超新星遗迹伽玛射线起源的研究 — 年轻遗迹的强子辐射

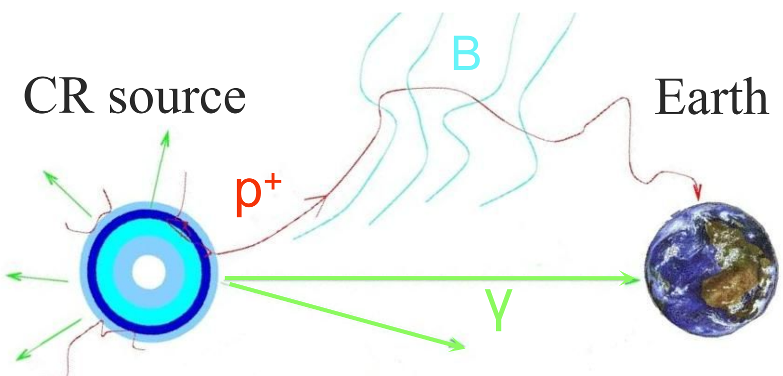
张 潇 (南京大学)

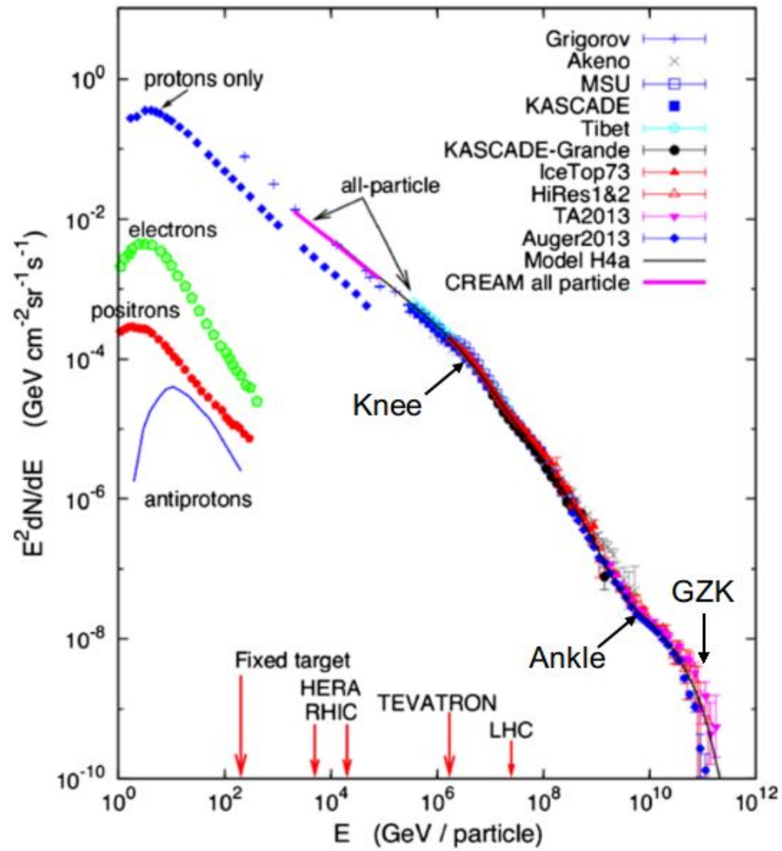
2016/08/16 天津•南开大学

宇宙线起源

- 1912年，赫斯发现宇宙线。
- 宇宙线的观测特征
  - 能谱：幂率谱 + 膝、踝、截断;
  - 方向：大尺度各向同性;
  - 成份：p 90%，He 9%，others 1%
- 宇宙线已丢失原有方向信息

“加速源” → “世纪难题”





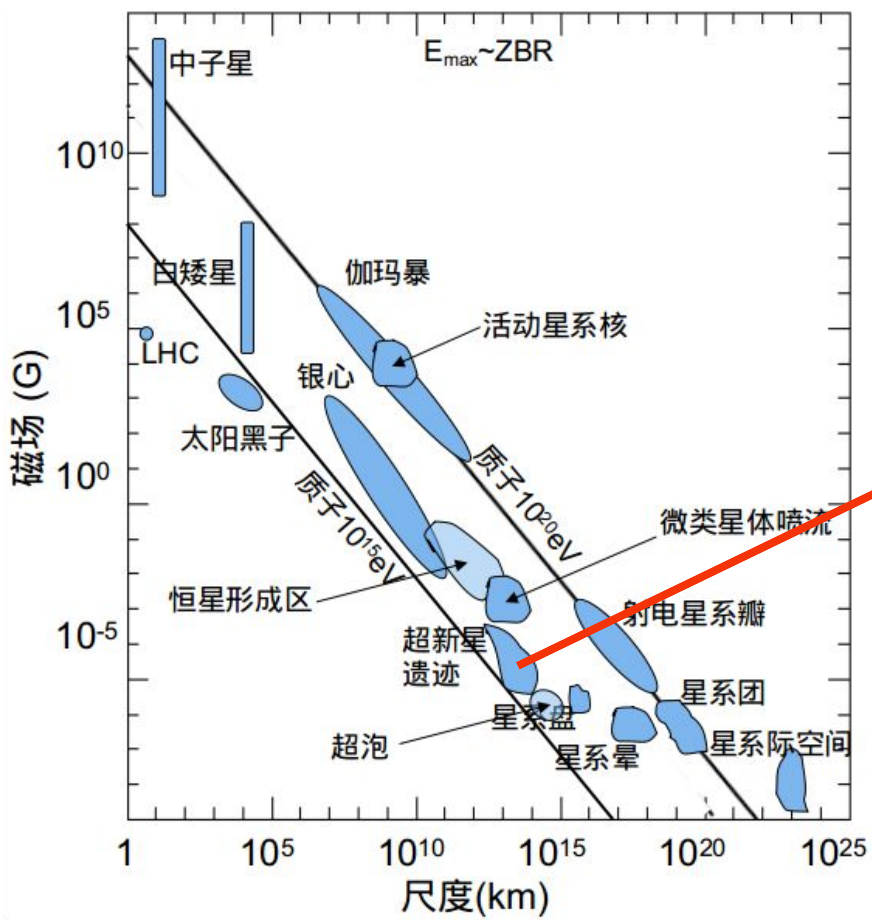
Blasi 2013

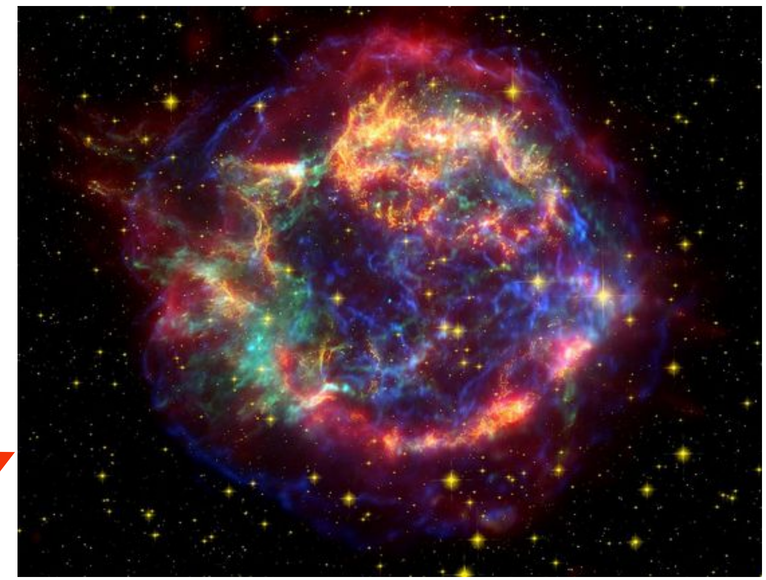
伽玛射线是研究宇宙线的重要手段之一！

宇宙线与超新星遗迹

- Hillas判据 (1984)

