

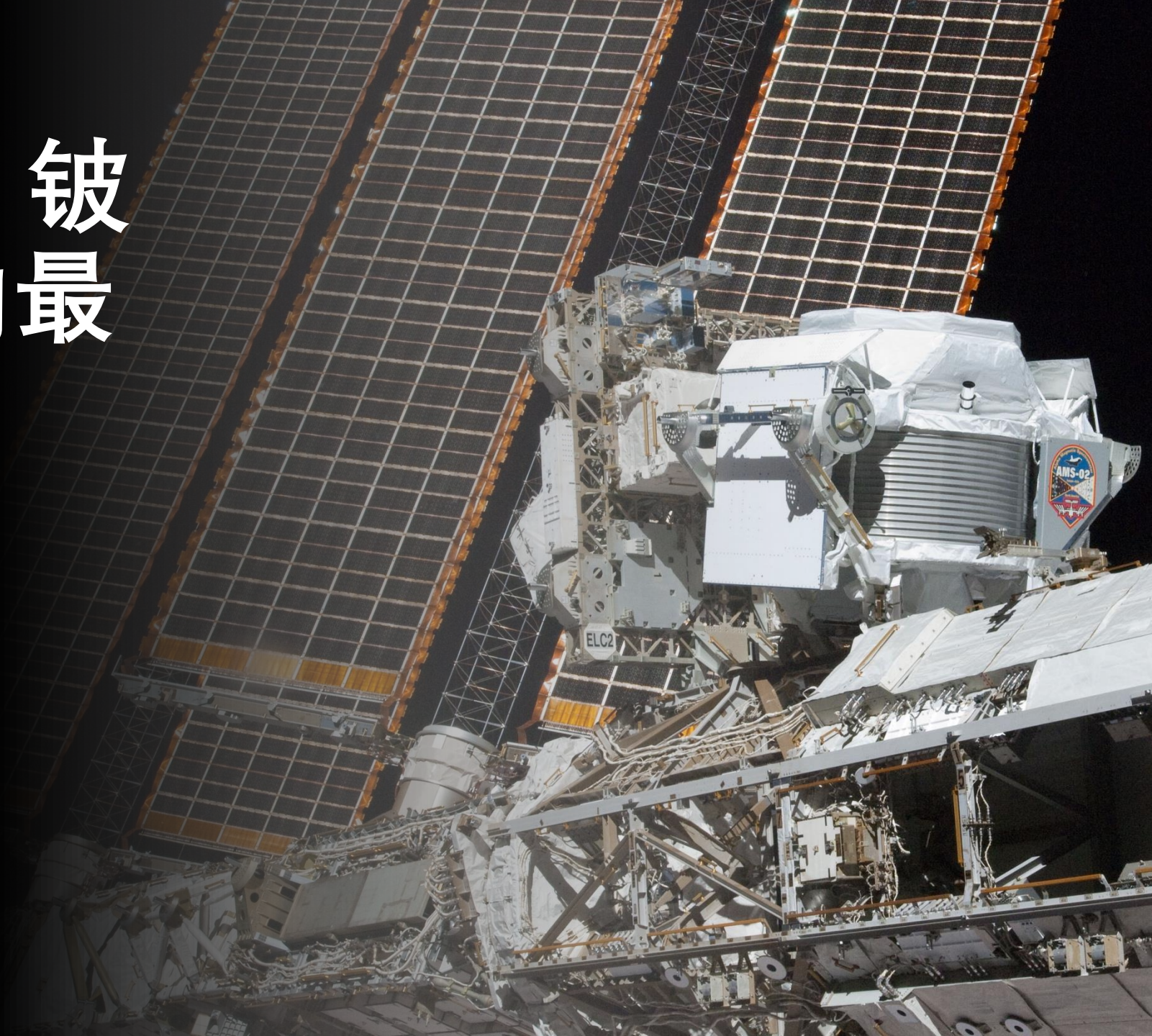
# AMS实验锂、铍 同位素测量的最新结果

魏嘉辉

山东高等技术研究院

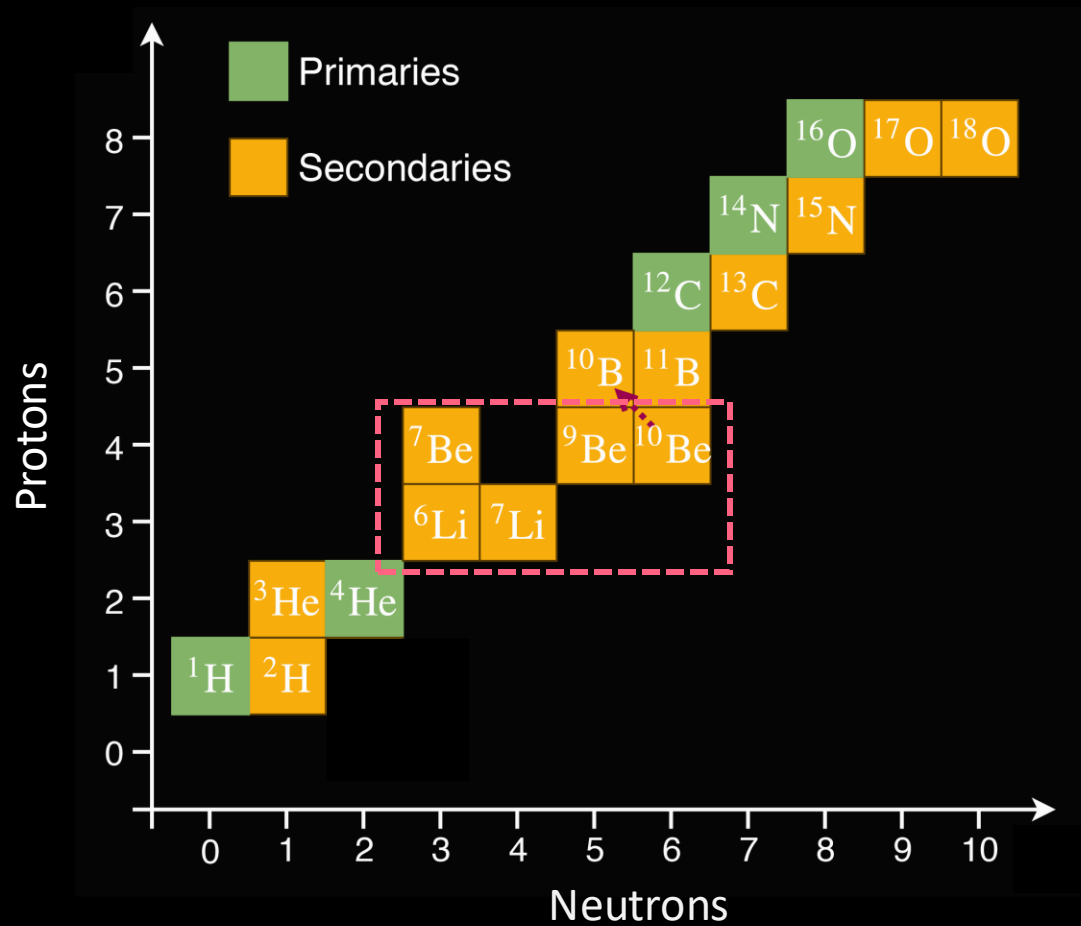
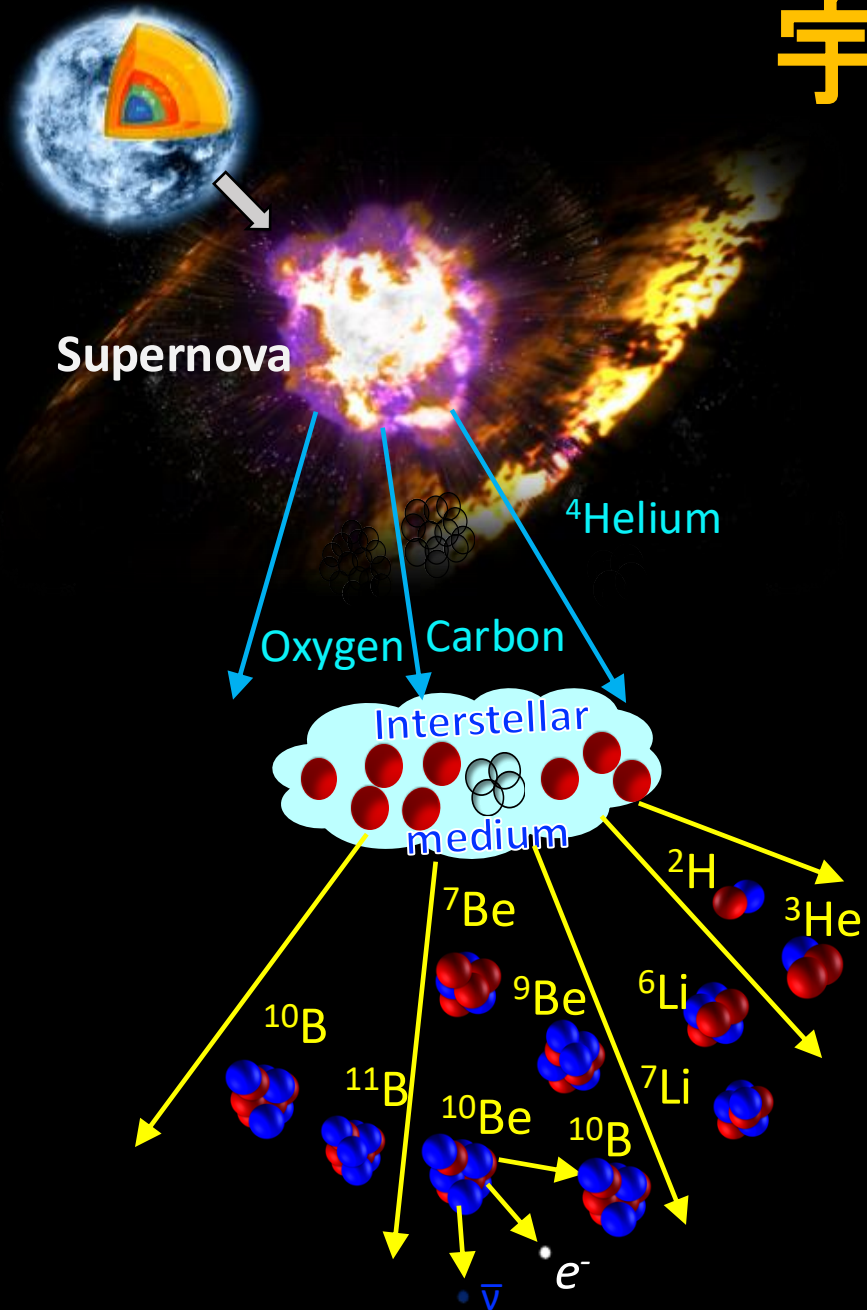
2024年8月15日

