3: mass-spectrum in m Sugra

2-9 の mSUGRA の標準パラメーターと

mass spectrum の関係を整理する

この関係が身につくまで考えること。（大切）

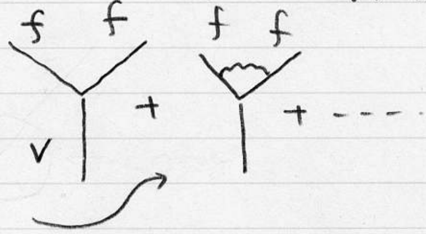
結合定数の running

あの μ とちがう（見る scale）

$$t = \log\left(\frac{\mu}{m_Z}\right)$$

（EW-1-1）

$$\frac{d\alpha_i}{dt} = -b_i \tilde{\alpha}_i^2$$



どう言う粒子が存在するかでちがう

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{41}{10} \\ -\frac{19}{6} \\ -7 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \frac{33}{5} \\ 1 \\ -3 \end{pmatrix}$$

SM　　SUSY

← SUSYの方が cancel する ダイアグラムで小さくなる.

SUSY 1-7

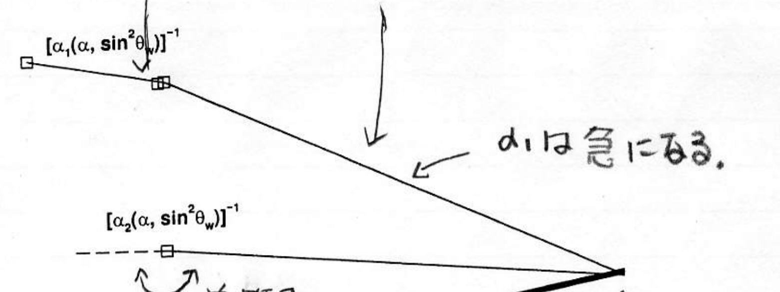


Fig. 6.1. The SM gauge couplings evolve from their measured low-energy value (indicated by the square symbols) to high energies using SM three-loop (for scales $\Lambda < M_Z$) and MSSM two-loop (for scales $\Lambda > M_Z$) β-functions. Their renormalization within the SM is confirmed by the data, while extrapolation to higher energies, assuming the MSSM, leads to their unification at nearly a point. Note that (only) α_3 exhibits asymptotically-free behavior.

このTHSには強くよらない

100 GeV ~ 10 TeV　<u>OK</u>

(1) Gaugino mass

$m_1 : m_2 : m_3 = \alpha_1 : \alpha_2 : \alpha_3$

@ "TeV" 領域

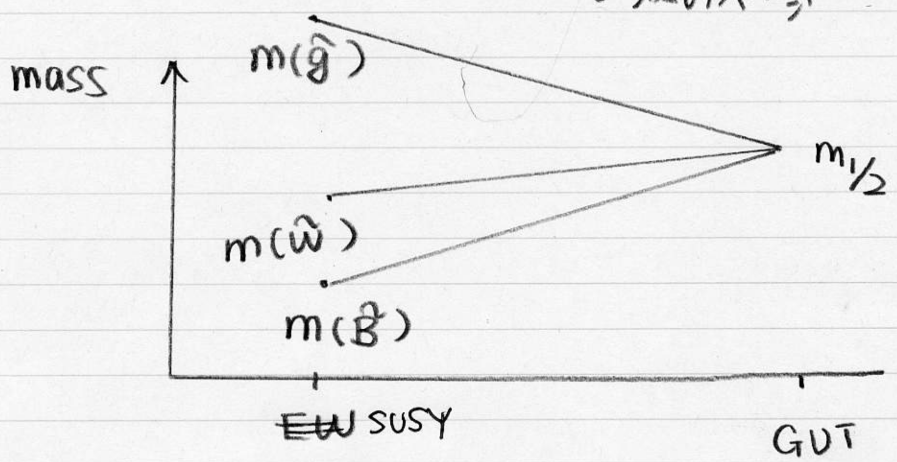
$\frac{d\alpha_i}{dt} = C\alpha_i$ constant なので比は変えない

@ GUT　α_5で統一, mass $m_{1/2}$

走り方は同じなので

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

→ 次のページ



$\hat{g}$は低エネルギーでは色を持った粒子のradiative correctionをひろって $2.5m_{1/2}$と重くなる

一方 $\hat{w}$は変化が小さい ($0.8m_{1/2}$)　$\hat{B}$は SU(2) singlet な為 SU(2)の doublet 効果をひろわないので半分 ($0.4m_{1/2}$)

$\hat{B}$, $\hat{w}$は物理 stateではない)

↓

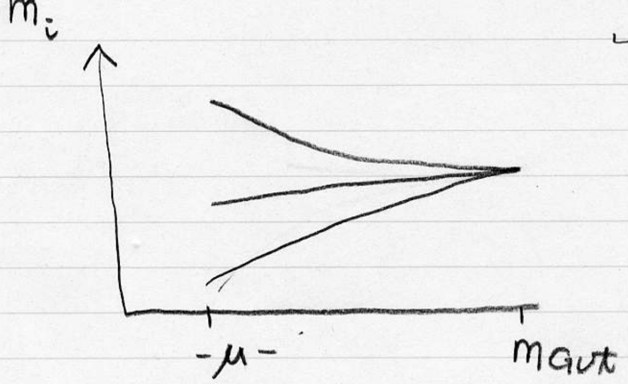
後で Higgsino とまざって $\tilde{\chi}_i^{\pm}$ $\tilde{\chi}_i^0$ になることを示す。

$$m_3 = \frac{\alpha_3}{\alpha_5} m_{1/2} \sim (2.5-2.8)\, m_{1/2}$$

↓ もし EW の scale ($O(100)$ GeV) まで GUT から ひっぱってくると

$2.8\, m_{1/2}$

$\tilde{g}$ の mass が
- 0.5 ~ 1 TeV なら $2.6\, m_{1/2}$
- 2 TeV $2.45\, m_{1/2}$

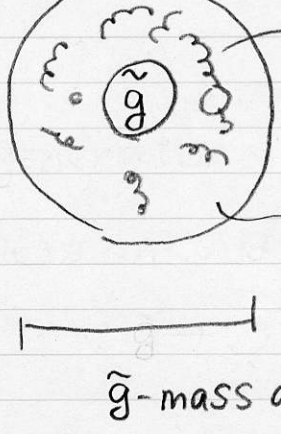


10~20% は くりこみ点で変化するので 神経質にならない様に

$\tilde{g}$ の mass は 更に QCD の効果で 10%程度 太る

$$M_{\tilde{g}}^{(\mathrm{Pole})} \simeq m_3(m_3)\left[1 + \frac{\alpha_s}{4\pi}\left(15 + \sum_{q} \ln \frac{m_{\tilde{q}}}{M_3}\right)\right]$$

(1次の loop の典型的なパターン)



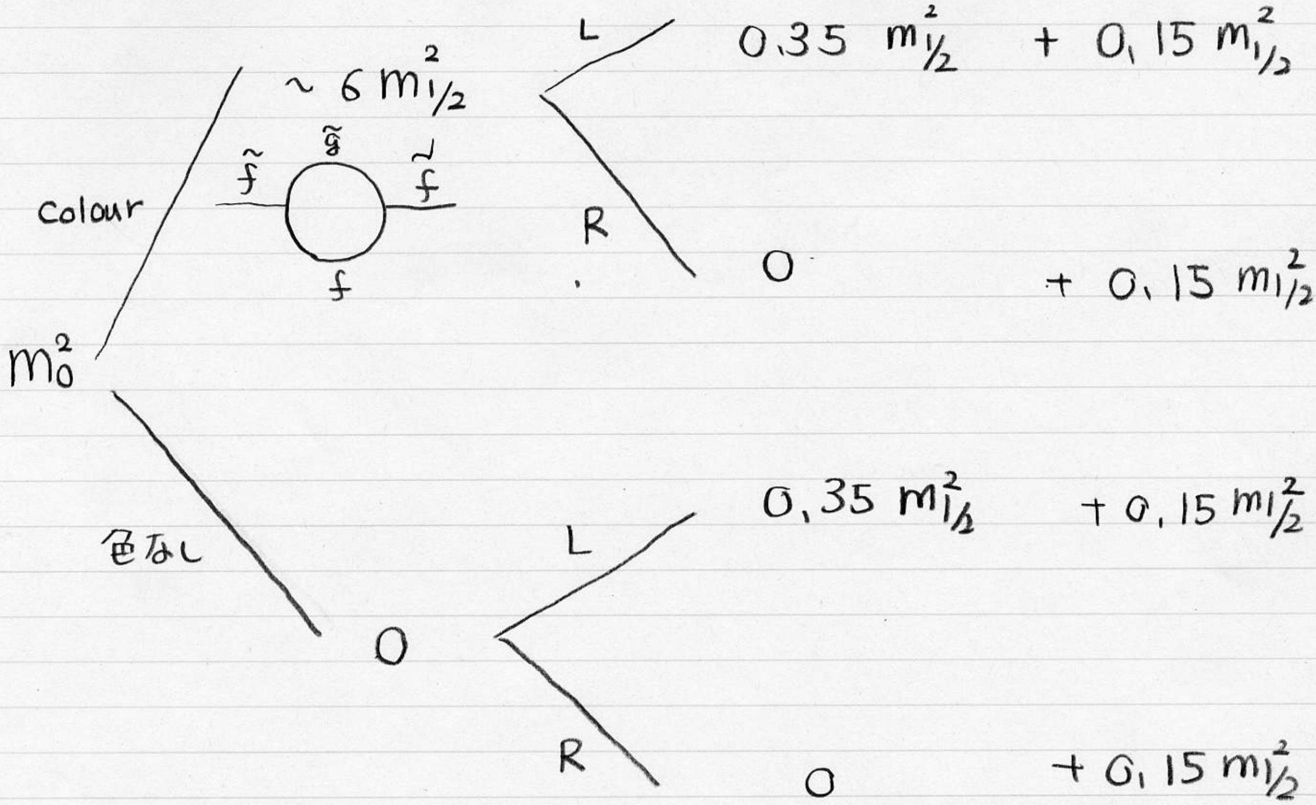
QCDの クモがかかっている

この分 10%程太っている

$\tilde{g}$-mass の逆数 ← "pole" mass での Q で見たと言うこと

(2) Sfermion mass

低エネルギーでゲージーノの効果をひろってふとる。



SU(3) × SU(2) × U(1)

