

# 一个大横动量的超高能核作用事例

任敬儒 陆穗苓 苏 实 王允信 王殿臣 潘继荣

(中国科学院高能物理研究所)

何 瑁 张乃健 曹培园 陈 允 鸿

(山 东 大 学)

(郑 州 大 学)

## 摘 要

在西藏的甘巴拉山(海拔 5500 米)上设置了 13 吨铅的乳胶室。找到了一个很有趣的超高能核作用事例,总观测能量为  $\Sigma E_{\gamma} = 445\text{TeV}$ , 这个事例的外形特点是有两组明显分离的高能簇射。初步分析表明,产生这两组簇射的粒子具有异乎寻常的大横动量。这预示超高能核作用中可能存在着另一种作用机制,它的某些性质不同于 H 量子与 SH 量子等模型。

在前几次云南乳胶室实验的基础上<sup>[1,2]</sup>,1977 年 8 月在西藏 5500 米的甘巴拉山顶上,建立了 13 吨铅规模的乳胶室,用于探索实验条件,研究超高能核作用。乳胶室由两部分组成,一部分面积是 5 平方米,由 10 层 1 厘米厚的铅板与 X 光片交替迭合组成;另一部分面积为 8.5 平方米,由 4 层 1 厘米厚的铅板与 X 光片交替迭合组成,我们所用的感光材料是国产的南方牌与天津工业 III 型两种 X 光片。乳胶室的感光材料在 1978 年 5 月取回,在北京处理。这里介绍一个能量为  $\Sigma E_{\gamma} = (445 \pm 178)\text{TeV}$  的大横动量的  $\gamma$  族。(  $\Sigma E_{\gamma}$  表示事例中能量大于  $E_{\min} = 2\text{TeV}$  的  $\gamma$  线的能量总和,  $E_{\min}$  是乳胶室探测的阈能)。联系其他实验<sup>[3,4]</sup>,表明超高能核作用中可能存在着另一种作用机制,它的某些性质不同于 H 量子与 SH 量子模型。

## 能 量 的 测 定

乳胶室是通过观测  $\gamma$  线在室中产生的电磁簇射,来确定  $\gamma$  线的能量  $E_{\gamma}$  的。核作用中产生的其他粒子只能通过测量由  $\pi^0$  等衰变而产生的  $\gamma$  线的能量间接估计出来。 $\gamma$  线产生的电磁簇射,在乳胶室中的 X 光片上形成黑斑。我们要通过测量黑斑的黑度,来确定  $\gamma$  线的能量。那么怎样建立黑斑黑度  $D$  与  $\gamma$  线能量  $E_{\gamma}$  间的关系呢? 我们用能量为 35MeV 的电子加速器的电子束,照射迭在一起的乳胶片与 X 光片,用显微密度计测量 X 光片的黑度,并定出乳胶片中相应位置的电子数,作出 X 光片黑度与电子密度的特性曲线。根据三维电磁簇射理论<sup>[5]</sup>,采用光度学测量方法<sup>[6]</sup>,定出了簇射的能量。由于 X 光片灵敏

度低,显微密度计的观测孔面积采用  $100 \times 100$  微米<sup>2</sup>. 把测得的  $\gamma$  线能谱及各种  $\gamma$  线族的频蔽与其他乳胶室工作<sup>[7]</sup>进行了比较,结果基本上是一致的. 在 5 平方米的 10 厘米厚的乳胶室中,找到 3 个  $\Sigma E_{\gamma} \geq 100$  TeV 的事例,其中一个事例(365<sup>#</sup>)  $\Sigma E_{\gamma} = (445 \pm 178)$  TeV. 下面就这一事例作一些讨论.

