

# 在甘巴拉山上观测 $\Sigma E_\gamma \geq 1000\text{TeV}$ 的 $\gamma$ 线族事例

任敬儒 况浩怀 霍安祥 陆穗苓 苏实 王允信 薛永贵

(中国科学院高能物理研究所)

王承瑞 何瑁 张乃健 曹培园 李金玉

(山东大学)

白光治 刘中和 李光炬 耿庆喜

(重庆建筑工程学院)

王士智

(郑州大学)

周文德 和仁道

(云南大学)

## 摘 要

介绍了甘巴拉山乳胶室实验中,观测大族的结果。讨论了  $\Sigma E_\gamma \geq 1000\text{TeV}$   $\gamma$  线族的特性,并与 Monte Carlo 模拟结果进行了比较。

目前较直接地提供  $10^{15}-10^{17}\text{eV}$  能域的强相互作用的消息,主要是宇宙线实验,特别是用高山乳胶室观测  $\gamma$  线族的研究。此外,利用已了解的超高能知识,结合  $\gamma$  线族的观测,进行模拟计算,研究超高能宇宙线的组成,传播等问题也是很有意义的。现在加速器的能量已达到  $150\text{TeV}$ ,相当于乳胶室实验中 c-jet 的观测范围。(即观测能量  $\Sigma E_\gamma \sim$  几十  $\text{TeV}$ )。那么今后  $\gamma$  线族的观测,  $\Sigma E_\gamma \geq 1000\text{TeV}$  的族是重要的。

由于甘巴拉山(海拔  $5500\text{m}$ )乳胶室设置地点高,规模扩大,高能量族已有一定积累,能提供一些可信赖的消息。这里就1980年、1981年甘巴拉山乳胶室提供的  $\Sigma E_\gamma \geq 1000\text{TeV}$  的事例,进行初步的研究。其中比较特殊的事例,将在其他文章<sup>[1]</sup>中专门讨论。

## 一、实验情况

甘巴拉山乳胶室从1980年9月由中日合作实验,现在已有铅板83吨、铁板300吨。

这里只就1980年、1981年室的数据进行分析。两次共获得观测能量大于  $200\text{TeV}$  以上的事例如表2所示。按富士山乳胶室所获  $\Sigma E_\gamma \geq 1000\text{TeV}$  事例数的比例<sup>[2]</sup>(1例/ $123\text{m}^2$ ),预计甘巴拉山乳胶室的比为:1例/ $33\text{m}^2$ ,实际上为:1例/( $13-20$ ) $\text{m}^2$ 。

事例测量用的显微密度计有 JOYCE IIICS 型及三鹰产 NGD 全自动测微光度计。各台仪器的测量值相互符合很好。最大黑度  $D_{\max}$  与能量  $E_\gamma$  的关系曲线,由中日双方共

表1 中日合作后甘巴拉山乳胶室的建设情况

室名	时间	曝光量 (m <sup>2</sup> ·year)	厚度 (c.u)
K <sub>0</sub>	80.9—81.9	13.8	Pb 14
		11.0	Pb 30
K <sub>1</sub>	81.9—82.9	1.0	Pb 14
		49.0	Pb 28
K <sub>2</sub>	82.9—84.4	140.9	Pb 14
		29.0	Fe 29
K <sub>3</sub>	83.5—84.5	5.0	Pb 14
		38.6	Fe 29
	计	278.3	
K <sub>4</sub>	84.5—	85m <sup>2</sup>	Pb 14
		58.6m <sup>2</sup>	Fe 29

同用乳胶片标定。因此中日双方数据标准统一,可以通用。在  $\Sigma E_{\gamma} \geq 1000\text{TeV}$  事例中,有两例是日方测定的,三例为中方测定。

表2 1980年、1981年甘巴拉山乳胶室所获  $\Sigma E_{\gamma} \geq 200\text{TeV}$  事例

观测能量 $\Sigma E_{\gamma}(\text{TeV})$	200—500	500—1000	>1000
事例数	11	3	5
计	19 例		

在前一段发表的关于甘巴拉山乳胶室  $\Sigma E_{\gamma} \geq 1000\text{TeV}$  事例的有关论述<sup>[3]</sup>,偏重于“晕”的讨论,只给出一个粗略的结果。这里不再作“晕”的讨论,着重于晕中各成员簇射性质的探讨。

