

UHECRs传播过程中产生的次级伽玛射线辐射

1. 寻找blazars发射UHECRs的证据。
2. 限制blazars发射的UHECRs光度。

LHAASO的大视场和 $>10\text{TeV}$ 的高灵敏度将起到关键作用！

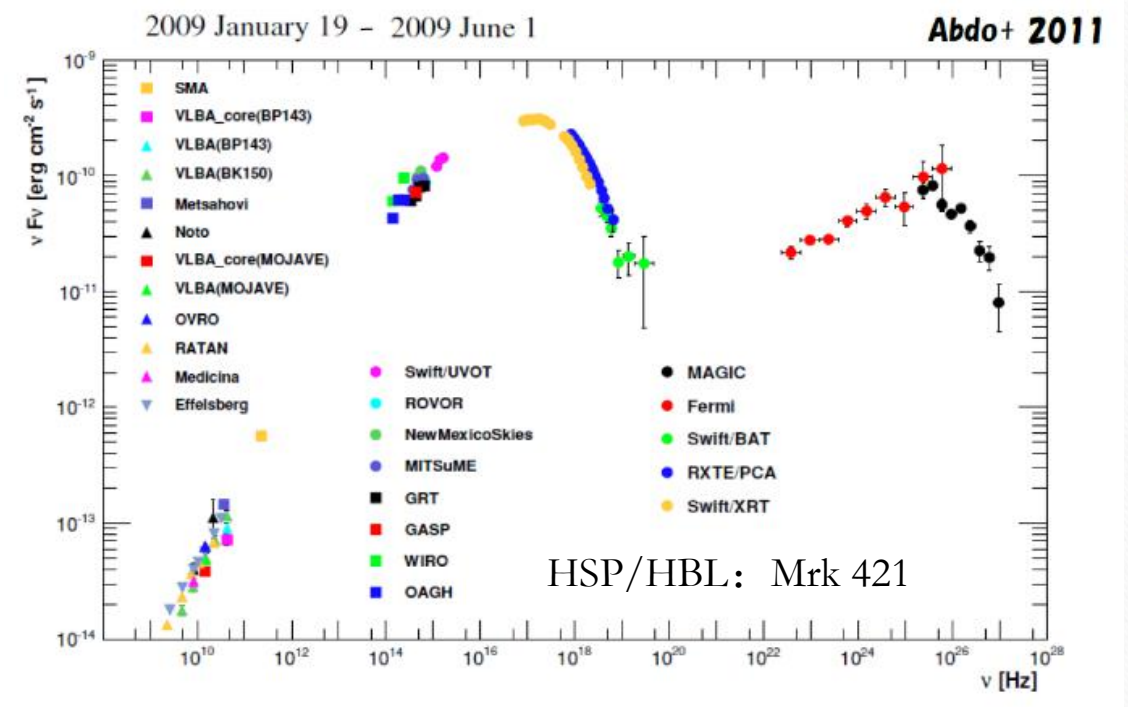
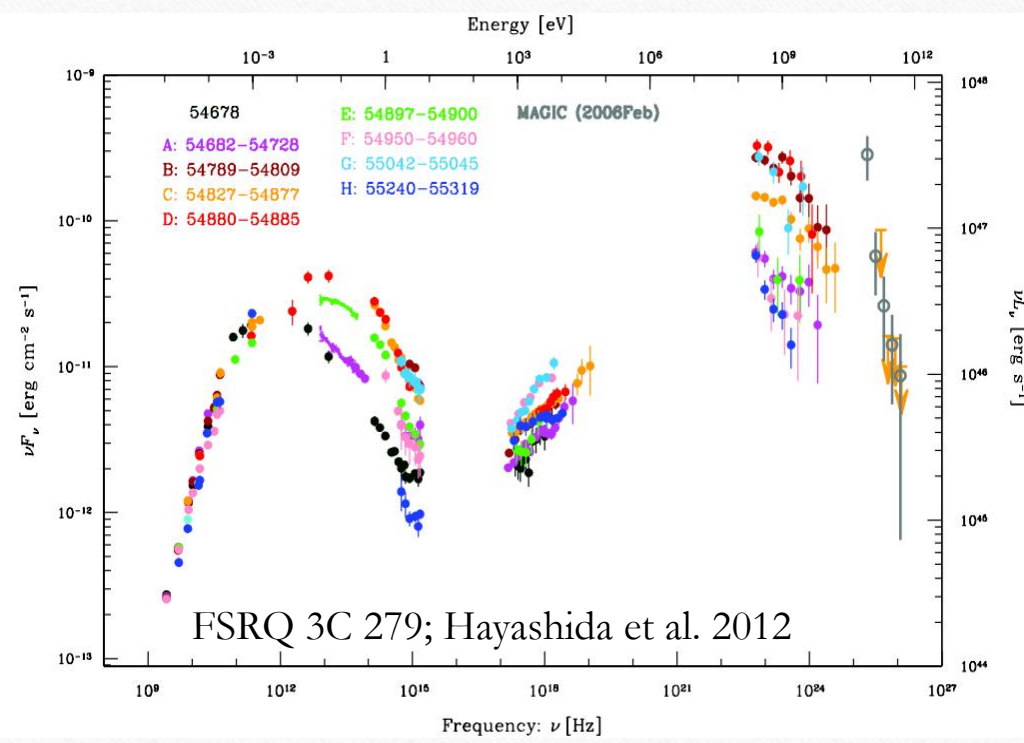
闫大海 (YNAO),
Kalashev Oleg (INR-RAS), 张双南 (IHEP), 张力 (YNU)

相关论文 : 1. Yan, Kalashev, Zhang, Zhang 2015, MNRAS, 449, 1018
2. Yan, Zhang 2015, MNRAS, 447, 2810
3. Yan, Zhang, Zhang 2015, MNRAS, 454, 1310

Blazars的伽玛辐射起源：

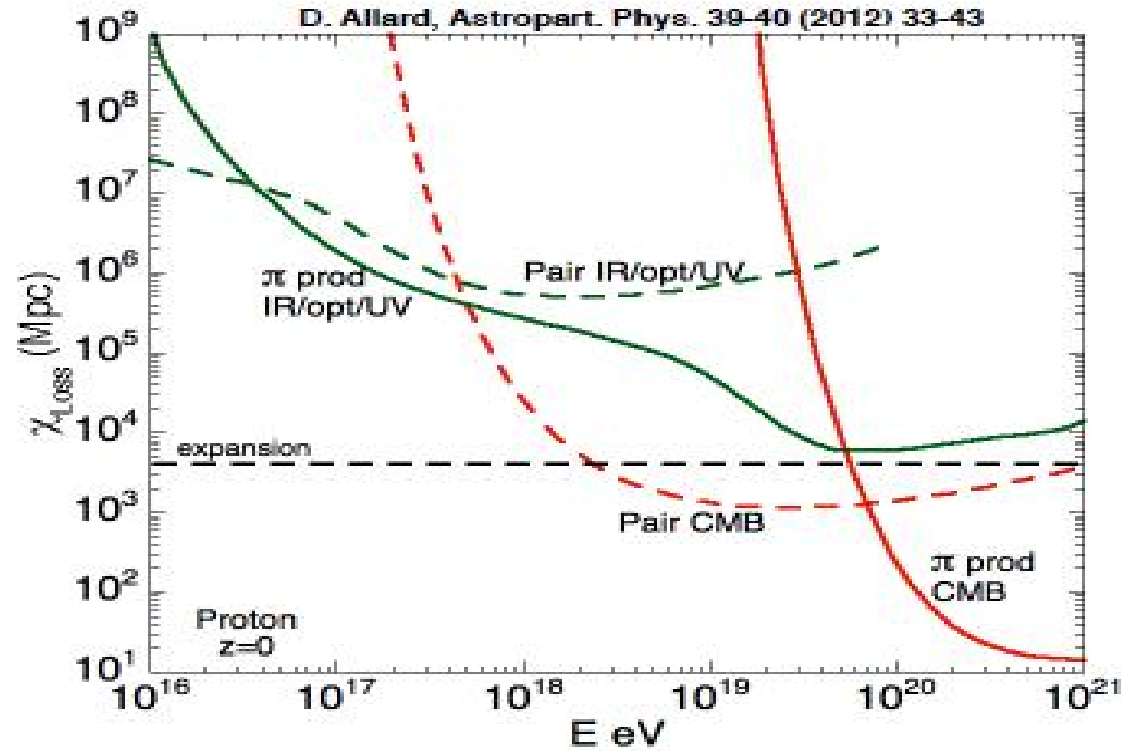
如何鉴别？

- jet {
1. 轻子。
 2. 强子；FSRQs需要极高的质子功率 $\sim 1E49\text{erg/s}$ (Bottcher+2013)。
 3. 极高能宇宙线在传播过程中产生的次级辐射 (Essey & Kusenko 2010)。



