

强子-强子碰撞的快度关联花样*

王美娟¹⁾ 吴元芳²⁾

(华中师范大学粒子物理研究所 武汉 430079)

摘要 利用强子-强子碰撞的PYTHIA模型,模拟了质心系能量为 $\sqrt{s}=22, 200\text{GeV}$ 的质子-质子碰撞.研究了快度空间中末态粒子在固定bin和任意bin中,以及相邻bin中的关联花样.结果发现,相邻bin的快度关联在中心快度区最强,向边缘区逐渐减弱;固定bin和任意bin的关联在固定bin取不同快度位置时,具有不同的花样.

关键词 碰撞 快度 关联 花样

1 引言

关联是探索多粒子复杂系统动力学机制的有效工具.为了探索高能碰撞多粒子产生中可能有的不同动力学机制,如碰撞过程中是否形成新物质形态——夸克胶子等离子体,文献[1]提出了两种新关联花样——固定bin与任意bin以及相邻bin的关联花样.这两种关联花样不同于传统对关联的测量,在传统对关联随关联长度变化的测量中,普遍存在着对相同关联长度不同位置的关联的平均^[2].这两种新关联花样将关联随关联长度和位置的变化同时计录在一个二维图上,因此,它们不仅能反映关联随关联长度的变化,而且关联随空间位置的变化也能被清晰地观测到.在超高能相对论重离子碰撞中,如果像人们所预期的形成了新物质形态——夸克胶子等离子体,其关联花样可能会具有较弱的对空间位置的依赖性,而没有形成夸克胶子等离子体的强子过程,如强子-强子碰撞,其关联花样应强烈地依赖于空间位置.由于目前尚无一个成功的描述相对论重离子碰撞的模型,本文将首先利用反映强子-强子碰撞最成功的模型PYTHIA^[3],给出强子-强子碰撞中的关联花样,作为与未来相对论重离子碰撞实验相关数据比较的基准,以及强子-强子碰撞实验与模型比较的参考.

两bin快度关联的定义为

$$C_{K_1, K_2} = \langle p_{k_1} p_{k_2} \rangle - \langle p_{k_1} \rangle \langle p_{k_2} \rangle, \quad (1)$$

其中 K_1 和 K_2 是快度空间中任意两bin的位置, p_{K_1} 和 p_{K_2} 是粒子落于对应的 K_1 和 K_2 bin中的几率, $\langle \dots \rangle$ 为对样本中所有事件的平均.在强子-强子碰撞能量不是足够高,每次事件产生的末态粒子数不多的情况下,粒子落于某个bin中的几率无法精确估计,为了测量粒子落于某个快度bin中的事件几率矩或事件几率矩的关联,Bialas等人证明可以通过测量对应bin中粒子数的阶乘矩或关联阶乘矩得到^[4].对于等式(1)中一阶几率矩的关联,关联阶乘矩退化为粒子数的关联,因此,由(1)式给出的两bin快度关联变为

$$C_{K_1, K_2} = \frac{\langle n_{k_1} n_{k_2} \rangle}{\langle n_{k_1} \rangle \langle n_{k_2} \rangle} - 1, \quad (2)$$

其中 n_{K_1} , n_{K_2} 为每次事件落入第 K_1 , K_2 bin中的粒子数.如果将固定bin标记为 K_0 ,任意bin标记为 K ,则固定bin与任意bin的关联为 $C_{K_0, K}$;两相邻bin的关联为 $C_{K, K+1}$.

利用PYTHIA 5.720^[3]分别模拟了22GeV和200GeV质心系能量下pp碰撞的各10万个事例,并研究它们的关联花样随碰撞能量和空间位置的变化规律.所得结果可直接和对应SPS和ISR的实验结果进行比较^[5].

2006-01-16 收稿

*国家自然科学基金(90503001, 10475030)和国家教育部科学基金(CFKSTIP-704035)资助

1) E-mail: wangmj@iopp.cnu.edu.cn

2) E-mail: wuyf@iopp.cnu.edu.cn

2 结果和讨论

22GeV 和 200GeV 质心系能量下的 pp 碰撞所覆盖的主要快度区间分别为 $(-3,3)$ 和 $(-5,5)$, 将其分别等分为 30 和 50 个 bin, 每个 bin 的宽度均为 0.2 个快度单位.

