

LHAASO 实验对来自超新星遗迹 伽马射线的观测预期

刘焯

山东大学

(主要贡献者: 陈阳 袁强 张潇 马欣华 陈松站)

2016.8.16

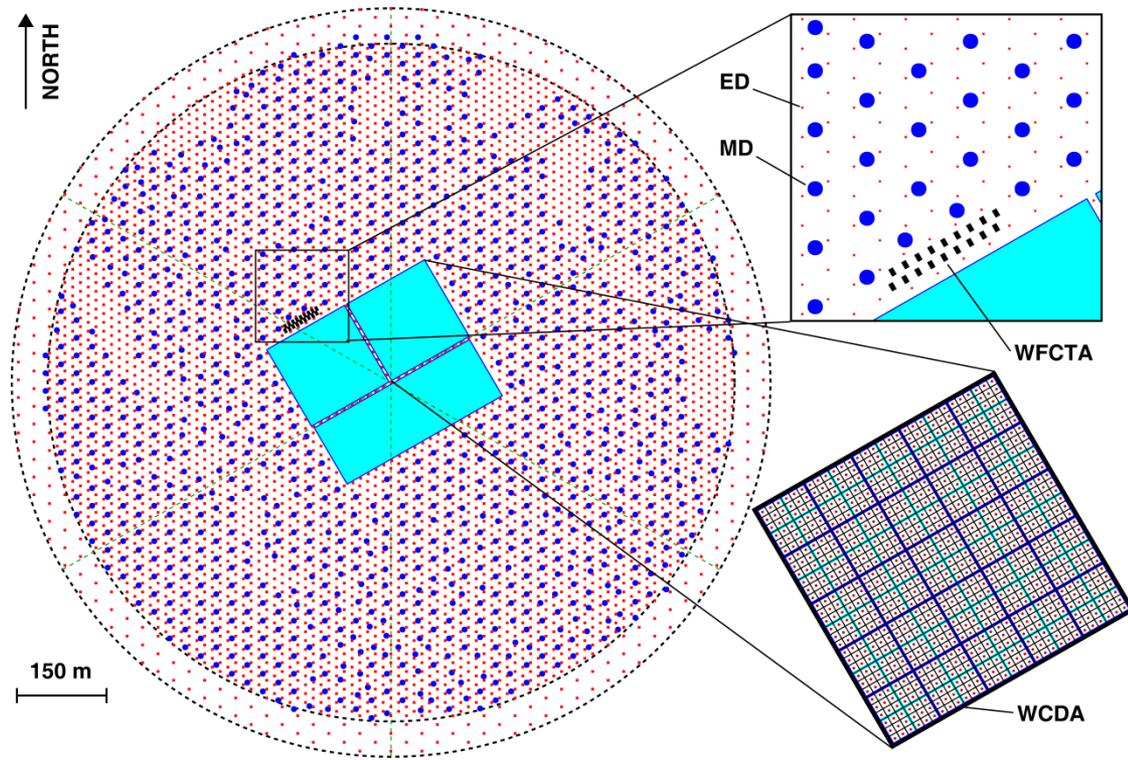
主要内容

- LHAASO 实验

- LHAASO & SNR

- 小结

LHAASO: Large High Altitude Air Shower Observatory



LHAASO →
(5195 ED, 1171 MD,
78000m² WCDA)

- 开展全天区扫描，寻找新的伽马射线源
- 对河内源及临近源高端能谱的测量
- 宇宙线能谱及成分的精确测量

揭开宇宙线的起源之谜



阵列性能

LHAASO-WCDA: 水契伦科夫探测器

	0.5TeV	1TeV	10TeV
有效探测面积	3,000m ²	10,000m ²	50,000m ²
角分辨	0.6°	0.4°	0.2°
能量分辨	95%	90%	60%

