

# On the PeV knee of cosmic-ray spectrum and TeV cutoff of electron spectrum

报告人: 靳超

合作者: 刘伟, 胡红波, 郭义庆

云南大学

C. Jin, W. Liu, H. B. Hu, and Y. Q. Guo, On the PeV knee of cosmic rays spectrum and TeV cutoff of

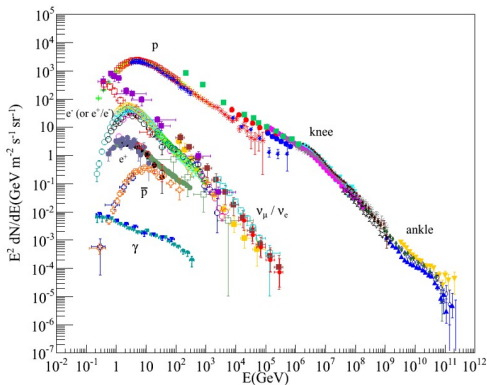
electron spectrum, arXiv:1611.08384

2017.01.19

# 引言

## ■ 宇宙线的膝

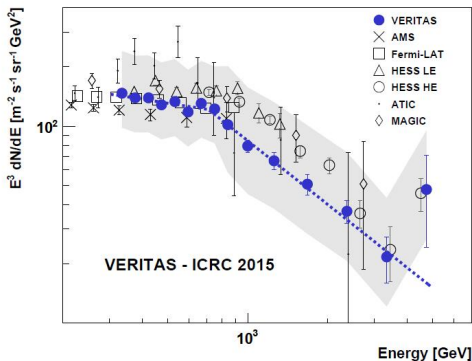
如果认为宇宙线的膝 $\sim 4$  PeV由He( $\sim 4$  GeV) 主导,可以得到对应的 $\gamma_A \sim 10^6$



# 引言

## ■ 电子能谱截断

实验测量给出宇宙线  
电子能谱截断  
在  $\sim 1 \text{ TeV}$ ，对应的  
 $\gamma_e \sim 10^6$

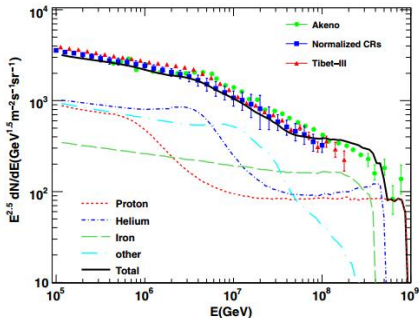


D. Staszak, and for the VERITAS Collaboration,  
arXiv:1508.06597

# 引言

- 宇宙线的膝4 PeV和电子能谱1 TeV的截断拥有相似的洛伦兹因子 $\gamma \sim 10^6$
- 如果认为他们是相同起源，可以把这些能谱与一个阈值相互作用联系起来，比如光子的对产生过程

宇宙线与源SNR上的1 eV光子的对产生导致能谱拐折



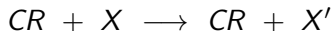
# 引言

- 但是银河系的光子数不够

1 eV的光子数为 $1 \text{ cm}^{-3}$ ，但是为了解释电子能谱至少需要 $10000 \text{ cm}^{-3}$ 的光子。如果将光子换作一个新粒子 $X$ ，由于这个粒子没有其他可观测的效应，说明截面 $\sigma_{CR}$ 很小，因而数密度 $n_X \gg 10000 \text{ cm}^{-3}$

- 需要引入充斥在银河系的新粒子 $X$

宇宙线(CR)粒子在过阈之后与 $X$ 粒子相互作用，产生 $X'$ ，  
 $m_{X'} = 10^6 m_X$



- $X'$ 不一定非是一个粒子，可以是共振态，或几个次级粒子的集合

# 模型搭建

- X粒子非相对论,  
 $v_x = 0$
- 相互作用截面简单地  
假设为在阈值以上  
为常数
- X粒子可能处于相干  
态, 截面被放大 $\eta$
- 末态粒子在质心系  
下角分布均匀
- 将传播效应与新的相  
互作用过程分开处理