UHECRs在传播过程中会经历：

1. 与CMB+EBL的作用：(1) photo-pion production；(2) BH pair production. 影响CRs的成份和能量；产生次级的伽玛光子和中微子。
2. 与磁场的相互作用：影响CRs方向与到达时间。

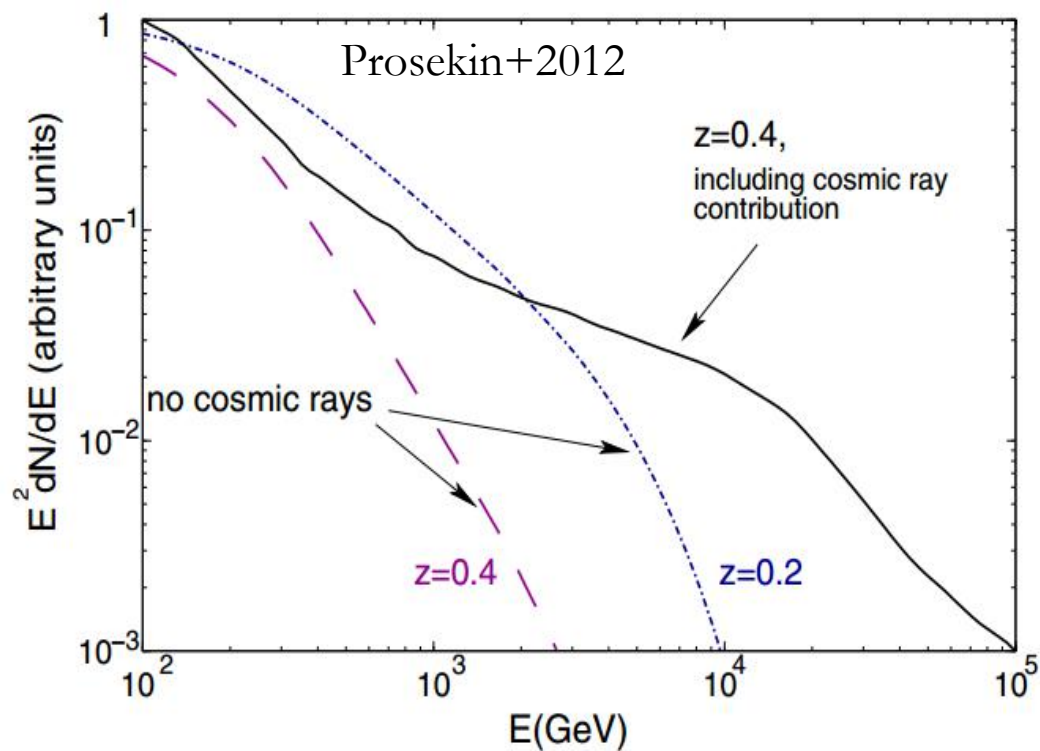
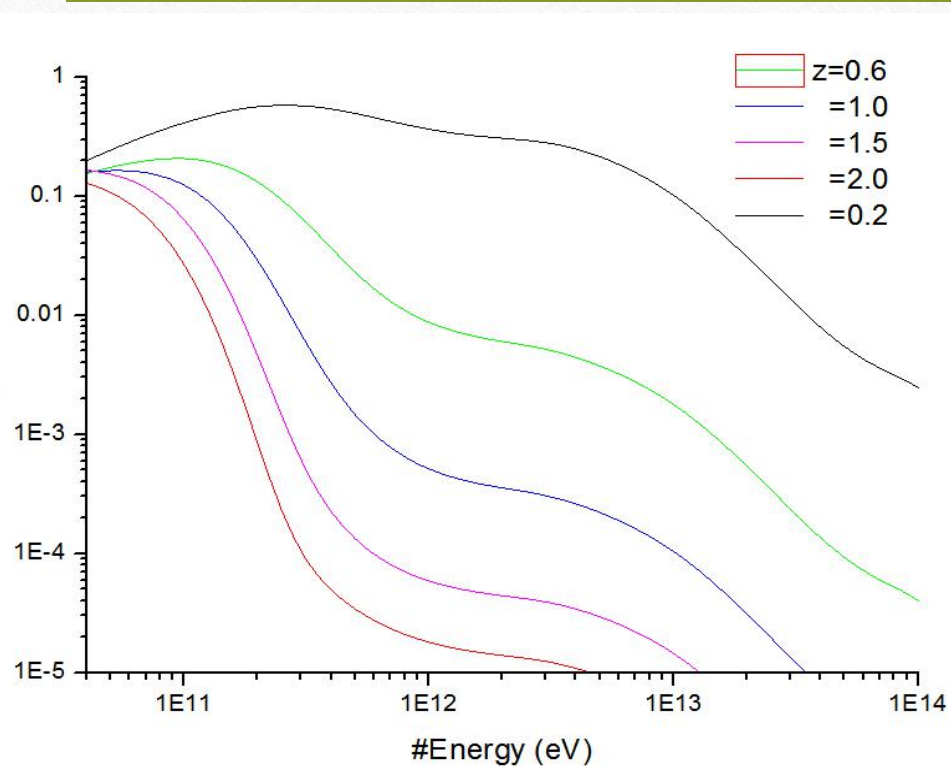


UHECRs传播过程产生的次级伽玛射线辐射：

假设1：CRs成分是质子；
假设2：弱星系际磁场。

特征：

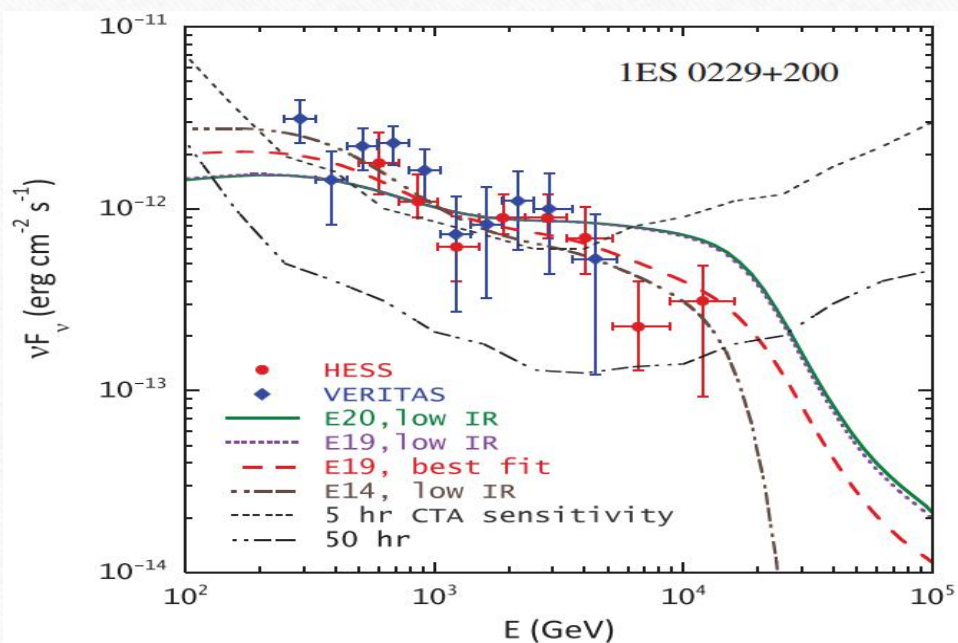
1. (相对) 稳定；
2. $> \sim 1$ TeV的硬谱；
3. 避免了一些EBL的吸收 \rightarrow 来自 $z \sim 1$ 的VHE辐射？



