

“悟空” 巡天之超重宇宙线

张云龙

中国科学技术大学

代表“悟空”号合作组

2026年4月11日

18th 粒子物理、核物理和宇宙学交叉学科研讨会，桂林，
4/10-4/11, 2026



提纲

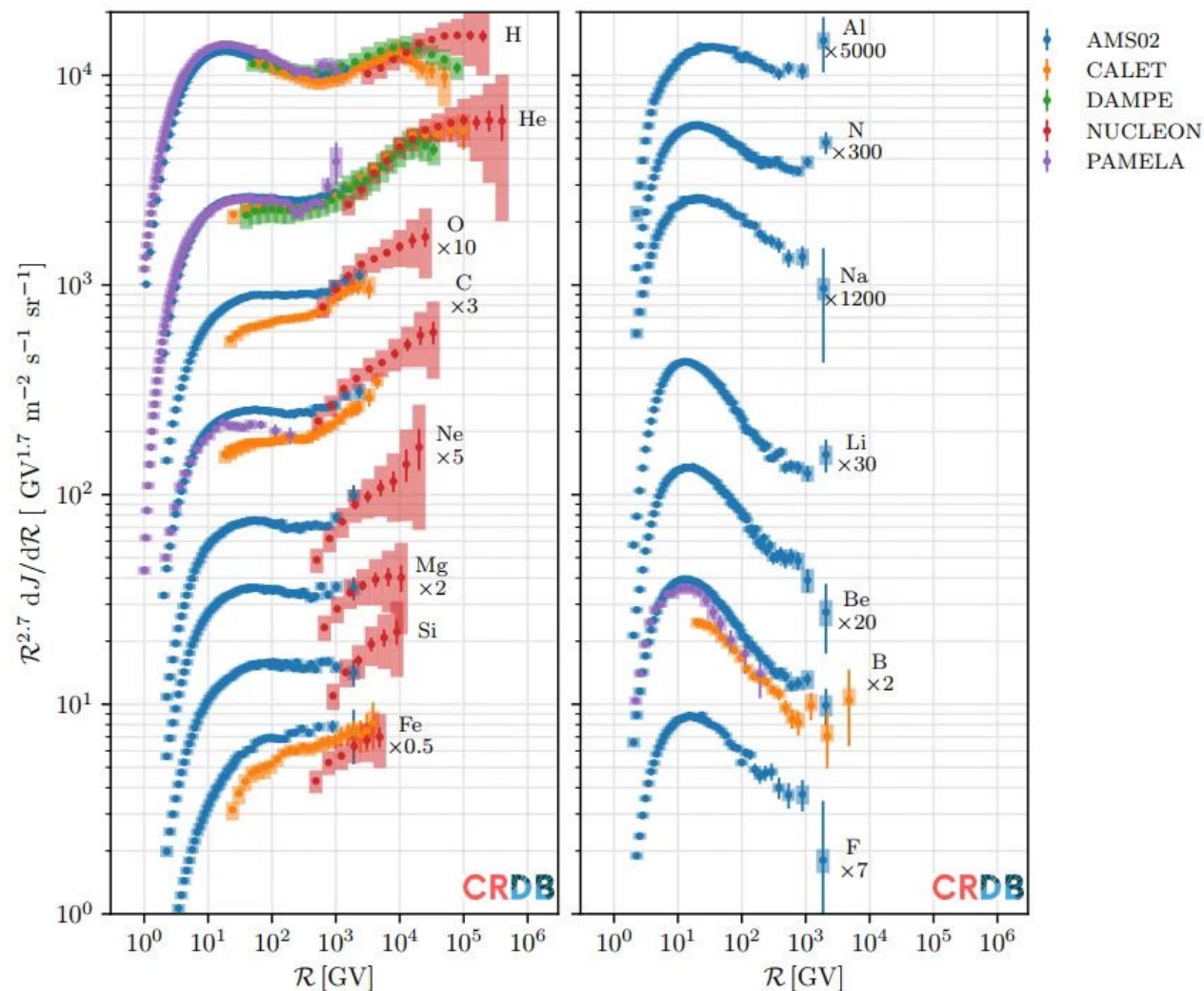
- 研究背景
- “悟空”号在轨状态
- 超重宇宙线
- 总结



研究背景

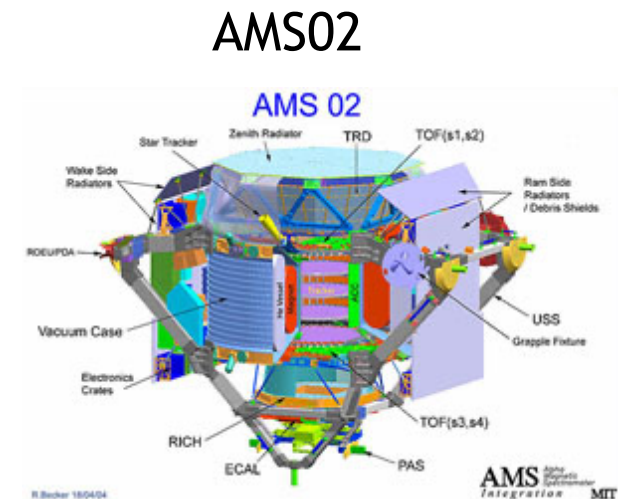
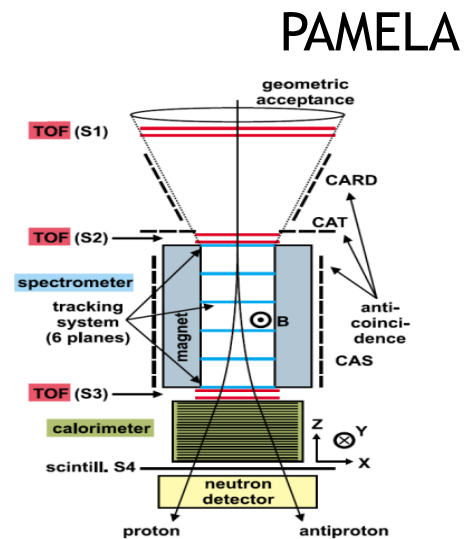
高能宇宙线探测

- 探索暗物质的本质
- 了解天体物理源中的粒子加速和银河系中宇宙射线的传播
- 研究银河系和河外源的伽马射线发射。

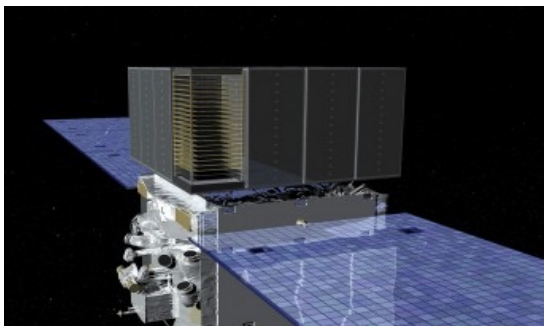


空间实验

- 基于卫星/空间站平台，在轨直接探测高能宇宙线
- 探测装置
 - 磁谱仪
 - 非磁谱仪



Fermi-LAT



CALET



NUCLEON



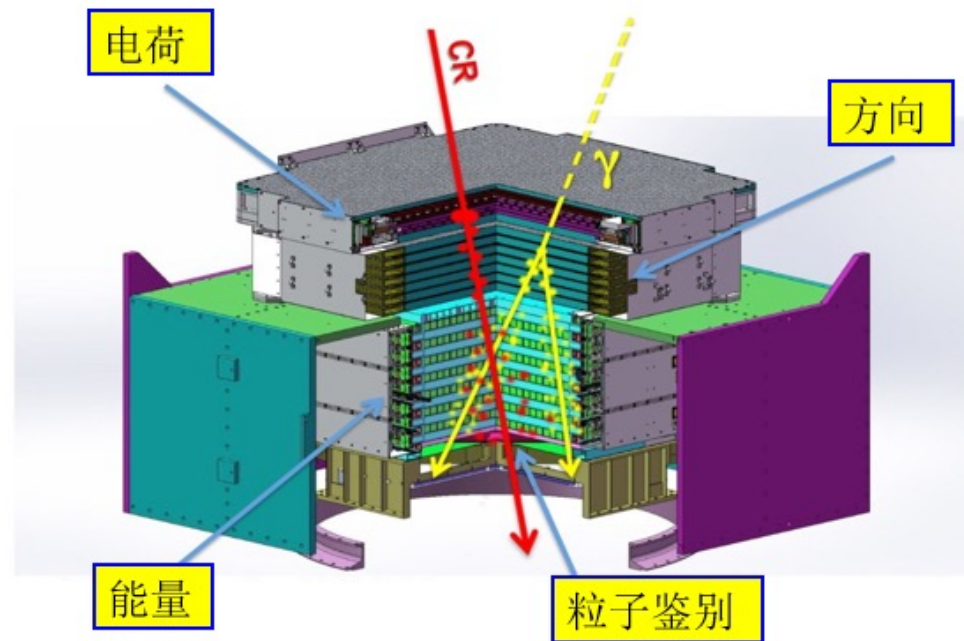
ISS-CREAM



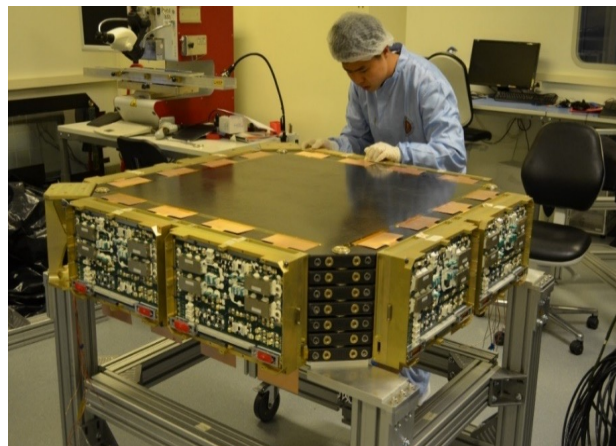
“悟空”号 (DAMPE)

