

研究简报

一种可能的强子结构新模型*

杜 东 生

(中国科学院高能物理研究所)

最近在 DESY 和 SLAC 又发现了一些 ϕ 族粒子的新成员^[1]. 当然,目前实验上还有些争议,但大体上共八个: $J(3.1)$, $\phi'(3.7)$, $\phi''(4.1)$, $\phi'''(4.4)$, $\chi(2.8)$, $P(3.41)$, $P(3.51)$, $P(3.53)$ ^[2]. 这八个新粒子,能较自然地填充在我们这个新模型里.

我们假定构成强子的基础粒子总共七个: 通常的 SU_3 三重态轻层子 u, d, s 和 SU_4 四重态重层子 u', d', s', c' , 其中 u', d' 是同位旋二重态,电荷分别为 $2/3, -1/3$. s', c' 均为同位旋单态,电荷分别为 $-1/3, 2/3$. 重层子还具有新的相加性量子数 H . 对于 u, d, s , $H = 0$; 对于 u', d', s', c' , $H = 1$. 我们进一步假定所有七个层子都有三种颜色,而所有强子都是颜色单态. 在这个模型中,在重介子 ($H = \pm 1$) 成对产生阈以下只有 u, d, s 的束缚态激发,故 $R \sim 2$. 而在这个阈以上,重层子的束缚态也可激发,此时 $R \sim 5.3$. 这与目前的实验事实是一致的,只要这个阈是在 $\sqrt{s} \sim 4\text{GeV}$ 附近.

现在讨论介子的填充和质量谱. 对于每个 J^{PC} 值,有 49 个介子态. 我们把 $J(3.1)$, $\phi'(3.7)$, $\phi''(4.1)$, $\phi'''(4.4)$ 填在 1^{--} 和 $H = 0$ 的重层子 $SU_4 16$ 重态中

$$\begin{aligned} J(3.1) &= \frac{1}{\sqrt{12}} (u'\bar{u}' + d'\bar{d}' + s'\bar{s}' - 3c'\bar{c}'), \\ \phi'(3.7) &= \frac{1}{\sqrt{6}} (u'\bar{u}' + d'\bar{d}' - 2s'\bar{s}'), \\ \phi''(4.1) &= \frac{1}{\sqrt{2}} (u'\bar{u}' - d'\bar{d}'), \\ \phi'''(4.4) &= \frac{1}{2} (u'\bar{u}' + d'\bar{d}' + s'\bar{s}' + c'\bar{c}'); \end{aligned}$$

把 $\chi(2.8)$ 填在 0^{-+} 重层子 $SU_4 16$ 重态中:

$$\chi(2.8) = \phi_{\eta_c} = \frac{1}{\sqrt{12}} (u'\bar{u}' + d'\bar{d}' + s'\bar{s}' - 3c'\bar{c}');$$

把 $P(3.41)$, $P(3.51)$, $P(3.53)$ 填在 $J(3.1)$ 的轨道激发态 P 波 $^3P_{0,1,2}$ 上. 由于实验上已发现 $P(3.41) \rightarrow \pi^+\pi^-$ 及 $P(3.41) \rightarrow K^+K^-$. 因此, $P(3.41)$ 只能是 $0^{++}, 2^{++}, \dots$, 故把它填在 3P_0 是合适的. 至于 $P(3.51)$, $P(3.53)$ 的 J^{PC} 都还没有确定下来,也有可能属于 0^{-+} 介子. 由上可知,对 0^{-+} 介子,我们只填了一个 $\phi_{\eta_c} = \chi(2.8)$, 它与 $J(3.1)$ 有相同的么旋波函数. 它们之间的自旋质量差 $\sim 0.3\text{GeV}$. 另外三个 0^{-+} 重介子:

* 1975 年 11 月 6 日收到.

1) 最后三个粒子, DESY 称 χ , SLAC 称 P_c , 为方便起见,我们称之为 P 粒子.

$$\phi_{\eta} = \frac{1}{\sqrt{6}} (u'\bar{u}' + d'\bar{d}' - 2s'\bar{s}'), \quad \phi_{\pi^0} = \frac{1}{\sqrt{2}} (u'\bar{u}' - d'\bar{d}'),$$

$$\phi_{\pi^0} = \frac{1}{2} (u'\bar{u}' + d'\bar{d}' + s'\bar{s}' + c'\bar{c}')$$

的质量大约分别在 3.4GeV, 3.8GeV 和 4.1GeV 附近. 因而将来可能在 1^{--} 重介子的辐射衰变中被发现.

假定介子的质量与层子的有效质量之间成线性关系, 则很容易估计出各种重层子的有效质量. 由于 $J(3.1)$, $\phi'(3.7)$, $\phi''(4.1)$ 属于同一多重态—— 15 重态, 故从它们出发有:

$$m_{d'} \sim m_{u'} \sim 2.08\text{GeV}, \quad m_{s'} \sim 1.72\text{GeV}, \quad m_{c'} \sim 1.41\text{GeV}.$$

由此可见, c' 是重层子中最轻的. 由上述很容易估计出:

$$m_{\phi_{K^*}} \sim 3.79\text{GeV}, \quad m_{\phi_{D^*}} \sim 3.48\text{GeV}, \quad m_{\phi_{F^*}} \sim 3.14\text{GeV}.$$

这里 ϕ_{K^*} , ϕ_{D^*} , ϕ_{F^*} 等代表量子数与 SU_4 模型中的 K^* , D^* , F^* 的量子数相同的重介子.

