

DRO轨道 γ 射线暂现源监测器GTM 本底与响应模拟

王晨巍

cwwang@ihep.ac.cn
(GECAM团队成员)

中国科学院高能物理研究所
2023年10月16日



提纲

- 研究背景
 - 高能暂现源的基本情况与观测需求
 - 近地观测的局限与深空观测的优势
- 研究方法
 - 模拟方法与输入条件
- 研究结果
 - DRO轨道本底水平
 - 仪器性能预期
- 结论与讨论

高能暂现源

GRB

典型各向同性能量相当于太阳一生辐射能量之和

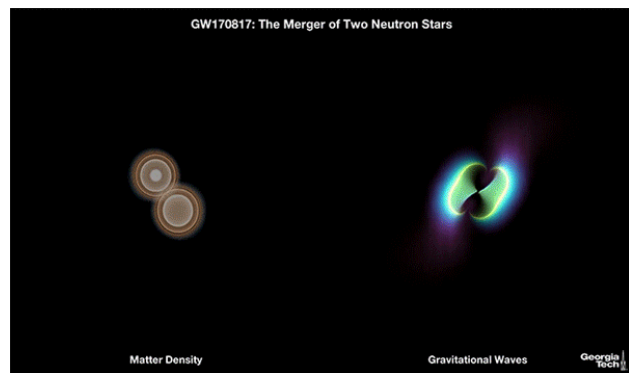
持续时间:

- (大于2s) 长伽马暴: 大质量恒星塌缩
- (小于2s) 短伽马暴: 致密星并合 (引力波高能电磁对应体) → **GW170817/GRB170817A**

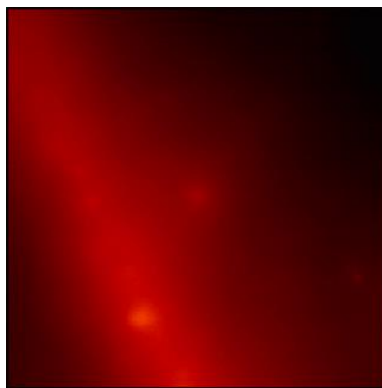
磁星暴发

持续时间毫秒量级, 快速射电暴的来源之一 → **FRB200428/SGR1935+2154**

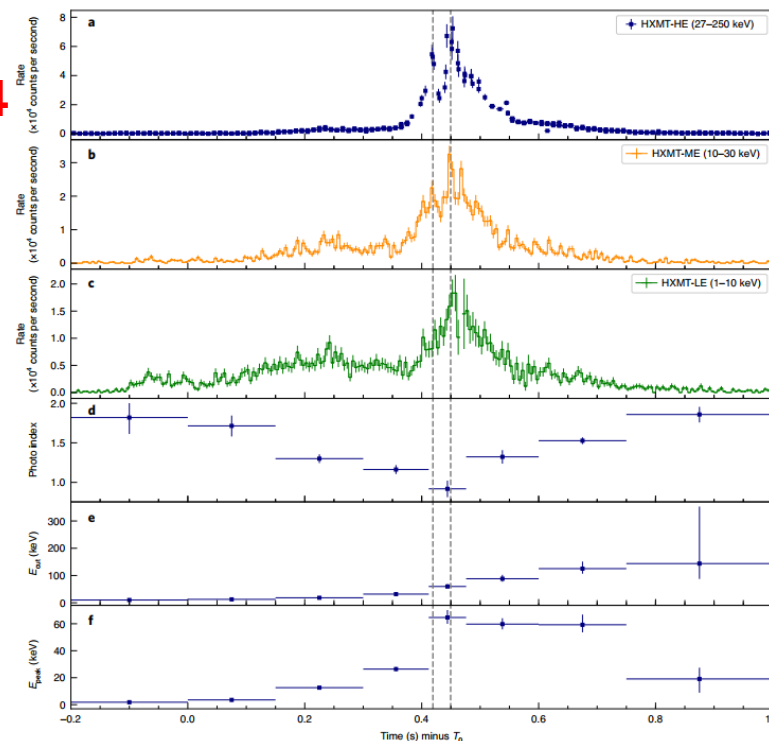
**高能暂现源与黑洞、中子星、引力波、宇宙学等关联紧密
是多波段、多信使天文学时代的重要研究领域!**



第一例引力波电磁对应体GRB170817A (NASA)



史上最亮GRB221009A (NASA)

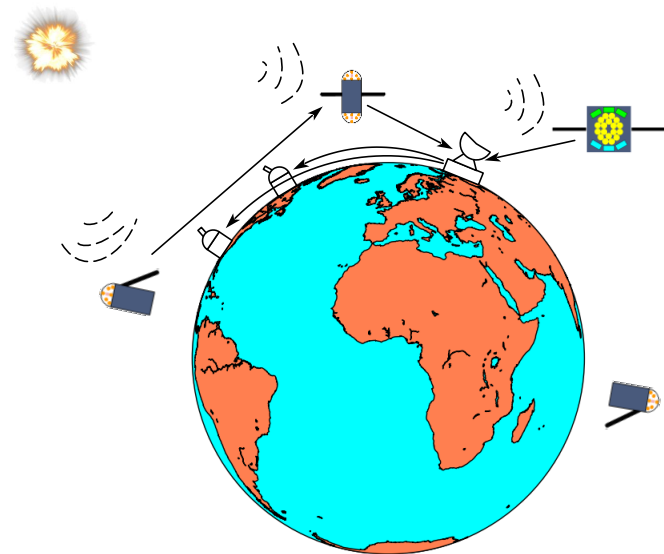


慧眼证认快速射电暴来自磁星

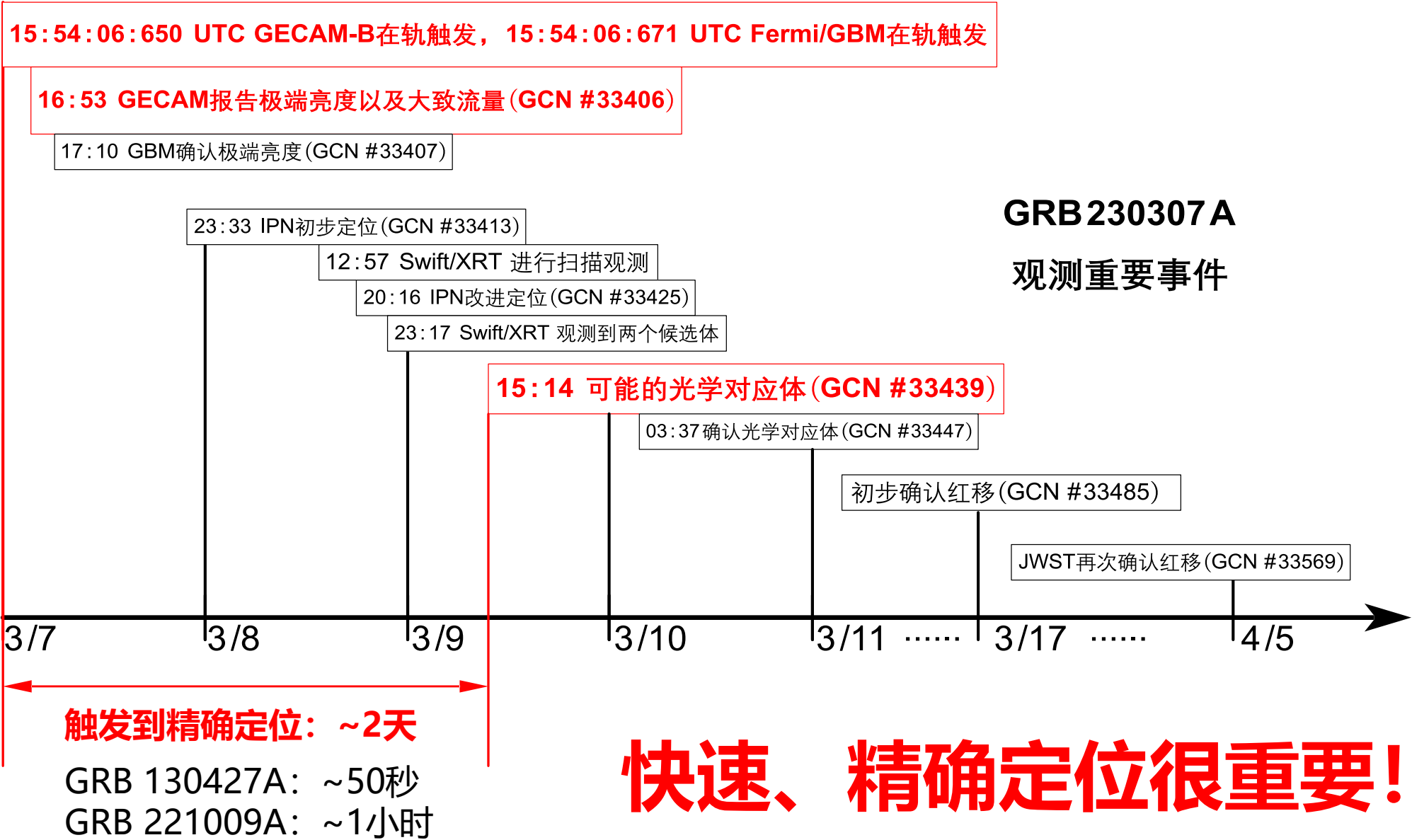
HXMT identification of a non-thermal X-ray burst
from SGR J1935+2154 and with FRB 200428, Nature astronomy

GRB的观测流程与需求

GRB的特征	对探测器的需求
X/γ射线	空间探测器
位置随机	大视场
时间随机	长时间开机
高能光子少	高灵敏度宽能段，低本底
信号变化剧烈	高时间分辨率详细记录
多波段余辉	精确定位，快速下传



GRB的观测流程与需求



GECAM & HEBS

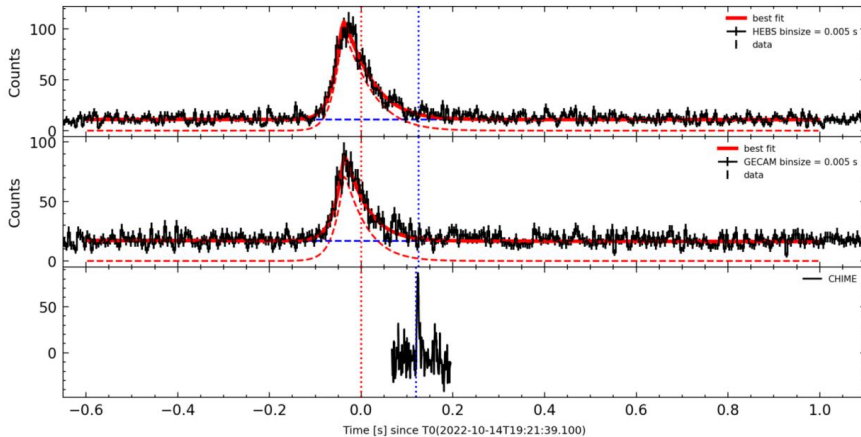
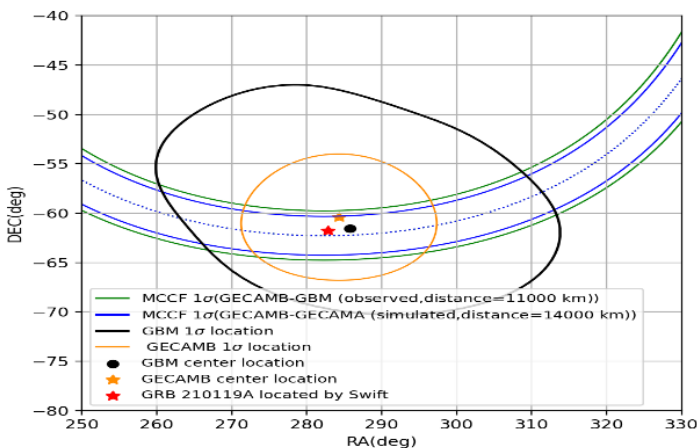
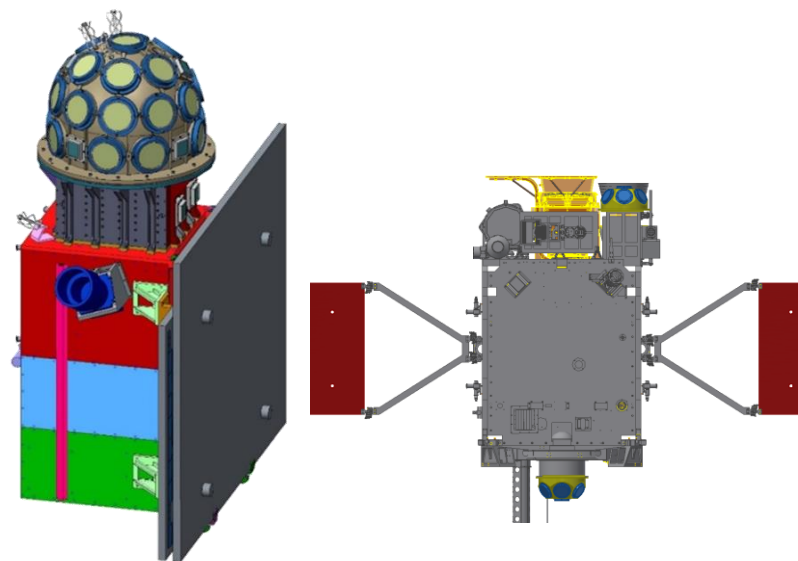
Gravitational wave high-energy Electromagnetic Counterpart All-sky Monitor
High Energy Burst Searcher