DAMPE包含4个子探测器

- 塑闪阵列探测器—电荷测量
- 硅径迹探测器—方向测量
- BGO量能器—能量测量、粒子鉴别、提供触发
- 中子探测器—粒子鉴别



塑闪阵列探测器



硅径迹探测器



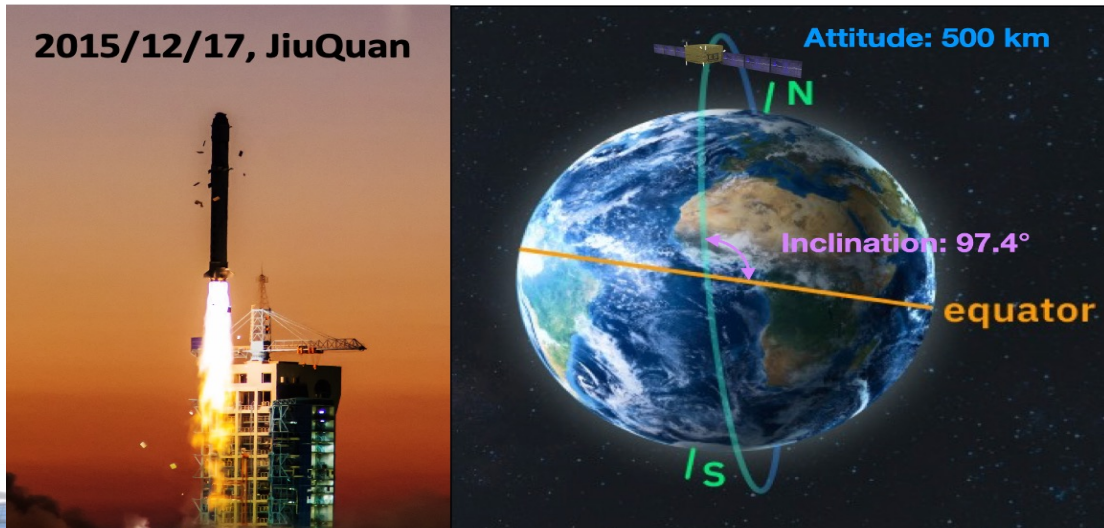
BGO量能器



中子探测器

DAMPE

- 2015年年底成功发射
- 已在轨稳定运行超过10年，下传了约200亿个高能宇宙线数据



CNINA

- Purple Mountain Observatory, CAS
- University of Science and Technology of China
- Institute of High Energy Physics, CAS
- Institute of Modern Physics, CAS
- National Space Science Center, CAS



ITALY

- INFN Perugia and University of Perugia
- INFN Bari and University of Bari
- INFN Lecce and University of Salento
- INFN LNGS and Gran Sasso Science Institute



