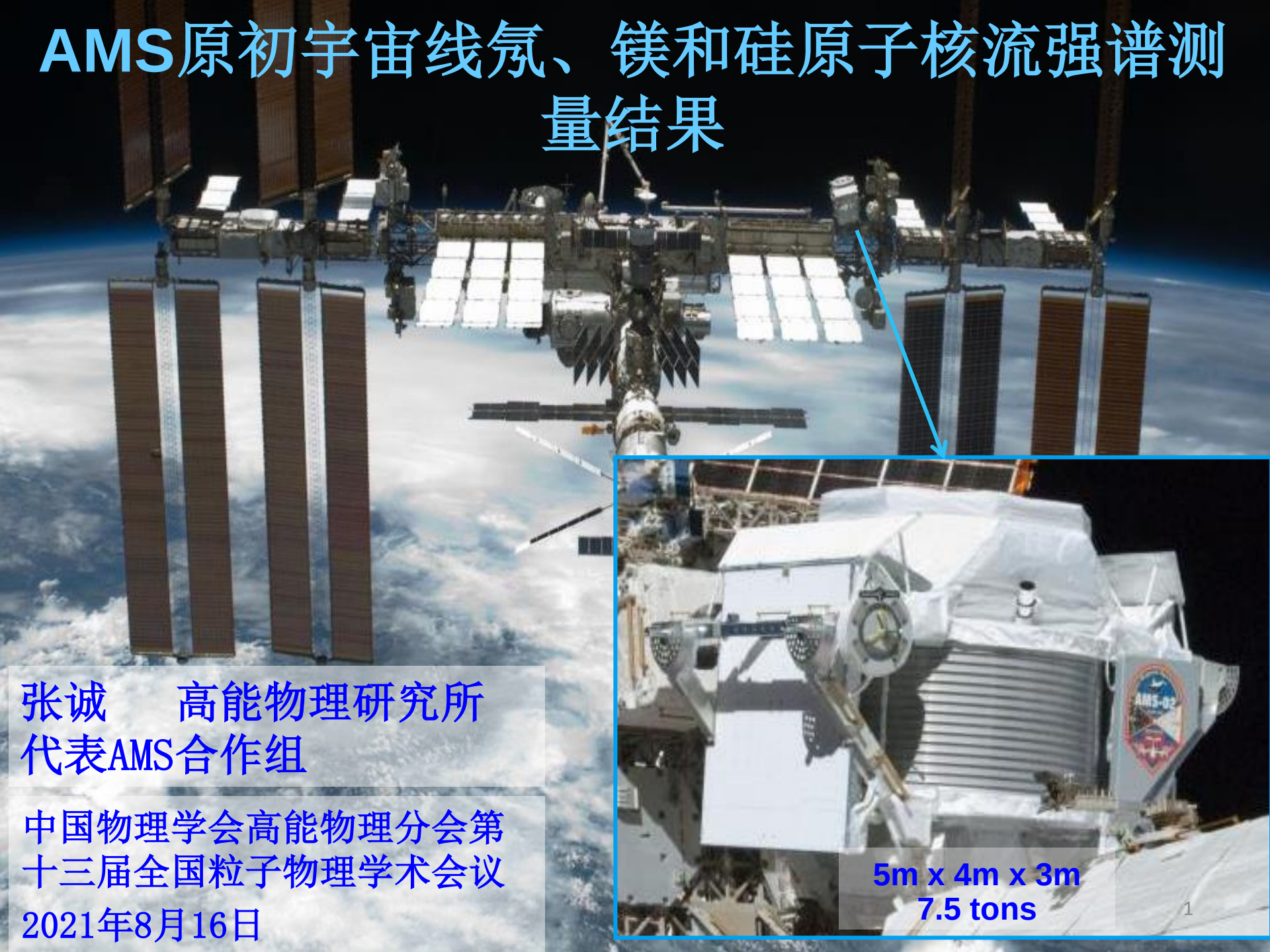


AMS原初宇宙线氦、镁和硅原子核流强谱测量结果



张诚 高能物理研究所
代表AMS合作组

中国物理学会高能物理分会第
十三届全国粒子物理学术会议
2021年8月16日

5m x 4m x 3m
7.5 tons

初级宇宙线

初级宇宙线 (p , He , C , O , Ne , Mg , Si , ..., Fe) 绝大部分在恒星中产生并在超新星爆发时被加速。

超新星爆发

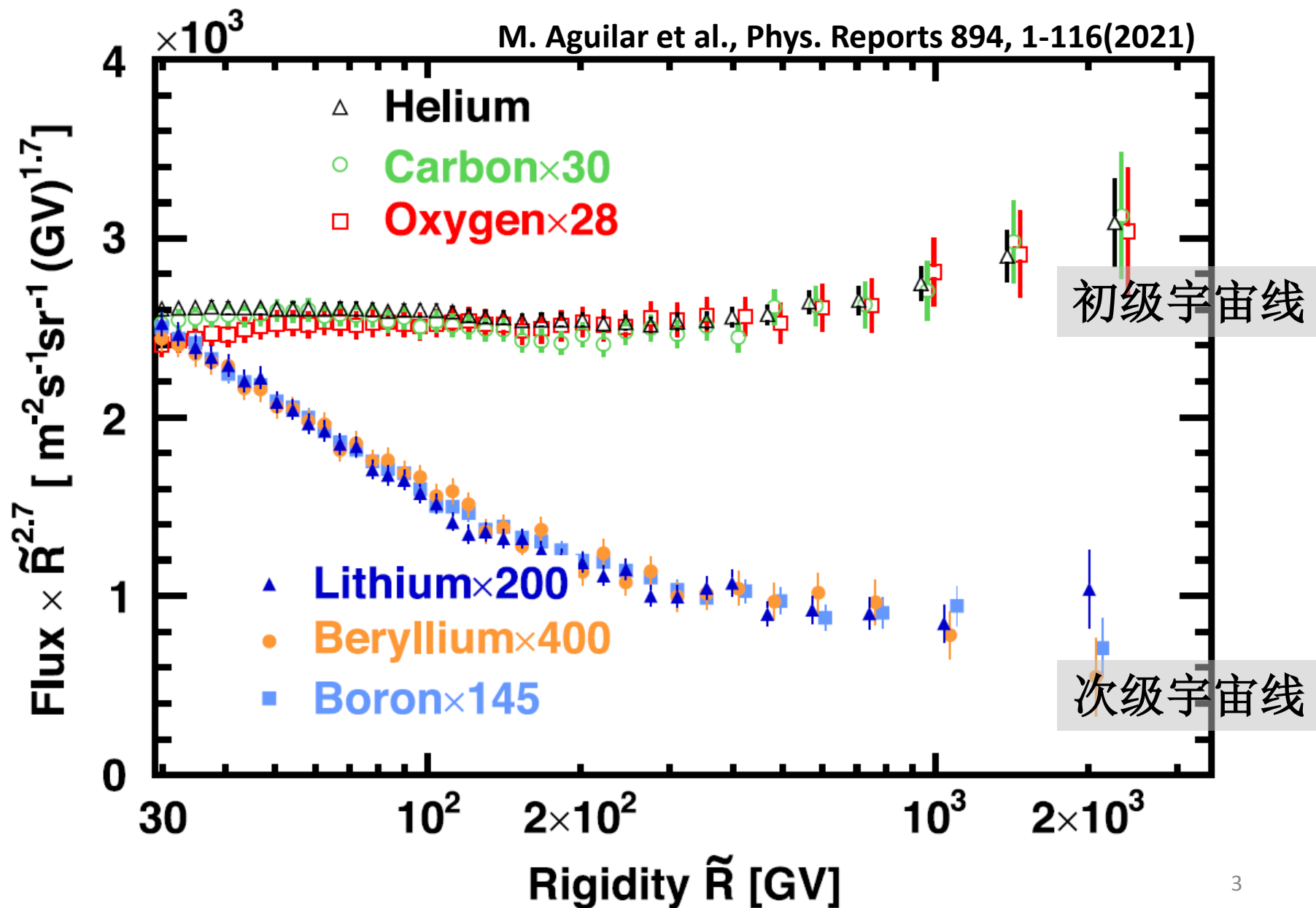
p

$\text{He}, \text{C}, \text{O}$

$\text{Ne}, \text{Mg}, \text{Si}$

对初级宇宙线流强谱的测量研究可以提供关于宇宙线起源、加速和传播的重要信息

AMS轻核原子核流强谱

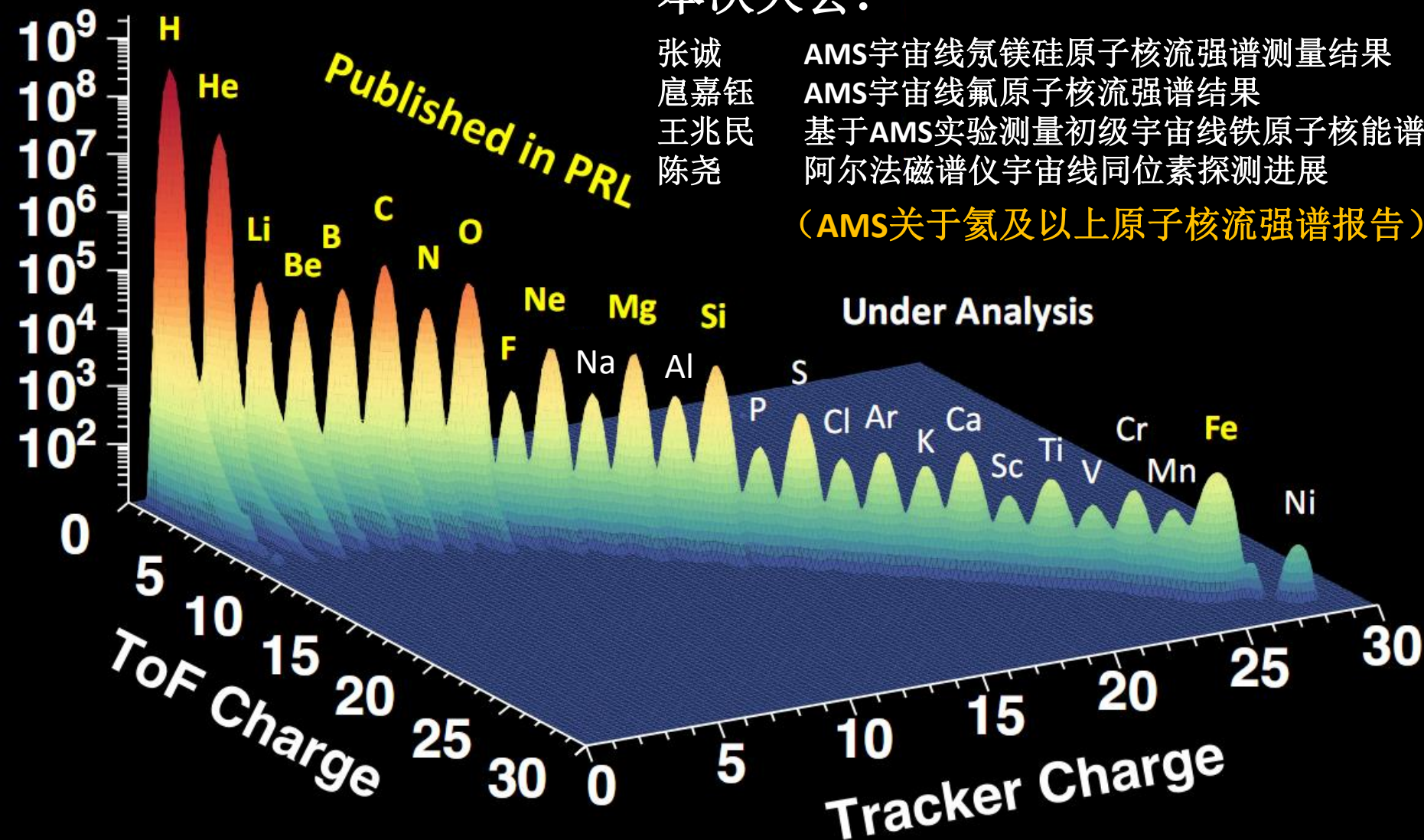