⇩

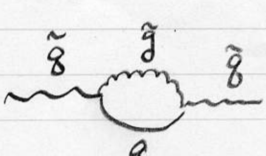
これを式にしたのが次のページ

この式で

$$m\begin{pmatrix}\tilde{q}_L \\ \tilde{q}_R\end{pmatrix} = m(\tilde{g})\sqrt{\begin{pmatrix}0.93 \\ 0.85\end{pmatrix} + 0.15\left(\frac{m_0}{m_{1/2}}\right)^2}$$

$$\begin{cases} m(\tilde{q}) \sim m(\tilde{g}) & m_0 \lesssim m_{1/2} \\ m(\tilde{q}) > m(\tilde{g}) & m_0 \gg m_{1/2} \end{cases}$$ → 3-8

$\tilde{g}$と比べて軽い $\tilde{q}$ はない。
（軽い ^ ムチャクチャ）



$\tilde{q}$ の mass 補正が大きい

その他の粒子の性質

共通@GUT　　Running effect 結合が強い程太る

Mass@EW

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\left(D = M_Z^2 \cos 2\beta < 0(Higgs)\right)$$

Dress-Nojiri のべんりな公式

Higgs のひろい方

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

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

~~•この関係式は(1)(2)に共通 (3)に対しては、m_0の係数が予言出来なくなる~~

← この係数は どこのエネルギーまで くり込みか $\int_0^{2\times10^{16}}$ による
この数字 100GeV まで 行ったもの
1TeV で 止めると少し小さくなく
）注意

•第３世代の $\tilde{f}$ は軽い。
(Yukawa+LR mixingの効果)
ＤＭとの関係では　τが大切

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

tanβが大きいと,τが大切

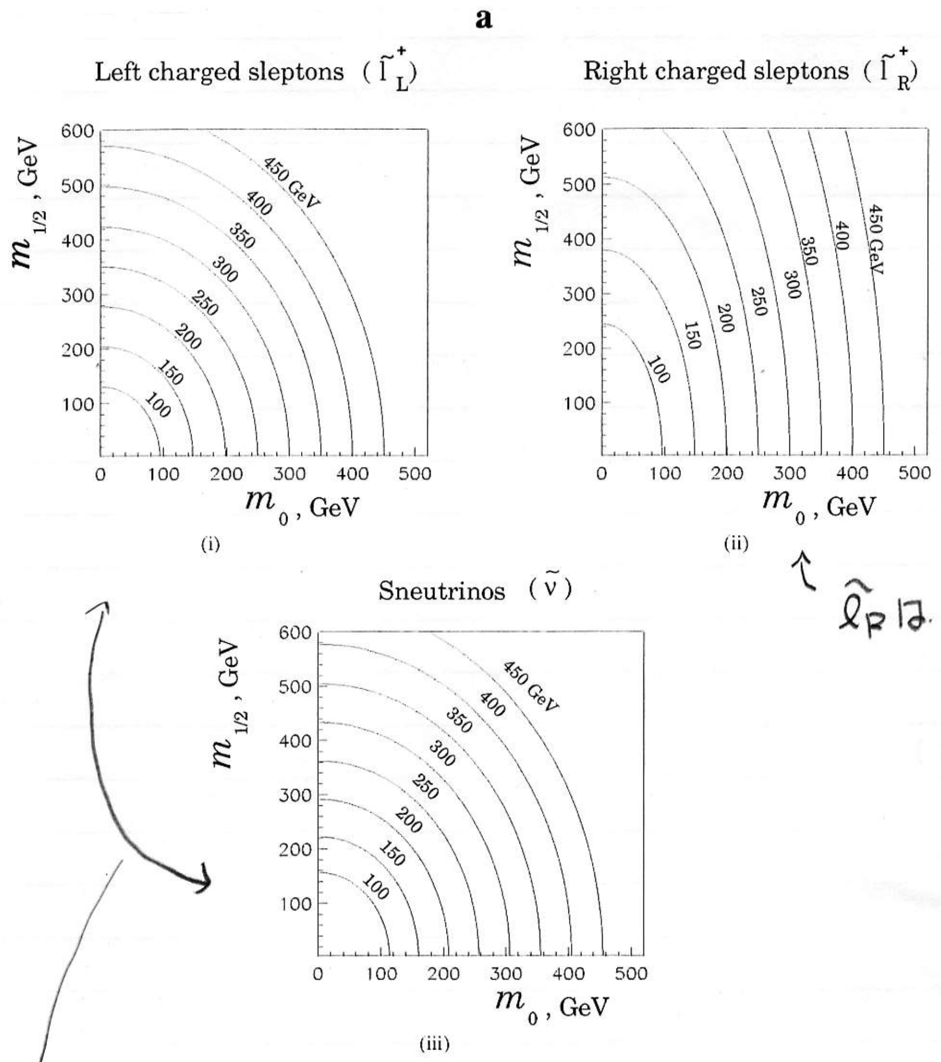


Figure 2.8a. Isomass contours for (i) left-charged sleptons, (ii) right-charged sleptons and (iii) sneutrinos in mSUGRA parameter space (m_0, $m_{1/2}$) for $\tan\beta = 2$, $A_0 = 0$, $\mu < 0$.

← R は Gauge Boson への結合弱い (U(1)だけ)

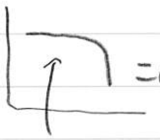
⇓

m_0 が主

↑ $\tilde{l}_R$ は m_0 によってかなりきまる。

$m_0^2 + 0.5\, m_{1/2}^2$ でほぼ円形のコントアーになる。

$\tilde{q}$ だと $m_{1/2}^2$ dependence 大



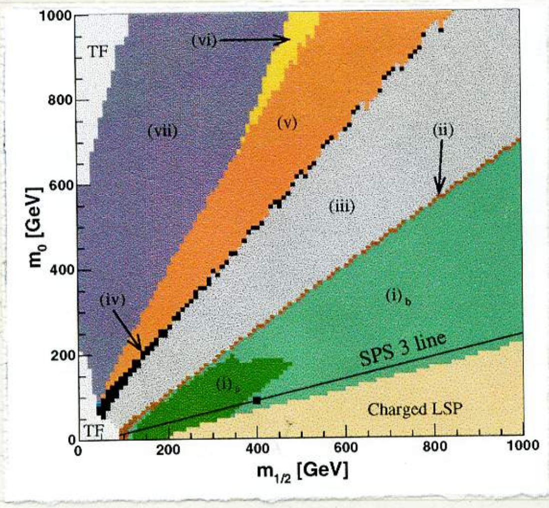
この形になってゆく

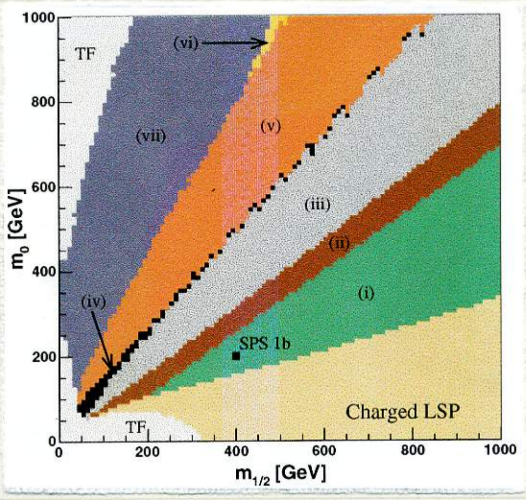
m_0 への dependence は相対的小さくなる。

大小（軽重）を整理する

m_0と$m_{1/2}$の軸が逆なので注意して見てください）

tanβ=10 (A_0=0)　　　　tanβ=30 (A_0=0)





(i)	$\tilde{g} > \max(\tilde{d}_L, \tilde{u}_L, \tilde{b}_1, \tilde{t}_1)$	and	$\tilde{\chi}_2^0 > \max(\tilde{l}_R, \tilde{\tau}_1)$
(ii)	$\tilde{g} > \max(\tilde{d}_L, \tilde{u}_L, \tilde{b}_1, \tilde{t}_1)$	and	$\tilde{l}_R > \tilde{\chi}_2^0 > \tilde{\tau}_1$
(iii)	$\tilde{g} > \max(\tilde{d}_L, \tilde{u}_L, \tilde{b}_1, \tilde{t}_1)$	and	$\min(\tilde{l}_R, \tilde{\tau}_1) > \tilde{\chi}_2^0$
(iv)	$\tilde{d}_L > \tilde{g} > \max(\tilde{u}_L, \tilde{b}_1)$	and	$\min(\tilde{l}_R, \tilde{\tau}_1) > \tilde{\chi}_2^0$
(v)	$\min(\tilde{d}_L, \tilde{u}_L) > \tilde{g} > \tilde{b}_1$	and	$\min(\tilde{l}_R, \tilde{\tau}_1) > \tilde{\chi}_2^0$
(vi)	$\min(\tilde{d}_L, \tilde{u}_L, \tilde{b}_1) > \tilde{g} > \tilde{t}_1$	and	$\min(\tilde{l}_R, \tilde{\tau}_1) > \tilde{\chi}_2^0$
(vii)	$\min(\tilde{d}_L, \tilde{u}_L, \tilde{b}_1, \tilde{t}_1) > \tilde{g}$	and	$\min(\tilde{l}_R, \tilde{\tau}_1) > \tilde{\chi}_2^0$

