

高スケール超対称性の下での超対称大統一模型と次元5の演算子による陽子崩壊

名古屋大学 E研 桑原拓巳

JHEP 1307(2013) 038 (arXiv:1304.3651) 久野純治氏, 小林大輝氏, 永田夏海氏との共同研究

Background & Motivation

LHC 8TeVの実験結果

- ▶ 126GeV Higgs Bosonの発見
 - ▶ SUSY粒子の質量に関する制限
- 超対称模型の一つの可能性 → **高いスケールで破れる超対称性**

従来の最小超対称SU(5)大統一模型と陽子崩壊

- ▶ 予言される陽子の寿命が観測と矛盾

$$\tau(p \rightarrow K^+ + \bar{\nu}) \sim 10^{30}[\text{yrs}] < \tau_{\text{exp}} = 4 \times 10^{33}[\text{yrs}]$$

(T.Goto, T.Nihe, Phys. Rev. D 59 (1999) 115009)

→ この崩壊を引き起こす質量次元5の演算子を禁止または抑制

高スケール超対称性を課す場合

次の事実から質量次元5の演算子を禁止、抑制する必要がなくなる

- ▶ 陽子の寿命がおおよそSUSY粒子の質量 m_{SUSY} の二乗に比例。
- ▶ GUT scaleのThreshold correctionから決まるColored Higgsの質量が重くなる。(永田さん's talk)

→ 高スケール超対称性の下では次元5の演算子による陽子崩壊は観測からの制限に矛盾しない

High-Scale SUSY

SUSYの破れを伝達する粒子がGauge singletでない場合を仮定する。

- ▶ Squark, Slepton mass M_S

$$M_S \sim m_{3/2}$$

- ▶ Gaugino mass termやA-termは M_S に対して1-loop suppressionを受けて生成

$$M_a = \frac{b_a g_a^2}{16\pi^2} m_{3/2}$$

以下の解析ではA-termは無視する。

- ▶ Higgsino mass は model-dependentに決まる量

minimal SUSY SU(5) GUT & Proton decay

最小超対称SU(5)大統一模型

matter contents

$$\phi_\alpha(5^*) = \begin{pmatrix} D_a^C \\ \epsilon_{rs} L^s \end{pmatrix}$$

$$\psi^{\alpha\beta}(10) = \begin{pmatrix} \epsilon^{abc} U_c^C & Q^{ar} \\ -Q^{sa} & \epsilon^{sr} E^c \end{pmatrix}$$

Higgs場

$${}^t H(5) = (H_C, H_C, H_C, H_u^+, H_u^0)$$

$${}^t \bar{H}(5^*) = (\bar{H}_C, \bar{H}_C, \bar{H}_C, \bar{H}_d, -\bar{H}_d^0)$$

Superpotential $W = \frac{f}{3} \text{Tr} \Sigma^3 + \frac{fV}{2} \text{Tr} \Sigma^2 + \lambda \bar{H}_\alpha (\Sigma_\beta^\alpha + 3V \delta_\beta^\alpha) H^\beta$

$$+ \frac{h^{ij}}{4} \epsilon_{\alpha\beta\gamma\delta} \psi_i^{\alpha\beta} \psi_j^{\gamma\delta} H^e + \sqrt{2} f^{ij} \psi_i^{\alpha\beta} \phi_{j\alpha} \bar{H}_\beta$$

h_{ij}, f_{ij} の自由度

→ Yukawa, CKMに加えて2つの位相

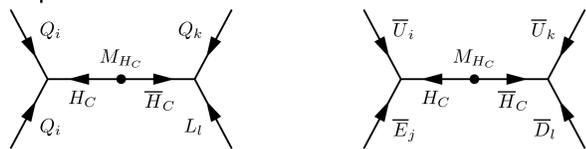
$$h^{ij} = h^i e^{i\varphi_i} \delta^{ij}$$

$$f^{ij} = V_{ij}^* f^j$$

$e^{i\phi}$ はflavor diagonalに与えてconstraint
 $\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0$
をかける

次元5の演算子による陽子崩壊

in Superspace

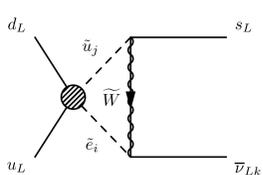


colored Higgs integrated out

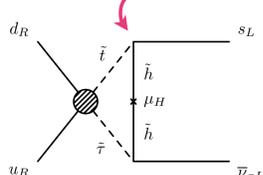
→ 成分場で(fermion)²-(sfermion)² vertex

Higgsino, Winoを媒介させる。

→ B#を破る演算子



Top Yukawaを拾って振幅→大



次元5の演算子によって引き起こされる陽子崩壊の主な崩壊モード: $p \rightarrow K^+ + \bar{\nu}$

Energy scale ~ 2GeVでの4-Fermi operator

Wino-dressed Effective Lagrangian

$$\mathcal{L}_{LLLL} = \frac{1}{M_{HC}} \frac{2\alpha_2^2}{m_W^2 \sin 2\beta} \sum_{i,l} m_{u_i} m_{d_l} A^{(i,l)} e^{i\varphi_i} V_{ul}^* V_{is} V_{id}$$

$$\times F(M_2, M_S) \epsilon_{\alpha\beta\gamma} \left[(u_L^\alpha d_L^\beta) (s_L^\gamma \nu_{lL}) + (u_L^\alpha s_L^\beta) (d_L^\gamma \nu_{lL}) \right]$$

