

400GeV/c pp 碰撞多粒子产生的 不稳定性分析*

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了不稳定性分析. 计算了新的不稳定性参数. 将它们与曹珍和华家照利用软相互作用模型 ECOMB 模拟 NA22 能量范围的强子-强子碰撞实验所得到的结果相比较, 相似性清楚可见. 这表明 ECOMB 模型是一个软相互作用多粒子产生模型. 它能重现高能强子碰撞末态事例结构的涨落.

关键词 软相互作用 多粒子产生 不稳定性 事例结构

1 引言

高能粒子碰撞末态粒子涨落问题已经研究了相当长时间. 以前经常采用的标度阶乘矩方法没有考虑不同的事例之间的涨落现象, 使人们得不到有关事例结构不稳定性的信息. 最近曹珍和华家照提出同时研究事例空间和相空间以便能定量地描述事例结构的不稳定性本质^[1-3]. 他们定义一新的熵指数 μ_q 用来测量级联过程中的混沌行为. 它也提供了一种有效的方法以区别 QCD 分支过程中的原始部分是夸克还是胶子. 对于每一个事例, 在 η 空间计算阶乘矩. 对于不同的事例, 阶乘矩的涨落是很大的. 定义一个新的矩 $C_{p,q}$ 来表征这种涨落程度. 如果 $C_{p,q}$ 随 M 的变化有一幂数行为, 由此可得出熵指数 μ_q . 然而正如文献[4]所表明, 当 $p \geq 1.5$ 时矩 $C_{p,q}$ 随子区间大小的变化不存在简单的幂数规律. 为此曹珍和华家照提出了新的不稳定性测量方法^[5]. 本文利用此方法对 400GeV/c pp 碰撞多重产生的实验数据作不稳定性分析, 以检验软相互作用多粒子产生模型 ECOMB 的适用性.

2 不稳定性

详细论述见文献[2,5], 这里简要叙述如下: 赝快度空间被分割成 M 个等间隔的子区间, 对每一个事例 e 按以下公式计算归一化的阶乘矩:

1999-03-22 收稿

* 国家自然科学基金资助(19975045)

$$F_q^e(M) = f_q^e(M)/(f_1^e(M))^q, \quad (1)$$

其中

$$f_q^e(M) = M^{-1} \sum_{j=1}^M n_j (n_j - 1) \cdots (n_j - q + 1), \quad (2)$$

这里 n_j 是事例 e 在第 j 个子区间中的粒子数. 对于不同的事例, $F_q^e(M)$ 的涨落是存在的. 对于整个事例样本存在一分布 $P(F_q^e)$. 令 $\langle F_q^e(M) \rangle_v$ 表示由分布 $P(F_q^e)$ 得到的平均值, 和

$$\varphi_q(M) = F_q^e(M) / \langle F_q^e(M) \rangle_v. \quad (3)$$

为了定量表示涨落的程度, 定义了一个新的矩^[1]

$$C_{p,q}(M) = \langle \varphi_q^p(M) \rangle_v, \quad (4)$$

这里 p 是一个正的实数. 如果 $C_{p,q}(M)$ 随 M 的变化遵循幂数规律, 即

$$C_{p,q}(M) \propto M^{\psi_q(p)}, \quad (5)$$

则可以定义

$$\mu_q = \left. \frac{d}{dp} \psi_q(p) \right|_{p=1}$$

为新的熵指数. 实验上较容易做的是直接由 $\phi_q(M)$ 决定一类熵量 $\Sigma_q(M)$,

$$\Sigma_q(M) = \langle \phi_q(M) \ln \phi_q(M) \rangle_v.$$

根据式(4)有

$$\Sigma_q(M) = dC_{p,q}(M)/dp \Big|_{p=1},$$

然后根据以下公式由 $\Sigma_q(M)$ 决定 μ_q

$$\mu_q = \frac{\delta \Sigma_q(M)}{\delta \ln M}$$

如果 $C_{p,q}(M)$ 随 M 的变化不存在简单的幂数规律, 但是对 M 具有相似的非线性依赖关系, 这时可考虑一般化形式的标度律

$$C_{p,q}(M) \propto g(M)^{\psi_q(p)}$$

和

$$\Sigma_q(M) \propto \mu'_q \ln g(M), \quad (11)$$

其中

$$\mu'_q = \left. \frac{d}{dp} \psi_q(p) \right|_{p=1}, \quad (12)$$

它与 μ_q 的定义不同. 如果(11)式对于一定的 q 值范围是适用的, 则可以期待当 M 变化时 Σ_q 对 Σ_2 有线性的依赖性, 用 w_q 表示这种依赖性的斜率, 即