(i) ← $\tilde{g}$の方が重い（$\tilde{l}$が軽い）

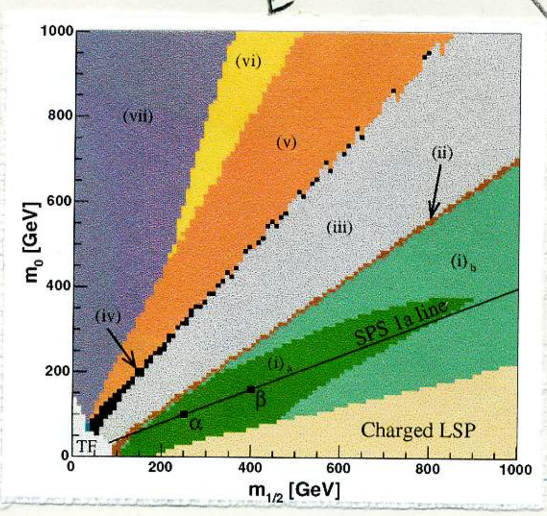
(ii) ← tanβが大きい時 $\tilde{\tau}$が登場

(iii) → $\tilde{l}$が主役にならない

(v) → $\tilde{b}$が軽く
$\tilde{g} \to b\tilde{b}$が主
（bがふえる）

(vi) → tanβがあまり大きくない時は $\tilde{t}$の方が$\tilde{b}$より軽くなる
$\tilde{g} \to t\tilde{t}$が主（b, lがふえる）

(vii) → $\tilde{g}\tilde{g} \to 4jet + m\not{E}_T$（→ sfermionが重くなる）



tanβ=10で $A_0=0 \to A_0=-m_0$

にすると$\tilde{t}$が軽くなる所

がふえる

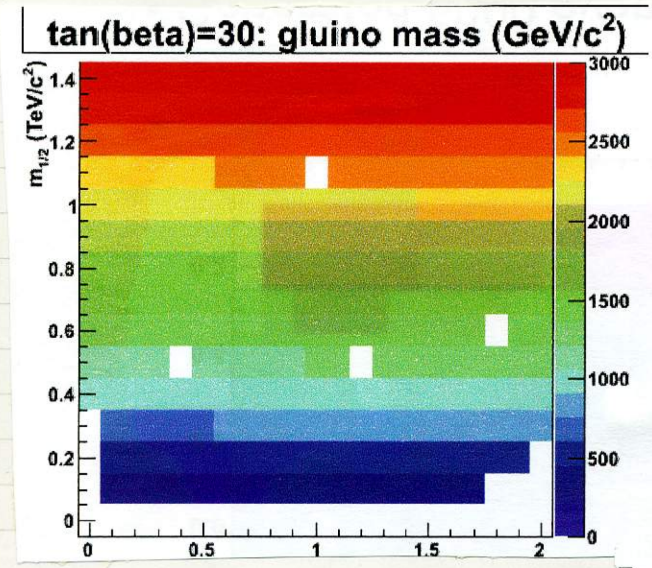
↓

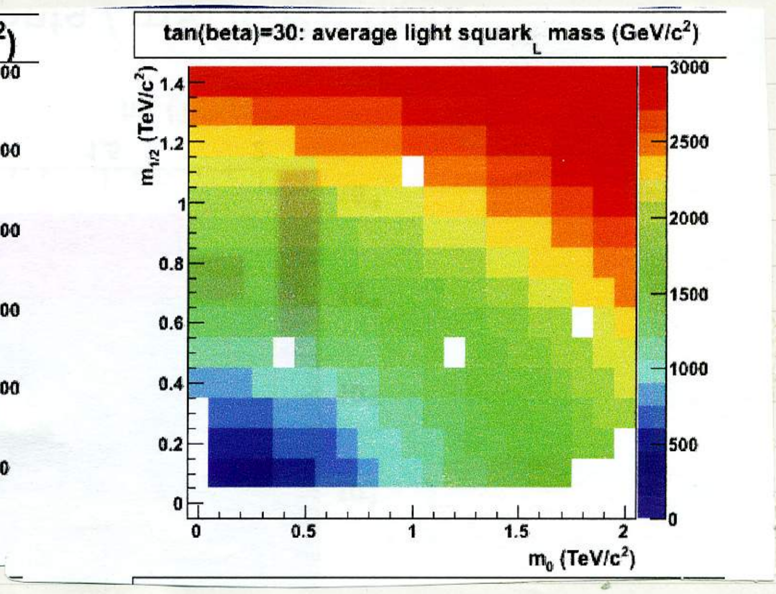
それ以外は大きな差はない

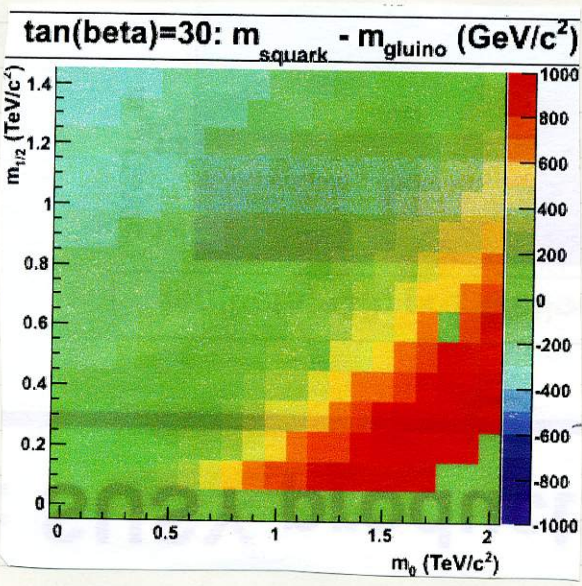
$\tilde{q}$ と $\tilde{g}$ の massが 近い

$$m\begin{pmatrix}\tilde{q}_L\\ \tilde{q}_R\end{pmatrix} = m(\tilde{g})\sqrt{\begin{pmatrix}0.93\\ 0.85\end{pmatrix} + 0.15\left(\frac{m_0}{m_{1/2}}\right)^2}$$

- $m_0 \gg m_{1/2}$ $\tilde{q}$が重くなる
- それ以外 近い質量







差は0

$m_0 \gg m_{1/2}$ は $\tilde{q}$が重くなる

⇩

ナイーブに "極端に重い" m_0

↓

① ゲージーノだけが見える シナリオも可

↓

逆はない。

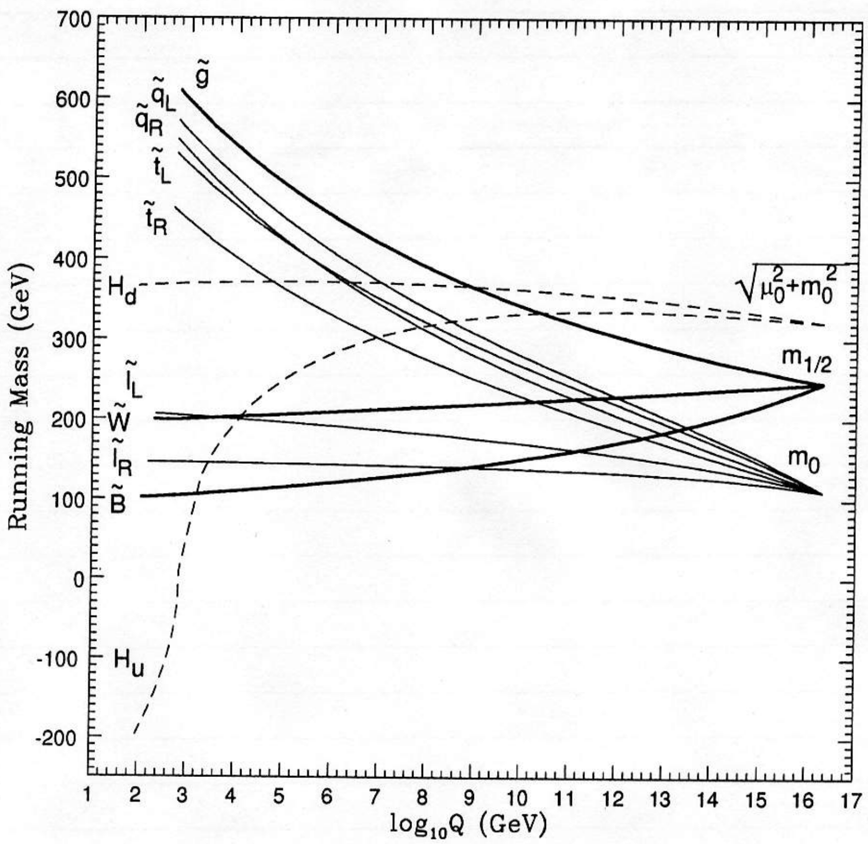


Fig. 7.2. The renormalization group evolution of SSB masses and μ for a representative case with universal boundary conditions at the unification scale M_U. $\tilde{t}_L = \widetilde{Q}_3$ and $\tilde{t}_R = \widetilde{U}_3$, and $\tilde{q}_{L\,(R)}$ is a left- (right-) handed squark of the first two generations.

mass running ① $m_{\tilde{B}} : m_{\tilde{W}} : m_{\tilde{g}} = 0.4 : \underbrace{0.8 : 2.8}_{m_{1/2}}$

② $H_u = H_2$ が large y_t で負になり SSB
　→ 次のページ

③ Sfermion は m_0 より重くなる
　$\tilde{q}$が $\tilde{g}$より極端に軽くなることはない

④ m_0が大きくなり過ぎると μ_0 がうまく出ないことがある
　<Hu> <0 にならない → SUSY3-8

⇩

一般に mSugra では $m_0 \gg m_{1/2}$ でない限り

$\mu > m_{1/2} \gg m_Z$ となる。(SUSY 2-6)

$$\frac{dH_d^2}{dt} = \frac{2}{16\pi^2}\left\{-\frac{3}{5}g_1^2M_1^2 - 3g_2^2M_2^2 \overbrace{-\frac{3}{10}g_1^2 S}^{S\sim0} + 3f_b^2X_b + f_\tau^2 f X_\tau\right\}$$

$$\frac{dH_u^2}{dt} = \frac{2}{16\pi^2}\left\{-\frac{3}{5}g_1^2M_1^2 - 3g_2^2M_2^2 \underbrace{+\frac{3}{10}g_1^2 S}_{S\sim0} + 3f_t^2 X_t\right\}$$

大きい

colour

top の Yukawa 結合が大きいことが自発的な破れを作っている

$$\frac{dH_u^2}{dt} > 0$$

"正の傾き"

t

$$X_t = m^2_{\tilde{t}_L} + m^2_{\tilde{t}_R} + m^2_{H_u} + A_t^2$$

μ_0 は EW order（この理由は不明 "μ 問題"）

$$\frac{d\mu}{dt} = \frac{\mu}{16\pi^2}\left(-\frac{3}{5}g_1^2 - 3g_2^2 + 3f_t^2 + 3f_b^2 + f_\tau^2\right)$$

