

用大规模铁乳胶室研究超高能 γ 族事例*

任敬儒 陆穗苓 苏实 霍安祥

(中国科学院高能物理研究所,北京)

王承瑞 张乃健 何瑁 曹培园 李金玉

(山东大学物理系,济南)

王士智

(郑州大学物理系)

李光炬 白光治 刘中和

(重庆建筑学院基础部)

木钧 周文德

(云南大学物理系,昆明)

摘 要

用大规模铁乳胶室观测到 $\sum E_{\gamma} = 7631\text{TeV}$ 的大 γ 族事例,介绍了铁乳胶室观测大族的优点和族的各项特征,并与模拟计算结果作了比较.

观测在加速器实验能区(如 10^{15}eV 以内)以上的超高能核作用,或研究高能核作用向前极小发射角锥内的超高能现象(碎裂区的现象),高山乳胶室是较好的探测器.用高山乳胶室进行超高能 γ 族事例的观测,是达到上述目的的直接而有效的途径.为了提高强子的探测效率和改进乳胶室技术,在甘巴拉山利用300吨铁板,建起了 57m^2 , 29c.u. ($1\text{c.u.} = 17.6\text{mm Fe}$) 厚的乳胶室.铁乳胶室于1982年9月建立,1984年3月第一次收回底片.乳胶室中的X光底片,有樱花牌高速工业N型X光片,富士100型X光片,天津高含银量工业X光片.为了标定能量,在部份乳胶室单元中,放置了富士ET7B核乳胶片.从 5c.u. 开始,每隔 2c.u. 厚的铁板插入一层感光材料.为了换取感光层方便,部分铁乳胶室每 2c.u. 铁板留有 3mm 宽的缝隙,这样不需要完全拆开乳胶室即可更换感光层.在乳胶室底部放置了 9mm 厚的铁板,以屏蔽地面放射性.甘巴拉山铁乳胶室是目前规模最大,高度最高的(海拔 5500m) 高山铁乳胶室,它为观测更高能区的现象,研究超高能作用的规律,提供了有利条件.

高能 γ 族是乳胶室上空产生的超高能核作用中,一束近似准直的次级高能粒子照射到乳胶室上形成的一组簇射斑.当高能核作用发生点的位置离乳胶室很近时,次级粒子很集中地照到乳胶室上,由于作用能量高,产生的次级粒子多而密,在乳胶室底片上可能形成“晕”.在铁乳胶室中,电磁级联发展没有铅乳胶室中那样快,所以簇射黑斑比在铅室中的小,在大族中多数黑斑彼此之间是可以分辨的,并可对黑斑逐个进行测量.这也是用铁乳胶室观测大族的优越性.

在这篇文章中,着重分析了到现在为止在甘巴拉山乳胶室观测到的最大 γ 族——

本文1989年12月21日收到.

* 国家自然科学基金资助课题.

K2528 事例。估计产生这个事例的初能接近 10^{17} eV。它的各项性质与一般观测能量大于 1000 TeV 的 γ 族相近。该族的部分区域虽然形成了晕,但从总体来看,基本上是一个分散的大族。

一、大族 K2528 事例的观测

K2528 事例由 566 个观测能量大于 3 TeV 的簇射组成,分布在 $4\text{cm} \times 4\text{cm}$ 的面积上。图 1 为核心部分靶图。这部分有 161 个高能簇射,集中在 8mm 的圆内。

