

(赝)快度间隔的不稳定性*

王韶舜 吴冲

(中国科学技术大学近代物理系 合肥 230027)

摘要 对400GeV/c pp碰撞多粒子产生的实验数据作(赝)快度间隔的不稳定性分析. 计算了华家照等人提出的类熵量 S_q 和 Σ_q . 发现 S_q 和 Σ_q 明显地偏离于1, 其中 $\ln S_q$ 随 q 的变化有较好的线性行为. 而 $\ln \Sigma_q$ 随 q 的变化只有近似的线性行为. 对用 FRITIOF 模拟产生的事例样本作同样的计算, 发现与实验结果偏离较大.

关键词 多粒子产生 (赝)快度间隔 不稳定性 类熵量

1 引言

在强子碰撞多重产生机制问题的研究中, 为了得到有关事例结构不稳定性的信息, 我们曾利用水平归一化阶乘矩 $F_q(M) = f_q(M)/(f_1(M))^q$ 来表示一个事例的空间结构^[1,2]. $f_q(M)$ 的定义如下:

$$f_q(M) = \langle n(n-1)\cdots(n-q+1) \rangle, \quad (1)$$

其中 n 是一个子区间中的粒子数, M 是子区间的个数, 符号 $\langle \cdots \rangle$ 是对所有 M 个子区间求平均. 这种方法不能反应事例的所有细节. 因为只有当一个子区间内的粒子数 $n \geq q$ 时才对 $f_q(M)$ 有贡献, 而不管这个子区间在(赝)快度空间的位置. 即这种方法只对粒子在(赝)快度空间的局部涨落灵敏, 而对粒子在(赝)快度空间的位置分布不灵敏. 为了得到更多的信息, 可以考虑粒子的(赝)快度间隔分布. 特别是当事例的多重数较低时, 对事例的(赝)快度间隔分布的测量比对事例的尖峰的测量能得到更多的信息. 因为前者包含后者的信息, 而后者不包含前者的信息. 其次, 由于尖峰事例数很少, 因此存在统计涨落较大的问题. 而(赝)快度间隔分布的测量则不存在此问题. 最近, 华家照和张庆辉提出了两种利用(赝)快度间隔分布测量事例空间不稳定性的方法^[3], 本文利用他们的方法来分析400GeV/c pp碰撞的实验数据.

2000-06-23 收稿

* 国家自然科学基金资助(19975045)

2 方法

在(赓)快度空间,实验测得的单粒子密度分布是不均匀的.为了消除单粒子密度分布 $\rho(\eta)$ 的不均匀性引起的效应,通常利用累积变量 $X(\eta)$ 来代替 η ^[4,5],其定义为

$$X(\eta) = \int_{\eta_1}^{\eta} \rho(\eta') d\eta' / \int_{\eta_1}^{\eta_2} \rho(\eta') d\eta', \quad (2)$$

其中 η_1 和 η_2 是分布 $\rho(\eta)$ 的两个极端值.在 X 空间单粒子密度在 0—1 范围内是均匀分布的.考虑一个事例具有 N_e 个粒子,分别用符号 $i=1,2,\dots,N_e$ 来表示.它们在 X 空间的位置 X_i 从小到大顺序排列.定义两相邻粒子间的距离为:

$$x_i = X_{i+1} - X_i, \quad i = 0, \dots, N_e, \quad (3)$$

其中 $X_0=0, X_{N_e+1}=1$.显然, x_i 即为粒子的(赓)快度间隔,它满足

$$\sum_{i=0}^{N_e} x_i = 1. \quad (4)$$

对每个事例定义一个新的矩

$$G_q = \frac{1}{N_e + 1} \sum_{i=0}^{N_e} x_i^q, \quad (5)$$

其中 $G_0=1$ 和 $G_1 = \frac{1}{N_e + 1}$.由于不同事例之间 G_q 存在涨落,对于大量的事例存在一个 G_q 的分布 $P(G_q)$,它的形状取决于事例涨落的本质.为了描述涨落的程度定义一个新矩

$$C_{p,q} = \frac{1}{N} \sum_{e=1}^N (G_q^e)^p = \int G_q^p P(G_q) dG_q, \quad (6)$$

其中 e 代表一个事例, N 是总的事例数.由于矩 $C_{p,q}$ 在 $p=1$ 时的导数能给出有关 $P(G_q)$ 的最多的信息^[3],因此把注意力集中在此导数上.即

$$s_q = - \left. \frac{d}{dp} C_{p,q} \right|_{p=1} = - \langle G_q \ln G_q \rangle, \quad (7)$$