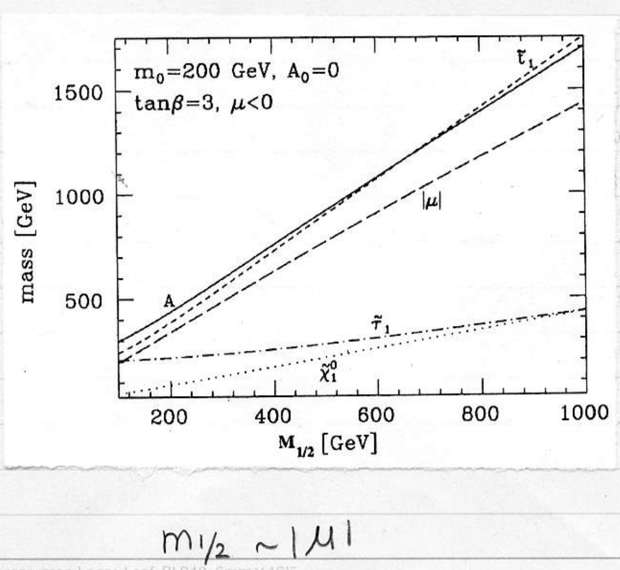
μ は SUSY の Parameter によらない

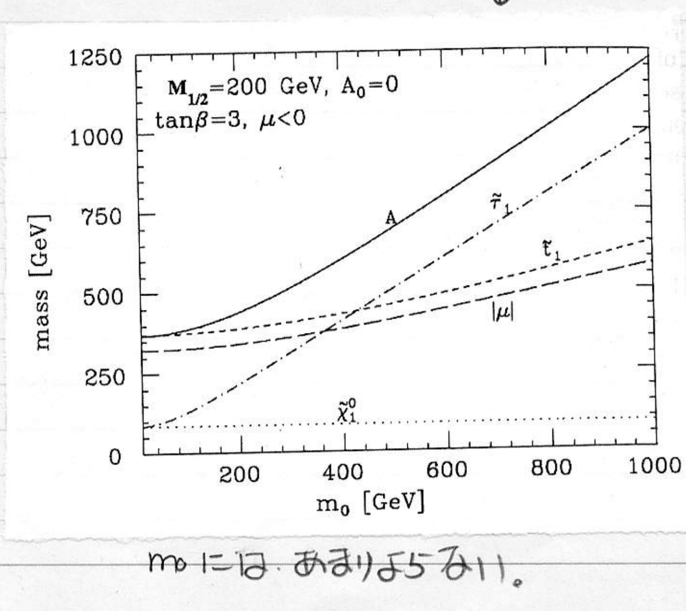
EW SB $\quad \frac{1}{2}M_Z^2 = \frac{m_1^2 - m_2^2\tan^2\beta}{\tan^2\beta - 1} - |\mu|^2$ を満たす必要

$$\frac{1}{2}M_Z^2 = C_0\, m_0^2 + C_1\, m_{1/2}^2 - |\mu|^2$$

$m_{1/2}$, $|\mu|$ も EW "order"

$C_1 \gg C_0$ で $\quad C_1 \sim 2$ $\quad |\mu|$ が決まる





$m_{1/2} \sim |\mu|$

m_0 にはあまりよらない。

"m_0は大きくても良い"（上に書き込み：小さくても） ⟼ Focus point

"Gaugino だけが見える"

⟼ small m_0 も OK

↓

m_0の条件は弱めるべき ⟼ Beyond mSUGRA

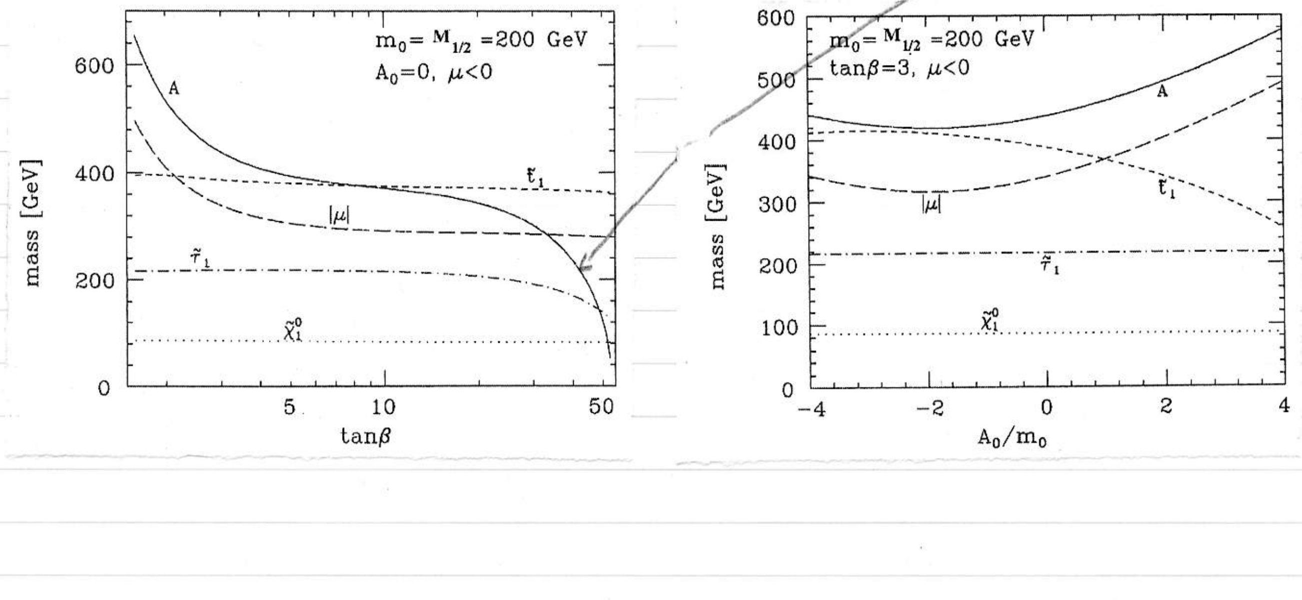
m_0が大きい $\tilde{q}$が重くなる { FCNCが抑えられる
CP(yukawa)の効果も抑えられる.

。もう1つのPointとして $|\mu|$ は Aと同じ程度になる

→ (Aと $\tilde{\chi}^{\pm}_2$ $\tilde{\chi}^0_{3,4}$ のmassは同じ程度)

Aのmass $m_A^2 = \mu_1^2 + \mu_2^2 \sim c\mu^2$

↑ tan βが大きいとダメ



(1)と(2)だけなら話は簡単ですが (3),(4)で少し複雑になる

(3) Gaugino, Higgsino → Chargino / Neutralino

(1)のGaugino $\tilde{B}, \tilde{W}$ は Higgsino $\tilde{H}^0_{1,2}$ $\tilde{H}^\pm$ と混合する(同じ量子数)

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

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, μ が TeV) mixingはおきない)

(より正確に言うなら $\mu, m_2 \gg m_W$)

$\mu > 0.8 m_{1/2}$: 軽いchargino $\equiv \tilde{\chi}^\pm_1 \approx \tilde{W}^\pm$ (Wino)

"Gaugino-like" と呼ぶ

⇨ Gauge 結合の特長「flavour Blind」

(EW 2-11)

重いchargino $\tilde{\chi}^\pm_2 \approx \tilde{H}^\pm$ (Higgsino)

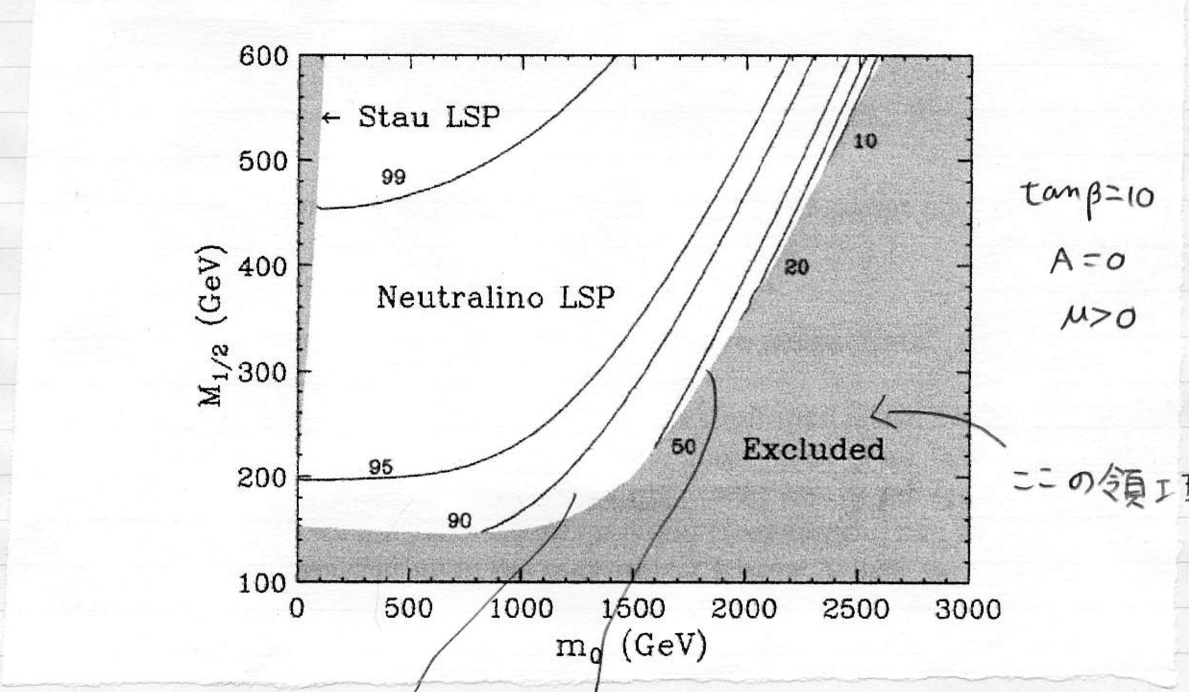
⇨ Yukawa 結合する。(第3世代にしかつっかない)

すでに前ページで述べた様に mSUGRAの特長として

$\mu > 0.8 m_{1/2}$ である.

