

# DAMPE次级粒子观测

---



单位：近代物理所

报告人：陈占方（代表DAMPE合作组）

时间：2023-10-23

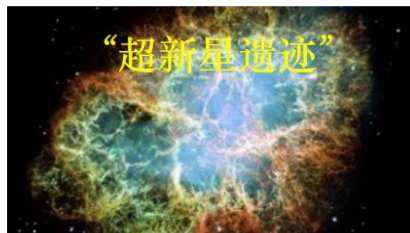
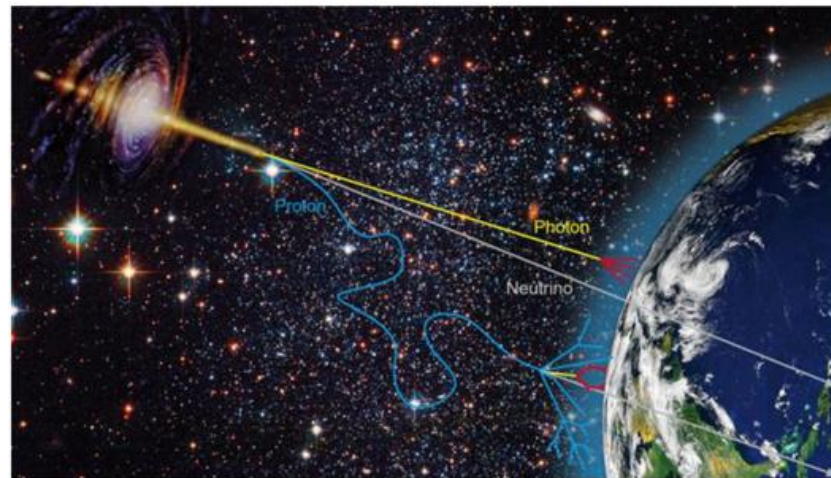


Victor F. Hess

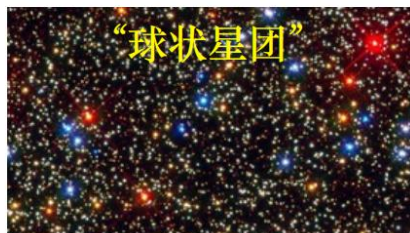
(1893 - 1964)

Discovered Cosmic-rays, 1912

Nobel Prize, 1936

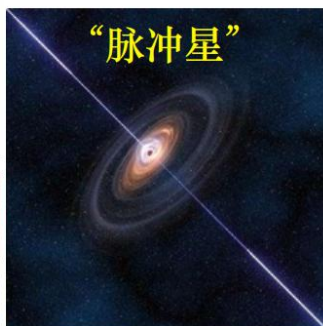


“超新星遗迹”



“球状星团”

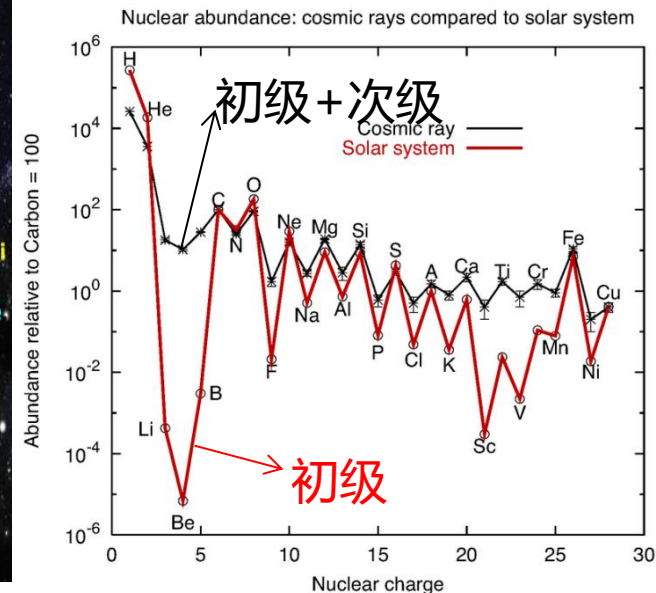
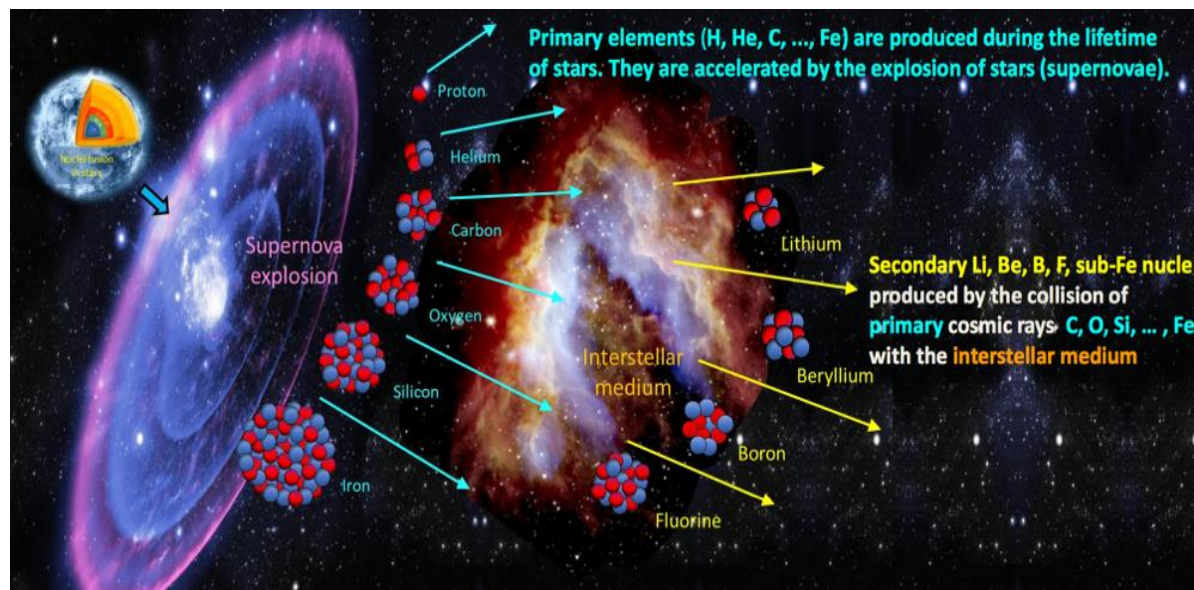
## 宇宙线加速源



“脉冲星”

- 宇宙线：宇宙线是穿过星际介质并最终到达地球的高能粒子。
- 宇宙线组成：中微子、伽马射线、电子及各种原子核。
- 宇宙线的起源和传播是重要的天体物理问题

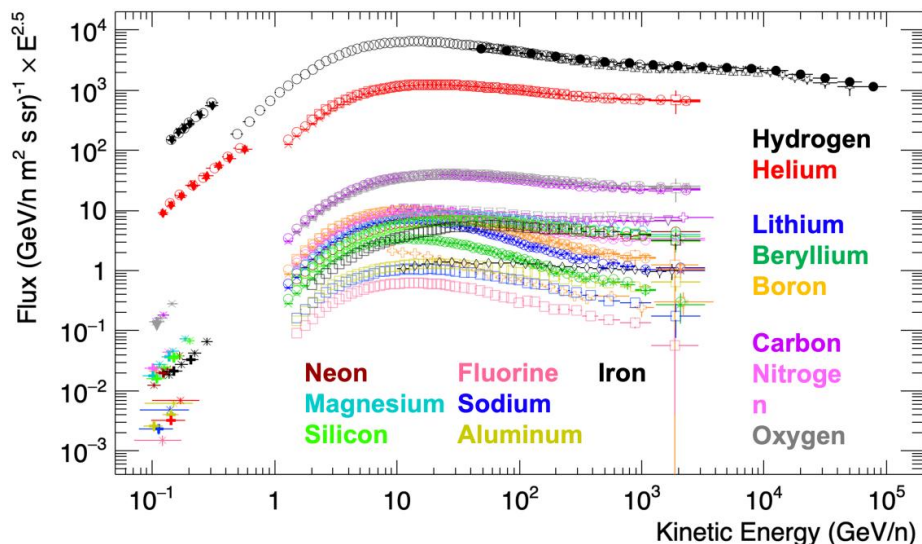
# 初级/次级宇宙线



(Mehrez et. al. 2015)

