

一个 $\Sigma E_\gamma \approx 800\text{TeV}$ 的 γ 线族事例

任敬儒 陆穗苓 况浩怀 苏实 王允信

王殿臣 范海昆 胡文君 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)

陈允鸿 王士智 刘建国 耿庆喜

(郑州大学)

(重庆建筑工程学院)

摘 要

1978年在西藏5500米的甘巴拉山上,建立了面积为5平方米,厚度为40 c. u. 的乳胶室. 经过一年时间回收处理. 找到一个纯量 $\Sigma E_\gamma \geq 800\text{TeV}$ 的 γ 线族事例. 其明显特征是大部份高能斑点远离能量中心,中心处为许多低能斑点组成. 对此进行了分析与讨论.

1977年在西藏甘巴拉山上(海拔5500米),建立了十三吨铅的乳胶室^[1],1978年5月至1979年5月利用原十三吨铅板(每块板厚1cm,面积为 $30 \times 37\text{cm}^2$),改建成一个厚型乳胶室,厚度为20cm铅,面积为 5m^2 ,每个室的单元,自顶上往下数,在3cm铅下,放置一层感光材料,而后每隔1cm铅,放置一层感光材料,室中的感光材料,由上海5F型X光片及天津工业III型X光片(各一张)组成,室的外壳,用白色泡沫塑料板围成,经过了一年时间,收回X光片在北京处理,处理与包装方法同工作[2].

从这个厚室中,得到一个能量 $\Sigma E_\gamma \geq 800\text{TeV}$ 的事例,它是到目前为止,甘巴拉山乳胶室中找到的能量最大的事例. 它是由121个簇射黑斑组成的 γ 族,又由于这个室较厚,所以许多高能强子可以在室中产生 Pb-jet, 形成可见黑斑.

这个事例外形奇特,四个能量最高的簇射黑斑,远离能量中心. 在中心处是密集的低能斑点,而外围的四个大黑斑,都是由 γ 线形成的,有的尚未在空气中形成明显的级联,有的刚刚形成级联,因此可以预计产生高度不太高,从这个事例的特征,我们猜想,可能是作用中产生多个大横动量粒子造成的. 我们过去的工作^[1],及其他人的许多工作都提到有大横动量粒子产生,但不是在同一作用中,含有多个大横动量粒子. 这类事例,会有助于揭开超高能区产生大横动量现象的实质.

实 验 情 况

这个事例的121个肉眼可见的电磁簇射黑斑中，绝大多数黑斑均可在三、四层铅板下的感光材料中观测到。我们对每个簇射都确定出最先看到的黑斑深度，也就是黑斑起始点的位置 Δz ^[3]。凡 $\Delta z \leq 4c.u.$ 的黑斑，定为电磁簇射黑斑，而 $\Delta z > 4c.u.$ 的黑斑，则认为强子产生的 Pb-jet。用显微密度计测量各感光层黑斑黑度，依照三维空间电磁簇射理论，定出簇射的能量^[4]。对于能量大于 10TeV 以上的黑斑，以三种观测孔径 ($50\mu \times 50\mu$; $100\mu \times 100\mu$; $200\mu \times 200\mu$) 测定其黑度，所得结果基本一致。能量大于或等于阈能 $E_{\min} = 2\text{TeV}$ 的电磁簇射黑斑为 74 个，强子在室中产生的 Pb-jet 为 10 个，事例的总观测能量为 $\Sigma E_{\gamma} = 812\text{TeV}$ 。各斑相对于能量中心的平均距离为： $\langle R \rangle = 5.6\text{cm}$ 。