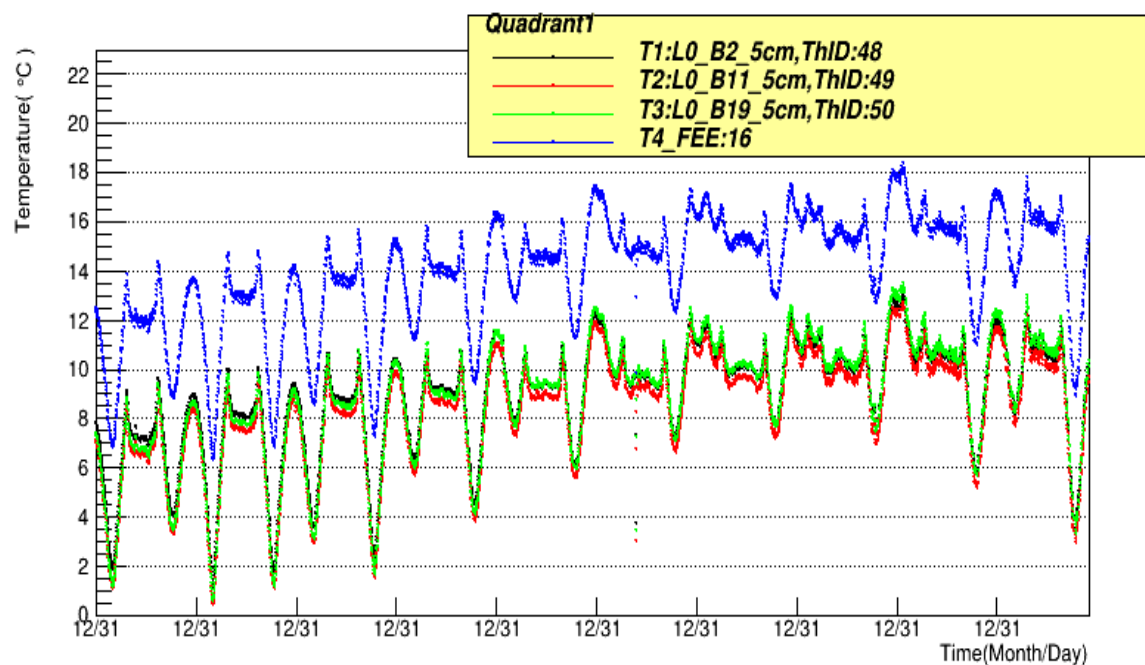
SWITZERLAND

- University of Geneva

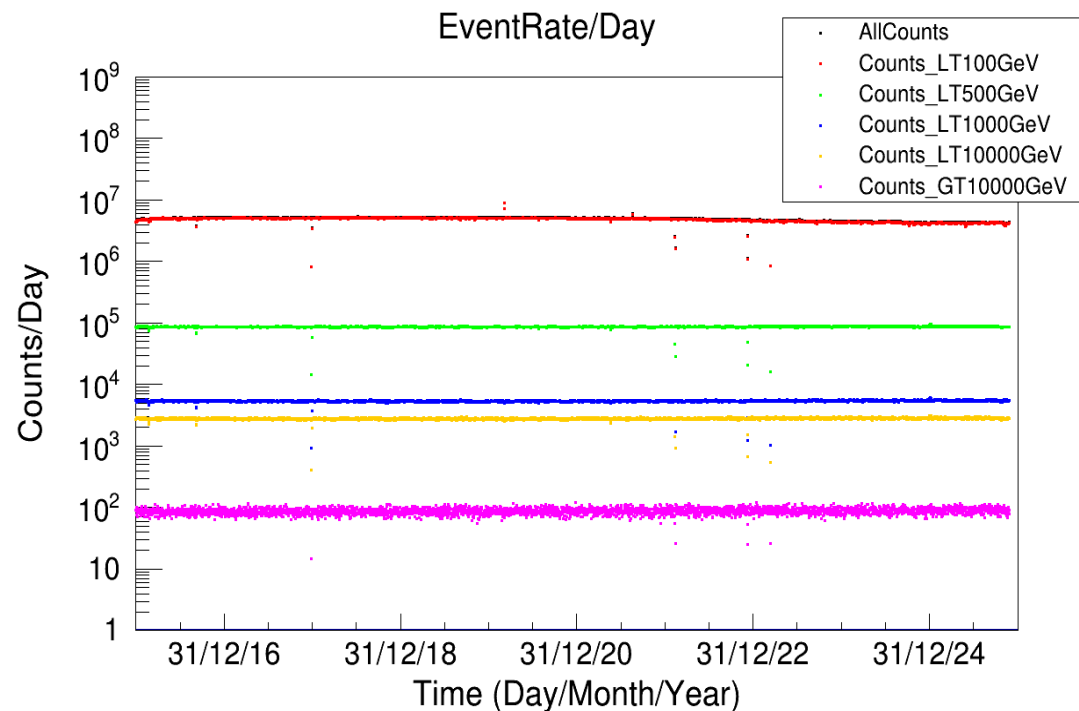


在轨状态

- ◆ 温度变化每天约0.1度
- ◆ 每天下传数据量~500万



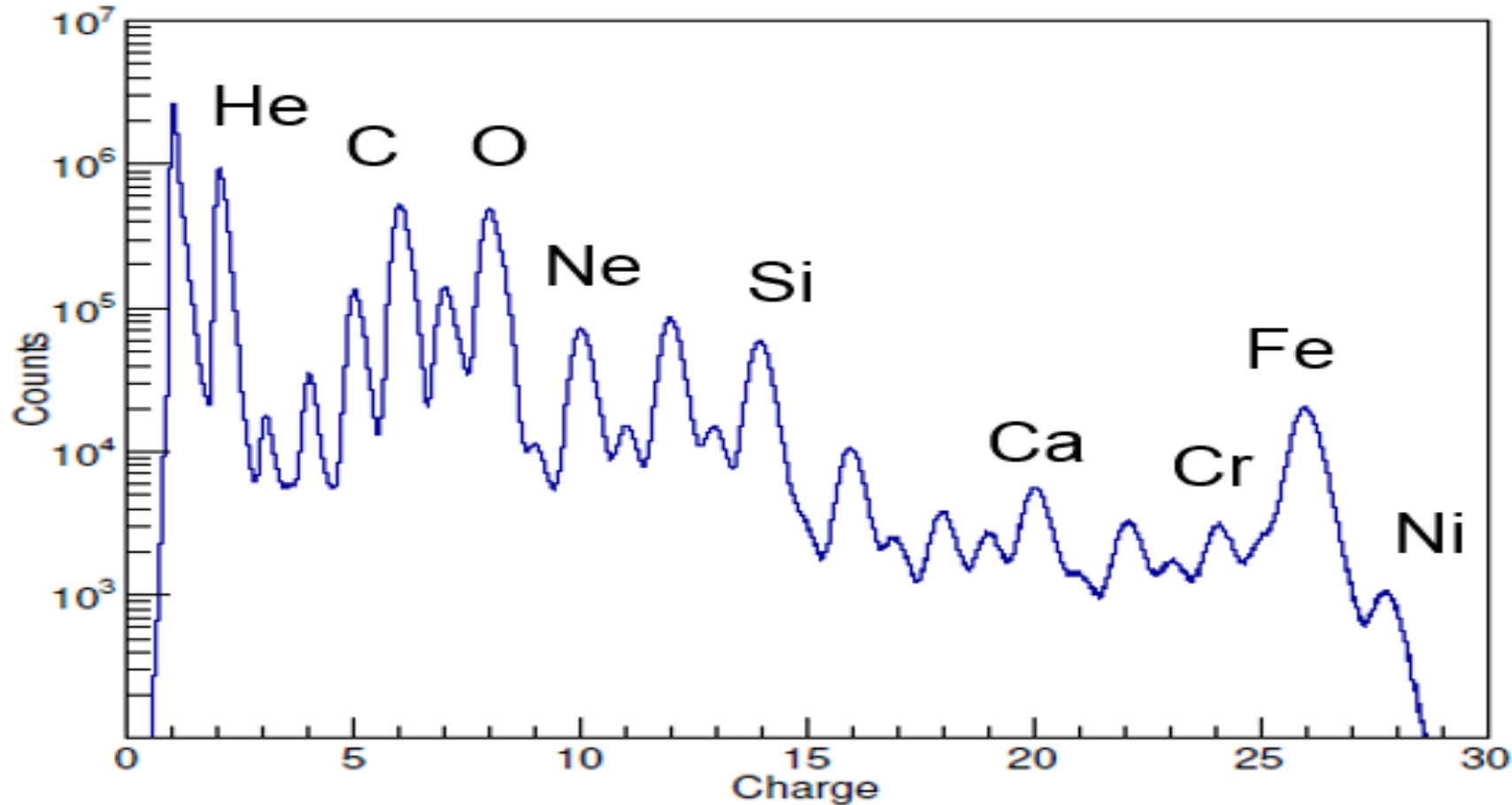
温度变化



事例率

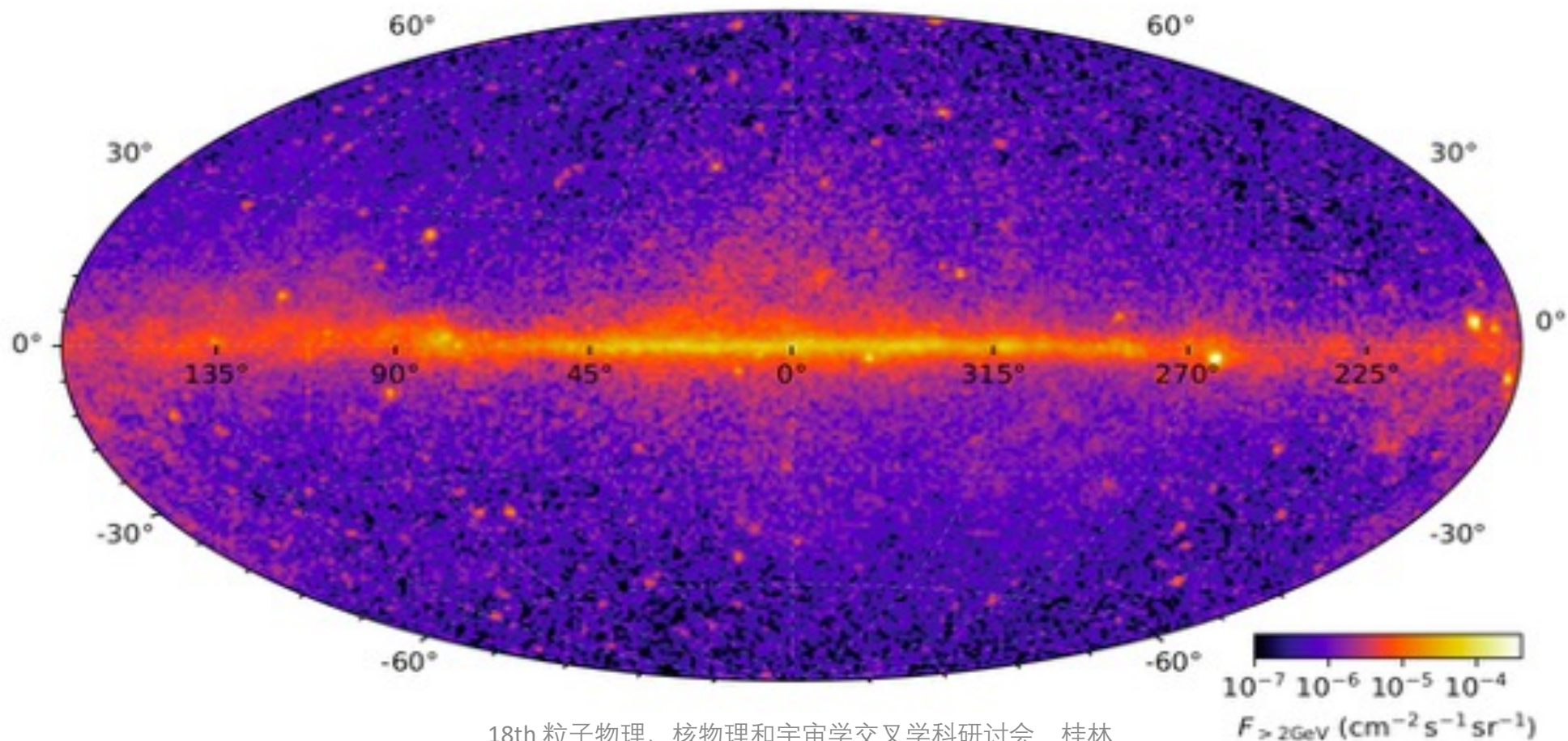
电荷测量

- 电荷分辨: $0.06e @ Z=1$



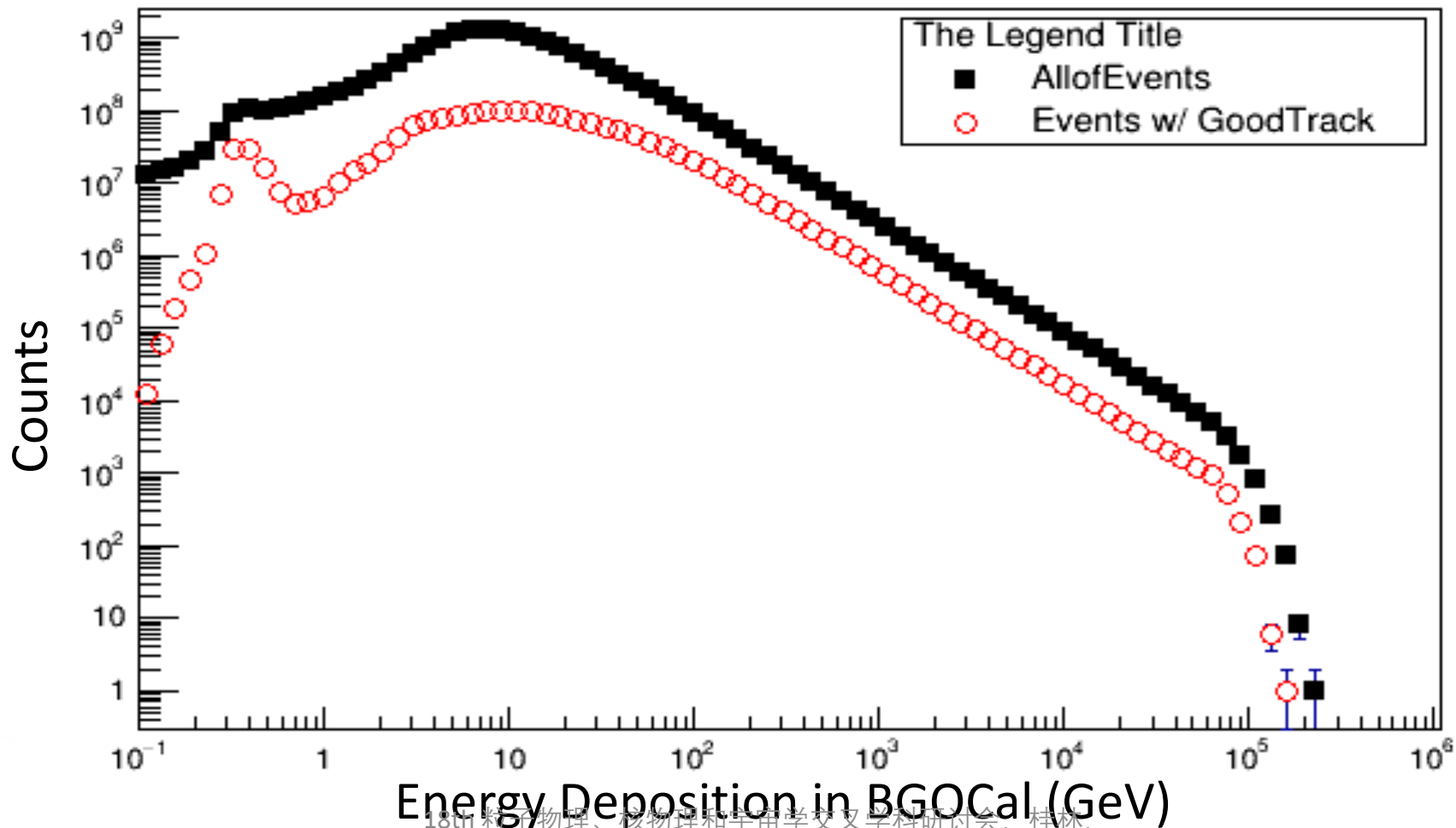
径迹测量

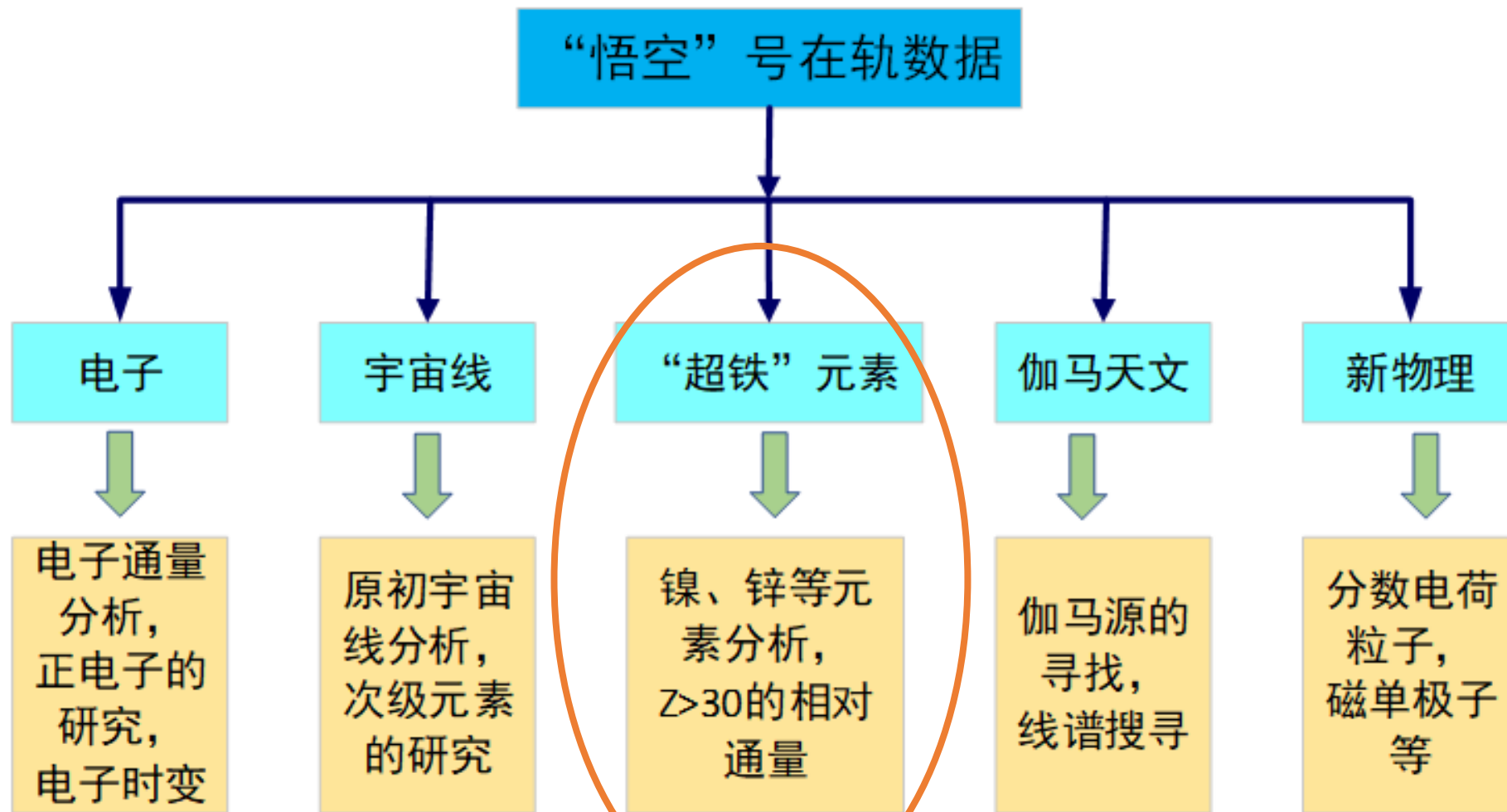
- 角分辨: 0.2° @ 10 GeV



能量测量

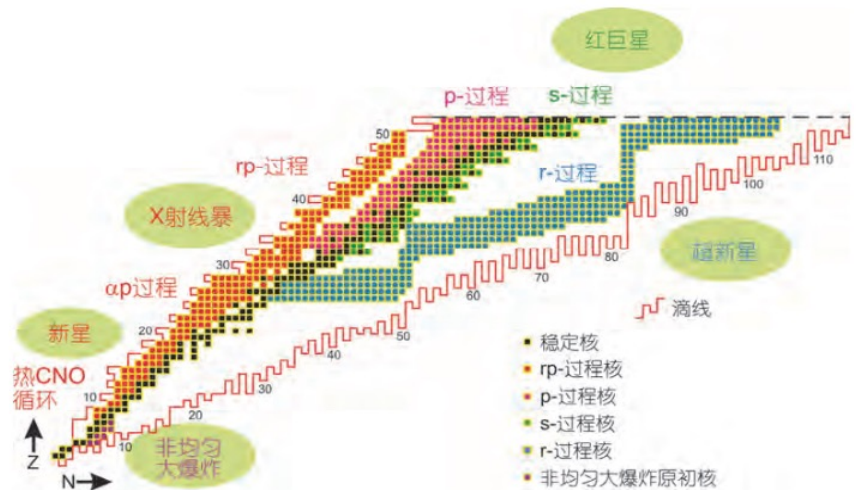
- 能量分辨率: TeV电子 $\sim 1\%$





“超铁元素”

- “从铁到铀元素是如何产生的” 被美国国家科学委员会列为21世纪待解决的11个重大物理问题之一
