第5卷 第3期 高能物理与核物理 Vol. 5, No. 3
1981年5月 PHYSICA ENERGIAE FORTIS ET PHYSICA NUCLEARIS May, 1981

四代层子弱耦合矩阵的问题

李铁忠
(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

本文讨论了四代层子的弱耦合矩阵的问题. 在几种可能性中，选择了四代左手流方案. 建议了一种带电弱流的耦合矩阵，它是K-M矩阵的直接推广. 为检验这个弱耦合矩阵做了两个例子. 例一，用它算了K介子衰变的CP破坏. 例二，用水平规范算出了以层子质量表示的四代弱耦合矩阵. 一点意外的收获是b层子的主要衰变道是 $b\to c+W^-$. 而在三代情况下，完全相同的方案得出的b层子的主要衰变道是: $b\to u+W^-$，因此，如果尔后的实验选择了这种水平规范的方案，那么由三代层子扩充到四代层子则找到了依据.

尽管第六种层子和 ν_τ 在实验上至今仍未发现，但人们似乎并不怀疑它们的存在. 并在弱电统一理论中将六种层子填入三个左手二重态和六个右手单态. 且有人将其称为三“代”. 在这种情况下，考虑更多层子(譬如八个层子)的问题，不一定是无益有害的，而最近确实有人在做八个层子的工作[1]，虽然也未对八个层子的存在与否给出什么理由.

严格讲，八个层子存在与否的问题谁也不知道，不仅实验还未发现，而理论上也没有找出像样的依据. QCD 的渐近自由要求层子不超过16种，而宇宙学的讨论指示轻子的数目不超过7种. 本文收获之一就是在最后一部分，对由6种层子扩充到8种层子的必要性提供了一种可能的依据. 这里我们先假定存在8种层子.

从弱电统一理论看，假如存在八种层子，已知前六种层子填充三个左手二重态和六个右手单态，即所谓三“代”，那么第七，八种层子也还有不同的几种填充方式，譬如:

1. $$\begin{pmatrix}u\\d\end{pmatrix}_L,\ \begin{pmatrix}c\\s\end{pmatrix}_L,\ \begin{pmatrix}t\\b\end{pmatrix}_L,\ \begin{pmatrix}h\\g\end{pmatrix}_L;\ \begin{matrix}u_R & c_R & t_R & h_R\\ d_R & s_R & b_R & g_R\end{matrix},$$

2. $$\begin{pmatrix}u\\d\end{pmatrix}_L,\ \begin{pmatrix}c\\s\end{pmatrix}_L,\ \begin{pmatrix}t\\b\end{pmatrix}_L,\ \begin{pmatrix}h\\g\end{pmatrix}_L;\ \begin{matrix}u_R & c_R & t_R\\ d_R & s_R & b_R\end{matrix}\ \begin{pmatrix}h\\g\end{pmatrix}_R,$$

3. $$\begin{pmatrix}u\\d\end{pmatrix}_L,\ \begin{pmatrix}c\\s\end{pmatrix}_L,\ \begin{pmatrix}t\\b\end{pmatrix}_L,\ h_L,\ g_L;\ \begin{matrix}u_R & c_R & t_R\\ d_R & s_R & b_R\end{matrix}\ \begin{pmatrix}h\\g\end{pmatrix}_R.$$

等，因高 y 反常未得到实验支持和人们目前对左手流的获得的实验支持很有信心，所以我们采用第一种方案，即四代层子的左手流方案.

填充方式确定了，耦合方式也还有许多种. 前三代带电弱流的耦合，目前最受欢迎的是K-M[2]矩阵，尽管它才得到实验的部分支持. 因此，且不管第四代与前三代如何耦合，我们必须以K-M矩阵为基础. 第四代与前三代的耦合不外两种：一是无耦合，一是有耦

本文1979年12月19日收到.

合. 无耦合情况，由第四代层子组成的强子不可能通过已知三代层子组成的强子来观测. 这种情况难以想像. 一般想来，第四代层子与前三代带电弱流总有一定的耦合. 如果这样想合理，那问题就归结为如何耦合.

