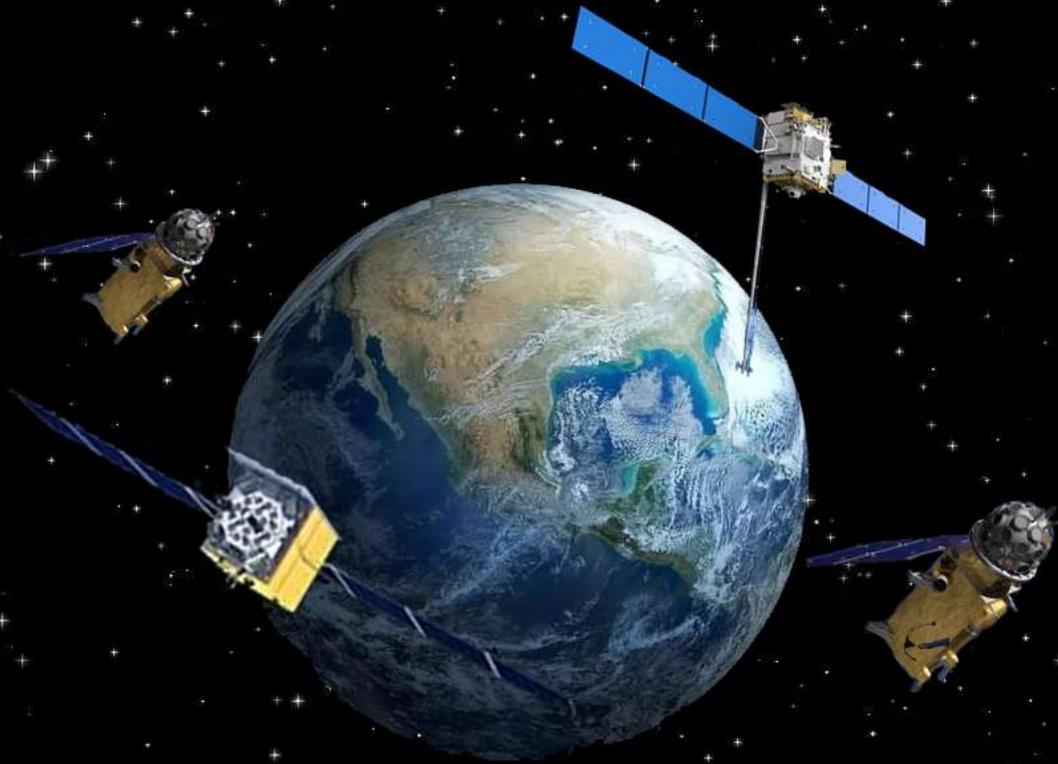
2024高能物理计算暑期学校IHEP School of Computing 2024

高能天文数据处理

李小波, 宋黎明

高能物理研究所

2024年8月21-24日@北京·延庆



01 高能天体物理简介

02 慧眼卫星的在轨运行

03 高能天文数据产品及分析

04 慧眼亮点成果介绍

05 总结

提纲
OUTLINE





1.1 高能天体物理

- **高能天体物理**：利用粒子物理的规律通过和多信使探测的信息研究宇宙间的高能过程和现象，包括粒子的产生、湮灭和相互作用等过程及其对宇宙结构与演化的影响。将天文学与粒子物理在研究对象、内容以及实验方法等方面结合起来
- **研究方法**：以多信使观测为基础，结合理论与数值模拟



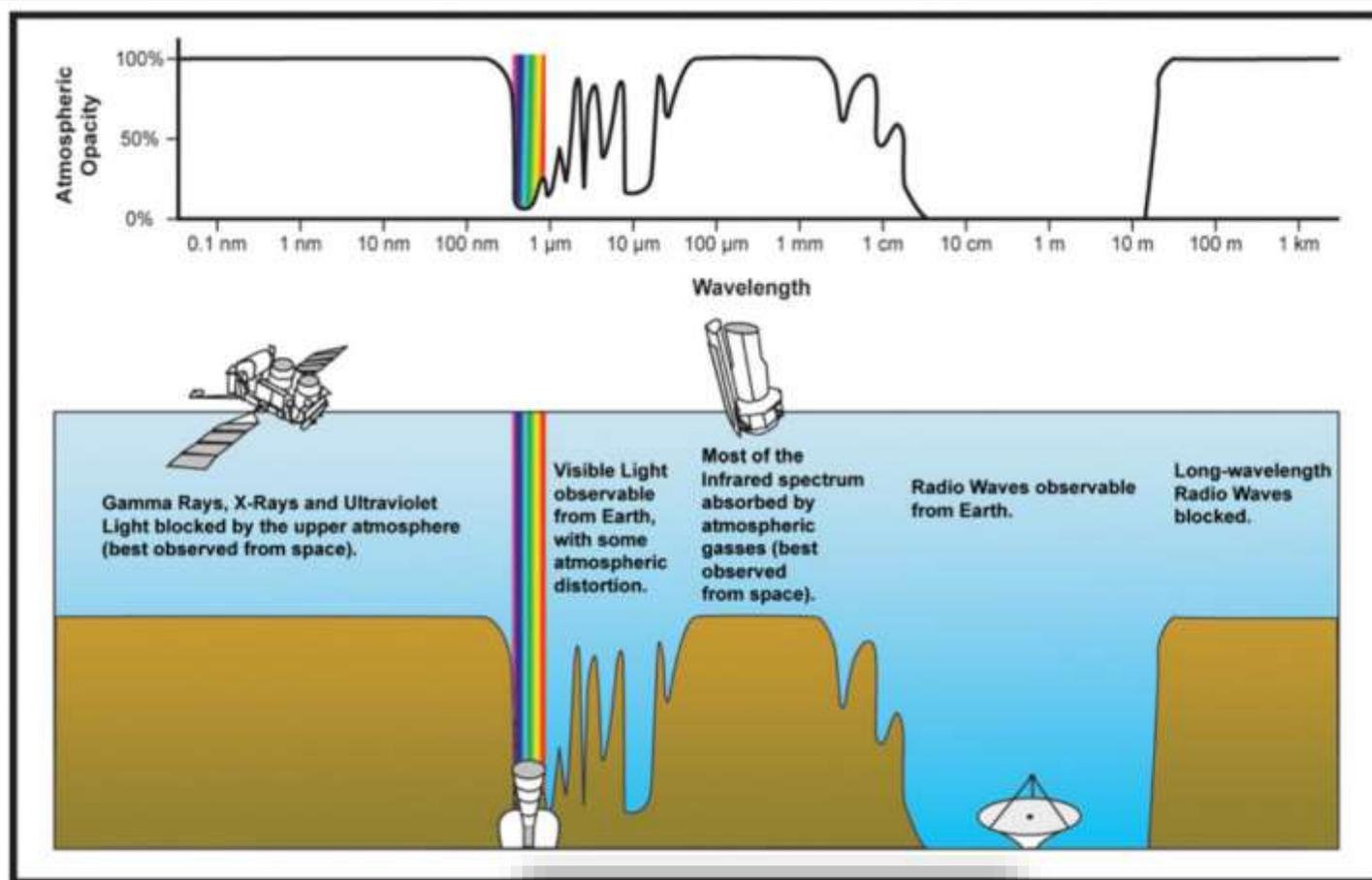
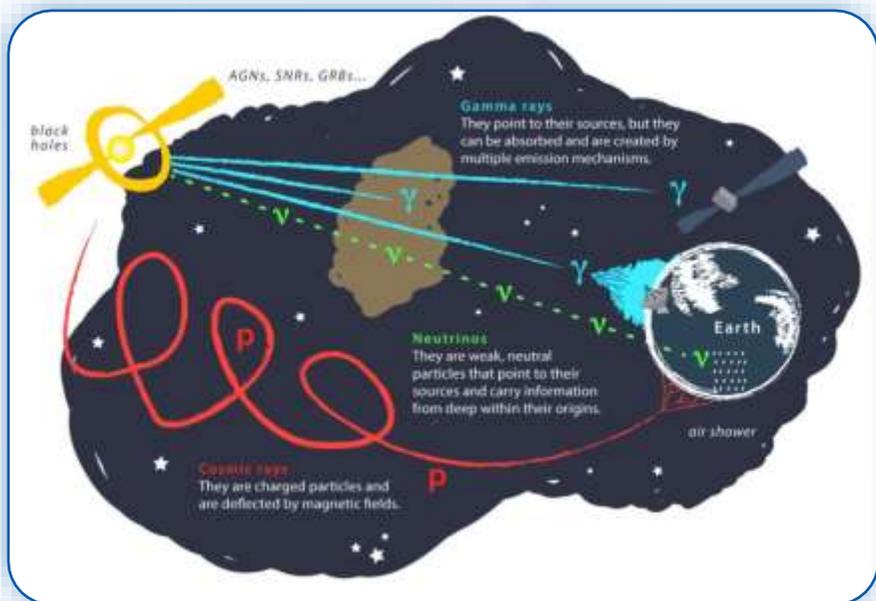
极端条件下的物理实验室

- 超强引力
- 超高密度
- 超高磁场
- 超真空
- 超高能



1.2 来自宇宙的多信使

- **电磁波辐射**: 宇宙信息的主要来源, Gamma, X-ray, 紫外, 可见, 红外, 射电
- **宇宙线粒子**: LHAASO
- **中微子**: Super-K, IceCube
- **引力波**: LIGO/Virgo



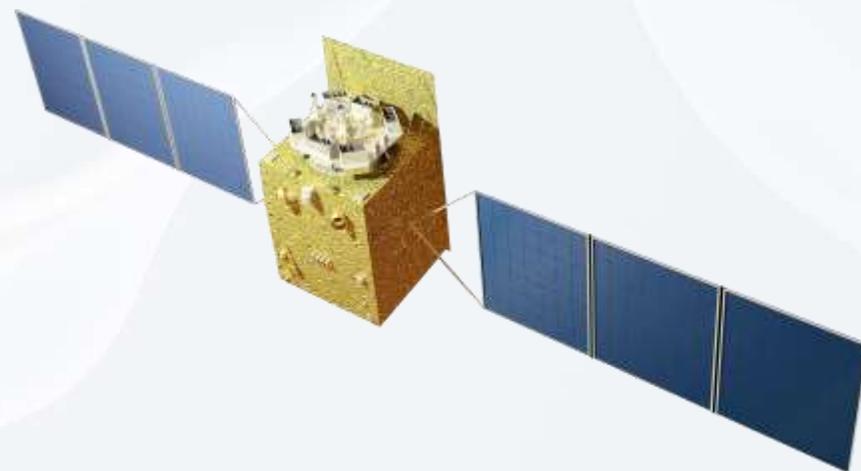
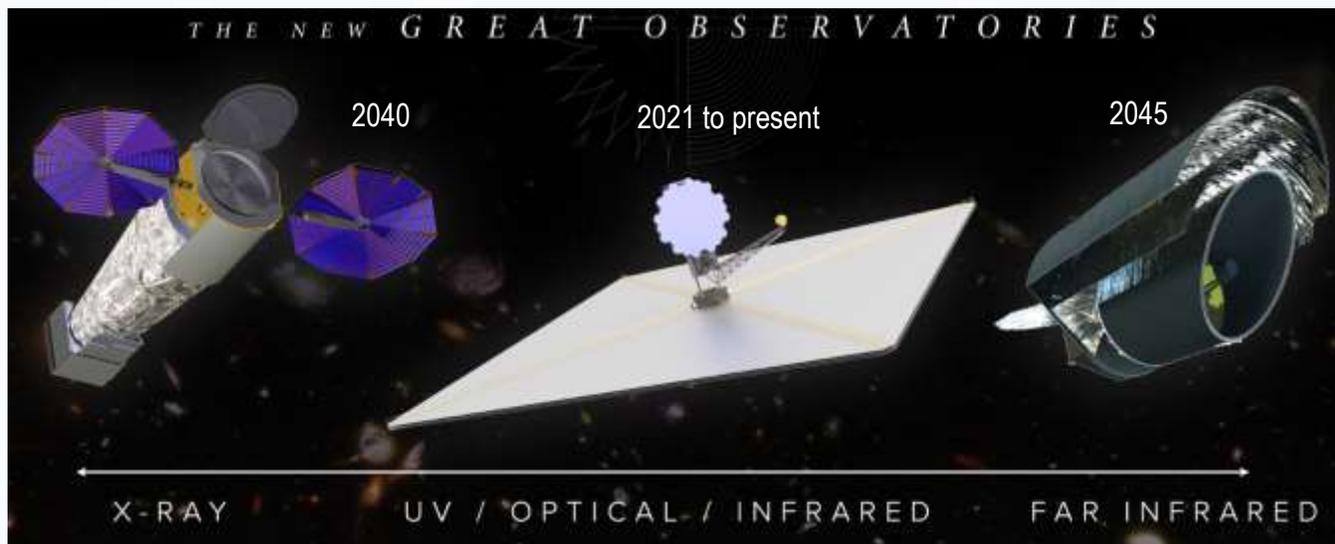


1.2 人类对宇宙电磁信号的探测

The first Great Observatories are among the greatest missions in scientific history.



中国的“哈勃”

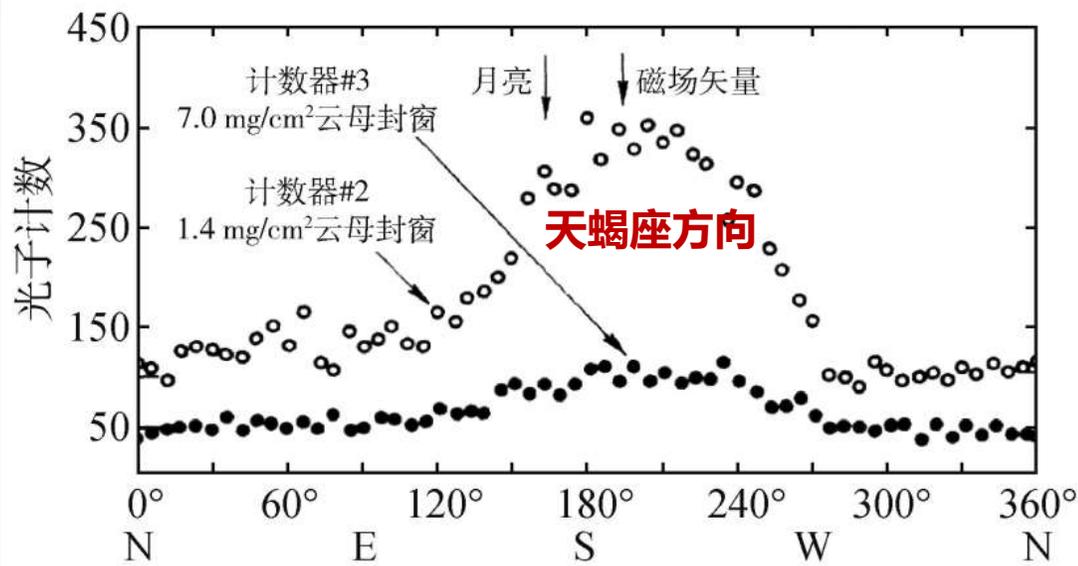


慧眼HXMT: 中国第一颗X射线望远镜, 2017



1.3 X射线天文学

- 1962年6月18日，贾科尼等用携带**盖革计数器的探空火箭**在天蝎座方向发现了X射线辐射，这是人类第一次探测到源于**太阳系外天体的X射线**，标志着**X射线天文学的诞生**。
- 自20世纪70年代末利用高空气球观测硬X射线开始，我国的X射线天文学经一系列任务的磨练，也迎来了大发展时期（Polar, HXMT, GECAM, EP, SVOM等）。



物理·50卷(2021年)8期

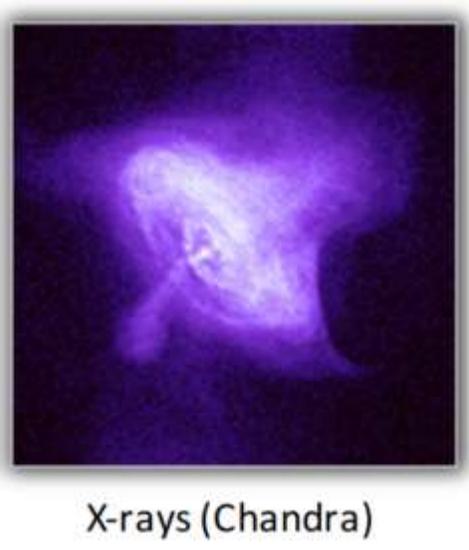
X光子的辐射信息

- 方向(Direction): 成像 (Imaging)
 - 能量 (Energy): 能谱
 - 到达时间: 光变, 脉冲轮廓
 - 偏振: 磁场结构
- 从探测到的大量光子信息中获取

