

## 快 报

# $\gamma$ 族事例方位角各向异性的解释\*

和煜东 朱清棋 霍安祥

(中国科学院高能物理研究所)

### 摘 要

对高山乳胶室方位角各向异性的 $\gamma$ 族事例可能的形成机制做了探讨. 采用 D-ND 模型和 SD-SH 模型对族现象进行了 Monte-Carlo 模拟, 得到了与 Pamir 实验相符的各向异性度分布及高各向异性度事例率. 指出, 产生碎裂区少体粒子的衍射过程对 $\gamma$ 族各向异性有重要贡献, 是共线事例的主要成因. 而 QCD jet 产生对 $\gamma$ 族的各向异性的效应并不重要.

### 一、引 言

近年来, Pamir 合作组报道了在高山乳胶室记录的 $\gamma$ 族事例中发现的共线结构事例<sup>[1]</sup>. 最近, 在甘巴拉山乳胶室实验中也看到了这类事例. Pamir 组定义了几个描写 $\gamma$ 族方位角各向异性度的统计量<sup>[1,2]</sup>, 其中, 与线性关联系数 $r$ 相联系的统计量 $Z$ , 对族的方位角各向异性度十分敏感. 其定义为:

$$r = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\left[ \sum_i (x_i - \bar{x})^2 \sum_i (y_i - \bar{y})^2 \right]^{1/2}},$$

$$Z = 0.5 \ln \left[ \frac{1 + |r|}{1 - |r|} \right].$$

其中 $x_i, y_i$ 是族中各 $\gamma$ 簇射点的坐标,  $\bar{x}, \bar{y}$ 是以能量为权重的中心点坐标. Pamir 组对 $\sum E_\gamma = 100-400\text{TeV}$ 、 $n_\gamma \geq 10$ 的 $\gamma$ 族事例作了分析, 获得了 $Z$ 的分布, 并发现 $Z > 1.6$ 的事例占总族数的 $(12 \pm 3)\%$ , 远远大于 MJ 模型<sup>[3]</sup>(一个碎裂区 Feynman scaling 中等程度破坏并包含 QCD jet 产生的强子作用模型)的预期值 $(3 \pm 2)\%$ <sup>[1]</sup>. 可以认为, 除了统计涨落外, 还有其他的物理成因. 但能否用现有的知识给以解释呢? 本工作给出描写事例特征的两个统计量的定量解释, 结果表明, 衍射过程是形成方位角各向异性的主要原因.

### 二、模型和分析方法

采用 D-ND 模型和 SD-SH 模型<sup>[4]</sup>对高山乳胶室 $\gamma$ 族现象作了 Monte-Carlo 模

\* 国家自然科学基金资助的项目  
本文 1988 年 12 月 5 日收到.

拟. 这两个模型都能重现对撞机能区多重产生的主要实验结果, 如速度分布、平均横动量等. 它们与适当的宇宙线初级成分相配合, 都可以解释  $\gamma$  族事例的大部分数据. 两个模型中都对非弹性作用中的衍射过程做了仔细的模拟, 这是它们的共同显著特点, 也是与其他模拟组的主要差别. 在 D-ND 模型中, 非弹性作用分为衍射 (D) 过程和非衍射 (ND) 过程. D 分量用纵向相空间模型处理<sup>[5]</sup>, ND 是邹-杨模型<sup>[6]</sup>的近似描述; 而在 SD-SH 模型中, SD 表示单衍射过程, SH 表示非单衍过程, 它是服从 Feynman scaling 的软过程和部分子硬散射的 mini-jet 的结合. 表 1 给出了处理衍射过程的一些主要模型参数.

表 1 单衍 (SD) 和双衍 (DD) 过程的模型参数

截面 (mb)	衍射系统不变质量 (M) 的分布	碎裂性质	碎裂多重数
SD:7 DD:4	$f(M^2) \begin{cases} \sim 1, & \text{当 } 1 < M^2 \leq 2(\text{GeV})^2 \\ \sim 1/M^2, & \text{当 } M^2 > 2(\text{GeV})^2 \end{cases}$	纵向相空间模型加指数型横动量分布 $\langle P_t \rangle = 0.5 \text{ GeV}/c$	$a + b \ln M^2 + c \ln^2(M^2)$

用 Monte-Carlo 方法模拟超高能宇宙线粒子在大气中的作用和传播, 在甘巴拉山高度和 Pamir 山高度分别得到乳胶室  $\gamma$  族事例样本. 选取可观测能量

$$\sum E_\gamma = 100 - 400 \text{ TeV}$$

的事例, 作复原处理<sup>[7]</sup>. 复原处理的原始动机是尽量减少电磁级联中产生的低能粒子的干扰, 以获得碎裂区粒子的真实图象. 类似于 Feynman 变量  $x = 2P_{11}/\sqrt{s}$ , 定义  $f' = E_\gamma/\Sigma' E_\gamma$ , 并只保留  $f' > f'_{\min}$  的粒子,  $\Sigma' E_\gamma$  是复原族的总能量,  $n'_\gamma$  通常称为复原族多重数.

