

研究简报

大天顶角超高能宇宙线 μ 子能谱

王允信

(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

从甘巴拉山乳胶室中选取 18 个大天顶角 ($\theta \geq 70^\circ$) 事例, 对这些事例进行了初步分析。从而给出 μ 子在产生能量大于 3TeV 时的电磁簇射流强与能谱。

一、引 言

对高能宇宙线 μ 子能谱的研究, 可以提供超高能核作用和超高能初级宇宙线成份的讯息, 同时也可以研究高于加速器能区 μ 子与物质的作用。

μ 子的研究通常利用大型磁谱仪观察近水平方向到达的粒子, 以及在不同深度的地下利用各种探测方法, 观察 μ 子。给出 μ 子的能谱流强等。我们利用大面积高山乳胶室观测天顶角大于 70° 的 μ 子在铅中产生的簇射事例。共得到 18 例, 对这些事例进行了分析和研究, 给出初步的实验结果。

二、实验过程

本工作所获得事例, 是从 78 年—82 年乳胶室部分单元中得到的。乳胶室的结构都是由铅板与 x 光片互交迭合组成的简单型室, 具体结构如图 1。

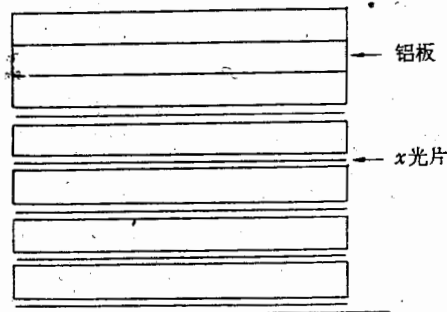


图 1 乳胶室结构剖面图。

一共扫描 48m^2 , (约 5.64 吨铅板), 得到 18 个事例。对得到的每一个事例都用显微

本文 1985 年 3 月 28 日收到。

密度计(上海90型)测量出黑斑的黑度,测量孔径为 $(30 \times 30)\mu\text{m}^2$, $(100 \times 100)\mu\text{m}^2$,然后用“马鞍型”黑度-能量转换曲线确定出每个事例的能量。

三、“马鞍型”曲线的原理和制作

穿过几层感光胶片的簇射,利用通常的能量转换曲线可以确定能量。当入射角很大的 μ 子进入乳胶室后,在所产生的簇射事例中,大多数只能在一层感光材料上留下肉眼可见的黑斑,因此需要引用特殊的能量转换曲线——“马鞍型”曲线确定能量。