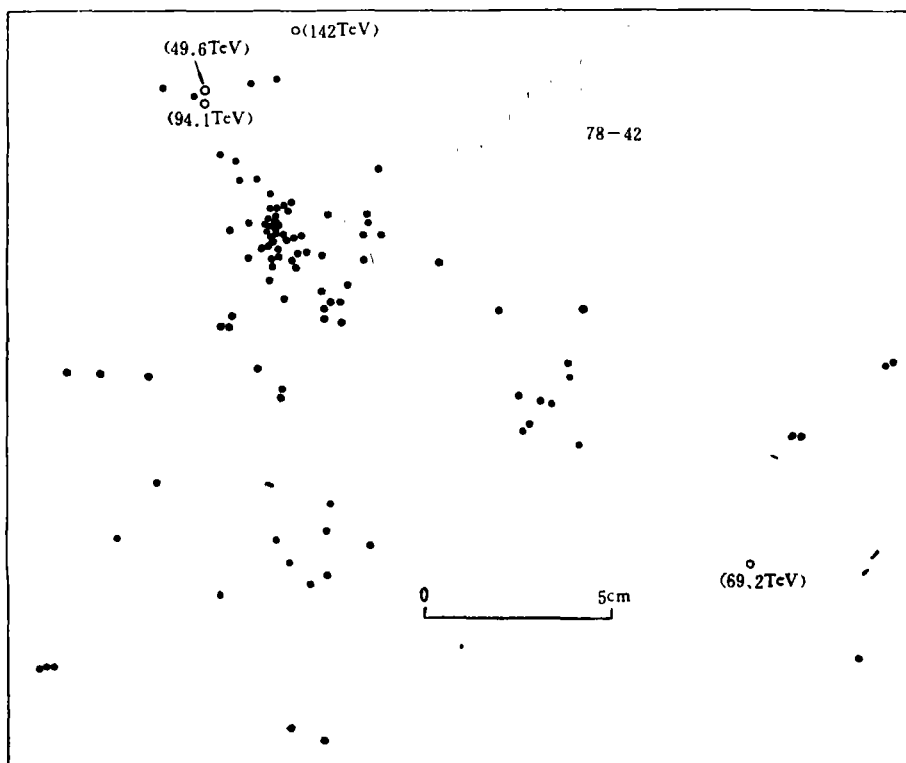


图 1 事例的靶图

图 1 是事例的靶图，括号中的数值是能量值。我们对其中的 γ 线形成的黑斑，都利用了 Semba 标准^[5]，判断那些可能是空气中形成的电磁级联。通过这种组合，希望尽可能减少由于空气中的电磁级联的干扰，进行所谓退级联的组合，恢复作用的本来面目。全部簇射退级联的结果如表 1 所示：

表 1

核心数目 n	1	2	3	4	合计
簇 射 数	24	11	11	2	48

从表上可见单核心的 γ 线数,占总簇射数的一半。这一事实表明这个簇中有一半 γ 线,尚未在空气中发生乳胶室中可观测到的电磁级联。因此对于这样的高能量、高多重数的事例,可以认为主要作用的产生点,到观测点的高度不太高,连续作用的几率也很低。如果认为单核心 γ 线是从产生点,未经空气级联而直接到达乳胶室的 γ 线,那么从表1极粗略地估计出产生点的高度(H):

$$H = 771 \times \ln \frac{48}{24} \simeq 540\text{m.}$$

(式中取在甘巴拉山上电子对的转换长度为771m)。当然这种估计的方法,受观测阈能及低能核作用等影响很大的(在几百米之内)。图2给出了经退级联后,该事例的 γ 线部份

