

# 前向后向多重性快度关联

谢 一 冈

(中国科学院高能物理研究所)

## 摘 要

本文分析了欧洲核子研究中心 (CERN), 质心系能量为 540GeV 质子反质子对撞机上 UA-1 实验的最小偏置触发条件下 9 万个事例的多重末态粒子前向后向快度关联。选择了不同的截断条件和中心探测器接收度修正方法以得到较平坦的快度分布。给出了短程, 长程等四种快度区域的关联强度。比较了几种对轴向角  $\theta = 90^\circ$  的平面对称的和非对称的快度关联强度变化规律及短程区内同号和异号电荷粒子的前后关联强度值。所得诸结果与 ISR 质子-质子对撞机等的结果和某些理论模型结果进行了比较。

## 一、引 言

在研究高能强子-强子碰撞的小横动量物理领域中末态粒子的关联问题是一个重要的方面, 而其中研究带电粒子多重性的前向和后向(或左-右)快度关联是很有意义的。这个问题首先由 S. Nussinov 和 C. Quigg<sup>[1]</sup> 提出, 以后又有不少作者(如文献[2-6])曾进行这方面工作。这是因为它不仅可以对不同强子-强子碰撞的动力学模型提供灵敏的信息<sup>[2]</sup>, 例如短程快度关联可以用集团模型(Cluster Model)解释, 而长程关联可以用集团之间的关联发射解释<sup>[3]</sup>; 而且因为在研究关联问题时这种方法是考虑在一定快度区域内的总的多重性, 因而可以使结果具有很好的统计性。

本文是根据欧洲核子研究中心(CERN)的质心系能量为 540GeV 的质子反质子对撞机上 UA-1 实验组 1982 年 10 月至 12 月在最小偏置触发条件 (Minimum bias) 下运行所得的约 9 万个事例进行分析的。最小偏置触发条件是指能记录质子反质子碰撞后在一定立体角内发射的全部粒子而只剔除那些杂散本底(如束流管道的管壁散射和宇宙线)的探测器数据获取触发条件。它是和那些为寻找中间玻色子  $W^\pm$ ,  $Z^0$  和研究喷注 (Jet) 等的大横动量电子和喷注触发条件相区别而言的。因为这种最小偏置条件能记录所有动量的粒子, 因此它是研究一切小横动量物理问题的触发条件。

本文分析了不同快度区域的前后多重性的关联强度 (Correlation Strength), 考察了 UA-1 中心图像漂移室的接收度修正及不同截断 (Cut) 条件对快度分布及关联强度的影响, 另外也研究了同号电荷和异号电荷的前后关联效应。

## 二、关联强度

我们按下述步骤引入前向后向（或左右）快度关联：设  $n_B$  和  $n_F$  分别为一次碰撞事例后向和前向的一定快度区域内的末态粒子多重数。多次事例的  $n_B$  和  $n_F$  分布如图 1 所示。对应每一个  $n_F$  求  $n_B$  分布的平均值  $\langle n_B \rangle$ 。  $\langle n_B \rangle$  和  $n_F$  的关系可以用一直线方程  $\langle n_B \rangle = a + bn_F$  表示。其中  $b$  为直线斜率，称为关联强度。它由带权重的最小二乘法求出。每一个  $\langle n_B \rangle$  的权重即为  $\langle n_B \rangle$  的标准误差的倒数，如图 3 所示。

理论上  $b$  可以用  $n_B$  和  $n_F$  的协方差  $\text{Cov}(n_F, n_B)$  和方差  $\text{Var}(n_F)$  表示<sup>[4]</sup>，即

$$b = \text{Cov}(n_F, n_B) / \text{Var}(n_F)$$

$$= \frac{\left[ \sum_i (n_F(i) - \langle n_F \rangle)(n_B(i) - \langle n_B \rangle) \right]}{\sum_i (n_F(i) - \langle n_F \rangle)^2}$$

