关于高能双举反应不变质量分布中新现象的讨论和层子模型

高 崇 寿
(北京大学物理系)

一

最近在高能强作用双举反应中发现了一个重要的新现象[1]. 观察双举反应

$$p + \mathrm{Be} \to A + B + \text{其它}$$

中微分截面 $\frac{d\sigma}{dm}$ 对 m 的曲线,其中 m 为带电粒子 A 和 B 的不变质量. 结果发现:

(1) $\frac{d\sigma}{dm}$ 随 m 增加很快减少;

(2) $AB = \bar{p}p$, $\pi^-\pi^+$, K^-p. π^-K^+ 的曲线基本重合, $AB = \bar{p}\pi^+$, $K^-\pi^+$, $\bar{p}K^+$, K^-K^+ 的曲线基本重合;

(3) $AB = \pi^-p$ 等的微分截面比 $AB = \bar{p}p$ 等的微分截面约大 10 倍, $\bar{p}p$ 等的截面又比 $\bar{p}\pi^+$ 等的截面约大 10 倍. 再把 $AB = pp$ 和 $\bar{p}\bar{p}$ 的实验也一起比较, 则 $\bar{p}\pi^+$ 等的截面又比 $\bar{p}\bar{p}$ 的截面约大 10 倍,而 pp 的截面又比 π^-p 的截面约大 10 倍.

这些新结果显示高能多重产生中可能存在一些过去尚未被注意到的新的规律性, 这些规律性与强子的结构和多重产生的机制有密切的关系. 本文试从唯象的角度和层子模型的图象对上述规律性进行一些讨论.

二

我们可以经验地引入一个双举反应的级数 k, 对上述各种 AB 取 k 为:

AB	pp	π^-p	$\bar{p}p$, $\pi^-\pi^+$, K^-p, π^-K^+	$\bar{p}\pi^+$, $K^-\pi^+$, $\bar{p}K^+$, K^-K^+	$\bar{p}\bar{p}$
k	0	2	2	3	4

如果在高能下,上述规律性足够好的成立,则可以用下式表述

$$\frac{d\sigma}{dm} = [\beta(s)]^k f(m, s) \tag{1}$$

本文 1977 年 4 月 5 日收到.

其中 $\sqrt{s}$ 为反应质心系总能量．在上述实验条件下 $\beta(s) \approx 1/10$．$f(m, s)$ 应是一个普适函数，与 AB 是何种粒子无关，AB 粒子类型则仅反映在 k 的确定上．

利用 (1) 式原则上只要从一种 AB 的实验中，特别是阈值最低的 $\pi^-\pi^+$ 实验中定出函数 $f(m, s)$ 来，就可以予言其它已知级数 k 的 AB 粒子的所有双举微分截面．而对于任一组 AB 粒子的级数 k，可以从实验上测定一个 $\frac{d\sigma}{dm}$ 点来确定，也可以如后面所述从层子模型来推测．

将 (1) 式从 AB 的阈 $m_A + m_B$ 积分到 $\sqrt{s}$，由双举反应的定义给出

$$\langle n_A n_B \rangle \sigma_{\text{inel}}(s) = (\beta(s))^k F(m_A + m_B, s) \tag{2}$$

其中

$$F(m_A + m_B, s) = \int_{m_A+m_B}^{\sqrt{s}} f(m, s) dm \tag{3}$$

它给出 $\langle n_A n_B \rangle$ 通过函数 F 表达的关系，亦即只需通过 $AB = \pi^-\pi^+$ 的实验定出 $f(m, s)$ 就可以予言各种已知级数 k 的 AB 粒子的 $\langle n_A n_B \rangle$．

特别是对阈值相同的两组粒子，可以消去函数 $F(m_A + m_B, s)$．例如 $K^-\pi^+$ 和 π^-K^+ 以及 $K^+\bar{p}$ 和 K^-p 有

$$\frac{\langle n_{K^-} n_{\pi^+} \rangle}{\langle n_{K^+} n_{\pi^-} \rangle} = \frac{\langle n_{K^+} n_{\bar{p}} \rangle}{\langle n_{K^+} n_p \rangle} = \beta(s) \tag{4}$$

同样有

$$\frac{\langle n_{\pi^+} n_{\bar{p}} \rangle}{\langle n_{\pi^-} n_p \rangle} = [\beta(s)]^2 \tag{5}$$

这些都是可以检验的予言．

三

对于上述实验规律性的理论概括最关键的是对双举级数 k 给予模型的解释，我们试从层子模型的观点来进行讨论．

在层子模型中，为了解释自旋统计关系和超强的饱和性，常引入第二个三维抽象空间（即“色空间”），对“色空间”满足 $SU(3)$ 的情形已有许多讨论．不论是否认为这个“色空间”按 $SU(3)$ 来分类，下面的要求是共同的：

(1) 普通强子（包括介子和重子）都属于“色空间”中的一维表示，其杨氏图如图 1 (a) 所示；

(2) 层子和反层子杨氏图分别如图 1 (b) 和 (c) 所示；一对反对称态的层子或反层子的杨氏图分别由图 1 (c) 和 (b) 所示，因此从这个抽象空间的群结构特点上来说，一对反对称态的层子（或反层子）与一个反层子（或层子）是等价的．