  必要条件：加速源能限制PeV粒子，Emax ~ ZBR





1934年，Baade & Zwicky 从能量角度提出SN起源

甄别超新星遗迹中的强子伽玛射线辐射！

伽玛射线产生机制

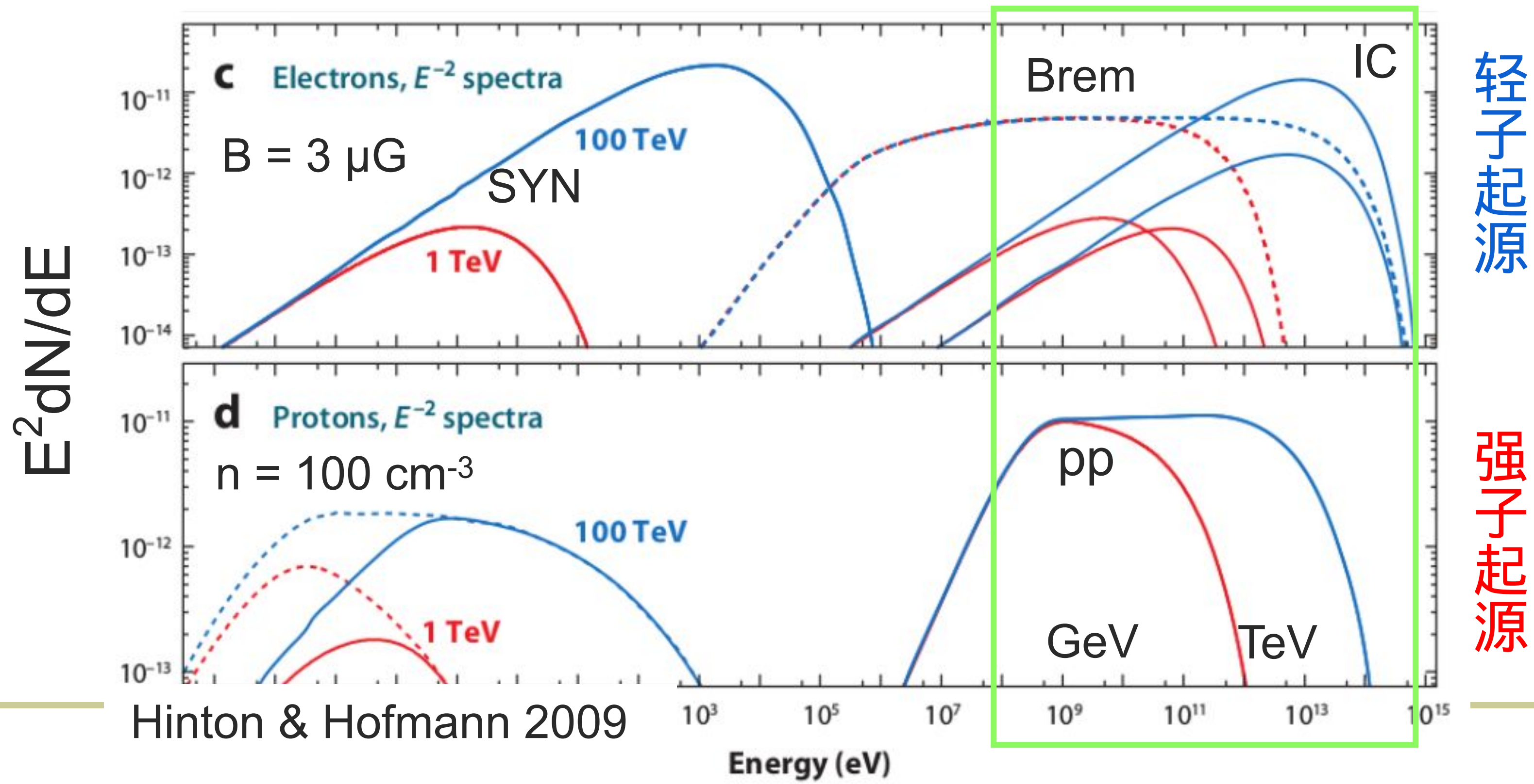
- 同步加速过程
- 逆康普顿散射

$\Gamma_{ph} = (\alpha_{e,p}+1)/2$

- 非热轫致辐射
- 质子-质子碰撞

$\Gamma_{ph} = \alpha_{e,p}$

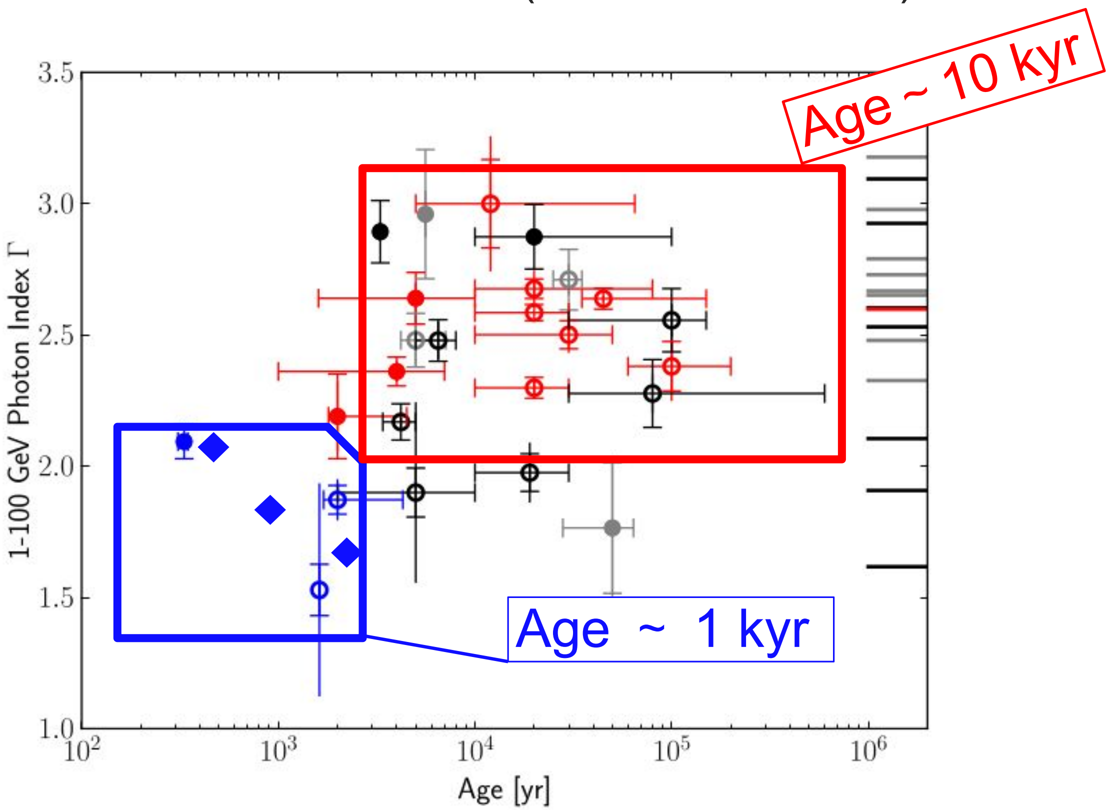
An example: $dN/dE \propto E^{-2} \exp[-E/E_c]$



