

$SU_4 \otimes SU_3$ 模型和 Υ 族新粒子

东方晓 杜东生

(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

本文根据 $SU_4 \otimes SU_3$ 模型, 讨论了 Υ 族新粒子填充色空间 SU_3 8 维表示的可能性。

按照层子模型^[1]的观念; 强子是由层子构成的。自由层子的质量很重, 它们由超强作用力结合成普通强子。超强作用比普通核力要强得多, 它具有色空间 SU_3 对称性。既然层子间存在着超强作用, 那么如何从实验上观察到它的效应呢? 到目前为止, 实验上是否已经看到超强作用的激发态呢? 这个问题自然是非常有兴趣的。有人早已提出了新粒子 J/ψ 族做为超强激发态的可能性^[2], 我们在^[3,4]中已讨论了在色空间 SU_3 对称性有强作用破坏时, 超强激发态由强作用引起的能级分裂及新粒子的填充。但当时 Υ 族粒子还没有发现, 而 J, ψ' 等粒子做为超强激发态显得超强能级低了些。 Υ 族粒子质量均在 10 GeV 左右, 而 10 GeV 做为超强激发能级间距是更合乎层子模型观念的。在文献[5]中曾讨论了 γ, γ' 的分类。但最近实验表明^[6](见表):

	质量 (GeV)	$\Gamma_{e^+e^-}$ (keV)
γ	9.46 ± 0.06	1.3 ± 0.2
γ'	10.01 ± 0.01	0.4 ± 0.2
γ''	10.46 ± 0.06	

$$m_{\gamma'} - m_{\gamma} \sim 0.55 \text{ GeV}$$

$$m_{\gamma''} - m_{\gamma'} \sim 0.45 \text{ GeV}$$

能级间距在 400—500 MeV 之间。这是强作用能级分裂的量级, 不可能由电磁作用产生。因此, 考虑色空间 SU_3 对称的强作用破坏是合理的。和文献[4]一样, 我们取 $SU_4 \otimes SU_3$ 整数电荷方案, 电荷算符为:

$$Q = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 2 & & \\ & -1 & \\ & & -1 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 1 & & \\ & 1 & \\ & & 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 & & \\ & 1 & \\ & & 1 \end{pmatrix} \otimes \frac{1}{3} \begin{pmatrix} -2 & & \\ & 1 & \\ & & 1 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

并且对 Υ 族粒子作如下的填充:

$$\left. \begin{aligned} (\omega, \rho') &= \gamma(9.46), (\phi, \rho') = \gamma'(10.01), \\ (\omega, \phi'_8) &= \gamma''(10.46), \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

其中 (a, b) 代表 SU_4 空间变换为 a , SU_3 空间变换为 b . 在这种填充方案中, 由于强作用下, SU_3 空间的“同位旋” I' 守恒, (ω, ρ') , (ϕ, ρ') 不能通过强作用衰变到普通强子. 所以 γ, γ' 是窄共振; 而 (ω, ϕ'_8) 可以通过强作用衰变到普通强子, 所以 γ'' 为宽共振. 实验上已知 $\gamma(9.46)$ 为窄共振, 其他 Υ 族粒子的性质如何, 还有待实验进一步研究.

根据 $SU_4 \otimes SU_3$ 整数电荷模型的特点, 在 e^+e^- 湮灭道中共有三个窄共振 (ω, ρ') , (ϕ, ρ') , (ϕ_c, ρ') , 和四个宽共振 (ω, ϕ'_8) , (ρ, ϕ'_8) , (ϕ, ϕ'_8) , (ϕ_c, ϕ'_8) . 这里假定 ϕ'_8 与 ω' 有微小混合, 否则 (ρ, ϕ'_8) 将不会在 e^+e^- 湮灭道中出现. 现在我们粗略估计一下上述这些共振的位置. 粗略估计可以认为,

$$m_{(\phi, \phi'_8)} - m_{(\omega, \phi'_8)} \sim m_{(\phi, \rho')} - m_{(\omega, \rho')} \simeq 0.55 \text{ GeV}$$

这样可以估计出 $m_{(\phi, \phi'_8)} \sim 11 \text{ GeV}$. 那么这个质量为 11 GeV 的宽共振为什么实验上没有发现呢? 对 DORIS 而言, 其运行能量还没有到这个能区, 它只到 γ'' 的能量为止. 而在 Lederman 实验中, 由于测量的是 $\mu^+\mu^-$ 对, 虽然 (ϕ, ϕ'_8) 的产生截面比 $\gamma, \gamma', \gamma''$ 大得多, 但到 $\mu^+\mu^-$ 对的分支比却比 $\gamma', \gamma'', \gamma''$ 小得多(见(6)式), 故不易看到明显的峰.