- 2025年中国科学院马余刚院士领衔发布的《核科技前沿十问》中的“第五问”
 - 核天体物理与元素起源：宇宙中重元素的合成过程，关联超新星、中子星碰撞等事件
- 超铁元素的起源等是当今核物理、天体粒子物理的前沿课题



18th 粒子物理、核物理和宇宙学交叉学科研讨会，桂林，4/10-4/11, 2026

超铁元素

深地实验

- 在地下实验室建造加速器
- 利用低能强流加速器开展关键天体核反应的直接精确测量



JUNA

地面实验

- 在地面建造大型重离子加速器装置
- 直接产生与r-过程有关的丰中子核素



HIAF

空间实验

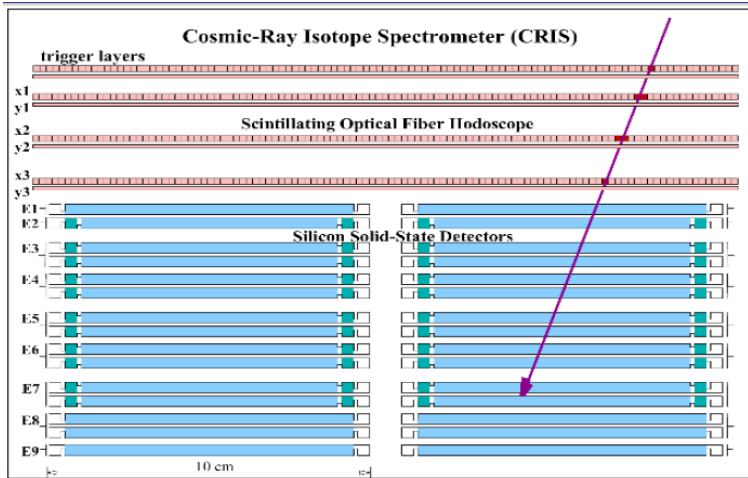
- 借助气球或卫星平台放置大型探测器
- 直接在宇宙线中开展超重元素的测量



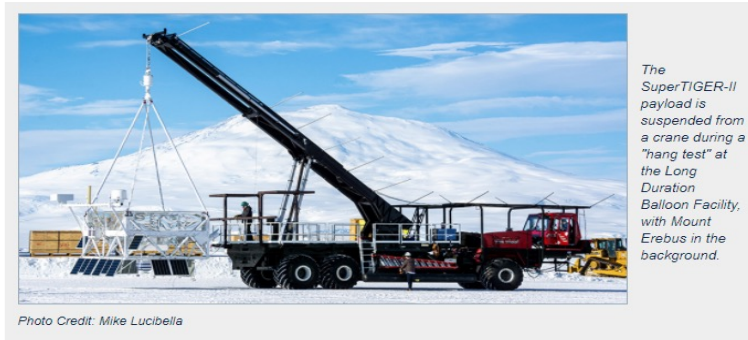
HEAO

超铁宇宙线

- 超铁宇宙线 (UHGCR) 从哪里来, 是如何产生的?
- UHGCR如何加速的? 他们的寿命是多少?
 - Fe之后的核素通量急剧下降, 探测困难
 - 必须到高空去探测 (容易碎裂), 这对测量这些核素提出了巨大的挑战