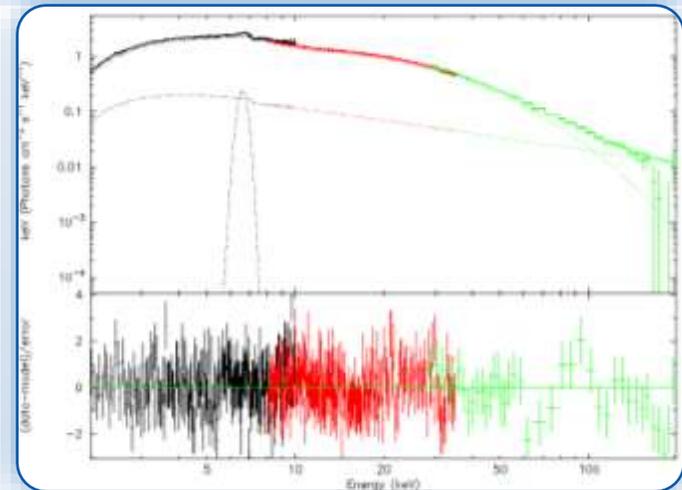


1.3 X射线天文的四个观测维度:

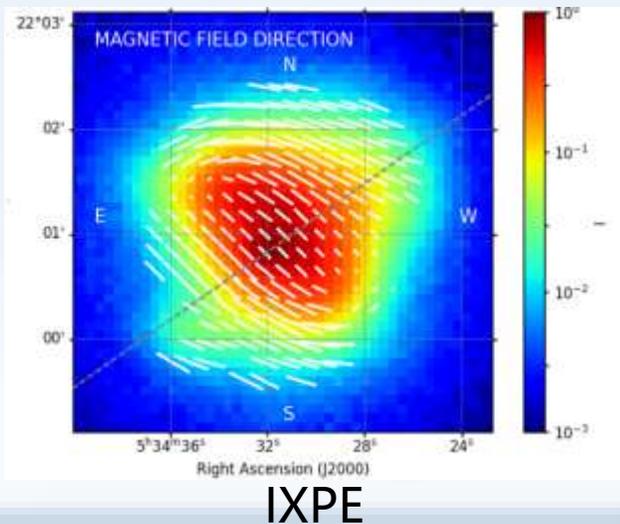
Imaging



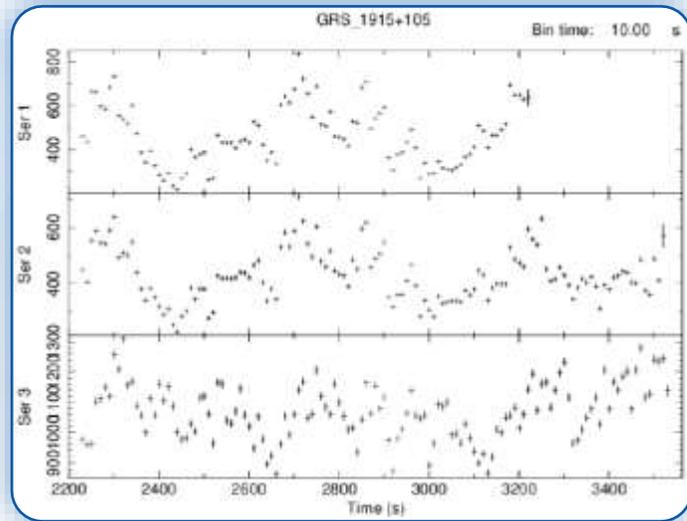
Spectroscopy



Polarimetry



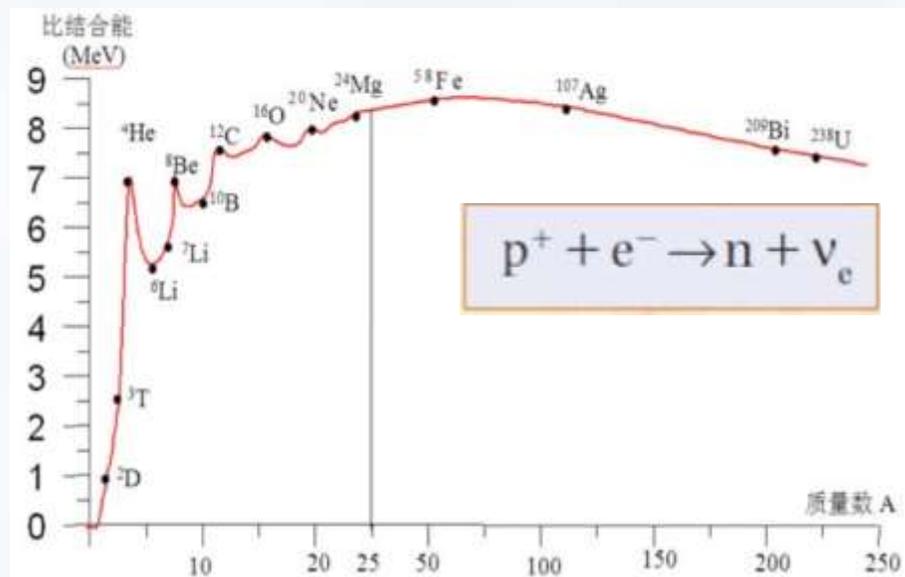
Timing





1.4 恒星的演化

- **恒星演化过程：由恒星的初始质量决定**
- **恒星形成（点燃核聚变）** → **主序星阶段（H聚变为He）** → **红巨星或者红超巨星阶段（He聚变成C和O, Fe）** → **恒星死亡（外层物质被抛出，核心坍缩）**
- **铁核结合能最高，进一步核聚变反应不再释放能量，铁核的形成标志着核聚变反应的终点。**



Fe核坍缩，中子化，形成中子星。

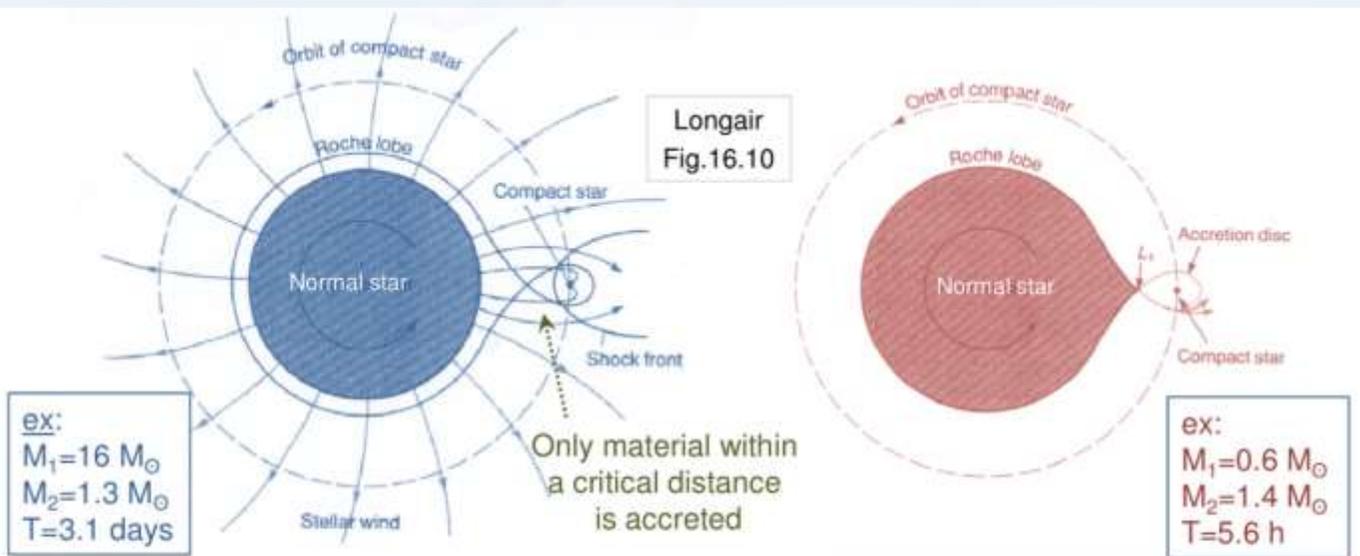
中微子带走大量能量，核心在1秒内坍缩，外壳层打在核上；

中子简并压导致反弹，形成激波-超新星爆发



1.5 X射线双星 (X-ray Binary)

- **银河系内：90%的X射线源处于双星系统**
- **双星本质：物质交换（引力能释放）→ 吸积过程accretion→ X-ray辐射能**



Bondi-Hoyle accretion

- Primary star with strong stellar wind
- Compact object fed by the outflow of the primary

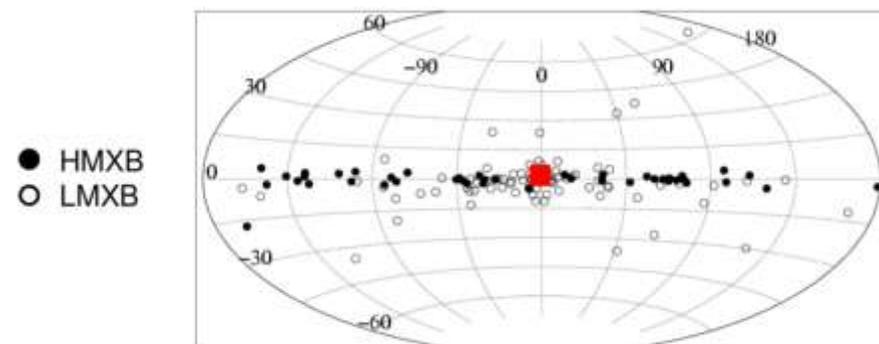
→ ~ Spherical accretion

Roche lobe overflow

- Primary star evolves filling the Roche lobe
- Matter flows from primary to secondary star through L_1

→ Accretion disc

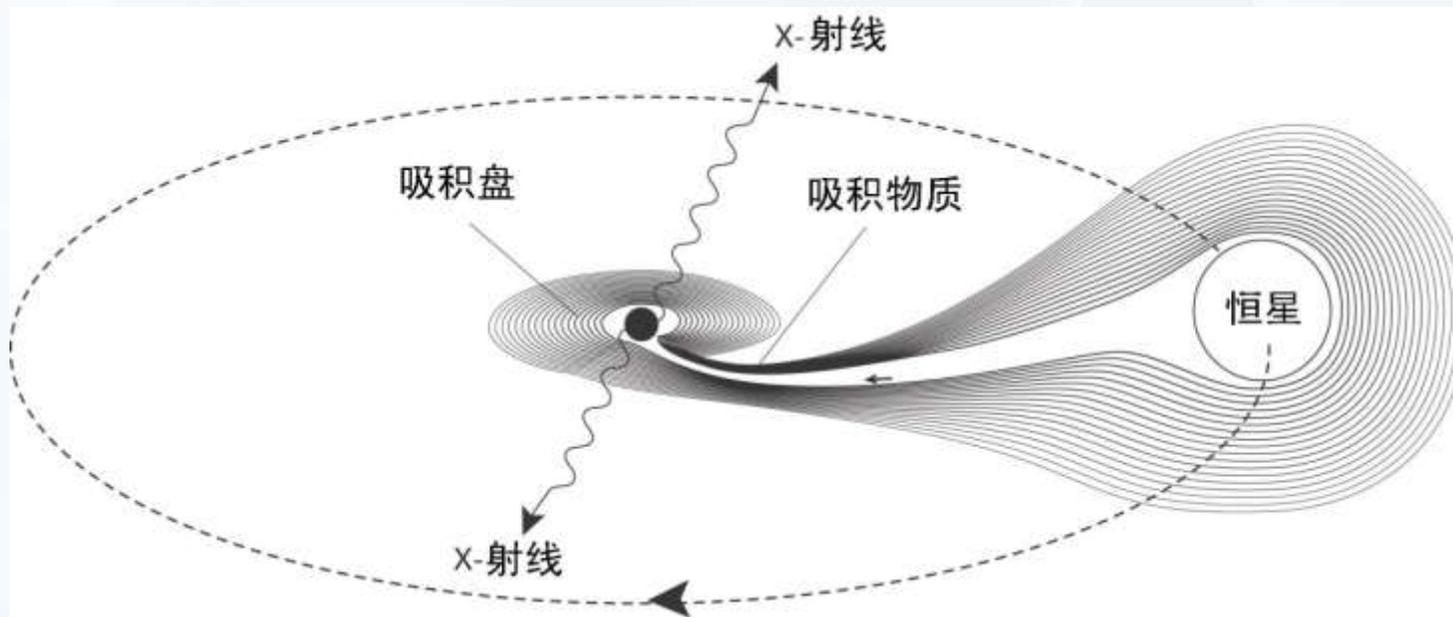
- **低质量X射线双星 (LMXB)**
 - ◆ 洛希瓣吸积
 - ◆ 伴星质量 < 1~2 太阳质量
- **高质量X射线双星 (HMXB)**
 - ◆ 星风吸积
 - ◆ 伴星质量 > 10 太阳质量





1.5 X射线双星 (X-ray Binary)

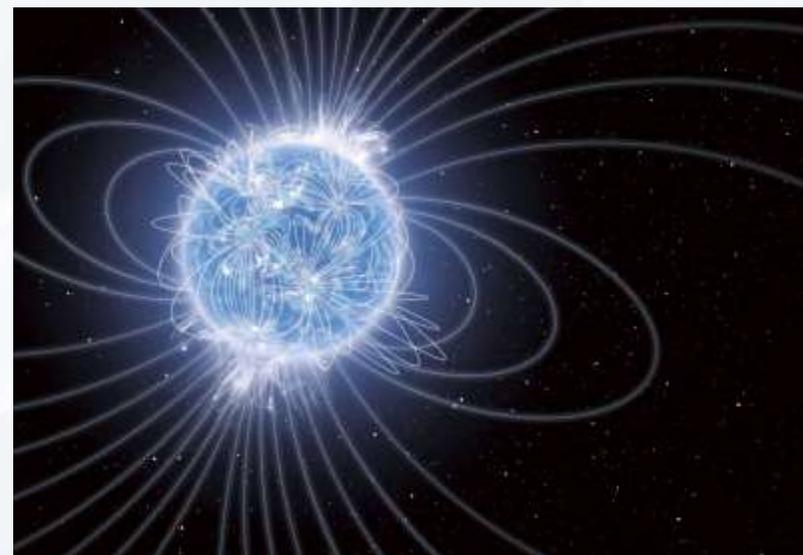
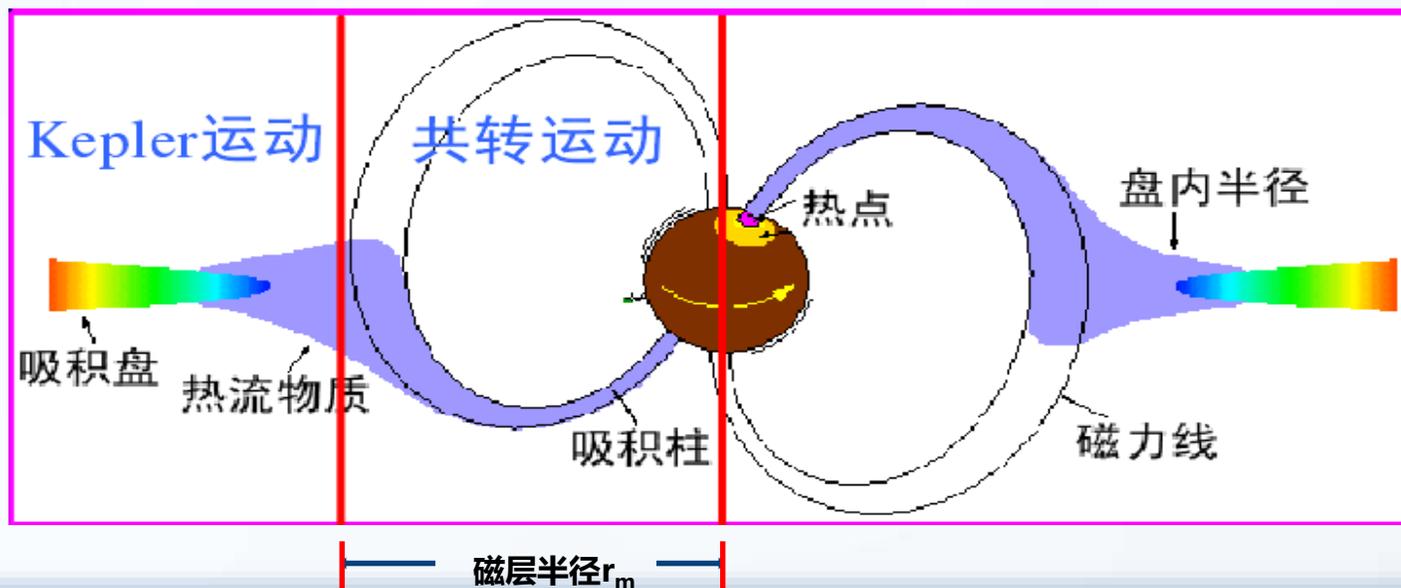
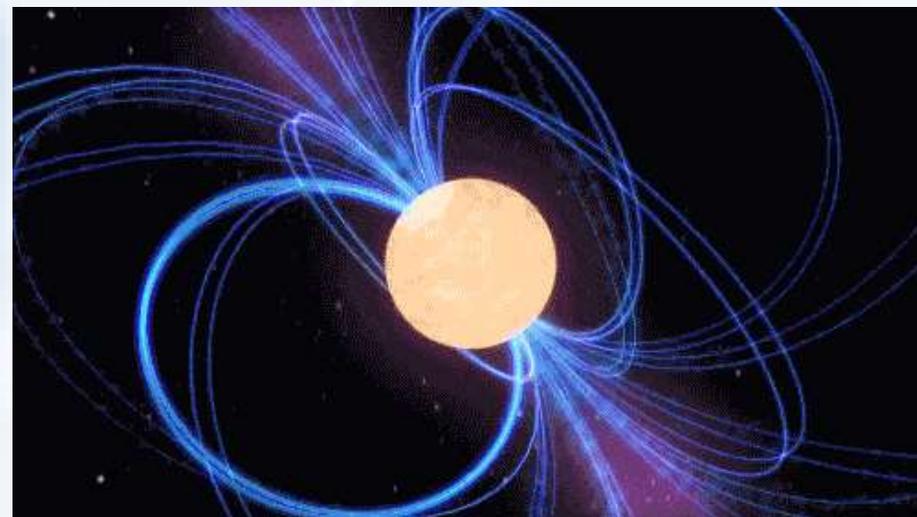
- **X射线辐射区**：致密星吸积来自伴星物质。在吸积过程中，释放的引力能是非常巨大的，使得**致密星周围区域**成为X射线辐射区。
- **吸积盘**：由于吸积物质具有**角动量**，会在致密星周围形成一个相对较大的吸积盘，盘物质通过向外转移角动量而最终落向致密星
- **中心致密天体**：
 - 黑洞X射线双星
 - 中子星X射线双星





