

# 400GeV/c pp 碰撞赙快度空间带电 粒子数密度的研究\*

王韶舜 肖臣国 张杰 夏小娟 熊伟军 钟宇

(中国科学技术大学近代物理系 合肥 230027)

1993年2月2日收到

## 摘 要

利用 CERN NA27 合作组提供的 LEBC 泡室照片,测量了 400GeV/c pp 碰撞产生的带电粒子多重数为 4—24 的赙快度分布。观察到在选择赙快度窗口 ( $\Delta\eta = 0.5$  和 0.1) 内平均最大带电粒子数密度随带电粒子多重数线性增加的规律。最大带电粒子数密度的几率分布在  $n$  大时有加宽和变平坦的趋势。没有观察到最大粒子数密度反常高的事例。

**关键词** 赙快度窗口, 间歇, 带电粒子多重数, 带电粒子数密度。

## 1 引 言

在 高能强子碰撞中, 多粒子产生的动力学机制问题的研究一直吸引了众多的理论和实验工作者, 最近几年一个令人瞩目的热门课题是研究高能粒子碰撞中的间歇现象, 也即在 高能粒子碰撞中产生粒子的快度分布可能存在非统计的大起伏。这种现象最早是在宇宙线乳胶实验中观察到的<sup>[1]</sup>, 在一个超高能宇宙线粒子产生的高多重数事例中观察到在极小的赙快度间隔内有许多粒子存在的现象。在以后的加速器实验中也观察到类似的现象。例如 NA22 实验组用 250GeV/c  $\pi^+$ 、 $K^+$  束轰击氢汽泡室, 在一个多重数为 26 的事例中发现在  $\Delta\eta = 0.1$  间隔内有 10 个粒子<sup>[2]</sup>。这种大的密度涨落难以用近代流行的粒子产生模型(如 Lund 模型和双部分子模型)来解释<sup>[3]</sup>, 并被认为是 在高能强子碰撞中形成夸克胶子等离子体的一种可能的信号。

1986 年 Bialas 和 Peschanski 提出了一种分析方法<sup>[4]</sup>, 他们假定强子相转变过程中形成了夸克胶子等离子体, 而夸克胶子等离子体相转变为末态强子相过程中会呈现大的起伏现象。这种现象与流体动力学中研究湍流现象时出现间歇很相似, 因此称为间歇。他们用标度阶乘矩的方法来消除统计误差的影响, 以突出内在的起伏现象, 得出阶乘矩随快度间隔的减小呈反常指数增加的规律。这一方法的提出大大促进了人们对间歇现象的研究, 此后人们在强子-强子, 强子-原子核, 原子核-原子核,  $e^+e^-$ ,  $\mu p$  和  $\nu A$  等碰撞过程中都观察到了间歇。但是实验结果还是初步的, 不同的碰撞过程所观察到的结果有相似的

\* 国家自然科学基金资助。

地方也有不同的地方。理论上提出了各种模型来解释这种现象, 例如用夸克胶子等离子体的形成以及等离子体转变为末态粒子的相变、自相似随机级联机制、喷注的形成和分支级联过程、多粒子短程关联、量子统计理论等等, 其中大部分模型都包含有一个基本的自相似随机级联过程, 但是目前还没有一种理论能说明观察到的所有实验事实, 因此更多的理论和实验工作是需要。

为了进一步讨论间歇现象的性质, 我们测量了 400GeV/c pp 碰撞半单举事例的赙快度分布, 对赙快度空间粒子数密度涨落问题进行了研究, 取得与其它能量的实验相一致的结果。

## 2 平均最大粒子数密度与多重数的关系

利用 CERN NA27 合作组提供的 LEBC 泡室照片, 对 400GeV/c pp 碰撞产生的带电粒子径迹进行空间几何的重建, 并求得其赙快度值  $\eta$ 。高分辨 LEBC 泡室的几何接受角为  $4\pi$ ; 气泡直径为  $17\mu\text{m}$ ; 气泡密度为  $80\text{cm}^{-1}$ ; 有效室体积沿束流方向有  $12\text{cm}$  长; 由于无磁场, 径迹为直线; 图象清晰有利于反应产物角分布的精确测量。在赙快度中心区 ( $-2 \leq \eta \leq 2$ ),  $\eta$  的测量精度可以达到 0.1。测量方法详见文献[5], 共计重建了 2733 个事例。为了研究赙快度空间粒子数密度的起伏, 对于每一事例, 利用一固定的赙快度窗口 ( $\Delta\eta = 0.5$ ) 在全赙快度空间扫描, 统计落在这个窗口内的最大粒子数密度  $(\Delta n / \Delta\eta)_{\text{max}}$ , 并对多重数为  $n$  的所有事例求平均, 其平均值随  $n$  的变化示于图 1 中, 图中也画出了其他能量的相同和不同的碰撞过程的实验值。从图 1 可见, 平均最大带电粒子数密度线性地

