



# Inclusive transverse mass analysis for squark and gluino mass determination

清水康弘 (KEK)

arxiv:0802.2412, 野尻美保子(KEK,IPMU)、清水康  
弘、岡田勝吾 (神戸)、川越清以 (神戸)

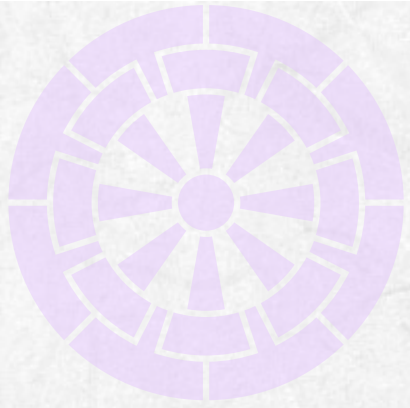


# Introduction

- ✿ LHCではカラーを持ったsquark, gluinoが主に生成  
squark/gluinoの質量が重要
- ✿ 最初の数年はルミノシティがそれほどあがらない  
(数/fb程度?)
- ✿ squark/gluinoがレプトンヘカスケード崩壊する  
モードは奇麗だが分岐比が一般に小さい (~  
5%)。もしかしたらほとんどゼロかもしれない。
- ✿ LHC実験の初期のSUSY探索にはinclusiveなjetの  
解析が大切。

→ inclusive MT2 analysis





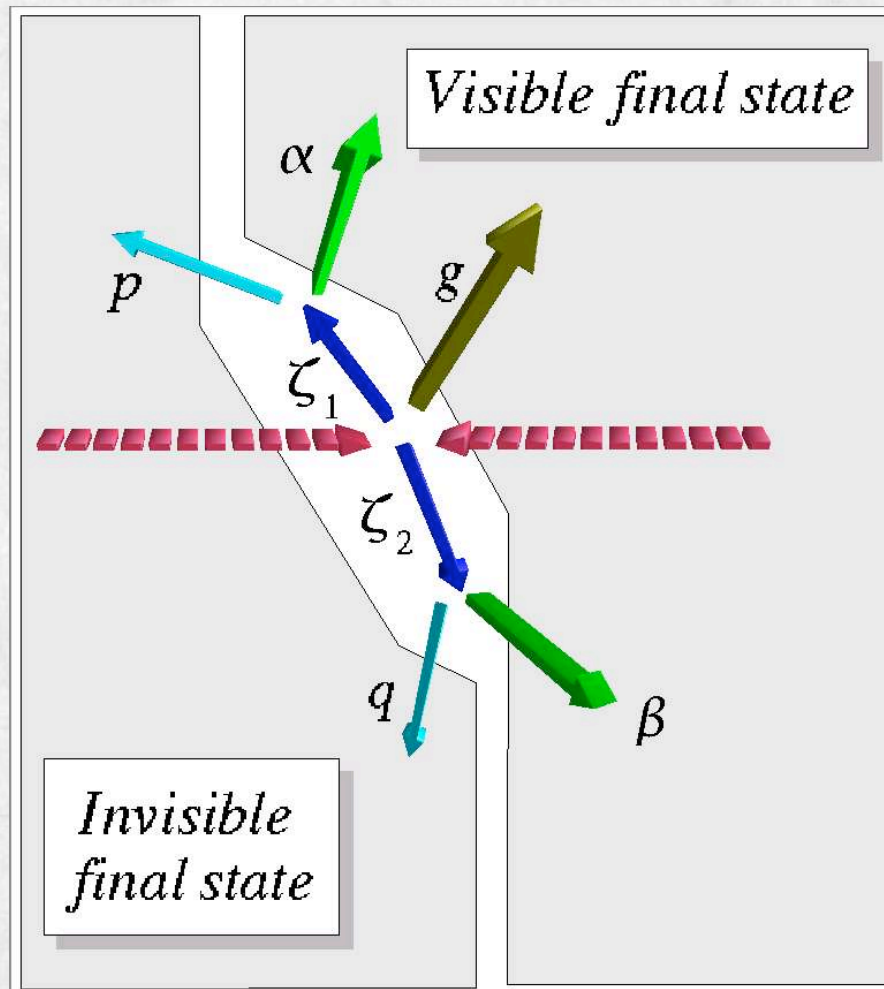
# MT2 (Stransverse mass)



