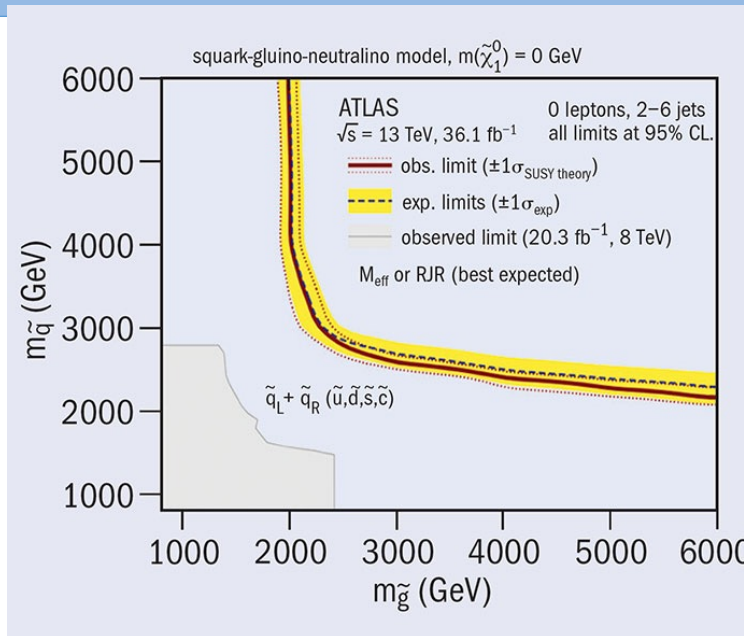
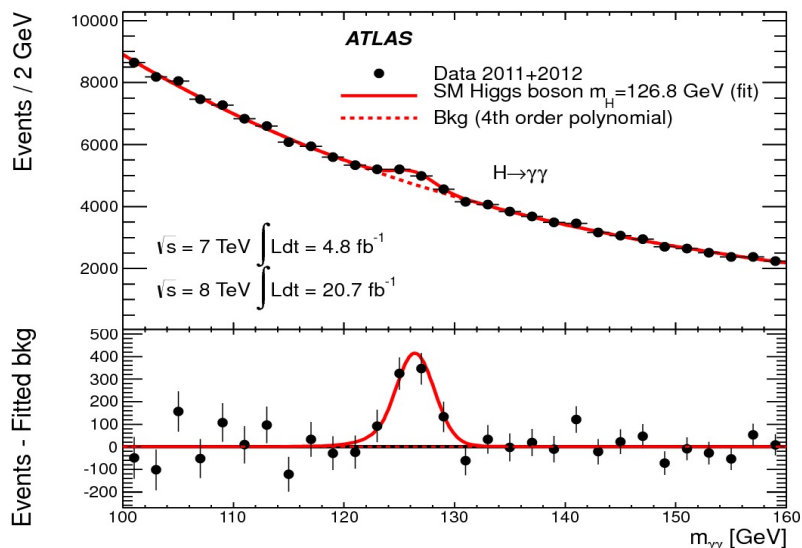


# 1. SUSY危機

信仰が試される時

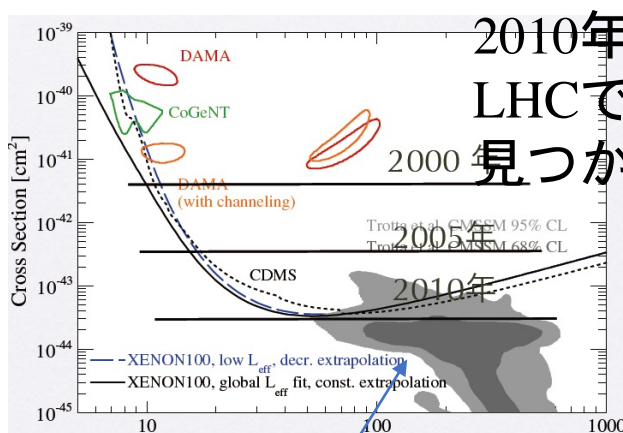


## Higgs 質量125GeV の意味すること SUSY探索の結果 (>2TeV) が意味すること



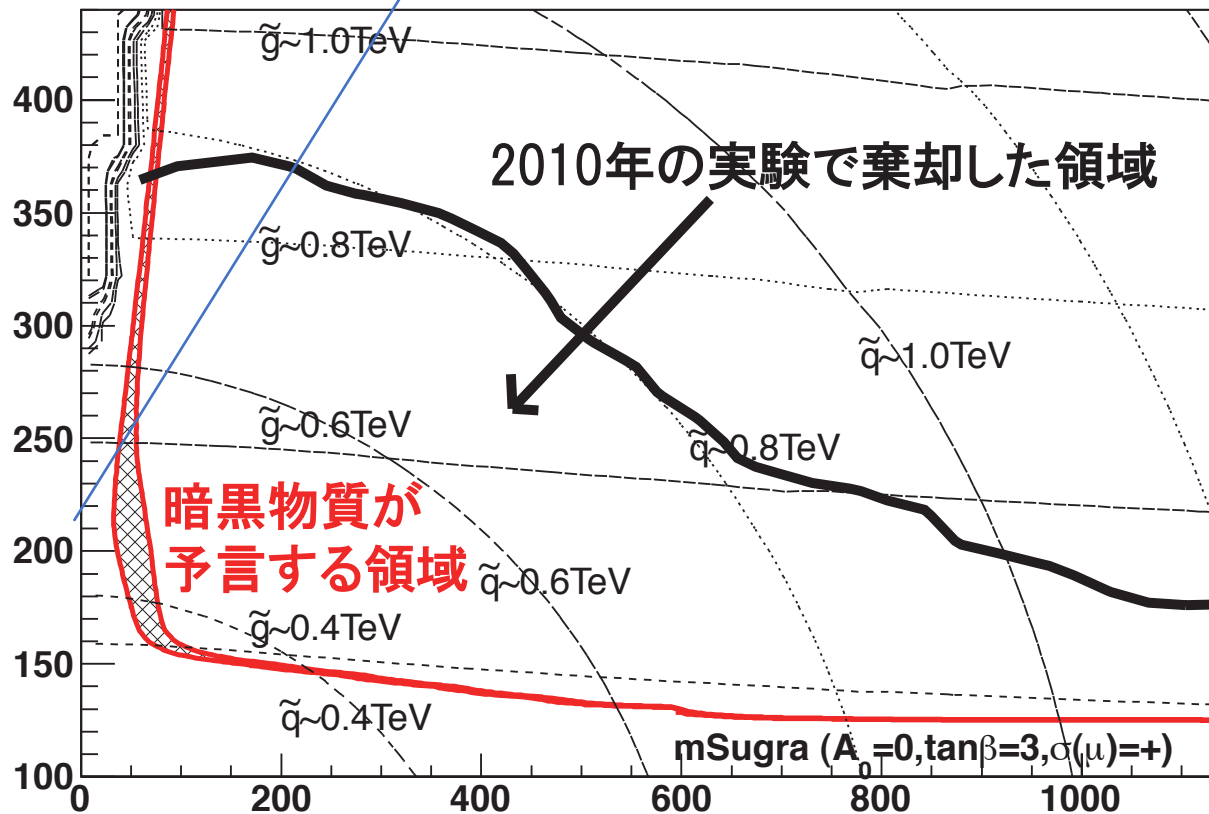
# LHCの1つ目の成果

暗黒物質が超光って可能性はほとんどない



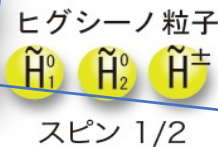
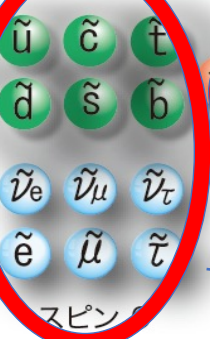
2010年の段階 (ちょびっとのデータ)  
LHCで超対称性が見つかからない

大統一でのフェルミ粒子質量 [GeV]



大統一スケールでのスカラー粒子質量 [GeV]

超対称性粒子



# 超対称性のあるときのヒッグス粒子の質量

MSSM ヒッグスの質量

$$m_h^2 \simeq m_Z^2 \cos^2 2\beta + \frac{3m_t^4}{4\pi^2 v^2} \left[ \log \left( \frac{M_S^2}{m_t^2} \right) + \frac{A_t^2}{M_S^2} \left( 1 - \frac{A_t^2}{12M_S^2} \right) \right]$$

3つの要素  
で決まる



- 1)  $M_Z(91\text{GeV})$ より軽い !! → 次の2ページ
- 2) topペアーになる量子効果で重くなる → SUSYの効果  
 SUSYが破れてなかったら重くならないが、stopとtopの差で重くなる  
 720度対称性のループ -1  
 360度対称性のループ +1  
 質量が同じなら cancel  
 差が違うとlog 発散
- 3) stop – stop – Higgs → 次の3ページ目  
 3点結合のつよさ  $A_t$   
 $A_t$ の関数で重くなる  
 SUSYの破れ  
 (スカラー、ゲージノ A )

# 二つのヒッグス場が必要

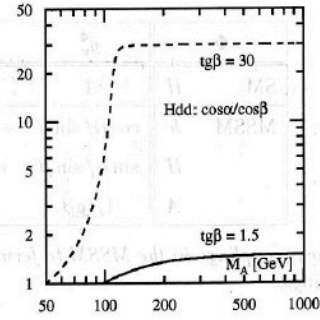
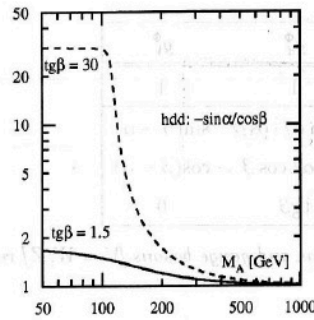
表 4.1 最小超対称標準模型の粒子.

場	スピン 0	スピン 1/2	スピン 1	SU(3)	T	Y	B	R
$\Phi_Q^i$	$\tilde{q}_L = \begin{pmatrix} \tilde{u}_L \\ \tilde{d}_L \end{pmatrix}$	$q_L = \begin{pmatrix} u_L \\ d_L \end{pmatrix}$		<b>3</b>	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	-
$\Phi_u^i$	$\tilde{u}_R$	$(u^c)_L$		<b>3*</b>	0	$-\frac{4}{3}$	$-\frac{1}{3}$	-
$\Phi_d^i$	$\tilde{d}_R$	$(d^c)_L$		<b>3*</b>	0	$\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$	-
$\Phi_L^i$	$\tilde{l}_L = \begin{pmatrix} \tilde{\nu} \\ \tilde{e}_L \end{pmatrix}$	$l_L = \begin{pmatrix} \nu_L \\ e_L \end{pmatrix}$		<b>1</b>	$\frac{1}{2}$	-1	0	-
$\Phi_e^i$	$\tilde{e}_R$	$(e^c)_L$		<b>1</b>	0	2	0	-
		$\tilde{g}$ $\begin{pmatrix} \tilde{W}^+ \\ \tilde{W}^0 \\ \tilde{W}^- \\ \tilde{B} \end{pmatrix}$	$g$ (グルーオン) $\begin{pmatrix} W^+ \\ W^0 \\ W^- \\ B \end{pmatrix}$	<b>8</b>	0	0	0	+
$\Phi_{H1}$	$H_1 = \begin{pmatrix} H_1^0 \\ H_1^- \end{pmatrix}$	$\tilde{H}_1 = \begin{pmatrix} \tilde{H}_1^0 \\ \tilde{H}_1^- \end{pmatrix}$		<b>1</b>	$\frac{1}{2}$	-1	0	+
$\Phi_{H2}$	$H_2 = \begin{pmatrix} H_2^+ \\ H_2^0 \end{pmatrix}$	$\tilde{H}_2 = \begin{pmatrix} \tilde{H}_2^+ \\ \tilde{H}_2^0 \end{pmatrix}$		<b>1</b>	$\frac{1}{2}$	1	0	+

$$\tan \beta = v_2/v_1 = 1 \sim 50$$

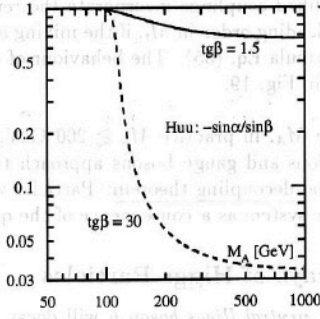
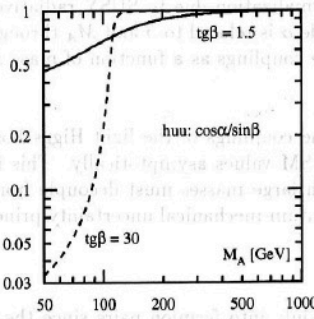
	$g_u$	$g_d$	$g_\nu$
SM H	1	1	1
MSSM A	$\cos\alpha/\sin\beta$	$-\sin\alpha/\cos\beta$	$\sin(\beta-\alpha)$
H	$\sin\alpha/\sin\beta$	$\cos\alpha/\cos\beta$	$\cos(\beta-\alpha)$
A	$1/\tan\beta$	$\tan\beta$	0

