

# 400GeV/c pp 碰撞间歇指数的测量\*

王韶舜 张杰 肖臣国 叶云秀 熊伟军 钟宇 李祖豪

(中国科学技术大学近代物理系 合肥 230027)

1993年7月21日收到

## 摘 要

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赝快度分布进行了测量。计算了标度阶乘矩。得出间歇指数随矩阶数的增加而增加,随平均多重数的增加而变小;反常分形维数  $d_q$  随  $q$  的增加而增加。这表明在强子-强子碰撞中多粒子产生具有自相似级联的性质。

**关键词** 赝快度窗口,标度阶乘矩,间歇指数,反常分形维数,自相似随机级联。

## 1 引 言

最近几年在高能粒子碰撞多重产生机制问题的研究中掀起了研究小快度区间中的粒子数密度大起伏的热潮。这主要是由 Bialas 和 Peschanski<sup>[1]</sup> 引入标度阶乘矩的方法所激发的。这种方法消除了统计误差的影响,突出了内在的动力学起伏现象。他们指出如果这种动力学起伏是存在的,则标度阶乘矩将随快度窗口的减小呈反常指数增加。如果在实验中观察到反常指数大于零,即表明观察到了间歇。此后人们在  $e^+e^-$ <sup>[2]</sup>、强子-强子<sup>[3]</sup>、强子-核<sup>[4]</sup>和核-核<sup>[5]</sup>碰撞中均观察到了间歇。但是实验数据还是初步的,不同的实验结果有相似的地方也有不同的地方,不足以鉴别各种粒子产生模型。理论上提出了各种模型来解释间歇现象,其中大多数模型都包含自相似随机级联过程。但是还没有一个模型能解释所有的实验事实。因此更多的实验数据和理论分析是需要的。本实验利用 CERN NA27 合作组提供的 LEBC 泡室照片来寻找 400GeV/c pp 碰撞时的间歇行为,并与其它能量的实验结果作了比较。

## 2 实验结果

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了空间几何的重建,并求出其赝快度值。LEBC 是一个“干净”的快循

\* 国家自然科学基金资助。

环液氢泡室, 几何接受角为  $4\pi$ , 汽泡直径为  $17\mu\text{m}$ , 汽泡密度为  $80\text{cm}^{-1}$ , 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。为了精确地确定入射粒子径迹的方向, 对入射径迹进行多点测量, 并作直线拟合, 若拟合的直线不通过实验测量的事例顶点的坐标, 则对该事例进行重测, 如果入射径迹较短, 则测量附近的未发生相互作用的粒子径迹作为入射粒子径迹的方向。测量方法详见参考文献 [6]。赝快度的测量精度在所选择的赝快度窗口 ( $-2 \leq \eta \leq 2$ ) 内为 0.1 赝快度单位。共重建了 3364 个多重数为 4—26 的非单衍事例, 计算了这些事例的赝快度分布和方位角分布。

目前存在两种不同形式的阶乘矩分析方法。一种称为水平阶乘矩, 即

$$\langle F_q \rangle = \frac{1}{\langle \bar{n}_m \rangle^q} \left\langle \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M n_m (n_m - 1) \cdots (n_m - q + 1) \right\rangle, \quad (1)$$

其中

$$\langle \bar{n}_m \rangle = \left\langle \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M n_m \right\rangle.$$

在等式(1)中, 赝快度窗口  $\Delta\eta$  划分成  $M$  个同样宽度  $\delta\eta = \frac{\Delta\eta}{M}$  的区间,  $n_m$  是一个事例落在第  $m$  个子区间内的带电粒子数, 平均值  $\langle \rangle$  是对样品所有的事例求平均。上述公式只适用于  $\Delta\eta$  内赝快度分布密度是平坦的情况。当  $\Delta\eta$  内赝快度分布密度不平坦时, 上述公式需要引入一个校正因子<sup>[7]</sup>

$$R_q = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M M^q \langle n_m \rangle^q / \langle N \rangle^q, \quad (2)$$

其中

$$\langle n_m \rangle = \frac{1}{N_{\text{event}}} \sum_{i=1}^{N_{\text{event}}} n_{mi}$$

是第  $m$  个子区间内的平均带电粒子数, 而  $\langle N \rangle$  是  $\Delta\eta$  内的平均带电粒子数。于是有

$$\langle F_q \rangle^{\text{corr}} = \frac{\langle F_q \rangle}{R_q}. \quad (3)$$

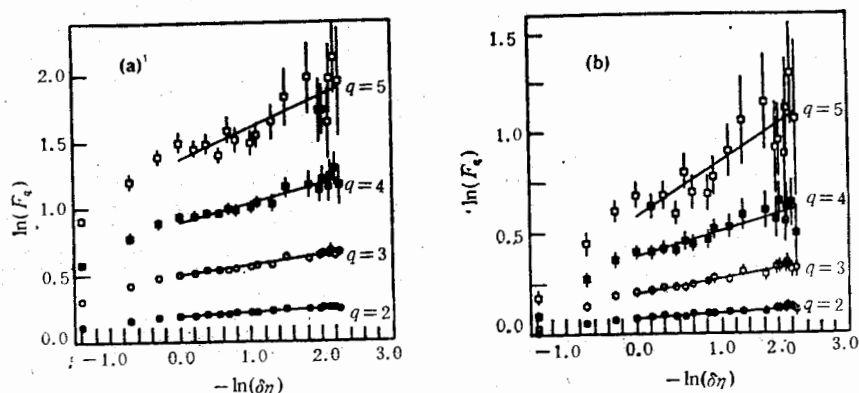
为了避免引入校正因子, 通常采用垂直分析的标度阶乘矩, 即

$$\langle F_q \rangle = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \frac{1}{N_{\text{event}}} \sum_{j=1}^{N_{\text{event}}} \frac{K_{mj}(K_{mj} - 1) \cdots (K_{mj} - q + 1)}{\langle K_m \rangle^q} \quad (4)$$

同样  $\Delta\eta$  被划分成  $M$  个相同宽度的子区间,  $K_{mj}$  是第  $j$  个事例在第  $m$  个子区间内的粒子数, 其中

$$\langle K_m \rangle = \frac{1}{N_{\text{event}}} \sum_{j=1}^{N_{\text{event}}} K_{mj}. \quad (5)$$

利用公式(4)对全部事例 ( $n_{ch} = \text{all}$ ) 以及多重数为 10 以上 ( $n_{ch} \geq 10$ ) 的 2026 个事例的实验数据进行标度阶乘矩分析, 并以  $\ln \langle F_q \rangle$  作为  $(-\ln \delta\eta)$  的函数作图, 结果示于图 1(a) 和 (b) 中。由图 1 可见, 在整个  $\delta\eta$  变化范围内,  $\ln \langle F_q \rangle$  随  $\delta\eta$  的减小而

图1  $\ln\langle F_q \rangle$  随  $-\ln\delta\eta$  的变化

(a) 对全部事例; (b) 对多重数为10以上的事例. 实线是对数据的线性拟合.

增加, 但有两个可区分的斜率. 当  $\delta\eta \geq 1$  时,  $\ln\langle F_q \rangle$  随  $\delta\eta$  的减小增加较快; 而当  $\delta\eta < 1$  时, 随  $\delta\eta$  的减小,  $\ln\langle F_q \rangle$  增加变慢. 在  $1 \geq \delta\eta > 0.1$  范围内对实验数据按以下公式作直线拟合:

$$\ln\langle F_q \rangle = a + \phi_q(-\ln\delta\eta), \quad (6)$$

得到的间歇指数  $\phi_q$  示于表1中. 在表1中亦列出了其它能量的实验数据以作比较. 本实验的结果表明间歇指数随平均多重数的增加而变小, 这与其他能量的实验结果是一致的.

