

同心双环形的超高能 γ 族事例*

任敬儒 况浩怀 霍安祥 陆穗苓 苏 实 王允信

(中国科学院高能物理研究所)

王承瑞 张乃健 曹培园 李金玉 邹宝堂

(山东大学, 济南)

王 士 智

(郑 州 大 学)

李光炬 白光治

(重庆建筑工程学院)

木 钧 周文德

(云南大学, 昆明)

摘 要

在甘巴拉山乳胶室实验中, 找到了簇射斑点分布呈同心双环形的超高能 γ 线族事例, 两环半径分别为4mm和10mm, 这个事例的某些特性明显不同于一般的大族事例, 对环的某些特性作了分析和简短的讨论。

一、引 言

在宇宙线超高能核作用的研究工作中, 很多是依赖于事例的积累, 得到各种统计分布, 并与假定各种模型的 Monte Carlo 模拟结果进行比较, 从而导出可能的作用模型与原初成份等等。然而宇宙线中超高能粒子 ($E_0 > 10^{15} \text{eV}$) 十分稀少, 尽管探测器面积很大, 观测时间很长, 但得到几百个观测能量 $\sum E_r > 1000 \text{TeV}$ 的事例还是很困难的。宇宙线高能物理实验应起到的作用之一, 是通过宇宙线实验的少数事例, 为更深入细致的实验与理论提出某种可能的见解, 从而给人们一种启发。乳胶室实验的另外许多工作是注重分析少数奇特事例, 让人们看到获得某种新结果的可能, 但这些奇特的事例, 并不是全都可以导出新奇的结果, 这往往是由于某些实验条件限制和一些不确定因素, 或者是统计涨落造成的。近年来的气球乳胶室实验中, 看到了簇射斑点分布呈环形的[1], 在对撞机实验中也看到了所谓“spike”现象[2]。作者提到这可能是超高能核-核作用产生相变的一种表现。最近, 甘巴拉山乳胶室实验在更高的能域中 ($\sim 10^{16} - 10^{17} \text{eV}$) 找到了簇射斑

本文 1987 年 12 月 24 日收到。

* 国家自然科学基金资助课题。

点分布呈同心双环形的一个事例,名为 K4108,组成该事例的高能量斑点,绝大部分都集中在半径为 4mm 和 10mm 的两个环上,事例中心几乎没有高能斑点. 本文介绍了该环状事例的一些特性.

二、实 验

1984年5月—1985年5月,在甘巴拉山(海拔 5500m, 大气层厚 $520\text{g}/\text{cm}^2$) 上设置了 300 吨重,面积为 58.4m^2 , 29c. u. 厚的铁乳胶室及 83 吨重,面积为 83m^2 , 14c. u. 厚的 Pb 乳胶室. 所用的感光材料为: 日本 N 型、100[#] 型 X 光片, ET7C 核乳胶片及中国天津 III 型高银量 X 光片. 利用 ET7C 核乳胶片作了能量标定.

在 $11'' \times 14''$ 大小的天津 III 型高银量 X 光片中心处,找到了 K4108 事例,它由近 900 个能量大于 1TeV 的簇射组成,若取阈能为 3TeV,则事例的总观测能量为 $\sum E_i = 7600\text{TeV}$,天顶角的正切 $m = 0.44$,这许多簇射斑点分布在半径为 4mm 及 10mm 的两个同心环上. 在环中心,簇射斑点极少,而且无高能量簇射斑点,事例的基本特性的平均量如表 1 所示. 其中 E_{\min} 表示所取簇射斑点的阈能, R_i 表示第 i 个簇射斑点与能量中心“o”的距离, $\sum E_i R_i / \sum E_i$ 是簇射斑点计权平均半径. $\langle R \rangle$, $\langle ER \rangle$ 值与一般总能量为 $\sum E_i > 1000\text{TeV}$ 族事例的平均值一致,与 MSQI 等模型比较,在统计涨落范围内基本上符合^[3] (一般总能量 $\sum E_i \geq 1000\text{TeV}$ 大族的实验与 MSQI 的平均结果为: $\langle R \rangle \approx 2\text{cm}$, $\langle ER \rangle \approx 20\text{TeV} \cdot \text{cm}$).