$\alpha$  は A と H の 混り方の parameter ( $m_A \rightarrow \infty$   $\alpha \rightarrow 0$ )



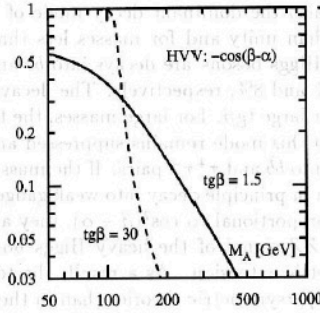
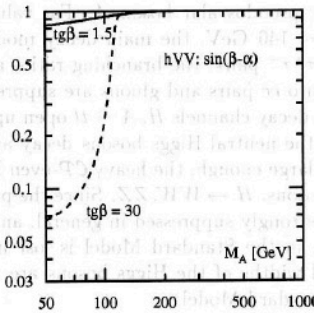
← down type

SM



SM

← up type

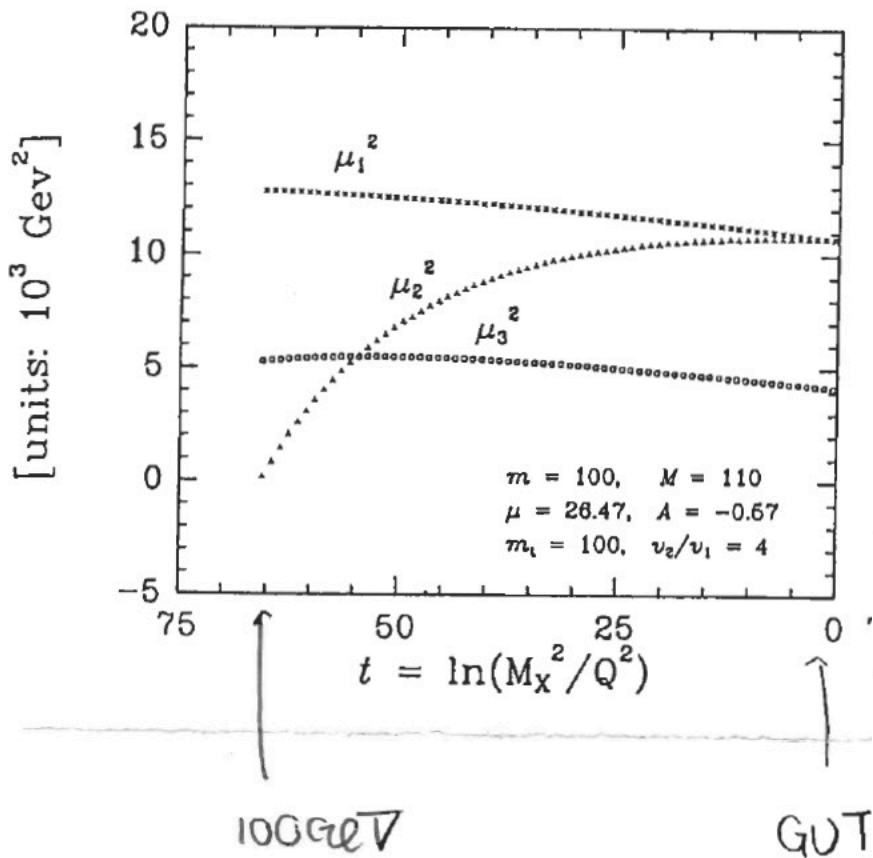


SM

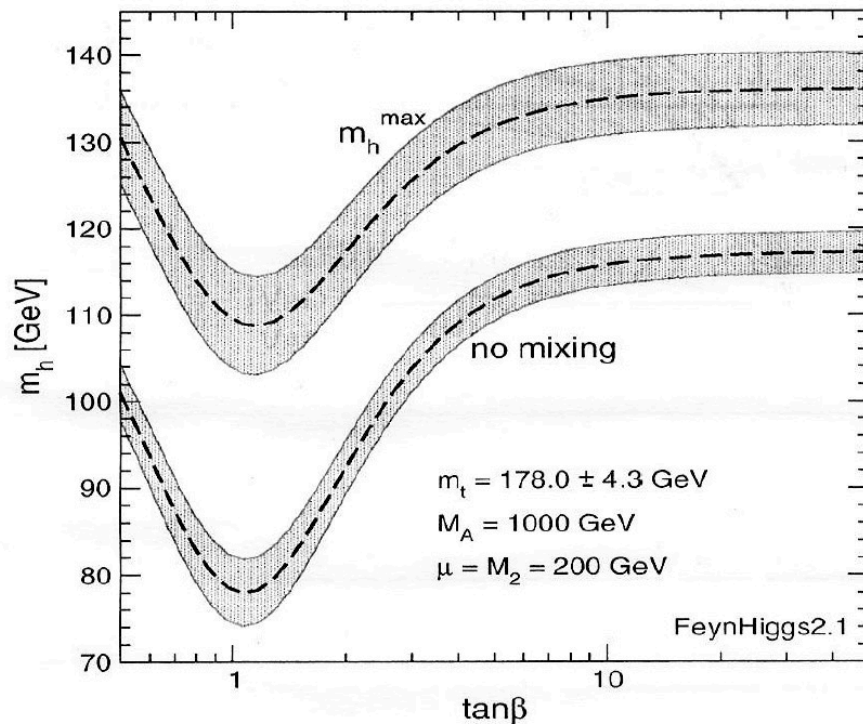
← Gauge Boson

~50 -> Unify  $y_t=y_b$  @ GUT

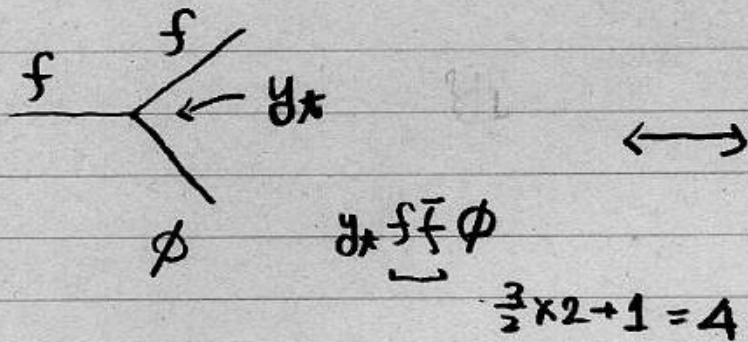
$$V = \mu_1^2 |H_1^0|^2 + \mu_2^2 |H_2^0|^2 - \mu_3^2 (H_1^0 H_2^0 + h.c.) + \frac{1}{8} (g^2 + g'^2) (|H_1^0|^2 - |H_2^0|^2)^2$$



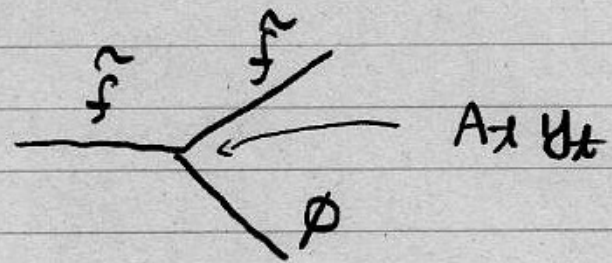
$V=246\text{GeV}$   
 Mzを出すように  
 パラメターをきめると  
 Massもきまってしまう



# Aは SUSYの破れのパラメター

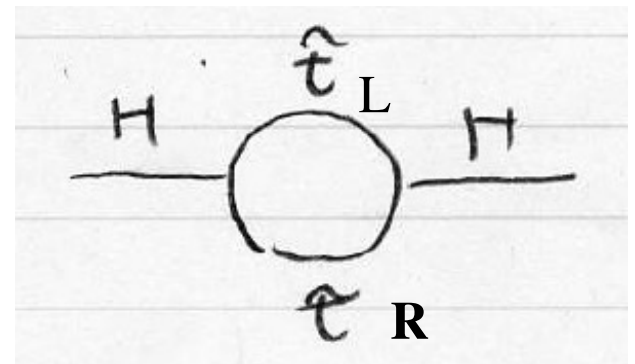


$y_t (t_L, b_L) \phi t_R$   
 $\uparrow$   
 SU(2) doublet ( )



$A y_t (\hat{t}_L, \hat{b}_L) \phi \hat{t}_R$   
 $\swarrow$   
 $1 + 1 + 1 = 3$  次  
 mass の次元

SUGRAでは Aはフリーパラメーター  
 GMSB Aは小さい  
 AMSB minimalだとAはちいさい



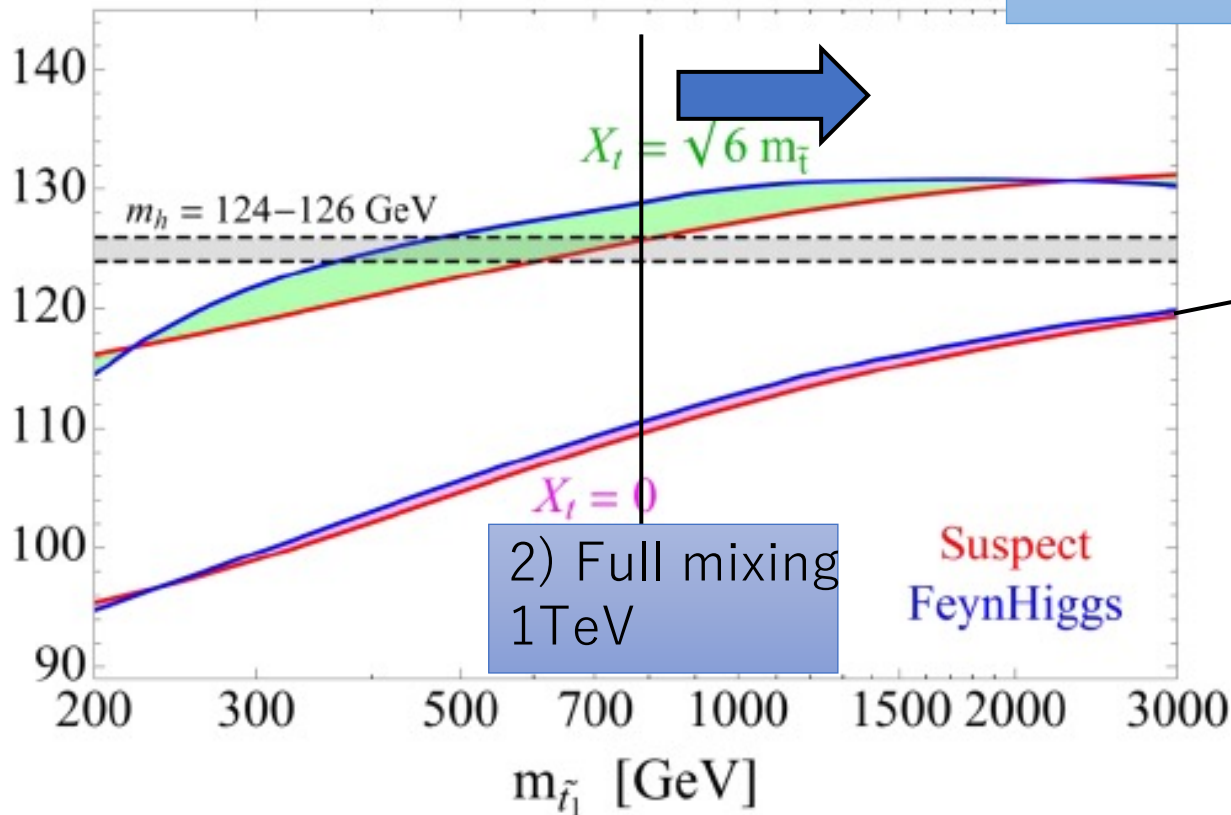
# 超対称性のあるときのヒッグス粒子の質量

MSSM ヒッグスの質量

$$m_h^2 \simeq m_Z^2 \cos^2 2\beta + \frac{3m_t^4}{4\pi^2 v^2} \left[ \log \left( \frac{M_S^2}{m_t^2} \right) + \frac{A_t^2}{M_S^2} \left( 1 - \frac{A_t^2}{12M_S^2} \right) \right]$$

