

悟空卫星获得 TeV 以上能段质子宇宙线最精确能谱

我们赖以生存的地球无时无刻不在经受来自外太空中高能粒子的轰击，这些粒子包括各种原子核、正负电子、高能伽马射线等，它们统称为宇宙线。人类对宇宙线的观测和研究已经长达一个世纪，但时至今日，关于宇宙线的起源、加速机制以及它们在星际空间和星系际空间中的传播及相互作用等基本问题依然没有得到彻底的解答。

质子是宇宙线中丰度最高的粒子，占比超过 90%，其能谱的精确测量对于研究宇宙线物理至关重要，然而由于空间观测高能质子存在的巨大技术挑战，TeV 以上能段质子能谱测量长期以来误差很大。传统的宇宙线加速和传播模型预测宇宙线能谱应服从幂律分布。近些年的直接观测实验(如气球实验 ATIC、CREAM 和空间实验 PAMELA、AMS-02)发现质子宇宙线能谱在数百 GeV 能量处出现谱变硬的转折结构，偏离单一幂律分布，这对传统理论模型提出了挑战。理论家提出了多种模型理解该能谱转折的成因，也正是由于在 TeV 及更高能段缺乏准确的直接探测数据，很难对这些物理模型给出判别。

我国首颗空间天文卫星悟空号(英文名: DAMPE)除了通过对电子宇宙线和伽马射线的观测来间接探测暗物质粒子,其核心科学目标还包括通过对宇宙线质子以及核素能谱的精确测量来研究宇宙线的起源和传播。得益于领先同类探测器的有效观测能段和电荷分辨能力,悟空卫星可以对 TeV 以上能段的宇宙线质子及核素进行准确鉴别,并对它们的能谱进行精确测量。

基于悟空卫星前两年半的在轨数据,悟空号国际合作组在 *Science Advances* 杂志发表了质子宇宙线从 40 GeV 到 100 TeV 能段的精确能谱测量结果(2019, *Sci. Adv.* 5, eaax3793),如图 1 所示。这是国际上首次利用空间实验实现对 TeV 以上能段质子宇宙线能谱的精确测量,该结果的能量上限比丁肇中先生领导的阿尔法磁谱仪(AMS-02)实验高出近 50 倍,比日本科学家领衔的 CALET 实验最新结果高出 10 倍。

悟空卫星结果确认了质子宇宙线能谱在数百 GeV 处的变硬行为。更为重要的是,悟空号首次发现质子能谱在约 14 TeV 出现明显的谱变软的转折结构,该结构可能是邻近地球的一处宇宙线源留下的印记。悟空号的结果完整地揭示了质子宇宙线在宽能段的行为特征,对理解

银河系内高能宇宙线的起源以及加速机制具有十分重要的意义。

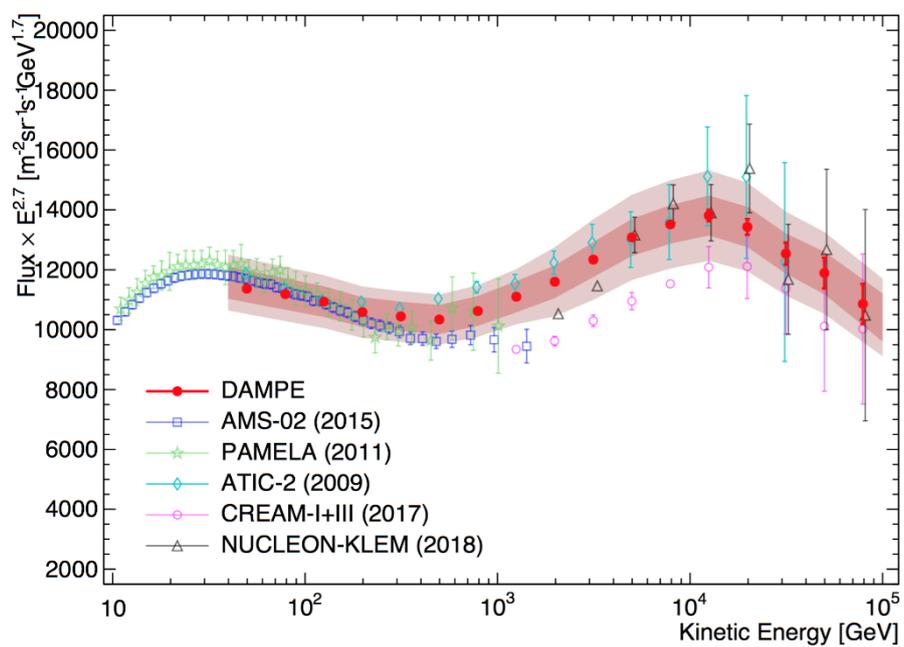


图 1. 悟空号探测的 40 GeV-100 TeV 能段质子宇宙线能谱 (红点)