

# 高スケール超対称性のもとでの 次元5の演算子による陽子崩壊

名大理 桑原拓巳

based on

J.Hisano, D.Kobayashi, TK, N.Nagata : JHEP 1307 (2013) 038

2013/09/20 秋季物理学会@高知大

# Motivation

## 高スケール超対称性

- ④ 126GeVのHiggs bosonの発見
  - 超対称模型 … Higgs bosonの質量への量子補正が大きい
- ⑤ 一つの可能性 : 高スケール超対称性 (SUSY breaking scale  $\sim 10^2$ TeV)

## 陽子崩壊

- ⑥ 最小超対称SU(5)大統一模型では…
  - 低いスケール( $\sim 1$ TeV)で破れるSUSYを仮定する場合
  - 質量次元5の演算子による陽子崩壊が実験と矛盾

S.Weinberg, Phys. Rev. D **26** (1982) 287.  
N.Sakai and T.Yanagida, Nucl. Phys. B **197** (1982) 533.

# Proton decay

-problems for dim.5-

最小超対称SU(5)大統一模型(+ 低スケールSUSY) で予言される陽子の寿命は

$$\tau_{\text{p}}(\text{p} \rightarrow K^+ + \bar{\nu}) \sim 10^{30} \text{ yrs}$$

T.Goto and T.Nihei, Phys. Rev. D **59** (1999) 115009

最近の観測結果(Super-K)

$$\tau_{\text{exp}}(\text{p} \rightarrow K^+ + \bar{\nu}) > 4 \times 10^{33} \text{ yrs}$$

この問題を解決するためには...

- 短い寿命を引き起こす次元5の演算子を禁止・抑制する機構
- 高スケール超対称性

# High-scale SUSY

-split mass spectrum-

もしSUSY sectorにGauge singletな場がなければ

- ✿ sfermionの質量項は生成される  $M_s \sim O(m_{\text{SUSY}})$
- ✿ gauginoの質量項やA-termは $O(m_{\text{SUSY}})$ にはならない

gauginoの質量やA-termへの主な寄与：1-loop suppressionを受けて生成される。

G.F.Giudice, M.A.Luty, H.Murayama and R.Rattazzi, JHEP **9812** (1998) 027

L.Randall and R.Sundrum, Nucl. Phys. B **557** (1999) 79

gauginoの質量       $M_\lambda = -\frac{\beta_g(\mu)}{g(\mu)} m_{3/2} \quad \left( \beta_g(\mu) \simeq -\frac{bg^3(\mu)}{16\pi^2} \right)$



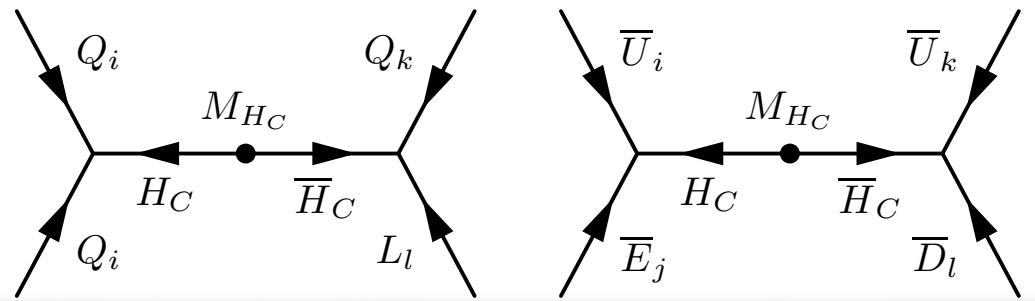
sfermionとgauginoのmass splittingが起こる。

# Proton decay

-p decay in minimal SUSY GUT-

次元5の演算子

color-triplet Higgs  
= Higgs doubletのSU(5) partner



color-triplet Higgsに関して積分後, 次元5の演算子に相当する項が得られる

$$W_5 = -\frac{1}{M_{H_C}} \left\{ \frac{1}{2} C_L^{ijkl} Q_k Q_l Q_i L_j + C_R^{ijkl} E_k^C U_l^C U_i^C D_j^C \right\}$$

color-triplet Higgs  
mass

LLLL operator

RRRR operator

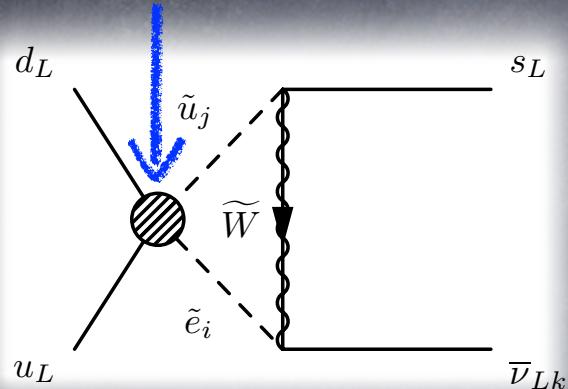
$$C_L^{ijkl} = h^i V_{kl}^* f_l e^{i\varphi_i}$$