⇨ $\tilde{\chi}^\pm_1$, $\tilde{\chi}^0_1 \tilde{\chi}^0_2$ → Gaugino ⇩ Gauge 結合 (EW 2-11)

$\tilde{\chi}^\pm_2$, $\tilde{\chi}^0_3 \tilde{\chi}^0_4$ → Higgsino ⇩ Yukawa 結合 (EW 2-10)



$\tan\beta = 10$

$A = 0$

$\mu > 0$

ここの領域は m_0 が大きすぎで $\langle H_u \rangle < 0$ にならない。

その付近では $\mu < m_{1/2}$ となり Higgsino と Gaugino が mixing する

それ以外の領域では 90% 以上が Gaugino 成分

Neutralino も

$\hat{B}$, $\tilde{W}^0$, $\hat{H}_1^0$ $\hat{H}_2^0$ の4つが混合（次のページ）

mSUGRAで $\underset{0.4}{m_1} < \underset{0.8}{m_2} < \mu$ で $m_1 > m_Z$ なら

$\tilde{\chi}_1^0$ は ほぼ Bino になる。（$\tilde{\gamma}$ でなく Hypercharge によく結合する）

$\tilde{\chi}_2^0 \sim \tilde{W}_0$ （f_L によく結合）

$\tilde{\chi}_3^0, \tilde{\chi}_4^0$ → Higgs の結合

この時

⇨ SUSY 2-5 の fundamental 1 の $\tilde{W}$ $\tilde{B}$ は直接決まる

Chargino/ Neutralino

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

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)

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

↖ mixing term

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

1. $\tilde{\chi}^0_1$ **がLSP(Lightest stable particle) -> DM**
2. M_1, M_2,μ,Mzの大小関係が大切。Mzが小さいとすれば、LSPは、Bino-like(M_1が小)、Wino-like(M_2が小), higgsino-like(μ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,μの混合状態でWino-like とhiggsino-like

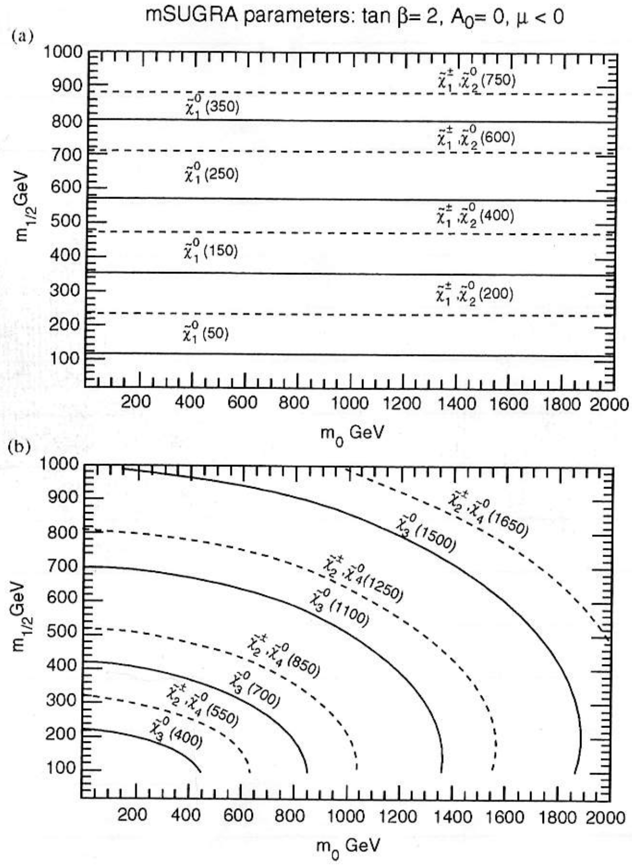


Figure 2.1. Isomass contours for (a) light ($\tilde{\chi}_1^\pm$, $\tilde{\chi}_1^0$, $\tilde{\chi}_2^0$) and (b) heavy ($\tilde{\chi}_2^\pm$, $\tilde{\chi}_3^0$, $\tilde{\chi}_4^0$) charginos/neutralinos.

$\tilde{\chi}^0_{12}, \tilde{\chi}^\pm_1 \sim$ Bino, Wino
$= 0.4\, m_{1/2},\ 0.8\, m_{1/2}$

"ステキ"

$\tilde{\chi}^0_{3,4}\ \tilde{\chi}^\pm_2 \sim$ Higgsino
μの分布

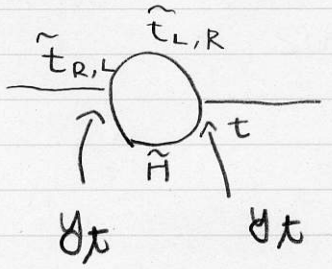
large $\tan\beta$の limit

$|\mu|^2 \sim -m^2_{H_u}$

(4) 第3世代

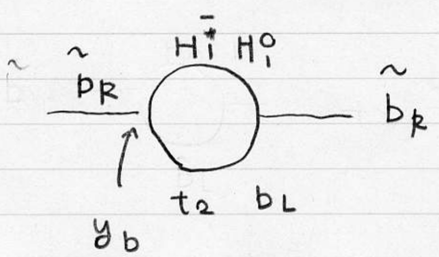
第3世代 (t, b, τ) は y が大きい ↦ 以下の2つの理由で他の第1,2世代より軽くなる。

① Yukawa結合に比例するloop

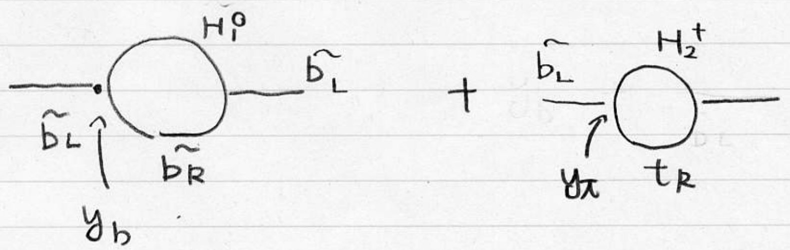


doubletがまわる $\tilde{t}_R$ の方が軽くなる

(注) sbottomは逆　　sbottomは $\tilde{b}_L$ の方が $\tilde{b}_R$ より軽い

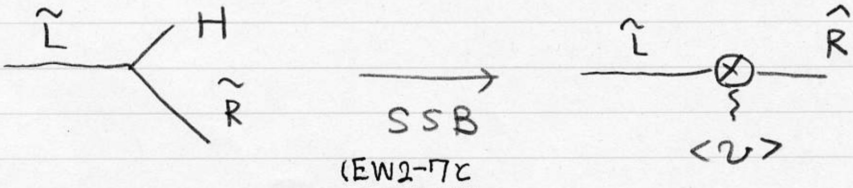


$2\times y_b$



$y_b + y_t$

② L↔R mixing　　trilinear結合



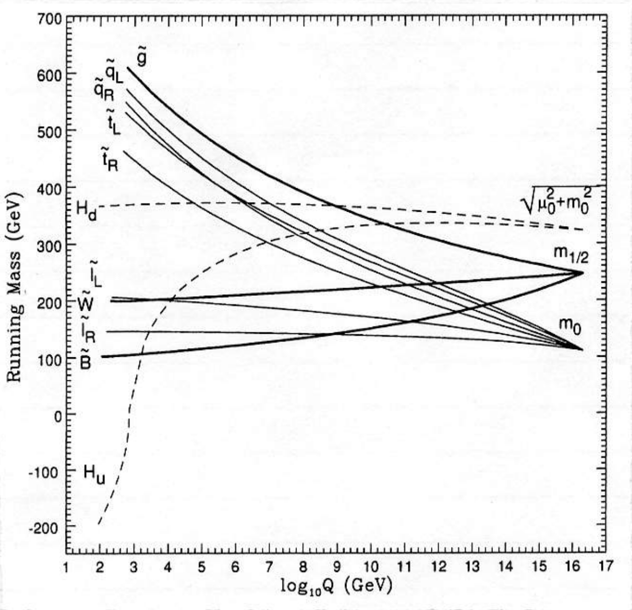
$-m_t(A_t - \mu\cot\beta)$

or

$-m_{b,\tau}(A_{b,\tau} + \mu\tan\beta)$

$\tan\beta$　$m_b\tan\beta \sim m_t$ となり同じ寄与

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



$\tilde{t}$は必ず軽くなる

↵

一方 $\tilde{b}$, $\tilde{\tau}$は $\tan\beta$が大きい時に 軽くなる。

Higgsについて

SUSYでは(MSSM)では Higgs doubletは最低2つ(これがMinimal)

この時 $2\times2\times2=8$ つのreal stateがある。Z, $W^\pm$ のLとなるのが3つ

で残り5つのHiggsが出来る。 (EW 2-7)

(h, H, A, H^+ H^-)である。

h, Hは CP偶で

h: $m_h < 130$ GeV (標準理論Higgsに近い性質)

H: $m_H \fallingdotseq m_A$

Aは CP奇で　　　2-10参照　　　Vのmass term

$$A:\ m_A^2 = \mu_1'^2 + \mu_2^2 = \frac{2\mu_3^2}{\sin 2\beta}$$

2-11 (μ_3^2はあまり走らない)