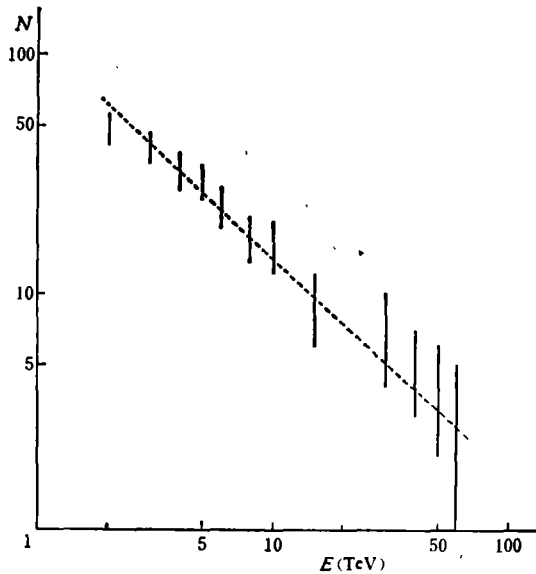


图2 γ 线部份的积分能谱

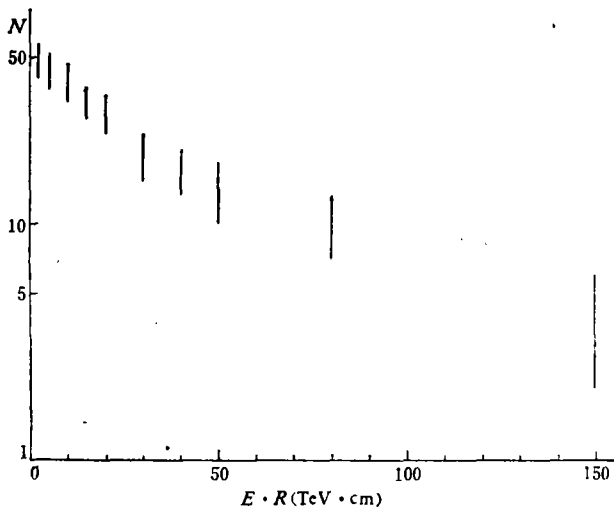


图3 γ 线部份的 $E \cdot R$ 分布

积分能谱。其中能量大于 50TeV 的簇射有四个。图 3 是该事例中 γ 线部份的 $E \cdot R$ 分布。是由两个斜率不同的直线组成。这个转折的出现，也完全是由于上述四个大能量簇射造成的。这四个能量最高的簇射，远离能量中心，才形成四个大 $E \cdot R$ 值的簇射。表 2 给出了它们的观测能量 E_i ；由于空气级联，在乳胶室中观测到的各组 γ 线数目 n_i ；及黑斑的起始点位置 Δz_i ；相对于能量中心的距离 R_i 。

表 2

编号	$E_i(\text{TeV})$	n_i	$R_i(\text{cm})$	$\Delta z_i(\text{c.u.})$	$E_i R_i(\text{TeV} \cdot \text{cm})$
9-1	142.0	1	5.79	1	822.6
9-4	94.1	2	5.32	1	500.5
9-3	49.6	3	5.27	1	261.4
1-1	69.2	2	13.81	2	955.7

