

9.5 GeV 附近的新粒子 Υ 和 层子模型的 $SU(5)$ 扩充

李 铁 忠

(中国科学院高能物理研究所)

在 J/ψ 粒子发现后, 因 $SU(3)$ 难于容纳, 有人将层子模型理论^[1]的对称性从 $SU(3)$ 扩充到 $SU(4)$ ^[2]. 三年来的实验, 尤其是 D、F 粒子的发现, 证明 $SU(4)$ 确实是好的方案. 一年多之前我们曾提出这样的问题^[3]: 如再发现窄共振的中性矢量介子怎么办? 最近实验上在 9.5 GeV 附近确实发现了新的共振^[4]. 对这个共振包含有那些粒子, 到目前有以下几种分析:

- (1) 在 $9.54 \pm 0.04 \text{ GeV}$ 处有一个新粒子;
- (2) 在 $9.44 \pm 0.03 \text{ GeV}$ 和 $10.17 \pm 0.05 \text{ GeV}$ 处有两个新粒子;
- (3) 在 $9.40 \pm 0.02 \text{ GeV}$, $9.99 \pm 0.05 \text{ GeV}$, $10.41 \pm 0.12 \text{ GeV}$ 处有三个新粒子^[5].

有的资料指出: 在 9.5 GeV 附近的共振已经被分辨出来有两个窄峰^[6]. 如果窄共振在实验上是确实的话, 则 $SU(4)$ 已不好容纳, 其扩充的一种可能就是 $SU(5)$. 去年, 我们曾以当时 FERMILAB 宣称发现了的但跟着又被 SLAC 否认的 6 GeV 粒子做为扩充到 $SU(5)$ ^[3] 的例子, 现在看来这个粒子可能是不存在了. 如果资料 [6] 说的两个窄共振就是在 9.44 GeV 和 10.17 GeV 处的话, 那么可把 10.17 GeV 当做 9.44 GeV 的径向激发并称做 Υ' , 把称做 Υ 的 9.44 GeV 的粒子做为扩充到 $SU(5)$ 的依据. 不必从头做起, 前一篇^[3]当中, 除将 6 GeV 的数值相应的换成 9.44 GeV 以外, 完全适用. 只是由于当时 6 GeV 粒子未被肯定, 前一篇^[3]有些具体结果没算出. 本文仅做以补充, 凡 [3] 上有的这里都不再重述.

前一篇^[3]里, n' 层子的电荷用的是 $\frac{2}{3}$. 这样有局限性, 因为 n' 层子的电荷尚待进一步实验去探讨. 因此, 我们把 n' 层子的电荷扩充到任意值 $Q_{n'}$, 并对 $Q_{n'} = \frac{2}{3}$ 和 $Q_{n'} = -\frac{1}{3}$ 两个值给出相应的结果.

首先, n' 层子的电荷是任意值 $Q_{n'}$ 时, 做为新增加的量子数 b 荷的算符应改成

$$b = \left(2Q_{n'} - \frac{1}{3} \right) \lambda_3^2, \quad (1)$$

其质量公式应改成

$$M = M_0 + M_1 \left(\frac{\left(Y + C + \frac{b}{2Q_{n'} - \frac{1}{3}} \right)^2}{4} - \frac{1}{2Q_{n'} - \frac{1}{3}} Cb - I(I+1) \right) + M_2(C^2 + W) + M_3 \left(\frac{b^2}{\left(2Q_{n'} - \frac{1}{3} \right)^2} + X \right) + M_4 Y + M_5 C + M_6 \frac{b}{2Q_{n'} - \frac{1}{3}} + M_7 W' + M_8 X' + M_9 X''$$

和

$$m^2 = m_0^2 + m_1^2 \left(\frac{\left(Y + C + \frac{b}{2Q_{n'} - \frac{1}{3}} \right)^2}{4} - \frac{1}{2Q_{n'} - \frac{1}{3}} Cb - I(I+1) \right) + m_2^2(C^2 + W) + m_3^2 \left(\frac{b^2}{\left(2Q_{n'} - \frac{1}{3} \right)^2} + X \right). \tag{2}$$

由这些质量公式可知,由 n' 层子组成的“基本”粒子与 n' 层子的电荷无关。

其次,当把 9.44GeV 的粒子填到 $SU(5)$ 的 1^- 么旋波函数中 ϕ_b 的位置时,就必然预言出带新量子数 b 的新粒子,用 $\lambda_i (i = 3, 4, 5)$ 破坏给出的 1^- 介子的质量关系求得

$$m_{H^*} = 6.68\text{GeV}, m_{I^*} = 6.71\text{GeV}, m_{R^*} = 6.99\text{GeV}. \tag{3}$$