定量的に

- 1) Mixingがないとき  
スカラートップは  
10-100TeV



スカラートップ  
クォークの質量  
10-100TeV

$$X_t \equiv A_t - \mu \cot \beta$$

# MSSM

$$m_h^2 \simeq m_Z^2 \cos^2 2\beta$$

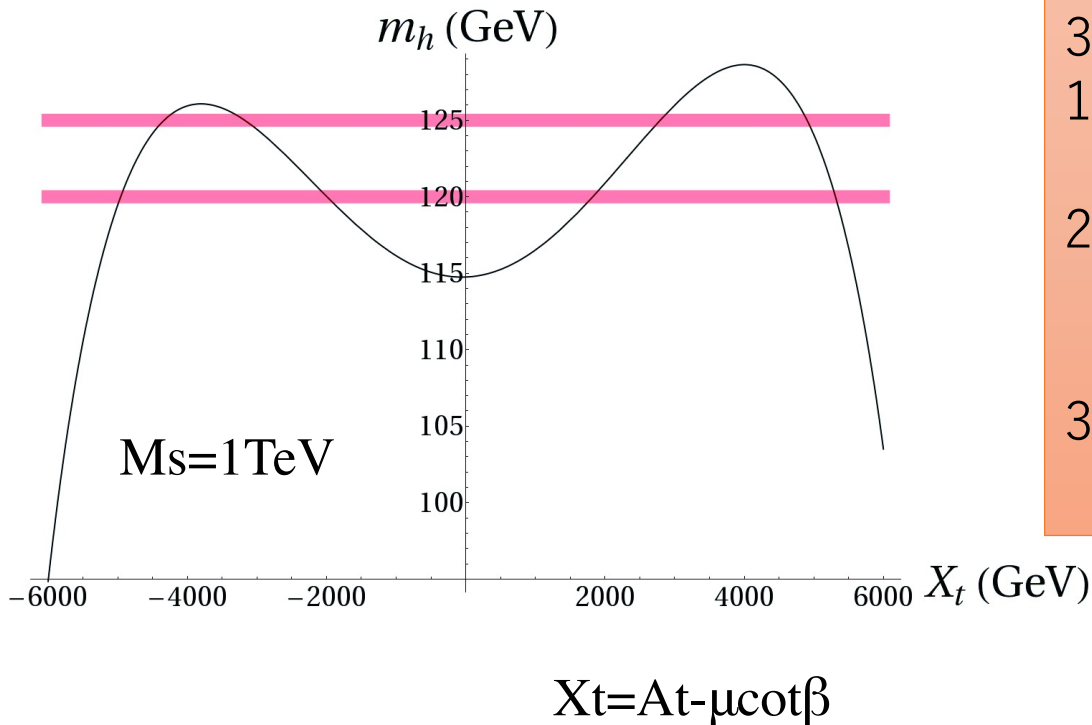
$$+ \frac{3m_t^4}{4\pi^2 v^2} \left[ \log \left( \frac{M_S^2}{m_t^2} \right) + \frac{A_t^2}{M_S^2} \left( 1 - \frac{A_t^2}{12M_S^2} \right) \right]$$

Log term

L-R mixing term

$\tan \beta \gg 1 \rightarrow \cos 2\beta = -1$   
 Higgs が重いってことも  
 Large  $\tan \beta$

$M_S = \sqrt{\text{stop1} \cdot \text{stop2}}$  Typically SUSY scalar mass.



- 3 Possibilities for 125GeV H
- 1) Heavy scalar mass  
 Stop mass is 10-100TeV
  - 2) Maximum mixing  
 Large Trilinear  $A_t \sim \sqrt{6} M_S$   
 (disfavor by EDM)
  - 3) Next MSSM framework  
 (Additional singlet)

新しい6, 7番目の  
 スカラーがいる 8

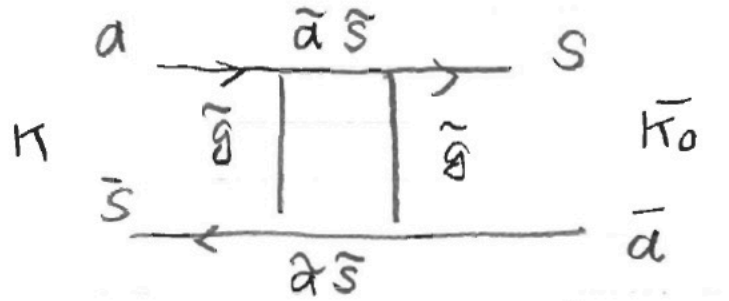


# これまで不都合な真実に目をつぶっていた

	SUGRA	GMSB	AMSB
伝えている機構	重力だけ感じる 粒子が伝える。 $M=M_{pl}, \sqrt{F}=10^{11} \text{ GeV}$	破る場とSM場の両方の電荷をもつ粒子 (メッセンジャー) $M=10-1000\text{TeV}, \sqrt{F}=10^{5-9}$	場自体 手で何か加える必要はない $\sqrt{F}=10^{13} \text{ GeV}$
暗黒物質候補	Bino $\sim O(100\text{GeV})$ なら Higgsino $\sim O(1\text{TeV})$	Gravitino $\sim O(\text{eV}-\text{KeV})$ 熱い暗黒物質	Wino $\sim 1000 \text{ GeV}$ OK
クォークの種類が変化	スカラークォークの質量がみなだいたい同じ 重い	OK	$m_0$ を手で入れないとタキオン、 $m_0 \gg 1\text{TeV}$ ならFCNC OK
Gravitino	1TeV reheating X 軽いSugraは、まずい	$<1\text{GeV}$ たくさん出来るがDM ○	10-1000TeV ( $\sim m_0$ ?) reheating 程度 ○
パラメーター	$m_0, m_{1/2}, \text{sign}(\mu), \tan\beta, A$	$\Lambda, M, n$ $\tan\beta, \text{sign}(\mu), C_{\text{gra}}$ NLSPが鍵	$m_{3/2} (m_0)$ $\tan\beta, \text{sign}(\mu)$

クォークの種類が変化 (FCNC)  $b \rightarrow s\gamma$   $s \rightarrow d\gamma$   
あんまり起きない。 スカラークォークの質量軽く、バラバラだと起き過ぎてまずい。

$K\bar{K}$  mixing



tree の干渉項

$$\alpha_s^2 \frac{(\Delta \hat{m})^2}{m_{\tilde{g}}^4} \leq 10^{-12} \text{ GeV}^{-2}$$

$m_{\tilde{g}} = 1 \text{ TeV}$  時

$$\frac{\Delta \hat{m}}{m_{\tilde{g}}} \leq 10^{-2} \rightarrow \underline{1\% \text{ で一致してない} \text{ マッイ}}$$

第1, 第2

世代の scalar quark は 縮退  
 または  
 $> \sim \text{several TeV}$

# sfermion & gluino 性質

LとR : SU(2)に対する電荷を持っているか否かでfermionも2つに分類される。  
それ以外の量子数は同じ。

SU(3) : 強い力 一番太る

SU(2) : 少し太る L > R

Mass@EW

共通@GUT

Running effect

結合が強い程太る

$$m^2(\tilde{g}) = (2.8m_{1/2})^2$$

$$m^2(\tilde{u}_L) = m_0^2 + 6.28m_{1/2}^2 + 0.35D$$

$$m^2(\tilde{u}_R) = m_0^2 + 5.87m_{1/2}^2 + 0.16D$$

$$m^2(\tilde{d}_L) = m_0^2 + 6.28m_{1/2}^2 - 0.42D$$

$$m^2(\tilde{d}_R) = m_0^2 + 5.82m_{1/2}^2 - 0.08D$$

$$m^2(\tilde{e}_L) = m_0^2 + 0.52m_{1/2}^2 - 0.27D$$

$$m^2(\tilde{e}_R) = m_0^2 + 0.15m_{1/2}^2 - 0.23D$$

$$m^2(\tilde{\nu}_L) = m_0^2 + 0.52m_{1/2}^2 + 0.50D$$

$$(D = M_Z^2 \cos 2\beta < 0(\text{Higgs}))$$

• Coloured particles ( $\tilde{g}, \tilde{q}$ ) は重い

• 第3世代の  $\tilde{f}$  は軽い。

(Yukawa+LR mixingの効果)

DMとの関係では  $\tau$ が大切

$$m^2(\tilde{\tau}) = \begin{bmatrix} m_0^2 + 0.52m_{1/2}^2 + m_\tau^2 - 0.27D & -m_\tau(A_\tau + \mu \tan\beta) \\ -m_\tau(A_\tau + \mu \tan\beta) & m_0^2 + 0.15m_{1/2}^2 + m_\tau^2 - 0.23D \end{bmatrix}$$

$\tan\beta$ が大きいと,  $\tau$ が大切

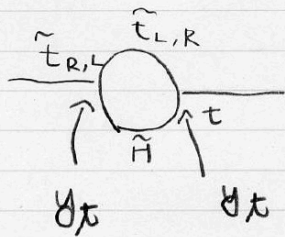
1TeV scaleだともうすこし係数小さくなります

第3世代は 軽くなる (SMと逆)  $m_0$ が世代で共通?

$$m_{\tilde{t}}^2 = \begin{bmatrix} m_{\tilde{Q}}^2 + m_t^2 + D & -m_t (A_t - \mu \cot \beta) \\ -m_t (A_t - \mu \cot \beta) & m_{\tilde{t}_R}^2 + m_t^2 + D \end{bmatrix}$$