显然, 对于 0^{-+} 重介子 16 重态 ($H=0$), 质量也都在 3GeV 附近.

对于 $H = \pm 1$ 的重介子如 $u'\bar{u}$, $d'\bar{u}$, $s'\bar{u}$, $\dots$, 质量也都在 1.8—2.6GeV 之间. 最轻的是 $H^0 = c'\bar{u}$ 和 $G^+ = c'\bar{d}$, 它们的质量都在 1.8GeV 附近, 因而成对产生重介子的阈在 3.6—4GeV 之间.

下面我们简单地讨论一下新粒子的衰变问题.

对于强衰变, ϕ 族粒子到通常强子的衰变是被 Zweig 规则所禁戒的, 而 $J(3.1) \rightarrow H = \pm 1$ 的重介子的衰变为能量守恒所禁戒. 因此, $J(3.1)$ 是窄共振. 但 $\phi''(4.1)$ 和 $\phi'''(4.4)$ 可以强衰变为一对重介子, 因而它们是宽共振. $\phi'(3.7) \rightarrow H^0\bar{H}^0$, G^+G^- 是可能的, 但由于相空间的限制, 衰变的宽度不会很大. 当然也可能 $2m_G > 3.7\text{GeV}$ 使 $\phi'(3.7)$ 不能衰变到 $H^0\bar{H}^0$, G^+G^- , 此时 R 上升的阈在 $\lesssim 3.7\text{GeV}$ 处.

在这个模型中, 由于 SU_4 子群中 I' 守恒, 使 $\phi''(4.1) \rightarrow J(3.1) +$ 通常的强子是禁戒的 (SU_4 禁戒), 故当 $\sqrt{s} > 4\text{GeV}$ 时, 末态没有更多的 $J(3.1)$ 出现, 这一点与目前的实验事实相一致.

对于电磁衰变, 在我们的模型下, SU_4 子群中的电荷算子为

$$Q' = \begin{pmatrix} 2/3 & & & \\ & -1/3 & & \\ & & -1/3 & \\ & & & 2/3 \end{pmatrix}.$$

根据前面给出的新粒子的填充, 很容易算出:

$$\Gamma_{J \rightarrow e^+e^-} : \Gamma_{\phi' \rightarrow e^+e^-} : \Gamma_{\phi'' \rightarrow e^+e^-} : \Gamma_{\phi''' \rightarrow e^+e^-} \sim 2 : 1 : 3 : 2/3.$$

而实验上这个比值是^[2]

$$4.8 : 2.2 : 1.8-3.3 : 0.4-0.8 \sim 1 : 0.46 : 0.375-0.688 : 0.0833-0.167.$$

由此可见, $\phi''(4.1) \rightarrow e^+e^-$ 的宽度的理论值过大. 当考虑 SU_4 子群中的混合时, 这一点可能改善.

对于新粒子的辐射衰变 $\phi(1^{--}) \rightarrow \phi(0^{--})\gamma$, $\phi(0^{--}) \rightarrow J\gamma$, 和 $\phi(1^{--}) \rightarrow \gamma \rightarrow \pi\pi$,

KK 等与文献 [3] 所给的结果同量级。

现在来讨论弱衰变。我们假定弱流仍取 V-A 型, 且假定

$$\begin{aligned} (u, d_w = d \cos \vartheta + s \sin \vartheta), \quad (c', s_w = -d \sin \vartheta + s \cos \vartheta), \\ (u', d'_w = d' \cos \vartheta' + s' \sin \vartheta') \end{aligned}$$

分别构成弱同位旋二重态。而

$$s'_w = -d' \sin \vartheta' + s' \cos \vartheta'$$

不参与弱相互作用。这里 ϑ 就是通常的 Cabibbo 混合角, 而 ϑ' 是新引进的混合角, 其数值目前实验上还定不下来。这样, 弱流中 $c's_w = c'(-\bar{d} \sin \vartheta + \bar{s} \cos \vartheta)$ 项的存在使 $c' \leftrightarrow s$ 跃迁是主要的, 因此 $H^0 = c'\bar{u}$, $G^+ = c'\bar{d}$ 主要弱衰变到 $K, \bar{K}$, 其次是 π 介子, 所以 K/π 比值在 $\sqrt{s} > 4\text{GeV}$ 时应上升, 这与实验有矛盾。

最后, 我们简要讨论一下模型的对称性质。

前面主要讨论了 SU_7 按 $SU_3 \otimes SU_4 \otimes U(1)$ 子群的分解, 其中 SU_3 是通常的轻层子对称群, SU_4 是重层子对称群, $U(1)$ 群给出相加性量子数 H 。从目前实验看来, 新粒子与通常的强子之间性质上相差很大, 因此 SU_7 不可能是很好的对称群, 它的破坏一定是很厉害的, 因而考虑 $SU_3 \otimes SU_4$ 子群是很自然的。

参 考 文 献

- [1] G. Abrams, Stanford Lepton Photon Symposium (1975); B. Wiik, *ibid*; R. Schwitters, *ibid*.
- [2] F. J. Gilman, *ibid*.
- [3] 东方晓、杜东生、吴济民, 物理学报, 24 (1975), 438.

A NEW POSSIBLE MODEL FOR THE STRUCTURE OF HADRONS

TU TONG-SHENG

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica)