

DAMPE伽马射线的分析进展

沈兆强

PMO

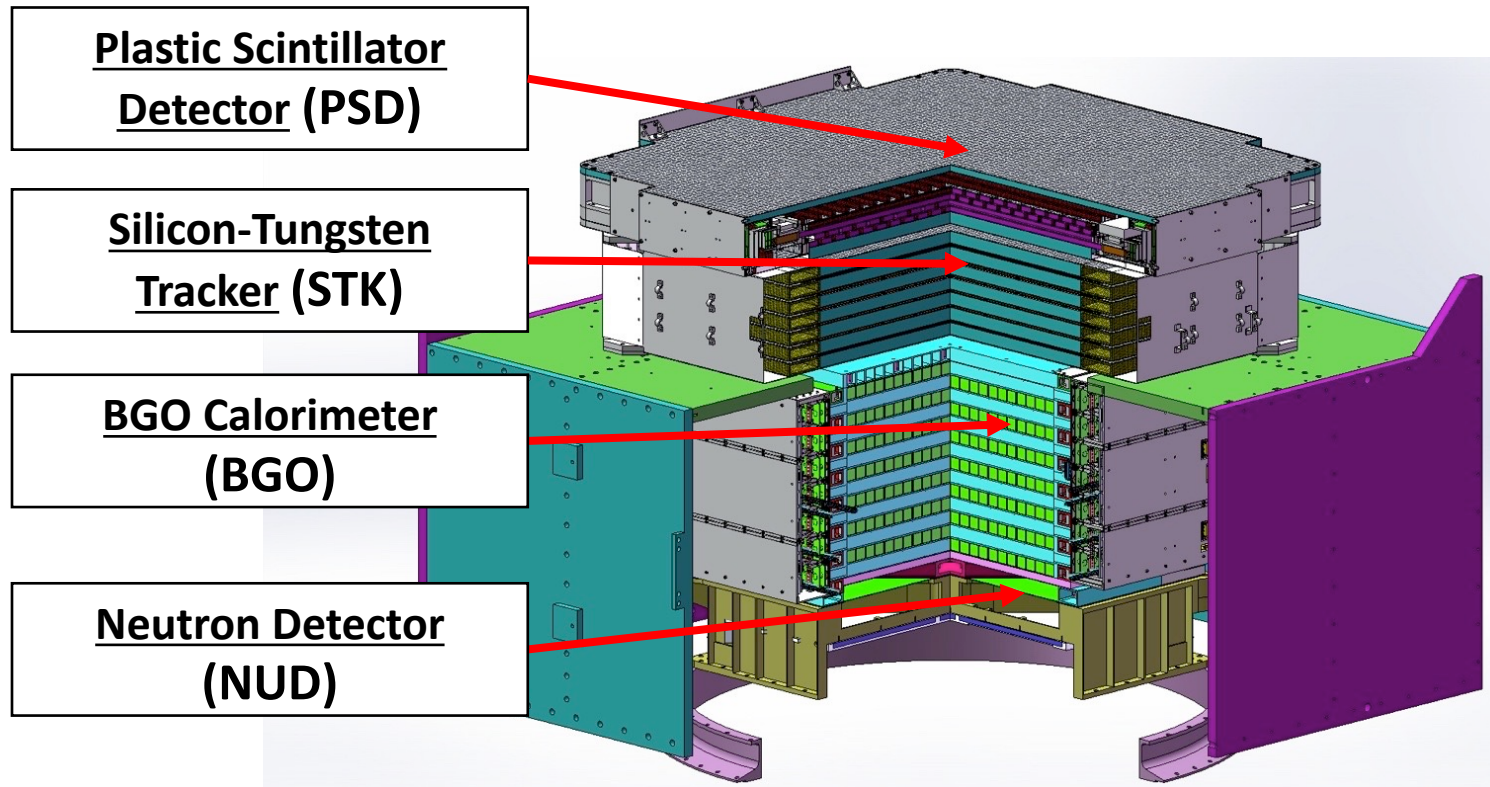
2023-10-22



概要

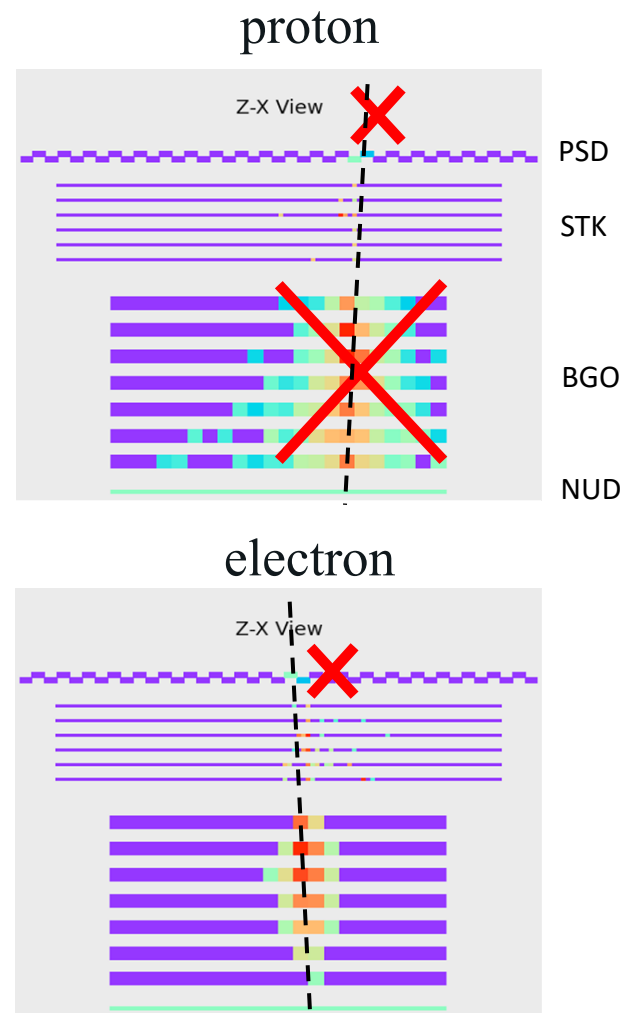
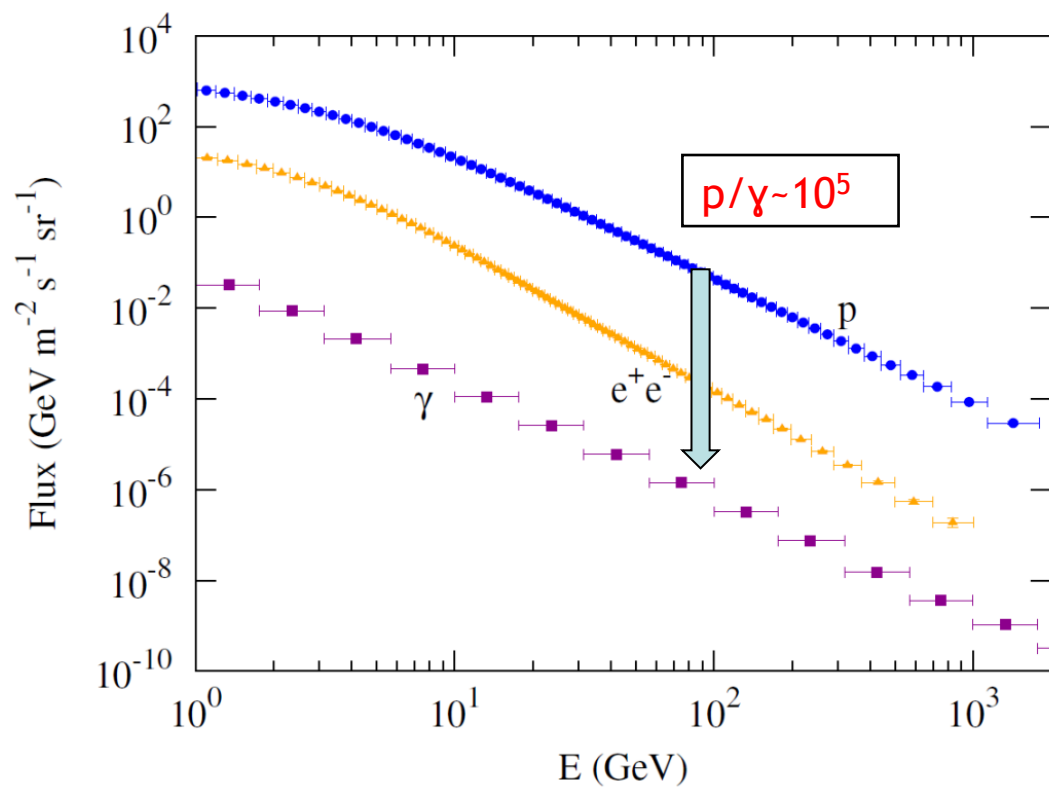
- DAMPE载荷和伽马射线性能
- DAMPE的伽马射线分析进展
 - 银心GeV超出 (Galactic center excess)
 - 费米气泡 (Fermi bubbles)
 - γ 射线线谱搜寻
 - 点源盲搜
- 小结