因此，由直线斜率  $b$  即可表示  $n_B$  和  $n_F$  的关联程度。

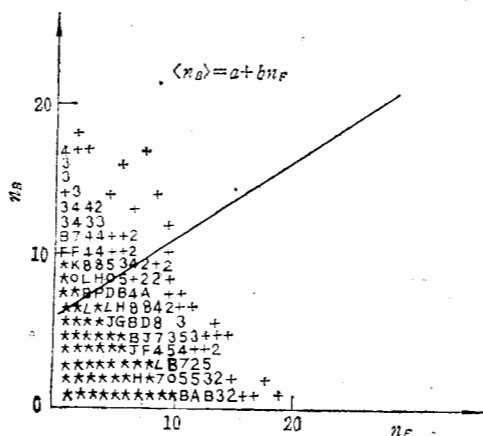


图 1

## 三、快度区域选择

UA-1 中心探测器为 6 米长直径为 2.3 米的大型图像漂移室<sup>[5]</sup>。由不同角度下测得的粒子径迹和动量即可得全部实验结果。如图 2 所示。快度定义为  $Y = (1/2)(p_L - p_T) / (p_L + p_T)$ ，其中  $p_L$  为测得的纵动量， $p_T$  为横动量。通常还选用只与轴向角  $\theta$  有关的赝快度  $\eta$ ，它定义为  $\eta = -(1/2)(\ln \text{tg} \theta / 2)$ 。在此高能区，快度与赝快度近似相等。由定义可知， $\eta > 0$ （即  $0 < \theta < \pi/2$ ）为前向， $\eta < 0$ （即  $\pi/2 < \theta < \pi$ ）为后向。本文研究了对  $\eta = 0$ （即  $\theta = 90^\circ$ ）平面对称的二快度区域内的多重性关联以及对  $\eta = 0$  平面对称的情形。UA-1 实验中选  $\theta = 0$  方向为反质子方向。

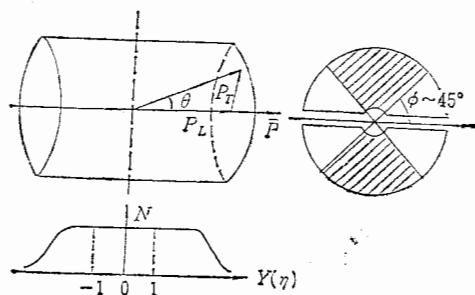


图 2

与通常的惯例相同，本文研究了四种前后对称快度区域内的关联。即短程区（或中心区） $|Y| \leq 1$ ；长程区  $|Y| \geq 1$ ；全程区  $|Y| \geq 0$  和碎裂区  $|Y| \geq 2$ 。这里须指出的是，一般定义赝快度  $\eta \geq \frac{1}{2} \ln S - 2$  的区域为碎裂区，即粒

子向靠近束流发射的前向区域(轴向角 $\theta$ 小)。对质心系能量为 $\sqrt{S} = 540\text{GeV}$ 的情况, $\eta$ 值应为4.29。因为有中心探测器接收度修正时快度截断值为 $|Y| = 2.5$ 。为了便于比较,本文选 $|Y| = 2$ 作为碎裂区下限。

另外也选择了两快度区域宽度皆为0.5,两快度区域间的间隙 $\Delta Y$ 按 $\Delta Y = 2n \times 0.5(n = 1 - 4)$ 变化的对称情形和 $n_F$ (或 $n_B$ )为一侧快度不变区域的多重数与快度间隙按 $\Delta Y = n \times 0.5(n = 1 - 6)$ 变化的另一区域内多重数 $n_B$ (或 $n_F$ )之间的非对称的关联,如图5所示。

#### 四、不同修正条件下的快度分布

为了便于比较,我们选择较平坦的快度分布进行关联分析。由于中心探测器接收度的非均匀性和小动量粒子带来的测量偏离等造成了快度分布的不均匀,为此需要进行修正。本文选用了两种方法进行修正。

A) 横动量 $P_T$ 和方位角 $\phi$ 截断修正。为了剔除小横动量粒子引起的偏差,只选 $P_T > 0.15\text{GeV}/c$ 的粒子。考虑到中心探测器上下两部分中间有一个不灵敏空间,因此只选 $45^\circ < \phi < 135^\circ$ 和 $225^\circ < \phi < 315^\circ$ 范围内的粒子,如图2所示。另外为避免衍射效应<sup>[10]</sup>,总带电粒子多重数选 $M > 10$ 。图3(a)为用了上述截断条件后的快度分布,图

