

VLAST e/p separation Motivation

Presentation Date: 11/27/2024

- Presenter: 阎明宇

研究背景

DAMPE（暗物质粒子探测卫星）是中国首个暗物质间接探测的实验卫星，也是中科院空间科学战略性先导专项中的一部分。

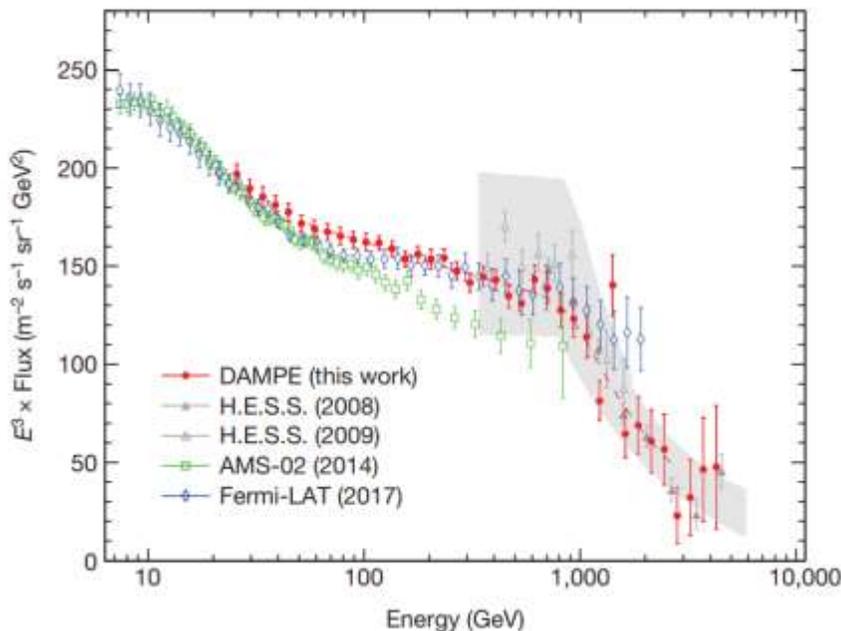
DAMPE 探测器的主要物理目标包括：（1）通过测量正负电子和伽马光子能谱和空间分布，寻找暗物质粒子；（2）通过测量宇宙线电子和重核能谱，研究宇宙线起源、传播和加速机制；（3）伽马射线天文学相关研究。



研究背景

目前探测DM粒子的方式通常有三种：直接探测、间接探测和对撞机探测，DAMPE试验卫星主要使用间接探测这种方式。

理论上预期，DM粒子湮灭后形成的稳定产物主要有粒子包括正负电子、正反质子、伽马射线、中微子以及少量正反氦核、正反氦核等粒子。这些粒子可能会改变宇宙线带电粒子的能谱形状的空间分布，通过测量正负电子的能谱结构可以反映宇宙中是否存在正负电子源。

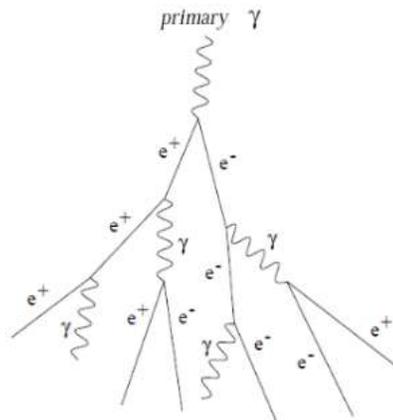


通过DAMPE探测到的正负电子谱可以看到在大约0.9TeV附近出现了明显的“拐折”，谱指数由-3.1变为-3.9，置信度达到了 6.6σ ，此外，DAMPE在1.3~1.5 TeV的狭窄能量区间内观测到了93个正负电子。

鉴别原理

➤ 电磁簇射:

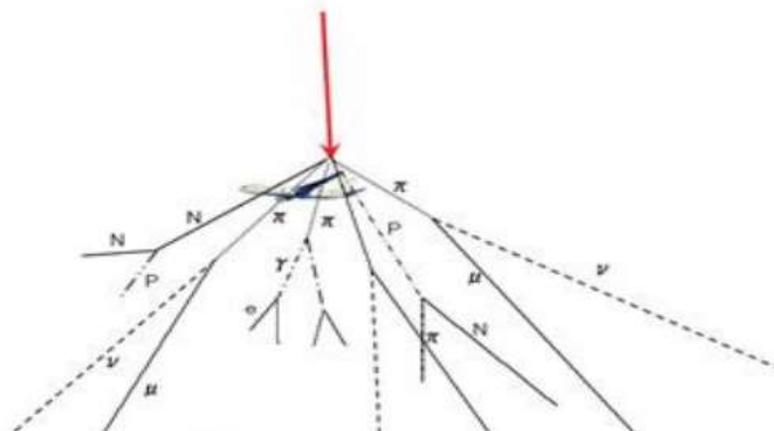
- 产生正负电子对、光子等次级粒子
- 通过电离和激发原子内部的电子来失去能量



电磁簇射示意图

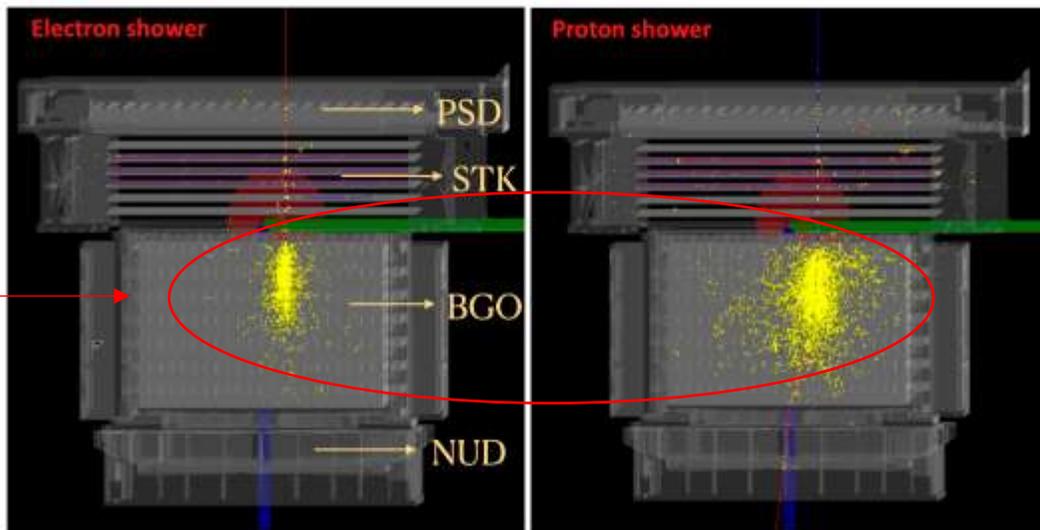
➤ 强子簇射:

- 产生多种次级粒子，包括中子、介子、质子和次级光子等
- 通过与晶体原子的核子发生核散射或核反应，导致原子核的激发或碎裂，从而释放出能量



强子簇射示意图

对簇射进行3D成像

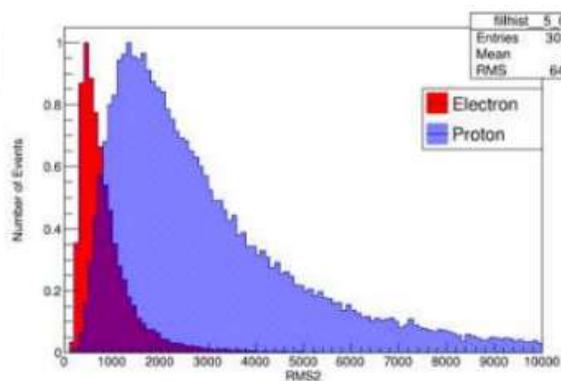


鉴别方法

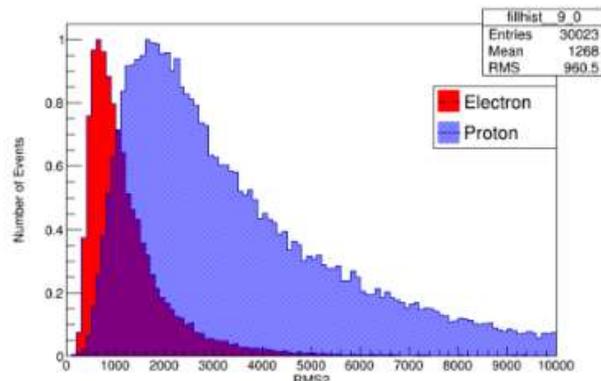
主要通过构建两个特征变量来描述簇射横向和纵向发展的差别

$$RMS_i = \sqrt{\frac{\sum_j (\vec{x}_{j,i} - \vec{x}_{c,i})^2 E_{j,i}}{\sum_j E_{j,i}}}$$

