

一个具有三代家族的夸克和轻子的复合模型

杨新娥

(天津大学)

摘 要

为了解释家族问题,本文提出了一个具有 $SU(3)_{sc} \times SU(6)$ 规范对称的夸克和轻子的复合模型. 组成夸克和轻子的成份 (preon) 是两类无质量自旋为 $1/2$ 的费米子. 运用费米原理于超色单态的 preon 复合体系,可以产生与实验观测以及宇宙大爆炸理论预言符合的三代轻的夸克和轻子家族. 弱玻色子也是由同一组 preon 组成的复合粒子. 弱相互作用不是 preon 层次的基本相互作用. 在 preon 能标,没有质子衰变的困难.

一、引 言

近几年来,复合夸克和轻子的研究已经引起了人们的关注,成为粒子物理中重要的新方向之一. 至今为止,国内外已提出了各种复合模型和理论^[1]. 我们知道,由于夸克和轻子数目的增多以及它们对称性质的发现,可以认为,它们是由更基本的粒子 (preon) 组成的. 这样,也就产生了应当用什么样的动力学去描述 preon 的问题. 这个新的束缚态问题跟以往原子、分子束缚态不同之处在于,夸克和轻子的大小比它们的 Compton 波长小得很多. 此外,由于三代费米子性质相同,仅质量有差别,又要求动力学必须有精细的质量调节机制. 因此,当我们研究复合夸克和轻子的问题时,应当能够解释夸克和轻子在 preon 层次大标度下无质量的性质. 同时,还必须建立能产生三代夸克和轻子及其质量的动力学机制. 这些十分困难的问题近两、三年来已有不少人作了试探性的讨论^[2].

本文提出一个 $SU(3)_{sc} \times SU(6)$ 模型. 运用费米原理和 'tHooft 自洽条件预言了与实验符合的三代夸克和轻子. 在第二节中将给出模型的群结构和 preon 的量子数以及所采用的假设,并具体构造复合夸克和轻子,讨论低能弱作用的性质如弱同位旋对称性,弱玻色子的组成. 最后一节给出简要的结论.

二、 $SU(3)_{sc} \times SU(6)$ 模型

本模型引进两类自旋 $1/2$ 的手征粒子 T 、 V (统称 preon), 它们分别按照规范群

第
基于
 $\bar{T}_L \bar{V}$

$SU(3)_{sc} \times SU(6)$ 的 $(3, 6)$ 和 $(3, \bar{6})$ 表示变换, 其中, $SU(3)_{sc}$ 是渐近自由的超色群, 具有 $SU(3)_{sc}$ 禁闭规范作用的超色力很强, 它将 preon 束缚成轻子、夸克和弱玻色子. $SU(6)$ 是超味群. 理论反常为零^[3]. 基本理论不具有弱同位旋对称性, 低能弱作用来自超色剩余作用. 各 T, V 的量子数见附录的表 1.

为了考察模型可能产生的复合费米子数目, 我们将费米原理推广到下一层次, 要求由三个 preon 组成的超色单态自旋是 1/2 并且对超色、超味和洛伦兹自由度全反对称(空间部分取对称波函数)^[4]. 随后按 $SU(6) \rightarrow SU(3)_c \times SU(3)_H \times U(1)$ 的方式分解符合费米对称性的所有费米超色单态. 根据模型的要求: 同一代费米子来自 $SU(6)$ 的同一个表示并且按照 $SU(3)_H$ 的相同表示变换. 结果得到了与实验观测相符的三代轻的家族.

它们
按 S

首先, 我们考察复合费米子的数目: 由 T, V 量子数可知, 三个 preon 组成的超色单态是,

$$TTT \quad \bar{V}\bar{V}\bar{V} \quad \bar{T}\bar{V}\bar{V} \quad VTT$$

它们在 $SU(6)$ 中的表示分别是

$$6 \times 6 \times 6 \quad \bar{6} \times \bar{6} \times \bar{6} \quad \bar{6} \times 6 \times 6 \quad 6 \times 6 \times 6$$

