

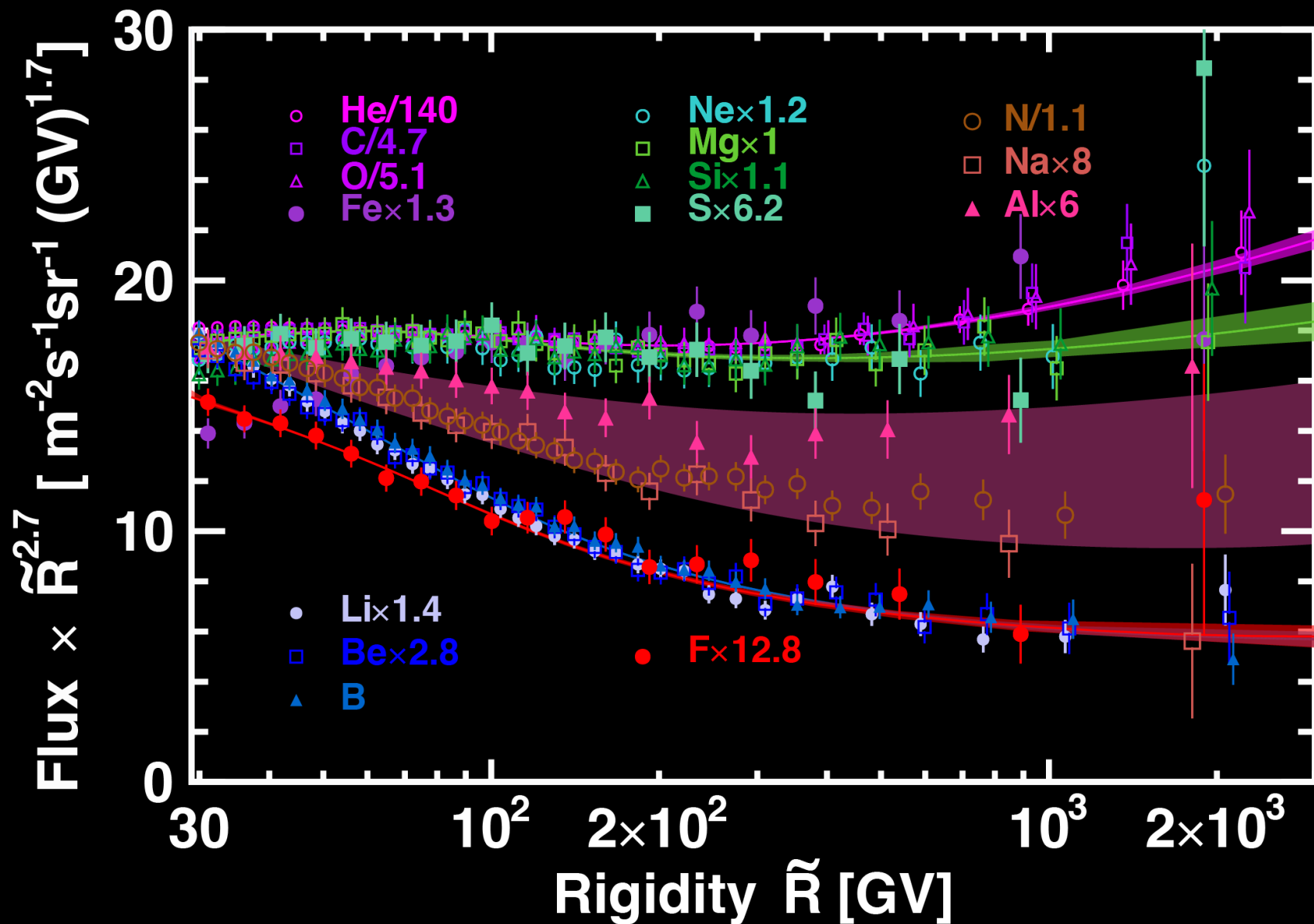
AMS-02宇宙线同位素能谱测量进展



陈尧，山东高等技术研究院

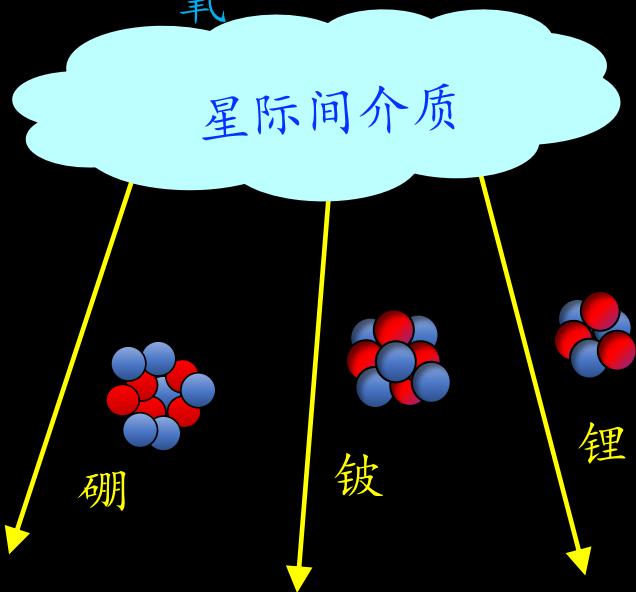
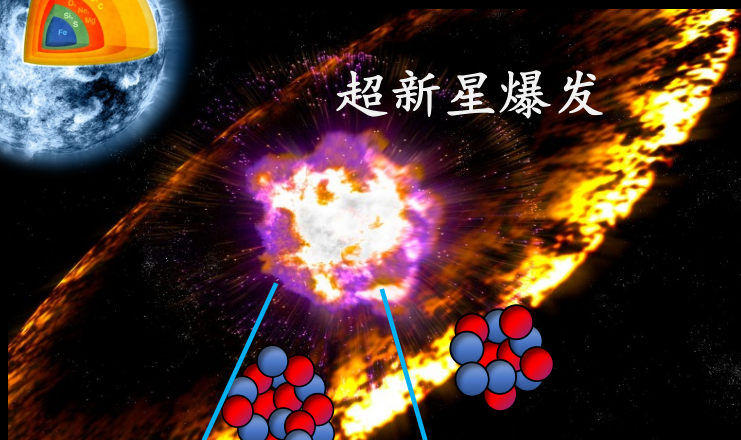
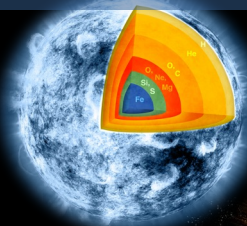
05/10/2024，第三届地下和空间粒子物理与宇宙物理前沿问题研讨会

AMS最新宇宙线原子核能谱测量结果

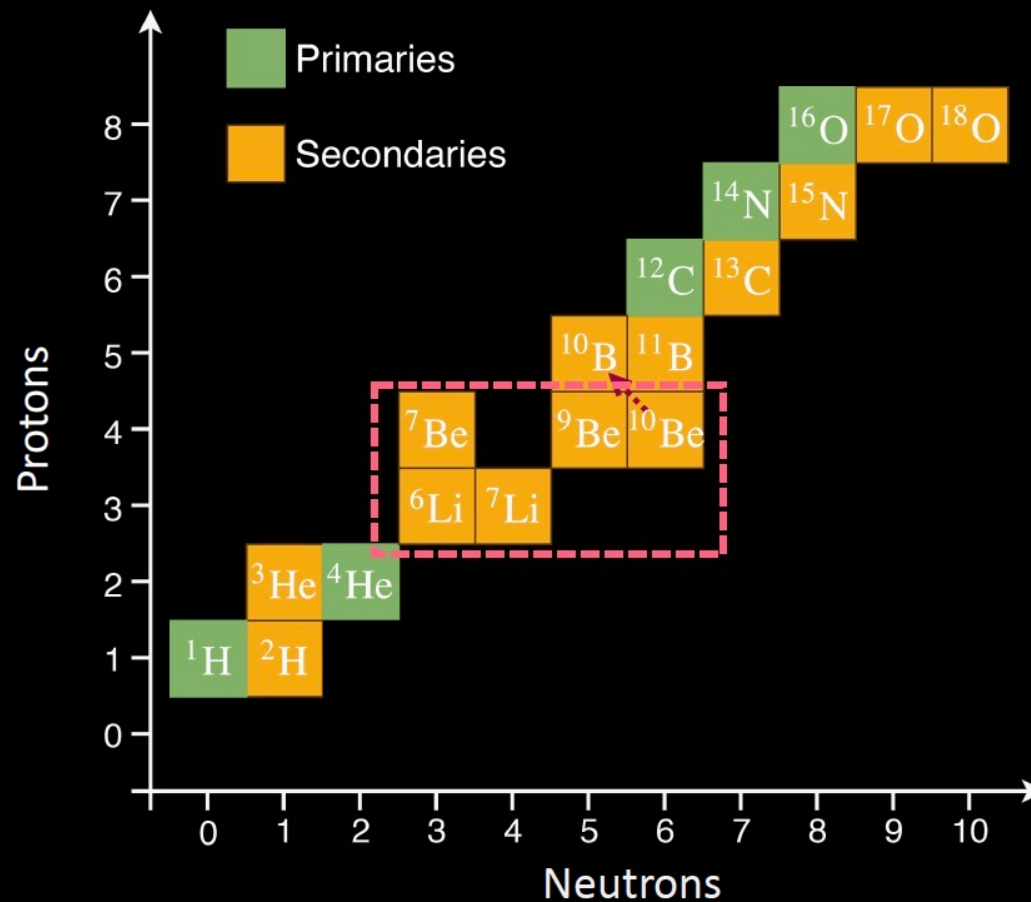


宇宙线轻核同位素

恒星核合成



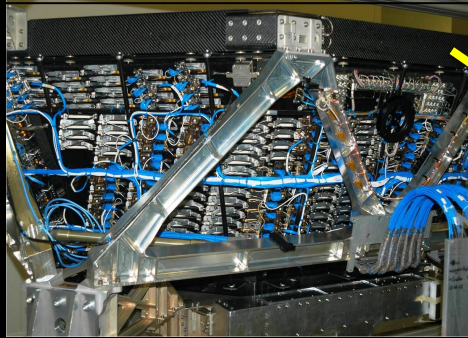
宇宙线同位素的精确测量将为研究宇宙线传播 (D , ${}^3\text{He}$)、产生机制 (${}^6,{}^7\text{Li}$) 以及测量银河系晕大小 (${}^{10}\text{Be}$) 提供独特的实验数据。