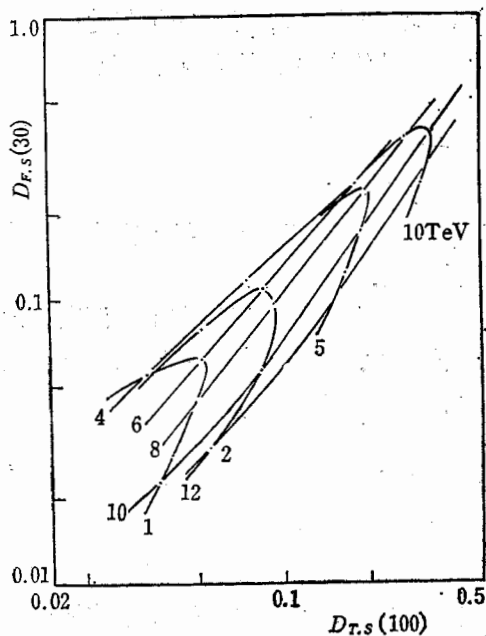


图2 适用于国产 π 光片中记录的大角度事例确定能量的“马鞍型”曲线。

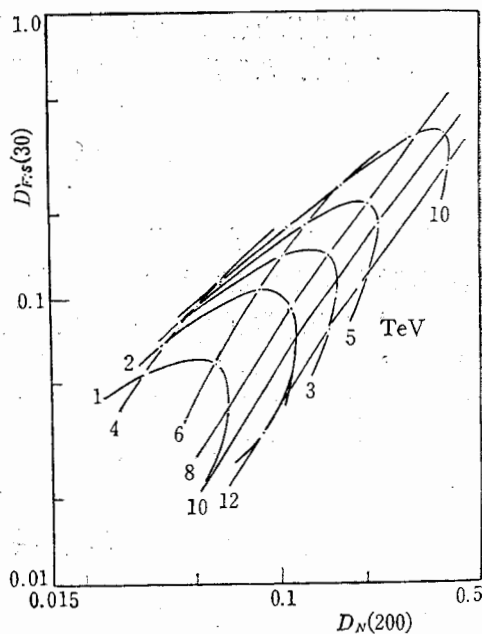


图3 适用于日本N型 π 光片中记录的大角度事例确定能量的“马鞍型”曲线。

“马鞍型”曲线是反映入射粒子在两种感光胶片上同一深度时簇射情况。由于在同一深度 t ,距簇射中心为 r 的范围内,观测的电子数,只依赖于 E_0 和 r ,因此选取不同 r 测量电子数,就可以确定能量 E_0 。为了将能量确定的更准一些,所以采用两种片子上的簇射黑度对比来校准作用粒子的能量。如图2、图3所示。图中直线表示辐射长度,曲线表示能量。图2曲线适用于天津III型和富士两种 π 光片。分别用 $(100 \times 100)\mu\text{m}^2$ 和 $(30 \times 30)\mu\text{m}^2$ 的孔径测出片子的同一黑斑上表面黑度,再利用 $D_{T,s}$ 和 $D_{F,s}$ 与 E_0 、 t 关系做出曲线(其中 $D_{T,s}$ 、 $D_{F,s}$ 分别是天津III型和富士 π 光片的单面黑度)。图3曲线适用于日本N型 π 光片,取N型和富士两种 π 光片,分别用 $(200 \times 200)\mu\text{m}^2$ 和 $(30 \times 30)\mu\text{m}^2$ 的孔径测出片子的同一黑斑上表面黑度,再利用 $D_{N,s}$ 和 $D_{F,s}$ 与 E_0 、 t 关系做出曲线(其中 $D_{N,s}$ 、 $D_{F,s}$ 分别是N型和富士 π 光片的单面黑度)。

四、实验结果与讨论

1. 能量与黑度的确定

采用单面的 D_s 与 E 、 t 关系曲线, 是因为随着天顶角的增大, x 光片下表面黑斑的贡献急剧减少, 当 $m > 0.5$ 时 ($m = \operatorname{tg}\theta$), 下表面就完全没有贡献^[1]. 因此大天顶角的黑斑黑度与能量的关系基本上应符合单面 x 光片上 D_s 与 E 的关系, 只是本底大一些. 根据这个关系, 对每个大天顶角的簇射, 都用不同的孔径在不同底片上测出同一簇射黑斑不同黑度值, 然后在“马鞍型”曲线上找出对应的能量. 本工作簇射的阈能为 3TeV, 与其它工作能量范围相近.

2. 簇射流强与能谱

宇宙线 μ 子进入乳胶室后, 在铅中可发生韧致辐射, 直接对产生和打击电子几个过程, 产生的 γ 光子和电子在铅中发展成簇射事例. 这里主要是韧致辐射贡献^[2].

在乳胶室中记录下来事例, γ 和强子的天顶角绝大多数都小于 56° , 是由于 γ 和强子的流强随天顶角增大, 而急剧下降, 容易被质吸收.

本工作观测簇射事例的天顶角范围为 $70^\circ-81^\circ$. 由 $\Omega = 2\pi \int \sin\theta d\theta$ 公式可得立体角. $\Omega = 1.17\text{sr}$ 以入射角为 $70^\circ-81^\circ$ 的 μ 子在铅中产生能量大于 3TeV 时的流强为:

$$I(E \geq 3\text{TeV}, \theta \geq 70^\circ) = (8.64 \pm 0.37) \times 10^{-15} (\text{g} \cdot \text{s} \cdot \text{sr})^{-1}$$

积分能谱如图 4 所示, 图中纵坐标 N 表示积分粒子数. 能谱的形式可用下式表示: $N(E_L \geq 3\text{TeV}) = N_0(E_L)^{-\beta}$, 其中 $\beta = 2.70 \pm 0.66$.

