

400 GeV/c pp 碰撞时两粒子赝快度关联*

王韶舜 张杰 肖臣国
叶云秀 成正东 张学谦
罗棋 徐万里 熊伟军

(中国科技大学近代物理系, 合肥 230026)

摘 要

利用 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。研究了固定多重数时的两粒子赝快度关联。用结团模型对实验数据进行了拟合, 得到的结团平均大小以及结团的衰变宽度随带电粒子多重数的变化不大。

一、引 言

为了更好地了解高能粒子碰撞中多粒子产生的动力学机制, 除了研究不同快度区间

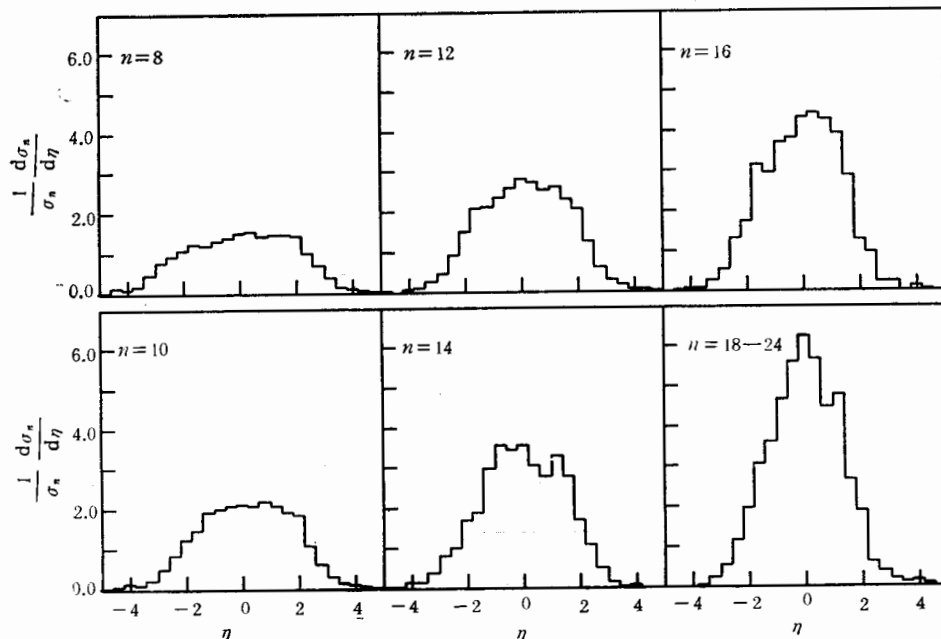


图1 质心系固定多重数时的赝快度分布

本文1991年7月29日收到。

* 国家自然科学基金资助。

的带电粒子多重数分布外,还广泛进行末态带电粒子之间的各种类型关联的测量。

大量强子碰撞的实验结果表明末态粒子之间存在着短程关联和长程关联。短程关联揭示了末态粒子是成结团产生的 u^{-n} ,即多重产生过程可以看成是先产生若干结团,然后这些结团衰变成末态粒子。然而由于由单举实验得到的两粒子快度(赝快度)关联函数存在着长程关联分量,而使实验结果的说明变得困难。分析结果表明,对于固定多重数的两粒子快度(赝快度)关联,只与短程关联有关,并能去掉假的关联效应^[9,10]。

为此我们利用 CERN NA27 实验组提供的 LEBC 泡室照片,在 400GeV/c pp 碰撞产生的带电粒子多重数分布的实验工作基础上,对多重数为 8 到 24 的 1501 个事例的赝快度分布进行了测量(测量方法详见参考文献 [11]),得到了质心系的半单举赝快度分布的实验数据(见图 1);计算了两粒子关联函数;并采用结团模型对实验结果作了拟合;最后与其它能量的实验结果作了比较。

二、两粒子赝快度关联函数

在高能相互作用中产生的大多数末态粒子具有低的横动量,人们期待末态粒子主要是在纵向相空间存在动力学关联。因此常常研究两粒子快度(赝快度)关联。为了研究固定多重数情况下两粒子赝快度关联,我们引入两个量,一个是单粒子密度

$$\rho_n^1(\eta) = \frac{1}{\sigma_n} \frac{d\sigma_n}{d\eta}, \quad (1)$$

另一个是两粒子密度

$$\rho_n^2(\eta_1, \eta_2) = \frac{1}{\sigma_n} \frac{d^2\sigma_n}{d\eta_1 d\eta_2}. \quad (2)$$