中国物理学会高能物理分会第  
十四届全国粒子物理学术会议





# 宇宙线同位素

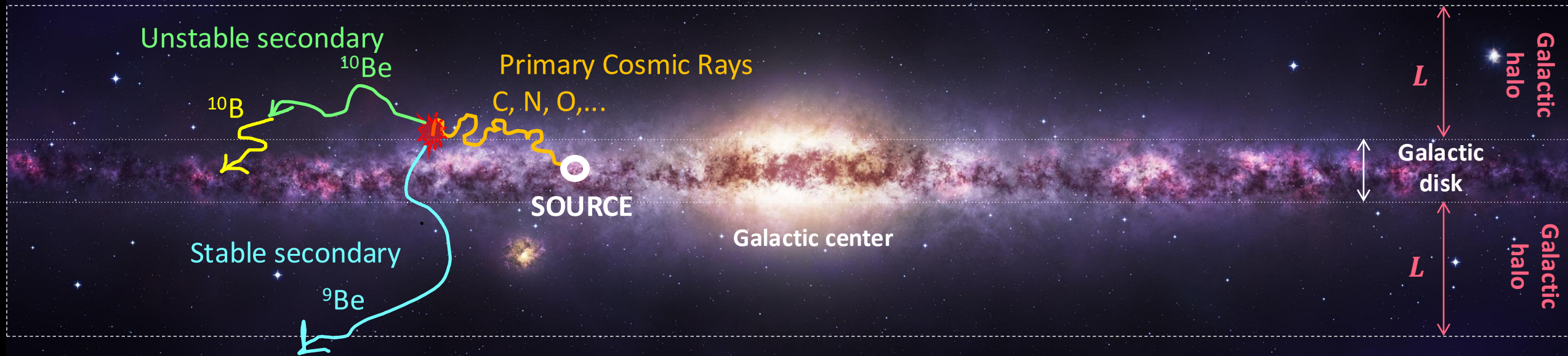


# 宇宙线铍同位素

铍原子核属于次级宇宙线

包含三种同位素：稳定的  ${}^7\text{Be}$  和  ${}^9\text{Be}$  以及放射性同位素  ${}^{10}\text{Be}$ 。

${}^9\text{Be}$  这类稳定的同位素可以在整个银河系晕 (Galactic Halo) 中传播  
一部分不稳定的  ${}^{10}\text{Be}$  则将在逃离束缚前衰变为  ${}^{10}\text{B}$



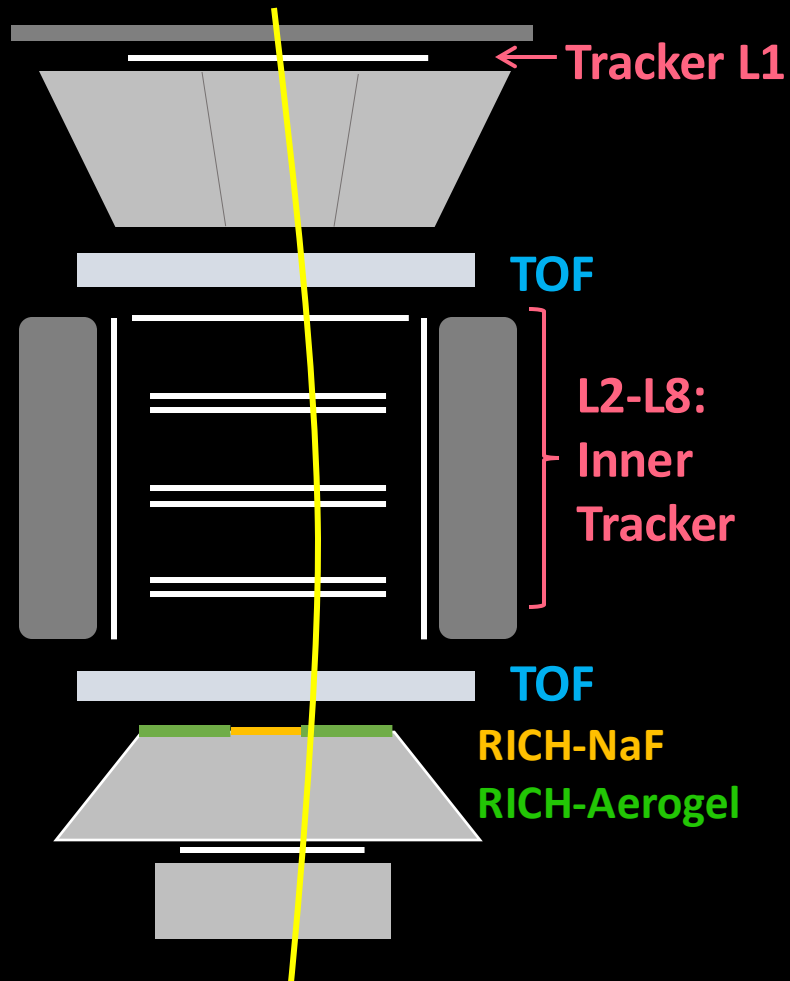
因此通过稳定/不稳定的宇宙线同位素比例  ${}^{10}\text{Be}/{}^9\text{Be}$  可以测量银河系晕的大小  $L$ 。

$L$  决定了银河系宇宙线的传播年龄。

# AMS-02之前的 $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ 流强测量



# 基于AMS-02探测器的同位素测量



- AMS 的质量分辨率由对磁刚度 ( $R = P/Z$ ) 和速度( $\beta$ ) 测量的分辨率决定:

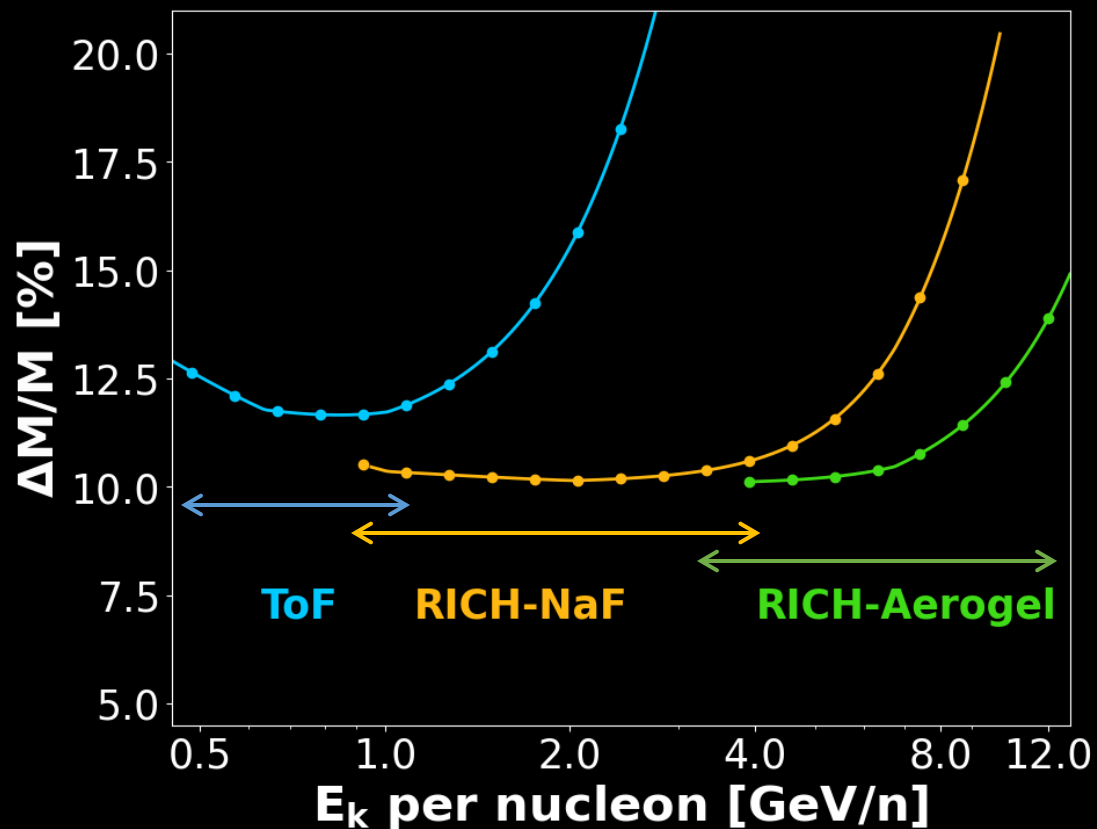
$$\frac{\Delta M}{M} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{1 - \beta^2} \cdot \frac{\Delta \beta}{\beta}\right)^2}$$

- 磁刚度  $R$  测量:
  - 径迹探测器 Tracker,  $\Delta R/R \sim 10\%$  (<20 GV)
- 速度  $\beta$  测量:

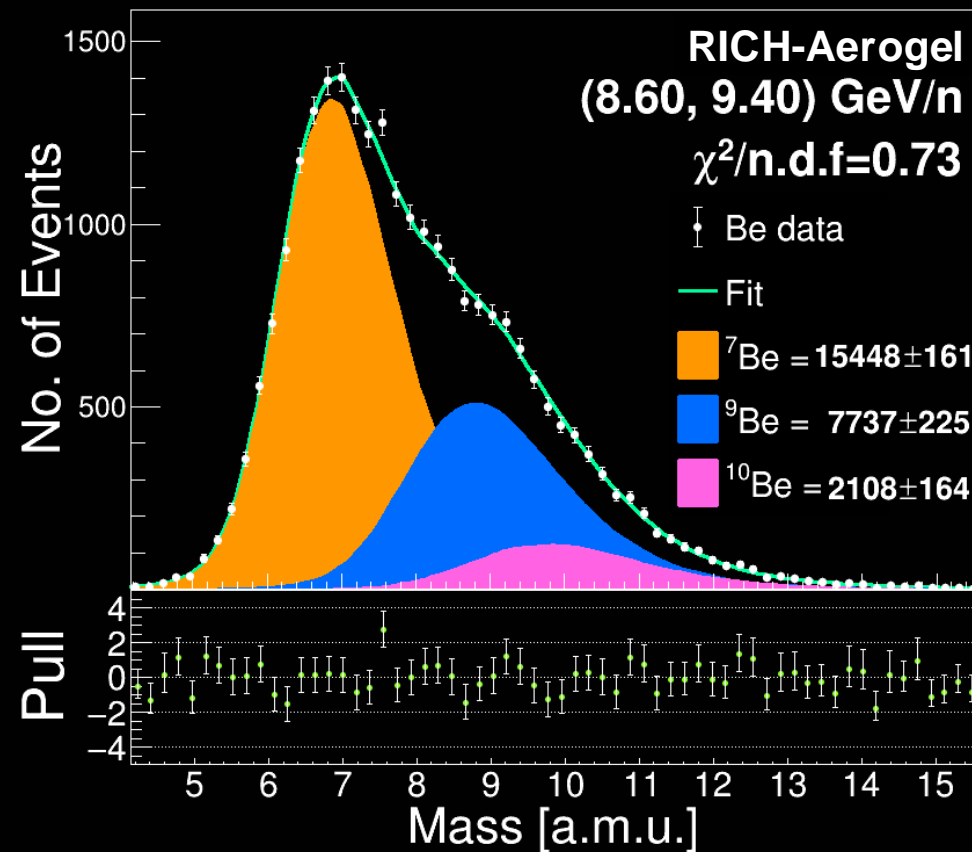
	$E_k/n$ range (GeV/n)	$\Delta\beta/\beta$
TOF	(0.4, 1.2)	$\sim 1.5\%$
RICH-NaF	(0.8, 4.0)	$\sim 0.15\%$
RICH-Aerogel	(3.0, 12)	$\sim 0.05\%$

# 基于AMS-02探测器的同位素测量

## 对 Z=4 粒子的质量分辨率



## 质量模板拟合范例

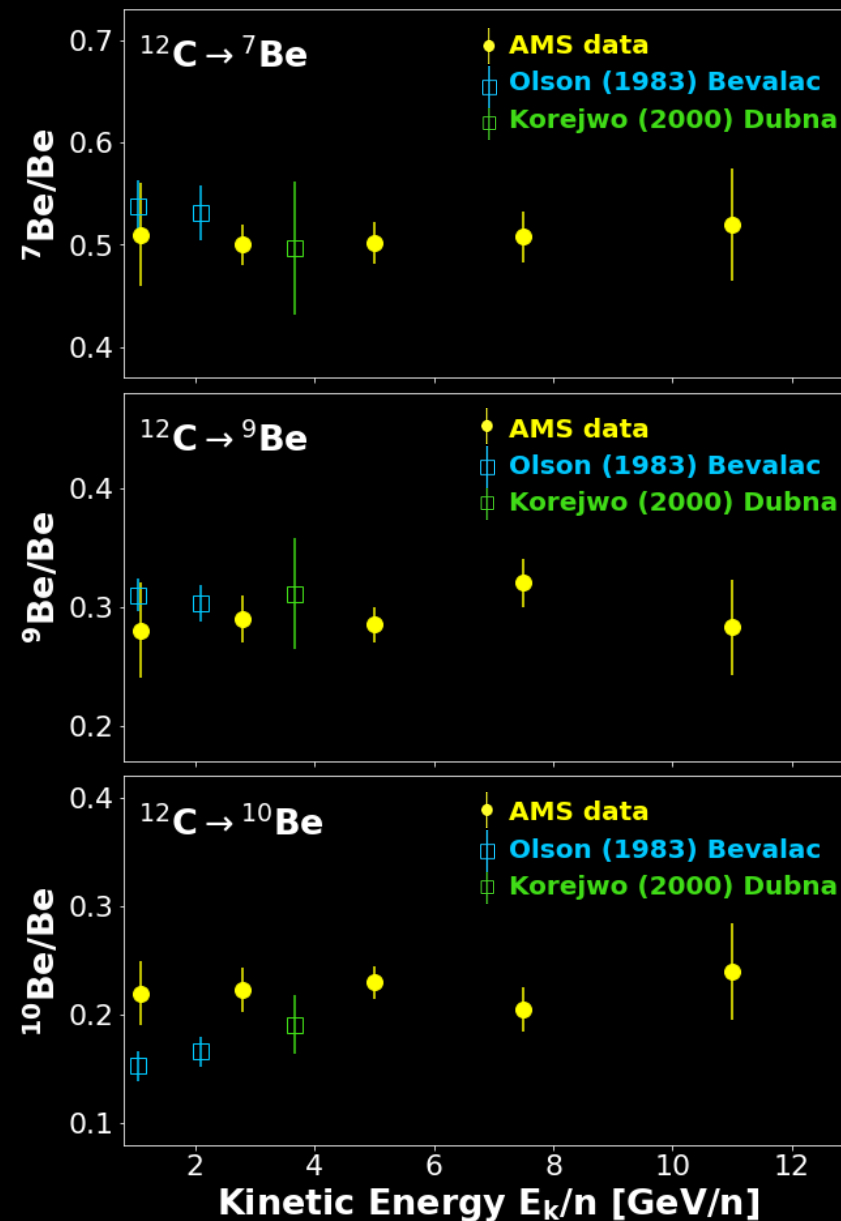
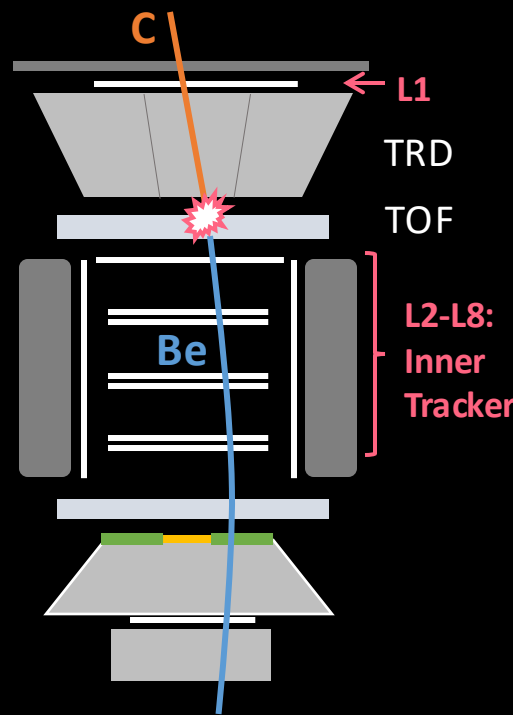


同位素的组分通过质量模板拟合确定

# 验证碎裂本底的截面

- 锂、铍等次级宇宙线样本中包含不可忽略的碎裂本底.
- 现有的对同位素产生截面的测量局限于少数的原子核及较低的能量.
- 通过将AMS探测器当作靶, 可以验证MC模拟中使用的原子核碎裂截面 (Q. Yan et al. Nucl. Phys. A 2020) 及各同位素的分支截面.