$H^\pm$ は charged Higgs　$m_{H^\pm} = \sqrt{m_A^2 + m_W^2} \sim m_A$

h以外は m_A で縮退している。

MSSM (SUSY) Higgs

4つ
- 軽い h $\quad m_h \leq 130\,\text{GeV}$
- 重い H $\quad m_H \geq m_h$
- CP odd A $\quad m_A \sim m_H$
- charged $H^\pm$ $\quad m_{H^\pm} \sim m_H$

mass

} $\tan\beta$, m_A の 2 parameter

↓

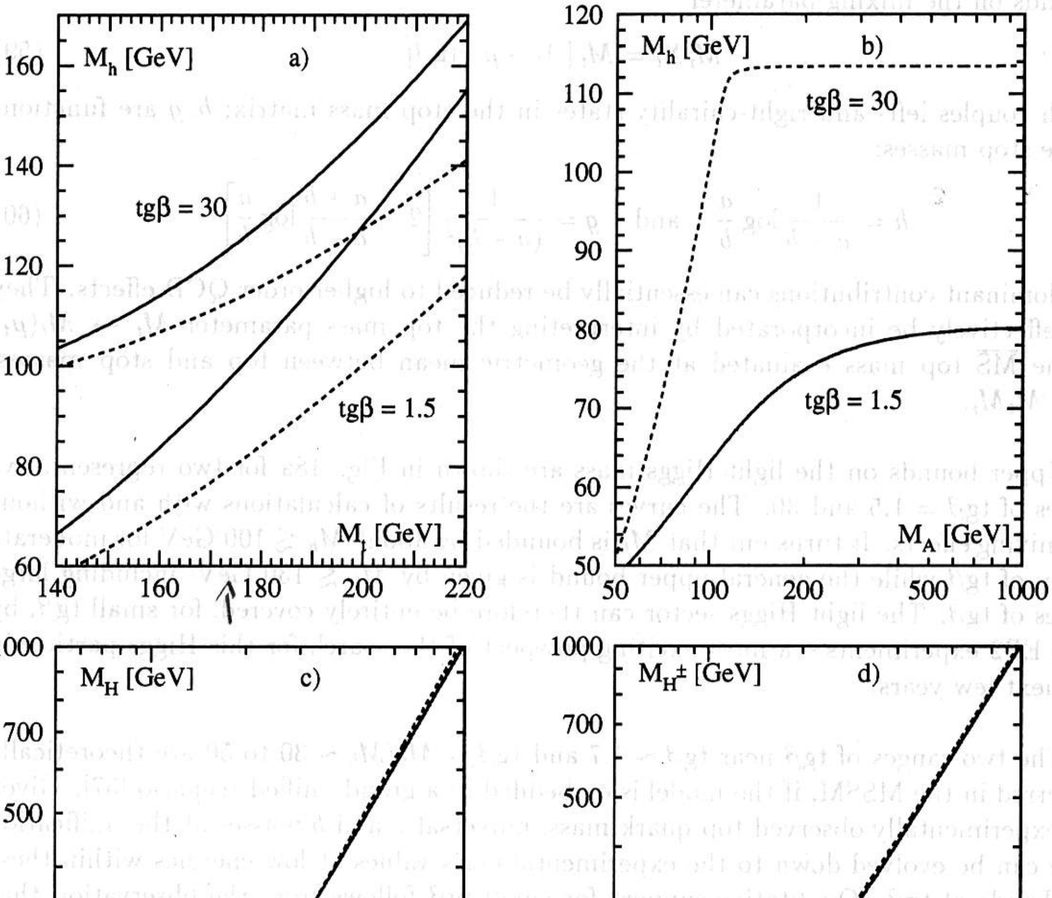
これが $\dfrac{2\mu_3^2}{\sin 2\beta}$ で与えられる

⇓

m sugra

(LEP Higgs では これは free にしている)

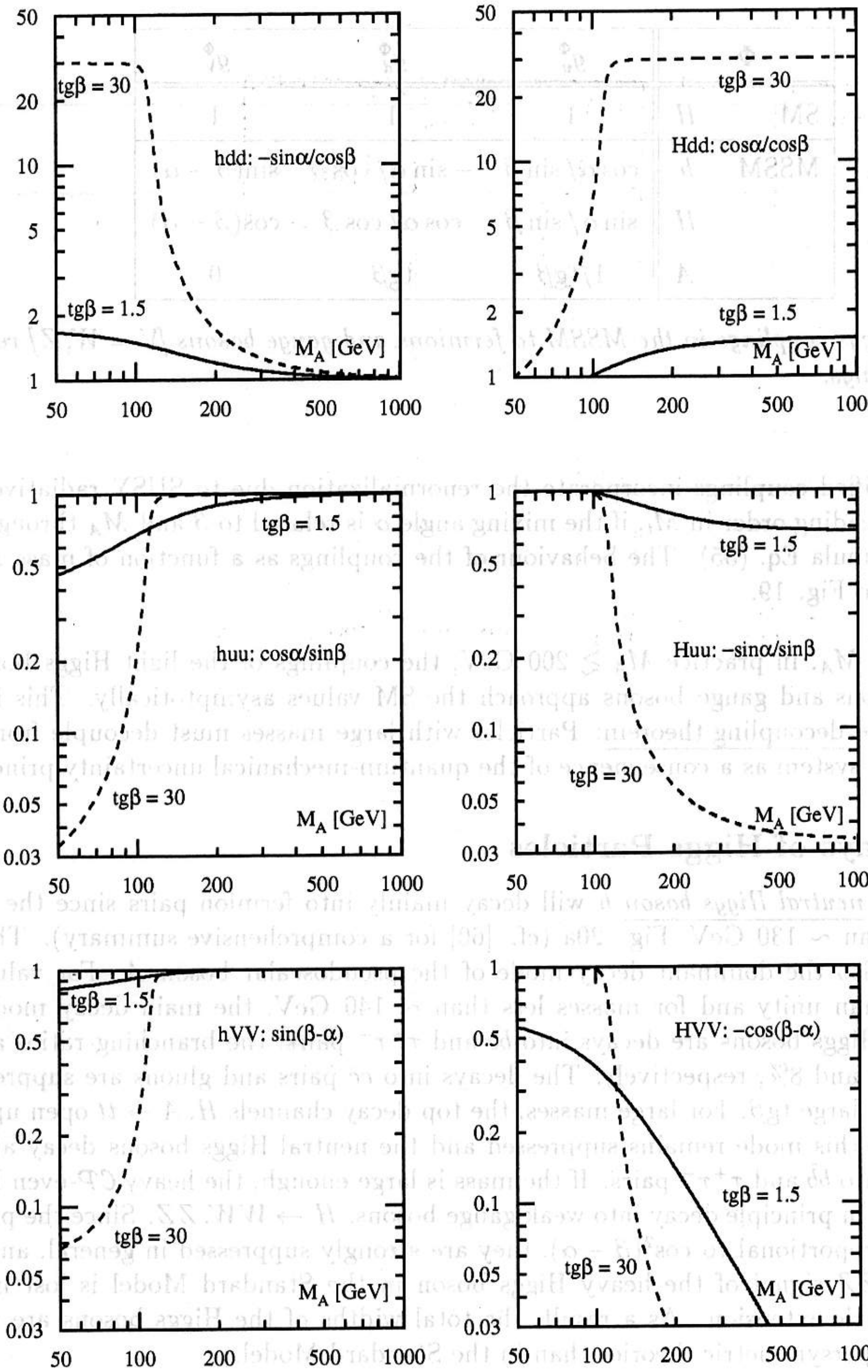
$\tan\beta$. m_0 $m_{1/2}$ A で mass 決まる



coupling

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

α は h と H の混り方の parameter ($m_A \to \infty$ $\alpha \to 0$)



← down type

SM

SM

← up type

SM

← Gauge Boson

⇑ h

⇑ A H (A)

* $m_A \geq 100\sim200$ GeV だと

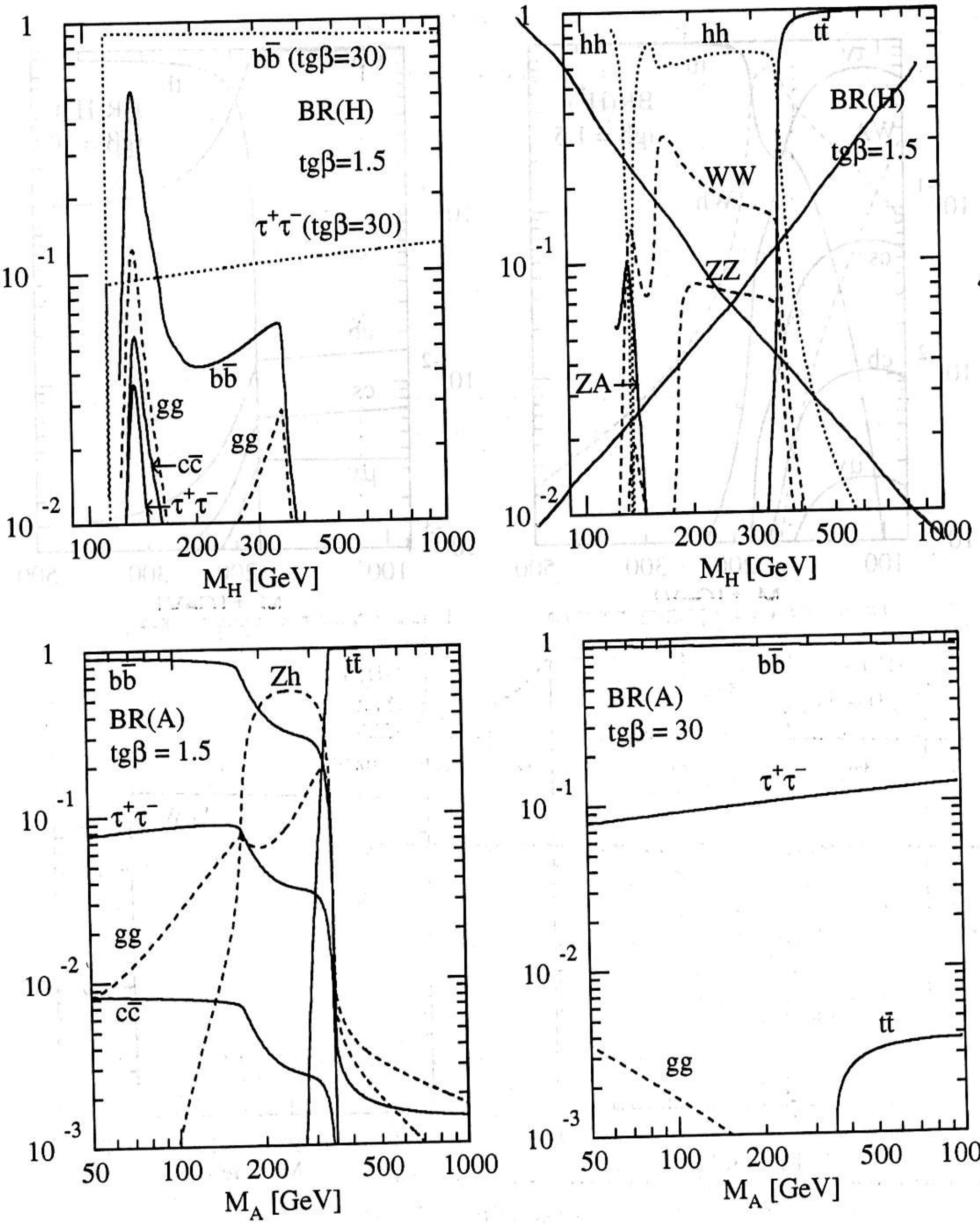
① h は H_{SM} と同じ性質

② H は down-type (b , τ) としか結合しなくなる

⇓

しかも $(\tan\beta)^2$ で enhance される.

