

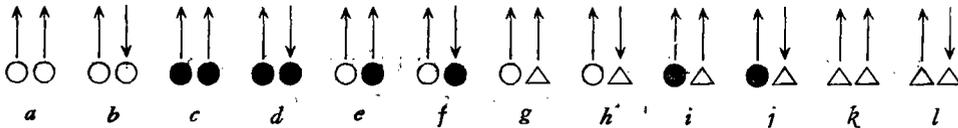
粲 (Charm) 粒子的质量谱

罗 辽 复 陆 焱
(内蒙古大学物理系) (南京电讯仪器厂)

J/ψ 粒子谱表明这些粒子由一对费米子组成。这个新的组成成分具有粲数 c ，它也出现于其它强子中，构成粲介子和粲重子。最近实验找到的 $D(1.865)$ 、 $D^*(2.005)$ 和重子 (2.260) ，可能都是粲粒子^[1]。本文用两个模型来研究粲粒子质量谱的规律性。

方案 A [$SU(4)$ 理论]

$SU(4)$ 质量关系的讨论已经很多^[2-9]，大多假定了质量算符取 $\sim \alpha T_8 + \beta T_{15}$ 形式。但由于粲自由度的破缺很大，不能看作线性^[6-7]，这样做结果往往和实验符合不佳。我们仍采用资料[10]的分析方法，从层子二体作用的普遍概念出发进行研究。将层子 u, d 记为 \circ ； s 记为 \bullet ； c 记为 \triangle ，它们的质量（包括动能）分别为 m_0, m_0 和 m_0 ，则各种二体作用可图示如下（介子中相应量用带撇文字表示）：



将粒子质量用这些参数表示出来（对于 $\pi K \eta$ 等 0^- 八重态介子还须考虑湮没项的贡献，但对粲介子，这个项是不大的^[4]），然后，我们据此在 1975 年求得了十个不依赖于参数选取的普遍质量关系^[11]（粒子符号代表粒子质量，符号规定如下：把通常粒子中的 s 层子换成 c 层子后，用下标 c 标志之；和 Λ_c 同属于一个 $SU(3)$ 表示 $\mathbf{3}$ 的 $T = \frac{1}{2}$ 的粒子记为 Y_c ； Q_c, Q_{cc} 为 $1/2$ 自旋，而 $Q_c^*, Q_{cc}^*, Q_{ccc}^*$ 为 $3/2$ 自旋）：

$$\Sigma^* - \Sigma = E^* - E \quad (1)$$

$$\Delta - N = (\Sigma^* - \Sigma) + \frac{3}{2} (\Sigma - \Lambda) \quad (2)$$

$$Q - \Delta = 3(E^* - \Sigma^*) \quad (3)$$

$$(\Sigma_c^* - \Sigma_c) + (Q_c^* - Q_c) = 2(E_c^* - E_c) \quad (4)$$

$$\Delta - N = \frac{3}{2} (\Sigma_c - \Lambda_c) + (\Sigma_c^* - \Sigma_c) \quad (5)$$

$$E^* - E = \frac{3}{2} (E_c - Y_c) + (E_c^* - E_c) \quad (6)$$

$$(\Delta - E^*) + (\Sigma^* - E^*) = (Q_c - E_c) + (\Sigma_c - E_c) \quad (7)$$

$$\Sigma_c^* - \Sigma_c = E_{cc}^* - E_{cc} \quad (8)$$

$$Q_c^* - Q_c = Q_{cc}^* - Q_{cc} \quad (9)$$

$$\Sigma^* - \Sigma = (Q_{cc} - Q_c) + (\Sigma_c - \Sigma_{cc}) \quad (10)$$

类似关系在资料[8]中也得到了。若对参数选取加上适当条件(即对破缺性质作适当假定),便可得到更多关系^[11]。我们要特别指出的是重子和介子之间的一类关系,在条件

$$\frac{a' - b'}{a - b} = \frac{c' - f'}{e - f} = \frac{g' - h'}{g - h} = \frac{i' - j'}{i - j} \quad (11)$$

下可得

$$\frac{\rho - \pi}{K^* - K} = \frac{\Delta - N}{\Sigma^* - \Sigma} \quad (12)$$

$$\frac{\rho - \pi}{D^* - D} = \frac{\Delta - N}{\Sigma_c^* - \Sigma_c} \quad (13)$$

$$\frac{\rho - \pi}{F^* - F} = \frac{\Delta - N}{Q_c^* - Q_c} \quad (14)$$

$$\frac{\Sigma_c^* - \Lambda_c}{\Sigma_c - \Lambda_c} = \frac{(\rho - \pi) + \frac{1}{2}(D^* - D)}{(\rho - \pi) - (D^* - D)} \quad (15)$$

$$\frac{\Sigma_c^* - Y_c}{\Sigma_c - Y_c} = \frac{(K^* - K) + \frac{1}{4}(D^* - D) + \frac{1}{4}(F^* - F)}{(K^* - K) - \frac{1}{2}(D^* - D) - \frac{1}{2}(F^* - F)} \quad (16)$$