AMS-02: 空间中的TeV量级精确宇宙线探测器

穿越辐射探测器

区分正负电子



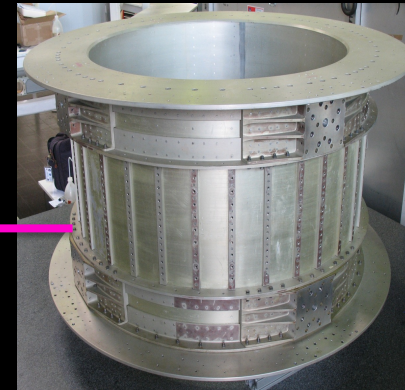
飞行时间探测器

电荷、相对论速度



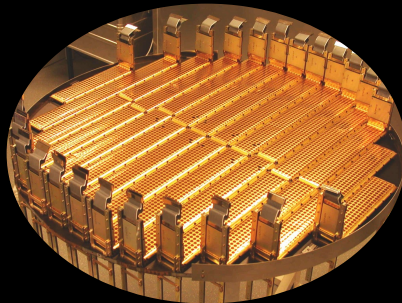
永磁铁

电荷符号



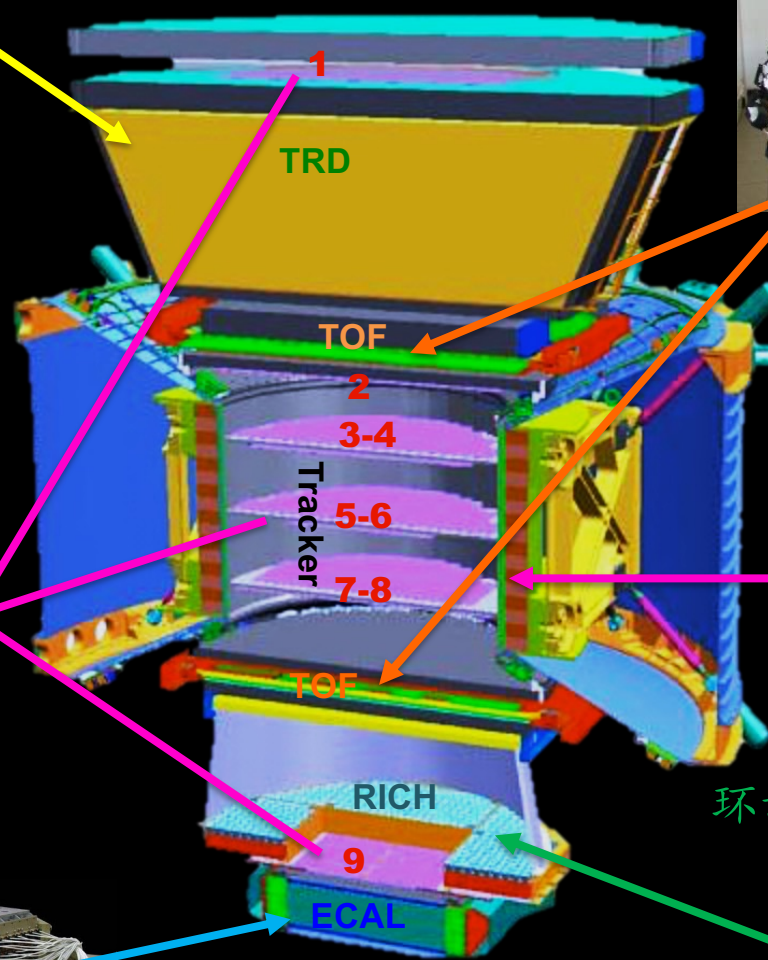
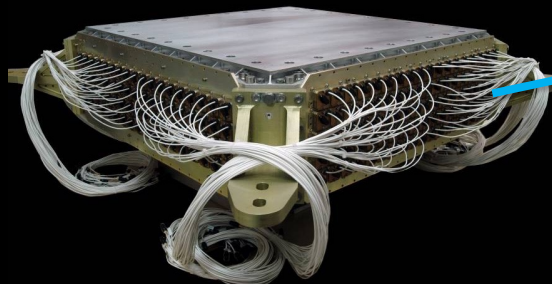
硅微条探测器

电荷, 磁刚度= $p/Z\beta$



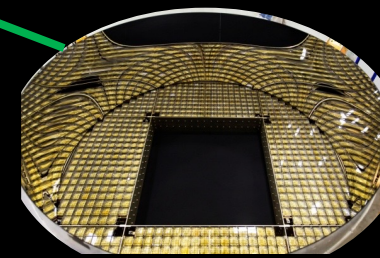
电磁量能器

正负电子能量



环切伦科夫探测器 (RICH)

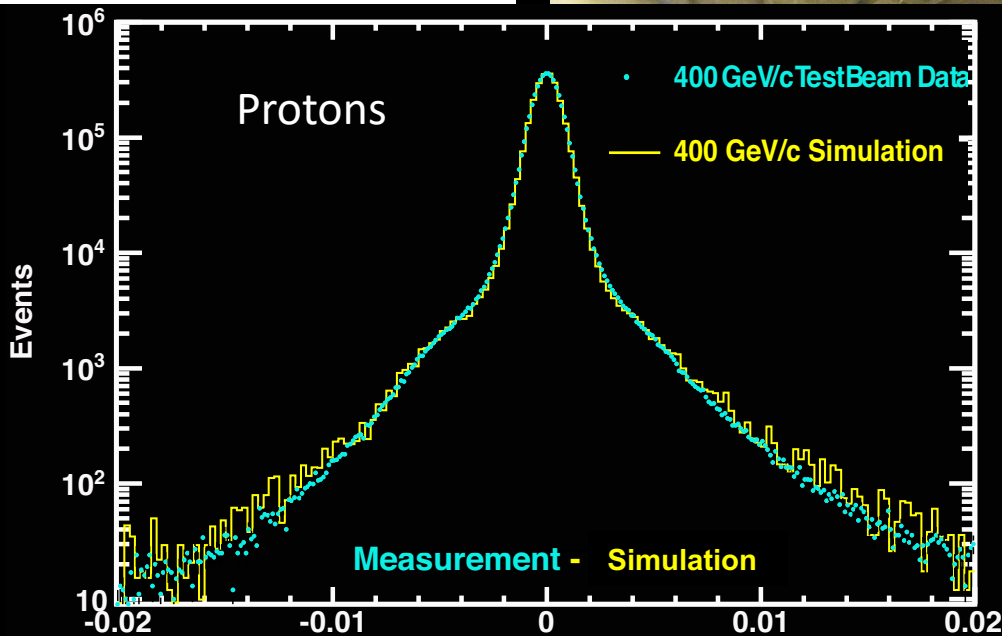
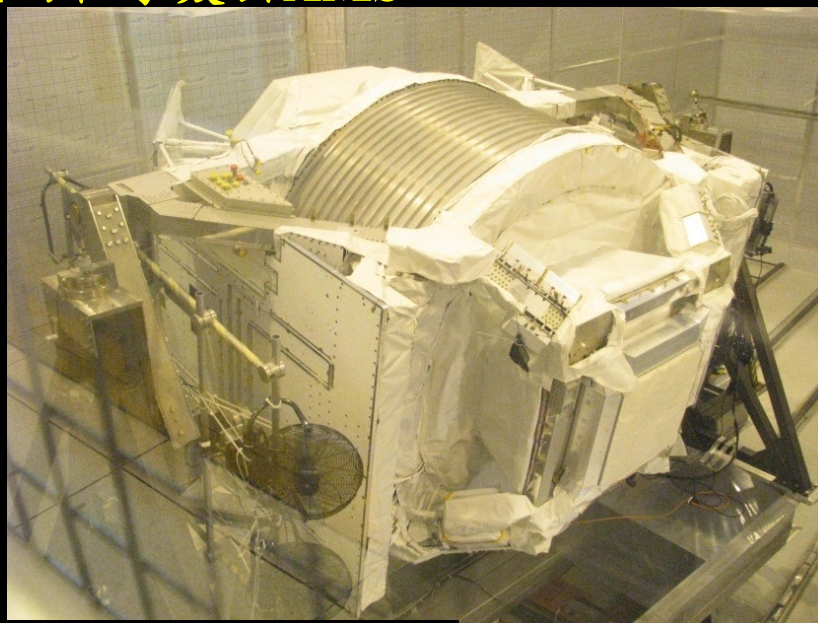
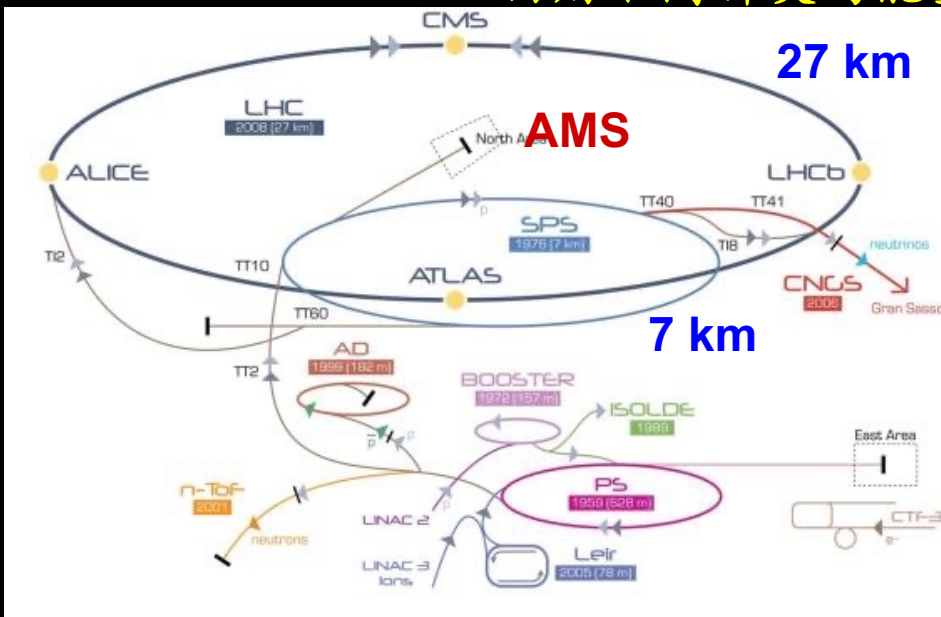
电荷、相对论速度





在欧洲核子中心 (CERN) 进行标定

利用不同种类与能量的粒子轰击AMS



宇宙线铍 (Be) 同位素测量

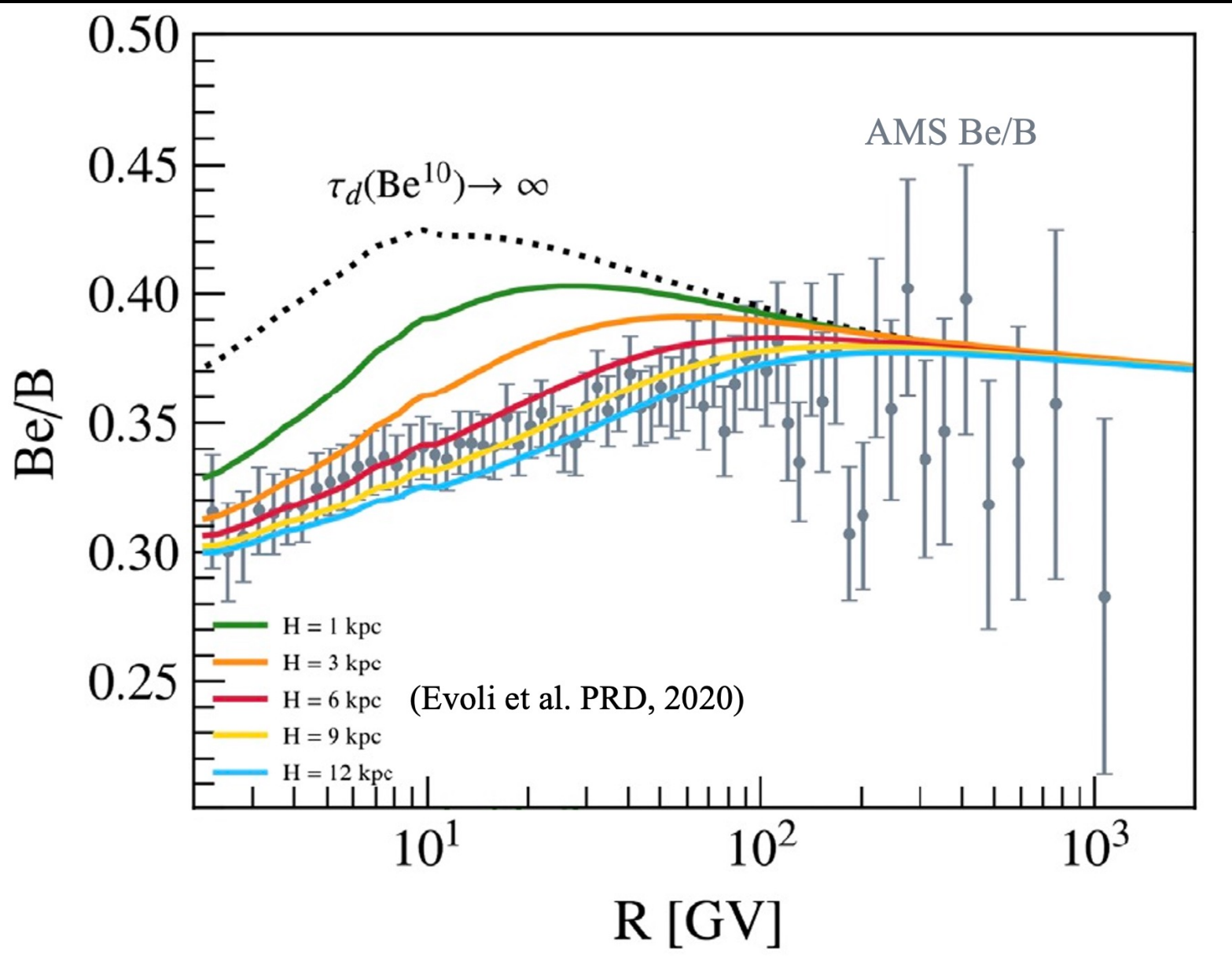
铍原子核是次级宇宙线，主要包含了三种同位素：
两种稳定同位素 ${}^7\text{Be}$ 、 ${}^9\text{Be}$ 以及不稳定同位素 ${}^{10}\text{Be}$ （半衰期 $\sim 1\text{ Myr}$ ）。