其中 σ_n 是非单衍过程多重数为 n 时的拓扑截面,赝快度

$$\eta = -\ln \operatorname{tg} \frac{\theta_c}{2},$$

仅依赖于质心系产生角 θ_c 。在多重数 n 固定的情况下,单粒子密度 $\rho_n^1(\eta)$ 正比于在赝快度为 η 时发现带电粒子的几率;两粒子密度 $\rho_n^2(\eta_1, \eta_2)$ 正比于在 η_1 处发现一个带电粒子,同时在 η_2 处发现另一个带电粒子的几率。为了考察两粒子关联地产生与各自独立地产生时的差别,引入了两粒子赝快度关联函数

$$C_n(\eta_1, \eta_2) = \rho_n^2(\eta_1, \eta_2) - \rho_n^1(\eta_1)\rho_n^1(\eta_2). \quad (3)$$

通常也采用归一化的两粒子关联函数

$$R_n(\eta_1, \eta_2) = \frac{C_n(\eta_1, \eta_2)}{\rho_n^1(\eta_1)\rho_n^1(\eta_2)} = \frac{\rho_n^2(\eta_1, \eta_2)}{\rho_n^1(\eta_1)\rho_n^1(\eta_2)} - 1. \quad (4)$$

采用 $R_n(\eta_1, \eta_2)$ 的优点是大部分的实验效率被抵消了。如果两粒子之间不存在关联,则有

$$\rho_n^2(\eta_1, \eta_2) = \frac{n-1}{n} \rho_n^1(\eta_1)\rho_n^1(\eta_2), \quad (5)$$

即

$$R_n(\eta_1, \eta_2) = -\frac{1}{n}.$$

实验表明 $\eta_1 = \eta_2$ 时, 关联函数 C_n 或 R_n 的值是大的, 并随 $\Delta\eta = \eta_1 - \eta_2$ 而变化. 在赝快度分布平台区, 关联函数 C_n 或 R_n 仅依赖于 $|\eta_1 - \eta_2|$ 而与 η_1 、 η_2 本身的取值无关^[12]. 因此关联函数可以表示为赝快度差 $\Delta\eta$ 的函数. 将关联函数 $C_n(\eta, \eta + \Delta\eta)$ 对赝快度平台区积分并归一化得到新的关联函数 $R_n(\Delta\eta)$, 即

$$R_n(\Delta\eta) = \frac{\int_{\eta} \rho_n^2(\eta, \eta + \Delta\eta) d\eta}{\int_{\eta} \rho_n^1(\eta) \cdot \rho_n^1(\eta + \Delta\eta) d\eta} - 1, \quad (6)$$

它能利用事例的更多信息, 又能给出 $R_n(\eta_1, \eta_2)$ 的绝大部分信息. 由图 1 可见多重数不同时赝快度分布平台区的宽度不同, 因此积分区间应取不同的值, 即

$$\begin{aligned} n = 8, 10, & \quad |\eta| \leq 1.6, \quad |\eta + \Delta\eta| \leq 1.6; \\ n = 12, 14, & \quad |\eta| \leq 1.2, \quad |\eta + \Delta\eta| \leq 1.2; \\ n \geq 16, & \quad |\eta| \leq 1.05, \quad |\eta + \Delta\eta| \leq 1.05. \end{aligned} \quad (7)$$

对于多重数为 18—24 的事例, 由于事例数少, 把它们加在一起分析, 这时两粒子关联函数为

$$R_r(\Delta\eta) = \frac{\int_{\eta} \rho_r^2(\eta, \eta + \Delta\eta) d\eta}{\int_{\eta} \rho_r^1(\eta) \cdot \rho_r^1(\eta + \Delta\eta) d\eta} - 1, \quad (8)$$

