

400GeV/c pp 碰撞类环事例的产生*

王韶舜 刘 冉 汪兆民

(中国科学技术大学近代物理系 合肥 230027)

摘要 利用 400GeV/c pp 碰撞产生的带电粒子赝快度分布的实验数据,研究了类环事例的产生机制. 结果表明在一有限的时间-空间范围内相干胶子辐射是类环事例的一种可能的产生机制,但肯定不是主要的.

关键词 类环事例 粒子集团 相干胶子辐射

1 引言

在高能强子-强子碰撞多重产生中发现有一类事例显示出类环(ring-like)结构. 即在一个事例中许多粒子趋向于以同样的极角发射而方位角则随机分布. 表现为许多粒子集中在很小的赝快度间隔内,但具有较宽广的方位角分布. 理论上提出了许多模型来解释这种事例的产生机制^[1]. 其中大多数模型认为是由于过程的随机性而导致的动力学涨落. 主要的研究集中在阶乘矩的标度行为以及间歇和分形等概念上. 另一种理论则认为类似于电磁相互作用中的切伦科夫辐射^[2]: 当夸克和胶子在碰撞过程中在一有限的时间-空间范围内停止彼此相互屏蔽,由于相互作用而发射韧致辐射胶子,这种胶子辐射是相干的. 由于限制于有限长度内发射,如同切伦科夫辐射一样,所有的胶子将集中在一固定的锥体内发射. 这些胶子经历干涉和强子化后在质心系具有同样的极角(即赝快度值)和较宽的方位角分布. 实验上可以通过研究粒子集团的赝快度分布来区分这两种产生机制.

如果粒子集团是由于动力学涨落引起的,则由于过程的随机性,粒子集团中心在赝快度轴上的分布将是随机的. 如果在一有限长度上相干胶子辐射的模型是正确的,则 pp 碰撞与 $\bar{p}p$, π^+p , K^+p 相互作用所产生的粒子集团的赝快度分布是不同的^[3]. 对于 pp 碰撞,由于同样颜色的夸克所辐射的胶子之间的干涉是相消干涉. 结果在质心系 $\eta_{cm} = 0$ 处将出现极小值,而在 $\eta_{cm} = 0$ 的两侧各有一个峰值. 其峰值的位置取决于相干长度的选择. 对于 π^+p 和 K^+p 碰撞,则上述过程被大量的夸克-反夸克过程掩盖了. 因为后者的干涉是相长干涉,结果在 $\bar{p}p$, π^+p 和 K^+p 碰撞时观测不到双峰结构. 这些预言已被最近的 NA22 合作组的实验结果所证实^[4]. 本文将分析 400GeV/c pp 碰撞产生的粒子集团的赝快度

1998-01-12收稿

* 国家自然科学基金资助

分布,以观察是否存在双峰结构.

2 方法

有两种方法来选择粒子集团.一种方法是选择具有相当大数量的粒子的密的集团.在这种方法中具有较少数量粒子的密的集团被排除了^[5,6].另一种方法是选择具有很窄的固定赙快度间隔的粒子集团.在这种方法中属于粒子集团但落在选定的赙快度间隔外的粒子被抛弃了^[7,8].本文采用 Dremin I.M.等人建议的方法^[3],在这种方法中密的集团所包含的粒子数及集团所覆盖的赙快度间隔是可变的.粒子集团的选择标准为:

1) 粒子集团所包含的粒子数必须是 3 个以上(包括 3 个).

2) 粒子集团的密度超过一阈值 TDN.

3) 集团中两邻近粒子之间的赙快度间隔小于一阈值 TGAP.

4) 粒子集团至最近的集团外粒子的距离足够大,或者加上邻近粒子后密度的减少超过一阈值 TGDN.

首先对每一个多重数 $N_{ch} \geq 8$ 的事例按实验室系赙快度增加的顺序重新排列.然后利用叠代法寻找粒子集团.第一步对整个事例找出粒子分布的平均密度

$$DN(0) = K(0) / \Delta\eta(0), \quad (1)$$

其中 $K(0)$ 是事例总的粒子数, $\Delta\eta(0)$ 是这些粒子所覆盖的赙快度间隔,即

$$\Delta\eta(0) = \eta_{\max}(0) - \eta_{\min}(0). \quad (2)$$

整个事例的平均赙快度

$$\langle \eta(0) \rangle = \sum_{i=1}^{K(0)} \eta_i / K(0), \quad (3)$$

以及粒子间的最大赙快度间隔

$$GAP(0) = \max_i |\eta_i - \eta_{i-1}|, \quad i = 2, 3, \dots, K(0). \quad (4)$$

