ＪＬＣにおける超対称性の物理

藤井恵介　ＫＥＫ

軽いヒッグスの発見

-------► 大砂漠が有力

ヒッグス質量に対する
量子補正の発散の問題

超対称性が有力

しかし

軽いヒッグスの存在は超対称性の証明
にはならない！

-------► 超粒子を発見しなければだめ

超粒子の発見

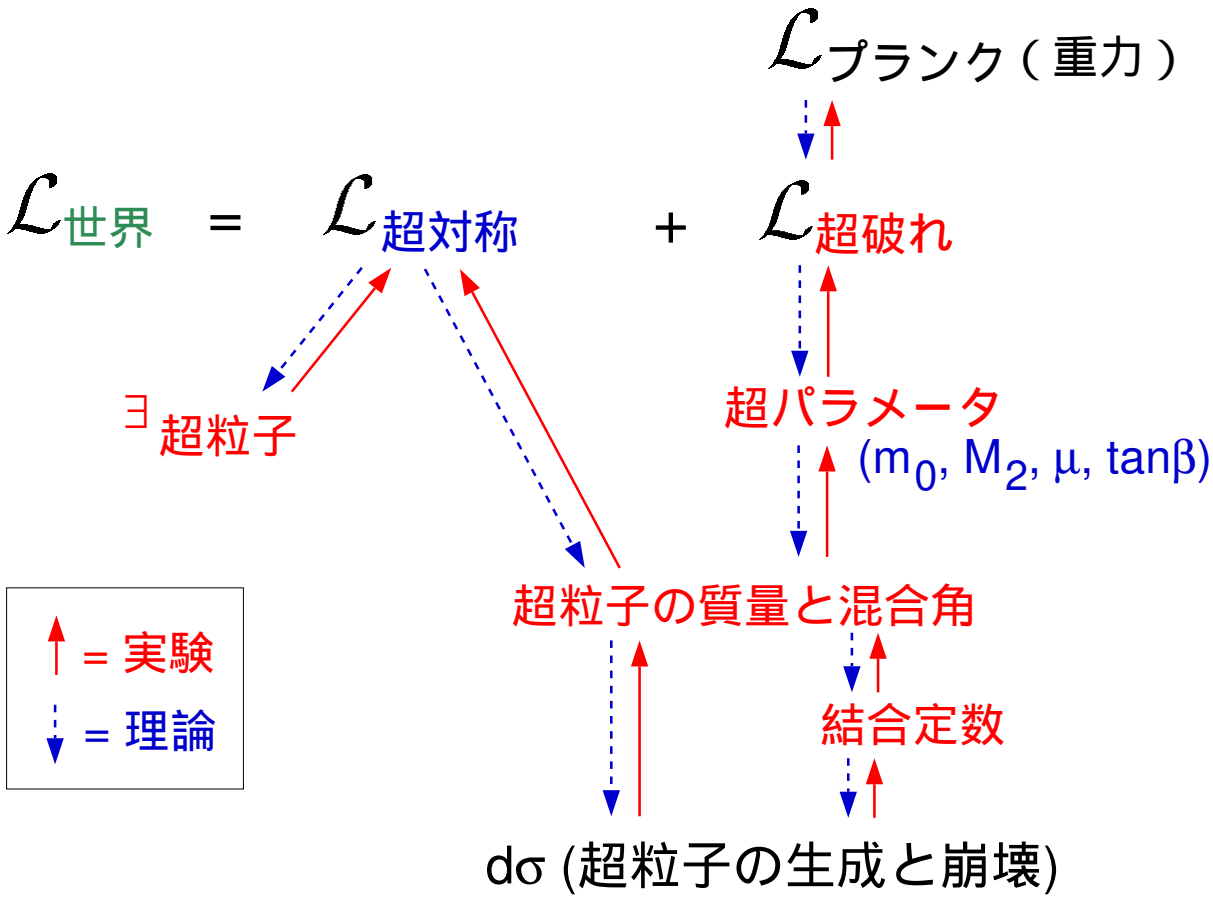
もし見つかったなら

超粒子の性質は重力が重要な役割を果たす
超高エネルギーの物理で決まっている

精密測定

-------► プランク世界をのぞく最初の
現実的な可能性が開ける！

超対称性を調べることでプランク世界が分かるということの意味



JLC での超物理

＊）超粒子の発見

------► $^{\exists}\mathcal{L}$超対称

＊）その研究（dσ 測定）

------► $\mathcal{L}$超破れ ------► $\mathcal{L}$プランク？

質量公式

ゲージーノ質量

GUT Relation

$$M_i = M \cdot \frac{\alpha_i(m_Z)}{\alpha_{GUT}} \quad : i = \begin{cases} 1\ U(1)_Y \\ 2\ SU(2)_L \\ 3\ SU(3)_C \end{cases}$$

$$\longrightarrow \quad \underset{\tilde{B}}{M_1} : \underset{\tilde{W}}{M_2} : \underset{\tilde{g}}{M_3} \cong 1 : 2 : 7$$

群の大きさ

$1 < 2 < 3$

$$\longrightarrow \quad m_{\tilde{\chi}_1^\pm} \lesssim \frac{1}{3} m_{\tilde{g}}$$

軽い方のチャージーノ

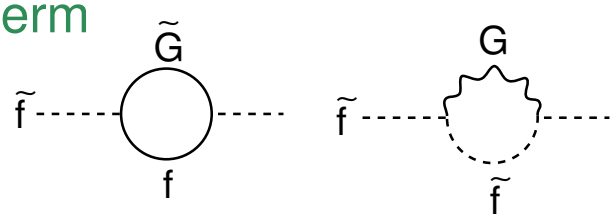
スフェルミオン質量

D-term $\lesssim$ O(1)

$$m_{\tilde{f}}^2 = m_0^2 + G_{\tilde{f}} \cdot M^2 + D_{\tilde{f}} \cdot m_Z^2$$

Common scalar mass

Gauge term



$$\longrightarrow \quad \begin{cases} G_{\tilde{q}} > G_{\tilde{l}} & (3 > 2, 1) \\ G_{\tilde{f}_L} > G_{\tilde{f}_R} & (2 > 1) \end{cases}$$

$m_{colorless} < m_{colored}$

$m_{\tilde{f}_R} < m_{\tilde{f}_L}$

First SUSY Particle (FSP)

$$\longrightarrow \quad FSP = \begin{cases} \tilde{\chi}_1^\pm \\ \tilde{l}_R^\pm \end{cases}$$

パラメーターの例

Ref. PRD51(1995)3153

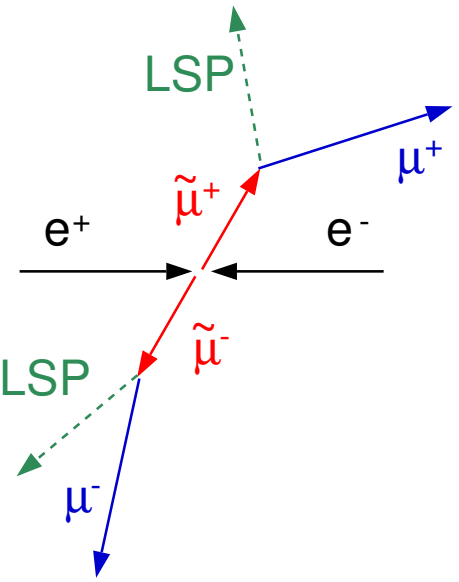
$(m_0, M_2, \mu, \tan\beta) = (\overbrace{70}^{\text{GeV}}, 250, 400, 2) \quad \longleftrightarrow \quad FSP = \tilde{l}_R^\pm$