AMS的宇宙线原子核分布

本次大会:

张诚
扈嘉钰
王兆民
陈尧

AMS宇宙线氦镁硅原子核流强谱测量结果
AMS宇宙线氟原子核流强谱结果
基于AMS实验测量初级宇宙线铁原子核能谱
阿尔法磁谱仪宇宙线同位素探测进展
(AMS关于氦及以上原子核流强谱报告)



AMS: 是一个量程达到TeV的, 精密的多用途磁谱仪

TRD (穿越辐射探测器)
电子和质子的鉴别



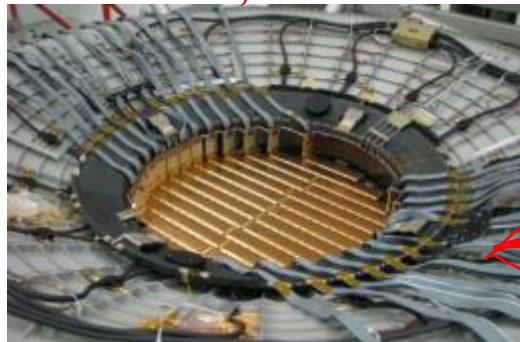
原初宇宙线入射粒子可以由它们的电荷 (Z) 和能量 ($E \sim P$) 值来确定

TOF (飞行时间计数器)
 Z, E

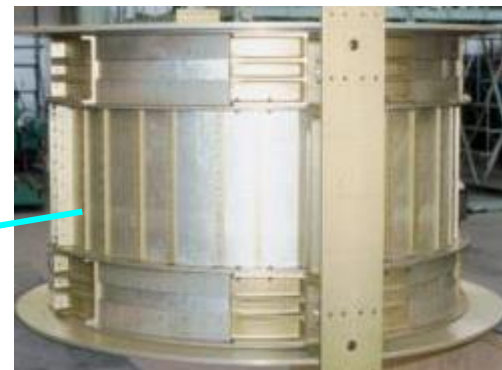
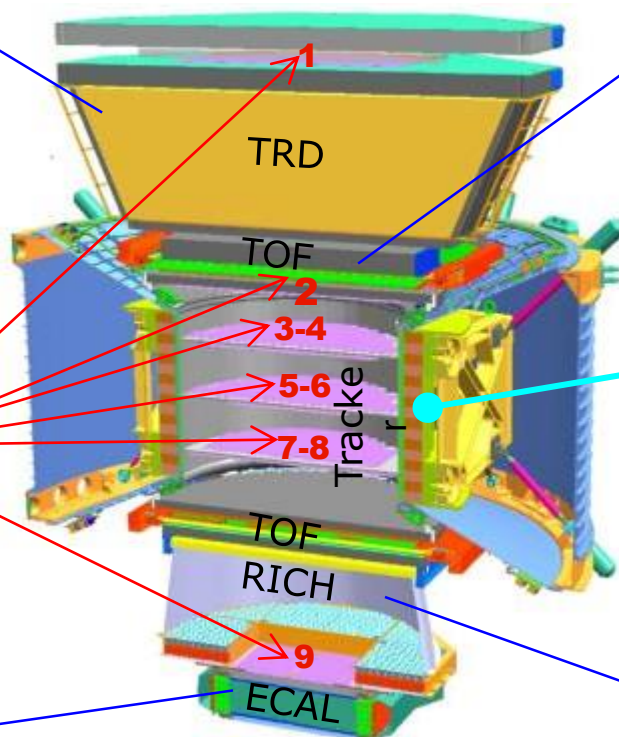
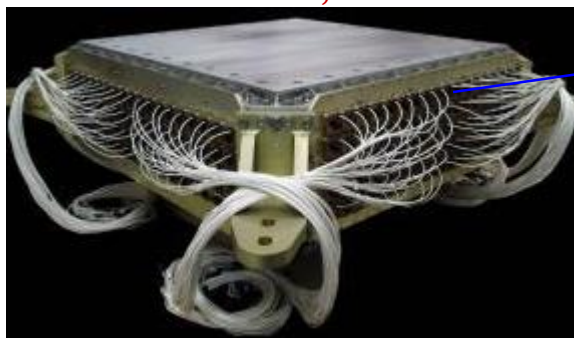