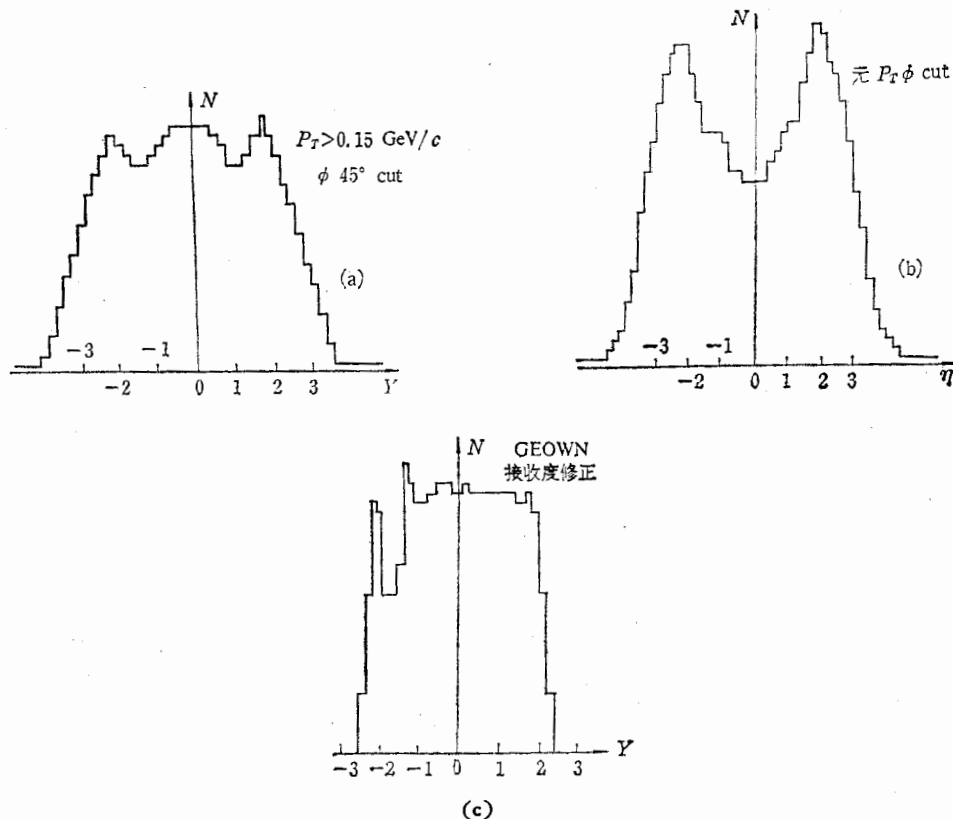


图 3

3(b) 为无上述  $P_T$  和  $\phi$  截断条件的快度分布. 可见图 3(b) 中在中心区有一个很大的凹陷.

在选择  $P_T$  截断条件时, 也曾选过  $P_T > 1\text{GeV}/c$  的条件, 这时在快度中心区部份出现凸起, 不选  $P_T$  而选总动量  $P$  作为截断条件参量时反而使中心区的下陷比无截断条件时更严重. 最后选定的  $P_T > 0.15\text{GeV}/c$  使所得的快度分布较为平坦. 选用  $P_T$  截断方式能使中心区分布升起是因为  $P_T = P \sin \theta$ , 这样对应于小  $\theta$  角即使  $P$  很大的粒子也能被剔除掉, 而中心区  $\theta \sim 90^\circ$ , 因此动量小的粒子相对剔除得也少些. 至于中心区下陷是否还有高能多重产生动力学机制的因素尚待深入研究.

B) 对几种中心探测器接收度修正进行了选择, 最后选择了一种窄几何修正. UA-1 离线分析文件称为 GEOWN. 它利用了 UA-1 的 PATCH 文件系统中一系列子程序<sup>[9]</sup>. 经过这一修正后的快度分布具有较宽而平的坪区域, 如图 3(c) 所示.

## 五、结果及讨论

1) 图 4 为对约 6 万个事例选用四 (B) 中的窄几何修正条件所得到的四个典型快度区域的  $\langle n_B \rangle - n_F$  关系. 利用加权最小二乘法求出的直线斜率即关联强度  $b$ . 由图 4 可以很清楚看出短程关联  $b_{\text{short}}$  最大, 碎裂区  $b_{\text{frag}}$  关联最小<sup>[10]</sup>, 全程区关联  $b_{\text{full}}$  大于长程区关联  $b_{\text{long}}$ . 表 1 给出前述四 (A) 和四 (B) 两种截断修正条件下的四个快度区的  $b$  值. 表中所给的误差是三套磁盘数据的系统误差. 因为事例数很大, 故由带权重的最小二乘法得到的统计误差很小 ( $\sigma \sim 0.0005 - \sigma \sim 0.00009$ ). 故表 1 中未一一给出.  $b_{\text{short}} > b_{\text{full}} > b_{\text{long}} > b_{\text{frag}}$  的结果与 CERN 的 ISR 能区 ( $\sqrt{S} \sim 60\text{GeV}$ ) 的结果一致. 540GeV 的 UA-5 结果则是  $b_{\text{full}} > b_{\text{short}}$ . 另外, 表 1 中的  $b$  值比 UA-5 的值低<sup>[4]</sup>. 按理论公式  $b = (\ln S - B_1) / (\ln S + B_2)$ , 即  $b$  值随质心系能量  $\sqrt{S}$  增加而增加, 且依赖于与快度分布有关的  $B_1, B_2$  二参数. 本文所得结果偏小的原因尚待进一步探讨.