$$w_q = \frac{\partial \Sigma_q}{\partial \Sigma_2}, \quad (13)$$

于是有

$$\mu'_q = \mu'_2 w_q. \quad (14)$$

3 实验结果

利用 CERN NA27 合作组提供的 LEBC 泡室照片测量了 400 GeV/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 3730 个多重数 $N_c \geq 4$ 的非单衍事例, 测量方法详见参考文献[6].

由于在赝快度空间, 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,利用累积变量 $X(\eta)$ 来代替 η ,其定义为^[7,8]

$$X(\eta) = \int_{\eta_1}^{\eta} \rho(\eta') d\eta' / \int_{\eta_1}^{\eta_2} \rho(\eta') d\eta' \quad (15)$$

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. 将区间 0—1 分割成 M 个子区间并计算矩 $C_{p,q}(M)$, 其中 $q=2,3,4; p=2,3,4$. 图 1 (a)画出了 $\ln C_{p,q}(M)$ 随 $\ln M$ 的变化. 由图 1 可见 $\ln C_{p,q}(M)$ 随 $\ln M$ 的变化是非线性的, 即不具有幂律行为. 若以 $\ln C_{p,q}(M)$ 相对于 $\ln C_{2,2}(M)$ 作图, 如图 1(b) 所示, 则幂律行为清楚地可见, 即有

$$C_{p,q}(M) \propto C_{2,2}^{(\chi(p,q))}(M). \quad (16)$$

对 $\ln C_{p,q}(M)$ 随 $\ln C_{2,2}(M)$ 变化作线性拟合, 其斜率 $\chi(p,q)$ 随 p 的变化示于图 2 中. 当 q 固定时利用公式

$$\chi(p) = a + bp + cp^2 \quad (17)$$

拟合实验数据. 图中实线代表最佳拟合曲线. 利用最佳拟合曲线可得 $p=1$ 时的一阶导数

$$\chi'_q = \left. \frac{d}{dp} \chi(p,q) \right|_{p=1}. \quad (18)$$

当 $q=2,3,4$ 时 χ'_q 的值为 0.81, 4.51 和 9.94. 如图 3 所示.

利用下列公式可以由 χ'_q 得到 μ'_q ^[5]. 即

$$\chi(p,q) = \psi'_q(p) / \psi'_2(2), \quad (19)$$

和
$$\mu'_q = \psi'_2(2) \chi'_q. \quad (20)$$

由式(10)得

$$C_{2,2}(M) \propto g(M)^{\psi'_2(2)} \quad (21)$$

利用

$$\ln g(M) = (\ln M)^a \quad (22)$$

可决定 $g(M)$. 当 $a=1.9$ 时, $\ln C_{2,2}(M)$ 随 $\ln g(M)$ 的变化具有线性行为, 如图 4 中的空心圆所示. 线性拟合的斜率 $\psi'_2(2) = 0.0597 \pm 0.009$. 由此得到的 μ'_q 值为 $0.048 \pm 0.001, 0.269 \pm 0.006$ 和 0.593 ± 0.010 , 分别对应于 $q=2,3$ 和 4, 如图 5 中空心圆所示.

