

## 产生大型 $\gamma$ 族的原初粒子判别\*

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 100039)

王承瑞 何瑁 曹培园 李金玉

(山东大学物理系, 济南 250100)

王士智

(郑州大学物理系, 450052)

李光炬 白光治 刘中和

(重庆建筑工程学院, 630045)

木钧 周文德

(云南大学物理系, 昆明 650091)

### 摘 要

利用模拟计算结果, 对观测能量大于 800TeV 的 $\gamma$ 族的原初粒子判别方法进行了讨论。根据 $\gamma$ 族的横向分布判别原初粒子, 对于质子是比较准确的。结合甘巴拉山乳胶室的大型 $\gamma$ 族数据, 用这一方法作了判别。

### 一、引 言

利用高山乳胶室来观测超高能 $\gamma$ 族, 从而研究超高能核作用的规律和原初宇宙线成份, 在国内外已经进行十多年了。各实验组按照不同的核作用模型进行了模拟计算, 给出了 $\gamma$ 族的一般形象。在实验上也看到了一些新奇的事例, 让人们想象到高能核作用中还可能更有深的奥秘。但在高山乳胶室实验的 $\gamma$ 族分析中, 因为初级成份不清楚, 又经过了很长距离的空气级联传播, 使分析中有许多不确定因素, 对于作用机制难以导出明确的结论。

在组成 $\gamma$ 族的众多簇射中和族的许多特征量与分布中, 当然是那些高能量的簇射和族事例的核心部分带有更多初级作用信息。此外, 集团分析也是反映作用机制的一种好方法。然而以往分析的 $\gamma$ 族, 基本上都是观测能量在 100—500TeV 的族, 构成族的簇射数较少, 高能簇射数更少。若仅取高能部分进行分析, 统计涨落是很大的, 所以一般都是就整个族进行分析。但族是由经历了多次作用和电磁级联的簇射构成的, 因此这种分析

本文 1991 年 6 月 29 日收到。

\* 国家自然科学基金资助。

难以给出原始作用的信息。

现在,积累了许多大型 $\gamma$ 族(例如,观测能量大于800TeV),有条件作 $\gamma$ 族的局部分析,首先是族的核心部分的一些特征分析,这也是对撞机实验极难观测到的部分。为了分析方便,先利用模拟计算的结果,给出判别产生族的原初粒子的判据,再结合甘巴拉山乳胶室的族事例进行分析与讨论。

## 二、模拟计算的结果与讨论

利用 HDSQI 模型<sup>[1]</sup>计算出的结果,作出族的某些横向分布(见图1、图2、图3),希望看出核心与外围簇射分布的差别,

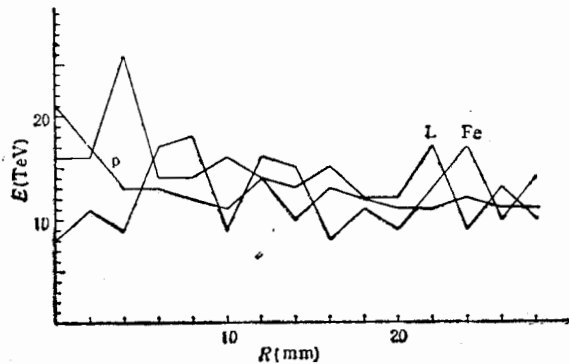


图1 大族( $\sum E \geq 1000 \text{ TeV}$ )中簇射平均能量 $\langle E \rangle$ 随 $R$ 的变化

并对不同的初级成份、能量等进行比较,看看哪些分布对初级信息灵敏。本文各图中的 $R$ 是簇射斑与能量中心的距离, $N$ 为族中簇射的总数,簇射的最低观测能量为4TeV, $p$ 表示原初粒子为质子, $L$ 表示原初为CNO核, $Fe$ 表示原初为铁核。图1给出在一个 $\gamma$ 族中各环区( $\Delta R = 2\text{mm}$ )簇射的平均能量 $\langle E \rangle$ 随 $R$ 的变化。族的观测能量大于1000TeV,族事例数为60。从图1可以看出各环区簇射的平均能量 $\langle E \rangle$ 随 $R$ 变化缓慢。对各种不同原初粒子产生的族 $\langle E \rangle$ 随 $R$ 变化规律差别不大,只有核心部分似乎有些差别。与此相反,族中各环区内簇射数目却有很大差别。图2给出了一个 $\gamma$ 族各环区内簇射数目的变化。 $n$ 表示 $\Delta R = 2\text{mm}$ 的环区内的平均簇射数目。从图2看出,原初粒子不同,在核心区的簇射数目比 $n/N$ 的差别很大。取观测能量大于1000TeV的族(共121个事例),在 $R = 2\text{mm}$ 的小圆内,原初粒子为质子的族中的簇射数目,是原初为原子核的族的6倍。也就是说,原初为质子的族,簇射分布非常集中。从实验底片上看,质子产生的族,应有一个明显的核心。当 $R > 6\text{mm}$ 时,原初粒子不同,各环区中簇射数目差别不大。按照这一结果,作者提出用族中心小区内簇射数目多少,来判别原初粒子是否为质子。

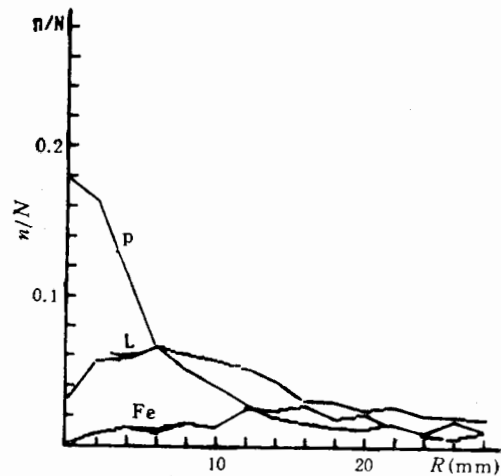


图2 大族( $\sum E \geq 1000 \text{ TeV}$ )中簇射数目比 $n/N$ 随 $R$ 的变化

取 $R = 2 \times (J + 1)\text{mm}$ 的圆( $J = 0, 1, 2$ ),若圆内簇射数目比 $n/N \geq 0.2 \times (J + 1)$ ,则认为质子产生的族。其中若取

$J = 0, n/N \geq 0.2$  可判原初粒子为质子,或者  $J = 1, 2, n/N$  均满足上述判据,也可判为质子。这样,可把原初质子产生的族大部分(58%)挑选出来,判选错误率约为 5%。但是,在 高能大族的中心部分,簇射斑常常不易分辨,在许多族事例中,难以得到准确的簇射数。作能流比  $E/\Sigma E$  随  $R$  的变化,如图 3。图 3 中  $E$  表示半径为  $R$  的圆内簇射能量之和, $\Sigma E$  为族的观测能量。所得结果与图 2 大体相同,因此也可用能流比  $E/\Sigma E$  来判别族的原初粒子是否为质子。但个别能量大的簇射,对小区能流影响较大,只用能流比  $E/\Sigma E$  来判别,错误较多。因此,采用以能流比为主要判据,以簇射数目比为参考,将更为可靠,即:

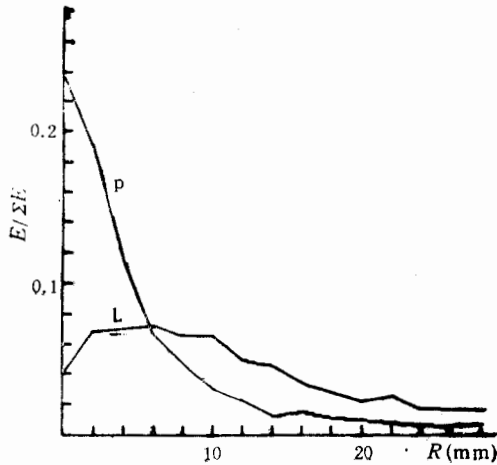


图 3 大族 ( $\Sigma E \geq 1000 \text{TeV}$ ) 中能流比  $E/\Sigma E$  随  $R$  的变化

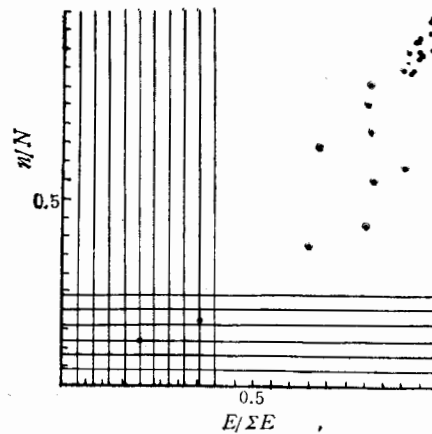


图 4 对观测能量  $\Sigma E \geq 1000 \text{TeV}$  族的原初粒子判别

$$\begin{aligned} E/\Sigma E &\geq 0.2 \times (J + 1), \\ n/N &\geq 0.12 \times (J + 1), \\ J &= 0, 1, 2. \end{aligned}$$

根据图 2 和图 3 的分布,若  $J = 0$  时上述判据得到满足,则族的原初即可认为是质子。若取  $J = 0$  时不能满足判据,则要求  $J = 1$  和 2 均满足判据,才能认为族的原初粒子是质子。用这样的标准判别观测能量大于  $1000 \text{TeV}$  的族事例,可把质子产生的族的 82% 挑选出来,而判选错误率约 3%。

### 三、产生大族原初粒子的判别

将上述模拟计算的结果,用于甘巴拉山乳胶室中得到的观测能量大于  $1000 \text{TeV}$  的族,以判别原初作用粒子是否为质子,其结果如图 4 所示,实验点落在空白区者,可判为质子。图 4 是上述  $J = 1$  的情况,大部分事例是质子产生的。图中能流比和簇射数目比都非常大的事例,是形成了晕的事例,如 K0E 19<sup>[2]</sup>, KA 093 等事例,其主要部分集中在在很

小范围内,外围都是些低能簇射。有许多事例,其产生点较低,因此簇射的分布特征明显表现原初粒子为质子。那些簇射较分散的事例,可能都是高空产生的事例<sup>[3]</sup>。

这种判别方法,对于铁乳胶室是比较方便的。因为铁乳胶室的簇射斑小,易于分辨,而那些形成晕的事例,可用晕的等密度线图,按等密度区的大小来判别。观测能量较低的事例,用这一方法判别原初粒子,错误率也比较大,主要由于簇射数目少,统计涨落大。

乳胶室中记录的大型 $\gamma$ 族,主要由质子与空气中的原子核碰撞产生的。作者也曾试图用类似的方法,给出铁核产生族的挑选方法。由图2可以看出,对于铁核原初产生的族,在 $R < 6\text{mm}$ 的范围内,簇射数目比 $n/N$ 非常小。我们对族中心区簇射数目比 $n/N$ 规定一个给定的最大值,作为选判铁核产生的族的判据,结果表明,这样的挑选方法的错误率太大,不好采用。

作者对中日甘巴拉山乳胶室合作组其他成员在实验上给予的合作和日方合作组提供的模拟计算事例深表谢意。

### 参 考 文 献

- [1] J. R. Ren et al., *Phys. Rev.*, **D38** (1988), 1404.  
 [2] 任敬儒等,高能物理与核物理,8(1984),136.  
 [3] 任敬儒等,高能物理与核物理,9(1985),635.

## Identification of Primary Cosmic Ray Particles Producing Big Gamma-Families in Emulsion Chambers.

REN JINGRU LU SUILING SU SHI HUO ANXIANG  
 (Institute of High Energy Physics, Academia Sinica, Beijing 100039)

WANG CHENGRUI HE MAO CAO PEIYUAN LI JINYU  
 (Department of Physics, Shandong University, Jinan 250100)

WANG SHIZHI  
 (Department of Physics, Zhengzhou University, 450052)

LI GUANGJU BAI GUANGZHI LIU ZHONGHE  
 (Chongqing Institute of Architecture, 630045)

MU JUN ZHOU WENDE  
 (Department of Physics, Yunnan University, Kunming 650091)

### ABSTRACT

The method of identification of primary cosmic ray particles of gamma families with visible energies above 800 TeV has been investigated by using the results of Monte Carlo simulation. It has been found that, for proton primaries, the lateral distributions of certain parameters of gamma families may be taken as a reliable criterion. The experimental data of big gamma families obtained from Mt. Kanbala emulsion chamber experiment have been analyzed on the basis of this criterion.