1.6 中子星

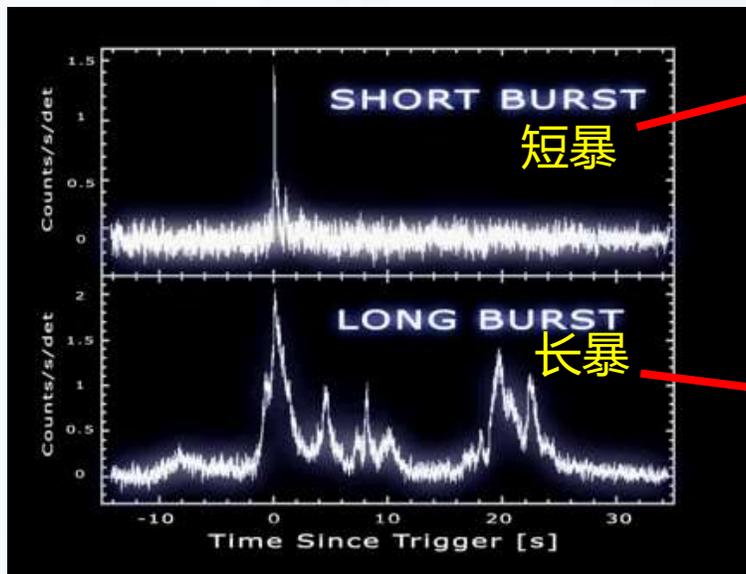
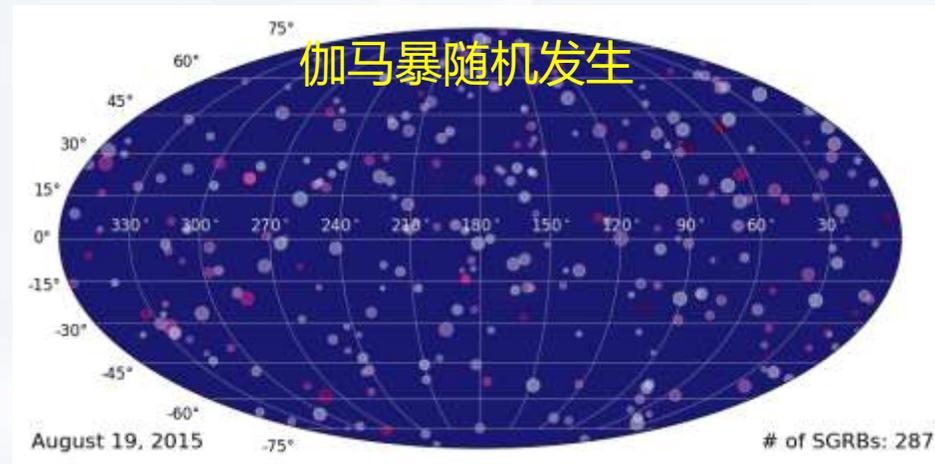
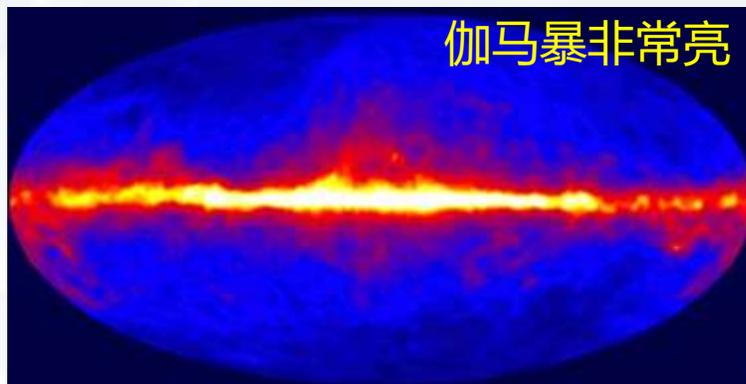
- 质量 $\sim 1-3 M_{\odot}$ ，半径 ~ 10 km，磁场 $\sim 10^9-10^{13}$ 高斯
- 中子星X射线双星：**吸积供能**，天蝎座X-1
- 孤立中子星：**旋转供能**，Crab
- 磁星：**磁能**，SGR J1935+2154



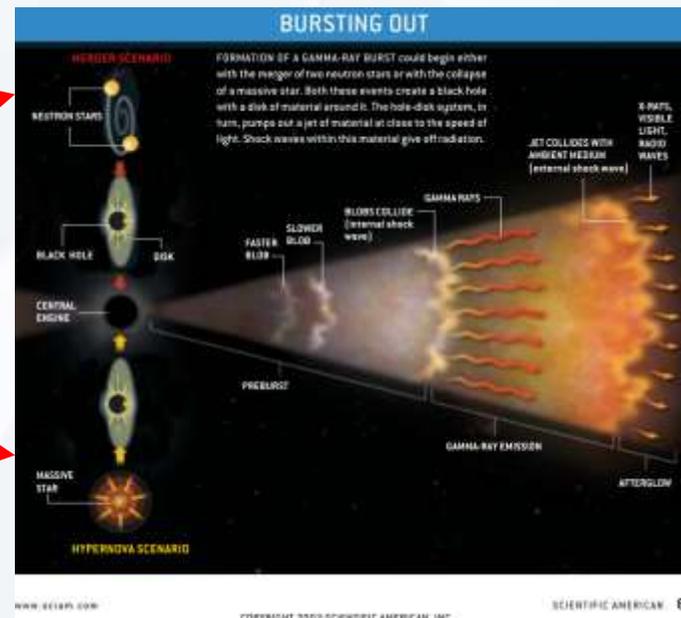


1.7 伽马射线暴

- 剧烈暴发现象
- 暴发位置随机
- 持续时间 (2秒分界线)
- 物理起源
- 多波段观测
 - 前兆辐射
 - 瞬时辐射
 - 余辉



伽马暴光变曲线



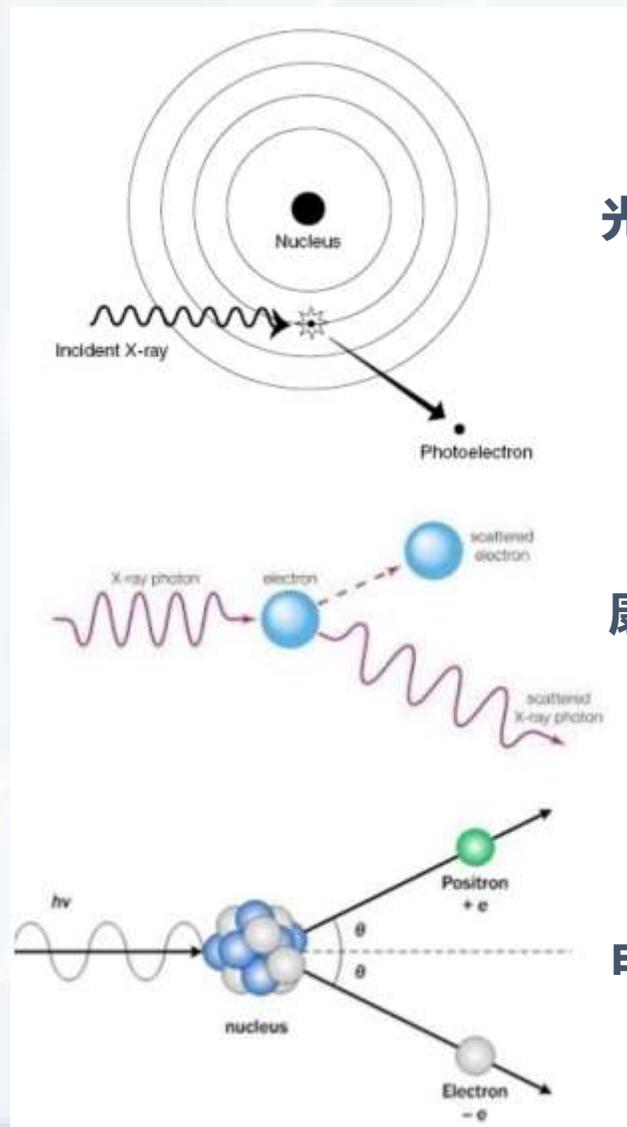
物理起源



1.8 X射线探测

光电效应	康普顿散射	电子对效应
与原子作用，激发内层电子。光子消失	与外层电子发生非弹性碰撞，光子背散射，产生反冲电子	与核发生作用，光子消失，产生电子和正电子
$\sigma_{ph} \propto Z^5$	$\sigma_c \propto Z$	$\sigma_p \propto Z^2$

- 基于上述高能光子与物质相互作用，对入射光子时间、能量、位置、偏振等性质进行测量。
- X射线光学：
 - 准直器
 - 编码板
 - Wolter光学
- X射线探测器：
 - 正比计数器
 - 闪烁探测器
 - MCP探测器
 - Si半导体探测器
 - 量能器
- 相互促进，共同发展



光电效应

康普顿散射

电子对效应

01

高能天体物理简介

02

慧眼卫星的在轨运行

03

高能天文数据产品及分析

04

慧眼亮点成果介绍

05

总结

提纲

OUTLINE

A satellite with solar panels is shown in orbit above the Earth's horizon. The background is a deep blue space filled with stars. The satellite is positioned in the lower right quadrant of the image, with its solar panels extended. The Earth's horizon is visible at the bottom, showing a thin layer of atmosphere and the dark surface of the planet.



2.1 慧眼卫星(Insight-HXMT)简介



慧眼：我国第一颗空间X射线望远镜



2017年6月15日在酒泉发射

面向基础科学前沿

01

研究
黑洞、中子星
等**高能天体**

02

覆盖
1-250keV宽
谱段X射线观测

三类望远镜

**高能
望远镜HE**

**中能
望远镜ME**

**低能
望远镜LE**



发展历程

1993年

项目提出
原创算法

2011年

工程立项

2017年

6月15日
发射入轨

2021年

圆满成功
4年

2024年

延寿运行
7年



2.2 慧眼卫星(Insight-HXMT)在轨运行概况

卫星 在轨运行7年



轨道高度 ~525 km

轨道倾角 43°

卫星重量 ~2500 kg

设计寿命 4年

太阳避免角 70°

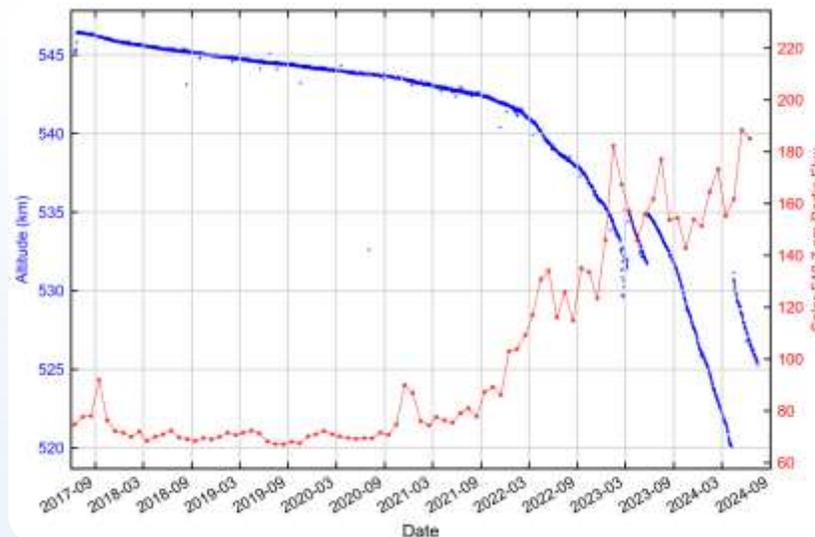
轨道周期 90分钟

轨道控制 2023年3月 | 2023年5月 | 2024年4月

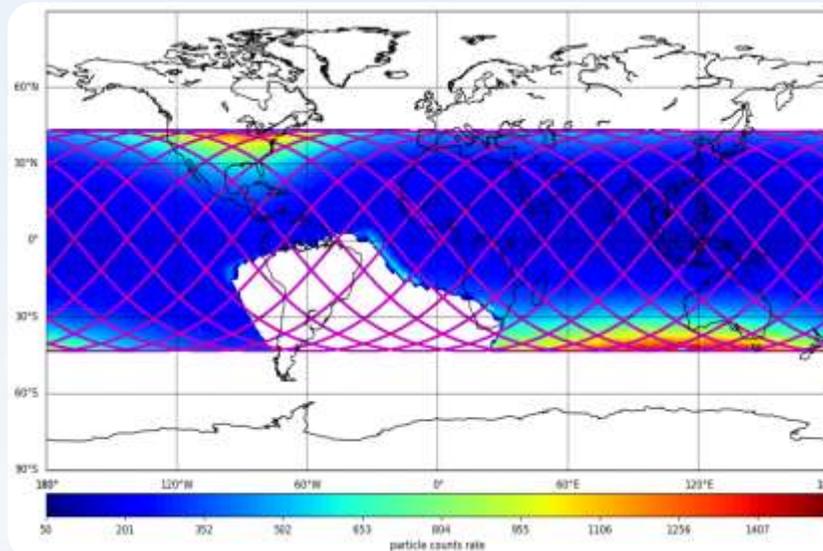
延寿运行 2021年4月 (一期) | 2023年4月 (二期)

观测模式 定点观测 | 扫描 | 伽玛暴

2024年轨控耗费燃料~5kg, 现剩余~150kg



轨道高度



轨道倾角



2.2 慧眼卫星及望远镜

低能望远镜(LE):

SCD, 1-10 keV, 384 cm²

中能望远镜(ME):

Si-PIN, 8-35 keV, 952 cm²

高能望远镜(HE, 正常模式):

NaI, 28-250 keV, ~5000 cm²

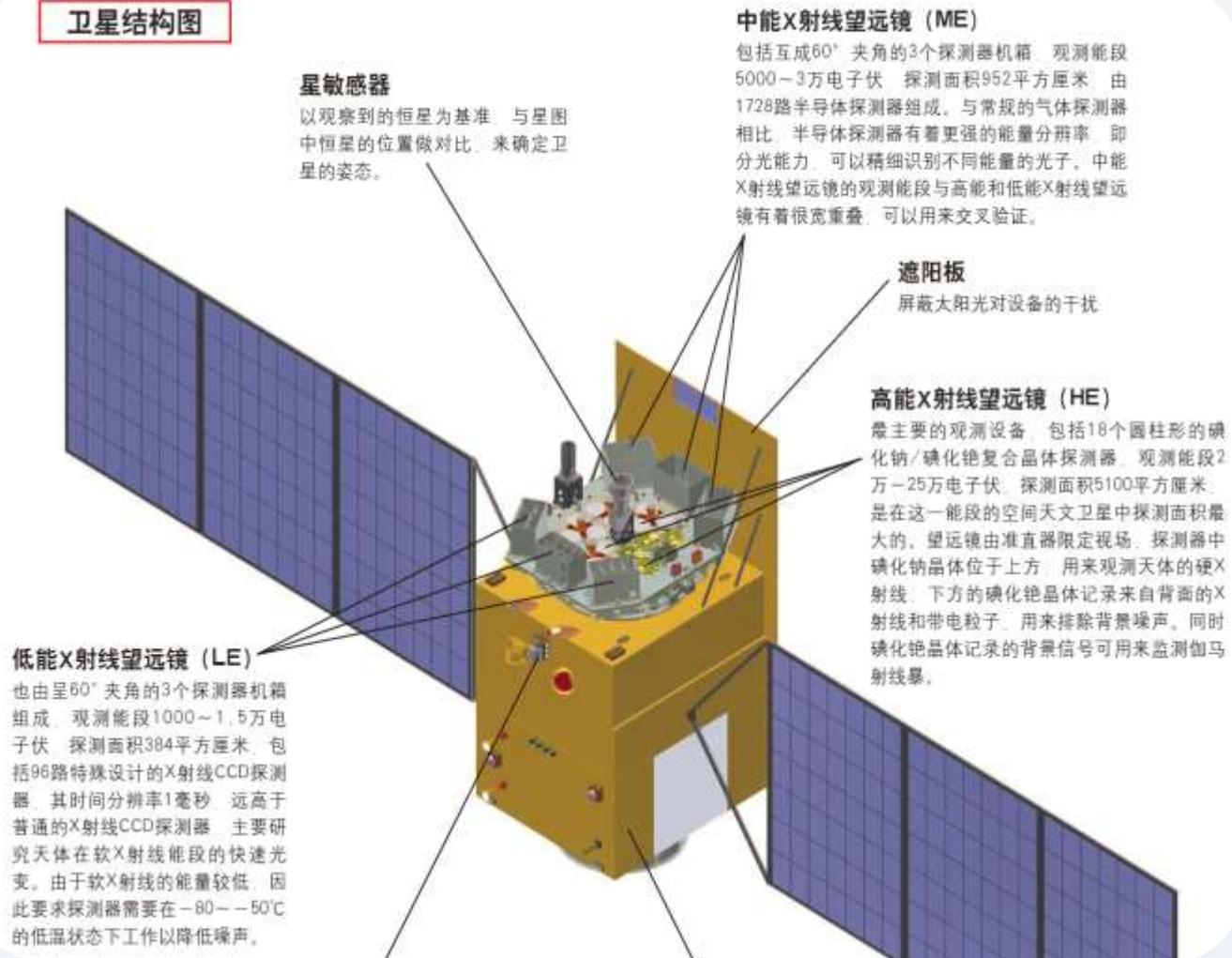
CsI, 80-700 keV, ~5000 cm²

高能望远镜(HE, 伽马暴模式):

NaI, 100-300 keV, 5000 cm²

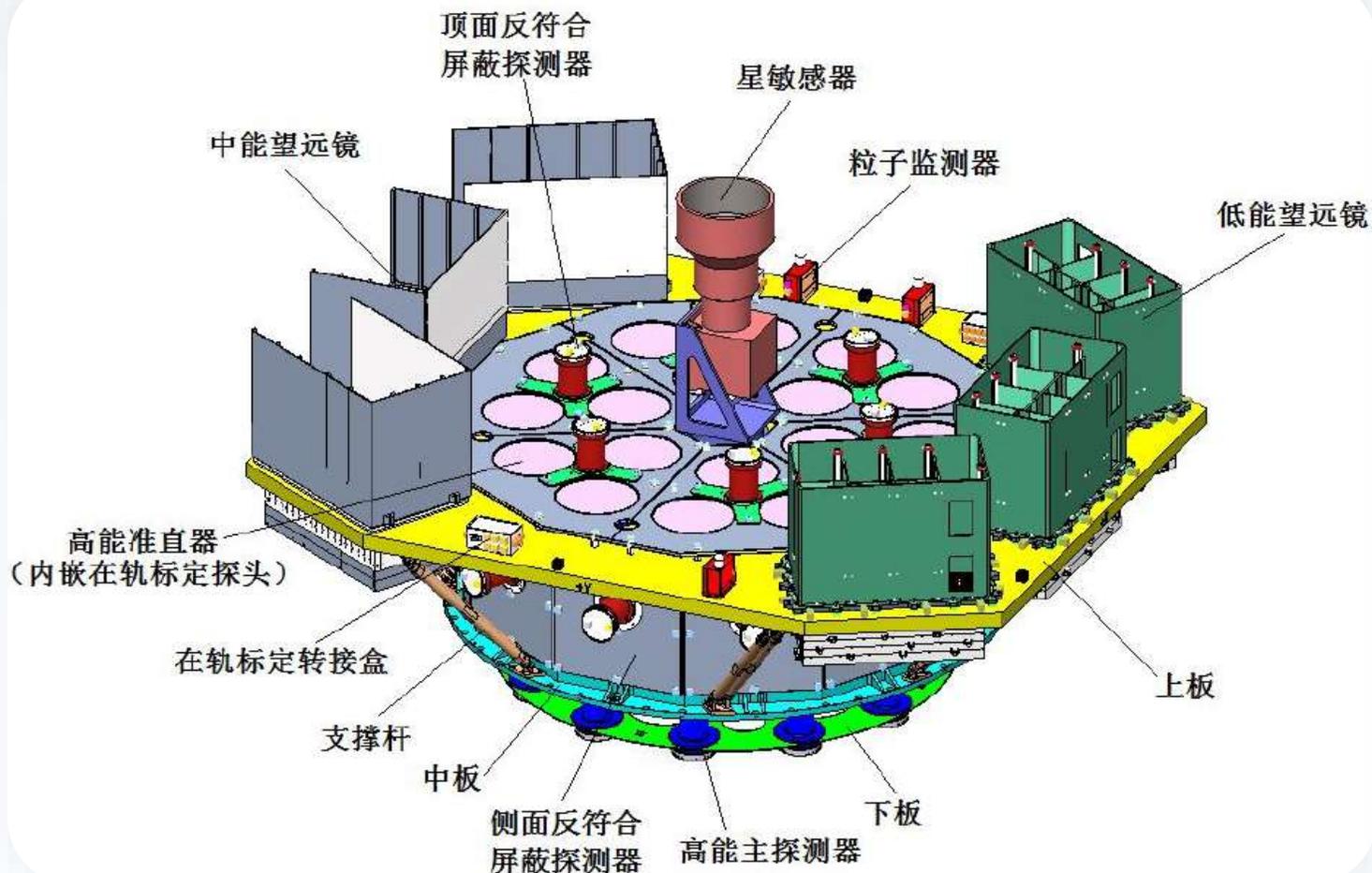
CsI, 250-3000 keV, 5000 cm²

卫星结构图





2.2 慧眼的探测器



五大综合观测优势

慧眼具备了国外众多X射线卫星在硬X射线谱段所缺乏的综合观测优势。

- 01 探测器面积大：美国RXTE的2-3倍
- 02 宽谱段：1-250keV
- 03 死时间小：无堆积效应
- 04 高时间分辨率：6 μ s，快速光变
- 05 可大视场监测：伽马暴发现率全球第二



