

ユカワオンモデルの 新展開

$$Y_f^{eff} = \frac{y_f}{\Lambda} \langle Y_f \rangle$$

小出義夫

Contents

1. **SU(5) compatible yukawaon model**

2. **S_3 -family yukawaon model**

in collaboration with H.Nishiura in preparation

3. **U(3) family gauge bosons**

with an inverted mass hierarchy

in collaboration with T.Yamashita in preparation

4. **Summary**

ここでは, Topic 3 についてののみ, 詳しく紹介する

1. SU(5) compatible yukawaon model

Y_f は conventional gauge symmetries に対して singlets.
→ SU(5) GUT を考えても, Y_f はそれに影響を与えない.
しかし, SU(5) GUT を考えるなら, 逆に, ユカワオン模型に制限が付く.

- (1) Λ なしのモデル構築を望むなら additional matter fields
($\bar{5} + 5$) + ($\bar{10} + 10$) が必要
→ Y_f の VEV scale を低くできない.
- (2) U(3) family symmetry は SU(5) と相性が悪い.
[SU(5)]²U(1)条件 → $10_{-1} + 5^*_3$ → U(4) ?

2. S_3 -family yukawaon model

in collaboration with H.Nishiura

- ユカワオン模型の特徴

すべてのユカワオンのVEV $\langle Y_f \rangle$ は, ある1つの fundamental yukawaon Φ のVEV matrix $\langle \Phi \rangle$ を基にして記述される:

$$\langle Y_e \rangle = k_e \langle \Phi_e \rangle \langle \Phi_e \rangle \quad \langle \Phi_e \rangle_e \propto \text{diag}(\sqrt{m_e}, \sqrt{m_\mu}, \sqrt{m_\tau})$$

$$\langle Y_u \rangle = k_u \langle \Phi_u \rangle \langle \Phi_u \rangle, \quad \langle \Phi_u \rangle = k'_u \langle \Phi_e \rangle (1 + a_u X) \langle \Phi_e \rangle$$

$$\langle Y_d \rangle = k_d \langle \Phi_e \rangle (1 + a_d X) \langle \Phi_e \rangle$$

$$1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad X = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}.$$

$$\langle Y_R \rangle = k_R (\langle Y_e \rangle \langle \Phi_u \rangle + \langle \Phi_u \rangle \langle Y_e \rangle) + \dots$$

Neutrino seesaw では, $M_D = M_e$ と考えているので, MNS は Y_R のみから来る

- Quark sector に登場する $(1 + a_q X)$ をどう理解するか？

Φ_e に S_3 対称性の変換を与えればよい

$$\langle Y_q^{ij} \rangle = k_q \langle \Phi_e^{T ia} \rangle \xi_{ab}^q \langle \Phi_e^{bj} \rangle$$

$$\xi_{ab}^q = 1_{ab} + a_q X_{ab}$$

Parameter a_q の自由度は, S_3 の triplet は 2+1 であることから来る

Quarks and leptons は S_3 の変換生を持たぬことに注意

- 荷電レプトンだって, 同じタイプの構造を考えたいくなる.

$$\langle Y_e^{ij} \rangle = k_e \langle \Phi_0^{T ia} \rangle \xi_{ab}^e \langle \Phi_0^{bj} \rangle$$

現象論的にはこちらの方がすっきりとしたモデルができる.

しかし, これはユカワオン模型の初期の動機の放棄となる

3. U(3) family gauge bosons with an inverted mass hierarchy

in collaboration with T.Yamashita

- このモデルの動機は the Sumino mechanism にあり！

$$K \equiv \frac{m_e + m_\mu + m_\tau}{(\sqrt{m_e} + \sqrt{m_\mu} + \sqrt{m_\tau})^2} = \frac{2}{3}$$

なぜこの公式は pole masses に対して驚くべき精度で成立するのか？

注： K の値は、質量が $m_i \rightarrow m_i(1 + \varepsilon_0 + \varepsilon_i)$ と変化するとき $\varepsilon_i = 0$ であるならば、不変である。

QED radiative correction

$$\delta m_i = -\frac{\alpha(\mu)}{\pi} m_i \left(1 + \frac{3}{4} \log \frac{\mu^2}{m_i^2} \right)$$