对于乳胶室上方 H 高的地方发生的核作用，次级粒子的横动量为 $P_T = \frac{E \cdot R}{H}$ ，因此，

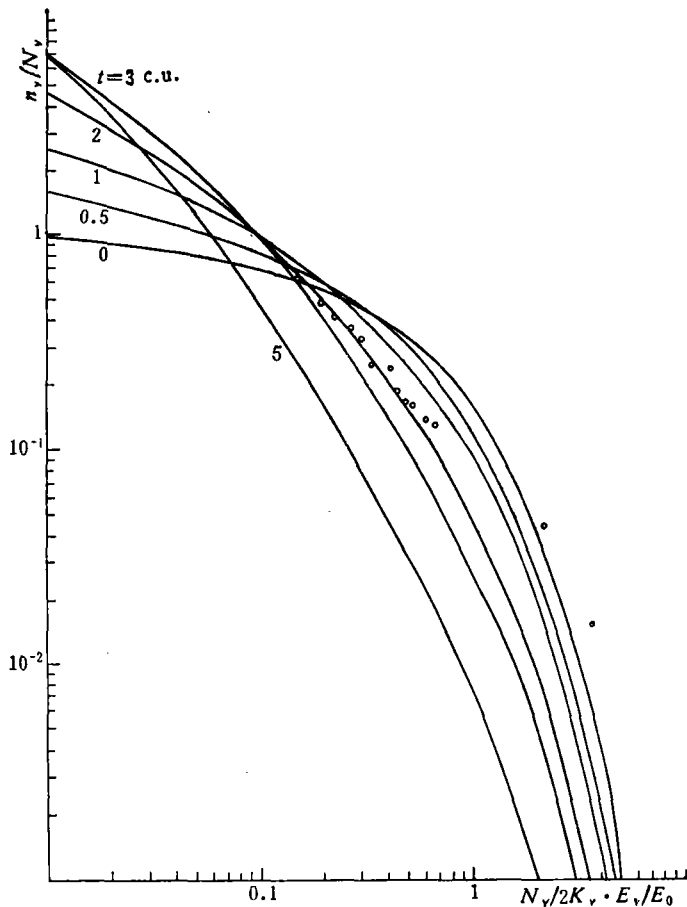


图 4 从 n_γ/N_γ 与 $\frac{N_\gamma}{2K_\gamma} \cdot \frac{E}{E_0}$ 的关系，估计产生的高度

这样大的 $E \cdot R$ 值,很可能是与很大的横动量 P_T 值相对应的,那么,仔细估计作用点的高度 H ,是相当重要的。

对于有 N_γ 个成员的族,能量大于 E 的 γ 线为 n_γ ,作用中转化为 γ 线部分的非弹性系数为 K_γ ,那么考虑到 γ 线在空气中的传播,对于初能为 E_0 的 γ 族,依 n_γ/N_γ 与 $\frac{N_\gamma \cdot E}{2K_\gamma \cdot E_0}$ 的关系^[6],可以进一步估计出事例主要部份的产生高度。从图4可以看出该事例主要部份的产生高度在 2c.u. 之内,即 1000 米左右。那么,上述四个大 $E \cdot R$ 值的 γ 线相对应的 $P_{T\gamma}$ 分别为: 8 GeV/c; 5 GeV/c; 3 GeV/c; 10 GeV/c。比在这个能区的高能 γ 线的平均横动量 $\langle P_{T\gamma} \rangle \simeq 200$ MeV/c,要大几十倍。

讨 论

在高能核作用中,产生 $P_T = 10$ GeV/c 左右的次级粒子已在一些实验中提到。特别是乳胶室中的相距较远的双核心现象,都暗示着有特大的横动量粒子存在。而且这种大横动量的事例,在 $\Sigma E_\gamma > 100$ TeV 的 γ 族中占有相当高的比例(预计可大于 10%^[6])。但在一个事例中有多个明显地远离核心的大能量簇射还是相当少见的。因此有必要对所得的事例作进一步的讨论与审核。

这个事例中,各簇射的能量,已用三个不同的观测孔径进行了测量,结果基本相互一致,直观看来,对横动量影响最大的量是产生高度 H 。前面我们对 H 已作了估计,取 $H = 1000$ m。如果这个 H 值估计偏低,而可能是 2—3 km,这样每个大能量簇射相应的 $P_{T\gamma}$ 值仍然很大,但如果取 $H = 2—3$ km, γ 线通过 2—3 km,应产生一个不小的空气级联,这么高能量的空气簇射,应在乳胶室中产生一个不小的集团,可是并未见到。

