第7卷 第1期 高能物理与核物理 Vol. 7, No. 1
1983年1月 PHYSICA ENERGIAE FORTIS ET PHYSICA NUCLEARIS Jan., 1983

卷

P. 751

$SU(4)\otimes SU(2)\otimes U(1)$ 统一模型

徐 德 之
(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

本文提出一种 $SU(4)\otimes SU(2)\otimes U(1)$ 统一模型. 在此模型中，层子和轻子放于同一个多重态中，所以它们有耦合，但这种耦合不会导致质子衰变，只对高能散射有效应. 此模型预言了有两种中性中间玻色子，还算得了 $\sin^2\theta_W=0.25$，并可使中微子有合理的质量.

一、引 言

近年来，人们提出了各种弱电强统一模型. 它们可分成两类. 一类是标准模型，如 $SU^c(3)\otimes SU(2)\otimes U(1)$ 模型. 在此模型中，层子和轻子不在一个多重态中，所以它们之间没有任何耦合. 另一类是大统一模型，如 $SU(5)$ 模型[1]. 在此模型中，正反层子和正反轻子一起放于同一个多重态中，因而层子和轻子之间有耦合，这将使质子发生衰变，其寿命$\gtrsim 10^{31}$年. 目前虽然没有否定这种衰变[2]，但也一直没有找到这种衰变. 如果最终实验上否定了这种衰变，我们就有必要另找一种既使层子和轻子有对称性，又不会使质子衰变的模型. 另外 $SU(5)$ 统一模型还预言了 10^2 GeV 到 10^{15} GeV 之间有一大片"沙漠"，在这里没有任何新的物理现象，这一点也使许多物理学家感到不太满意.

本文提出一种 $SU(4)\otimes SU(2)\otimes U(1)$ 模型. 在此模型中，层子和轻子处于同一个多重态中，所以它们是对称的. 层子和轻子通过一种质量很大的规范场而耦合起来，这使层子和轻子可以互相跃迁. 但这种跃迁不会导致质子的衰变，它只在高能散射中有效应.

这个模型还预言了存在两种中性中间玻色子 Z_1^0, Z_2^0，这使高能 e、$\bar{\nu}$ 弹性散射中宇称破坏极小. 另外还算得了 $\sin^2\theta_W=0.25$，和实验符合得较好. 此模型还可使中微子有质量，而其实验值为 $m_{\nu_e}<46$ eV[3]，$m_{\nu_\mu}<0.57$ MeV[4]，$m_{\nu_\tau}<250$ MeV[5].

二、$SU(4)\otimes SU(2)\otimes U(1)$ 模型

$SU(4)\otimes SU(2)\otimes U(1)$ 群的无穷小算子有 19 个，它们为:

本文 1981 年 7 月 1 日收到.

on in
viour
quark
ential
n and

$$\Lambda_\alpha^\beta = I_2\otimes\lambda_\alpha^\beta \quad (\alpha,\beta=1,2,3,4);\quad T_a^b = t_a^b\otimes I_4 \quad (a,b=1,2)\quad Y \tag{1}$$

其中 I_2, I_4 为 $SU(2)$ 及 $SU(4)$ 的单位元素；t_a^b、λ_α^β、Y 分别为 $SU(2)$、$SU(4)$、$U(1)$ 的无穷小算子．西岛-盖尔曼关系为

$$Q = T_3 + \frac{1}{2}(\bar{Y} + Y) \tag{2}$$

其中
$$T_3 = \frac{1}{2}(T_1^1 - T_2^2) = T_1^1;\qquad \bar{Y} = -\frac{4}{3}\Lambda_4^4 \tag{3}$$

基础费米子是层子和轻子，它们有三代：

第一代 (u, d, ν_e, e)；　第二代 (c, s, ν_μ, μ)；　第三代 (t, b, ν_τ, τ)