我们选择的耦合方式是以三代的 K-M 矩阵为基础，并将其做一个到四代的直接的扩充. 从量级上看，K-M 矩阵除 CP 破坏相因子选择一些特殊的值之外，其量级的形式为

$$\begin{pmatrix} c & s & ss \\ s & c & s \\ ss & s & c \end{pmatrix},$$

因此，我们期望四代层子带电弱流的耦合矩阵的量级为

$$\begin{pmatrix} c & s & ss & sss \\ s & c & s & ss \\ ss & s & c & s \\ sss & ss & s & c \end{pmatrix}. \tag{1}$$

其中 $s = s_i = \sin\theta_i$; $c = c_i = \cos\theta_i$; $i = 1,2,\cdots,6$ (三代 $i = 1,2,3$); $s \lesssim 10^{-1}$; $c \lesssim 1$，(1) 式的具体形式应含有 9 个参数，6 个选为 Cabibbo 角(推广的)，3 个选为相因子. 这样有人认为参数太多了. 我们认为，层子增加两个，由新层子组成的强子的实验增加的更多，如参数不增加，则由已知的理论可推出全部新层子的实验是不可能的. 层子增加，理论的参数必然相应增加. 人们期望尽量少增加，但到底应增加多少毕竟是个客观的问题. 目前还无法证明在四代层子弱带电流耦合矩阵中有 9 个参数是太多了，仅是一种感觉而已. 因此，我们还是可以对它进行试探. K-M 矩阵中有一个相因子，期望由它解释 CP 破坏. 但到目前为止，我们还未看到有满意的解释，给出的 CP 破坏的值大都是较小. 因此，我们是否可以问:. CP 破坏的满意的解释是否出之于更多的相因子?

(1) 式的具体形式是很多的. 目前，具体形式还不如原则的形式 (1) 可靠些. 但仅有原则的形式，又无法做具体的试探，因此我们写下 (1) 式的一种具体形式，以便作进一步的探讨，

$$U = \begin{pmatrix} u_{11} & u_{12} & u_{13} & u_{14} \\ u_{21} & u_{22} & u_{23} & u_{24} \\ u_{31} & u_{32} & u_{33} & u_{34} \\ u_{41} & u_{42} & u_{43} & u_{44} \end{pmatrix}, \tag{2}$$

$$u_{11} = c_1,\quad u_{12} = -s_1(c_3c_5 + s_3s_5),\quad u_{13} = -s_1c_6(c_3s_5 + s_3c_5),$$
$$u_{14} = s_1s_6(c_3s_5 - s_3c_5)e^{i\beta},\quad u_{21} = s_1c_2,$$
$$u_{22} = (c_1c_2c_3 - s_2s_3e^{i\delta})c_5 + (c_1c_2s_3 + s_2c_3e^{i\delta})s_5,$$
$$u_{23} = -(c_1c_2c_3 - s_2s_3e^{i\delta})s_5c_6 + (c_1c_2s_3 + s_2c_3e^{i\delta})c_5c_6,$$
$$u_{24} = [-(c_1c_2c_3 - s_2s_3e^{i\delta})s_5 + (c_1c_2s_3 + s_2c_3e^{i\delta})c_5]s_6e^{i\beta},$$
$$u_{31} = s_1s_2c_4,\quad u_{32} = (c_1s_2c_3 + c_2s_3e^{i\delta})c_5c_4 + (c_1s_2s_3 - c_2c_3e^{i\delta})c_4s_5,$$
$$u_{33} = -(c_1s_2c_3 + c_2s_3e^{i\delta})c_4s_5c_6 + (c_1s_2s_3 - c_2c_3e^{i\delta})c_4c_5c_6 - s_4s_6e^{i\alpha},$$
$$u_{34} = [-(c_1s_2c_3 + c_2s_3e^{i\delta})c_4s_5s_6 + (c_1s_2s_3 - c_2c_3e^{i\delta})c_4c_5s_6 + s_4s_6e^{i\alpha}]e^{i\beta},$$
$$u_{41} = -s_1s_2s_4,\quad u_{42} = -(c_1s_2c_3 + c_2s_3e^{i\delta})s_4c_5 - (c_1s_2s_3 - c_2c_3e^{i\delta})s_4s_5,$$