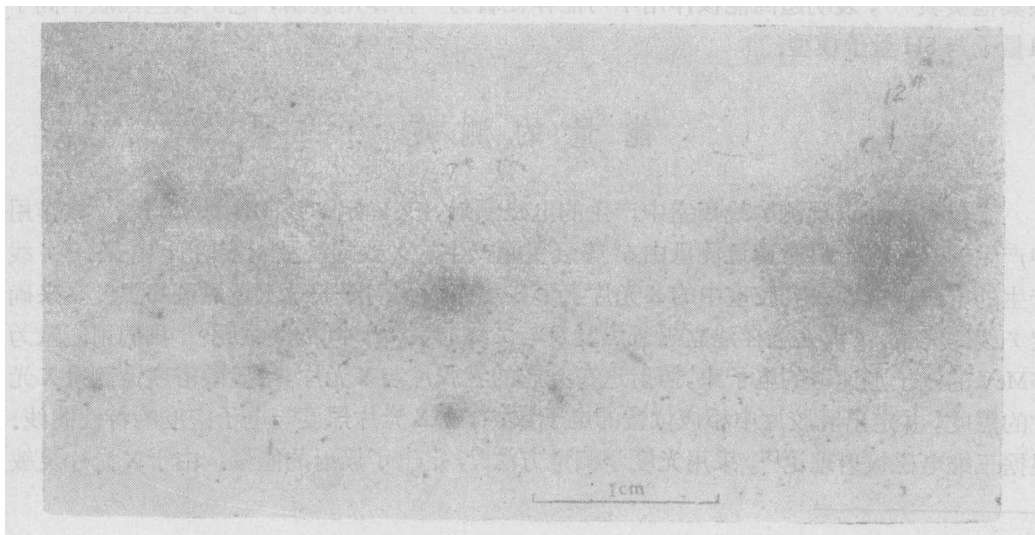
## 事例的描述

365<sup>#</sup> 事例是由 60 个肉眼可见的电磁簇射黑斑组成的. 大部分簇射都穿透 10 厘米厚的乳胶室,其中心区有相距 1 厘米的两个黑团 7<sup>#</sup> 和 12<sup>#</sup>. 7<sup>#</sup> 由 9 个黑斑组成,12<sup>#</sup> 由 12 个黑斑组成,如照片所示. 其能量分别为:  $\Sigma E_{\gamma, 12} = 153.3$  TeV,  $\Sigma E_{\gamma, 7} = 104.0$  TeV. 根据斑的黑度在各层 X 光片中的变化,可以推断,多数黑斑是由  $\gamma$  线或电子形成的. 黑斑与能量中心的距离为  $r_i$ ,  $\langle E \cdot r \rangle = 8.3$  TeV  $\cdot$  cm. 按广范围的 Monte-Carlo 模拟计算分析,若核作用的主要部分产生在室上方  $\sim 1$  千米以上的地方,则  $\langle E \cdot r \rangle > 10$  TeV  $\cdot$  cm<sup>[10]</sup>. 因此,365<sup>#</sup> 事例产生的高度可能小于 1 千米. 又在几十 TeV 能区核作用的平均横动量为:

$$\langle P_{T\gamma} \rangle \approx 200 \text{ MeV}/c^{[10]}, \text{ 那么也可粗略估计 } 365^{\#} \text{ 事例的产生高度约为: } H = \frac{\langle E \cdot r \rangle}{\langle P_{T\gamma} \rangle} \approx$$

420 米. 从另一方面也可以估计 365<sup>#</sup> 事例产生的高度. 作用中产生的许多  $\pi^0$  介子,几乎立即衰变成两个  $\gamma$  线. 如果这两个  $\gamma$  线到达乳胶室形成相距为  $R_{ij}$  的两个黑斑,被测出能量为  $E_{\gamma i}$  及  $E_{\gamma j}$ , 那么,由运动学可以推导出关系式  $H_{ij} = R_{ij} \sqrt{E_{\gamma i} E_{\gamma j}} / m_{\pi^0}$ , 式中  $m_{\pi^0}$  为  $\pi^0$  介子的质量,  $H_{ij}$  表示  $\pi^0$  介子产生点至乳胶室中观测之间的距离. 我们用这种组合  $\pi^0$  的方法<sup>[9]</sup>,对 365<sup>#</sup> 事例中任意两个黑斑,都求出  $H_{ij}$  值,并作分布,如图 1 实线所示. 在  $H=400$  米附近有一峰值,这就又一次预示着 365<sup>#</sup> 事例可能产生在 400 米左右的低空. 在本文讨论一节中,进一步分析得出 365<sup>#</sup> 事例产生的高度为:  $400 \pm 130$  米左右.