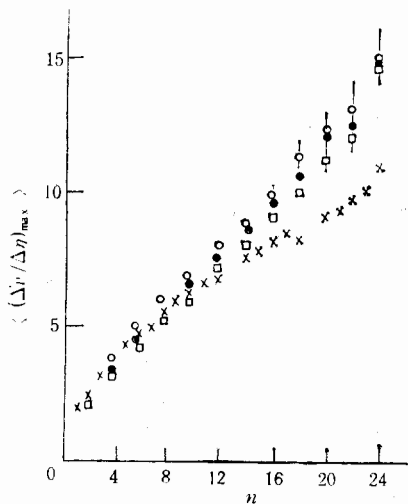


图 1 平均最大带电粒子数密度随带电粒子多重数的变化 ( $\Delta\eta = 0.5$ )

$\times$   $\bar{p}p\sqrt{s} = 540\text{ GeV}$   $\square$   $\pi^+p\sqrt{s} = 22\text{ GeV}$   $\bullet$   $pp\sqrt{s} = 26\text{ GeV}$   
 $\circ$  pp 本实验 ( $\sqrt{s} = 27.4\text{ GeV}$ ).

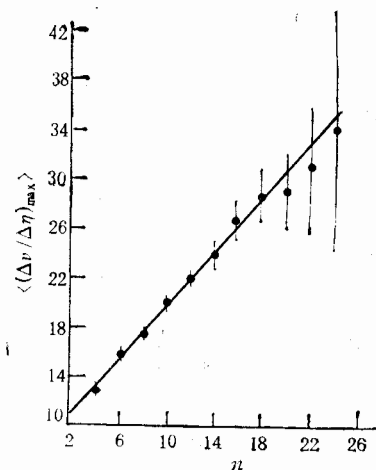


图 2 平均最大带电粒子数密度随带电粒子多重数的变化 ( $\Delta\eta = 0.1$ )

依赖于带电粒子多重数而与碰撞能量近似无关(在  $\sqrt{s} = 22-900\text{GeV}$  范围内)。

将赝快度的窗口减小到  $\Delta\eta = 0.1$  作同样的计算。在图2中指出  $\Delta\eta = 0.1$  时平均最大带电粒子数密度随带电粒子多重数的变化。与图1比较可见,对于小的赝快度窗口,带电粒子数密度显著较大,但是仍保持随事例总的带电粒子多重数  $n$  线性增长的关系:对于  $\Delta\eta = 0.1$  情况,用公式

$$\langle(\Delta\nu/\Delta\eta)_{\max}\rangle = a + bn \quad (1)$$

对实验数据进行最小二乘法拟合,得到的拟合参数示于表1中,在表中同时列出其他能量的实验结果<sup>[6,2]</sup>。

表1 用最小二乘法拟合公式  $\langle(\Delta\nu/\Delta\eta)_{\max}\rangle = a + bn$  所获得的参数( $\Delta\eta = 0.1$ )

	$a$	$b$	$\chi^2/NDF$
pp 250GeV/c ( $8 \leq n \leq 20$ )	$8.56 \pm 0.30$	$0.97 \pm 0.03$	1/5
pp 360GeV/c	$7.9 \pm 0.4$	$1.11 \pm 0.05$	4.4/10
pp 400GeV/c	$9.64 \pm 0.43$	$1.02 \pm 0.06$	3.1/9

Dias de Deus<sup>[7]</sup> 提出的间歇模型对赝快度空间密度起伏作出了解释。假定在碰撞过程中部分子穿过相互作用的强子物质,遇到高密度区将发射较多的粒子,遇到低密度区域

发射少量的粒子,一个事例产生的粒子数  $n$  依赖于部分子经过的全部区域的平均密度。对于确定的多重数  $n$ , 落在快度窗口  $\Delta\eta$  内的最大带电粒子数为  $\nu, \nu = 1, 2, \dots$  的概率分布  $P(n, \nu)$  可以看成是两部分之和,即对应于小  $\nu$  的湍流状分布  $P_B(n, \nu)$  和对应于大  $\nu$  的层流状分布  $P_L(n, \nu)$ ,

$$P(n, \nu) = P_B(n, \nu) + P_L(n, \nu), \quad (2)$$

$P_B$  近似地与  $n$  无关,

$$P_B(n, \nu) \xrightarrow{n \text{ 大时}} \phi(\nu); \quad (3)$$

$P_L$  具有标度无关性行为,

$$P_L(n, \nu) \xrightarrow{n \text{ 大时}} \frac{1}{\nu_M} \phi\left(\frac{\nu}{\nu_M}\right), \quad (4)$$