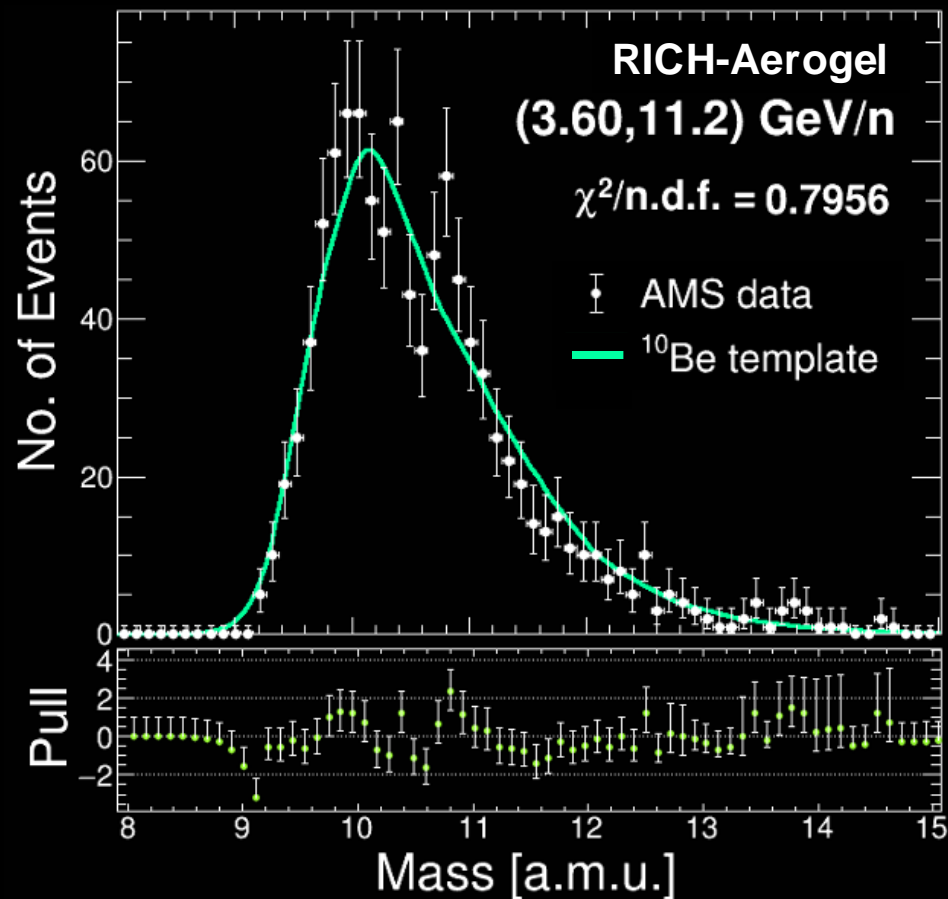
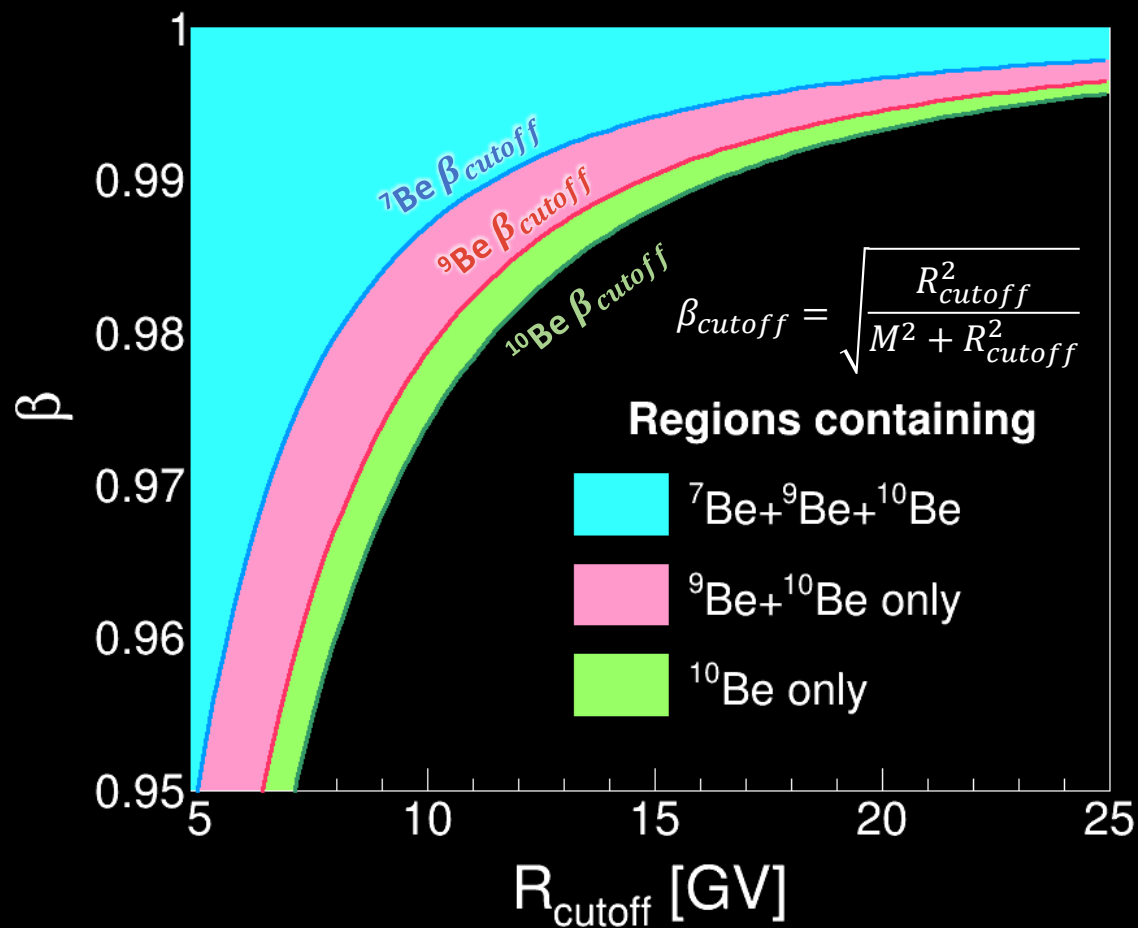
碳原子核在穿过TRD+TOF时碎裂为铍同位素:





# 对质量模板进行验证

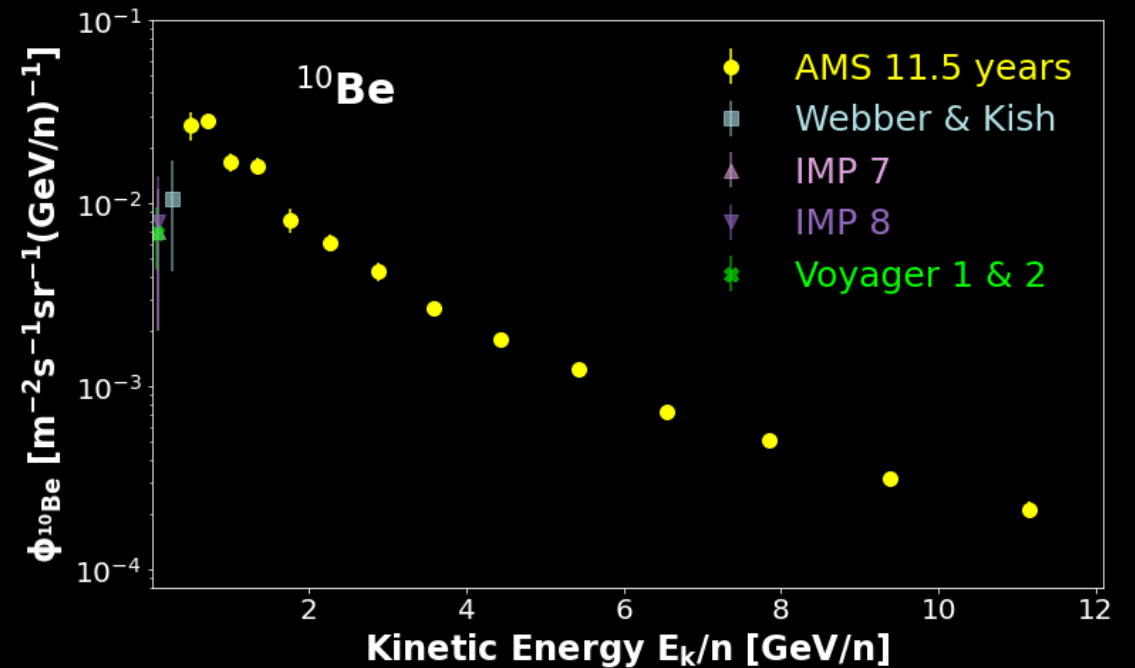
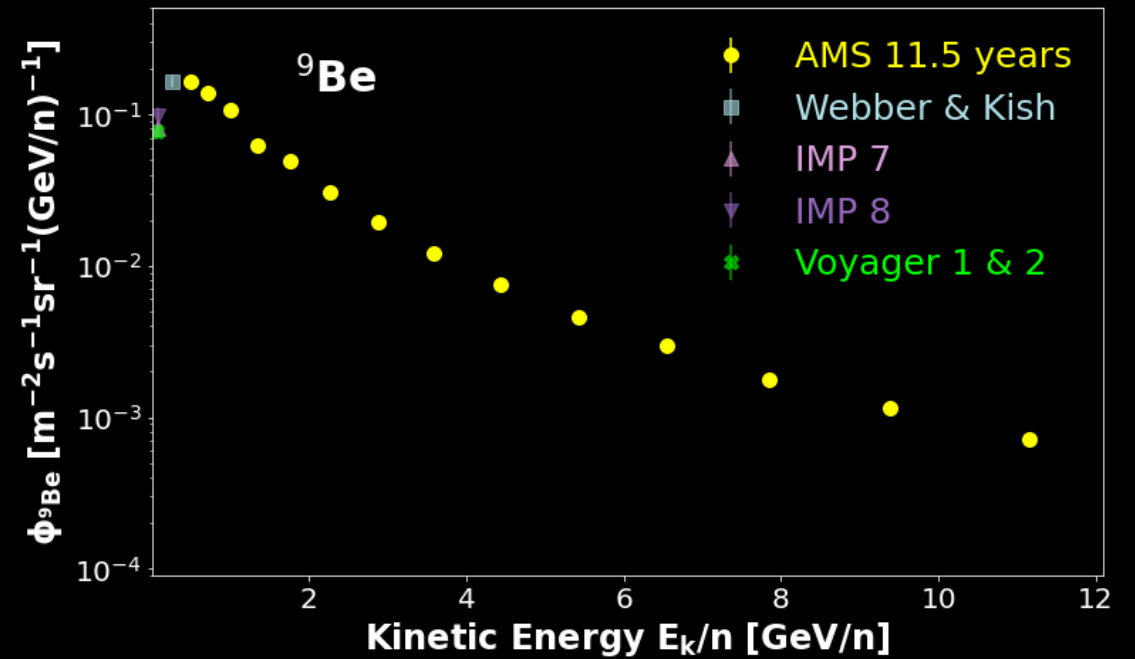
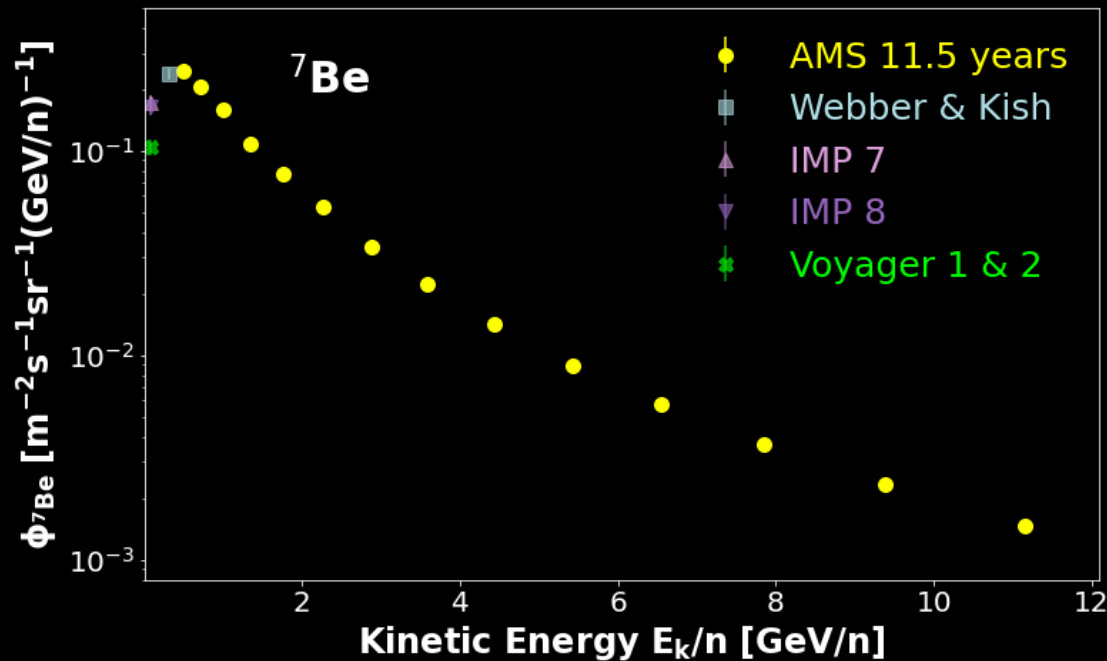
- 拟合用的质量模板基于MC模拟产生
- 利用地磁场对带电粒子的屏蔽效应，构建包含单一同位素的样本对模板进行了验证





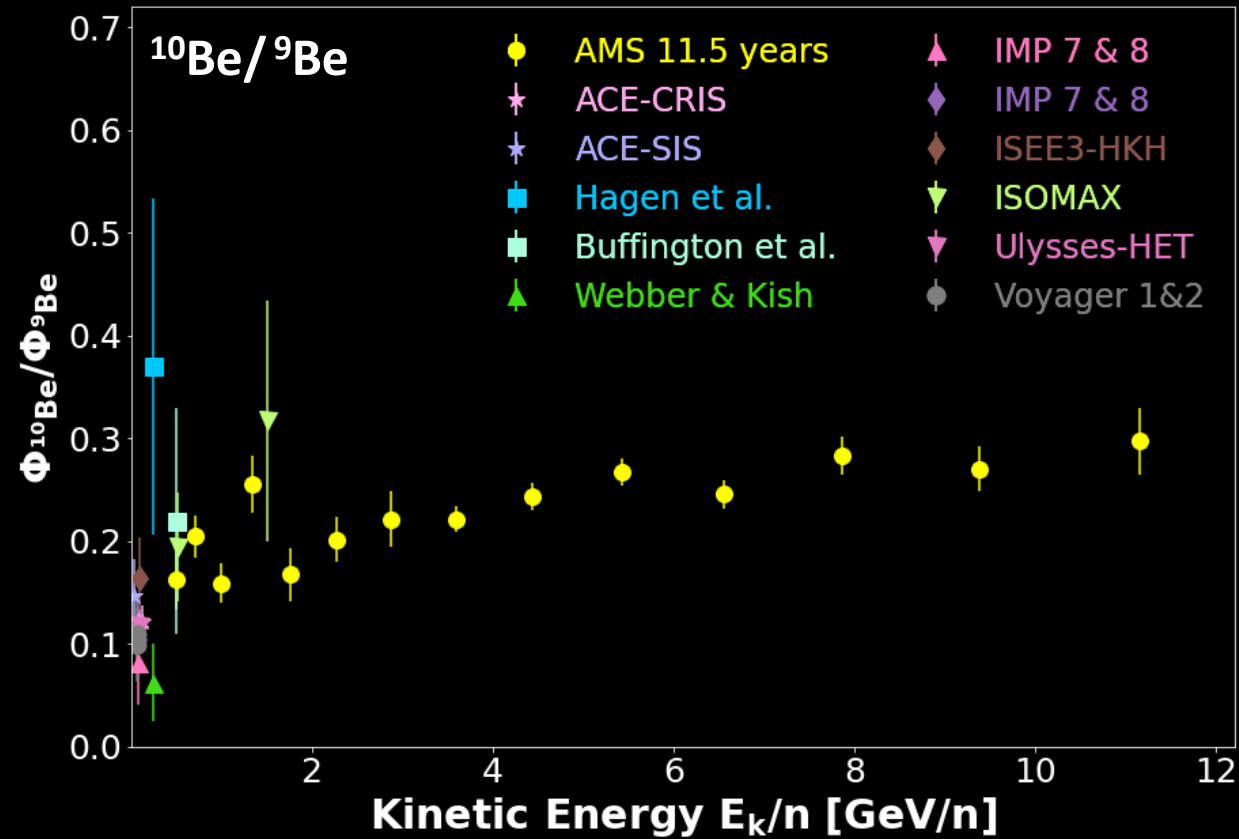
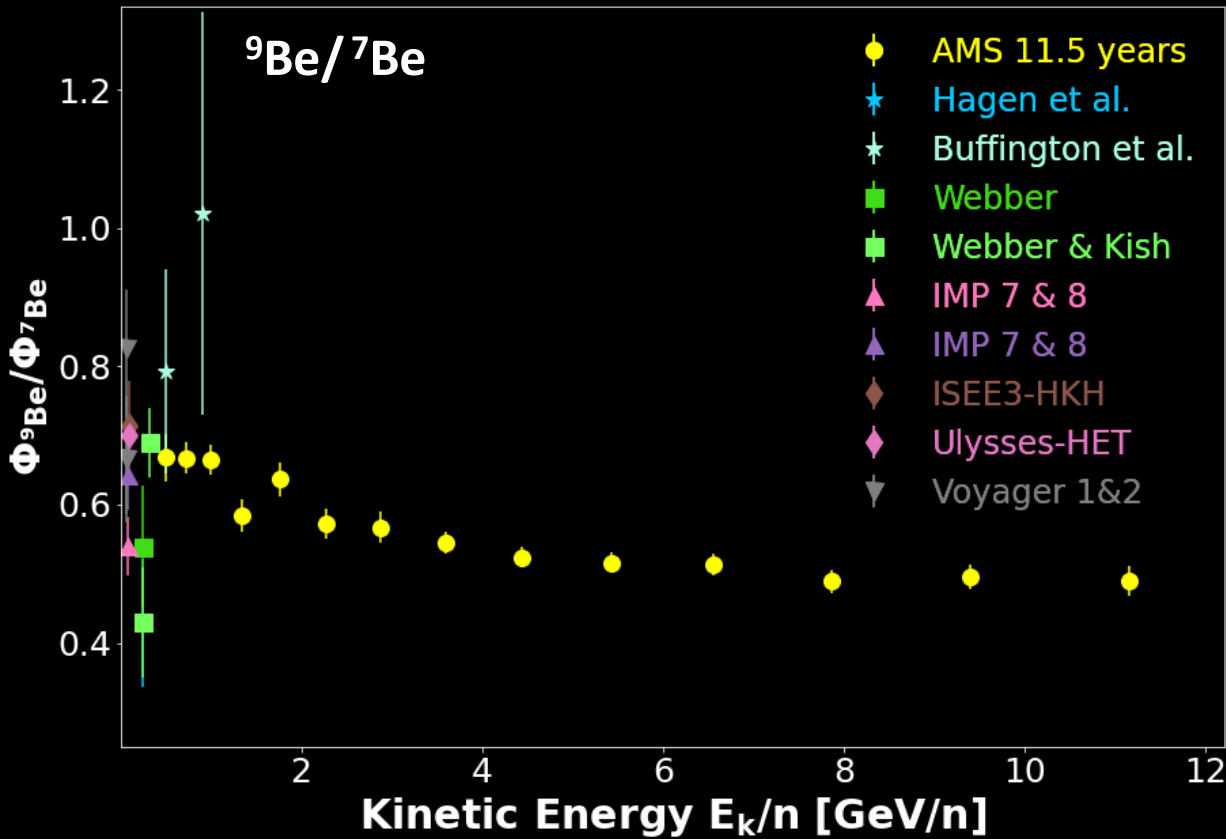
# 铍原子核同位素流强