# LHCでのSUSYのイベント

$$pp \longrightarrow \zeta_1 \zeta_2 \longrightarrow (\alpha p)(\beta q)$$

- 2つのSUSY粒子が対で生成される。
- 終状態に2つの見えない粒子(LSP)
- 生成の重心系のエネルギーはわからない。
- 生成の重心系のビーム方向のエネルギーもわからない。



Barr, Lester, Stephens, '03

見えない粒子に崩壊するとき親粒子の質量は測れるか？



# Transverse mass ( $m_T$ )

Wの質量測定( $\nu$ がmissing)



測定可能

$$m_l, \vec{p}^l, \vec{p}_T^\nu$$

測定不可能

$$\vec{p}_L^\nu$$

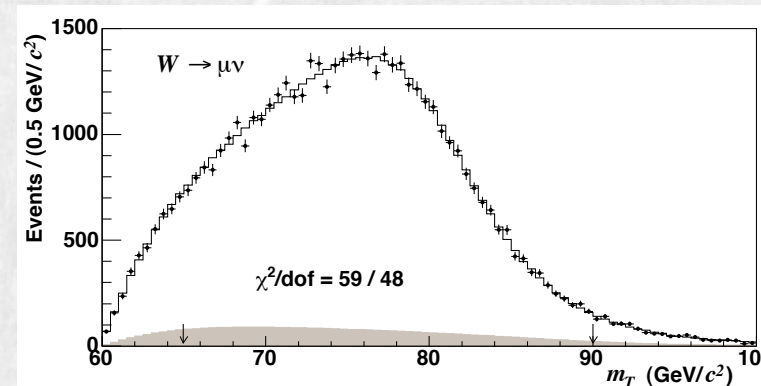
$$m_T^2 \equiv m_l^2 + m_\nu^2 + 2(E_T^l E_T^\nu - \vec{p}_T^l \cdot \vec{p}_T^\nu)$$

$$\leq m_l^2 + m_\nu^2 + 2(E_T^l E_T^\nu \cosh \Delta\eta - \vec{p}_T^l \cdot \vec{p}_T^\nu) = m_W^2$$

$$E_T = \sqrt{m^2 + p_T^2} \quad \eta = \frac{1}{2} \ln \frac{E + p_L}{E - p_L}$$

$m_T$ は親の質量( $m_W$ )より小さい。

$m_T$ 分布のエンドポイントから $m_W$ が分かる。



# Stransverse mass ( $m_{T2}$ )

SUSY粒子は対生成されてジェットなどを出しながら2つのLSPを含む終状態にカスケード崩壊する。

$$pp \longrightarrow \tilde{q}\tilde{g} \longrightarrow (\text{visible}, LSP)_1 (\text{visible}, LSP)_2$$

Lester, Summer(99)  
Barr, Lester(03)

$$m_{T2}^2(m_\chi) \equiv \min_{\mathbf{p}_{T1}^{\text{miss}} + \mathbf{p}_{T2}^{\text{miss}} = \mathbf{p}_T^{\text{miss}}} \left[ \max \left\{ m_T^2(\mathbf{p}_{T1}^{\text{vis}}, \mathbf{p}_{T1}^{\text{miss}}), m_T^2(\mathbf{p}_{T2}^{\text{vis}}, \mathbf{p}_{T2}^{\text{miss}}) \right\} \right],$$

total missing PTは測定可能だが個々のmissing PTは測定できないので、それを動かして最小値をとる。

LSPの質量は知らないなので、 $m_{T2}$ はテストLSP質量( $m_\chi$ )の関数。

$$m_{T2}^2(m_\chi = m_{\chi_1^0}) \leq \max(m_{\tilde{g}}, m_{\tilde{q}})$$

$m_{T2}$ のエンドポイントから親粒子の質量の情報が得られる



# どのようなイベントが $m_{T2}$ のエンドポイントを与えるのか？

$$m_{T2}^{\max}(m_\chi) = \begin{cases} \mathcal{F}_{<}^{\max}(m_\chi) & \text{for } m_\chi < m_{\chi_1^0} \\ \mathcal{F}_{>}^{\max}(m_\chi) & \text{for } m_\chi > m_{\chi_1^0}, \end{cases}$$

$$\mathcal{F}_{<}^{\max}(m_\chi) = \mathcal{F}(m_1^{\text{vis}} = m_{\min}^{\text{vis}}, m_2^{\text{vis}} = m_{\min}^{\text{vis}}, \theta = 0, m_\chi),$$