图 1 同时给出了两个碰撞能量下两相邻 bin 的快度关联, 其中, 横坐标为 bin 的标号, 其大小从左至右为 $1, 2, 3, \dots, 50$, 纵坐标为 $C_{K,K+1}$. 对于 200GeV 能量下的 pp 碰撞, 其快度 bin 的标号从 $K=1$ 到 $K=49$; 对于 22GeV 能量下的 pp 碰撞, 其快度 bin 的标号从 $K=11$ 到 $K=39$. 该图和以下图中点的误差主要是统计误差, 其大小小于所给点的大小. 由图可见, 快度的短程关联在快度中心区有极大值, 当碰撞能量升高到 200GeV 时, 已出现一个明显的关联平台区. 由快度中心区到边缘区, 快度的短程关联逐渐减弱.

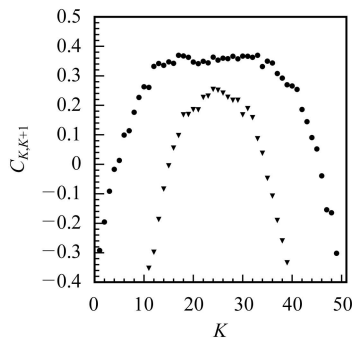


图 1 22GeV 和 200GeV 质心系能量下 pp 碰撞的相邻 bin 的快度关联

图 2 给出了对应碰撞能量下粒子数密度分布, 与图 1 相比较可见, 短程快度关联的分布不同于对应粒子数密度的快度分布, 其关联的平台区域比对应粒子数密度分布的平台区域宽. 这也表明, 由(2)式所测的归一化关联的确消除了粒子数多少的引响, 中心区较强的短程关联不是由于中心区有较多粒子所致.

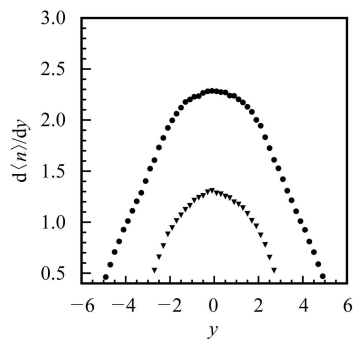


图 2 22GeV 和 200GeV 质心系能量下 pp 碰撞的粒子数密度的快度分布

这个结果表明, 由 PYTHIA 模型所产生的末态粒子的短程快度关联依赖于所处的快度位置, 关联在快度中心区强, 边缘区很弱.

图 3 给出了两个碰撞能量下固定 bin 与任意 bin 的快度关联, 上排图 3(a)–(c) 是能量为 22GeV, 快度 bin 的范围为 $K=1, 2, 3, \dots, 30$ 时, 固定 bin 取 3 个不同值 $K_0=1, 8$ 和 15 的关联花样; 下排图 3(d), (e) 和 (f) 是能量为 200GeV, 快度 bin 的范围为 $K=1, 2, 3, \dots, 50$ 时, 固定 bin 取 $K_0=1, 12$ 和 25 的关联花样. 3 个固定 bin 的位置分别是在对应碰撞能量下的 3 个典型快度区间, 即, 快度边缘区, 中间快度区(midrapidity)和中心区. 通过上下两排图的对比可见, 不同碰撞能量下, 对应快度区间的关联花样类似, 因此, 固定 bin 与任意 bin 的快度关联不依赖于碰撞能量.

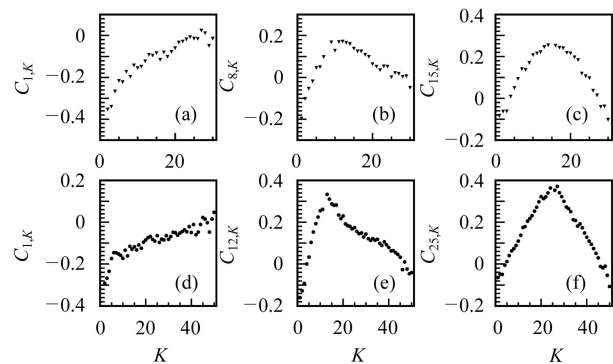


图 3 22GeV((a), (b), (c)) 和 200GeV((d), (e), (f)) 质心系能量下, 不同固定 bin 位置与任意 bin 的快度关联

