

45表現ヒッグス粒子を含めたSU(5)大統一理論 におけるゲージ結合定数の統一と陽子崩壊の解析

長野佳輔 (島根大学 大阪公立大学)

0.概要

- SU(5) GUTに45 Higgsを導入する
- 45 Higgsについて3つの仮定をする
- Gauge Coupling Unificationを起こし,かつ陽子の寿命が実験の下限を満たすか確認する

1.導入

〈SU(5) GUTの魅力〉

電荷の量子化が説明できる点

〈SU(5) GUTの問題点〉

(1)ゲージ群の結合定数の統一 → 1点で交わらない

(2)quark/leptonの質量について

→ Minimal SU(5) GUTでは

down quark系の質量 = charged lepton系の質量

45 Higgsの導入で問題点の解決を試みる

2. SU(5) GUT with 45 Higgs (45_H)

$$45_H = (1, 2)_{1/2} \oplus (3, 1)_{-1/3} \oplus (3, 3)_{-1/3} \oplus (3, 1)_{4/3} \\ \oplus (\bar{3}, 2)_{-7/6} \oplus (\bar{6}, 1)_{-1/3} \oplus (8, 2)_{1/2}$$

仮定1. 45 Higgsは2世代のquark/leptonのみと相互作用

$$\mathcal{L}_Y = Y_5 \cdot \bar{5} \cdot 10 \cdot \bar{5}_H + Y_{10} \cdot 10 \cdot 10 \cdot 5_H$$

$$+ Y_{45} \cdot \bar{5}_2 \cdot 10_2 \cdot \bar{45}_H + Y_{45} \cdot 10_2 \cdot 10_2 \cdot 45_H + \text{h.c.}$$

仮定2. Georgi-Jarlskog型質量行列を持つ

$$M_u = \begin{pmatrix} 0 & D & 0 \\ D & 0 & F \\ 0 & F & E \end{pmatrix} \quad M_d = \begin{pmatrix} 0 & A & 0 \\ A & C & 0 \\ 0 & 0 & B \end{pmatrix} \quad M_e = \begin{pmatrix} 0 & A & 0 \\ A & -3C & 0 \\ 0 & 0 & B \end{pmatrix}$$