(12)式首先在资料[10]中求得(以后资料[6]也得到了此关系), (13)–(16)是它的推广。

方案 B

考虑到 $SU(4)$ 理论在解释 J/ψ 粒子辐射衰变时出现的困难^[12], 我们曾提出了一种新的模型, 认为 J/ψ 的组成为一种中性的费米子 L° (L° 可能带反常磁矩)^[13]。 L° 与整数电荷的层子相结合, 便可构成粲介子和粲重子。采用资料[14]–[15]的 $SU(3) \times SU(3)'$ 整数电荷层子理论, 这几个层子的 $c = 0$, 是第一类层子, 其量子数如表 I。 L° 是第二类层子, $c = 1$, 令其 $Y' = -\frac{2}{3}$ 。各种粲粒子及其 Y', I' 量子如表 II。通常粒子是 $SU(3)'$ 单态。作为其推广, 我们要求粲粒子(至少其低能态)具有 $Y' = I' = 0$ 。这样就能唯一确定粲介子为 $(\bar{L}^\circ q_3)$ 系统, 粲重子为 $(L^\circ q_1 q_2)$ 系统。如令 L° 具有 $Y' = \frac{1}{3}$, 则不能构成 $Y' = I' = 0$ 的粲粒子, 因此排除了此种可能。粲重子的 $I' = 0$, 其波函数的 $(q_1 q_2)$ 部分须为 $SU(6)$ 的 $\underline{6} \times \underline{6}$ 中的全对称表示 $\underline{21}$ 。将它们和 L° 自旋作 $C-G$ 耦合后, 可得自旋 $3/2$ 的 $SU(3)$ 表示 $\underline{6}$ (粒子记为 $\Sigma_L^*, \Xi_L^*, \Omega_L^*$) 和自旋 $1/2$ 的 $SU(3)$ 表示 $\underline{6}$ (粒子记为 $\Sigma_L, \Xi_L, \Omega_L$) 和 $\underline{3}$ (粒子记为 Y_L, Λ_L)。

采用与方案 A 相同的分析方法。粒子质量中的单体项和二体作用项在通常的重子 $\underline{56}$ 和介子 $\underline{35}$ 中仍用 $n_0, \lambda_0, a \cdots f$ 及相应带撇量表示; 在粲粒子波函数中的取值则用 n_1, λ_1, L_1 (单体项), $a_1, b_1, \cdots l_1$ (二体项) 及相应带撇量表示。不难发现, 在不对参数作任何限制下仍有质量关系 (1)–(4) (只要把下标 c 换成下标 L)。如果条件

$$\frac{a_1}{a} = \frac{b_1}{b} = \dots = \frac{i_1}{i} = \frac{j_1}{j} (=y) \quad (17)$$

成立, 则又可得

$$\frac{\frac{3}{2}(\sum_L - \Lambda_L) + (\sum_L^* - \Sigma_L)}{\Delta - N} = \frac{\frac{3}{2}(\mathcal{E}_L - Y_L) + (\mathcal{E}_L^* - \mathcal{E}_L)}{\mathcal{E}^* - \mathcal{E}} \quad (18)$$

$$\frac{(\mathcal{Q}_L - \mathcal{E}_L) + (\sum_L - \mathcal{E}_L)}{(\mathcal{Q} - \mathcal{E}^*) + (\sum^* - \mathcal{E}^*)} = \frac{\frac{3}{2}(\mathcal{E}_L - Y_L) + (\mathcal{E}_L^* - \mathcal{E}_L)}{\mathcal{E}^* - \mathcal{E}} \quad (19)$$

在 $a + c = 2e$ 及 $a_1 + c_1 = 2e_1$ 条件下, 还有质量关系

$$\frac{1}{2}(N + \mathcal{E}) = \frac{1}{4}(3\Lambda + \Sigma) \quad (20)$$

$$\mathcal{Q} - \mathcal{E}^* = \mathcal{E}^* - \sum^* \quad (21)$$

$$\mathcal{Q}_L - \mathcal{E}_L = \mathcal{E}_L - \sum_L \quad (22)$$

$$\mathcal{Q}_L^* - \mathcal{E}_L^* = \mathcal{E}_L^* - \sum_L^* \quad (23)$$

在条件

$$\frac{a' - b'}{a - b} = \frac{e' - f'}{e - f} = \frac{g' - h'}{g - h} = \frac{i' - j'}{i - j} (=x) \quad (24)$$

