

中心区强子的产生和赵-杨统计

朱 伟

(华东师范大学物理系)

沈建国

(中国科学院上海原子核研究所)

高能强子碰撞时的多重产生是一个比较复杂的过程,其中大多数的末态强子在质心系里具有较小的纵动量和横动量,这部份强子称为中心区强子。目前理论上对中心区强子的形成有不同的看法,按照夸克组合模型^[1],中心区强子是由两个人射强子中的夸克相互作用产生的,而从夸克-胶质 (glue) 模型^[2]来看,中心区强子是由入射强子中的胶子相互作用产生的。

在文献[3]中,赵午和杨振宁提出了一种描写强子多重态中的电荷统计方法。最近文献[4]把赵-杨统计用于多夸克体系,解释了相反电荷的双强子谱。这种统计方法的特点是物理图象清楚,计算比较简洁。在本文中我们进一步采用推广后的赵-杨统计计算夸克组合模型和夸克-胶质模型中的 $P-P$ 碰撞的中心区强子产额。

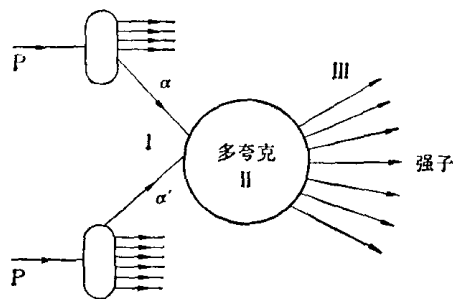


图 1

$P-P$ 碰撞的中心区过程可用图 1 来描写。对夸克组合模型而言,图 1 中的 α, α' 为夸克 (u, d, s); 对于夸克-胶质模型而言, α 和 α' 为胶子。II 是由于夸克-反夸克对激发而形成的多夸克体系,假定其中夸克数目 l 很大,可作统计描写。

$$l = n(u) + n(\bar{u}) + n(d) + n(\bar{d}) + n(s) + n(\bar{s}), \quad (1)$$

这里的 $n(q_i)$ 为 II 中 q_i 种夸克数目。图 1 中的 III 是末态中心区强子,我们认为末态强子是由 II 中的夸克随机组合而成的。在 $I \Rightarrow II \Rightarrow III$ 过程中,由于存在 $q\bar{q} \Leftrightarrow G$ (G 是胶子) 转换,所以 l 数目是不守恒的,但是一些基本的量子数是守恒的。如果 (α, α') 的夸克成份是 a 只 u 夸克、 b 只 d 夸克、 c 只 s 夸克,记作 (a, b, c) ,则在 II 中有守恒条件

$$\begin{aligned} n(u) - n(\bar{u}) &= a, \\ n(d) - n(\bar{d}) &= b, \\ n(s) - n(\bar{s}) &= c. \end{aligned} \quad (2)$$

按照文献[4],定义 $N_{a,b,c}^l$ 是把量子数 (a, b, c) 分配到 II 中 l 个夸克上去的可能数目,则根据赵-杨统计法,有如下的多项式分布

$$\left(x + y + rz + \frac{1}{x} + \frac{1}{y} + \frac{r}{z} \right)^l = \sum_{a,b,c} N_{a,b,c}^l x^a y^b z^c,$$

且

$$\sum_{a,b,c} N_{a,b,c}^l = (4 + 2r)^l, \quad (3)$$

r 是考虑到 $SU(3)$ 不对称后引入的 $S(\bar{s})$ 夸克抑制因子 ($r \approx 0.1$)。

本文 1980 年 5 月 22 日收到。

当 l 很大时 (a, b, c 确定), 从 (2)、(3) 式可以得到 $N_{a,b,c}^l$ 的渐近展开^[4]

$$N_{a,b,c}^l = (4+2r)^l \left(\frac{2+r}{2\pi l} \right)^{3/2} \frac{1}{\sqrt{r}} \left(1 - \frac{1}{4l} \left[(4+2r) \left(a^2 + b^2 + \frac{c^2}{r} \right) - \frac{r^2 - 5r + 1}{r} \right] + \frac{1}{128l^2} \left[(2+r)^2 \left(20 + \frac{9}{r^2} + \frac{4}{r} \right) - 70(2+r) \left(2 + \frac{1}{r} \right) + 385 \right] + \frac{1}{48l^2} \left\{ (2+r)^2 \left[6 \left((a^2 + b^2 + \frac{c^2}{r})^2 - 3 \left(6a^2 + 6b^2 + \frac{5c^2}{r^2} + \frac{a^2 + b^2 + c^2}{r} \right) \right) + 105(2+r) \left(a^2 + b^2 + \frac{c^2}{r} \right) \right] \right\} \right) \quad (4)$$