この場合どうなるか調べてみよう！

超粒子の探索

超粒子生成のシグナル

例）超ミュー粒子の対生成



LSP（一番軽い超粒子）

安定かつ測定器にかからない

↓

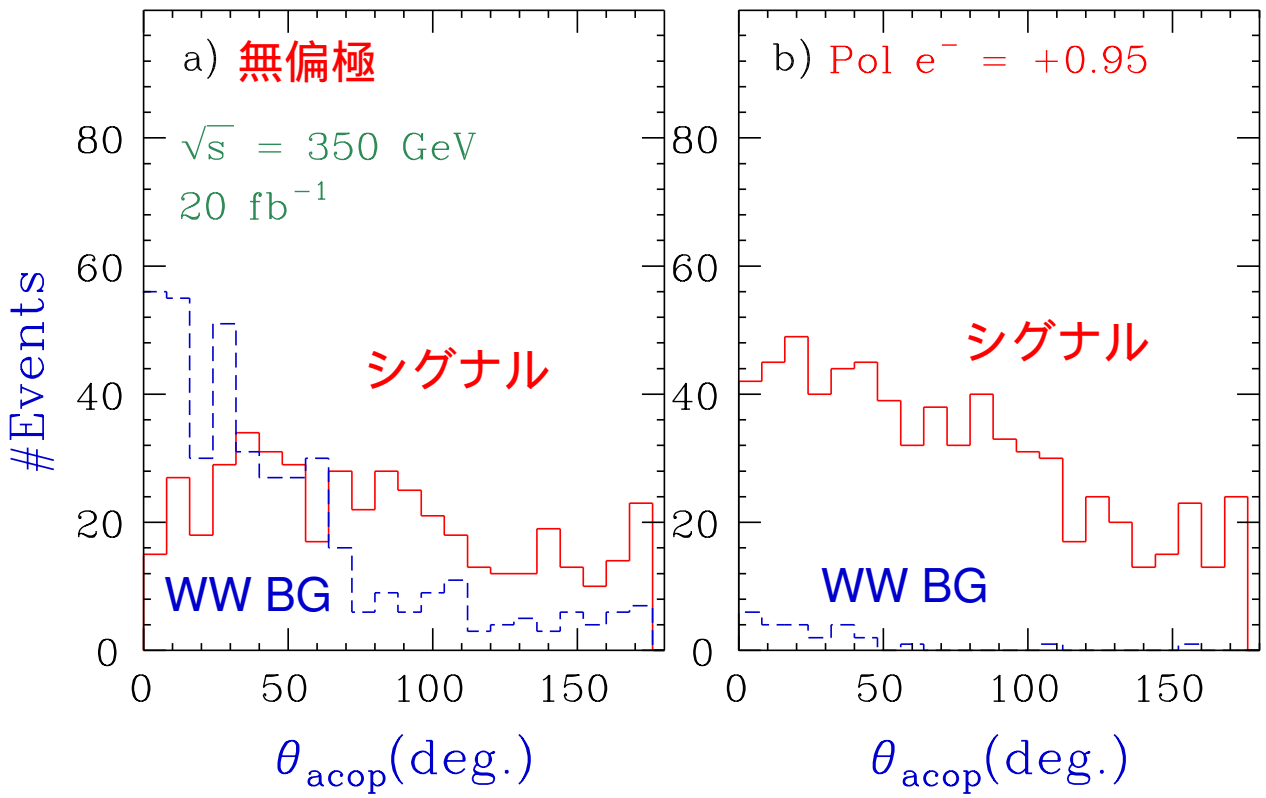
横運動量欠損

↓

曲がった事象

偏極電子ビームが強力

$e^+e^- \rightarrow \tilde{\mu}^+_R \tilde{\mu}^-_R$



極めて純度の高い超粒子のサンプルが得られる

--------→ 精密測定が可能！

偏極ビームに関するコメント

バックグラウンド

ＬＳＰと紛らわしいニュートリノを含む事象

キーポイント

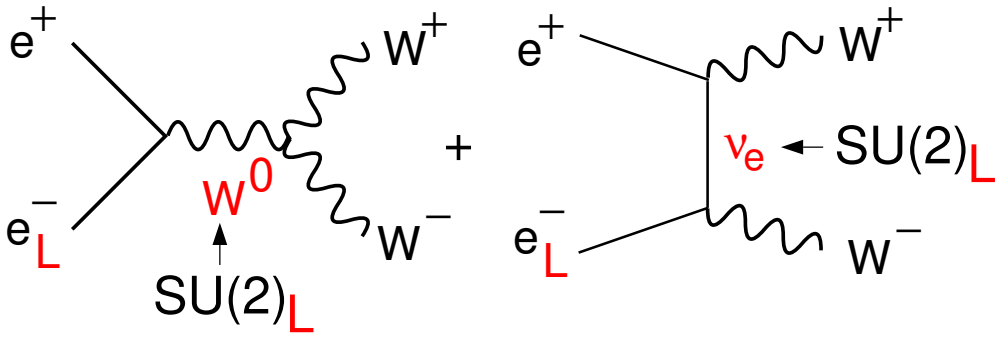
ニュートリノを含む事象は左巻き！

偏極電子ビームは大変強力な武器！

例えば

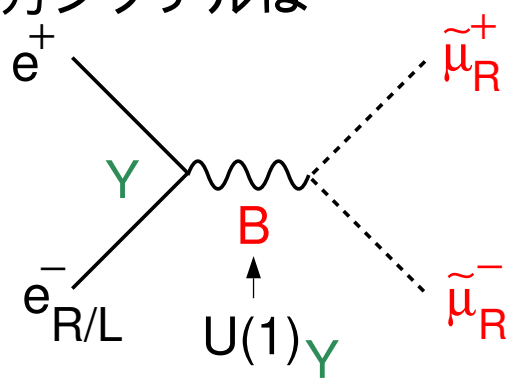
$$e^+e^- \to W^+W^-(W\to l\nu)$$

標準理論で最大のバックグラウンド



対称極限で　$\sigma_{WW} \to 0$　for e^-_R !

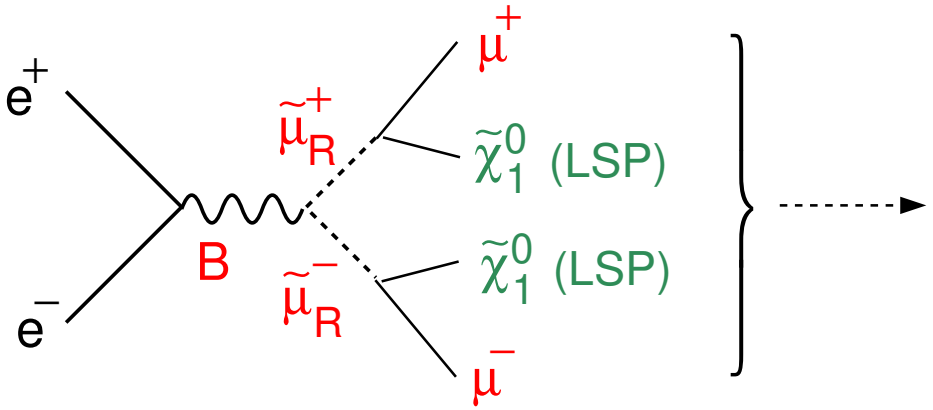
一方シグナルは



$$\begin{cases} Y_L = -1/2 : e^-_L \\ Y_R = -1 \quad : e^-_R \end{cases}$$

対称極限で　$\sigma_R = 4\,\sigma_L$!