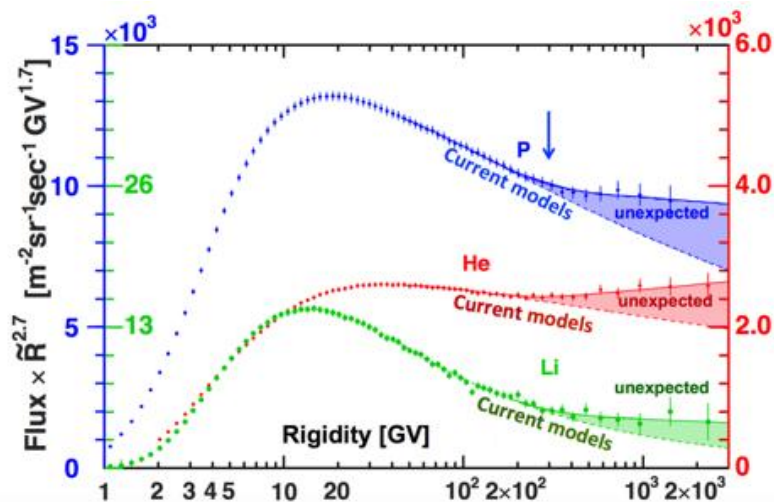
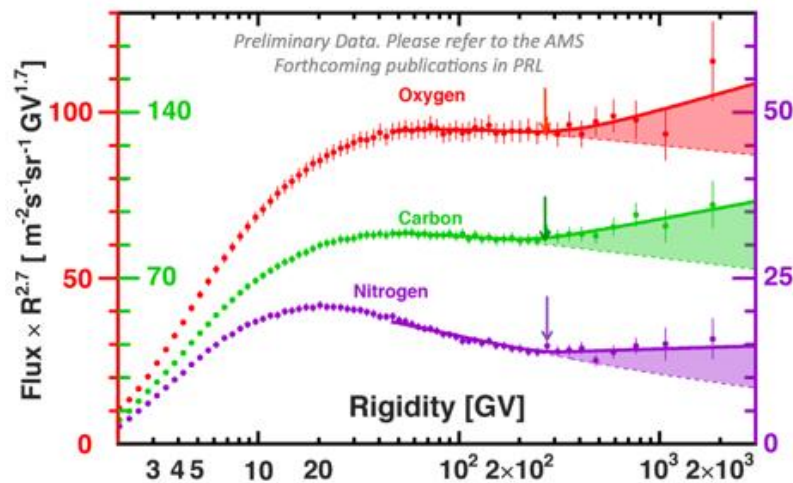
- 由大爆炸中产生的物质（质子和氦）、大质量恒星中产生的物质（碳、氧和更重的物质，直到铁）
- 次级宇宙线，是由初级宇宙线穿过银河系时与星系气体或星云非弹性碰撞产生的。
- 次级宇宙线的丰度在宇宙射线中远高于太阳系中的丰度。

# 宇宙线最近结果



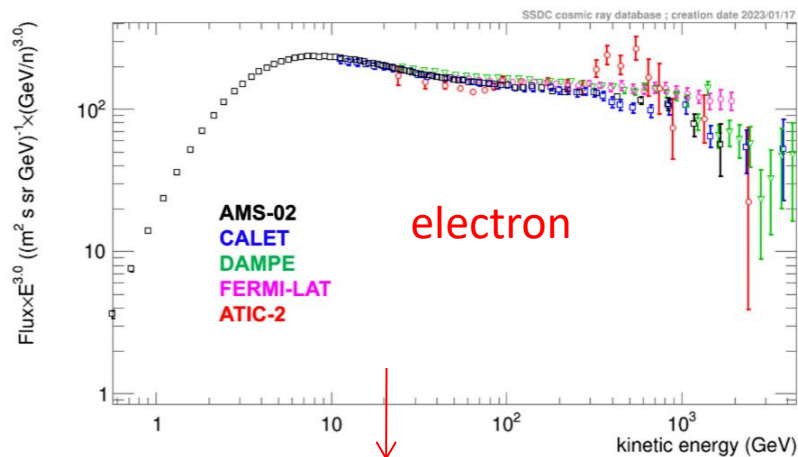
(Tomassetti et al. 2023)

- 宇宙线能谱**偏离单一幂律谱**
- 宇宙线来自不同源，每个源加速不同能量的宇宙线。

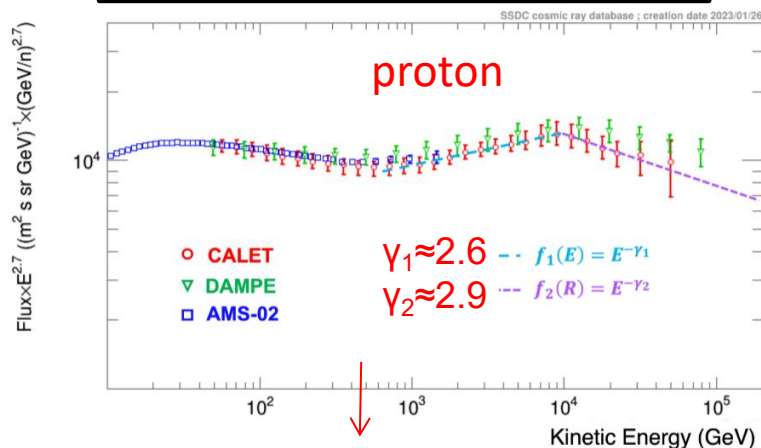


(AMS-02 collaboration, ICRC2017)

# 宇宙线最近结果

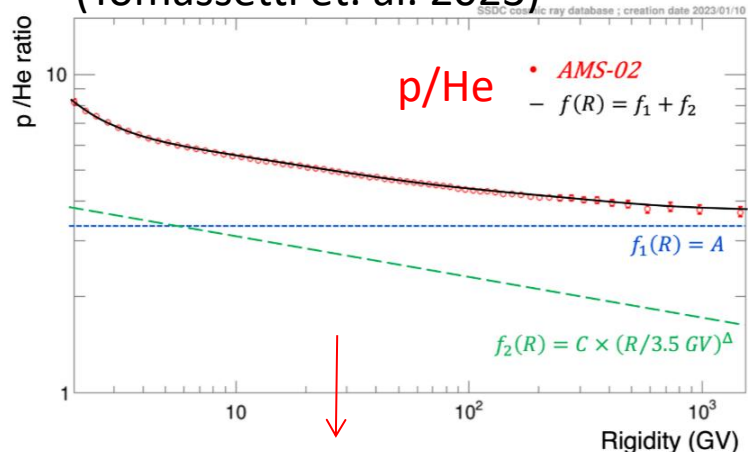


电子能谱在1TeV之后，能谱变软

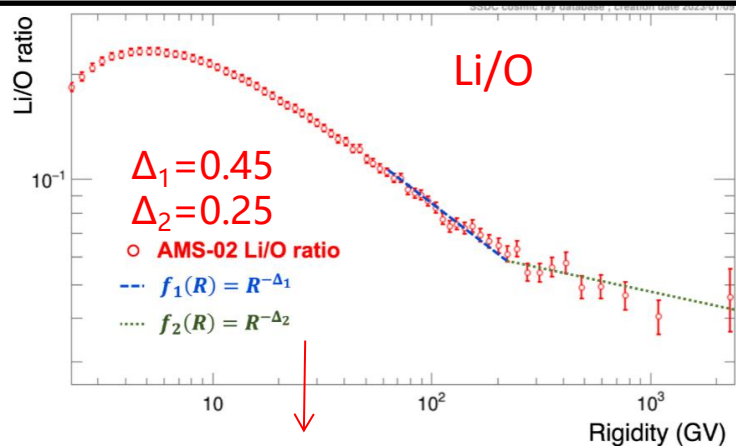


质子的能谱指数从2.6变化到2.9

(Tomassetti et. al. 2023)