GECAM-A/B 于2020-12-10在西昌成功发射
GECAM-C (HEBS) 于2022-7-27在酒泉成功发射

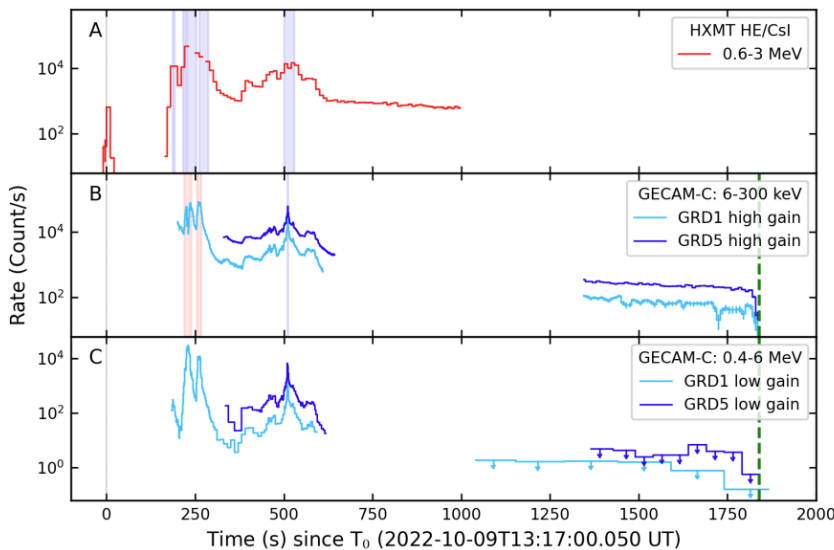
主要载荷: GRD and CPD

- GECAM-A/B: 25 LaBr₃ GRDs, 8 CPDs
- GECAM-C: 6 LaBr₃ GRDs, 6 NaI GRDs, 2 CPDs

在轨实时触发+北斗短报文准实时通信
单星定位: 计数率分布定位
多星联合定位: 基于Li-CCF的时延定位



GECAM and HEBS detection of a short X-ray burst from SGR J1935+2154 associated with radio burst, GECAM collaboration, Atel

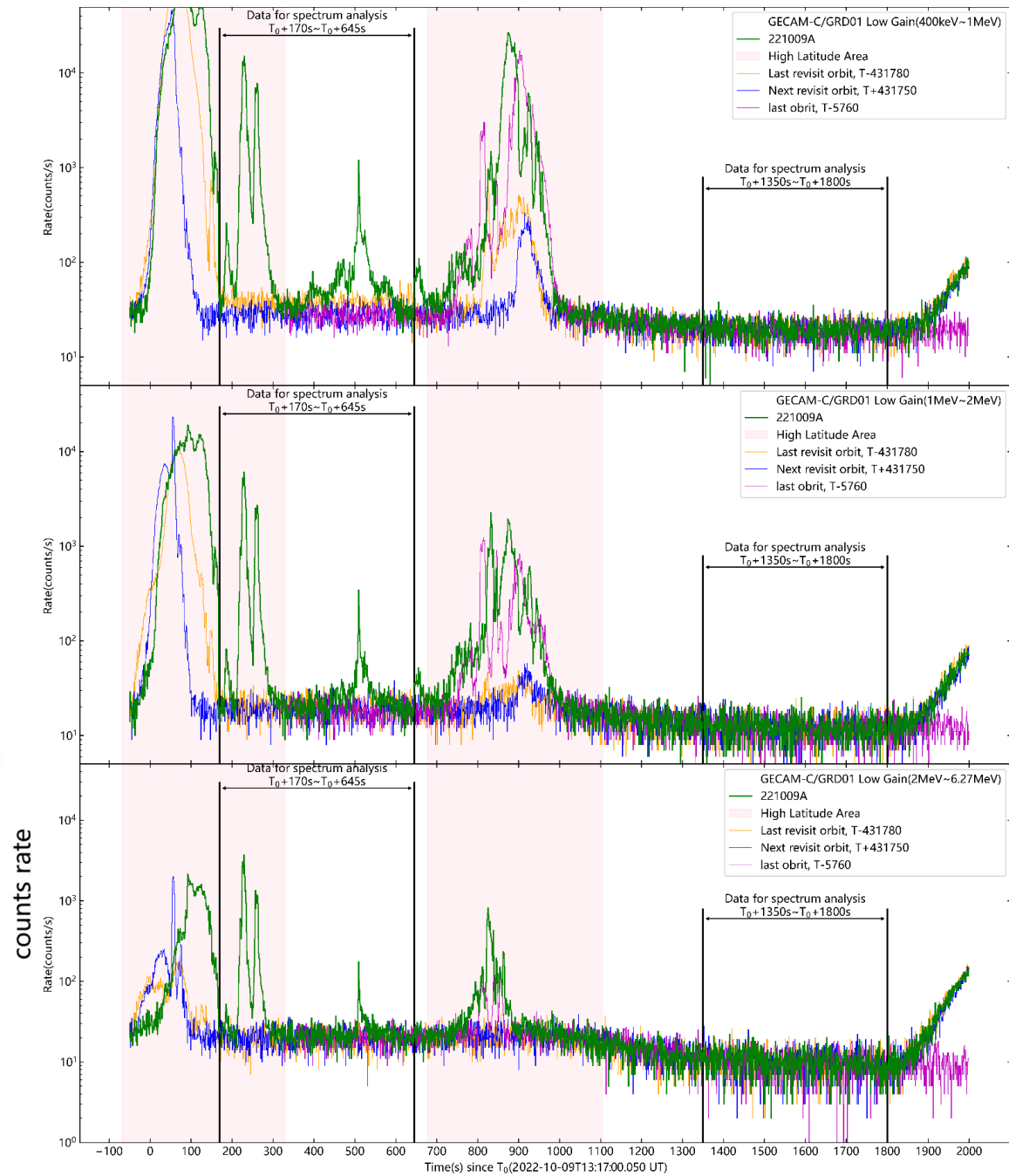
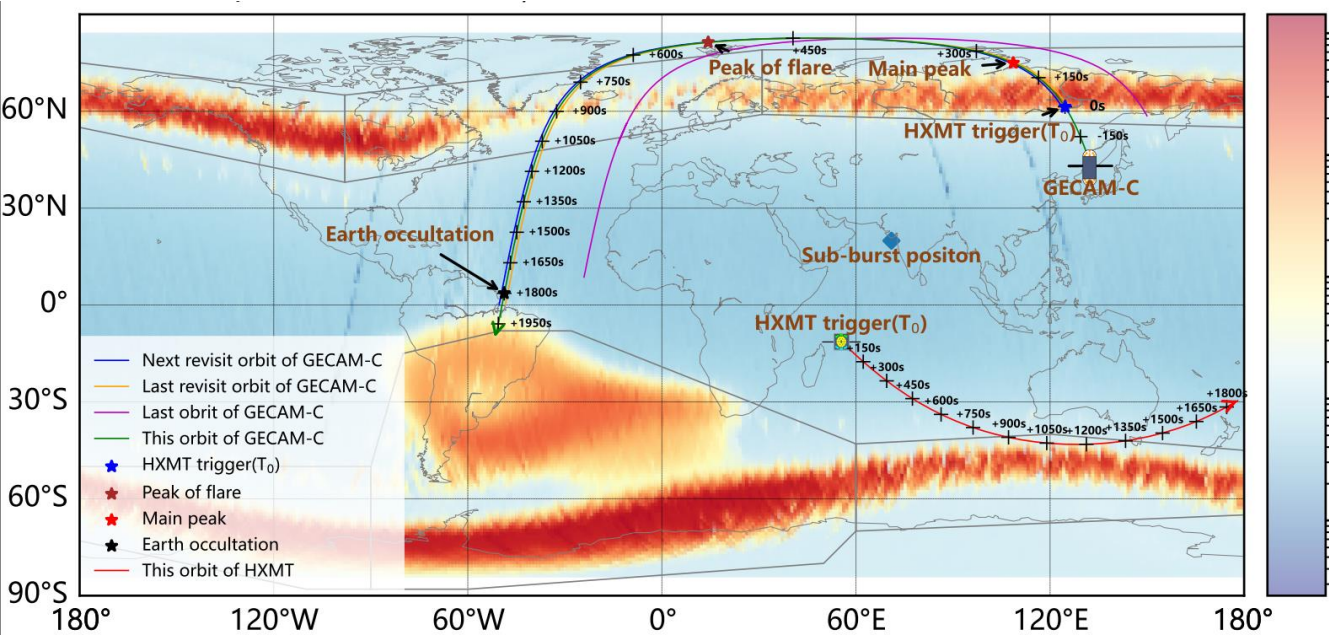


Insight-HXMT and GECAM-C observations of the brightest-of-all-time GRB 221009A, Insight-HXMT & GECAM collaboration, NSR submitted

低轨卫星的局限

- 地球遮挡浪费视场
- 空间粒子事件干扰GRB的证认和分析
- 较大的定位误差

需要一个距离更远、空间环境更稳定的轨道！



DRO 轨道 & DRO/GTM

Distant Retrograde Orbit
Gamma-ray Transient present source Monitor

DRO 轨道:

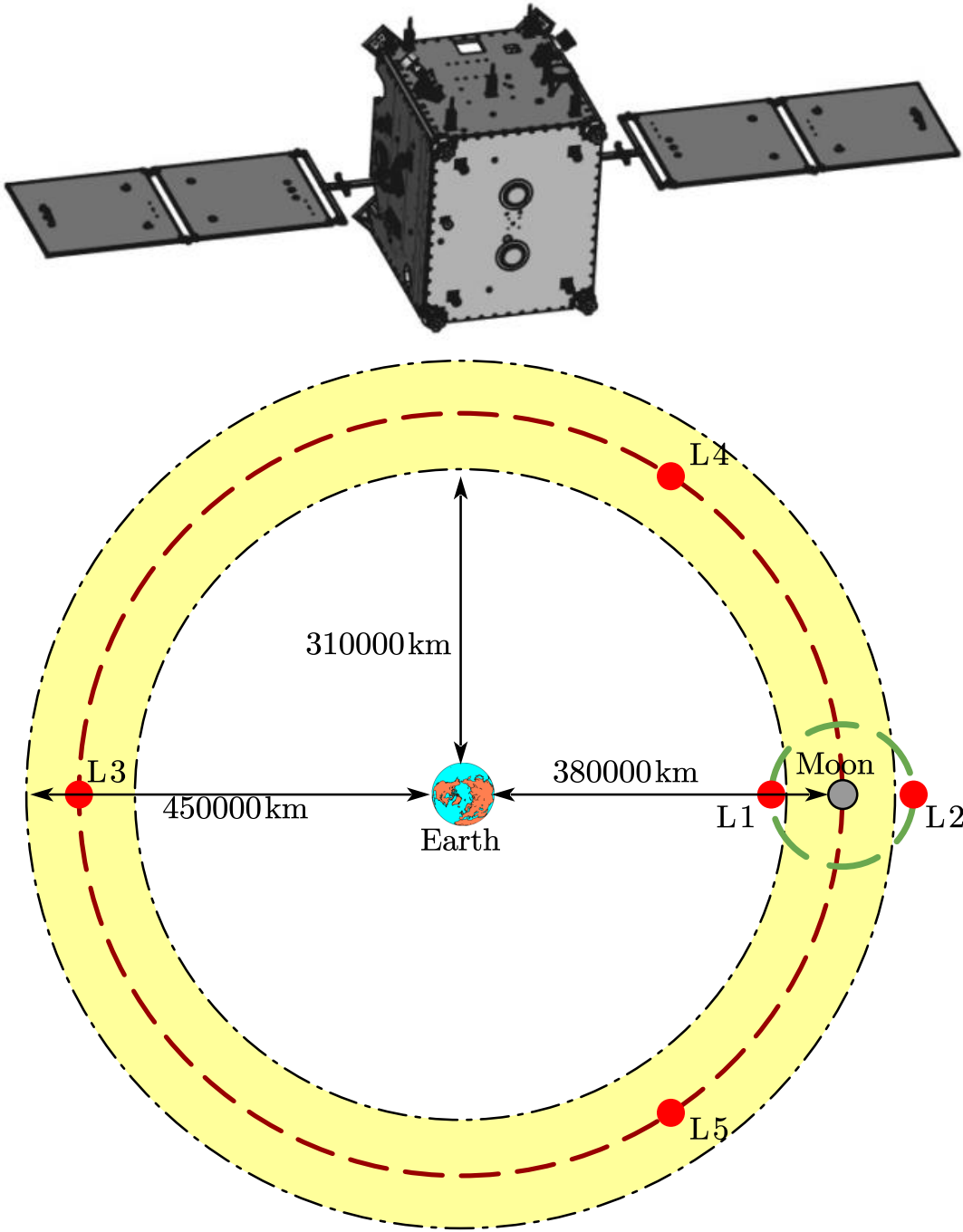
- 距离地球: 310000-450000km
- 距离月球: 70000-90000km