$\nu_M$  是  $\nu$  中的最大值,它正比于  $n$ , 即  $\nu_M = \left(\frac{1}{K}\right)n$ , 其中  $K$

是一常数。所以当  $n$  固定时,平均最大带电粒子数密度为

$$\begin{aligned} \langle\nu\rangle_n &= \int \nu P_B(n, \nu) d\nu + \int \nu P_L(n, \nu) d\nu \\ &= \int \nu \phi(\nu) d\nu + \nu_M \int \frac{\nu}{\nu_M} \phi\left(\frac{\nu}{\nu_M}\right) d\left(\frac{\nu}{\nu_M}\right) = A + Bn, \quad (5) \end{aligned}$$

其中  $A, B$  与能量无关(当赝快度窗口给定时)。这一关系与试验结果是一致的。

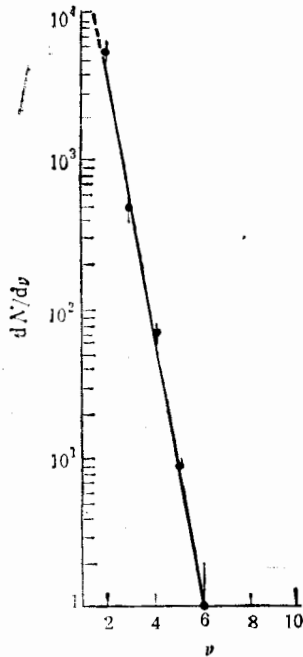


图3 事例数随最大带电粒子数密度的分布 ( $\Delta\eta = 0.1$ )

### 3 事例数随最大带电粒子数密度的分布

为了考察是否存在粒子数密度反常高的事例, 计算了在赙快度窗口固定条件下事例数随带电粒子数密度的分布. 图 3 显示了在赙快度窗口为  $\Delta\eta = 0.1$  时具有最大粒子数为  $\nu$  的事例数随  $\nu$  变化的分布图. 从图 3 可见, 随着  $\nu$  的增加, 事例数按指数规律迅速

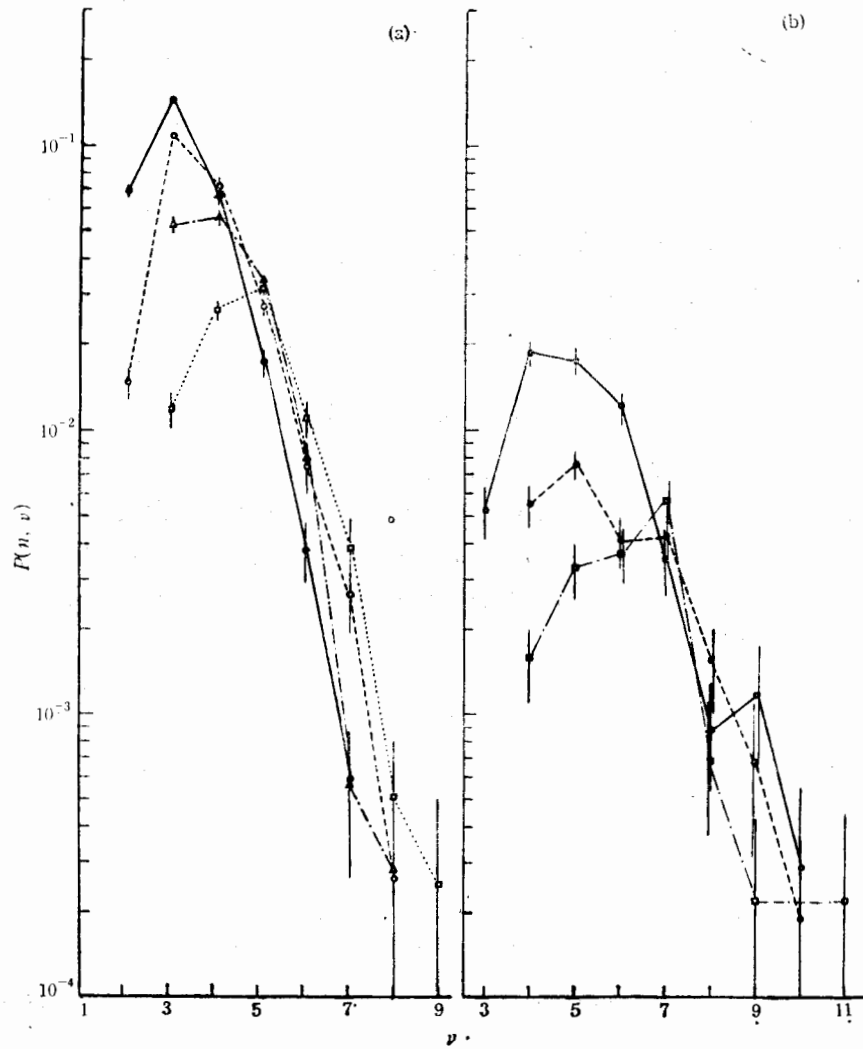


图 4 固定多重数时最大粒子数密度的几率分布 ( $\Delta\eta = 0.5$ )