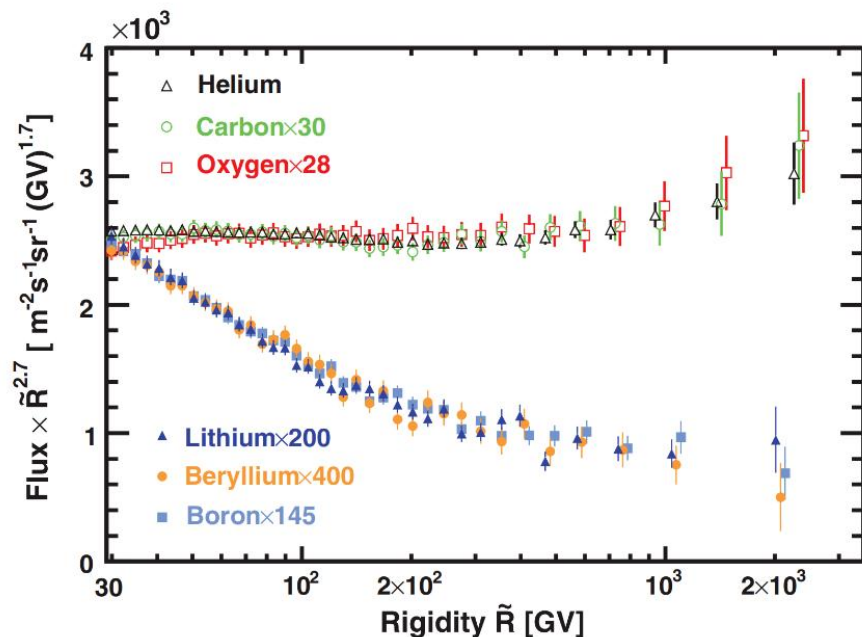
随着刚度的增加，p/He比例显著降低，比例与刚度的关系符合幂律谱，其谱指数为-0.1



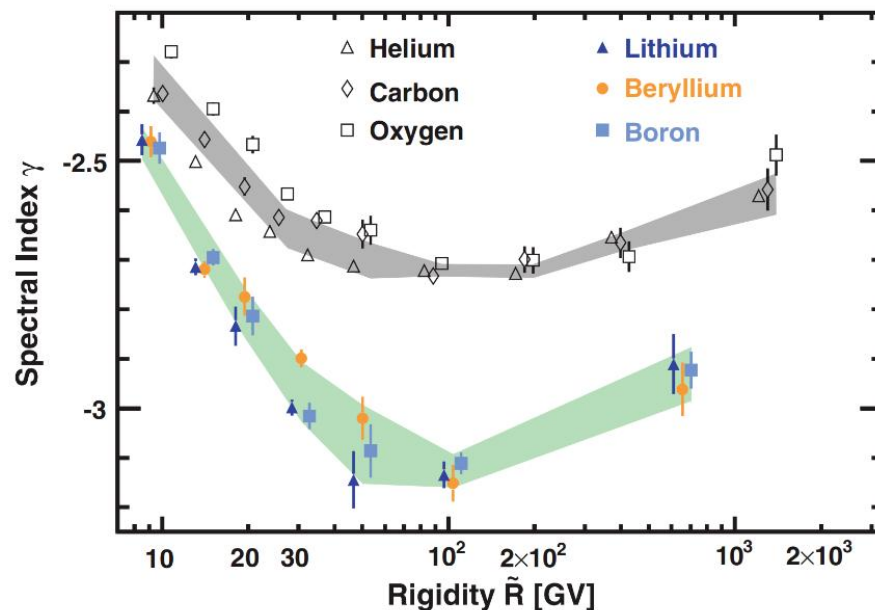
斜率从 $\Delta \approx 0.25$ 变为 $\Delta \approx 0.45$ ，在刚度 $R \approx 192 \text{ GV}$ 处发生拐折

- 比率**斜率的变化**可能源于宇宙线在星际介质中的**传播**。
- 宇宙线来自不同源，每个源加速不同能量的宇宙线。

## 次级核素进展



(AMS-02 collaboration 2020)



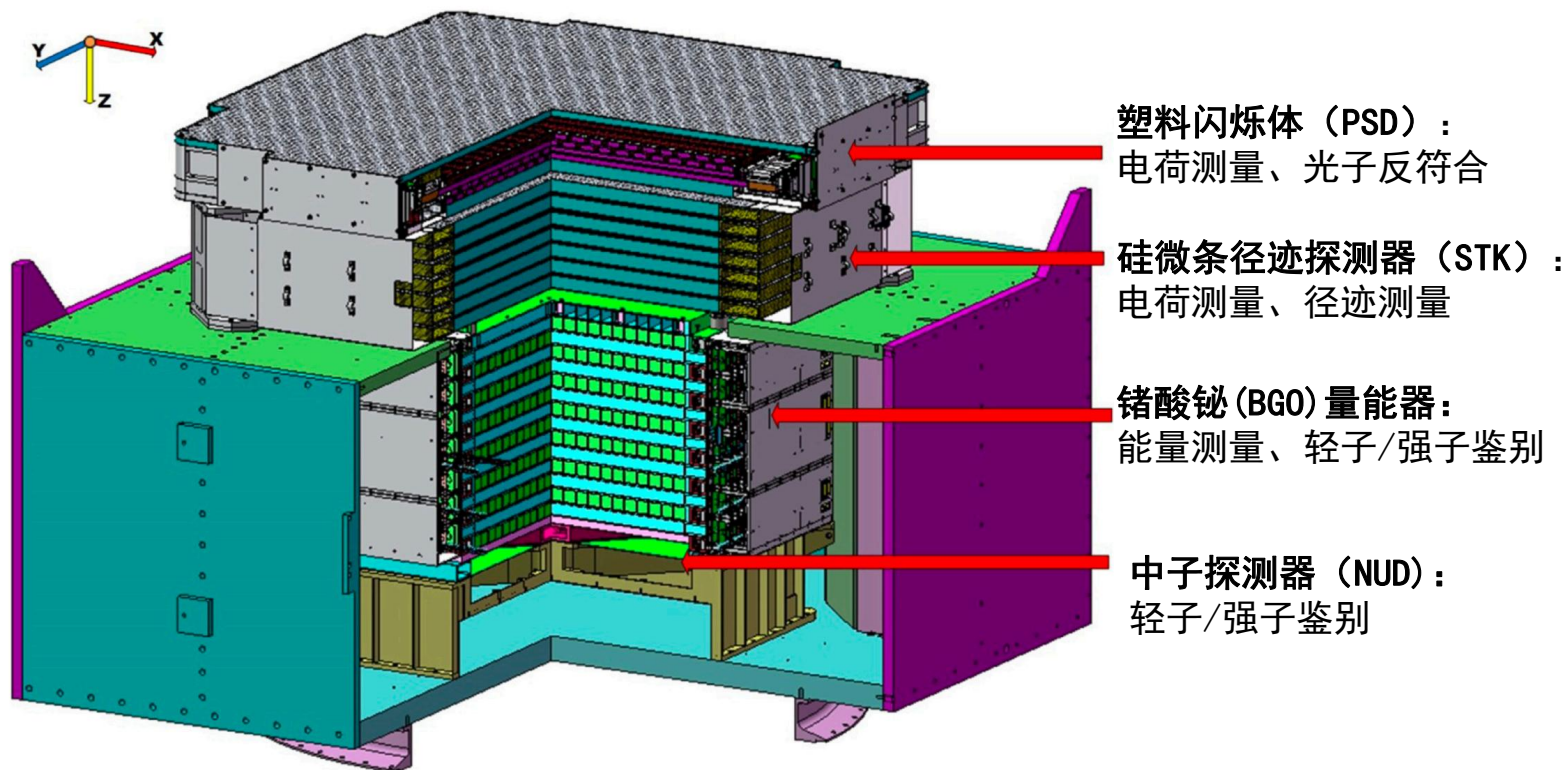
### 次级能谱特征：

- 超过 200 GV 时能谱**变硬**，不符合单一的幂律分布
- **次级元素**的能谱指数和**刚度依赖性**几乎相同，与**氦、碳和氧**的刚度依赖性明显不同