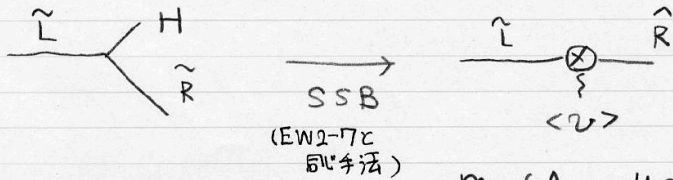
man Loose Leaf RL940 6mmX45行

① Yukawa 結合に比例する loop



doubletがまわる  $\tilde{t}_R$  の方が

②  $L \leftrightarrow R$  mixing trilinear 結合



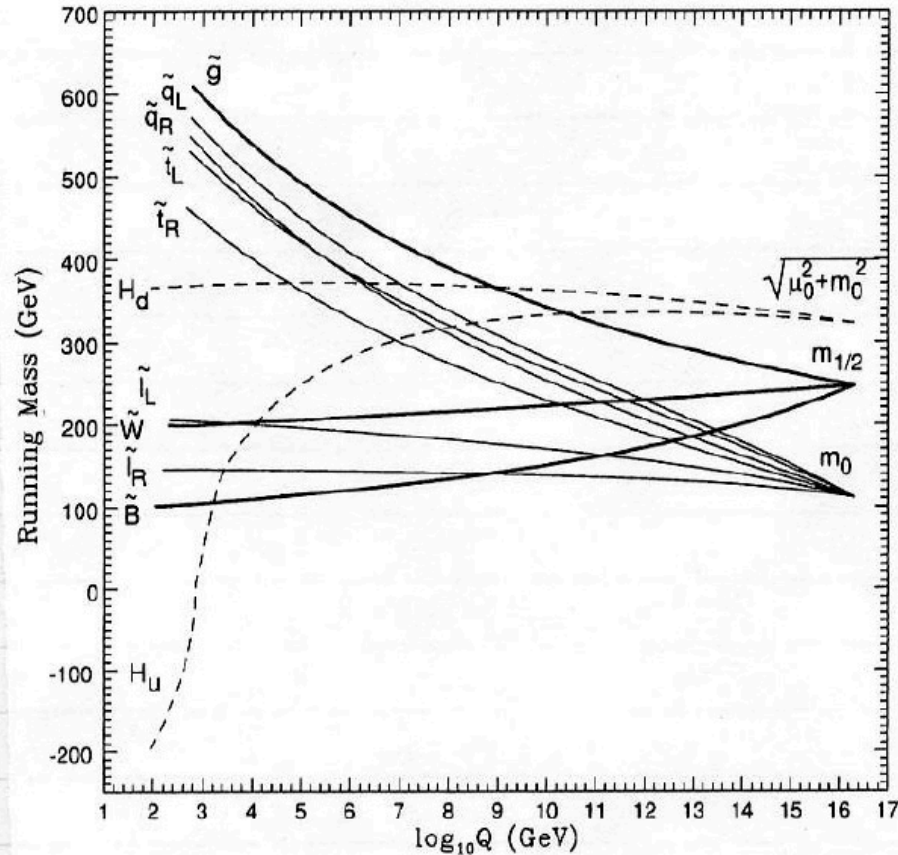
SSB  
(EW2-17と  
同じ手法)

$\tan \beta \approx m_b \tan \beta \approx m_t$   
となり 同じ寄与

or

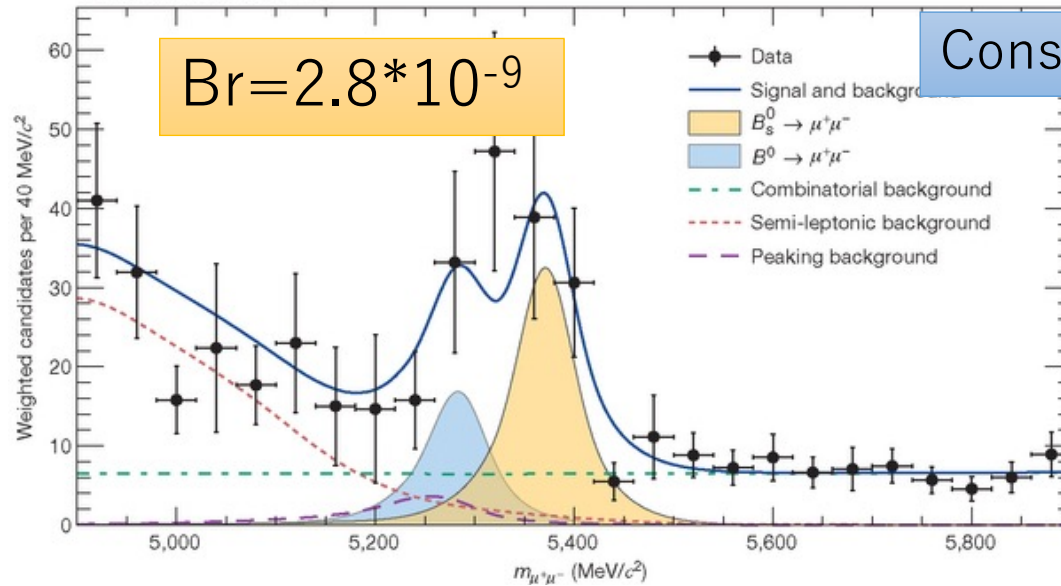
$$-m_t (A_t - \mu \cot \beta)$$

$$-m_b (A_b + \mu \tan \beta)$$

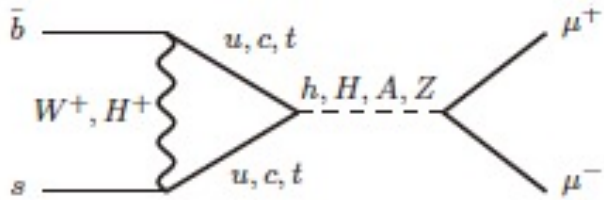


# Bsの稀崩壊からの制限

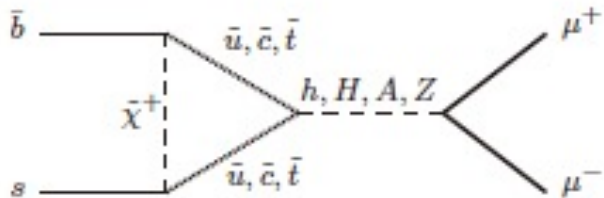
CMS and LHCb (LHC run I)



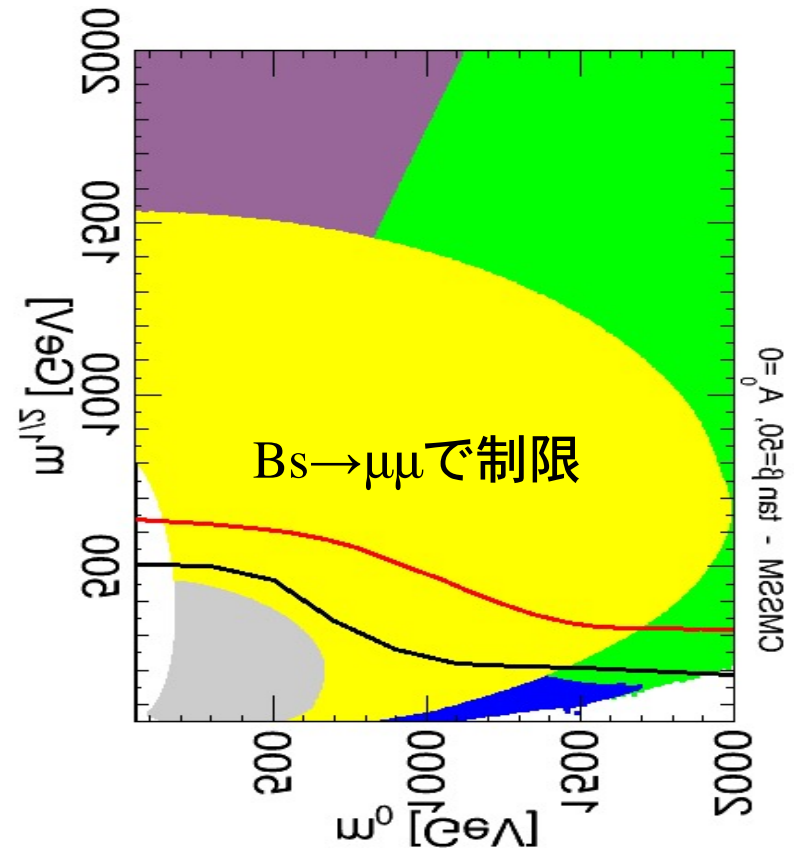
Consistent with SM prediction



SUSY particles can contribute



H/Aなどのmass  
Squark massへ制限



$m_0 > 2\text{TeV}$

# これまで不都合な真実に目をつぶっていた

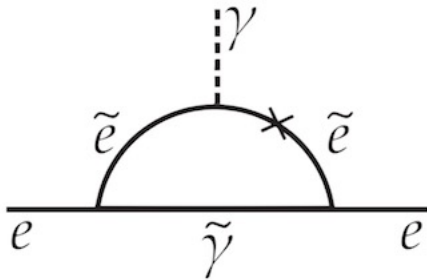
	SUGRA	GMSB	AMSB
伝えている機構	重力だけ感じる 粒子が伝える。 $M=M_{pl}, \sqrt{F}=10^{11} \text{ GeV}$	破る場とSM場の両方の電荷をもつ粒子 (メッセンジャー) $M=10-1000\text{TeV}, \sqrt{F}=10^{5-9}$	場自体 手で何か加える必要はない $\sqrt{F}=10^{13} \text{ GeV}$
暗黒物質候補	Bino $\sim O(100\text{GeV})$ なら Higgsino $\sim O(1\text{TeV})$	Gravitino $\sim O(\text{eV}-\text{KeV})$ 熱い暗黒物質	Wino $\sim 1000 \text{ GeV}$ OK
クォークの種類が変化	スカラークォークの質量がみなだいたい同じ 重い	OK	$m_0$ を手で入れないとタキオン、 $m_0 \gg 1\text{TeV}$ ならFCNC OK
Gravitino	1TeV reheating X 軽いSugraは、まずい	$\sim 10^5 \text{ GeV}$ たぶん出来るがD	10-1000TeV (~ $m_0$ ?) reheating 程度 ○
パラメーター	$m_0, m_{1/2}, \text{sign}(\mu), \tan\beta, A$		2 ( $m_0$ ) 3, $\text{sign}(\mu)$

スカラートップクォークが重い ← Higgs 125GeV  
スカラークォーク  $> 2 \text{ TeV}$   
KK mixingなど

クォークの種類が変化 (FCNC)  $u \rightarrow s\gamma, s \rightarrow u\gamma$   
あんまり起きない。 スカラークォークの質量軽く、バラバラだと起き過ぎてまずい。

# Electric Dipole Moment (EDM)からの制限

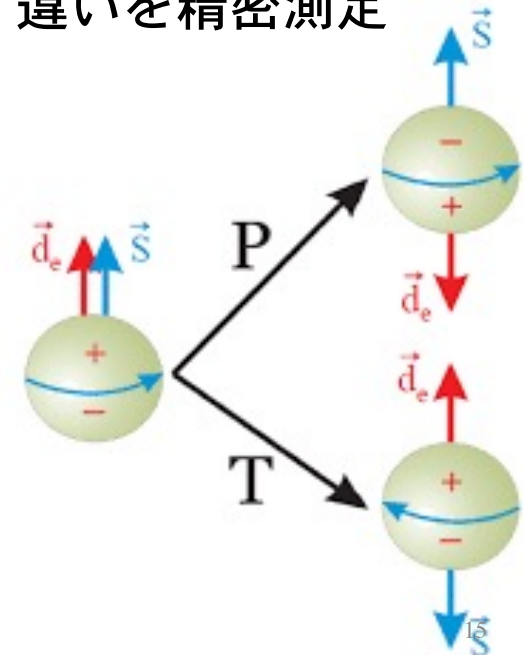
電子・quark は素粒子：大きさが無い → EDM（電荷の偏り）が無い。  
EDM=0のはず。 P変換しても電磁気的な変化はないはず。



EDMがあるとすると  
スピンの向きにあるはず

$$d_e = 10^{-26} (\Lambda_{\text{new}}/1\text{TeV})^{-2} \tan\delta \quad \text{ecm}$$

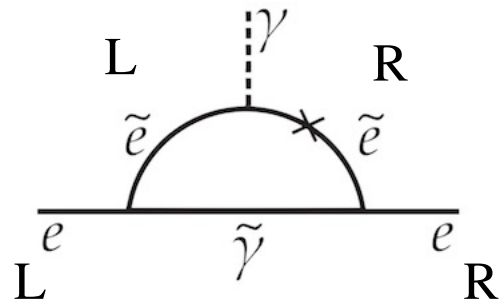
電場の向きを変えて  
スピンの歳差運動の  
違いを精密測定



# Electric Dipole Moment (EDM)からの制限

電子・quark は素粒子：大きさが無い → EDM (電荷の偏り) がない。  
EDM=0のはず。 P変換しても電磁気的な変化はないはず。

Higgsの時を思い出してください。ヒッグス：質量 L<->Rのフリップ



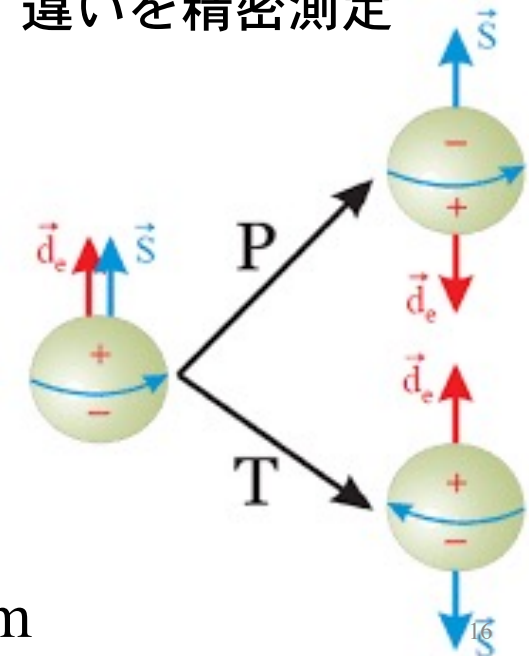
Scalarを通して結合 (このに複素位相)