一个距离适中的轨道:

- 提供远长于近地轨道的基线
- 距离远小于Konus-Wind和Odyssey/HEND

三颗卫星编队飞行: DRO-A/B/L

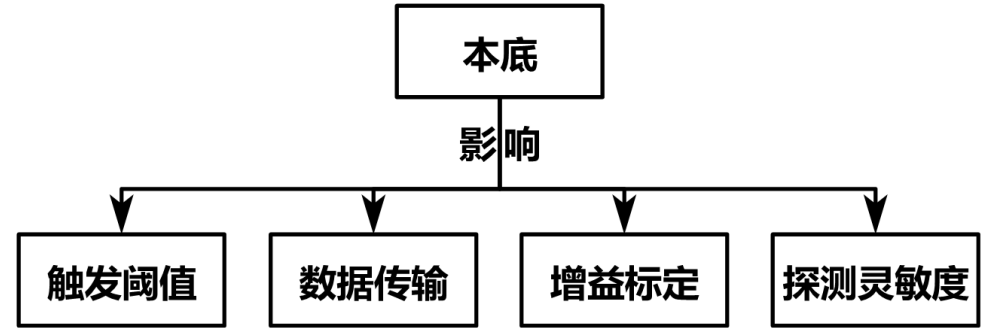
参数	指标
晶体类型	NaI(Tl)
晶体尺寸	11.5cm × 1cm
探测能段	20-1000keV
能量分辨率	<18%@59.5keV
时间分辨率	4μs



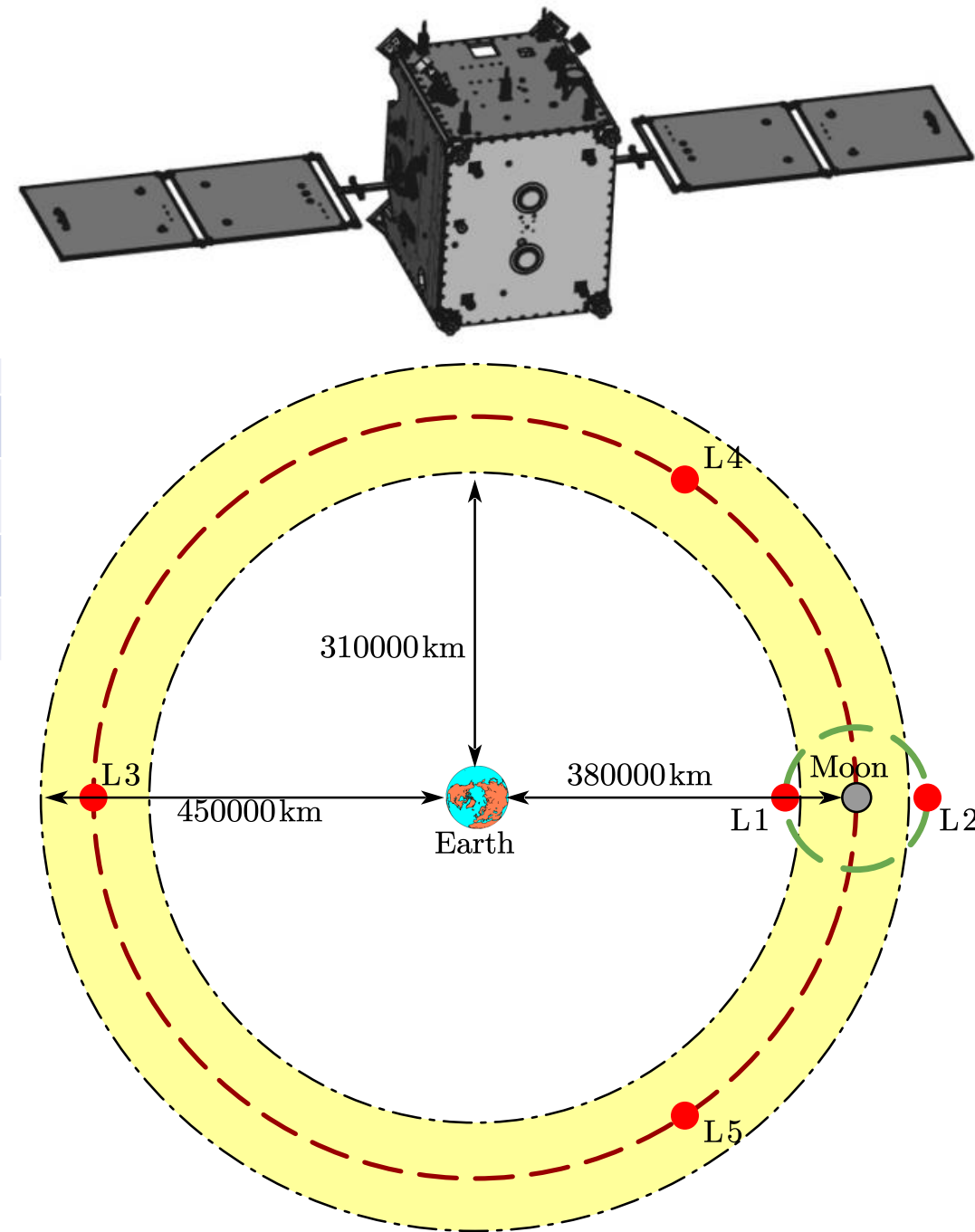
DRO 轨道 & DRO/GTM

Distant Retrograde Orbit
Gamma-ray Transient present source Monitor

GRB的特征	对探测器的需求
X/γ射线	空间探测器✓
位置随机	大视场?
时间随机	长时间开机✓
高能光子少	高灵敏度宽能段? 低本底?
信号变化剧烈	高时间分辨率详细记录✓事例数据
多波段余辉	精确定位? 快速下传✓直传、短报文



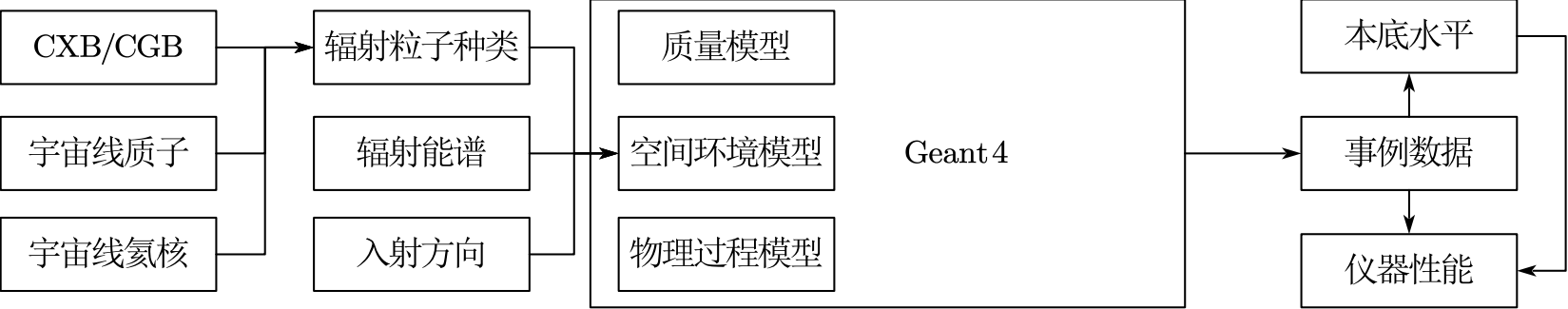
为了优化设计，充分利用DRO轨道的优势
本底的估计十分重要！



提纲

- 研究背景
 - 高能暂现源的基本情况与观测需求
 - 近地观测的局限与深空观测的优势
- 研究方法
 - 模拟方法与输入条件
- 研究结果
 - DRO轨道本底水平
 - 仪器性能预期
- 结论与讨论

模拟过程

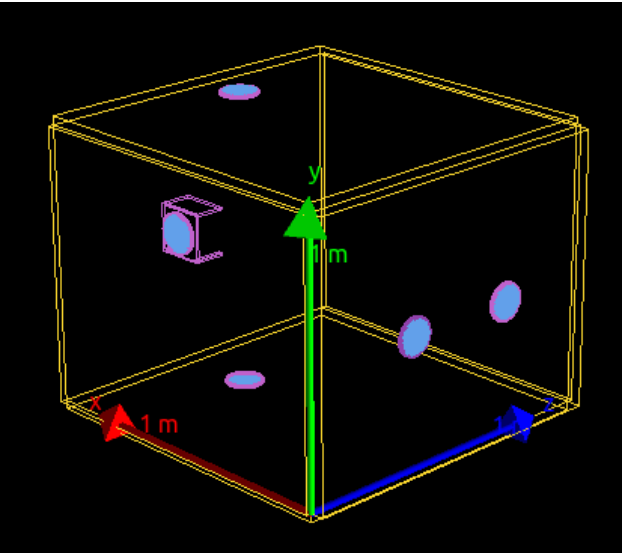


主要考虑的辐射源:

- 宇宙弥散X射线背景 (Gehrels et al)
- 宇宙线质子和氦核 (SPENVIS DataBase)
- 标定用内嵌源 (²⁴¹Am)