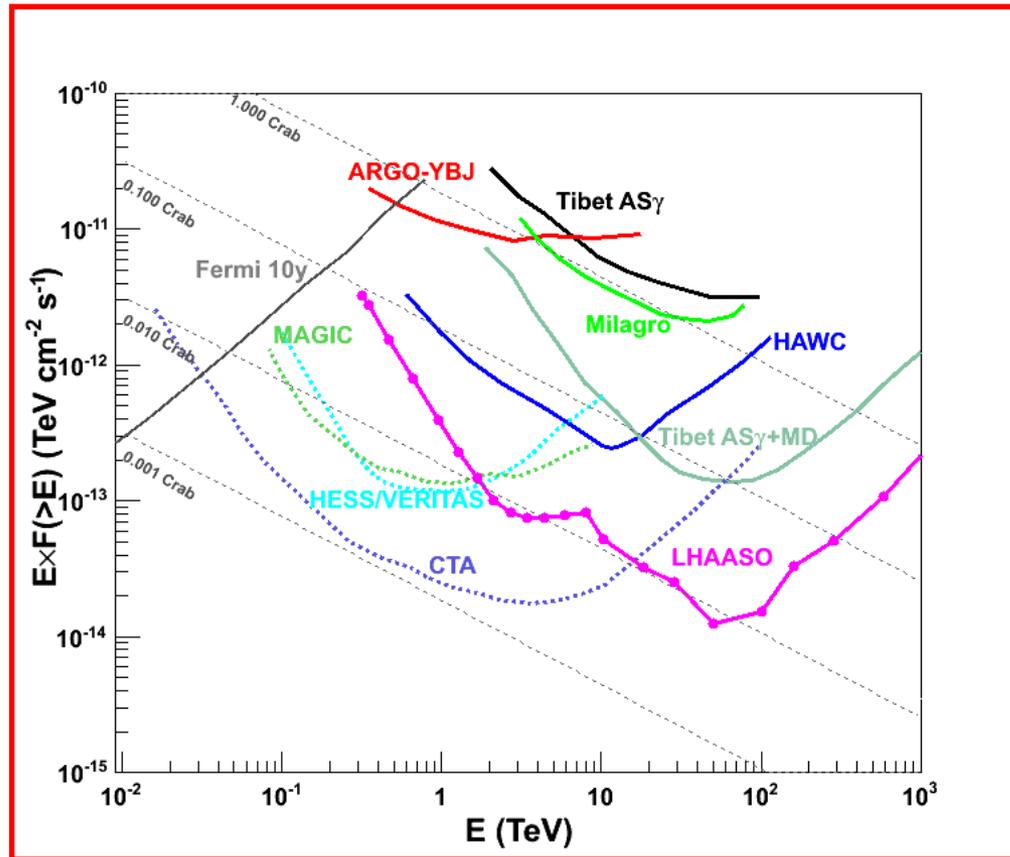
LHAASO-KM2A: 电磁粒子探测器和 μ 子探测器阵列

	10TeV	30TeV	100TeV
有效探测面积	0.3km ²	0.8km ²	0.9km ²
角分辨	0.86°	0.5°	0.3°
能量分辨	42%	33%	20%

在50TeV处，排除宇宙线背景的能力可达到 10^{-4} ，在100TeV处可以0背景观测gamma-ray

LHAASO灵敏度

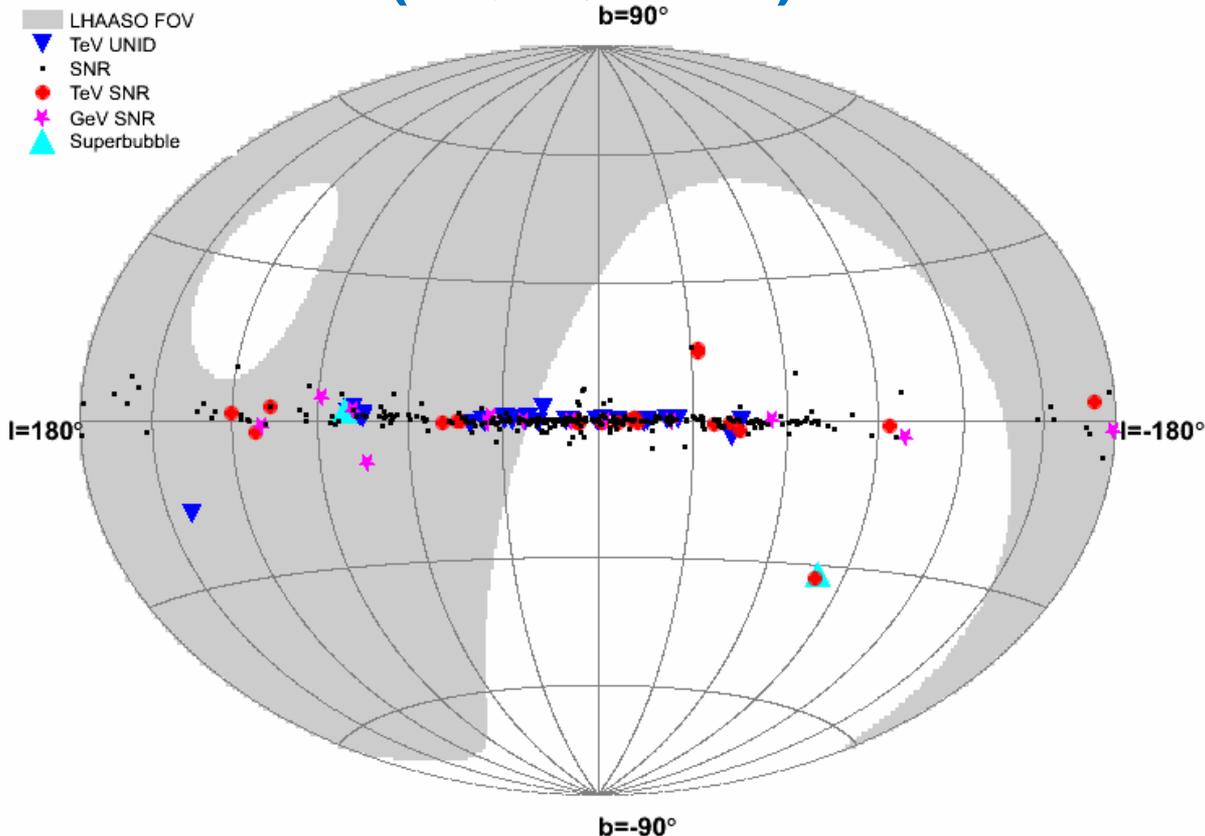
(Cui, S. W. et al, *APP*, 54, 86 (2014) & He, H. H., *ICRC*, 236, 1010 (2015))