### 测量次级能谱：

- 宇宙线传播传播机制
- 能谱结构变化的来源

# “悟空” (DAMPE) 卫星



- 主要科学目标：1、正负电子、伽玛光子。2、核素宇宙线。
- 主要科学意义：1、间接探测暗物质粒子。2、宇宙线起源、加速、传播
- 暗物质粒子探测卫星的优势：最优的能量分辨、领先的粒子鉴别、优异的角度分辨

- **飞行数据**

- 7年飞行数据 (2016年至2022年)

- **模拟数据**

- 能量: 10GeV-500TeV

- 样本:

Li6:Li7=1:1

Be7:Be9:Be10=5:3:2

B10:B11=3:7

- 物理模型: GEANT4v4.10.5 (FTFP\_BERT和EPOS-LHC)

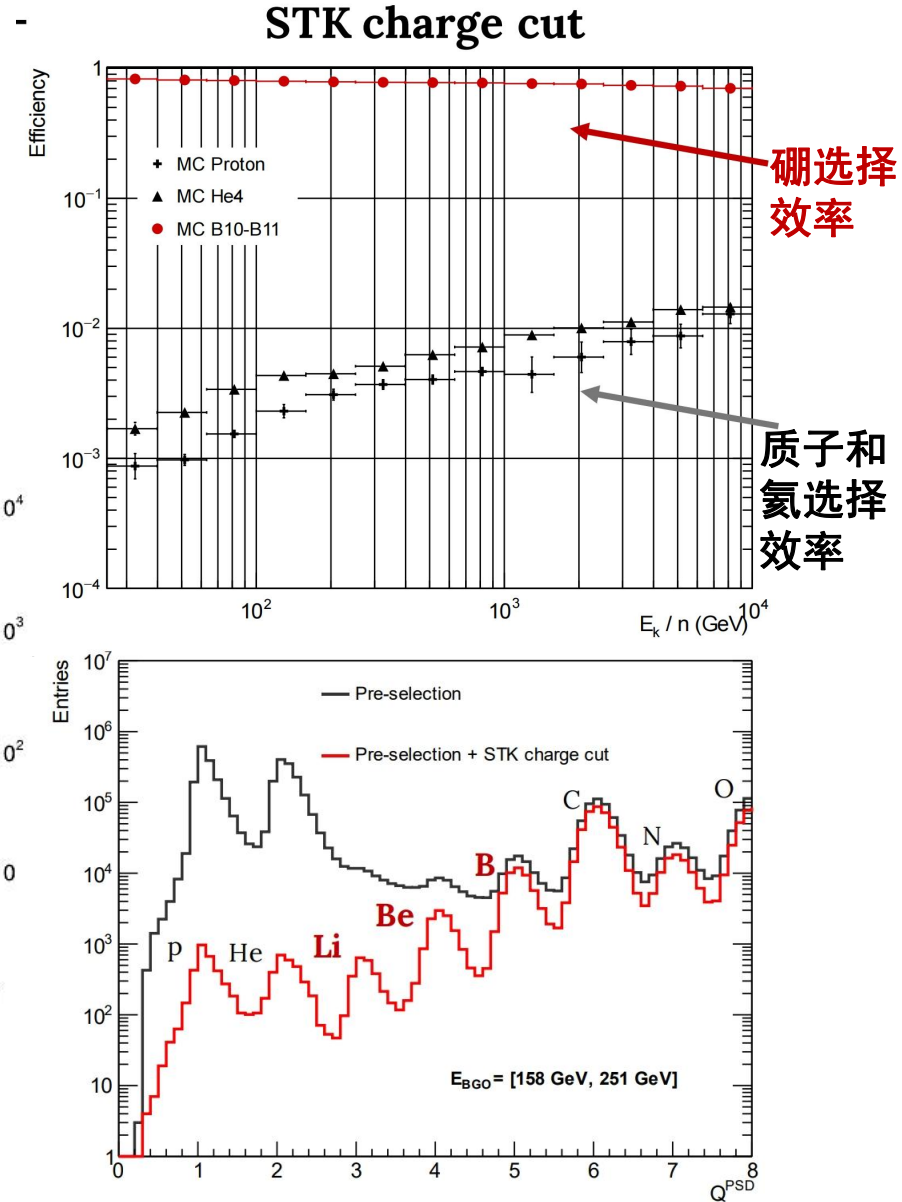
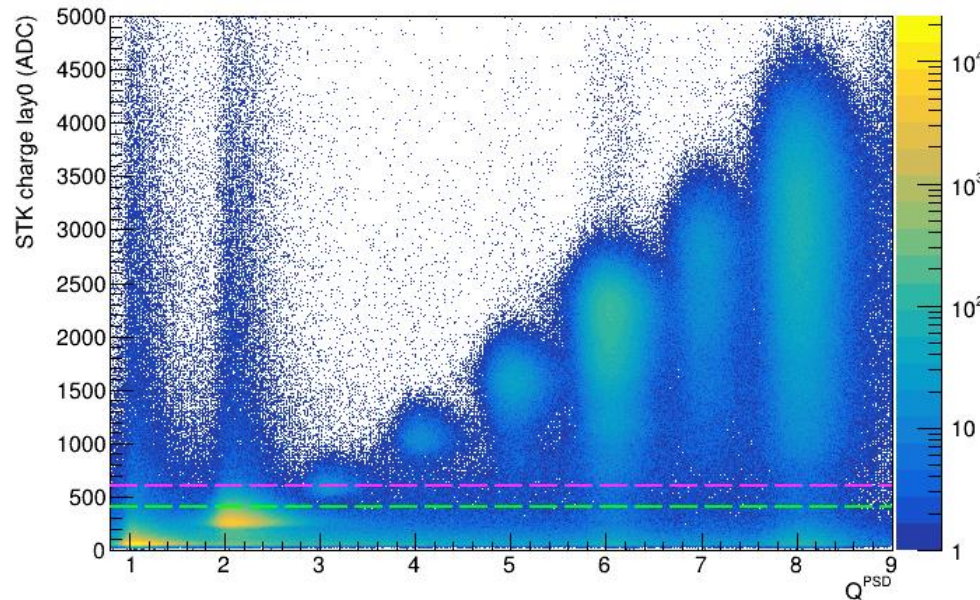
- **事例预筛选**

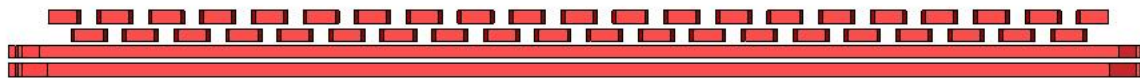
- 排除SAA区事例, 该区域探测器工作状态异常
- 高能触发。确保宇宙线粒子与探测器材料可靠相互作用。
- 沉积能量高于 60 GeV。避免**地磁截断**的影响。
- **簇射的主轴**尽可能在 **BGO量能器**内。