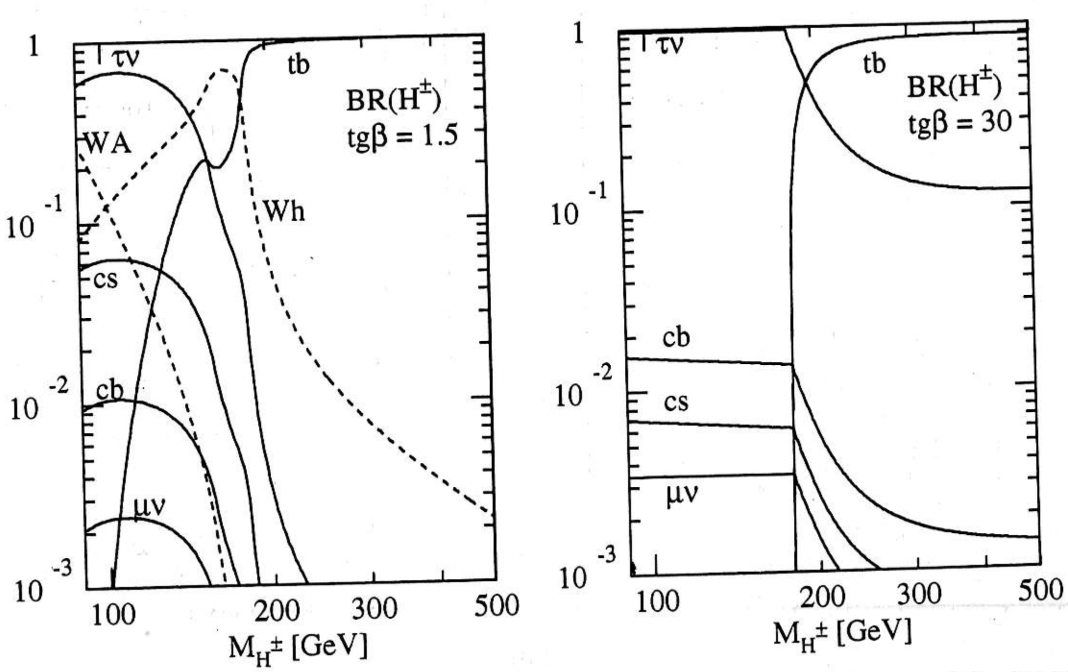
small tanβ (disfavor) Large tanβ No. 3-21



← H

← A

Fig. 20c



← H±

例1

Point	m_0 (GeV)	m1/2 (GeV)	A0(GeV)	tan(β)	sgn(μ)	x-sec (pb)
Coannihilation (SU1)	70	350	0	10	+	7.43 (a)
Focus Point (SU2)	3550	300	0	10	+	4.86 (a)
Bulk (SU3)	100	300	-300	6	+	18.59 (a)
Low Mass (SU4)	200	160	-400	10	+	262 (b)
Scan (SU5.1)	130	600	0	10	+	0.44 (b)
Scan (SU5.2)	250	600	0	10	+	0.40 (b)
Scan (SU5.3)	500	600	0	10	+	0.31 (b)
Funnel (SU6)	320	375	0	50	+	
Coannihilation (SU8.1)	210	360	0	40	+	6.44 (a)
Coannihilation (SU8.2)	215	360	0	40	+	6.40 (a)

```
Minimal supergravity (mSUGRA) model:

     M_0,  M_(1/2),  A_0,  tan(beta),  sgn(mu),  M_t =
       70.000   350.000     0.000    10.000     1.0   175.000

     ISASUGRA unification:
     M_GUT      = 0.203E+17   g_GUT          =0.711      alpha_GUT =0.040
     FT_GUT     = 0.513       FB_GUT         = 0.050     FL_GUT = 0.069

     1/alpha_em =  127.81     sin**2(thetaw) =0.2309     a_s^DRB   =  0.118
     M_1        =  141.20     M_2            =  270.97   M_3       =  791.38
     mu(Q)      =  455.77     B(Q)           =   60.64   Q         =  625.90
     M_H1^2     = 0.516E+05   M_H2^2         =-0.205E+06 TANBQ     =    9.704

     ISAJET masses (with signs):
     M(GL)  =    831.84
     M(UL)  =    753.90   M(UR)  =    730.28   M(DL)  =    758.15   M(DR) =    728.51
     M(B1)  =    699.97   M(B2)  =    723.50   M(T1)  =    573.66   M(T2) =    754.39
     M(SN)  =    239.84   M(EL)  =    252.73   M(ER)  =    155.73
     M(NTAU)=    239.10   M(TAU1)=    147.73   M(TAU2)=    254.92
     M(Z1)  =   -136.72   M(Z2)  =   -262.03   M(Z3)  =    460.82   M(Z4) =   -479.08
     M(W1)  =   -262.35   M(W2)  =   -478.30
     M(HL)  =    115.80   M(HH)  =    515.16   M(HA)  =    511.57   M(H+) =    521.08

     theta_t=   1.0574    theta_b=   0.3704    theta_l=   1.3789    alpha_h=   0.1064

     NEUTRALINO MASSES (SIGNED) =  -136.716   -262.030    460.816  -479.081
     EIGENVECTOR 1        =   0.04502   -0.11396   -0.03387    0.99189
     EIGENVECTOR 2        =   0.15437   -0.24558   -0.95460   -0.06781
     EIGENVECTOR 3        =  -0.70914   -0.70021    0.06872   -0.04592
     EIGENVECTOR 4        =  -0.68649    0.66061   -0.28787    0.09722

     CHARGINO MASSES (SIGNED)  =  -262.352   -478.296
     GAMMAL, GAMMAR            =     1.93683    1.79758


     ISAJET equivalent input:
     MSSMA:   831.84  455.77  511.57   10.00
     MSSMB:   724.16  695.94  699.09  245.99  147.17
     MSSMC:   669.56  692.60  580.26  245.27  144.64 -629.34 -922.26 -216.14
     MSSMD: SAME AS MSSMB (DEFAULT)
     MSSME:   141.20  270.97
```

← SU1

(M_1, M_2, M_3 ←) $M_1 : M_2 : M_3$

(mu(Q) ←) μ

(EIGENVECTOR 1 ←) $\tilde{B}$

(EIGENVECTOR 2 ←) $\tilde{W}$

NO. 3-23

SU(2)

"Focus point" region Cross section (LO) = 4.9 pb

- Mainly gluino/neutralino/chargino production.

Production Mode	Probability
chi^0 chi-charged	61.2%
pair of chi-charged	22.8%
pair of chi^0	4.4%
pair of gluinos	11.6%

- Higgsino is LSP
- Heavy flavor decays

Issues:

- b tagging, reconstruction of complex events

```
*********************************************
*                                           *
*  ISAJET     V7.71    18-OCT-2004 16:52:09 *
*                                           *
*********************************************



Minimal supergravity (mSUGRA) model:

M_0,  M_(1/2),  A_0,  tan(beta),  sgn(mu),  M_t =
 3550.000   300.000     0.000    10.000      1.0   175.000

ISASUGRA unification:
M_GUT      = 0.255E+17    g_GUT          =0.693      alpha_GUT =0.038
FT_GUT     = 0.519        FB_GUT         = 0.050     FL_GUT = 0.068

1/alpha_em =  127.82      sin**2(thetaw) =0.2310     a_s^DRB    =   0.118
M_1        =  123.01      M_2            =  237.77   M_3        =  700.06
mu(Q)      =  167.68      B(Q)           = 7615.04   Q          = 2538.97
M_H1^2     = 0.121E+08    M_H2^2         = 0.257E+06 TANBQ      =    9.530

ISAJET masses (with signs):
M(GL)   =    856.59
M(UL)   =   3563.24   M(UR)   =  3574.18   M(DL)   =  3564.13   M(DR) =  3576.13
M(B1)   =   2924.80   M(B2)   =  3500.55   M(T1)   =  2131.11   M(T2) =  2935.36
M(SN)   =   3546.32   M(EL)   =  3547.50   M(ER)   =  3547.46
M(NTAU)=    3532.27   M(TAU1)=   3519.65   M(TAU2)=   3533.67
M(Z1)   =   -103.35   M(Z2)   =  -160.37   M(Z3)   =   179.76   M(Z4) =  -294.90
M(W1)   =   -149.42   M(W2)   =  -286.80
M(HL)   =    119.01   M(HH)   =  3529.74   M(HA)   =  3506.62   M(H+) =  3530.61

theta_t=   1.5544   theta_b=   0.0037   theta_l=   1.4754   alpha_h=   0.0998
```

M1 : M2 : M3 (← M_1, M_2, M_3)

μ (← mu(Q))

$\tilde{g}$ (← M(GL))

} $\tilde{\ell}$ はいない

2007/07/26 03:49 PM

```
NEUTRALINO MASSES (SIGNED) =  -103.346  -160.374   179.756  -294.903
EIGENVECTOR 1        =   0.33460  -0.50179  -0.22177   0.76620
EIGENVECTOR 2        =   0.43339  -0.45903  -0.46133  -0.62341
EIGENVECTOR 3        =   0.72014   0.67655  -0.12249   0.09313
EIGENVECTOR 4        =  -0.42616   0.28246  -0.85029   0.12498

CHARGINO MASSES (SIGNED)  =  -149.418  -286.805
GAMMAL, GAMMAR             =   2.73565   2.48953


ISAJET equivalent input:
MSSMA:   856.59  167.68 3506.62   10.00
MSSMB:  3515.71 3527.99 3526.33 3536.67 3544.32
MSSMC:  2888.73 3503.68 2099.06 3522.97 3516.78 -529.79 -774.24 -185.25
MSSMD: SAME AS MSSMB (DEFAULT)
MSSME:   123.01  237.77
```