稳定同位素 ${}^9\text{Be}$ 整个银河系晕中传播，
而不稳定同位素 ${}^{10}\text{Be}$ 在到达银河系边界前大概率衰变成 ${}^{10}\text{B}$ 。

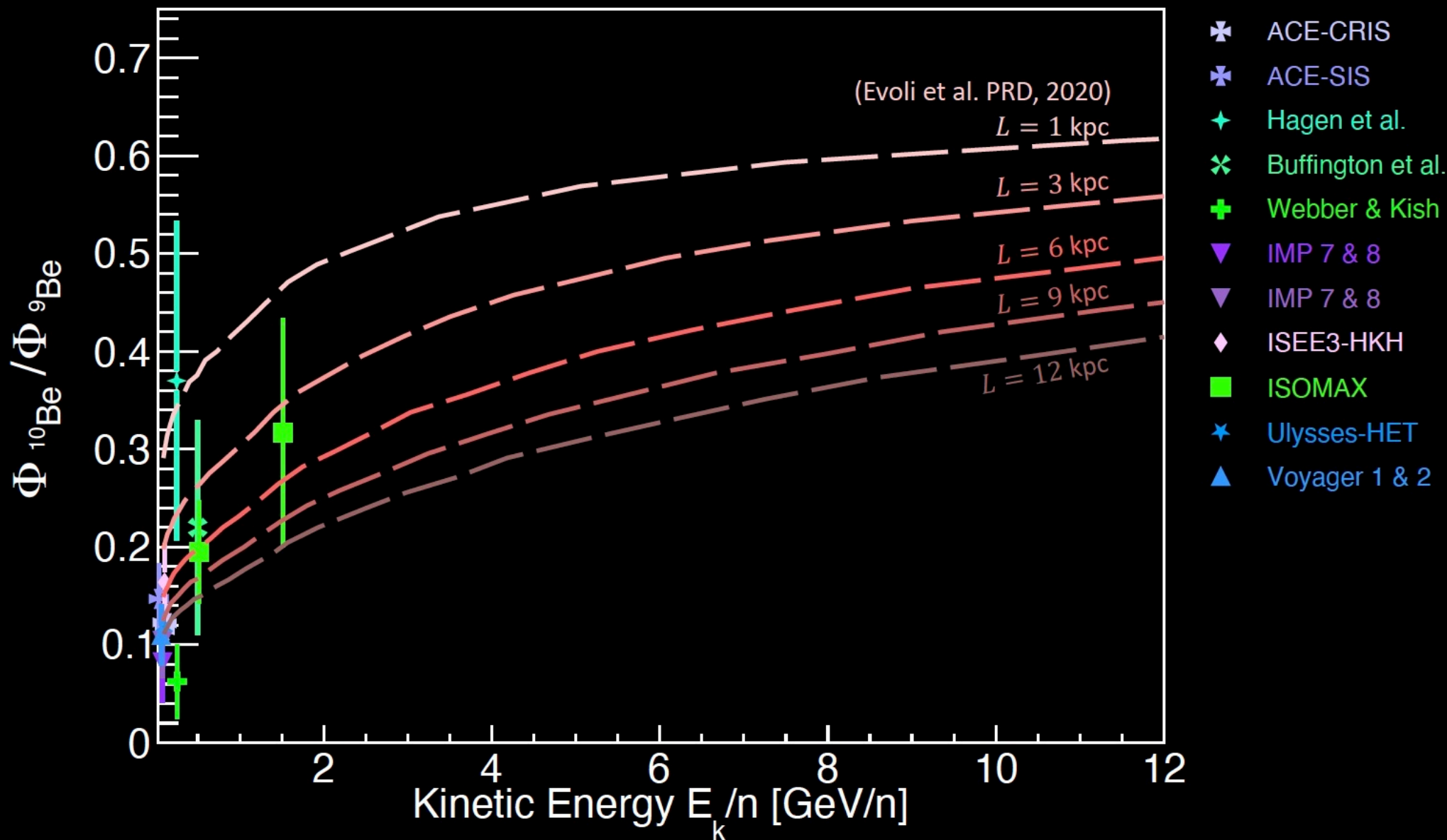


次级宇宙线比 ${}^{10}\text{Be}/{}^9\text{Be}$ 反应了银河系晕的大小 L .
 L 确定了银河宇宙线传播范围的大小，即宇宙线年龄。

AMS Be/B能谱比

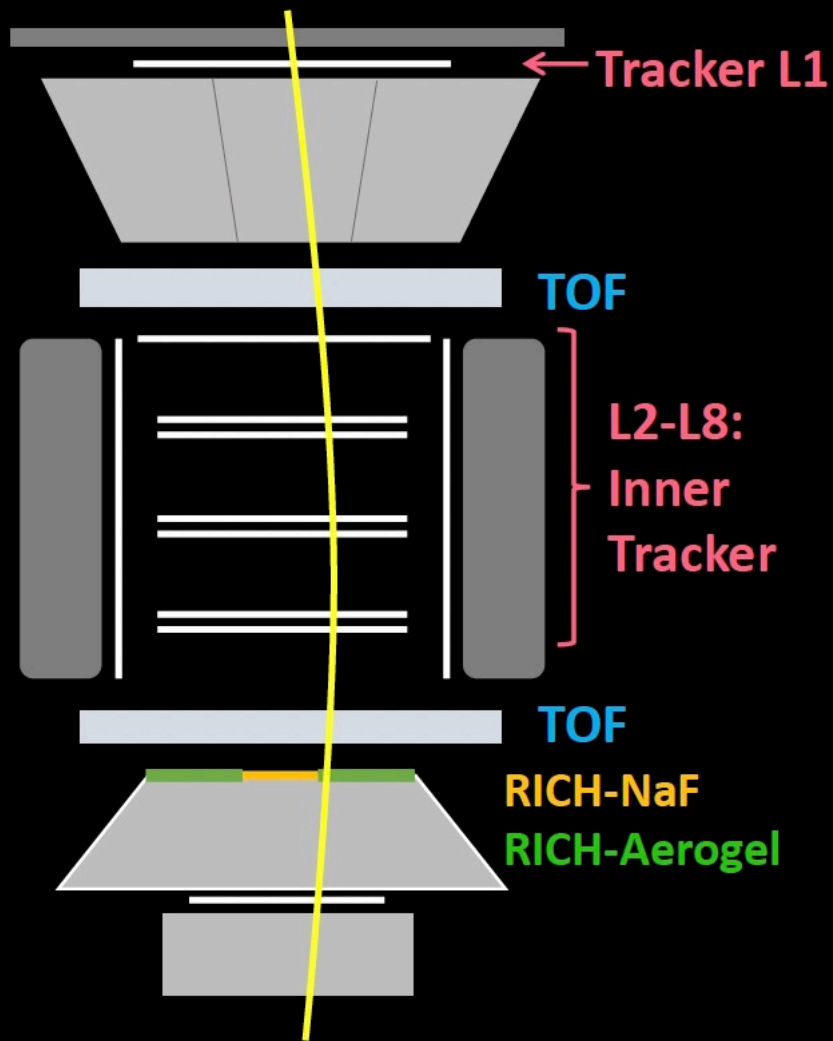


现有宇宙线 $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ 流强比测量结果



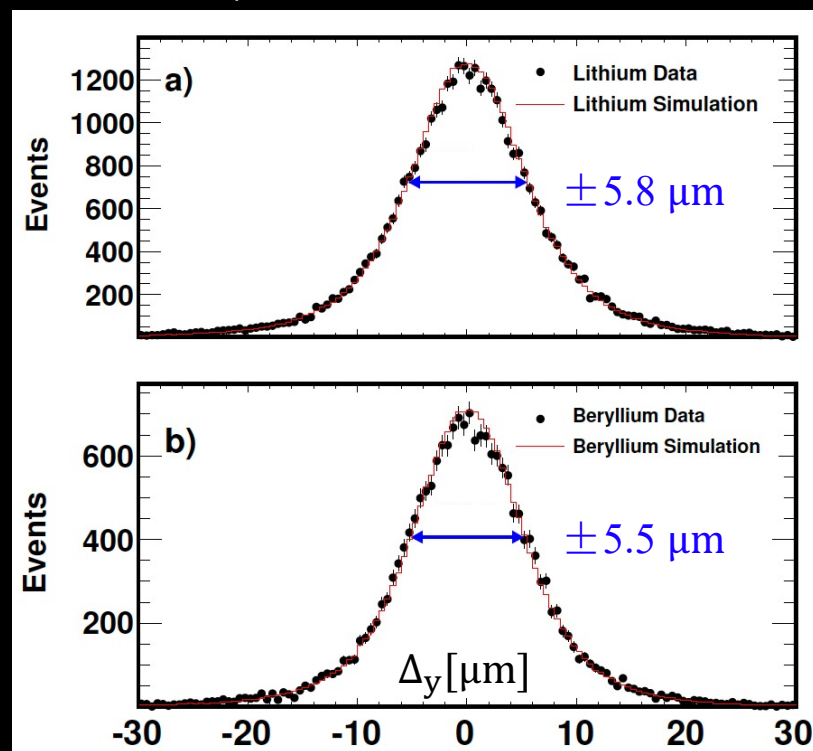
利用AMS-02测量宇宙线同位素

AMS可以在12 GeV/n的范围内测量宇宙线铍同位素



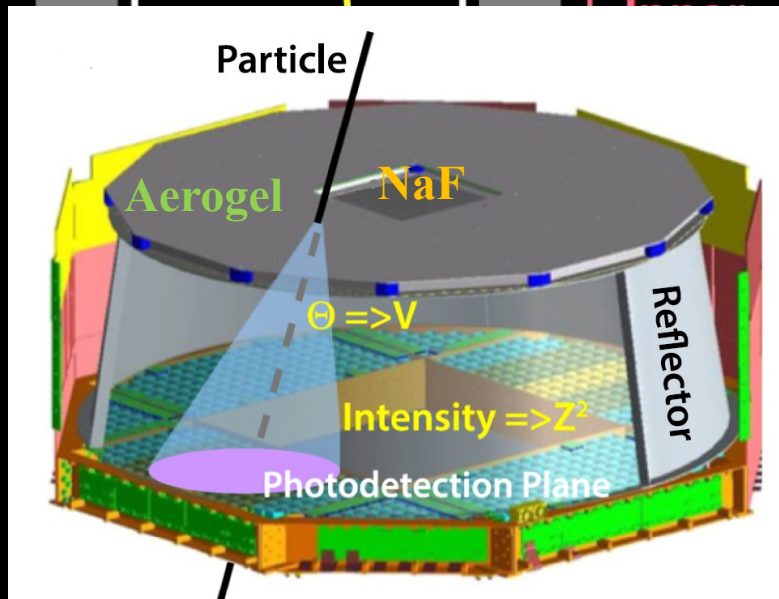
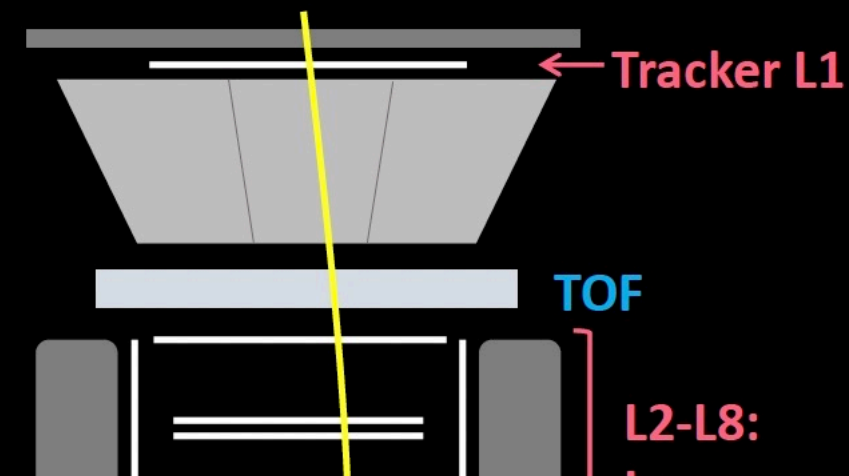
- AMS质量分辨由粒子刚度 ($R = P/Z$) 和相对论速度 (β) 决定:

