

大气宇宙线中的高能 γ 线与强子*

曹培园 王承瑞 何瑁 张乃健 李金玉 李婕

(山东大学高能物理研究室, 济南 250100)

任敬儒 陆穗苓

(中国科学院高能物理研究所, 北京 100039)

摘 要

用中、日合作设置在甘巴拉山(海拔5500米, 大气深度 $520\text{g}/\text{cm}^2$)上的部分K6和K7厚铅乳胶室, 研究了观测能量为 $10\text{--}50\text{TeV}$ 的大气宇宙线中的高能 γ 线与强子. 给出了它们的垂向流强、积分能谱、天顶角分布及其在大气中的衰减长度. 将所得结果与过去的同类结果进行了比较.

一、引 言

如所周知, 大气中宇宙线现象的特征, 与相关能区中宇宙线的原初化学成份及强相互作用的规律密切相关. 大气中的次级宇宙线, 是宇宙线高能粒子与大气核发生的强相互作用中产生的, 其中的高能粒子携带关于原初宇宙线组成及强相互作用信息的几率较大. 所以, 研究宇宙线高能粒子的特征, 可为了解高能相互作用的规律, 初级宇宙线的性质等, 提供有用的信息.

甘巴拉山乳胶室合作组过去已发表了一些关于宇宙线形态学的结果, 如文献[1—4], 其他实验组也有同类工作报告, 如文献[5—8]. 本工作的特点是, 对于更高能区($10\text{--}50\text{TeV}$)的簇射事例进行了高统计性的分析.

本工作对中、日合作的甘巴拉山部分K6和K7厚铅乳胶室进行了系统的扫描与测量, 对观测到的最小能量 $E_{\text{min}} = 10\text{TeV}$ 的非伴随 γ 线(指高能 γ 及电子)引起的簇射及强子引起的簇射进行了分析, 给出了高能 γ 线与强子的垂向流强、积分能谱、天顶角分布以及在大气中的衰减长度. 将所得结果与已有的同类结果进行了比较与讨论.

二、实验概况

中、日合作的甘巴拉山K6乳胶室, 于1986年5月至1987年4月在甘巴拉山上进行照射. 其中, 铅室总面积为 73.4m^2 , 有30及20c.u.两种厚度; 铁室总面积为 58.4m^2 , 有

本文1991年9月12日.

* 国家自然科学基金资助.

29 及 17c.u. 两种厚度。厚度为 30c.u. 的铅室的每个单元中, 共含 14 层感光材料, 第一层置于 6c.u. 的铅板下, 而后每隔 2c.u. 的铅板放置一层感光材料。每层感光材料里, 有富士 200 型及天津高银量工业 III 型 X 光片。作为能量定标用的单元里, 感光层中还含有核乳胶片 (ET7B)。中、日合作的 K7 乳胶室, 于 1987 年 4 月至 1988 年 4 月在甘巴拉山上进行照射, 其中的厚铅乳胶室 (厚度为 30c.u.) 的结构与 K6 厚铅乳胶室相同。本文的实验数据来自部分 K6 和 K7 厚铅乳胶室, 总观测面积为 23.8m^2 。

根据簇射事例起始点深度的分布和簇射的发展特征, 将 γ 线引起的簇射与强子喷注产生的簇射加以区分。一般认为, 起始点深度 $\Delta r \leq 6\text{c.u.}$ 且无可见后继相互作用的, 是由 γ 线引起的簇射; 其余为强子喷注引起的簇射, 依次简称为 γ 簇射及强子簇射。本文分析的观测能量在 $10-50\text{TeV}$ 区域内的 γ 簇射总数 $N_\gamma = 390$, 强子簇射总数 $N_h = 173$ 。其中剔除了不穿经室顶从侧面斜入的簇射。在所涉及的能区, 本文分析的簇射数, 比过去同类工作的统计性高。

三、实验结果与讨论

1. 高能 γ 线与强子的垂向流强

只应用由系统扫描的部分 K6 厚铅乳胶室 (13.2m^2) 得到的数据, 来计算 γ 线与强子的垂向流强。设乳胶室的面积为 S , 照射时间为 T , 乳胶室对宇宙线粒子 (γ 或强子) 的探测几率为 P , 有效立体角为 Ω , 则宇宙线粒子的垂向流强 $J_\perp(\geq E)$ 与观测到的粒子数 $N_{\text{obs}}(\geq E)$ 的关系为

$$J_\perp(\geq E) = N_{\text{obs}}(\geq E) / STP\Omega.$$

在 K6 厚铅乳胶室的具体条件下, 对 γ 线的探测效率 $P_\gamma = 1$, 有效立体角 $\Omega_\gamma = 0.79$, 根据实验结果算得, 在甘巴拉山 5500 米高度, 观测能量在 $10-50\text{TeV}$ 的高能 γ 线的垂向流强为

$$J_\perp^\gamma(\geq 10\text{TeV}) = (7.43 \pm 0.50) \times 10^{-7} \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}\text{Sr}^{-1}.$$