2.2 慧眼望远镜在轨运行概况

三个望远镜



在轨温度 满足设计指标

时间系统 工作正常

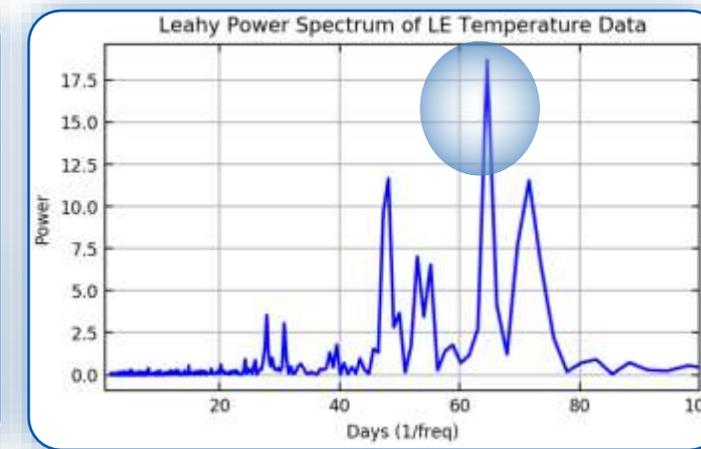
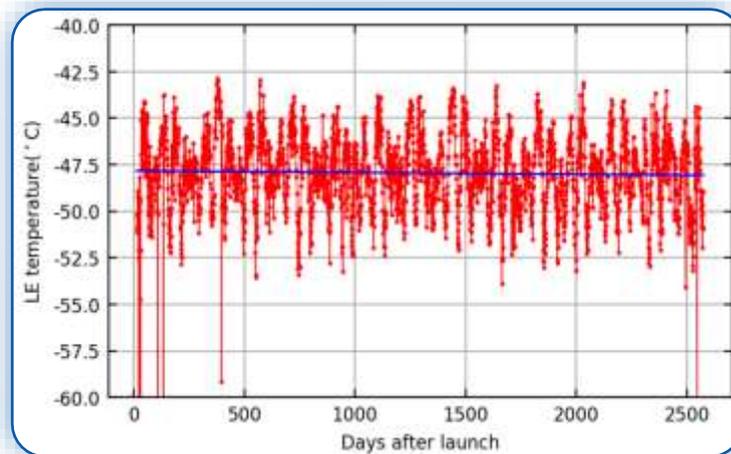
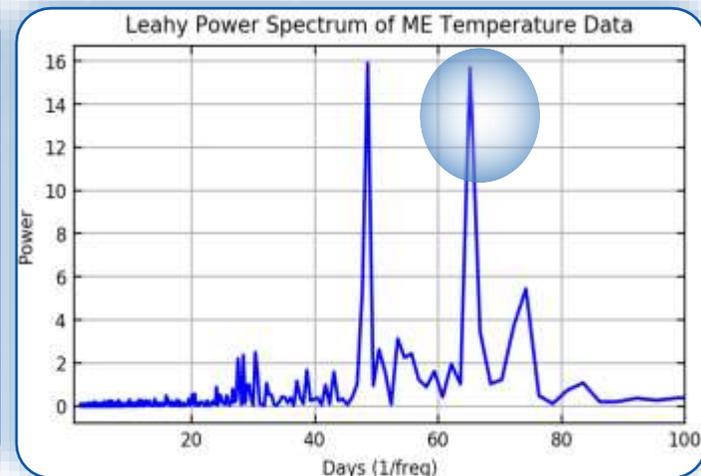
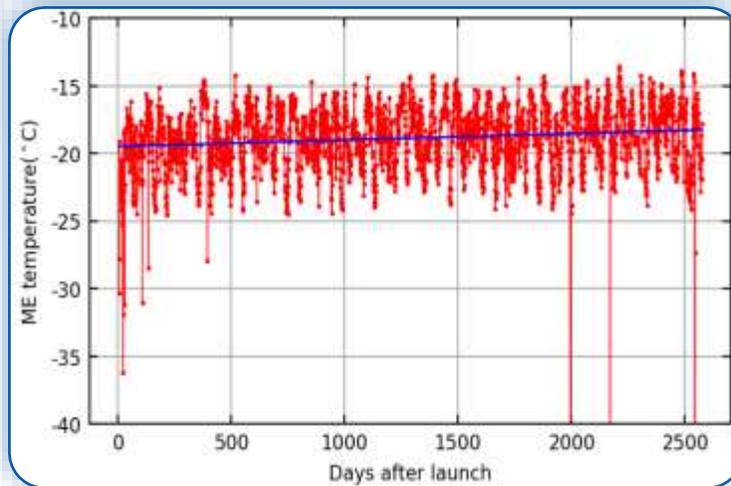
高能载荷 **18**个工作正常

中能载荷 关闭像素**298**个 (17%)

低能载荷 关闭CCD**8**个 (8%)

满足科学观测需求

中低能望远镜温度：~ 65天周期，与卫星轨道进动周期相同



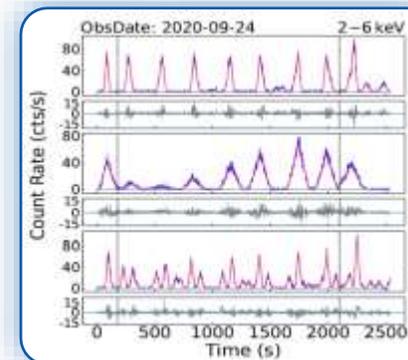
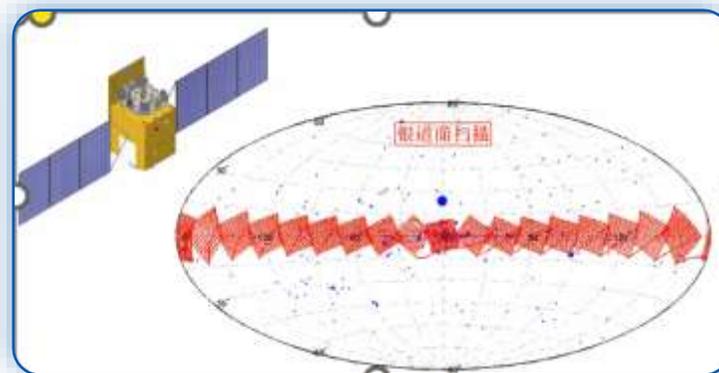


2.3 慧眼主要科学目标

1.

银道面扫描

宽能段(1-250 keV) 监测已知天体源的变化和发现新源。



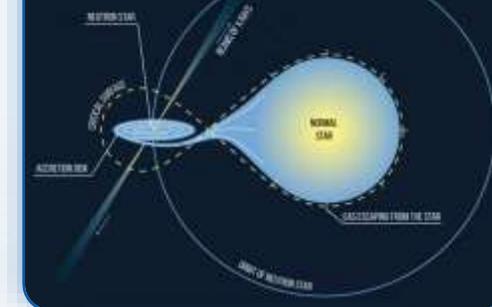
2.

定点观测

高频次和高统计量的观测X射线双星，以研究黑洞和中子星的活动和演化机制。



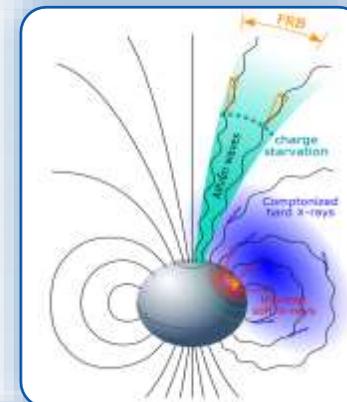
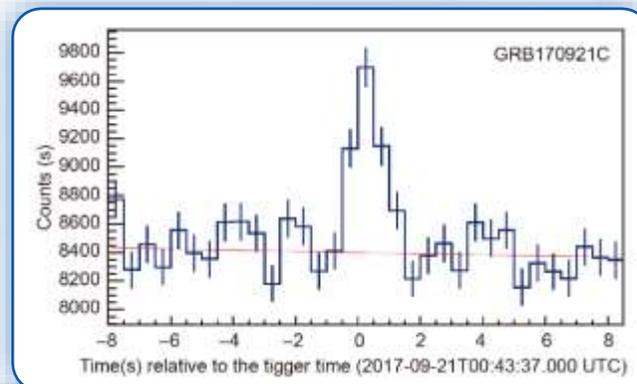
中子星X射线双星



3.

高能爆发

伽玛暴，与GW, FRB, HEN相关的高能暴，磁星X射线暴等





2.4 慧眼科学应用系统

“慧眼”作为一个面向国际天文届的开放观测平台：

全面支持
多目标、
多模式、
多约束的
观测需求

有力保障科学产出！

- ① 征集年度**观测提案**，组织观测提案技术和科学评估，制定年度观测计划；
- ② 开展慧眼卫星的**观测计划制定**、有效载荷性能及工作状态**监测**；
- ③ 高级数据产品的**生成**，**归档**，并**发布**已过保护期的科学数据；
- ④ 用户数据分析软件的**升级和维护**；
- ⑤ 继续开展科学数据**标定和本底**模型工作，并适时更新标定数据库及相关的标定和本底算法；
- ⑥ 开展科学用户**支持服务**，提供数据、软件、提案等方面的用户支持和相关**培训**。



2.4 卫星运行和数据获取流程

慧眼数传站：
密云，喀什，三亚

(航天五院，高能所
卫星系统)



每天5轨下传：
1, 2, 4, 6, 8

Obs. Data

Commands

Telemetry
Data

指令上传： 2 Day
紧急情况： 最快40 Min
ToO指令： 3 h

正常计划： 2 Day
ToO计划： 30 Min
Plan Commands

(空间中心，
地面支撑系统)



Telemetry Data

(西安，
测控系统)



TT & C

Data

(高能所，
科学应用系统)



HSOC

Obs. Plan

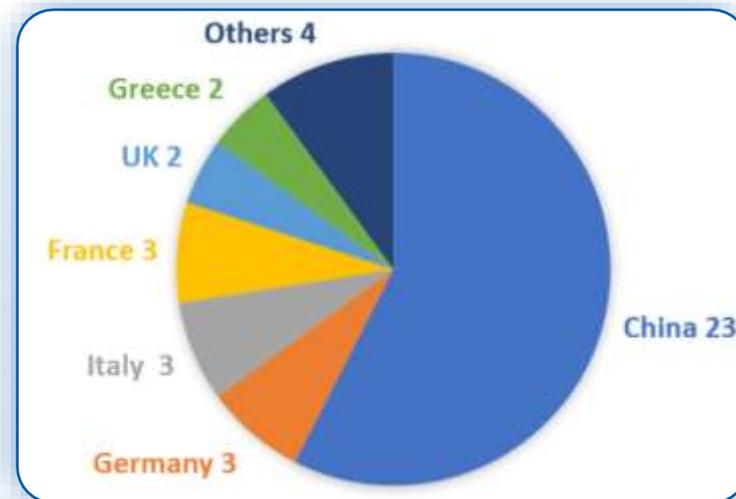
慧眼Insight-HXMT卫星运行流程



2.5 观测提案

轮次	征集时间	提案数	观测申请	观测时间	ToO
AO01	2016.8-9	90	517	2017.11-2019.06	39
AO02	2019.1-2	35	349	2019.07-2020.07	26
AO03	2020.4-5	34	329	2020.08-2021.07	16
AO04	2021.4-5	33	333	2021.08-2022.08	30
AO05	2022.4-5	43	339	2022.09-2023.08	30
AO06	2023.4-6	50	337	2023.09-2024.08	/
AO07	2024.4-6	49	330	2024.09-2025.08	/

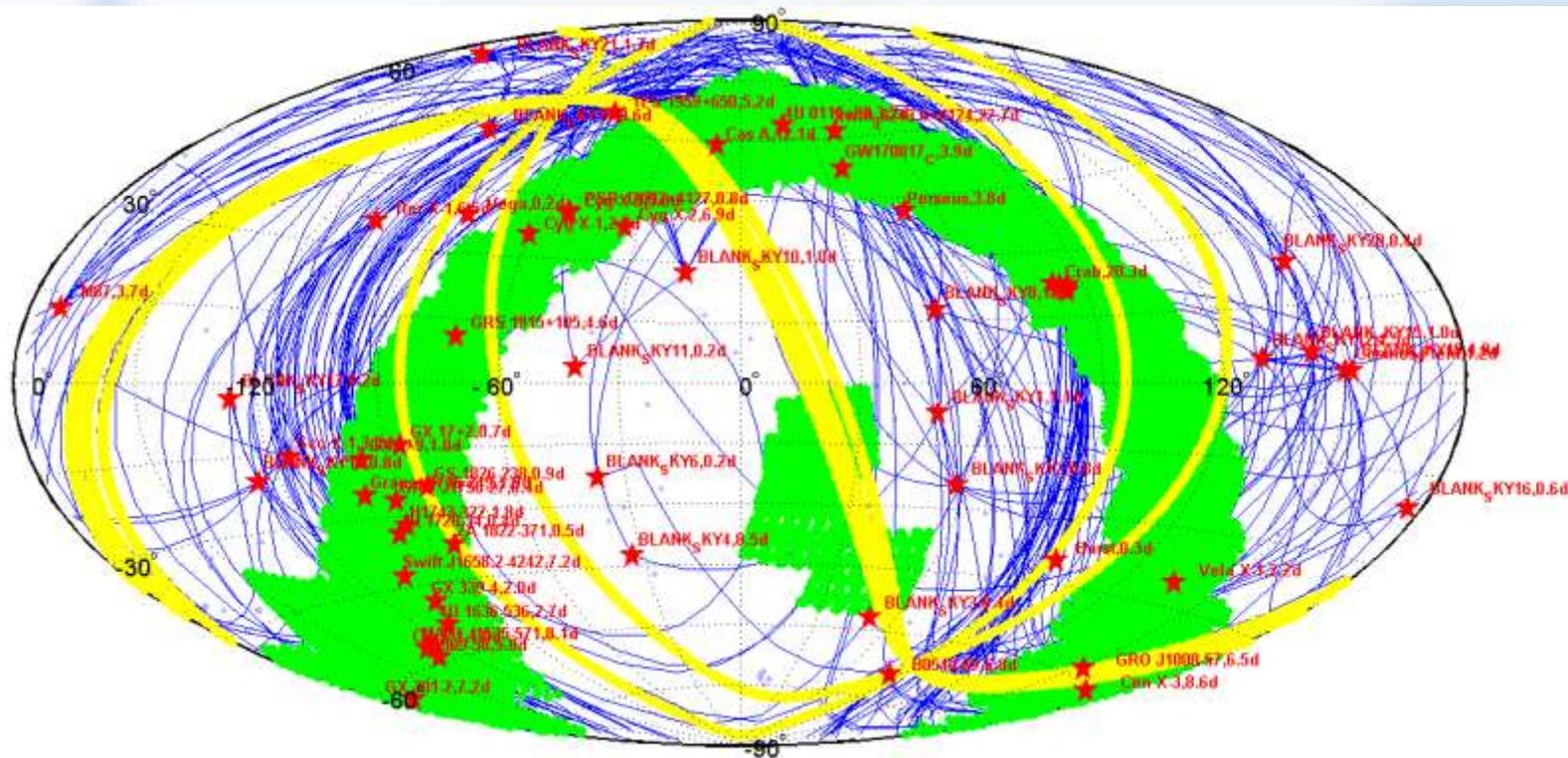
http://proposal.ihep.ac.cn;
ToO proposals are always open.



