

日本物理学会2016年(宮崎大学), 2016年9月23日

講演番号: 23pSC_1

ユカワオンモデルの狙いを ユカワオンなしで 実現できるか？

！

小出義夫(大阪大理) 西浦宏幸(大阪工大)



1. なぜ $U(3) \times U(3)'$?

Q&L は $U(3)$ の triplets なのに, なぜ $U(3)'$ が必要なのか?

2009: Sumino の Family gauge boson model が提案される

ただし, 彼のモデルの $U(3) \times O(3)$ model [Y.Sumino, PLB 671, 477 (2009)]

2012: Sumino model を $U(3) \times U(3)'$ 版を提案

[YK and T.Yamashita, PLB 711, 354 (2012)]

Yukawaon model: PRD 2009, PLB 2009

Yukawaon model への $U(3)'$ の取り入れ: YK & HN, PLB 712, 396 (2012)

Sumino FGB model の特徴

$U(3)$ は $U(3)$ の scalar の VEV ではなく

$\Phi = (3, 3^*)$ of $U(3) \times U(3)'$ の VEV によって破られる $(\Lambda \ll \Lambda')$

質量行列のモデルにどう影響したか?

$$H = \frac{1}{\Lambda} (\bar{e}_L)^i \Phi_i^j \Phi_j^k (e_R)_k + \dots \quad \xrightarrow{U(3)} \quad H = \frac{1}{\Lambda^2} (\bar{\ell}_L)^i \Phi_i^\alpha \Phi_\alpha^j (e_R)_j H_d + \dots \quad \xrightarrow{U(3) \times U(3)'}$$

2. $U(3) \times U(3)'$ モデルの戦略

$$U(3) \times U(3)' \quad \Lambda \ll \Lambda'$$

Stimulated by Sumino's work
Y.Sumino, PLB671,477 (2009)

broken into S_3

破れのメカニズムの探求は将来の課題として残す

(今まで、Q&Lの対称性の破れをひたすら追求されてきた皆様、ご苦労様でした。
いずれそのご苦労は報われるはずです。)

その代わり、 $U(3)$ のある破れの結果として生じたところの
荷電レプトンの質量の観測値をインプットとして、
クォークとニュートリノの質量と混合を预言する。

Fitting は family-independent parameters
のみを用いて行う。

これは、あたかも「迷路パズル」において、
入り口から入らずに、出口から入るという unfair なやり方である！



具体的に Q&L の質量行列をみてみよう

$$(M_f)_{ij} = \langle \Phi_f \rangle_i^\alpha \langle S_f^{-1} \rangle_\alpha^\beta \langle \bar{\Phi}_f \rangle_\beta^j \quad (\Lambda \ll \Lambda')$$

Since $U(3)'$ is broken into S_3 ,

the VEVs of Φ_f take a form (unit matrix + democratic matrix)

$$\langle \hat{S}_f \rangle = v_{Sf} (1 + b_f X_3),$$

$$1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad X_3 = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}.$$

On the other hand, we take

$$\langle \Phi_f \rangle \propto \text{diag}(\sqrt{m_e}, \sqrt{m_\mu}, \sqrt{m_\tau})$$

冒頭で述べたように、これは理屈抜きの仮定

Therefore, the fermion mass ratios

and mixings in each sector are

described by only one parameters b_f .

$$b_e = 0$$

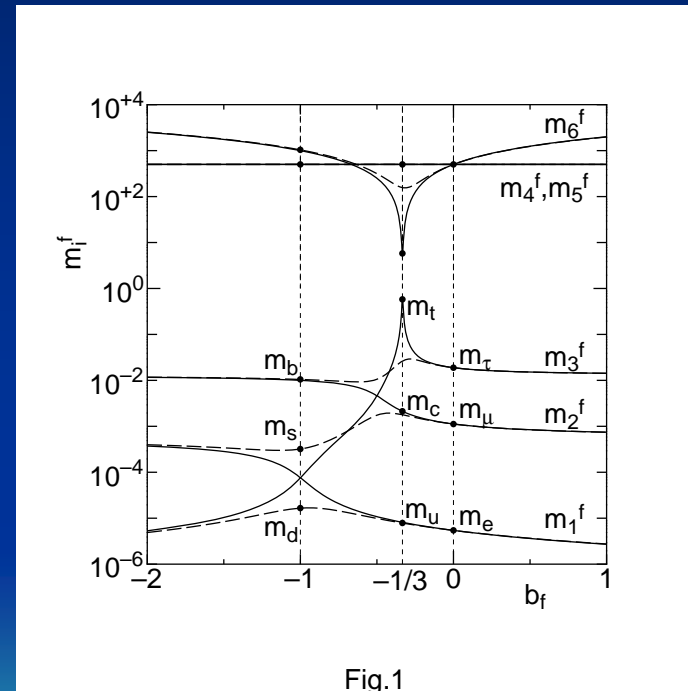


Fig.1

YK and H.Fusaoka,

Z.Phys. C 71, 1160 (1996)