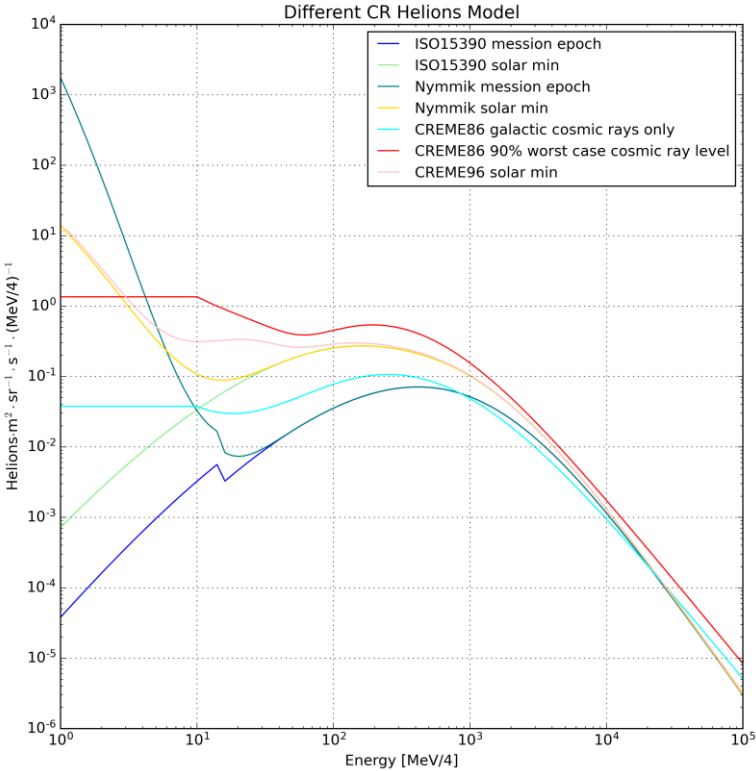
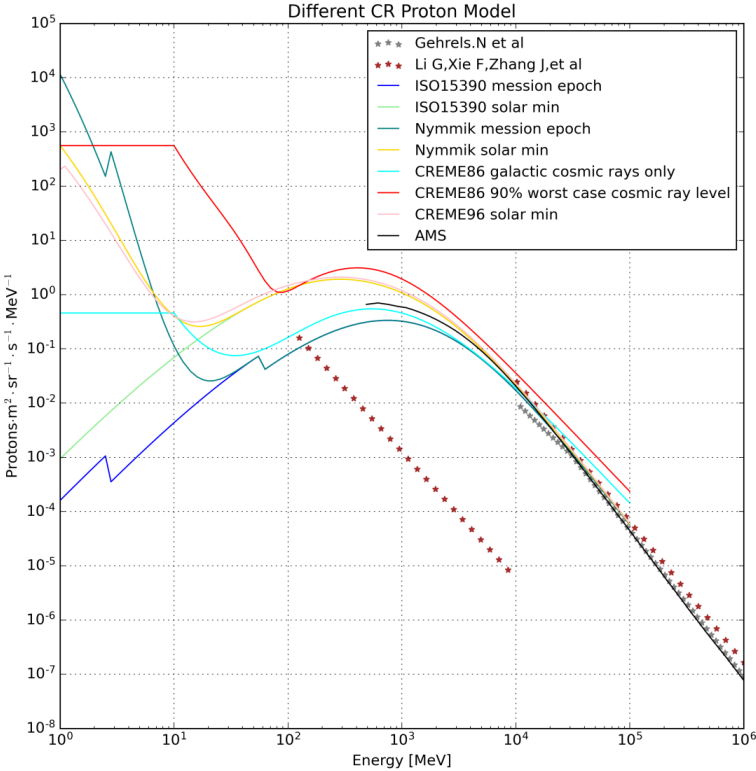
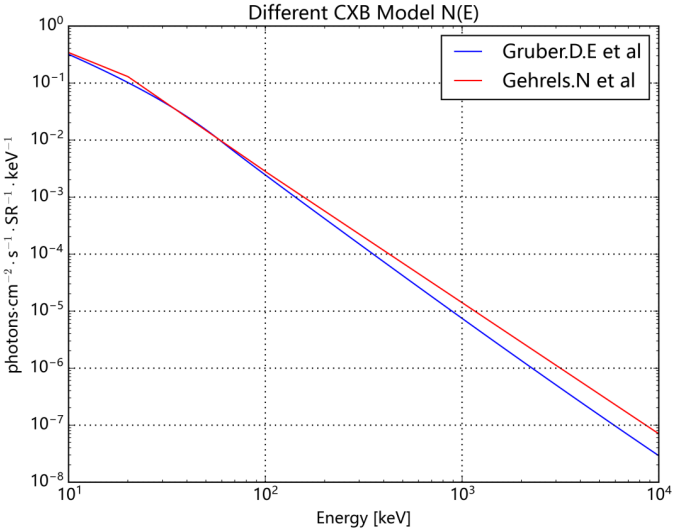
物理过程:

- 适用于空间天文模拟的shielding模型



暂时未考虑的:

- 太阳高能粒子
- 特定点源
- 银河X射线弥散辐射



空间环境输入——CXB

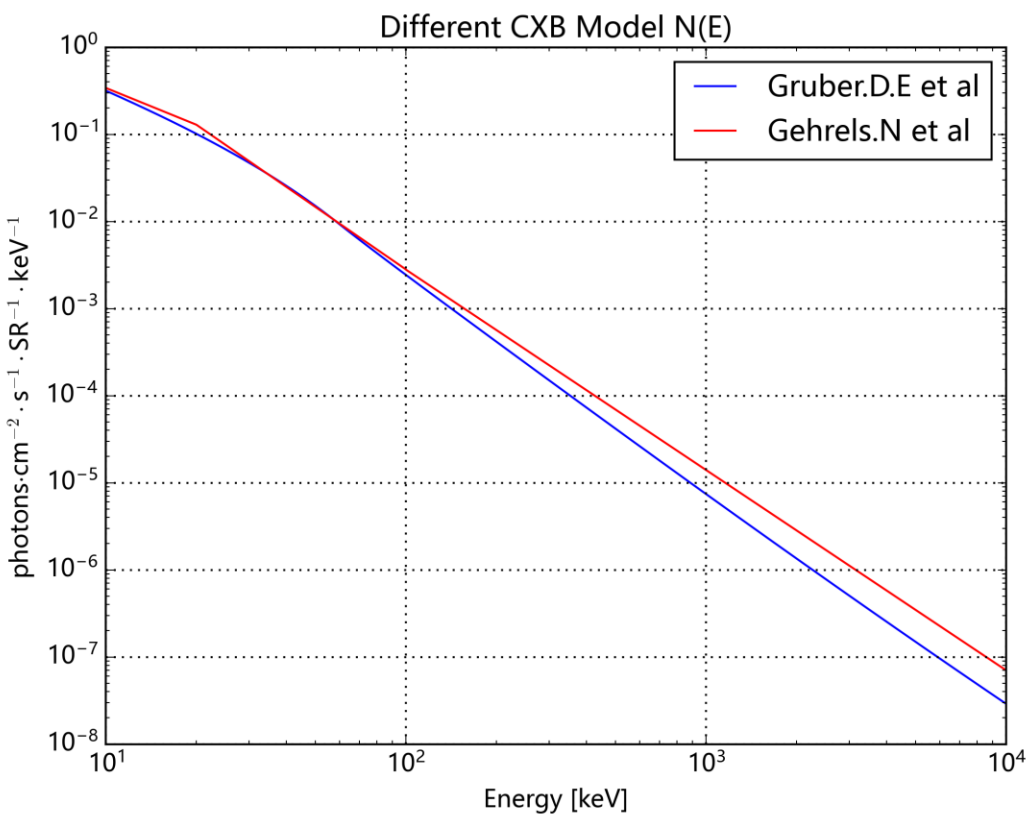
硬X射线：活动星系核在宇宙学距离上的累计
软伽马：1a型超新星暴发在宇宙学距离上的累计
硬伽马：伽马射线耀变体

Gehrels.N et al

$$N(E) \text{ [photons} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{keV}^{-1}] = \begin{cases} 0.54 \times 10^{-3} \times \left(\frac{E[\text{keV}]}{1000}\right)^{-1.4}, & E < 20\text{keV} \\ 0.0117 \times 10^{-3} \times \left(\frac{E[\text{keV}]}{1000}\right)^{-2.38}, & 20 < E < 100\text{keV} \\ 0.014 \times 10^{-3} \times \left(\frac{E[\text{keV}]}{1000}\right)^{-2.3}, & E > 100\text{keV} \end{cases}$$

Gurber.D.E et al

$$N(E) \text{ [photons} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{keV}^{-1}] = \begin{cases} \frac{7.877 E[\text{keV}]^{-0.29} e^{-\frac{E[\text{keV}]}{41.13}}}{E[\text{keV}]}, & 3 - 60\text{keV} \\ \frac{0.0259 \left(\frac{E[\text{keV}]}{60}\right)^{-5.5} + 0.504 \left(\frac{E[\text{keV}]}{60}\right)^{-1.58} + 0.0288 \left(\frac{E[\text{keV}]}{60}\right)^{-1.05}}{E[\text{keV}]}, & > 60\text{keV} \end{cases}$$



与近地轨道一致

空间环境输入——宇宙线

4PeV以下的质子宇宙线起源于银河系
超高能宇宙线起源于河外
受到太阳风的影响，低能宇宙线会减少

选择轨道类型为近地行星际，距离太阳1AU

ISO 15390

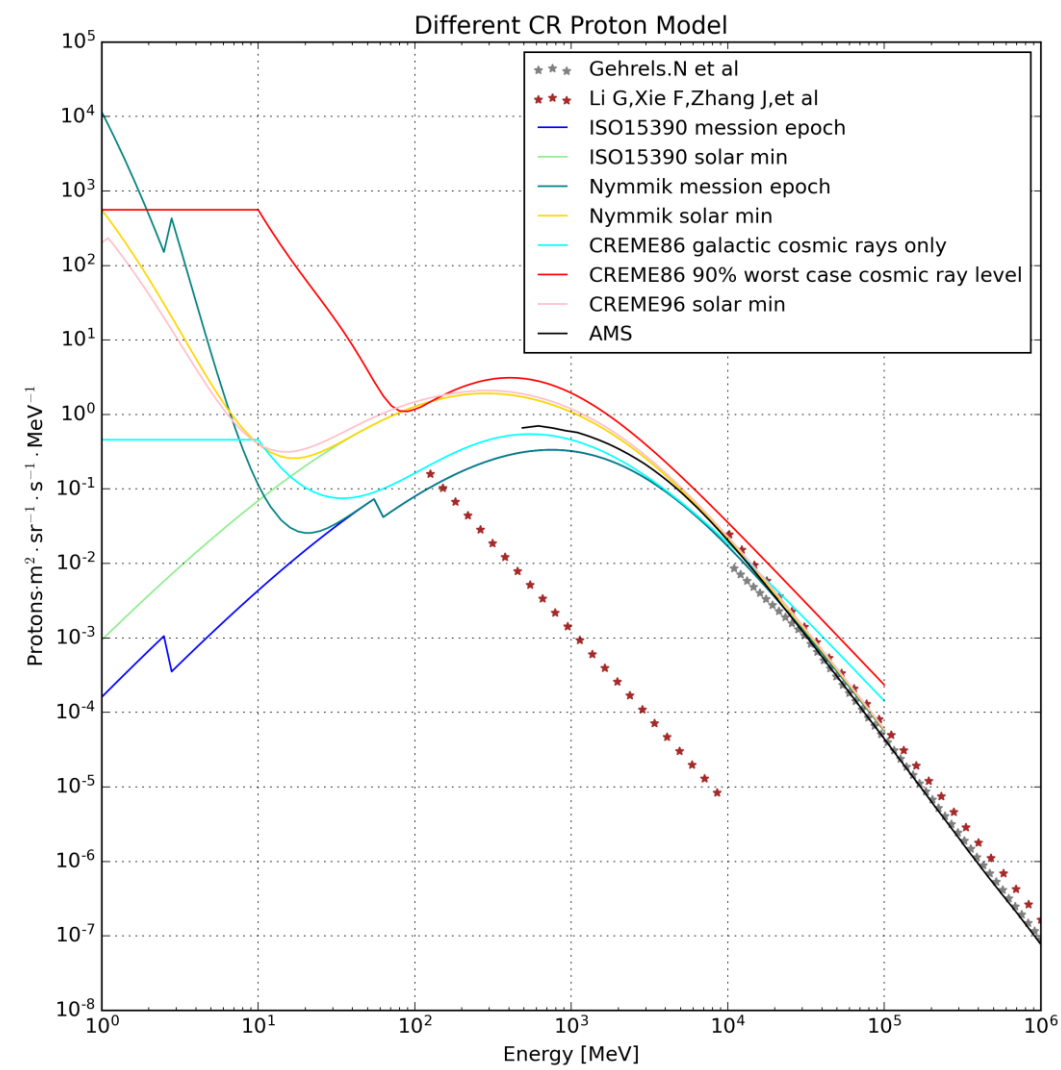
- 适用于磁层外的近地空间
- 高能段谱指数约-2.6
- 峰值能量约1GeV
- 没有考虑异常宇宙线