表 1 K4108 事例的各种平均值

E_{\min}	$\langle R \rangle = \sum R_i / N$	$\sum E_i R_i / \sum E_i$	$\langle ER \rangle = \sum E_i R_i / N$	$\langle E \rangle = \sum E_i / N$
3TeV	23.9mm	18.2mm	20.2TeV · cm	11.1TeV

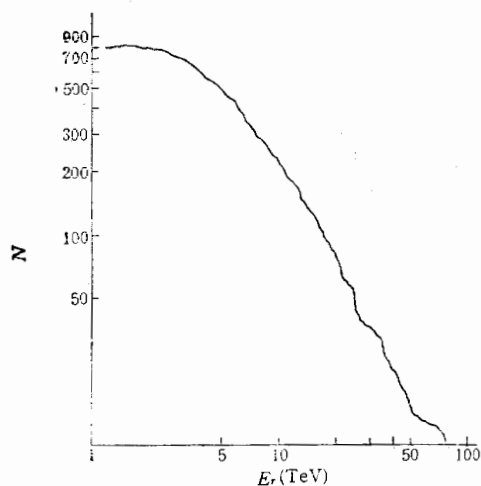


图 1 K4108 事例的积分能谱

事例的能谱如图 1 所示,大体上也与一般观测能量大于 1000TeV 的 γ 族相近^[4],仅从这些通常用来粗略描写 γ 族一般特性的平均值与积分分布都看不到环形式例的特点。

三、环形式例的特征

在一个 γ 线族事例中,那些能量在 10TeV 以上的簇射,往往会比低能簇射更能反映出原初作用的信息.取 K4108 事例中观测能量大于 10TeV 的簇射,绘成靶图(如图 2),簇射的分布呈现出环形.簇射斑点在方位角分布上不是很均匀,是由于统计涨落引起的.簇射斑能量中心 o 点的坐标为: $\bar{x} = \frac{\sum E_i x_i}{\sum E_i}$; $\bar{y} = \frac{\sum E_i y_i}{\sum E_i}$, 这个点被认为是接近于产生

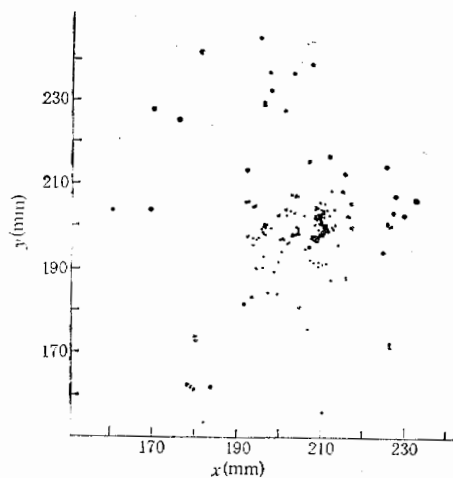


图 2 K4108 事例中能量大于 10TeV 的簇射靶图

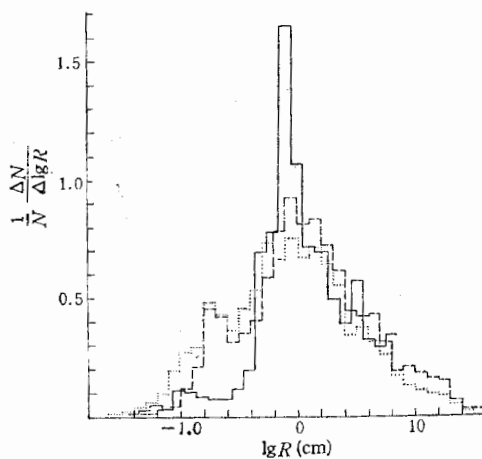


图 3 K4108 事例的 $\lg R$ 分布

—K4108 事例; ----HDSQ1;PDSQ1^[2,3]