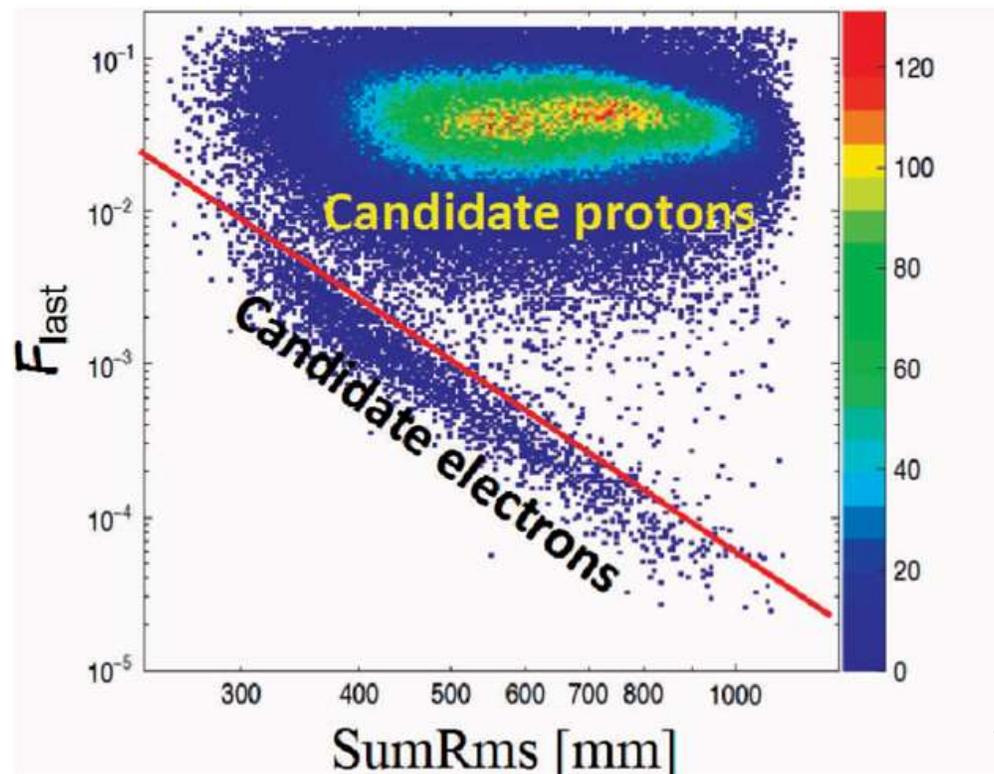
$$\mathcal{F}_{last} = \frac{E_{last}}{\sum_i E_i}$$