其中

$$\rho_r^1(\eta) = \sum_n \pi(n) \rho_n^1(\eta), \quad (9)$$

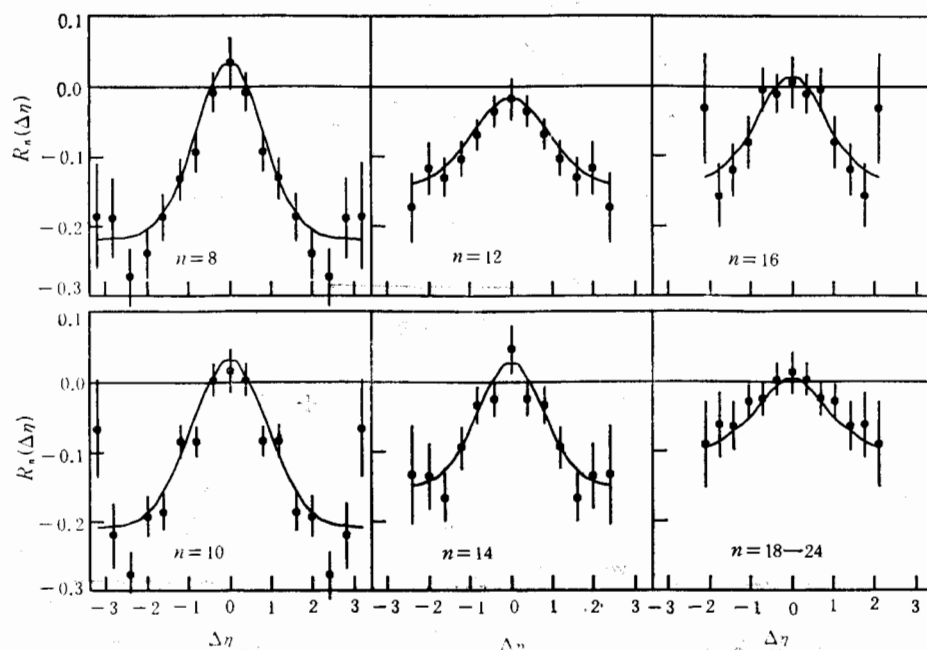


图 2 固定多重数时的两粒子关联函数

$$\rho_r^2(\eta, \eta + \Delta\eta) = \sum_n \pi(n) \rho_n^2(\eta, \eta + \Delta\eta), \quad (10)$$

r 为此区间的平均多重数, $\pi(n)$ 为多重数为 n 时的几率. 实验结果如图 2 所示. 在图 2 中清楚地表明短程关联的存在.

三、用结团模型拟合实验结果

结团模型解释两粒子短程关联行为是很成功的. 一个简单的结团模型认为末态粒子是由结团衰变而来的. 一个赝快度为 η 的结团将独立地衰变成 K 个带电粒子, 它们的赝快度分别为 $\eta_i (i = 1, 2, \dots, K)$, η_i 是服从高斯分布的, 其平均值为 η , 宽度为 δ . 如果所选择的事例具有固定的多重数 n , 这 n 个粒子将来自于 m 个结团, 结团本身的赝快度及其衰变的带电粒子数分别为 $\eta_j (j = 1, 2, \dots, m)$ 和 K_j . 假定结团衰变的宽度 δ_n 远小于结团本身的赝快度分布宽度, 则两粒子关联函数 $R_n(\eta_1, \eta_2)$ 可以用函数^[9]

$$R_n(\eta_1, \eta_2) = \frac{F_n \cdot \rho_n^1\left(\frac{\eta_1 + \eta_2}{2}\right)}{\rho_n^1(\eta_1) \cdot \rho_n^1(\eta_2)} \frac{1}{2\sqrt{\pi}\delta_n} \cdot \exp\left[-\frac{(\eta_1 - \eta_2)^2}{4\delta_n^2}\right] - \frac{1 + F_n}{n} \quad (11)$$

来拟合, 其中 $F_n = \frac{\langle K(K-1) \rangle}{\langle K \rangle} \Big|_n$. 对于我们的情况, 上述公式应改写为

$$R_n(\Delta\eta) = \frac{F_n \cdot \int_{\eta} \rho_n^1\left(\eta + \frac{\Delta\eta}{2}\right) d\eta}{\int_{\eta} \rho_n^1(\eta) \cdot \rho_n^1(\eta + \Delta\eta) d\eta} \frac{1}{2\sqrt{\pi}\delta_n} \cdot \exp\left[-\frac{(\Delta\eta)^2}{4\delta_n^2}\right] - \frac{1 + F_n}{n}. \quad (12)$$

对于多重数为 18—24 的事例需采用下述拟合公式

$$R_r(\Delta\eta) = \frac{F_r \int_{\eta} \rho_r^1\left(\eta + \frac{\Delta\eta}{2}\right) d\eta}{\int_{\eta} \rho_r^1(\eta) \cdot \rho_r^1(\eta + \Delta\eta) d\eta} \frac{1}{2\sqrt{\pi}\delta_r} \cdot \exp\left[-\frac{(\Delta\eta)^2}{4\delta_r^2}\right] - \frac{1 + F_r}{r} + \frac{\langle n^2 \rangle - r^2}{r^2}, \quad (13)$$