$$u_{43} = (c_1s_2c_3 + c_2s_3e^{i\delta})s_4s_5c_6 - (c_1s_2s_3 - c_2c_3e^{i\delta})s_4c_5c_6 - c_4s_6e^{i\alpha},$$
$$u_{44} = [(c_1s_2c_3 + c_2s_3e^{i\delta})s_4s_5s_6 - (c_1s_2s_3 - c_2c_3e^{i\delta})s_4c_5s_6 + c_4c_6e^{i\alpha}]e^{i\beta},$$

(2) 式若不考虑三个相因子，就是四维转动矩阵，它与其它形式的四维转动矩阵仅差一个相似变换．因此是等价的．三个相因子的加入是相当任意的，是根据物理的需要，且改变层子场量的相因子就可以移动它们的位置．

在 (1) 式的一种具体形式 (2) 写出之后，用它讨论一些具体的例子，目的是考察耦合矩阵(1)、(2)式是否合理，9 个参数的矩阵到底复杂到什么程度，与已知三代层子的 K-M 矩阵的结果是否符合，还能得出一些什么新的结果．因 K-M 矩阵应用很广，我们仅讨论两个例子．为了跟三代的 K-M 矩阵的结果比较，所用的方法也跟讨论 K-M 矩阵一样．不同处仅仅是：他们是三代，我们是四代；他们用 K-M 矩阵，我们用 (1)，(2) 式的矩阵．

例一，K 介子质量矩阵和衰变中的 CP 破坏　M. K. Gaillard 和 B. W. Lee[3] 在两代层子模型中对 K_L-K_S 的质量差及 K 介子衰变等进行了计算．J. Ellis 等[4]沿着他的方法对三代层子用 K-M 矩阵做了更广泛的计算，包括 K 介子的 CP 破坏，我们继续用他们的方法，对四代层子用耦合矩阵 (2) 计算了中性 K 介子质量矩阵中的 CP 破坏，K 介子衰变的直接 CP 破坏，中性 K 介子衰变中的 CP 破坏．为了集中注意力在检验耦合矩阵 (1)、(2) 式，我们除假设 $m_u^2 \ll m_c^2 \ll m_t^2 \ll m_h^2 \ll m_w^2$ 之外，与他们算法完全一样．因此免写计算过程，直接写出结果，依次如下

中性 K 介子质量矩阵中 CP 破坏和 CP 守恒的比值 $I_mM_{12}/\Delta m$ 是

$$\left|\frac{I_mM_{12}}{\Delta m}\right| \approx \frac{A}{B}, \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
A = {} & (-\pi^2 s_1^2 m_c^2)[2s_2c_2(s_3c_5 - c_3s_5)\sin\delta]c_1(c_3c_5 + s_3s_5) \\
& \times \left\{(1 + c_4^2)\left[(c_2^2 - s_2^2c_4^2)\cdot\frac{m_t^2}{m_t^2 - m_c^2}\log\frac{m_t^2}{m_c^2} - c_2^2 + s_2^2c_4^2\frac{m_t^2}{m_c^2}\right]\right. \\
& + c_4^2\left[(-c_2^2 + s_2^2s_4^2)\frac{m_h^2}{m_h^2 - m_c^2}\log\frac{m_h^2}{m_c^2} + c_2^2 - s_2^2s_4^2\frac{m_h^2}{m_c^2}\right] \\
& - s_2^2\frac{m_t^2}{m_c^2}\left[(-c_4^2 + s_4^2)\frac{m_h^2}{m_t^2 - m_h^2}\log\frac{m_h^2}{m_t^2} - c_4^2 + s_4^2\frac{m_h^2}{m_t^2}\right] \\
& - \frac{m_t^2}{m_c^2(m_t^2 - m_c^2)}\left[(m_t^2 - m_c^2)\cdot(1 + c_4^2)s_2^2s_4^2\frac{m_h^2}{m_t^2} - (m_h^2 - m_c^2)\cdot s_2^2c_4^4\right. \\
& \left.+ (m_h^2 - m_t^2)c_2^2\right]\left[\frac{m_t^2}{m_h^2 - m_t^2}\log m_t^2 - \frac{m_c^2}{m_h^2 - m_c^2}\log m_c^2\right. \\
& \left.\left.+ \frac{(m_c^2 - m_t^2)m_h^2}{(m_h^2 - m_c^2)(m_h^2 - m_t^2)}\log m_h^2\right]\right\},
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
B = {} & (-\pi^2 s_1^2 m_c^2)[c_1^2(c_3c_5 + s_3s_5)^2]\left\{c_2^4 + s_2^4c_4^4\frac{m_t^2}{m_c^2} + s_2^4s_4^4\frac{m_h^2}{m_c^2} + \frac{2c_2^2s_2^2c_4^2m_t^2}{m_t^2 - m_c^2}\right. \\
& \left.\times\log\frac{m_t^2}{m_c^2} + \frac{2c_2^2s_2^2s_4^2m_h^2}{m_h^2 - m_c^2}\log\frac{m_h^2}{m_c^2} + \frac{2s_2^4c_4^2s_4^2m_t^2m_h^2}{m_c^2(m_h^2 - m_t^2)}\log\frac{m_h^2}{m_t^2}\right\}.
\end{aligned}$$

