第4卷 第4期　高能物理与核物理　Vol. 4, No. 4
1980年7月　PHYSICA ENERGIAE FORTIS ET PHYSICA NUCLEARIS　July, 1980

一个利用水平规范计算 K-M 矩阵的方案

吴丹迪　李铁忠
(中国科学院高能物理研究所)

摘　要

本文给出一个利用水平规范计算 K-M 矩阵的方案,并得到

$$s_1 = \sqrt{2}\, m_d/m_s, \quad s_2 \approx s_3 \approx \frac{m_s^2}{\sqrt{2}\, m_b^2},$$

b 夸克的主要衰变道 $b \to u + W^-$.

近年来支持弱电统一的规范理论(W-S 模型或 $SU(2)_L \times U(1)$ 模型)的实验似乎愈来愈多[1],对这个理论的兴趣也与日俱增. 各种补充这个理论的方案属于最热烈的讨论课题. 仅就最近的动态,这些方案有:(i) 用一个半单规范群来统一弱作用、电磁作用和强作用[2];(ii) 恢复原始的左右对称性,而把宇称不守恒作为一个自发破坏效应[3];(iii) 利用费米子之间的新的对称性(指除了 $SU(2)_L \times U(1)$ 以外的对称性),包括分立对称性[4]和规范化的连续对称性[5],建立 K-M 矩阵[6]与夸克质量之间的关系;(iv) 引进新的层次,即把费米子、规范粒子和 Higgs 粒子都当作由更基本的质点构成的复合粒子,简化整个图象[7].

在这篇文章里我们想就可能的新的规范化的连续对称性(水平规范)进行讨论.

我们假定有六个夸克,并把它们按下面方式排好:

$$SU_L(2)\updownarrow \underbrace{\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}_L \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}_L \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}_L}_{\longleftarrow G_H \longrightarrow}; \quad \begin{array}{c} u_R \ c_R \ t_R \\ \longleftarrow\longrightarrow \\ d_R \ s_R \ b_R \\ \underbrace{\longleftarrow\longrightarrow}_{G_H} \end{array}$$

从 $SU(2)_L$ 规范耦合来看,按水平方向计算的三套夸克可以填充某一个 G_H 的表示. 为了能在 K-M 矩阵与夸克质量之间建立关系,我们可以引进多个 Higgs 二重态,并将它们也填入 G_H 的非平庸表示中. 如果 G_H 是连续群,这样做在真空自发破坏后将产生新的 Goldstone 粒子. 为了吸收这些 Goldstone 粒子,G_H 必须是规范化的. 正如已讨论的[5],G_H 规范化以后,可能出现两个不难解决的问题: 第一是出现通过 G_H 规范粒子传递的奇异数改变的中性流,为了压低这个中性流,可以假定 G_H 规范的耦合常数很小和(或者)G_H 规范粒子的质量很大. 第二是当把水平规范 G_H 推广到轻子部分,由于在模型中不存在右手中微子,一般地将出现 Adler 反常,除非水平规范是 $SU(2)$ 群. 这似乎反而提供一

本文1979年5月16日收到.

个唯一地选择规范群 G_H 的理由，因此选 $G_H = SU(2)_H$. 而当我们讨论分立对称性时，对称群的选择却是偶然的.

选定了水平规范群，究竟有几套夸克，这些夸克填充 $SU(2)_H$ 的几维表示，对这些问题我们仍不能做任何判断. 同样是三套夸克，让我们给出一个与 Wilczek 和 Zee 不同的填充方式. 我们将会看到这样填充的某些优点，主要是除了选择特殊的真空平均值样式（许多模型都这样做了，见下文）之外，没有引进其它不自然的参数规定（参阅文献[4]对"自然性"的定义）.

夸克:

$$\psi_{1L}\{\psi_{2L}, \psi_{3L}\}, \quad \psi_{iL} = \begin{pmatrix} \mathrm{u}_i \\ \mathrm{d}_i \end{pmatrix}_L, \quad (i = 1, 2, 3)$$

$$\mathrm{u}_{1R}\{\mathrm{u}_{2R}, \mathrm{u}_{3R}\}, \quad \mathrm{d}_{1R}\{\mathrm{d}_{2R}, \mathrm{d}_{3R}\}. \tag{1}$$