与其他实验相比，**LHAASO** 实验具有很高的灵敏度，通过全天区的扫描可以发现大量新的伽马射线源并评判高能伽马产生的粒子（轻子/强子）的加速机制。

LHAASO & SNR :

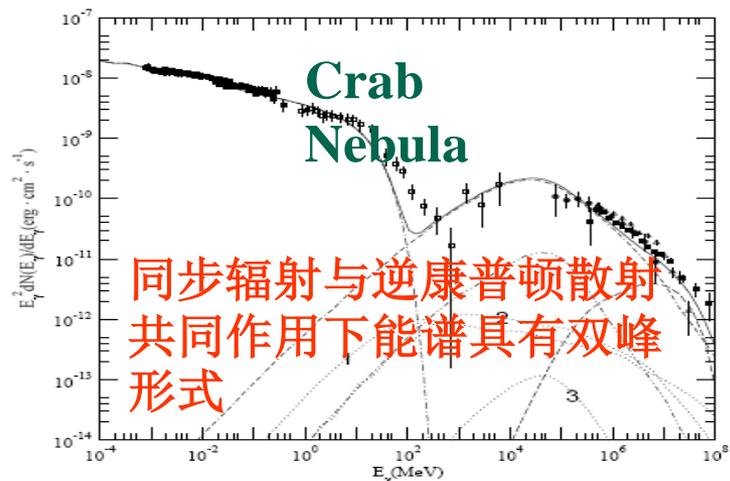
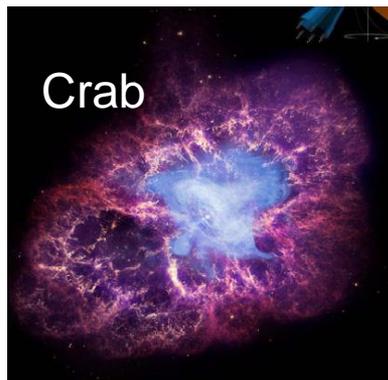
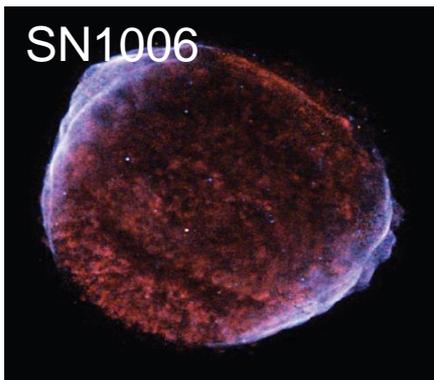
Sky map in galactic coordinates (天顶角 $<45^\circ$)



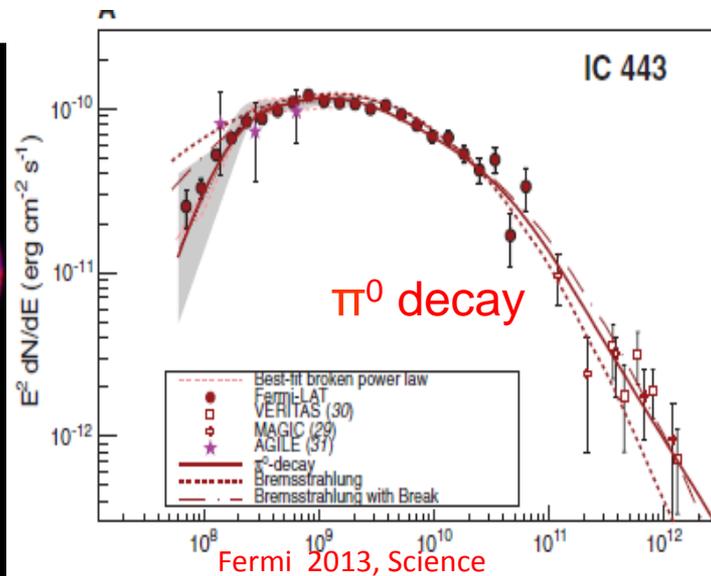
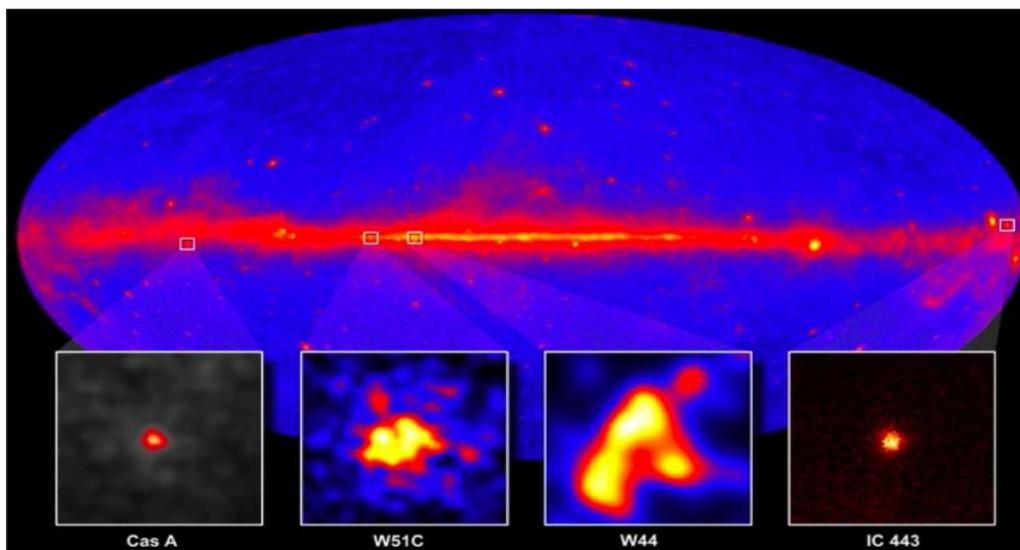
- 1) radio-TeV SNRs: 294 (LHAASO视场内: 107个), GeV和TeV能段有 36个(LHAASO视场内: 15个)
- 2) TeV UNID: 34 个(LHAASO视场内: 17个)
- 3) Supperbubble: 2个(LHAASO视场内: 1个)