(+- reads as -, bug of ppt?)⁴



蛇足

このモデルでは、次のことを暗黙の基本的原理としている。

**In the flavor physics,
the fundamental basis is a basis in which
the charged lepton mass matrix is diagonal.**

(参考) この基本フレーバー基底では, FGB mass matrix もまた対角型である。

(Lepton sector では family の破れは起こらない。
Yamanaka さんのトーク参照.)



3. これまでの Yukawaon model の成果

湯川結合定数 \rightarrow 有効結合定数 (Yukawaons の VEV)

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

(i) Family symmetries: $U(3) \times U(3)'$

(ii) R charge conservation

これらを満たす superpotential W を与えて,

SUSY vacuum conditions から flavons 間の VEV relations を導く

(iii) Flavor の基本基底では M_e は対角型をとる.

(iv) 登場する flavons はすべて 3×3 matrix 表示.

それらの VEV は, 基本基底では

すべて diagonal or democratic 型で与えられる.

観測されるクォーク・レプトンの質量比と混合の起源はただ1つ.

必ず荷電レプトンの質量比だけで理解できるはず.

Input values and Predictions

YK & HN, PRD92,11301R (2015)

$b_e = b_\nu = 0$ from the model

$b_u = -1.011$ from m_{ui} ratios

$b_d = -3.522 e^{17.7^\circ i}$ from m_{di} ratios

All parameters are family-independent parameters

$(\phi_1, \phi_2) = (-176.05^\circ, -167.91^\circ)$ ← can be expressed by m_{ei}

	$ V_{us} $	$ V_{cb} $	$ V_{ub} $	$ V_{td} $	δ_{CP}^q	r_{12}^u	r_{23}^u	r_{12}^d	r_{23}^d
Pred	0.2257	0.03996	0.00370	0.00917	81.0°	0.061	0.060	0.049	0.027
Obs	0.22536	0.0414	0.00355	0.00886	69.4°	0.045	0.060	0.053	0.019
	± 0.00061	± 0.0012	± 0.00015	$+0.00033$ -0.00032	$\pm 3.4^\circ$	$+0.013$ -0.010	± 0.005	$+0.005$ -0.003	$+0.006$ -0.006
	$\sin^2 2\theta_{12}$	$\sin^2 2\theta_{23}$	$\sin^2 2\theta_{13}$	$R_\nu [10^{-2}]$	δ_{CP}^ℓ	$m_{\nu 1}$ [eV]	$m_{\nu 2}$ [eV]	$m_{\nu 3}$ [eV]	$\langle m \rangle$ [eV]
Pred	0.8254	0.9967	0.1007	3.118	-68.1°	0.038	0.039	0.063	0.021
Obs	0.846	0.999	0.093	3.09	-	-	-	-	$< O(10^{-1})$
	± 0.021	$+0.001$ -0.018	± 0.008	± 0.15					

$$(M_\nu)_{ij} = (\hat{Y}_\nu)_i^k (\bar{Y}_R^{-1})_{kl} (\hat{Y}_\nu^T)^l_j$$

Parameter is only one ξ_ν

$$(\bar{Y}_R)^{ij} = (\bar{\Phi}_0)^{il} (\hat{Y}_u)_k^j + (\hat{Y}_u^T)^j_k (\bar{\Phi}_0)^{kl} + \xi_R (\hat{Y}_\nu^T)^i_k (\bar{E})^{kl} (\hat{Y}_\nu)_l^j$$

	$\sin^2 2\theta_{12}$	$\sin^2 2\theta_{23}$	$\sin^2 2\theta_{13}$	$R_\nu [10^{-2}]$	δ_{CP}^ℓ	$m_{\nu 1}$ [eV]	$m_{\nu 2}$ [eV]	$m_{\nu 3}$ [eV]	$\langle m \rangle$ [eV]
Pred	0.8254	0.9967	0.1007	3.118	-68.1°	0.038	0.039	0.063	0.021
Obs	0.846	0.999	0.093	3.09	-	-	-	-	$< O(10^{-1})$
	± 0.021	$+0.001$ -0.018	± 0.008	± 0.15					