$$C_R^{ijkl} = V_{kl}^* f_l h^i V_{ij} e^{-i\varphi_k}$$

# Proton decay

-p-decay from dim.5 operator-

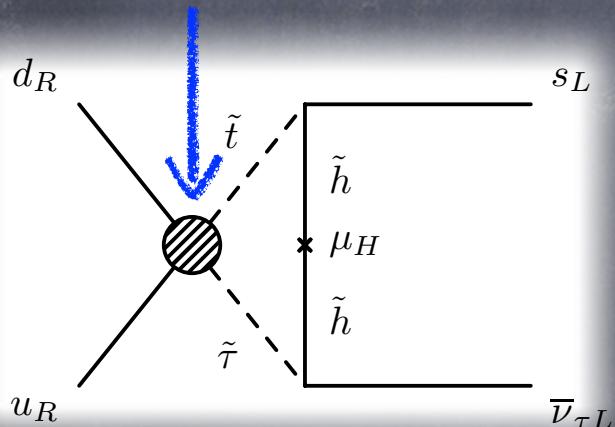
## LLLL operator



$$W_{LLLL} \propto \frac{1}{M_{H_C}} Q_i Q_i Q_k L_l$$

charged wino を媒介したものによる寄与が支配的

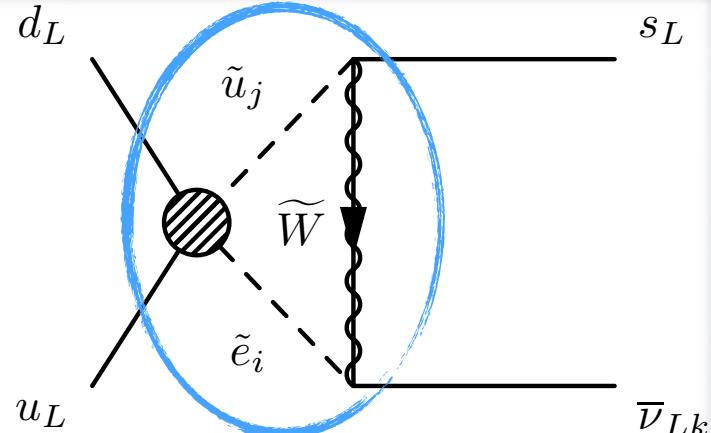
## RRRR operator



$$W_{RRRR} \propto \frac{1}{M_{H_C}} U_i^C E_j^C U_k^C D_l^C$$

charged higgsinoを媒介したものが主に寄与する  
→第三世代の粒子がloopを回るものが大きい

# Sparticle Mass dependence



$$F(M_2, M_S) = \frac{M_2}{M_S^2 - M_2^2} \left[ 1 - \frac{M_2^2}{M_S^2 - M_2^2} \ln \frac{M_S^2}{M_2^2} \right]$$

$$\sim \begin{cases} \frac{M_2}{M_S^2} & (M_S \gg M_2) \\ \frac{1}{2M_S} & (M_S \sim M_2) \end{cases}$$

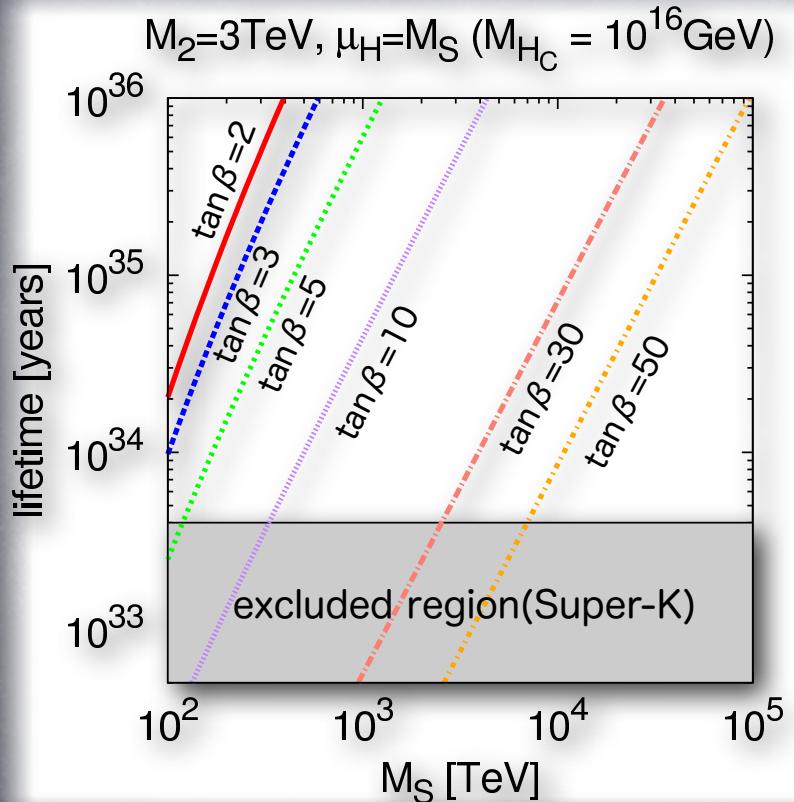
Higgsino-dressed diagramも  
同じようなmass dependenceをもつ