μ'_q 值也可以利用 $\Sigma_q(M)$ 独立地决定. 根据(7)式中的定义计算 $\Sigma_q(M)$. 在图 6(a) 中画出 $\Sigma_q(M)$ 随 $\ln M$ 的变化, 明显地不具有线性依赖关系. 但是当 $\Sigma_q(M)$ 相对于

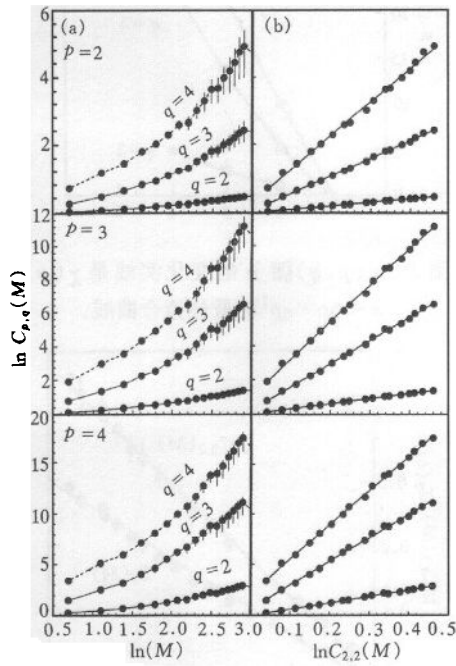


图 1 (a) $\ln C_{p,q}(M)$ 随 $\ln M$ 的变化;
(b) $\ln C_{p,q}(M)$ 随 $\ln C_{2,2}(M)$ 的变化.
实线是线性拟合.

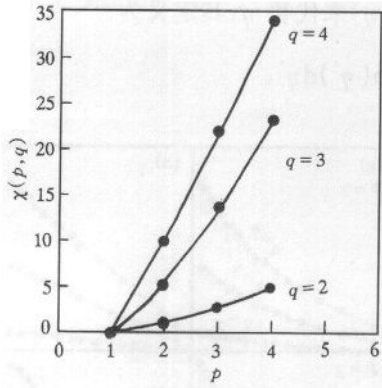


图2 $\chi(p, q)$ 随 p 的变化实线是 $\chi(p) = a + bp + cp^2$ 的最佳拟合曲线.

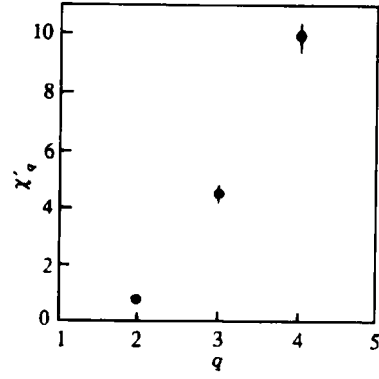


图3 χ'_q 随 q 的变化

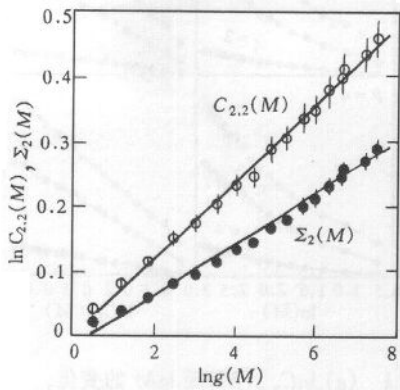


图4 $\ln C_{2,2}(M)$ 和 $\Sigma_2(M)$ 随 $\ln g(M)$ 的变化实线是线性拟合.

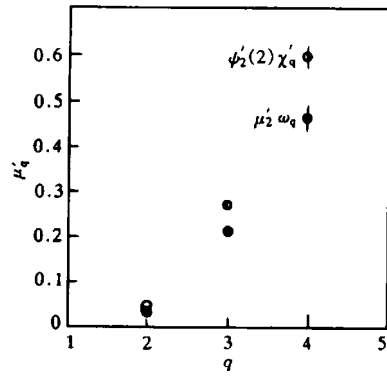


图5 由两种方法决定的 μ'_q 随 q 的变化

$\Sigma_2(M)$ 作图时,则清楚地存在线性依赖关系,如图6(b)所示.由此可得线性拟合的斜率 $\omega_q = 1.0, 5.32 \pm 0.05, 11.40 \pm 0.13$ 和 14.59 ± 0.50 分别对应于 $q=2, 3, 4$ 和 5 . 为了得到 μ'_2 ,根据(11)式将 $\Sigma_2(M)$ 相对于 $\ln g(M)$ 作图,如图4中的实心圆点所示.线性拟合