这种事例是否可能由于多次作用而造成的多个大 $P_{T\gamma}$ 粒子产生的现象呢? 我们这里作一个极粗略的估计,假设原初作用中一个高能次级粒子能量为 E_1 ,产生高度为 H ,横动量为 $\langle P_T \rangle$ 。经过 $H/2$ 的高度发生第二次作用,产生一个能量很高的前导粒子,能量为 KE_1 ,横动量为 $\langle P_T \rangle$ 。如果没有第二次作用粒子就到达乳胶室,那么与原初轴线的距离为 $R_1 = \frac{H \langle P_T \rangle}{E_1}$ 。而经过第二次作用,产生的前导粒子到达乳胶室时,与原初轴线的距离(设 $K = 0.5$)为: $R_2 \leq 2R_1$ 。距离 R_2 是会比 R_1 大许多的。这时如果我们估计作用高度为 $H/2$,而能量只能为 KE_1 ,所以 $P_T = \frac{E_2 \cdot R_2}{H/2} \simeq \langle P_T \rangle$ 。这也就是说,由于多次作用会使 R 增大,但也必让能量衰减,而 $E \cdot R$ 值的变化较小。主要决定实验上 P_T 值的量,仍旧是 H 。关于这一点,在 Monte Calo 计算中^[7]给出了类似的结果,如果不引进有较大截面的大横动量粒子,那么在 $H > 1000$ m 后 $E \cdot R$ 的变化是很小的,所以多次作用的结果,会同 H 估计错误的影响差不多。只能使 P_T 值增长 1—2 倍,但这对我们的事例来说,既使 P_T 缩小 1—2 倍,仍然是一个产生了多个具有大横动量次级粒子的事例。

那么首次作用的原初宇宙线会不会是高能原子核呢? 假设原初为核,那么这几个大能量簇射,可能是 1000 m 以上高空的强子,顶级作用的贡献。可是我们没在这几个大斑附近找到大能量强子。这就要求上空的几个强子最后一次核作用的非弹性系数很大,而

且次级粒子中一定有一个 π^0 介子的能量要比其他粒子能量高一个数量级, 因此这种情况的几率是相当小的。

大横动量的现象发生, 标志着粒子在更深层发生碰撞。目前在宇宙线超高能实验中, 在 $\Sigma E_\gamma \geq 100 \text{ TeV}$ 的 γ 线族中, 这种大 P_T 的现象发生率, 要比按加速器实验的结果外推得到的事例数大许多倍。尤其是这种在作用中, 同时产生几个大横动量粒子的现象, 更是我们现在了解的物理知识所难以解释的, 这种奇异的事例, 可以为超高能作用的研究, 提供一些有意义的消息, 丰富人们对基本粒子的了解。

本工作受到了张文裕先生、何泽慧先生、力一先生的关怀指导。霍安祥、丁林璁等同志多次参加讨论, 提出许多宝贵意见, 作者深表感谢。

参 考 文 献

- [1] 任敬儒等, 高能物理与核物理, 4(1980), 349.
- [2] 中国科学院高能物理研究所乳胶组, 物理学报, 25(1976), 342.
- [3] 王承瑞等, 山东大学学报, 2(1980), 7.
- [4] I. Ohta, *Suppl. Prog. Thero. Phys.*, 47(1971), 271.
- [5] Y. Fujimoto et al., *Physios Report*, 65(1980), 152.
- [6] M. Akashi et al., *Prog. 16th Int. Conf. on Cosmic Rays Kyoto (1979)*, HE5-36.
- [7] S. G. Bayburina et al., *ICR-Report-86-81-2 (1981)*.

AN ULTRAHIGH ENERGY COSMIC RAY EVENT WITH $\Sigma E_\gamma \simeq 800 \text{ TeV}$

REN JING-RU LU SUI-LING KUANG HAO-HUAI SU SHI WANG YUN-XIN

WANG DIAN-CHEN FAN HAI-KUN HU WEN-JUN XUE YONG-GUI

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

WANG CHENG-RUI HE MAO ZHANG NAI-JIAN

CAO PEI-YUAN LI JIN-YU

(*Shandong University*)

CHEN YUN-HONG WANG SHI-ZHI

(*Zhengzhou University*)

LIU JIAN-GUO GENG QING-XI

(*Chongqing Architecture College, China*)

ABSTRACT

An emulsion chamber of area 5 m^2 and thickness 40 c.u. was installed at Mt. Kambala (5500 m above the sea level), Tibet, China and exposed for one year. A γ -ray family event with $\Sigma E_\gamma \geq 800 \text{ TeV}$ is found in the chamber. The striking feature of the event is that most of the high energy spots are located far from the energy-weighted center of the event, while numerous low energy spots are concentrated near the energy center.