1、*DAMPE*载荷

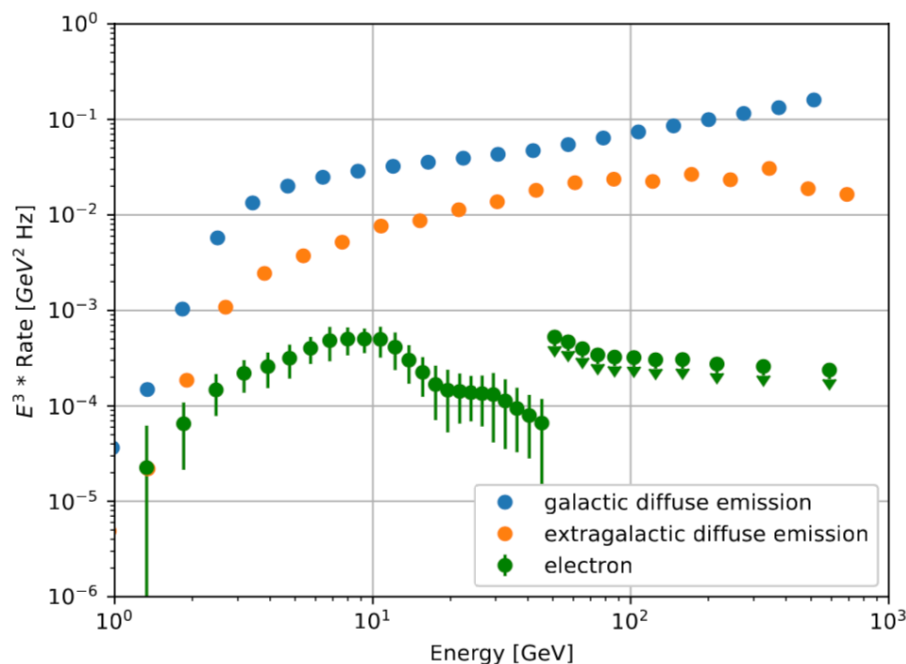
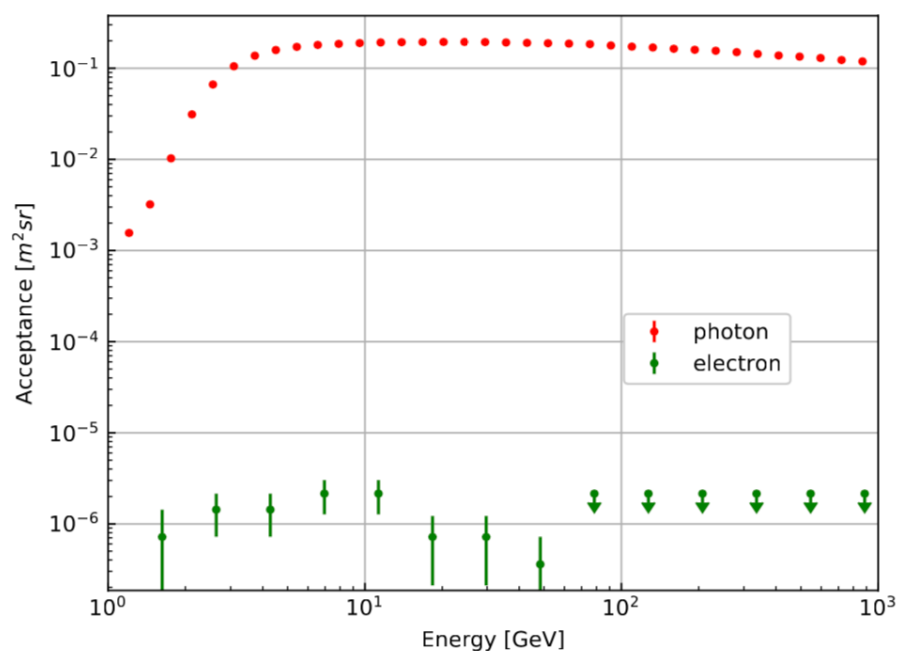


- **PSD**: charge measurement via dE/dx and ACD for photons
- **STK**: track, charge and photon converter
- **BGO**: energy measurement, particle identification
- **NUD**: particle identification

光子挑选算法

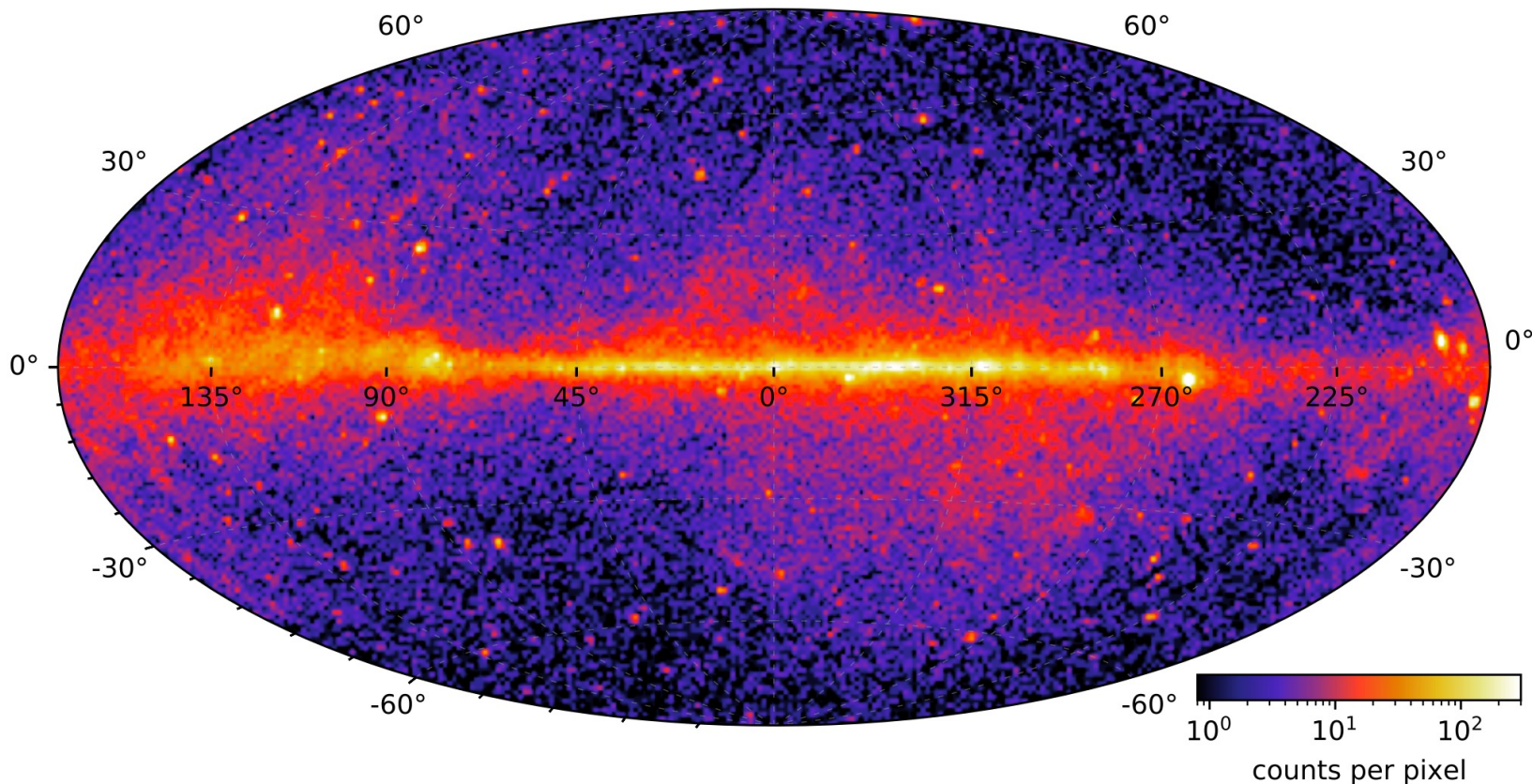


光子事例中的本底



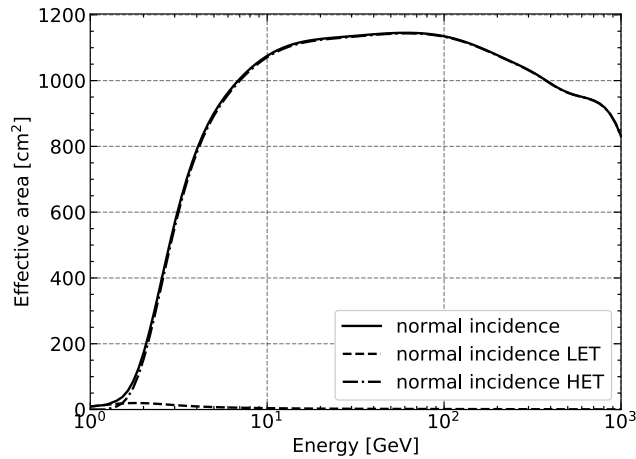
在光子挑选算法选出的10 GeV以上的事例中，带电宇宙线粒子的占比 $\lesssim 1\%$ 。