Hinton & Hofmann 2009

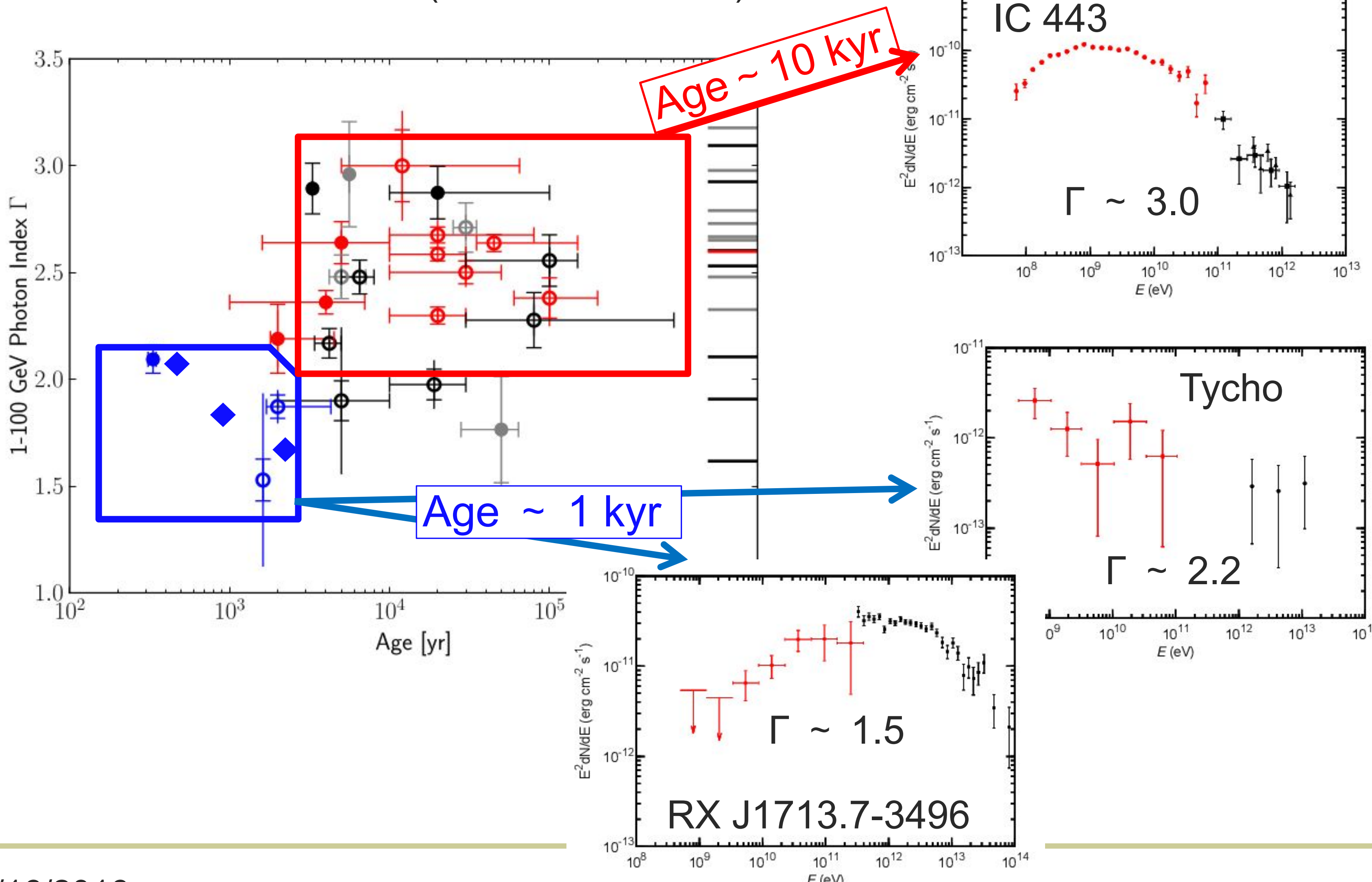
超新星遗迹伽玛射线观测

1st Fermi SNR cat (Acero et al. 2016)



