

夸克组合律和 $B\bar{B}$ 关联

方海平

(燕山大学物理系, 秦皇岛)

摘 要

本文详细分析了文献[1]给出的夸克组合律在解释 e^+e^- 湮灭成两喷注过程中 $B\bar{B}$ 关联的优缺点. 而后, 进一步假设单个 jet 中真空激发产生的夸克反夸克必须成对出现, 由此计算得到的 $B\bar{B}$ 关联与实验基本一致.

自1981年实验上发现重子反重子(记 $B\bar{B}$)的产额不能忽略以来, $B\bar{B}$ 关联一直受到人们的关注. 为了解释重子和反重子的产额 LUND 模型^[2]引入了双夸克对 $qq\bar{q}\bar{q}$ 的真空激发产生, 这种模型不但引入了许多自由参数, 并且它所预言 $B\bar{B}$ 必须相邻产生, 其相互之间有较强的关联, 是与实验不符的^[3].

考虑到强子由夸克组成, 高能多重产生首先产生的是夸克反夸克, 然后它们组成强子. 在[1]中, 谢去病等给出了夸克组合成强子的规律, 即夸克组合律: 夸克反夸克在快度轴上的各种排列等几率出现; 快度最邻近的夸克反夸克首先组合成强子. 它不需要引入任何参数, 便成功地解释了 e^+e^- 湮灭成两喷注中重子反重子的产额及其随能量的变化关系. 按照夸克组律, 组合成的 $B\bar{B}$ 之间有以下性质:

i) 在快度轴上, $B\bar{B}$ 之间可以间隔介子, 并且 $B\bar{B}$ 出现的相对几率随间隔介子数 ΔM 增加而减小. 这是因为: 夸克反夸克在快度轴上的各种排列等几率出现, 组合成的强子的各种排列也几乎是等几率的, 这样 $B\bar{B}$ 出现的相对几率就会随 ΔM 的增加而减小. 例如, 若共组合成两个介子 MM 和一对重子反重子 $B\bar{B}$, 快度轴上的各种可能排列如图1所示. 若各种排列等几率出现, 间隔介子数 $\Delta M = 0, 1, 2$ 的 $B\bar{B}$ 出现的相对几率为 3:2:1. 我们用

$$\begin{aligned}
 \Delta M = 0 & \quad B\bar{E}MM \quad M\bar{B}\bar{E}M \quad MM\bar{B}\bar{E} \\
 & \quad \bar{E}BMM \quad M\bar{B}\bar{B}M \quad MM\bar{B}\bar{B} \\
 \Delta M = 1 & \quad B\bar{M}\bar{E}M \quad M\bar{B}M\bar{B} \\
 & \quad \bar{E}MBM \quad M\bar{E}MB \\
 \Delta M = 2 & \quad B\bar{M}M\bar{B} \quad \bar{E}M\bar{M}B
 \end{aligned}$$

图1 两个介子和一对重子反重子的各种可能排列

Monte-Carlo 计算证实了这一点, 图2给出了夸克对数 $N = 12$ 时, 组成的 $B\bar{B}$ 数目随 ΔM 的变化关系.

ii) ΔM 越大, B 和 \bar{B} 的快度差一般也越大, 因此, $B\bar{B}$ 出现的相对几率随它们快度差 $|Y_B - Y_{\bar{B}}|$ 的增加而减小. 假设了夸克的四动量分布(按照[4], 能量分布为倒数分布,

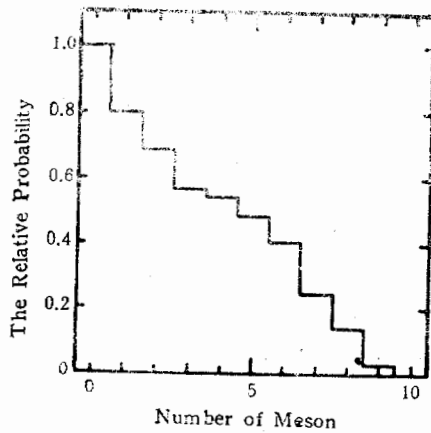


图 2 $N = 12$ 时组成的 $B\bar{B}$ 的相对几率随 $B\bar{B}$ 之间介子数 ΔM 的变化关系

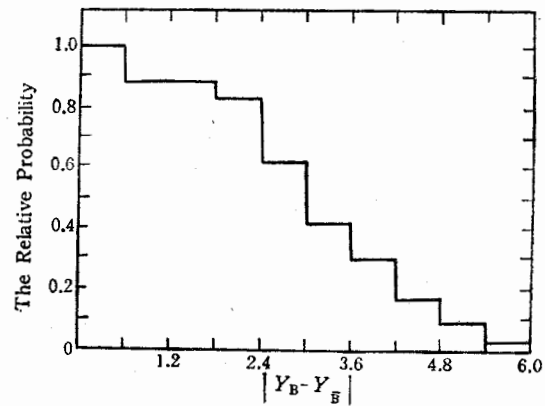


图 3 $\sqrt{S} = 34\text{GeV}$ 下轻夸克 jet 事例直生 $B\bar{B}$ 相对几率随 $B\bar{B}$ 快度差 $|Y_B - Y_{\bar{B}}|$ 的变化关系