CREME 96

- 与Nymmik基本一致，考虑了异常宇宙线

CREME 86

- 最差情况



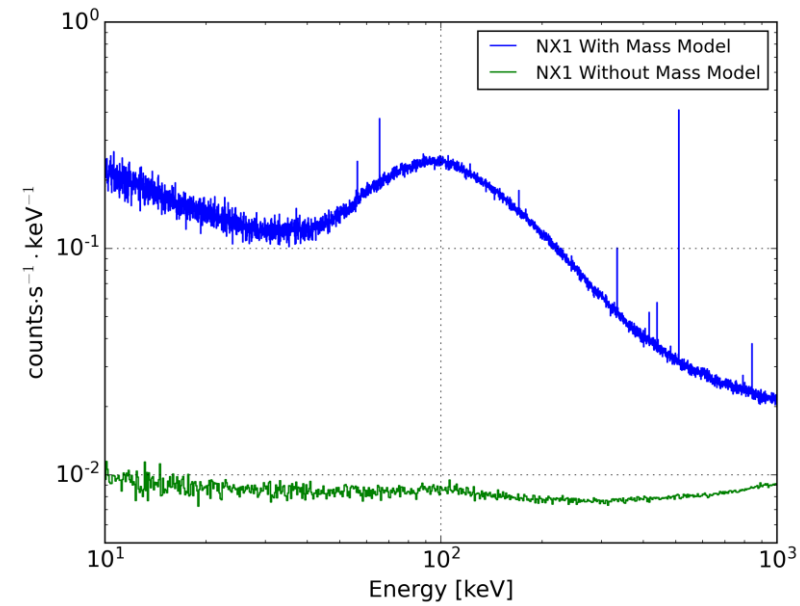
与近地轨道差异明显

提纲

- 研究背景
 - 高能暂现源的基本情况与观测需求
 - 近地观测的局限与深空观测的优势
- 研究方法
 - 模拟方法与输入条件
- 研究结果
 - DRO轨道本底水平
 - 仪器性能预期
- 结论与讨论

本底水平

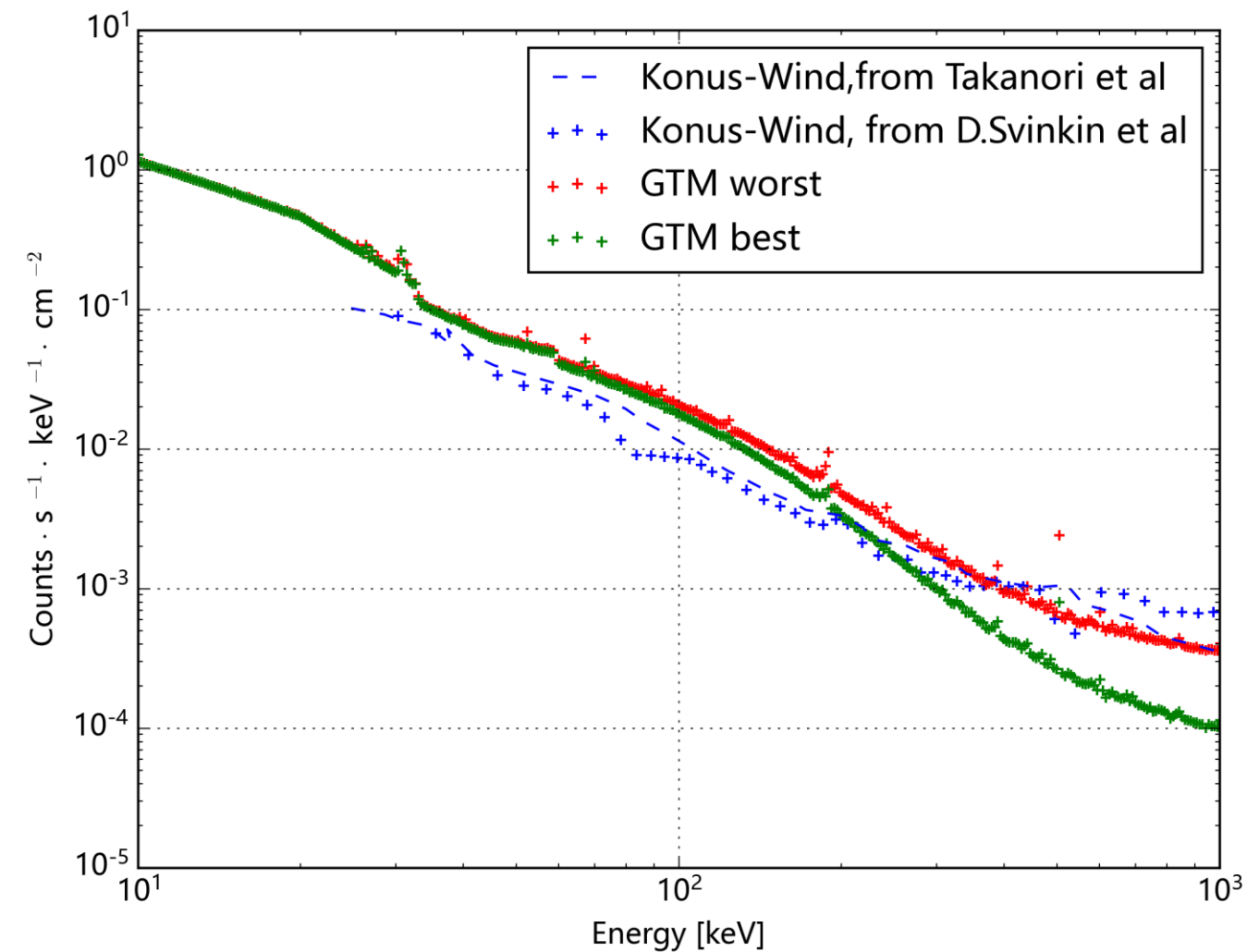
沉积能量 10keV~1MeV	瞬时本底 (counts/s)	延时本底 (counts/s)				
		1 天	7 天	30 天	180 天	1 年
CXB	1516	-	-	-	-	-
CR proton (best/worst)	16/63	4.0/15	5.0/18	5.8/20	6.5/22	6.7/23
CR alpha (best/worst)	12/33	2.7/8.9	3.0/10	3.5/11	4.2/13	4.3/14
Total (best/worst)	1544/1612	6.7/23.9	8.0/28	9.3/31	10.7/35	11/37