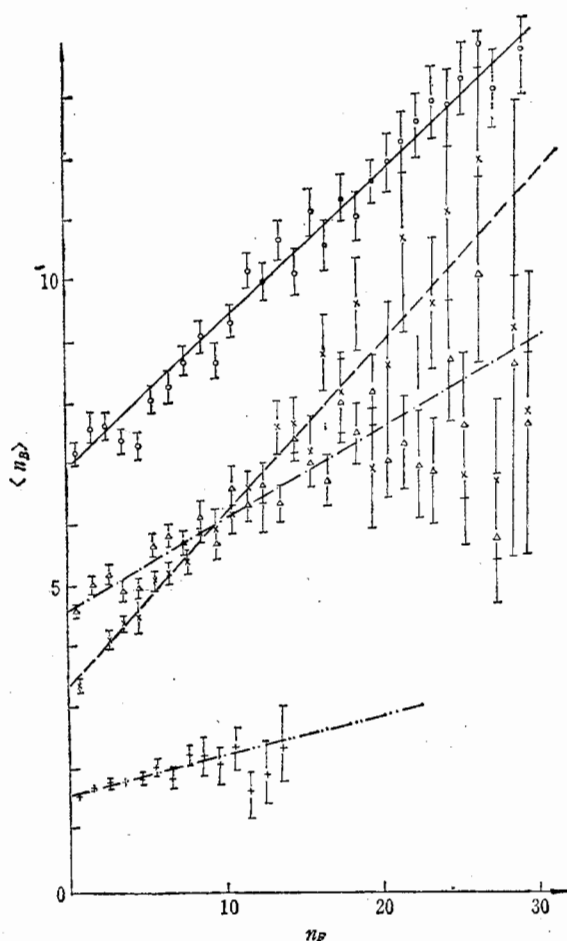


图 4 Full—○—; Short—×—  
Long—△—; Frag—+—  
61444 事例

本文所得结果偏小的原因尚待进一步探讨.

表1 四种快度范围的关联强度

	$b$	$b'$
bshort	$0.32 \pm 0.01$	$0.27 \pm 0.02$
bfull	$0.30 \pm 0.06$	$0.24 \pm 0.01$
blong	$0.21 \pm 0.04$	$0.15 \pm 0.02$
bfrag	$0.11 \pm 0.01$	$0.07 \pm 0.05$

$b \phi 45^\circ P 0.15 \text{ GeV}/c$  截断

$b'$  窄接收度修正

表2 短程同号异号电荷关联

电 荷	$n_B n_F$	$b$	$b'$
同 号	++	$0.14 \pm 0.02$	$0.12 \pm 0.05$
	--	$0.17 \pm 0.03$	$0.07 \pm 0.01$
异 号	+-	$0.25 \pm 0.08$	$0.19 \pm 0.02$
	-+	$0.21 \pm 0.02$	$0.23 \pm 0.02$

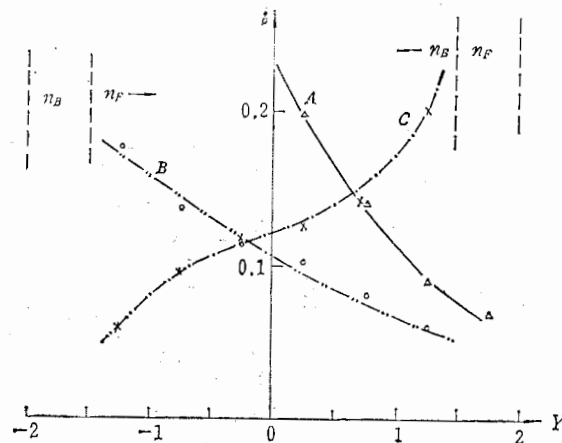


图 5

A —△—sym	$\frac{\Delta b}{\Delta Y} \Big _{\text{sym}} \sim 0.10$
B ...○...nsym	$\frac{\Delta b}{\Delta Y} \Big _{\text{nsym}}$
C -·-nsym	$\frac{\Delta b}{\Delta Y} \Big _{\text{nsym}} \sim 0.05$