Higgsino-dressed Effective Lagrangian

$$\mathcal{L}_{RRRR} = -\frac{1}{M_{HC}} \frac{\alpha_2^2 e^{i\varphi_1}}{m_W^4 \sin^2 2\beta} F(\mu_H, M_S) (m_t)^2 m_\tau V_{tb}^*$$

$$\times \epsilon_{\alpha\beta\gamma} \left[m_d V_{ud} V_{ts} A^1 (u_R^\alpha d_R^\beta) (s_L^\gamma \nu_{\tau L}) + m_s V_{us} V_{td} A^2 (u_R^\alpha s_R^\beta) (d_L^\gamma \nu_{\tau L}) \right]$$

Fはtriangle diagramから現れるloop function

M_2 : Wino mass

μ_H : Higgsino mass

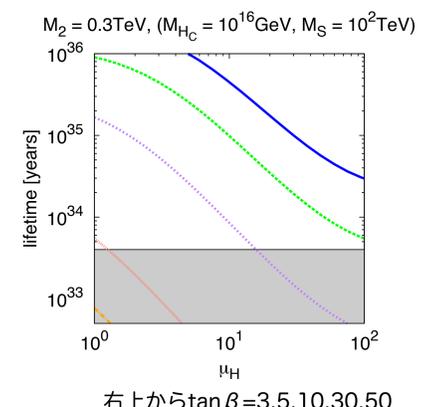
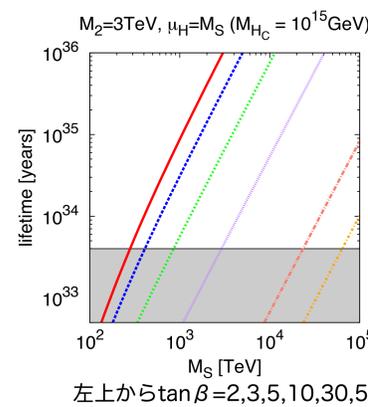
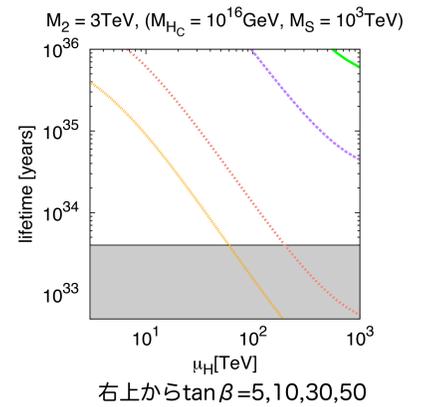
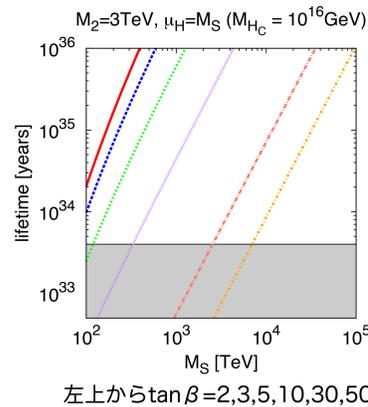
$$F(\mu, M_S) \equiv \frac{\mu}{M_S^2 - \mu^2} \left(1 - \frac{\mu^2}{M_S^2 - \mu^2} \ln \frac{M_S^2}{\mu^2} \right) \sim \frac{\mu}{M_S^2} \quad (M_S \gg \mu)$$

$A^{(i,j)}, A^1, A^2$ は量子補正による効果を含んだくりこみ因子

Proton decay w/ high-scale SUSY

- Squark, Sleptonの質量は縮退していると仮定(M_S)、Gauginoの質量も全て縮退していると仮定(M_2)
- Colored Higgsの質量(M_{HC})はHigh-Scale SUSYでは重くなる
→ $10^{15}\text{GeV}, 10^{16}\text{GeV}$ の2パターンで解析
- Higgsino mass(μ_H)は M_S と縮退している場合と M_S 以下の場合で解析。
- Yukawaに含まれるadditionalな位相→陽子の寿命が最も短くなるように選ぶ。

以上の手続きを通じて、陽子の寿命を評価した。



灰色領域が観測から得られる排除領域 (現在の観測結果: $\tau(p \rightarrow K^+ + \bar{\nu}) > 4.0 \times 10^{33}[\text{yrs}]$)

Summary

- 最小超対称SU(5)大統一理論で現れる次元5の演算子による陽子崩壊は高スケール超対称性の場合には観測からの制限とは矛盾しない。
→ **次元5の演算子を禁止、抑制するような対称性は要請する必要がない**
- この意味で、高スケール超対称性のもとでの最小超対称SU(5)大統一理論自体は棄却されていない。
- 今後、Super-K, Hyper-Kでの観測によって陽子の崩壊が見つかった場合、高スケール超対称性を伴った最小超対称大統一模型である可能性が示唆される。