- 测量样本包含90万铍原子核事例



(Preliminary data, refer to upcoming AMS publication)

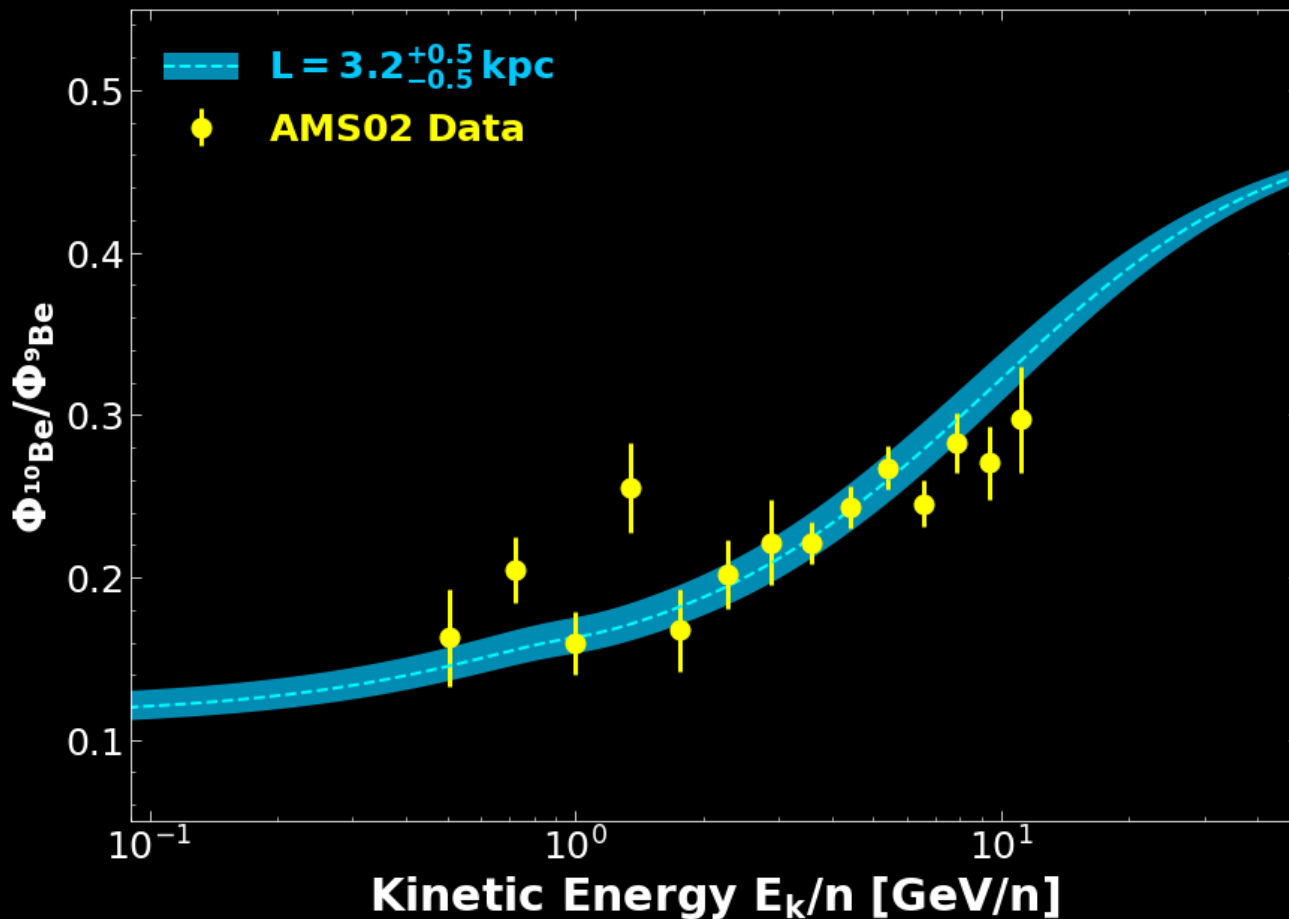
# 铍原子核同位素流强比



(Preliminary data, refer to upcoming AMS publication)

# 基于AMS的 $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ 流强比测量确定银晕高度L

拟合所用模型基于 Maurin *et al.* 2022



(Preliminary data, refer to upcoming AMS publication)

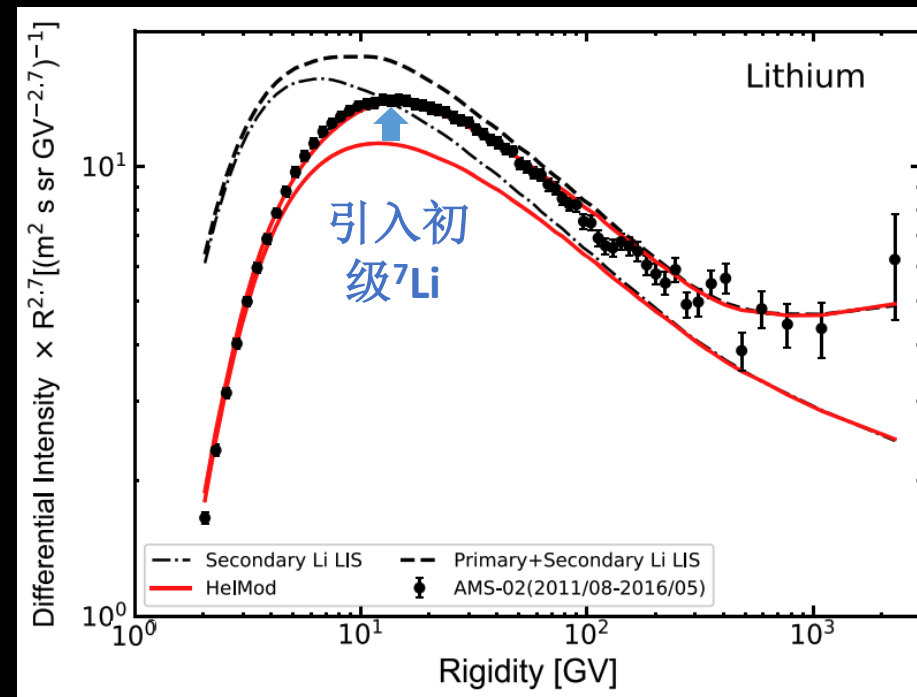
AMS测量可以将来自  $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ 测量数据的误差减小到  $\sim \pm 0.5$  kpc (15%)