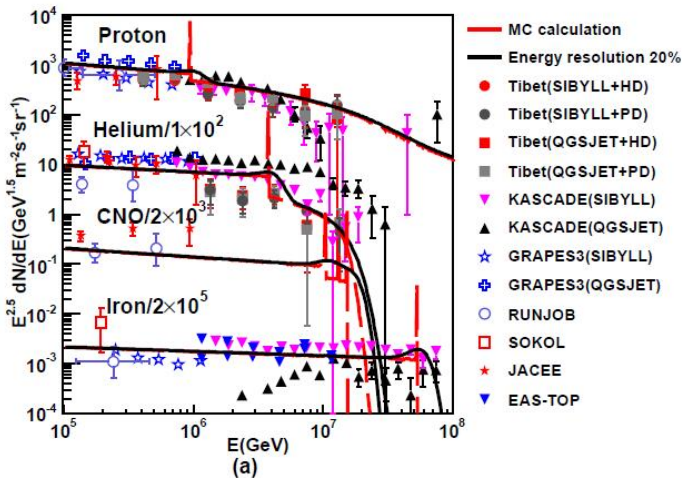


Salvador Dalí, Galatea of the Spheres, 1952

# 计算和结果

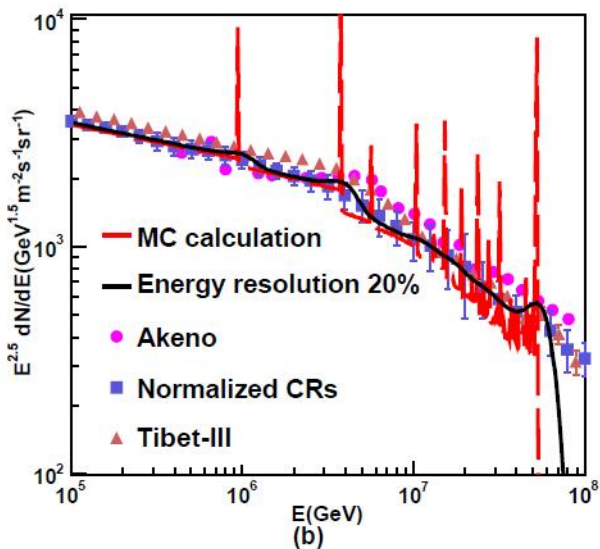
宇宙线核子谱

$m_x = 1 \text{ eV}$ ,  $\eta n_x \sigma_A = 4A^2 \times 10^{-21} \text{ cm}^{-1}$ , 这个简单的截面假设可以很好地描述实验结果



# 计算和结果

宇宙线核子谱

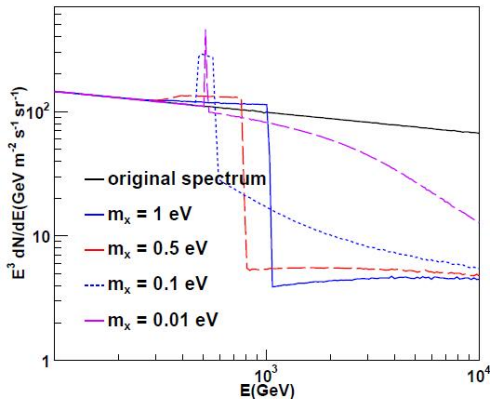




# 计算和结果

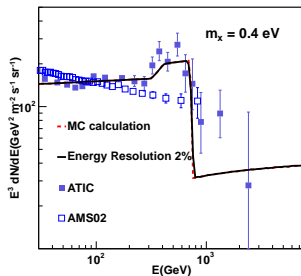
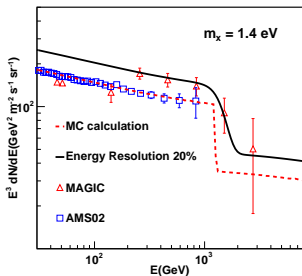
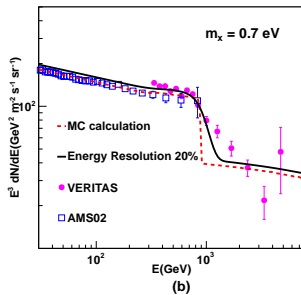
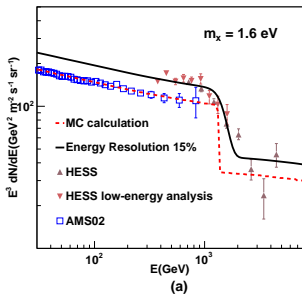
电子谱随X质量的变化