### 三、结果及与实验数据的比较

按照 Pamir 组的数据, 我们对  $f'_{\min} = 0.04$  和  $n'_\gamma \geq 10$  的复原族进行了分析, 结果如下:

1. 模拟事例的方位角各向异性度 Z 的分布及其与实验数据的比较示于图 1, Z 的平均值列于表 2 中. 可以看到, 仅在初级质子入射时, D-ND 模型给出的 Z 分布就与实验

表 2  $\sum E_\gamma = 100 - 400 \text{ TeV}$ ,  $n'_\gamma \geq 10$  的模拟  $\gamma$  族事例的 Z 平均值

初级入射粒子		p	He	C. N. O	Fe
甘巴拉山	D-ND	0.91	0.63	0.47	0.44
	来自 D	1.32	0.54	0.46	0.45
	SD-SH	0.74	0.67	0.56	0.37
	来自 jet	0.63	0.75	0.53	0.31
Pamir 山	D-ND	0.91	0.58	0.46	0.41
	来自 D	1.10	0.51	0.41	0.43

数据很接近。 $Z > 1.6$  的  $\gamma$  族事例率列于表 3, 显见, D-ND 模型能产生足够的方位角各向异性度高的事例。

2. 对不同的初级核入射引起的  $\gamma$  族事例作了方位角各向异性度分析, 得到相应的  $Z$  平均值(见表 2)。可见,  $\gamma$  族方位角各向异性度依赖于初级成分, 质子入射形成的  $\gamma$  族各向异性度最大, 入射核越重,  $\gamma$  族的各向异性度越小。用中等程度的混合成分<sup>[9]</sup> 得到的  $\gamma$  族的  $Z$  分布也示于图 1 中, 虽然统计样本仅 53 个, 但与实验数据比较, 符合程度是满意的。

3. 对 D-ND 模型的样本, 首次作用就是衍射分解过程的  $\gamma$  族占总事例数的 25% 左右, 而在  $Z > 1.6$  的事例中, 它占有相当比例。所以衍射分解过程不仅对  $\gamma$  族的产生有重要贡献<sup>[9]</sup>, 而且引起的  $\gamma$  族方位角各向异性度也高。表 2 也说明了这点。

4. 对 SD-SH 模型, 在总的  $\gamma$  族事例中, 含有 QCD jet 粒子的事例占 35% 左右(其

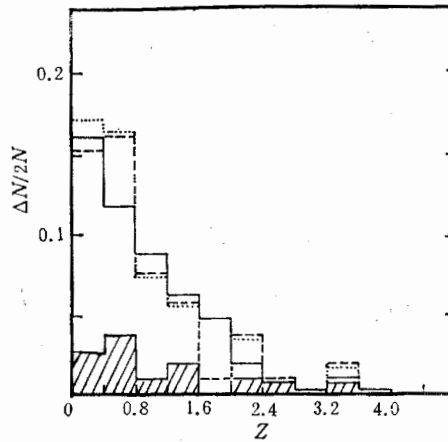


图 1 模拟结果与实验数据的比较

— Pamir 实验 — p-D-ND ..... M-D-ND 阴影区为 D 过程贡献

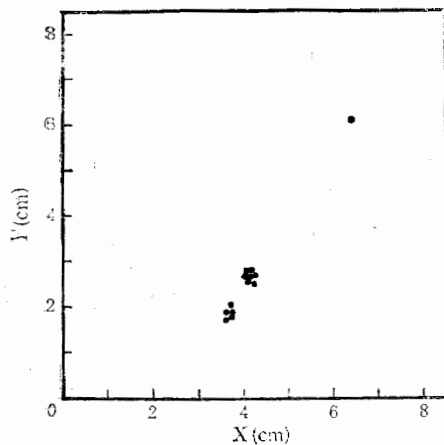


图 2 模拟得到的一个来自衍射产生的  $\gamma$  族  
甘巴拉山  $\Sigma E_\gamma = 125.8 \text{ TeV}$   $n_\gamma = 15$ ,  
 $n'_\gamma = 13$   $Z = 3.5$

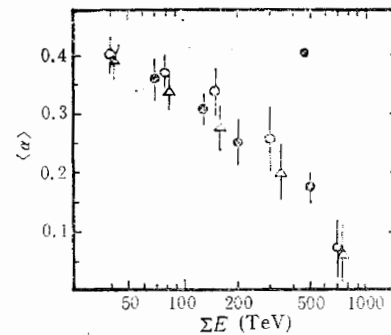


图 3  $\langle \alpha \rangle$  随  $\Sigma E_\gamma$  的变化关系  
本工作  $\circ$  p-D-ND  $\triangle$  M-D-ND  
 $\bullet$  Pamir 实验结果

表 3  $Z > 1.6$  的  $\gamma$  族事例率, 实验数据与各模型计算结果的比较

	实验	MJ	p-D-ND	He-D-ND	CNO-D-ND	Fe-D-ND
$\frac{N(Z > 1.6)}{N_{\text{全部}}} \times 100\%$	12 $\pm$ 3	3 $\pm$ 2	15 $\pm$ 5	4 $\pm$ 4	$\sim 0$	$\sim 0$

