日本物理学会第70 回年次大会(早稲田大学(東京都)), 2015年3月24日

講演番号:24pDG-5

Origin of Leptonic CP Violation in the Yukawaon Model I

Based on ArXiv:1503.04900

小出義夫(大阪大理) 西浦宏幸(大阪工大)

Key words:

Mass matrix model with bilinear form

Unified description of M_f based on the parameters m_{ei}

Contents

Masses, CKM, MNS 等の予言については
（特に，CP の破れについては），
この後の talk Part II をご期待下さい．

1. Why we need Yukawaons?

Flavor Physics へのアプローチ

「Generation」派
（無 Sym 論者）

「Family」派 （Symmetry派）

しかし，symmetry を考えようとすると，湯川結合定数 Y_f は explicitly にそれを破る

Option 1: Discrete symmetry

$M_f = M_A + M_B + \cdots$

Option 2: Y_f は定数ではなく，field のVEVと考える

これしかない！

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

ここで，Y_f は 3×3 成分を持つ flavons

（"Yukawaons"）

2. What goal we aim?

- Quarks and leptons の質量比と混合を 3×3 の成分を持つ flavons の VEV matrices の積の形で与えたい
- 観測される物理量の hierarchical structure の起源はただ1つ

よって，どれかひとつの M_f を選べばそのパラメター値で他の mass matrices はすべて記述できるはず

(i) hierarchical structure を持つパラメターとして， 荷電レプトン質量値のみをinput とし，

(ii) 後は family number independent parameters のみで すべての mases and mixings を統一的に記述したい

（例） family number independent parameters の例

$$\langle S_f \rangle = \mathbf{1} + a_f X_3 \qquad \mathbf{1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \qquad X_3 = \frac{1}{3}\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

- (m_e, m_μ, m_τ) の起源は当面問わない

3. What new?

(i) Universal bi-linear form

$$\langle \hat{Y}_f \rangle = k_f \langle \Phi_f \rangle \langle \bar{\Phi}_f \rangle + \xi_f \mathbf{1} \qquad (f = u, d, \nu, e)$$

$$\langle \bar{P}_f \rangle^{ik} \langle \Phi_f \rangle_{kl} \langle \bar{P}_f \rangle^{lj} = k'_f \langle \bar{\Phi}_0 \rangle^{i\alpha} \langle S_f \rangle_{\alpha\beta} \langle \bar{\Phi}_0 \rangle^{\beta j},$$
$$\langle P_f \rangle_{ik} \langle \bar{\Phi}_f \rangle^{kl} \langle P_f \rangle_{lj} = k'_f \langle \Phi_0 \rangle_{i\alpha} \langle \bar{S}_f \rangle^{\alpha\beta} \langle \Phi_0 \rangle_{\beta j},$$

$$\langle S_f \rangle = \mathbf{1} + a_f X_3 \qquad \langle \Phi_0 \rangle \equiv v_0 \mathrm{diag}(x_1, x_2, x_3)$$

これら VEV relations は SUSY vacuum conditions から求める

$\langle A \rangle = \langle B \rangle \langle C \rangle$ のように，積の形で関係が与えられる．

（参考）Practical merit of the bilinear form $\langle \hat{Y}_f \rangle = k_f \langle \Phi_f \rangle \langle \bar{\Phi}_f \rangle$

Mass formula for m_{ei}： m_e は小さいけれど無視できない！

$$\frac{m_e}{m_\tau} = 2.87564 \times 10^{-4} \quad \Rightarrow \quad \sqrt{\frac{m_e}{m_\tau}} = 1.696 \times 10^{-2} \quad \Rightarrow$$

terribly hierarchical　　　　mildly hierarchical

(ii) Phase matrix P を m_{ei} で表す

$$P = \mathrm{diag}(e^{i\phi_1}, e^{i\phi_2}, e^{i\phi_3})$$

従来の CKM fitting では，我々の目指すものとは反するものの
どうしても上記のような位相行列を by hand で導入せざるをえなかった
今回のversion では
Family number dependent parameters (ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3) を
（ m_{ei} + family independent parameters）で表す

(iii) 共通の P が CKM にも MNS にも現れる

$$M_\nu = \hat{Y}_\nu Y_R^{-1} \hat{Y}_\nu \qquad \langle Y_R \rangle = \langle \hat{Y}_e \rangle \langle \Phi_u \rangle + \langle \Phi_u \rangle \langle \hat{Y}_e^T \rangle$$

Φ_u に登場する P がCKM にも MNS にも関与する

（補足） P_f について

- 一般に D term condition より,

(a) $\langle \bar{A} \rangle = \langle A \rangle$ or (b) $\langle \bar{A} \rangle = \langle A \rangle^*$