4. 今回のモデルでは何が新しいか？

(i) Yukawaons を使わない！

(ii) 代わりに seesaw model を使う

$$(\bar{f}_L^i \quad \bar{F}_L^\alpha) \begin{pmatrix} (0)_i^j & (\Psi_f)_i^\beta \\ (\bar{\Phi}_f^T)_\alpha^j & -(S_f)_\alpha^\beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f_{Rj} \\ F_{R\beta} \end{pmatrix}$$

$$\Psi_f = y_f \frac{v_H}{\Lambda_H} \Phi_f$$

i, j, \dots : U(3) indices

α, β, \dots : U(3)' indices

$\Phi = (1, 3, 3^*)$ of SU(2) \times U(3) \times U(3)'

$\Psi = (2, 3, 3^*)$

$H = (2, 1, 1)$

$S = (1, 1, 8+1)$

(iii) R charge assignment を変更

従って, VEV relations やモデルの構造は大きく変更.

しかし, quark & lepton masses and mixing への parameter fitting は前のものと全く同じ

(iv) **VEV scales** を観測データから estimate する！

これまでは mass ratios のみに注目してきたが、今回は絶対値にも注目！

$$\langle \hat{S}_f \rangle_{\bullet\bullet} \sim \Lambda_1 \quad \langle \Phi_f \rangle_{\circ\bullet} \sim \Lambda_2 \quad \langle \hat{E} \rangle_{\circ\circ} \sim \Lambda_3$$

[要請] 登場する flavons の VEV は上の3つのスケールのどれかで与えられる。また、質量の次元を持つ係数もこれら3つのスケールのどれかで与えられる。

(ただし, neutrino sector は例外。)

苦労した点 ν_R は U(3) triplet なので

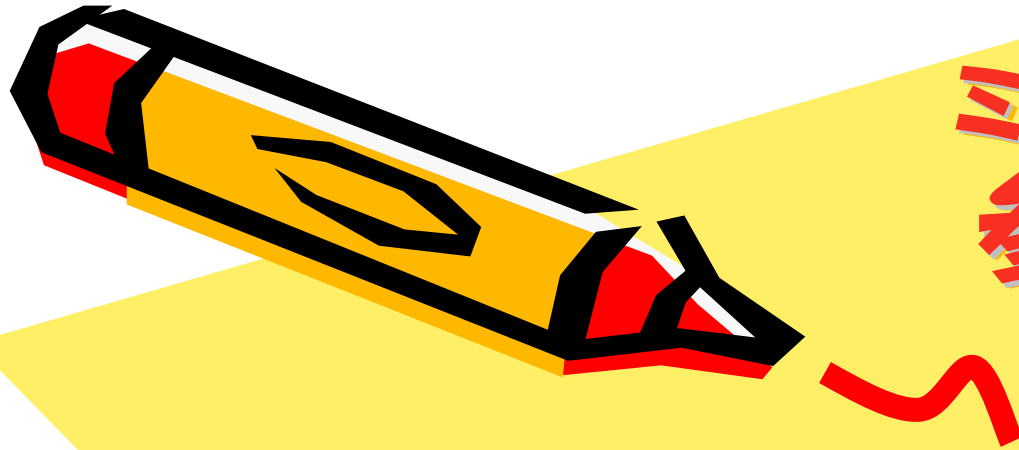
Right-handed Majorana mass matrix Y_R は U(3) 6-plet

$$\langle \bar{Y}_R \rangle^{\circ\circ} \leq \Lambda_3$$

結論

$$\Lambda_1 = 2.7 \cdot 10^7 \text{ TeV}, \quad \Lambda_2 = 1.3 \cdot 10^4 \text{ TeV}, \quad \Lambda_3 = 6.4 \text{ TeV}$$

(おことわり) この値を導くにあたって、まだ他のシナリオの可能性もあり、今後、数値の変更の可能瀬もあります。完成版をお待ちください。



ミニワークショップ 参加者募集

本年12月終わり頃に、
大阪大学大学院理学研究科物理学棟にて
科研費(基盤研究C)「荷電レプトン質量式が示唆した
TeVスケール物理の探究」にもとづくミニ研究集会を持ちます。関心のある方の積極的ご参加を歓迎します。

関心のある方は、koide@kuno-g.phys.sci.osaka-u.ac.jp までご相談ください。
学生の方にはできるだけ旅費の支給を考慮しますが、当大学は目的外の使用に厳しくなっていますので、科研費課題にそったトークであることを必要とします。¹⁰