そこで, Suminoは, この photon によるズレを family gauge bosons の寄与によって打ち消すというアイデアを提案した. (2009)

$$\begin{array}{c}
 \psi_L \quad \psi_R \\
 \text{---} \circ \text{---} \\
 m_i(\mu)
 \end{array}
 =
 \begin{array}{c}
 \text{---} \times \text{---} \\
 m_i^{pole}
 \end{array}
 +
 \begin{array}{c}
 \text{---} \text{---} \times \text{---} \text{---} \\
 e \quad e \\
 e^2 \log m_i^2
 \end{array}
 +
 \begin{array}{c}
 \text{---} \text{---} \times \text{---} \text{---} \\
 g \quad -g \\
 -g^2 \log M_{ii}^2
 \end{array}$$

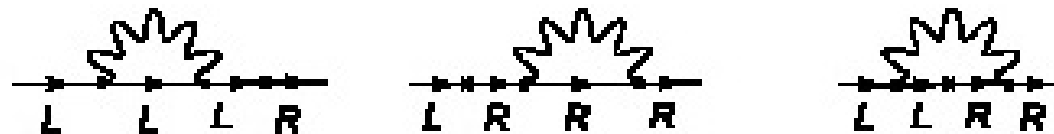
この打ち消しが正しくなされるためには,

(i) $(\psi_L, \psi_R) = (3, 3^*)$ of U(3) family symmetry

(ii) Masses of the gauge bosons A_i^j :

$$M_{ij} \equiv m(A_i^j) \propto \sqrt{m_{ei} + m_{ej}}$$

しかしながら, SUSY model では, このグラフの寄与はゼロとなる!



(a)

(b)

基本的アイデア

$$\varepsilon_i = \rho \left(\log \frac{m_i^2}{\mu^2} + \zeta \sum_j \log \frac{M_{ij}^2}{\mu^2} \right) \quad \rho = \frac{3\alpha_{em}}{8\pi}, \quad \zeta = \frac{2\alpha_F}{3\alpha_{em}}$$

photon family gauge bosons

打ち消しが起こるためには

であればよい.

$$M_{ij}^2 \equiv m^2(A_j^i) \propto \left(\frac{1}{m_i} + \frac{1}{m_j} \right)$$

このような逆階層の質量スペクトルを与えるために

$$W_Y^{eff} = \frac{y_H y_\ell y_e}{\lambda_E M_E M_L} \ell_i \bar{\Phi}_\alpha^i \Phi_j^\alpha \bar{e}^c j H_d$$

$$M_{ij}^2 = \frac{1}{2} g_F^2 \left[\sum_\alpha \left(\langle (\Psi^\dagger)_\alpha^i \rangle \langle \Psi_i^\alpha \rangle + \langle \bar{\Psi}_\alpha^i \rangle \langle (\bar{\Psi}^\dagger)_i^\alpha \rangle \right) + (i \rightarrow j) \right]$$