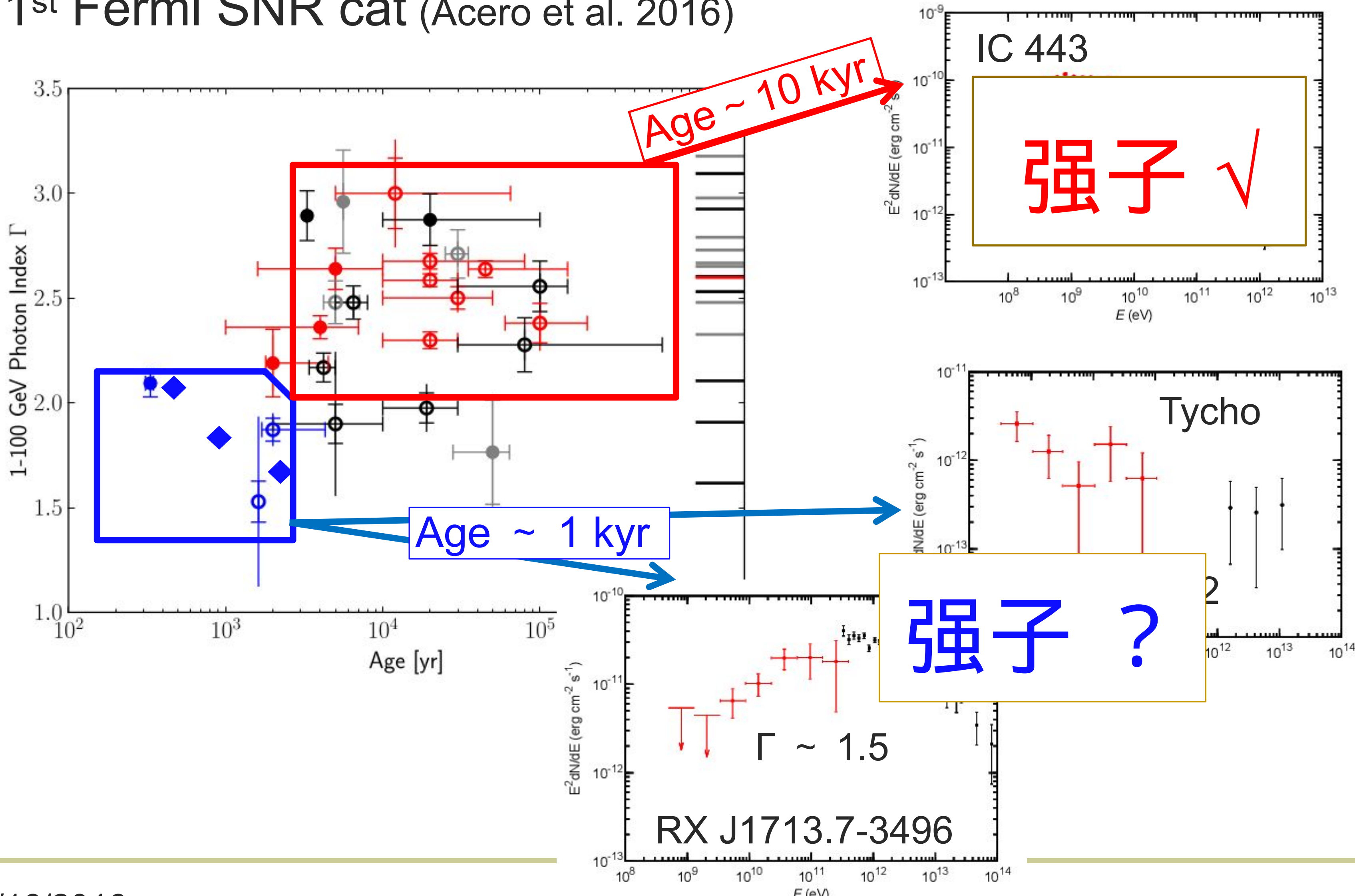
超新星遗迹伽玛射线观测

1st Fermi SNR cat (Acero et al. 2016)



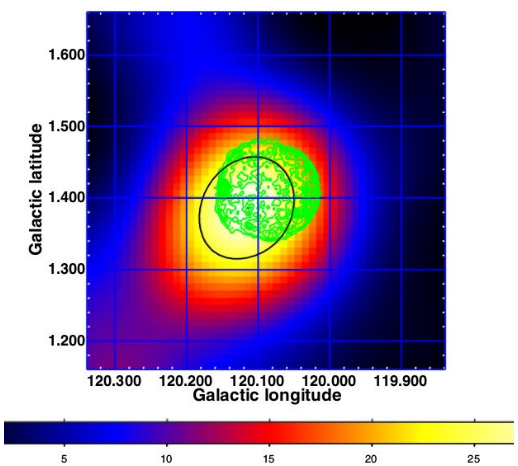
超新星遗迹伽玛射线观测

1st Fermi SNR cat (Acero et al. 2016)

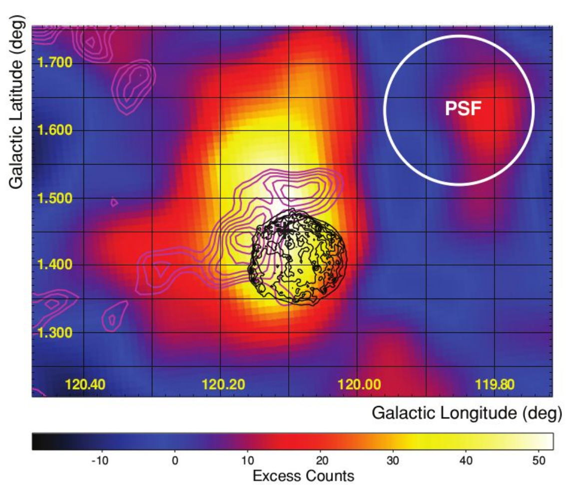


年轻遗迹一：Tycho

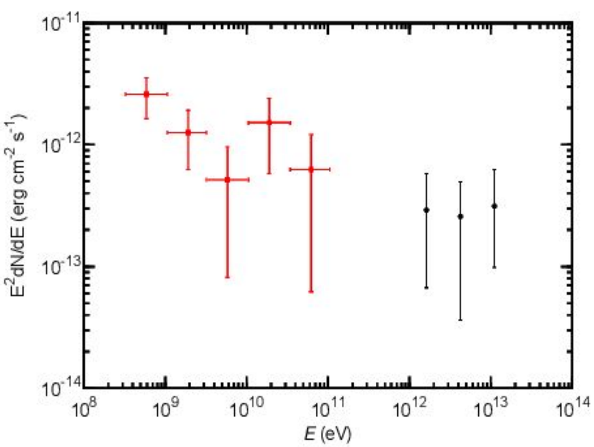
- GeV-TeV谱指数：2.2 ± 0.1
- 激波前平均密度：$n_0 \sim 0.1\ \mathrm{cm}^{-3}$
- 伽玛射线解释：
  - 纯轻子（brem + IC；Dermer & Atoyan 2012）
  - 轻子+强子 （Yuan et al. 2012）
  - 纯强子（能量转化效率$\eta \sim 10-15\%$；Morlino et al. 2012, ...）