CRIS

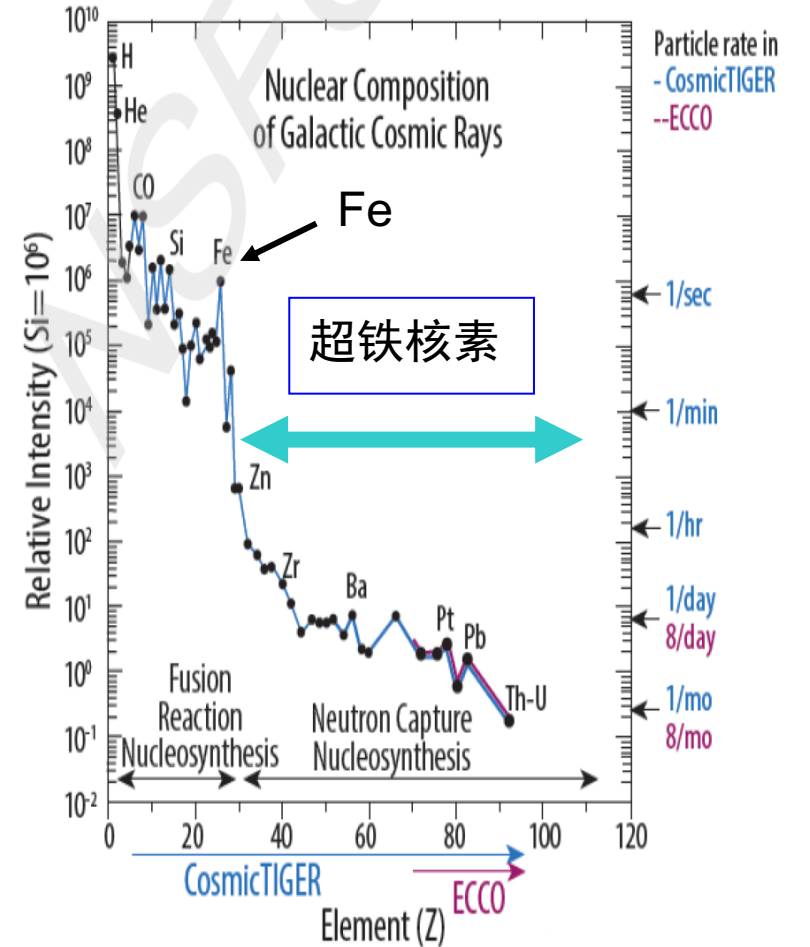


Heavy Cosmic Rays - Part I: The Flight Of SuperTIGER-II
Up In The Sky! It's A Bird! It's A Plane! It's SuperTIGER-III

BY MICHAEL LUCIBELLA, ANTARCTIC SUN EDITOR
Posted September 14, 2020

Super-Tiger

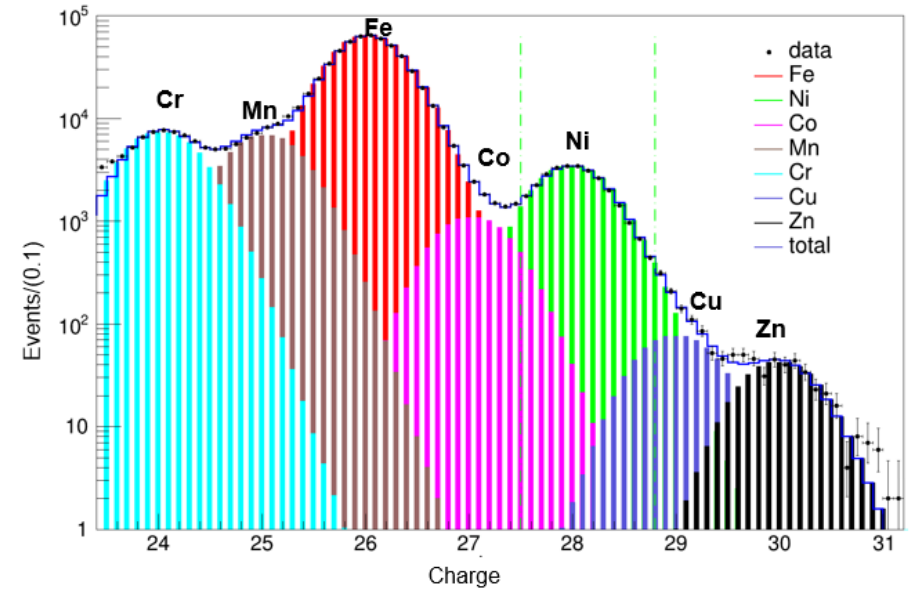
18th 粒子物理、核物理和宇宙学交叉学科研讨会, 桂林, 4/10-4/11, 2026



超铁宇宙线

- DAMPE稳定运行了超过10年时间，收集到约200亿高能宇宙线事例
- 为开展超铁元素的分析提供了基础，需要解决两个问题
 - 降低Fe元素对超铁元素的污染
 - 重元素与探测器相互作用模型引入的误差

实验	有效接收度 ($m^2 sr$)	观测时间(d)	观测能区 (GeV/u)
CRIS	0.025	>7406	0.1 - 1
Super-TIGER	3.9	55	0.8 - 10
DAMPE	0.15	>3000	3 GeV - 100 TeV



Ni元素

arXiv > astro-ph > arXiv:2512.11425

Search...
Help | Adv

Astrophysics > High Energy Astrophysical Phenomena

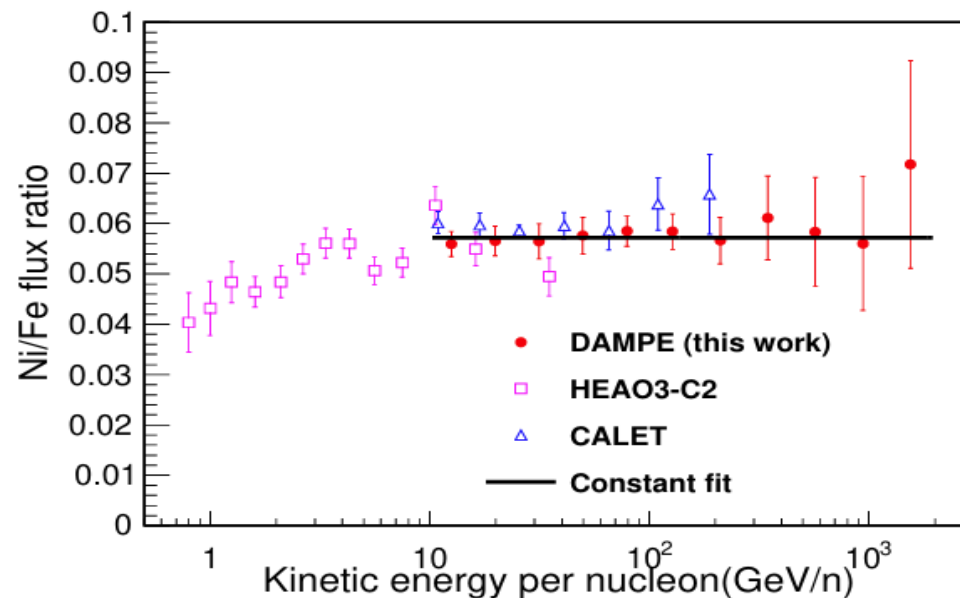
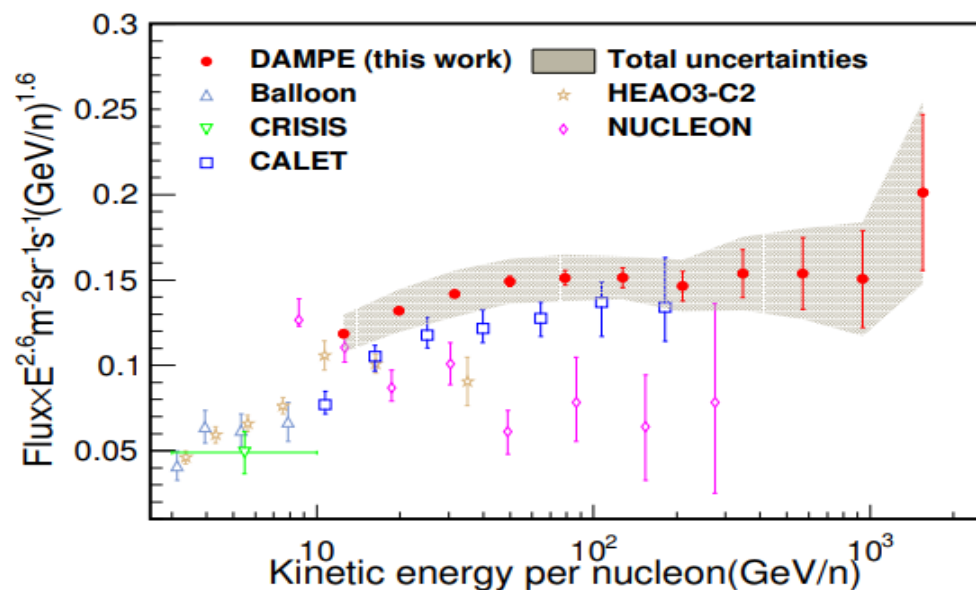
[Submitted on 12 Dec 2025]