(a) ●  $n = 10$ ; ○  $n = 12$ ; △  $n = 14$ ; □  $n = 16$  (b) ○  $n = 18$ ; ●  $n = 20$ ; □  $n = 22$ .

减少。实验结果能很好地用指数形式

$$\frac{dN}{d\nu} = a \exp(-b\nu) \quad (6)$$

来拟合,得到的指数下降斜率  $b$  值为  $1.88 \pm 0.12$ 。其中最大的带电粒子数密度为单位赙快度间隔内有 60 个粒子,但是没有观察到最大粒子数密度明显超过指数下降规律的反常事例。

#### 4 固定多重数时最大粒子数密度的几率分布

Dias De Deus 提出的间歇模型的特点是预言  $n$  固定时最大粒子数密度的几率分布具有双峰结构。这是因为  $P(n, \nu)$  中的湍流项随最大粒子数密度  $\nu$  的增加以指数形式迅速减少,而层流项随  $\frac{\nu}{\nu_M}$  而增加,因而  $P(n, \nu)$  分布出现双峰结构。但当  $n$  较小时,大  $\nu$  时的峰值被小  $\nu$  的部分所掩盖,因而看不到双峰。而当  $n \geq 20$  时,双峰结构已经明显了。

图 4 是实验结果。这里赙快度窗口取为  $\Delta\eta = 0.5$ ,数据归一化到拓扑截面  $\sigma_n^{[8]}$ 。由图 4 可见, $n$  小时  $P(n, \nu)$  的分布没有见到双峰结构,但是随着  $n$  的增加, $P(n, \nu)$  的分布在大  $\nu$  时有加宽和变平坦的趋势,这与 Dias de Deus 间歇模型的预言定性相符。

#### 5 总 结

实验结果表明在较大的能量范围内,在给定的赙快度窗口 ( $\Delta\eta = 0.5$  和  $0.1$ ) 内平均最大粒子数密度随事例的多重数线性地增加。固定多重数时最大粒子数密度的几率分布在  $n$  大时有加宽和变平坦的趋势,这与 Dias de Deus 间歇模型的预言定性相符。当赙快度窗口固定时,最大粒子数密度的事例数分布是指数衰减的,没有发现最大粒子数密度明显地超过指数衰减规律的反常事例。

#### 参 考 文 献

- [1] JACEE Collab., T. H. Burnett et al., *Phys. Rev. Lett.*, **50** (1983) 2062.
- [2] NA22 Collab., M. Adamus et al., *Phys. Lett.*, **B185** (1987) 200.
- [3] UA1 Collab., C. Albajar et al., *Nucl. Phys.*, **B345** (1990) 1.
- [4] A. Bialas and P. Peschanski, *Nucl. Phys.*, **B273** (1986), 703., **B308** (1988) 857; *Phys. Lett.*, **B207** (1988) 59.
- [5] 王韶舜等, *高能物理与核物理*, **15**(1991)1058.
- [6] J. B. Singh and J. M. Kohli, *Phys. Lett.*, **B261** (1991) 156.
- [7] J. Dias de Deus, *Phys. Lett.*, **B194** (1987) 297.
- [8] 王韶舜等, *高能物理与核物理*, **13**(1989)673.

## The Study of Particle Densities in Pseudorapidity Space in pp collisions at 400 GeV/c

Wang Shaoshun Xiao Chenguo Zhang Jie Xia Xiaojuan  
Xiong Weijun Zhong Yu

(Department of Modern Physics, University of Science and Technology of  
China, Hefei, 230027)

Received on February 2, 1993

### Abstract

The pseudorapidity distributions for charged particle multiplicity 4—24 produced in pp collisions at 400 GeV/c have been measured by using the LEBC films which were offered by CERN NA27 Collaboration. The regularity that the average maximum charged particle density in a selected pseudorapidity window ( $\Delta\eta = 0.5$  or 0.1) is rising linearly with the charged particle multiplicity was observed. There is a trend that the probability distributions of the maximum Particle density at large  $n$  become wider and flatter. But the event that the maximum particle density is anomalously high was not observed.

**Key words** pseudorapidity window, intermittency, charged particle multiplicity, charged particle density.