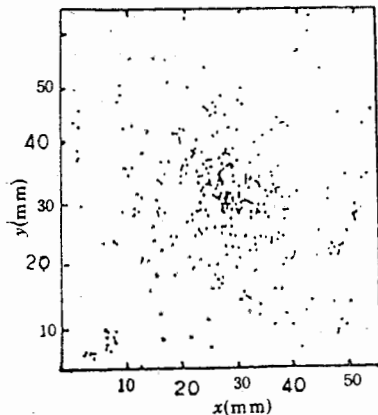


图 1 K2528 事例核心部份靶图

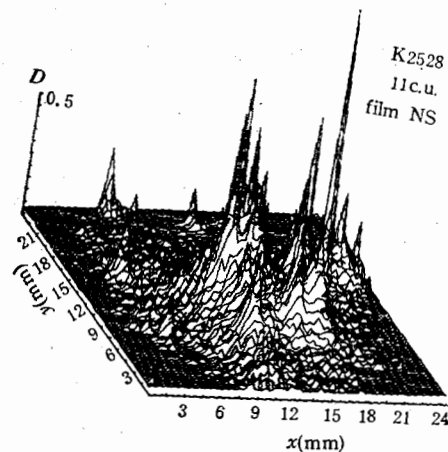


图 2 K2528 事例核心部份黑度分布图

为了得到精确的事例黑度分布,要去掉簇射在 X 光片上、下双层药膜上形成黑斑的相互干扰。用安替福民溶去事例所在部份的下表面药膜。在计算机控制的全自动显微密度计 NGD-17 \times 17 上,以 $300 \times 300 \mu\text{m}^2$ 的孔径, $x = 300 \mu\text{m}$, $y = 300 \mu\text{m}$ 的步长,在 $3\text{cm} \times 3\text{cm}$ 的面积上,进行细致的自动扫描,得到如图 2 所示的黑度分布。其中 x 、 y 座标是相应黑度 D (z 方向)的位置座标。图中一个个突出的高峰,是族中特高能量簇射形成的。簇射在 13c.u. 发展到最大。

由于把底片作了单面处理,所以各个簇射分得更清楚。用 $100 \times 100 \mu\text{m}^2$ 的孔径,对 K2528 事例作逐点测量,所测每个簇射的各层黑度,都自动存入磁盘,并与引入 L-M 效应的簇射转换曲线^[4]用最小二乘法进行拟合,给出每个簇射能量 E_r 。事例 K2528 的总观测能量 $\sum E_r = 7631\text{TeV}$ 。逐点测量的同时,也给出簇射斑点相应的座标,精度为 $1 \mu\text{m}$ 。若以能量中心为原点,各簇射的径向位置为 R ,表 1 给出 K2528 事例的各平均量。其中 Δz 表示簇射起始点的深度。当 $\Delta z \leq 6\text{c.u.}$ 时,常认为是 (γ, e) 引起的簇射。

表 1 K2528 事例的各平均量

$\Delta z < (\text{c.u.})$	N	$\langle R \rangle$ (cm)	$\langle ER \rangle$ (TeV.cm)	$\langle E_r \rangle$ (TeV)	$\sum E_r$ (TeV)
6	455	2.04	19.9	14.9	6800

二、事例的特征

围绕着 K2528 事例的能量中心,以不同的半径 R 画圆,作出各环形带内簇射的能谱,如图 3(a),(b) 所示.从图 3 中可以看出,事例中观测能量大于 10TeV 的簇射能谱在 $R < 3\text{cm}$ 范围内对 R 的依赖不敏感.而按核作用运动学关系,可以得到作用产生的粒子,高能粒子在中心,低能粒子在外围,事例特征对此运动学关系不敏感.说明事例产生点相距乳胶室很远,中心与外围部份都经过了多次核作用与电磁级联,使组成族的各簇射分布达到了非常匀称的程度,对于不同的 R ,能谱形式相近.在族的中心部份中,低能簇射被高能簇射形成的本底淹没.按照不同 R 环中的簇射能谱,估计 $R < 10\text{mm}$ 区域内 3—5TeV 的簇射观测能量为 250TeV,相当于总观测能量的 3%.