EDMと同じ効果

P変換 変わる

EDMがあるとすると  
スピンの向きにあるはず

電場の向きを変えて  
スピンの歳差運動の  
違いを精密測定



湯川や

トライリニアール A

LとRがまざる。

ここに位相δがあると

複素共役でずれる。

EDMがあるようになる

(g-2との関係は、実部と

虚部の関係)

$$\delta \tan \beta$$

$$d_e = 10^{-26} (\Lambda_{\text{new}}/1\text{TeV})^{-2} \tan \delta \quad \text{ecm}$$

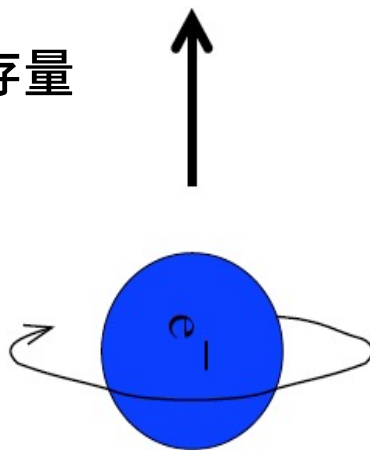


# 素粒子のスピン？

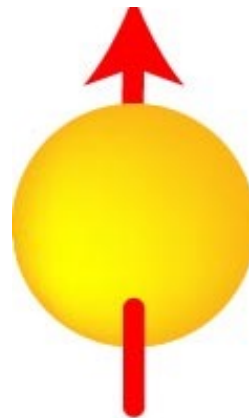
2種類：進行方向むいているか  
その反対

スピンの意味  
角運動量演算  $L+S$ が保存量  
スピン  $\frac{1}{2} \rightarrow 2$ 回転 対称

スピン：  
角運動量と同じ性質



右巻き(R)  
スピン



進行方向



左巻き(L)  
スピン



鏡で映した関係：パリティー スピン

スピン：角運動量  $= r * p$

スピン 運動  
← ● →  
左巻き (L)



スピン 運動  
← ● →  
右巻き (R)

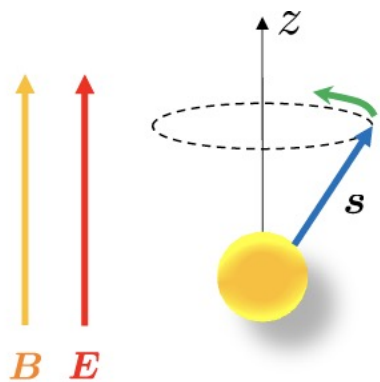
素粒子がもつ  
固有の性質

スピンの2価性？

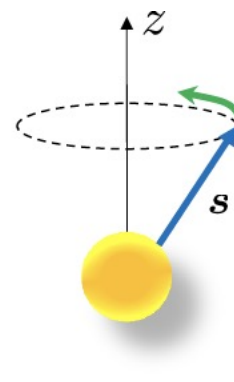
もし  $d$  があると、

$$H = -\mu \cdot B - d \cdot E$$

$$\omega_+ - \omega_- = 4dE$$



$$\omega_+ = 2\mu B + 2dE$$



$$\omega_- = 2\mu B - 2dE$$

1) 中性子(UCN) を使って

$$d_n < 0.3 \times 10^{-26} \text{e} \cdot \text{cm}$$

$$d_p = -1.2 \times 10^{-16} [e \text{ cm}] \bar{\theta} + 0.78d_u - 0.20d_d + e(-0.28\tilde{d}_u + 0.28\tilde{d}_d + 0.021\tilde{d}_s)$$

$$d_n = +8.2 \times 10^{-17} [e \text{ cm}] \bar{\theta} - 0.12d_u + 0.78d_d + e(-0.30\tilde{d}_u + 0.30\tilde{d}_d - 0.014\tilde{d}_s)$$

EとBの関係で  
歳差運動の周期が  
変わる この違い

2) イオン(ThO : 酸化トリウム)

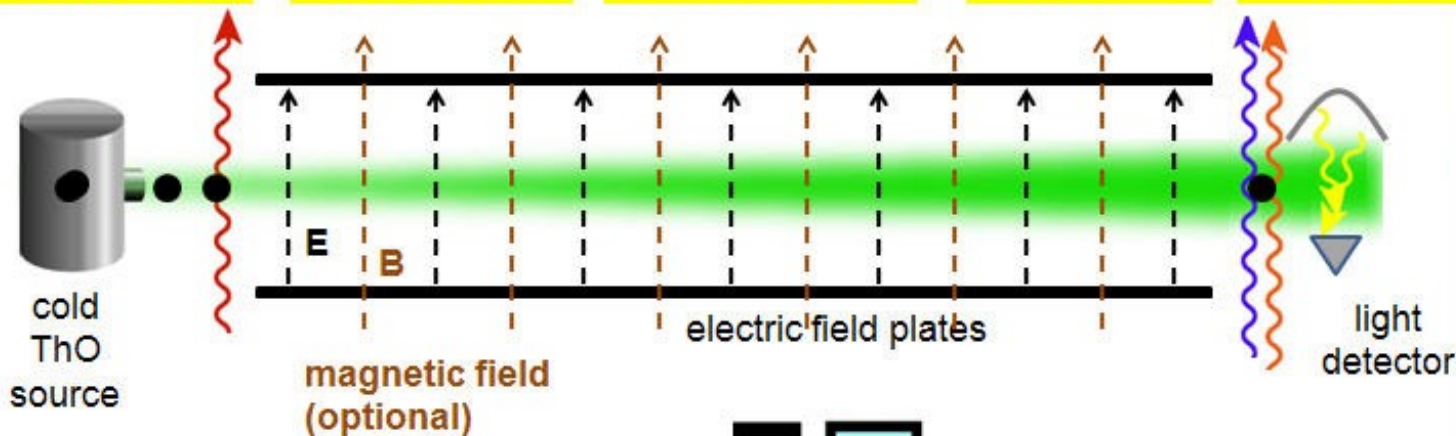
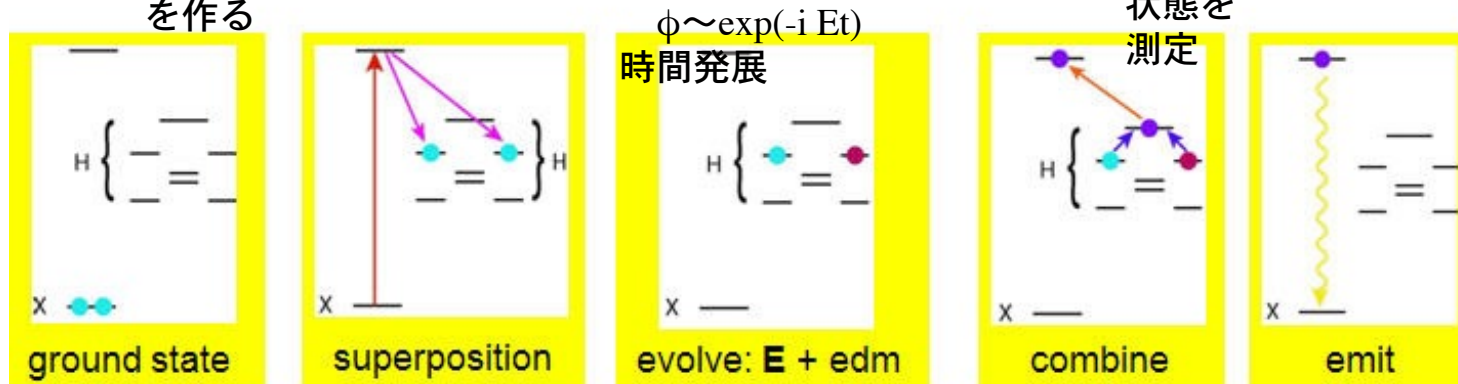
# ACME実験

電場：偏極分子が作る電場を利用 84GV/cm

スピン 上と下  
順位の重ね合わせ  
を作る

## Detecting an EDM

位相差が  
入った重ね合わせ  
状態を  
測定



apparatus control  
and data acquisition

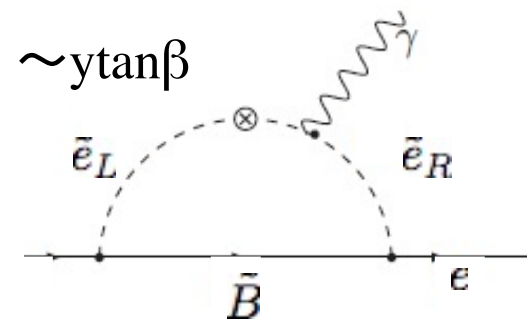
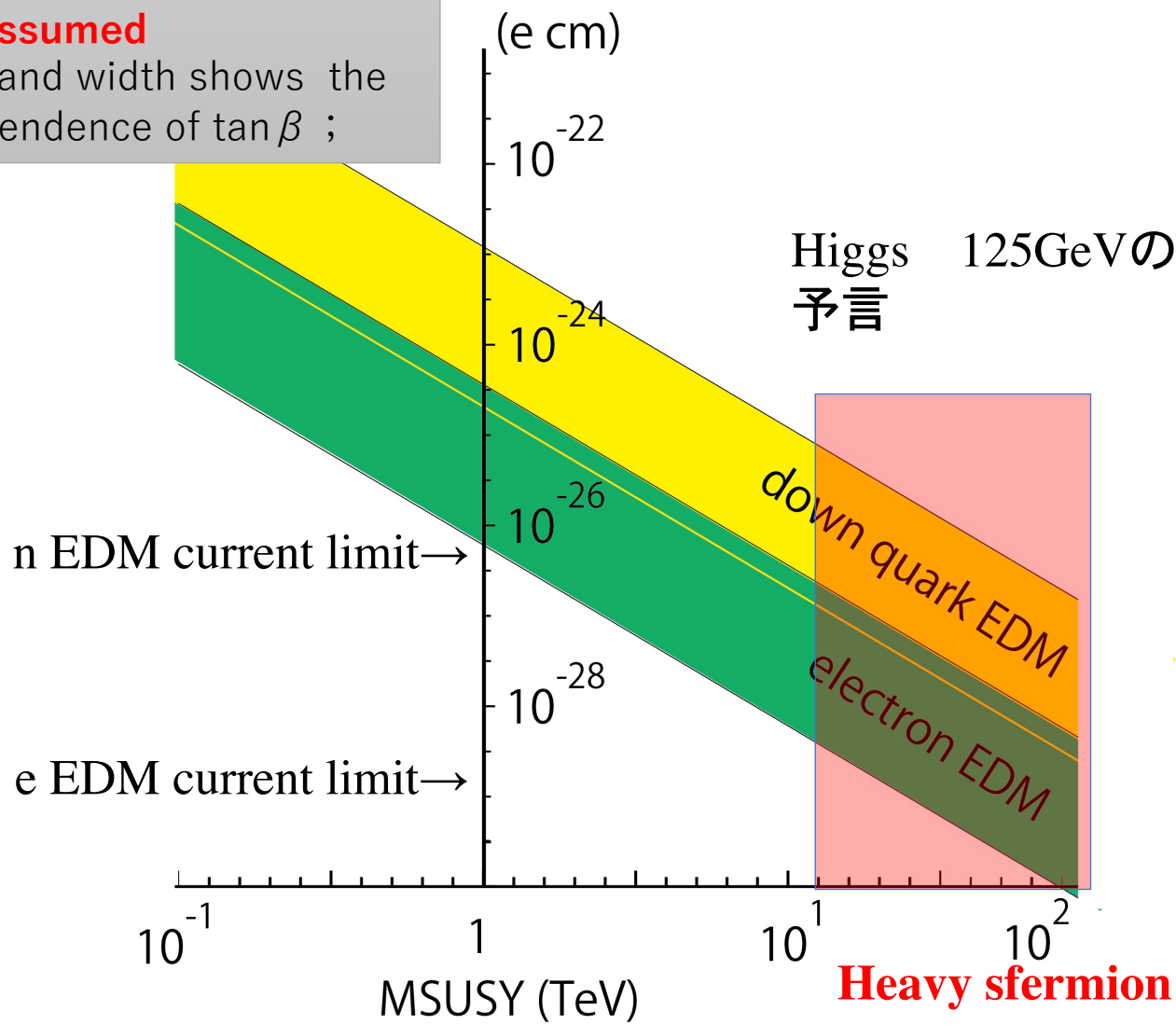
[https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=53&v=59SVIVQMpB8&feature=emb\\_logo](https://www.youtube.com/watch?time_continue=53&v=59SVIVQMpB8&feature=emb_logo)

# Electric Dipole M からの制限(ACME/n)

EDM prediction as a function of scalar mass.