$M_S \sim \mu_H$  のとき近似的に, 陽子の寿命は次の表式で与えられる.

$$\tau_p \sim (4 \times 10^{35}) \times \sin^4 2\beta \left( \frac{0.1}{A_R} \right)^2 \left( \frac{M_S}{10^2 \text{ TeV}} \right)^2 \left( \frac{M_{H_C}}{10^{16} \text{ GeV}} \right)^2 \text{ [yrs]}$$

# Results

- $\mu_H = M_S$ -



setup :

sfermionは全て縮退( $M_S$ )

$M_2 = 3\text{TeV}$

A-term = 0

$M_{H_C} = 10^{16}\text{GeV}$

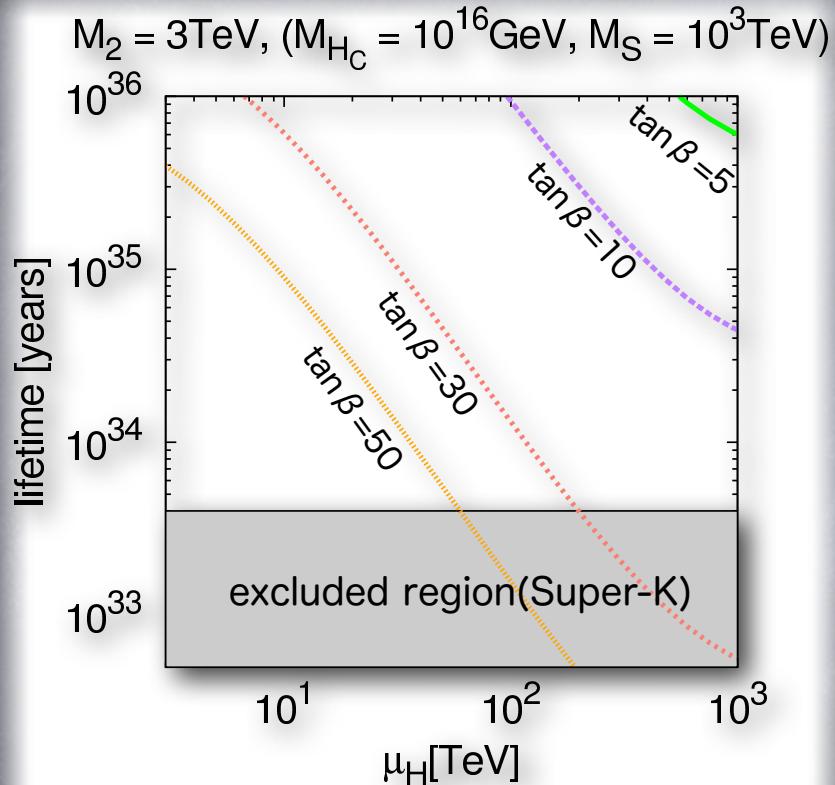
$\mu_H = M_S$

sfermionの質量が $10^2\text{TeV}$ 程度で  
陽子の寿命は観測結果と無矛盾

126GeV Higgs  
 $\rightarrow M_S \sim 10^2\text{TeV}$ で  $\tan\beta \sim 2-3$

# Results

- $\mu_H < M_S$ -



setup :

sfermionは全て縮退( $M_S$ )

$M_2 = 3\text{TeV}$

$A\text{-term} = 0$

$M_{H_C} = 10^{16}\text{GeV}$

$\mu_H < M_S$

$M_S = 10^3\text{TeV}$

Higgsinoの質量が軽いほど、  
陽子の寿命が伸びる。

# Summary

- 高スケール超対称性を伴う場合, 次元5の演算子による陽子崩壊は実験と無矛盾. 模型構築の際に余計な対称性を課す必要はない.
- 次世代検出器において, 見つかる可能性がある.  
(Hyper-K :  $\tau(p \rightarrow K^+ + \bar{\nu}) > 2.5 \times 10^{34} \text{ yrs}$ ).