

一种层子和轻子的结构模型

徐 德 之

(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

提出了一种亚层子模型。层子和轻子是由 rishon T 和 V 组成的。T 和 V 是 $SU_H(3) \times SU_C(3) \times SU_C(2) \times SU(2) \times U(1)$ 群的多重态, 由这些多重态可以自然地得到三代层子和轻子。在此模型中质子衰变为 $\mu^- e^+ e^+$ 或 $e^- \mu^+ \mu^+$ 。

由于 ϕ 及 τ 的发现, 使层子的数目已增加到五个, 并且人们还认为有第六个层子 t 。同时, 轻子的数目也已有五种, 很可能还有 ν_τ 。这些层子和轻子各分成三代, 并且很对称。到目前为止它们还都可以看成点粒子, 它们的结构只能在 $< 10^{-16} \text{cm}$ 范围内显示出来。所有这些类似性, 使我们可以认为层子和轻子是属于同一层次的粒子, 它们由同样一些更为基本的粒子所构成。近年来人们提出了各种亚层子模型^[1-3], 如 Harari^[4,5] 提出层子和轻子是由两种称为 rishon 的基础粒子构成的, 他记为 T 和 V。轻子是由三个 T 或三个 V 构成的, 而层子是由 TVV 或 TTV 构成的。但这个模型只能构成一代。如果要讨论不同的代, 就要引进别的假设, 如认为第二、三代是第一代的激发态等。

本文把 T、V 取成 $SU_H(3) \times SU_C(3) \times SU_C(2) \times SU(2) \times U(1)$ 群的多重态, 从而自然地导出了层子和轻子有三代。这里 $SU_C(3)$ 、 $SU(2)$ 群就是色群和弱同位旋群。 $U(1)$ 是超荷群。 $SU_H(3)$ 是超色群, 它的规范场使 T、V 结合成稳定的层子和轻子, 其耦合强度是很大的, 且具有禁闭性。 $SU_C(2)$ 称为代旋群, 它的多重态的各个分量构成了层子和轻子的不同的代。由于 $SU_C(2)$ 旋是守恒的, 所以我们可以得到以前要用 e 、 μ 、 τ 数守恒来得到的结论, 也就不必要再引入这些轻子数了。

T 和 V 都是费米子, 它们填入如下的多重态中(见表 1)。

表 1

	$SU_H(3)$	$SU_C(3)$	$SU_C(2)$	$SU(2)$
T	$\underline{3}$	$\underline{1}$	$\underline{2}$	$\underline{2}$
V	$\underline{3}$	$\underline{3}$	$\underline{1}$	$\underline{2}$

它们的电荷分别为 $\left(\frac{2}{3}, -\frac{1}{3}\right)_T$ 和 $\left(\frac{1}{3}, -\frac{2}{3}\right)_V$ 。 $SU_H(3)$ 、 $SU_C(3)$ 、 $SU_C(2)$ 多重态的

本文 1982 年 6 月 22 日收到。

不同分量具有同样的电荷。

T 和 V 没有重子数和轻子数, 但我们可以定义量子数 $B - L$:

$$(B - L)_T = \frac{1}{3} \quad (B - L)_V = -\frac{1}{3} \quad (1)$$

层子和轻子的 $B - L$ 数则分别为

$$(B - L)_q = \frac{1}{3} \quad (B - L)_l = -1 \quad (2)$$

并有关系

$$Q = t_3 + \frac{1}{2}(B - L) \quad (3)$$

t_3 为 $SU(2)$ 群的无穷小算子。我们还可引入 T 数和 V 数

$$\begin{aligned} T &= n(T) - n(\bar{T}) \\ V &= n(V) - n(\bar{V}) \end{aligned} \quad (4)$$

它们和 $B - L$ 有如下的关系:

$$T - V = 3(B - L) \quad (5)$$

$B - L$ 是守恒的, 但 B 、 L 不一定分别守恒。

T 和 V 的定域规范不变的拉氏量为

$$\begin{aligned} \mathcal{L} &= i\bar{T} \left(\hat{\partial} - \frac{i}{2} g_H \lambda^i \hat{H}^i - \frac{i}{2} g_G \vec{r} \cdot \hat{C} - \frac{i}{2} g_2 \vec{r} \cdot \hat{A} - \frac{i}{6} g_1 \hat{B} \right) T \\ &+ i\bar{V} \left(\hat{\partial} - \frac{i}{2} g_H \lambda^i \hat{H}^i - \frac{i}{2} g_3 \lambda^i \hat{G}^i - \frac{i}{2} g_2 \vec{r} \cdot \hat{A} + \frac{i}{6} g_1 \hat{B} \right) V \end{aligned} \quad (6)$$