随后, 应用费米原理讨论上述费米复合体系. 先看 TTT 和 $\bar{V}\bar{V}\bar{V}$, 其空间部分取对称态, 当超色取单态时, 剩下的 $SU(6) \times SL(2, c)$ (洛伦兹群 $SL(2, c)$ 表示自旋自由度必为对称的, 可用杨图 $\begin{array}{|c|c|} \hline & \\ \hline & \\ \hline \end{array}$ 表示, 为了求得 $TTT(VVV)$ 在 $SU(6)$ 中的量子数, 将 $\begin{array}{|c|c|} \hline & \\ \hline & \\ \hline \end{array}$ 按 $SU(6) \times SU(2) - L \times SU(2) - R [SU(2) - L \times SU(2) - R$ 代表洛伦兹群] 分解, 得到以下左手态

由上
3)和
SU(

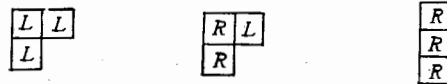


图 1

为使复合轻子和夸克在低能有正确的弱同位旋量子数, 我们选取 TTT 和 $\bar{V}\bar{V}\bar{V}$ 及其

T_c 和
如下

共轭态的 $U(1)$, 量子数为 ± 1 , 这就排除了 $\begin{array}{|c|c|} \hline L & L \\ \hline L & \\ \hline \end{array}$ 及其共轭态.

对于 $\bar{T}\bar{V}\bar{V}$ 和 VTT , 我们把这两类复合粒子中的 (TT) 和 $(\bar{V}\bar{V})$ 看作是与 T_L ($T_R T_R$) 和 \bar{V}_L ($\bar{V}_R \bar{V}_R$) 中出现的 (TT) 和 $(\bar{V}\bar{V})$ 相同的洛伦兹标量 “dipreon”. 当超色群是 $SU(3)_{sc}$ 时, “dipreon” 的超色、洛伦兹自由度和超味自由度都取反对称态, 于是, $\bar{T}\bar{V}\bar{V}$ 和 VTT 在 $SU(6)$ 的表示如图 2

$U(1)$
后所

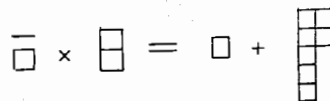


图 2

基于与 TTT 同样的理由, 我们也规定它们的 $U(1)$, 量子数是 ± 1 , 因此, 左手态是 $\bar{T}_L \bar{V}_L \bar{V}_L, V_L T_L T_L$.

综上所述, 可知满足费米原理的三个 preon 复合体系为图 3



图 3

它们的维数分别是

$$6 \quad 20 \quad 70 \quad 84$$

按 $SU(6) \rightarrow SU(3)_c \times SU(3)_H \times U(1)$ 分解以上四个表示

$$\underline{6} \rightarrow (\underline{3}, 1) + (1, \underline{3})$$

$$20 \rightarrow (1, 1) + (1, 1) + (\underline{3}, \bar{\underline{3}}) + (\bar{\underline{3}}, \underline{3})$$

$$70 \rightarrow (\underline{8}, 1) + (\bar{\underline{3}}, \underline{3}) + (\underline{3}, \bar{\underline{3}}) + (\underline{6}, \underline{3}) + (\underline{3}, \underline{6}) + (1, \underline{8})$$

$$84 \rightarrow (\bar{\underline{3}}, \bar{\underline{3}}) + (\bar{\underline{3}}, \bar{\underline{3}}) + (\underline{8}, \underline{3}) + (\underline{3}, \underline{8}) + (1, \underline{3})$$

$$+ (\underline{3}, 1) + (1, \bar{\underline{6}}) + (\bar{\underline{6}}, 1)$$

由上分解可知, 符合本模型“要求”的只有 84 维表示, 它产生了三代轻的轻子和夸克 $(1, \underline{3})$ 和 $(\underline{3}, \underline{3})$. 其组成是 TVV 和 VTT , 三代按 $SU(3)_H$ 的 $\underline{3}$ 变换.

现在, 我们给出复合轻子, 夸克和外来粒子 (exotic) 的组成及量子数. 将 T, V 按 $SU(3)_c \times SU(3)_H \times U(1)$ 分解, 得

$$T = (\underline{3}, \underline{6}) \rightarrow (\underline{3}, \underline{3}, 1) + (\underline{3}, 1, \underline{3}) = T_c + T_g$$

$$V = (\underline{3}, \bar{\underline{6}}) \rightarrow (\underline{3}, \bar{\underline{3}}, 1) + (\underline{3}, 1, \bar{\underline{3}}) = V_c + V_g$$

T_c 和 V_c 带色, T_g, V_g 代表水平对称性.