$$\frac{m_s}{m_\mu} = \frac{1}{3} \text{ @ GUT scale}$$

仮定3. 45 Higgsの成分の質量が階層性を持つ

〈SU(5) GUTの問題点〉

(1)ゲージ群の結合定数の統一 → 1点で交わらない

(2)quark/leptonの質量について

→ Minimal SU(5) GUTでは

down quark系の質量 ≠ charged lepton系の質量

↑
Georgi-Jarlskog型質量行列より

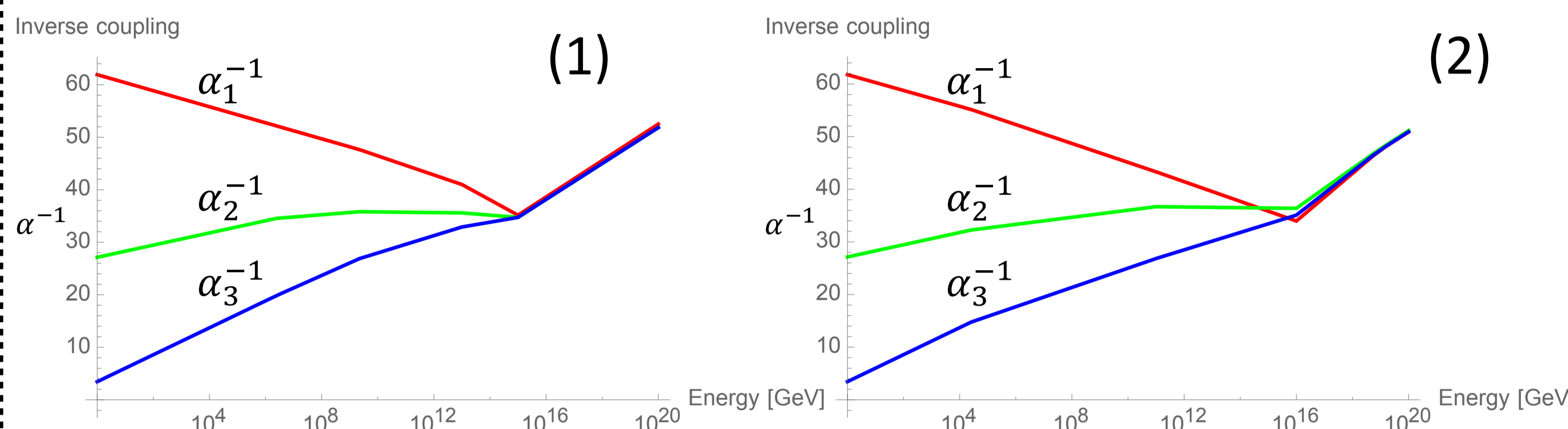
3. Gauge Coupling Unification

$$\frac{1}{\alpha_i(\mu)} = \frac{1}{\alpha_i(M_Z)} - \frac{1}{2\pi} \beta_i^{SM} \ln\left(\frac{\mu}{M_Z}\right) - \frac{1}{2\pi} \sum_X \beta_X \ln\left(\frac{M_X}{\Lambda}\right)$$

1-loop RGE

SU(5) 45 Higgsによる寄与

ゲージ結合定数に45 Higgsの寄与を加えて連立方程式を解くことで以下の結果が得られる



粒子	M_{XY}	M_{H_c}	M_Σ	$M(1, 2)$	$M(\bar{3}, 1)$	$M(\bar{3}, 3)$	$M(3, 1)$
(1)	1.0×10^{15}	1.0×10^{15}	1.0×10^{13}	1.0×10^{13}	1.0×10^{13}	2.5×10^6	1.0×10^{13}
粒子	$M(3, 2)$	$M(6, 1)$	$M(8, 2)$				
(1)	1.0×10^{13}	1.0×10^{13}	2.2×10^9				

粒子	M_{XY}	M_{H_c}	M_Σ	$M(1, 2)$	$M(\bar{3}, 1)$	$M(\bar{3}, 3)$	$M(3, 1)$
(2)	1.0×10^{16}	1.0×10^{16}	8.7×10^{18}	8.7×10^{18}	8.7×10^{18}	4.0×10^{10}	8.7×10^{18}
粒子	$M(3, 2)$	$M(6, 1)$	$M(8, 2)$				
(2)	8.7×10^{18}	8.7×10^{18}	2.6×10^4				

10¹⁵より軽いcolored Higgsがいるけれど陽子崩壊は大丈夫？

4. Proton Decay

湯川行列を特異値分解しフレーバー混合を考える

$$Y_u = \begin{pmatrix} 0 & \lambda^6 & 0 \\ \lambda^6 & 0 & \lambda^2 \\ 0 & \lambda^2 & 1 \end{pmatrix} \rightarrow Y_u = \begin{pmatrix} 1 & \lambda^2 & 0 \\ \lambda^2 & 1 & \lambda^2 \\ 0 & \lambda^2 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \lambda^{12} & 0 \\ & \lambda^4 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & \lambda^2 & 0 \\ \lambda^2 & 1 & \lambda^2 \\ 0 & \lambda^2 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Y_{d/e} = \begin{pmatrix} 0 & \lambda^3 & 0 \\ \lambda^3 & \lambda^2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \rightarrow Y_{d/e} = \begin{pmatrix} 1 & \lambda & 0 \\ \lambda & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \lambda^4 & 0 \\ & \lambda^2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & \lambda & 0 \\ \lambda & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

	mode1	mode2	mode3	mode4
反応	$p \rightarrow \mu^+ K^0$	$p \rightarrow \mu^+ \pi^0$	$p \rightarrow e^+ K^0$	$p \rightarrow e^+ \pi^0$
diagram				
崩壊幅	$\left(\frac{\lambda^4 \lambda^2 \lambda^2 \lambda^2}{M^2}\right)^2 m_p^5$	$\left(\frac{\lambda^4 \lambda^2 \lambda^2 \lambda^2 \lambda}{M^2}\right)^2 m_p^5$	$\left(\frac{\lambda^4 \lambda^2 \lambda^2 \lambda^2 \lambda}{M^2}\right)^2 m_p^5$	$\left(\frac{\lambda^4 \lambda^2 \lambda^2 \lambda^2 \lambda \lambda}{M^2}\right)^2 m_p^5$
陽子の寿命 [year]	3×10^{36}	7×10^{37}	7×10^{37}	2×10^{39}
実験の下限 [year]	4.5×10^{33}	1.6×10^{34}	1.0×10^{33}	2.4×10^{34}

5. Summary

- 45 Higgsを導入し3つの仮定をすることで、Gauge Coupling Unificationとquark/leptonの質量関係の一部を再現できることを確認した
- この時、陽子崩壊に寄与する45 Higgsも実験の下限を満たすことを確認した