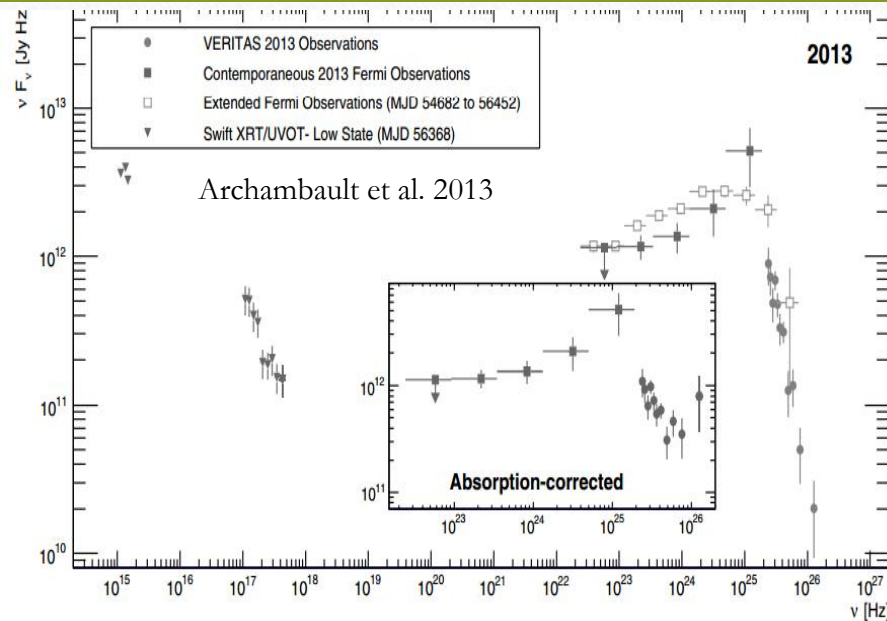
特征：

1. (相对) 稳定；
2. $> \sim 1$ TeV的硬谱；
3. 避免了一些EBL的吸收 \rightarrow 来自 $z \sim 1$ 的VHE辐射？

Blazars发射宇宙线的明确证据/对发射的宇宙线光度的严格限制。



Murase+2012; 硬TeV谱

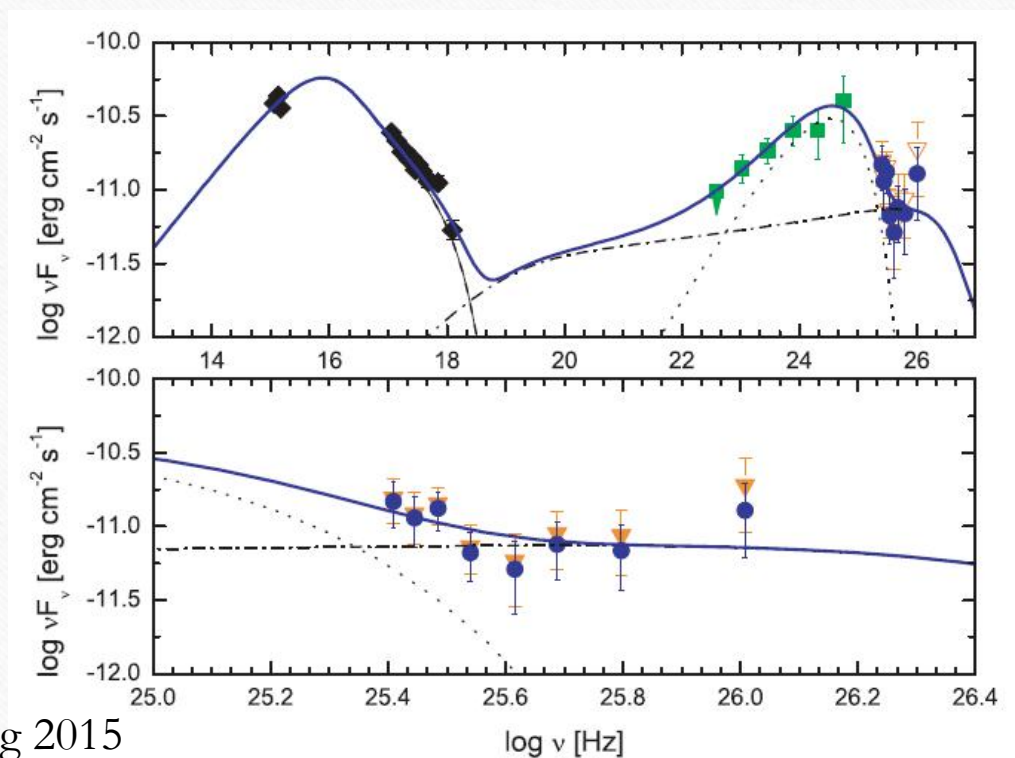


HSP: PKS 1424+240, $z > 0.6$ (Furniss et al. 2013)。

源越远喷流中的辐射被过滤的越干净！

遥远blazars的VHE辐射：以PKS1424+240为例

- 喷流强子模型：
- 适用于 $z \sim 0.6-0.8$.
- $L_p \sim 1E46$ erg/s.



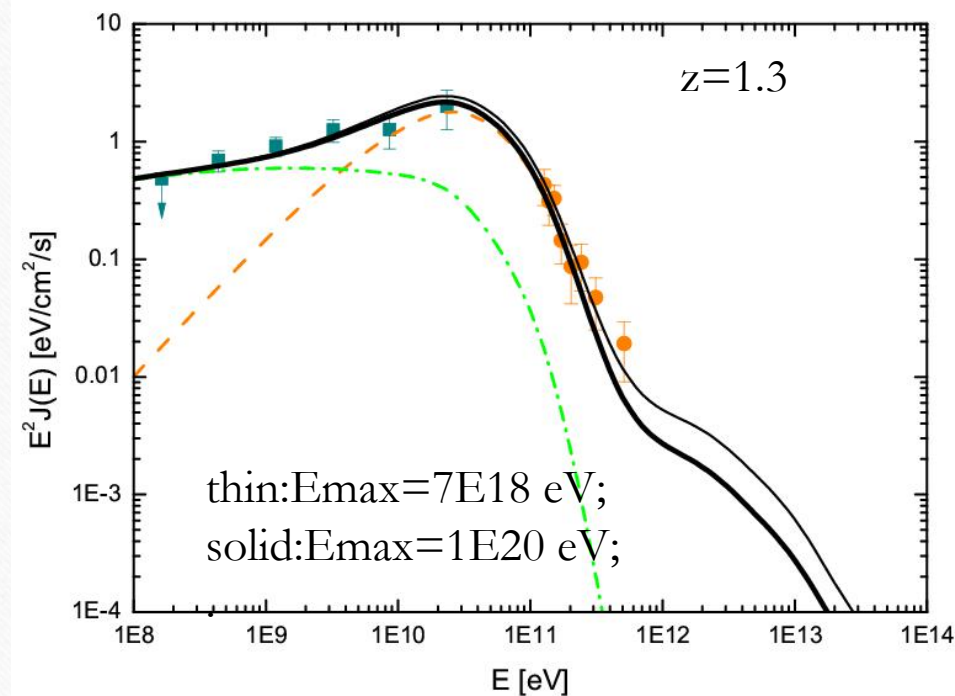
Yan & Zhang 2015

遥远blazars的VHE辐射：以PKS1424+240为例

- 喷流+UHECRs cascade

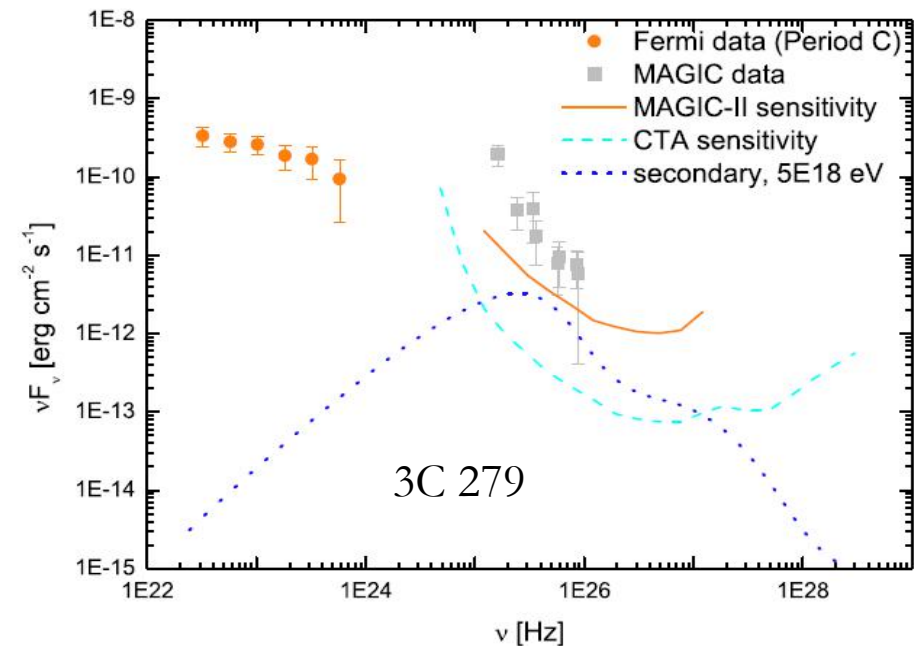
$$\gamma_p^2 Q(\gamma_p) = \frac{\delta_D^4 \gamma_p'^2 N'(\gamma_p')}{4\pi t_{esc}},$$

- $L_p = 3E46$ erg/s;
- $L_{cr} = 3E45$ erg/s;
- $B_{EGMF} = 6E-15$ G.