η 的积分区间同 (7) 式. 这里有两个可调节的参数即 $\delta_n(\delta_r)$ 和 $F_n(F_r)$, 用最小 χ^2 法可以决定这两个参数的最佳值. 拟合结果在图 2 中用曲线表示. 由图 2 可见, 简单的结团模型能很好地解释短程关联的实验事实. 由拟合得到的 δ_n 和 $\frac{\langle K(K-1) \rangle}{\langle K \rangle} \Big|_n$ 值列于

表 1 中. 图 3 和图 4 分别绘出了不同能量时 $\frac{\langle K(K-1) \rangle}{\langle K \rangle} \Big|_n$ 和 δ_n 随 $\frac{n}{\langle n \rangle}$ 的变化.

表 1 由结团模型拟合实验结果得到的两参数值和结团的平均大小

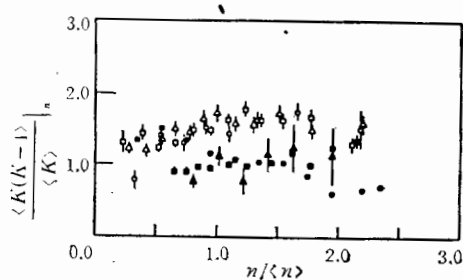
多重数	8	10	12	14	16	18—24
$\frac{\langle K(K-1) \rangle}{\langle K \rangle} \Big _n$	0.76 ± 0.10	1.11 ± 0.13	0.76 ± 0.19	1.14 ± 0.23	1.24 ± 0.33	1.12 ± 0.40
δ_n	0.58	0.65	0.65	0.56	0.58	0.57
χ^2/NDF	0.58	1.85	0.24	0.53	0.58	0.27
K_c	1.76 ± 0.10	2.11 ± 0.13	1.76 ± 0.19	2.14 ± 0.23	2.24 ± 0.33	2.12 ± 0.40
$\langle K \rangle_{0n}$	0.93	1.17	0.71	0.98	1.00	0.83

其它能量的数据取自参考文献 [13]。由图 3 和图 4 可见, 矩 $\frac{\langle K(K-1) \rangle}{\langle K \rangle} \Big|_n$ 以及 δ_n 随带电粒子多重数的变化不大。矩 $\frac{\langle K(K-1) \rangle}{\langle K \rangle} \Big|_n$ 的大小与结团的平均大小 $\langle K \rangle$ 之间的关系依赖于结团衰变产物的多重数分布。如果这一分布是 δ 函数, 即每个结团衰变成固定数目 K_c 个带电粒子, 则平均值 $\langle K \rangle$ 为

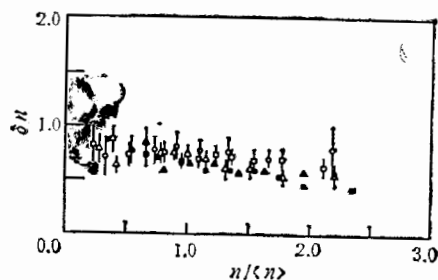
$$\langle K \rangle = K_c = \frac{\langle K(K-1) \rangle}{\langle K \rangle} \Big|_n + 1. \quad (14)$$

由此算得的结团平均大小列于表 1 中, 对各多重数平均后结团的平均大小为

$$\langle K \rangle = 2.00 \pm 0.19.$$

图 3 矩 $\frac{\langle K(K-1) \rangle}{\langle K \rangle} \Big|_n$ 随多重数的变化

- △ UA5 900GeV;
- UA5 546GeV;
- UA5 200GeV;
- PSB 63GeV;
- SFM 44GeV;
- ▲ 本实验 27.4GeV

图 4 结团衰变宽度 δ_n 随多重数变化

- △ UA5 900GeV;
- UA5 546GeV;
- UA5 200GeV;
- SFM 44GeV;
- ▲ 本实验 27.4GeV

如果结团衰变产物的多重数分布是具有平均值为 $\langle K \rangle_0$ 的泊松分布, 则有^[13]

$$\frac{\langle K(K-1) \rangle}{\langle K \rangle} \Big|_n = \frac{n-1}{n} \frac{\sigma_{n-1}}{\sigma_n} \langle K \rangle_0 = \frac{n-1}{n+k-1} \frac{\bar{n}+k}{\bar{n}} \langle K \rangle_0, \quad (15)$$