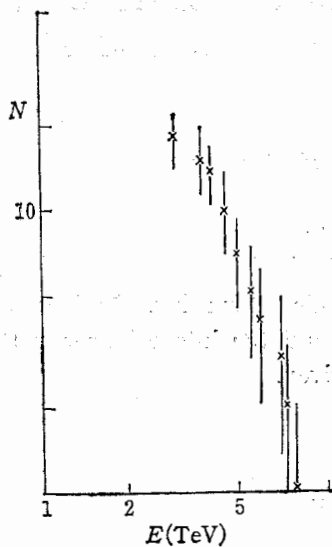


图 4 大角度 μ 子簇射积分能谱.

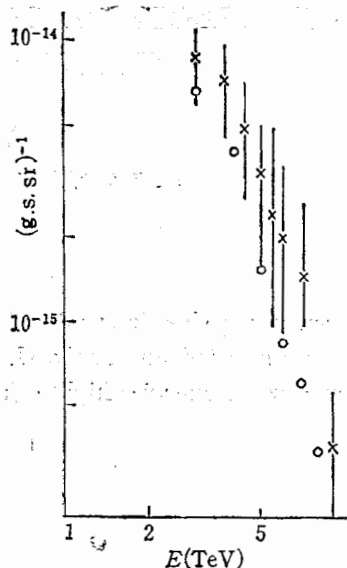


图 5 大角度 μ 子簇射积分能谱.
× 表示本工作结果, ○ 表示富士山组工作结果.

日本富士山组工作结果^[2], 能量在 3TeV 时簇射事例的流强为:

$$I(E \geq 3\text{TeV}, \theta \geq 70^\circ) = 6.5 \times 10^{-15} (\text{g} \cdot \text{s} \cdot \text{sr})^{-1}$$

积分能谱指数, $\beta = 2.8 \pm 0.2$, 详细结果表示在图 5 中.

表 1 列出各组得到的 μ 子在铅中产生能量大于 3TeV 的簇射流强值:

表 1

实验地点	能谱指数	流强 ($\text{g} \cdot \text{s} \cdot \text{sr})^{-1}$	能量范围
地下乳胶室 ^[4]	2.70 ± 0.10	3.8×10^{-14}	0.7—4 (TeV)
富士山 ^[2]	2.8 ± 0.2	6.5×10^{-15}	3.0—10 (TeV)
甘巴拉山	2.70 ± 0.66	$(8.6 \pm 0.37) \times 10^{-15}$	3.0—9 (TeV)

通过上述几种情况下得到的实验结果比较, 在簇射事例最大能量 10TeV 左右, 实验结果没有异常, 而对于更高能区和其他不同大气深度的簇射能谱还没有实验数据. 今后应多积累大天顶角事例, 尤其注意观测能量大于 10TeV 以上的簇射事例.

本工作得到霍安祥、任敬儒等同志的热情关怀和支持, 作者在此表示感谢.

参 考 文 献

- [1] 任敬儒《乳胶室实验使用的黑度-能量转换曲线的计算》山东大学学报, 76 页 82 年.
 [2] 郭可尊《大角度高能 μ 子在铅中产生簇射的流强》, 郑州大学学报, 94 页, 1983 年增刊.
 [3] Mt, Fu ji Collaboration, *Nuovo Cimento*, **A. 65**, **N. 3**(1981), 369.
 [4] K. Mizutani et al., *Nuovo Cimento*, **A. 48**, **N. 4**(1978), 429.

ENERGY SPECTRUM OF SUPER HIGH ENERGY COSMIC RAY MUON SHOWERS OF LARGE ZENITH ANGLES

WANG YUN-XIN

(Institute of High Energy Physigs, Academia Sinica)

ABSTRACT

Eighteen muon shower events of large zenith angles from Mt. Ganbala emulsion chambers were selected and analysed. The intensity and the integral energy spectrum of muon showers at energies higher than 3 TeV are given.