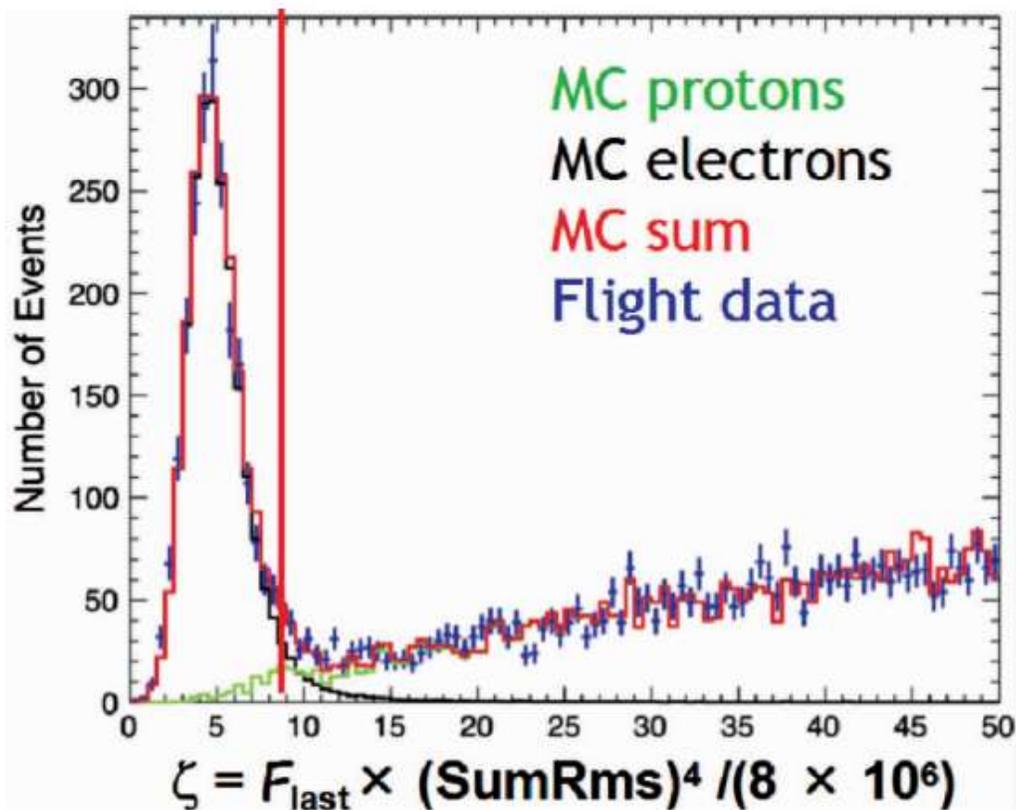
Energy Range:316Gev~398Gev



Energy Range:794Gev~1000Gev



鉴别方法

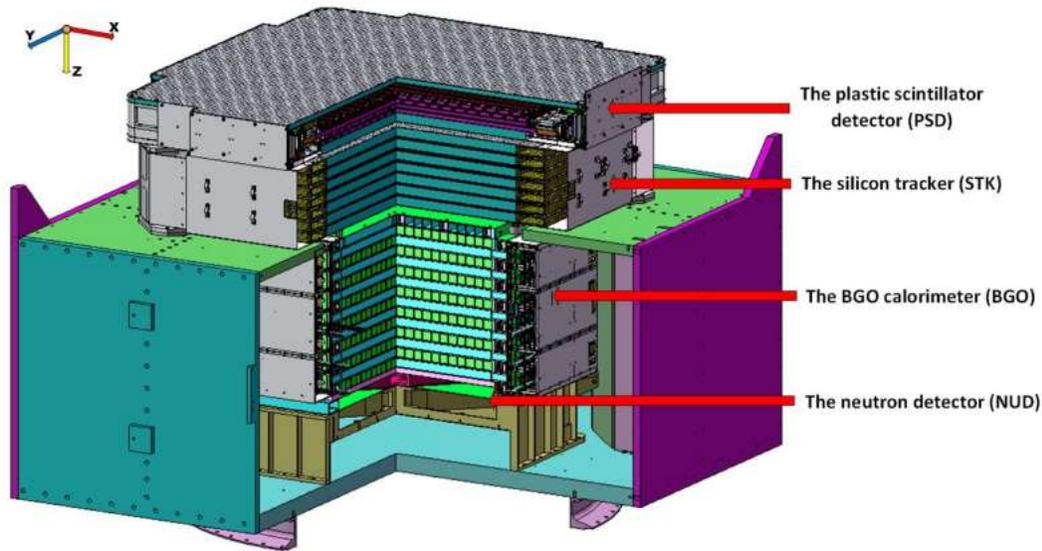


$$\zeta = \mathcal{F}_{\text{last}} \times (\sum_i \text{RMS}_i / \text{mm})^4 / (8 \times 10^6)$$

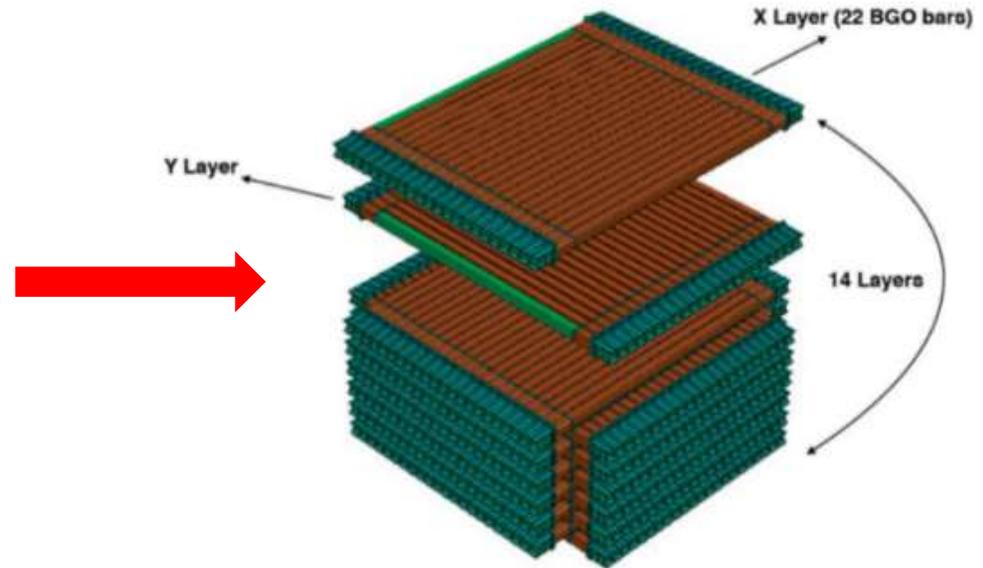
引入变量 ζ ，其由上述两个变量组合得到，通过适当的选取筛选条件，可以做到在保留 90% 电子事例的情况下，在 TeV 能段残留的质子本底估计约为 2%

探测器结构

BGO量能器位于DAMPE试验卫星的中间，主要用于测量入射粒子的能量，也是整台谱仪区分电磁簇射（电子、光子）与强子簇射（质子、核素），即进行电子/质子鉴别的关键位置。其由14层BGO材料构成，每层又包含22根BGO晶体。层与层之间垂直排列，可以对入射粒子产生的簇射进行3D成像，



DAMPE卫星结构示意图



BGO量能器示意图

预期目标

- 比较BGO和HEIC两种量能器在e/p鉴别上的性能差异
- 设计HEIC使用的e/p鉴别的特征变量
- 使用模拟数据达到VLAST预期的性能指标