K 介子衰变中的直接 CP 破坏振幅的贡献按 Fegmnan 图有以下几种类型的结果

$$\frac{G_F}{\pi^2}s_1s_2c_2(s_3c_5 - c_3s_5)\sin\delta[(m_h^2 - m_c^2) + c_4^2(m_t^2 - m_h^2)]\,O\left(\frac{q^2m_x^2}{m_h^2}\right), \tag{4a}$$

$$G_F s_1 s_2 c_2(-s_3 c_5 + c_3 s_5)\sin\delta \cdot m_k^3\left(\frac{m_u^2}{m_c^2} - c_4^2\frac{m_u^2}{m_t^2} - s_4^2\frac{m_u^2}{m_h^2}\right), \tag{4b}$$

$$\frac{s_2 c_2(-s_3 c_5 + c_3 s_5)\sin\delta}{-c_1(c_3 c_5 + s_3 s_5)}(Z_c^t - c_4^2 Z_t^t - s_4^2 Z_h^t) \tag{4c}$$

(4c) 式是K介子衰变到 $\bar{c}c$ 和 $\bar{t}t$ 跟衰变到 $\bar{u}u$ 的振幅的比值.

用(3)、(4)式在三代中的结果，J. Ellis 对中性 K 介子衰变中由超弱作用和毫弱作用理论引起的 CP 破坏的参数进行了计算. 我们用四代层子耦合矩阵(1)、(2)和(3)、(4)式计算的结果,它们的上限比 J. Ellis 的小两个数量级

$$|\varepsilon'| \lesssim \frac{|\varepsilon|}{450}10^{-2}, \quad |\phi_D| \lesssim 10^{-6}. \tag{5}$$

J. Ellis 引用的当时的实验结果是 $|\varepsilon'| \lesssim \frac{1}{50}|\varepsilon|$, $|\phi_D| \lesssim \frac{1}{20}$. (3)、(4)、(5)的结果与 J. Ellis 的结果相比: (3)、(4)、(5)式在三代层子时都能得到与 J. Ellis 一样的结果;而在这里四代层子时比 J. Ellis 三代层子的又多出了一些新的参数项,除了(5)式给出数值的上限,其它因新增加的参数有待进一步去确定,而仅给出公式,与 J. Ellis 一样,未能得到数值结果. 如果利用例二获得的六个 Cabibbo 角的近似值, (3)、(4)式可得到近似的数值结果. 另外,计算结果(3)、(4)、(5)式表明,四代弱耦合矩阵(1)、(2)式,虽然有9个参数,也不是复杂的不得了,还可不用计算机. 初步的试探说明四代弱耦合矩阵(1)、(2)式还不是不可用的.