GeV TS：
Giordano et al. 2012



TeV counts：
Acciari et al. 2011



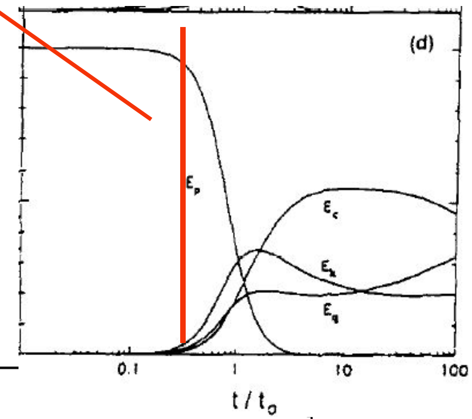
GeV-TeV spectrum

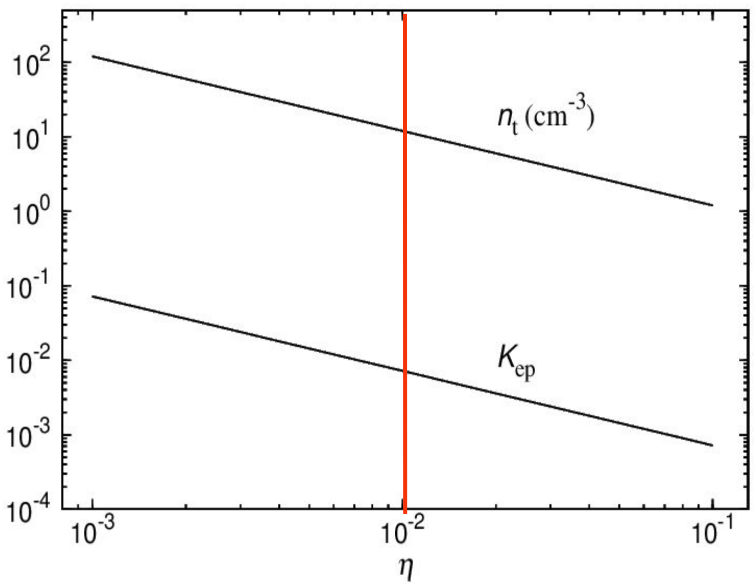
与分子云作用起源

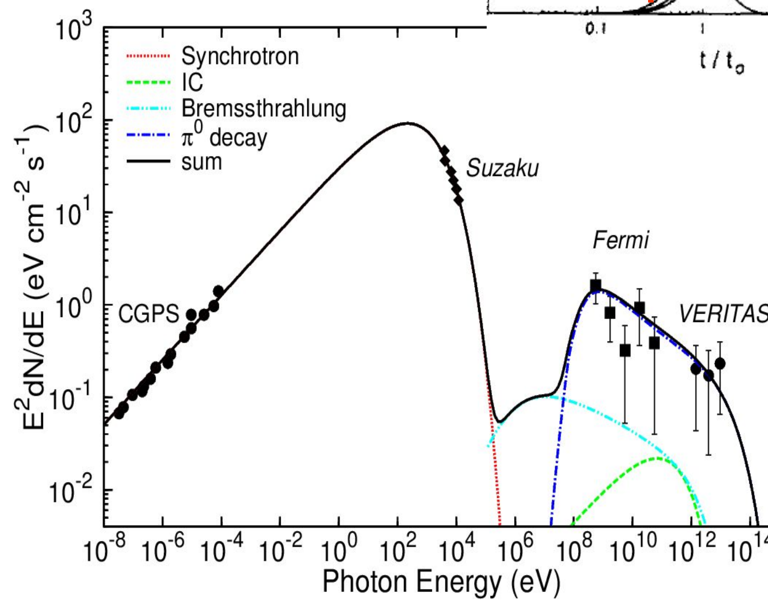
- Fermi观测：Cas A (330 yr) 只需 $\eta \sim 2\%$ (Adobe et al. 2010)
- 理论模型：类第谷环境 η(400 yr) ~ 1% (Berezhko et al. 1997)

$\eta \sim 1\%$ → $K_{ep} \approx 0.7\times10^{-2}$ → 正常量级

$\eta \sim 1\%$ → $n_0 \sim 4-12\ \mathrm{cm}^{-3}$ → 稠密介质





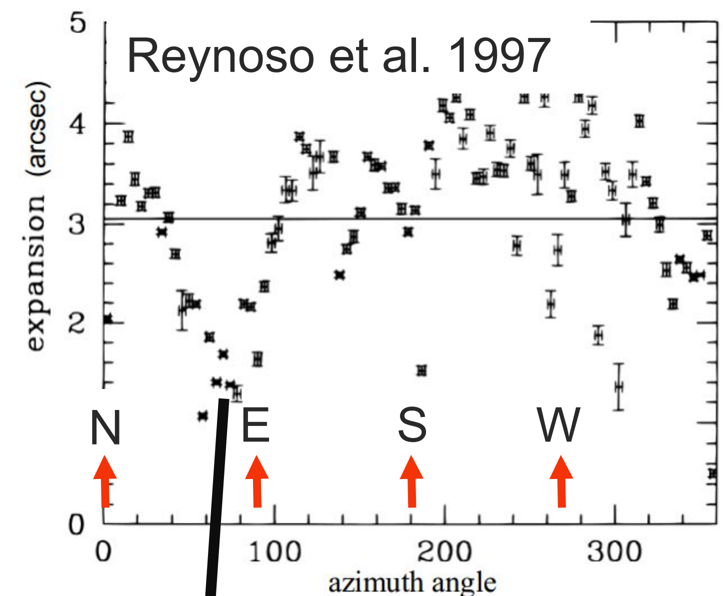


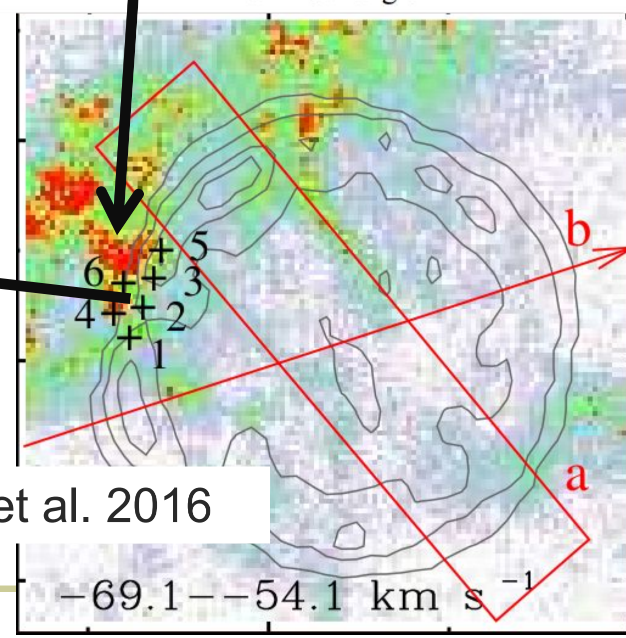
Zhang et al. 2013

稠密介质：观测证据

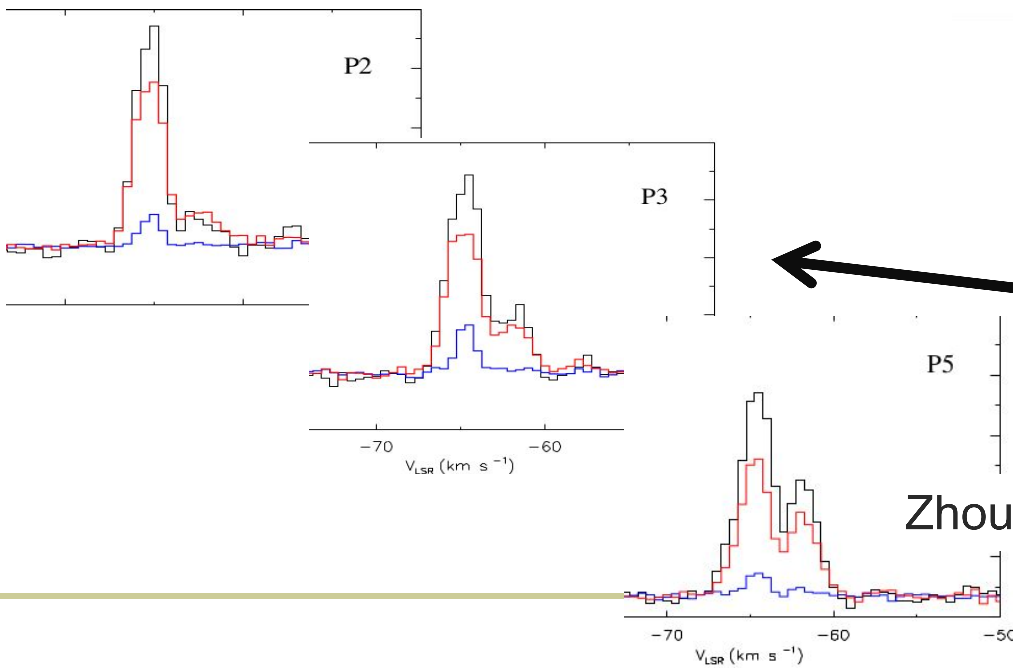
- 遗迹在NE碰到分子云
  VLA, CO, IR等

	射电：膨胀率
CO：谱线展宽	CO (km s^{-1}) ($-69 \le V_{LSR} \le -54$)