92166 事例

2) 图5为  $b$  按快度间隙  $\Delta Y$  对称变化和非对称变化的两种情形, 分别如图5中A和B、C所示. 对称情形的快度间隙按  $\Delta Y = 2n \times 0.5$  变化, 非对称的快度间隙  $\Delta Y$  相对于最左或最右按  $\Delta Y = n \times 0.5 (n = 1 - 6)$  变化. 由图5中曲线斜率可见, 对称(sym)和非对称(nsym)的关联强度  $b$  的变化关系为  $|\Delta b / \Delta Y|_{\text{sym}} = 2 |\Delta b / \Delta Y|_{\text{nsym}} = 2(0.05)$ , 这一结果与按质心系能量为  $540 \text{ GeV}$  的双部份子模型做出的结果很接近<sup>[12]</sup>.

3) 表2给出前后短程区中同号和异号电荷粒子间的关联强度. 由结果可见, 同号电荷的关联总小于异号电荷的关联. 这一结果说明在  $540 \text{ GeV}$  能区也有和ISR低能区类似的结果<sup>[10]</sup>, 它可以用玻色-爱因斯坦效应来解释.

4) 最后讨论一下密度效应<sup>[13]</sup>, 即在一定快度区域内的粒子数影响关联强度的大小。正如文献[14]所指出, 关联强度  $b$  很难从密度效应中解脱出来 (inextricable)。例如表 1 中的四个快度范围差别很大, 当然所得的结果就必然有密度效应带来的影响, 这就是说快度宽度愈大, 粒子数愈多, 则对  $b$  值的贡献就愈大, 但是尽管如此, 窄的短程区的  $b$  值比全程区的  $b$  值仍明显的大, 这恰说明关联效应是十分明显的。作者曾对  $P_T$ ,  $M$  等不同截断方式验证了密度效应对  $b$  值的影响, 因篇幅所限不再赘述。总之, 比较关联强度各种规律时必须十分小心, 应尽量选用相同的条件等以减少密度效应。

本工作是作者于 1982 年至 1983 年在 UA-1 组工作期间由 M. Calvetti 建议进行的。R. Böck, W. Kozenecki, J. P. Revol, M. Rijssenbeek, B. Sadoulet. 和 C. Tao 给予了热情的帮助并与作者进行了有益的讨论, 这里一并表示感谢。

### 参 考 文 献

- [1] S. Nussinov and C. Quigg, *Phys. Rev.*, D6(1972), 2713.
- [2] T. Kafka et al., *Phys. Rev Lett.*, 34, 11(1975), 687.
- [3] S. Uligetal., *Nucl. Phys.*, B132(1978), 15.
- [4] G. Ekspong, UA-5 Report, Third Topical Workshop on Proton-Antiproton Collider Physics, (Roma, Jan. 1983); Eckart, UA-5 Report Recontre de Moriond of  $p\bar{p}$  Physics, Mar., 1983.
- [5] 谢一冈, 物理, 10(1934), 577.
- [6] Dennis Siver et al., *Phys. Rev.*, D9(1974), 208.
- [7] R. Göttgen CERN/EP 81—67 July (1981).
- [8] M. Calvetti, Third Topical Workshop on Proton-Antiproton Collider Physics Roma Jan, 1983.
- [9] M. Pimiä, J. P. Revol, S. Sadoulet, Y. G. Xie UA-1/TN83-20, Note on Acceptance of UA-1 Central Detector Apr. 1983.
- [10] Drijard et al., *Nucl. Phys.*, B155 (1979), 269.
- [11] L. Foa, *Phys. Reports*, 22, No. 1(1975), 1.
- [12] F. W. Bopp SI-82-14 (Report of Siegen University, Germany) 1982.
- [13] R. Böck, Note of UA-1 on Lecture at Wien (1982).
- [14] K. Eggert et al., *Nucl. Phys.*, B86(1975), 202.

## RAPIDITY CORRELATION OF FORWARD-BACKWARD MULTIPLICITIES

XIE YI-GANG

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica)

### ABSTRACT

The correlation of forward-backward multiplicities about  $9 \times 10^4$  events under minimum-bias trigger condition of UA-1 experiment on 540 GeV proton antiproton collider at CERN is reported. Different cut-off condition and different acceptance correction methods of UA-1 central detector are selected in order to obtain flatter rapidity distribution. The correlation strength of short, long, full, and fragmentation range is given. Correlation between regions which are symmetrical and unsymmetrical to the plane with axial angle  $\theta=90^\circ$  is discussed. The correlation strength in short range forward-backward regions with equal charge is compared with that of opposite charge. All results are compared with other works and with some theoretical models.