84 表示产生的轻子和夸克的 preon 组成及其 $SU(3)_{sc} \times SU(3)_c \times SU(3)_H$ 量子数如下:

$$(1, 1, \underline{3})$$

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e^- \end{pmatrix}_L \sim \begin{pmatrix} V_{cL} & T_{cL} & T_{gL} \\ \bar{T}_{cL} & \bar{V}_{cL} & \bar{V}_{gL} \end{pmatrix}$$

$$(1, \underline{3}, \underline{3})$$

$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}_L \sim \begin{pmatrix} T_{gL} & V_{cL} & V_{cL} \\ \bar{V}_{gL} & \bar{T}_{cL} & \bar{T}_{cL} \end{pmatrix}$$

我们也可以利用 'tHooft 的反常自洽条件来讨论无质量复合费米子谱. 考虑 $U(1)_p, U(1)_D, U(1)$, 和 $U(1)_p U(1)_D U(1)$, 反常方程, 令 84 维表示作 $SU(3)_c \times SU(3)_H$ 分解后所得的超色单态指标为 l_i :

$$(\bar{\underline{3}}, \bar{\underline{3}})_1, (\bar{\underline{3}}, \bar{\underline{3}})_2, (1, \underline{3}) \quad (\underline{8}, \underline{3}) \quad (\underline{3}, \underline{8}) \quad (\underline{3}, 1) \quad (1, \bar{\underline{6}}) \quad (\bar{\underline{6}}, 1)$$

$$\bar{T}\bar{V}\bar{V} \quad l_1 \quad l_3 \quad l_5 \quad l_5 \quad l_7 \quad l_9 \quad l_{11} \quad l_{13}$$

$$VTT \quad l_2 \quad l_4 \quad l_6 \quad l_6 \quad l_8 \quad l_{10} \quad l_{12} \quad l_{14}$$

具
子.
自超

求由
:(空
符合
司一
内家

色单

取对
自由
量子
R代

及其

于
当超
于

写出两个反常方程为

$$4 = 3l_1 + 3l_2 + 3l_3 + 3l_4 + 8l_5 + 8l_6 + 8l_7 + 8l_8 + l_9 + l_{10} + 2l_{11} + 2l_{12} + 2l_{13} + 2l_{14},$$

$$4 = 3l_1 + 3l_2 - 6l_3 - 6l_4 - 8l_7 - 8l_8 - l_9 - l_{10} - 2l_{13} - 2l_{14},$$

我们取 $l_3 = l_4 = l_5 = l_6 = 1$, 可以得到三代夸克和轻子, 此外, 模型还有色 8 的轻子, 分数电荷 ($Q = 2/3$) 的色单态费米子. 一些重的外来粒子 (l_7 或 l_8 等对应的费米子) 在低能不产生效应. 主要的复合费米子谱见附录表 2.

低能下, 两个超色单态例如轻子复合态之间会出现一种复杂的超色力的剩余效应, 我们把这种剩余作用称为低能弱作用, 这种弱力只出现在低能有效理论中, 它不是自然界的一种基本相互作用.

由于复合 u 和 d (以及 ν_e 和 e) 除了电荷, 其它量子数相同, 所以在等效拉氏量 L_{eff} 中, 除了与光子耦合的项之外, 其余所有的项在一个整体 $SU(2)$ 下是不变的, 因此, 在这个对称性下, u 和 d 形成了一个二重态. 考虑到 T, V 无质量, 整体对称性实际上是 $SU(2)_L \times SU(2)_R$. 定义它们的第三分量分别为

$$I_{3L} = \frac{1}{4}(p + y) + \frac{1}{2}S, \quad I_{3R} = \frac{1}{4}(p - y) - \frac{1}{2}S,$$

定义 B-L 如下:

$$Q = I_{3L} + I_{3R} + \frac{1}{2}(B - L)$$

Q 为 $U(1)_{em}$ 的荷. p 和 y 分别是 $U(1)_p$ 和 $U(1)_y$ 的荷. S 表示 preon 的超荷数, 本模型在亚层次引入一个整体手征对称 $U(1)_s$.