等式的最右边是假定非单衍过程产生的带电粒子多重数分布服从负二项式分布的结果。

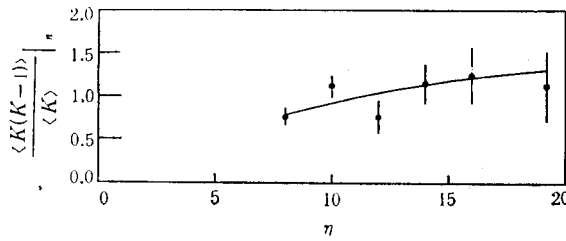


图5 $\frac{\langle K(K-1) \rangle}{\langle K \rangle^2}$ 随 n 的变化

由多重数分布的实验得到^[14]

$$k = 12.8, \bar{n} = 9.84,$$

由此可得固定多重数时的 $\langle K \rangle_n$ 值也列于表1中。在(15)式中以 $\langle K \rangle_0$ 作为自由参数拟合实验结果如图5所示,由此可得 $\langle K \rangle_0 = 0.97 \pm 0.15$ 。由于 $\langle K \rangle_0$ 中包括 $K=0$ 即衰变产物全是中性粒子的结团,在排除这些结团以后得到的结团平均大小为

$$\langle K \rangle = 1.56 \pm 0.10.$$

综上所述结团的平均大小为 $2.00 \geq \langle K \rangle \geq 1.56$ 。与前向半球多重数分布的实验结果^[11]比较表明,结团衰变的多重数分布接近于泊松分布。

四、结 论

上述结果表明固定多重数时存在两粒子赝快度短程关联。结团模型能很好地解释短程关联的实验事实。结团模型的两个参量 $\frac{\langle K(K-1) \rangle}{\langle K \rangle^2}$ 与 δn 随 n 的变化不大,由此求得的结团平均大小与结团衰变产物的多重数分布有关。与前半球多重数分布的实验数据比较表明,结团衰变产物的多重数分布接近于泊松分布。

作者对 CERN NA 27 合作组提供 LEBC 照片深表感谢。

参 考 文 献

- [1] E. L. Berger, *Phys. Lett.*, **49B**(1974), 569.
- [2] L. Foa, *Phys. Rep.*, **22**(1975), 1.
- [3] E. L. Berger, *Nucl. Phys.*, **B85**(1975), 61.
- [4] K. Eggert et al., *Nucl. Phys.*, **B86**(1975), 201.
- [5] J. Whitmore, *Phys. Rep.*, **27**(1976), 187.
- [6] T. Kafka et al., *Phys. Rev.*, **D16**(1977), 126.
- [7] D. Drijard et al., *Nucl. Phys.*, **B155**(1979), 269.
- [8] G. Giacomelli, M. Jacob., *Phys. Rep.*, **55**(1979), 1.
- [9] W. Bell et al., *Z. Phys.*, C-Particles and Fields, **22**(1984), 109.
- [10] L. K. Mangotra et al., *Z. Phys.*, C-Particles and Fields, **31**(1986), 199.
- [11] 王韶舜等,高能物理与核物理, **15**(1991),1057.
- [12] G. J. Alner et al., *Phys. Rep.*, **154**(1987), 247.
- [13] R. E. Ansorge et al., *Z. Phys.*, C-Particles and Fields, **37**(1988), 191.
- [14] 王韶舜等,高能物理与核物理, **13**(1989),673.

Two-particle Pseudorapidity Correlations in pp Collisions at 400 GeV/c

WANG SHAOSHUN ZHANG JIE XIAO CHENGUO YE YUNXIU CHENG ZHENGONG
ZHANG XUEQIAN LUO QI XU WANLI XIONG WEIJUN

(Department of Modern Physics, University of Science and Technology of China, Hefei 230026)

ABSTRACT

The pseudorapidity distributions of charged particles produced in pp collisions at 400GeV/c have been measured using LEBC films. Two-particle pseudorapidity correlations at fixed multiplicity have been studied. The experimental data was fitted by cluster model. It is found that the average cluster multiplicities as well as the cluster decay widths both vary slightly with charged multiplicity.