2 GeV以上的光子计数图



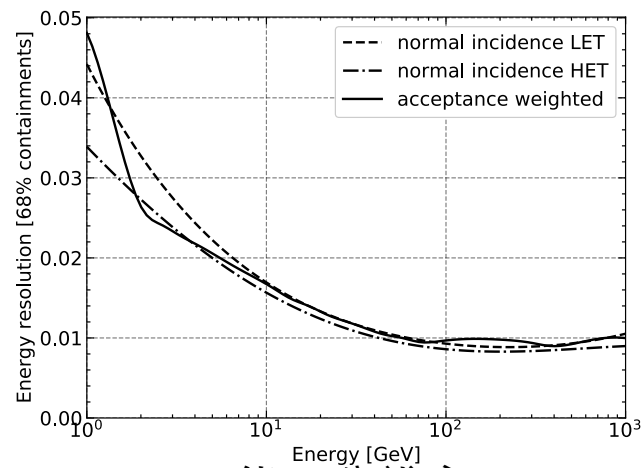
经过7.5年的持续运行，DAMPE收集了超过30万个光子事例。其中前6年的数据已经公开发布（<https://dampe.nssdc.ac.cn>）。

DAMPE的光子探测性能



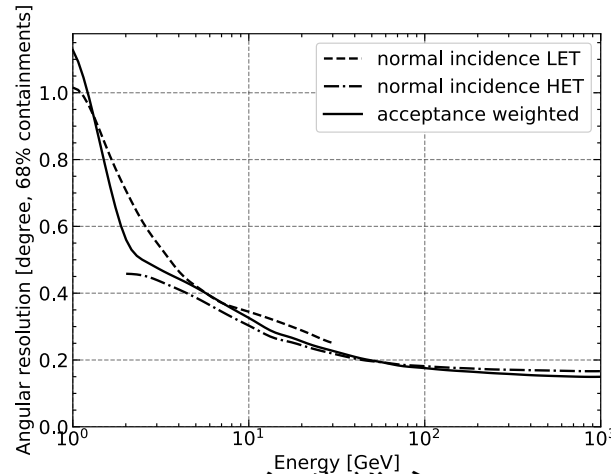
有效面积

~ 1100 cm^2 @ 100 GeV



能量分辨率

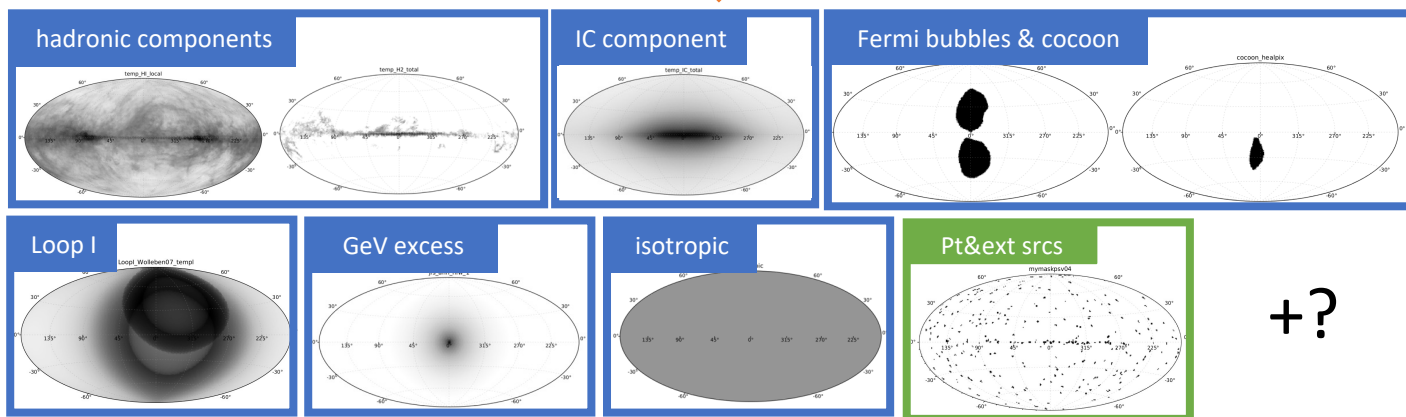
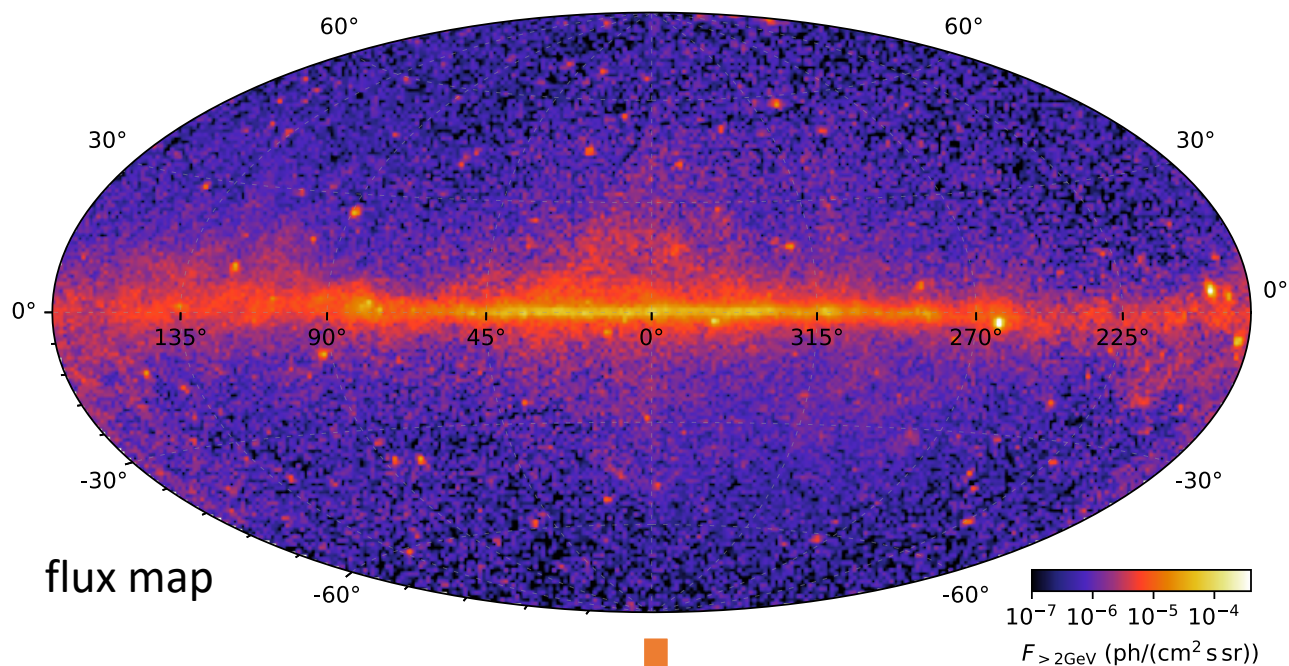
~ 1% @ 100 GeV