我们看到在这样的拉氏量下, T 数和 V 数是分别守恒的。

下面我们用 T 和 V 来构成束缚态。因为 $SU_H(3)$ 群具有禁闭性, 故这些束缚态应是它的单态。这样的单态有两类, 一类是由正反 rishon 构成的玻色子 $T\bar{T}$ 、 $V\bar{V}$ 、 $T\bar{V}$ 、 $V\bar{T}$, 我们认为它们是 Higgs 粒子。另一类是由三个 rishon 构成的费米子。由 T 和 V 可构成如下四类由三个 rishon 构成的束缚态:

- (1) TTT (2) VVV
(3) TVV (4) TTV

这四类粒子所能组成的 $SU_c(3)$ 及 $SU_c(2)$ 多重态如表 2 所示。

表 2

	TTT	VVV	TVV	TTV
$SU_c(3)$	1	$1 \oplus \underline{8} \oplus \underline{8} + 10$	$3^* \oplus \underline{6}$	3
$SU_c(2)$	$2 \oplus 4$	1	2	$1 \oplus 3$

我们认为低维表示的能量是比较低的, 所以当三个 rishon 可以组合成几个多重态时, 它将处于低维表示中。于是 TTT 及 VVV 是 $SU_c(3)$ 的单态, 它们应是轻子。TVV 及 TTV 分别是 $SU_c(3)$ 的 3^* 和 $\underline{3}$ 重态, 它们应是层子。TTT 及 TVV 是 $SU_c(2)$ 的二重

态,它们分别是两代轻子和层子. VVV 及 TTV 是 $SU_c(2)$ 的单态,它们分别是一代轻子和层子. 所以在我们的模型中总共应有三代轻子和三代层子. 下面我们来讨论它们怎样放置于 $SU_c(2)$ 的单态和二重态中.

因为拉氏量(6)是 $SU_c(2)$ 变换下的不变量,所以 $SU_c(2)$ 旋是守恒的. 但奇异数不守恒的过程将使 $SU_c(2)$ 旋不守恒,因而奇异数不守恒的过程就不能发生了. 为了解释这种过程,我们必须引入 Cabibbo 角,即用 d_c 及 s_c 来代替 d 及 s

$$\begin{aligned} d_c &= d \cos \theta_c + s \sin \theta_c \\ s_c &= -d \sin \theta_c + s \cos \theta_c \end{aligned} \quad (7)$$

由于层子的 $SU_c(2)$ 单态由 TTV 构成,而二重态由 TVV 构成,它们是由不同的 rishon 构成的,无法作这种叠加,所以 s 和 d 应都属于二重态. 于是层子的放置方式只能是

$$\text{TVV 二重态: } \begin{pmatrix} \bar{s}_c \\ \bar{c} \\ \bar{d}_c \\ \bar{u} \end{pmatrix} \quad \text{TTV 单态: } \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}$$

但轻子的放置方式可以有三种,因为随便哪一代都可放于单态中,而另外的两代就放于二重态中. 这三种放置方式将在纯轻子过程和半轻子过程中引起不同的结果.

对于纯轻子过程,由于要求 $SU_c(2)$ 旋守恒和 T、V 数守恒,使允许和禁戒的过程就是从要求 μ 、 e 、 τ 数守恒所得到的,但费曼图有些不同. 如对过程 $\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu$, 在 (ν_τ, τ^-) 放于单态的情况中,除了通过 W^\pm 进行外,还可通过 C 规范场来进行(但对另外两种情况仍只能通过 W^\pm 来进行). 不过只要 C 规范场的质量很大,则此费曼图的贡献就很小,使计算结果没有什么不同.