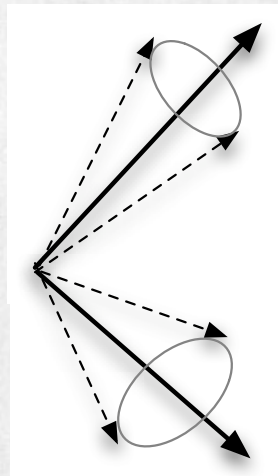
$$\mathcal{F}_{>}^{\max}(m_\chi) = \mathcal{F}(m_1^{\text{vis}} = m_{\max}^{\text{vis}}, m_2^{\text{vis}} = m_{\max}^{\text{vis}}, \theta = 0, m_\chi)$$

$m_i^{\text{vis}}$  はvisible object全体の普遍質量

$$m_\chi < m_{\chi_1^0}$$

の時にエンドポイントを与えるイベント

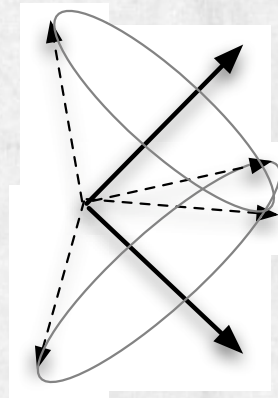
$$m_i^{\text{vis}} \sim m_{\min}^{\text{vis}}$$



$$m_\chi > m_{\chi_1^0}$$

の時にエンドポイントを与えるイベント

$$m_i^{\text{vis}} \sim m_{\max}^{\text{vis}}$$



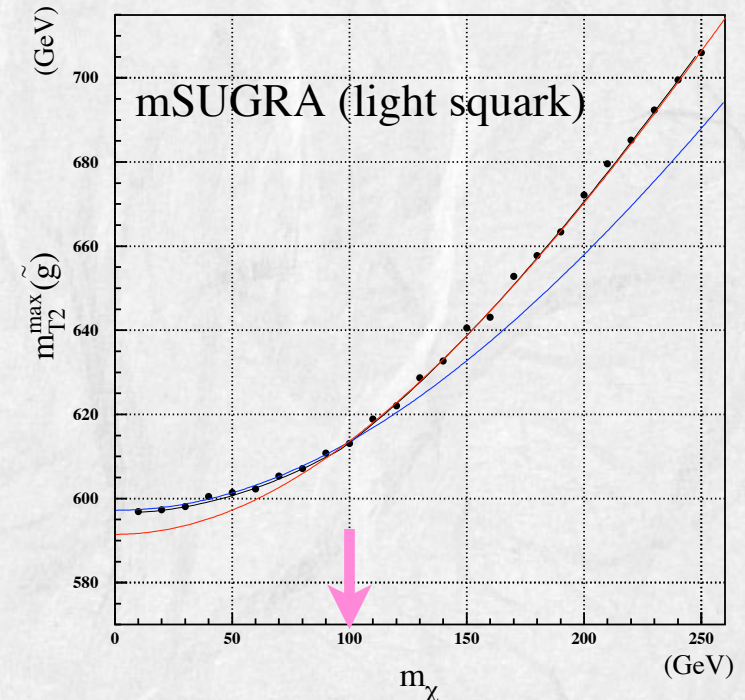
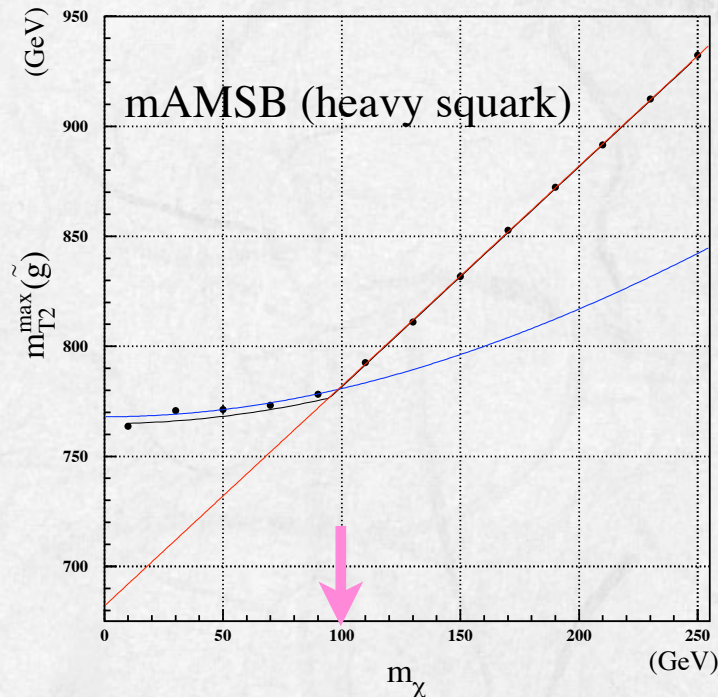
LSPの質量は前もって分からない時、 $m_{T2}$ で親粒子の質量が  
きめられるだろうか？