$L$  的误差由来自产生截面的误差主导  $\sim \pm 1$  kpc

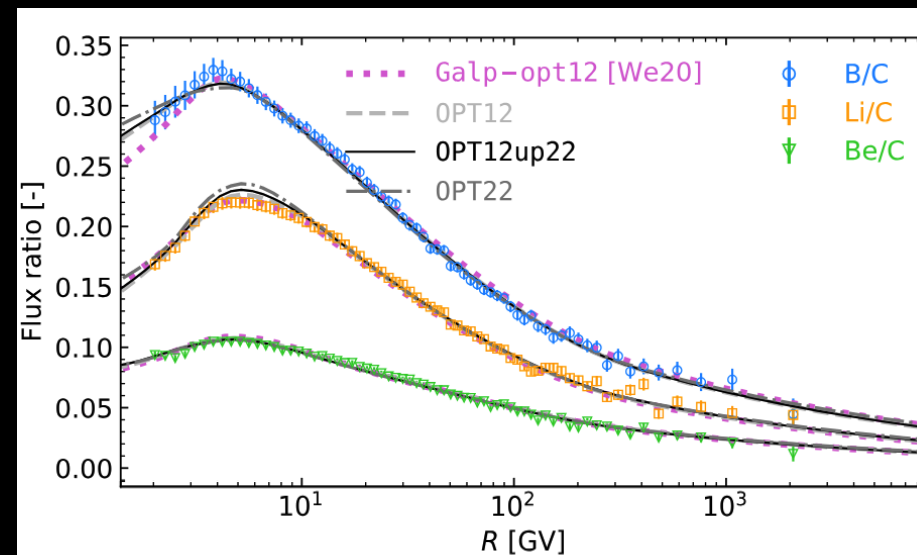
# 宇宙线锂同位素的起源

- 宇宙线中的锂被认为是次级宇宙线。
- 近期理论研究发现，AMS测量的锂原子核流强高于理论模型预测：
  - 存在初级组分( ${}^7\text{Li}$ )? (Boschini et al. APJ, 2020)
  - 来自产生截面的误差? (Maurin et al. A&A, 2022)
- 对锂同位素组分进行直接测量可以为这一问题提供关键数据。