瞬时本底 (counts/s)	10keV~1MeV	10keV~10MeV	大于10keV
单个探头NX1	9	233	354
整星	63	440	676

整星模型对结果的影响比较大
空间环境输入对结果具有明显影响

与Konus本底对比

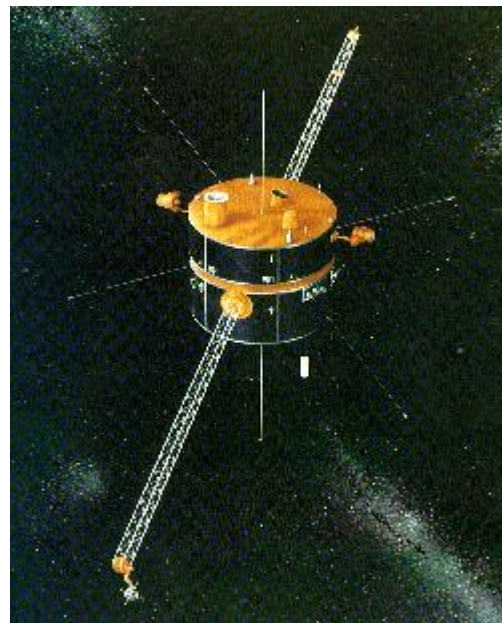


低能段趋势一致，高能段稍有偏移

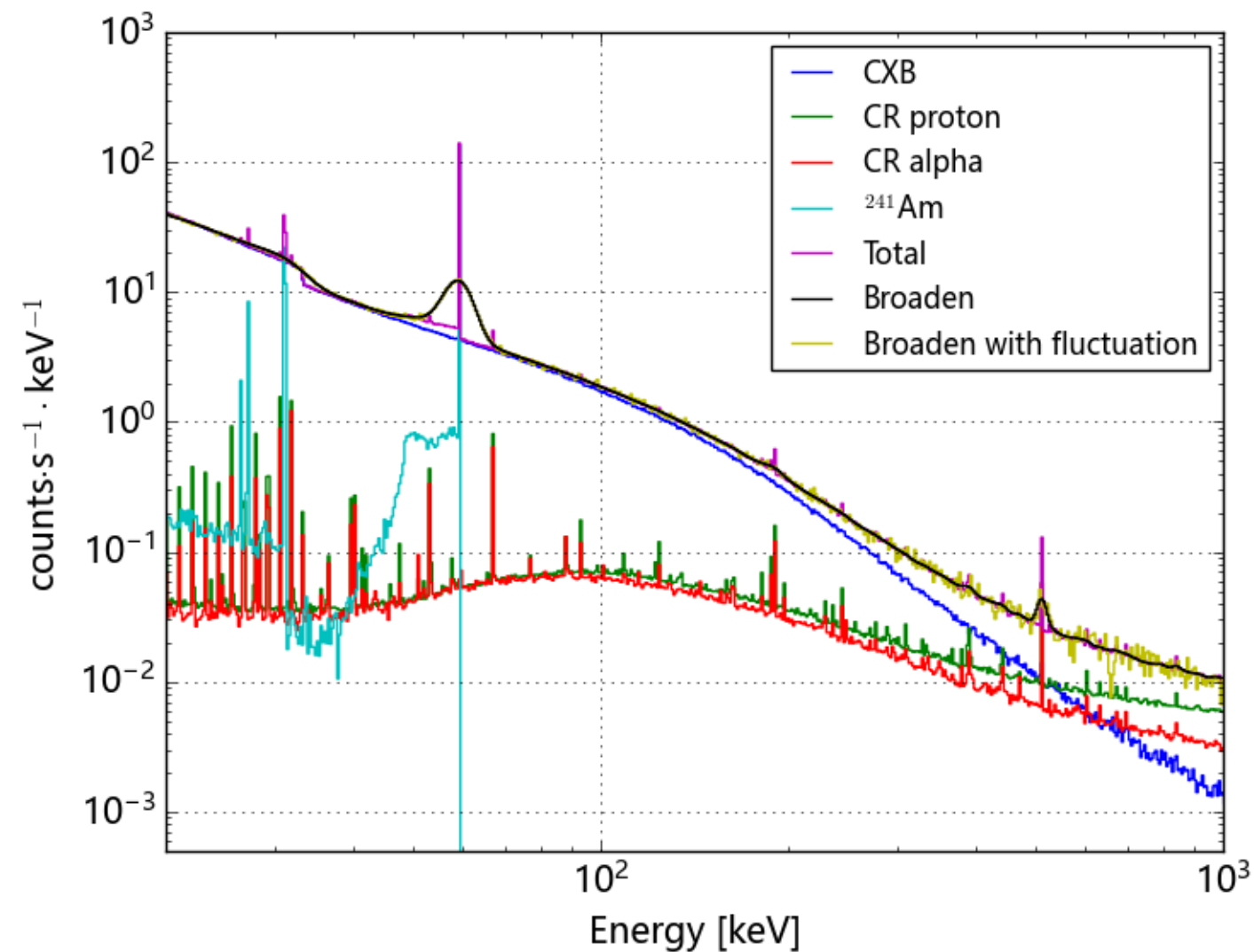
Konus-Wind

日地L1

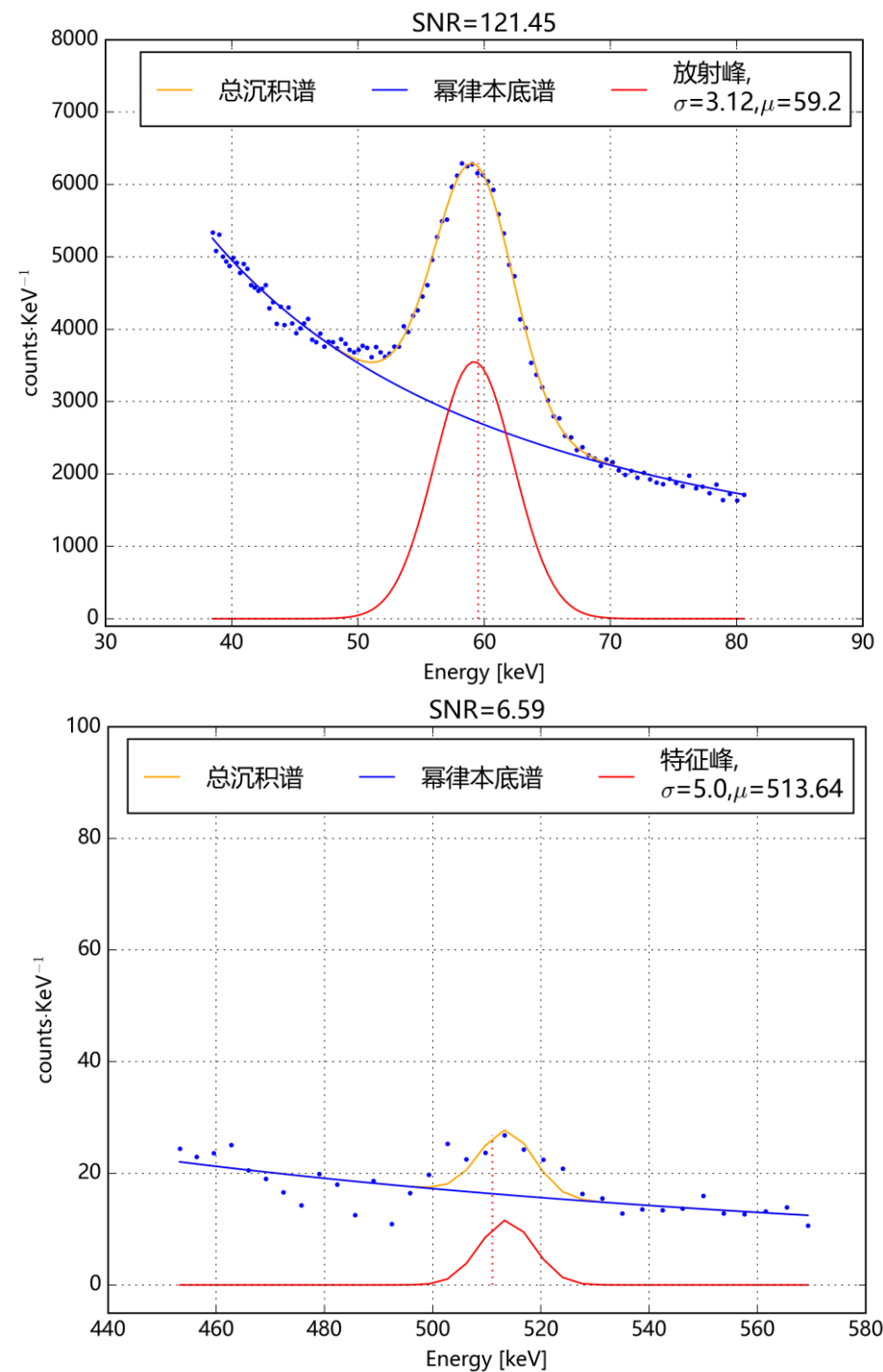
上下两块直径12.7cm，厚度7cm的NaI晶体
(GTM 直径11.5cm，厚度1cm的NaI晶体)



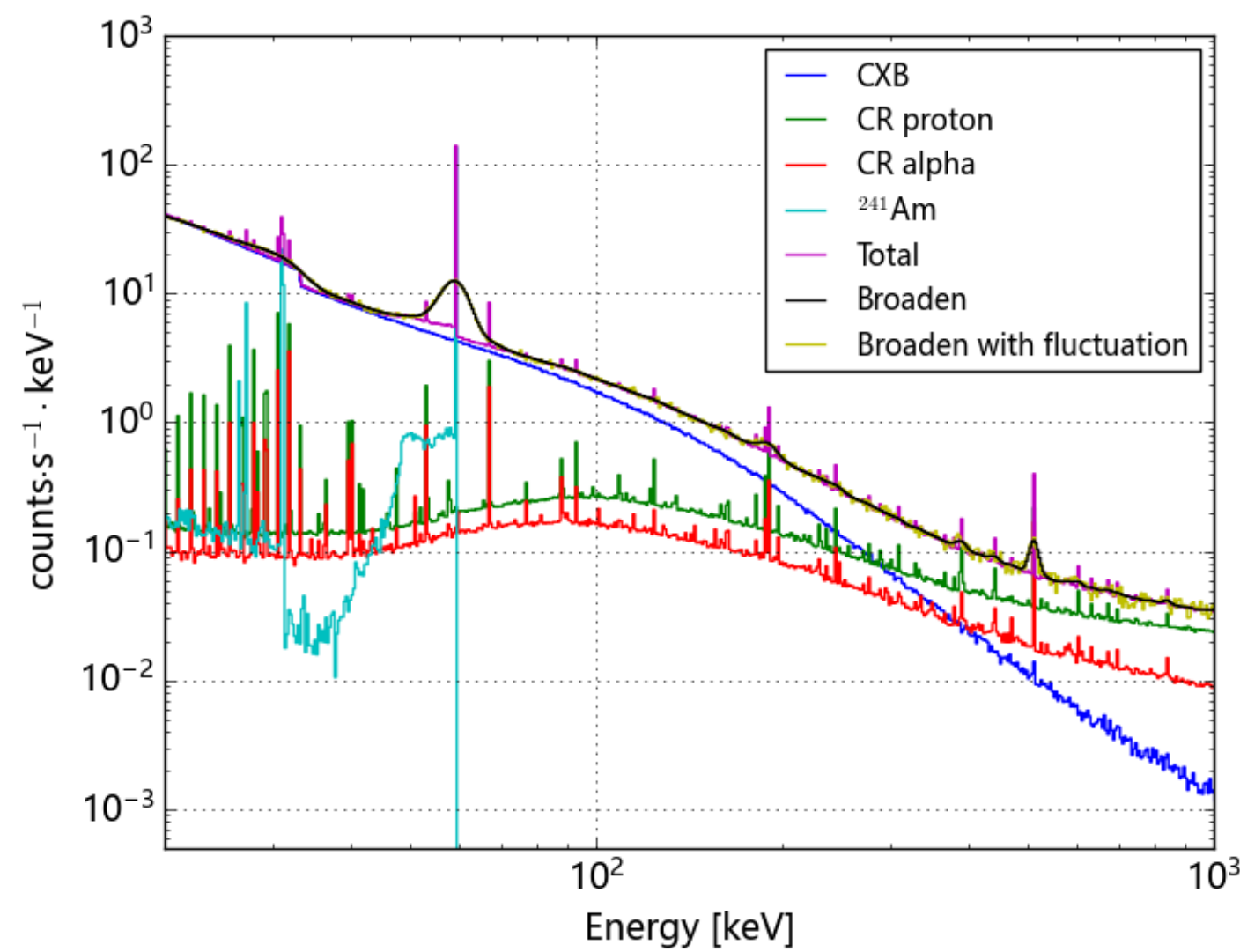
最好条件下一年后GTM单探头-X方向本底水平



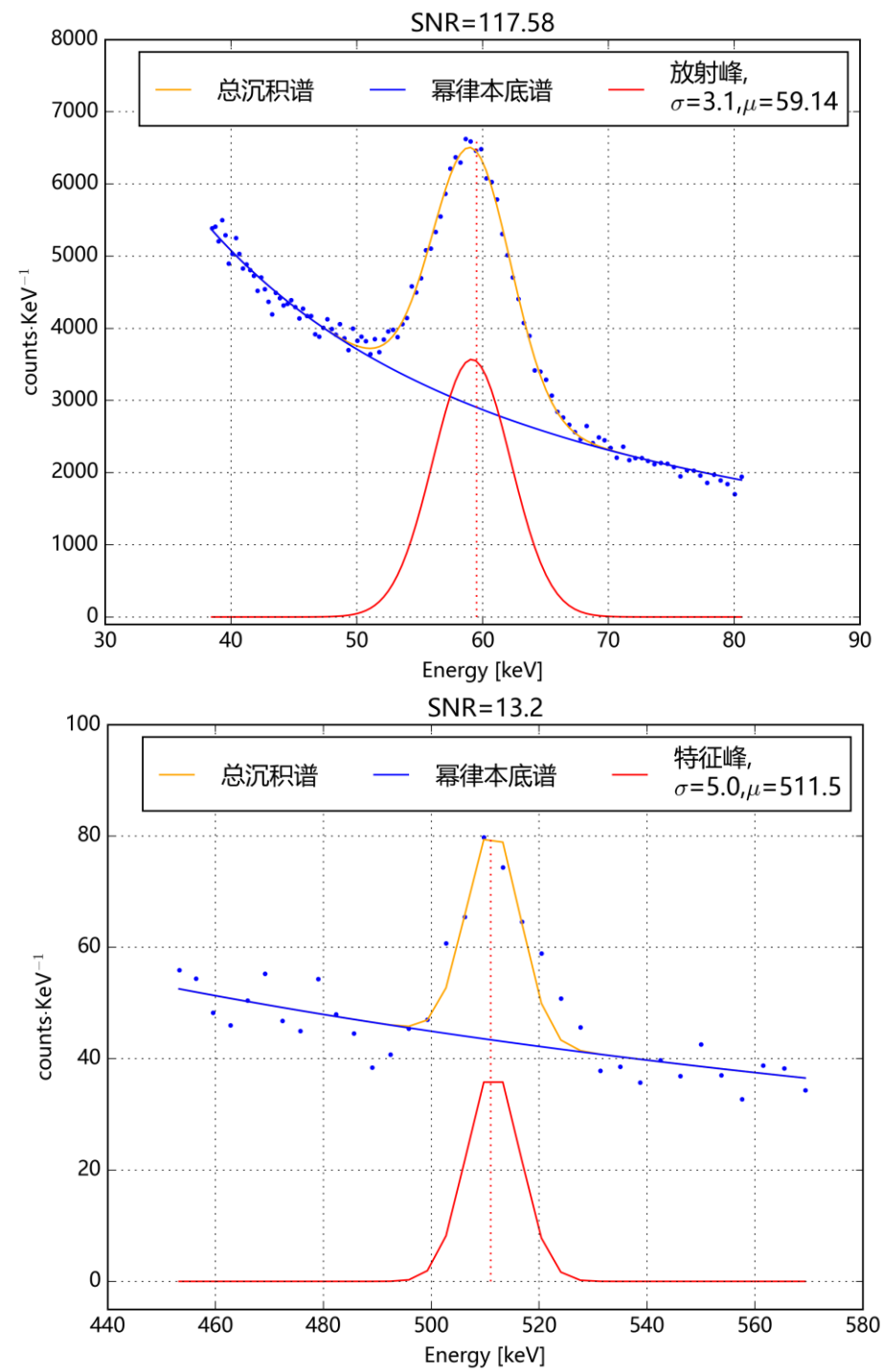
300Bq的内嵌源可以满足在轨标定需求



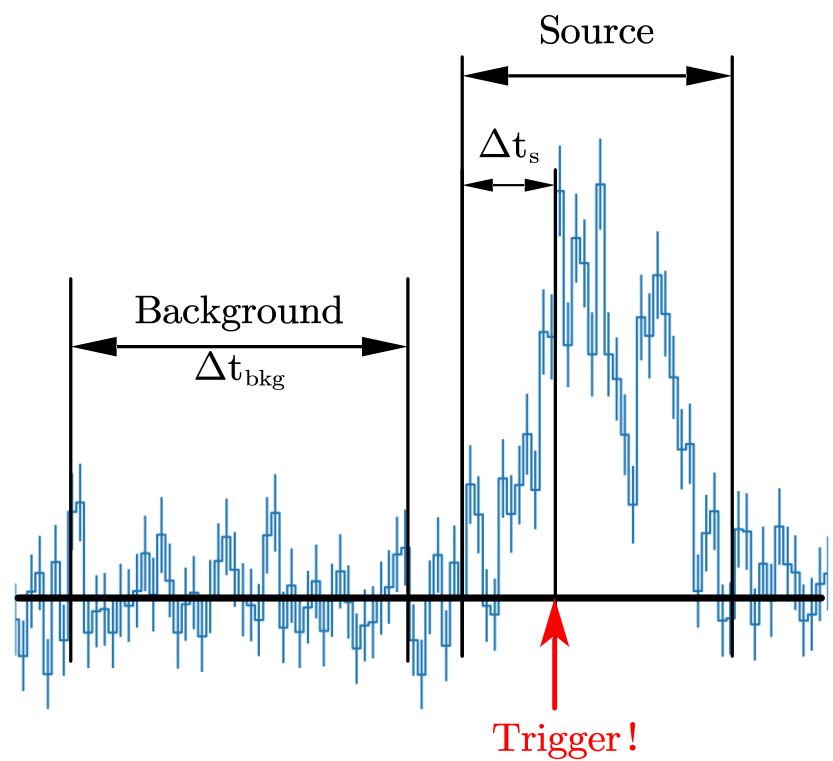
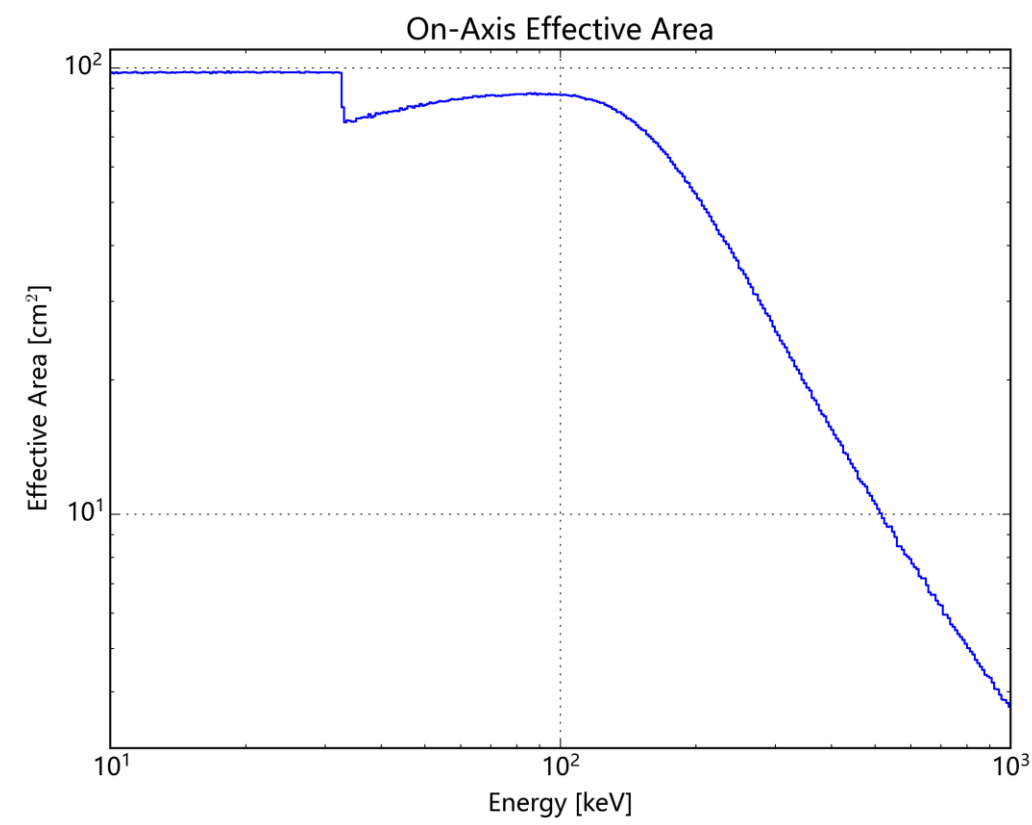
最差条件下一年后GTM单探头-X方向本底水平