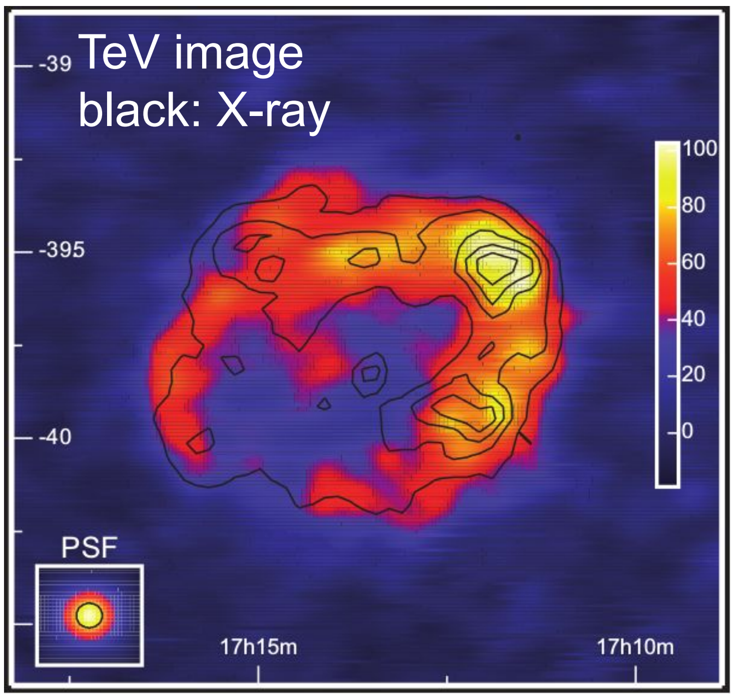
Zhou et al. 2016



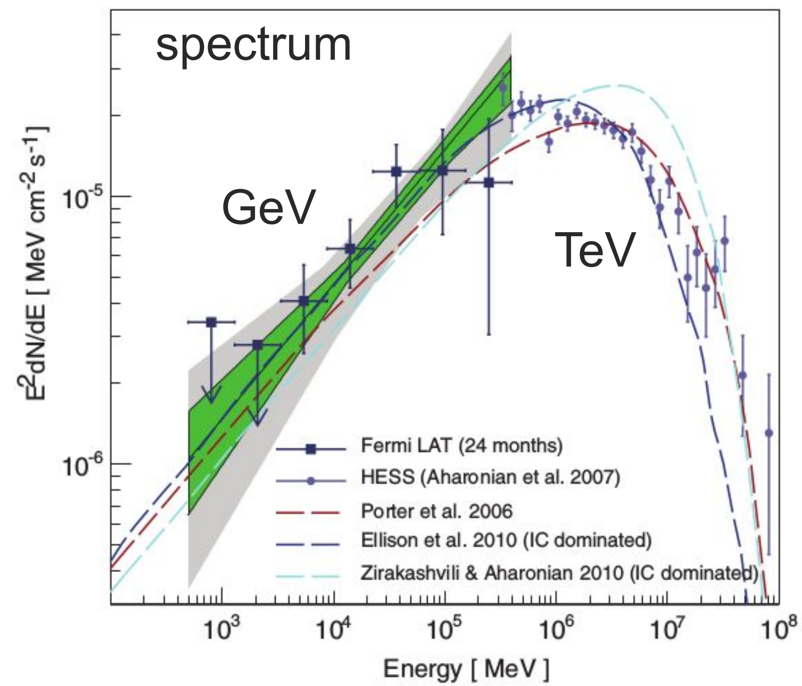
年轻遗迹二：RX J1713.7－3946

- GeV－TeV伽玛射线观测
  - TeV图像和非热X射线重合较好
  - 能谱较硬 Γ ～ 1.5

→ 轻子起源



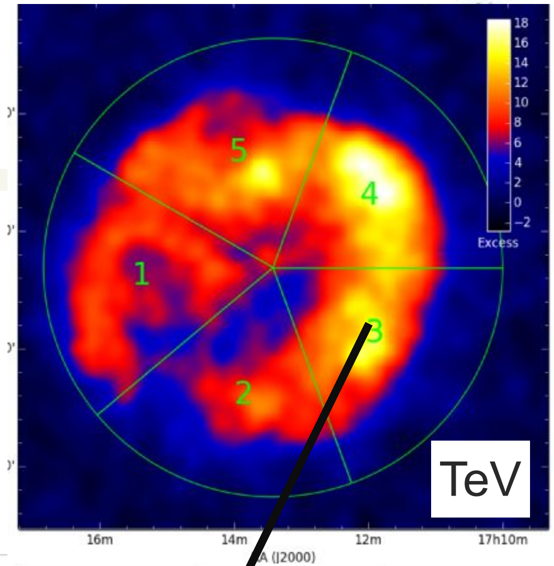
Aharonian et al. 2007

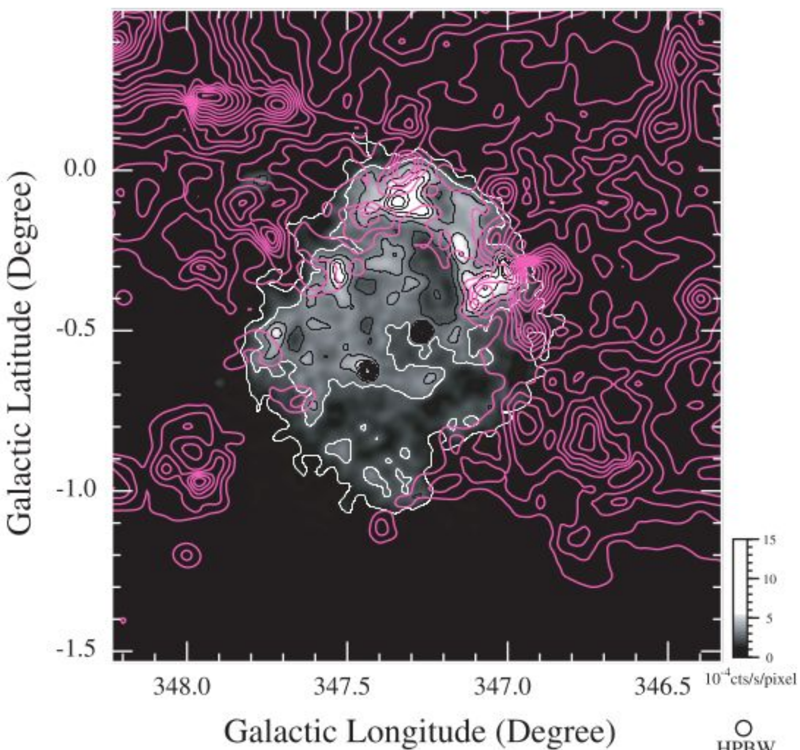


Abodo et al. 2011

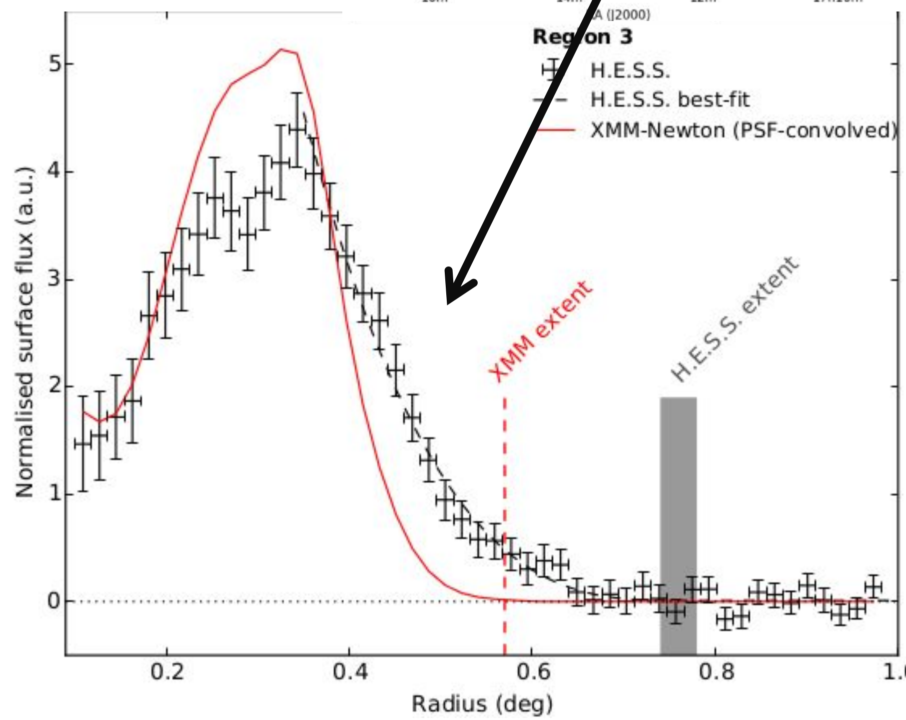
没有强子成份？

- CO观测：处在分子云腔内