耀变体发射的UHECRs光度

- TeV观测可以用来限制blazars发射的宇宙线光度：
- 3C 279, 发射的宇宙线光度 $<6E46$ erg/s (beamed)；同步辐射光度 $2E47$ erg/s。
- 3C 279, 高光度, 快速剧烈光变, 宇宙线传播过程中产生的次级伽玛射线辐射不占主导。
- PKS 1424+240, $z=1.3$, $L_{cr}=3E45$ erg/s。



Yan, Zhang, Zhang 2015 (感谢Charles Dermer, 他对本文有重要贡献。)

LHAASO的关键作用

对硬TeV谱耀变体 $>10\text{TeV}$ 伽马射线的观测将有助于确定耀变体是否发射UHECRs！

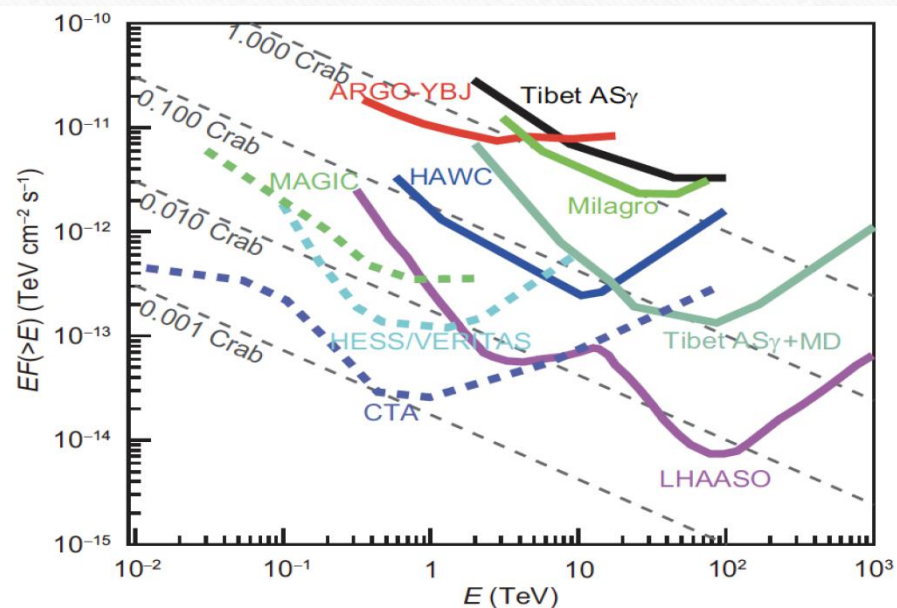
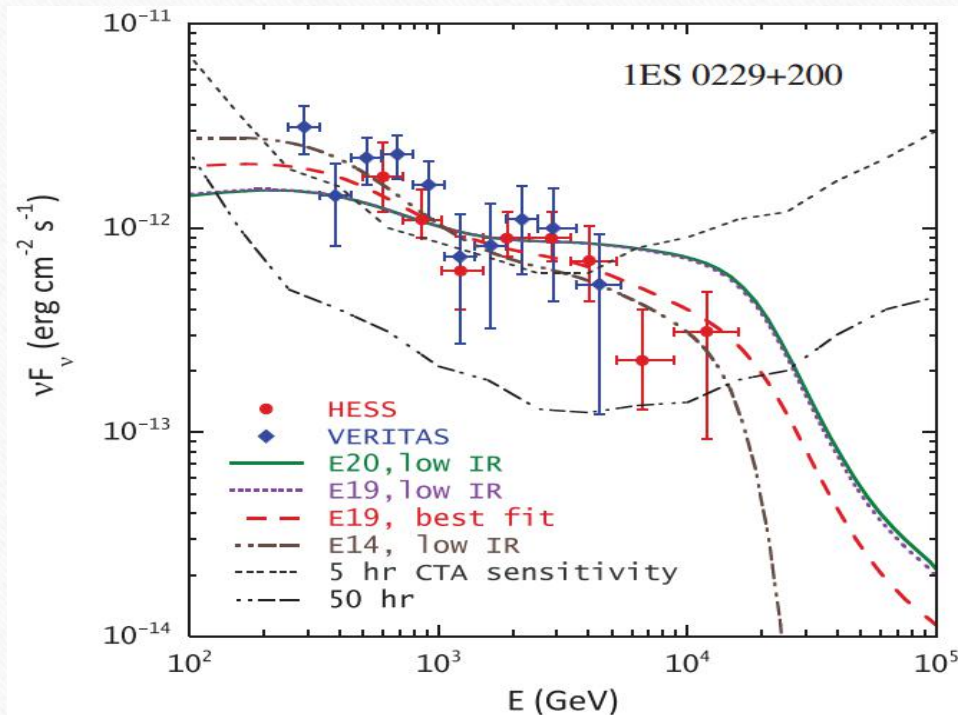