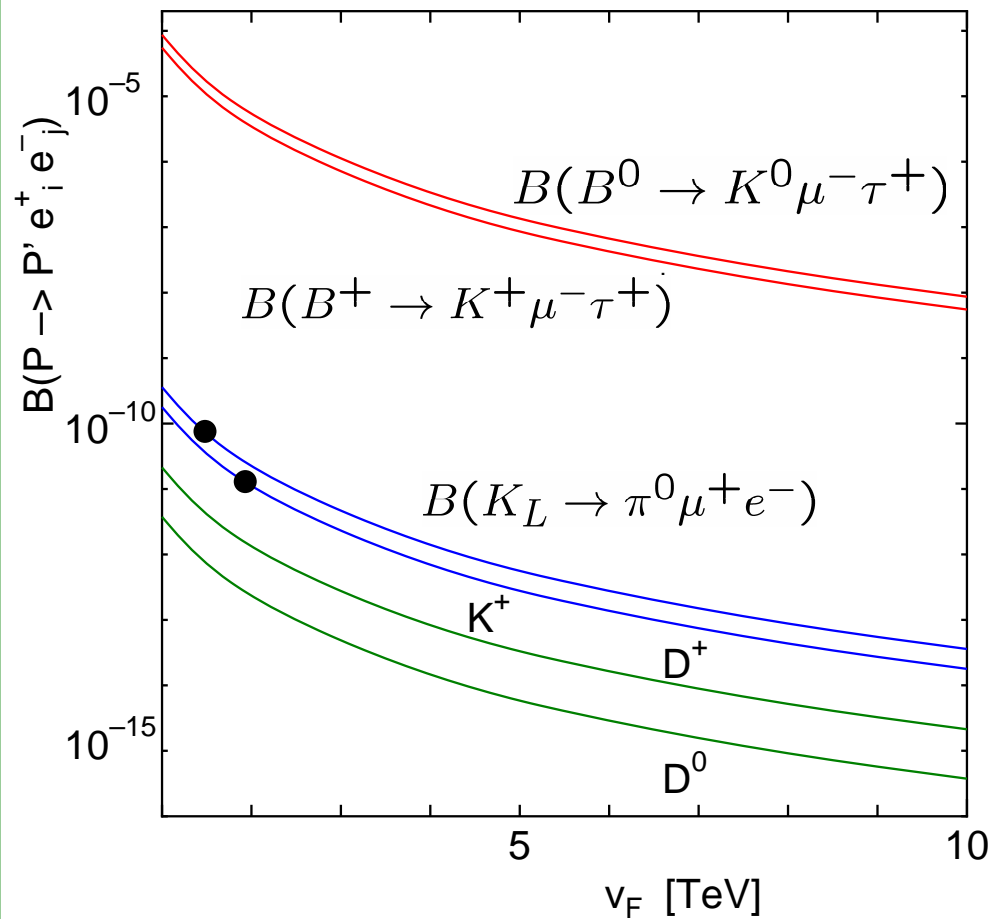
$$\langle \Phi \rangle \langle \bar{\Psi} \rangle \propto 1, \quad \langle \Psi \rangle \langle \bar{\Phi} \rangle \propto 1, \quad \frac{v_\Phi}{v_\Psi} \sim O(\varepsilon)$$

となるようなモデルを構築する.

Sumino Model versus K-Y model

	Sumino	K-Y
	Non-SUSY	SUSY
U(3) assignment of (e_L, e_R)	$\sim (3, 3^*)$	$\sim (3, 3)$
Anomaly	a model with anomaly	an anomaly-less model
Gauge boson masses	Normal	Inverted
Family currents	$M_{ij} \propto \sqrt{m_i + m_j}$	$M_{ij} \propto \sqrt{\frac{1}{m_i} + \frac{1}{m_j}}$
Effective $\Delta N_F=2$ int.	$(J_\mu)_i^j = \bar{\psi}_L^j \gamma_\mu \psi_{Li} - \bar{\psi}_{Ri} \gamma_\mu \psi_R^j$ appear even if $U_q=0$	$(J_\mu)_i^j = \bar{\psi}^j \gamma_\mu \psi_i$ not appear in the limit of $U_q=0$

Phenomenology ($\Delta N_F=0$ modes)



Direct searches

$pp \rightarrow gg \rightarrow A_3^3 \rightarrow \tau^+ \tau^-$
at LHC

$e^+ e^- \rightarrow \gamma \rightarrow t\bar{t} \rightarrow A_3^3 \rightarrow \tau^+ \tau^-$
at ILC

4. Summary

- Topic 2 の方向で進むとすると, ユカワオン模型の初期の動機であった荷電レプトンの質量公式を与えることから離れた路線となりそう. どちらの道を選択するか?
- Topic 1 の道を進みたければ, (今回説明はしなかったが)ファミリー対称性は $U(3)$ ではなく, $U(4)$ とすべきかもしれない. このこともまた, 荷電レプトンの質量公式路線とは離れてゆくことになりそう.
- Topic 3 もまた, 新しい展開をもたらす. これがどう転ぶかはまだ予測がつかない.
- いずれにせよ, ユカワオンモデルは新しい段階に入ってきたように思える. 今後の展開が楽しみである.

今後ともユカワオン模型を
ごひいきに!