AO proposals from 40 institutions



2.6 观测计划



Red stars:

Green regions:

Blue lines:

Yellow belts:

定点观测

小天区扫描

卫星slew

全天巡天

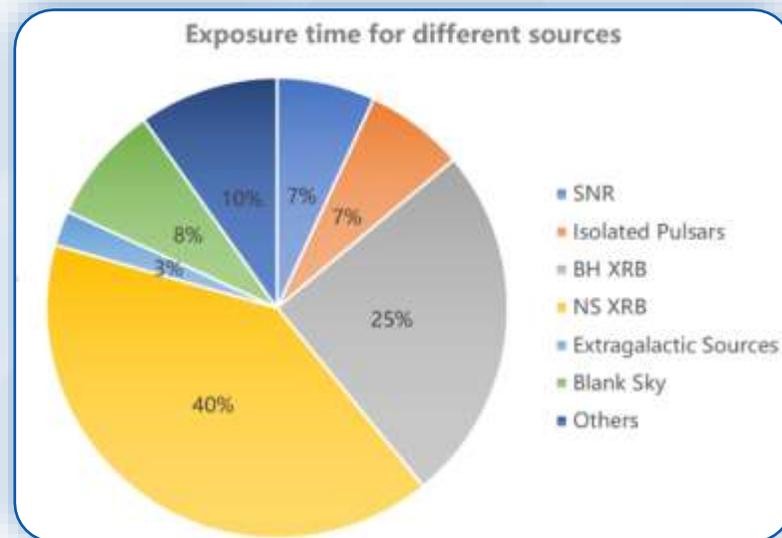


短期计划:

<http://www.hxmtcn.ihep.ac.cn/shortPlan.jhtml>

长期计划:

<http://www.hxmtcn.ihep.ac.cn/LongPlan.jhtml>





2.6 观测源统计



截至2024年6月30日已安排观测源统计



观测类型	源类型	源数目	观测次数	曝光时间 (ks)
定点观测	超新星遗迹	2	88	6720
	孤立脉冲星	7	201	6040
	黑洞X射线双星	20	1234	23370
	中子星X射线双星	60	1748	38980
	河外天体	22	147	1850
	空天区	21	748	7750
	其他	35	311	9505
小天区扫描	Crab天区	1	141	3410
	Vela天区	1	3	70
	Cygnus天区	1	2	50
	银道面扫描	89	3654	20380
	LEIA联合观测	18	172	1160
	EP联合观测	13	61	350



2.7 数据产品

Data

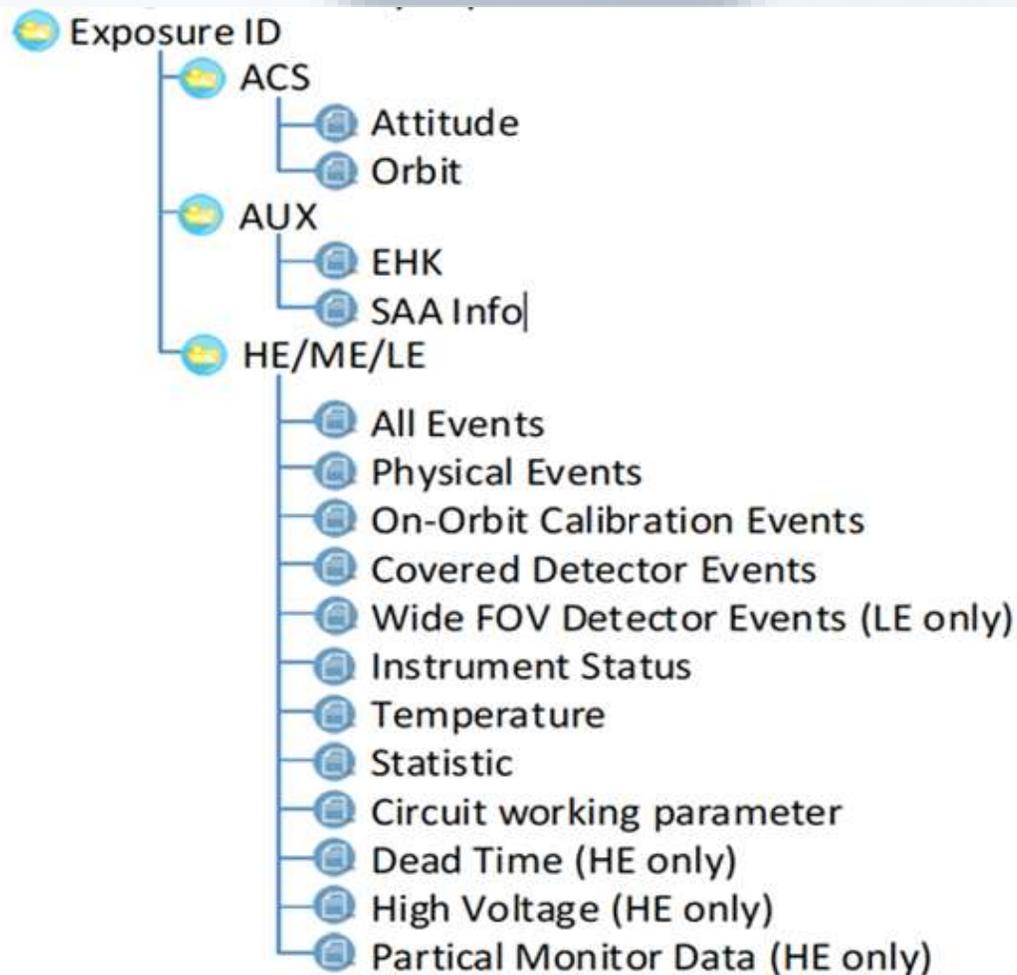
Level 1: 发布给科学用户

- 数据格式: FITS
- 数据发布: **定点观测 1L 数据产品**
- 下载: <http://archive.hxmt.cn/proposal>

数据保护期

年度常规提案 (核心/客座)	365天
提前批准ToO提案	90天
临时ToO提案	0天

Level 1 数据产品目录



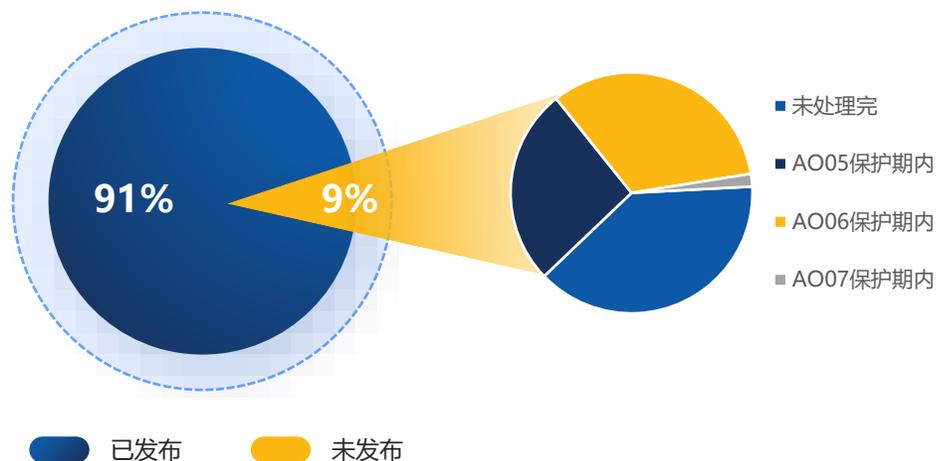
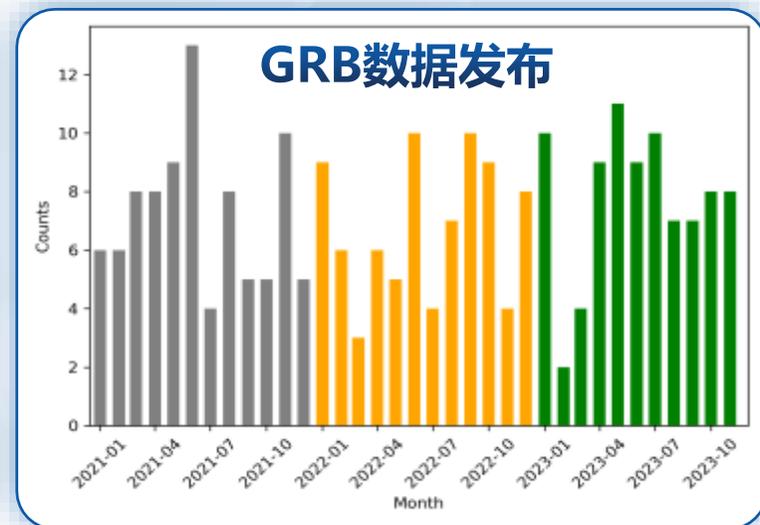


2.8 慧眼数据产品的生产，归档和发布

完成12个批次的数据发布

数据公开率 **91%**

批次	开放时间	观测号数量	文件大小(TB)	保护期
10	2023.04.07	237	1.4	2022年12月31日
11	2023.08.21	242	1.5	2023年6月30日
12	2024.02.29	522	3.6	2023年12月31日



开放共享情况





2.9 用户数据分析软件HXMTSOFT

软件

- **HXMTSOFT:** FTOOLS style
- **Input:** Level 1 data product & CALDB
- **Output:** Response files, background files, event files, spectra, light-curves

数据处理过程

- **标定:** 逐事例标定每个事例的PI
- **过滤:** 通过GTI和其他参数过滤部分标定后的事例
- **提取:** 能谱, 本底谱, 响应矩阵, 光变曲线

2017.07

hxmtsoftv1
CALDBv1

2017.12

hxmtsoftv2
CALDBv2

2018.12

hxmtsoftv2.00
CALDBv2.00

2019.06

hxmtsoftv2.01
CALDBv2.01

2019.12

hxmtsoftv2.02
CALDBv2.02

2020.05

hxmtsoftv2.03
CALDBv2.03

2020.10

CALDBv2.04

2020.11

hxmtsoftv2.04

2021.03

CALDBv2.05

2022.02

hxmtsoftV2.05
CALDBv2.06

2023.10

CALDBv2.07

2023.12

hxmtsoftV2.06

2017

2018

2019

2020

2021

2022

2023



2.10 标定

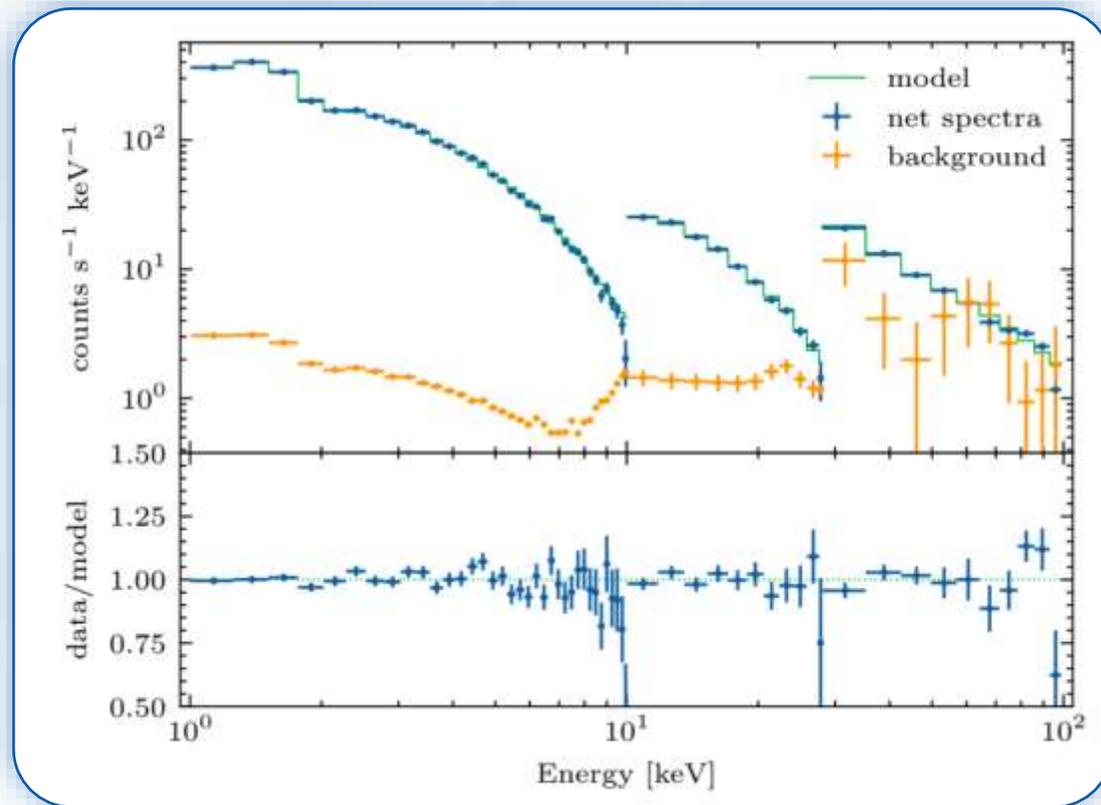
计数率比较

载荷	Crab (cts/s) (source + b.k)	Background (cts/s)
HE (28-250 keV)	540+530	530 (~1Crab)
ME (10-35 keV)	200+20	20 (~0.1Crab)
LE (1-10 keV)	760+10	10 (~0.01Crab)

作为 **准直型望远镜**, HXMT本底高:



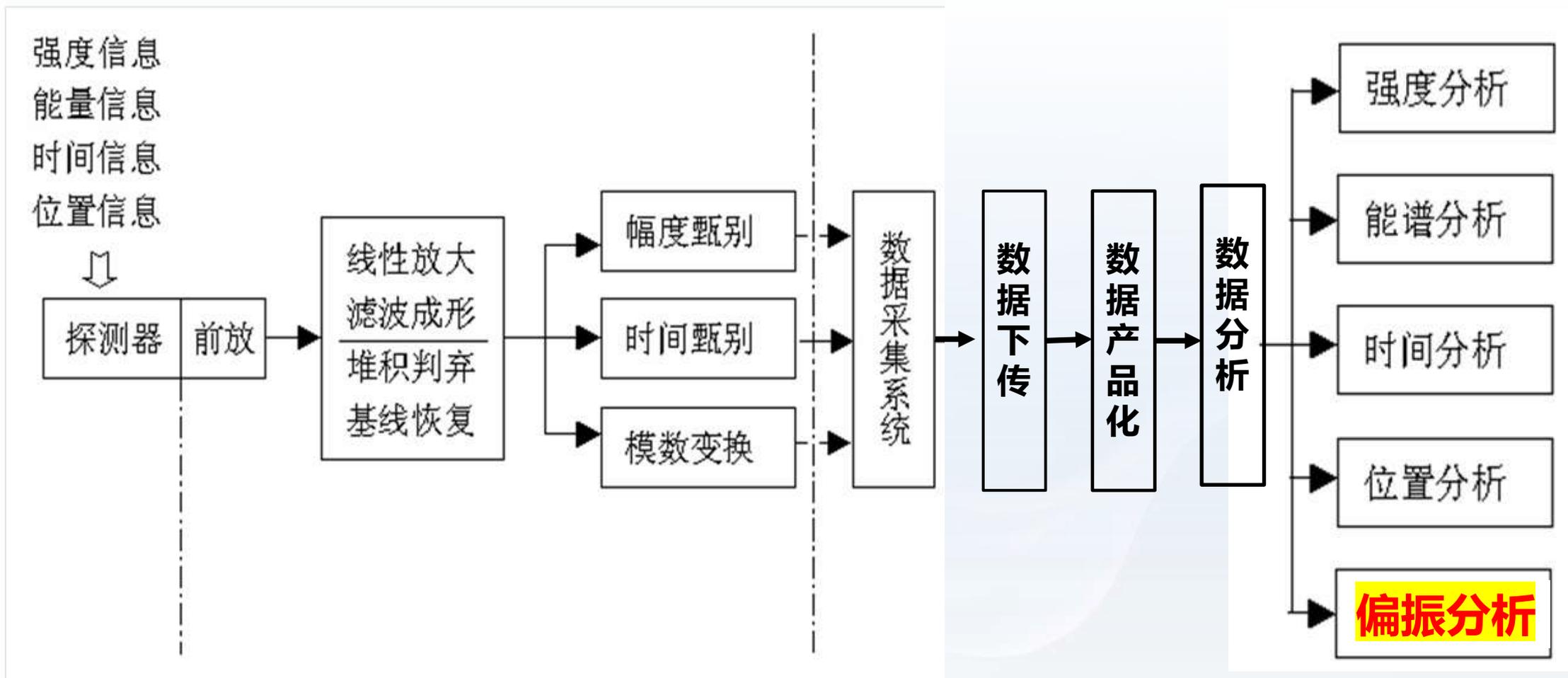
HXMT 观测到的Crab能谱



Li et al. 2023, RDTM
 Li et al. 2020, JHEAp
 Liao et al. 2020, JHEAp



3.1 探测数据产品化处理



- X射线偏振探测是一个新的窗口，影响因素很多，主要区别是需要处理作用过程信息。



3.1 数据处理与产品化

- **原始数据产品**：经地面站接收、解调、帧同步、解码后生成的由卫星原始数据传输帧组成的数据文件。根据卫星下行信道不同，分为数传原始数据和遥测原始数据两类（**测控系统、地面接收系统提供**）；
- **编辑级数据产品**：对卫星下行数据经虚拟信道分离、解源包、验证排序、APID拼接、去重复、去误码、原始记录提取、时间处理、能道处理、物理量转换等处理后，按轨或固定时间间隔组织数据，包含科学数据和工程数据（**地面支撑系统提供**）；
- **标定级科学数据产品**：对编辑级数据产品进行坐标定位、去本底、拟合等处理后生成的科学数据产品，不同载荷根据其数据处理程度可分为多个具体级别（**科学应用系统提供**）。



3.1 探测数据产品分类

- **探测数据**：探测器数据采集系统记录和输出的数据，包括记录下的入射信号的属性以及探测器、电子学的噪声。
- **工程数据**：记录的探测器、电子学的工作参数和工作环境等参数，如探测器指向、卫星平台姿态、电压、电流、温度、基线等数据。
- **辅助数据**：不直接和探测过程相关但数据分析过程需要使用的数据，如卫星平台的轨道参数、星敏感器工作状态、星历闰秒等数据，这些数据在确定源入射方向、时间转换以及时变分析过程中会用到的。
- **标定数据**：描述探测器工作状态继而得到性能参数所必需的数据，包括地面标定的探测响应模型、工作参数和算法，或者是直接描述探测器在观测时刻所对应的性能参数的数据。



3.2 慧眼1L数据产品的目录结构

Proposal ID	Observation ID	Exposure ID
P0111516	P0111516001	ACS
	P0111516002	AUX
	P0111516004	ExpoList.XML
	P0111516005	FileList.FITS
	P0111516006	P011151600101-20170731-01-01
	P0111516007	P011151600102-20170731-01-01
	P0111516008	P011151600103-20170731-01-01
		P011151600104-20170731-01-01
		P011151600105-20170731-01-01
		P011151600106-20170731-01-01
		P011151600107-20170801-02-01
		P011151600108-20170801-02-01
		P011151600109-20170801-02-01
		P011151600110-20170801-02-01
		P011151600111-20170801-02-01
	P011151600112-20170801-02-01	
	P011151600113-20170801-02-01	
	P011151600114-20170801-02-01	
	P011151600115-20170802-03-01	

ACS
AUX
HE
LE
ME

Events files.....

```
-- ACS
|-- HXMT_P011151600101_Att_FFFFFFFF_V1_L1P.FITS
|-- HXMT_P011151600101_Orbit_FFFFFFFF_V1_L1P.FITS
-- AUX
|-- HXMT_P011151600101_EHK_FFFFFFFF_V1_L1P.FITS
-- HE
|-- HXMT_P011151600101_HE-Cnts_FFFFFFFF_V1_L1P.FITS
|-- HXMT_P011151600101_HE-DTime_FFFFFFFF_V1_L1P.FITS
|-- HXMT_P011151600101_HE-Evt_FFFFFFFF_V1_L1P.FITS
|-- HXMT_P011151600101_HE-HV_FFFFFFFF_V1_L1P.FITS
|-- HXMT_P011151600101_HE-InsStat_FFFFFFFF_V1_L1P.FITS
|-- HXMT_P011151600101_HE-PM_FFFFFFFF_V1_L1P.FITS
|-- HXMT_P011151600101_HE-RadEvt_FFFFFFFF_V1_L1P.FITS
|-- HXMT_P011151600101_HE-ShltEvt_FFFFFFFF_V1_L1P.FITS
|-- HXMT_P011151600101_HE-TH_FFFFFFFF_V1_L1P.FITS
-- LE
|-- HXMT_P011151600101_LE-CirPara_FFFFFFFF_V1_L1P.FITS
|-- HXMT_P011151600101_LE-Cnts_FFFFFFFF_V1_L1P.FITS
|-- HXMT_P011151600101_LE-Evt_FFFFFFFF_V1_L1P.FITS
|-- HXMT_P011151600101_LE-ForceEvt_FFFFFFFF_V1_L1P.FITS
|-- HXMT_P011151600101_LE-InsStat_FFFFFFFF_V1_L1P.FITS
|-- HXMT_P011151600101_LE-RadEvt_FFFFFFFF_V1_L1P.FITS
|-- HXMT_P011151600101_LE-ShltEvt_FFFFFFFF_V1_L1P.FITS
|-- HXMT_P011151600101_LE-TH_FFFFFFFF_V1_L1P.FITS
|-- HXMT_P011151600101_LE-WFOVEvt_FFFFFFFF_V1_L1P.FITS
-- ME
|-- HXMT_P011151600101_ME-CirPara_FFFFFFFF_V1_L1P.FITS
|-- HXMT_P011151600101_ME-Cnts_FFFFFFFF_V1_L1P.FITS
|-- HXMT_P011151600101_ME-Evt_FFFFFFFF_V1_L1P.FITS
|-- HXMT_P011151600101_ME-InsStat_FFFFFFFF_V1_L1P.FITS
|-- HXMT_P011151600101_ME-RadEvt_FFFFFFFF_V1_L1P.FITS
|-- HXMT_P011151600101_ME-ShltEvt_FFFFFFFF_V1_L1P.FITS
|-- HXMT_P011151600101_ME-TH_FFFFFFFF_V1_L1P.FITS
```



