

# 色规范群和味规范群的相互作用之间有对称性吗?

周光召      高崇寿

(中国科学院理论物理研究所) (北京大学)

## 摘 要

本文将  $SU(3) \times U(1)$  的弱电统一模型推广到包括强作用, 讨论了色规范群和味规范群的相互作用之间可能存在的一种交换对称性。

在文献[1]中, 我们建议了一种弱电统一模型, 规范群选作  $SU(3) \times U_V(1)$ 。为明确起见, 这个  $SU(3)$  群称做味规范群, 并以符号  $SU(3)_f$  表示。除了生成元为超荷  $Y$  的  $U_V(1)$  规范群, 在文献[1]的模型中还引进了一个整体对称的  $U_S(1)$  群, 其生成元为  $S$ 。这个整体对称性有可能是一个局域  $U_S(1)$  对称性自发破缺之后剩余下来的, 我们在下面考虑这个可能性。

当加入强作用后, 总的规范群应选作

$$G = SU(3)_f \otimes U_S(1) \otimes SU(3)_c \times U_V(1), \quad (1)$$

从群的选择上可以看到, 在我们讨论的模型中有可能存在味规范群  $SU(3)_f$  和色规范群  $SU(3)_c$ , 以及  $S$  荷和  $Y$  荷之间的对称。只要在对称性自发破缺之前, 规范场的耦合常数是相同的, 那么从规范场的拉氏量看, 这样一种交换对称是自然存在的。

下面我们对费米场的表示和它与规范场的相互作用进行分析。在文献[1]中, 每一代的费米子用  $SU(3)_f$  和  $SU(3)_c$  的表示写出来有

- 左旋轻子:  $(\underline{3}, 1)_L, (1, 1)_L, (\underline{3}, 1)_L^h, (1, 1)_L^h$ ;
- 右旋轻子:  $(\underline{3}^*, 1)_R, (1, 1)_R, (\underline{3}^*, 1)_R^h, (1, 1)_R^h$ ;
- 左旋夸克:  $(\underline{3}, \underline{3})_L, (1, \underline{3})_L, (\underline{3}, \underline{3}^*)_L^h, (1, \underline{3}^*)_L^h$ ;
- 右旋夸克:  $(\underline{3}^*, \underline{3})_R, (1, \underline{3})_R, (\underline{3}^*, \underline{3}^*)_R^h, (1, \underline{3}^*)_R^h$ 。

其中括弧内第一个数为  $SU(3)_f$  表示的种类; 第二个数字为  $SU(3)_c$  表示的种类。括弧右下角  $L$  和  $R$  代表左旋和右旋, 右上角的  $h$  代表在  $SU(3)_f$  群作用下将  $\theta$  由  $\gamma_5$  变到  $-\gamma_5$  的表示。关于  $\theta$  的定义可见文献[1]。  $(\quad)^h$  的态的引进是为了消除三角反常的。为了表述对称性的方便, 我们在括弧右上角上不带字母的态上加上右上角字母  $h$ , 并以高和低分别称呼带  $h$  和  $l$  的态。

由上面轻子和夸克的态可以看到以下的对称性: (i) 当  $SU(3)_f$  的  $\underline{3}$  表示换为  $\underline{3}^*$  表

示时,左旋换成右旋,这即是文献[1]中讨论的左右对称性;(ii)当  $SU(3)_c$  的  $\mathbf{3}$  表示换成  $\mathbf{3}^*$  表示时,高换成低,表明可能存在高低对称性;(iii)上面关于费米子的态是按左右旋和  $SU(3)_c$  的三重态(夸克)和单态(轻子)排列的;如按高低和  $SU(3)_f$  的三重态和单态排列,则可得到完全相似的组合,这启示我们,当将左右和高低互换时,  $SU(3)_c$  和  $SU(3)_f$  互换。

如果我们进一步研究量子数  $S$  和  $Y$ , 我们可以得到更明显的对称性。在文献[1]中指出,  $S$  的数值只与  $SU(3)_f$  的表示和左右两种态有关,而不依赖于  $SU(3)_c$  的表示和高低两种态。对左旋  $SU(3)_f$  三重态可取  $S = \frac{2}{3}$ , 对左旋  $SU(3)_f$  单态  $S=0$ ; 而对右旋  $SU(3)_f$  三重态  $S = \frac{1}{3}$ , 对右旋  $SU(3)_f$  单态  $S=1$ 。同时在文献[1]中也指出,  $Y$  和  $SU(3)_f$  的表示以及左右旋无关,它的数值只与  $SU(3)_c$  的表示和高低两种态有关。为了得到正确的夸克电荷,对低的  $SU(3)_c$  三重态(夸克),  $Y=2/3$ , 而对低的  $SU(3)_c$  单态(轻子)  $Y=0$ 。在文献[1]中没有详细讨论高态上  $Y$  的选取,将它选得和低态一样虽然可以消除三角反常,但还有另外的选法,也能消除三角反常。我们选取对高的  $SU(3)_c$  三重态  $Y = 1/3$  及对高的  $SU(3)_c$  单态  $Y = 1$ 。由于下面两个恒等式

$$3 \times \left(\frac{2}{3}\right) = 3 \times \left(\frac{1}{3}\right) + 1$$

及

$$3 \times \left(\frac{2}{3}\right)^2 = 3 \times \left(\frac{1}{3}\right)^2 + 1^2,$$