- TeV亮度轮廓明显超出X射线轮廓





Fukui et al. 2003

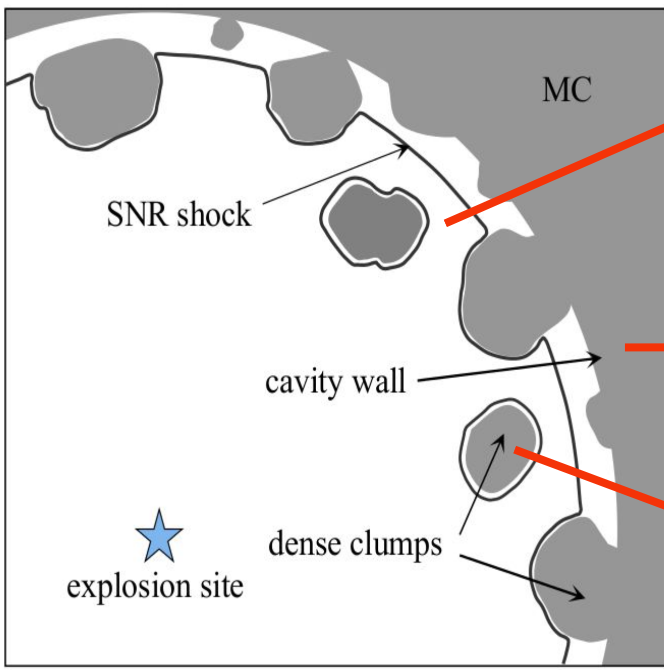


de Naurois 2015

双发射区模型

- 内发射区 + 外发射区

  考虑逃逸质子对伽玛射线的贡献。



内发射区1：
电子逆康谱

外发射区：
逃逸质子打击腔壁

内发射区2：
质子打击震激云核

Model I（内发射区1 + 外发射区）

Model II（外发射区 + 内发射区2）

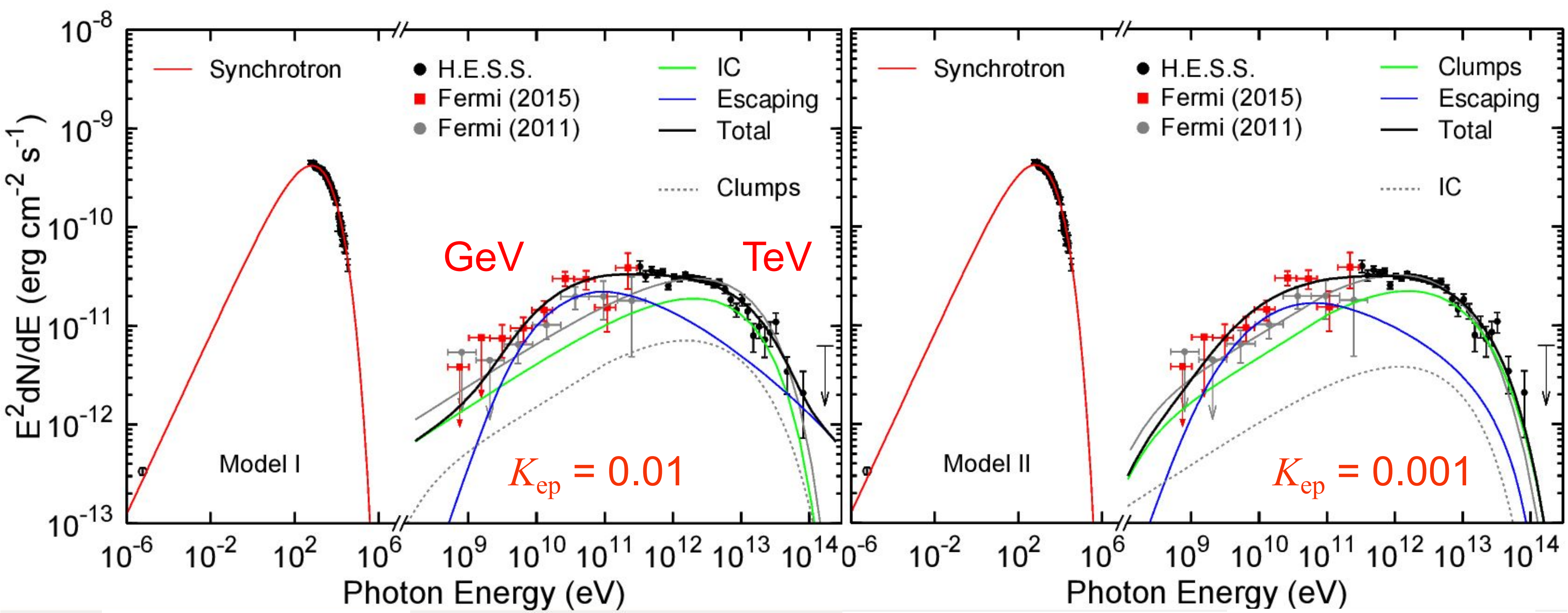
能谱拟合结果

- 用马尔可夫链蒙特卡罗(MCMC)方法拟合多波段能谱

- Model I
  TeV由电子的逆康普顿散射贡献

- Model II
  TeV由质子打击被震激的团块贡献

GeV都由逃逸质子打击腔壁贡献 (蓝色实线)