磁铁 $\pm Z$

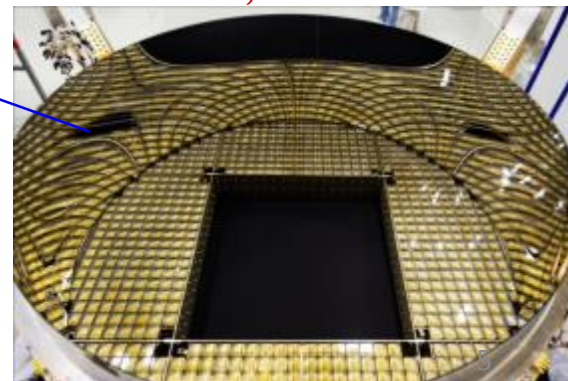
Tracker (硅径迹探测器)
 Z, P



ECAL (电磁量能器)
 E of e^+, e^-



RICH环向成像契伦柯夫探测器
 Z, E

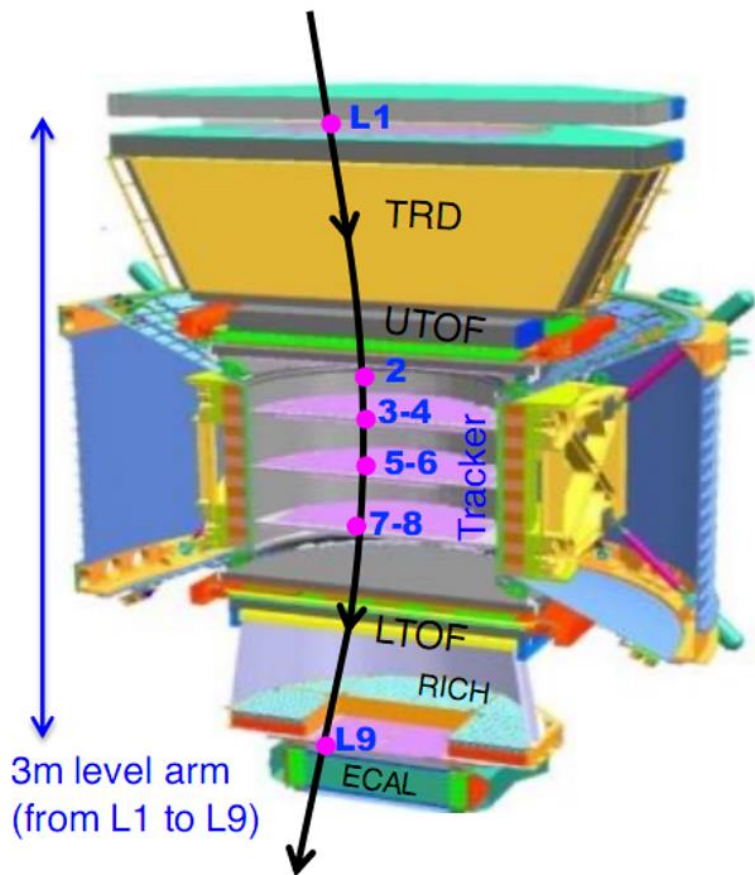


Z 和 $P \sim E$

可以通过 AMS 子探测器
Tracker, RICH, TOF 和 ECAL
相互独立地测量

AMS的原子核测量

粒子刚度（动量/电荷）通过9层硅径迹探测器（Tracker）加永磁体进行测量。



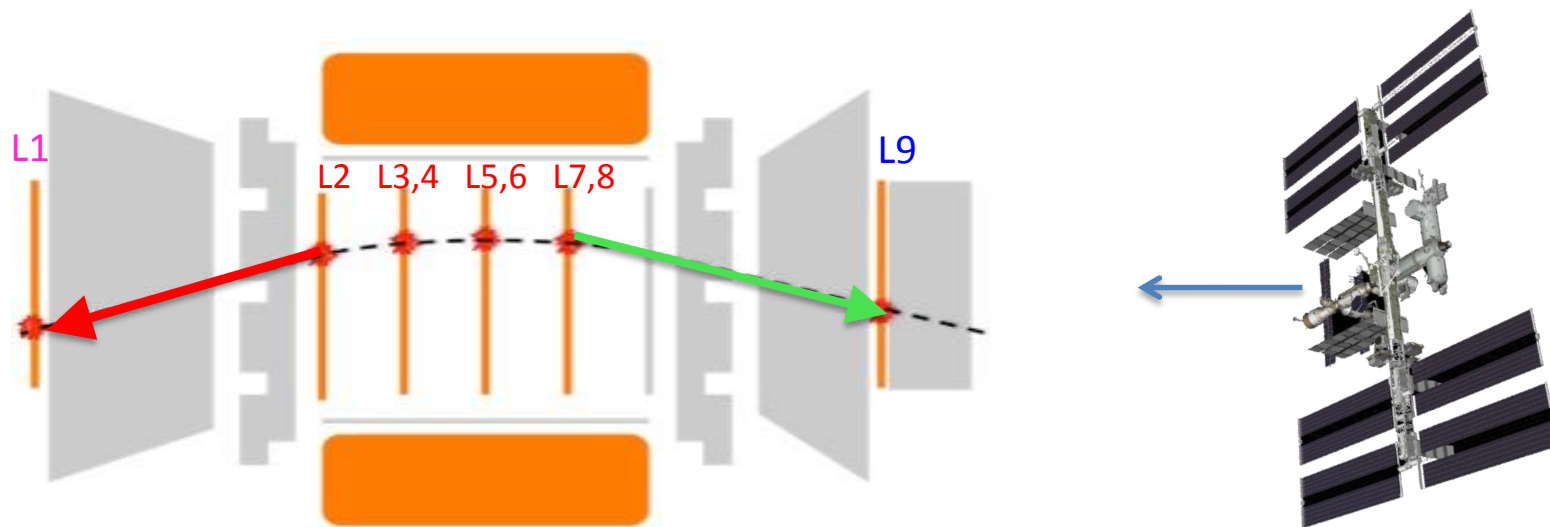
	位置分辨率	最大可测量刚度
$Z = 1$	$10 \mu m$	2TV
$2 \leq Z \leq 8$	$5-7 \mu m$	3.2-3.7TV
$9 \leq Z \leq 14$	$6-8 \mu m$	3-3.5TV

粒子鉴别通过L1, UTOF, 内层Tracker(L2-L8), LTOF和L9的电荷测量实现。如：

	TrackerL2-L8电荷分辨率 (c.u.)
$1 \leq Z \leq 8$	$\Delta Z \approx 0.05 - 0.12$
$9 \leq Z \leq 14$	$\Delta Z \approx 0.13 - 0.17$

AMS原子核相互作用反应截面测量

AMS探测器的主要成分是碳（C）和铝（Al）。而目前现有的原子核与碳/铝的非弹性反应截面只在几GV以下能区有测量结果（He和C）或者完全没有测量结果（Li, Be, B, Ne, Mg, Si, ... Fe）。