用(2)式也可求出与(3)式符合的值,这三种粒子带的 b 荷等量子数为:

	H^{*0}	\bar{H}^{*0}	H^{*+}	H^{*-}	I^{*+}	I^{*-}	R^{*0}	\bar{R}^{*0}	
I	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	0	0	0	
Y	0	0	0	0	1	-1	0	0	
C	0	0	0	0	0	0	-1	1	
b	$Q_{n'}$	$2Q_{n'} - \frac{1}{3}$	$-(2Q_{n'} - \frac{1}{3})$	$2Q_{n'} - \frac{1}{3}$	$-(2Q_{n'} - \frac{1}{3})$	$2Q_{n'} - \frac{1}{3}$	$-(2Q_{n'} - \frac{1}{3})$	$2Q_{n'} - \frac{1}{3}$	$-(2Q_{n'} - \frac{1}{3})$
	$Q_{n'} = \frac{2}{3}$	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
	$Q_{n'} = -\frac{1}{3}$	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1

因用类似的方法从 $SU(4)$ 求得的 D, F 粒子的质量比实验值偏高。所以,我们认为实验测得的 H^*, I^*, R^* 的粒子的质量比(3)式预言的值可能低些。

另外,在 $SU(3)$ 理论中自旋质量差关系与实验符合的很好。在 $SU(4)$ 理论里也应用了这一点,且实验证明符合的也不太差。因此在 $SU(5)$ 范围里我们仍可以应用这一点,即假设: 1^- 介子和 0^- 介子两个不可约表示的质量公式中相应的 m_1^2, m_2^2, m_3^2 近似相等。这样以一个 0^- 介子的质量输入,即可求出 0^- 介子的全部质量。先写下 $SU(5)$ 的 0^- 介子的么旋波函数:

$$\begin{aligned}
 \mathcal{A} = & \left(\begin{array}{ccccccc}
 \frac{\pi^0}{\sqrt{2}} + \frac{\eta^0}{\sqrt{6}} + \frac{\eta_c^0}{\sqrt{12}} + \frac{\eta_b^0}{\sqrt{20}} + \frac{X^0}{\sqrt{5}} & & & & & & \\
 & \pi^+ & & & & & \\
 & & \frac{-\pi^0}{\sqrt{2}} + \frac{\eta^0}{\sqrt{6}} + \frac{\eta_c^0}{\sqrt{12}} + \frac{\eta_b^0}{\sqrt{20}} + \frac{X^0}{\sqrt{5}} & & & & \\
 & & & \bar{K}^0 & & & \\
 & & & & \frac{-2\eta_c^0}{\sqrt{6}} + \frac{\eta_c^0}{\sqrt{12}} + \frac{\eta_b^0}{\sqrt{20}} + \frac{X^0}{\sqrt{5}} & & \\
 & & & & & \frac{-3\eta_c^0}{\sqrt{12}} + \frac{\eta_b^0}{\sqrt{20}} + \frac{X^0}{\sqrt{5}} & \\
 & & & & & & \frac{-4\eta_b^0}{\sqrt{20}} + \frac{X^0}{\sqrt{5}}
 \end{array} \right) \\
 & \begin{array}{ccccccc}
 \pi^0 & \pi^- & \pi^+ & K^+ & \bar{D}^0 & \bar{H}^0 & \\
 \pi^- & & & K^0 & D^- & H^- & \\
 K^- & & & \frac{-2\eta_c^0}{\sqrt{6}} + \frac{\eta_c^0}{\sqrt{12}} + \frac{\eta_b^0}{\sqrt{20}} + \frac{X^0}{\sqrt{5}} & F^- & I^- & \\
 D^0 & & & F^+ & \frac{-3\eta_c^0}{\sqrt{12}} + \frac{\eta_b^0}{\sqrt{20}} + \frac{X^0}{\sqrt{5}} & \bar{R}^0 & \\
 H^0 & & & I^+ & R^0 & & \\
 & & & & & & \frac{-4\eta_b^0}{\sqrt{20}} + \frac{X^0}{\sqrt{5}}
 \end{array}
 \end{aligned}$$

我们从 1^- 介子多重态定出了 (2) 式的

$$m_1^2 = 0.1353\text{GeV}^2, m_2^2 = 1.9966\text{GeV}^2, m_3^2 = 17.533\text{GeV}^2.$$