图 2 是 365<sup>#</sup> 事例的  $E_i/\Sigma E_i$  积分谱,图中的短划线与点划线表示按  $H$  量子与 SH 量



365<sup>#</sup> 事例经 6 厘米铅板后的照片

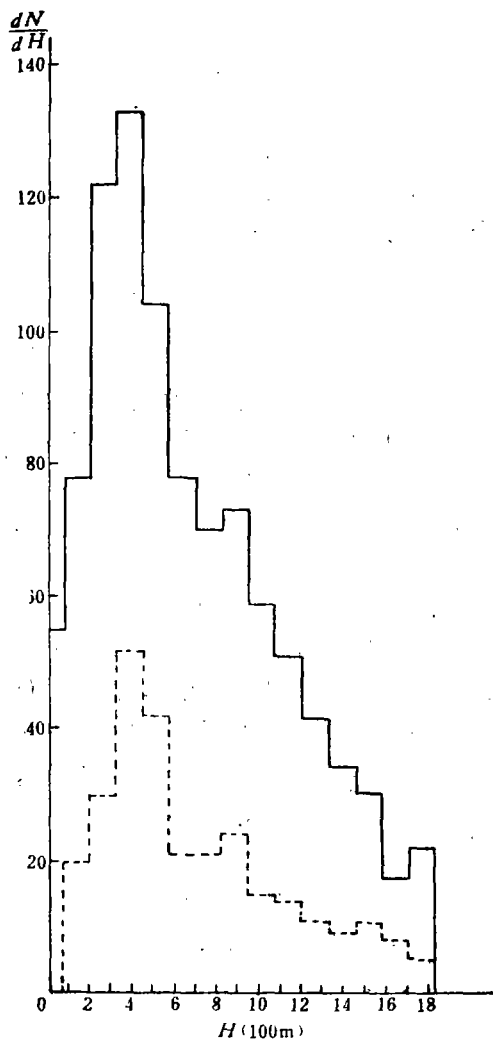


图1 365\*事例组合高度  $H_i$  的分布

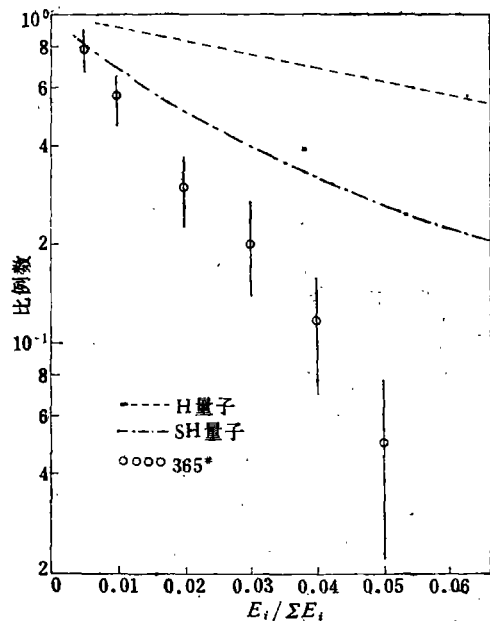


图2 365\*事例的  $E_i/\Sigma E_i$  谱

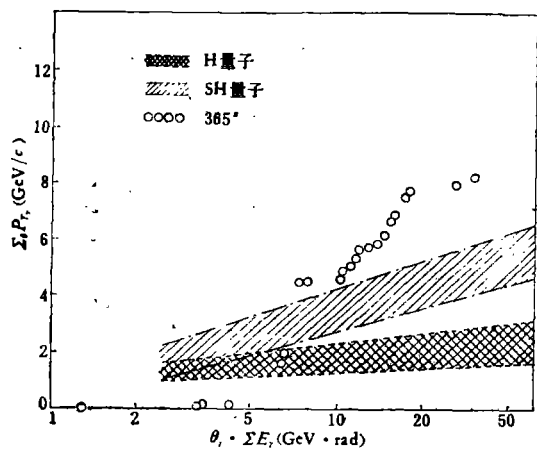


图3 365\*事例的  $\Sigma_\theta P_\theta$  与  $\theta \Sigma E_\theta$  间的关系

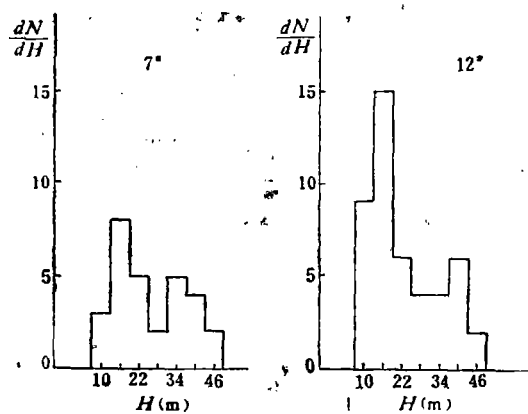


图4 12\*、7\*集团中黑斑相应高度  $H_i$  分布

子模型作出的  $E_i/\Sigma E_i$  谱<sup>[4]</sup>.

图3是365\*事例的  $\Sigma_\theta P_{T\gamma}$  与  $\theta \Sigma E_\gamma$  图. 量  $\Sigma_\theta P_{T\gamma}$  表示作用的发射角小于  $\theta$  的次级  $\gamma$  线的横动量总和. 从这个图可以看出, 在某一角度间隔横动量增长很大, 明显偏离于H量子与SH量子模型. (图中短划线与点划线仍表示H量子与SH量子的分布). 365\*事例的平均横动量为:  $\langle P_{T\gamma} \rangle = 203 \pm 80 \text{ MeV}/c$ , 与这个能区的一般作用比较, 差别不大.