300Bq的内嵌源可以满足在轨标定需求



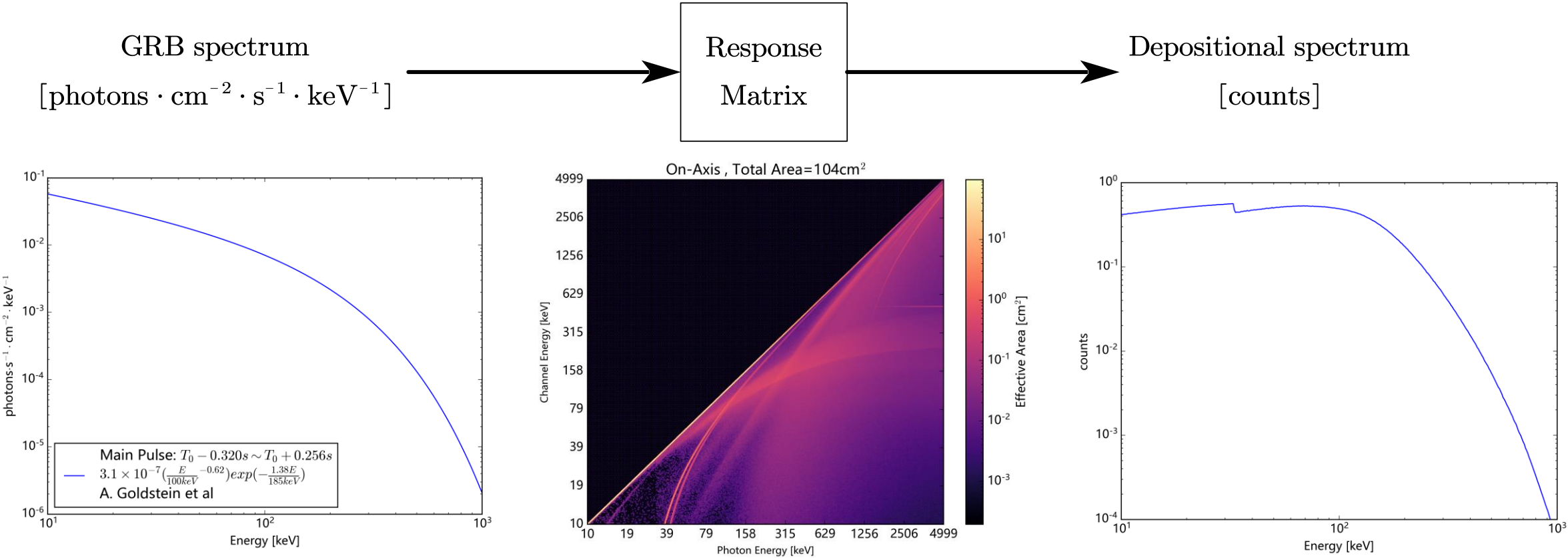
灵敏度与有效面积



$$S - \frac{Bg}{\Delta t_{\text{bkg}}} \Delta t_s > n \sqrt{\frac{Bg}{\Delta t_{\text{bkg}}} \Delta t_s}$$