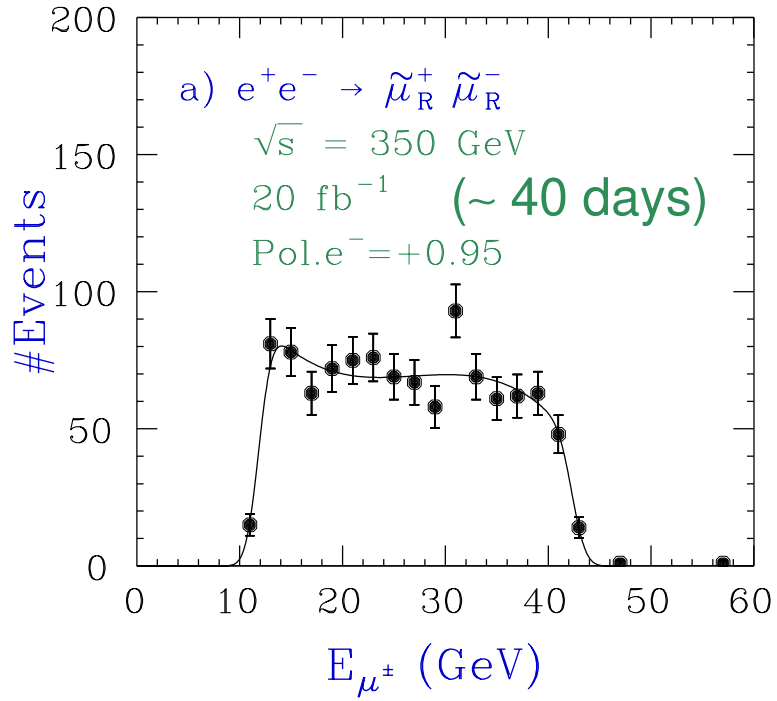
超粒子の質量の決定

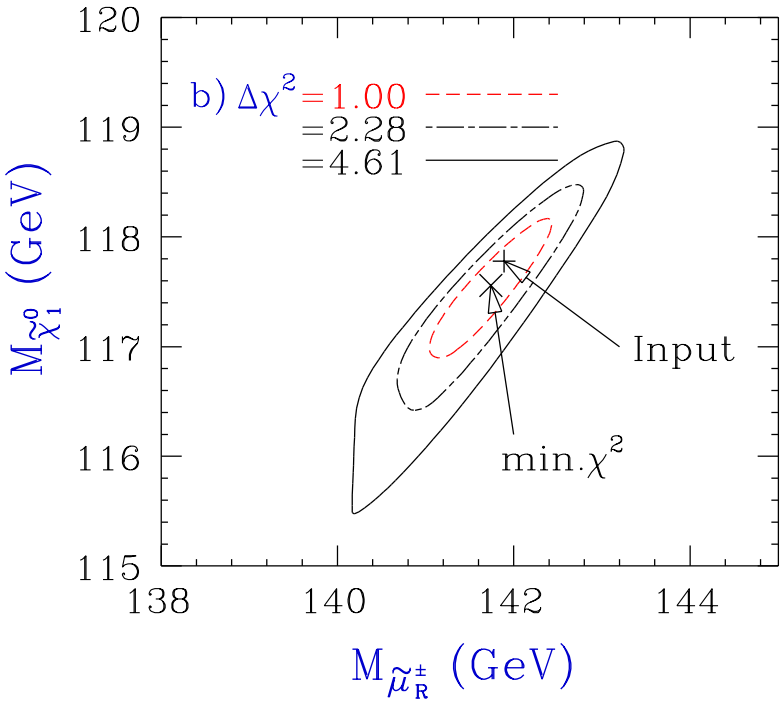


$E_{\mu^\pm}$ を測る

エンドポイント

⇢ $(m_{\tilde{\mu}^\pm_R}, m_{\tilde{\chi}^0_1})$





⇢ $\Delta m/m \lesssim 1\%$!

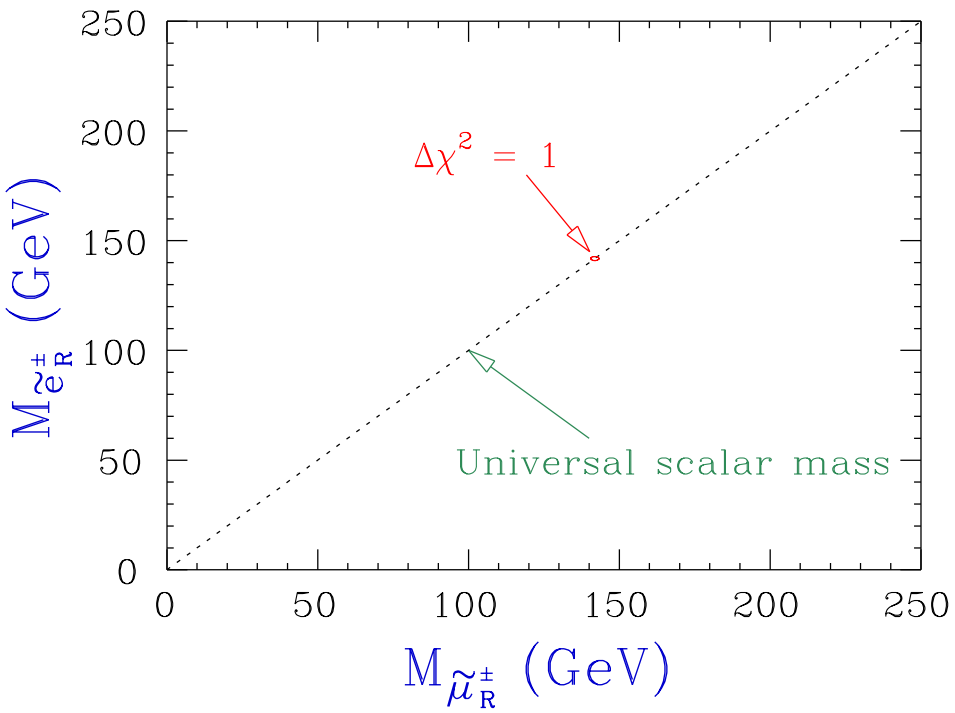
超重力理論 (~ $\mathcal{L}_{\text{プランク}}$)

「重力で超対称性をやぶる」のテスト

⇢ 全てのスカラー粒子は大統一のエネルギーで同じ質量

世代によらないこと

⇢ $m_{\tilde{\mu}_R^{\pm}} = m_{\tilde{e}_R^{\pm}}$



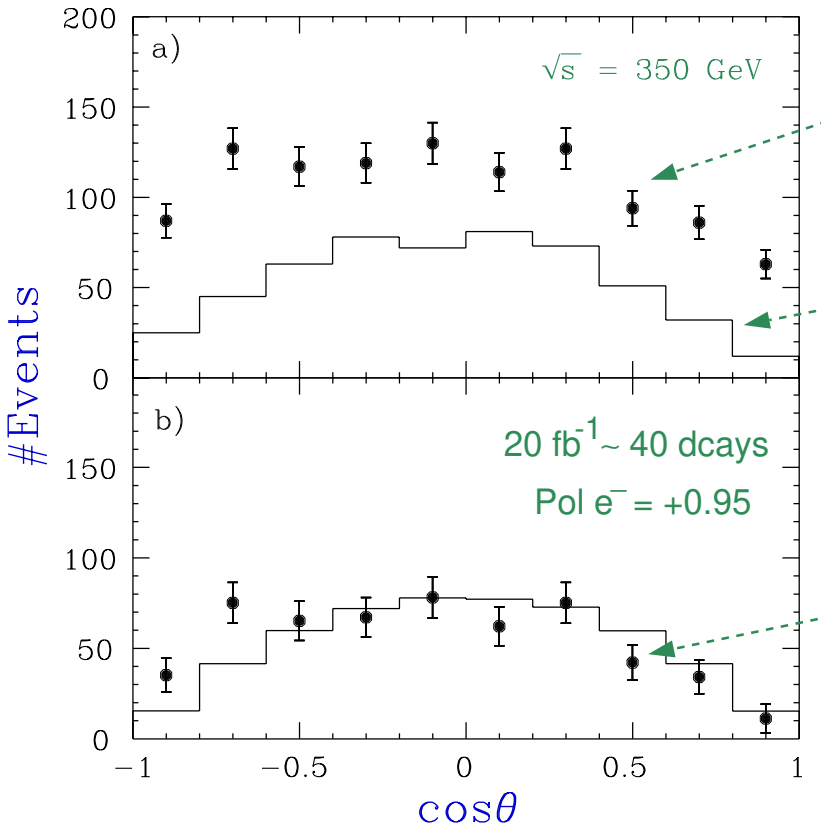
⇣

Universal Scalar Mass 仮説の精密検証 ($\lesssim$1%)