## 讨 论

365\*事例的一个突出特征是中心区有两个清楚分离的集团, 而整个事例的全部黑斑分布又比较集中. 如果把集团12\*与7\*的黑斑去掉, 则  $H_{ij}$  的分布如图1中的虚线所示. 峰的位置基本不变.  $H$ 值有个分布, 是由于能量测量误差造成  $H_{ij}$  有一窄的分布; 又由于许多  $\gamma$  组合并不是由一个  $\pi^0$  产生的  $\gamma$  组成, 形成一个很宽分布. 图1是两种分布的叠合. 如不重复取  $\gamma$  组合  $\pi^0$  求  $H_{ij}$ , 结果落在  $400 \pm 130$  米范围的  $\gamma$  线数, 占全部  $\gamma$  线(除7\*、12\*集团)89%, 全部  $\gamma$  的  $H$  值都在两倍偏差之内. 我们可以假定12\*、7\*集团是400米上空作用中产生的粒子. 如果分别把这两个集团中的黑斑进行组合  $\pi^0$ , 则得到两个分布, 如图4所示. 12\*集团在16米处存在一个明显的峰. 7\*集团不太明显, 但分布范围不大. 如果认为12\*、7\*集团是在400米上空作用中产生的两个粒子, 而后在16米左右低空发生作用, 那么这两个粒子的横动量是相当大的:  $P_{T,12^*} = (2.6 \pm 1.0) \text{ GeV}/c$ ,  $P_{T,7^*} = (1.5 \pm 0.6) \text{ GeV}/c$ . 作一个横动量的方向分布图, 如图5所示. 看不出12\*集团与7\*集团有什么共面性.

对12\*集团与7\*集团的黑斑作  $F$  图, 即  $F/1 - F$  与发射角  $\theta$  的关系图, 如图6所示.  $F$  表示在作用中发射角小于  $\theta$  的粒子数与作用中的全部粒子数之比. 在这里只取可观测到的  $\gamma$  线数. 图6所示的关系明显是斜率为2的直线. 这表明这些  $\gamma$  线可能是从各向同性的发射系统中发射出来的.