GRB170817A没有被Konus-Wind探测到，是否可以被GTM探测到？

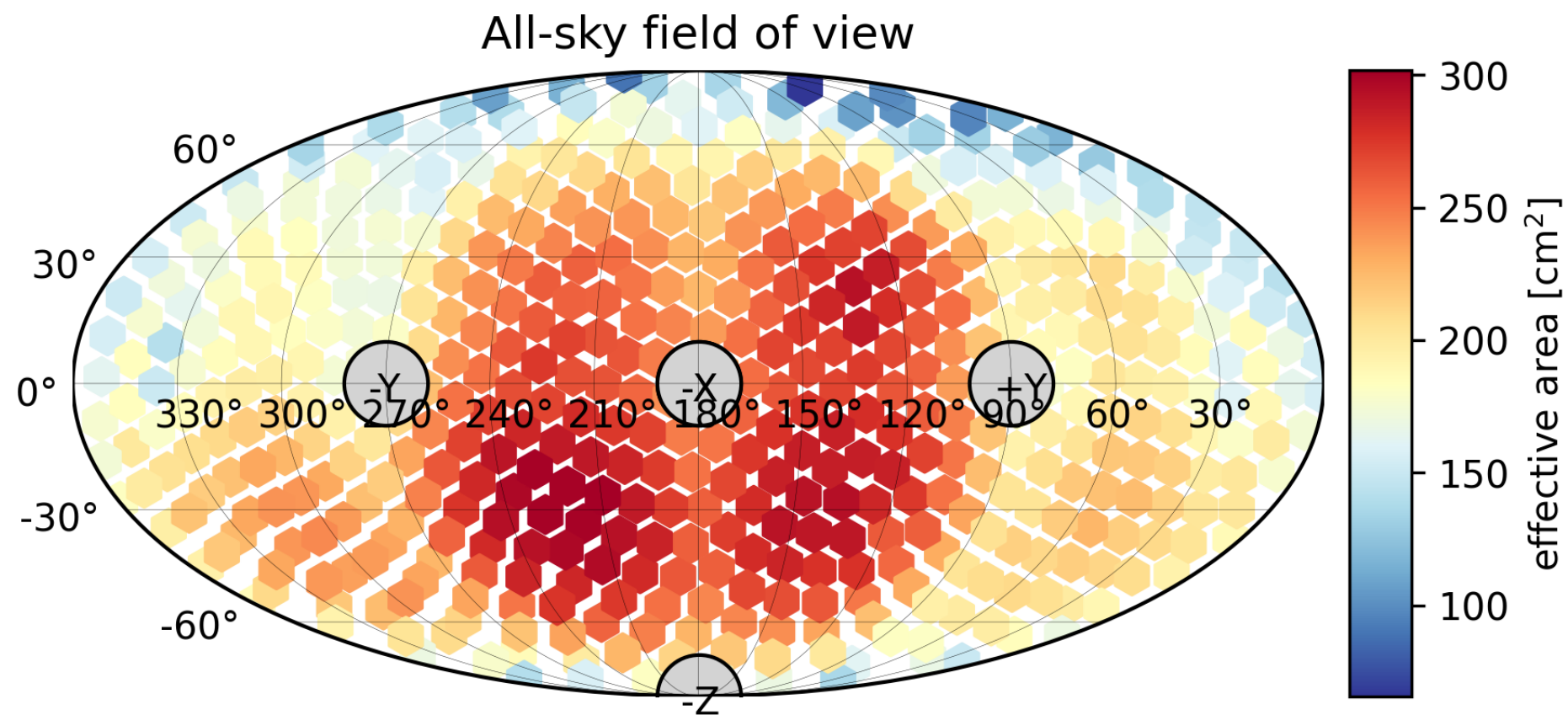
灵敏度与有效面积



正轴入射	SNR (最差本底)	SNR (最好本底)
单个探头	4.38	4.61
两个探头 (-X方向)	6.20	6.53

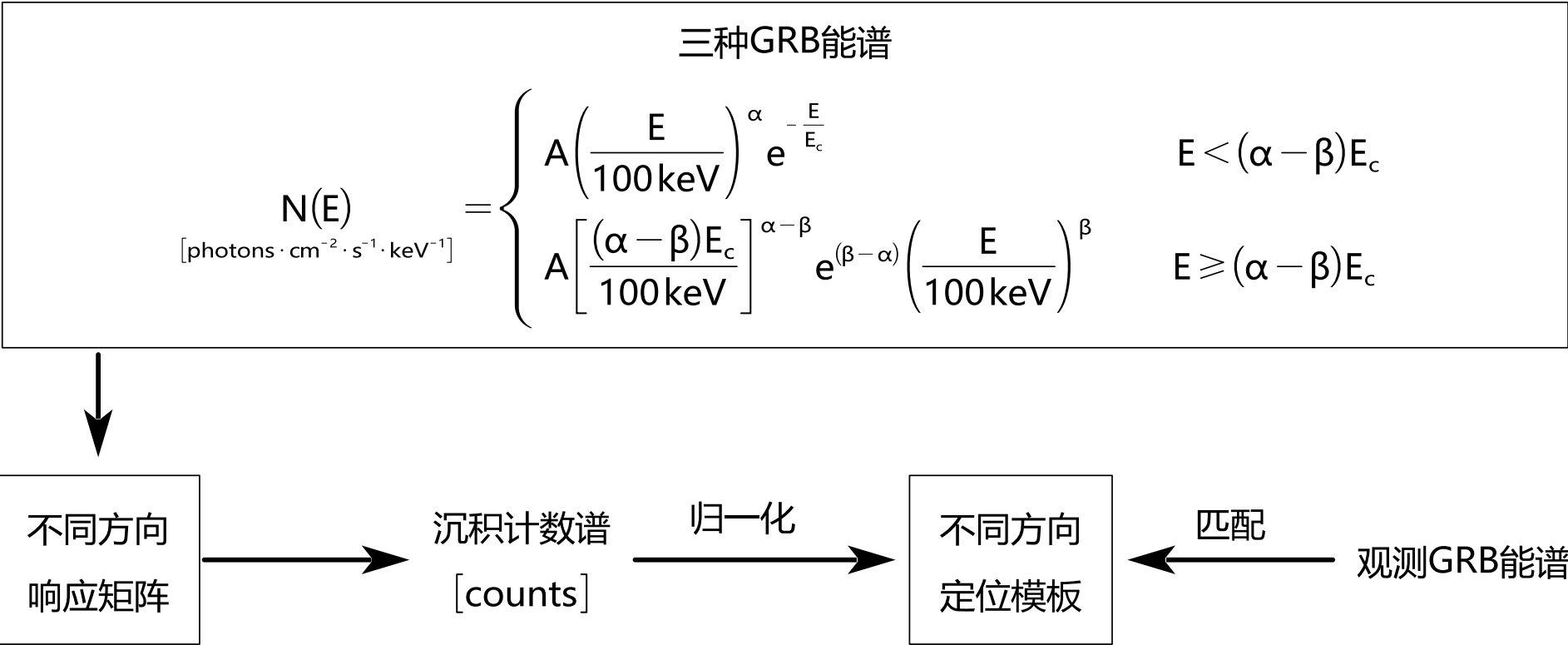
全天500个角度中, 有31% (最好) /18% (最差) 大于4σ

灵敏度与有效面积



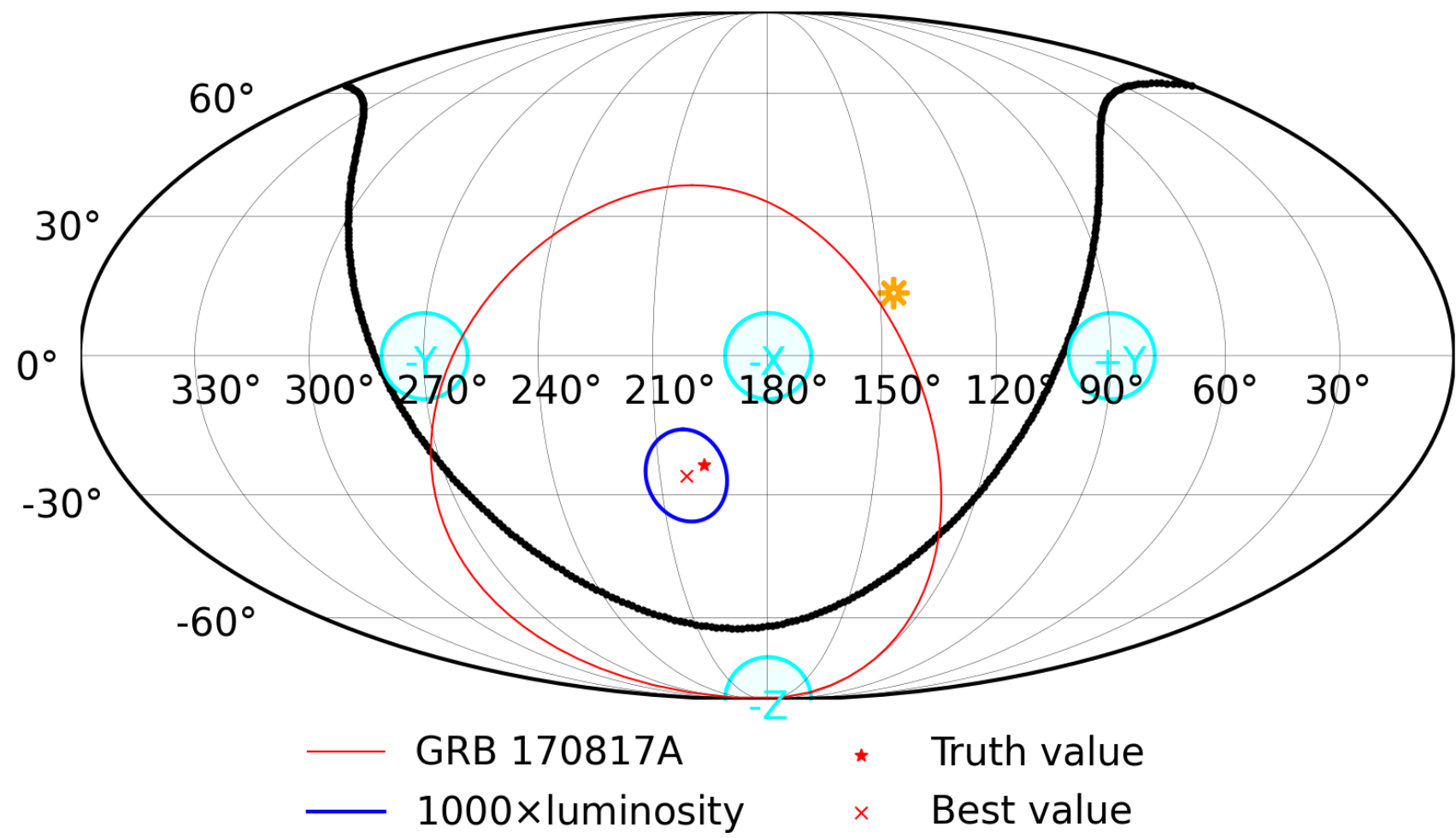
有效面积大于 45cm^2 的天区为100%
基本实现全天覆盖

计数分布定位



	α	β	$E_{\text{peak}} \text{ (keV)}$
软谱	-1.9	-3.7	70
中等谱	-1.0	-2.3	230
硬谱	0	-1.5	1000

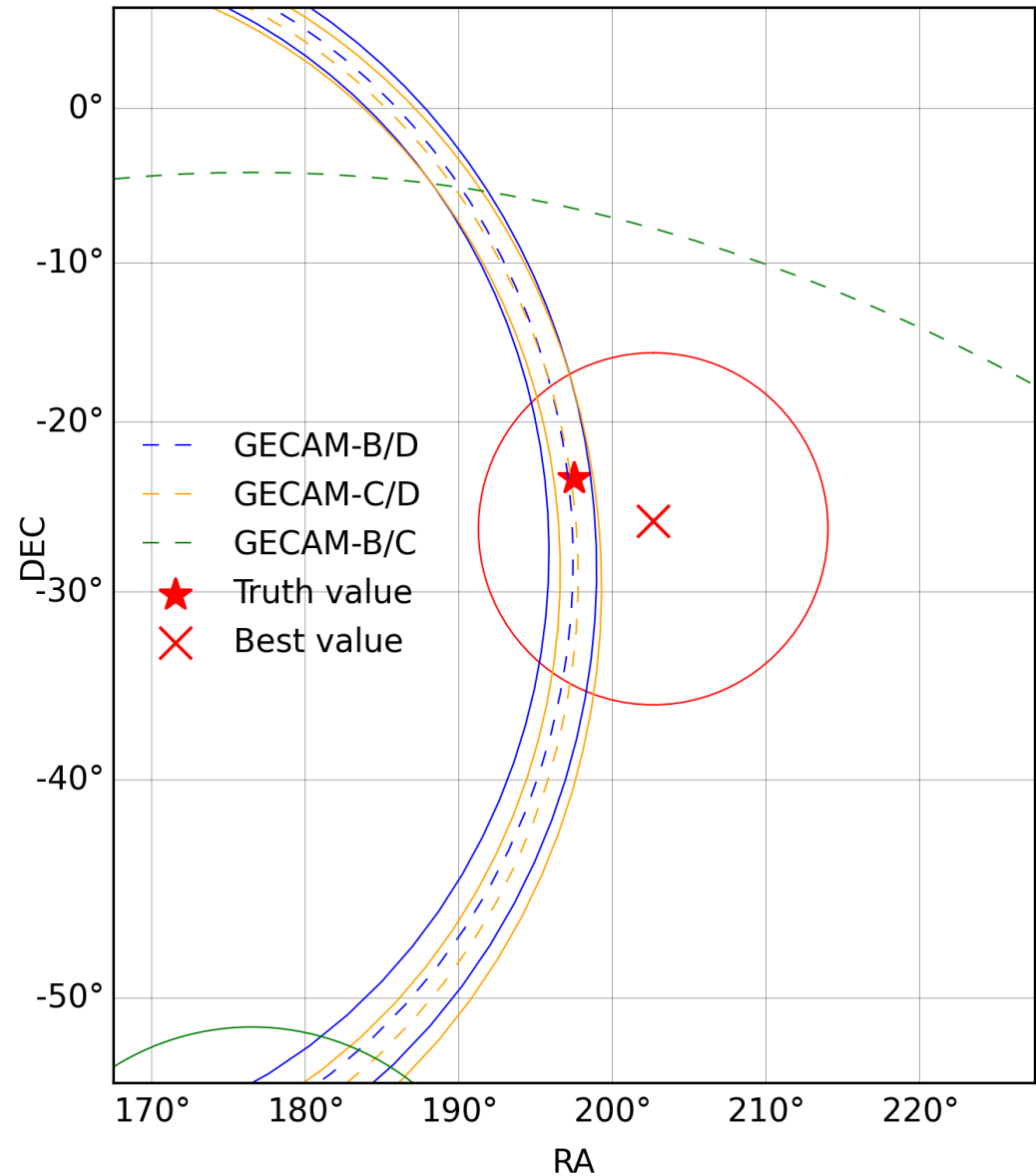
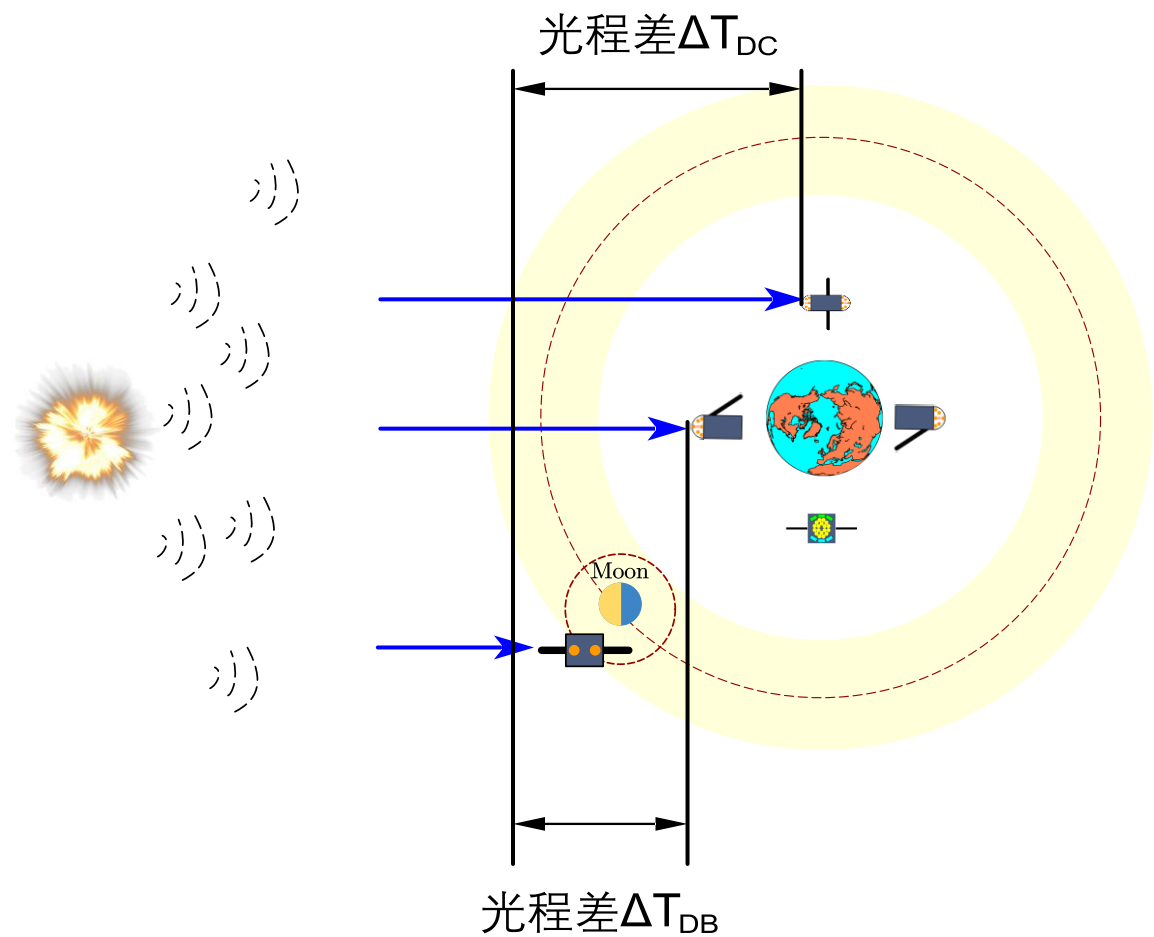
计数分布定位



具有一定的独立定位能力

GRB170817A $E_{iso} \sim 10^{47} \text{erg}$
一般GRB $E_{iso} \sim 10^{53} \text{(长)}/10^{51} \text{(短)}$

时间延迟定位



即使使用CCF也已经可以很好地进行时延定位
Li-CCF将进一步提高定位精度

总结

- 建立了DRO/GTM简化的质量模型，得到了GTM的有效面积和响应矩阵
- 建立了DRO/GTM的静态本底模型，本底水平与Kouns-Wind相当，模型基本可靠
- DRO/GTM视场基本覆盖全天，在相应本底水平下的预期可以探测到类GRB170817A的弱GRB
- DRO/GTM具有一定的自主定位能力以及优秀的时延定位能力

DRO/GTM将与GECAM、HXMT等卫星共同组成高能天体星际探测网络
GTM可以直接对DRO轨道空间环境进行研究，为我国开展后续的深空探测提供基础！

欢迎意见和建议！