弱玻色子也是由 T, V 组成的复合粒子,

$$W_L^+ \sim (T_{cL}T_{cL}T_{gL}V_{cL}V_{cL}V_{gL})$$

$$W_L^- \sim (\bar{T}_{cL}\bar{T}_{cL}\bar{T}_{gL}\bar{V}_{cL}\bar{V}_{cL}\bar{V}_{gL})$$

$$W_L^3 \sim (\bar{T}_L T_L + \bar{V}_L V_L)$$

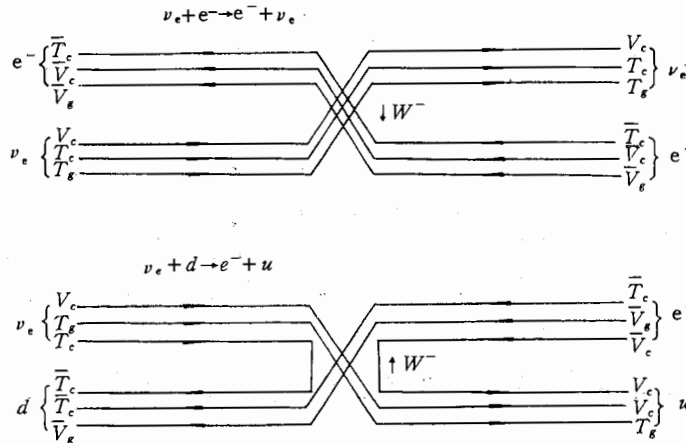


图 4

第
右
域
知,
的
电
所
论
将
超
减
变
pre
T
V
T
V
T
V
表
与
J_{ax}

右手弱玻色子可将上组成中 $L \rightarrow R$ 得到。 $W_{L,R}^{\pm}$, $W_{L,R}^0$ 的耦合与 $SU(2)_L \times SU(2)_R$ 定域规范理论的耦合相同。因为轻子和层子质量 $\ll \Lambda_{sc}$, 由 Veltman 和 'tHooft 的讨论可知, 基本理论的拉氏量如果可以重整, 则它的等效理论的 L_{eff} 也是可重整的。这样, L_{eff} 的 $SU(2)_L \times SU(2)_R \times U(1)_{B-L}$ 应当是一个定域规范对称群, 于是, 它将成为 W-S 弱电理论的一个扩充^[3]。最后, 可以采用 DSB 机制使弱玻色子获得质量^[5]。

一些弱作用过程可以用组元交换图象表示, 质子在组元交换的图象下是不能衰变的, 所以本模型不存在质子衰变的困难。

三、结 论

本文提出一个能产生三代轻的复合轻子和夸克的模型, 与实验观测和宇宙大爆炸理论的预言符合。基本理论的规范对称群是 $SU(3)_{sc} \times SU(6)$ 和 $U(1)_{em}$ 电磁群。超色力将三个 preon 束缚成轻子和夸克, 合理地产生了它们的量子数。我们设想低能弱作用是超色力的剩余效应, 它不是基本相互作用, 这样, 既可以减少基本相互作用的种类, 又可以减少基本规范介子的数目。由组元交换图象可以解释各种低能反应。模型不存在质子衰变的困难。

附 录

表 1 preon 量子数

preon	$SU(3)_{sc}$	$SU(6)$	$U(1)_p$	$U(1)_D$	$U(1)_y$	$U(1)_x$	$U(1)_s$	$U(1)_{em}$
T_L	$\underline{3}$	$\underline{6}$	$1/3$	$1/3$	1	1	$T_{cL} -1/2$ $T_{gL} 0$	$1/9$ $-8/9$
V_L	$\underline{3}$	$\bar{\underline{6}}$	$1/3$	$-1/3$	-1	1	$V_{cL} 1/2$ $V_{gL} 0$	$7/9$ $1/9$
T_R	$\underline{3}$	$\underline{6}$	$1/3$	$1/3$	-1	-1	与 T_L 反号	同 T_L
V_R	$\underline{3}$	$\bar{\underline{6}}$	$1/3$	$-1/3$	1	-1	与 V_L 反号	同 V_L
\bar{T}_L	$\bar{\underline{3}}$	$\underline{6}$	$-1/3$	$-1/3$	1	1	同 T_L	与 T_L 反号
\bar{V}_L	$\bar{\underline{3}}$	$\underline{6}$	$-1/3$	$1/3$	-1	1	同 V_L	与 V_L 反号
\bar{T}_R	$\bar{\underline{3}}$	$\bar{\underline{6}}$	$-1/3$	$-1/3$	-1	-1	同 T_R	同 \bar{T}_L
\bar{V}_R	$\underline{3}$	$\underline{6}$	$-1/3$	$1/3$	1	-1	同 V_R	同 \bar{V}_L