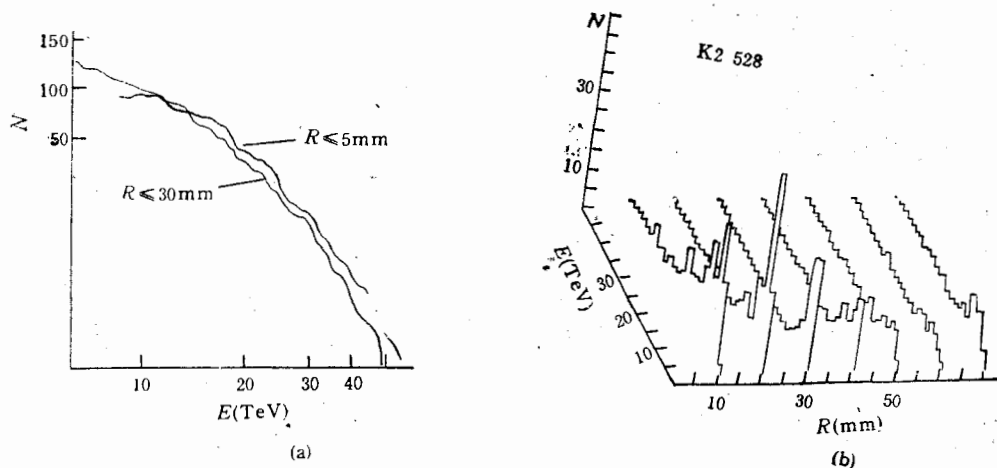


图 3 能谱与 R 的关系

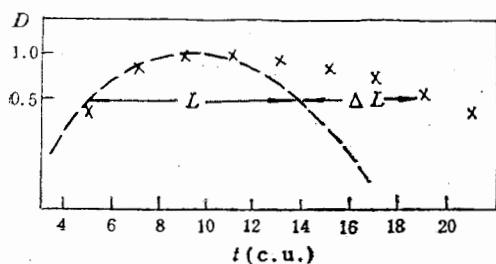


图 4 级联发展曲线的一般形式

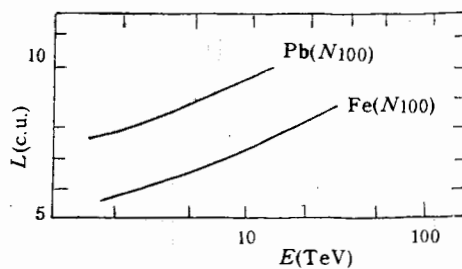


图 5 铁室、铅室级联曲线的半宽度比较

如果利用铅室中晕测量的方法,并引用铁室中高能单点簇射或小族的能量与黑度值标定能量,参照工作[2],可估计出 K2528 事例的总观测能量,基本上与逐点测量结果一致.但由于 K2528 事例产生高度高,事例处于分散状态,不象低空高能核作用那样,产生粒子集中在很小的区域内形成明显的晕.因此用工作[2]的方法估计 K2528 事例的总观测能量涨落较大.此法对高空产生的大族,在使用时应慎重.

簇射在不同物质的乳胶室中,电磁级联发展的曲线形式是不同的.对于最大黑度为

D_{\max} 的簇射,取乳胶室深度为 t_1 、 t_2 处的黑度为 $D_{\max}/2$, 则穿透深度 $L = t_2 - t_1$ (图4). 在铁室中有同样能量簇射斑的大小和穿透深度 L 值, 都比铅室的小(图5). 穿过乳胶室的强子的 L 值要比 γ 线的大, 在铁室中这种强子、 γ 线的 L 值差别会更大, 这就提供了一种在铁室中区分高能 γ 线与强子的可能性.

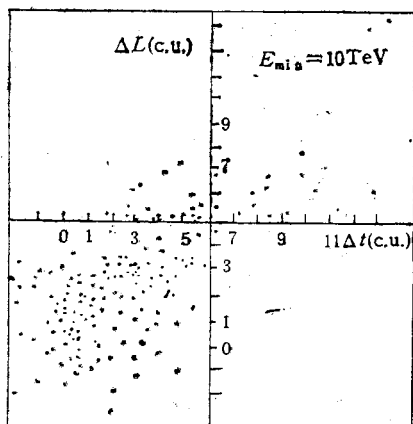


图6 级联发展的半宽度 ΔL 与起始点深度 Δt 的关系

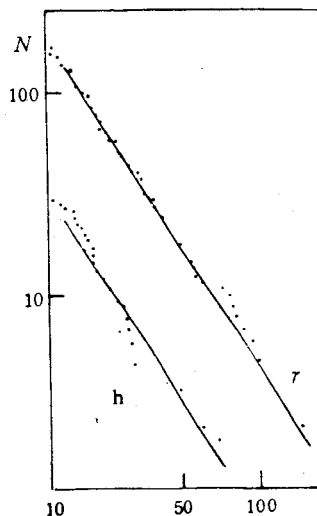


图7 K2528 事例中的 γ 线能谱与强子能谱

取 K2528 事例中能量大于 10TeV 的簇射,起始点深度 Δt 、半宽度 L 的实验值与 γ 电磁级联模拟计算值之差 ΔL , 作出 ΔL 与 Δt 的关系(图6). 当 $\Delta t > 6\text{c.u.}$ 时(相当于强子引起的簇射), ΔL 值基本上大于 5c.u. .