注意到在 SU_3 8 重态中, $m_{(\phi, \rho')} - m_{(\omega, \rho')} \sim 0.55 \text{ GeV}$, 而在 SU_3 单态中, $m_{(\phi, \omega')} - m_{(\omega, \omega')} \sim 0.237 \text{ GeV}$, 可以看出 SU_3 8 重态的分裂比单态来得大, 大约是单态的 2.3 倍. 从 SU_3 单态介子, 我们知道, $m_{(\phi_c, \omega')} - m_{(\phi, \omega')} \sim 2.075 \text{ GeV}$, 按 2.3 倍推测则有:

$$m_{(\phi_c, \rho')} - m_{(\phi, \rho')} \sim m_{(\phi_c, \phi'_8)} - m_{(\phi, \phi'_8)} \simeq 2.075 \times 2.3 = 4.77 \text{ GeV} \quad (3)$$

从(3)式立即推出:

$$m_{(\phi_c, \rho')} \sim 15 \text{ GeV}, m_{(\phi_c, \phi'_8)} \sim 16 \text{ GeV} \quad (4)$$

这里我们用到 $J(3.095) = (\phi_c, \omega')$, $\phi(1020) = (\phi, \omega')$.

现在我们来考察 Υ 族新粒子到 e^+e^- 的电磁衰变, 考虑在 SU_4 空间有理想混合情况, 这样上述粒子的么旋波函数为:

$$\begin{aligned} \mathcal{A}(\omega, \rho') &= \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & & & \\ & 1 & & \\ & & 0 & \\ & & & 0 \end{pmatrix} \otimes \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & & & \\ & -1 & & \\ & & & 0 \end{pmatrix}, \\ \mathcal{A}(\phi, \rho') &= \begin{pmatrix} 0 & & & \\ & 0 & & \\ & & 1 & \\ & & & 0 \end{pmatrix} \otimes \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & & & \\ & -1 & & \\ & & & 0 \end{pmatrix}, \\ \mathcal{A}(\phi_c, \rho') &= \begin{pmatrix} 0 & & & \\ & 0 & & \\ & & 0 & \\ & & & 1 \end{pmatrix} \otimes \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & & & \\ & -1 & & \\ & & & 0 \end{pmatrix}, \end{aligned} \quad (5)$$

对 $\mathcal{A}(\omega, \phi'_8)$, $\mathcal{A}(\phi, \phi'_8)$, $\mathcal{A}(\phi_c, \phi'_8)$ 的波函数, 只将(5)式中 SU_3 空间的么旋部分

换为 $\frac{1}{\sqrt{6}} \begin{pmatrix} 1 & & \\ & 1 & \\ & & -2 \end{pmatrix}$ 即可。考虑到电荷算符(1)式,易求出 $Sp\{\mathcal{A}Q\}$;

$$\left. \begin{aligned} Sp\{\mathcal{A}(\omega, \rho')Q\} &= -1, & Sp\{\mathcal{A}(\omega, \phi'_8)Q\} &= -\frac{1}{\sqrt{3}}, \\ Sp\{\mathcal{A}(\phi, \rho')Q\} &= -\frac{1}{\sqrt{2}}, & Sp\{\mathcal{A}(\phi, \phi'_8)Q\} &= -\frac{1}{\sqrt{6}}, \\ Sp\{\mathcal{A}(\phi_c, \rho')Q\} &= -\frac{1}{\sqrt{2}}, & Sp\{\mathcal{A}(\phi_c, \phi'_8)Q\} &= -\frac{1}{\sqrt{6}}, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

假定在 SU_3 8重态中,所有介子的空间波函数是一样的,则它们衰变到 e^+e^- 宽度的比,就等于它们 $[Sp\{\mathcal{A}Q\}]^2$ 的比,按照(2)式的填充则有

$$\Gamma_{\gamma \rightarrow e^+e^-} : \Gamma_{\gamma' \rightarrow e^+e^-} : \Gamma_{\gamma'' \rightarrow e^+e^-} = 1 : \frac{1}{2} : \frac{1}{3}, \quad (7)$$

而目前的实验值为

$$\Gamma_{\gamma \rightarrow e^+e^-} : \Gamma_{\gamma' \rightarrow e^+e^-} \simeq 1.3 \pm 0.2 : 0.4 \pm 0.2,$$

在误差范围内,(7)式与实验结果是不矛盾的。

以上只是粗略的估计,所有这些结果将在 PETRA 对撞机实验上得到澄清和检验。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院原子能研究所基本粒子理论组,原子能, 3 (1966), 137.
- [2] 卞震等,科学通报, 20 (1975), 35.
- [3] 李小源等,物理学报, 25 (1976), 541.
- [4] 杜东生,物理学报, 26 (1977), 486.
- [5] 朱重远等,高能物理与核物理, 2 (1978), 188.
- [6] 东京19届高能物理国际会议资料, (1978).

$SU_4 \otimes SU_3$ MODEL AND γ -NEW PARTICLES

DONG FANG-XIAO DU DONG-SHENG

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

Based on $SU_4 \otimes SU_3$ model, we discuss the arrangement of γ -family in the 8 representation of SU_3 color space.