下还有重子和介子间的关系(12)–(14)。容易证明, 在 $y = 1$ 下, 可得同于 $SU(4)$ 关系的(1)–(7); 再加上条件(24), 还可再得关系(15)和(16)。

和 $SU(4)$ 质量谱的重要区别是: 方案B中不存在 $c = 2$ 和 3 的(至少低能态)粲重子。

表 I

| | u_1 | d_1 | s_1 | u_2 | d_2 | s_2 | u_3 | d_3 | s_3 |
|--|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Y | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{3}$ | $-\frac{2}{3}$ | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{3}$ | $-\frac{2}{3}$ | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{3}$ | $-\frac{2}{3}$ |
| l_3 | $\frac{1}{2}$ | $-\frac{1}{2}$ | 0 | $\frac{1}{2}$ | $-\frac{1}{2}$ | 0 | $\frac{1}{2}$ | $-\frac{1}{2}$ | 0 |
| Y' | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{3}$ | $\frac{1}{3}$ | $-\frac{2}{3}$ | $-\frac{2}{3}$ | $-\frac{2}{3}$ |
| l'_3 | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{2}$ | $-\frac{1}{2}$ | $-\frac{1}{2}$ | $-\frac{1}{2}$ | 0 | 0 | 0 |
| $\mathcal{Q} = l_3 + \frac{Y}{2} + Y'$ | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 |

表 II

| | $(\bar{L}^0 q_1, 2)$ | $(\bar{L}^0 q_3)$ | $(L^0 q_1, q_2)$ | $(L^0 q_1, 2q_3)$ | $(L^0 L^0 q_1, 2)$ | $(L^0 L^0 q_3)$ |
|------|----------------------|-------------------|------------------|-------------------|--------------------|-----------------|
| Y' | 1 | 0 | 0 | -1 | -1 | -2 |
| l' | $\frac{1}{2}$ | 0 | 0, 1 | $\frac{1}{2}$ | $\frac{1}{2}$ | 0 |

在这个模型中通过引进 $J_w^L = (\alpha\bar{s}_3 + \beta\bar{d}_3)L$ 型弱流就可解释粲粒子到通常粒子的非轻子衰变和半轻子衰变. 当 $\alpha \gg \beta$, 衰变满足 $\Delta s = \Delta c$ 选择定则. J_w^L 的耦合强度可以和通常的弱作用有较大差别, 这也是和 $SU(4)$ 理论的不同点.

这个模型引进第十个带反常磁矩的层子, 可能有助于解释在 4 GeV 以上

$$R = \frac{\sigma(e^+e^- \rightarrow \text{强子})}{\sigma(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)}$$

趋于渐近值 5.2.

参 考 资 料

- [1] W. K. H. Panofsky, PRC Series (访华学术报告), Lecture 2[#]-4[#].
- [2] 柯分, 科学通报, **20** (1975), 84.
- [3] 吴济民、黄涛, 科学通报, **20** (1975), 184.
- [4] 朱重远, 物理学报, **24** (1975), 351.
- [5] S. Okubo et al., *Phys. Rev. Lett.*, **34** (1975), 236.
- [6] A. De Rújula et al., *Phys. Rev.*, **D12** (1975), 147.
- [7] R. Simard, M. Suzuki, *Phys. Rev.*, **D12** (1975), 2002.
- [8] J. Franklin, *Phys. Rev.*, **D12** (1975), 2077.
- [9] A. Hendry, D. Lichtenberg, *Phys. Rev.*, **D12** (1975), 2756.
- [10] 陆焱、罗辽复、杨国琛, 物理学报, **23** (1974), 63.
- [11] 时学丹、陈金全、王凡、高美娟、罗辽复、陆焱, 内蒙古大学学报, 1976, 1.
- [12] 东方晓、杜东生、吴济民, 物理学报, **24** (1975), 461.
- [13] 陆焱、罗辽复, 科学通报, **21** (1976).
- [14] 刘耀阳, 原子能, **3** (1966), 232.
- [15] N. Cabibbo et al., *Phys. Lett.*, **25B** (1967), 132.

MASS SPECTRA OF CHARM PARTICLES

Luo Liau-fu

Lu Tan

(Inner Mongolian University) (Tele-Communication Instruments Factory of Nanking)