图 8 (网络版彩图)LHAASO 灵敏度与世界上其他实验及未来计划对比

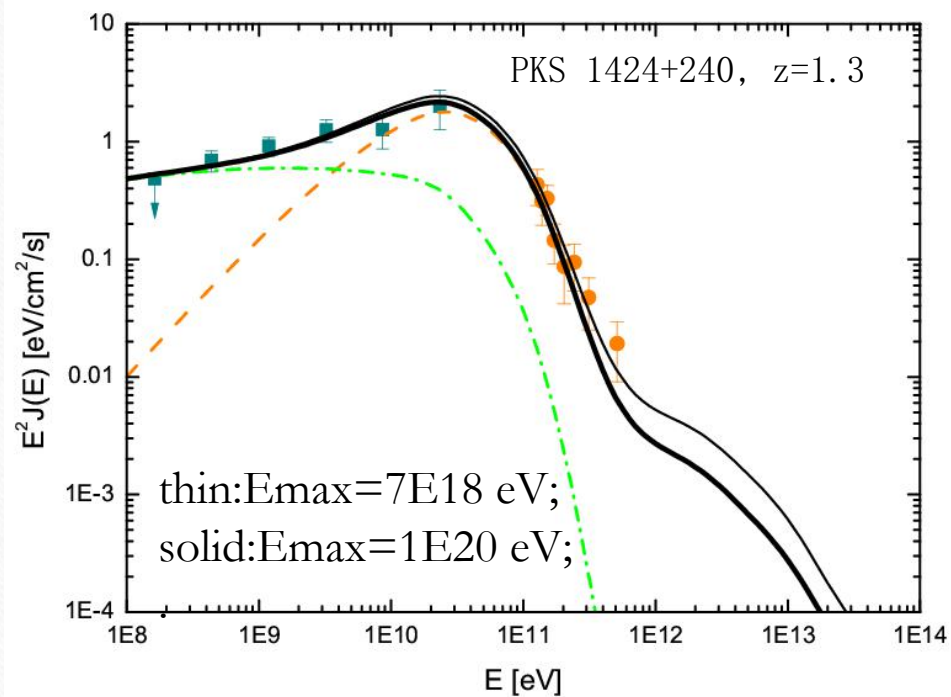
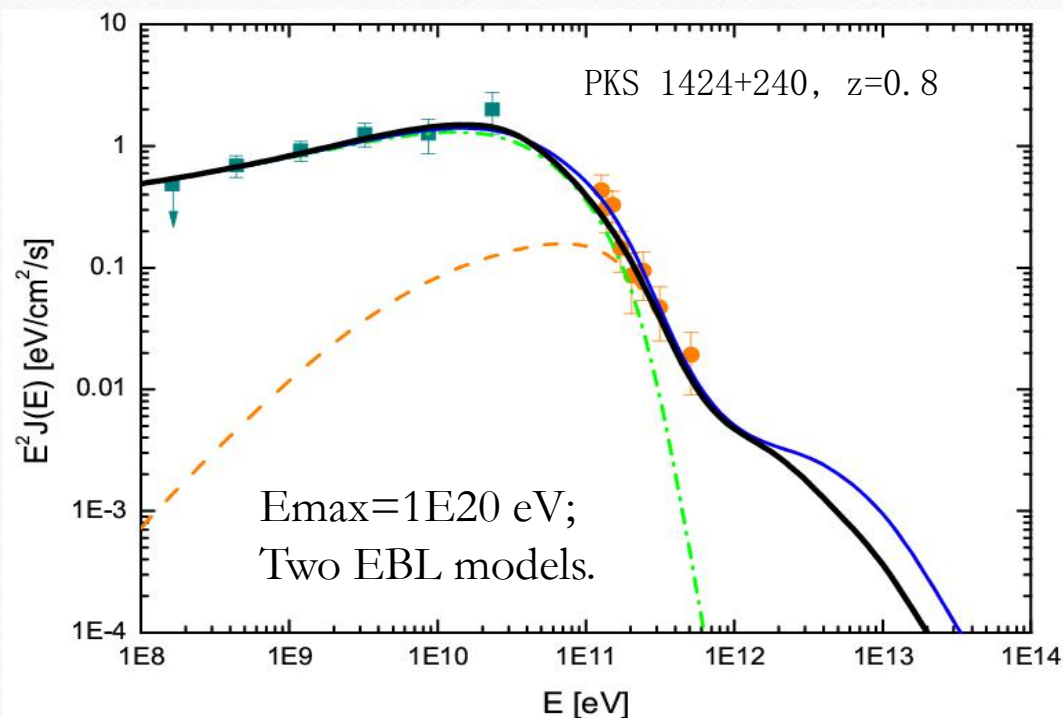
曹&何 2014



Murase+2012

LHAASO的关键作用

结合CTA对 $z\sim 1$ 源1-10TeV伽马射线的测量将有助于确定耀变体是否发射UHECRs，并对物理参数进行严格限制！



Yan, Kalashev, Zhang, Zhang 2015

LHAASO的关键作用

对blazars的UHECR光度的限制也将更严格！

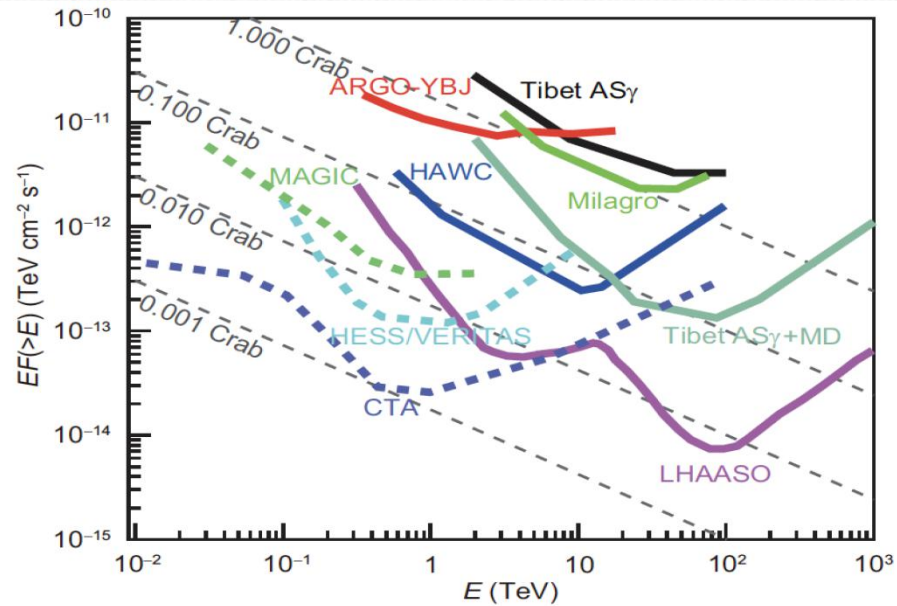
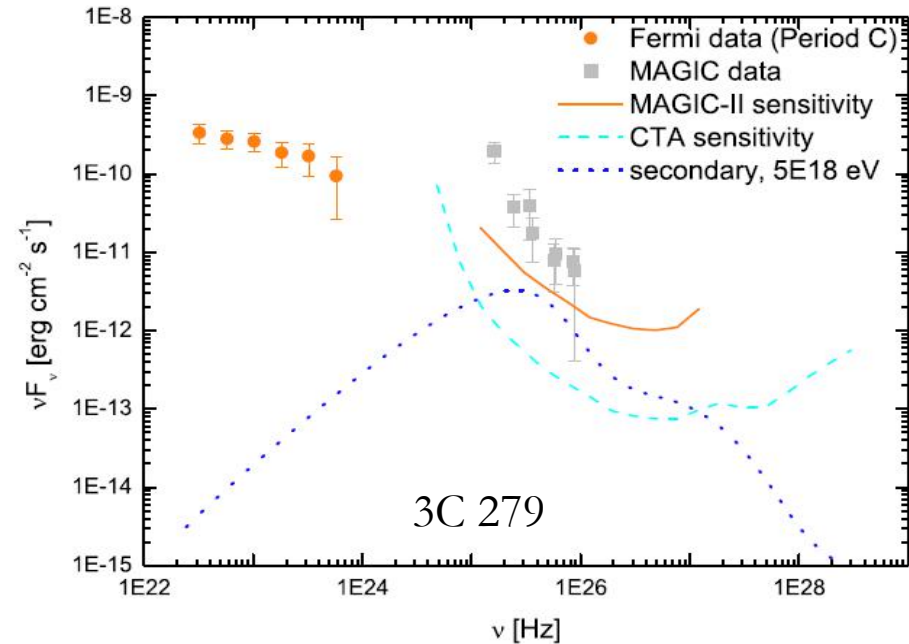