SNRs : 银河宇宙线源的候选者

➤ 壳型与蟹状型SNRs: 电子加速



➤ 周围有分子云的SNRs: 强子加速



LHAASO对SNR& UNID TeV gamma-ray sources 显著性:

(Liu Ye et al, ApJ, 826:63(2016))

Table 1

Table of a selection of known GeV-TeV and TeV SNRs shown with the expected significance above 10 TeV using five years Monte Carlo simulation datas of LHAASO, assuming the sources are under the specific hypotheses for the energy spectrum. ("- " means the significance is less than 5σ .)

Name	Classification	R.A.	Dec.	α	J_0 ($\text{TeV}^{-1}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	σ ($E_{\text{cut}} = 100 \text{ TeV}$)	σ' ($E_{\text{cut}} = 30 \text{ TeV}$)	Ref.
Tycho(a)	GeV-TeV	00 ^h 25 ^m 18 ^s	+64°09'	2.92±0.46	2.2×10^{-13}	-	-	1
Tycho(b)	GeV-TeV	00 ^h 25 ^m 18 ^s	+64°09'	1.95±0.51	1.70×10^{-13}	11.62	5.20	2
IC 443	GeV-TeV	06 ^h 17 ^m 00 ^s	+22°30'	2.99±0.38	8.38×10^{-13}	5.46	-	3
W49B	GeV-TeV	19 ^h 11 ^m 08 ^s	+09°06'	3.1±0.3	2.3×10^{-13}	-	-	4
HESS J1912-101	TeV	19 ^h 12 ^m 49 ^s	+10°09'	2.7±0.2	3.5×10^{-12}	59.63	28.02	5
W51C	GeV-TeV	19 ^h 23 ^m 50 ^s	+14°06'	2.58±0.07	9.7×10^{-13}	31.44	14.87	6
G106.3+2.7	TeV	22 ^h 27 ^m 59 ^s	+60°52'	2.29±0.33	1.42×10^{-12}	57.43	21.10	7
Cassiopeia A	GeV-TeV	23 ^h 23 ^m 26 ^s	+58°48'	2.3±0.2	7.3×10^{-13}	26.51	10.20	8

Table 4

Table of a selection of UNID TeV γ -ray sources and a superbubble (Cygnus Cocoon) shown with the expected significance above 10 TeV using five years Monte Carlo simulation datas of LHAASO, assuming the sources are under the specific hypotheses for the energy spectrum. ("- " means the significance is less than 5σ .)

Name	R.A.	Dec.	α	J_0 ($\text{TeV}^{-1}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	σ_{ext} (°)	σ ($E_{\text{cut}} = 100 \text{ TeV}$)	σ' ($E_{\text{cut}} = 30 \text{ TeV}$)	Ref.
MAGIC J0223+403	02 ^h 23 ^m 12 ^s	+43°00'	3.1±0.31	4.07×10^{-13}	0	-	-	14
HESS J1832-093	18 ^h 32 ^m 50 ^s	-09°22'	2.6±0.3	4.8×10^{-13}	0	15.27	5.15	15
HESS J1834-087	18 ^h 34 ^m 45.6 ^s	-08°45'	2.5±0.2	3.7×10^{-12}	0.1	21.73	7.15	16
HESS J1841-055	18 ^h 40 ^m 55 ^s	-05°33'	2.32±0.23	3.76×10^{-11}	0.4	699.27	234.89	17
HESS J1857+026	18 ^h 57 ^m 11 ^s	+02°40'	2.16±0.07	5.37×10^{-12}	0.17	205.63	76.95	18
HESS J1858+020	18 ^h 58 ^m 20 ^s	+02°05'	2.17±0.12	6.0×10^{-13}	0.08	20.10	7.45	19
MGRO J1908+06	19 ^h 07 ^m 54 ^s	+06°16'	2.54±0.36	2.06×10^{-11}	0.49	220.80	97.13	20
VER J2016+371	20 ^h 16 ^m 02 ^s	+37°11'	2.3±0.3	3.1×10^{-13}	0	9.76	5.00	21
VER J2019+368	20 ^h 19 ^m 25 ^s	+36°48'	1.75±0.08	1.35×10^{-12}	2.0	58.36	22.40	22
VER J2019+407	20 ^h 20 ^m 04.8 ^s	+40°45'	2.37±0.14	1.5×10^{-12}	0.23	38.74	17.89	23
ARGO J2031+4157	20 ^h 31 ^m 12 ^s	+42°30'	2.6±0.3	3.05×10^{-12}	2.0	10.86	5.3	24