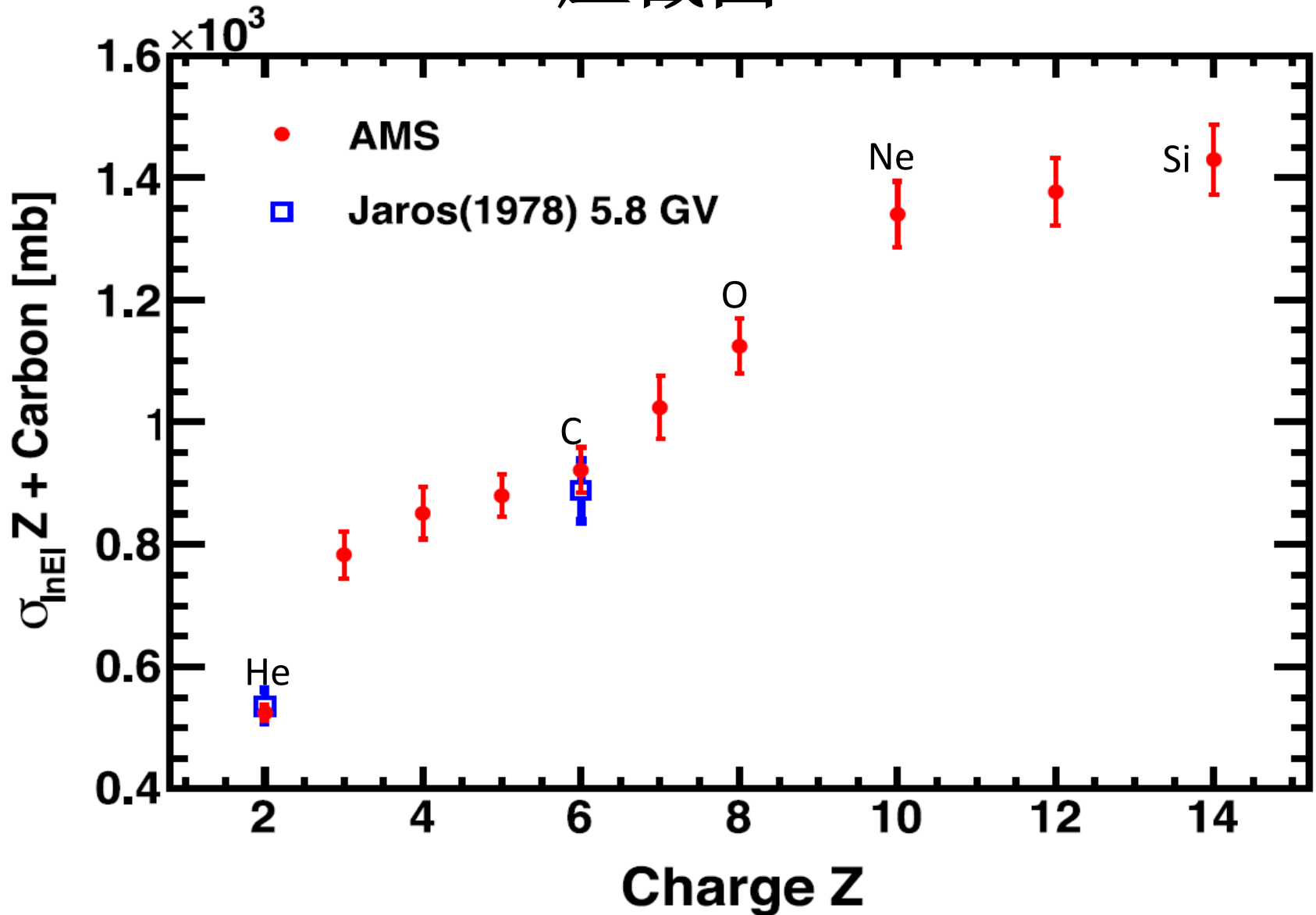


AMS可以利用被“横置”时的探测事例测量入射原子核的存留几率。被横置时宇宙线粒子可以同时从左到右和从右到左的穿过AMS探测器。

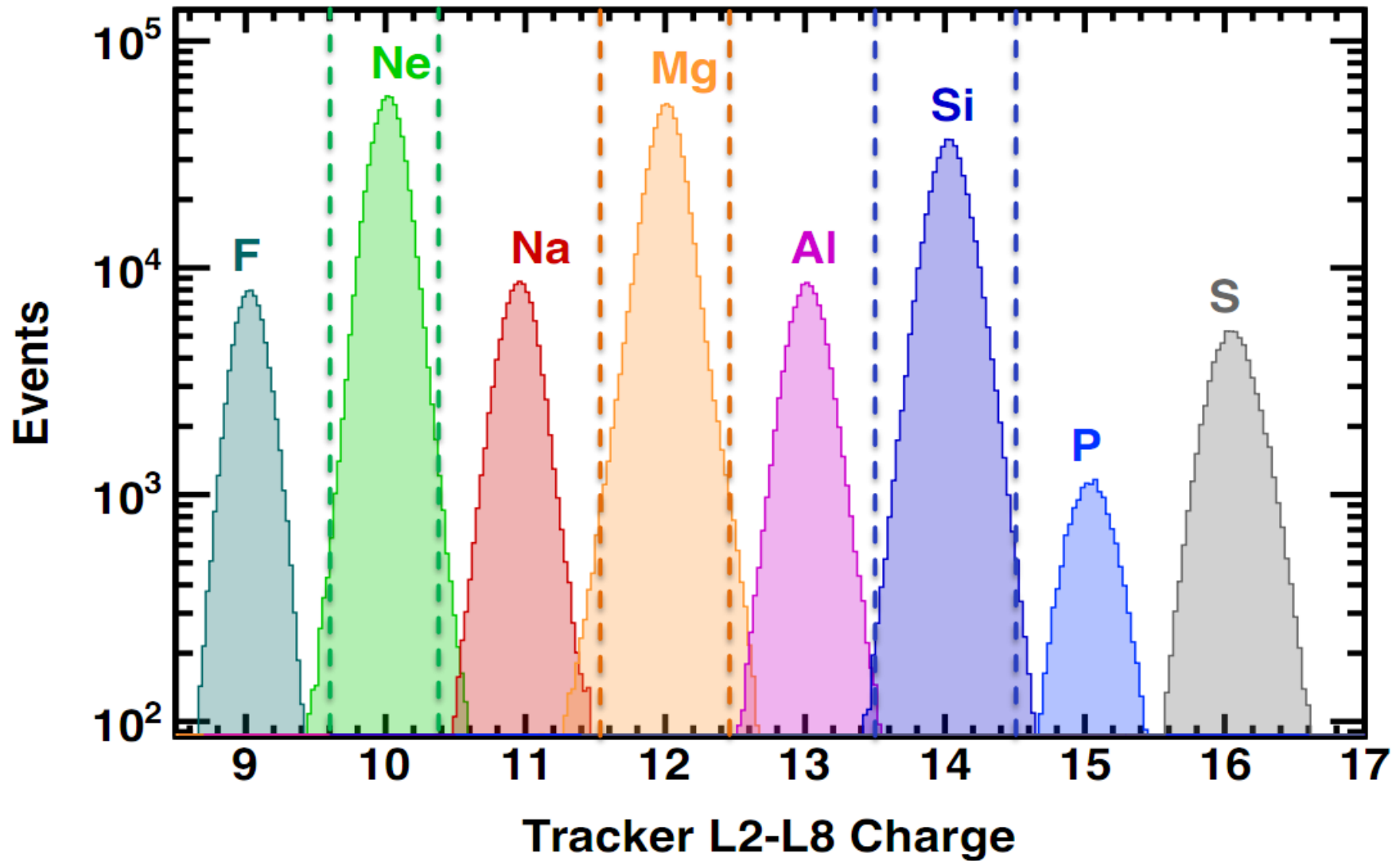
利用测量的入射原子核存留几率，**AMS可以测量得到入射原子核的非弹性相互作用反应截面信息。**

详见“Q.Yan et al. Nuclear Physics A 996, 121712(2020)”。

AMS测量的入射原子核与碳相互作用反应截面



Ne, Mg, 和Si 的事例筛选

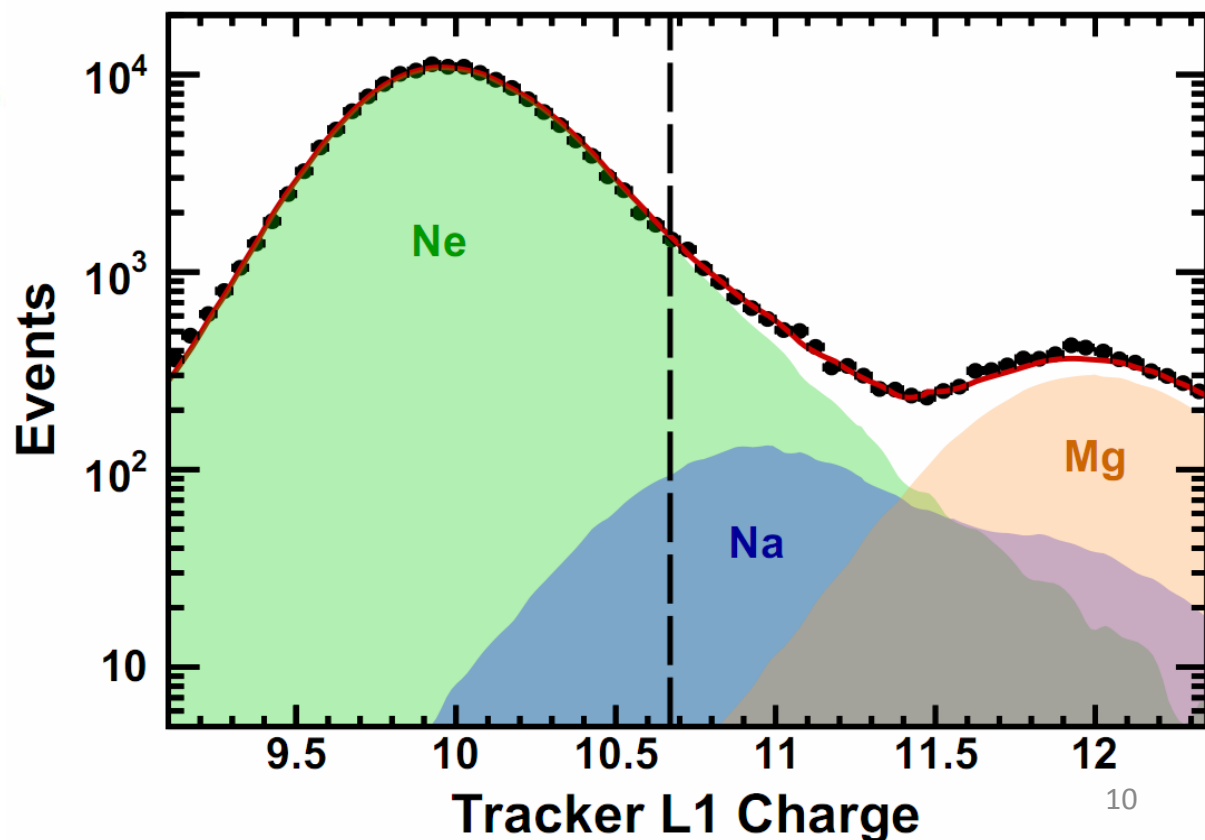
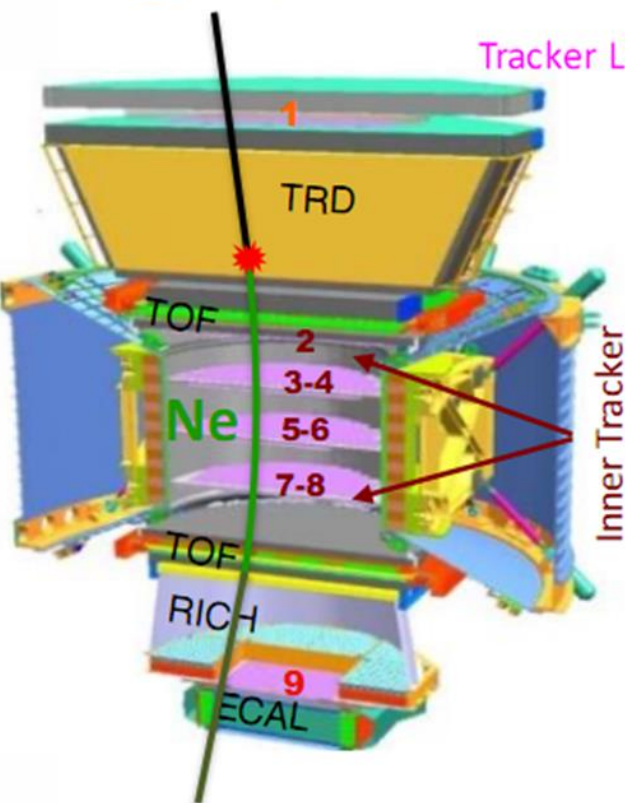