- P 以外はすべてタイプ(a) と仮定； P はタイプ(b)

$$\langle \bar{P} \rangle = \langle P \rangle^* = \mathrm{diag}(e^{-i\phi_1}, e^{-i\phi_2}, e^{-i\phi_3})$$

$$\langle S_f \rangle = \langle \bar{S}_f \rangle = 1 + a_f e^{i\alpha_f} X_3$$

- $\begin{array}{l} \langle \bar{P}_f \rangle \langle \Phi_f \rangle \langle \bar{P}_f \rangle = \langle \bar{\Phi}_0 \rangle \langle S_f \rangle \langle \bar{\Phi}_0 \rangle \\ \langle P_f \rangle \langle \bar{\Phi}_f \rangle \langle P_f \rangle = \langle \Phi_0 \rangle \langle \bar{S}_f \rangle \langle \Phi_0 \rangle \end{array}$ が成立するには

$$\begin{array}{lll} \alpha_f \neq 0 & \Rightarrow & P_f = E \equiv \mathrm{diag}(1,1,1) \\ \alpha_f = 0 & \Rightarrow & P_f = P \equiv \mathrm{diag}(e^{i\phi_1}, e^{i\phi_2}, e^{i\phi_3}) \end{array}$$

- P と E を区別するために

$$R(P) = R(\bar{P}) = \frac{1}{2}(1+\Delta), \quad R(E) = R(\bar{E}) = \frac{1}{2}(1-\Delta)$$

4. How to assign R charges

VEV relations の数より, flavons の数が多い

--> R charge の assignment は一義的ではない

--> 若干の付加的ルールを置く:

(i) flavon A と anti-flavon $\bar{A}$ とは同じ R を持つ:

$$R(\bar{A}) = R(A)$$

(ii) 同じU(3)の変換性を持つものは同じRを持てない

(iii) 不都合な項がWに登場しないようRを割り当てる

(iii) $\langle Y_R \rangle = \langle \hat{Y}_e \rangle \langle \Phi_u \rangle + \langle \Phi_u \rangle \langle \hat{Y}_e^T \rangle$

を与えるようなRであるべき

(iv) $\hat{Y}_f$ はできるだけシンプルな R を持つ

$$\left(R(\hat{Y}_e), R(\hat{Y}_u), R(\hat{Y}_\nu), R(\hat{Y}_d) \right) = (1, 2, 3, 4)$$

5. How to describe $P(\phi_i)$ by m_{ei}

- CKM の fitting から得られた

$$(\tilde{\phi}_1, \tilde{\phi}_2) = (-41.815^\circ, -15.128^\circ) \quad (\tilde{\phi}_3 \equiv 0)$$

をどう理解するか？

$$\phi_1 = \phi_0 + \tilde{\phi}_1, \quad \phi_2 = \phi_0 + \tilde{\phi}_2, \quad \phi_3 = \phi_0$$

ϕ_i を m_{ei} で表したい　　対角型VEVは P, E, Φ_e, Φ_0 のみ

(i) P, E から R charge に Δ を含まぬ組み合わせは

$$(P\bar{E} + E\bar{P})_i^j = \delta_i^j (e^{i\phi_i} + e^{-i\phi_i}) = \delta_i^j 2\cos\phi_i$$

(ii) m_{ei} に関連した R=+1 を与える対角型VEVの組み合わせは

$$(P\bar{E} + E\bar{P}) = \Phi_e\bar{\Phi}_e + b\,\Phi_0\bar{\Phi}_0$$

(iii) よって $2k\cos\phi_i = x_i^4 + b\,x_i^2 \qquad (x_i \propto (m_{ei})^{1/4})$

(iv) 数値解 $\phi_0 = -45.903^\circ, \qquad b = -1.11586$

$$\phi_1 = -87.718^\circ, \quad \phi_2 = -61.031^\circ, \quad \phi_3 = -45.903^\circ$$

[補記]

$P(\phi_i)$ を m_{ei}で表すシナリオは前述のものが唯一ではない

$(P\bar{E} + E\bar{P}) = \cdots$ がアイディアの本質部分であって，
R charge の割り当ての変更によって，
いろいろの versions が可能．

(See ArXiv: 1503.04900)

6. Summary of Part I

(i) Comments on the $P(\phi_i)$ model

Two physical values $(\tilde{\phi}_1, \tilde{\phi}_2)$ を得るために

two parameters (ϕ_0, b) を必要とする.

--> 予言能力なし！　単なるパラメターの置き換えに過ぎない？

しかし,　$(\tilde{\phi}_1, \tilde{\phi}_2)$ は family number dependent parameters

(ϕ_0, b) は family number independent parameters

Yukawaon model の目的には沿っている

この線に沿って, 将来の改良が期待される.

(ii) まだまだ flavons の数が多い.　パラメターの数も多い.

省 flavons 省 parameters　を目指したい

(iii) R charge assignment:　まだ改良の余地あり

(西浦さんの talk に続く)