SNR能谱预期的模型:

1. Unified Model : *Yuan Qiang et al, ApJ, 761:133(2012)*

统一模型: SNR按照一定比例产生电子和质子, 与周围不同密度的物质和辐射场作用产生gamma, 其中低密度环境中IC作用为主, 高密度环境中 π^0 -decay为主。这一模型用统一的计算揭示了从GeV到TeV gamma产生的机制。

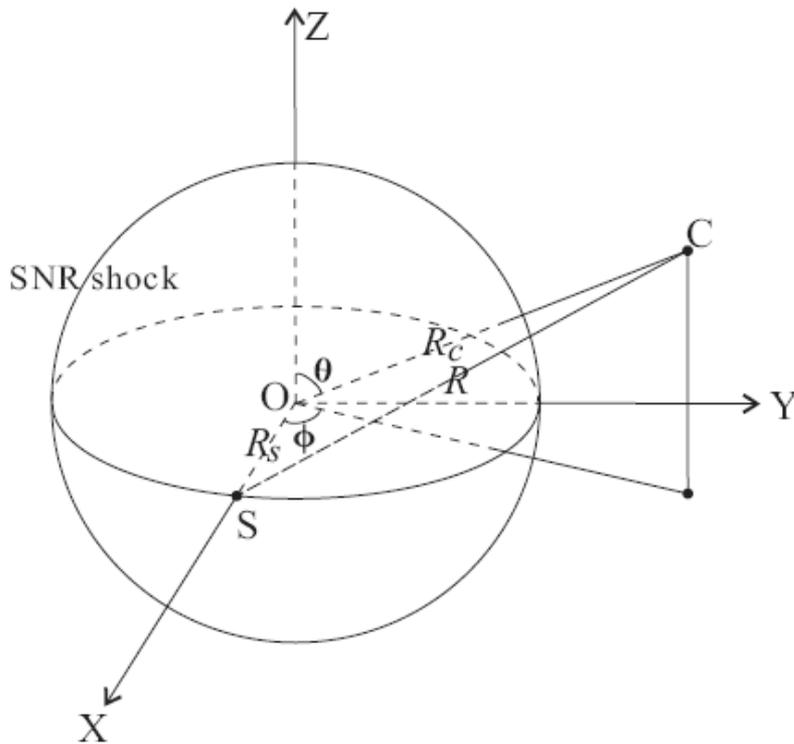
- 质子与电子的注入谱: broken power-law function

$$q(p) \propto \begin{cases} p^{-\alpha_1}, & p < p_{br} \\ p^{-\alpha_2}, & p \geq p_{br} \end{cases}$$

- 电子质子比: $K_{ep} \approx 1.3\%$
- 电子谱 $E_{cut} \sim 50 \text{ TeV}$, 质子谱 $E_{cut} \sim \infty$
- 辐射机制:
 - (a) IC、Bremsstrahlung (轻子模型)
 - (b) π^0 -decay (强子模型)
- 参数: $\alpha_1, \alpha_2, p_{br}, n, W_e, W_p$

2. Accumulative diffusion model: *Li Hui. & Chen, Yang, MNRAS, 409,35 (2010),
Li Hui & Chen, Yang, MNRAS, 421,935 (2012)*