\* **Maximum CP violation is assumed**

\* Band width shows the dependence of  $\tan\beta$  ;



$10^{-30}$  for eEDM  
 $10^{-28}$  for nEDM

# 3つの可能性

Scalar electronや  
Scalar downquark  
Mass > 10TeV

これは、125GeV  
Higgsの予言や  
他のスカラーへの  
制限とconsistent

$\delta$ が $O(1)$ でなくて  
小さくなっている

CP位相がやぶている例

- ニュートリノ (まだ)  
 $\delta \sim O(1)$   
Full mixing している
- KM行列  
 $\delta \sim O(1)$   
Mixingが小さい  
第1, 2世代への影響小さい  
いろいろPhaseがはいる??

SUSY CP問題

SUSYは死んだ?

Higgs発見後の  
チャート式  
参照  
WW散乱?  
Banomaly?

# The New Testament

Keep a faith,  
But scalar  
maybe heavy



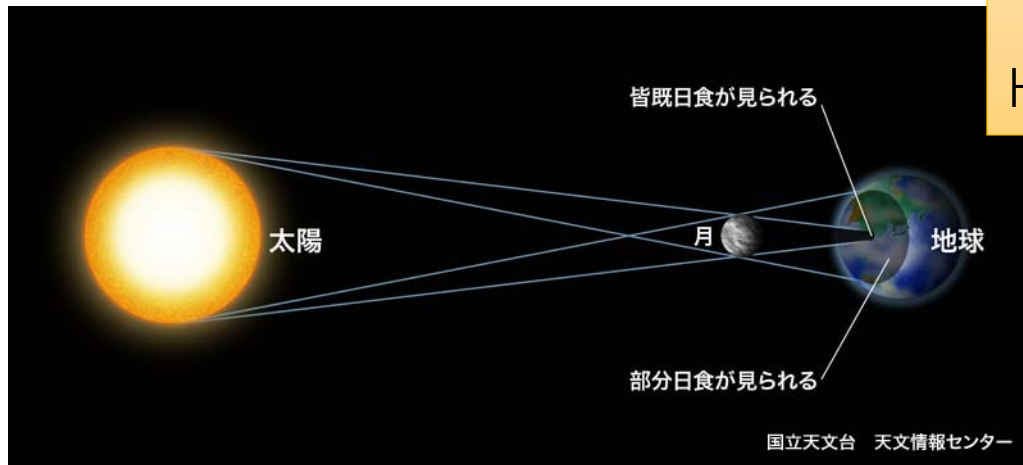
SUSY is  
dead

Holy Bible  
View becomes  
more clear

# ちよこっと自然な SUSYへの宗教改革



(1) 一番強い条件 top loop 効果をキャンセルする



1 2 5 GeV  
Higgsが示唆すること

階層性問題  
信仰の訳  
Scalar top の質量  
1000GeV 10,000 GeV

$M^2$ (裸のHiggs質量)	=	○△○.....	(6桁)	(8桁)
$\Delta M^2$ (量子的な補正)	=	○△○.....	(6桁)	(8桁)
<hr/>				
$m^2$ (観測されるHiggs質量)		○△○△	(4桁)	

もアリかな？

Higgs mass ~ 125 GeV  
top mass ~ 173 GeV

1% 程度の調整は “自然” だろう  
でも 0.01% の調整は不自然 (ちよこっと恣意的)

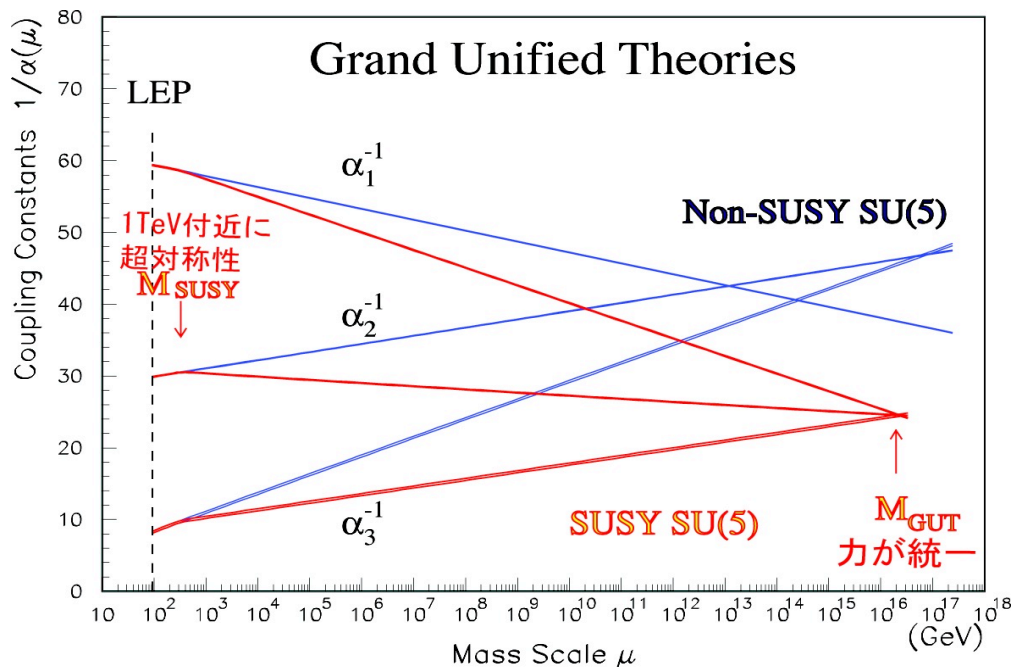
# ちょっと 自然な SUSY

この二つは  
破られていない

- (2) 暗黒物質 (Bino  $< 500\text{GeV}$  / Wino  $\sim 1\text{TeV}$  / Higgsino mass  $\sim O(100-1000\text{GeV})$ )  
一番軽い超対称性粒子に関する制限
- (3) 力の大統一 (Gaugino  $\sim 1-10\text{TeV}$ )



可能性のある  
パラメーター



ゲージノの側は  
変わっていない





## 信仰のよりどころ

- 1) Higgs 125 GeV 発見
- 2) 暗黒物質 (すくなくもと  $\Omega h^2 < 1$  )
- 3) CP, EDMが観測されていない Bsなど
- 4) 力の大統一GUT

## 少し緩めた戒律

- 5) Naturalness 1/10000のことは起こる

# Target 4つ

## A) Gaugino群

★★★★

wino < 3TeV

★ @LHC

Gluino < 20TeV

★★★★ @FCC

Higgsino < 1TeV

★★★★

### 超対称性粒子

スカラーフェルミオン

スカラーフェルミオン

$\tilde{u}$	$\tilde{c}$	$\tilde{t}$
$\tilde{d}$	$\tilde{s}$	$\tilde{b}$
$\tilde{\nu}_e$	$\tilde{\nu}_\mu$	$\tilde{\nu}_\tau$
$\tilde{e}$	$\tilde{\mu}$	$\tilde{\tau}$

スピン 0

ゲージノ粒子

$\tilde{\gamma}$	$\tilde{Z}^0$	$\tilde{W}^\pm$	$\tilde{g}$
------------------	---------------	-----------------	-------------

スピン 1/2

ヒグシーノ粒子

$\tilde{H}_1^0$	$\tilde{H}_2^0$	$\tilde{H}^\pm$
-----------------	-----------------	-----------------

スピン 1/2

こいつらは10TeV?

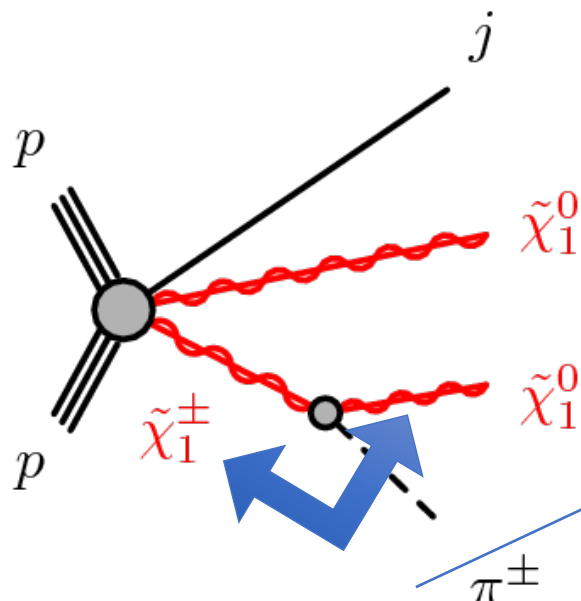
NMSSM

## B) Higgs Exotic

★ : 独断と偏見のミシュラン

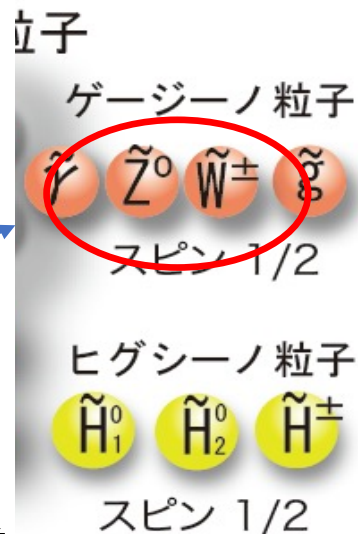
h H A H+ H-  $\phi$  (軽い) ★  
Higgs Br, Exotic decay of Higgs

# (1、2) Wino/Higgsino 探索

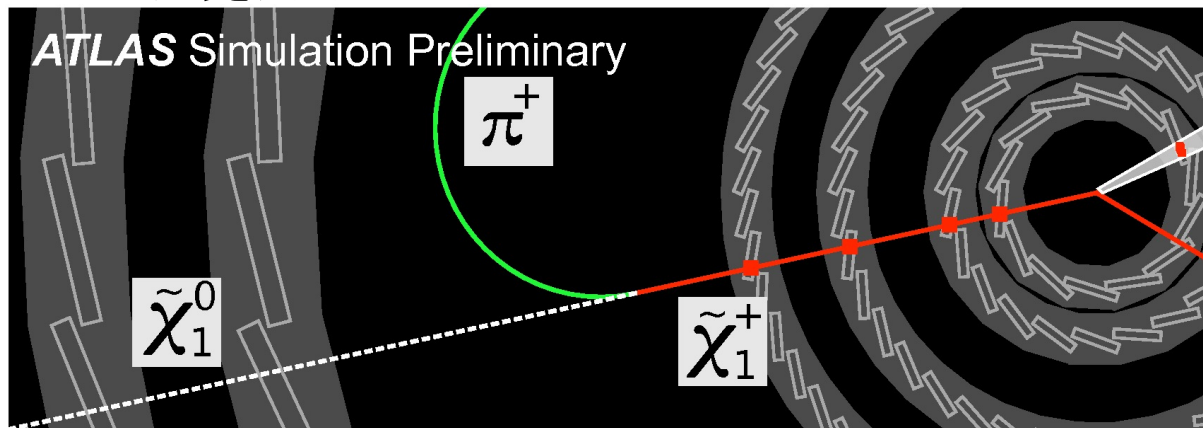
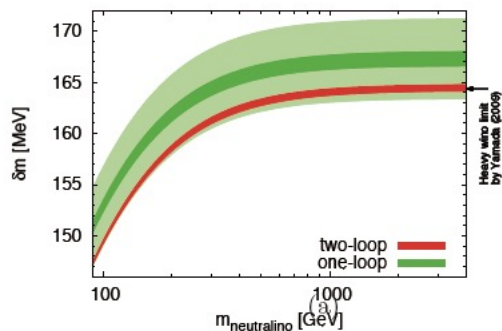