$m_{T2}$ エンドポイントを与えるイベント  
が入れ替わり、本当のLSP質量の  
ところでkinkが現れる。

W.Cho et al, arxiv:0709.0288,0711.4526

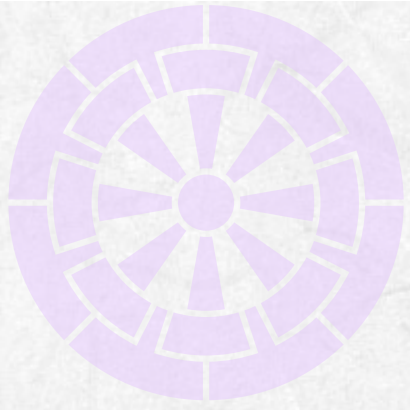
B.Gripaios, arxiv:0709.2740

A.Barr et al, arxiv:0711.4008



kinkの場所から親粒子とLSPの質量が分かる





# Inclusive $m_{T2}$ analysis



# モンテカルロ

- ★ SUSYスペクトラム ISAJETv7.75
- ★ イベント生成 HERWIG

50000 SUSY events

- ★ 検出器シミュレーション AcerDet
- ★ 標準模型のBGを落とす標準的なカット

Missing ET > max(0.2\* $M_{\text{eff}}$ , 100 GeV)

$M_{\text{eff}} > 1200 \text{ GeV}$

超対称粒子のイベント(50000)だけを考える。

	A: MMAM	B: mSUGRA
	$n_i = 0, R = 20,$ $M_3(\text{GUT}) = 650$	$m_0 = 1475, m_{1/2} = 561.2,$ $A = 0, \tan \beta = 10$
$\tilde{g}$	1491	1359
$\tilde{u}_L$	1473	1852
$\tilde{u}_R$	1431	1831
$\tilde{d}_R$	1415	1830
$\tilde{\chi}_1^0$	487	237

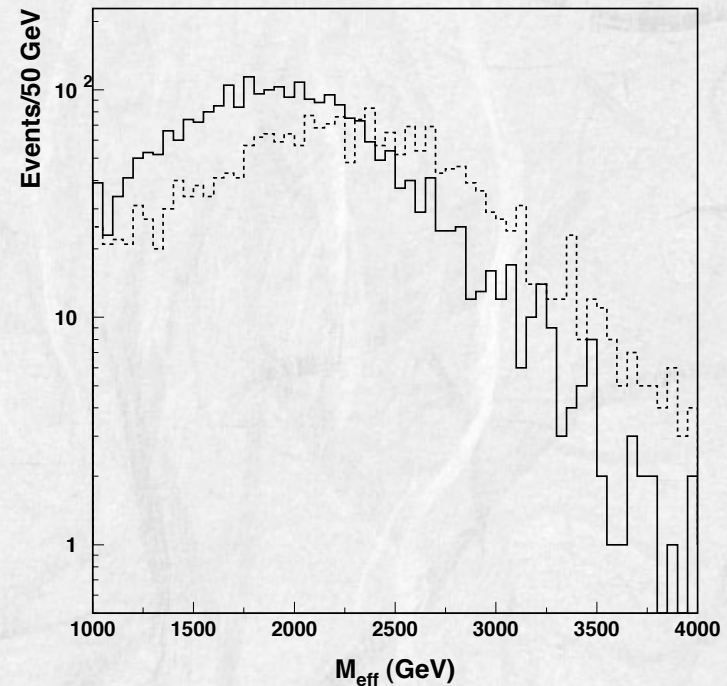
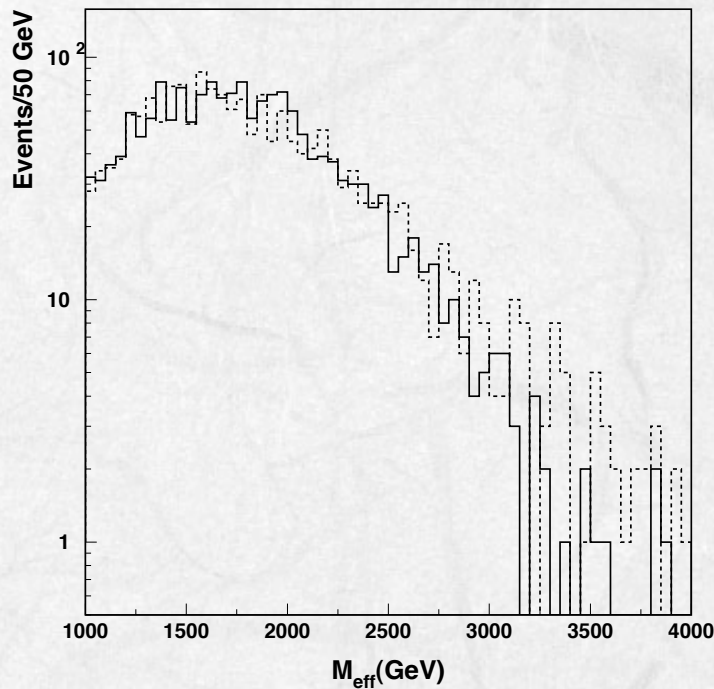