图 8 (网络版彩图)LHAASO 灵敏度与世界上其他实验及未来计划对比

曹&何 2014

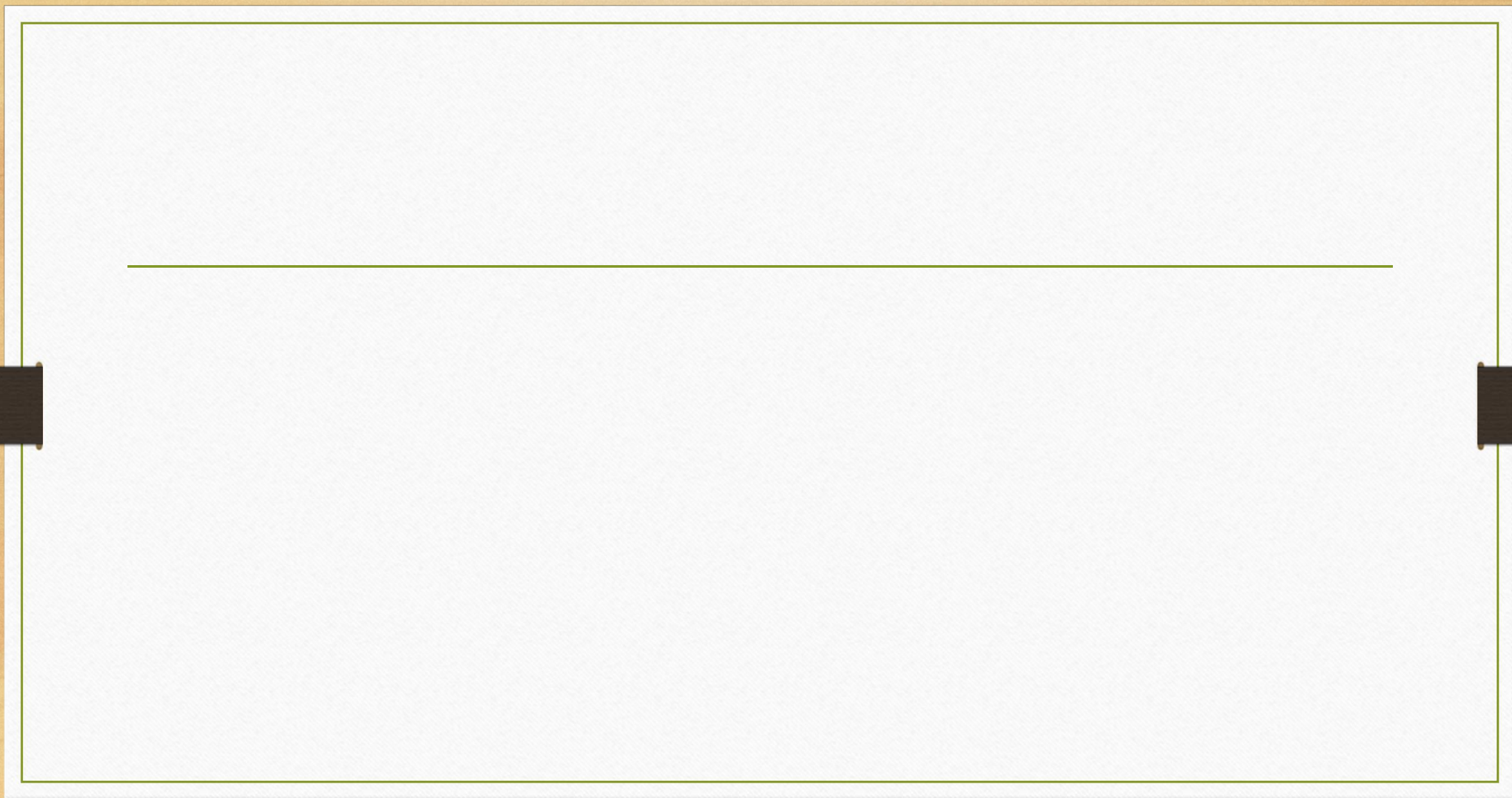


Yan, Zhang, Zhang 2015

总结

- UHECRs在传播过程中产生的次级辐射的可以帮助我们找到blazars发射高能宇宙线的明确证据。
- 用TeV观测限制blazars发射的UHECRs光度。
- 未来的LHAASO和CTA可以给出更确切的结果和更严格的限制！

谢谢！



讨论

- 1. 宇宙线是否会经过强磁场区域 (星系团 , filament) ?

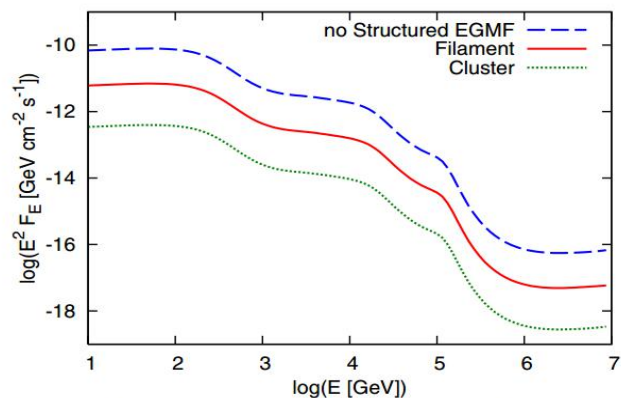


Figure 4. Effects of the structured EGMF on the γ -ray flux. We assume $L_{\text{UHECR}} = 10^{45} \text{ erg s}^{-1}$, with $E_p^{\text{max}} = 10^{19} \text{ eV}$ and $p = 2$. Here, as in the results on cascade emission induced by primary γ rays, we use the isotropic-equivalent cosmic-ray luminosity at the source (defined for UHECRs above $10^{18.5} \text{ eV}$), which is related to the absolute (beaming-corrected) cosmic-ray luminosity, $L_{\text{UHECR},j}$, as $L_{\text{UHECR}} \equiv (1 - \cos \theta_j)^{-1} L_{\text{UHECR},j}$. Here the assumed jet opening angle is $\theta_j = 0.1$. The source redshift is set to $z = 0.5$.

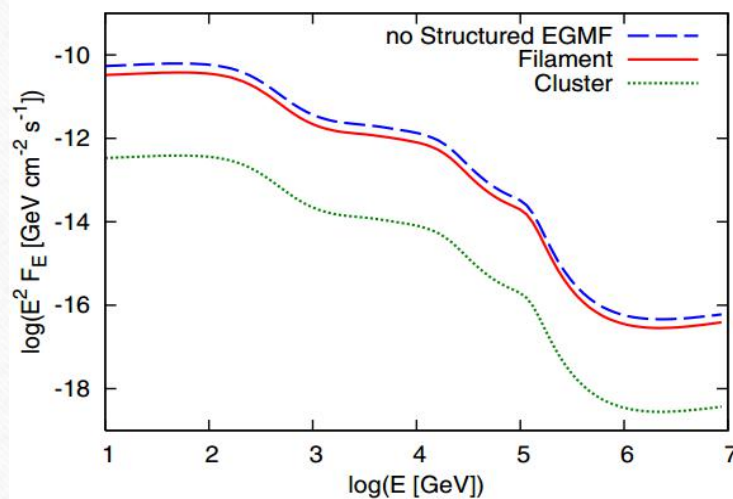
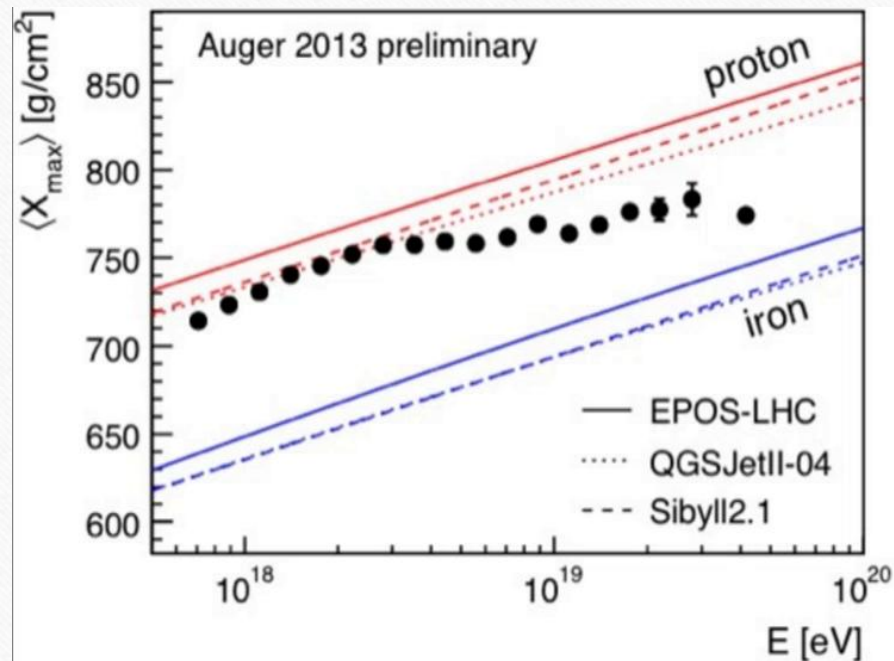
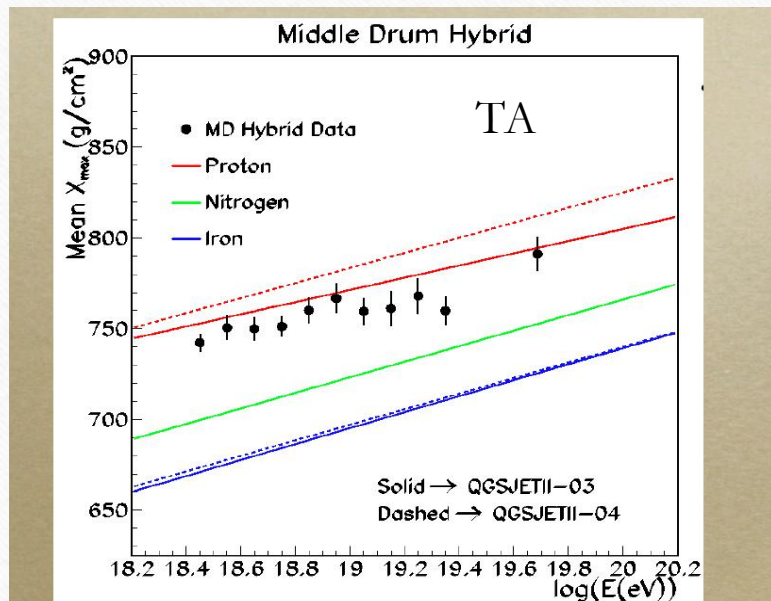


Figure 5. Same as Figure 4, but with $E_p^{\text{max}} = 10^{20} \text{ eV}$.