角分辨率

~ 0.18° @ 100 GeV

2、GeV伽马射线天空



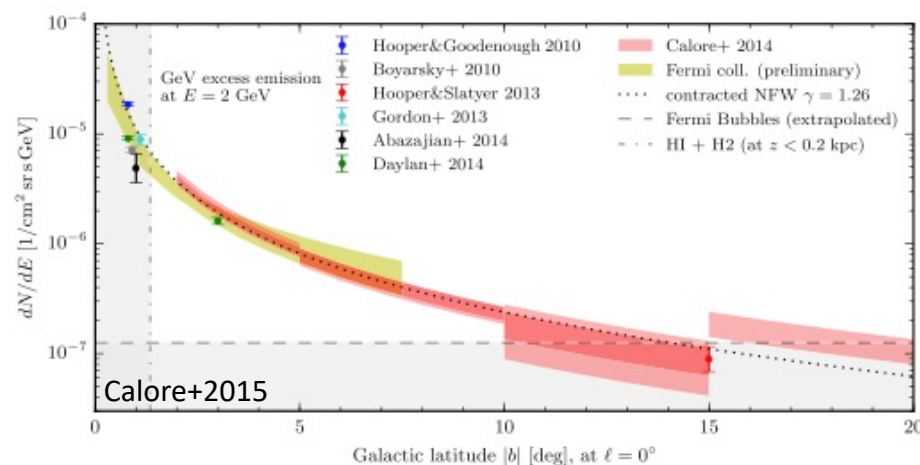
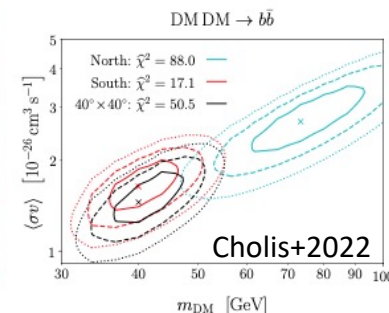
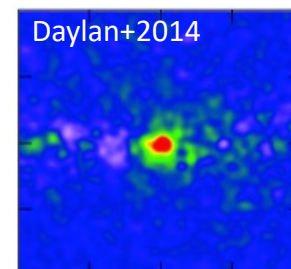
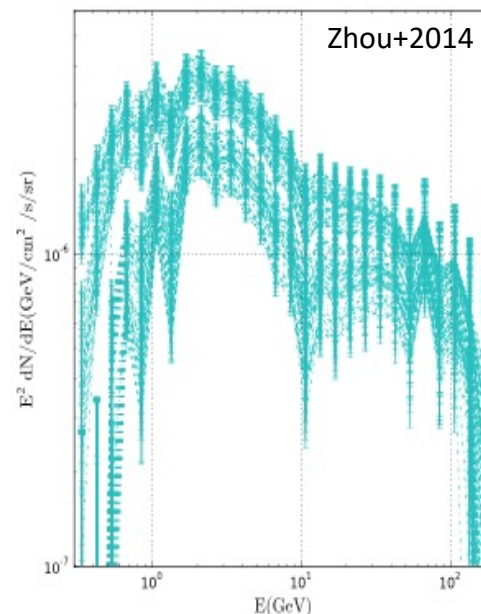
2.1、银心GeV超出

形态

- 以银心为中心的圆形对称的超出
- 流量随半径正比 $\sim r^{-2.4}$ 延伸到10-20度。表明暗物质密度分布正比于 $\sim r^{-1.2}$ ，并延伸到约 ~ 1.4 kpc

能谱

- 从约 ~ 600 MeV延伸到 ~ 100 GeV，能流峰值在 ~ 2 GeV附近
- 可以用 ~ 40 - 60 GeV的暗物质湮灭到强子道解释
- 湮灭截面大约为 $\sigma v \sim 10^{-26} \text{ cm}^3/\text{s}$ ，可以解释目前宇宙的暗物质丰度



DAMPE光子数据和模型

✓ 数据集

7.2年DAMPE标准光子数据集
HET+LET, BA, noSAA

✓ ROI选择

$|\ell| < 20^\circ$, $1^\circ < |b| < 20^\circ$

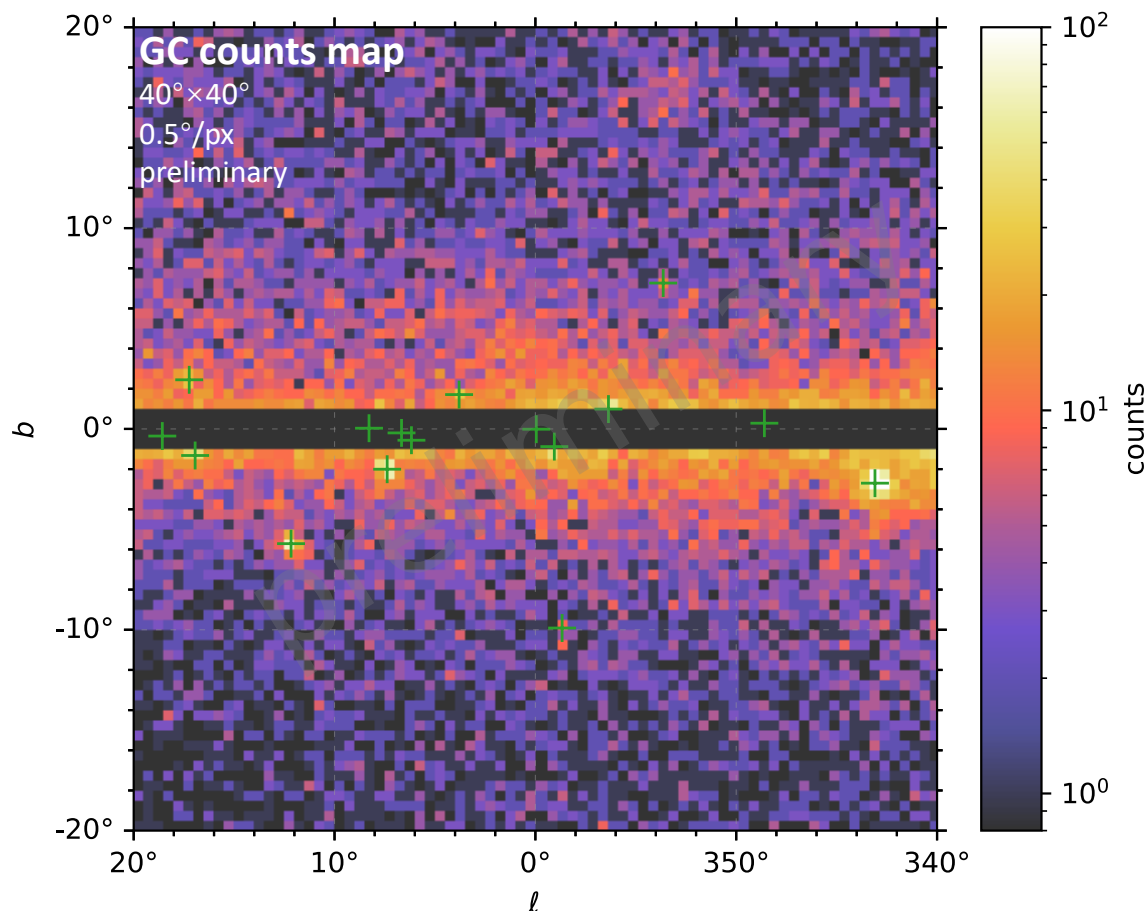
舍去7.2年源表点源附近 1° 的区域

✓ 分bin方式

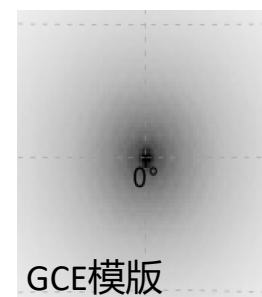
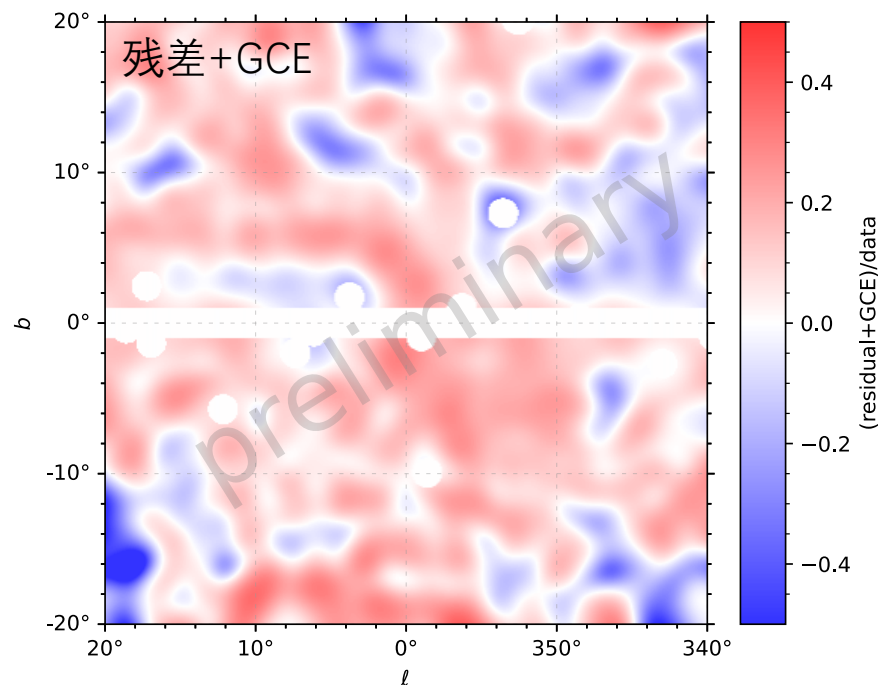
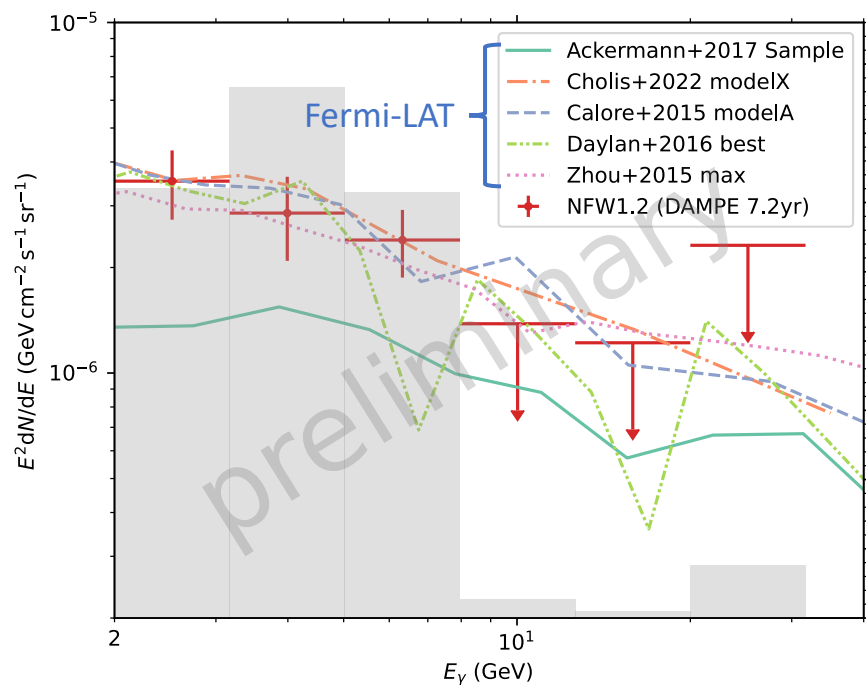
400×400像素 (0.5°/像素)
2-31.6 GeV等对数12个bins