Measurement of the cosmic ray nickel energy spectrum from 10 GeV/n to 2 TeV/n with the DAMPE

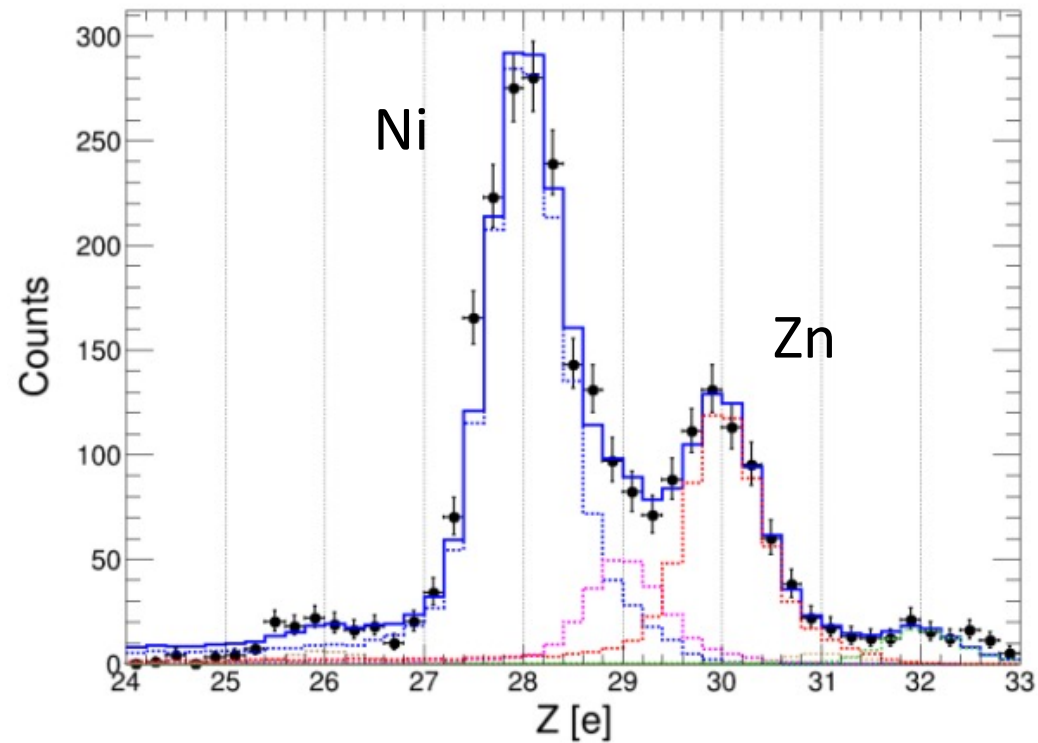
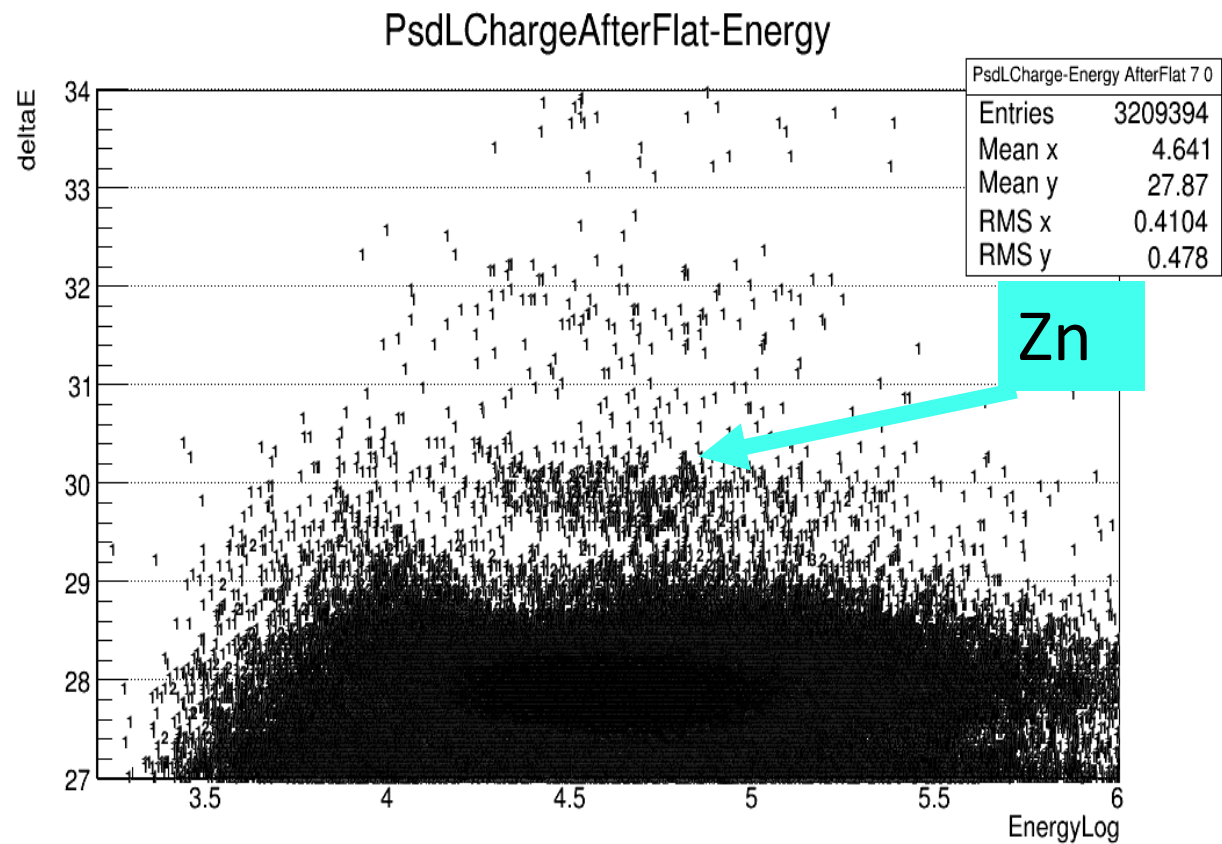
◆ Ni元素的微分通量谱