这里符号 $\langle \dots \rangle$ 代表对所有事例求平均.由于 G_q 矩没有消除统计涨落的影响,为此需要同时计算纯统计涨落的贡献

$$s_q^t = - \langle G_q^t \ln G_q^t \rangle, \quad (8)$$

这里 G_q^t 的计算方法与 G_q 相同.计算的事例样本的事例数和多重数分布与实验数据完全相同,但每个事例中的所有粒子在 X 空间是随机分布的.计算比值

$$S_q = s_q / s_q^t, \quad (9)$$

S_q 偏离于 1 的程度可以给出以(赓)快度间隔为基础的事例空间的不稳定性测量.另一种能够表示(赓)快度间隔分布的特征的矩定义如下:

$$H_q = \frac{1}{N_e + 1} \sum_{i=0}^{N_e} (1 + x_i)^{-q}, \quad (10)$$

其中 N_e 是一个事例的粒子数, x_i 由(3)式给出.与 G_q 矩一样,对 H_q 矩的主要贡献来自

于大的 x_i 值. 与 G_q 矩类似, 定义

$$\sigma_q = \langle H_q \ln H_q \rangle, \quad (11)$$

并与纯统计涨落的贡献

$$\sigma'_q = \langle H_q^t \ln H_q^t \rangle, \quad (12)$$

作比较得到

$$\Sigma_q = \frac{\sigma_q}{\sigma'_q}, \quad (13)$$

Σ_q 是另一种以粒子间的(赝)快度间隔为基础的事例空间的不稳定性测量.

3 实验结果

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分布和赝快度分布, 共测量了 3950 个多重数 $N_e \geq 4$ 的非单衍事例, 其中 $N_e \geq 6$ 的事例有 3677 个, $N_e \geq 8$ 的事例有 3050 个. 测量方法详见参考文献 [6]. 首先, 利用累积变量 $X(\eta)$ 来代替 η , 其定义如 (2) 式所示. 即分别对多重数 $N_e \geq 4, N_e \geq 6$ 和 $N_e \geq 8$ 的事例, 按公式 (2) 求得累积变量 $X(\eta)$ 和纯统计涨落情况下的累积变量 $X'(\eta)$. 利用 (3) — (9) 式计算 S_q 矩, 得到的结果示于图 1 中. 由图 1 可见, $\ln S_q$ 随 q 的增加而线性地增加, 即 S_q 满足

$$S_q \propto e^{\alpha q} \quad (14)$$

图中实线是线性拟合的结果. 拟合系数 α 如表 1 所示. 由图 1 和表 1 可见, 当多重数分布的低端部分截断增加时, S_q 的数值减小, α 值也相应减小, 但 α 值减小不大. 为了与实验结果作比较, 我们利用 FRITIOF 7.02 和 JETSET 7.3 程序模拟 400GeV/c pp 碰撞多粒子产

生过程. 共产生 4500 个 $N_e \geq 4$ 的事例, 其中 $N_e \geq 6$ 的有 3960 个, $N_e \geq 8$ 的有 3296 个. 其归一化的多重数分布示于图 2 中. 由图可见, 当 $N_e \geq 6$ 和 $N_e \geq 8$ 时与实验数据符合得较好. 对于 $N_e \geq 4$ 时的情况则有偏差. 其中 $N_e = 4$ 的事例数, 模拟的数据明显偏大. 用与实验数据相同的方法计算 S_q 矩, 其结果亦示于图 1 中. 与实验数据比较, $\ln S_q$ 随 q 的变化并不是线性的, 并且随着 q 的增加, $\ln S_q$ 偏离实验值逐渐增加. 这种偏离程度随着多重数分布低端部分截断的增加而增加. 说明 FRITIOF 模拟不能再现实验结果.

表 1 $\ln S_q$ 随 q 变化的线性拟合系数

事例样本	$N_e \geq 4$	$N_e \geq 6$	$N_e \geq 8$
α	0.237 ± 0.003	0.223 ± 0.003	0.202 ± 0.002

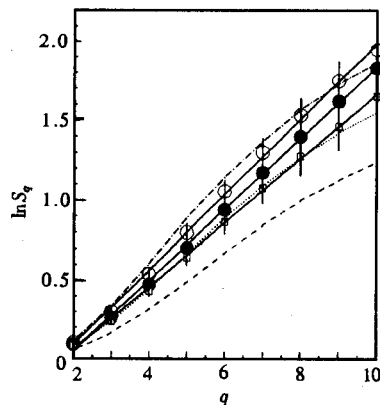


图 1 $\ln S_q$ 随 q 的变化
——对实验数据的线性拟合, 实验结果:
 $\circ N_e \geq 4, \bullet N_e \geq 6, \square N_e \geq 8$; FRITIOF
模拟结果: - - - - $N_e \geq 4, \cdots \cdots N_e \geq 6,$
- · - · - $N_e \geq 8$.