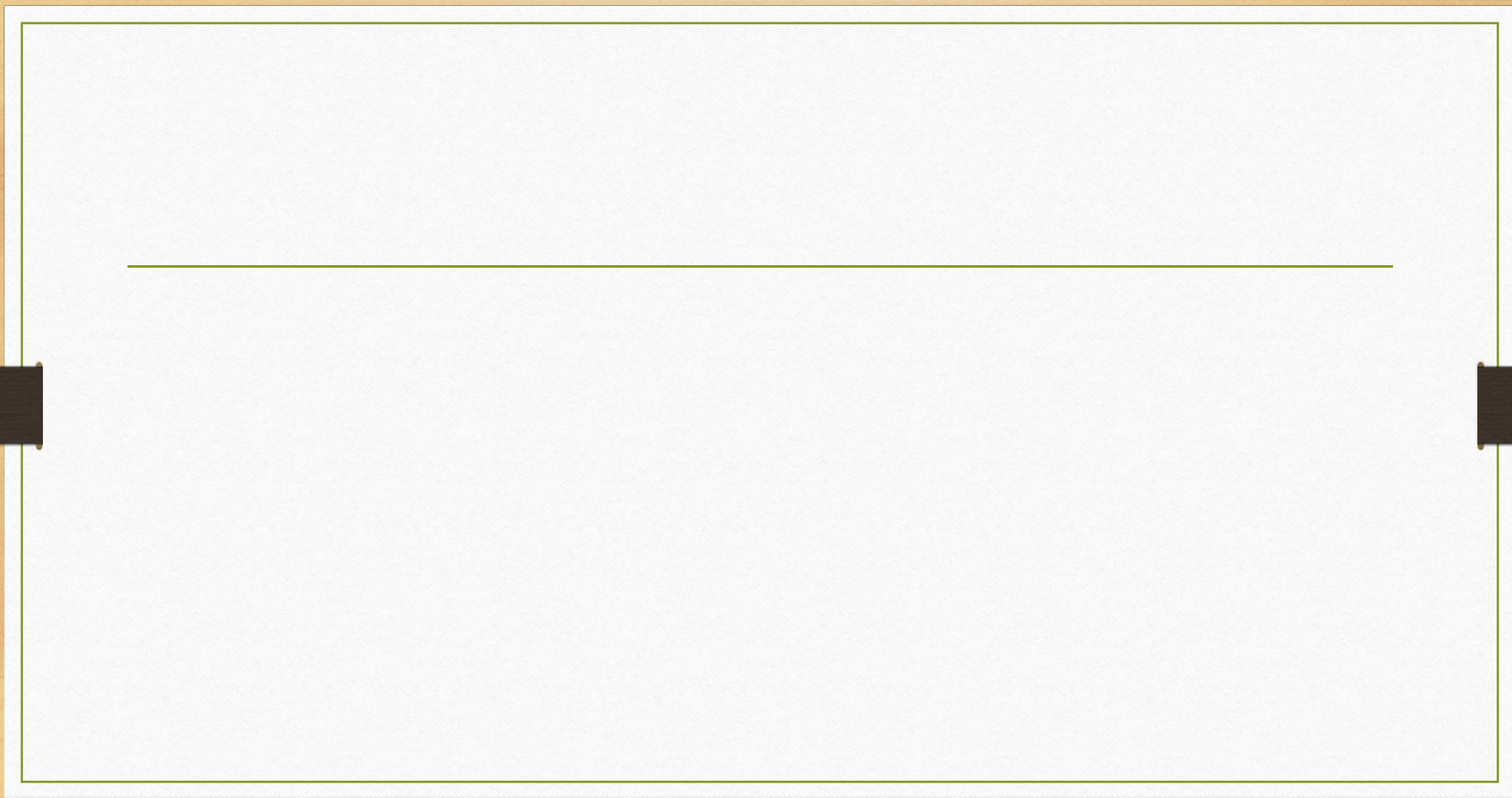
对磁场信息知之甚少，
需要引入很多假设。

讨论

2. 极高能宇宙线成分

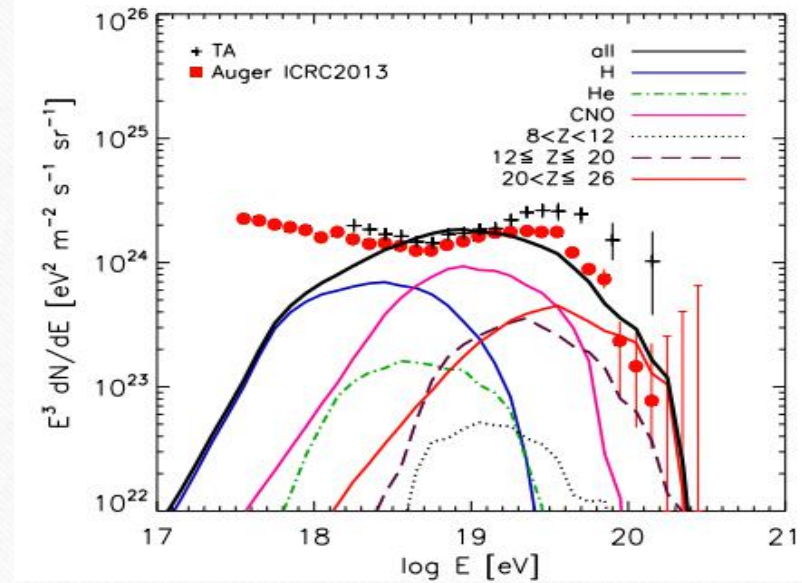
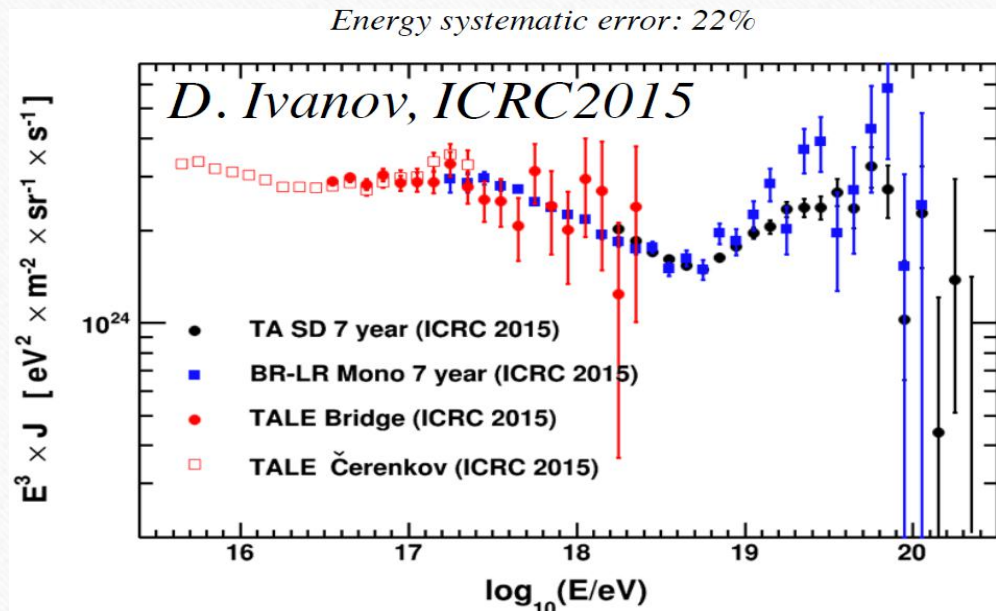