✓ 模型

- GeV超模版 (NFW, $\gamma = 1.2$)
- 银河系弥散辐射模版 (1SC, $^s\text{L}^z 10^\text{T} 150$)
- 费米气泡 (FBs; Su+2010)
- 7-yr DAMPE点源 (固定能谱)
- 剩余Fermi-LAT点源 (整体拟合)
- 各向同性辐射

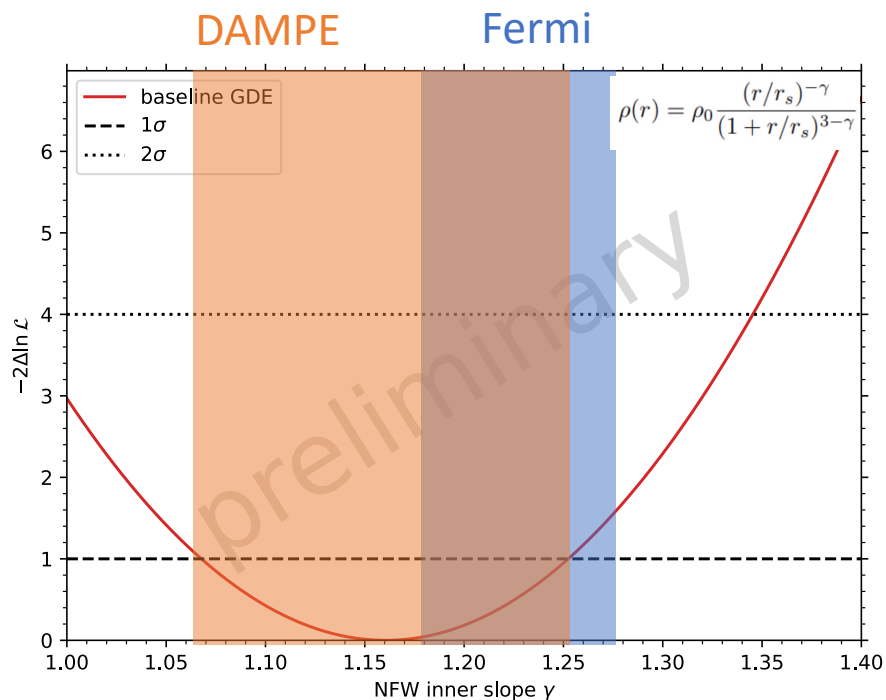


银心GeV超出的能谱



- 总 $TS_{GCE}=81.3$ ($\sim 7.9\sigma$, 6dof)
- 在银心位置上看到一个延展超出成分, 它主要出现在2-8 GeV之间
- 由于显著性较低, 目前看不出球对称的超出结构

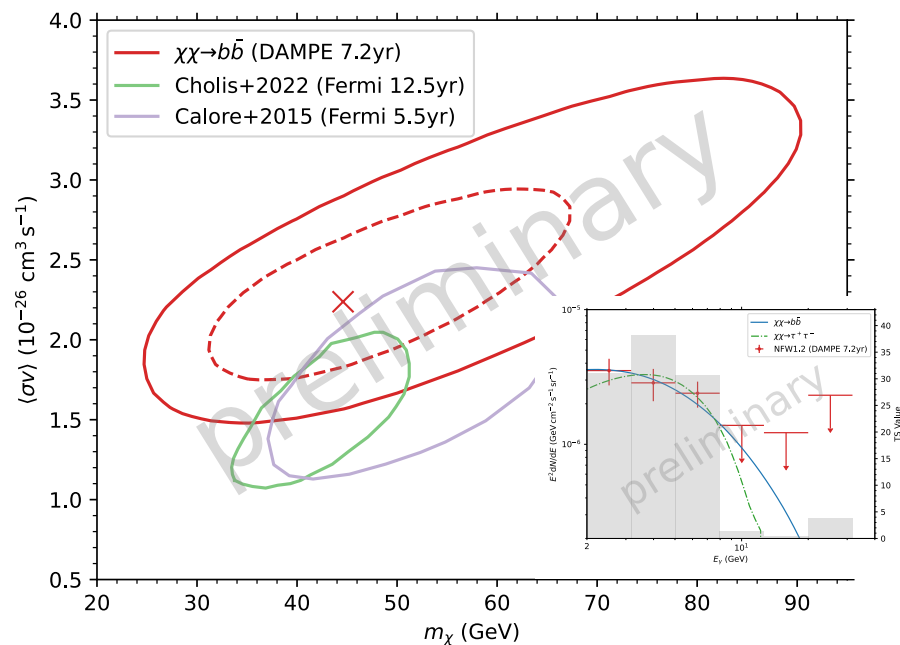
GeV超的暗物质解释



1. GCE的空间分布

$$\gamma = 1.16 \pm 0.10$$

和Fermi-LAT给出的1.18-1.28一致



2. 暗物质解释的参数空间

$$\chi\chi \rightarrow b\bar{b}:$$

$$m_\chi = 45 \pm 11 \text{ GeV},$$

$$\langle\sigma v\rangle = (2.2 \pm 0.3) \times 10^{-26} \text{ cm}^3/\text{s}$$

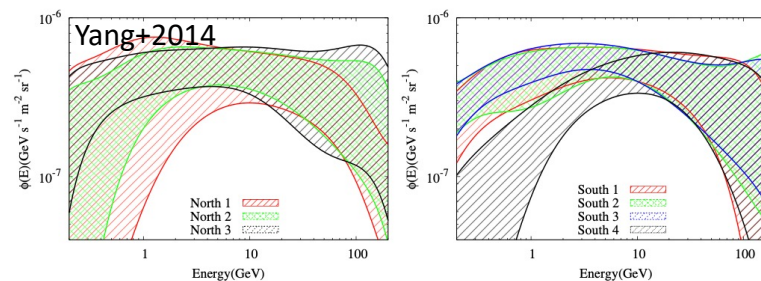
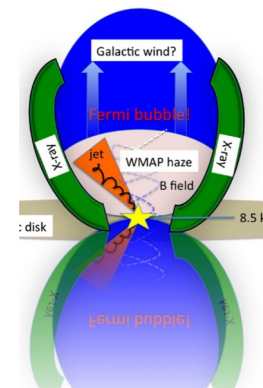
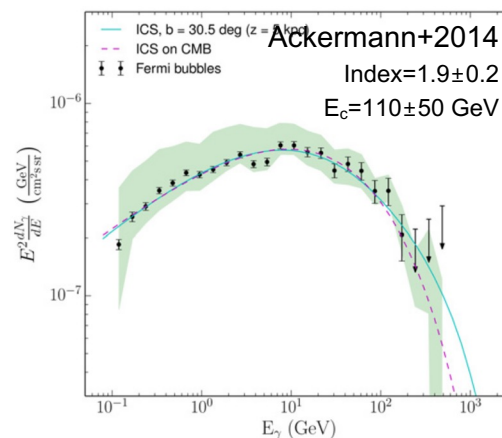
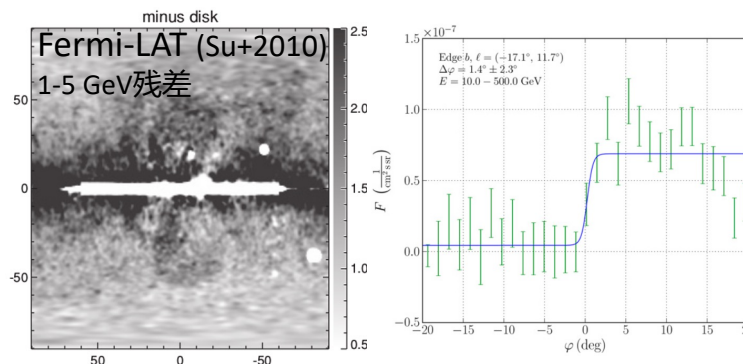
2.2、费米气泡