微分断面積の測定

$(m_{\tilde{l}_R^{\pm}}, m_{\tilde{\chi}_1^0})$: 既知 ----► ＬＳＰが逃げていても２値不定性を除き運動学は解ける！

$e^+e^- \to \tilde{\mu}_R^+ \tilde{\mu}_R^-$



再構成された２つの解

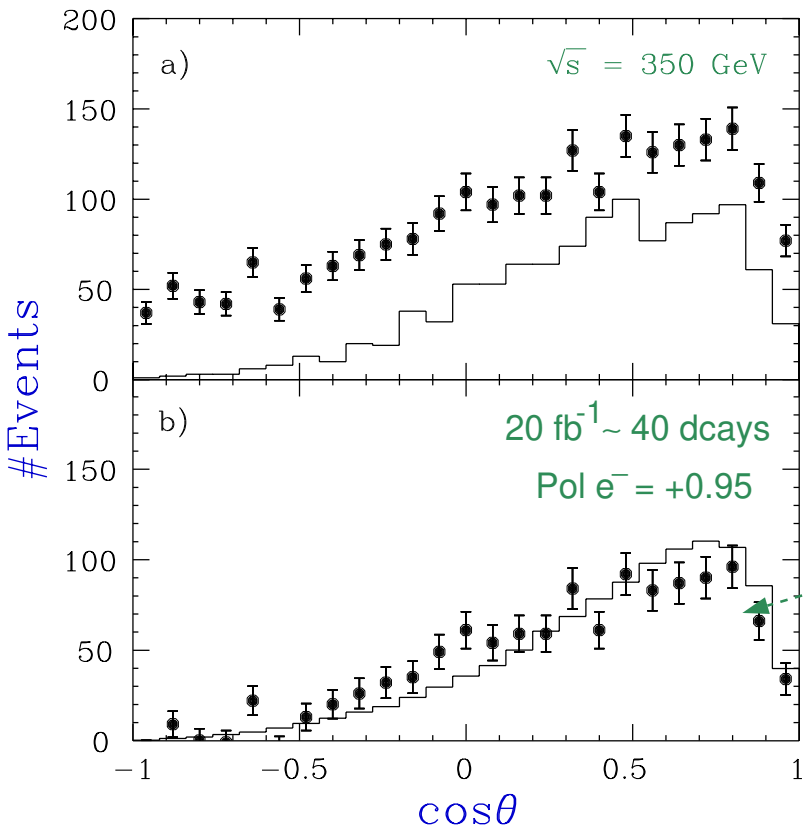
$\theta_{generated}$

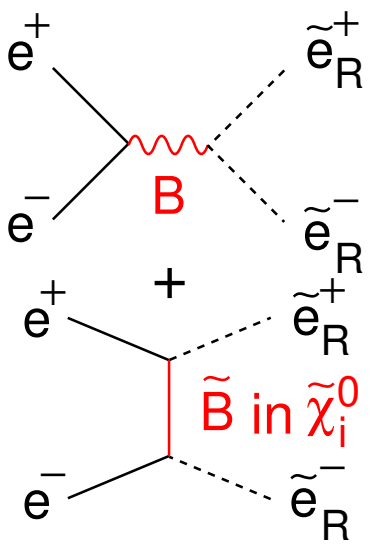
間違った解 = Flat BG

BG をひくと $\sin^2\theta$

$\therefore J = 0$

$e^+e^- \to \tilde{e}_R^+ \tilde{e}_R^-$





前方ピーク

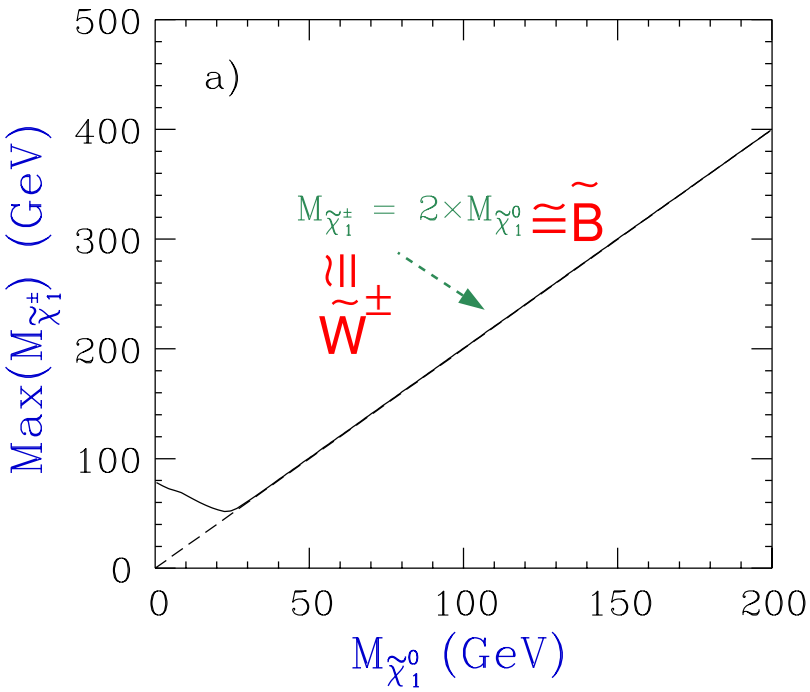
$\therefore \exists$ t-channel

$\tilde{\chi}_1^0 \cong \tilde{B}$

軽い方のチャージーノ ($\tilde{\chi}_1^{\pm}$) の研究

m_{LSP} ($\tilde{l}_R^{\pm}$ の測定) ⟶ $m_{\tilde{\chi}_1^{\pm}}$ の上限

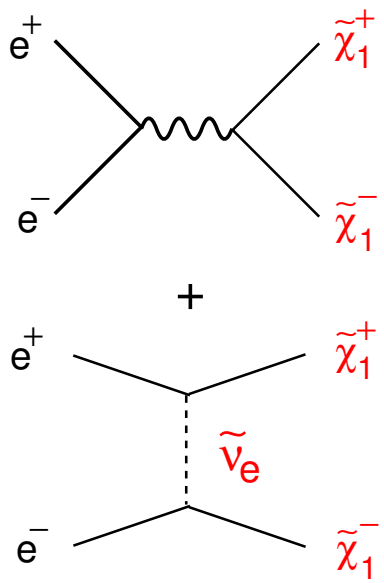
$m_{LSP} = m_{\tilde{\chi}_1^0}$

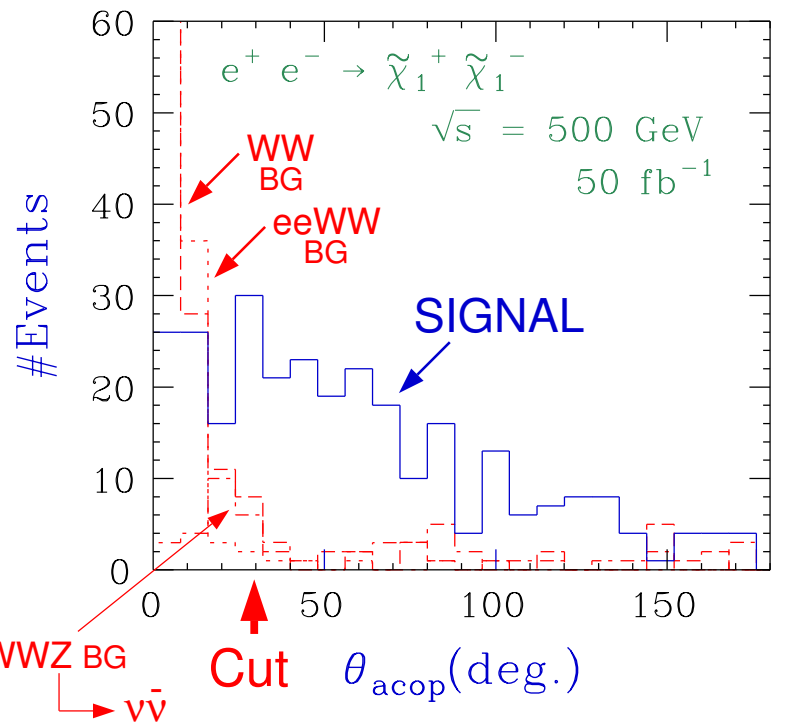


⟶ $\sqrt{s}$ を $4 \times m_{LSP}$ に設定して $\tilde{\chi}_1^{\pm}$ を探せ！

$\tilde{\chi}_1^{\pm} \to W^{\pm} \tilde{\chi}_1^0$ ⟶ Signal = Acoplanar W^+W^-

W^+W^- → $q\bar{q}'$ $q\bar{q}'$ → 4 Jets

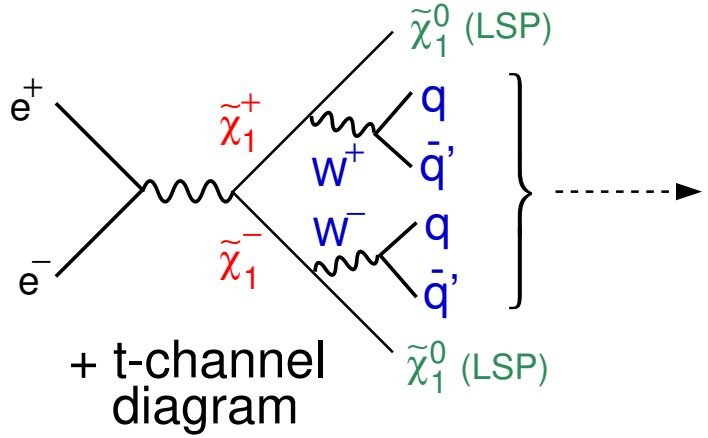




ννWW, eνWZ, WWZ BG → $\nu\bar{\nu}$

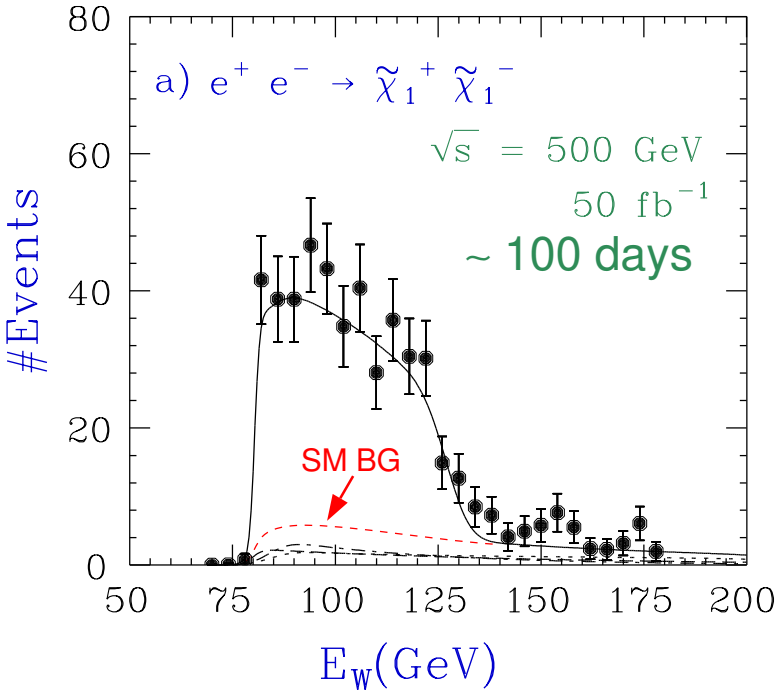
⟶ 精密測定用の十分きれいなサンプル！

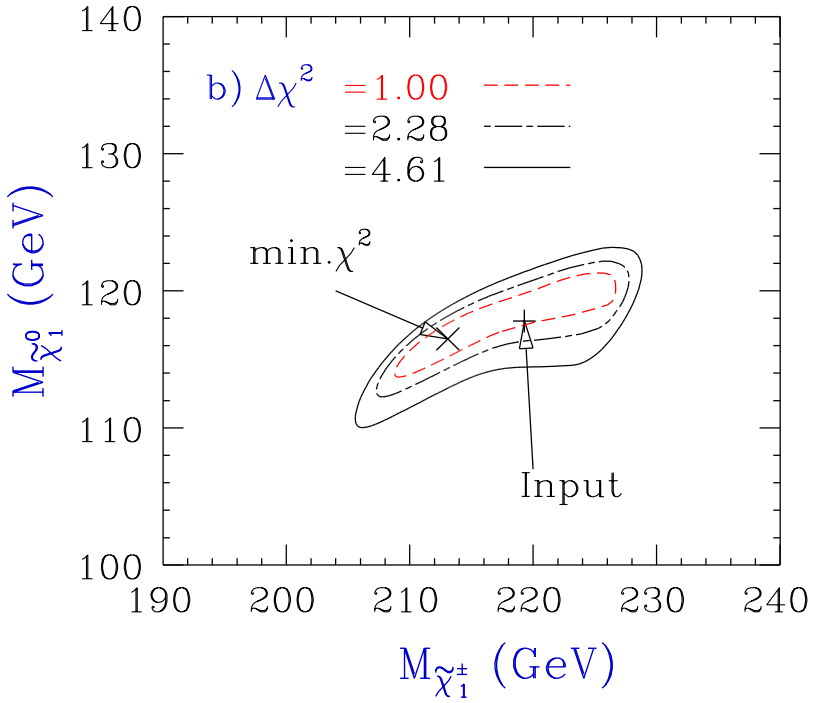
超粒子の質量の決定



$E_{W^\pm}$ を測る

エンドポイント ⇢ $(m_{\tilde{\chi}_1^\pm}, m_{\tilde{\chi}_1^0})$

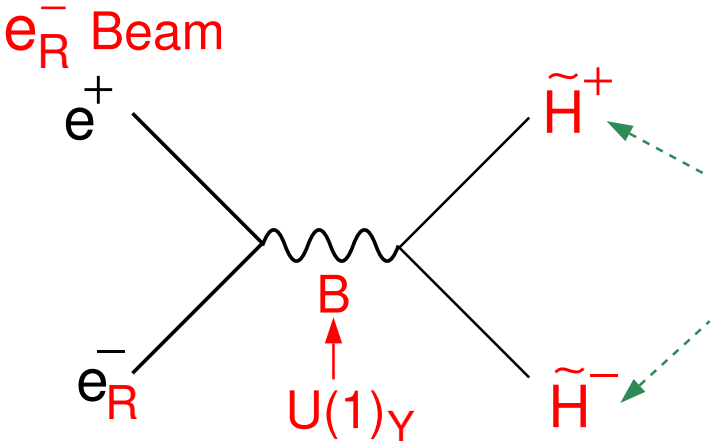




⇢ $\Delta m_{\tilde{\chi}_1^\pm} \cong 8$ GeV ⇢ 5 GeV

$\tilde{l}_R^\pm$ 測定で決めた $m_{\tilde{\chi}_1^0}$

$\sigma_{\tilde{\chi}_1^+\tilde{\chi}_1^-}$ の測定



$\tilde{\chi}_1^\pm$ の中の $\tilde{H}^\pm$ 成分だけが寄与する

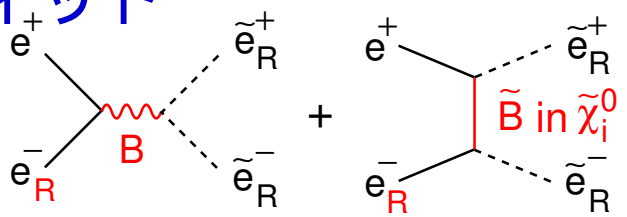
cf.) $e^+e^- \to W^+W^-$

$$\tilde{\chi}_1^\pm = \bigcirc \cdot \tilde{W}^\pm + \bullet \cdot \tilde{H}^\pm$$

$$\bullet = \langle \tilde{H}^\pm | \tilde{\chi}_1^\pm \rangle$$

$\tilde{\chi}_1^\pm$ の構成成分が分かる！

グローバル・フィット



知っていること

$m_{\tilde{\chi}_1^0}$ $m_{\tilde{\chi}_1^\pm}$ $\sigma(e^+e_R^- \to \tilde{e}_R^+\tilde{e}_R^-)$ $\sigma(e^+e_R^- \to \tilde{\chi}_1^+\tilde{\chi}_1^-)$