## 二、各种分布与平均值

1980年、1981年甘巴拉山乳胶室共获得观测能量大于1000TeV的事例5例,各参考量值如表3所示。其中 $\langle R \rangle$ 表示簇的能量中心到各簇射斑的距离平均值。 $N_{\gamma}$ 是能量大于4TeV的 $\gamma$ 线数。事例K0E05与K117为日本方面测量,其他三例是中国方面测量。由于乳胶室不够厚,所以明显的强子jet记录的极少。这里不便作更多研究。

从各事例的积分能谱(图1),可以看出事例E<sub>19</sub>与其他四例能谱不同。低能簇射很少。表明事例产生高度太低,未能在空气中形成明显的电磁级联簇射。其他四例基本与MSQI或PSQI等模拟计算不矛盾<sup>[4]</sup>。这里的Monte Carlo模拟计算是假定,原初宇宙线成份中,重原子核(如Fe等)所占比例较大(M),按Scaling(S),QCDjet(Q),作用截面随能量上升 $\sim E^{0.06}(I)$ 及 $P_{\gamma} \propto E^{0.04}$ 进行作用。缩写为MSQI。或者原初宇宙线主要是质子(p),按上述模型作用,写成PSQI<sup>[5]</sup>,图1(b)是5个事例平均的结果。这一结果还不能说明那种模型最合适。从积分能谱难以了解原初成份的讯息。能谱的低能部份,近于幂函数分布 $\sim E^{-\beta}$ ,其中 $\beta \sim 1.40$ 。低空事例 $\beta$ 要变小些<sup>[4]</sup>。

表 3  $\Sigma E_\gamma \geq 1000\text{TeV}$  事例的各参考量

事例号	$\langle R \rangle$ (cm)	$\langle ER \rangle$ (TeV·cm)	$\langle E \rangle$ (TeV)	$N_\gamma$	$\Sigma E_\gamma$ (TeV)
K0E05	3.74	31.44	9.72	117	1137
K0E19	0.45	4.17	14.92	73	1089
K0028	3.09	24.69	9.15	151	1381
K1017	1.48	13.66	11.78	172	2027
K1020	0.92	7.66	12.78	158	2020

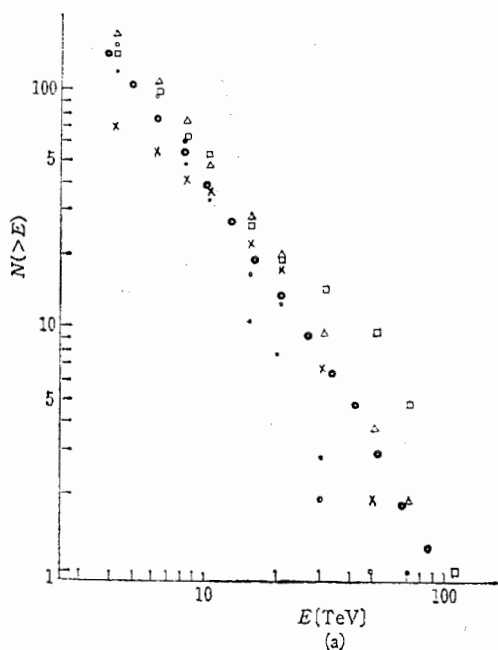


图 1(a) 事例的积分能谱

□ K1—20    ○ K0—28    ● K0E—05  
× K0E—19    △ K1—17    ⊙ MSQI

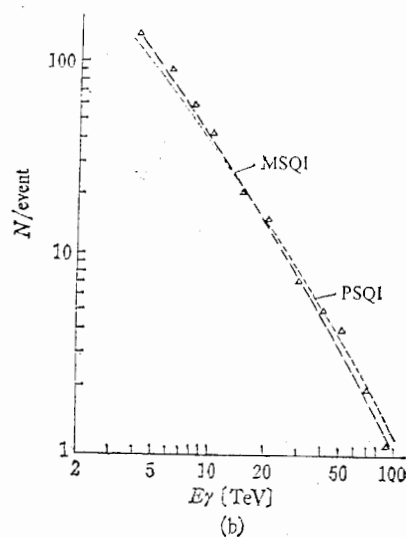


图 1(b) 积分能谱。△为图 1(a) 中事例的平均结果，曲线是模拟结果(其中 MSI 与 MQSI 结果相近)