# STK电荷选择

- 来自质子和氦的大量背景。STK第一层电荷减少污染：

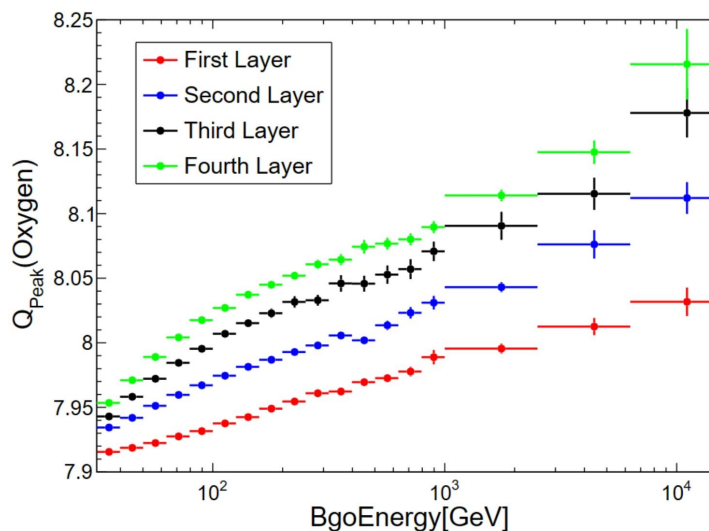
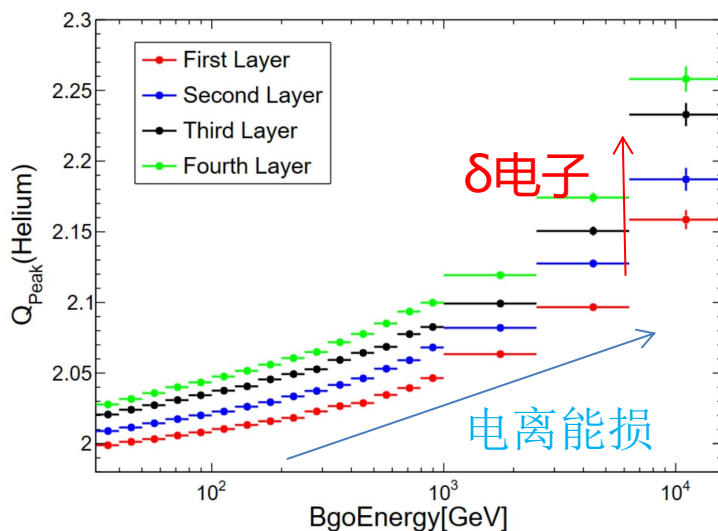
- Be、B:  $\text{StkADC\_L0 (1st plane)} > 600$
- Li:  $\text{StkADC\_L0 (1st plane)} > 400$





$$-\frac{dE}{dx} = Kz^2 \frac{Z}{A} \frac{1}{\beta^2} \left[ \frac{1}{2} \ln \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma T_{\max}}{I^2} - \beta^2 - \frac{\delta(\beta\gamma)}{2} \right] \quad -dE \propto z^2 \times dx$$

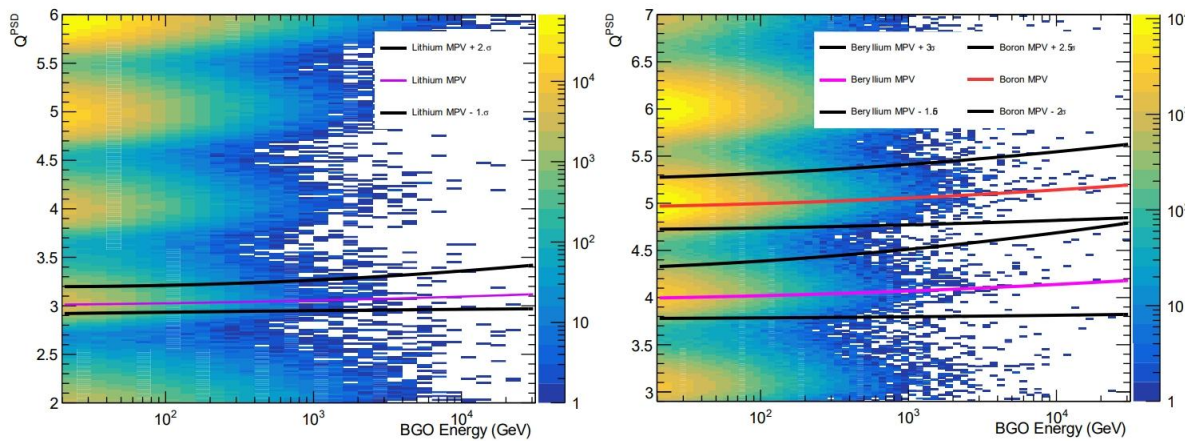
电荷取决于电离能损和路径长度



电荷峰值随着入射粒子的能量增加

$$Q^{PSD} = \frac{\sum_i Q_i^{PSD}}{N_{PSD}} \quad i \text{ 非零信号的平均}$$

# 电荷选择和接受度



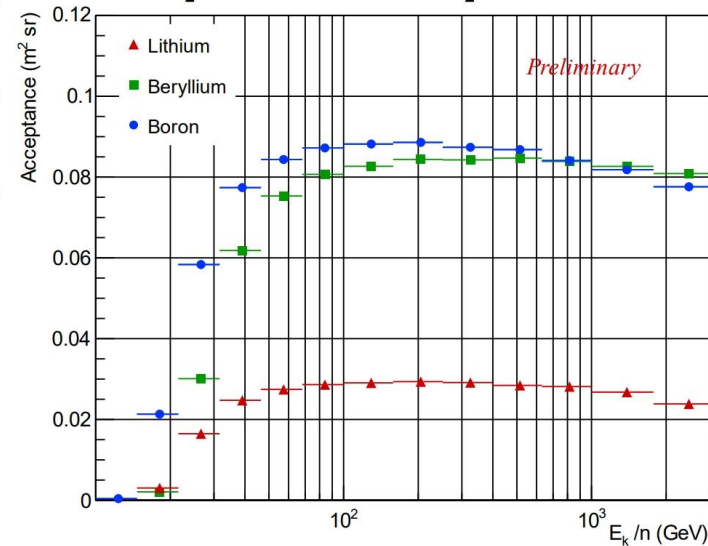
- 拟合电荷峰值MPV和半高全宽  $\sigma$
- 电荷选择范围：

$$f_{MPV} - n_{\sigma}^{low} \cdot f_{\sigma} < Q^{PSD} < f_{MPV} + n_{\sigma}^{hi} \cdot f_{\sigma}$$

$$[n_{\sigma}^{low}, n_{\sigma}^{hi}] = \begin{cases} [1, 2] & \text{for Li} \\ [1.5, 3] & \text{for Be} \\ [2, 2.5] & \text{for B} \end{cases}$$

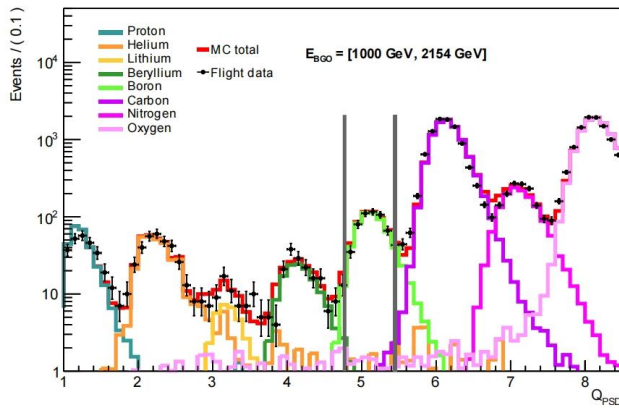
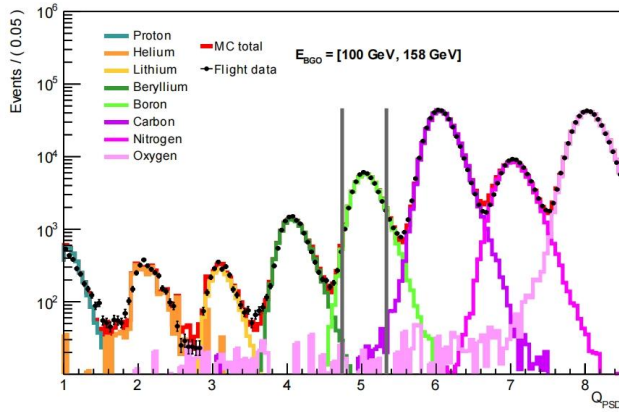
- 高能触发逻辑：L1:12.84MIPs / L2:15.12MIPs / L3:12.93MIPs / L4:2.40MIPs