$\tilde{\chi}_1^0$ = LSP

質量行列 $\langle \tilde{B} | \tilde{\chi}_1^0 \rangle$ $\langle \tilde{H}^\pm | \tilde{\chi}_1^\pm \rangle$

$(M_1, M_2, \mu, \tan\beta)$

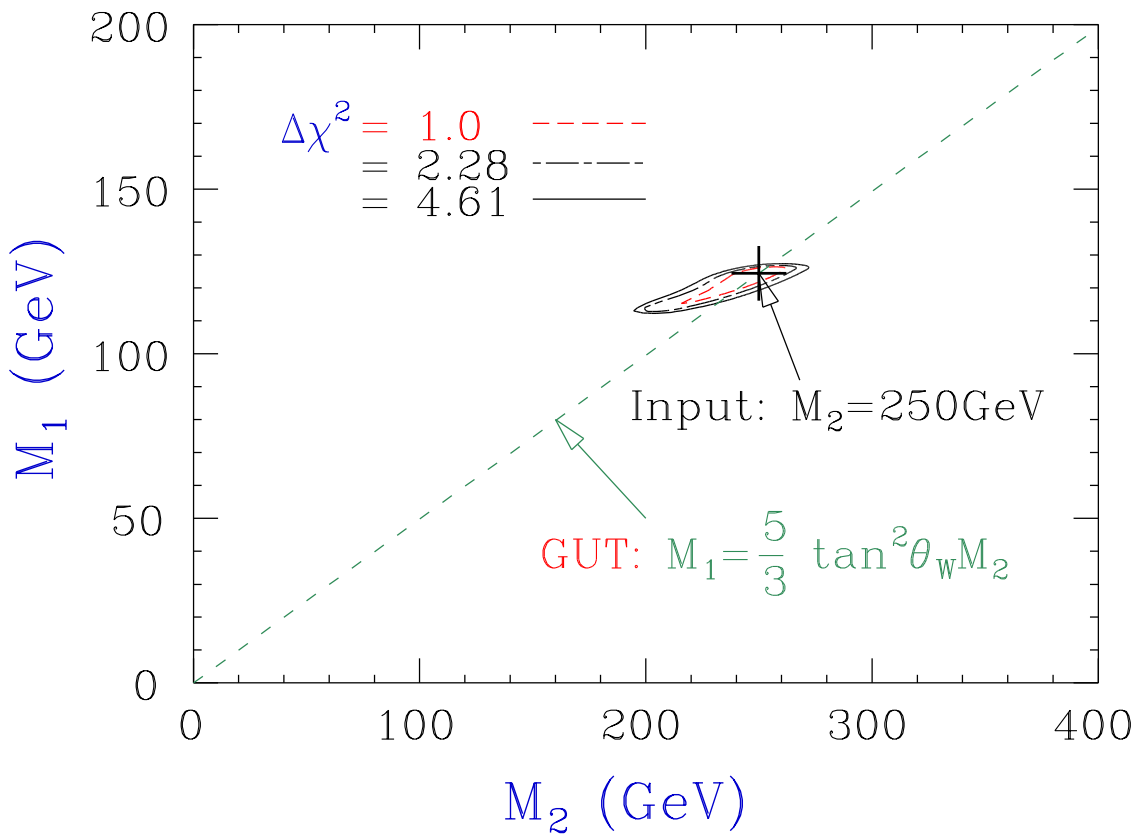
GUT Relation ($M_1 = M_2$) を仮定せずにフィットしてこの関係自身をテストする！

本当に大統一か？

大統一のエネルギーでの
ゲージー質量：共通

大統一 ⇢ $\dfrac{M_i}{\alpha_i(m_Z)} = \dfrac{M}{\alpha_{GUT}}$

$i = \begin{cases} 1\ U(1)_Y \\ 2\ SU(2)_L \\ 3\ SU(3)_C \end{cases}$



⇢ こうなれば大統一を信じるしかない！

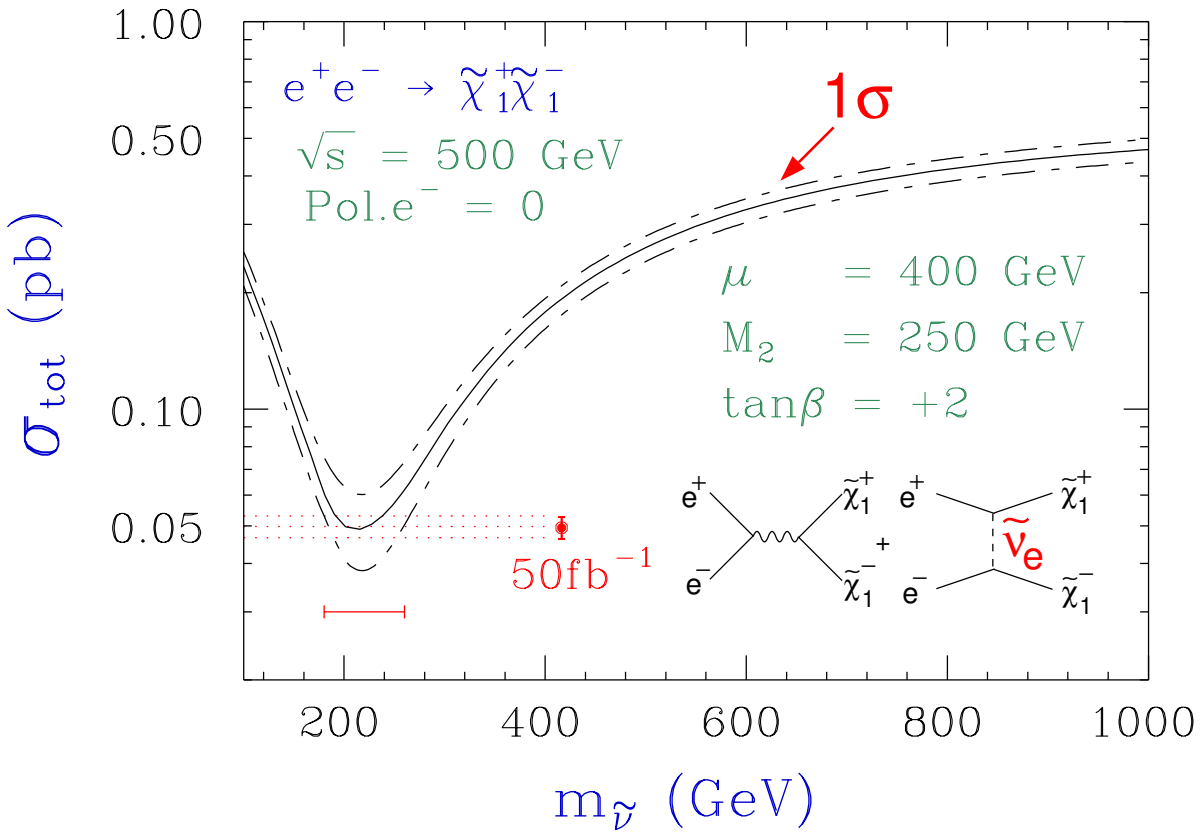
$\mathcal{L}_{大統一}$ のテスト！

$m_{\tilde{l}_L^{\pm}}$ に対する上限

$m_{\tilde{\chi}_1^{\pm}}$ と成分構成

$$\tilde{\chi}_1^{\pm} = \bigcirc \cdot \tilde{W}^{\pm} + \bullet \cdot \tilde{H}^{\pm}$$