容易证明所有的三角反常项在把各种多重态加起来以后将完全消去。

对比以上的数字,我们看到明显的交换对称性质,即将左右换成高低,  $S$  换成  $Y$ ,  $SU(3)_f$  的表示换成  $SU(3)_c$  的表示,所有态的量子数不变。

由于  $S$  只作用在  $SU(3)_f$  的表示上,可以认为  $U_S(1)$  和  $SU(3)_f$  合成为一个群  $U(3)_f$ , 同样  $Y$  只作用在  $SU(3)_c$  的表示上,因此  $U_Y(1)$  和  $SU(3)_c$  合成  $U(3)_c$ 。

如果限制在规范场和费米场中,假定对称性由于某种动力学原因而自发破缺,则由以上的讨论有可能用  $U(3)_f \otimes U(3)_c$  构成一个强弱电统一模型的规范群,拉氏量具有某种色和味的交换对称性。自发破缺的顺序应当是  $U_S(1)$  先破缺,它的规范场获得很大的质量  $m_s$ , 这个质量是应当比 100GeV 大得多。这个  $U_S(1)$  的自发破缺同时解除了味规范群和色规范群之间的对称,但仍有一个整体  $U_S(1)$  对称性保留下来,因为  $U_S(1)$  规范场的质量项并不破坏  $U_S(1)$  的整体对称,而只破坏它的局域对称。在局域  $U_S(1)$  对称性破坏后,余下的局域对称群为  $SU(3)_f \otimes U_Y(1) \otimes SU(3)_c$ , 这就是我们在文献[1]中讨论的模型的规范群。已经在文献[1]中指出,这个模型在低能范围内给出的带电流和 Weinberg-Salam 模型一样,Weinberg 角满足限制条件  $\sin^2 \theta_w \leq \frac{1}{4}$ 。当  $\sin^2 \theta_w$  略小于 1/4 时,中性流和标准模型比较只多一个小的改正项,它可以由更准确的实验来检验。

在 Weinberg-Salam 模型提出之后<sup>[2]</sup>,有许多人研究强弱电相互作用的统一问题<sup>[3]</sup>,并已得到了许多有趣的结果。但是为了概括所有已观察到的费米子,所用的群愈来愈大,我们感到上面所叙述的味和色的对称性更像是一种互耦对称性。如果把规范场看作是圈空

间的手征场或 Goldstone 场有些道理<sup>[5-7]</sup>,那么规范场很可能是一种集体激发的场。在这种情况下,味和色的交换对称性的发生也可能有更深的原因,统一强弱电相互作用也许不需要用很大的对称群,而是要联系到物质结构的下一个层次去解决。

### 参 考 文 献

- [1] 周光召、高崇寿,中国科学,1980年,第3期。SLAC-PUB-2449.
- [2] S. Weinberg. *Phys. Rev. Lett.*, **19**(1967), 1264; A. Salam, "Elementary Particle Theory" ed. by Swarholm, Stockholm (1968), S. L. Glashow, *Nucl. Phys.*, **22**(1961), 579.
- [3] H. Georgi and S. L. Glashow, *Phys. Rev. Lett.*, **32**(1974), 438; H. Fritzsch and P. Minkowski, *Ann. of Phys.*, **93**(1975), 193.
- [4] J. C. Pati and A. Salam. *Phys. Rev.*, **D8**(1973), 1240; *ibid.*, **D10**(1974), 275.
- [5] Polyakov, 在国际轻子和光子会议上的报告,1979。
- [6] E. Corrigan and B. Hassiacher, *Phys. Lett.*, **81B**(1979), 181; Y. Nambu. *Phys. Lett.*, **80B**(1979), 372; J. L. Gervais and A. Neveu, *Phys. Lett.*, **80B**(1979), 255.
- [7] F. Gliozzi, T. Regge and M. A. Virasoro, *Phys. Lett.*, **81B**(1979), 178.

## IS THERE ANY SYMMETRY BETWEEN FLAVOUR AND COLOUR GAUGE INTERACTIONS?

ZHOU GUANG-ZHAO

(*Institute of Theoretical Physics, Academia Sinica*)

GAO CHONG-SHOU

(*Peking University*)

### ABSTRACT

The electro-weak model in  $SU(3) \times U(1)$  is extended to include strong interaction. A possible exchange symmetry between the flavour and the colour gauge interactions is discussed.