$$\frac{\Delta M}{M} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{1 - \beta^2} \frac{\Delta \beta}{\beta}\right)^2}$$



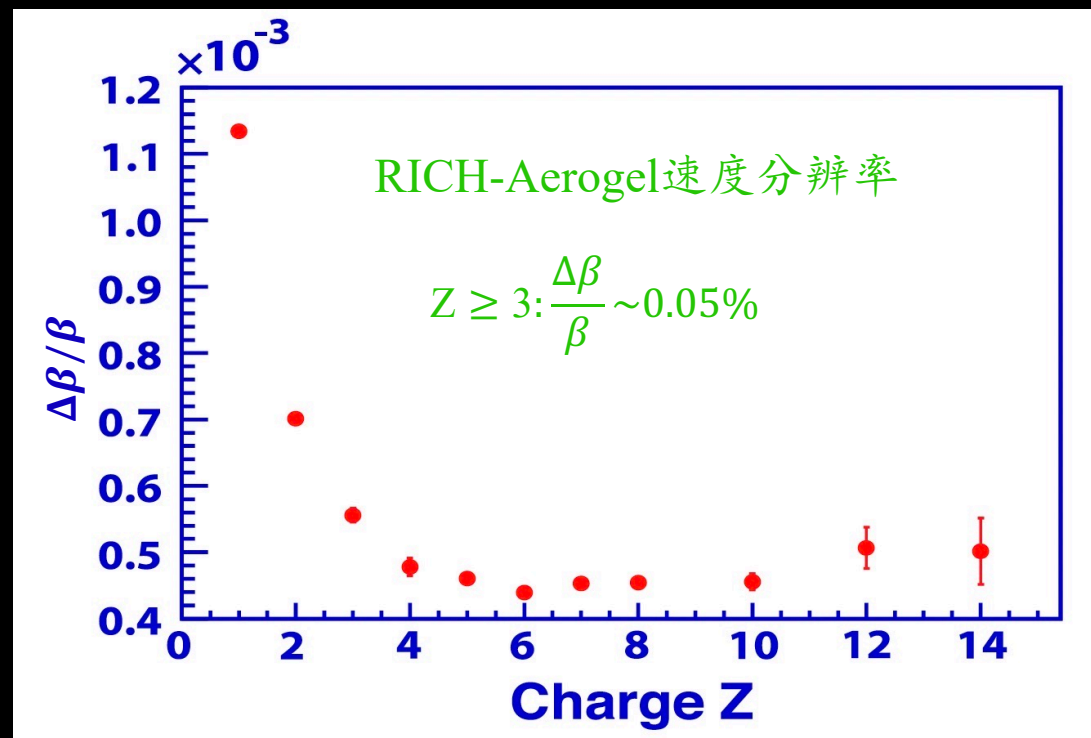
利用AMS-02测量宇宙线同位素

AMS可以在12 GeV/n的范围内测量宇宙线铍同位素

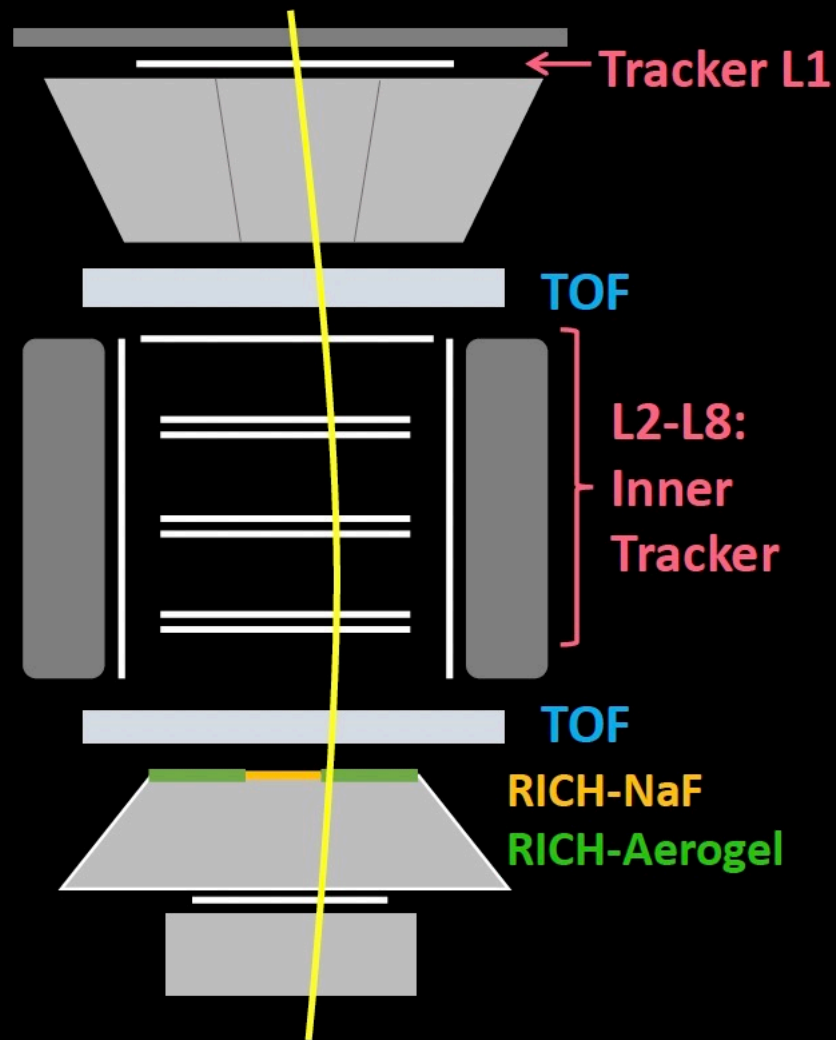


- AMS质量分辨由粒子刚度 ($R = P/Z$) 和相对论速度 (β) 决定:

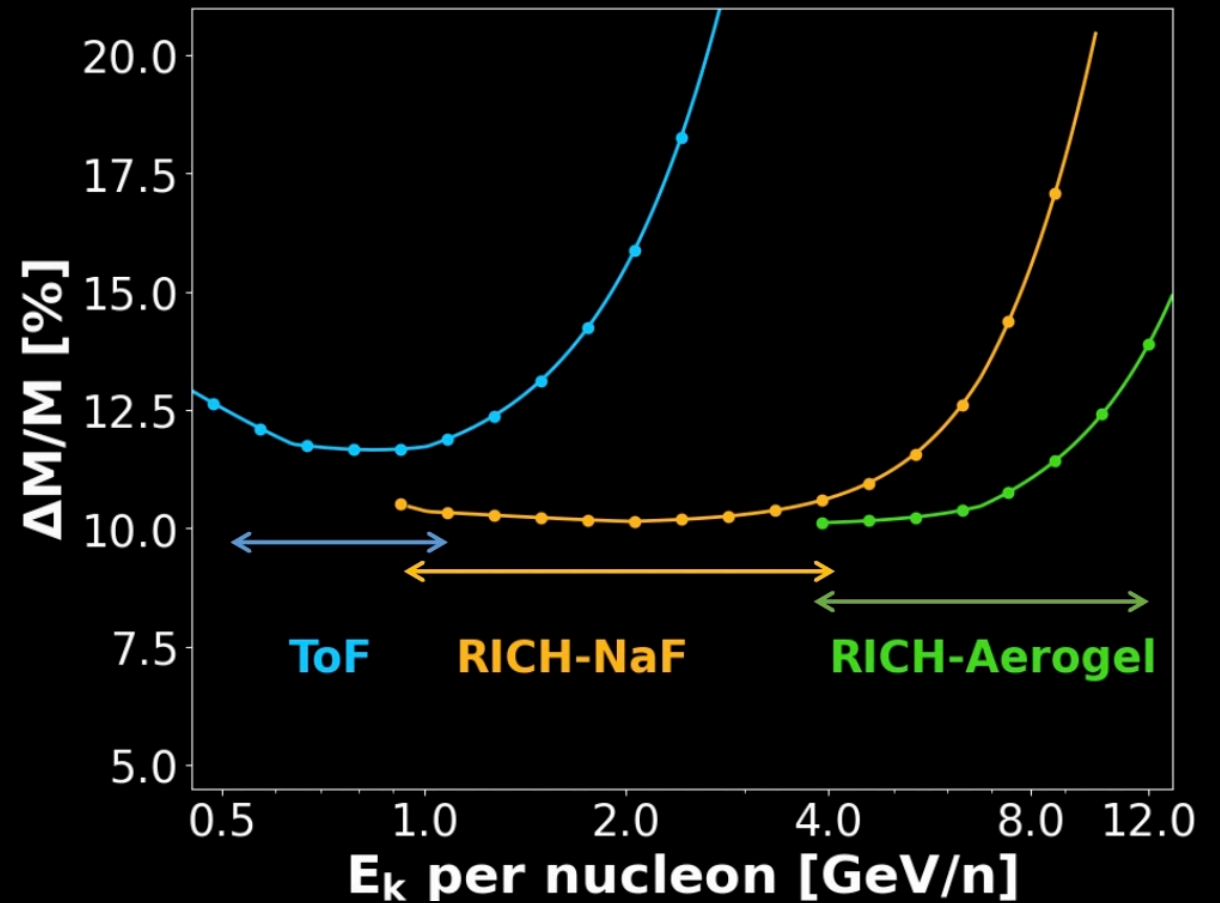
$$\frac{\Delta M}{M} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{1 - \beta^2} \frac{\Delta \beta}{\beta}\right)^2}$$