图 2 是族的  $R$  分布。由于大部份族事例都是在高空发生的核作用，在空气中经过几次作用才到达乳胶室中，现在对普通事例还无法知道它确切的产生高度。因此还不能将  $R$  分布，转化成为赭快度  $\eta$  ( $\eta = -\ln \tan \frac{\theta}{2}$ ,  $\theta$  为发射角) 分布，并与加速器结果相比较。但  $R$  分布在某种程度上反映了发射角  $\theta$  的分布，或赭快度分布。这里看出粒子的分布范围在 10cm 半径之内。如果对每个族都求出密度分布量  $N_\gamma / \langle R \rangle$ ，可以看出事例还有一个分类标准，如原初成份、产生高度等等。图 3<sup>[6]</sup>是按照 MSI 模型模拟的结果，能量在  $100\text{TeV} \leq \Sigma E_\gamma \leq 2000\text{TeV}$  间，但 1000TeV 以上族相当少，而本文数据在 1000—2000TeV 间，图 4 与图 3 情况相同，所以像靠模拟点的外缘。从总的趋势上可以看出，事例 E19 与 E05 虽然能量相近，且都有晕存在，但密度  $N_\gamma / \langle R \rangle$  相差很大，很可能是两种不同事例。

于生

考于丑

很与线面质能释

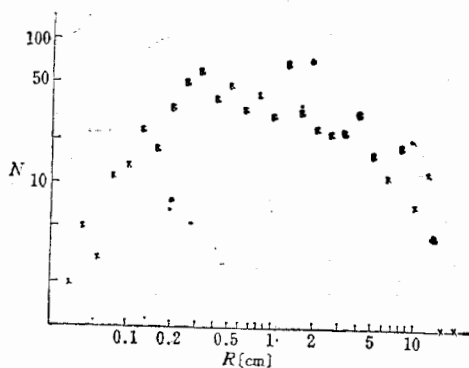
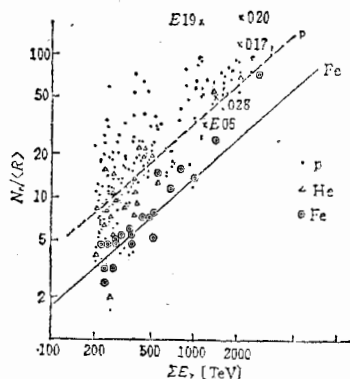
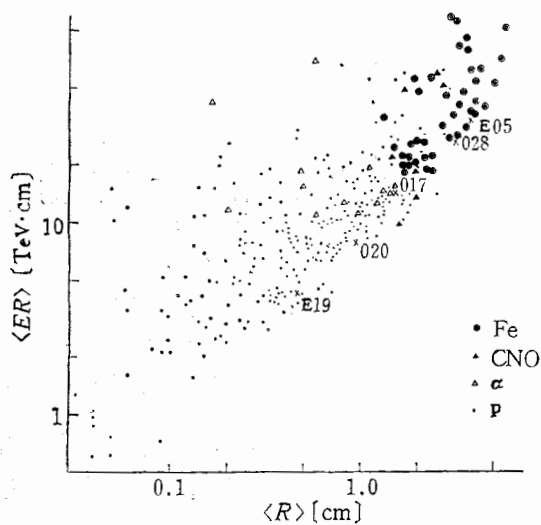


图2 大族的 R 分布

图3 能量  $\Sigma E_r$  与密度  $N_r / \langle R \rangle$  间关系。其中 P、He、Fe 点是按 MSI 模型模拟的结果