因为每一味层子有三色，所以实际上每一代有八个粒子．在这里，我们作为一种尝试，只讨论第一代．

令左手费米子填于 $\underline{4}\otimes\underline{2}$ 维表示中：

$$\phi_L = (\phi_{1L}, \phi_{2L}) \tag{4}$$

其中

$$\phi_{1L} = (u_R, u_Y, u_B, \nu)_L;\quad \phi_{2L} = (d_R, d_Y, d_B, e)_L \tag{5}$$

而 R、Y、B 则表示三种颜色．这个表示的 $Y=0$．再令右手费米子填于两个 $\underline{4}\otimes\underline{1}$ 维表示中：

$$\phi_{1R} = (u_R, u_Y, u_B, \nu)_R \quad \phi_{2R} = (d_R, d_Y, d_B, e)_R \tag{6}$$

它们的 Y 分别为 +1 和 −1．为了使拉格朗日量具有定域规范不变性，应引入 19 个规范场 G_β^α、A_b^a 和 B，它们分别与 Λ_α^β、T_a^b、Y 相应．于是具有定域规范不变性的拉格朗日量为：

$$\begin{aligned}\mathscr{L}_f = {} & i\bar{\phi}_L\left(\hat{\partial} - i\frac{1}{\sqrt{3}}g_4\Lambda_\alpha^\beta\hat{G}_\beta^\alpha - i\frac{1}{\sqrt{2}}g_2T_a^b\hat{A}_b^a\right)\phi_L \\ & + i\bar{\phi}_{1R}\left(\hat{\partial} - i\frac{1}{\sqrt{3}}g_4\Lambda_\alpha^\beta\hat{G}_\beta^\alpha - i\frac{1}{2}g\hat{B}\right)\phi_{1R} \\ & + i\bar{\phi}_{2R}\left(\hat{\partial} - i\frac{1}{\sqrt{3}}g_4\Lambda_\alpha^\beta\hat{G}_\beta^\alpha + i\frac{1}{2}g\hat{B}\right)\phi_{2R}\end{aligned} \tag{7}$$

自由规范场的拉格朗日量为：

$$\mathscr{L}_g = -\frac{1}{4}(F_\beta^\alpha)_{\mu\nu}(F_\alpha^\beta)_{\mu\nu} - \frac{1}{4}(f_b^a)_{\mu\nu}(f_a^b)_{\mu\nu} - \frac{1}{4}B_{\mu\nu}B_{\mu\nu} \tag{8}$$

其中

$$\begin{cases}(F_\beta^\alpha)_{\mu\nu} = \partial_\mu(G_\beta^\alpha)_\nu - \partial_\nu(G_\beta^\alpha)_\mu + g_4C^{\alpha\gamma\rho}_{\beta\delta\sigma}(G_\gamma^\delta)_\mu(G_\rho^\sigma)_\nu \\ (f_b^a)_{\mu\nu} = \partial_\mu(A_b^a)_\nu - \partial_\nu(A_b^a)_\mu + g_2C^{ace}_{bdf}(A_c^d)_\mu(A_e^f)_\nu \\ B_{\mu\nu} = \partial_\mu B_\nu - \partial_\nu B_\mu;\quad \hat{O} = \gamma_\mu O_\mu,\ O_\mu \text{ 为任一规范场}\end{cases} \tag{9}$$

$C^{\alpha\gamma\rho}_{\beta\delta\sigma}$ 及 C^{ace}_{bdf} 分别为 $SU(4)$ 及 $SU(2)$ 的结构常数．在 (7) 中所有的费米子和规范场都是没有质量的，它们的质量都要通过 Higgs 机制来获得．

三、规范场和费米子的质量

为了使规范场和费米子获得质量，我们要引进一些 Higgs 场 ϕ，它们是 $SU(4)\otimes$

$SU(2)\otimes U(1)$ 群的一些表示．对某一个表示 ϕ 来说，它的定域规范不变的拉氏量可写为:

$$\begin{aligned}\mathscr{L}_H = &\Big\{\partial_\mu\phi - i\frac{1}{\sqrt{3}}g_4\Big[\sum_{\substack{\alpha\neq\beta\\ \alpha,\beta=1}}^{4} \Lambda_\alpha^\beta(G_\beta^\alpha)_\mu + \Lambda_1(G_1)_\mu + \Lambda_2(G_2)_\mu + \frac{\sqrt{3}}{2}\bar{Y}\bar{B}\Big]\phi \\ &- i\frac{1}{\sqrt{2}}g_2\Big[\sum_{\substack{a\neq b\\ a,b=1}}^{2} T_a^b(A_b^a)_\mu + \sqrt{2}T_3(A_3)_\mu\Big]\phi - i\frac{1}{2}gYB\phi\Big\}^+ \\ &\times\Big\{\partial_\mu\phi - i\frac{1}{\sqrt{3}}g_4\Big[\sum_{\substack{\alpha\neq\beta\\ \alpha,\beta=1}}^{4} \Lambda_\alpha^\beta(G_\beta^\alpha)_\mu + \Lambda_1(G_1)_\mu + \Lambda_2(G_2)_\mu + \frac{\sqrt{3}}{2}\bar{Y}\bar{B}\Big]\phi \\ &- i\frac{1}{\sqrt{2}}g_2\Big[\sum_{\substack{a\neq b\\ a,b=1}}^{2} T_a^b(A_b^a)_\mu + \sqrt{2}T_3(A_3)_\mu\Big]\phi - i\frac{1}{2}gYB\phi\Big\} \\ &- V(\phi^+\phi)\end{aligned} \tag{10}$$

这里，我们把 (7) 中的无穷小算子和规范场作了如下的新组合:

$$\begin{cases}\Lambda_1 = \dfrac{1}{\sqrt{2}}(\Lambda_1^1 - \Lambda_2^2) & G_1 = \dfrac{1}{\sqrt{2}}(G_1^1 - G_2^2) \\ \Lambda_2 = \dfrac{1}{\sqrt{6}}(\Lambda_1^1 + \Lambda_2^2 - 2\Lambda_3^3) & G_2 = \dfrac{1}{\sqrt{6}}(G_1^1 + G_2^2 - 2G_3^3) \\ \bar{Y} = -\dfrac{4}{3}\Lambda_4^4 & \bar{B} = \dfrac{1}{\sqrt{12}}(G_1^1 + G_2^2 + G_3^3 - 3G_4^4) \\ T_3 = T_1^1 & A_3 = \dfrac{1}{\sqrt{2}}(A_1^1 - A_2^2)\end{cases} \tag{11}$$

为了满足不同的要求，我们应引进不同的 Higgs 场．第一步我们通过引进 $Y=0$ 的 $\underline{15}\otimes 1$ 维表示 ϕ_σ^ρ，将 $SU(4)\otimes SU(2)\otimes U(1)$ 破缺为 $SU(3)\otimes SU(2)\otimes U(1)$．为了只使 G_4^α 获得质量，ϕ_σ^ρ 的真空平均值取为:

$$\begin{cases}\langle\phi_\sigma^\rho\rangle_0 = \delta_\sigma^\rho V_\rho \\ V_1 = V_2 = V_3 = V, \quad V_4 = -3V\end{cases} \tag{12}$$

由此得到规范场的质量项为:

$$\frac{32}{3}V^2 g_4^2 G_4^\alpha G_\alpha^4 \tag{13}$$

第二步将 $SU(3)\otimes SU(2)\otimes U(1)$ 进一步破缺为 $SU(3)\otimes U(1)$，为此引入 $Y=1$ 的 $\underline{15}\otimes 2$ 维表示 $\phi_\sigma^{i,\rho}$．其中 i 是 $SU(2)$ 的指标，ρ、σ 是 $SU(4)$ 的指标．这个表示应满足

$$\sum_{\rho=1}^{4}\phi_\rho^{i,\rho} = 0 \quad i = 1, 2 \tag{14}$$

因为胶子和光子不能有质量，故只有色荷和电荷为零的分量的真空平均值才能取成非零值，即取

$$\langle\phi_\sigma^{i,\rho}\rangle_0 = \delta_2^i\delta_\sigma^\rho v_\rho; \quad v_1 = v_2 = v_3 = v, \quad v_4 = -3v \tag{15}$$