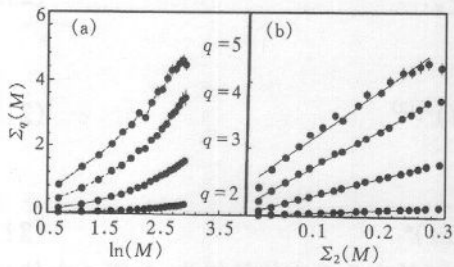


图6(a) $\Sigma_q(M)$ 随 $\ln M$ 的变化;
(b) $\Sigma_q(M)$ 随 $\Sigma_2(M)$ 的变化
实线是对实验数据的线性拟合.

的斜率即为 $\mu'_2 = 0.040 \pm 0.001$. 由此得到的 μ'_q 用实心圆点示于图5中.由图5可见,用两种方法得到的 μ'_q 有相似的行为.但 $q > 2$ 时有差别.其原因是两种方法均依赖于 $g(M)$ 的细节.由图4可见,采用(22)式和 $a = 1.9$ 时, $\ln C_{2,2}(M)$ 随 $\ln g(M)$ 的变化确实具有较好的线性行为.但 $\Sigma_2(M)$ 随 $\ln g(M)$ 的变化不具有严格的线性行为.因此特殊形式的 $g(M)$ 是需要的.

另一种与 $g(M)$ 的细节无关的核对两种方法一致性的办法是计算比值 $r_q = \chi'_q / \omega_q$. 由 χ'_q 和 ω_q 值得到 $r_q = 0.81, 0.85$ 和 0.87 分别对应于 $q=2, 3$ 和 4 . 其平均值为 0.84 , 即误差

在 $\pm 4\%$ 以内不随 q 变化. 这与预期的结果是一致的,表明这两种方法确实是一致的而不管 $g(M)$ 的形式如何. 由(14)式和(20)式可得 $r_q = \mu'_2/\psi'_2(2) = 0.67 \pm 0.03$. 与上面得到的平均值相差较大,其原因是利用此法得到的 r_q 值依赖于 $g(M)$ 的细节.

将上述结果与曹珍和华家照利用软相互作用粒子产生模型 ECOMB 模拟 NA22 能区强子-强子碰撞实验的计算结果作一比较(见文献[5]中的图1—图7),发现两者是很相似的. 这表明 Monte Carlo 产生器 ECOMB 可能是一种较好的软相互作用多粒子产生模型,它能再现高能强子碰撞末态事例结构的涨落.

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. Lett., 1995, **75**:1268
- 2 CAO Zhen, Hwa Rudolph C. Phys. Rev., 1996, **D53**:6608
- 3 CAO Zhen, Hwa Rudolph C. Phys. Rev., 1996, **D54**:6674
- 4 WANG ShaoShun, WANG ZhaoMin. Phys. Lett., 1998, **B416**:216; Phys. Rev., 1998, **D57**:3036
- 5 CAO Zhen, Hwa Rudolph C. Erraticity Analysis of Soft - Production by ECOMB, OITS 666, Jan. 1999
- 6 WANG ShaoShun et al. Z. Phys., 1995, **C68**:415
- 7 Bialas A, Gardzicki M. Phys. Lett., 1990, **B252**:483
- 8 Ochs W. Z. Phys., 1991, **C50**:339

Erraticity Analysis of Multiparticle Production in pp Collisions at 400GeV/c *

WANG ShaoShun WU Chong

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

Abstract The erraticity analysis was performed for the experimental data of multiparticle production in pp collisions at 400GeV/c. New parameters of erraticity are calculated. Comparing this with the results obtained by Cao Zhen and Rudolph C. Hwa, they have used a soft-interaction model ECOMB to simulate the experiment of hadron-hadron collisions at NA22 energy region, a similarity is seen clearly. This means that the model ECOMB is a soft-interaction multiparticle production model which can reproduce the fluctuations of the event structure of the final states of high energy hadronic collisions.

Key words soft-interaction, multiparticle production, erraticity, event structure

Received 22 March 1999

* Supported by National Natural Science Foundation of China (19975045)