由于 E19 事例是极低空事例,所以原初粒子一定不是原核,这与图 3 是一致的。那么也许 E05 事例原初粒子是原子核。在  $\langle R \rangle$  与  $\langle ER \rangle$  的关系中(图 4)<sup>[6]</sup>,也同样表明 E19 与

图4 族的横向扩展量  $\langle R \rangle$  与  $\langle ER \rangle$  间的关系(各种符号的意义同图 3)

E05 是两种不同事例。对照不同作用模型模拟的结果,会导出不同的认识。在这里模拟是采用了 Scaling 模型,实验点的不同分布,可解释为由于原始作用成份不同等原因。如果采用火球模型模拟。这种解释就不一定成立。目前在这样高的能区模拟的结果还很少,在此不便作更多比较与讨论。

获得  $\Sigma E_r \geq 1000 \text{ TeV}$  的事例是比较困难的。而分析这种事例也是很困难的。我们必须逐步弄清事例的真实面目。原初成份与产生高度是分析大族的重要线索。为了探讨大族的性质,最近人们常常作退级联,团化计算处理,使团状结构更加明朗化。但有些事例直观从靶图外形上看,并不存在团状结构;也有些事例存在明显团状结构,但因划分团的标准选择不当,而把几个相近的团合在一起了(图 6)。图 5 是按一般标准取  $\langle H \rangle \sim 1000 \text{ m}$ ,对有明显集团的 E19 事例,作团化的结果,中心部份完全合并在一起了,如果明确产生高度,划分集团就会更合理些。图 6 是按产生高度 70m 作团化的结果,在核心部份明显分出 5 个集团,这与直观图像是一致的。