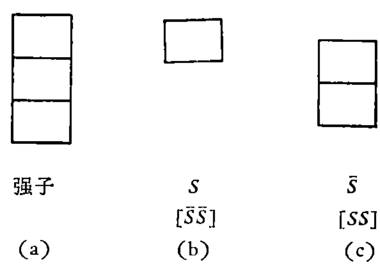

图 1

按照这些普通要求可以看出：介子是由层

子与反层子组成．重子是由三个层子组成．而这又可以理解为一对层子先组成一个反对称对，其群结构相当于一个反层子，这个反对称层子对再与层子结合成为重子．按照这个结构图象，在高能强作用多重产生的反应中，可以认为新激发出一个反对称层子对的几率和激发出一个反层子的几率相近，也就是在初级近似下，可以假定新激发出 S, $\bar{S}$, $[SS]$, $[\bar{S}\bar{S}]$ 是等几率的．

在强作用双举反应中，末态双举粒子的组成部分可以由初态粒子提供，但有时则还需要在碰撞过程中新激发出的层子（或反对称对）来提供．在上述模型假定下，双举级数 k 应当等于需要新激发出的层子和反层子以及它们的反对称对的数目．

按照这个假定可以正确地给出上面列出的实验中确定的 p + Be 双举反应中的各双举级数 k.

按照这个假定，可以进一步予言各种高能多重产生反应中的双举级数．例如对 π^-+p 反应有（除 pp 和 $\bar{p}\bar{p}$ 外，只列出 A^-B^+ 态）

AB	π^-p	pp, $\bar{p}p$, $\pi^-\pi^+$, K^-p, π^-K^+, …	$\bar{p}\pi^+$, $\bar{p}K^+$, $K^-\pi^+$ …	$\bar{p}\bar{p}$
k	0	1	2	3

这些予言都可以在实验上进行检验．

按照这个模型假定，可以予期（1）式应能推广到多举（例如三举）反应中去．只不过其中 m, k 和 $f(m, s)$ 分别是多举反应中相应的量．多举级数 k 可以与双举级数 k 按同样规则来予言．

四

对于 $[SS]$ 与 $\bar{S}$ 的近似相当性可以给予一个具体的物理说明．如果层子的质量 M 很重，通过超强相互作用结合成普通强子时基本上全部为结合能所抵消．为了解释超强的饱和性和普通强子的超强稳定性，可以假定超强相互作用具有以下性质：

(1) 每一个层子的超强耦合常数是一个二维平面上的矢量 $\mathbf{g}$，对应的反层子耦合常数为 $-\mathbf{g}$;

(2) 在“色空间”中三种层子的 $\mathbf{g}$ 大小相同，相互之间夹角分别都是 120°;

(3) 两个层子或反层子之间相互作用能近似为 $a\mathbf{g}^{(1)}\cdot\mathbf{g}^{(2)}$，其中 $a>0$.

由此给出普通介子质量为

$$2M + a\mathbf{g}\cdot(-\mathbf{g}) = 2M - ag^2$$

以 M 量级为标准它应近似为零，由此得到

$$M = \frac{1}{2}ag^2$$

重子是三种层子的完全反对称态，即由三种层子各一个组成，其质量应近似为（对 M 量级来说）

$$3M + a(\mathbf{g}_1\cdot\mathbf{g}_2 + \mathbf{g}_2\cdot\mathbf{g}_3\cdot + \mathbf{g}_3\cdot\mathbf{g}_1) = 0$$

这是符合实验上重子质量的量级的.

在这个模型下，任意多个层子和反层子组成的系统的质量为

$$nM + a\sum_{i \neq j}^{n} \mathbf{g}^{(i)} \cdot \mathbf{g}^{(j)} = \sum_{i=1}^{n} \frac{a}{2}\, \mathbf{g}^{(i)} \cdot \mathbf{g}^{(i)} + \sum_{i \neq j}^{n} \mathbf{g}^{(i)} \cdot \mathbf{g}^{(j)} = \frac{a}{2}\left(\sum_{i=1}^{n} \mathbf{g}^{(i)}\right)^2$$

亦即正比于系统总耦合常数的平方．如果系统的质量为普通强子量级，则要求 $\sum_{i=1}^{n} \mathbf{g}^{(i)} = 0$，即系统是超强中性的，这就给超强饱和性以一个普遍的表述．从这个式子还可看出，系统的超强相互作用性质和质量完全由系统的总耦合常数决定，特别是 S_1S_2 对的耦合常数为

$$\mathbf{g}_1 + \mathbf{g}_2 = -\mathbf{g}_3$$

与 $\bar{S}_3$ 相同，它们质量也都是 $\frac{1}{2}ag^2$，因此 S_1S_2 对的超强相互作用性质与 $\bar{S}_3$ 是相当的.

在 [2] 中曾经给出一个关于超强相互作用的模型，很好地解释了超强的饱和性．我们这里所给出的模型实际上就是 [2] 中所给出的模型，只不过用不同的表述方法具体表述出来，可以更直接地普遍证明质量为普通强子量级的系统是超强中性的，它一定可分解成若干个普通强子，也可以简洁地给出 $[SS]$ 与 $\bar{S}$ 的超强相当性.

参　考　资　料

[1] 丁肇中 1975 年在北京的科学报告.
[2] 李综，卞履，习成，物理学报，**24** (1975)，372.

ON THE NEW PHENOMENA OF THE INVARIANT MASS DISTRIBUTION IN THE DOUBLE INCLUSIVE REACTION AND THE STRATON MODEL

Gao Chung-shou
(*Department of Physics, Peking University*)