本底事例的去除

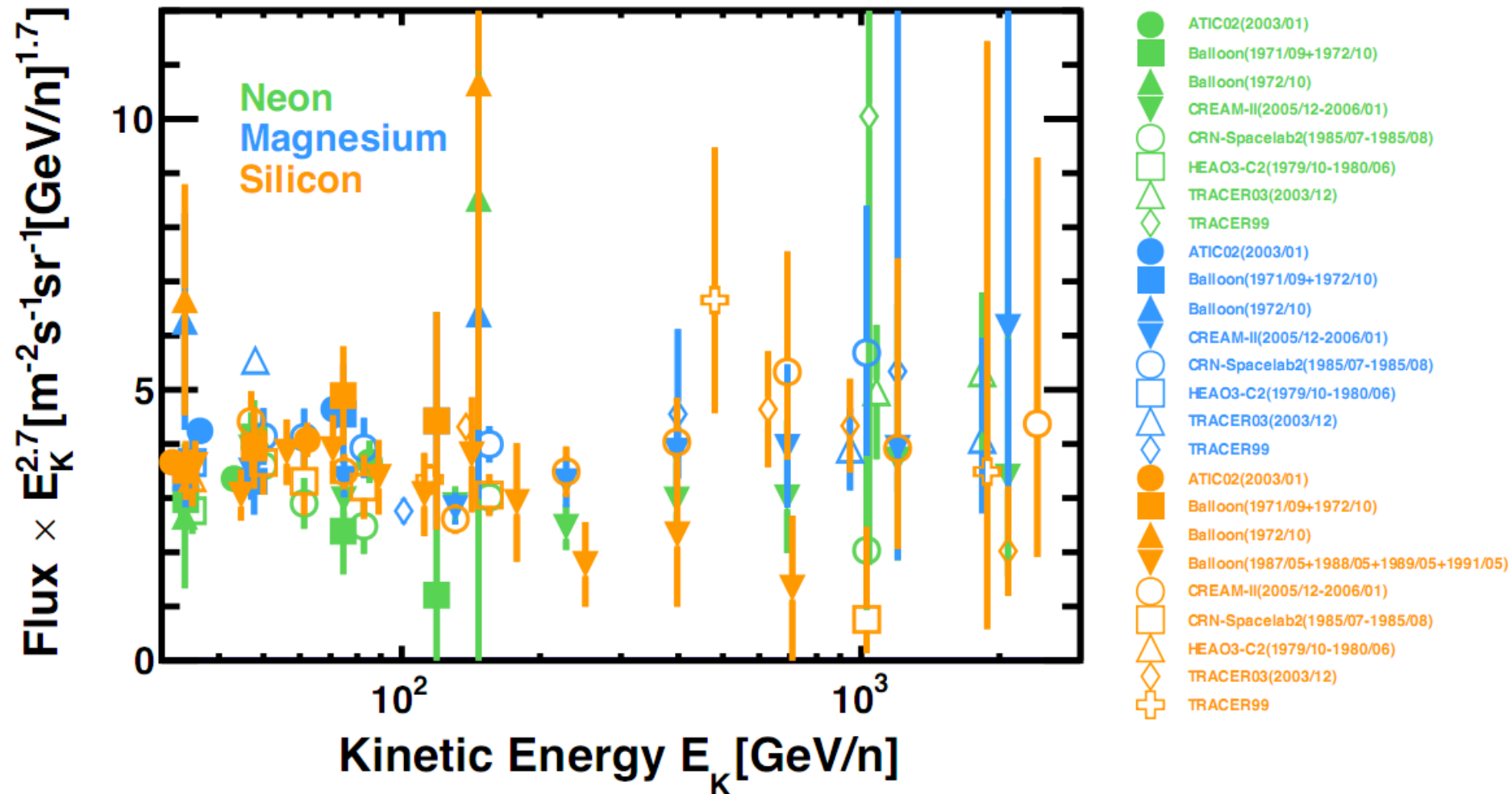
- 比Ne, Mg和Si更重原子核在Tracker L1和L2之间发生相互作用产生的本底事例（以Ne为例：Mg, Na, ...+C, Al $\rightarrow$ Ne）可以通过Tracker L1电荷分布的模板拟合去除。去除本底事例后共有180万Ne原子核、220万Mg原子核和160万Si原子核事例数。本底事例去除的系统误差在整个测量能区范围内小于0.5%。
- 比Ne, Mg和Si更重原子核在Tracker L1之上（碳纤维和铝蜂窝板的薄层支撑结构）发生相互作用产生的本底事例可以通过MC模拟估计并去除。对Ne该本底小于2%，对Mg小于1.5%，对Si则可忽略不计。

Mg, Na, ...

Tracker L1

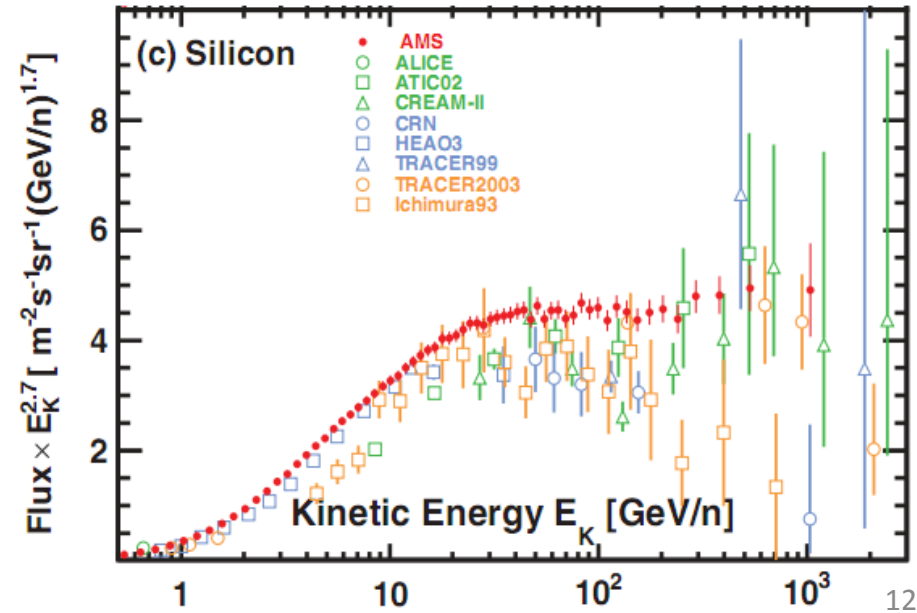
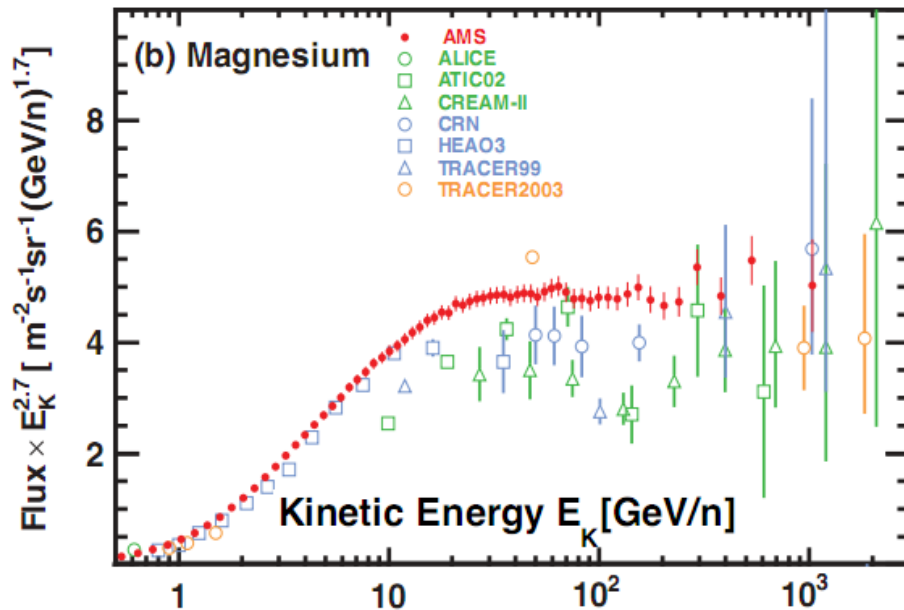
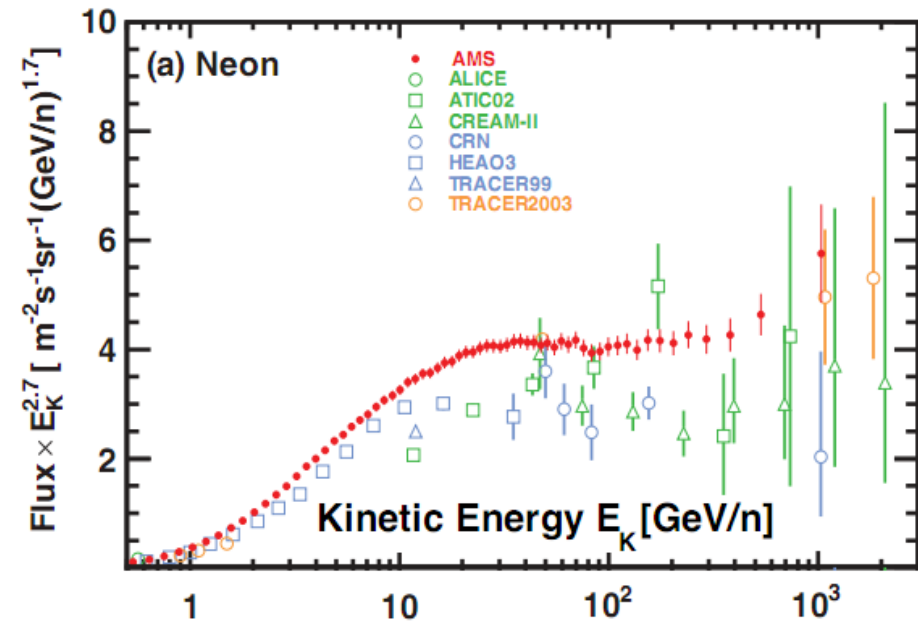