Higgs 粒子:

$$\Phi = \{\phi_1, \phi_2\}, \quad \mathrm{X} = \{x_1, x_2, x_3\}, \tag{2}$$

这里 $\{A, B\}$ 与 $\{A, B, C\}$ 分别表示 $SU(2)_H$ 的二重态与三重态. 所有的 Higgs 粒子又同时填充 $SU(2)_L$ 的二维表示. 满足 $SU(2)_L \times SU(2)_H \times U(1)$ 对称的 Yukawa 耦合为:

$$\begin{aligned}\mathscr{L}_y = &- g_1\{\bar{\psi}_{1L}\phi_1\mathrm{d}_{2R} + \bar{\psi}_{1L}\phi_2\mathrm{d}_{3R}\} - g_2\{(\bar{\psi}_{2L}\mathrm{d}_{2R} - \bar{\psi}_{3L}\mathrm{d}_{3R})x_3 \\ &+ (\bar{\psi}_{2L}\mathrm{d}_{3R} + \bar{\psi}_{3L}\mathrm{d}_{2R})x_1 + (-i\psi_{2L}\mathrm{d}_{3R} + i\psi_{3L}\mathrm{d}_{2R})x_2\} \\ &- g_3\{\bar{\psi}_{2L}\phi_1\mathrm{d}_{1R} + \bar{\psi}_{3L}\phi_2\mathrm{d}_{1R}\} + h.c. + (\text{包含 } \mathrm{u}_{iR} \text{ 的项}).\end{aligned} \tag{3}$$

选取 Higgs 的真空平均值为

$$\langle\phi_1\rangle = \langle\phi_2\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ \xi e^{i\alpha} \end{pmatrix}, \quad \langle x_1\rangle = \langle x_2\rangle = \langle x_3\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ v e^{i\beta} \end{pmatrix}, \tag{4}$$

那么由(1)式产生的 d 类夸克的质量矩阵本质上只有三个任意复参数 g_1, g_2 和 g_3, u 类夸克质量矩阵则有相应的另外三个任意参数 g_1', g_2' 和 g_3', 这六个参数的绝对值将把六个夸克质量与三个 Cabibbo 角的值联起来. 当消去这六个绝对值参数时，有可能恰好把 Cabibbo 角用夸克质量表示出来.

将(4)式代入(3)式，在做一个很简单的符号变换以后，质量平方矩阵可以写为

$$M(d)M^\dagger(d) = \begin{pmatrix} 2g_1^2 & g_1g_2e^{i\phi}(2+i) & -ig_1g_2e^{i\phi} \\ g_1g_2e^{-i\phi}(2-i) & g_3^2 + 3g_2^2 & g_3^2 \\ ig_1g_2e^{-i\phi} & g_3^2 & g_3^2 + 3g_2^2 \end{pmatrix}, \tag{5}$$

这里 g_i 和 ϕ 都是实数，相应于 u 夸克有一个类似的质量平方矩阵. 用 k_i 和 l_i 分别表示夸克 d_i 和 u_i 的质量平方，并假定

$$k_1 \ll k_2 \ll k_3, \quad l_1 \ll l_2 \ll l_3, \tag{6}$$

把 $k_i/k_i + 1$ 等都当做一级小量，得到 g_i 与 k_i 的零级近似关系（高级修正也不难求出）. 作为一个可能的解是

$$g_1^2 \simeq \frac{3}{2}k_1, \quad g_2^2 \simeq k_2/3, \quad g_3^2 \simeq k_3/2. \tag{7}$$

u 类夸克的质量与相应的质量矩阵参数的关系是相似的．计算 K-M 矩阵的方法可参考[8]．我们的结果是

$$J_\mu^- W_{Li}^+ = \bar{u}_{Li}\gamma_\mu(1+\gamma_5)V_{ij}d_{Lj}W_\mu^+. \tag{8}$$

其中 K-M 矩阵 V_{ij} 为

$$(V_{ij}) = \begin{bmatrix} 1-\frac{k_1}{k_2}-\frac{l_1}{l_2}+2\sqrt{\frac{k_1 l_1}{k_2 l_2}}\,e^{i(\phi-\eta)} & \sqrt{\frac{2k_1}{k_2}}e^{i\phi'}-\sqrt{\frac{2l_1}{l_2}}e^{i\eta'} & \sqrt{\frac{k_1}{k_2}\frac{k_2}{k_3}}e^{i\phi}-\sqrt{\frac{l_1}{l_2}\frac{l_2}{l_3}}e^{i\eta} \\ \sqrt{\frac{2l_1}{l_2}}e^{-i\eta'}-\sqrt{\frac{2k_1}{k_2}}e^{i\phi'} & 1-\frac{k_1}{k_2}-\frac{l_1}{l_2}+2\sqrt{\frac{l_1 k_1}{l_2 k_2}}\,e^{i(\phi-\eta)} & O\left(\frac{k_2}{k_3}\right)^2 \\ \sqrt{\frac{l_1}{l_2}\frac{l_2}{l_3}}e^{-i\eta}-\sqrt{\frac{k_1}{k_2}\frac{k_2}{k_3}}e^{-i\phi} & O\left(\frac{k_2}{k_3}\right)^2 & 1 \end{bmatrix} \tag{9}$$