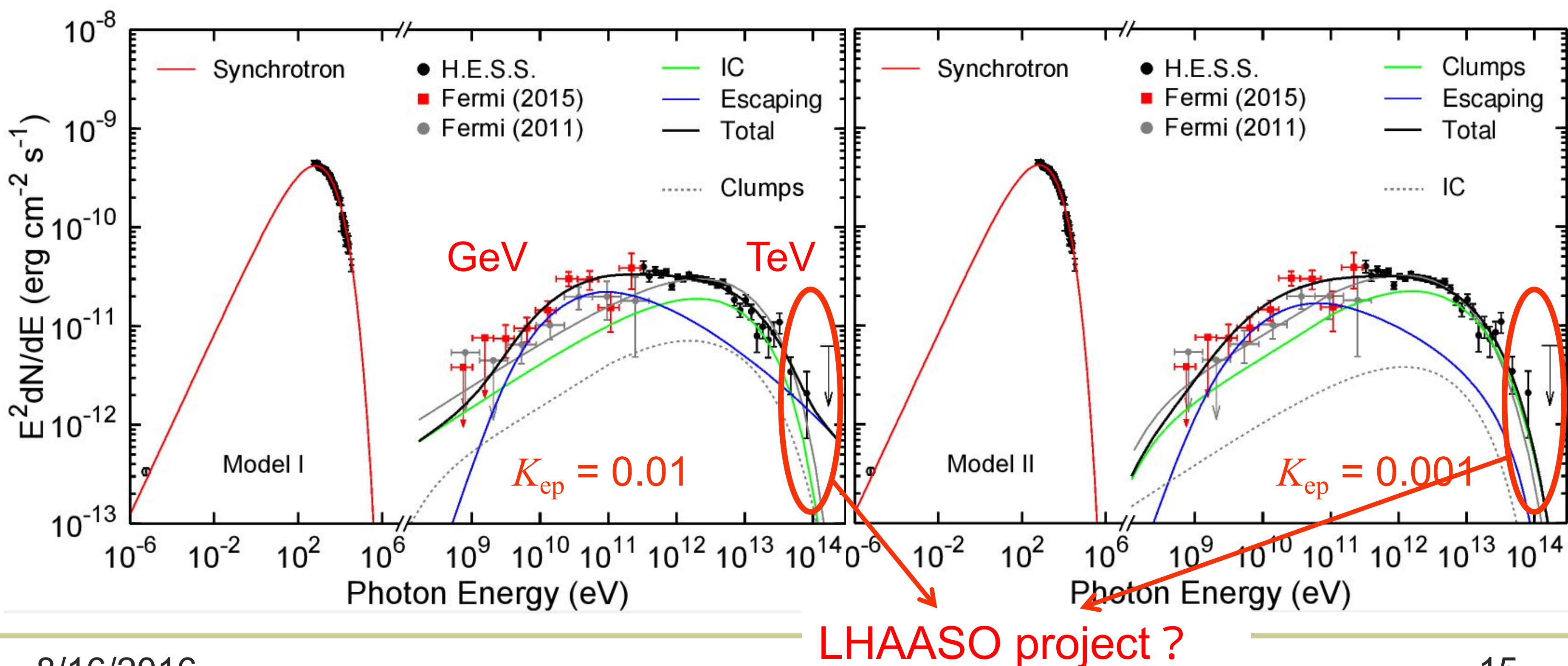


$K_{ep} > 0.4\times10^{-2}$ Zhang & Chen 2016 $K_{ep} < 0.4\times10^{-2}$

能谱拟合结果

- 简化扩散解，并用马尔可夫链蒙特卡罗(MCMC)方法拟合
- Model I
  TeV由电子的逆康普顿散射贡献
- Model II
  TeV由质子打击被震激的团块贡献

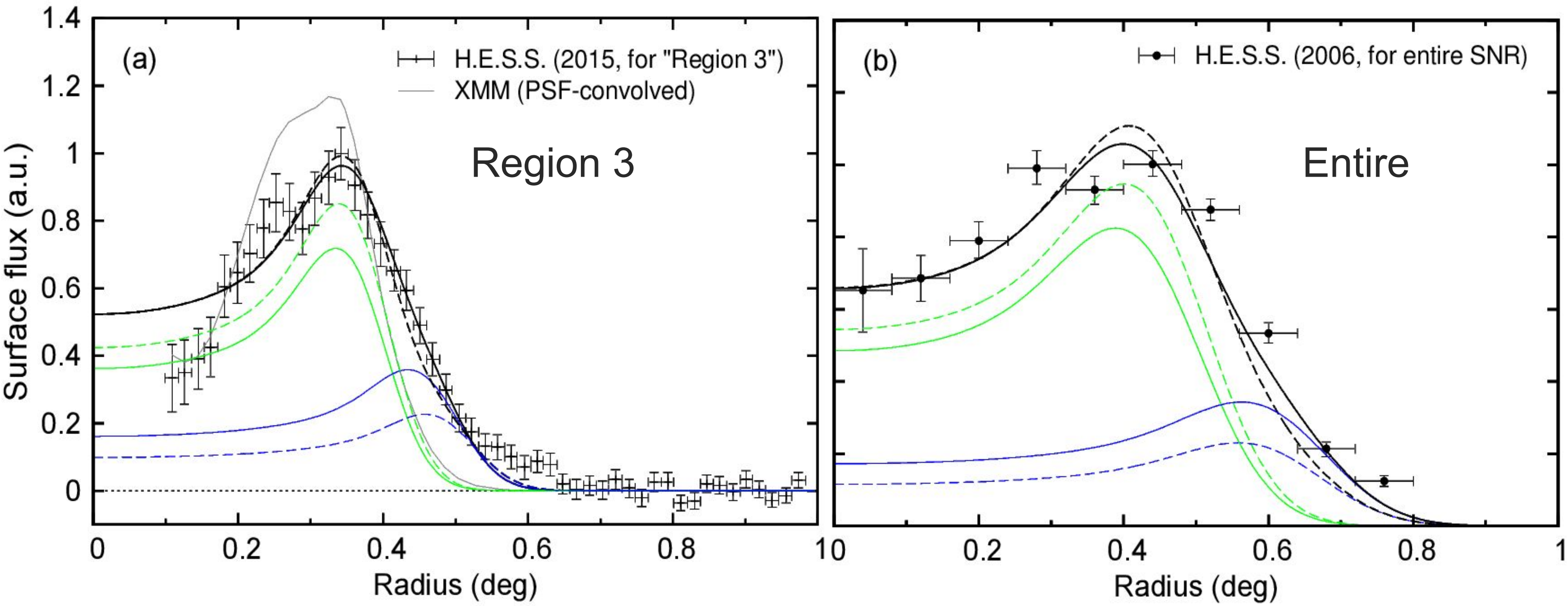
GeV都由逃逸质子打击腔壁贡献 (蓝色实线)



TeV表面亮度轮廓

- 双发射区模型能重新TeV表面亮度轮廓特征

$$J(R) = 2\int_{r_{1,\min}}^{r_{1,\max}} \frac{\sigma_1 r \mathrm{d}r}{\sqrt{r^2 - R^2}} + 2\int_{r_{2,\min}}^{r_{2,\max}} \frac{\sigma_2 r \mathrm{d}r}{\sqrt{r^2 - R^2}}$$



Zhang & Chen 2016

小 结

- Tycho伽玛射线起源于高能质子与分子云作用的强子过程。
- RX J1713.7－3946的GeV辐射主要来自逃逸质子打击临近分子云的贡献。

关于这两个年轻遗迹的解释都暗示了年轻遗迹已经加速了可观的高能质子，且能有可能被LHAASO进一步检验！

Thanks!