- 电子能谱对X质量变化敏感
- 随着X质量减小, 电子的堆积效应产生的peak逐渐明显
- 电子能谱截断位置随X质量减小而减小



# 计算和结果

电子计算结果与各实验比较



# 计算和结果

## 电子计算结果与各实验比较

用最小二乘法将计算结果与HESS, VERITAS, MAGIC, ATIC的电子测量结果做拟合, 同时考虑相对AMS的能量scale, 最佳拟合结果见下表

parameters	HESS	VERITAS	MAGIC	ATIC
$m_x$ ( eV )	1.6	0.7	1.4	0.4
$\eta n_x \sigma_e$ ( $\times 10^{-23} \text{ cm}^{-1}$ )	1.2	1.2	1.2	2.4
$\xi$	1.08	1.01	1.09	1

已知暗物质能量密度 $0.4 \text{ GeV cm}^{-3}$ , 可以给出X的密度和截面

parameters	HESS	VERITAS	MAGIC	ATIC
$n_x$ ( $\times 10^8 \text{ cm}^{-3}$ )	2.5	5.7	2.9	10
$\eta \sigma_e$ ( $\times 10^{-5} \text{ mb}$ )	4.8	2.1	4.1	2.4

即使把所有暗物质认为是X, 依然需要很大的 $\eta \sigma_e$ , 因此 $\eta$  可能远大于1

# 结论和讨论

## 结论

- 如果认为宇宙线的膝和电子能谱截断是共同起源，可以用一个相同的相互作用来解释，需要引入一个充斥在银河系的新粒子
- 通过引入一个新粒子可以同时解释宇宙线的膝和电子能谱截断
- 计算结果表现为Z 字能谱
- 核子的截面是电子的2 ~ 3个数量级

# 结论和讨论

## 讨论

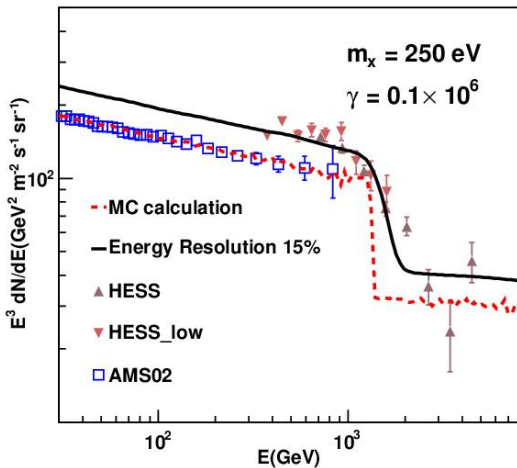
- 核子谱的计算结果显示许多peak，并在铁核阈值 $\sim 60\text{PeV}$ 处完全截断

现在的相互作用过于简单，在阈值附近，能量 $E_{CR} \uparrow$ ，截面 $\sigma_{CR} \uparrow$ ；在高能区域，能量 $E_{CR} \uparrow$ ，截面 $\sigma_{CR} \downarrow$

# 结论和讨论

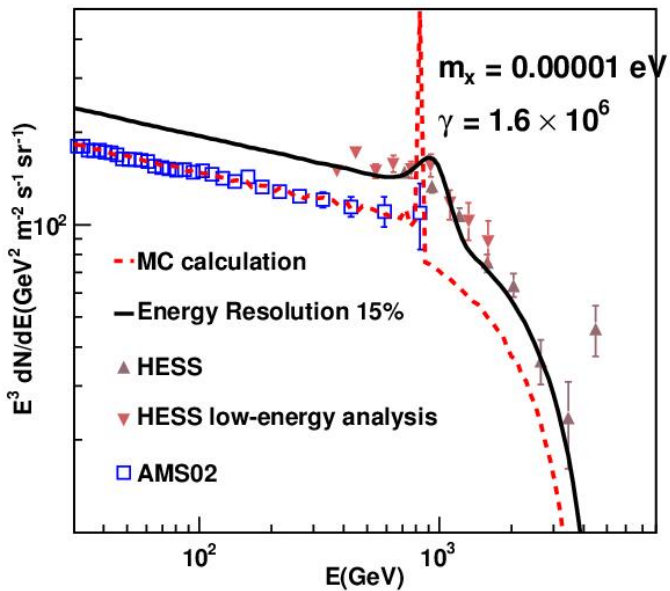
## 讨论

- 由于实验误差， $\gamma$ 不确定



# 结论和讨论

讨论



# 结论和讨论

- 电子谱和宇宙线膝区分成份能谱的精确测量对于模型检验和参数确定非常重要
- 期待DAMPE很快给出TeV能区电子谱的精确测量
- 期待LHAASO给出PeV能区每种核子成份能谱的精确测量
- 也希望加速器实验（LHC，CEPC）能研究有关 $X/X'$ 粒子的效应



谢谢