例二,用水平规范计算四代层子带电流弱耦合矩阵 为了突出四代层子与三代层子之间. K-M 矩阵与矩阵(1)、(2)之间相比增加那些特点,我们在水平方向上选择的群及其表示、Higgs 粒子及其真空平均值,在三代层子时与文献[5]完全一样.

在四代层子之间的水平方向上仍引入 $SU(2)_H$ 规范,它们按以下方式填充 $SU(2)_H$ 的表示 $\begin{pmatrix}u_L\\d_L\end{pmatrix}\left[\begin{pmatrix}c_L\\s_L\end{pmatrix}\begin{pmatrix}t_L\\b_L\end{pmatrix}\right]\begin{pmatrix}h_L\\g_L\end{pmatrix}$; $\begin{matrix}(u_R)\\(d_R)\end{matrix}\quad\begin{matrix}[c_R\ t_R]\\ [s_R\ b_R]\end{matrix}\quad\begin{matrix}(h_R)\\(g_R)\end{matrix}$, 在水平方向上 Higgs 仍用一个二重态,一个三重态

$$\left[\begin{pmatrix}\phi_1^+\\\phi_1^0\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\phi_2^+\\\phi_2^0\end{pmatrix}\right], \quad \left[\begin{pmatrix}\phi_3^+\\\phi_3^0\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\phi_4^+\\\phi_4^0\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\phi_5^+\\\phi_5^0\end{pmatrix}\right],$$

这些表示与 Higgs 的 Yukawa 耦合为

$$G_1(\bar{u}_L\ \bar{d}_L)\left[\begin{pmatrix}\tilde{\phi}_1^+\\\phi_1^0\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\tilde{\phi}_2^+\\\phi_2^0\end{pmatrix}\right]\begin{pmatrix}c\\t\end{pmatrix}_R + G_2[(\bar{c}\ \bar{s})_L\ (\bar{t}\ \bar{b})_L]\begin{bmatrix}\widetilde{\begin{pmatrix}\phi_1^+\\\phi_1^0\end{pmatrix}}\\\widetilde{\begin{pmatrix}\phi_2^+\\\phi_2^0\end{pmatrix}}\end{bmatrix}u_R$$

$$+G_3[(\bar{c}\ \bar{s})_L(\bar{t}\ \bar{b})_L](\boldsymbol{\tau}\cdot\boldsymbol{\phi})\begin{bmatrix}c\\t\end{bmatrix}_R + G_4(\bar{h}\ \bar{g})_L\left[\widetilde{\begin{pmatrix}\phi_1^+\\\phi_1^0\end{pmatrix}}\widetilde{\begin{pmatrix}\phi_2^+\\\phi_2^0\end{pmatrix}}\right]\begin{bmatrix}c\\t\end{bmatrix}_R$$

$$+G_5[(\bar{c}\ \bar{s})_L(\bar{t}\ \bar{b})_L]\begin{bmatrix}\widetilde{\begin{pmatrix}\phi_1^+\\\phi_1^0\end{pmatrix}}\\\widetilde{\begin{pmatrix}\phi_2^+\\\phi_2^0\end{pmatrix}}\end{bmatrix}h_R + \text{down 层子的项} + \text{h.c.}, \tag{6}$$

若 Higgs 二重态和三重态真空平均值仍取

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ v & v \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ v_1 & v_1 & v_1 \end{bmatrix},$$

则得质量平方矩阵为

$$MM^+ = \begin{pmatrix} 2g_1^2 & (2+i)g_1g_3e^{i\alpha} & -ig_1g_3e^{i\alpha} & 2g_1g_4e^{i\beta} \\ (2-i)g_1g_3e^{-i\alpha} & g_2^2+3g_3^2+g_5^2 & g_2^2+g_5^2 & (2-i)g_3g_4e^{i\gamma} \\ ig_1g_3e^{-i\alpha} & g_2^2+g_5^2 & g_2^2+3g_3^2+g_5^2 & ig_3g_4e^{i\gamma} \\ 2g_1g_4e^{-i\beta} & (2+i)g_3g_4e^{-i\gamma} & -ig_3g_4e^{-i\gamma} & 2g_4^2 \end{pmatrix}. \tag{7}$$