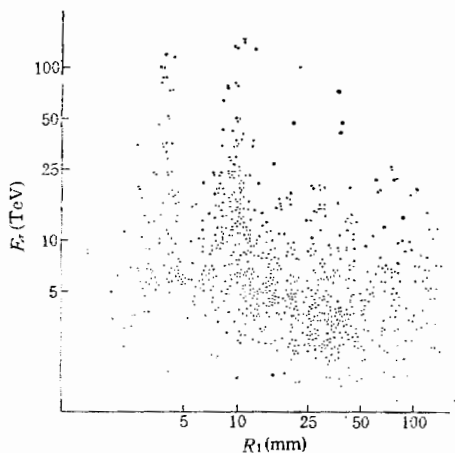


图 4 K4108 事例中簇射能量 E_r 与分布距离 R_1 间的关系。

都
该

置
厚
国

近
= 的
平
量
能
围
为:

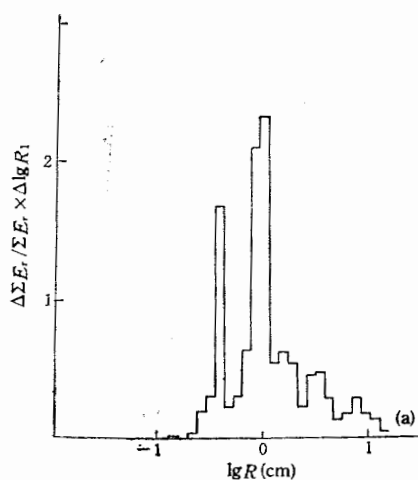


图 5a K4108 事例的能流分布
(以几何中心为原点)

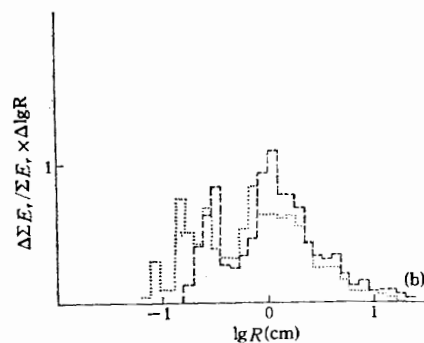


图 5b 能量 $\Sigma E_r > 3000 \text{ TeV}$ 的能流分布
(以能量中心为原点)

---- HDSQI; PDSQI

族的主要核作用的入射方向与观测平面的交点。为了定量地描绘出环事例的特性,我们可作 $\lg R$ 分布。图 3 给出了 K4108 事例 $\lg R$ 分布,图中点线和虚线表示观测能量大于 3000 TeV 的模拟结果 (30 个事例平均)。作用模型假定为 scaling + jet, 作用截面按 $E^{0.06}$ 上升, 平均横动量 $p_t \approx 330 \text{ MeV}/c$, 观测面是甘巴拉山顶 ($520 \text{ g}/\text{cm}^2$), 起始点位置 $\Delta t > 6c.u.$ 定为强子, HD 表示初级粒子中 Fe 核比例较大 ($\sim 40\%$), PD 是质子比例, 比 HD 高 $\sim 20\%$ (在初能 $E_0 \approx 10^{15} - 10^{17} \text{ eV}$ 时)。从图 3 可以看到在 $\lg R \approx 0$ 处, 实验分布曲线几乎比两种模拟计算结果高出一倍, 峰中的点构成了 K4108 事例的主环, $R \approx 1 \text{ cm}$ 。为了能更清楚的探讨环的性质, 改变一下上述坐标原点位置的选择。上面选择原点位置是能量中心, 现在从靶图上选择环的几何中心作为原点位置, 作 $R_1 \sim E_r$ 分布图, 如图 4 所示。图 4 中 $R_1 \approx 4 \text{ mm}$ 和 10 mm 处有两束密集的高能簇射点, 而其他位置上高能斑点很少, 尤其在 $R_1 < 4 \text{ mm}$ 处, 几乎没有大于 10 TeV 的斑点。为了更明显地看清这一事实, 我们作出了能流分布图 (图 5a)。在 $\lg R_1 \approx -0.3$ 与 0 的位置上出现了两个突出的高峰。与图 3 中相类似的模拟计算相比较 (图 5b), 两个峰高出模拟计算一倍以上。

四、讨 论

总结上述实验结果, K4108 事例是一个较为特殊的 γ 族事例, 产生的高度较高, 不易用简单几何方法求出产生高度。族中能量较高的簇射, 分布在两个环上, 其中内环 $\Sigma E_r \approx 1340 \text{ TeV}$, 外环 $\Sigma E_r \approx 2440 \text{ TeV}$, 内外环能量占总观测能量的一半。由于总簇射斑 $N_r = 900$, 而且主要簇射斑都在环上, 因此环是由于统计涨落而形成的可能性不大。它明显偏离于一般模拟和其他大族事例。