累积扩散模型：在SNR膨胀的各个时期从激波面逃逸的质子经过累积，与相邻的分子云相互作用，经过 π^0 衰变，产生高能gamma

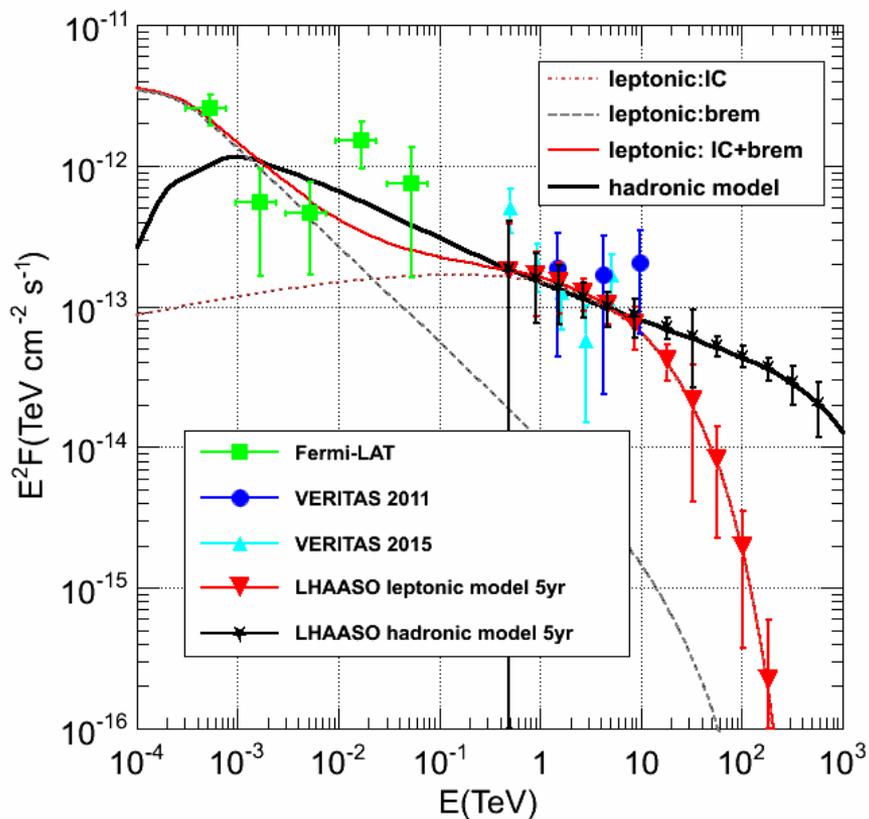


- (1) Point C 为SNR周围分子云任意一点
- (2) 计算在SNR演化过程中从SNR逃逸出来的质子数目
- (3) 计算分子云中辐射出的gamma射线强度 (从SNR中逃逸出的质子与分子云中重物质作用产生gamma射线)

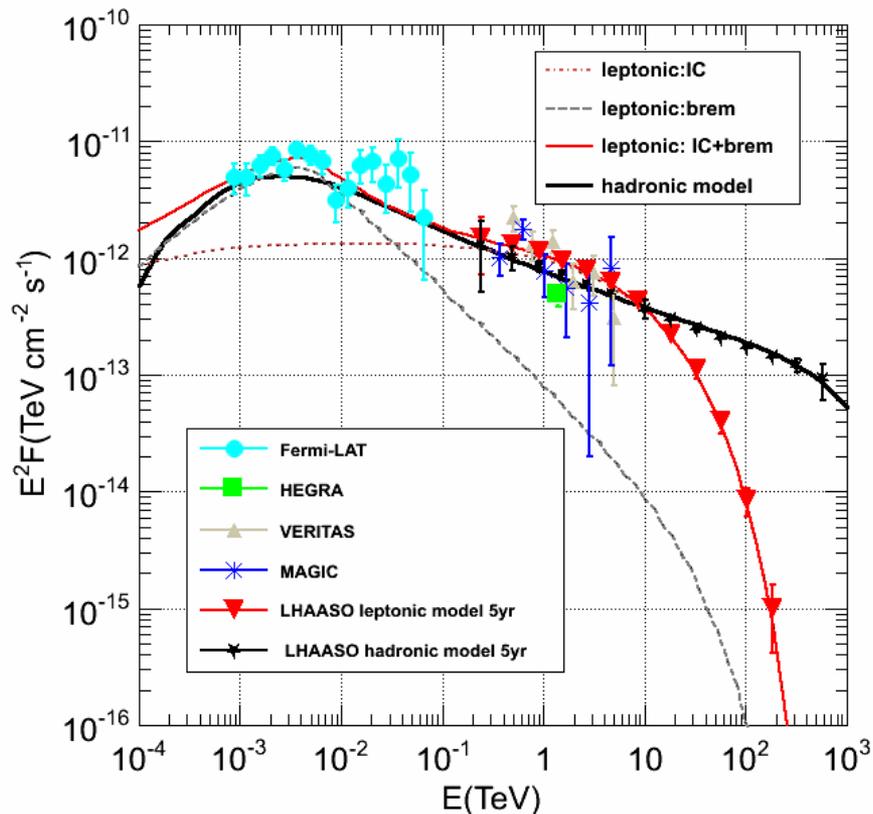
(1) Tycho & Cassiopeia A (*Liu Ye et al, ApJ, 826:63(2016)*)

leptonic & hadronic model 参考 (*Yuan Qiang et al, ApJ, 2012*)