将偏离于赙快度平均值最大的粒子从粒子集团中去掉,对余下的 $K(1) = K(0) - 1$ 个粒子作同样的计算,得到 $DN(1)$, $GAP(1)$ 和 $\langle \eta(1) \rangle$.由此可计算密度梯度 $GDN(1) = DN(1) - DN(0)$.叠代过程一直进行到 $K(j)$, $DN(j)$, $GAP(j)$ 和 $GDN(j)$ 分别同时满足上述 4 个条件时,则一个粒子集团被找到了.然后从该事例中除去这个集团的粒子,对事例的剩余粒子用同样方法寻找粒子集团,直到剩余的粒子小于 3 为止,然后对另一个事例按同样的方法进行寻找.

3 实验结果

利用 CERN NA27 合作组提供的 LEBC 泡室照片测量了 $400\text{GeV}/c$ PP 碰撞产生的带电粒子的赙快度分布和方位角分布,测量方法详见参考文献 [9].总共 2864 个 $N_{ch} \geq 8$ 的

事例被用来作分析. 根据上面指出的方法寻找粒子集团, 发现粒子集团的数目及赙快度分布与集团的选择条件有关. 粒子集团的数目 N 随一个集团所包含的粒子数 K 的增加而迅速减少, 服从指数衰减规律

$$\frac{dN}{dK} \sim \exp(-bK), \quad (5)$$

其中参考 b 依赖于集团的选择条件. 图 1 是一典型的例子, 这里 $b \approx 0.58$. 表明当 K 增加时 N 迅速减少, 即绝大部分粒子集团含有较少数目的粒子 ($K = 3$ 或 4), 它们可能包含了相当大的统计本底, 以至于掩盖掉本文所寻找的效应. 这一点从图 2 中可清楚地看到.

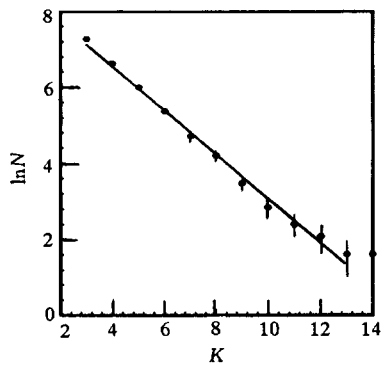


图 1 粒子集团数 N 与集团内的粒子数 K 的关系

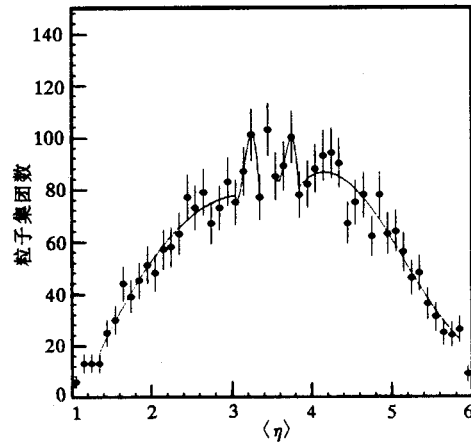


图 2 粒子集团的赙快度分布
实线是三阶多项式的拟合结果.

粒子集团的赙快度分布示于图 2 中, 为了能同其它实验组的结果相比较, 本文采用的粒子集团的选择标准与 NA22 合作组一样. 选择参数如表 1 所示. 由图 2 可见, 在 $\langle \eta \rangle \approx 3.5$ (相当于 $\eta_{\text{cm}} = 0$) 附近有两个小峰, 分别在 $\langle \eta \rangle = 3.25$ 和 3.75 附近. 但是很不明显. 根据 NA22 的实验结果, 在峰值处粒子集团数与整个事例数相比仅占百分之一左右, 由此估计峰值处粒子集团数小于 30. 因此双峰事例被统计本底掩盖了.