表中, $T_L, V_L, \bar{T}_L, \bar{V}_L$ 及相应的右手粒子分别按照洛伦兹群的 (\square, \bullet) 和 (\bullet, \square) 变换, 与 $U(1)_p, U(1)_D, U(1)_y$ 和 $U(1)_x$ 对应的流是

$$J_{\mu p} = \frac{1}{3} (\bar{T} \gamma_{\mu} T + \bar{V} \gamma_{\mu} V) \quad J_{\mu D} = \frac{1}{3} (\bar{T} \gamma_{\mu} T - \bar{V} \gamma_{\mu} V)$$

$$J_{\mu y}^A = \bar{T} \gamma_{\mu} \gamma_5 T - \bar{V} \gamma_{\mu} \gamma_5 V \quad J_{\mu x}^A = \bar{T} \gamma_{\mu} \gamma_5 T + \bar{V} \gamma_{\mu} \gamma_5 V,$$

$J_{\mu z}^A$ 守恒被瞬子效应破坏, 退化为分立对称 z 。

表2 复合费米子量子数

$SU(3)_c \times SU(3)_H$		I_{3L}	I_{3R}	Q	$B-L$
$(\underline{1}, \underline{3})$	$V_{cL} T_{cL} T_{gL}$	1/2	0	0	-1
	$\bar{T}_{cL} \bar{V}_{cL} \bar{V}_{gL}$	-1/2	0	-1	-1
$(\underline{3}, \underline{3})$	$T_{gL} V_{cL} V_{cL}$	1/2	0	2/3	1/3
	$\bar{V}_{gL} \bar{T}_{cL} \bar{T}_{cL}$	-1/2	0	-1/3	1/3
$(\underline{8}, \underline{3})$	$V_{cL} T_{cL} T_{gL}$	1/2	0	0	-1
	$\bar{T}_{cL} \bar{V}_{cL} \bar{V}_{gL}$	-1/2	0	-1	-1
$(1, \underline{6})$	$T_{gL} T_{gL} V_{gL}$	1/2	0	2/3	1/3
	$\bar{V}_{gL} \bar{V}_{gL} \bar{T}_{gL}$	-1/2	0	-5/3	-7/3

参 考 文 献

- [1] J. C. Pati and A. Salam, *Phys. Rev.*, **D10**(1974), 275; H. Harari, *Phys. Lett.*, **86B**(1979), 83; H. Terazawa, *Phys. Rev.*, **D22**(1980), 184; O. W. Greenberg and Joseph Sucher, *Phys. Lett.*, **99B**(1981), 339; H. Fritzsch and G. Mandelbaum, *Phys. Lett.*, **102B**(1981), 319; R. Barieri and R. N. Mohapatra and A. Masiero, *Phys. Lett.*, **105B**(1981), 369.
- [2] W. Buchmuller, R. D. Peccei and T. Yanagida, *Nucl. Phys.*, **231**(1984), 53; J. Goity, R. D. Peccei and D. Zeppenfeld, DESY Preprint 85-051; A. Masiero, R. Pettorino, M. Roncadell and G. Veneziano, *Nucl. Phys.*, **B261**(1985), 633.
- [3] H. Harari and N. Seiberg, *Nucl. Phys.*, **B204**(1982), 141.
- [4] R. Casalbuoni and R. Gatto, *Phys. Lett.*, **93B**(1980), 47; C. H. Albright, B. Schrempp and F. Schrempp, *Phys. Rev.*, **D26**(1982), 1737.
- [5] L. Susskind, *Phys. Rev.*, **D20**(1979), 2619.

THE COMPOSITE MODEL OF QUARKS AND LEPTONS WITH THREE GENERATIONS

YANG XINE

(Tianjin University)

ABSTRACT

A composite model with the gauge group $SU(3)_c \times SU(6)$ is proposed to explain the family problem. Quarks and leptons are composed of two kinds of massless spin-1/2 preons. Applying Fermi principle and 'tHooft consistency conditions to supercolor-singlet preon composite systems, three generations of quarks and leptons, as required by the experimental observations and the expectation of the Big Bang theory are constructed. Weak bosons are also composed of the same set of preons. This model interprets the low energy weak interaction and does not lead to any difficulty of proton decay.

问题;
来,一
相和
空间
时空
;
人们
中,其
析了;
法,他
的全
;
般类型
方法
庸的