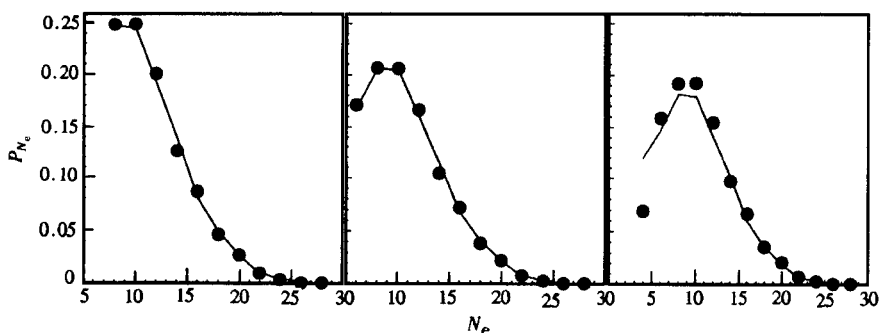
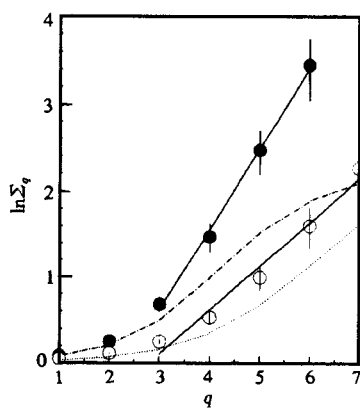


图 2 归一化多重数分布

● 实验值, —FRITIOF 模拟结果, 从左至右分别为 $N_e \geq 8$, $N_e \geq 6$ 和 $N_e \geq 4$ 的事例.

图 3 $\ln \Sigma_q$ 随 q 的变化

实验结果: ● $N_e \geq 6$, ○ $N_e \geq 8$; FRITIOF 模拟结果: - - - - $N_e \geq 6$, ··· $N_e \geq 8$,

——对实验数据的线性拟合.

利用同样的实验数据计算 Σ_q 矩, 计算的结果示于图 3 中. 由图 3 可见, 当 $q \geq 3$ 时, $\ln \Sigma_q$ 随 q 的变化具有线性行为, 即

$$\Sigma_q \propto e^{\beta q}. \quad (15)$$

但随多重数分布低端部分截断的增加, β 变化较大. 对于 $N_e \geq 6$ 的事例样本, $\beta = 0.93 \pm 0.03$; 对于 $N_e \geq 8$ 的事例样本, $\beta = 0.51 \pm 0.04$. 对用 FRITIOF 模拟产生的事例样本的计算结果亦示于图 3 中. 同样, $\ln \Sigma_q$ 随 q 的变化不具有线性行为, 并且均小于实验值. 虽然从多重数分布角度看, 模拟数据与实验数据符合得相当好, 但 S_q 矩和 Σ_q 矩的行为两者相差较大. 这似乎表明快度间隔的不稳定性分析能更好地检验模型的适用性.

4 结论

对 400 GeV/c pp 碰撞多粒子产生的实验数据作(赝)快度间隔的不稳定性分析. 计算了华家照等人提出的类熵量 S_q 和 Σ_q . 发现 S_q 和 Σ_q 明显地偏离于 1, 表明两者均能显示多粒子产生过程中的动力学涨落. 其中 $\ln S_q$ 随 q 的变化有较好的线性行为. 其线性拟合的斜率 α 随多重数分布低端部分截断的增大变化不大. 表明 S_q 的稳定性较好. 与标度阶乘矩类似, 它主要取决于多重数分布的高多重数部分. $\ln \Sigma_q$ 随 q 的变化只有近似的线性行为. 其线性拟合的斜率 β 随多重数分布低端部分截断的增大变化较大. 表明 Σ_q 的灵敏度较高, 且受多重数分布低端部分的影响较大. 上述结果表明在低多重数情况下利用(赝)快度间隔作多粒子产生的不稳定性分析是可行的. 对用 FRITIOF 模拟产生的事例样本作同样的计算, 发现与实验结果偏离较大. 这表明对 S_q 和 Σ_q 的计算可能用来检验各种粒子产生模型的适用性.

作者对 CERN NA27 合作组提供 LEBC 泡室照片和测量设备深表感谢.

参考文献 (References)

- 1 CAO Zhen, Hwa Rudolph C. Phys. Rev. , 2000, **D61**:074011-1
- 2 WANG Shao-Shun, WU Chong. High Energy Phys. and Nucl. Phys. , 2000, **24**(4):285—289(in Chinese)
(王韶舜,吴冲. 高能物理与核物理,2000, **24**(4):285—289)
- 3 Hwa Rudolph C, ZHANG Qing-Hui. hep-ph/9912275
- 4 Bialas A, Gardzicki M. Phys. Lett. , 1990, **B252**:483
- 5 Ochs W. Z. Phys. , 1991, **C50**:339
- 6 WANG Shao-Shun et al. Z. Phys. , 1995, **C68**:415

Erraticity of (Pseudo-)Rapidity Gaps*

WANG Shao-Shun WU Chong

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

Abstract The erraticity analysis of the pseudorapidity gaps is performed for the experimental data of multiparticle production in pp collisions at $400\text{GeV}/c$. The entropy-like quantities S_q and Σ_q which have been proposed by Hwa et al. are calculated. It is found that S_q and Σ_q deviate significantly from 1. The $\ln S_q$ versus q has a quite linear behavior, but the $\ln \Sigma_q$ versus q has only an approximate linear behavior. The same calculations are performed for the event sample simulated using FRITIOF program. The results have a rather large deviation from experimental data.

Key words multiparticle production, pseudorapidity gap, erraticity, entropy-like quantities