AMS实验之前的Ne, Mg, 和Si流强谱测量结果

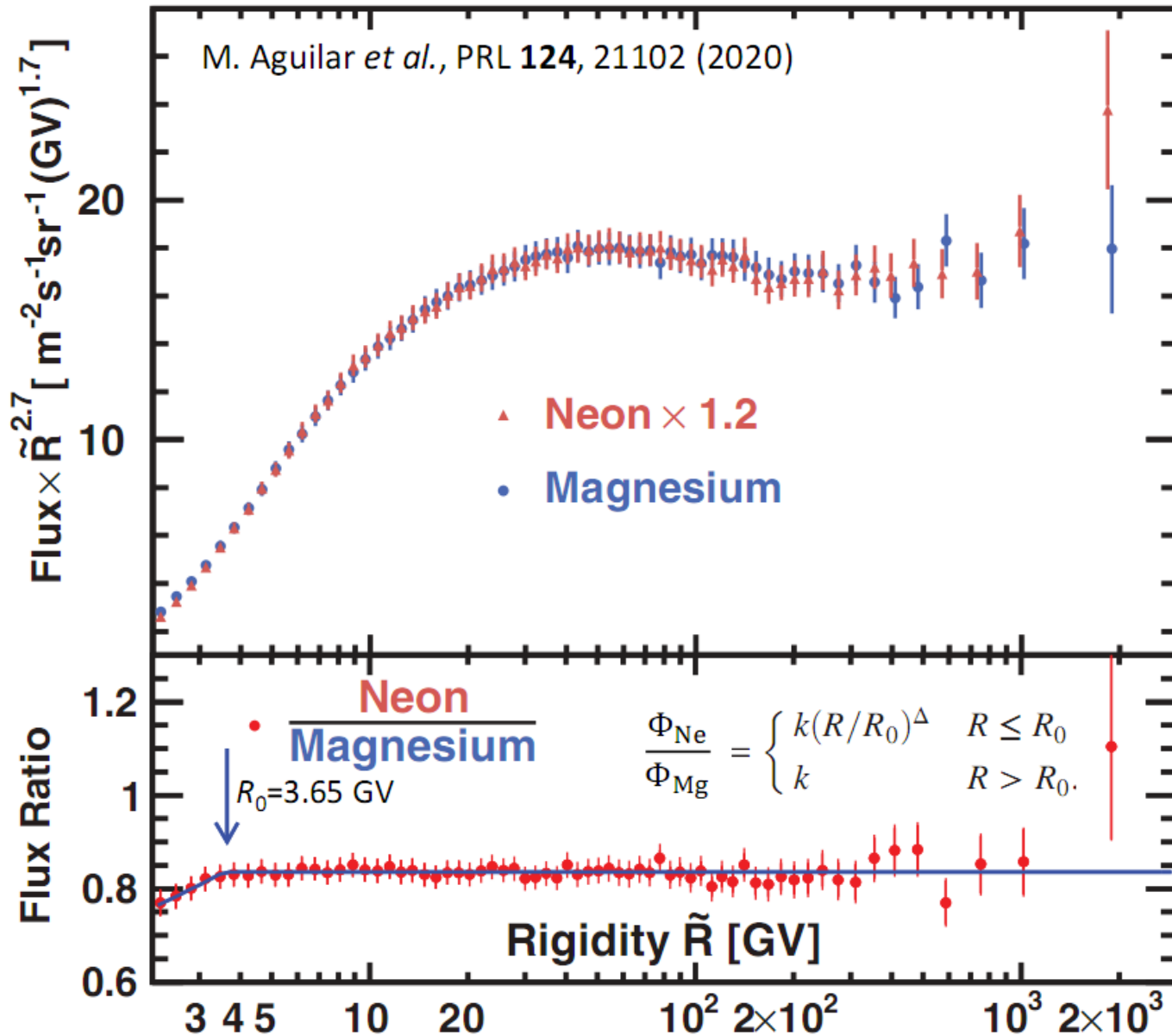


AMS实验Ne, Mg, 和Si流强谱测量结果

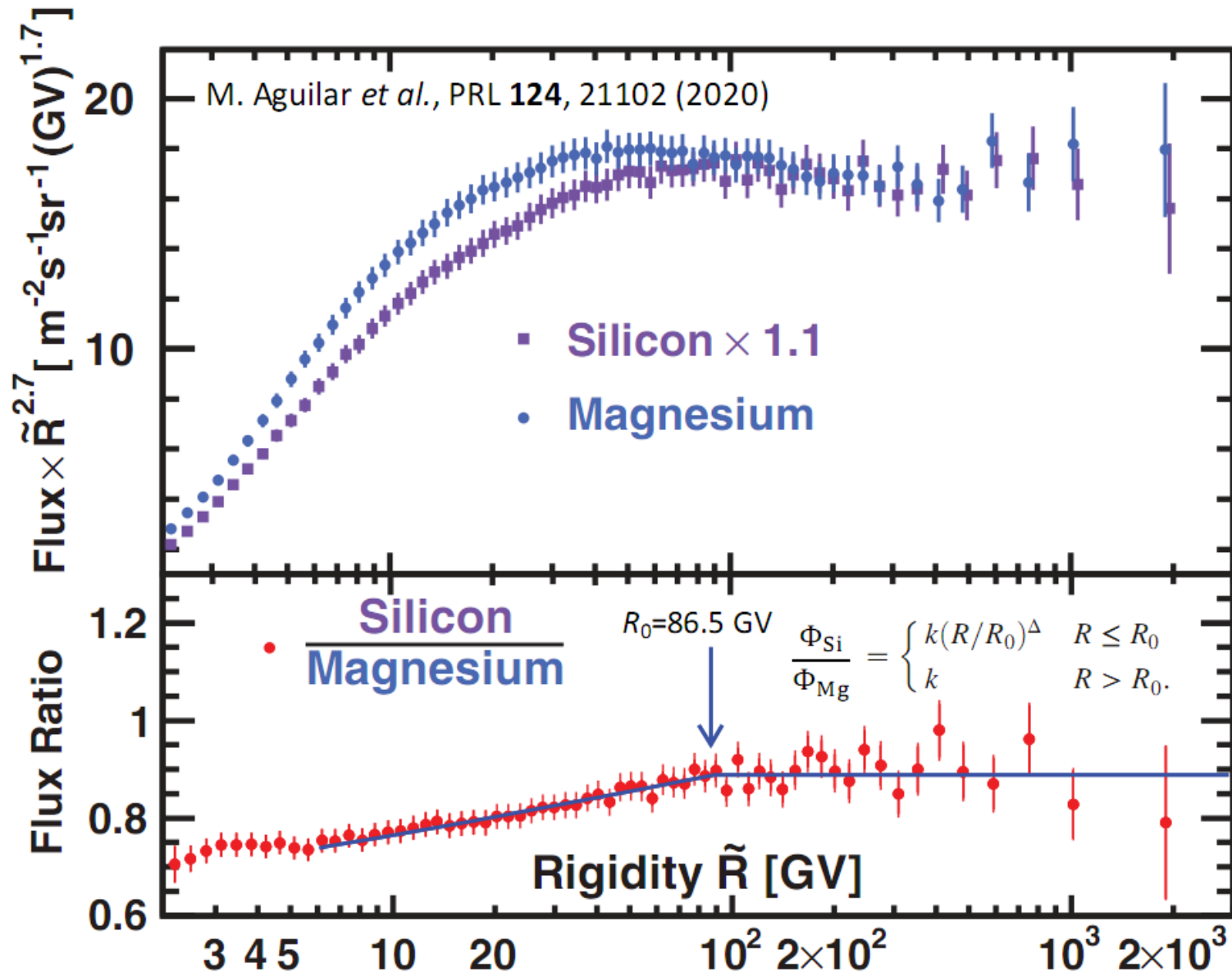
M. Aguilar *et al.*, PRL **124**, 21102 (2020)