对于强子, 将乳胶室上、下各去掉 6c.u. 后剩下的区域, 才是有效的探测区。在本实验条件下, 经过计算, 对强子的探测几率 $P_h = 0.28$, 有效立体角 $\Omega_h = 0.61$, $P_h\Omega_h \approx 0.17$ 。再根据实验观测到的强子簇射数 $N_{\text{obs}}^h(\geq E)$, 得到强子簇射的垂向流强为

$$J_\perp^h(\geq 10\text{TeV}) = (1.62 \pm 0.18) \times 10^{-6} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{Sr}^{-1}.$$

下表给出了本工作的流强结果与同类工作结果的比较。可见, 本工作给出的 γ 线的流强比同类工作 [2] 给出的高; 而强子簇射的流强和过去同类工作的结果相一致。

表 1 γ 线与强子簇射流强的比较

	本工作 ($\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}\text{Sr}^{-1}$)	工作[2] ($\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}\text{Sr}^{-1}$)	工作[4] ($\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}\text{Sr}^{-1}$)
γ 线	$(7.43 \pm 0.50) \times 10^{-7}$	$(6.3 \pm 0.4) \times 10^{-7}$	—
强子	$(1.62 \pm 0.18) \times 10^{-6}$	$(1.4 \pm 0.2) \times 10^{-6}$	$(1.6 \pm 0.2) \times 10^{-6}$

2. 高能 γ 线与强子的积分能谱

宇宙线粒子的积分能谱可表示为 $N(\geq E) \propto E^{-\beta}$ 的形式。图1给出了观测能量 $E_\gamma = 10-50\text{TeV}$ 的高能 γ 线的积分能谱。与实验结果拟合的理论直线给出的积分能谱指数

$$\beta_\gamma = 1.91 \pm 0.09.$$

图2给出了同一能区中高能强子的积分能谱。图中的直线与实验结果相拟合，给出强子的积分能谱指数

$$\beta_h = 1.99 \pm 0.15.$$

表2给出了本实验结果与已知实验结果的比较。可以看出，本工作给出的积分能谱指数与过去同类工作的一致。

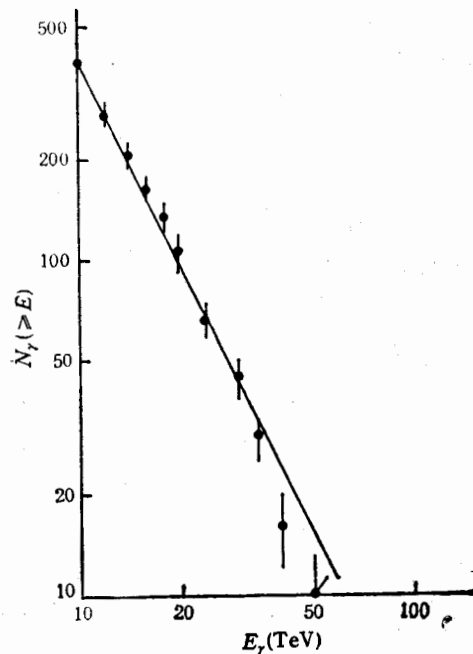


图1 高能 γ 线的积分能谱

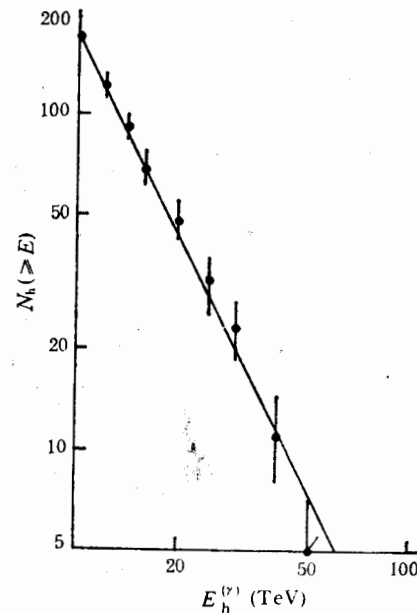


图2 高能强子的积分能谱

表2 积分能谱指数的比较

	本工作	工作[2]	工作[4]
γ 线	1.91 ± 0.09	2.00 ± 0.08	—
强子	1.99 ± 0.15	1.90 ± 0.10	1.85 ± 0.18