利用AMS-02测量宇宙线同位素

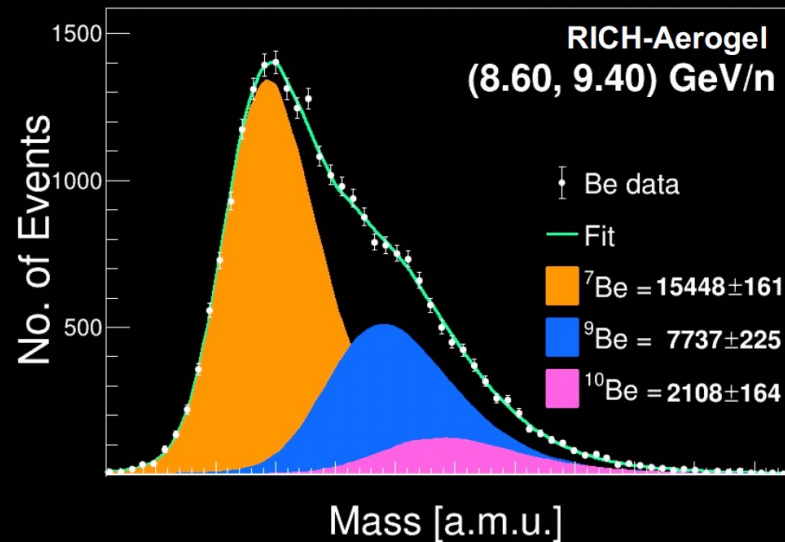
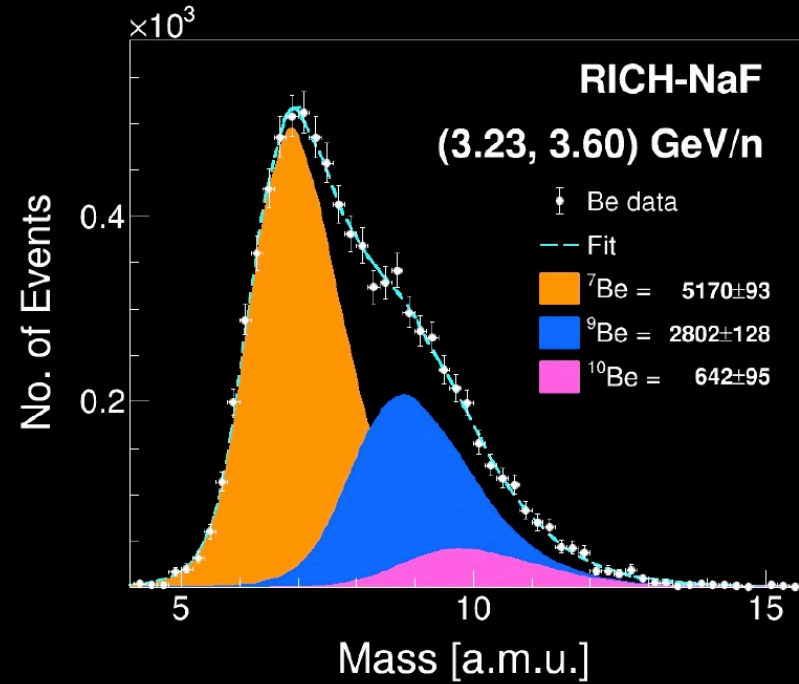
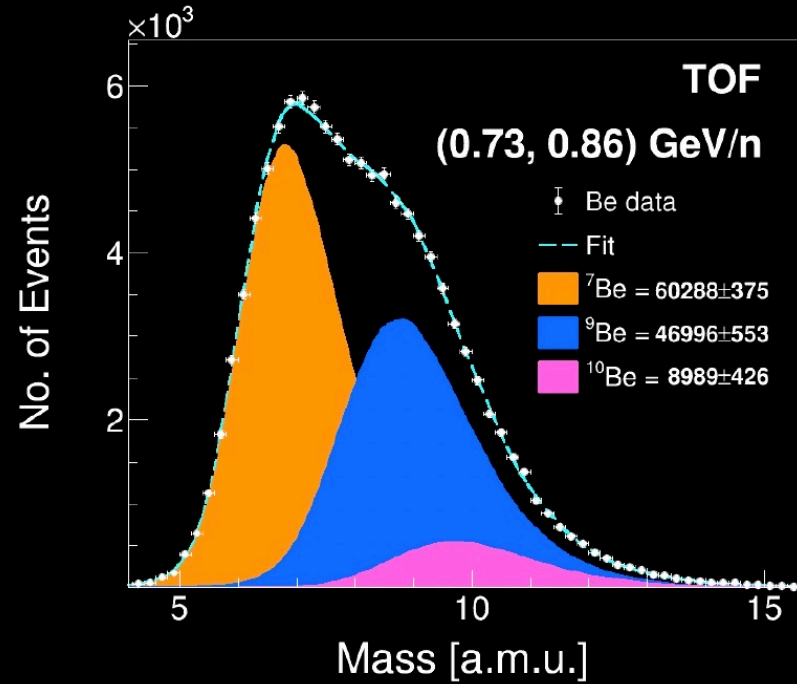


铍质量分辨率



利用质量模板拟合方法获得同位素组分

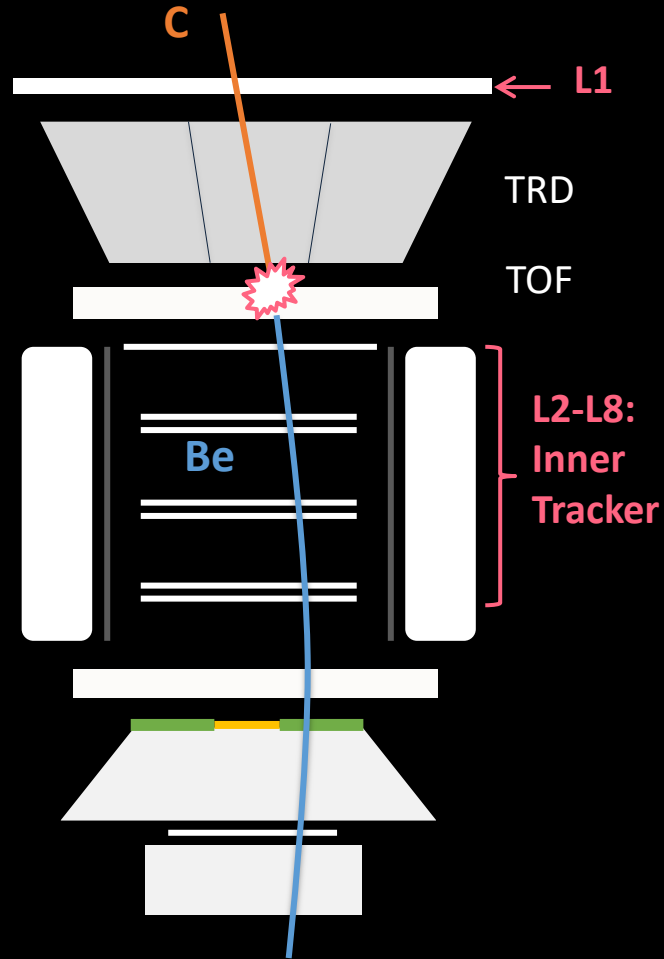
利用质量模板拟合获得同位素组分



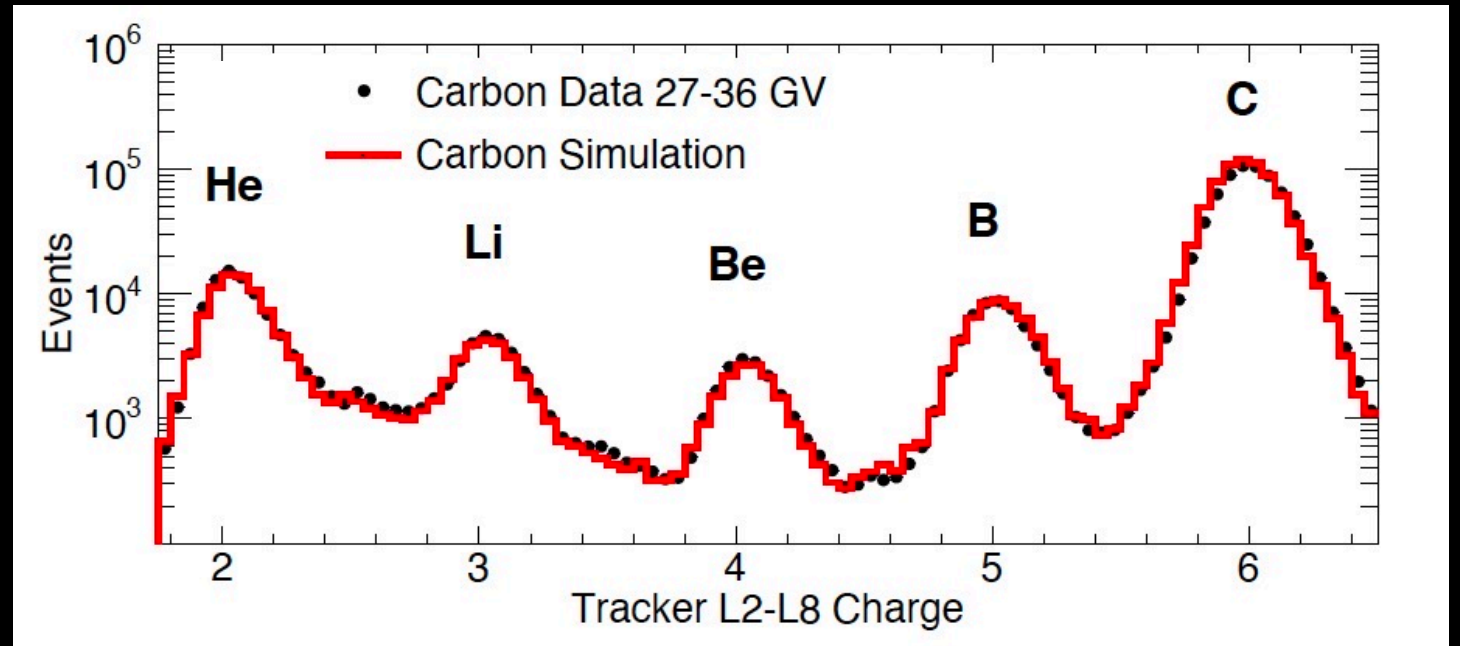
对不同能量范围内的质量分布进行拟合。

为了获得同位素能谱，还需要扣除核碎裂本底并修正事例迁移效应。

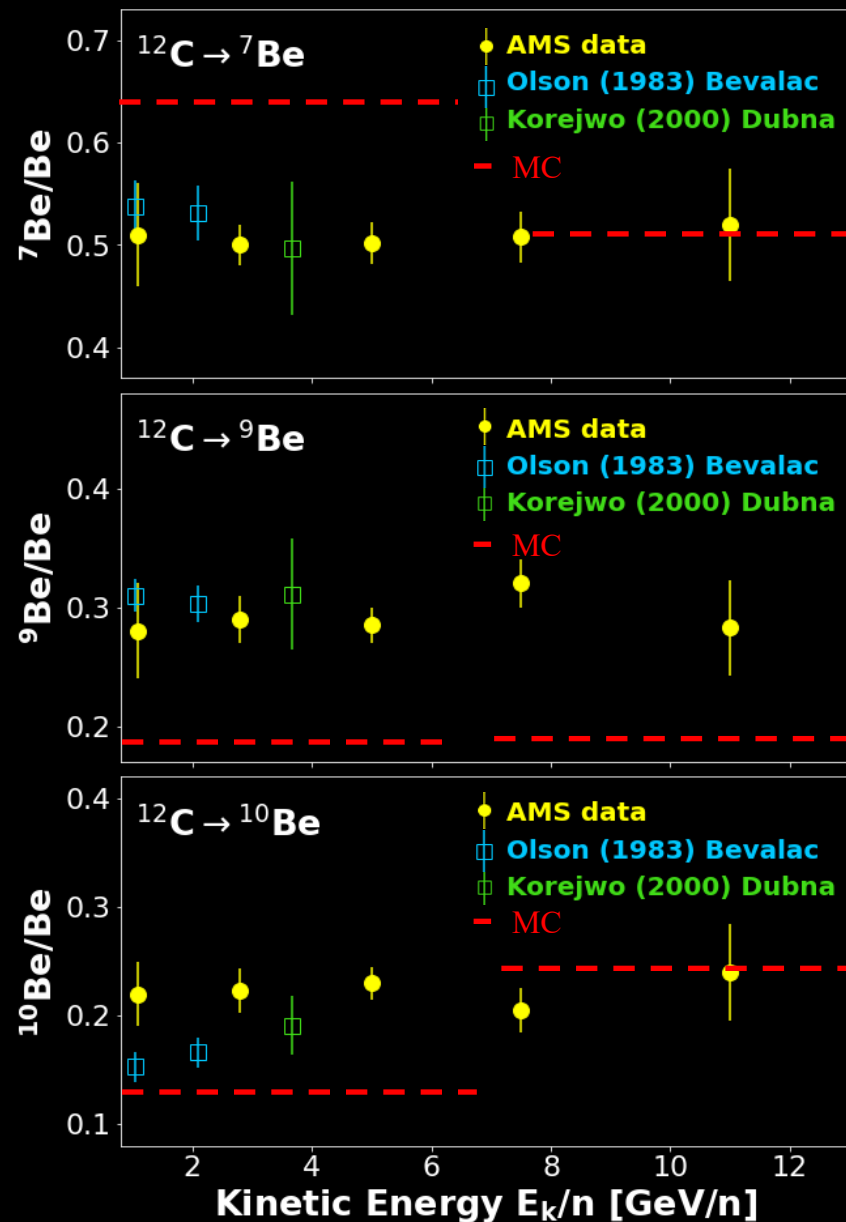
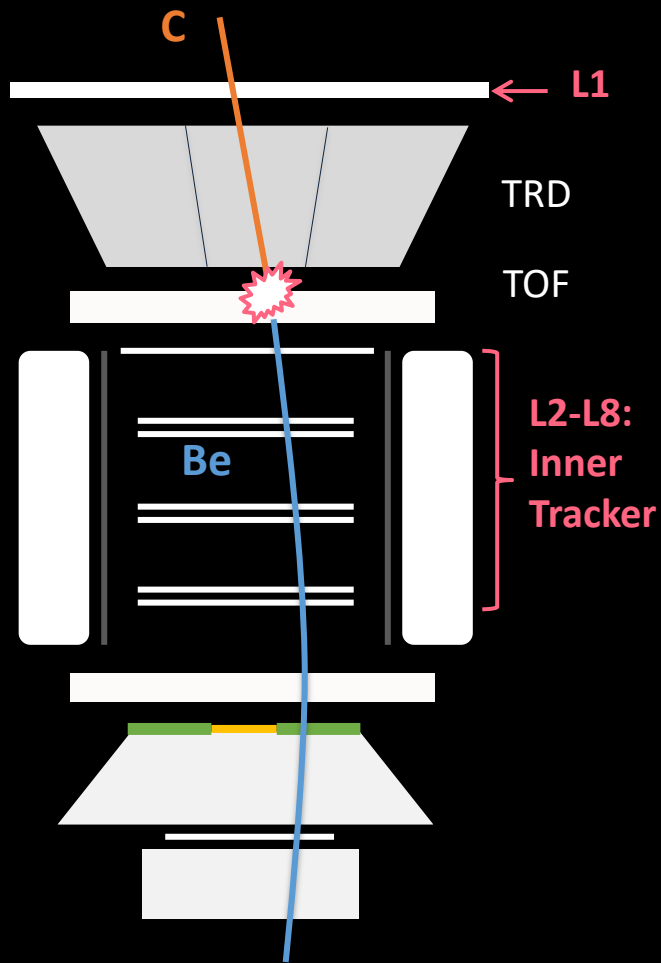
利用AMS修正核碎裂截面



利用Tracker L1筛选入射粒子，将TRD+Upper TOF作为靶物质，利用高电荷分辨的Inner Tracker区分产物

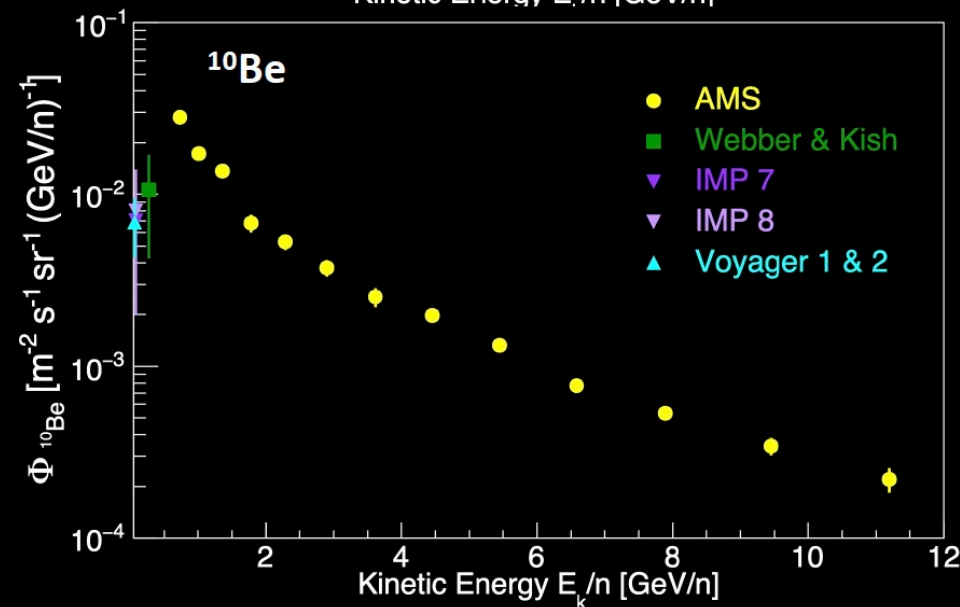
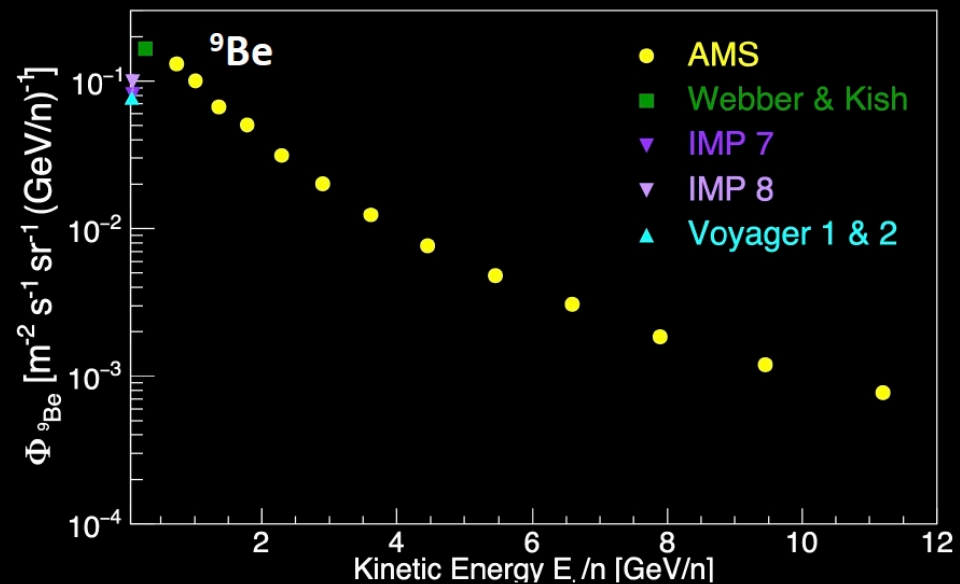
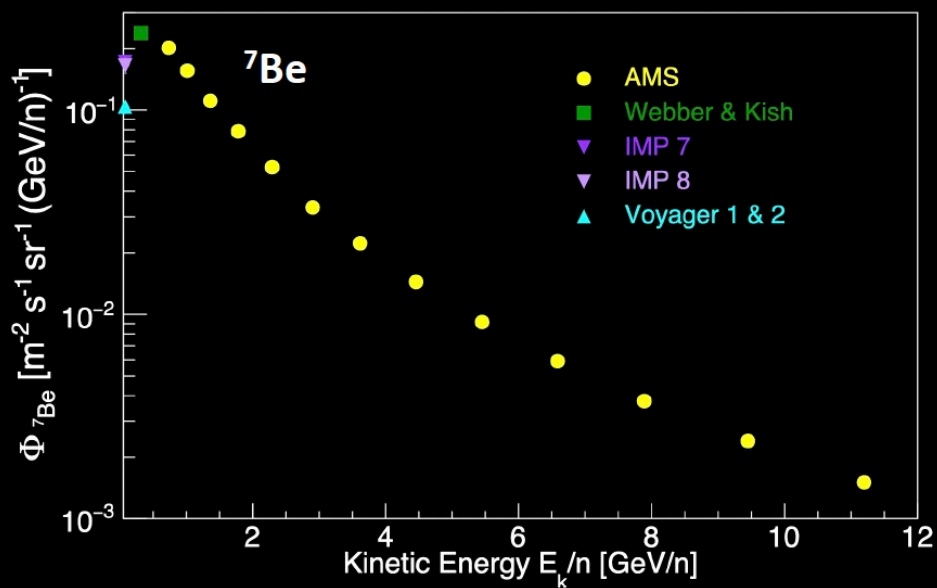


利用AMS修正核碎裂分支比



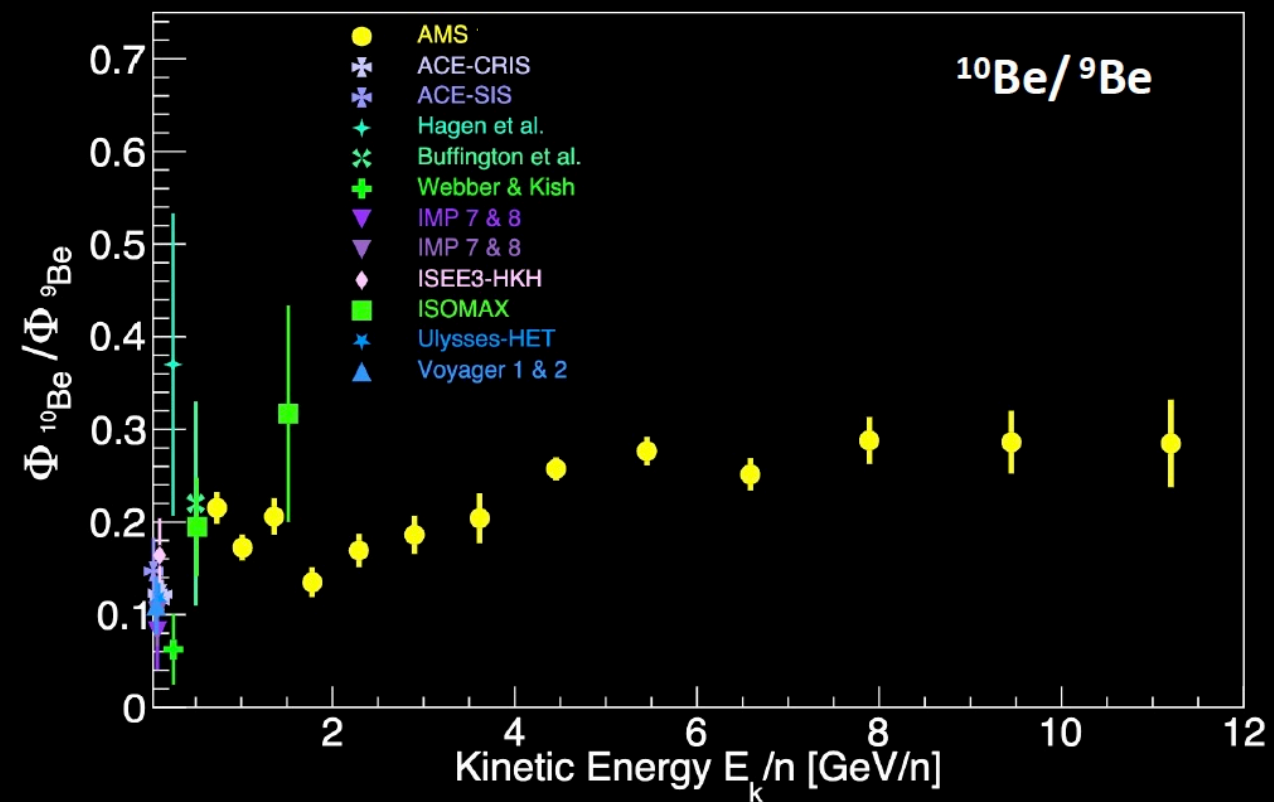
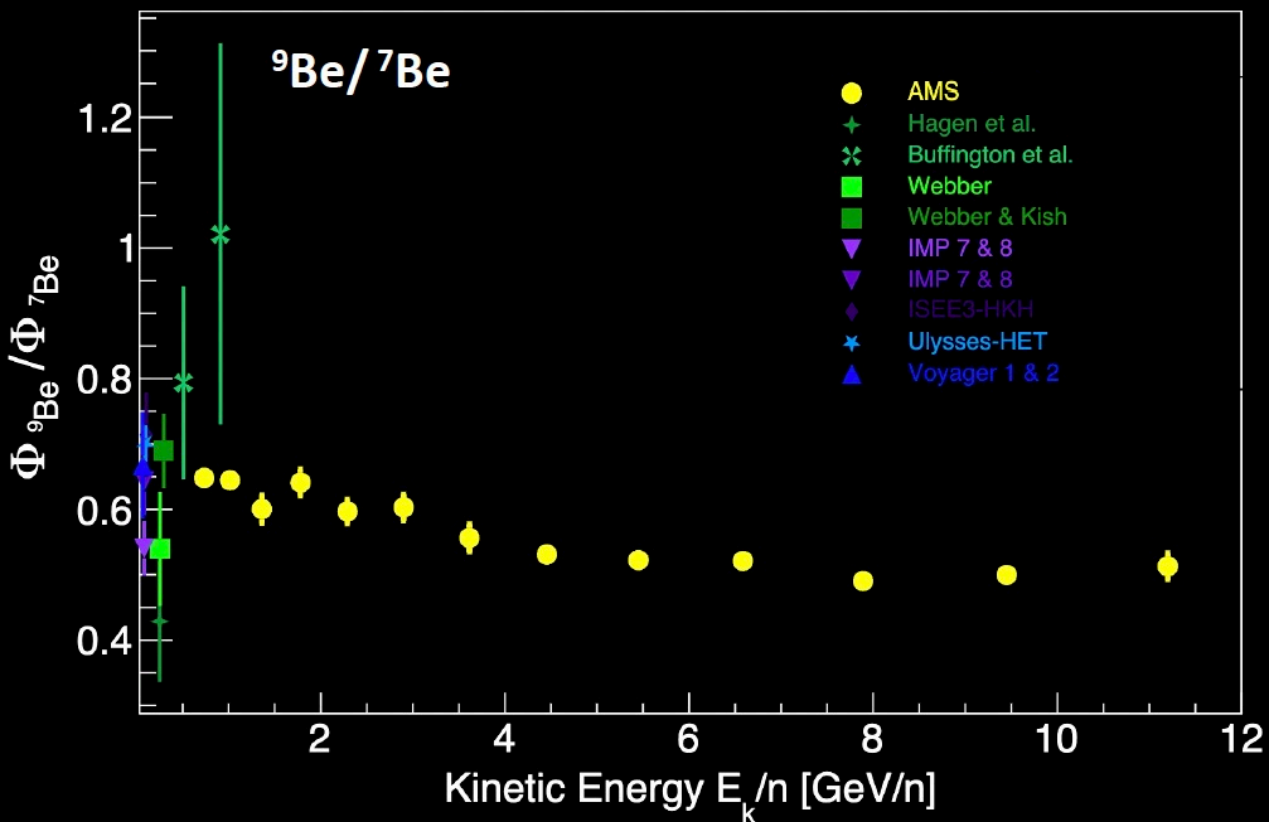
AMS宇宙线铍同位素能谱

基于 0.7×10^6 个宇宙线铍原子核事例。



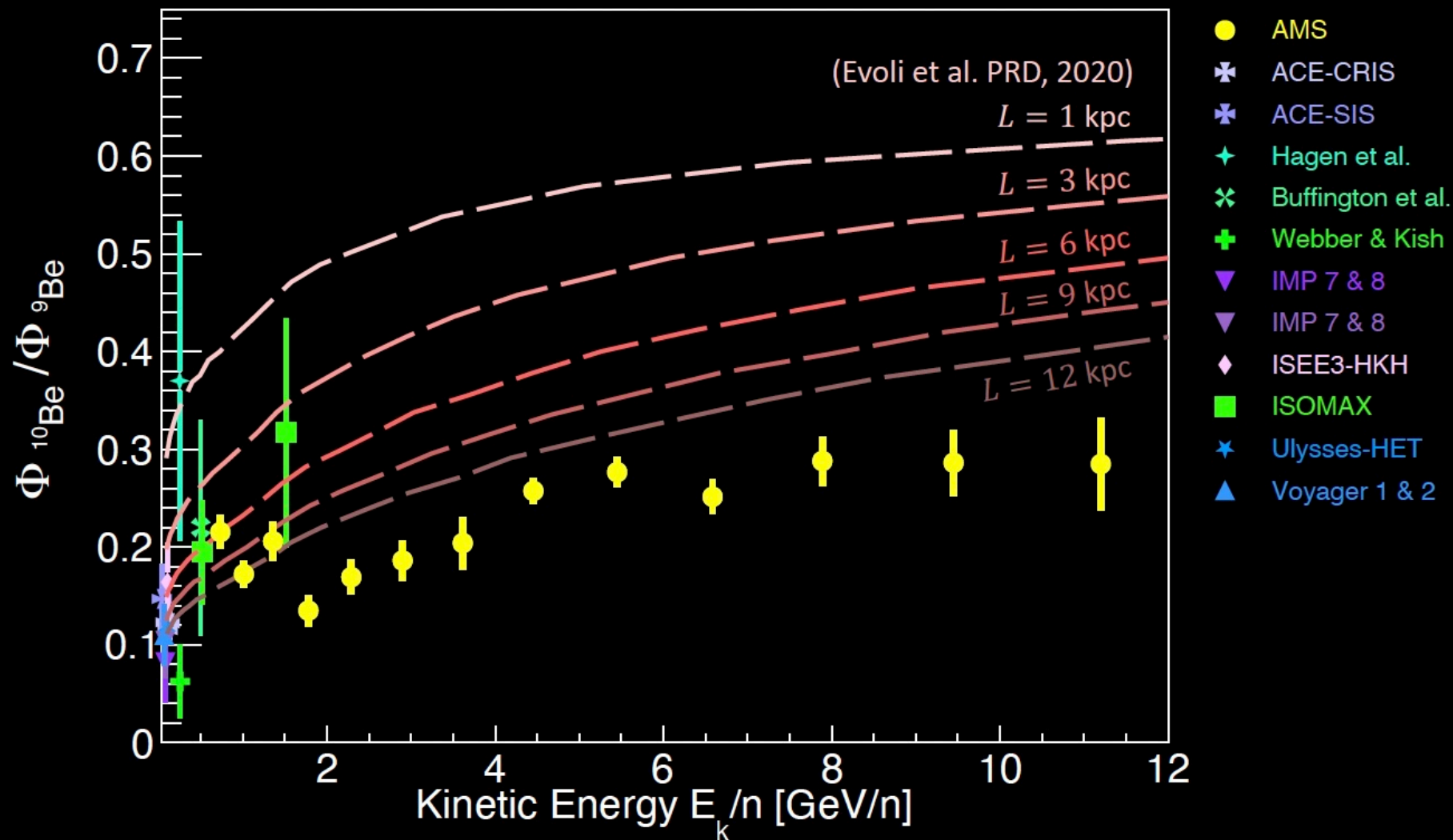
(Preliminary data, please refer to AMS upcoming publications)

AMS宇宙线铍同位素能谱比



(Preliminary data, please refer to AMS upcoming publications)

AMS $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ 能谱比测量结果

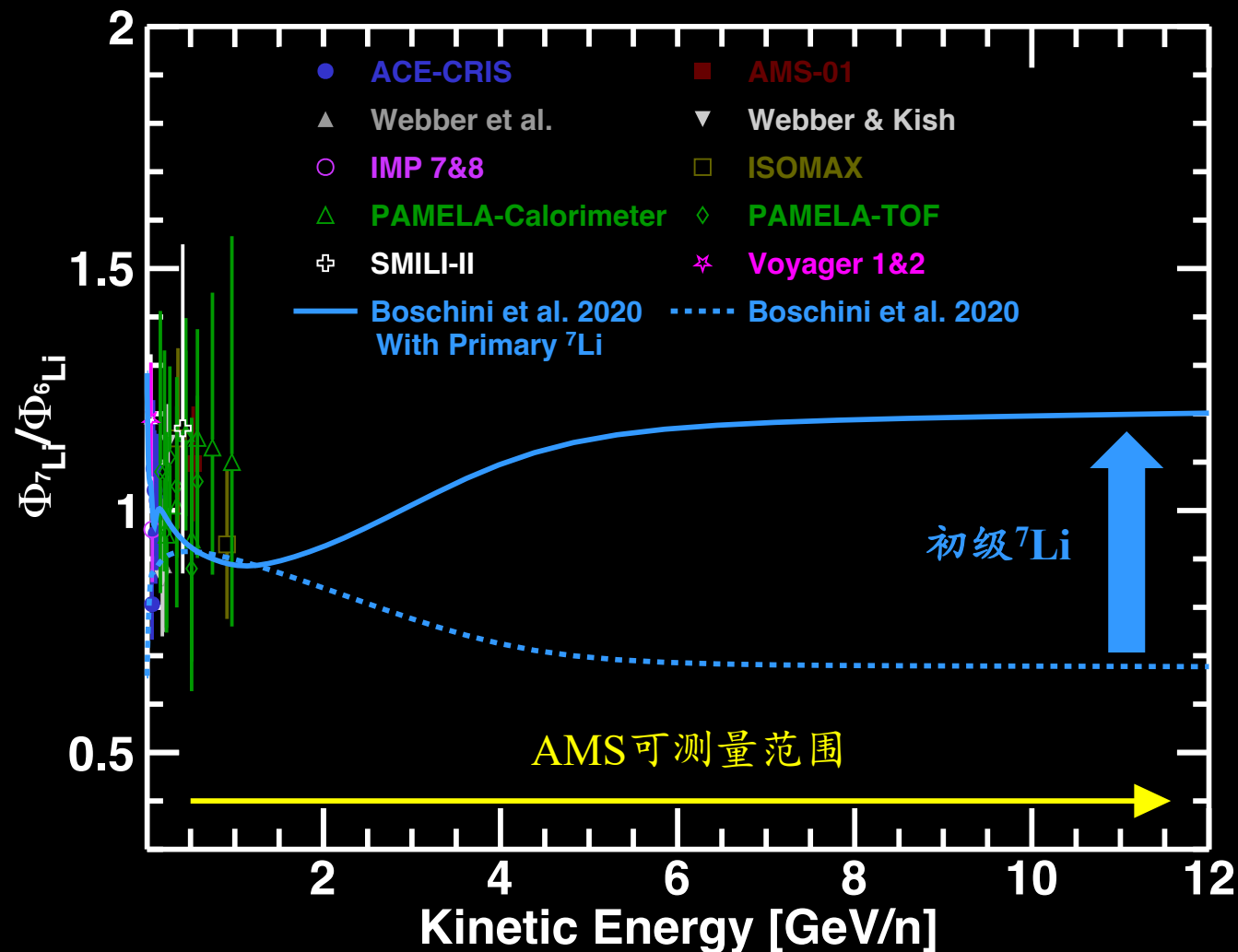


(Preliminary data, please refer to AMS upcoming publications)