(7) 式中的 g_i 已是实数，对角化 MM^+ 可精确的求解，再由它可精确的求出带电弱流耦合矩阵（每个矩阵元均由层子质量表示.）将其与耦合矩阵 (2) 式比较获得推广的 6 个 Cabibbo 角与层子质量的精确关系. 若推广的 Cabibbo 角由实验定出，则由这关系式可精确的定出层子质量. 反之亦然. 这样定出的层子质量数值仅仅与 $SU(2)\times U(1)\times SU_H(2)$ 模型有关. 若输入层子质量（一个层子质量的数值对应一个模型）可求出推广的 Cabibbo 角的数值，但这个数值与更多的模型有关（$SU(2)\times U(1)\times SU_H(2)$ + 输入层子质量数值有关的模型）. 本文仅在一级近似下求出四代层子带电弱流耦合矩阵

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix}, \tag{8}$$

$$a_{11} = 1 + \frac{1}{2}\sqrt{\frac{k_1\lambda_1}{k_2\lambda_2}}\left(1 - \frac{k_1}{k_2} - \frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)e^{i(\beta'-\beta-\gamma'+\gamma+\nu)} + \frac{13}{8}\sqrt{\frac{k_1\lambda_1}{k_3\lambda_3}}\left(1 + 4\frac{k_1}{k_2}e^{-ix'} + \frac{4\lambda_1}{\lambda_2}e^{ix}\right)e^{i(\beta'-\beta)},$$

$$a_{21} = -i\sqrt{\frac{k_1}{k_2}}\left(1 - \frac{k_2}{k_3}\right)e^{i(\beta'-\gamma')} - i\sqrt{\frac{\lambda_1}{\lambda_2}}\left(1 - \frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)e^{-i(\beta-\gamma)} - \sqrt{\frac{13}{4}}\sqrt{\frac{k_2\lambda_1}{k_3\lambda_3}} \times \left(1 + \frac{1}{2}\frac{k_2}{k_3} + \frac{2\sqrt{2}k_1}{k_2}e^{i\frac{\pi}{4}} + \frac{4\lambda_1}{\lambda_2}e^{ix}\right)\cdot e^{-i\left(\beta-\gamma+\alpha+\frac{\pi}{4}\right)},$$

$$a_{31} = \sqrt{2}\sqrt{\frac{k_1}{k_3}}\left(1 - \frac{2k_2}{k_3}\right)e^{-i\beta'} + \sqrt{2}\sqrt{\frac{k_2\lambda_1}{k_3\lambda_2}}\left(1 + \frac{k_1}{k_2} - \left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}}\right)\frac{k_3}{k_4} - \frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)e^{-i\left(\beta-\gamma+\gamma'+\frac{\pi}{4}\right)} + \frac{1}{2}\sqrt{\frac{13}{2}}\sqrt{\frac{\lambda_1}{\lambda_3}}\left(1 + \frac{4\lambda_1}{\lambda_2}e^{ix}\right)e^{-i(\beta+\alpha)},$$

$$a_{41} \cong 0,$$

$$a_{12} = i\sqrt{\frac{\lambda_1}{\lambda_2}}\left(1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_3}\right)e^{-i(\beta-\gamma)} + i\sqrt{\frac{k_1}{k_2}}\left(1 - \frac{k_1}{k_2}\right)e^{i(\beta'-\gamma')} - \frac{\sqrt{13}}{2}\sqrt{\frac{k_1\lambda_2}{k_3\lambda_3}} \times \left(1 + \frac{4k_1}{k_2}e^{-ix'} + \frac{1}{2}\frac{\lambda_2}{\lambda_3} + \frac{2\sqrt{2}\lambda_1}{\lambda_2}e^{-i\frac{\pi}{4}}\right)\cdot e^{i\left(\beta'-\gamma+\alpha+\frac{\pi}{4}\right)},$$