由此可以进一步定义 II 中各种夸克出现的几率是

$$\begin{aligned} P_u(l) &= \frac{N_{u-1,b,c}^{l-1}}{N_{a,b,c}^l}, & P_{\bar{u}}(l) &= \frac{N_{a+1,b,c}^{l-1}}{N_{a,b,c}^l}, \\ P_d(l) &= \frac{N_{a,b-1,c}^{l-1}}{N_{a,b,c}^l}, & P_{\bar{d}}(l) &= \frac{N_{a,b+1,c}^{l-1}}{N_{a,b,c}^l}, \\ P_s(l) &= \frac{N_{a,b,c-1}^{l-1}}{N_{a,b,c}^l}, & P_{\bar{s}}(l) &= \frac{N_{a,b,c+1}^{l-1}}{N_{a,b,c}^l}. \end{aligned} \quad (5)$$

跟文献[4]不同, 考虑到末态强子是由 II 中夸克随机组合而成的, 我们用

$$\begin{aligned} P_{q_i, \bar{q}_j}(l) &= P_{q_i}(l) \cdot P_{\bar{q}_j}(l), \\ P_{q_i, q_j, q_k}(l) &= P_{q_i}(l) \cdot P_{q_j}(l) \cdot P_{q_k}(l) \end{aligned} \quad (6)$$

来表示在末态 III 中找到介子 ($q_i, \bar{q}_j$) 和重子 (q_i, q_j, q_k) 的几率.

由此得到, 例如:

$$\begin{aligned} P_{\pi^+}(l) &= \frac{4}{9} \frac{N_{1,0,0}^{l-1}}{N_{1,0,0}^l} \cdot \frac{N_{2,1,0}^{l-1}}{N_{2,0,0}^l} + \frac{4}{9} \cdot \frac{N_{0,1,0}^{l-1}}{N_{1,1,0}^l} \cdot \frac{N_{1,2,0}^{l-1}}{N_{1,1,0}^l} + \frac{1}{9} \cdot \frac{N_{-1,2,0}^{l-1}}{N_{0,2,0}^l} \cdot \frac{N_{0,3,0}^{l-1}}{N_{0,2,0}^l} \propto 1 - \frac{0.7}{l}, \\ P_{\pi^-}(l) &= \frac{4}{9} \cdot \frac{N_{3,0,0}^{l-1}}{N_{2,0,0}^l} \cdot \frac{N_{2,-1,0}^{l-1}}{N_{2,0,0}^l} + \frac{4}{9} \cdot \frac{N_{2,1,0}^{l-1}}{N_{1,1,0}^l} \cdot \frac{N_{1,0,0}^{l-1}}{N_{1,1,0}^l} \\ &\quad + \frac{1}{9} \cdot \frac{N_{1,2,0}^{l-1}}{N_{0,2,0}^l} \cdot \frac{N_{0,1,0}^{l-1}}{N_{0,2,0}^l} \propto 1 - \frac{3.5}{l} \quad (\text{夸克组合模型}), \\ P_{\pi^+}(l) &= \frac{N_{-1,0,0}^{l-1}}{N_{0,0,0}^l} \cdot \frac{N_{0,1,0}^{l-1}}{N_{0,0,0}^l} \propto 1 - \frac{2.1}{l}, \\ P_{\pi^-}(l) &= \frac{N_{1,0,0}^{l-1}}{N_{0,0,0}^l} \cdot \frac{N_{0,-1,0}^{l-1}}{N_{0,0,0}^l} \propto 1 - \frac{2.1}{l} \quad (\text{夸克-胶子模型}), \end{aligned}$$

本文假定 $SU(6)$ 是简并的. 按照通常文献中的做法, 实验上观察到的末态强子是如下二部份的叠加, 即用 (6) 式直接产生的长寿命粒子和由 (6) 式产生的短寿命强子的衰变产物. 后者的分枝比取自一般的粒子表.

为了把计算结果与实验比较, 必须进一步给出 l 与入射强子在质心系总能量的关系, 本文采用经验公式^[5]

$$l = k \ln Q, \quad (7)$$

Q 是释放能: $Q = \sqrt{s} - 2m_p$, k 取 11.8.