Tycho



Cassiopeia A

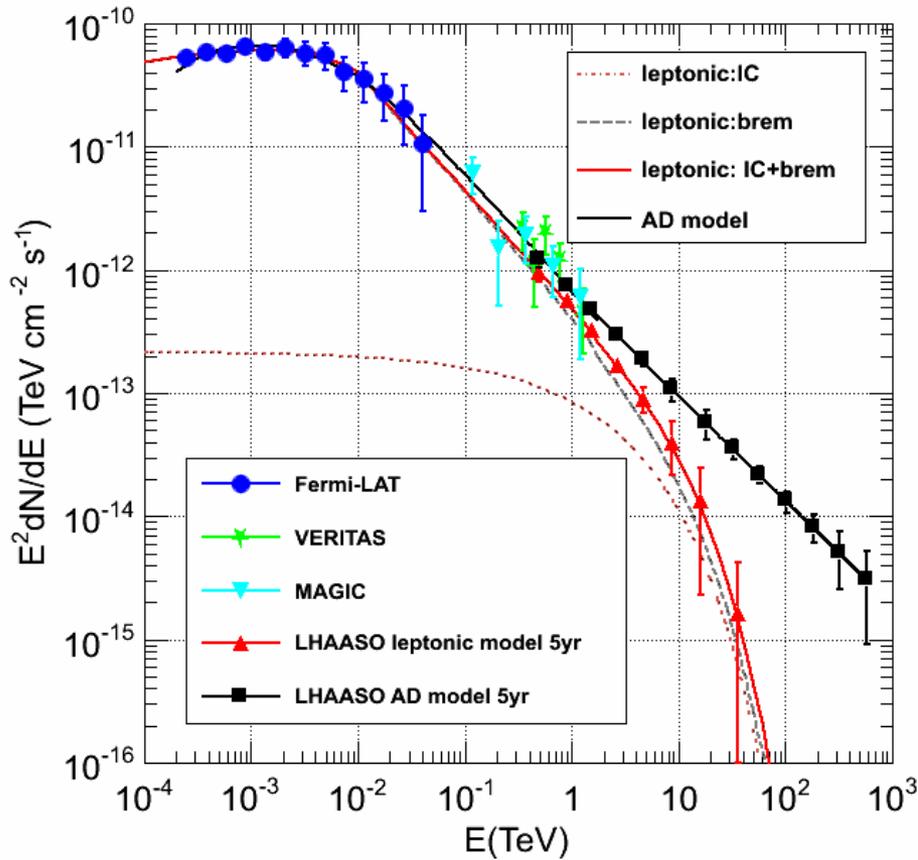


LHAASO实验对能谱测量延伸至几百**TeV**并且观测的统计误差为**10%**以内，很好的区分轻子和强子模型

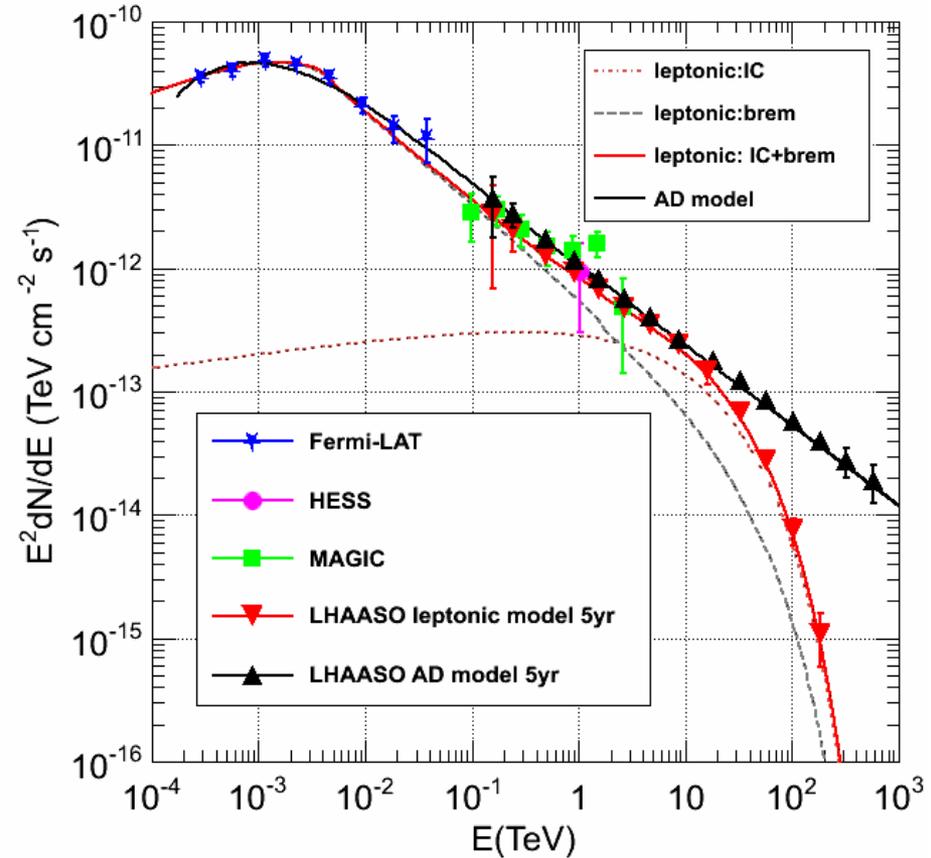
(2) IC 443 & W51C: (*Liu Ye et al, ApJ, 826:63(2016)*)