横动量分布为高斯分布,以后如不加说明,计算中输入的夸克四动量分布就是上述分布)后,在图 3 中给出了用 Monte-Carlo 计算得到的 $\sqrt{S} = 34\text{GeV}$ 下轻夸克 jet 事例(对应夸克平均对数为 11.3)直生 $B\bar{B}$ 出现的几率随它们快度差 $|Y_B - Y_{\bar{B}}|$ 的变化关系。

iii) $B\bar{B}$ 数目与它们横动量夹角 $\Delta\phi$ 几乎无关。因为重子反重子由三个夸克或反夸克组合而成,而夸克反夸克之间除了整个夸克系统的能量动量守恒外,相互之间几乎是互相独立的,因而 $B\bar{B}$ 动量之间几乎是互相独立的。

iv) 由于夸克反夸克在快度轴上的各种可能排列等几率出现,任何一对夸克反夸克出现在同一 jet 或不同 jet 中的几率相等,而重子反重子由快度邻近的三个夸克或反夸克组合而成,因而 $B\bar{B}$ 中 B 和 \bar{B} 在同一 jet 中和分别在不同 jet 中的几率相等。

这些性质,除 iv) 外,定性上都与目前实验给出的 $B\bar{B}$ 关联数据一致。图 4 和图 5 中实线分别是实验给出的 $\Delta\bar{A}$ 关联^[5]和 $p\bar{p}$ 关联^[6],虚线则是 Monte-Carlo 计算得到的轻夸克 jet 事例的 $\Delta\bar{A}$ 关联和 $p\bar{p}$ 关联。对 $\Delta\bar{A}$ 关联,理论和实验都是 $\sqrt{S} = 29\text{GeV}$ 下的;对 $p\bar{p}$ 关联,理论是 $\sqrt{S} = 34\text{GeV}$ 下的,实验则是 $\sqrt{S} = 14, 22$ 和 34GeV 三个能量下事例叠加起来的结果,其中大部分是 $\sqrt{S} = 34\text{GeV}$ 下的事例。

但是,基于以上夸克组合律计算得到的 $B\bar{B}$ 关联数据与实验并不全部相符。实验^[7]给出,对 $\sqrt{S} = 29\text{GeV}$ 下平均 jet 事例, P 和 \bar{p} 在同一 jet 内的 $p\bar{p}$ 数目比 P 和 \bar{p} 不在同一 jet 内的 $p\bar{p}$ 数目要多得多,明显排斥 iv)。而且,在考虑 $B\bar{B}$ 产生的相对几率随它们快度差 $|Y_B - Y_{\bar{B}}|$ 的变化关系时,我们按对应实验^[5,6]要求挑选 B 和 \bar{B} : $a < |\bar{p}| < b$, 式中 \bar{p} 是 B 或 \bar{B} 的动量, a 和 b 是常数,并且 $0 < a < b$ 。当 B 和 \bar{B} 的纵动量方向(或快度方向)相同时,它们在同一 jet 内, $|Y_B - Y_{\bar{B}}|$ 很小,而当它们纵动量方向不同时,不在同一 jet 内, $|Y_B - Y_{\bar{B}}|$ 则较大。所以, $B\bar{B}$ 事例主要集中在 $|Y_B - Y_{\bar{B}}|$ 很小和较大两个区域。大量 B 和 \bar{B} 不在同一 jet 的 $B\bar{B}$ 的存在(性质 iv))使 $|Y_B - Y_{\bar{B}}|$ 较大时, $B\bar{B}$ 产生的几率不可忽略。我们的计算证实了这一点。在图 4a 和图 5a 虚线中当 $|Y_B - Y_{\bar{B}}|$ 较大时,

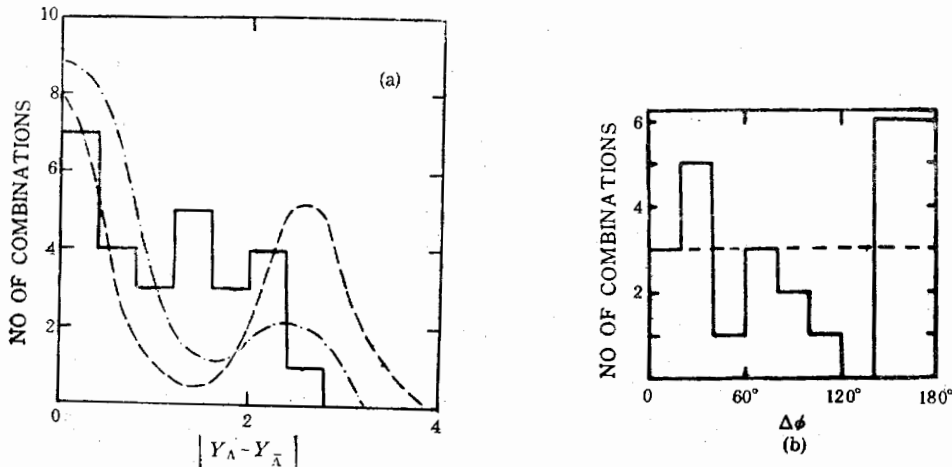


图 4 $A\bar{\Lambda}$ 关联. 实线是实验数据, 虚线、点划线为理论曲线

a) $|Y_A - Y_{\bar{\Lambda}}|$: $A\bar{\Lambda}$ 之间快速度差; b) $\Delta\phi$: 横动量之间夹角