表1 间歇指数  $\phi_q$  随  $q$  的变化

事例	$q=2$	$q=3$	$q=4$	$q=5$
400GeV/c pp				
$n_{ch} = \text{all}$	$0.0253 \pm 0.0014$	$0.0727 \pm 0.0044$	$0.142 \pm 0.013$	$0.239 \pm 0.042$
$n_{ch} \geq 10$	$0.0222 \pm 0.0017$	$0.0591 \pm 0.0041$	$0.102 \pm 0.014$	$0.230 \pm 0.037$
360GeV/c pp				
$n_{ch} = \text{all}$	$0.014 \pm 0.001$	$0.037 \pm 0.002$	$0.139 \pm 0.008$	$0.322 \pm 0.02$
$n_{ch} \geq 12$	$0.0095 \pm 0.001$	$0.026 \pm 0.001$	$0.056 \pm 0.002$	$0.145 \pm 0.02$
250GeV/c $\pi^+p$				
$K^+p$				
$n_{ch} = \text{all}$	$0.0127 \pm 0.001$	$0.0499 \pm 0.0022$	$0.148 \pm 0.007$	$0.328 \pm 0.02$

间歇指数  $\phi_q$  对矩阶数  $q$  的依赖性反映了产生间歇现象的自相似随机级联机制. 根据自相似随机级联  $\alpha$  模型, 在高斯近似下预言  $\phi_q$  对  $q$  的依赖关系如下:

$$\frac{\phi_q}{\phi_2} \approx \frac{q(q-1)}{2}. \quad (7)$$

表2是上述关系的计算值和一些实验结果的比较. 本实验的结果与其他能量相比有一些差别, 但与(7)式的预言基本上是相符的. 这表明自相似随机级联可能是在pp碰撞多重产生中产生间歇现象的主要原因.

标度阶乘矩的分析亦揭示出多粒子产生过程的分形性质. 间歇指数  $\phi_q$  与反常分形

表 2  $\phi_q/\phi_2$  随矩阶数  $q$  的变化

事例	矩阶数	$q = 3$	$q = 4$	$q = 5$
本实验				
$\sqrt{s} = 27.4\text{GeV pp}$				
$n_{ch} = \text{all}$		$2.91 \pm 0.24$	$5.66 \pm 0.62$	$9.58 \pm 1.75$
$n_{ch} \geq 10$		$2.66 \pm 0.27$	$4.59 \pm 0.74$	$10.36 \pm 1.83$
$\sqrt{s} = 22\text{GeV } \pi^+p$		$3.93 \pm 0.35$	$11.7 \pm 1.0$	$25.6 \pm 2.5$
$\sqrt{s} = 630\text{GeV } p\bar{p}$		$2.89 \pm 0.30$	$4.64 \pm 0.79$	$10.2 \pm 1.8$
$n \leq 15$				
$\frac{q(q-1)}{2}$		3	6	10

维数  $d_q$  之间有如下的关系<sup>[8]</sup>

$$d_q = \frac{\phi_q}{q-1}. \quad (8)$$

Bialas 和 Hwa 指出<sup>[9]</sup>, 如果在高能碰撞中产生了夸克胶子等离子体, 则处在热力学平衡状态的夸克胶子等离子体相到强子相的次级相跃迁发生时(如果潜热足够小), 则末态强子系统将显示间歇, 同时反常分形维数  $d_q$  近似与  $q$  无关。相反, 如果强子化是通过自相似级联过程发生时, 则  $d_q$  将随  $q$  线性地增长。因此测量  $d_q$  随  $q$  的变化能区分产生间歇现象的不同机制。我们按公式(8)对实验结果进行了计算, 图 2 是  $d_q$  随  $q$  的变化。在图中亦指出 NA22 的实验结果以及 R. C. Hwa 等由几何分支模型作蒙特卡罗模拟 (ECCO) 获得的结果<sup>[10]</sup>。由图 2 可见, 反常分形维数  $d_q$  随  $q$  的增加而增加。这表明在强子-强子碰撞中多粒子产生具有自相似级联的性质。