◆ 能区：10 GeV/n - 2000 GeV/n，比之前结果高约一个数量级

◆ Ni/Fe约为0.05

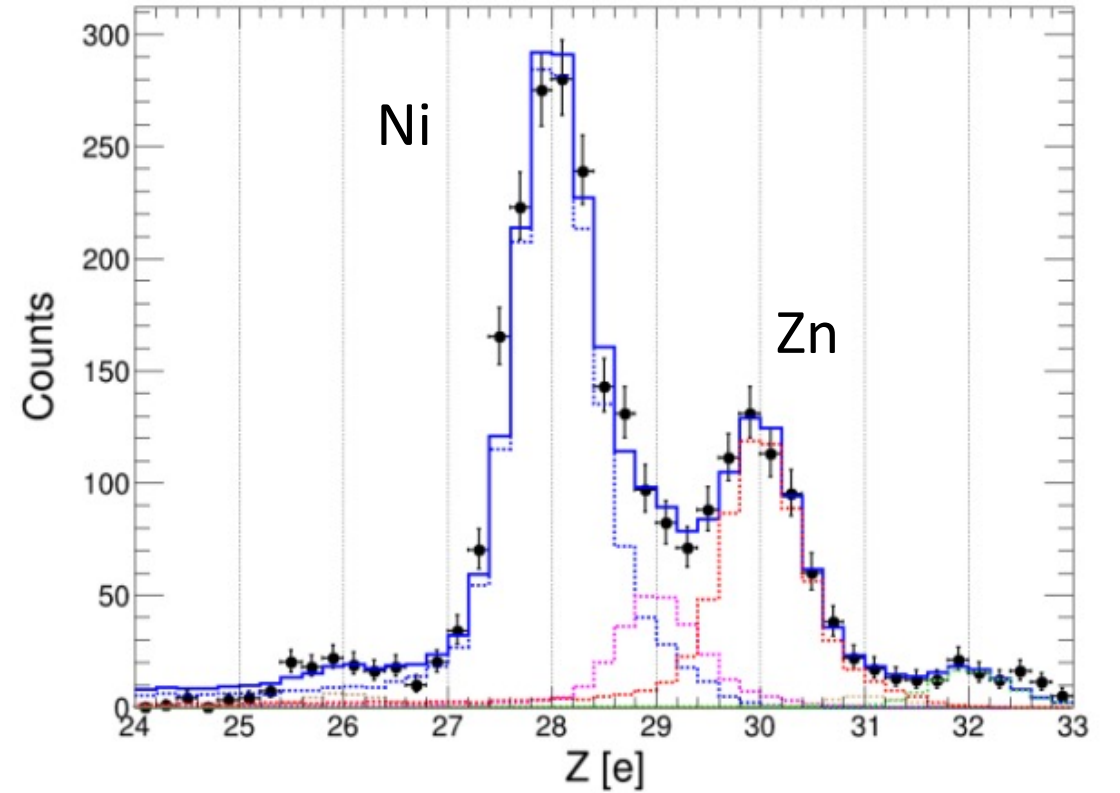
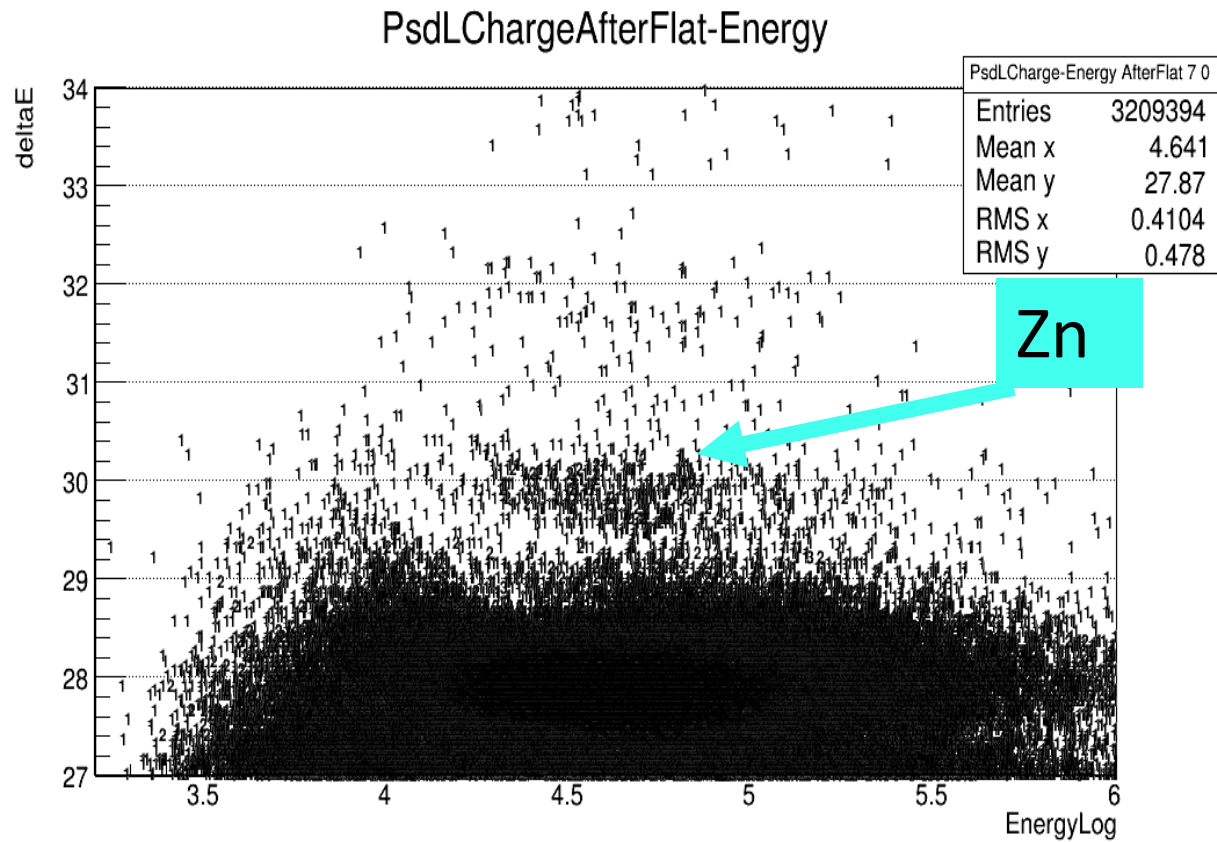


Zn元素



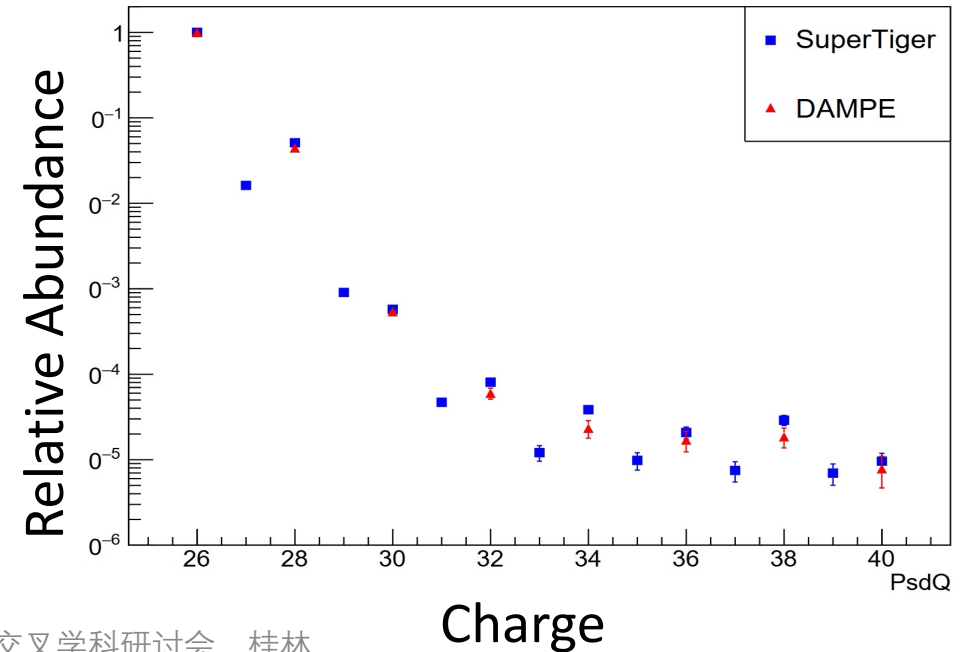
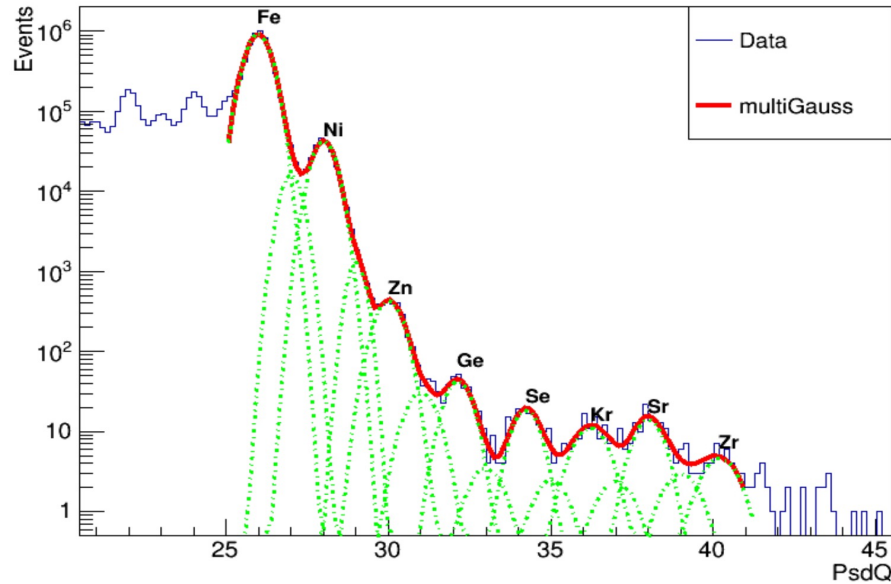
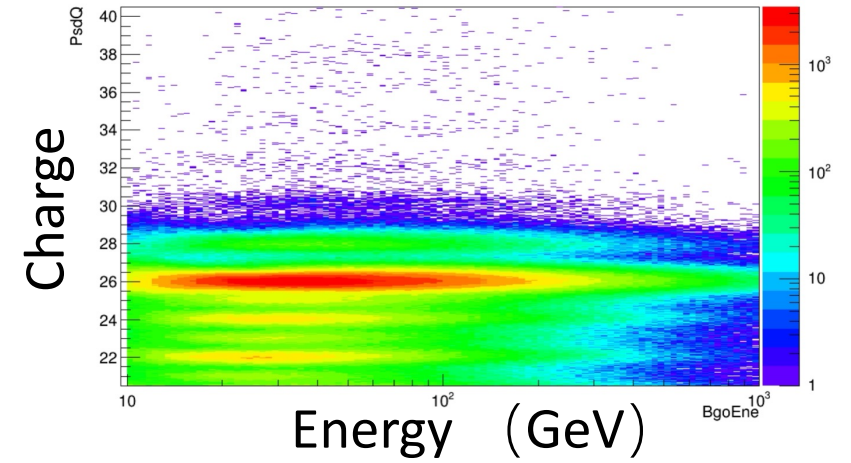
Zn元素