最后的计算结果以及它跟实验的比较见图 2—5. 其中实线是夸克组合模型的理论曲线,

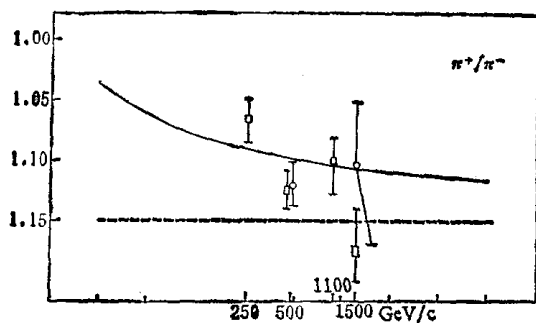


图 2

□ 文献 [6a]; ○ 文献 [6b, c]

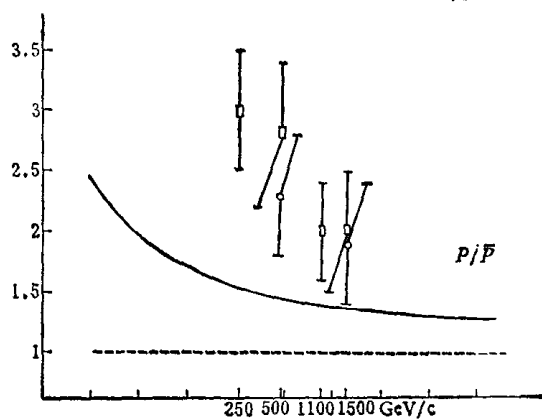


图 4

□ 文献 [6a]; ○ 文献 [6b]

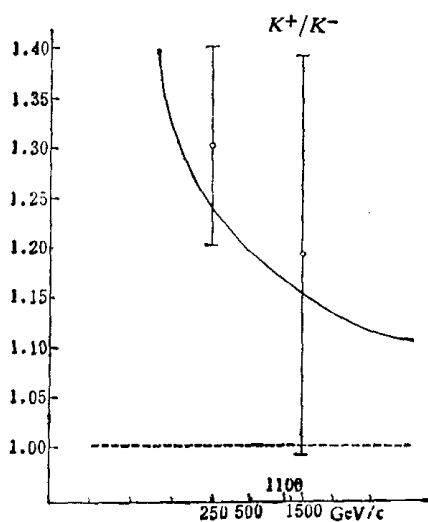


图 3

○ 文献 [6b]

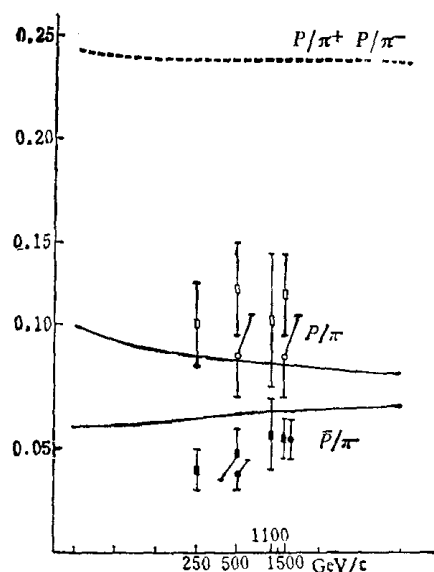


图 5

P/π^+ $\bar{P}/\pi^-$
 □ ■ 文献 [6a]
 ○ ● 文献 [6b, c]

虚线是夸克-胶子模型的理论曲线。

从理论曲线跟实验的比较可以看出：夸克组合模型与实验吻合得比较好，从而说明胶子-胶子作用对多重产生的影响较小。

致谢：本文作者对新加坡南洋大学潘国驹教授的有益讨论，谨致谢意。

参 考 文 献

- [1] Bjorken, J. D., Garrar, H. T., *Phys. Rev.*, D9 (1974), 1449.
- [2] Van Hove, L., *Acta Phys. Pol.*, B7 (1976), 339.
- [3] Chao, A. W., & Yang, C. N., *Phys. Rev.*, D9 (1974), 2205. D10 (1974), 2119.
- [4] Chew, C. K., Chee, L. C., Low, H. B., & Phua, K. K., *Phys. Rev.*, D9 (1979), 3274.
- [5] Slansky, R., *Phys. Reports*, 11C, (1974), 3: 101.
- [6] a. Banner, M., et al., *Phys. Letters*, 41B (1972), 547;
 b. Alper, B. et al., *Phys. Letters*, 47B (1973), 275;
 c. Alper, B. et al., *Phys. Letters*, 47B (1973), 75.