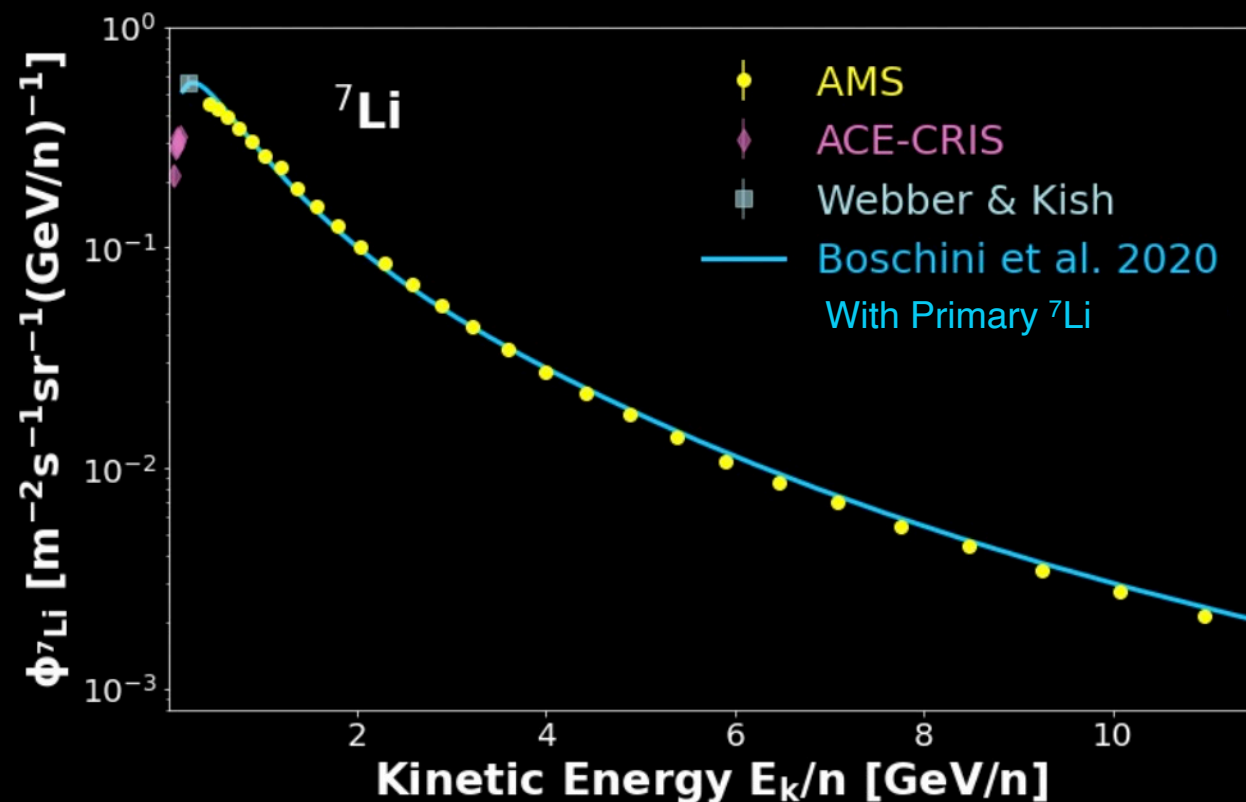
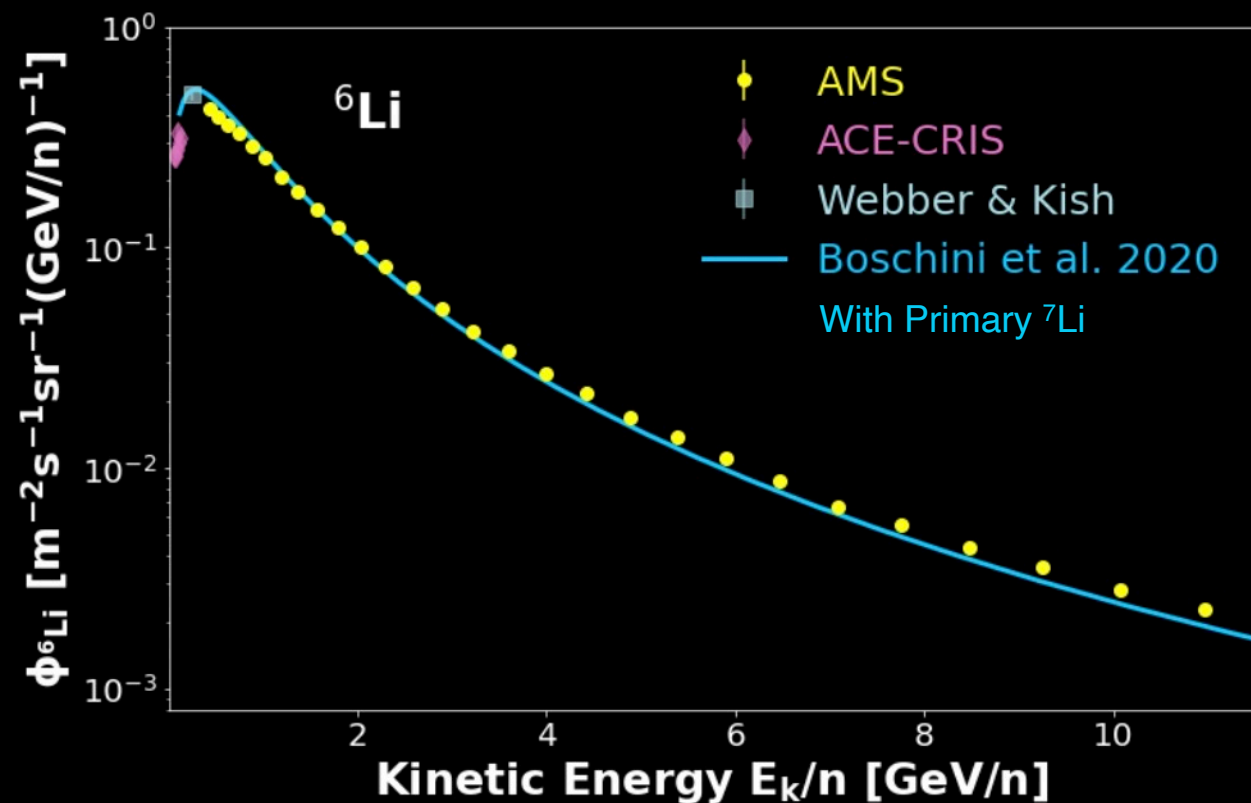
AMS同位素测量结果不满足现有模型对于银河系晕大小的预测。

宇宙线锂 (Li) 同位素测量

- 宇宙线锂元素普遍被认为属于次级宇宙线。
- 部分研究发现，AMS的宇宙线锂原子核能谱测量结果高于模型预测：
 - 存在初级锂 (${}^7\text{Li}$) ?
(Boschini et al. APJ, 2020)
 - 原子核产生截面的不确定性?
(Weinrich et al. A&A, 2020)
(Maurin et al. A&A, 2022)
- 对于宇宙线锂同位素的精确测量将为解答锂元素起源提供独特的视角。

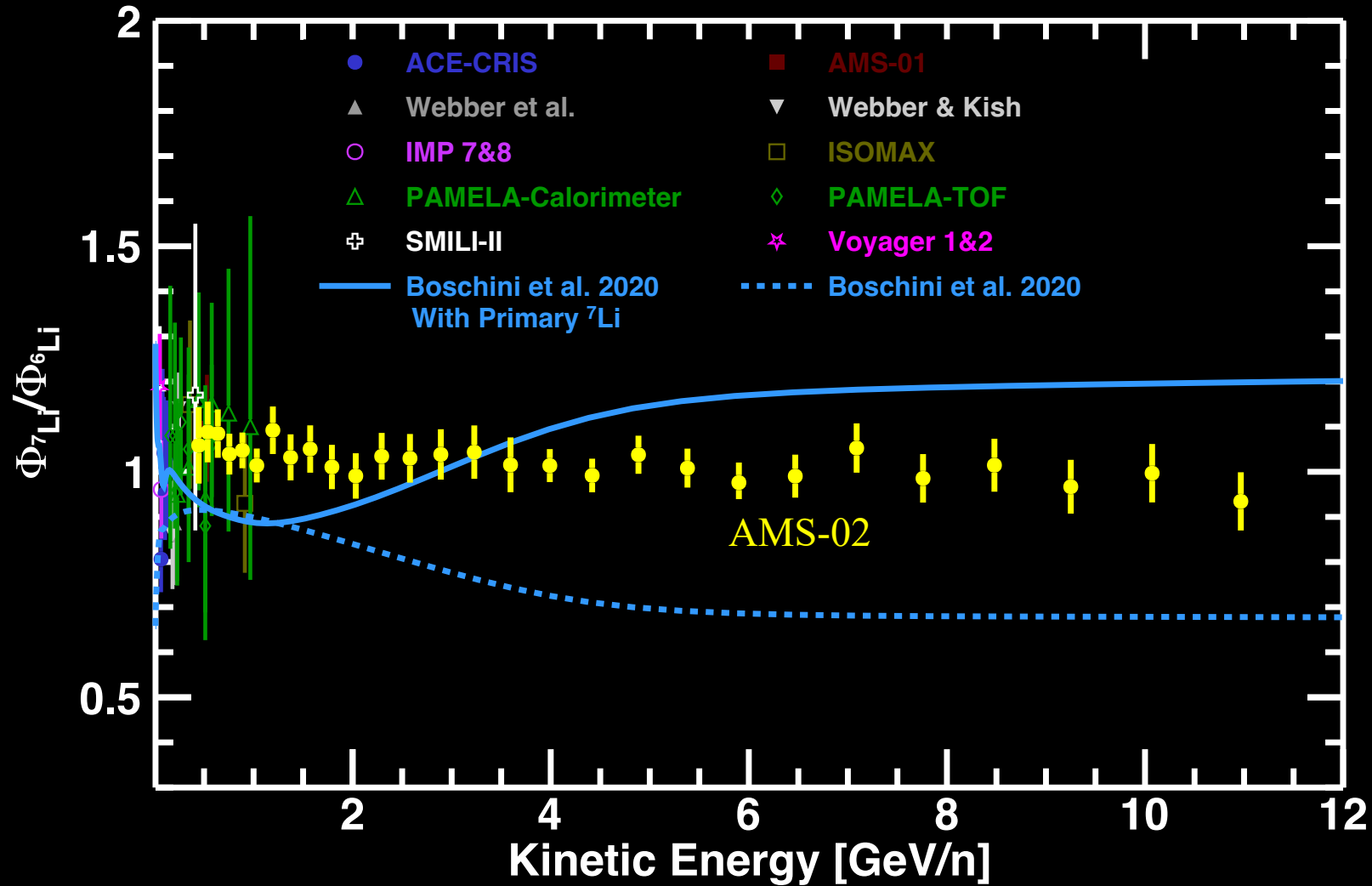


AMS宇宙线锂同位素能谱



(Preliminary data, please refer to AMS upcoming publications)

AMS宇宙线锂同位素能谱比



(Preliminary data, please refer to AMS upcoming publications)

AMS锂同位素测量结果不符合基于存在初级 ^7Li 的模型预测。

总结

- AMS-02在[0.4, 12] GeV/n的能量范围内精确测量了宇宙线锂、铍同位素能谱。
- 锂同位素能谱测量结果不满足存在初级 ${}^7\text{Li}$ 组分的模型预测。
- 铍同位素能谱测量结果不符合现有模型预测，为了解释 ${}^{10}\text{Be}/{}^9\text{Be}$ ，需要对计算银河系晕大小 L 的模型进行修正。

谢谢！