表 1 粒子集团的选择标准, 阈值随粒子集团多重数的变化

K	TDN	TGDN	TGAP
3	6.0	3.00	0.291
4	6.0	2.75	0.291
5	6.5	2.50	0.291
6	7.0	2.25	0.291
7	8.0	2.25	0.291
8	9.0	2.25	0.291
9	10.0	2.25	0.291
10以上	11.0	2.25	0.250

根据相干胶子辐射的理论, 一个双粒子集团事例起源于双散射过程中两个散射中心的胶子辐射. 由于靶子和炮弹部分子都能辐射胶子, 这些胶子之间将产生干涉. 对于 pp

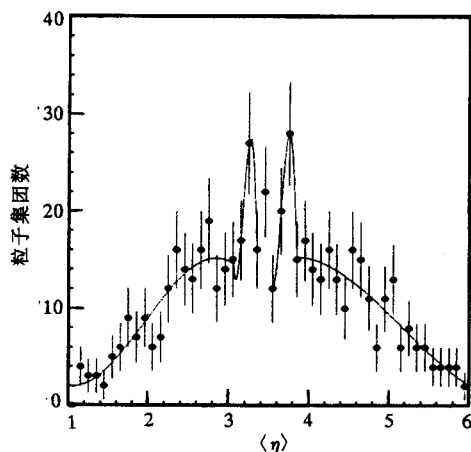


图 3 粒子集团的赙速度分布
仅选择双粒子集团的事例。

示. 拟合的粒子集团的信号值为 18 和 19 分别叠加在本底为 36 和 37 上, 相应于标准统计偏差的 2.4 和 2.5 倍. 两粒子集团事例数与总事例数的比值为 $(0.66 \pm 0.15) \times 10^{-2}$. 上述结果表明在一有限的时间-空间范围内相干胶子辐射模型作为一种类环事例的产生机制是可能的, 但反应分支比很小.

4 结论

利用 $400\text{GeV}/c$ pp 碰撞产生的带电粒子赙速度分布的实验数据研究了类环事例的产生机制. 结果表明产生的粒子集团数随集团内的带电粒子数的增加以指数规律下降, 表明大多数粒子集团含有较少数目的粒子. 由双粒子集团的事例分析表明粒子集团的赙速度分布出现两个窄峰, 峰的位置与两峰之间的间隔以及双粒子集团事例对总事例的比例与 NA22 实验组的结果相符, 这表明在强子-强子碰撞多重产生过程中, 在一有限长度内的相干胶子辐射是一种可能的产生机制, 但不是主要的.

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

- 1 Wolf E A, Dremin I M, Kittel W. Phys. Rep., 1996, **270**:1
- 2 Dremin I M. Elementary Particles and Atomic Nuclei, 1987, **18**:79
- 3 Dremin I M et al. Sov. J. Nucl. Phys., 1990, **52**:536
- 4 Agababyan N M et al (NA22 Coll.). Phys. Lett., 1996, **B389**:397
- 5 Alekseeva K I et al. Izv. Akad. Nauk SSSR Ser. Fiz., 1962, **26**:572
- 6 Dremin I M et al. JETP Lett., 1984, **40**:1115.
- 7 Alner G J et al (UA5 Coll.). Nucl. Phys., 1987, **B291**:445
- 8 Adamus M et al (NA22 Coll.). Phys. Lett., 1987, **B185**:185

碰撞, 由于靶子和炮弹是同样的粒子, 可以预期在 $\eta_{cm} = 0$ 的两侧对称地出现粒子集团. 为了减少统计本底的影响, 只寻找两粒子集团事例. 其中一个粒子集团的平均赙速度值在 1.0—3.5 之间, 另一个在 3.5—6.0 之间. 结果示于图 3 中. 由图 3 可见, 在 $\langle \eta \rangle = 3.25$ 和 $\langle \eta \rangle = 3.75$ 处出现两个峰值. 两个峰之间的距离为

$$D(\langle \eta_1 \rangle, \langle \eta_2 \rangle) = 0.50 \pm 0.15, \quad (6)$$

这与 NA22 的实验结果是一致的. 为了使信号和本底参数化, 用三阶多项式来分别拟合本底和峰值. 拟合结果在图 3 中用实线表示.

9 Wang Shaoshun et al. Z. Phys., 1995, C68:415

Production of Ring-like Events in pp Collisions at 400GeV / c *

Wang Shaoshun Liu Ran Wang Zhaomin

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

Abstract The production mechanism of ring-like events has been investigated by using the data of pseudorapidity distribution of charged particles produced in pp collisions at 400GeV/ c. The results show that the model of coherent gluon emission within a finite region of space-time is a possible production mechanism of ring-like events, but certainly not dominant.

Key words ring-like events, the group of particles, the coherent gluon emission

Received 12 January 1998

* Supported by the National Natural Science Foundation of China