3. 高能 γ 线与强子的天顶角分布

宇宙线粒子的天顶角分布可表示为

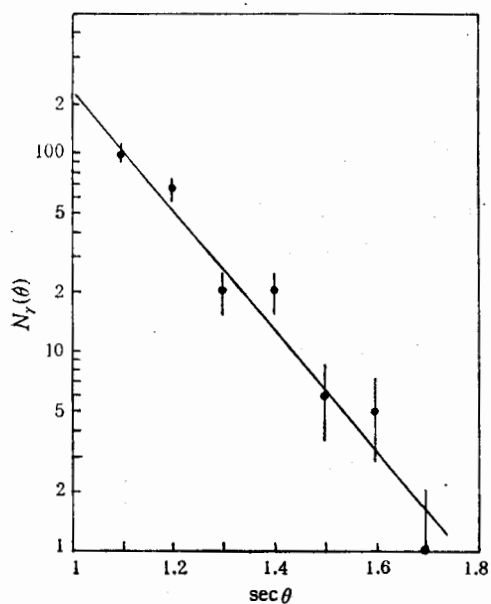
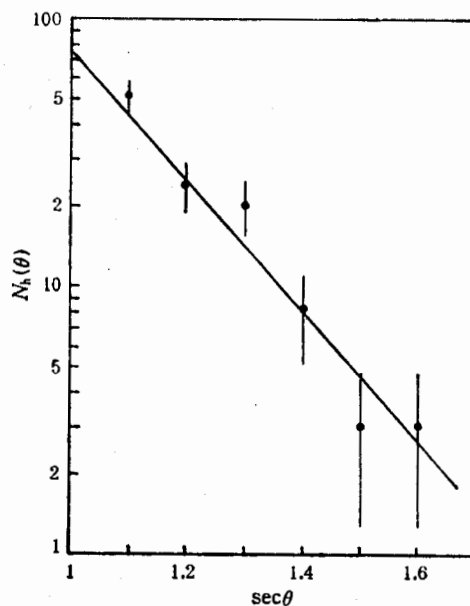
图3 高能 γ 线的天顶角分布

图4 高能强子簇射的天顶角分布

$$N(\theta) = N_0 \exp \left[-\frac{z}{\lambda} (\sec\theta - 1) \right],$$

其中 θ 为天顶角, z 为观测位置的大气深度, λ 为粒子在大气中的衰减长度, $N(\theta)$ 为沿 θ 方向投射来的粒子数, N_0 为垂直投射的粒子数。图3和图4分别示出了观测能量在10—50TeV区域的高能 γ 线与强子的天顶角分布,两图中的直线与实验结果相拟合,给出的 γ 线流与强子流在大气中的衰减长度 λ_γ 与 λ_h 依次为

$$\lambda_\gamma = (101.56 \pm 5.14) \text{g/cm}^2,$$

$$\lambda_h = (95.56 \pm 7.22) \text{g/cm}^2,$$

这与工作[2]给出的 $\lambda_\gamma = 110 \text{g/cm}^2$ 和工作[9]给出的 $\lambda_h = 95 \text{g/cm}^2$ 是一致的。

甘巴拉山乳胶室合作组的其他同事作了大量的实验工作并给予了有力的支持,作者向他们表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] 任敬儒等,高能物理与核物理,5(1981),205
- [2] J. R. Ren, et al., Il Nuovo cimento, 10c (1987), 43
- [3] 曹培园等,山东大学学报(自然科学版),23(1988),31
- [4] 张乃健等,高能物理与核物理, 13(1989),96
- [5] M. Akashi et al., 17th ICRC, 5(1981), 247
- [6] M. Amennomori et al., 19th ICRC, 6(1985), 280
- [7] S. G. Bayburina et al., 18th ICRC, 5(1983), 420
- [8] S. D. Cananov et al., 19th ICRC, 6(1985), 216
- [9] E. H. Shibuya, Rapporteur Talks of 20th ICRC, HE Session, 20th ICRC, 8(1987), 238

High Energy Gamma Rays and Hadrons in Atmospheric Cosmic Rays

CAO PEIYUAN WANG CHENGRUI HE MAO ZHANG NAIJIAN LI JINYU LI JIE

(Department of High Energy Physics, Shandong University, Jinan 250100)

REN JINRU LU SUILING

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica Beijing 100039)

ABSTRACT

Using a part of China-Japan Pb emulsion chambers (K6 K7, thick 30 c. u.) exposed at Mt. Kanbala (5500 m, atmospheric depth 520 g/cm²), the high energy gamma rays and hadrons are studied. The vertical intensities, energy spectra, zenith angle distributions and attenuation length of gamma rays and hadrons in air are presented. The results are compared with previous data. It is shown that the vertical intensity of gamma rays given by the previous work is lower than the present result and other characteristics are consistent with each other.