“悟空”是个有“锌”人



超重元素相对丰度

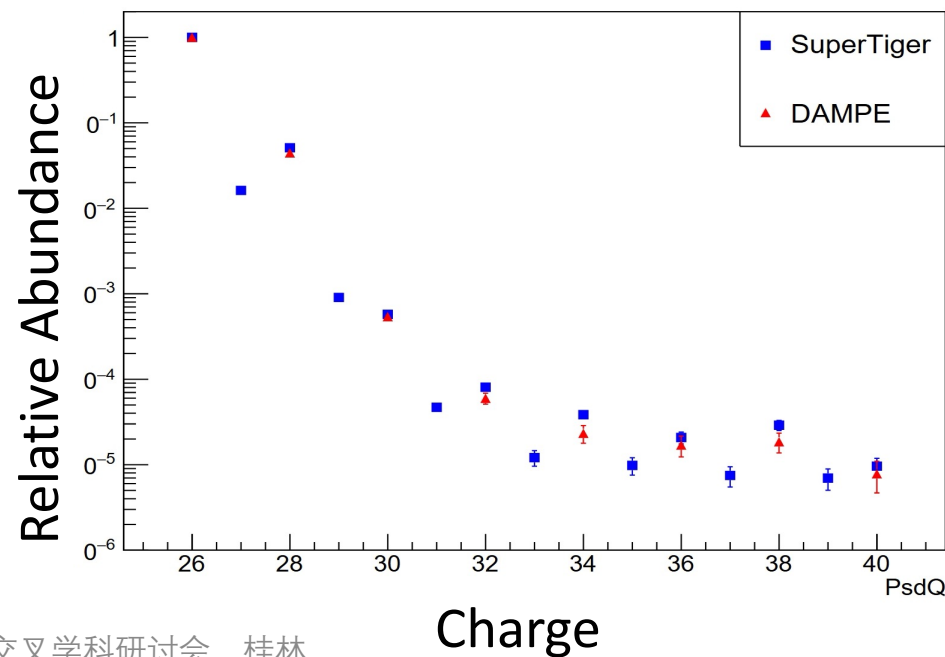
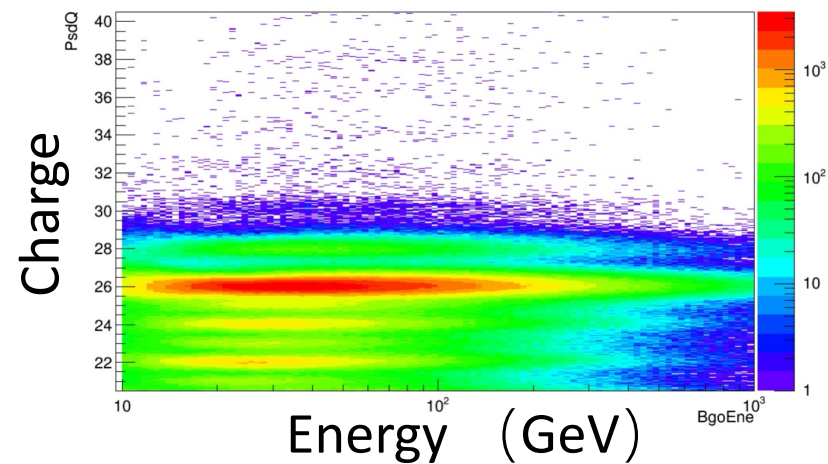
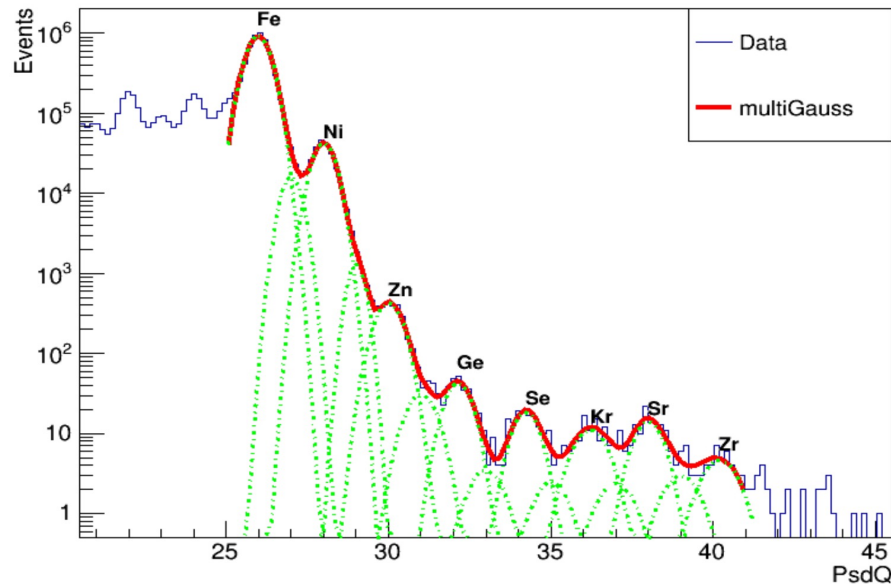
- ◆ $Z > 30$ 的元素，开展相对丰度的研究
- ◆ 并可以开展不同能区的研究



超重元素相对丰度

- ◆ $Z > 30$ 的元素，开展相对丰度的研究
- ◆ 并可以开展不同能区的研究

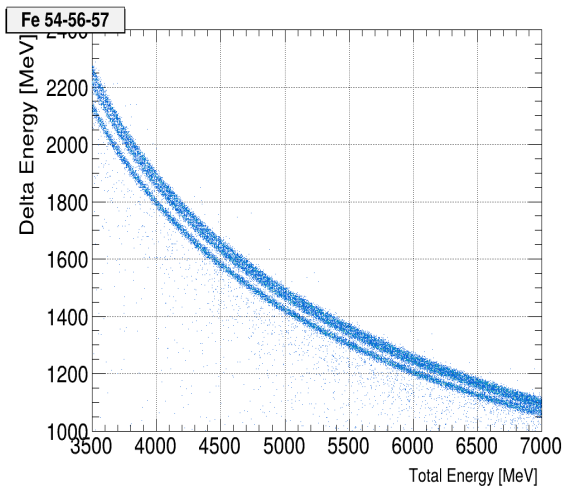
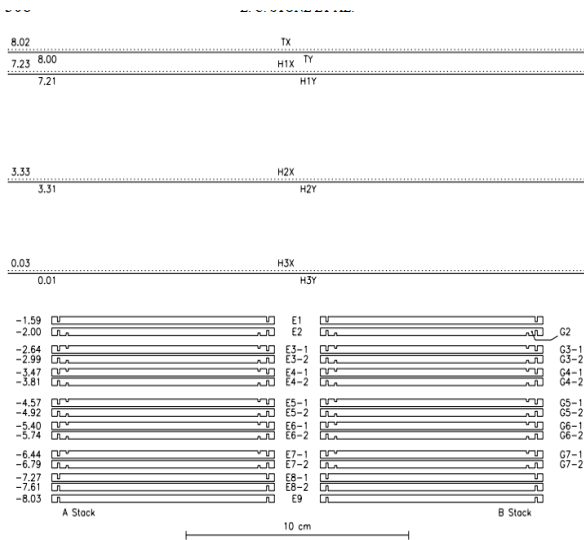
“粒粒皆辛苦”



下一代超铁元素探测

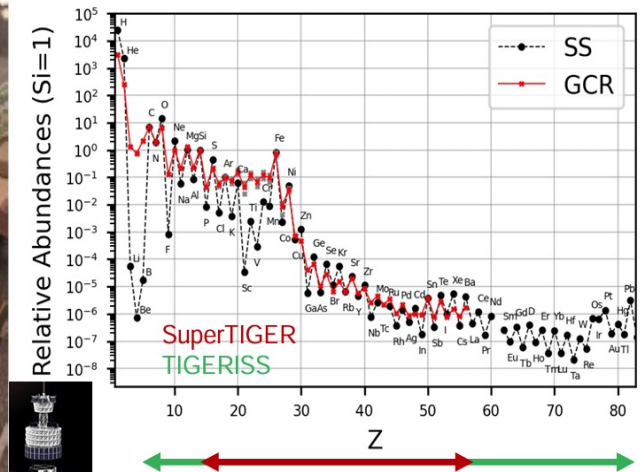
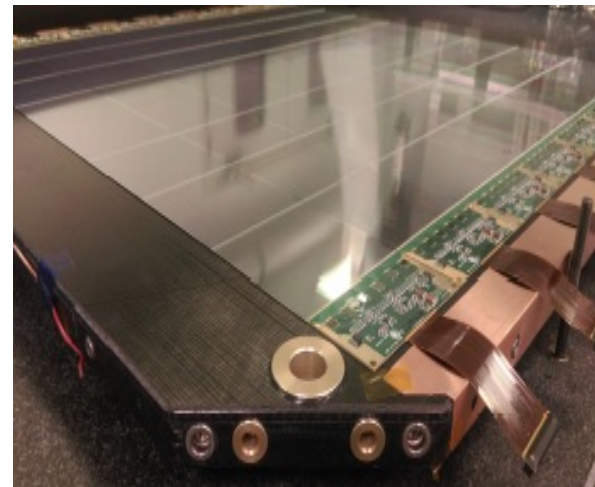
• 非相对论能区

- $\Delta E - E$ 粒子望远镜
- 极好的能量分辨率
 - $\Delta E, E$ 探测器的研制



• 相对论能区

- 10平方米级硅微条探测器
- 大面积量能器技术



总结

- 粒子物理学是研究物质的组成，以及相互作用的一门基础学科
- 宇宙线是研究粒子物理的重要手段之一
- “悟空”号已成功在轨运行超过10年时间，取得了大量的高质量宇宙线数据，为开展科学研究提供了基础
- 有着大量的奥秘等着大家去探索



总结

- 粒子物理学是研究物质的组成，以及相互作用的一门基础学科
- 宇宙线是研究粒子物理的重要手段之一
- “悟空”号已成功在轨运行超过10年时间，取得了大量的高质量宇宙线数据，为开展科学研究提供了基础
- 有着大量的奥秘等着大家去探索

“立足常规，着眼新奇！”



总结

- 粒子物理学是研究物质的组成，以及相互作用的一门基础学科
- 宇宙线是研究粒子物理的重要手段之一
- “悟空”号已成功在轨运行超过10年时间，取得了大量的高质量宇宙线数据，为开展科学研究提供了基础
- 有着大量的奥秘等着大家去探索

“立足常规，着眼新奇！”

谢谢!

Backup



18th 粒子物理、核物理和宇宙学交叉学科研讨会，桂林，
4/10-4/11, 2026