对半轻子过程,情况比较复杂. C 规范场可导致 e 、 μ 、 τ 数不守恒的过程. 如当 (ν_τ, τ^-) 放于单态中,另外两代放于二重态中时,可有如下的过程:

$$\begin{aligned} \pi^+ &\rightarrow \mu^+ \nu_e, e^+ \nu_\mu, \\ \bar{\nu}_\mu p &\rightarrow e^+ n. \end{aligned}$$

当 (ν_μ, μ^-) 放于单态中,其余两代放于二重态中时,可有如下的过程:

$$\begin{aligned} \pi^+ &\rightarrow e^+ \nu_\tau, \\ \bar{\nu}_e p &\rightarrow \tau^+ n. \end{aligned}$$

当 (ν_e, e^-) 放于单态中,其余两代放于二重态中时,可有如下的过程:

$$\begin{aligned} \pi^+ &\rightarrow \mu^+ \nu_\tau, \\ \bar{\nu}_\mu p &\rightarrow \tau^+ n. \end{aligned}$$

不过只要 C 规范场的质量很大,它们的发生几率是很小的. 因为这种过程在别的理论中是绝对禁戒的,所以这些过程可用来检验本模型,并可用来确定轻子在 $SU_c(2)$ 的多重态中应怎样放置.

由于在本模型中,和 W^\pm, Z 耦合的层子等效流和 GIM 模型^[6]中的等效流是一样的,所以 $K^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-, e^+ e^-$ 等过程仍是禁戒的.

这个模型预言的一个使人感兴趣的过程是质子的衰变. 当将 (ν_μ, μ) 放于单态中

时,质子将衰变为

$$p \rightarrow e^- \mu^+ \mu^+$$

当将 (ν_e, e^-) 放于单态中时,质子将衰变为

$$p \rightarrow \mu^- e^+ e^+$$

这两种衰变中有两对 T、V 发生交换,这主要是通过 $(T\bar{V})$ 及 $(V\bar{T})$ 来进行的. 以 $p \rightarrow \mu^- e^+ e^+$ 衰变为例,将所有的粒子都用 T、V 写出时,此过程可写为

$$(\bar{T}\bar{V}\bar{V})(\bar{T}\bar{V}\bar{V})(\bar{T}\bar{V}\bar{V}) \rightarrow (\bar{T}\bar{T}\bar{T}) + (\bar{V}\bar{V}\bar{V}) + (\bar{V}\bar{V}\bar{V})$$

它的费曼图如图 1 所示. 我们看到在三个层子间交换了两次 $(T\bar{V})$, 所以质子的衰变几率应正比于 $(g/M_H)^8$, 其中 M_H 是粒子 $T\bar{V}$ 的质量, g 是费米子 T、V 和粒子 $(T\bar{V})$ 的耦合常数. 因为质子的寿命长于 10^{30} 年^[7], 故 $g/M_H < 10^{-7}(\text{GeV})^{-1}$.

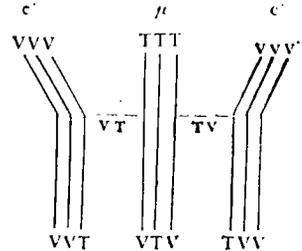


图 1

从上面的讨论中,我们可总结出这样几点: 引进了 $SU_c(2)$ 群后,可以得到三代轻子和三代层子. $SU_c(2)$ 旋的守恒可以用来代替 e, μ, τ 数的守恒. 最后还预言了和大统一模型不同的质子衰变.

参 考 文 献

- [1] Michael A. Shupe, *Phys. Lett.*, **86B**(1979), 87.
- [2] Eytan Alster, *Phys. Lett.*, **109B**(1982), 471.
- [3] J. M. Gerard, J. Govaerts, and Weyers, *Phys. Lett.*, **109B**(1982), 31.
- [4] H. Harari, *Phys. Lett.*, **86B**(1979), 83.
- [5] H. Harari and Nathan Seibey, *Phys. Lett.*, **100B**(1981), 41.
- [6] S. Glashow, J. Iliopoulos and L. Maiani, *Phys. Rev.*, **D2**(1970), 1285.
- [7] F. Reines and M. F. Crouch, *Phys. Rev. Lett.*, **32**(1974), 493.
J. Learned, F. Reines and Soni, *Phys. Rev. Lett.*, **43**(1979), 907, 1626E.

A STRUCTURE MODEL OF STRATONS AND LEPTONS

XU DE-ZHE

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

A subquark model is proposed. According to this model, stratons and leptons are consisted of rishons T and V, which are multiplets of group $SU_H(3) \times SU_c(3) \times SU_c(2) \times SU(2) \times U(1)$. Three generations of both stratons and leptons are obtained naturally. In this model, proton decay modes are $\mu^- e^+ e^+$ or $e^- \mu^+ \mu^+$.