$$a_{22} = 1 + \sqrt{\frac{k_1\lambda_1}{k_2\lambda_2}}\left(1 - \frac{k_2}{k_3} - \frac{\lambda_2}{\lambda_3}\right)e^{i\frac{1}{2}(\beta'-\beta-\gamma'+\gamma)} + 2\sqrt{\frac{k_2\lambda_2}{k_3\lambda_3}}\left(1 + \frac{1}{2}\frac{k_2}{k_3}\right.$$

$$+\frac{2\sqrt{2}k_1}{k_2}e^{i\frac{\pi}{4}}+\frac{1}{2}\frac{\lambda_2}{\lambda_3}+\frac{2\sqrt{2}\lambda_1}{\lambda_2}e^{-i\frac{\pi}{4}}\Big)\cdot e^{i(\gamma'-\gamma)},$$

$$a_{32}=i\sqrt{2}\sqrt{\frac{k_1\lambda_1}{k_3\lambda_2}}\Big(1-\frac{2k_2}{k_3}-\frac{\lambda_2}{\lambda_3}\Big)e^{-i(\beta+\beta'-\gamma)}+\sqrt{2}\sqrt{\frac{k_2}{k_3}}\Big(1+\frac{k_1}{k_2}$$
$$-\Big(1+\frac{1}{\sqrt{2}}\Big)\frac{k_3}{k_4}\Big)\cdot e^{-i(\gamma'-\frac{\pi}{4})}-\sqrt{2}\sqrt{\frac{\lambda_2}{\lambda_3}}\Big(1+\frac{\lambda_2}{2\lambda_3}$$
$$+\frac{2\sqrt{2}\lambda_1}{\lambda_2}e^{-i\frac{\pi}{4}}\Big)e^{i(\frac{\pi}{4}-\gamma)},$$

$$a_{42}\cong 0,$$

$$a_{13}=\sqrt{2}\sqrt{\frac{\lambda_1}{\lambda_3}}\Big(1-\frac{2\lambda_2}{\lambda_3}\Big)e^{i\beta}+\sqrt{2}\sqrt{\frac{k_1\lambda_2}{k_2\lambda_3}}\Big(1-\frac{k_1}{k_2}+\frac{\lambda_1}{\lambda_2}-\frac{\lambda_3}{\lambda_4}\Big(1+\frac{1}{\sqrt{2}}\Big)\Big)$$
$$e^{i(\beta'-\gamma'+\gamma+\frac{\pi}{4})}+\frac{1}{2}\sqrt{\frac{13}{2}}\sqrt{\frac{k_1}{k_3}}\Big(1+\frac{4k_1}{k_2}e^{-i\alpha'}\Big)e^{i(\beta'+\alpha)},$$

$$a_{23}=-i\sqrt{2}\sqrt{\frac{k_1\lambda_1}{k_2\lambda_3}}\Big(1-\frac{k_2}{k_3}-\frac{2\lambda_2}{\lambda_3}\Big)e^{i(\beta'+\beta-\gamma)}+\sqrt{2}\sqrt{\frac{\lambda_2}{\lambda_3}}\Big(1+\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$
$$-\Big(1+\frac{1}{\sqrt{2}}\Big)\frac{\lambda_3}{\lambda_4}\Big)e^{i(\gamma-\frac{\pi}{4})}-\sqrt{2}\sqrt{\frac{k_1}{k_3}}\Big(1+\frac{1}{2}\frac{k_2}{k_3}$$
$$+\frac{2\sqrt{2}k_1}{k_2}e^{i\frac{\pi}{4}}\Big)\cdot e^{-i(\frac{\pi}{4}-\gamma')},$$

$$a_{33}=1+2\sqrt{\frac{k_1\lambda_1}{k_3\lambda_3}}\Big(1-\frac{2k_2}{k_3}-\frac{2\lambda_2}{\lambda_3}\Big)e^{i(\beta-\beta')}+2\sqrt{\frac{k_2\lambda_2}{k_3\lambda_3}}\Big(1+\frac{k_1}{k_2}$$
$$-\Big(1+\frac{1}{\sqrt{2}}\Big)\frac{k_3}{k_4}+\frac{\lambda_1}{\lambda_2}-\Big(1+\frac{1}{\sqrt{2}}\Big)\cdot\frac{\lambda_3}{\lambda_4}\Big)e^{i(\gamma-\gamma')},$$