Boschini et al. APJ, 2020

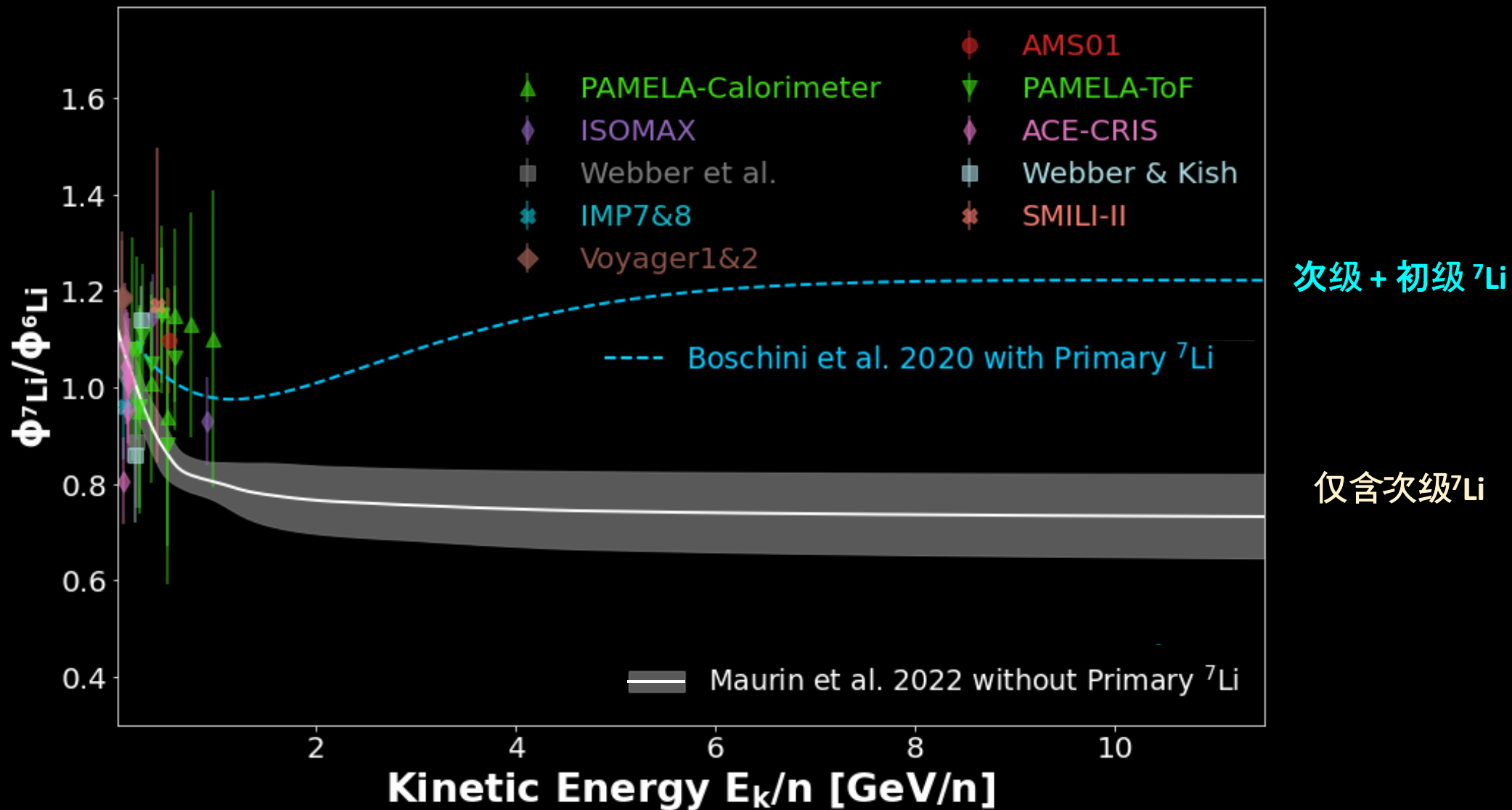


Maurin et al. A&A, 2022



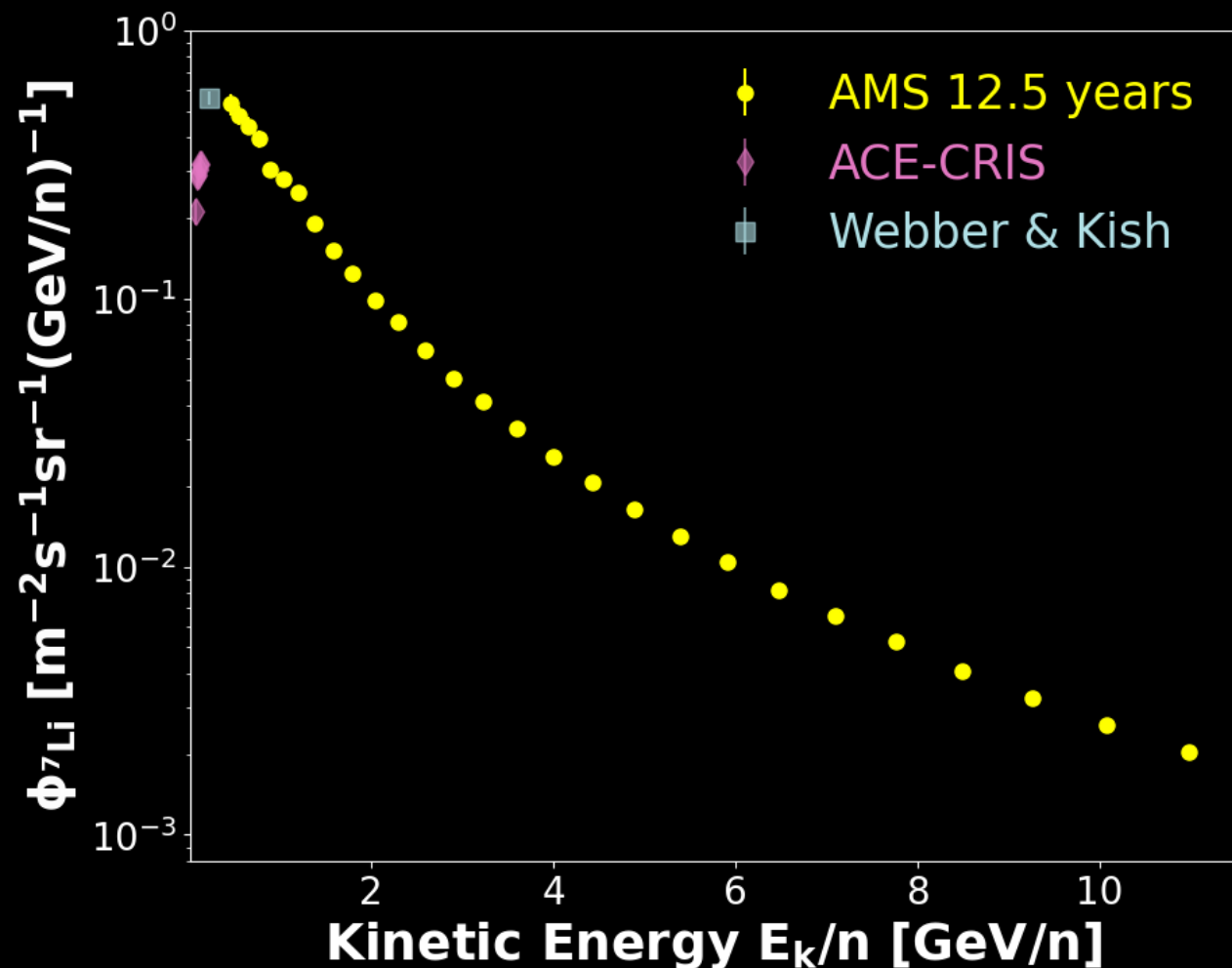
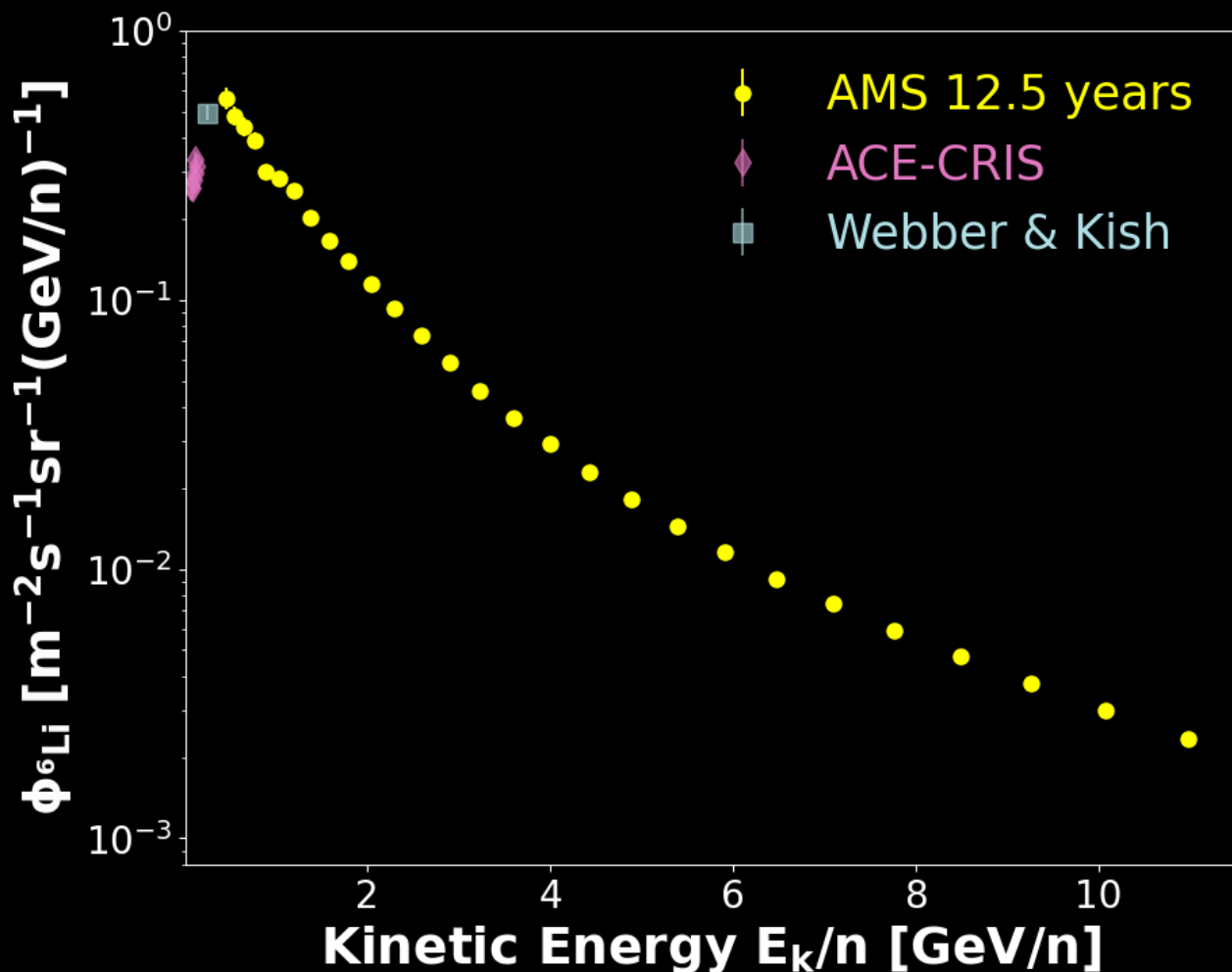


# 宇宙线锂同位素的起源



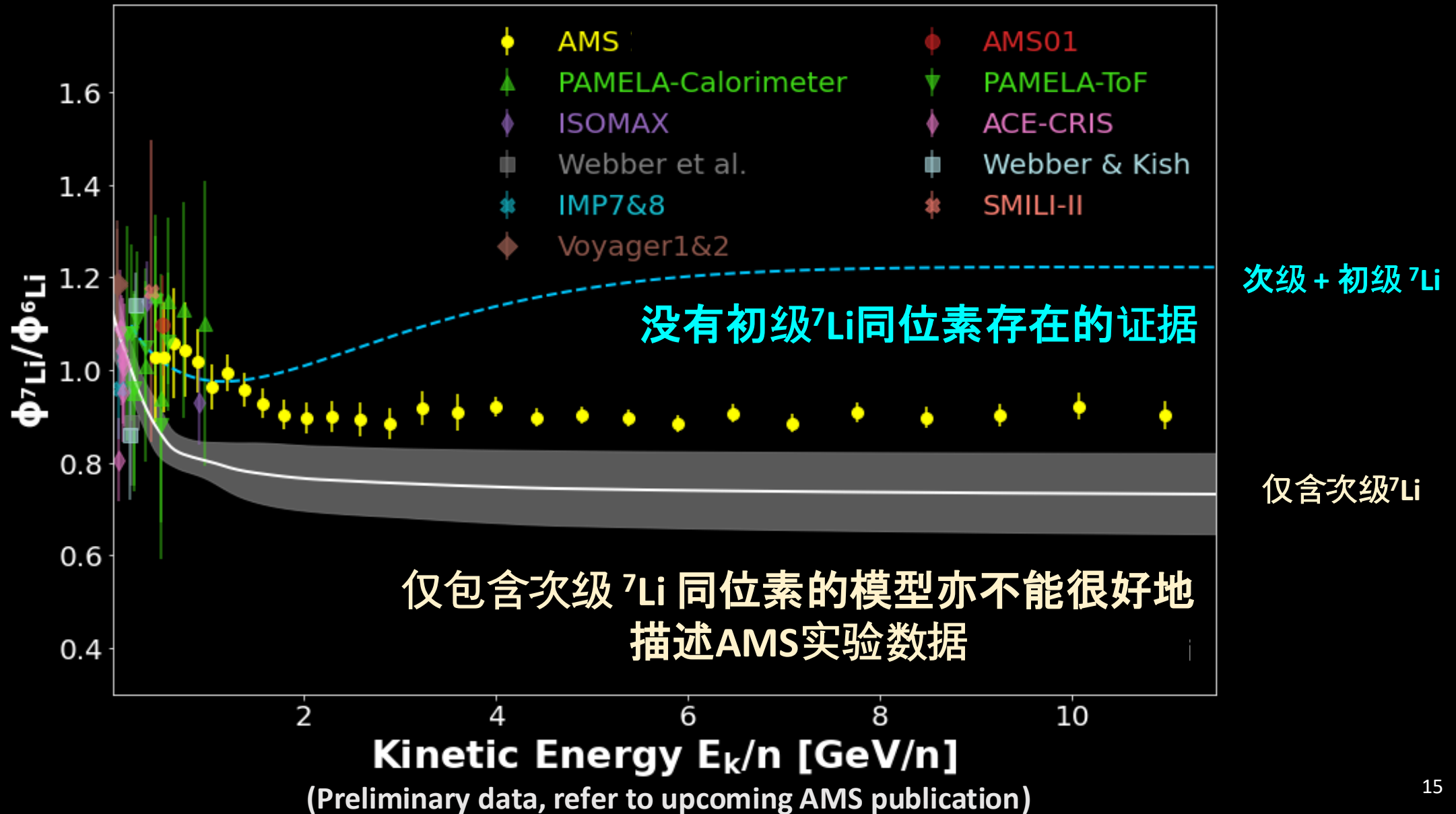
# 锂原子核同位素流强

样本包含140万个锂原子核事例



(Preliminary data, refer to upcoming AMS publication)

# 锂原子核同位素流强比



# 总结

- 本报告基于AMS收集的140万锂原子核数据和90万铍原子核数据，测量了锂、铍的同位素流强及其比例
- AMS 的同位素测量覆盖了从 0.4 GeV/n到12 GeV/n 的能量范围，首次提供了 2 GeV/n 以上的实验数据
- AMS测量的  $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$  流强比可将银河系晕高度  $L$  的测量精度提高到15%.
- AMS 测量的  $^7\text{Li}/^6\text{Li}$  流强比不支持存在初级  $^7\text{Li}$  组分的假设，同时亦不能被当前仅包含次级组分的模型预测很好地描述。