形态

- 银心方向，以银盘对称的上下50度的气泡形超出
- 气泡内部辐射均匀，存在锐利的边界，因此不是一个壳状的结构
- 南天的气泡内部有一个cocoon状结构，有报道存在jet样准直的超出

能谱

- 从约~100 MeV延伸到~300 GeV，截断于110 GeV，谱指数约1.9
- 能谱存在些微的经度、纬度的演化
- 可能来自于星系风或是喷流，无法分辨是轻子或强子起源



光子数据和模型

✓ 数据集:

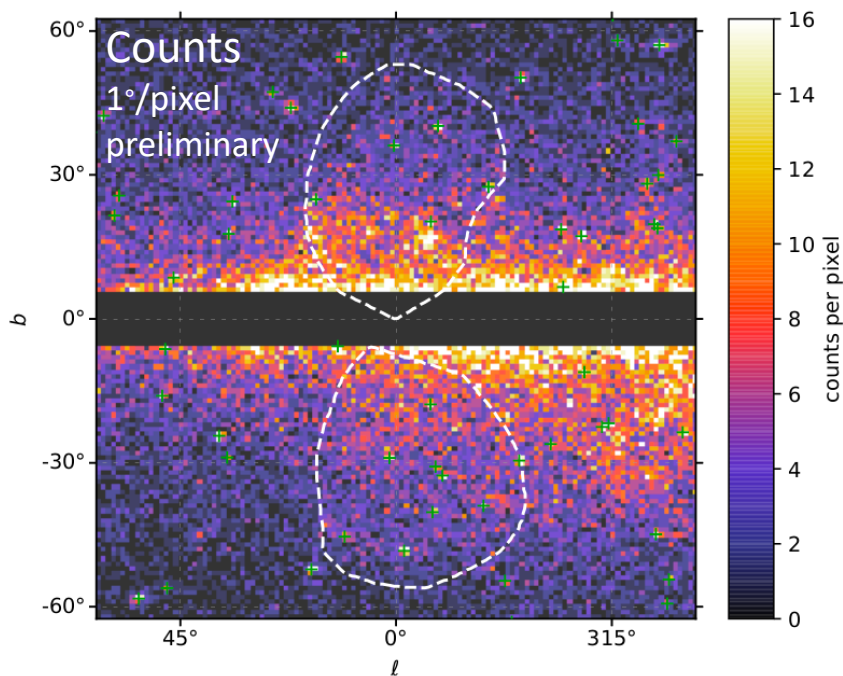
6.0yr DAMPE标准光子数据集,
LET+HET, BA, noSAA

✓ ROI选择:

$|l| < 60^\circ$, $5^\circ < |b| < 60^\circ$
挖去源表附近 2° 区域的数据

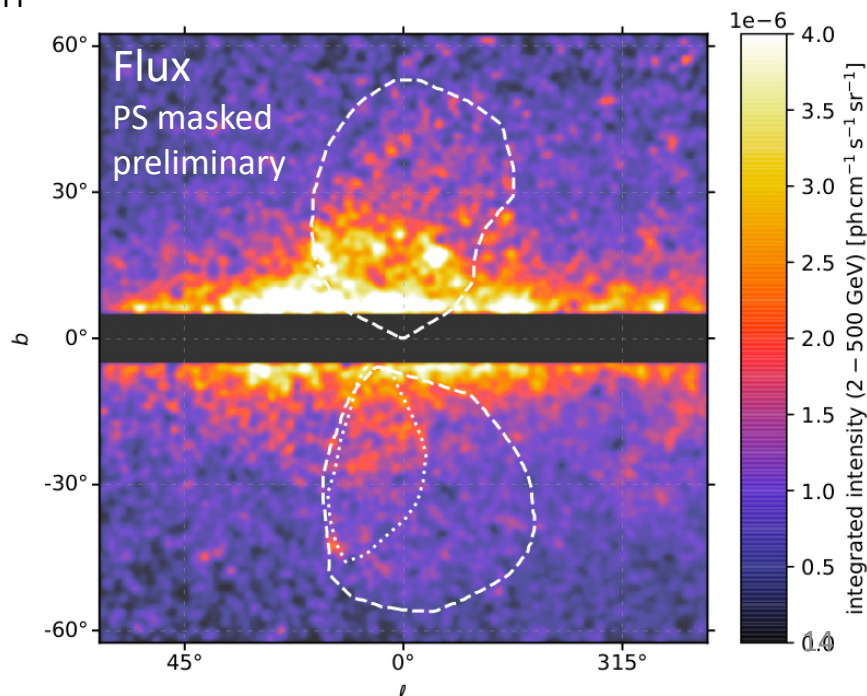
✓ 分bin方式:

NSIDE=64的HEALPix, 2-500 GeV 24个bin



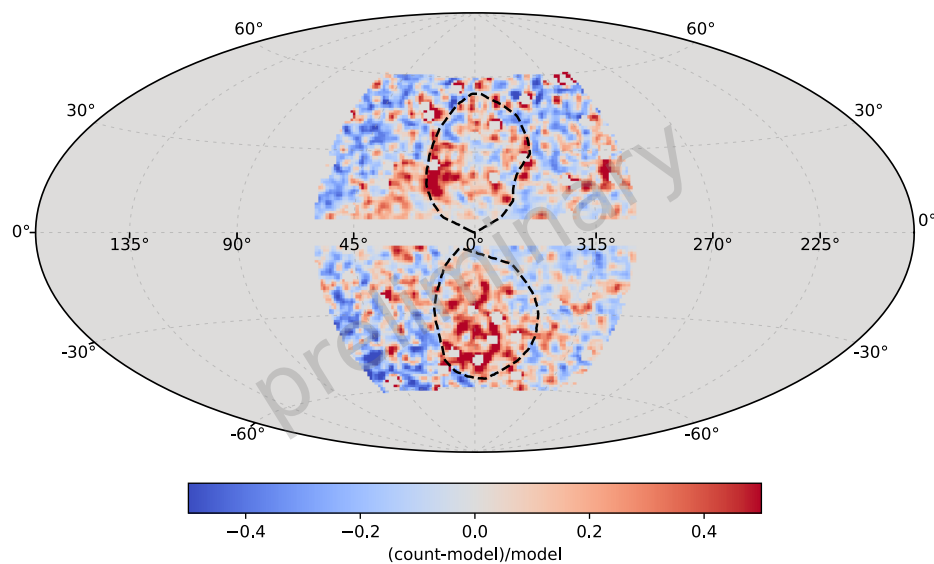
✓ 伽马射线模型:

- 银河系弥散辐射模版 (Fermi 2015)
- 费米气泡 (FBs; Su+2010)
- 7-yr DAMPE点源 (固定能谱)
- Loop I (Wollenben 2007)
- 各向同性辐射