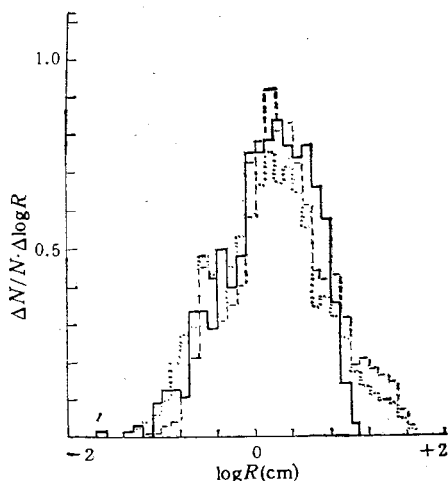


图8 K2528 事例的 $\log R$ 分布
 ---- 为 HDSQI 模型(30 例平均),
 为 PDSQI 模型(21 例平均)

甘巴拉山铁乳胶室厚度为 29c.u. , 可以预计在 $\Delta t > 6\text{c.u.}$ 与 $\Delta t < 6\text{c.u.}$ 两部份中,强子与 Fe 核作用的 Fe-jet 数几乎相等. 若认为 $\Delta L > 5\text{c.u.}$ 的簇射是强子引起的, 则 γ 线与强子的能谱如图7所示. 这是一个幂函数谱.

γ 族中各簇射斑相对能量中心距离 R 的分布,是与高能核作用中发射角分布相对应的. 取 K2528 事例各斑点的 R , 作出 $\log R$ 分布(图8), 图中虚线和点线为观测能量大于 1000TeV 的模拟计算结果. 其中 HD 与 PD 分别表示原初宇宙成份以重核为主和以质子为主, SQ 表示作用模型是 Scaling + QCD-jet, I 表示作用截面随能量上升^[3]. 实验结果与两种模拟结果符合都很好. 这表明 $\log R$ 分布对两种模拟

的模型是不灵敏的.

总之, K2528 事例是目前铁乳胶室观测到的最大能量事例, 它是一个有代表性的高空产生的高能 γ 族。由于产生高度高, 簇射斑分布比较分散, 能谱呈幂函数, 族的核心部份随 R 的变化能谱形式相近。在实验方法上, 在铁室中产生的族, 各簇射可以逐点测量, 高能强子也可能用半宽度方法区分, 强子探测效率比铅室高^[4]。但铁乳胶室中簇射斑比铅室小, 对低能簇射探测不利。

参 考 文 献

- [1] Kasahara. K, 18th ICRC Vol.5 (1983), 283.
 [2] Amenomori. M et al., Proc. Inter. Sym. Cosmic Ray and Particle Physics, 1984 Tokyo 76.
 [3] China-Japan EC Collaboration, 20th ICRC Vol.5 (1987), 316.
 [4] 太田 周, 宇宙線研究, Vol.24 No. 2 (1980), 147.

STUDY ON SUPERHIGH ENERGY γ -RAY FAMILY EVENTS WITH LARGE-SCALE Fe EMULSION CHAMBERS

REN JINGRU LU SUILING SU SHI HUO ANXIANG

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

WANG CHENGRUI ZHANG NAIJIAN HE MAO CAO PEIYUAN LI JINYU

(*Physics Department of Shandong University, Jinan*)

WANG SHIZHI

(*Physics Department of Zhengzhou University*)

LI GUANGJU BAI GUANGZHI LIU ZHONGHE

(*Fundamental Department of Chongqing Architecture College*)

MU JUN ZHOU WENDE

(*Physics Department of Yunnan University, Kunming*)

ABSTRACT

Using a large-scale iron emulsion chamber, a big γ -ray family event with observed energy $\sum E_{\gamma} = 7631 \text{TeV}$ was obtained. This paper described the advantages of iron emulsion chamber for studying big families and the characteristics of the event observed, together with a comparison with the Monte-carlo simulation results.