由图 3(a) 和 3(d) 可见, 固定 bin $K_0=1$ 与另一 bin 的关联随两 bin 间距离的增加而逐渐增强, 即快度边缘区的粒子与其他快度区间粒子的关联随关联长度的变长由负、经零、到正地增强, 这显然是能量-动量守恒约束所致的长程关联, 前者使分布在快度同侧的粒子具有负关联, 后者使分布在快度异侧的粒子具有正关联; 从图 3(b) 和 3(e) 可见, 固定 bin $K_0=8$ 和 $K_0=12$ 与两边的另一 bin 的关联随两 bin 间距离的增加而减弱, 与同侧边缘区粒子的关联减弱得较另侧快; 从图 3(d) 和 3(f) 可见, 快度中心位置的 bin $K_0=15$ 和 $K_0=25$ 与另一 bin 的关联在两侧随关联长度的增加对称地减弱, 其减弱比对应粒子数密度的快度分布快.

以上结果显示, 由 PYTHIA 所产生末态粒子的快度关联确实强烈地依赖于所取的快度位置. 其弦碎裂机制使快度中间区和中心区的粒子具有很强的短程快度关联, 其长程关联效应很弱, 可忽略不计; 边缘区的粒子则以能量-动量守恒主导的长程关联为主, 其短程关联很弱. 当然, 这种快度关联对位置的依赖性是否

正确地反应了强相互作用的动力学, 还有待于相关实验测量的进一步检验.

3 结论

利用PYTHIA模型模拟了22GeV和200GeV质心系能量下的pp碰撞, 研究了相邻快度bin和固定bin与任意bin关联花样, 发现在快度中心区有很强的短程快度关联, 而在碎裂区或靶区的粒子和其他粒子的关联以长程关联为主. 这些关联随快度位置变化的趋势不依赖于碰撞能量.

因此, 强子-强子碰撞所产生的末态粒子的快度关联强烈地依赖于所处的快度位置, 不同快度位置的粒子与其他粒子具有完全不同的快度关联性质. 在传统关于关联随关联长度变化的测量中, 对具有相同关联长度不同快度位置的关联所进行的平均, 损失了末态粒子快度关联对位置的依赖信息, 本文对关联花样的测量能很好地观测到这种依赖性.

作者感谢李治明, 喻梅凌, 许明梅, 黄燕萍和李娜的帮助和与他们的有益讨论.

参考文献(References)

- 1 WU Yuan-Fang et al. Phys. Rev., 2005, **E71**: 017103
- 2 Bożek P, Płoszajczak M, Botet R. Phys. Reports, 1995, **252**: 101; de Wolf E A, Dremin I M, Kittel W. Phys. Reports, 1996, **270**: 1
- 3 Sjöstrand T. Comp. Phys. Commun., 1994, **82**: 74
- 4 Białas A, Peschanski R. Nucl. Phys., 1986, **B273**: 857; Białas A, Peschanski R. Nucl. Phys., 1988, **B308**: 857
- 5 Aivazyan V V et al(NA22 Coll.). Phys. Lett., 1988, **B209**: 103

Correlation Patterns in Hadron-Hadron Collisions^{*}

WANG Mei-Juan¹⁾ WU Yuan-Fang²⁾

(Institute of Particle Physics, Huazhong Normal University, Wuhan 430079, China)

Abstract Proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 22\text{GeV}$ and 200GeV have been simulated by PYTHIA model. The fixed-to-arbitrary and neighboring bin correlation patterns at these two colliding energies are investigated. It has been found that the neighboring bin correlations are the strongest at the central rapidity region and become weaker and weaker toward the two side rapidity regions; while the fixed-to-arbitrary bin correlations vary from one fixed bin to another.

Key words collision, rapidity, correlation, pattern

Received 16 January 2006

^{*}Supported by National Natural Science Foundation of China (90503001, 10475030) and Science Foundation of Ministry of Education of China (CFKSTIP-704035)

1) E-mail: wangmj@iopp.cnu.edu.cn

2) E-mail: wuyf@iopp.cnu.edu.cn