## Acceptance of full sample selection

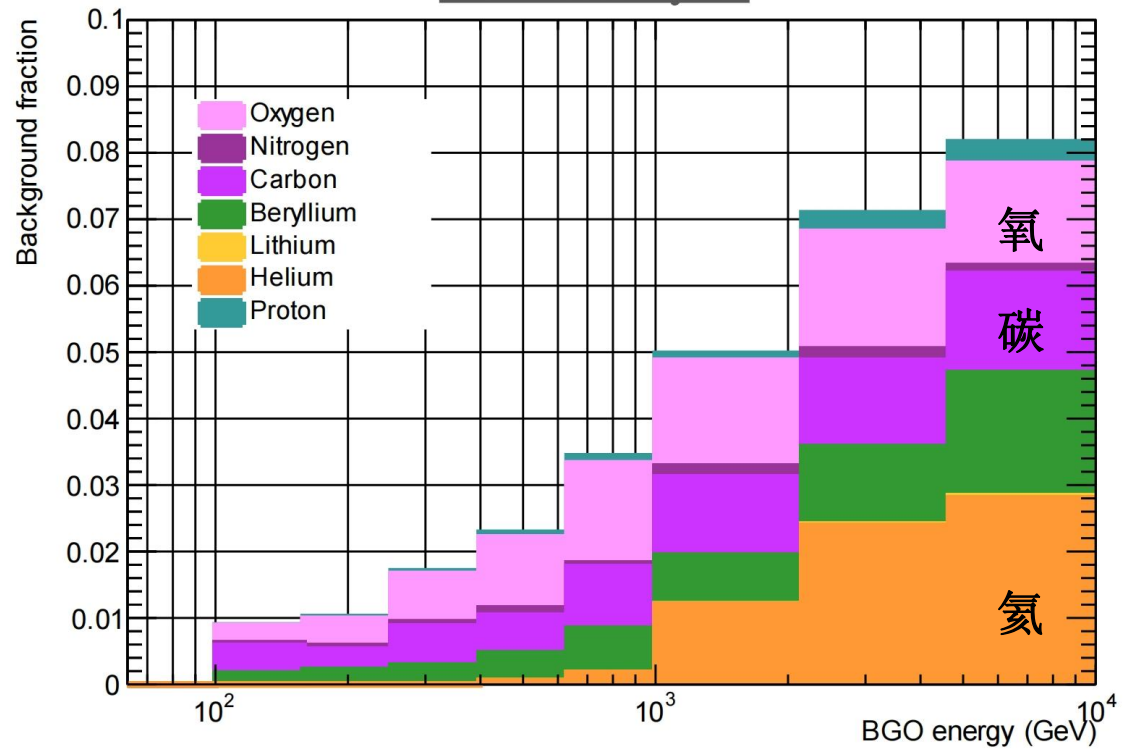


- 有效接受度是探测器的几何接受度和目标粒子的探测效率的乘积：

$$A_i = G_{gen} \frac{N_{sel}(E_T^i)}{N_{gen}(E_T^i)}$$

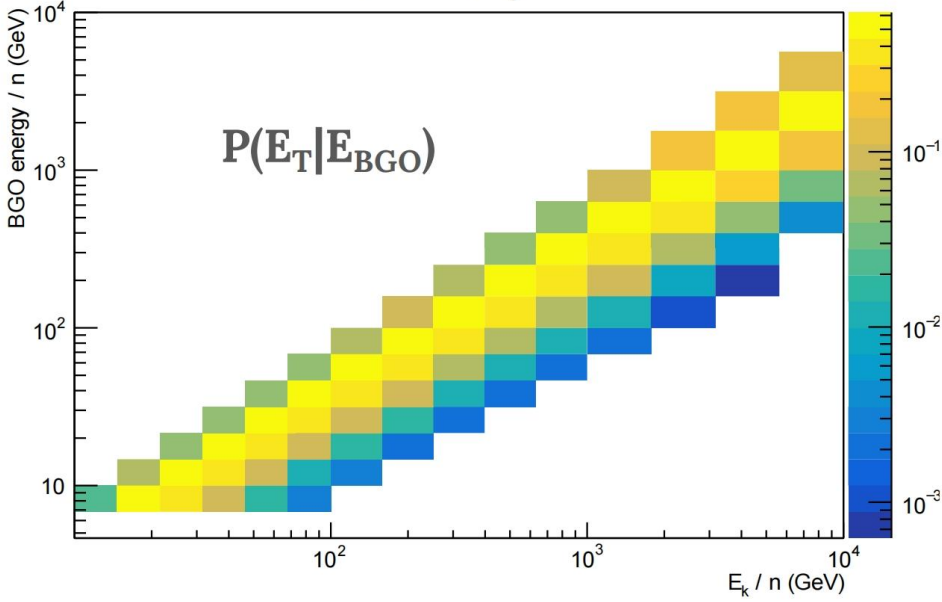


## Boron analysis



- 核素：质子到氧
- 背景污染的能量范围：100GeV-10TeV

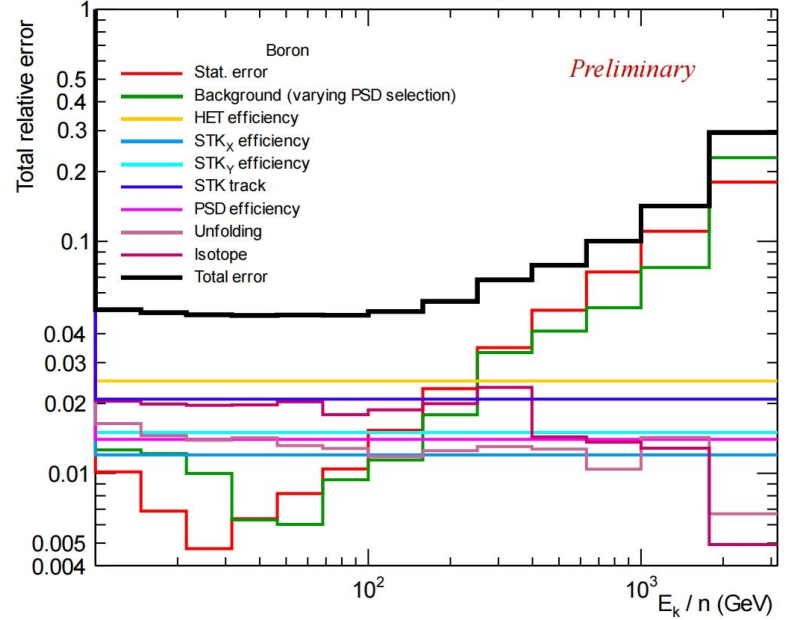
Boron analysis