由此产生的质量项为:

$$\frac{32}{3} v^2 g_4^2 G_4^\alpha G_\alpha^4 + 6v^2 g_2^2 A_1^2 A_2^1 + 3v^2 (g_2^2 + g^2) Z_1^2 \tag{16}$$

其中

$$Z_1 = \frac{1}{\sqrt{g_2^2 + g^2}} (-g_2 A_3 + gB) \tag{17}$$

由(16)可见三个中性场中只有 Z_1 获得了质量，还有两个和(17)正交的场没有获得质量，它们是:

$$\begin{cases} Z_2 = \dfrac{1}{\sqrt{g_4^2 g_2^2 + g_4^2 g^2 + g_2^2 g^2}} \left(-g_4 \sqrt{g_2^2 + g^2} \bar{B} + \dfrac{g^2 g_2}{\sqrt{g_2^2 + g^2}} A_3 + \dfrac{g g_2^2}{\sqrt{g_2^2 + g^2}} B \right) \\ A = \dfrac{1}{\sqrt{g_4^2 g_2^2 + g_4^2 g^2 + g_2^2 g^2}} (g g_2 \bar{B} + g g_4 A_3 + g_2 g_4 B) \end{cases} \tag{18}$$

其中 A 是光子，它的质量应为零，但 Z_2 的质量不能为零．为使 Z_2 获得质量，我们还要引入一个 $Y = -3$ 的 $\underline{35}^* \otimes 2$ 维表示． 其中 $\underline{35}^*$ 是 $SU(4)$ 的四阶全对称张量的复共轭表示．为使胶子和光子的质量仍为零，它的真空平均值应取为:

$$\langle \phi^i_{\rho\sigma\eta\xi} \rangle_0 = \delta^i_2 \delta^4_\rho \delta^4_\sigma \delta^4_\eta \delta^4_\xi \bar{v} \tag{19}$$

其中 i 是 $SU(2)$ 的指标，ρ、σ、η、ξ 为 $SU(4)$ 的指标．(19)产生的质量项为:

$$\frac{4}{3} \bar{v}^2 g_4^2 G_\alpha^4 G_4^\alpha + \frac{1}{2} \bar{v}^2 g_2^2 A_1^2 A_2^1 + \frac{1}{4} \bar{v}^2 (16 g_4^2 + g_2^2 + 9g^2) Z_2^2 \tag{20}$$

其中

$$Z_2 = \frac{1}{\sqrt{16 g_4^2 + g_2^2 + 9g^2}} (-4 g_4 \bar{B} + g_2 A_3 + 3gB) \tag{21}$$

我们应该令(21)和(17)相等，故应有

$$g_2 = \sqrt{3} g \tag{22}$$

费米子也要通过自发破缺来获得质量．因为左手费米子态是 $\underline{4} \otimes \underline{2}$ 维表示，右手费米子态是 $\underline{4} \otimes 1$ 维表示，故可以和它们构成 $SU(4) \otimes SU(2) \otimes U(1)$ 标量的 Higgs 场为 $15 \otimes \underline{2}$ 或 $1 \otimes 2$．前者的真空平均值已取为(15)，由此产生的费米子质量项为

$$G_1 \bar{\psi}^\rho_{iL} \langle \tilde{\phi}^{i,\rho}_\sigma \rangle_0 \psi^\sigma_{1R} + G_2 \bar{\psi}^\rho_{iL} \langle \phi^{i,\rho}_\sigma \rangle_0 \psi^\sigma_{2R} + \text{h.c.} \tag{23}$$

其中

$$\tilde{\phi}^{i,\rho}_\sigma = i(\tau_2)^i_{i'} \phi^{i'^*,\rho}_\sigma \tag{24}$$

τ_2 是泡利矩阵．将(15)代入(23)中得

$$G_1 v \left(\sum_{\alpha=R,Y,B} \bar{u}_\alpha u_\alpha - 3\bar{\nu}\nu \right) + G_2 v \left(\sum_{\alpha=R,Y,B} \bar{d}_\alpha d_\alpha - 3\bar{e} e \right) \tag{25}$$