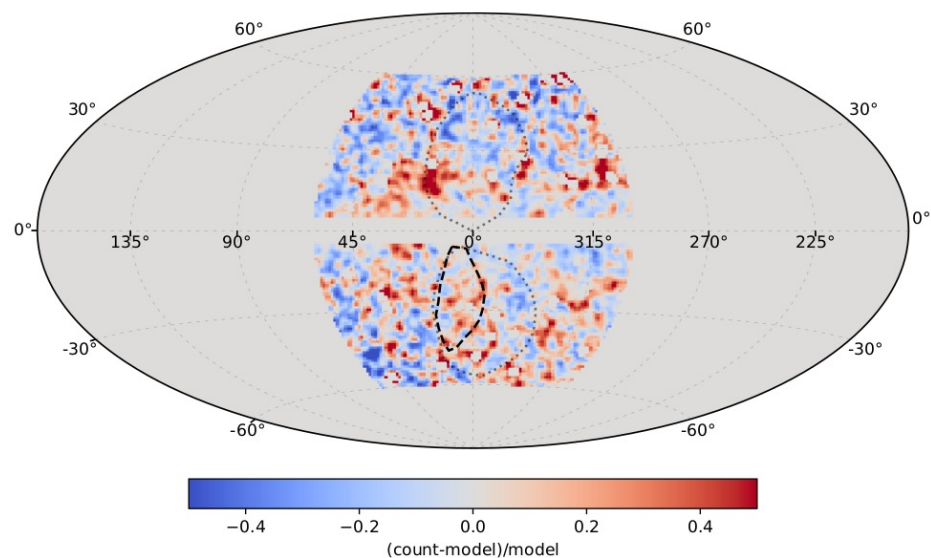


费米气泡区域的残差图

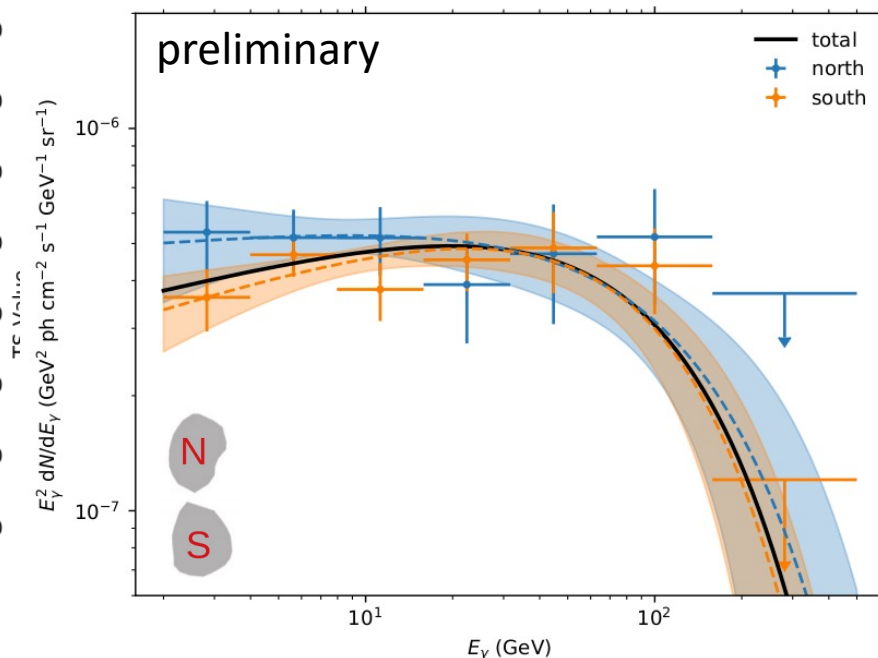
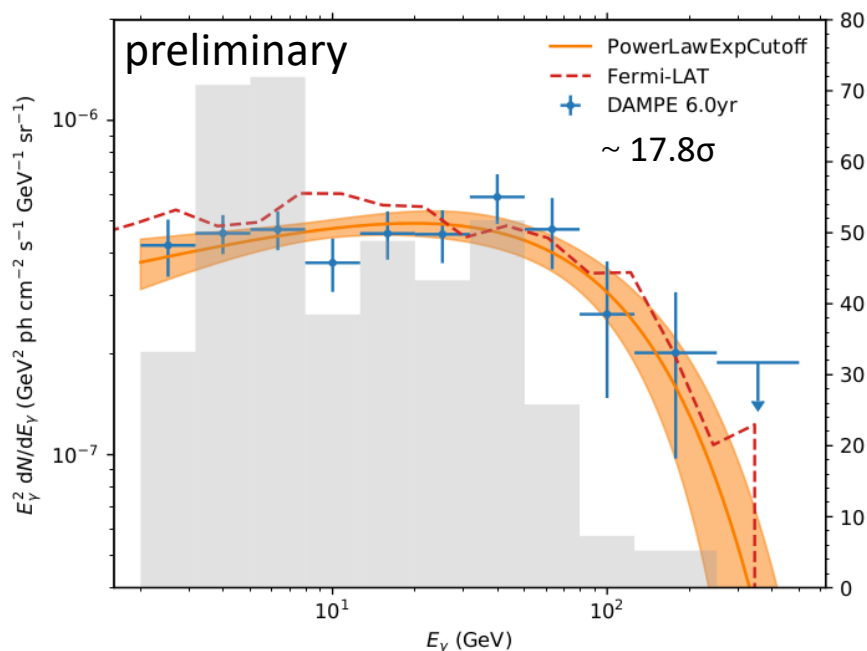
模型中不含FB模版时



模型中含FB模版时

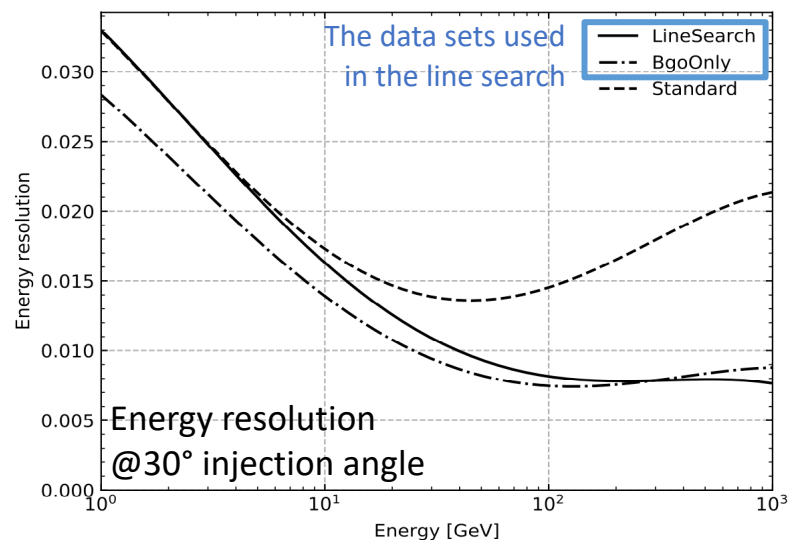
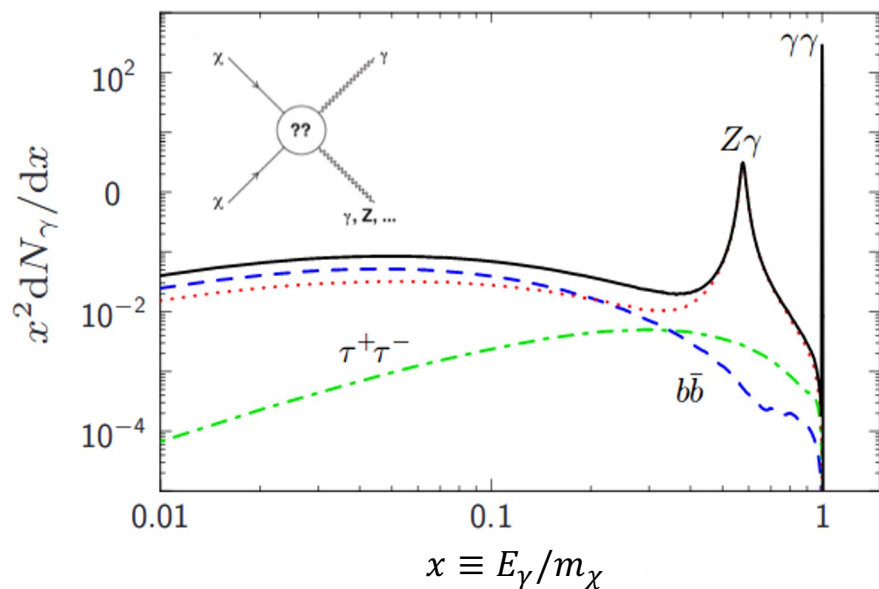