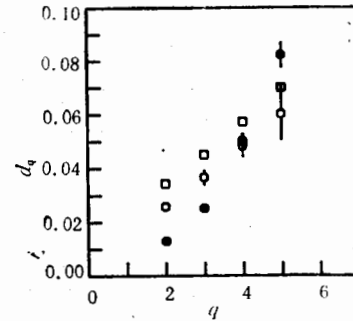


图 2 反常分形维数  $d_q$  随  $q$  的变化  
○ 本实验结果, ● NA22 实验组结果, □ R.C.Hwa 等蒙特卡罗模拟 (ECCO) 结果。

### 3 结 论

在 400 GeV/c pp 碰撞中间歇效应的出现是明显的。间歇强度随平均多重数的增加而减弱, 间歇指数随矩阶数的变化与自相似随机级联模型的预言是一致的, 反常分形维数  $d_q$  随  $q$  的增加而增加, 表明在强子-强子碰撞中多粒子产生具有自相似级联的性质。

我们对 CERN NA27 合作组提供 LEBC 照片深表感谢。

## 参 考 文 献

- [1] A. Bialas and R. Peschanski, *Nucl. Phys.*, **B273**(1986) 703; **B308**(1988)857.  
 [2] B. Buschbeck et al., *Phys. Lett.*, **B215**(1988)788; P. Abreu et al., *Phys. Lett.*, **B247**(1990)137; W. Braunschweig et al., *Phys. Lett.*, **B231**(1989)548.  
 [3] I.V. Ajinenko et al., *Phys. Lett.*, **B222**(1989)306; J.B. Singh and J.M. Kohli, *Phys. Lett.*, **B261**(1991) 160; C. Albajar et al., *Nucl. Phys.*, **B345** (1990)1.  
 [4] R.K. Shivpuri and V.K. Verma, *Phys. Rev.*, **D47**(1993)123; D. Ghosh et al., *Phys. Rev.*, **D46**(1992)3712.  
 [5] P.L. Jain and G. Singh, *Phys. Rev.* **C44**(1991)854; *Z. Phys.*, **C53**(1992)355; R. Holynski et al., *Phys. Rev. Lett.*, **62**(1989)733; EMU01协作组,高能物理与核物理,**15**(1991)131.  
 [6] 王韶舜等,高能物理与核物理,**15**(1991)1057.  
 [7] K. Fialkowski et al., *Acta Phys. Pol.*, **B20**(1989)97.  
 [8] P. Lipa and B. Buschbeck, *Phys. Lett.*, **B223**(1989) 465; R. C. Hwa, *Phys. Rev.*, **D41**(1990)1456.  
 [9] A. Bialas and R.C. Hwa, *Phys. Lett.*, **B253**(1991)436.  
 [10] R.C. Hwa and Ji-Cai Pan, *Phys. Rev.*, **D45**(1992)106.

## Measurement of Intermittency Exponents in pp Collisions at 400GeV/c

Wang Shaoshun    Zhang Jie    Xiao Chenguo    Ye Yunxiu  
 Xiong Weijun    Zhong Yu    Li Zuhao

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

Received on July 21, 1993

### Abstract

The pseudorapidity distributions for charged particles produced in pp collisions at 400GeV/c have been measured by using the LEBC films offered by CERN NA27 Collaboration. The scaled factorial moments have been calculated. It is obtained that the intermittency exponent increases with increasing moment-order and decreases with increasing average multiplicity, the anomalous fractal dimension  $d_q$  increases with  $q$ . It shows that the multiparticle production in hadron hadron collisions possesses a self-similar cascade property.

**Key words** pseudorapidity window, scaled factorial moment, intermittency exponent, anomalous fractal dimension, self-similar random cascade.