由此得到如下的关系

$$\frac{m_u}{m_d} = \frac{m_\nu}{m_e} \tag{26}$$

这个关系显然是不理想的．为了修正这个结果，我们把 $1 \otimes \underline{2}$ 维表示也加入进去．这个表示的 $Y = 1$．真空平均值取为

$$\langle \phi^i \rangle_0 = \delta^i_2 u \tag{27}$$

它给出的费米子质量项为

$$\bar{G}_1 u\left(\sum_{\alpha=R,Y,B}\bar{u}_\alpha u_\alpha+\bar{\nu}\nu\right)+\bar{G}_2 u\left(\sum_{\alpha=R,Y,B}\bar{d}_\alpha d_\alpha+\bar{e}e\right) \tag{28}$$

将(25)、(28)加在一起得到费米子的质量为

$$m_u=G_1 v+\bar{G}_1 u;\quad m_d=G_2 v+\bar{G}_2 u;$$
$$m_\nu=-3G_1 v+\bar{G}_1 u;\ m_e=-3G_2 v+\bar{G}_2 u \tag{29}$$

因为 m_e、$m_\nu\ll m_u$、m_d，故由(29)式很易得

$$u\approx 3v$$

$1\otimes 2$ 维表示对规范场给出如下的质量项

$$\frac{1}{2}g_2^2u^2A_1^2A_2^1+\frac{1}{4}u^2(g_2^2+g^2)Z_1^2 \tag{30}$$

把(13)、(15)、(21)、(30)加起来，得到总的规范场质量项为

$$\frac{4}{3}(8V^2+8v^2+\bar{v}^2)g_4^2G_4^\alpha G_\alpha^4+\frac{1}{2}(12v^2+\bar{v}^2+u^2)g_2^2A_1^2A_2^1$$
$$+\frac{1}{4}(12v^2+u^2)(g_2^2+g^2)Z_1^2+\frac{1}{4}u^2(16g_4^2+g_2^2+9g^2)Z_2^2 \tag{31}$$

将(11)、(17)、(18)代(7)中得到费米子和规范场的强、电、弱耦合项为：

强作用：

$$\mathscr{L}_s=\frac{g_4}{\sqrt{3}}\sum_{\substack{\alpha,\beta=R,Y,B\\ \alpha\neq\beta}}(\bar{u}^\alpha\hat{G}_\beta^\alpha u^\beta+\bar{d}^\alpha\hat{G}_\beta^\alpha d^\beta)+\frac{g_4}{\sqrt{6}}(\bar{u}_R\hat{G}_1u_R-\bar{u}_Y\hat{G}_1u_Y+\bar{d}_R\hat{G}_1d_R-\bar{d}_Y\hat{G}_1d_Y)$$
$$+\frac{g_4}{3\sqrt{2}}(\bar{u}_R\hat{G}_2u_R+\bar{u}_Y\hat{G}_2u_Y-2\bar{u}_B\hat{G}_2u_B+\bar{d}_R\hat{G}_2d_R+\bar{d}_Y\hat{G}_2d_Y-2\bar{d}_B\hat{G}_2d_B) \tag{32}$$

电磁作用：

$$\mathscr{L}_{EM}=-\frac{g_4g_2g}{\sqrt{g_4^2g_2^2+g_4^2g^2+g_2^2g^2}}\left[\frac{2}{3}\sum_{\alpha=R,Y,B}\bar{u}_\alpha\hat{A}u_\alpha-\frac{1}{3}\sum_{\alpha=R,Y,B}\bar{d}_\alpha\hat{A}d_\alpha-\bar{e}\hat{A}e\right] \tag{33}$$

带电流弱作用：

$$\mathscr{L}_{cw}=\frac{g_2}{2\sqrt{2}}\left[\sum_{\alpha=R,Y,B}\bar{u}_\alpha\hat{A}_2^1(1+\gamma_5)d_\alpha+\bar{\nu}\hat{A}_2^1(1+\gamma_5)e+\text{h.c.}\right] \tag{34}$$

