AMS-02宇宙线电子正电子能谱 随时间变化的测量

粒子天体物理中心 孙泽同

AMS



AMS-02: 唯一的太空TeV精密磁谱仪

穿越辐射探测器(TRD) 识别 e⁺, e⁻



硅径迹室(Silicon Tracker) Z, P



电磁量能器(ECAL) E of *e*⁺, *e*⁻, γ



粒子和核由它们的电荷(Z) 和能量(E~P)来确定。

Z和 E~P 可以通过各子探 测器相互独立地测量。

TRD

TOF

> 3-4

5-6

7-8

TOF

RICH

× 9

ECA

飞行时间探测器(TOF) Z, β



永磁体(Magnet) 土Z



环向成像切伦科夫探测器 (RICH) Z, β



穿越辐射探测器 (TRD)



2



ECAL BDT结合能动量匹配,可以达到很好的质子排除能力



太阳活动对低能宇宙线的影响

太阳活动会影响太阳系的磁场强度及分布,进而对较低能带电宇 宙线的流强等性质产生影响,即太阳调制 (Solar Modulation)。由于 太阳活动的周期性(周期约11年),这种影响呈周期性。低能宇宙线 电子流强随时间变化的长期测量,对太阳调制的观测,以及对银河系 宇宙线传播的研究有着重要意义。



AMS合作组于2018年发表的宇宙线电子/正电子流强的时间结构测量的结果



M. Aguilar et al., Phys. Rev. Lett. 121, 051102 (2018)

该结果公布了从2011年5月至2017年5月共79个太阳周期(Bartels rotations)内1-50GeV电子与正电子流强随时间的变化。该结果首次展现了 宇宙线不同电荷符号的轻子在太阳调制影响下的不同时间结构。

太阳黑子、耀斑等剧烈的太阳活动会显著影响短期内的太 阳系带电宇宙线,并使得带电粒子流强产生福布希下降 (Forbush Decrease, FD)等现象。



美国物理学家S. E. Forbush于1937年观测到并提出福布希下降

用电子能谱变化研究短期太阳活动

© NASA/GSFC/SDO / Rex Features

通过更精细时间的电子流强测量(以天为单位),可以观测并 研究短时间内的剧烈太阳活动。

对太阳物理的研究需要在太空 中进行长期且精确的观测。以前的 空间宇宙线探测器受到运行时间、 接收度等条件的限制,未能得出对 太阳调制的长期结构或短期精细结 构。而AMS-02在国际空间站长期 运行,接收度大测量精度高,可以 对宇宙线太阳调制进行长期精确地 测量研究。

lorth

使用模板拟合方法确定电子/正电子事例数

选择一个能够区分本底和信号的变量,通过控制样本分别得到信 号和本底的分布(PDF),而分析样本是信号与本底的叠加;在每个能 量bin内,对初选后的电子/正电子候选样本事例,通过拟合可以得到 样本中信号和本底的事例数以及统计误差。



如图所示,基于ECAL可以对信号与本底进行很好的区分。

仅使用TRD进行电子/质子的区分的测量方法

基于ECAL的分析方法

基于TRD的分析方法



基于TRD的分析方法显著增大了电子的接收度,从而增加了每天 电子事例的计数,进而减小统计误差。 有效接收度 $A_{eff}(E)$



TRD与ECAL分析方法一天内电子数据量的对比



TRD分析方法的模板拟合

TRD方法模板拟合与ECAL的原理相同。左图为ECAL方法所得 1天的电子数据模板拟合,右图为TRD方法所得1天的电子数据模板 拟合。



10年(2011.5-2021.5)的电子和正电子流强随时间变化 (以太阳周期27天为单位)

AMS是唯一可以高精度测量宇宙线正负电子随时间变化规律的探测器,正负 电子流强随时间变化的研究对长期、短期太阳调制,太阳调制与宇宙线电荷符号 的相关性的理解,乃至未来太阳活动的预测、载人航天空间环境研究有重要意义。



10年(2011.5-2021.5)的电子和正电子流强随时间变化 (以太阳周期27天为单位)

AMS是唯一可以高精度测量宇宙线正负电子随时间变化规律的探测器,正负 电子流强随时间变化的研究对长期、短期太阳调制,太阳调制与宇宙线电荷符号 的相关性的理解,乃至未来太阳活动的预测、载人航天空间环境研究有重要意义。



10年(2011.5-2021.5)的每日宇宙线电子流强谱

对事例率较高的电子,首次给出了每天的电子谱结果,这对数据分析 提出了巨大挑战。



10年(2011.5-2021.5)的每日宇宙线电子流强谱



与太阳短期活动相关的时间结构



电子与质子在短时间段内的时间结构有着明显差异



电子-质子流强谱关联分析



20

太阳调制的电荷符号相关性

对于正电荷的<mark>质子和正电子,流强随时间变化相同</mark> 对于负电荷的电子和反质子,流强随时间变化不同 正负电荷的粒子流强变化趋势不同



小结

- 基于AMS-02从2011年5月至2021年5月共十年的飞行数据,测量了宇宙线电子、正电子随时间的变化的流强谱。在每日电子流强测量中,采用仅使用TRD进行粒子识别的方法排除本底进行测量。由于该方法对接收度的拓展,使电子事例统计量增大了4至5倍,统计误差降低至2~5%。
- 宇宙线电子、正电子、质子、反质子的时间结构有着电荷相关性。电子与质子的能谱有着很多首次发现的精细时间差异。AMS合作组目前正在修改宇宙线电子每日流强随时间变化文章的草稿,即将投稿至PRL杂志。作为cross check结果,正在积极参与数据结果分析与文章草稿的讨论。

小结

AMS实验将持续进行直至国际空间站结束(不早于2028年),会将宇宙线能谱时间结构的测量拓展至覆盖完整的一个太阳周期,届时对长期、短期太阳调制,太阳调制与宇宙线电荷符号的相关性的理解,乃至未来太阳活动的预测,有更完整的数据参照,这对太阳物理方向的研究意义深远,对载人航天空间辐射环境的研究也至关重要。

Backup

AMS-02运行至今10年,已收集了超过2000亿的宇宙线事例。

AMS

物理结果均发表在物理评论快报(Physical Review Letters) 上,至今共发表了23篇文章以及一篇Physics Report

电磁量能器 (ECAL)

ECAL由中科院高能所、法国LAPP、意大利INFN-PISA共同研制



总重638kg

~50000根光纤均 匀分布在铅中



触发效率 ϵ_{trig}



TRD分析方法触发效率随时间的变化

*TRD-based analysis