は既知。$\sigma_{\tilde{\chi}_1^+\tilde{\chi}_1^-}$ で知らないのは $m_{\tilde{\nu}_e}$ のみ！



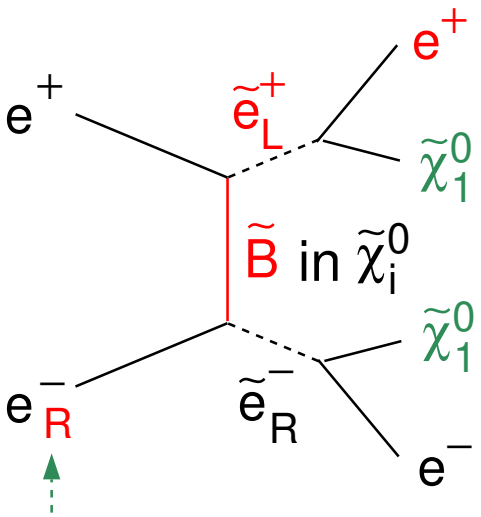
$\sigma_{\tilde{\chi}_1^+\tilde{\chi}_1^-}$ を偏極 0 に対して測定し $m_{\tilde{\nu}_e}$ を決める！

$$m_{\tilde{e}_L^{\pm}}^2 \leq m_{\tilde{\nu}_e}^2 + 0.77\ m_Z^2$$

$m_{\tilde{e}_L^{\pm}}$ に対する上限値が分かる！

$e^+e^-_R \to \tilde{e}_L^+\tilde{e}_R^-$ 反応で $\tilde{e}_L^+$ を探せ！

$\tilde{e}_L^{\pm}$ の研究



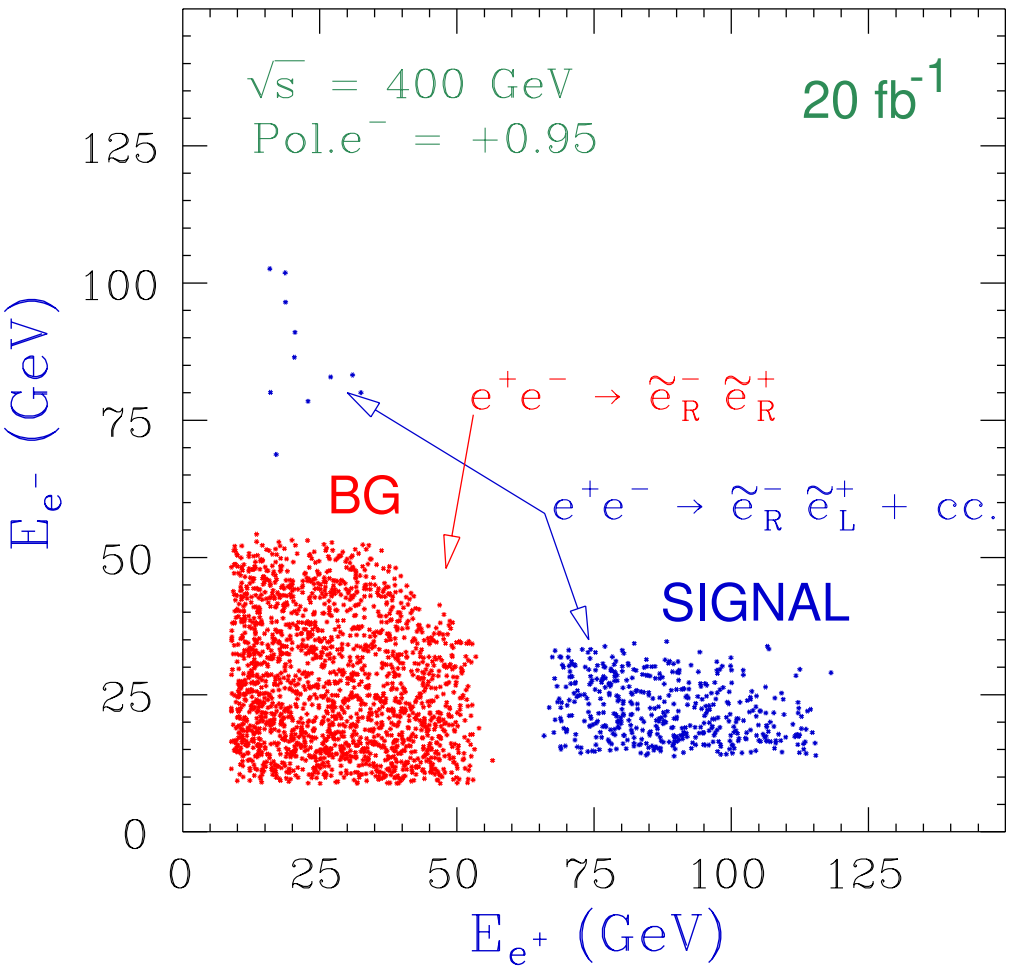
SM BGを殺すため

シグナル

Acoplanar e^+e^-

BG

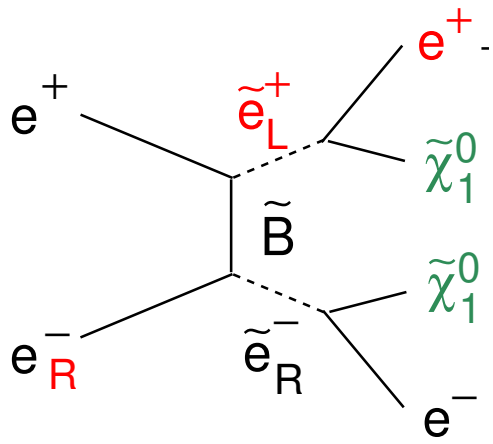
$e^+e^- \rightarrow \tilde{e}_R^+ \tilde{e}_R^-$