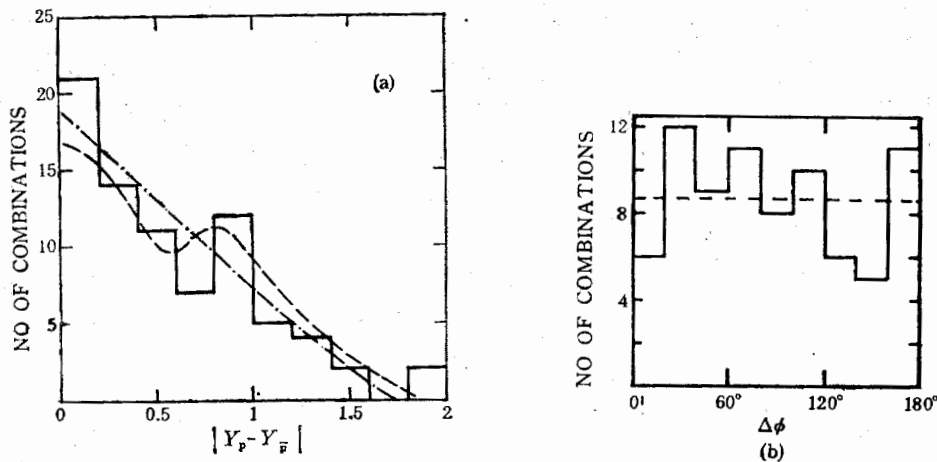


图 5 $p\bar{P}$ 关联. 实线是实验数据, 虚线、点划线为理论曲线

a) $|Y_p - Y_{\bar{P}}|$: $p\bar{P}$ 之间快速度差;

b) $\Delta\phi$: $p\bar{P}$ 横动量之间夹角

有个峰, 与实验不符. 为此, 将以上夸克组合律解释的 $B\bar{B}$ 关联作了以下改进:

考虑到夸克反夸克必须成对产生, 在此我们进一步假设: 真空激发产生的夸克反夸克必须成对出现在同一 jet 中. 这样, 由于存在同一 jet 中的量子数守恒, 使 B 和 \bar{B} 在同一 jet 中产生的相对几率增大, 不在同一 jet 中的 $B\bar{B}$ 产生的相对几率相对减小. 我们通过 Monte-Carlo 计算, 在二万个 $\sqrt{S} = 29\text{GeV}$ 下轻夸克 jet 事例中, 按实验^[7]要求选择 P 和 \bar{p} 后, 得到 P 和 \bar{p} 在同一 jet 中的 $p\bar{p}$ 数目为 453 个, 远大于不在同一 jet 中的 $p\bar{p}$ 数目 271. 而且, $B\bar{B}$ 出现的相对几率随 $|Y_B - Y_{\bar{B}}|$ 的变化关系也有改善, 如图 4a 和图 5a 的点划线所示. 可以看出, 对 $A\bar{\Lambda}$ 关联, 峰值明显下降, 而对 $p\bar{p}$ 关联, 峰几乎不再存在. 这些都与实验一致.

本文的前半部分是作者导师谢去病教授指导下完成的, 作者深表感谢。

参 考 文 献

- [1] Xie Qu-bing, Liang Zuo-tang, in *Multiparticle Production Proc. of the Shandong workshop*, Jinan, 1987, edited by R. C. Hwa and Q-B Xie (World Scientific, Singapore, 1988).
- [2] B. Andersson et al., *Phys. Rep.*, **97**(1983), 33.
- [3] B. Andersson et al., *Phys. Scrip.*, **32**(1985), 574.
- [4] 方海平等, 高能物理与核物理, **13**(1989), 518.
- [5] C. de la Vaissierre et al., *Phys. Rev. Lett.*, **54**(1985), 2071.
- [6] M. Althoff et al., *Z. Phys.*, **C17**(1983), 5.
- [7] M. Althoff et al., *Phys. Lett.*, **139B**(1984), 126.

QUARK COMBINATION RULE AND $B\bar{B}$ CORRELATIONS

FANG HAIPING

(Department of Physics, Yanshan University, Qinhuangdao)

ABSTRACT

We analyse in detail the advantage and disadvantage of the Quark Combination Rule in the explanation of $B\bar{B}$ correlations. Under the assumption that quarks and antiquarks in one jet must be in pairs, the $B\bar{B}$ correlations calculated are consistent with the experiment on the whole.