环事例与多心事例不能截然分开, 如 KOE19 事例^[6]中, 5 个核心有 4 个分布在一

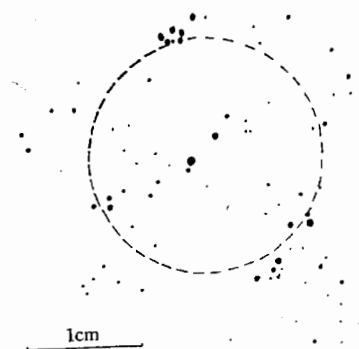


图 6 KOE19 事例核心部分靶图

个环上(见图 6), 另一个在环心上. 环形事例图像与一般大族图像最大的不同, 就是多数高能簇射斑点离开了事例的中心, 密集地分布在一个圆环上, 中心附近形成了空洞. 表明高能核作用中, 产生的次级粒子集中从某个窄小的发射角放出来. 假定这个角度为 ψ , 大部分粒子集中在顶角 ψ 与 $\psi + \Delta\psi$ 的圆锥表面之间. 经过在大气中传播, 到达乳胶室, 圆锥的横断面就构成了环. 双环中的内环, 环宽度窄小, 环很清楚. 双环的存在和坐标原点的选取很有关系, 因此选择哪个坐标系描述超族事例是重要的. 但不管是能量中心坐标, 还是几何中心坐标, 事例的主环峰都明显的呈现在 $\lg R$ 分布图上. 对于环形式例的一种可能的物理解释, 认为是在超高能作用中形成了某种新形态的物质, 即夸克-胶子等离子体^[2,7]在实验中的一种表现; 或者认为是切伦科夫胶子辐射^[4]. 也许还会有其他更正确的解释, 特别是对同心双环事例. 在实验上希望能观测到更多奇特的事例, 在更高的能区, 给出更多的信息.

作者对参加过本次乳胶室实验的同志及本文模拟计算结果的提供者汤田利典与笠原克昌先生表示衷心感谢.

参 考 文 献

- [1] Dremin. I. M., *JETP Lett.*, 30(1979), 152.
- [2] Rushbtooke. J. G., CERN-EP/84-34 (1984).
- [3] China-Japan and Mt. Fuji EC Collaboratration., Proc. Int. Symposium on Cosmic Ray Superhigh energy Interactions, 1986, Beijing, 3—24.
- [4] Ohta. I. et al., Proc. Int. Symposium on Cosmic Ray and Particle Physics, 1984, Tokyo, p. 87.
- [5] China-Japan EC Collaboration, 20th ICRC 5(1987), 316.
- [6] Ren. J. R. et al., 19th ICRC 6(1985), 309, 313.
- [7] Jing. G. R. et al., 20th ICRC 5(1987), 343.

我
量
截
始
质
 ≈ 0
主
上
 E_r
其
更
出
十
算

不
均
环
于
总
能
性
主
一

A SUPER HIGH ENERGY GAMMA-RAY FAMILY EVENT IN THE FORM OF TWO CONCENTRIC RINGS

REN JINGRU KUANG HAOHUAI HUO ANXIANG

LU SUILING SU SHI WANG RUNXIN

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica)

WANG CHENGRUI ZHANG NAIJIAN CAO PEIYUAN

LI JINYU ZOU BAOTANG

(Shandong University, Jinan)

WANG SHIZHI

(Zhengzhou University)

LI GUANGJU BAI GUANGZHI

(Chongqing Architecture College)

MU JUN ZHOU WENDE

(Yunnan University, Kunming)

ABSTRACT

A gamma-ray family event with the showers distributed in the form of two concentric rings has been found in the Mt. Kanbala Emulsion Chamber experiment. The radii of the two rings are 4 mm and 10 mm respectively. This event exhibits some features clearly deviated from those of ordinary big families. In this paper, some characteristic features of the rings are analysed and short discussion is made.

美国
性重

息¹¹,
CR-
本工

作用