"Bulk" region. Cross section (LO) = 19.3pb

Generic point with no special mass degeneracies.

```
********************************************
*                                          *
*  ISAJET     V7.71   18-OCT-2004 16:52:09 *
*                                          *
********************************************


Minimal supergravity (mSUGRA) model:

M_0,  M_(1/2),  A_0,  tan(beta),  sgn(mu),  M_t =
  100.000   300.000  -300.000     6.000     1.0   175.000

ISASUGRA unification:
M_GUT        = 0.213E+17   g_GUT          =0.712      alpha_GUT =0.040
FT_GUT       = 0.518       FB_GUT         = 0.030     FL_GUT = 0.041

1/alpha_em =  127.81      sin**2(thetaw) =0.2308     a_s^DRB    =  0.119
M_1          =  120.57     M_2            =  232.29   M_3        =  686.46
mu(Q)        =  456.88     B(Q)           =   98.08   Q          =  526.68
M_H1^2       = 0.468E+05   M_H2^2         =-0.204E+06 TANBQ      =    5.831

ISAJET masses (with signs):
M(GL)   =    722.29
M(UL)   =    658.15   M(UR)   =    638.51   M(DL)   =    662.83   M(DR) =    637.41
M(B1)   =    602.58   M(B2)   =    631.59   M(T1)   =    449.61   M(T2) =    668.31
M(SN)   =    218.77   M(EL)   =    232.29   M(ER)   =    156.94
M(NTAU)=     218.11   M(TAU1)=     151.67   M(TAU2)=     233.65
M(Z1)   =   -116.23   M(Z2)   =   -223.58   M(Z3)   =    460.01   M(Z4) =   -478.41
M(W1)   =   -223.63   M(W2)   =   -476.20
M(HL)   =    114.89   M(HH)   =    516.32   M(HA)   =    512.26   M(H+) =    521.62

theta_t=   1.0190   theta_b=   0.2360   theta_l=   1.3936   alpha_h=   0.1766

NEUTRALINO MASSES (SIGNED) =  -116.226  -223.577   460.005  -478.409
EIGENVECTOR 1        =   0.04649  -0.11311  -0.04503   0.99147
EIGENVECTOR 2        =   0.13301  -0.22157  -0.96309  -0.07526
EIGENVECTOR 3        =  -0.70937  -0.70033   0.06656  -0.04361
EIGENVECTOR 4        =   0.69061  -0.66907   0.25689  -0.09704

CHARGINO MASSES (SIGNED)  =  -223.629  -476.201
GAMMAL, GAMMAR              =   1.90204   1.76721


ISAJET equivalent input:
MSSMA:    722.29  456.88  512.26    6.00
MSSMB:    634.09  610.39  613.00  225.95  149.48
MSSMC:    574.58  608.74  479.23  225.31  147.48 -638.44-1061.22 -484.70
MSSMD: SAME AS MSSMB (DEFAULT)
MSSME:    120.57  232.29
```

```
*******************************************
*                                         *
*  ISAJET    V7.71   18-OCT-2004 16:52:09 *
*                                         *
*******************************************


Minimal supergravity (mSUGRA) model:

M_0,  M_(1/2),  A_0,  tan(beta),  sgn(mu),  M_t =
  200.000   160.000  -400.000    10.000     1.0   175.000

ISASUGRA unification:
M_GUT      = 0.267E+17   g_GUT          =0.718      alpha_GUT =0.041
FT_GUT     = 0.493       FB_GUT         = 0.048     FL_GUT = 0.068

1/alpha_em =  127.81     sin**2(thetaw) =0.2308     a_s^DRB   =  0.119
M_1        =   63.19     M_2            =  123.23   M_3       =  386.08
mu(Q)      =  303.43     B(Q)           =   47.59   Q         =  297.03
M_H1^2     = 0.446E+05   M_H2^2         =-0.964E+05 TANBQ     =    9.809

ISAJET masses (with signs):
M(GL)  =   413.37
M(UL)  =   412.25   M(UR)  =   404.92   M(DL)  =   419.84   M(DR) =   406.22
M(B1)  =   358.49   M(B2)  =   399.18   M(T1)  =   206.04   M(T2) =   445.00
M(SN)  =   217.92   M(EL)  =   231.94   M(ER)  =   212.88
M(NTAU)=   215.53   M(TAU1)=   200.50   M(TAU2)=   236.04
M(Z1)  =   -59.84   M(Z2)  =  -113.48   M(Z3)  =   308.94   M(Z4) =  -327.76
M(W1)  =  -113.22   M(W2)  =  -326.59
M(HL)  =   113.98   M(HH)  =   370.47   M(HA)  =   368.18   M(H+) =   378.90

theta_t=   0.9558   theta_b=   0.2962   theta_l=   1.1158   alpha_h=   0.1101

NEUTRALINO MASSES (SIGNED) =   -59.837  -113.482   308.935  -327.761
EIGENVECTOR 1       =   0.05115  -0.17389  -0.08675   0.97960
EIGENVECTOR 2       =   0.12235  -0.27206  -0.94439  -0.13831
EIGENVECTOR 3       =  -0.71142  -0.68887   0.11723  -0.07475
EIGENVECTOR 4       =   0.69014  -0.64900   0.29470  -0.12514

CHARGINO MASSES (SIGNED)  =  -113.219  -326.586
GAMMAL, GAMMAR            =   1.99023   1.75590


ISAJET equivalent input:
MSSMA:   413.37  303.43  368.18   10.00
```

http://www.usatlas.bnl.gov/twiki/bin/view/Projects/AtlasSusyPoints

Minimal supergravity (mSUGRA) model:

M_0, M_(1/2), A_0, tan(beta), sgn(mu), M_t =
320.000 375.000 0.000 50.000 1.0 175.000

ISASUGRA unification:

M_GUT	= 0.201E+17	g_GUT	=0.708	alpha_GUT	=0.040
FT_GUT	= 0.547	FB_GUT	= 0.303	FL_GUT	= 0.539

1/alpha_em	= 127.80	sin**2(thetaw)	=0.2309	a_s^DRB	= 0.118
M_1	= 152.71	M_2	= 292.54	M_3	= 845.02
mu(Q)	= 472.94	B(Q)	= 8.77	Q	= 677.33
M_H1^2	=-0.703E+05	M_H2^2	=-0.222E+06	TANBQ	= 49.633

ISAJET masses (with signs):
M(GL) = 894.33

M(UL) =	858.38	M(UR) =	834.88	M(DL) =	862.15	M(DR) =	833.02
M(B1) =	715.96	M(B2) =	779.62	M(T1) =	642.80	M(T2) =	798.93
M(SN) =	402.61	M(EL) =	410.66	M(ER) =	351.77		
M(NTAU)=	359.20	M(TAU1)=	181.40	M(TAU2)=	392.26		
M(Z1) =	-149.52	M(Z2) =	-287.78	M(Z3) =	478.08	M(Z4) =	-493.27
M(W1) =	-288.09	M(W2) =	-493.46				
M(HL) =	116.84	M(HH) =	386.50	M(HA) =	384.07	M(H+) =	398.80

theta_t= 1.0333 theta_b= 0.7947 theta_l= 1.1550 alpha_h= 0.0204

NEUTRALINO MASSES (SIGNED) = -149.524 -287.779 478.081 -493.269
EIGENVECTOR 1 = 0.03596 -0.10660 -0.02135 0.99342
EIGENVECTOR 2 = 0.14678 -0.24263 -0.95754 -0.05193
EIGENVECTOR 3 = 0.70863 0.70032 -0.07143 0.04796
EIGENVECTOR 4 = 0.68921 -0.66282 0.27848 -0.09008

CHARGINO MASSES (SIGNED) = -288.089 -493.456
GAMMAL, GAMMAR = 1.92878 1.78421

ISAJET equivalent input:
MSSMA: 894.33 472.94 384.07 50.00
MSSMB: 826.32 798.28 801.38 405.73 348.06
MSSMC: 716.23 720.71 644.87 363.08 232.54 -642.42 -795.07 -57.23
MSSMD: SAME AS MSSMB (DEFAULT)
MSSME: 152.71 292.54

Non-Universal Higgs Mass (NUHM)

2-6で述べている様に 全てのスカラーが同じと言うのはやりすぎ

Higgsのmixing $\mu|$ (3-10)
mass m_A (3-17)
で決めた。

特に $\mu|$ は $\tilde{\chi}_1^0$ $\tilde{\chi}_2^0$ $\tilde{\chi}^\pm$ の性質を決めるもので大切

→ freeにしてみる。

Model	α	β	γ
$m_{1/2}$	285	360	240
m_0	210	230	330
$\tan\beta$	10	10	20
sign(μ)	+	+	+
A_0	0	0	0
m_t	178	178	178
Masses			
$\|\mu\|$	375	500	325
h^0	115	117	114
H^0	266	325	240
A^0	265	325	240
$H^\pm$	277	335	253
χ_1^0	113	146	95
χ_2^0	212	279	178
χ_3^0	388	515	341
χ_4^0	406	528	358
$\chi_1^\pm$	212	279	177
$\chi_2^\pm$	408	529	360
$\tilde{g}$	674	835	575
e_L, μ_L	296	346	376
e_R, μ_R	216	241	328
ν_e, ν_μ	285	337	367
τ_1	212	239	315
τ_2	298	348	377
ν_τ	285	337	364
u_L, c_L	648	793	612
u_R, c_R	637	778	607
d_L, s_L	653	797	617
d_R, s_R	630	768	599
t_1	471	596	434
t_2	652	784	600
b_1	590	727	540
b_2	629	767	594

($\|\mu\|$) ← MSSMだと?

(A^0) ← 手で与える。

(χ_1^0–χ_4^0) ← 核 μ

→ くわしくは後半で