中性流弱作用：

$$\mathscr{L}_{Nw}=\frac{1}{4\sqrt{g_2^2+g^2}}\Big\{-\sum_{\alpha=R,Y,B}\bar{u}_\alpha[(g_2^2-g^2)+(g_2^2+g^2)\gamma_5]\hat{Z}_1u_\alpha$$
$$-\bar{\nu}[(g_2^2-g^2)+(g_2^2+g^2)\gamma_5]\hat{Z}_1\nu$$
$$+\sum_{\alpha=a,Y,B}\bar{d}_\alpha[(g_2^2-g^2)+(g_2^2+g^2)\gamma_5]\hat{Z}_1d_\alpha$$
$$+\bar{e}[(g_2^2-g^2)+(g_2^2+g^2)\gamma_5]\hat{Z}_1e\Big\}$$
$$+\frac{1}{\sqrt{g_4^2g_2^2+g_4^2g^2+g_2^2g^2}}\Big\{\Big(-\frac{1}{6}g_4^2\sqrt{g_2^2+g^2}$$
$$+\frac{g_2^2g^2}{2\sqrt{g_2^2+g^2}}\Big)\sum_{\alpha=R,Y,B}\bar{u}_\alpha\hat{Z}_2u_\alpha+\left(\frac{1}{2}g_4^2\sqrt{g_2^2+g^2}+\frac{g_2^2g^2}{2\sqrt{g_2^2+g^2}}\right)\bar{\nu}\hat{Z}_2\nu$$

$$
+\left(-\frac{1}{6}g_4^2\sqrt{g_2^2+g^2}-\frac{g_2^2g^2}{2\sqrt{g_2^2+g^2}}\right)\sum_{\alpha=R,Y,B}\bar{d}_\alpha\hat{Z}_2d_\alpha
$$

$$
+\left(\frac{1}{2}g_4^2\sqrt{g_2^2+g^2}-\frac{g_2^2g^2}{2\sqrt{g_2^2+g^2}}\right)\bar{e}\hat{Z}_2e\Big\} \tag{35}
$$

层子-轻子耦合项为:

$$
\mathscr{L}_{ql}=\frac{g_4}{\sqrt{3}}\sum_{\alpha=R,Y,B}(\bar{u}_\alpha\hat{G}_4^\alpha\nu+\bar{d}_\alpha\hat{G}_4^\alpha e)+\text{h.c.} \tag{36}
$$

四、讨 论

这里给出的模型把层子和轻子放在一个多重态中,作了统一的描写,所以必定出现层子轻子间的耦合,它由(36)式给出. 但这种耦合并不导致质子衰变. 这是因为每一个 G_4^α 只和两种确定的层子-轻子流耦合,所以如果不放出 G_4^α(即 G_4^α 只出现于内线中)重子数就一定守恒.而 G_4^α 的质量比质子质量大得多,不会成为质子衰变的产物,所以质子就不能衰变.但这样的耦合将在高能散射中产生效应.如对 $\bar{\nu}_e+\mathrm{P}\to e^++n$ 散射过程,如果没有层子-轻子耦合项,它只能通过带电流弱耦合(34)来进行(见图1(a)). 于是这个过程是 $V-A$ 型的. 但如果有层子-轻子耦合(这种耦合是 V 型的),则图1(b)所示的费曼图对此过程也有贡献. 当能量很低时,只要 V 比 v、$\bar{v}$、u 大得多,此图的贡献可忽略. 但能量很高时 $(q^2\sim m_{G_\alpha^4}^2)$,此图的贡献就很大,于是此过程不再是$V-A$型的了. 这种偏离可在1000 GeV处就变得很显著. 所以是可以检测到的.