消えるトラックの再構成 (10 cm)

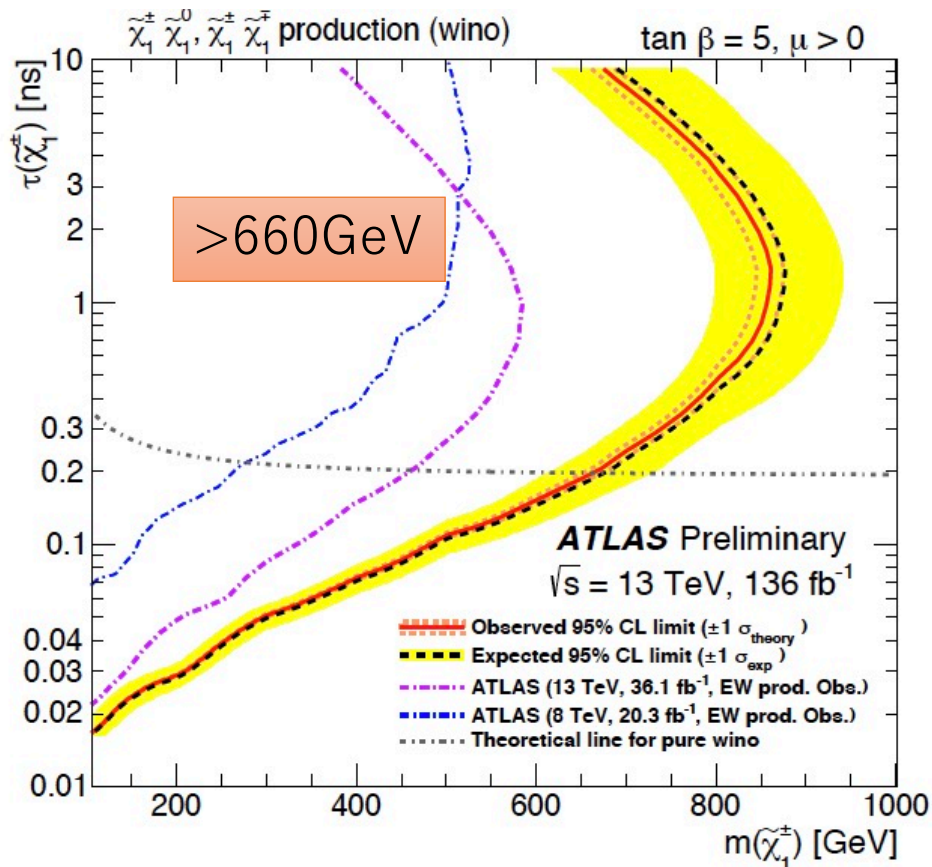
長生きする→途中でなくなった様に見える



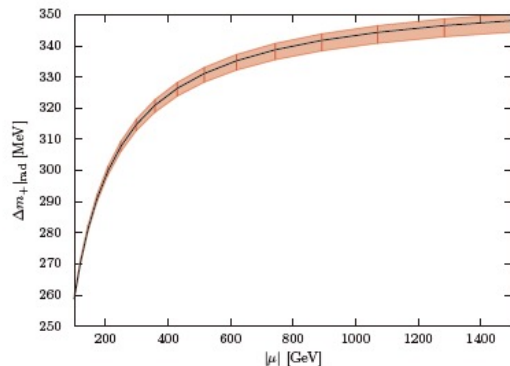
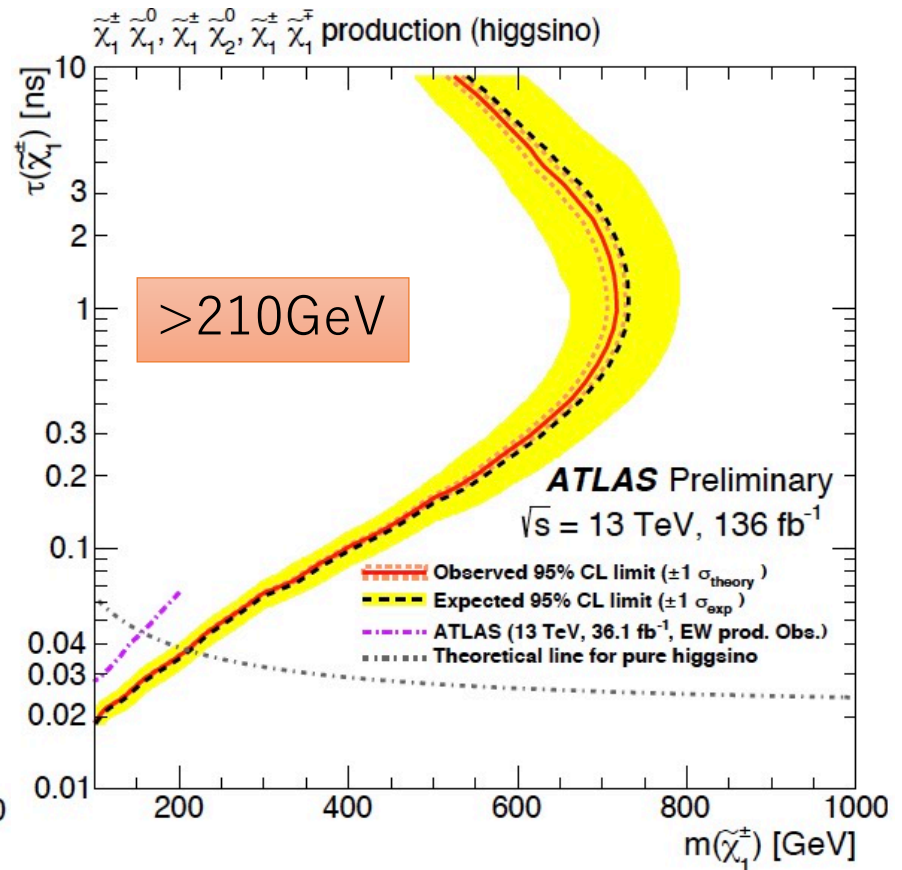
この二つの重さがほとんど同じ



# Wino 粒子



# Higgsino 粒子



Higgsinoは、質量差が300MeV  
寿命が短い

# Gaugino Mass

$m_1$ (Bino mass)    $m_2$ (wino mass)    $m_3$ (gluino mass)

$$\begin{cases} m_1 = \frac{\alpha_1}{\alpha_5} m_{1/2} \doteq 0.4 m_{1/2} \\ m_2 = \frac{\alpha_2}{\alpha_5} m_{1/2} \doteq 0.8 m_{1/2} \\ m_3 = \frac{\alpha_3}{\alpha_5} m_{1/2} \doteq 2.5 m_{1/2} \end{cases}$$

1  
:  
2  
:  
6

基本 GUT があると、

$$\Lambda = \frac{\langle F_S \rangle}{\langle S \rangle} \quad \text{"SUSYの破れ度"}$$

$$M_L = \frac{\alpha_L}{4\pi} n_5 \Lambda \quad \leftarrow \text{ゲージの mass}$$

1  
:  
2  
:  
6

AMSBは  
統一GUTの  
Massがあるのでは  
なく、

$$\textcircled{1} m_a = \frac{\beta_g}{g} m_{3/2}$$

$$M_1 : M_2 : M_3 = 3 : 1 : 7$$

→ winoが LSP になる

基本パラメータ  
 $m_{3/2} = 10-100 \text{ TeV}$   
 $\tan \beta$   
 $\text{sign}(\mu)$

chargino  $[\tilde{W}^\pm \tilde{H}^\pm]$   $\begin{bmatrix} m_2 (=0.8m_{1/2}) & \sqrt{2} M_W \sin \beta \\ \sqrt{2} m_W \cos \beta & \mu \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{W}^\pm \\ \tilde{H}^\pm \end{bmatrix}$

を対角化したもの

非対角成分  $\sqrt{2} M_W \sin \beta \tilde{W} \tilde{H}$  HiggsとWの結合

①  $\mu \gg M_W$ , ( $m_2, \mu$ がTeV) mixingはおきる)

(より正確に言うなら  $\mu, m_2 \gg m_W$ )

$\mu > 0.8m_{1/2}$ : 軽い chargino  $\equiv \tilde{\chi}_1^\pm \approx \tilde{W}^\pm$  (Wino)

"Gaugino-like" と呼ぶ

# Chargino/ Neutralino

S=1/2	Bino: $\tilde{B}^0$ Wino: $\tilde{W}^+$ , $\tilde{W}^0$	$m_1$ $m_2$
S=1/2	Higgsino: $\tilde{H}_1^0$ , $\tilde{H}_2^0$ , $\tilde{H}^{\pm}$	$\mu$

同じ量子数を持っている状態は混合し、質量のeigenstateを作る。  
これが、  
Chargino (charged wino + charged higgsino)  
Neutralino(bino, neutral wino+ neutral higgsino)

$$\begin{bmatrix}
 M_1 & 0 \\
 0 & M_2 \\
 -M_Z \sin\theta_W \cos\beta & M_Z \cos\theta_W \cos\beta & 0 & -\mu \\
 M_Z \sin\theta_W \sin\beta & -M_Z \cos\theta_W \sin\beta & -\mu & 0
 \end{bmatrix}
 \begin{pmatrix}
 \tilde{B}^0 \\
 \tilde{W}^0 \\
 \tilde{H}_1^0 \\
 \tilde{H}_2^0
 \end{pmatrix}$$



Mass eigenstate  $\begin{pmatrix} \tilde{\chi}_1^0 \\ \tilde{\chi}_2^0 \\ \tilde{\chi}_3^0 \\ \tilde{\chi}_4^0 \end{pmatrix}$