AMS实验Ne和Mg流强谱结果比较

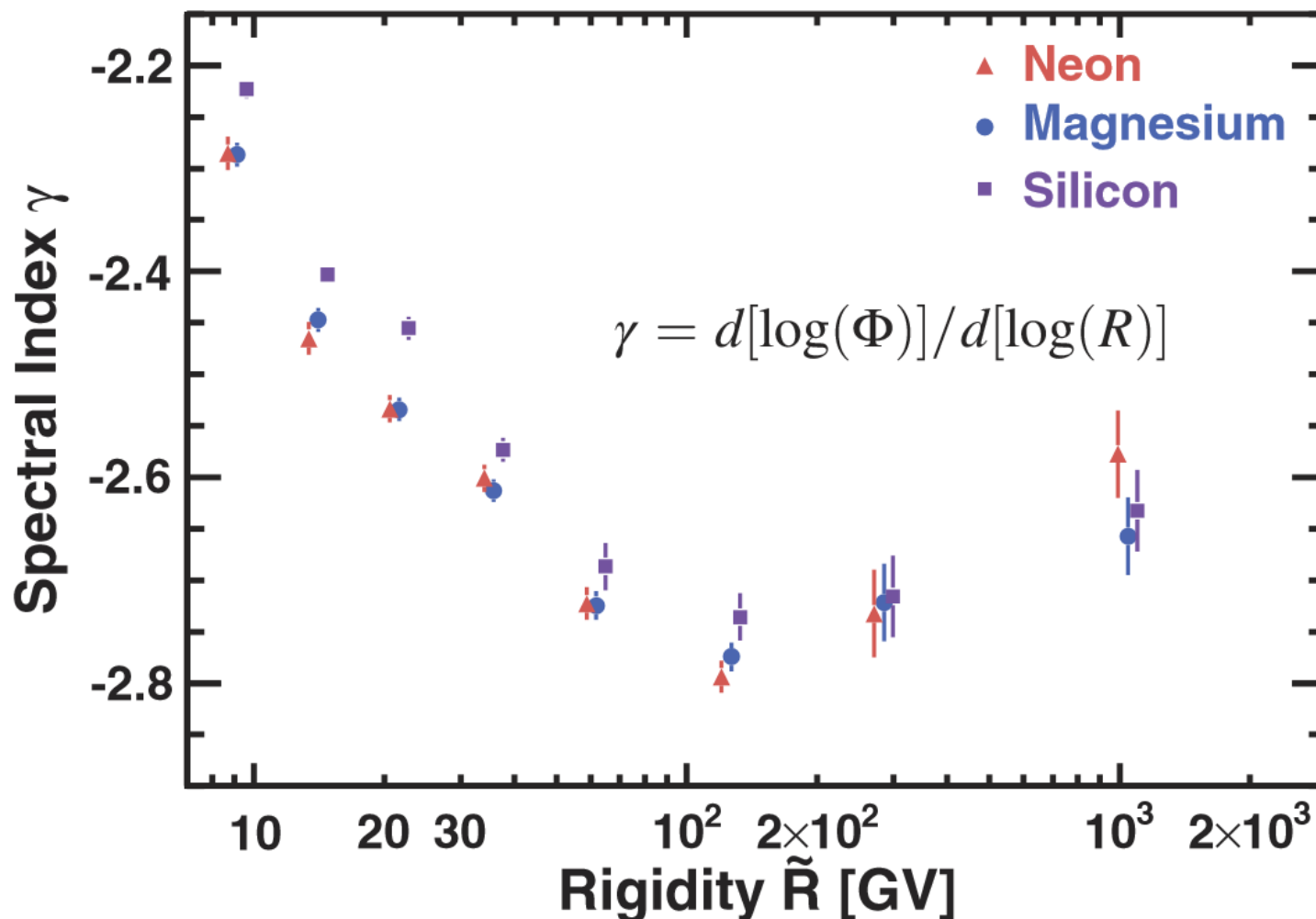


AMS实验Mg和Si流强谱结果比较



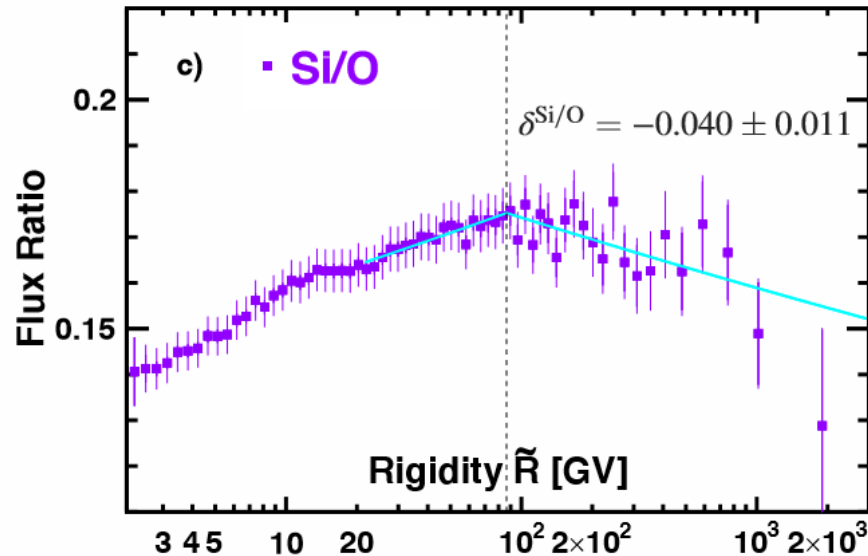
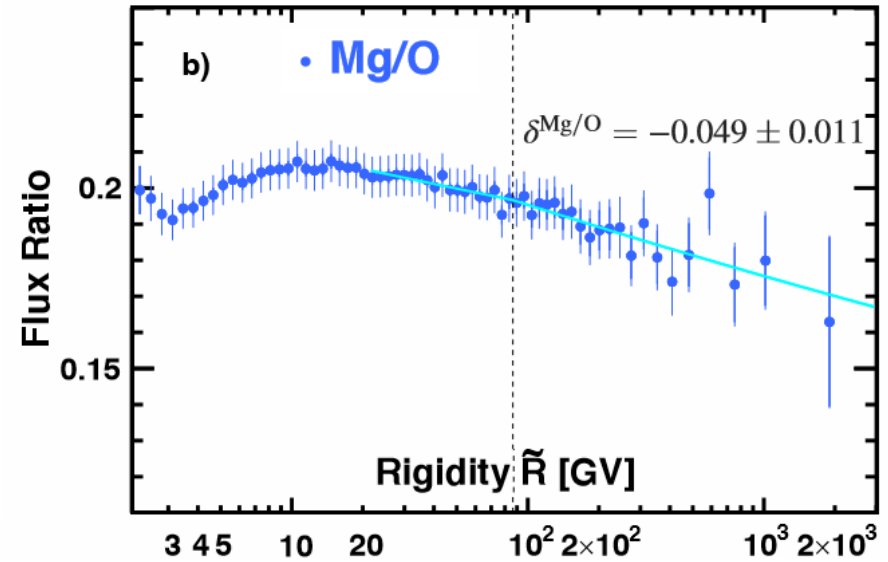
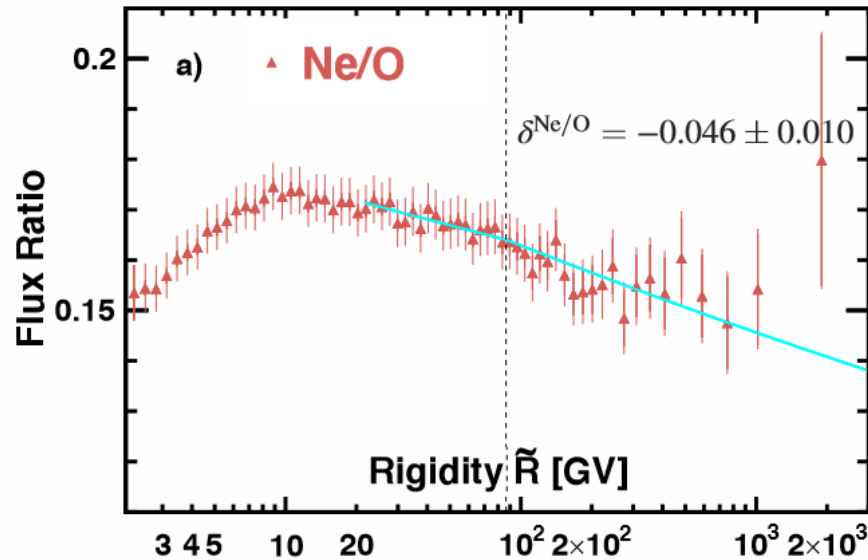
AMS Ne, Mg和Si流强谱幂率比较