谢谢！



• 极高能宇宙线成分和截断

Fang 2015



$$\theta_p \approx 0.05 \text{ arcmin} \left(\frac{10^{18} \text{ eV}}{E_p} \right) \left(\frac{B_1}{10^{-15} \text{ G}} \right) \left(\frac{L}{\text{Mpc}} \frac{d}{\text{Gpc}} \right)^{1/2} \quad (2)$$

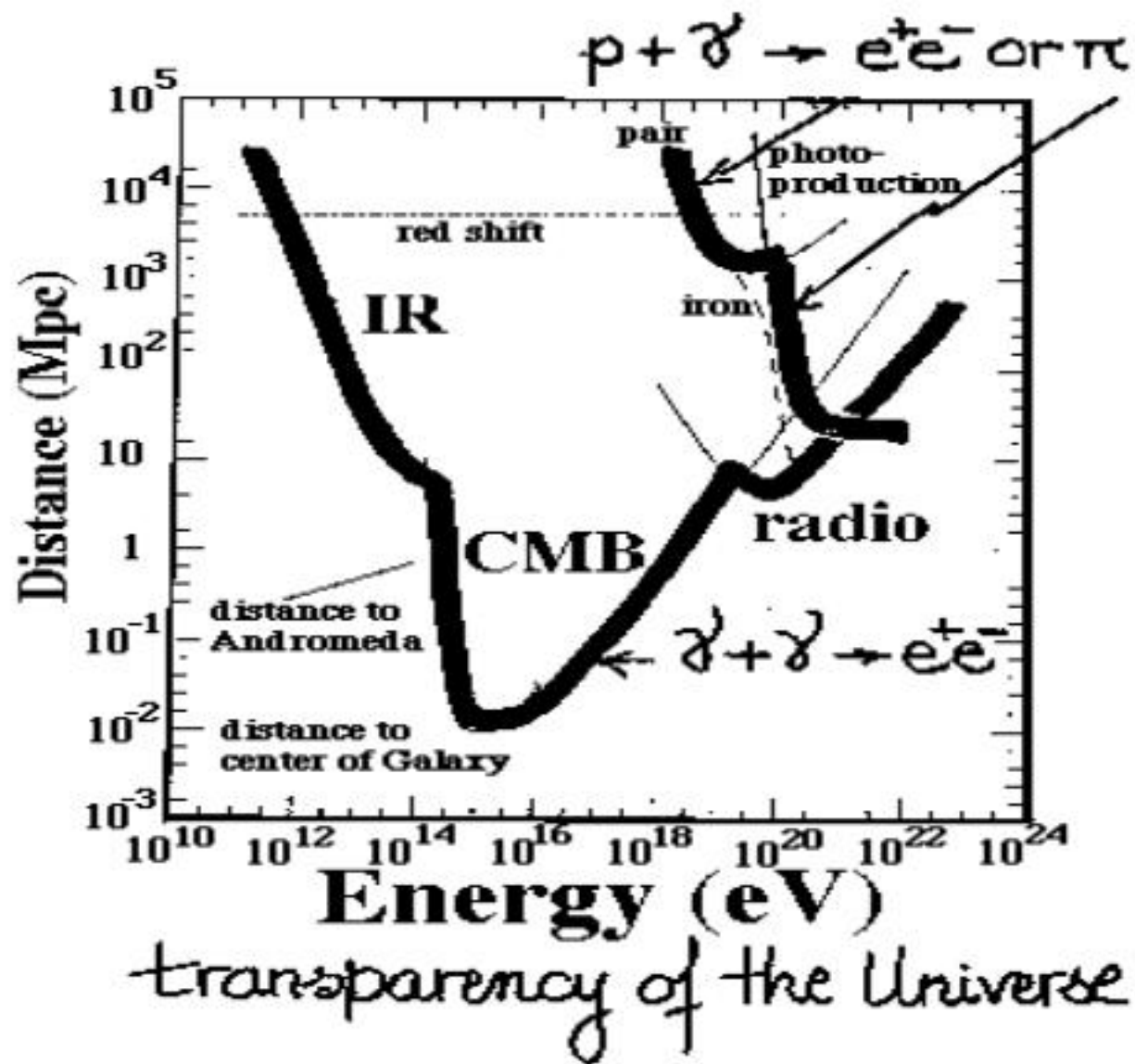
and

$$\theta_{\text{cas}} \approx 3.8 \text{ arcmin} \left(\frac{10^{12} \text{ eV}}{E_\gamma} \right) \left(\frac{B_2}{10^{-15} \text{ G}} \right), \quad (3)$$

$$\Delta\tau_p \approx 1.5 \cdot 10^6 \text{ s} \left(\frac{E_p}{10^{18} \text{ eV}} \right)^{-2} \left(\frac{B}{10^{-15} \text{ G}} \right)^2 \times \\ \times \left(\frac{L}{1 \text{ Mpc}} \right) \left(\frac{d}{1 \text{ Gpc}} \right)^2$$

and

$$\Delta\tau_\gamma \approx 1.3 \cdot 10^6 \text{ s} \left(\frac{E_\gamma}{10^{12} \text{ eV}} \right)^{-5/2} \left(\frac{B}{10^{-15} \text{ G}} \right)^2.$$

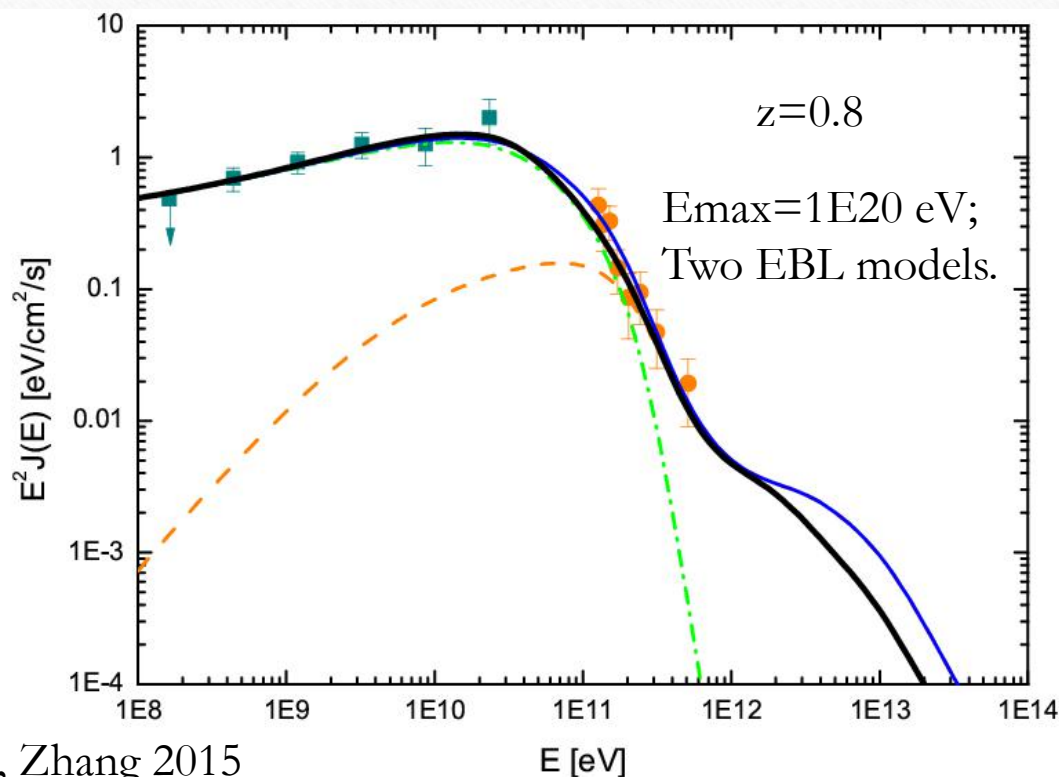


遥远blazars的VHE辐射：以PKS1424+240为例

- 喷流+UHECRs cascade

$$\gamma_p^2 Q(\gamma_p) = \frac{\delta_D^4 \gamma_p'^2 N'(\gamma_p')}{4\pi t_{esc}},$$

- $L_p = 3E46$ erg/s;
- $L_{cr} = 2E44$ erg/s;
- $B_{EGMF} = 1E-15$ G.



Yan, Kalashev, Zhang, Zhang 2015