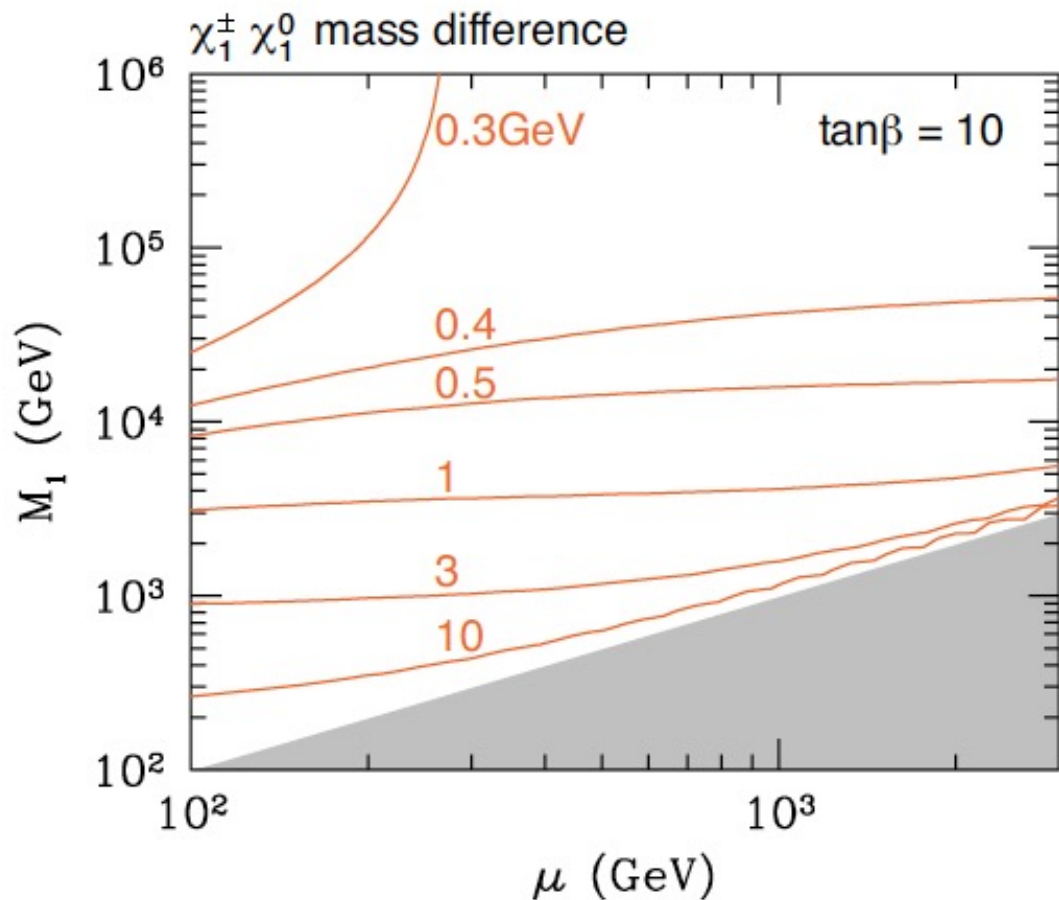
- $\tilde{\chi}_1^0$  がLSP( Lightest stable particle ) -> DM
- $M_1, M_2, \mu, M_Z$ の大小関係が大切。  $M_Z$ が小さいとすれば、LSPは、Bino-like( $M_1$ が小)、Wino-like( $M_2$ が小)、higgsino-like( $\mu$ が小)。。

**DMの性質(結合定数、質量)はこれらの大小関係が鍵となる。**

Charginoも $M_2, \mu$ の混合状態でWino-like ( $M_2$ ) とhiggsino-like( $\mu$ )

# Higgsino は、あまり縮退しない

$$|\mu| \sim M1/2$$



Disappearing Track

$\gamma$ -factor いれても mm ~ cm

Higgsinoが  
多い場合は

$\Delta M(\text{chargino} - \text{Neutralino})$   
a few GeV 以上  
Soft lepton  
+ Jet tag

$$c\tau_{\tilde{H}^\pm \rightarrow \tilde{H}^0 \pi^\pm} \simeq 7 \text{ mm} \times \left( \frac{\Delta m_\pm}{340 \text{ MeV}} \right)^{-3} \left( 1 - \frac{m_\pi^2}{\Delta m_\pm^2} \right)^{-1/2}$$



# μ 問題

うまく出来てるよね

可能性 1

Focus Point(  $m_0 \gg m_{1/2}$  )  
 $\mu$  は,  $m_{1/2}$  だけできまる。

$|\mu| \sim 3 \text{wino mass}$

$$\tilde{\mu} \tilde{H}_1 \tilde{H}_2$$

Higgsinoのmixing  
 Parameter  $\mu$



SUSYの破れのパラメターではない  
 ナイープに、どこかのfundamentalな  
 スケール MGUT? MPI?



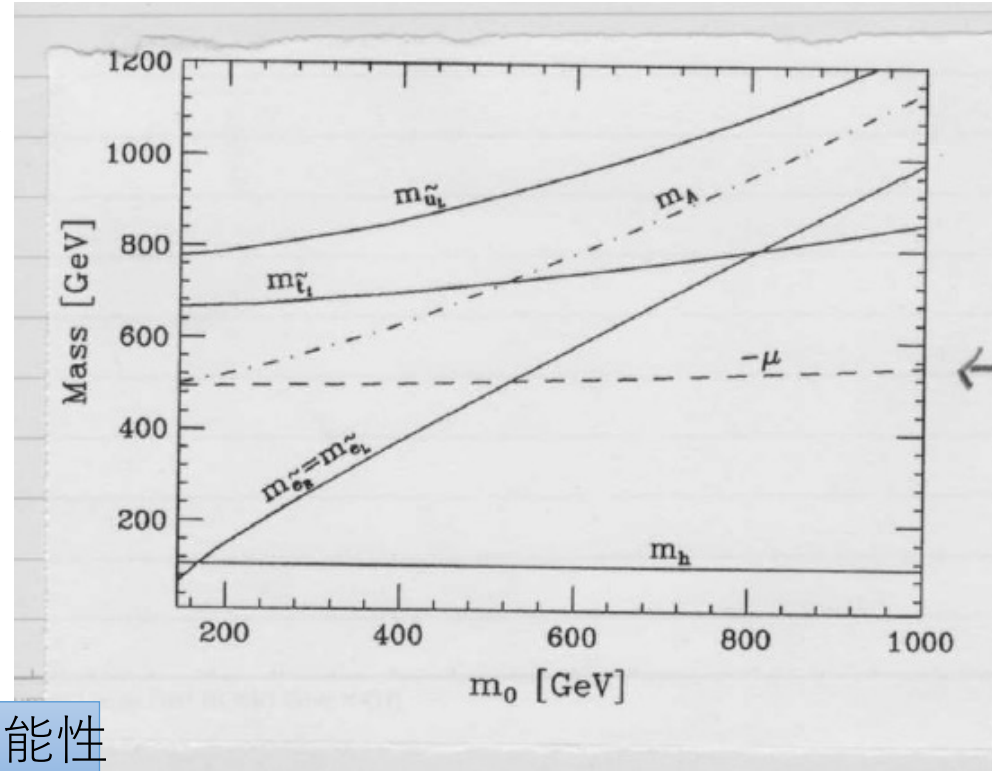
この階層

$BH_1H_2$ の大きさ  
 246GeV (電弱破れのスケール)



可能性 2

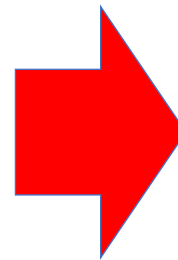
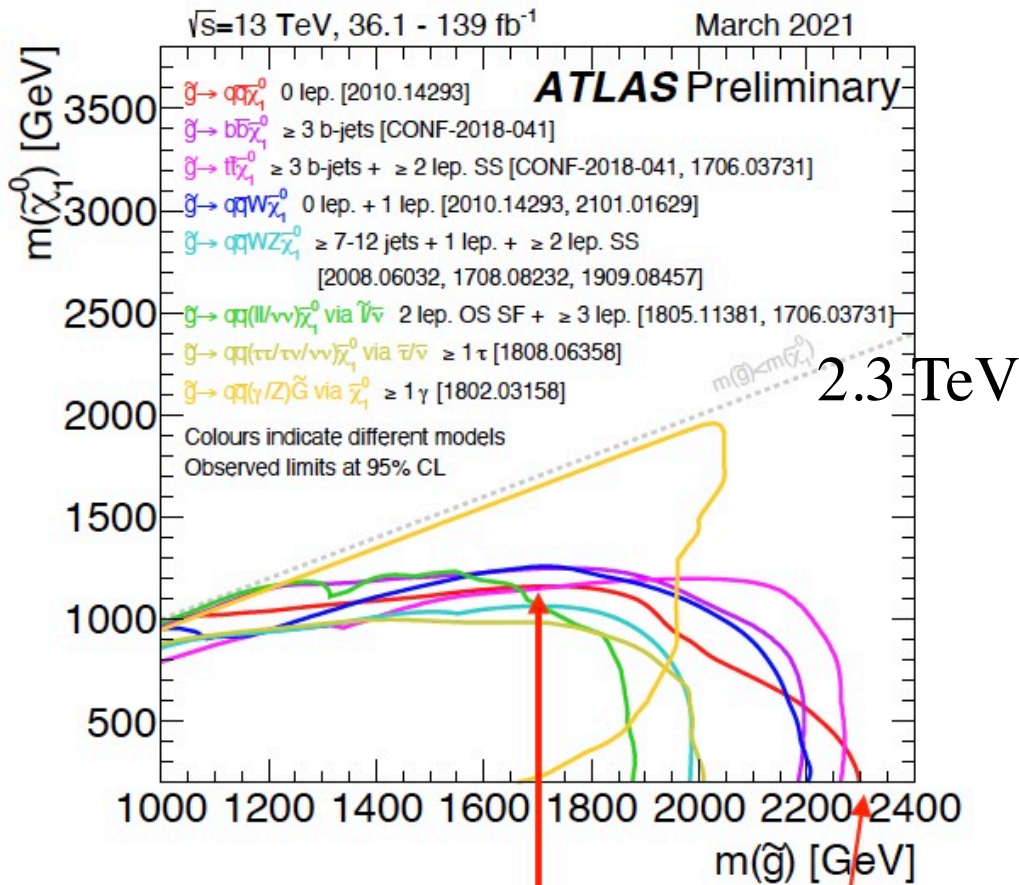
NMSSMが125GeV Higgsの説明の可能性



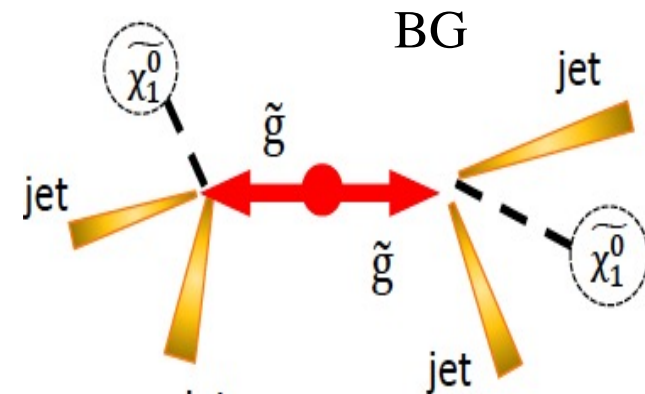
NMSSM 2つのHiggs場にSingletを加える。この場合125GeVのHiggsを  
 実現しやすくなる。このsingletの場の運動方程式 →  $\mu$ が電弱

# 3) グルイーノ

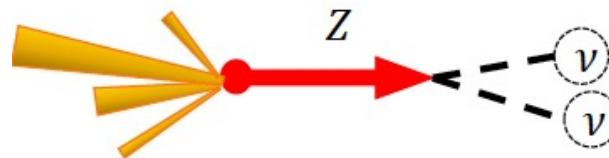
トポロジー情報  
いれながら 4つくらい  
D論



We need some ideas  
For example,  
Signal is 4jets:  
mET becomes smaller;  
Topology is more  
3D-like



Z+jets/W+jets BG:  
Planer-like



# SUGRA

## $\tilde{g}, \tilde{q}$ のdecay table

	$m(\tilde{g}) < m(\tilde{q})$	$m(\tilde{g}) \approx m(\tilde{q})$	$m(\tilde{g}) > m(\tilde{q})$
$\tilde{g}$	$q\bar{q}\tilde{B}^0 (\approx 1)$ $\tilde{g} \rightarrow q\bar{q}\tilde{W}^0 (\approx 2)$ $q\bar{q}\tilde{W}^\pm (\approx 4)$	$\tilde{g} \rightarrow t\bar{t}_1$ $\tilde{g} \rightarrow b\bar{b}_1$	$\tilde{g} \rightarrow q\bar{q}$
$\tilde{q}_L$	$\tilde{q}_L \rightarrow q\tilde{g}$		$\tilde{q}_L \rightarrow q\tilde{W}^0 (\approx 1)$ $q\tilde{W}^\pm (\approx 2)$
$\tilde{q}_R$	$\tilde{q}_R \rightarrow q\tilde{g}$		$\tilde{q}_R \rightarrow q\tilde{B}^0$

**Strong interaction**

**EW interaction**

Massの関係やB,Wと $\chi$ の関係、第3世代などが、モデル依存