参照工作[8], 作出  $\gamma$  线发射角小于  $\theta$  的横动量  $P_T$  的总和  $\Sigma_\theta P_T$  与能量的总和  $\Sigma_\theta E_\gamma$  的分布. 在火球模型假设下, 这两个量可表示为:

$$\Sigma_\theta P_T = \frac{m_r}{2} \left[ \text{tg}^{-1} \gamma \theta - \frac{\gamma \theta (1 - \gamma^2 \theta^2)}{(1 + \gamma^2 \theta^2)^2} \right], \quad \Sigma_\theta E_\gamma = \gamma m_r \left[ 1 - \frac{1}{(1 + \gamma^2 \theta^2)^2} \right].$$

选取适当的  $\gamma$  与  $m_r$ , 使上式与实验结果相拟合, 从而定出火球质量  $m_r$  与罗仑兹因子  $\gamma$ . 对于12\*集团与7\*集团粒子, 结果如图7所示. 这就是说, 若12\*、7\*集团发生的作用可用火球描述, 那么  $m_{r,12} = 4 \text{ GeV}$ ,  $m_{r,7} = 2 \text{ GeV}$ . 我们认为由于我们的探测阈能较高, 所以得到的  $m_r$  值偏低.

在  $\Sigma E_\gamma \geq 100 \text{ TeV}$  的能区, 已经报导了许多大横动量粒子的事例, 这些事例的特征同火球模型有明显的偏离. 这预示着有一种新的作用机制要我们来认识, 这种新的机制是与产生大横动量粒子相联系的. 365\*事例就是这种大横动量事例. 如果取产生  $\gamma$  线部分的非弹性系数  $K_\gamma$  为  $1/3$  时, 则在400米上空的原初作用中产生12\*、7\*两个集团的粒子的横动量将分别为  $P_{T\gamma} = 4.6 \text{ GeV}/c$  与  $P_{T,12} = 7.8 \text{ GeV}/c$ .