这里主对角线各项修正到一级近似，其他各矩阵元则只写出主要项，

$$\phi' = \phi + \frac{\pi}{4}, \quad \eta' = \eta + \frac{\pi}{4}.$$

让我们写出 K-M 矩阵 (9) 的某些特点，可以得到 (i) $|s_1| \approx \sqrt{\frac{2k_1}{k_2}}$，$|s_2| \approx |s_3| \approx k_2/\sqrt{2}\,k_3$；(ii) $|V_{23}| \ll |V_{13}|$，因此 $b \to u + W^-$ 是 b 夸克的主要衰变方式；(iii) b 夸克的寿命比按普适弱作用算出来的要长 $\left[\sqrt{\frac{k_1}{k_2}\frac{k_2}{k_3}}\right]^{-2} \sim 10^5$ 倍；(iv) 按 K-M 的符号[4]

$$V_{23} = c_1c_2s_3 + s_2c_3e^{i\delta}.$$

而方程 (9) 给出

$$|V_{23}| = O\left(\frac{k_2}{k_3}\right)^2$$

因此

$$|I_mV_{23}| = |s_2c_3\sin\delta| \lesssim O\left(\frac{k_2}{k_3}\right)^2,$$

K^0-$\bar{K}^0$CP 破坏参量

$$e \sim |s_2s_3\sin\delta| \sim O\left(\frac{k_2}{k_3}\right)^2 \sim 10^{-6},$$

在这个模型中 K-M 的 CP 破坏机制[6] 不足以产生需要的 CP 破坏．这并不是一个严重的问题．首先通过 $SU(2)_H$ 规范粒子传递的弱作用，给出一个 $\Delta s = 2$ 的 CP 破坏项[5]．其次，由于引进多个 Higgs 二重态，在 Yukuwa 耦合部分也有一个 $\Delta s = 2$ 的 CP 破坏弱流[9]．这两种 CP 破坏都是超弱型的[10]．顺便提一下，这个模型给出的结果恰好与作者之一以前用分立对称性 (置换群 s_3) 所得结果相似[8,9]．

参　考　文　献

[1] R. M. Barnett, SLAC-PUB-2183, 1978; S. Weinberg, Report on 19th Inter. Conf. on High

Energy Phys. (Tokyo), Sept. 1978.
[2] H. Georgi and S. L. Glashow, *Phys. Rev. Lett.*, **32**(1974). 438; H. Georgi, H. R. Quinn and S. Weinberg, *Phys. Rev. Lett.*, **33**(1974), 457.
[3] M. A. Beg, R. V. Budny. R. Mohapatra and A. Sirlin, *Phys. Rev. Lett.*, **38**(1977), 66.
[4] H. Georgi and A. Pais, *Phys. Rev.*, **D10**(1974). 539.
[5] F. Wilczek and A. Zee, *Phys. Rev. Lett.*, **42**(1979), 421.
[6] M. Kobayashi and K. Maskawa. *Progr. Theor. Phys.*, **49**(1973), 652.
[7] J. C. Pati and A. Salam, *Phys. Rev.*, **D10**(1974), 275, H. Terazawa. K. Akawa, Y. Chikashige and T. Matsuk. KEK-78-11, July. 1978.
[8] S. Pakvasa and H. Sugawara, *Phys. Lett.*, **B73**(1978), 61; Wu Dan-di, Aug. 1978, Will Appear in *High Energy Physics and Nuclear Physics* (Peking).
[9] Wu Dan-di, "Where is the Orinin of CP Violation?" Dec. 1978; Will appear in *Phys. Lett.*, B.
[10] L. Wolfenstein. *Phys. Rev. Lett.*, **13**(1964), 652.

A MODEL TO CALCULATE K-M MATRIX USING HORIZONTAL GAUGE

WU DAN-DI LI TIE-ZHONG
(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

A model of horizontal gauge is given, where $s_1 \approx \sqrt{2}\ m_d/m_s$ and $s_2 \approx s_3 \approx \frac{m_s^2}{\sqrt{2}\, m_b^2}$ and $b \to u + W^-$ is the main decay mode of the quark b.