费米气泡的能谱

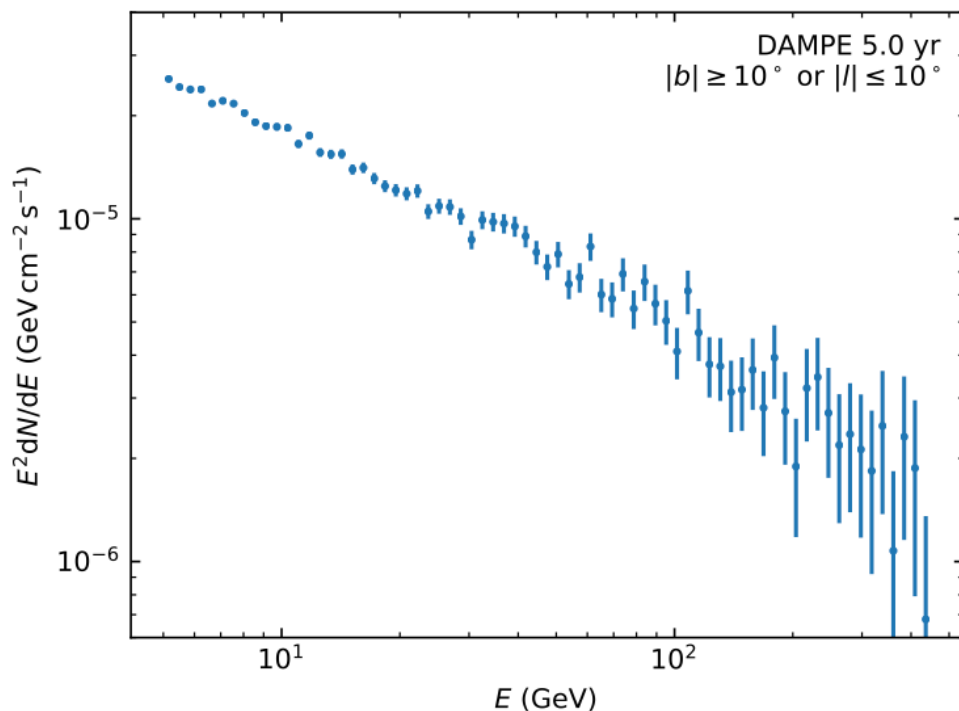


- 费米气泡：TS_{FB}= 327.3 ($\sim 17.8\sigma$), 南北两部分能谱一致
- 能谱存在显著弯曲：
TS_{curve}=14.1 ($\sim 3.7\sigma$), 截断幂律谱谱形略好于对数抛物线 ($\Delta TS \sim 4.5$)
- 最佳截断幂律谱参数：
谱指数 index = 1.81 ± 0.12 , 拐折能量 $E_{\text{cut}} = 102 \pm 41$ GeV,
 $F_{>2\text{GeV}} = (2.10 \pm 0.18) \times 10^{-8}$ ph/cm²/s/GeV/sr

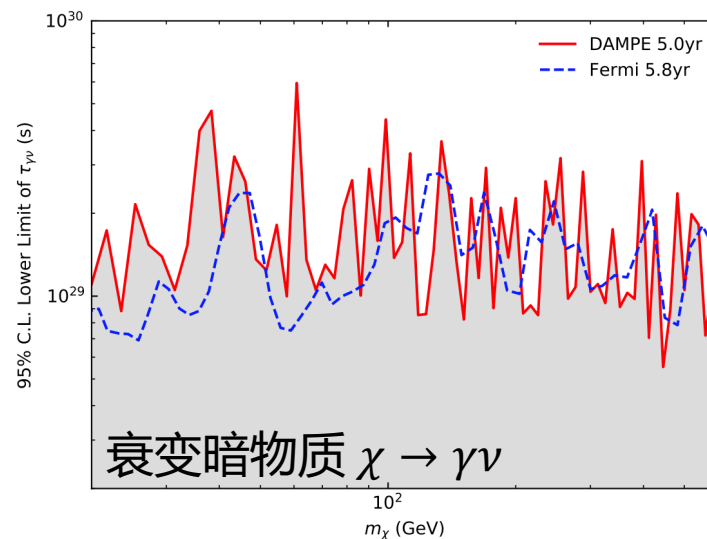
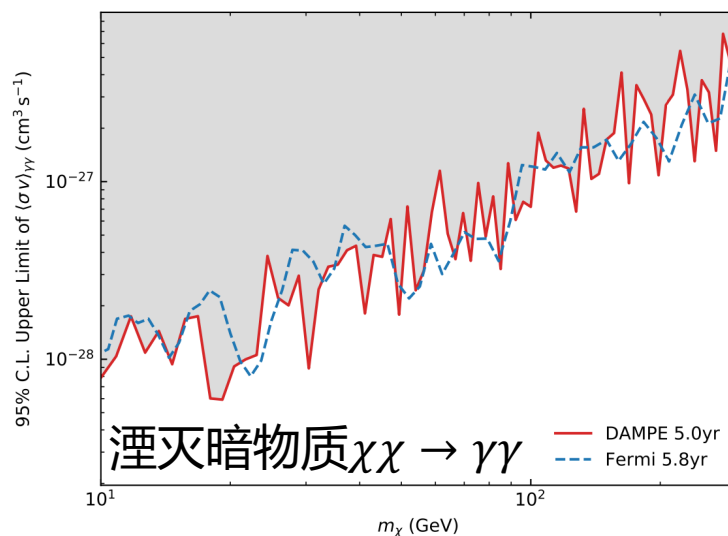
2.3、伽马射线线谱搜寻



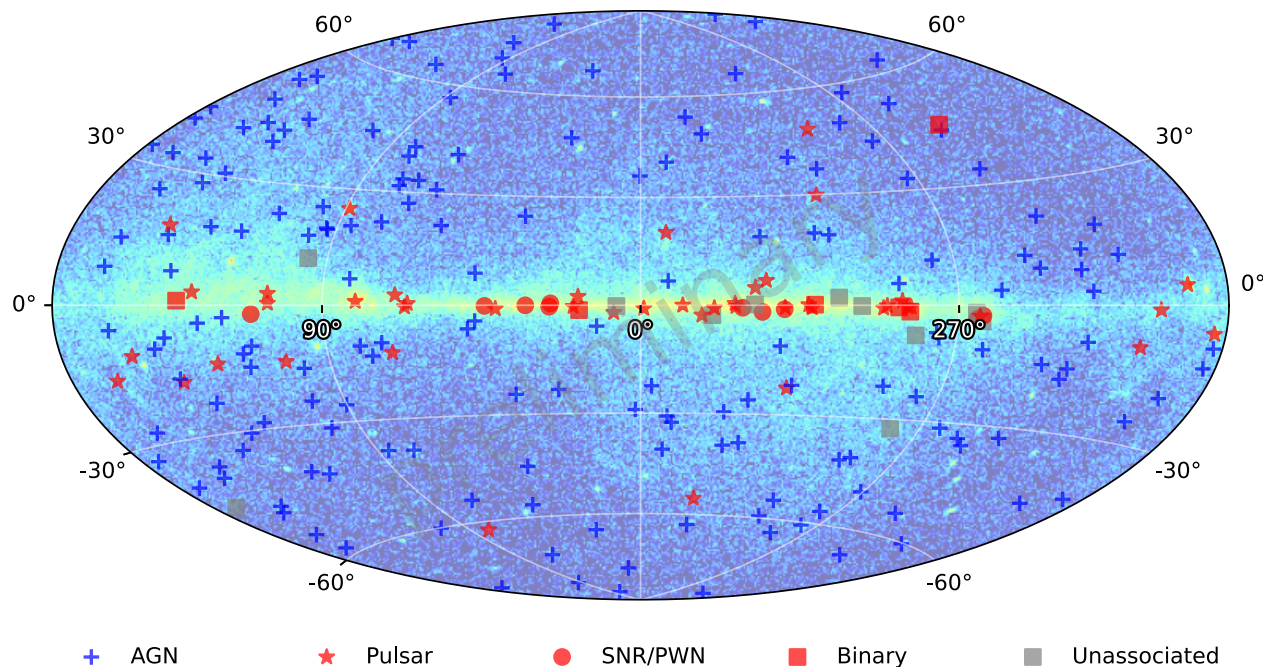
伽马射线线谱是暗物质的smoking gun信号。DAMPE因为具有GeV-TeV能区最好的能量分辨本领，在线谱搜寻中具有优势。



在5年的DAMPE数据中没有看到显著的线谱，所得的限制和Fermi相当甚至有些能区更强。



2.4、盲搜点源



Source Type	Number
AGN	175
Pulsar	46
SNR/PWN	10
Binary	6
Unassociated	11
Total	248

我们利用7.2年数据找到了248个 $TS > 25$ 的点源。

4. 小结

- 经过7.5年的持续运行，DAMPE收集了超过30万个2 GeV以上的伽马事例。
- 我们以 $\sim 7.9\sigma$ 显著性看到了GeV超出的辐射，它可用质量为45 GeV的暗物质湮灭解释，空间分布符合 $\gamma=1.16$ 的NFW分布。
- 我们以 $>17\sigma$ 显著性看到了费米气泡的辐射，其能谱指数约1.81，截断能量约102 GeV。与Fermi-LAT一致。
- 我们搜寻了银河系起源的伽马射线线谱。虽然未找到信号，但给出了和Fermi-LAT相当甚至更强的暗物质限制。
- 我们盲搜了全天的点源，得到了248个 $TS>25$ 的点源。

Thanks for your attention!

Fermi-LAT GCE analyses