在同一乳胶室中还找到一个能量较低的大横动量事例(147\*).将它与365\*事例作一

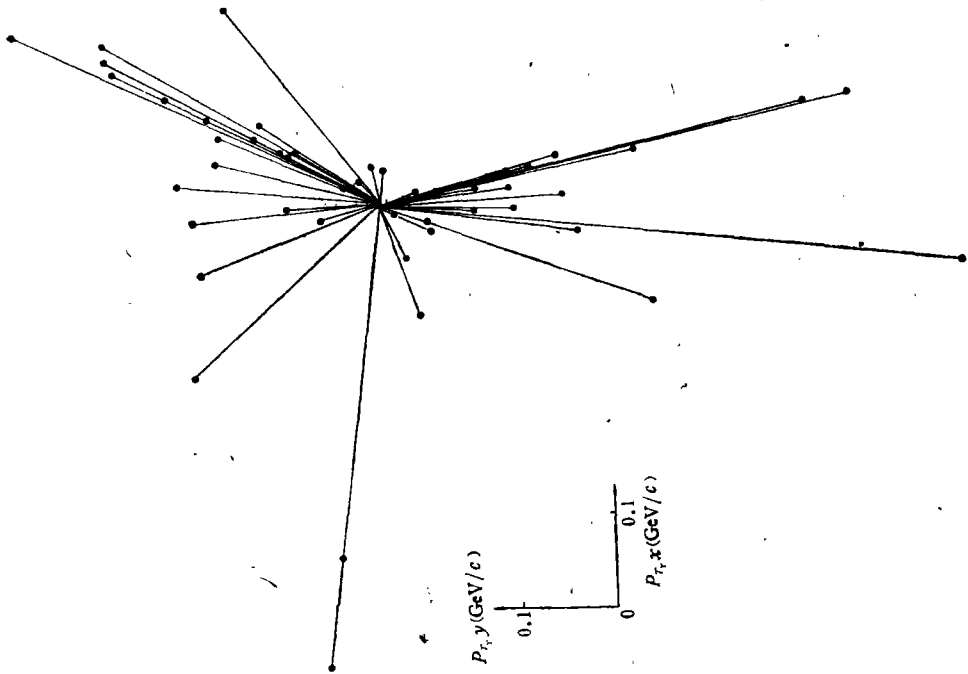


图 5 365# 事例的  $P_{T\gamma}$  分布

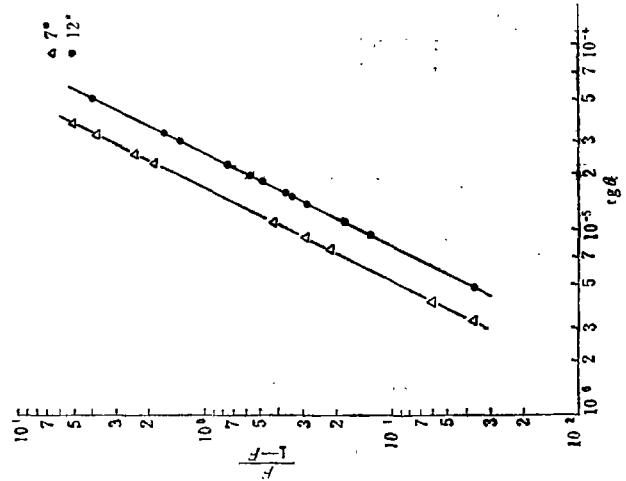


图 6 12#、7# 集团的  $F/1 - F$  与  $\lg \theta$  关系

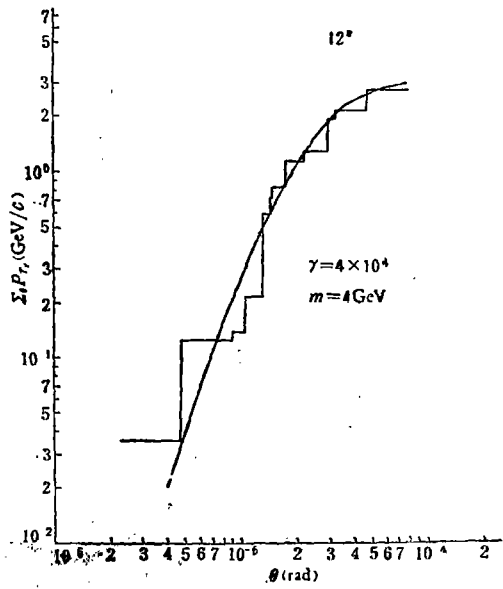
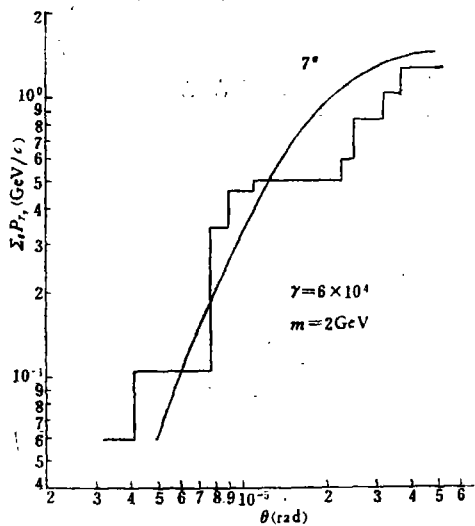
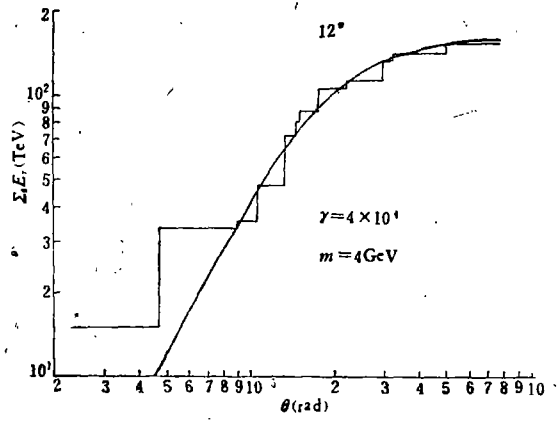
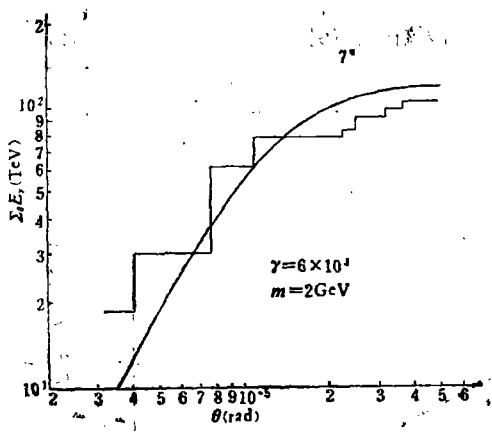