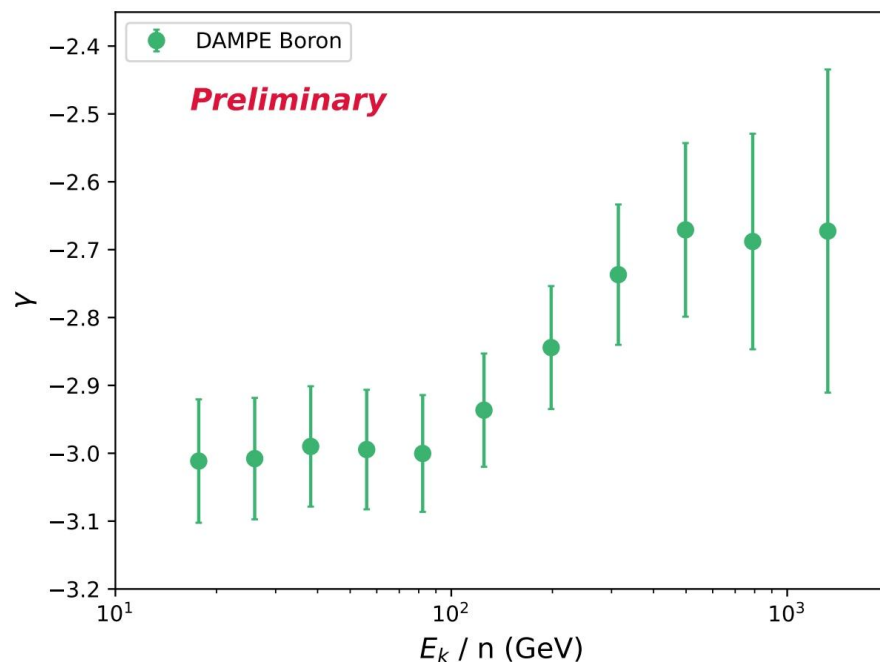
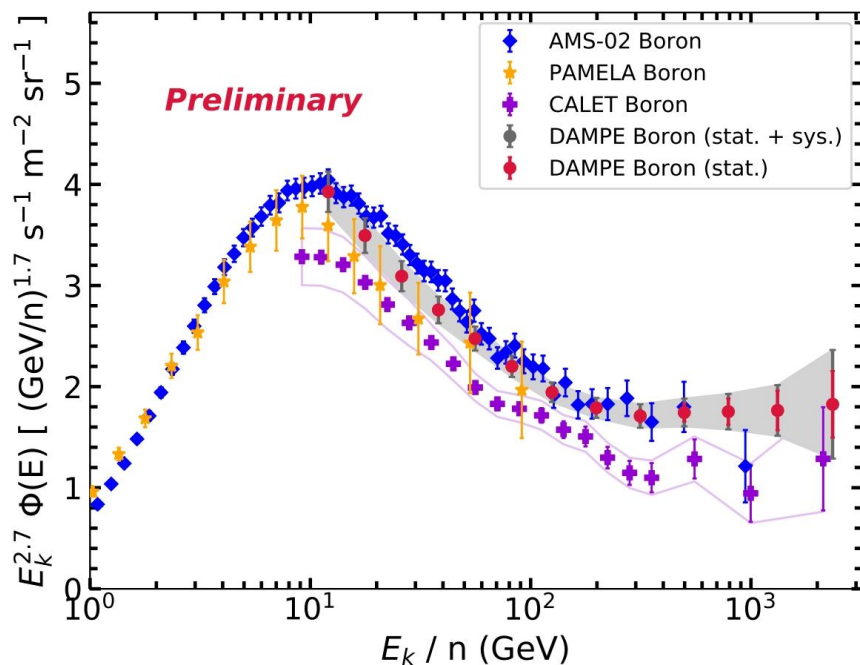
- 采用贝叶斯过程来重建事例的原初能量

$$N_i = \sum_{j=1}^n P(E_T^i | E_{BGO}^j) N(E_{BGO}^j)$$

Boron analysis



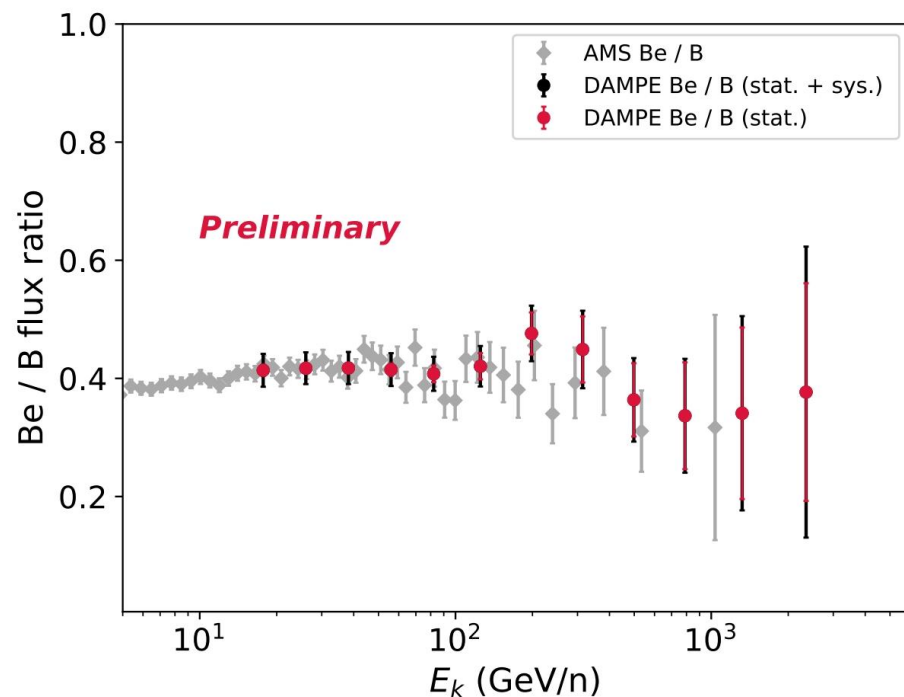
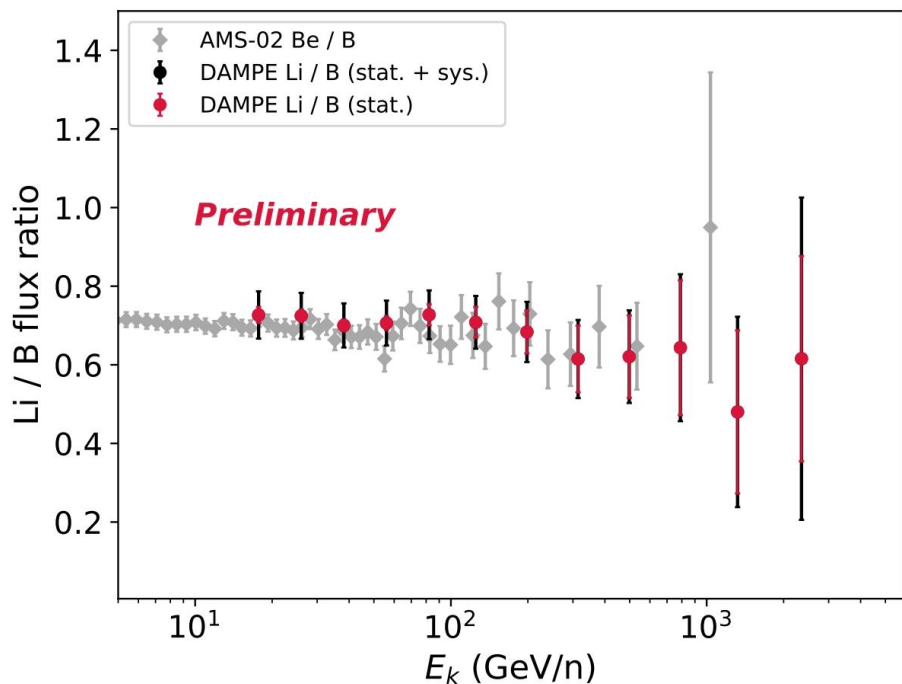
- 在高能量下，统计不确定性占主导地位
- 许多系统性误差已经评估：
  - 背景、响应矩阵、同位素组成
  - 选择效率