又如质子和质子碰撞可以发生如下的过程:

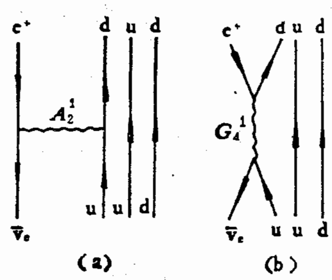

图 1

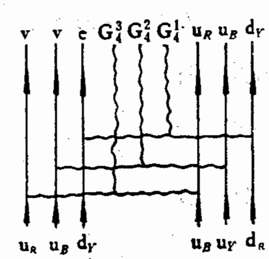

图 2

$$
\mathrm{P}+\mathrm{P}\to\nu+\nu+e+G_4^1+G_4^2+G_4^3+\mathrm{P}
$$

它的费曼图如图2所示. 此过程放出了 G_4^α,故重子数和轻子数都不守恒. 因为 G_4^α 的质量很大,所以只有当入射质子能量极大时,才能发生这样的过程. 另外,这个过程的截面极小,所以要检测这个过程是很困难的.

这个模型的另一个预言是存在两个中性的中间玻色子,它们的质量为:

$$
m_{Z_1}=\frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{(12v^2+u^2)(g_2^2+g^2)}\qquad m_{Z_2}=\frac{1}{\sqrt{2}}u\sqrt{16g_4^2+g_2^2+9g^2} \tag{37}
$$

因为 $g_4 \gg g_2$、g，而 $u \approx 3v$，故 $m_{Z_2} \gg m_{Z_1}$.

$$\frac{m_{Z_2}}{m_{Z_1}} \approx \frac{4g_4}{\sqrt{21(g_2^2+g^2)}} \tag{38}$$

我们可通过 Z_2 所产生的效应来证实它的存在．从(35)式我们可看到，当只有一个 Z_1 时，Z_1 和层子的耦合强度等于和轻子的耦合强度．但有 Z_2 时，这两个强度是不等的．低能时，和层子的耦合强度比和轻子的耦合强度小 3 倍，所以可以通过和实验比较而作出判断．另外，当 $q^2 \gg m_{Z_2}^2$ 时因为 $g_4 \gg g_2$ 及 g，所以 Z_1 的作用可忽略，主要是 Z_2 的作用，Z_2 的耦合是 V 型的，故在高能 $e\bar{\nu} \to e\bar{\nu}$ 过程中，宇称破坏极小．

本模型还可算出温伯格角．因为 $g_2 = \sqrt{3}\,g$，所以由 (16) 可得

$$\sin^2\theta_w = \frac{g^2}{g_2^2+g^2} = 0.25 \tag{39}$$

因为 Z_2 的作用和电磁作用一样是 V 型的，而低能时 Z_2 的作用比电磁作用弱得多，可以忽略，所以它不会影响 θ_W 的值．实验值为 $\sin^2\theta_W = 0.229$[6].

参　考　文　献

[1] H. Georgi and S. L. Glashow, ***Phys. Rev. Lett.***, **32**(1974), 438.

[2] F. Reines and M. F. Crouch, ***Phys. Rev. Lett.***, **32**(1974), 493; J. Learned, F. Reines and A. Soni, *Phys. Rev. Lett.*, **43**(1979), 907, 1626(E).

[3] V. A. Lyubimov et al., ***Phys. Lett.***, **94B**(1980), 266.

[4] M. Daum et al., ***Phys. Lett.***, **74B**(1978), 126.

[5] J. Kirby 1979 International Symposium on Lepton and Photon Interactions P. 107.

[6] I. Liede and M. Roos, ***Nucl. Phys.*** **B167**(1980), 397; P. Langacker, J. E. Kim, M. Levine, H. H. Williams and D. P. Sidhu, Neutrino 79 Vol. 1, P. 276.

AN $SU(4) \otimes SU(2) \otimes U(1)$ UNIFIED MODEL

Xu De-zhi

(*Institute of High Energy Physics, Academia Sinica*)

ABSTRACT

In this paper we propose an $SU(4) \otimes SU(2) \otimes U(1)$ unified model, in which the stratons and leptons of every generation belong to the same Multiplet, and the leptons will couple to the stratons. But this kind of coupling cannot cause the proton decay, and has only some effects in high energy scatterings. This model predicts the existense of two neutral intermediate bosons, instead of one, and the value of Weinberg angle to be $\sin^2\theta_w=0.25$. The neutrinos have reasonable masses in the model.