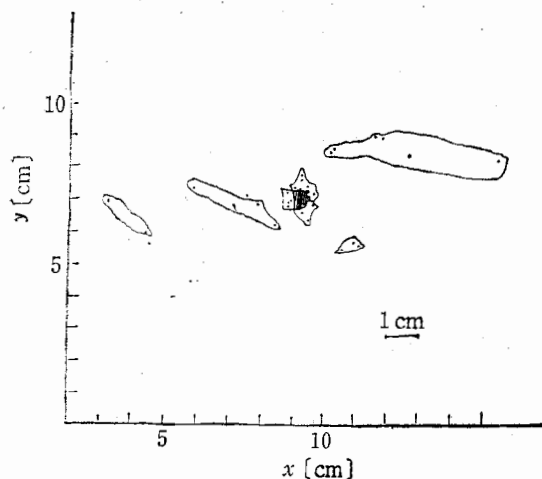


图 5 取一般标准作团化处理后的 E19 集团分布图

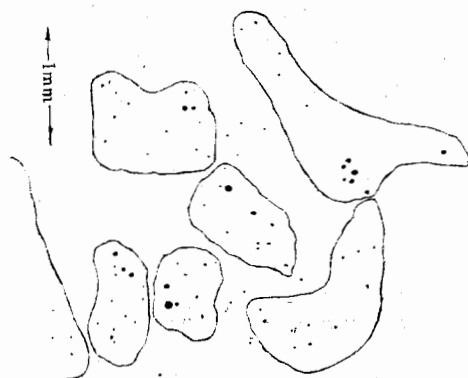


图 6 取产生高度为 70m 时,对 E19 事例作团化处理结果

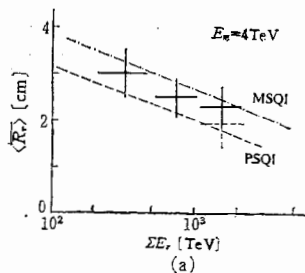


图 7(a),  $\langle \bar{R} \rangle$  与观测能量  $\Sigma E_r$  的关系

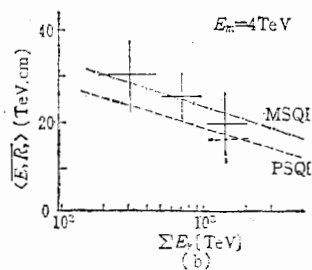


图 7(b)  $\langle \overline{E_r R_r} \rangle$  与观测能量  $\Sigma E_r$  的关系

由于  $\Sigma E_r \geq 1000\text{TeV}$  事例数少,一些统计分布受个别事例的影响涨落很大。如图 7,按表 3 中 5 例参量求出  $\langle \overline{E_r R_r} \rangle$  与  $\langle \bar{R} \rangle$  值,则与 PSQI 模拟相近。其中 E19 事例的原初粒子肯定是强子,而产生高度又极低,所以对仅仅 5 例的平均值影响极大。若去掉 E19 极低空事例,则与 MSQI 相近。那么按照模拟假定  $\langle P_T \rangle \propto E_0^{0.04}$ , 次级粒子的平均横动量  $\langle P_T \rangle$ , 在  $10^{16}\text{eV}$  大约为:  $540\text{MeV}/c$ 。

### 三、结 果

通过上述简要的分析,初步可以归纳成下面的几条事实:

- (一) 甘巴拉山乳胶室一年可以从 13~20 平方米的面积上,得到一例观测能量  $\Sigma E_r \geq 1000\text{TeV}$  的事例。
- (二) 从事例的能谱及  $\langle \overline{E_r R_r} \rangle$ 、 $\langle \bar{R} \rangle$  与  $\Sigma E_r$  的关系来看,还难以判断 MSQI 模型与 PSQI 模型那个更正确些。
- (三) 与已有的几种模拟结果相比较,明确族的原初作用粒子是重核还是质子是困难的。
- (四) 事例的产生高度在分析中起着很重

要的作用,忽略了这一点就难以得出确切的结论。(五)在这些超高能事例中,有一类事例(也许是强子产生的作用)具有非常高的密度 $N_r/\langle R \rangle$ 。

随着甘巴拉山乳胶室实验的进展,事例的累积量会逐渐增多,可以使某些结果肯定下来。在1982年、1983年度 $\Sigma E_\gamma \geq 1000\text{TeV}$ 的事例数已累积到13例,并建成了厚型Fe乳胶室,除对一般 $\gamma$ 线族的探讨外,对强子族的性质也会作出一定的研究。

这项工作是中日联合实验的结果,这篇工作只表示中国方面的一些观点。作者们仅向参加实验的有关人员致以衷心的感谢

### 参 考 文 献

- [1] 任敬儒等, 高能物理与核物理, 8(1984), 156.
- [2] Mt. Fuji COLLABORATION Nuov. Cim. 4L Vol. 67A, 3(1982) 221.
- [3] China-Japan COLLABORATION 18th ICRC (Bangalore) 5(1983) 415.
- [4] China-Japan COLLABORATION, PROC. INT. SYMPOSIUM ON COSMIC RAYS AND PARTICLE PHYSICS, (TOKYO), (1984. 3) 87
- [5] 丁林增等, 18th ICRC(Bangalore) 5(1983) 483.
- [6] Yuda. T 18th ICRC (Bangalore) 5(1983), Rappoter Tolk on HE-5. 在山东大学物理系讲演稿1983.

## ON THE $\Sigma E_\gamma \geq 1000\text{TeV}$ $\gamma$ -RAY FAMILY EVENTS OBSERVED AT MT KANBALA

REN JING-RU KUANG HAO-HUAI HUO AN-XIANG LU SUI-LING SU SHI WANG YUN-XIN  
XUE YONG-GUI

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

WANG CHENG-RUI HE MAO ZHANG NAI-JIAN CAO PEI-YUAN LI JIN-YU  
(*Shandong University*)

BAI GUANG-ZHI LIU ZHONG-HE LI GUANG-JU GENG QING-XI  
(*Chongqing Architecture College*)

WANG SHI-ZHI  
(*Zhengzhou University*)

ZHOU WEN-DE HE REN-DAO  
(*Yunnan University*)

### ABSTRACT

The preliminary results of big family events obtained by emulsion chamber experiment at Mt. Kanbala are presented. General feature of  $\gamma$ -ray families with  $\Sigma E_\gamma \geq 1000\text{TeV}$  are discussed and compared with the Monte Carlo simulation.