对 (2) 式输入 π 介子的质量就可以定出带新量子数 b 的 0^- 介子的质量: $m_H = 6.56\text{GeV}$, $m_I = 6.575\text{GeV}$, $m_R = 6.87\text{GeV}$. 但考虑到在 $SU(4)$ 中用同样方法定出的带 Charm 数的 D、F 粒子比实验偏高(约高 10%, 这可能是由于自旋质量差关系的近似而来), 因此下面的数值

$$m_H = 5.90\text{GeV}, m_I = 5.92\text{GeV}, m_R = 6.18\text{GeV},$$

可能更接近实验测得的值. 对 η_b^0 仍然有一个与 η^0 , X^0 , η_c^0 混合的问题. 用 $SU(4)$ 的类似方法^[2]可估出 η_b 的质量. 但输入上面求得的 m_H 的值, 利用前一篇^[3] $\lambda_i (i = 3, 4, 5)$ 破坏的质量关系, 亦可求得 $m_{\eta_b} = 8.32\text{GeV}$.

对 $\phi_b \rightarrow e^+e^-, \mu^+\mu^-$ 的衰变宽度, 用层子模型^[1]或复合场论^[7]的结果, 对 n' 层子电荷为 $2/3$ 和 $-1/3$ 的两种情况, 输入两种零点波函数, 估出如下的数值:

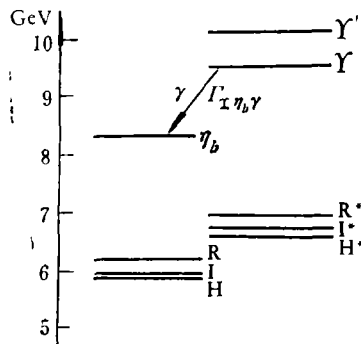
输 入		$ \psi_{\rho \rightarrow 2l}(0) ^2$	$ \psi_{\varphi_c \rightarrow 2l}(0) ^2$	输 入		$ \psi_{\varphi'_c \rightarrow 2l}(0) ^2$
$\Gamma_{\phi_b \rightarrow 2l}$	$Q_{n'} = \frac{2}{3}$	1.29KeV	3.3KeV	$\Gamma_{\phi_b' \rightarrow 2l}$	$Q_{n'} = \frac{2}{3}$	1.56KeV
	$Q_{n'} = -\frac{1}{3}$	0.32KeV	0.83KeV		$Q_{n'} = -\frac{1}{3}$	0.39KeV

对 $\phi_b \rightarrow \eta_b + \gamma$ 的辐射宽度, 用层子模型的结果, 对 n' 层子电荷为 $2/3$ 和 $-1/3$ 的两种情况, 输入由 $\omega \rightarrow \pi\gamma$ 的实验值定出的时空波函数的重叠积分, 获得:

$Q_{n'}$	$\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$
$\Gamma_{\phi_b \eta_b \gamma}$	0.662MeV	0.165MeV

- 小结: 1. 将 9.44GeV 的 Y 粒子填到 $SU(5)$ 的 ψ_{ϕ_b} 的位置;
 2. 预言了带新量子数 b 的 1^- 和 0^- 介子的质量;
 3. 估出了 $Y \rightarrow 2l$ 和 $Y \rightarrow \eta_b + \gamma$ 的宽度.

将带 b 量子数的粒子的质量谱搜集于下:



此外,与 $SU(4)$ 类似在 γ 和 γ' 之间还应存在三个 P 态粒子.

关于第五个层子 n' 的存在,在弱作用中如何解释的问题尚待进一步探讨.

参 考 资 料

- [1] 北京基本粒子理论组, 1966年北京暑假讨论会论文.
- [2] 吴济民、黄涛, 学科通报, **20** (1975), 184.
- [3] 李铁忠, 物理学报, **26** (1977), 535.
- [4] S. W. Herb et al., *Phys. Rev. Lett.*, **39**(1977), 252.
- [5] L. Lederman, *International Symposium on Lepton and Photon Interactions at High Energies*, (1977).
- [6] CERN COURIER Hamburg, **17**(1977), 274.
- [7] 何祚庥、黄涛, 物理学报, **23** (1974), 113; 264.

NEW PARTICLES γ NEAR 9.5GeV AND $SU(5)$ EXTENSION OF THE STRATON MODEL

LI TIE-ZHONG

(*Institute of High Energy Physics, Academia Sinica*)