3.3 慧眼1L数据产品下载

Hard X-ray Modulation Telescope
硬X射线调制望远镜
China's Best X-ray Astronomy Satellite

HXMT Proposal GRB <http://archive.hxmt.cn/proposal> 语言 Sign In

Target: SWIFT_J0243.6+6124 Radius: 1

Obs.Start: Obs.End: Only Public Data

Proposal Type: Obs Mode: More Search Conditions Clear Search

Obs ID	Type	Obs Mode	Target	Ra	Dec	Data Start(UTC)	Data Start(TT)	Data Stop(UTC)	Data Stop(TT)	Duration	Status	Open
P0114577001	T	P	SWIFT_J0243.6+6124	40.918	61.4341	2017-10-07T00:27:00	181960023	2017-10-09T00:19:18	182132361	172338	A	1
P0114577002	T	P	SWIFT_J0243.6+6124	40.918	61.4341	2017-10-17T00:42:17	182824940	2017-10-17T05:37:26	182842649	17709	A	1

1L 1.5L 2L Bulk down

Browser download
Copy DownLink
Get wget command
1L 1.5L 2L Download

复制文本窗口(Copy text window)

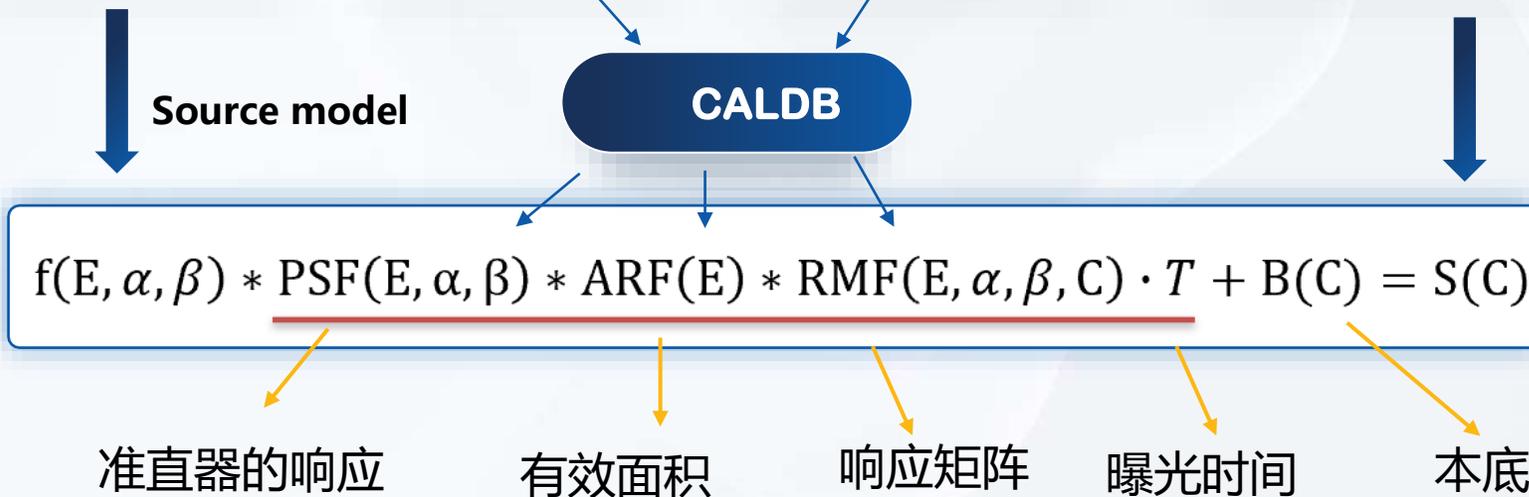
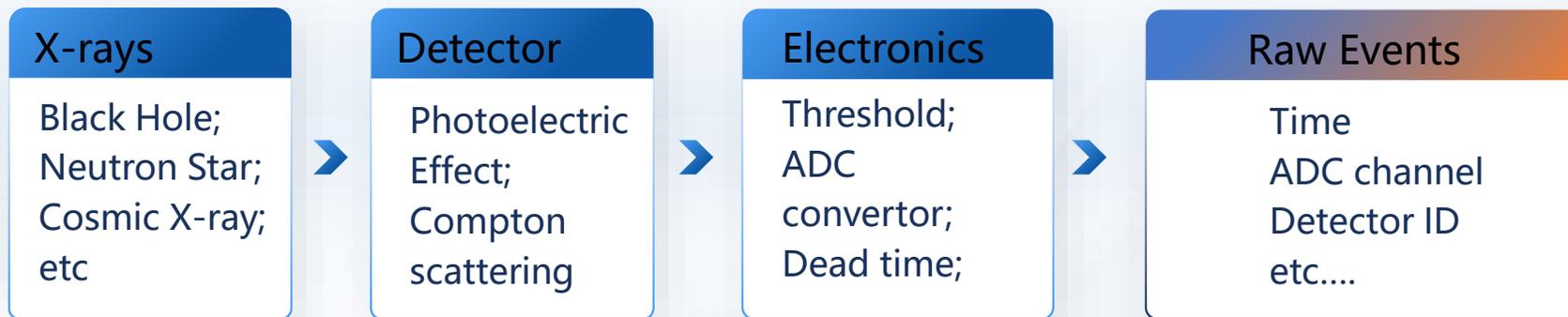
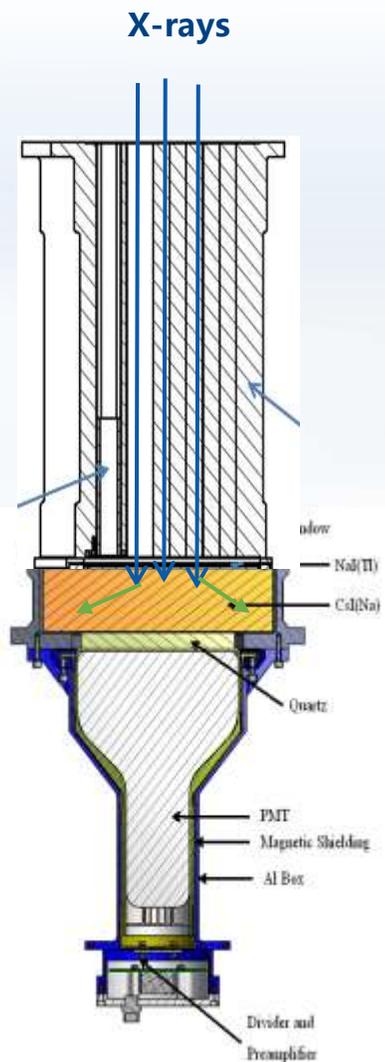
```
wget -O -c -t 0 HXMT_P0114577001_L1_Ver1_11_20201013.tar http://archive.hxmt.cn/api/downloadopen/1L/zoof5J0nD0kI3E04iE1YMXu1BA
wget -O -c -t 0 HXMT_P0114577002_L1_Ver1_11_20201013.tar http://archive.hxmt.cn/api/downloadopen/1L/ydhI4Z0sXBMI3E04iE1YMXu1Bw
```

复制到剪贴板(Copy to clipboard) 保存到本地文件(Save to local file!)

~ 5 MB/s in Europe
~ 8 MB/s in China



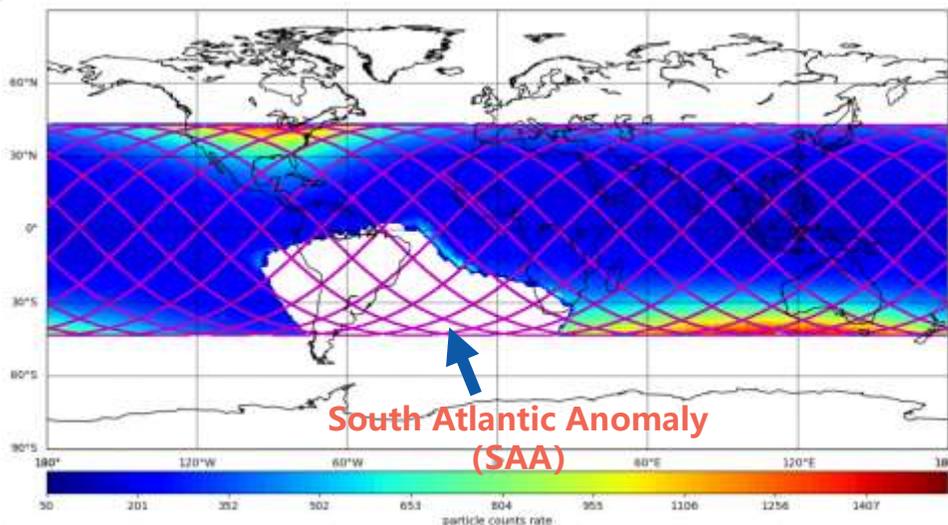
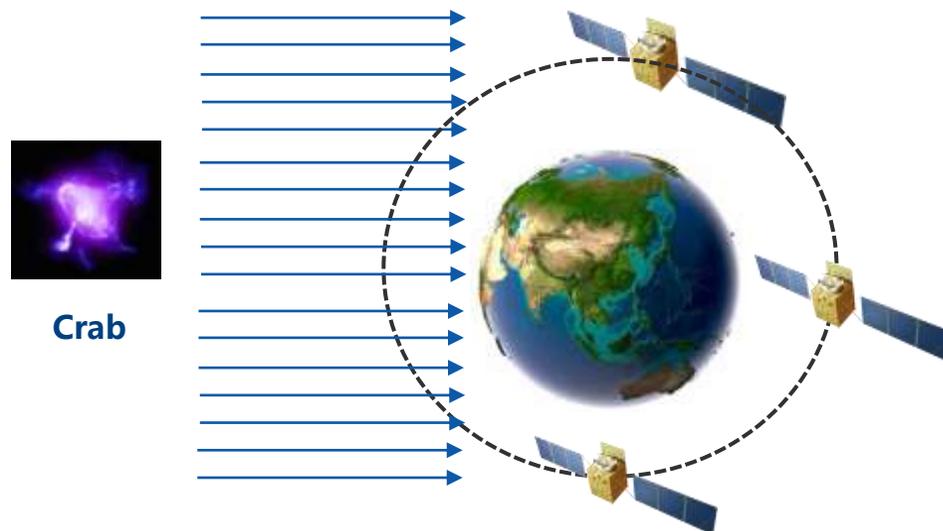
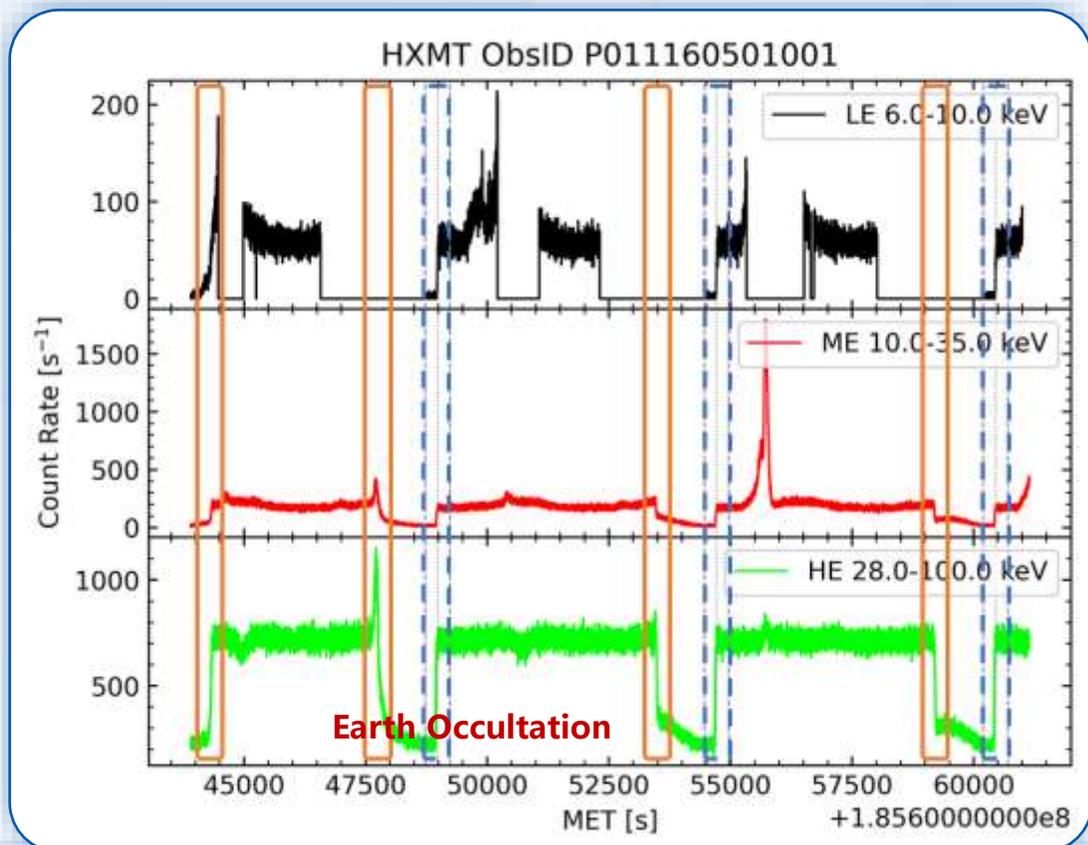
3.4 天文数据分析





3.5 数据筛选—去掉不好的时间段数据 (体现在曝光时间上)

- ① 源被地球遮挡
- ② 卫星处于南大西洋异常区SAA(South Atlantic Anomaly)
- ③ 本底变化剧烈区域
- ④ 探测器工作状态: 温度高压等不满足条件
- ⑤ 卫星: 姿态稳定度

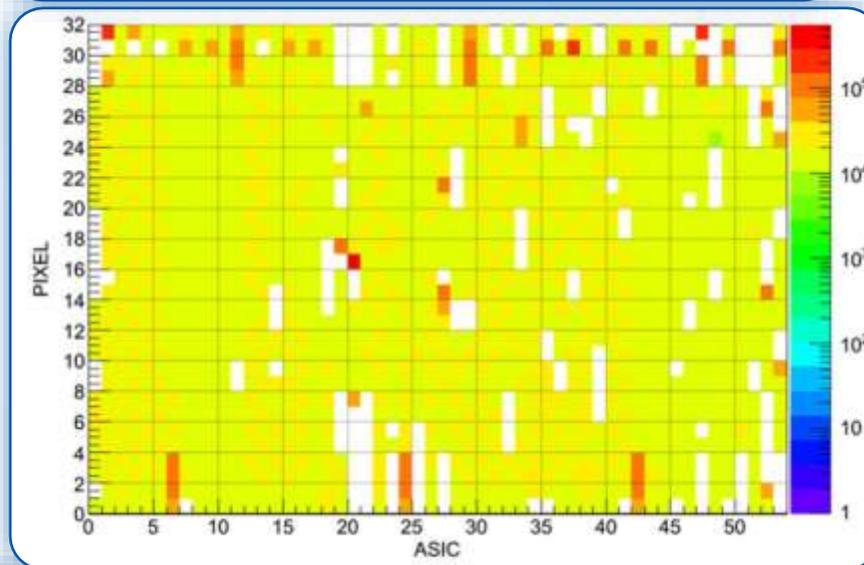
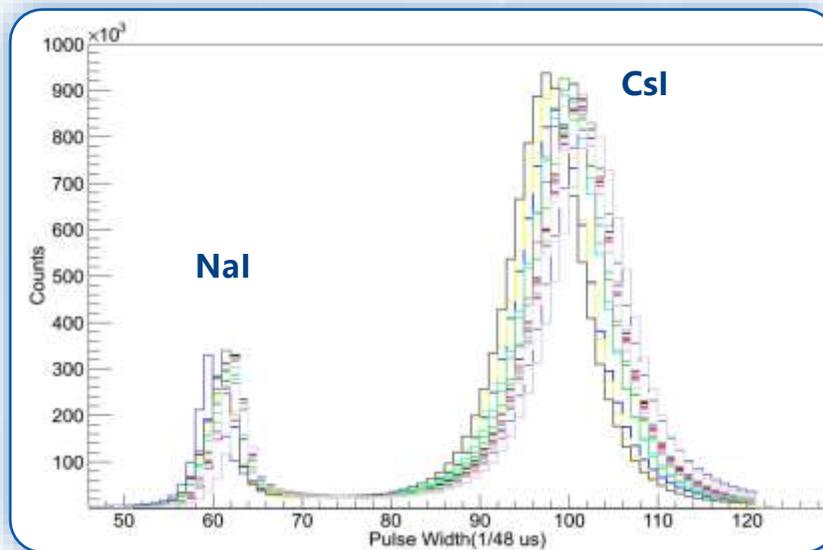




3.5 数据筛选—去掉不好的events (体现在探测效率)

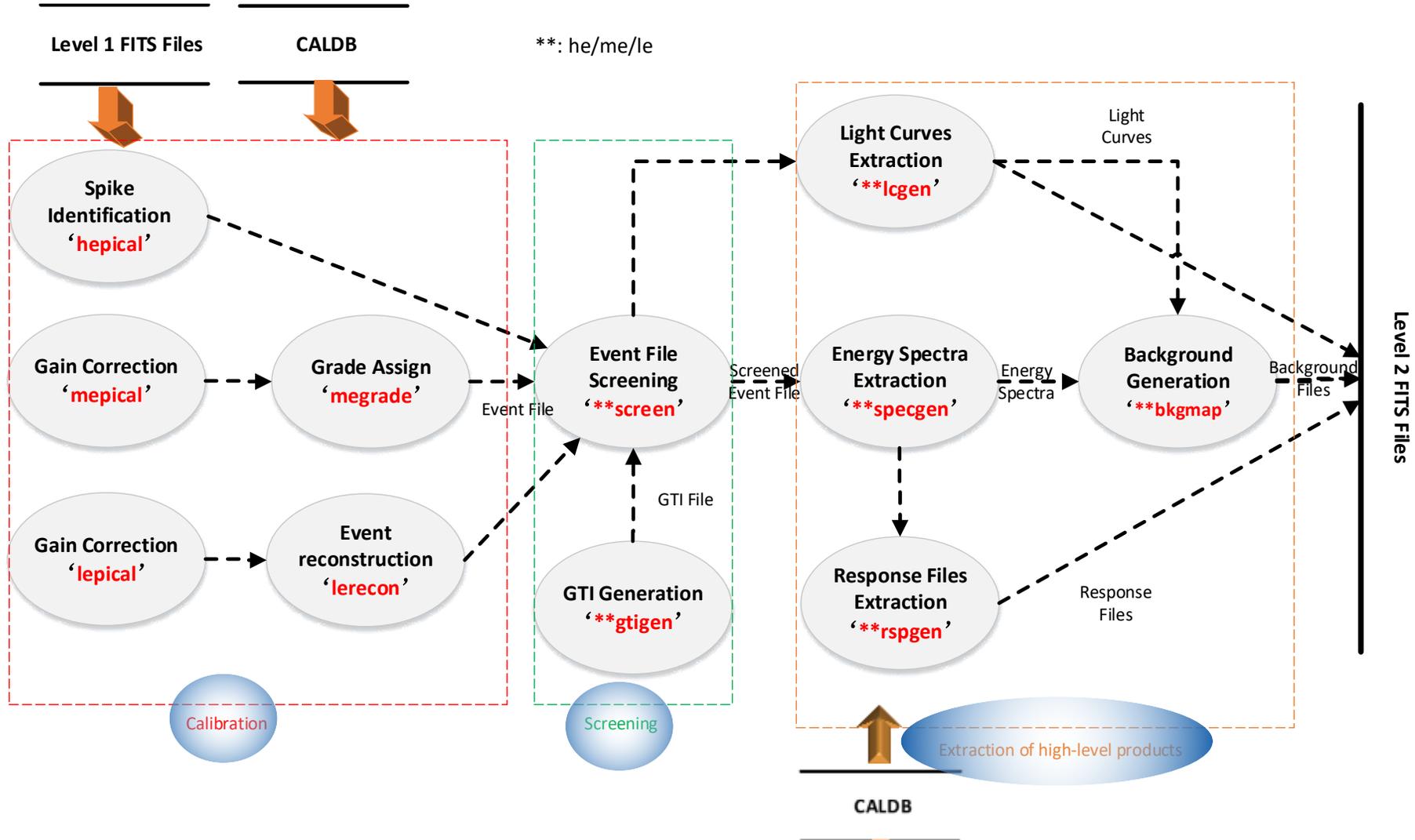
事例数据cut

- ① 反符合有信号：降低粒子本底
- ② 高能脉冲宽度选择：NaI/CsI
- ③ 中能多像素同时有信号：降低粒子本底
- ④ 低能CCD探测器的事例等级：去掉有分裂的





3.6 The HXMT Data Analysis Software (HXMTDAS)





3.6 HXMTDAS—hpipeline

```
$ hpipeline --input="P0114577001/P011457700101-20171007-01-01/" \  
--output="./out_dir" --stem=P011457700101 --hxbary --ra=40.918 --dec=61.4341 \  
--header --clean
```

- **--input:** the directory of Exposure ID (e.g. *P011457700101-20171007-01-01*)
- **--output:** output directory
- **--stem:** Stem for FITS output files
- **--hxbary:** barycentric correction flag, if used, the task executes barycentric correction, and add column "TDB" to output events file
- **--ra, --dec:** the RA, and Decl of target
- **--header:** flag to write the BACKFILE, and RESPFILE to spectrum FITS header
- **--clean:** delete the temporal files



3.7 Useful website

HXMT website: <http://hxmtcn.ihep.ac.cn>

Data access: <http://archive.hxmt.cn/proposal>

Software: <http://www.hxmt.cn/software.jhtml>

Software Manual: <http://hxmtcn.ihep.ac.cn/SoftDoc.jhtml>

HXMT docker container:

docker website: <https://hub.docker.com/r/ihepuni/hxmtsoft>

source code: https://github.com/tuoyl/hxmt_docker

Feel free to contact us if there are any question:

zhaohs@ihep.ac.cn (Haisheng ZHAO – Software developer)

gemy@ihep.ac.cn (Mingyu GE – Software developer)

tuo@astro.uni-tuebingen.de (Youli TUO – Software developer)

lixb@ihep.ac.cn (Xiaobo Li – Calibration Database and Data product)

01

高能天体物理简介

02

慧眼卫星的在轨运行

03

高能天文数据产品及分析

04

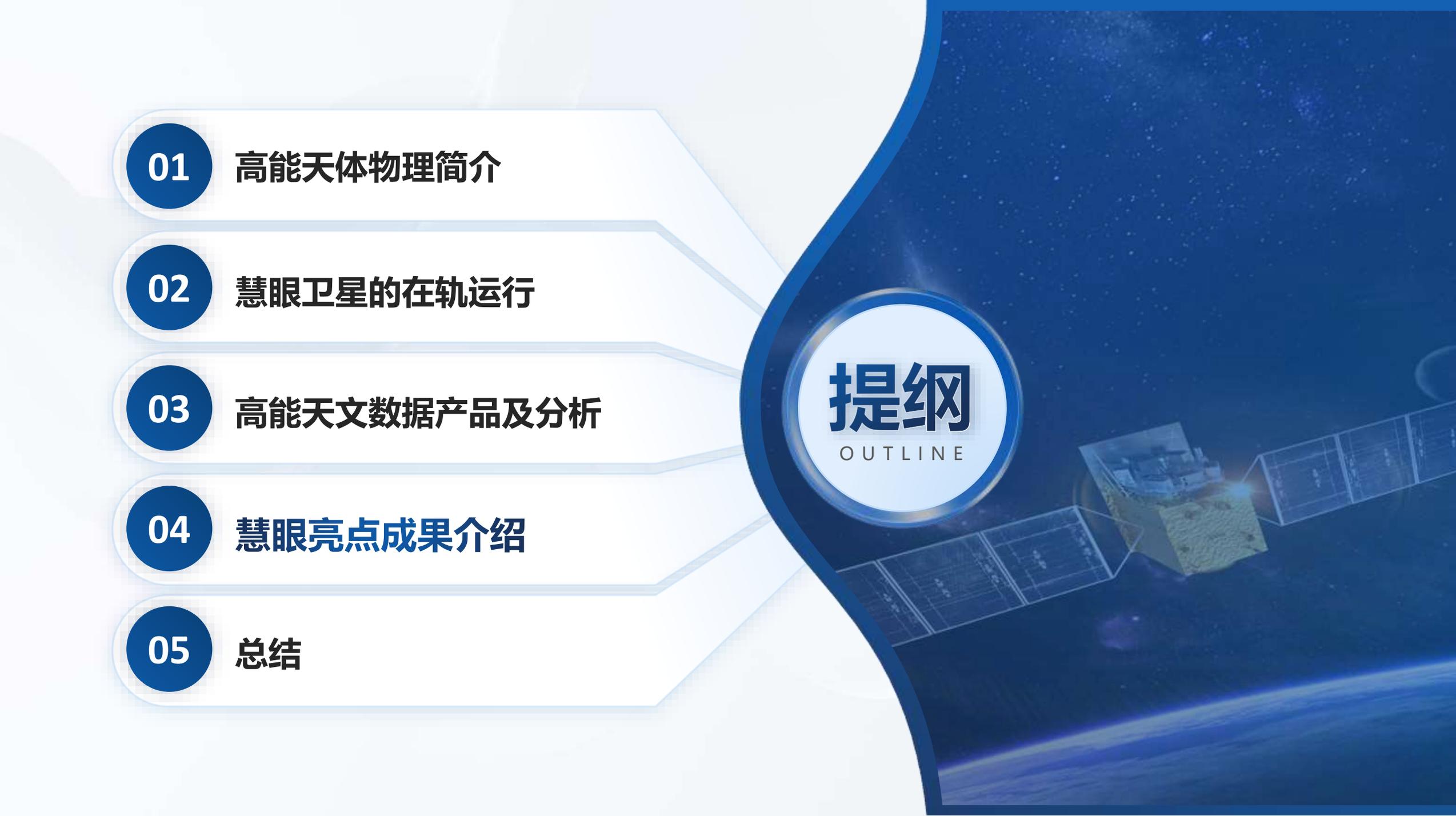
慧眼亮点成果介绍

05

总结

提纲

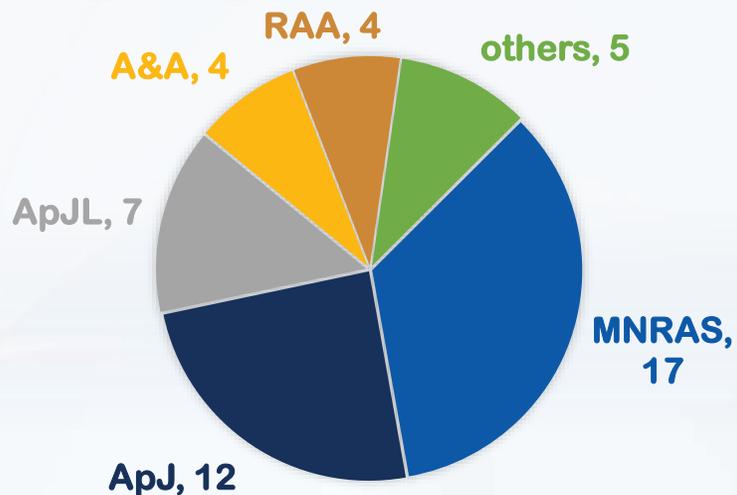
OUTLINE





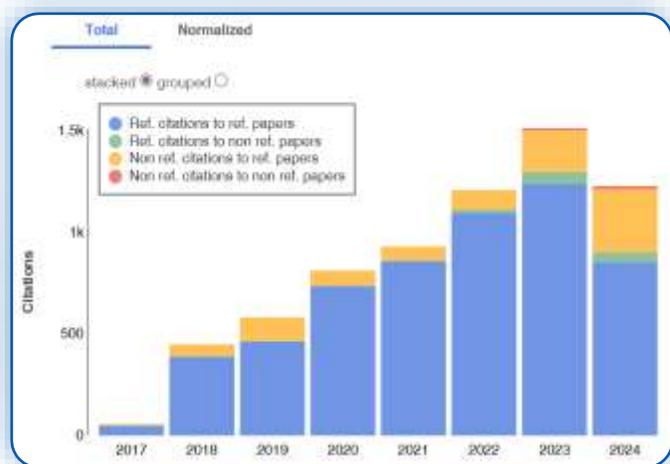
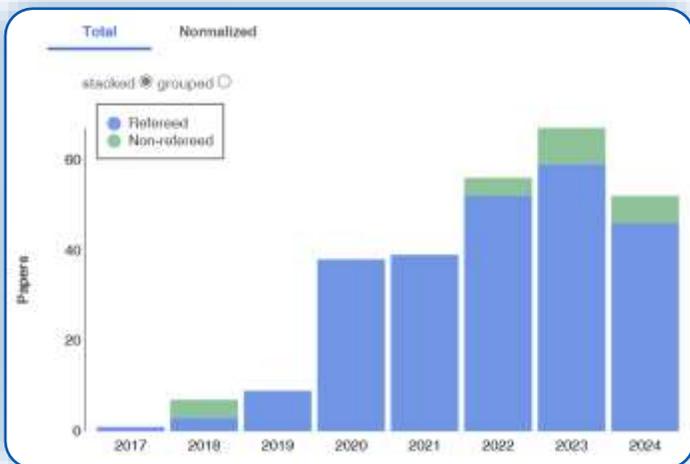
4.1 科学产出概述

2024年上半年共计
发表论文：49篇



使用慧眼卫星数据或结果发表的
论文和引用在不断增加

(数据来自美国NASA ADS网站：截止2024.7.16)



总文章
269

总引用
6769

	Totals	Refereed
Number of citing papers	?	4471
Total citations	?	6601

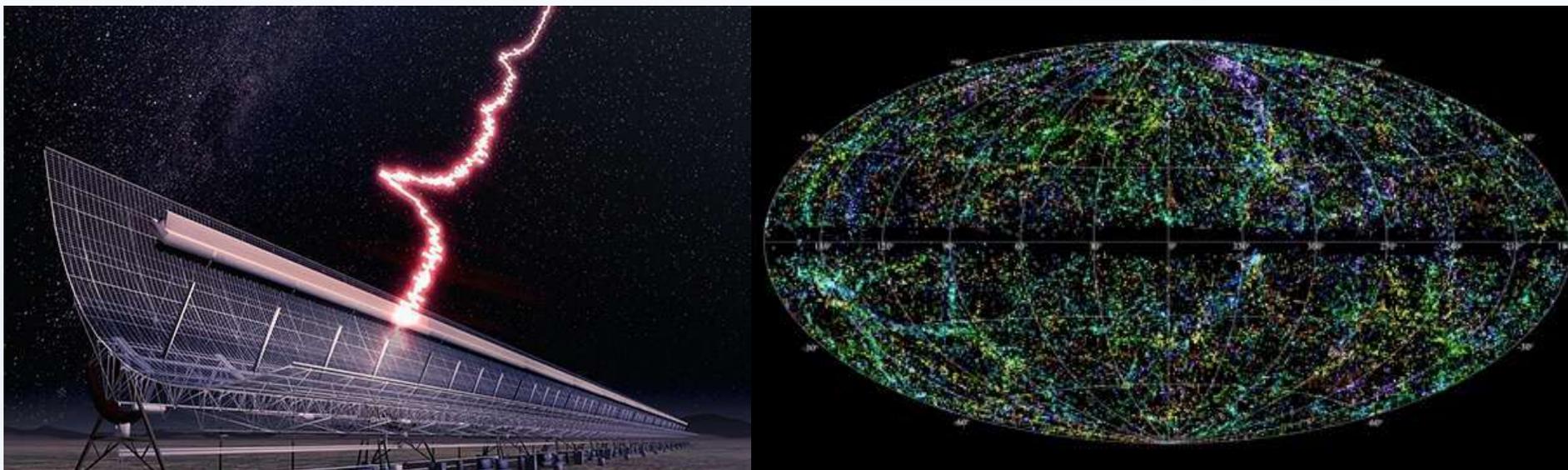


4.2 亮点成果---快速射电暴(Fast Radio Burst, FRB)

Fast : 1—10 ms

Radio: 100 MHz—10 GHz

Burst: $\sim 10^{40-46}$ erg/s



First reported in 2007 (Lorimer et al. 2007): bright millisecond radio pulses, random arrival direction and time, some repeat and even periodic, but counterpart or radiation at any other wavelengths not known, until April 28th, 2020.

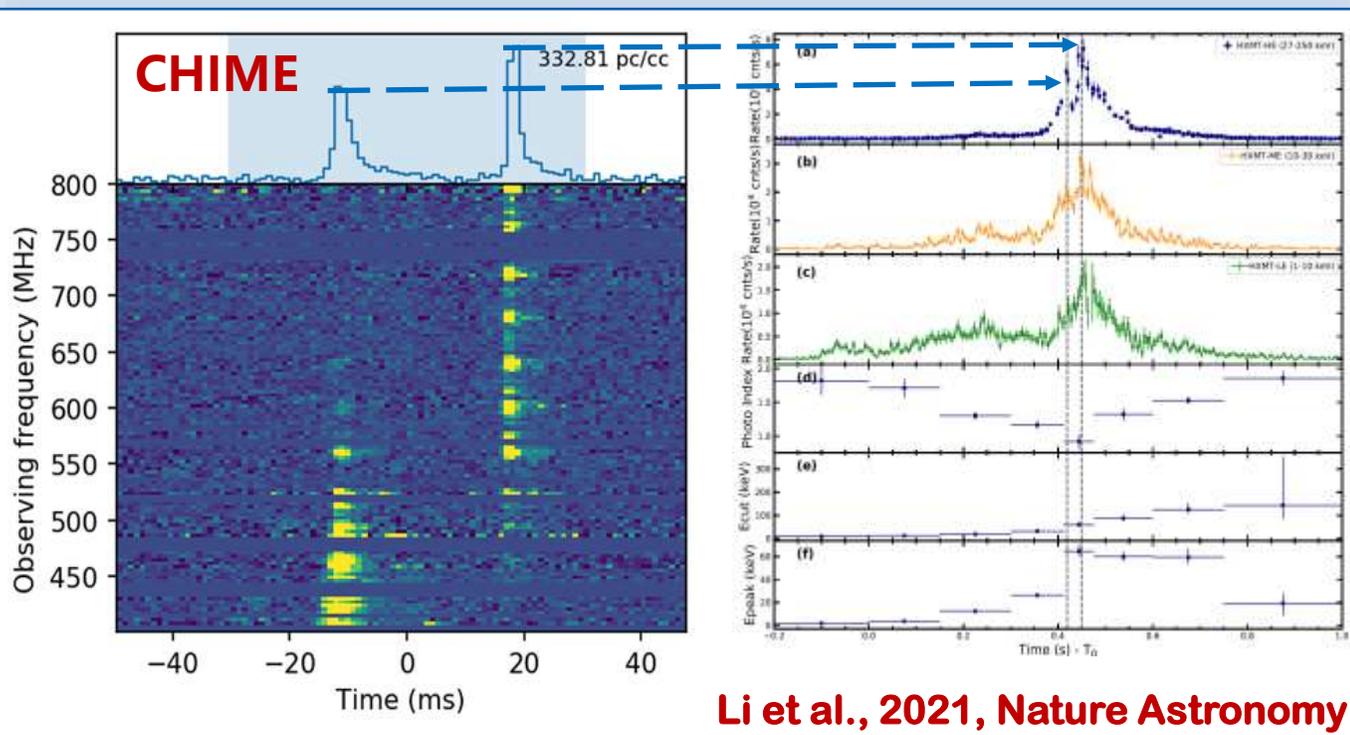


4.2 亮点成果---FRB起源

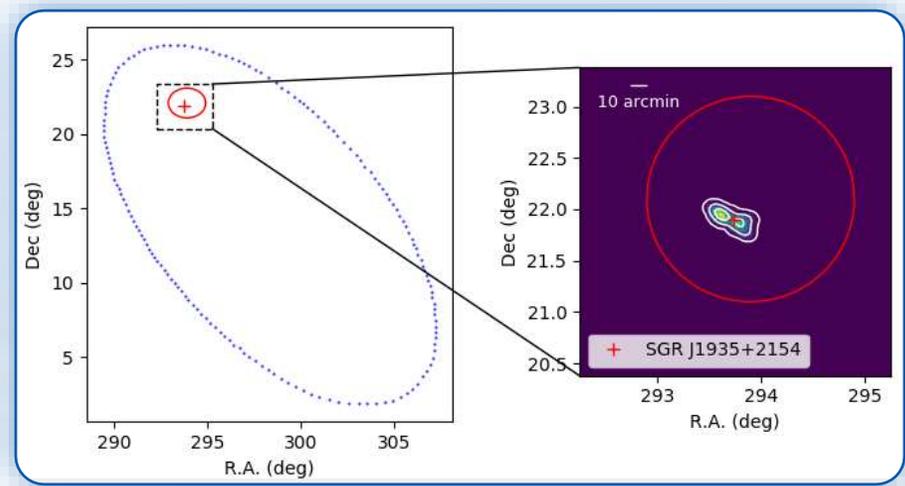


Identify an X-ray burst associated with FRB 200428 from SGR J1935+2154, help to determine the origin of Fast Radio Burst (FRB)

- Most detailed measurements of this XRB in very wide energy band (1-250 keV)
- Localize the XRB, first time ever to determine the origin source of an FRB
- Firstly identify the high energy counterpart (narrow x-ray peak) of the radio pulses of FRB



Li et al., 2021, Nature Astronomy



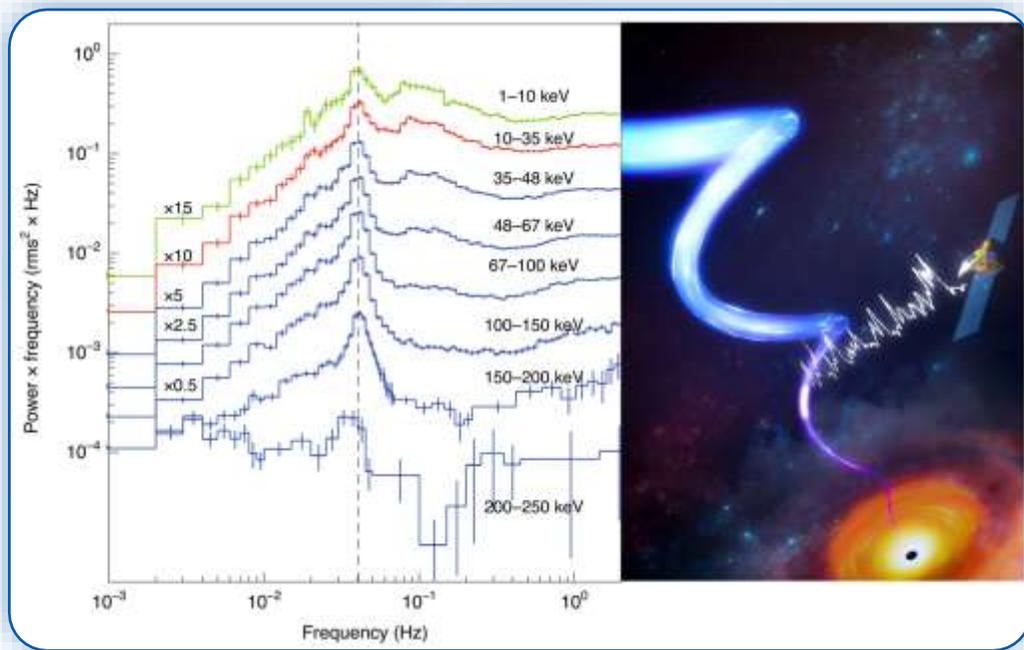
Breakthrough of the Year 2020 (by both the Science and Nature)



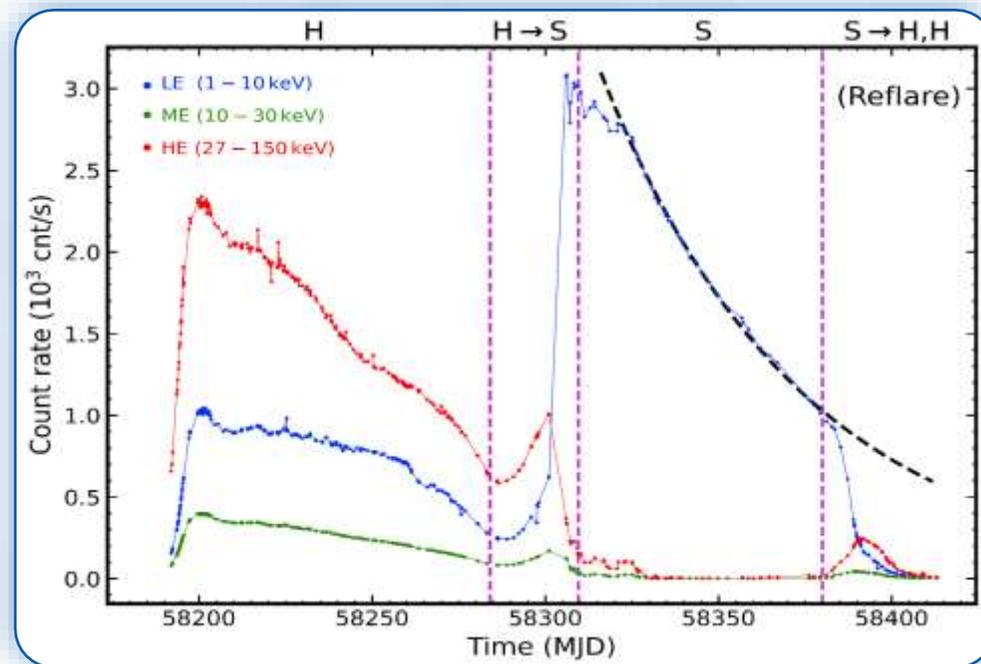
4.3 亮点成果---黑洞X射线双星

Discoveries of jet and accretion physics by most comprehensive observations of a new black hole (BH) XRB MAXI J1820+070

- Discovery of **low frequency oscillations above 200 keV**, nearest jet around BH (Ma et al., 2021, NA)
- A jet-like corona is escaping outward at relativistic speed (You et al., 2021, NC)
- Indicate formation of a **magnetically arrested disk** (You et al., 2023, Science)



Ma X. et al. 2021, NA



You B. et al. 2023, Science

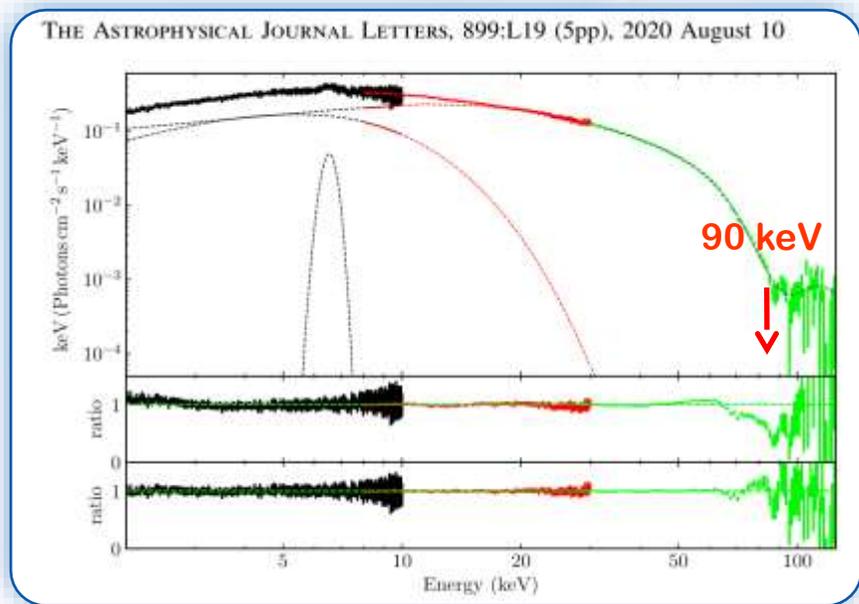


4.4 亮点成果---中子星X射线双星

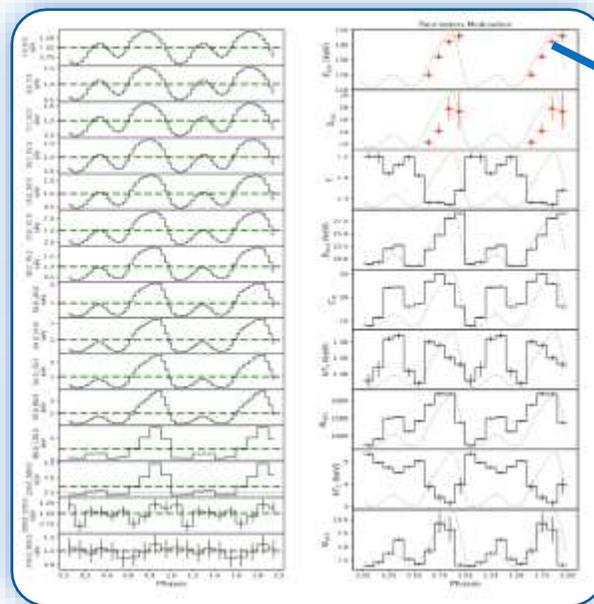


Directly measure and discover the strongest magnetic field on neutron star surface by Cyclotron Resonance Scattering Feature (CRSF)

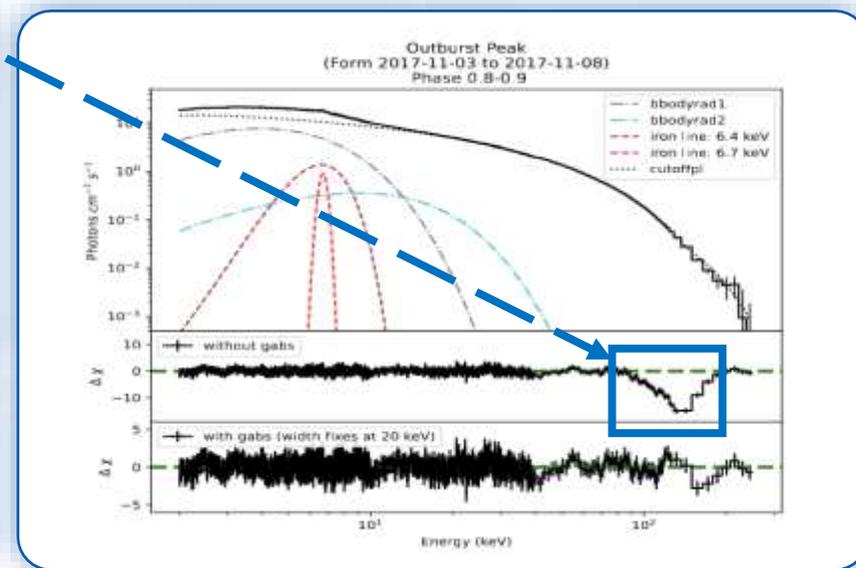
- **First record:** CRSF~90 keV in GRO J1008-57 → **8 billion Tesla**
- **New record:** CRSF~150 keV in Swift J0243.6+6124 → **16 billion Tesla**



~90 keV CRSF in GRO J1008-57
Ge M. et al. 2020, ApJL



Swift J0243.6+6124



~146 keV CRSF
Kong L. et al. 2022, ApJL



4.5 亮点成果---GW 170817



On August 17, 2017, HXMT successfully monitored the sky region of the world's **first binary neutron star merger event, GW170817**. It provided the strongest constraints on the flux of the electromagnetic counterpart of this gravitational wave event in the 200 keV-5 MeV.

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL LETTERS, 848:L12 (59pp), 2017 October 20

<https://doi.org/10.3847/2041-8213/aa91c9>

© 2017. The American Astronomical Society. All rights reserved.

OPEN ACCESS



Multi-messenger Observations of a Binary Neutron Star Merger*

LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration, Fermi GBM, INTEGRAL, IceCube Collaboration, AstroSat Cadmium Zinc Telluride Imager Team, IPN Collaboration, **The Insight-HXMT Collaboration**, ANTARES Collaboration, The Swift Collaboration, AGILE Team, The 1M2H Team, The Dark Energy Camera GW-EM Collaboration and the DES Collaboration, The DLT40 Collaboration, GRAWITA: GRAvitational Wave Inaf TeAm, The Fermi Large Area Telescope Collaboration, ATCA: Australia Telescope Compact Array, ASKAP: Australian SKA Pathfinder, Las Cumbres Observatory Group, OzGrav, DWF (Deeper, Wider, Faster Program), AST3, and CAASTRO Collaborations, The VINROUGE Collaboration, MASTER Collaboration, J-GEM, GROWTH, JAGWAR, Caltech-NRAO, TTU-NRAO, and NuSTAR Collaborations, Pan-STARRS, The MAXI Team, TZAC Consortium, KU Collaboration, Nordic Optical Telescope, ePESSTO, GROND, Texas Tech University, SALT Group, TOROS: Transient Robotic Observatory of the South Collaboration, The BOOTES Collaboration, MWA: Murchison Widefield Array, The CALET Collaboration, IKI-GW Follow-up Collaboration, H.E.S.S. Collaboration, LOFAR Collaboration, LWA: Long Wavelength Array, HAWC Collaboration, The Pierre Auger Collaboration, ALMA Collaboration, Euro VLBI Team, Pi of the Sky Collaboration, The Chandra Team at McGill University, DFN: Desert Fireball Network, ATLAS, High Time Resolution Universe Survey, RIMAS and RATIR, and SKA South Africa/MeerKAT
(See the end matter for the full list of authors.)

Received 2017 October 3; revised 2017 October 6; accepted 2017 October 6; published 2017 October 16

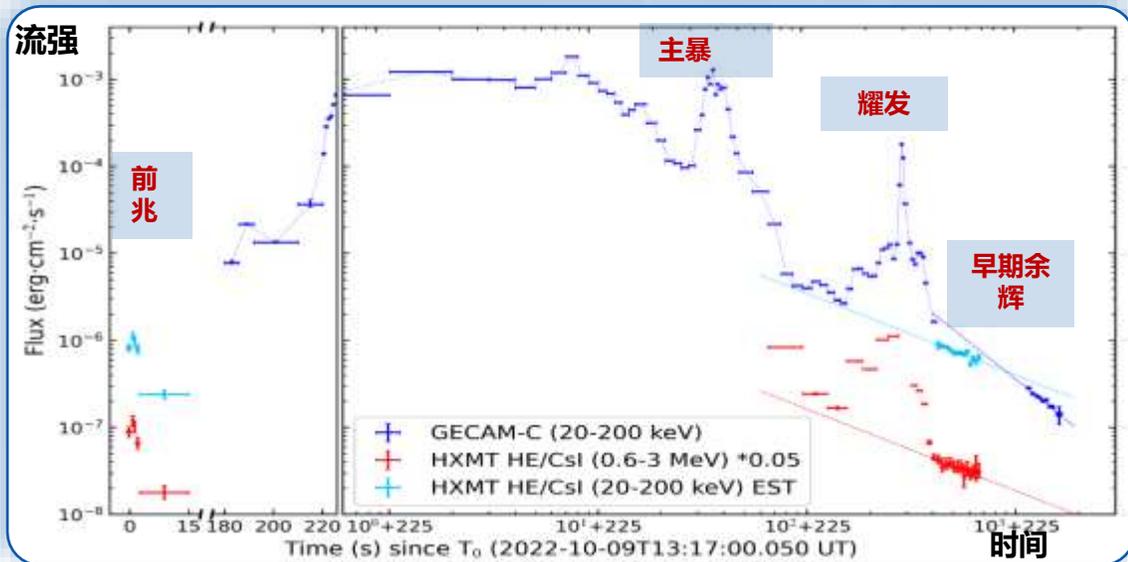


Over 70 ground-based and space telescopes, around 1,000 institutions, and more than 3,000 authors! The HXMT team is ranked seventh!



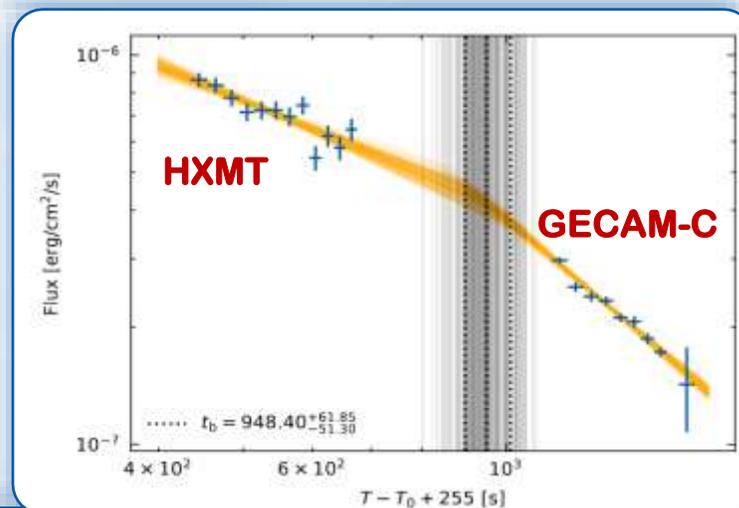
4.6 亮点成果---伽马暴

慧眼卫星与极目空间望远镜精确探测迄今最亮伽马暴



在硬X射线和软伽马能段精确刻画从前兆辐射到主暴、耀发以及早期余辉的各个关键阶段的辐射性质，做出重要观测发现：

- 最大亮度，将亮度记录提升50倍
- 最大的各向同性等效能量，高达 1.5×10^{55} erg
- 极为狭窄而明亮的喷流



01

高能天体物理简介

02

慧眼卫星的在轨运行

03

高能天文数据产品及分析

04

慧眼亮点成果介绍

05

总结

提纲

OUTLINE





5.1 慧眼卫星总结

- **星上燃料**：24年轨控抬高~10km，耗费燃料~5kg，剩余~150kg，足以应对太阳活动高年
 - **卫星平台**：性能指标满足要求，热控、姿控、数据记录、数传等均正常
 - **有效载荷**：关闭部分热像素，有主备的设备均工作于主份状态，未进行过设备切换
 - **科学应用系统**：观测提案征集、观测计划制定、数据产品生产归档发布、标定本底更新
-
- **慧眼优势**：慧眼卫星具有**宽X射线能区**、**大有效面积**和**高时间分辨**的独特优势
 - **数据分析**：慧眼数据公开比例高达91%，进一步**深度挖掘**慧眼卫星海量数据
 - **科学研究**：黑洞、中子星的爆发活动和演化机制，各种爆发现象等



5.2 结束语

- 随着我国空间实力的提升，空间天文特别是空间高能天文领域面临一个非常重要的发展机遇，近期有多个空间高能天文卫星发射升空，迫切需要大量研究人员的加入。
- 空间天文的数据处理比较复杂，影响因素较多，但流程相对固定，所以数据处理工具和分析软件都比较完善，比较容易上手和开展研究。
- 如感兴趣，希望多加练习，多积累数据分析经验，便于以后投入研究工作。

谢谢！