图 7 - 12°、7° 集团  $\Sigma_{\theta} P_{\nu}$  与  $\Sigma_{\theta} E_{\nu}$  分布

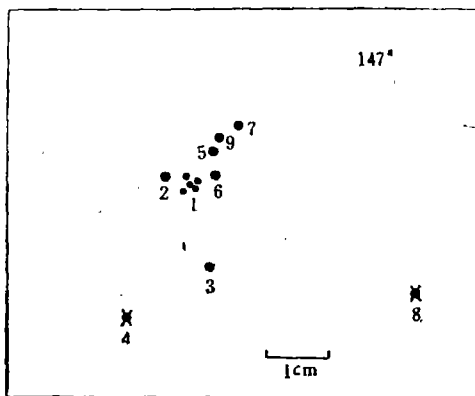


图 8 147° 事例靶图

比较,也是有意义的。147\*事例的靶图如图 8 所示。“●”表示  $\gamma$  线或电子,“×”表示强子形成的黑斑。强子形成的黑斑“8”是在 6 厘米的铅板下出现的。黑斑“4”从黑度变化上看,也可能是强子。事例总观测能量  $\Sigma E_{\gamma} = 37 \text{ TeV}$ 。将黑斑“4”和“8”除外,我们利用  $\gamma$  线(或  $e$ )的黑斑组合成  $\pi^0$  的方法,求出产生高度  $H_{if}$ , 并作出分布,得到高度为 110 米左右。按此高度粗略估计“4”和“8”的横动量(取产生  $\gamma$  线部分的非弹性系数为 1/3)分别为  $P_{T_1} = 4.4 \text{ GeV}/c$ ,  $P_{T_2} = 6.0 \text{ GeV}/c$ 。这与上面介绍的 365\* 事例是相似的,只不过 365\* 事例产生的大横动量粒子,在乳胶室上空发生了作用,而 147\* 事例中大横动量粒子,是在乳胶室内发生了作用。

这项工作得到张文裕先生、何泽慧先生的关怀和指导。工作中与霍安祥、况浩怀、丁林凯同志及山东大学王承瑞先生进行了多次讨论,他们提出许多宝贵意见,作者向他们致谢。

### 参 考 文 献

- [1] 中国科学院高能物理研究所乳胶室组,物理学报,25(1976),342.
- [2] 任敬儒等,高能物理与核物理,2(1978),318.
- [3] M. Akashi et al., Proc. 15th Int. Conf. on Cosmic Rays, Plovdiv, 7(1977), 184.
- [4] N. Arata. *Nuovo Cim.*, 43A(1978), 455.
- [5] J. Nishimura, *Suppl. Prog. Theor. Phys.*, 32(1964), 72.
- [6] I. Ohta, *Suppl. Prog. Theor. Phys.*, 47(1971), 271.
- [7] M. Akashi et al., Proc. 15th, Int. Conf. on Cosmic Rays. Plovdiv, 7(1977). 190.
- [8] Japanes-Brazilian Emulsion Chamber Group, *Suppl. Prog. Theor. Phys.*, 47(1971), 1.
- [9] A. V. Apanasenko et al., Proc. 15th, Conf. on Cosmic Rays, Plovdiv, 7(1977), 220.
- [10] I. Ohta et al., Proc. International Cosmic Ray Symposium on High Energy Phenomena, (1974), 33.

## AN ULTRA-HIGH ENERGY NUCLEAR INTERACTION EVENT OF LARGE TRANSVERSE MOMENTUM

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

WANG DIAN-CHEN PAN JI-RONG

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

HE MAO ZHANG NAI-JIAN CAO PEI-YUAN CHEN YUN-HONG

(*Shandong University*)

(*Zhengzhou University*)

### ABSTRACT

An emulsion chamber of 13 tons Pb was exposed on Mt. Kanbala (5500 m above sea level) of Tibet. A very interesting ultra-high energy event with total observed energy  $\Sigma E_{\gamma} = 445 \text{ TeV}$  was obtained. The profile of the event is characterised by two groups of high energy showers, separated clearly from each other. Preliminary analysis shows that the particles giving rise to these two shower groups have extraordinarily large transverse momenta. This predicts the possible existence of a new mechanism in ultra-high energy nuclear interactions, which has certain characteristics different from those predicted by the H-quantum and SH-quantum models.