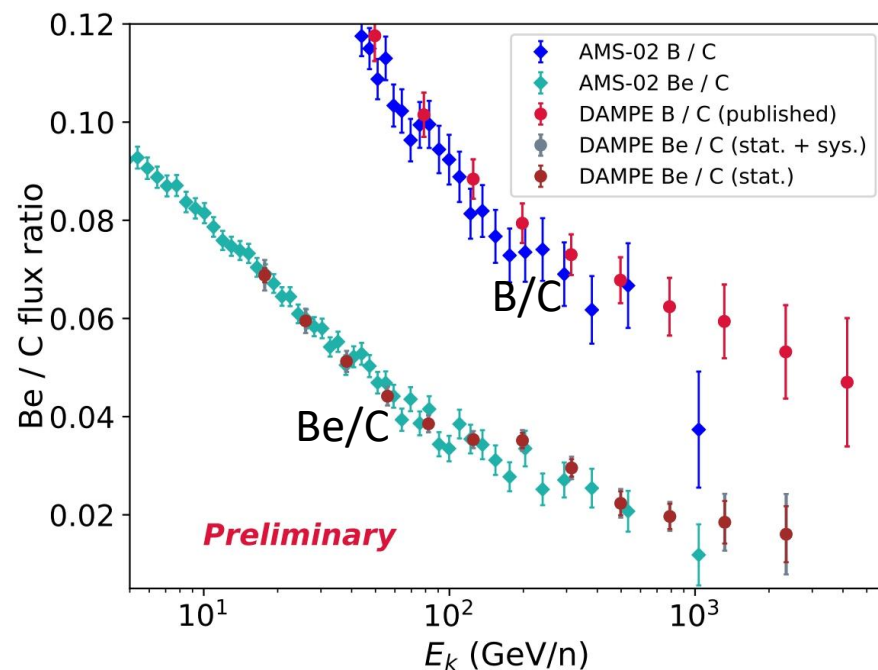
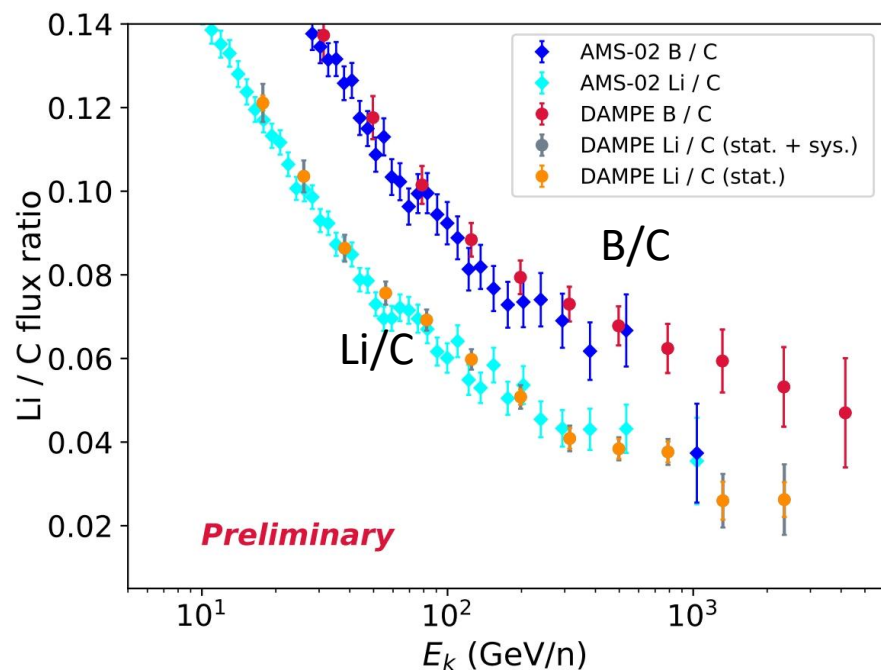
流量计算：

$$\Phi(E_i, E_i + \Delta E_i) = \frac{\Delta N_i}{\Delta E_i A_{\text{eff},i} \Delta T} \quad A_{\text{eff},i} = A_{\text{gen}} \times \frac{N_{\text{pass},i}}{N_{\text{gen},i}}$$

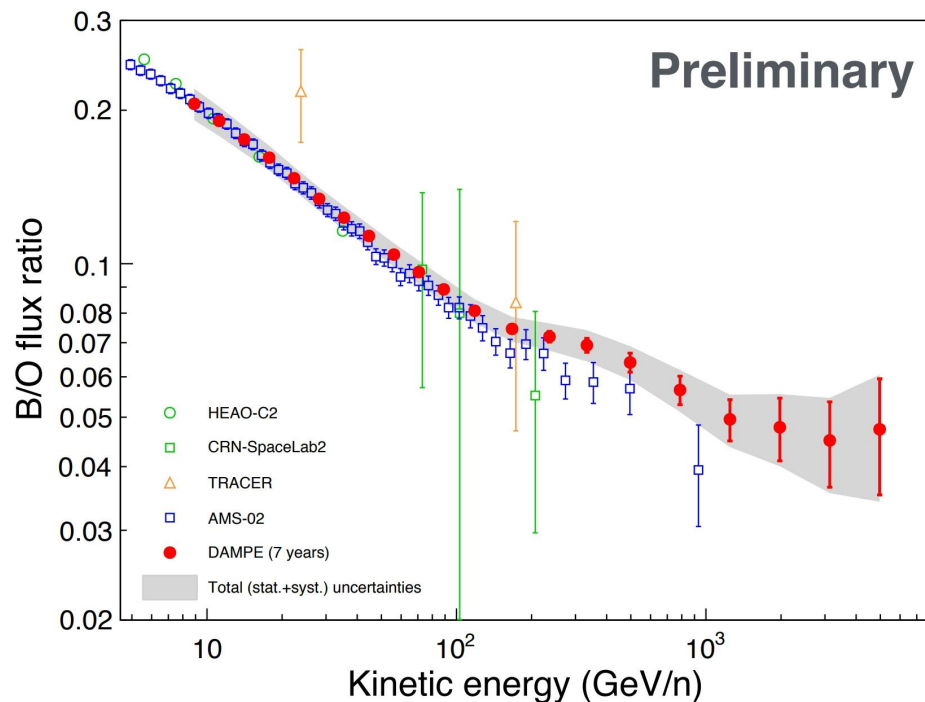
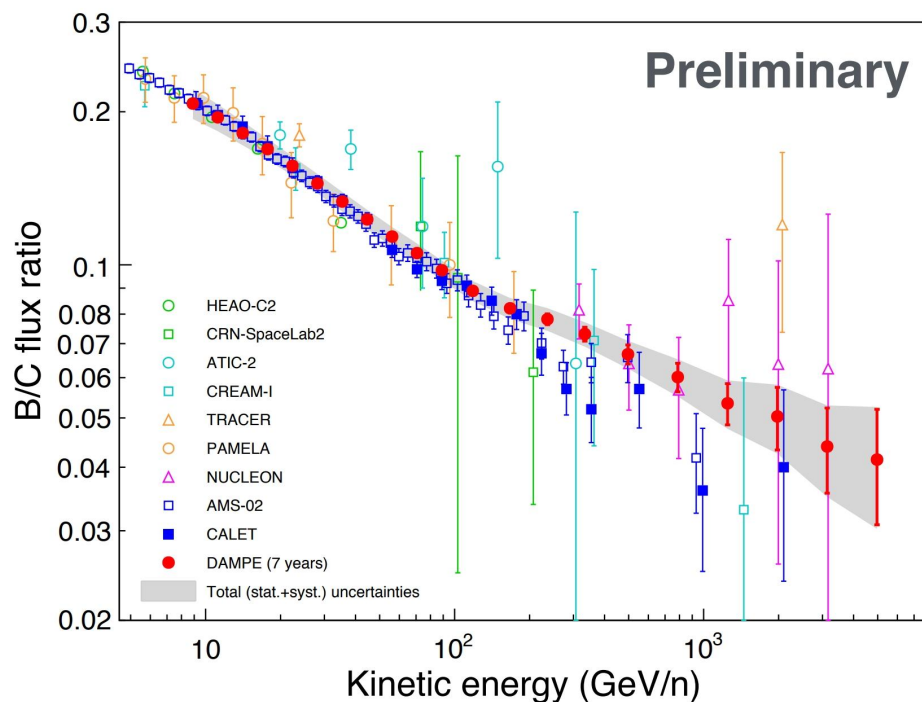
- 考虑系统误差，DAMPE的能谱与AMS-02基本一致。
- 超过 100GeV/n 时能谱**变硬**，不符合单一的幂律分布



- DAMPE的流量比与AMS02的结果比较吻合。
- 能量范围14.7 GeV/n 到 3.2 TeV/n的初步Li/B和Be/B的比值



- DAMPE的流量比与AMS02的结果比较吻合。
- 能量范围14.7 GeV/n 到 3.2 TeV/n的初步Li/C和Be/C的比值



- 能量较低处，DAMPE的流量比（7年的结果）与AMS02的结果比较吻合。
- 随着更多的统计数据，B/C和B/O将获得10 TeV/n的结果。
- 在约100 GeV/n的能量处，B/C和B/O都有一个显著的硬化特征。

- 研究次级宇宙射线对于理解宇宙中的传播以及解释观测到的宇宙射线谱中的结构起着基础性的作用
- 硼的研究：
  - 初步的铍的能谱
  - 系统误差评估
  - 硼碳比、硼氧比的计算
- 锂和铍的研究：
  - 锂硼比、铍硼比、锂碳比、铍碳比的初步计算
  - 进一步研究减少背景污染的选择条件