AD model: *Li Hui & Chen Yang, 2010, 2012*

IC443



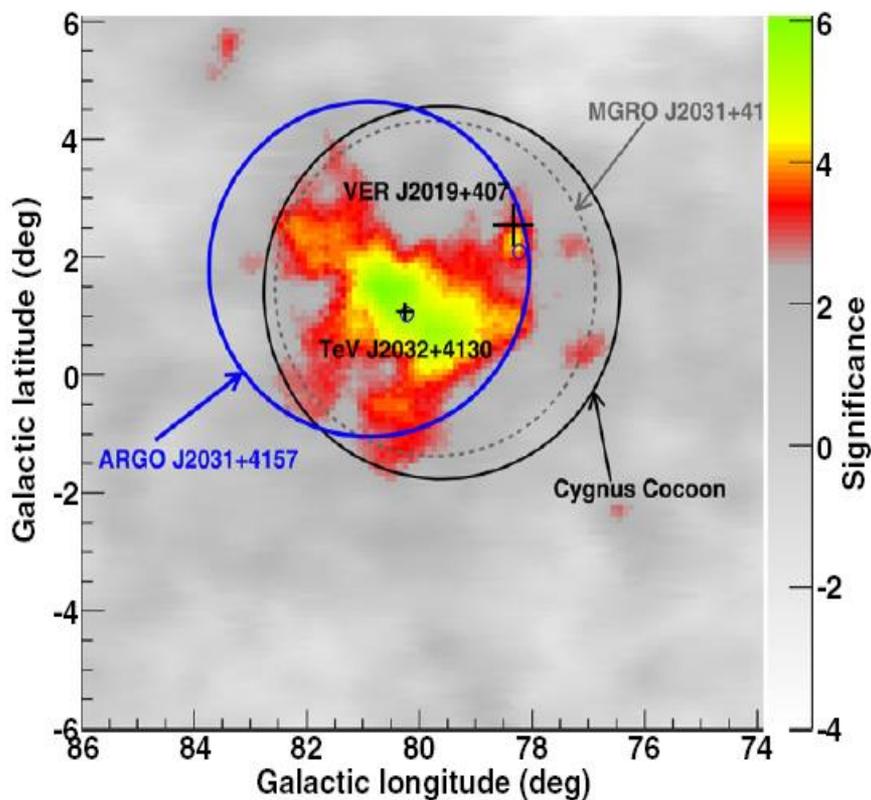
W51C



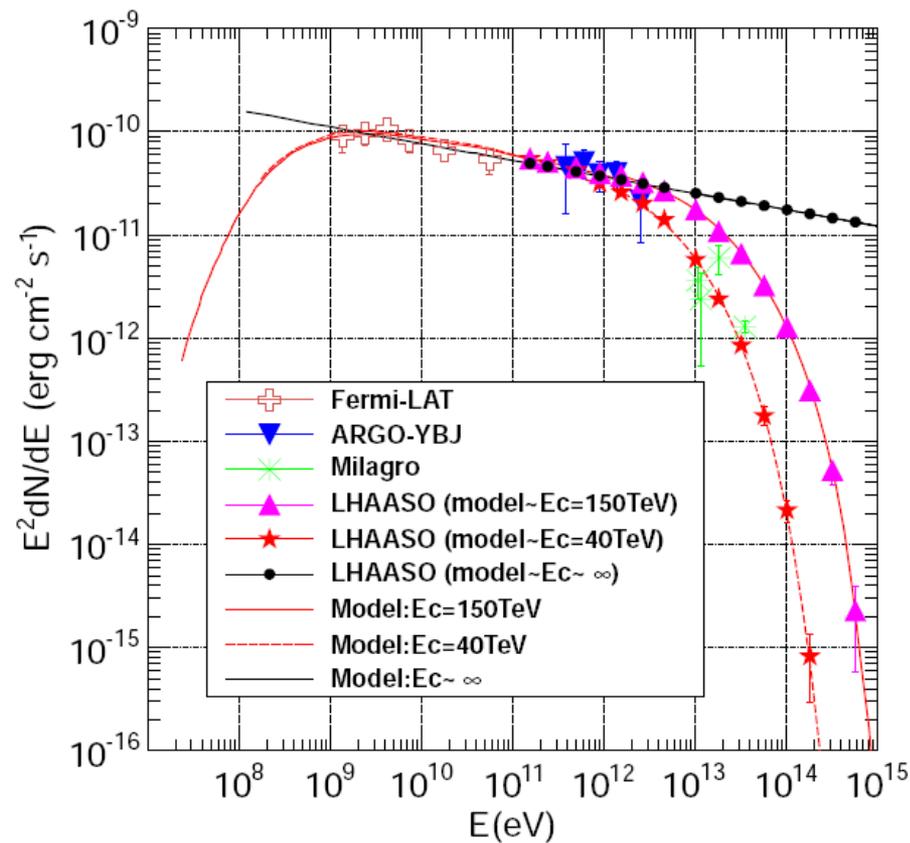
LHAASO实验对能谱测量延伸至几百**TeV**并且观测的统计误差为**10%**以内，很好的区分轻子和强子模型

➤ Cygnus Cocoon: (Liu Ye et al, ApJ, 826:63(2016))

- (1) ARGO J3031+4157; (2) Superbubble; (3) 扩展源, 扩展度 $\sim 4^\circ$;
(4) 可能为强子源, 其能量为 1.5×10^{50} erg, $E_{\text{cut}}=150\text{TeV}$



Cygnus Cocoon



利用1年模拟数据, **LHAASO** 可对其能谱测量至几百TeV, 并且对不同的 **cut-off**模型进行评判。

小结

- **LHAASO** 实验可以开展全天区伽马源扫描搜索，发现大量新的伽马射线源。
- **LHAASO** 实验对来自超新星遗迹的伽马射线能谱的测量可以延伸至几百**TeV**，并且统计误差很小，对高能伽马辐射机制给出明确的判据。

Thanks