M. Aguilar *et al.*, PRL **124**, 21102 (2020)



Ne, Mg, 和Si流强谱在86.5GV以上能区有一致的随刚度变化情况，并且在200GV以上能区幂率一致上升，不服从单一幂指数分布。

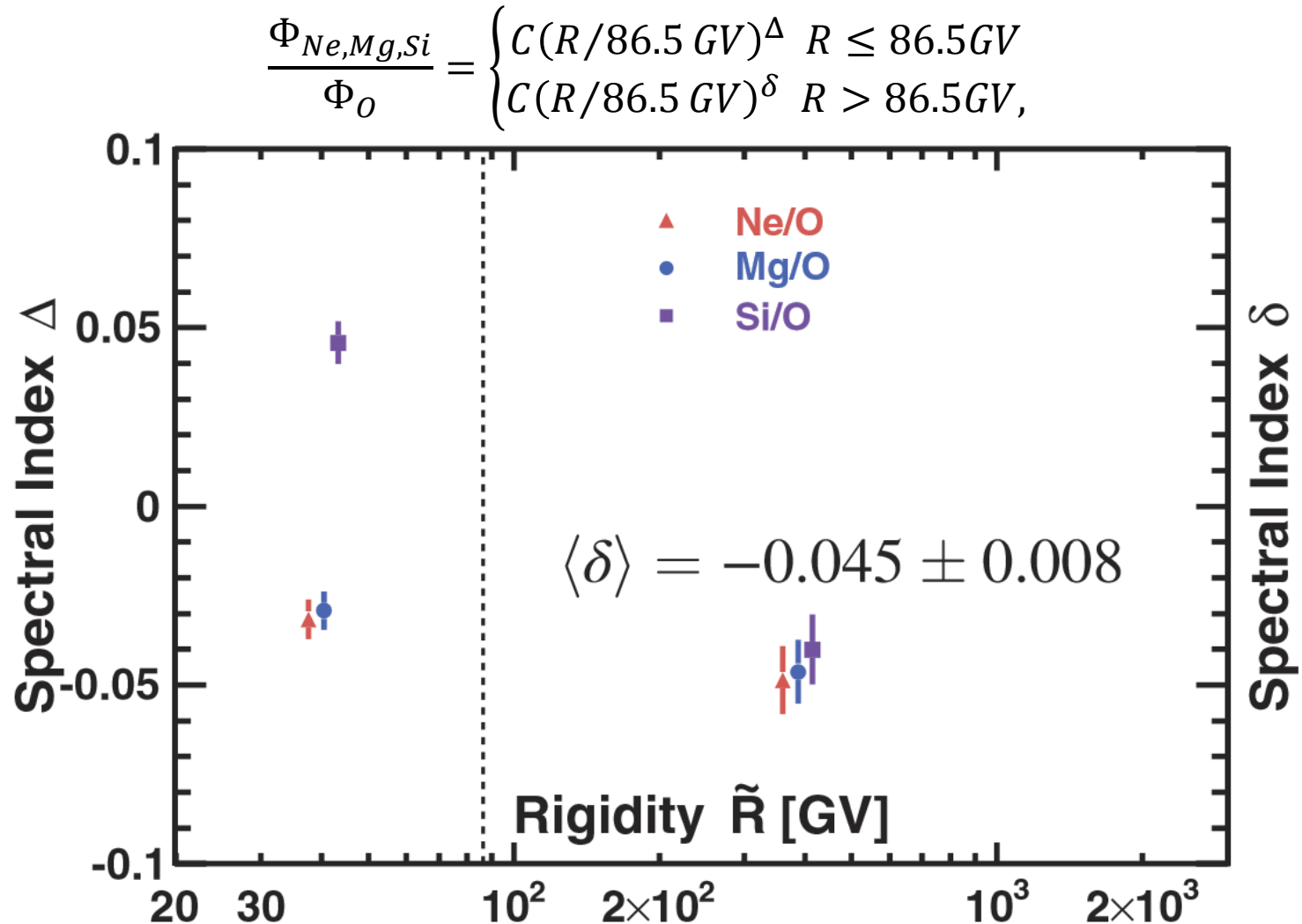
AMS Ne, Mg和Si分别与O的比率谱分布



为检查Ne-Mg-Si与O流强谱随刚度变化性质的差异，分别做Ne/O，Mg/O和Si/O的比率谱，并用下列公式进行拟合：

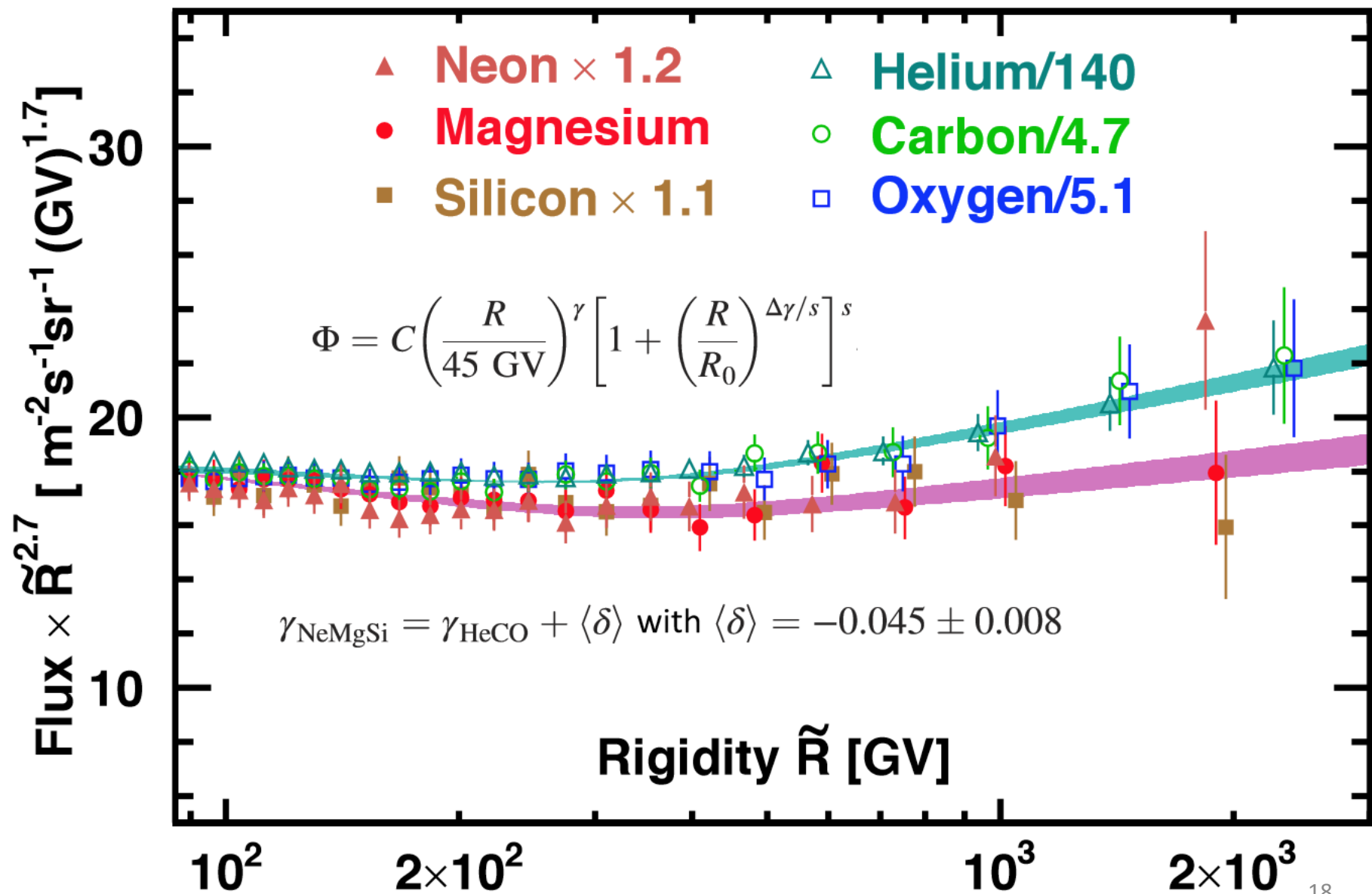
$$\frac{\Phi_{\text{Ne,Mg,Si}}}{\Phi_{\text{O}}} = \begin{cases} C(R/86.5 \text{ GV})^{\Delta} & R \leq 86.5 \text{ GV} \\ C(R/86.5 \text{ GV})^{\delta} & R > 86.5 \text{ GV}, \end{cases}$$

Ne/O, Mg/O和Si/O的比率谱幂率分布



平均值 $\langle \delta \rangle = -0.045 \pm 0.008$ ，其与0值的差异大于 5σ ，说明Ne-Mg-Si与He-C-O是两种不同类型的初级宇宙线。

AMS-02实验初级宇宙线测量结果



结论

基于7年共**180万**氦原子核、**220万**镁原子核和**160万**硅原子核事例数，AMS测量得到**2.15GV-3TV**原初宇宙线氦、镁和硅原子核流强谱精确测量结果。

氦和镁流强谱在**3.65GV**以上能区有一致的随刚度变化情况。氦、镁和硅三者**在86.5GV以上能区随刚度变化情况均一致**，并且在**200GV**以上能区幂率一致上升，不服从单一幂指数分布。

在**86.5GV**以上能区，氦镁硅原子核流强谱与氢碳氧原子核流强谱的随刚度变化情况有超过 **5σ** 的差异。这说明氦镁硅与氢碳氧是两种不同类型的初级宇宙线。