实, 它们占的能量份额极低), 但在  $Z > 1.6$  的事例中, 它只占 20%; 从表 2 也可看到, 含有 QCD jet 粒子的  $\gamma$  族具有较小的  $Z$  平均值, 所以 MJ 模型只能给出 3% 的高  $Z$  事例率是可以理解的。

5. 在两个模型的总共 700 个模拟的甘巴拉山  $\gamma$  族样本中, 有一个铺开尺度达数厘米的共线事例(见图 2)。跟踪该事例的产生历程, 发现呈共线形态的三团  $\gamma$  簇射来自同一一次的单衍射分解过程。这次作用共产生三个  $\pi^0$  和几个荷电强子, 每个  $\pi^0$  衰变出的高能  $\gamma$  及其电磁级联的次级粒子都有一个分支被记录到, 且刚好落在一条直线上。荷电强子因相继作用而损失能量, 没有被乳胶室探测到。

6. 图 3 给出另一个描写方位角分布的统计量平均值  $\langle \alpha \rangle$  随观察能量的变化<sup>[10]</sup>。对每个  $\gamma$  族, 定义:

$$\alpha = \sum_{i \neq j}^n \cos 2\epsilon_{ij} / (n(n-1)).$$

其中,  $\epsilon_{ij}$  是在与入射粒子方向垂直的平面内第  $i$  和第  $j$  个粒子的动量投影之间的夹角。可以看到, 模拟值和实验结果符合很好。两个模型的结果无明显差别, 说明  $\langle \alpha \rangle$  不象  $Z$  那样灵敏。

#### 四、结论和讨论

1. 用 D-ND 模型能满意解释 Pamir 组报道的方位角各向异性的  $\gamma$  族事例。模拟计算给出了与实验相一致的  $\langle \alpha \rangle$  值、 $Z$  分布及  $Z > 1.6$  的事例率。

2. 衍射分解过程对族的方位角各向异性有重要贡献, 特别是各向异性度高的事例。这是因为衍射分解过程中产生的粒子数目少, 能量高, 处于极端朝前区, 在大气中传播效率高, 这样, 增大了  $\gamma$  族呈线状形态的可能性。而 QCD jet 则刚好相反, 所以它不是形成方位角各向异性的  $\gamma$  族的主要来源。

3. 线性事例也可能联系于碎裂区共振态的产生和电荷交换过程。因为在衍射过程的模拟中, 当系统不变质量  $M < \sqrt{2}$  GeV 时, 乃按二体或三体衰变处理, 而这在表观上类似于碎裂区共振态产生和电荷交换过程。鉴于总共 11mb 的衍射分解截面已能给出足够的高  $Z$  事例率, 估计共振态产生和电荷交换过程的截面在 mb 量级。

感谢丁林培教授和荆贵茹同志在作用模型研究和程序系统调试中所做的大量工作。模拟计算和事例分析分别在高能所计算中心和宇宙线室 VAX-11/750 机上完成, 感谢两个机组的支持。

## 参 考 文 献

- [1] Pamir Collaboration, Proceedings of International Symposium on Superhigh Energy Cosmic Ray Interactions (ISSECRI), Beijing, (1986), 4—29.
- [2] Azimov S. A. et al., Proceedings of 18th ICRC, 5(1983), 458.
- [3] Dunaevsky A. M. et al., Proceedings of 18th ICRC, 5(1983), 449.
- [4] Ding Linkai et al., Proceedings of ISSECRI, Beijing, (1986), 3—49.  
Zhu Qingqi et al., *Chinese Phys. Lett.*, 3(1986), 289.
- [5] UA4 Collaboration, CERN-EP/85-154.  
J. G. Rushbrooke, CERN-EP/85-178.
- [6] T. T. Chou and C. N. Yang, *Phys. Rev.*, **D32**(1985), 1692.
- [7] Pamir Collaboration, Proceedings of 14th ICRC, Munich, (1975), 2370.
- [8] 经才骧等, 高能物理与核物理, **10**(1986), 636.
- [9] He Yudong et al., Proceedings of ISSECRI, Beijing, (1986), 3—58.
- [10] S. G. Bayburina et al., *Nucl. Phys.*, **B191**(1981), 1.

## INTERPRETATION OF AZIMUTHAL ANISOTROPICAL GAMMA-FAMILY EVENTS

HE YUDONG    ZHU QINGQI    HUO ANXIANG

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

### ABSTRACT

The azimuthal anisotropy of gamma-family events obtained by mountain emulsion chambers is studied. Adopted D-ND and SD-SH models, gamma-family phenomena are simulated and the simulation reproduces anisotropical events with adequate frequency. The study indicates that the few-particle diffractive production in fragmentation region mainly accounts for the azimuthal anisotropical events. QCD-jet production is shown not to be the main reason of these events.