$$a_{43}=\sqrt{2}\sqrt{\frac{\lambda_2}{\lambda_3}}\cdot\frac{\lambda_3}{\lambda_4}e^{i(\gamma-\frac{\pi}{4})},\quad a_{14}\cong 0,\quad a_{24}\cong 0,$$

$$a_{34}=\sqrt{2}\sqrt{\frac{k_2}{k_3}}\frac{k_3}{k_4}e^{-i(\gamma'-\frac{\pi}{4})},\quad a_{44}\cong 1,$$

k 是 up 层子质量平方，λ 是 down 层子质量平方．比较（2）、（8）式得出 Cabibbo 角和层子质量的关系式为

$$s_1\sim\frac{m_d}{m_s},\quad s_2\sim\frac{m_s}{m_b},\ s_3\sim\frac{m_d}{m_b},$$
$$s_4\sim\frac{m_s m_b}{m_g^2}\ \text{或}\ \frac{m_c m_t}{m_h^2},\quad s_5\sim s_6\sim 0. \tag{9}$$

注意由 s_4 有

$$\frac{m_s m_b}{m_g^2}\approx\frac{m_c m_t}{m_h^2}. \tag{10}$$

(9) 式的六个 Cabibbo 角数值表明四代层子带电弱流相互作用的普适性是合理的、自然的. (8) 式表明 b 层子主要衰变道是 $b \to c + W^-$ 这一点与 Wilzik[6] 和文献 [5] 的结果不同(他们是三代的 b 层子主要衰变道是 $b \to u + W^-$). 如果实验证实了这一点. 有可能做为由 6 个层子扩充到四代层子的依据. 最近实验 $B \to J + K\pi$ 可能是支持 $b \to c + W^-$ 而不支持 $b \to u + W^-$ 为主要衰变道.

总之，通过例一、例二，对四代层子带电流弱耦合矩阵得到几点认识: (i) 四代层子耦于合矩阵 (1)、(2) 式在三代情况下得到 K-M 矩阵一样的结果. (ii) 四代层子耦于合矩阵 (1)、(2) 式与三代层子 K-M 矩阵相比，得到的结果更多，尤其是在例二中的结果，可能成为由三代扩充至四代的依据. (iii) (1)、(2) 式虽然含有 9 个参数，计算是较为复杂，但还不算太复杂.

参　考　文　献

[1] J. Chokrabarti, CNY-HEP-79/1.
[2] M. Kobayash and T. Maskawa., *Prog. of Theor. Phys.*, **49**(1973), 652.
[3] M. K. Gaillard and B. W. Lee, *Phys. Rev.*, D**10**(1974), 897.
[4] J. Ellis, *Nucl. Phys.*, **B109**(1976), 213—243.
[5] 吴丹迪、李铁忠，高能物理与核物理，**4**(1980), 455.
[6] F. Wilezek and A. Zee, *Phys., Rev. Lett.*, **42**(1979), 421.

THE PROBLEM OF FOUR GENERATION STRATON WEAK COUPLING MATRIX

Li Tie-zhong

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica)

Abstract

The problem of four generation straton weak coupling matrix is discussed. In several possibilities, the V-A coupling for the electroweak interaction of the four generation stratons is chosen and a coupling matrix of charged weak currents is proposed. It is a direct extension of K-M matrix. In order to illustrate the validity of the weak coupling matrix, two examples are given. The first example is used for the calculation of CP violation of K decays. In the second example, four generation weak coupling matrix expressed by mass of straton is calculated by means of horizontal gauge. An unexpected result is that the main decay mode of b straton is $b \to c + W^-$. But in the case of 3 generations, the main decay mode of b straton obtained by the entirely similar model is $b \to u + W^-$. Therefore, if this mode of horizontal gauge be verified in further experiments, there would be a reason for the extension of 3 generations to 4 generations.