e^+ が $\tilde{e}_L^+$ に関する情報を運んでくる！

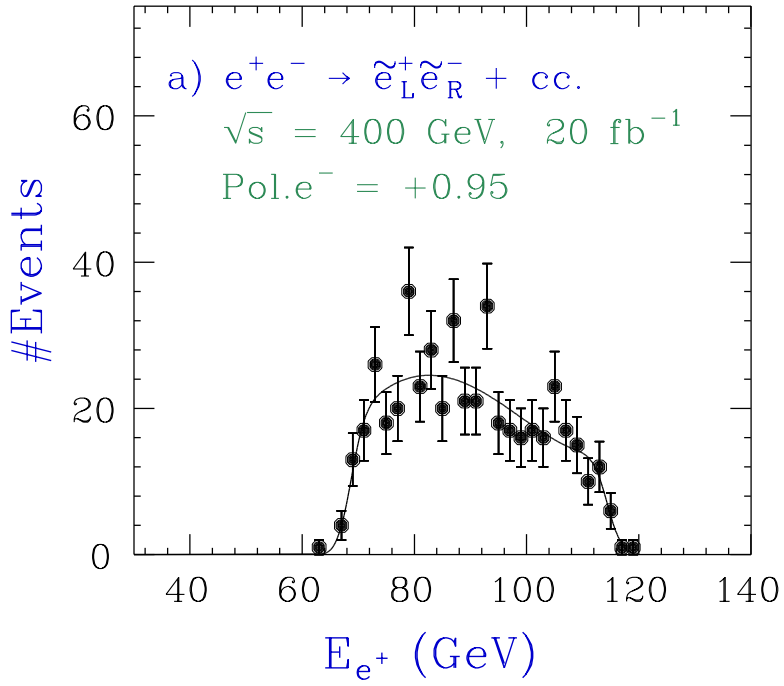
精密測定用のきれいなサンプル！

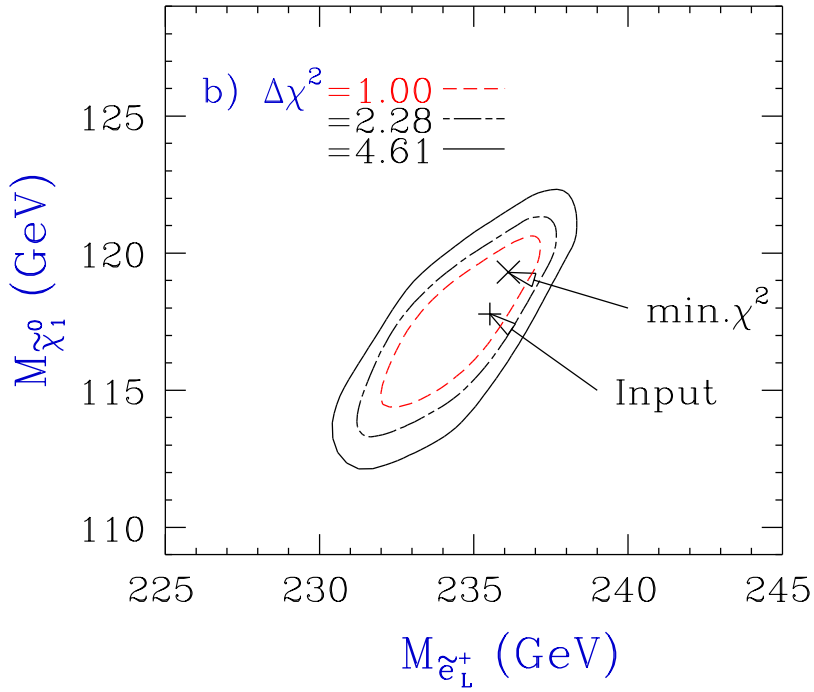
超粒子の質量の決定



e^+ ⇢ E_{e^+} を測る

エンドポイント ⇢ $(m_{\tilde{e}_L^\pm}, m_{\tilde{\chi}_1^0})$





⇢ $\Delta m/m \lesssim 1\%$!

超重力理論 (~ $\mathcal{L}_{\text{プランク}}$)

「重力で超対称性をやぶる」のテスト 2

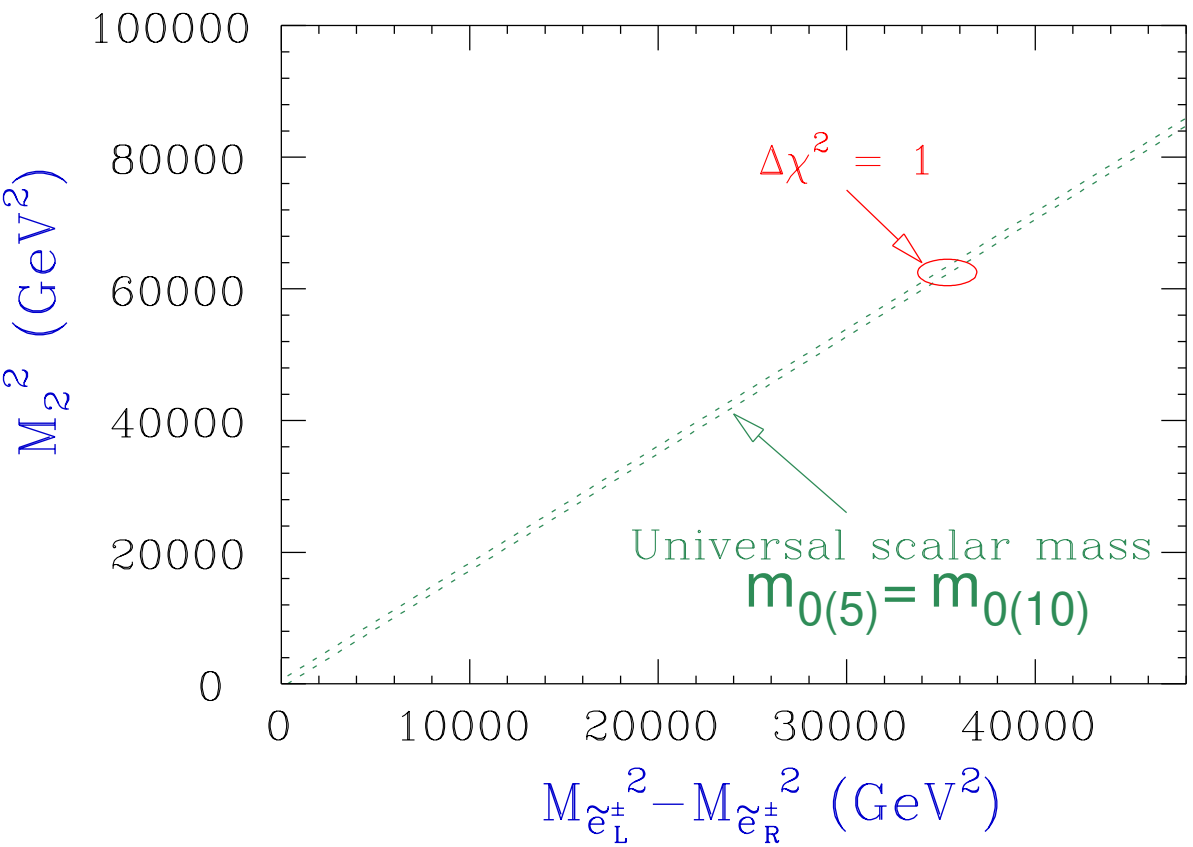
全てのスカラー粒子は大統一の
エネルギーで同じ質量

右巻き・左巻きによらないこと

スフェルミオンの質量公式

$$m^2_{\tilde{e}_L} - m^2_{\tilde{e}_R} = m^2_{0(5)} - m^2_{0(10)} + 0.53\, M_2^2 - \underbrace{0.44\, D}_{\text{小さい！}} \lesssim m_Z^2 \cos 2\beta < 0$$

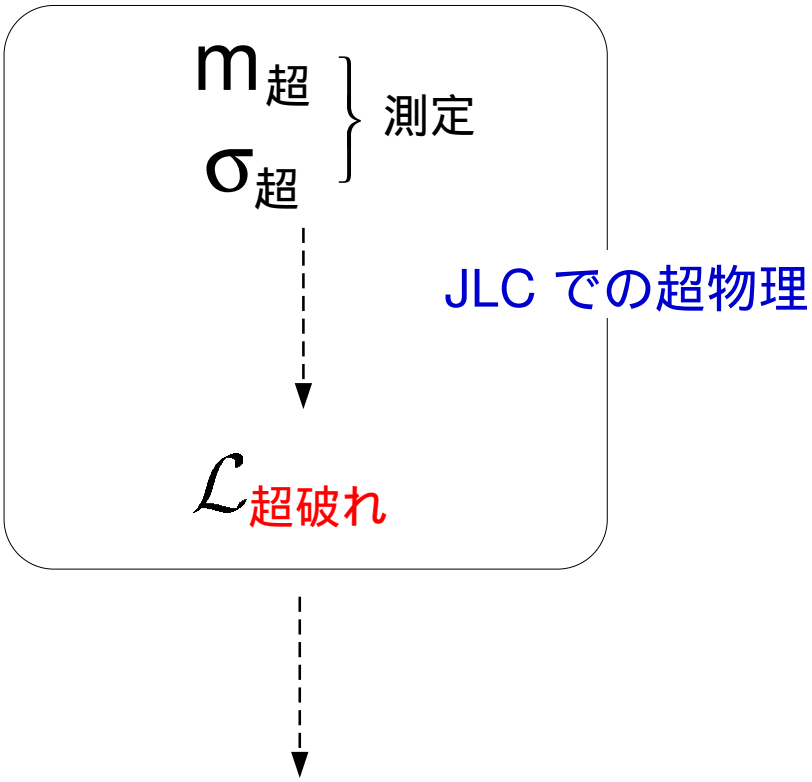
5　　10



超対称性の物理のまとめ

JLC-I の発見能力は LHC と同程度

---------► 見つかった後は JLC-I の完勝！



$\mathcal{L}_{プランク}$ に迫る！