# $M_{\text{eff}}$ 分布

$M_{\text{eff}}$ 分布は親粒子の質量が違って同じように見えことがある。

$$M_{\text{eff}} \equiv \sum_{i=1, \dots, 4}^{\text{leading-4jets}} P_T + \sum_{\text{leptons}} P_T + \cancel{E}_T$$

$$M'_{\text{eff}} \equiv \sum_{i=1, \dots,}^{P_T > 50} P_T + \sum_{\text{leptons}} P_T + \cancel{E}_T$$



1レプトンモードの $M_{\text{eff}}$ 分布だけでは親粒子の質量は分からない。

$m_{\text{T}2}$ 分布を使えば親粒子の質量の区別がつく。

# Hemisphere method

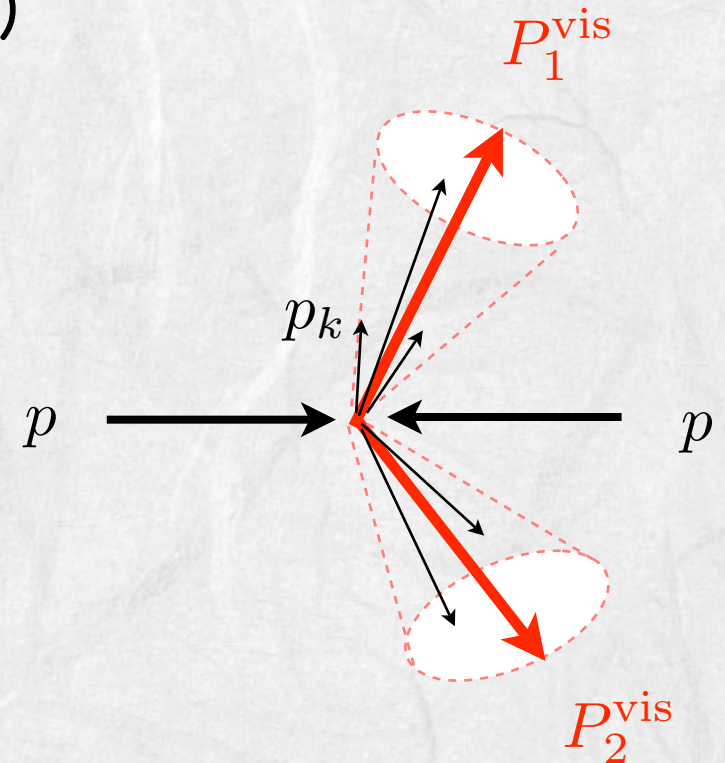
$m_{T2}$ を計算するためには、対生成されたgluino/squarkからくるjetらを2つのグループに分割する必要がある。

(1).  $P_T > 50$ (ジェット),  $10$ (レプトン/光子)  
GeVの粒子の運動量を足し合わせた $P_i$  ( $i=1,2$ )  
を軸にするhemisphereを定義する。

(2).  $P_T$  を持った粒子 $k$ は次を満たす。

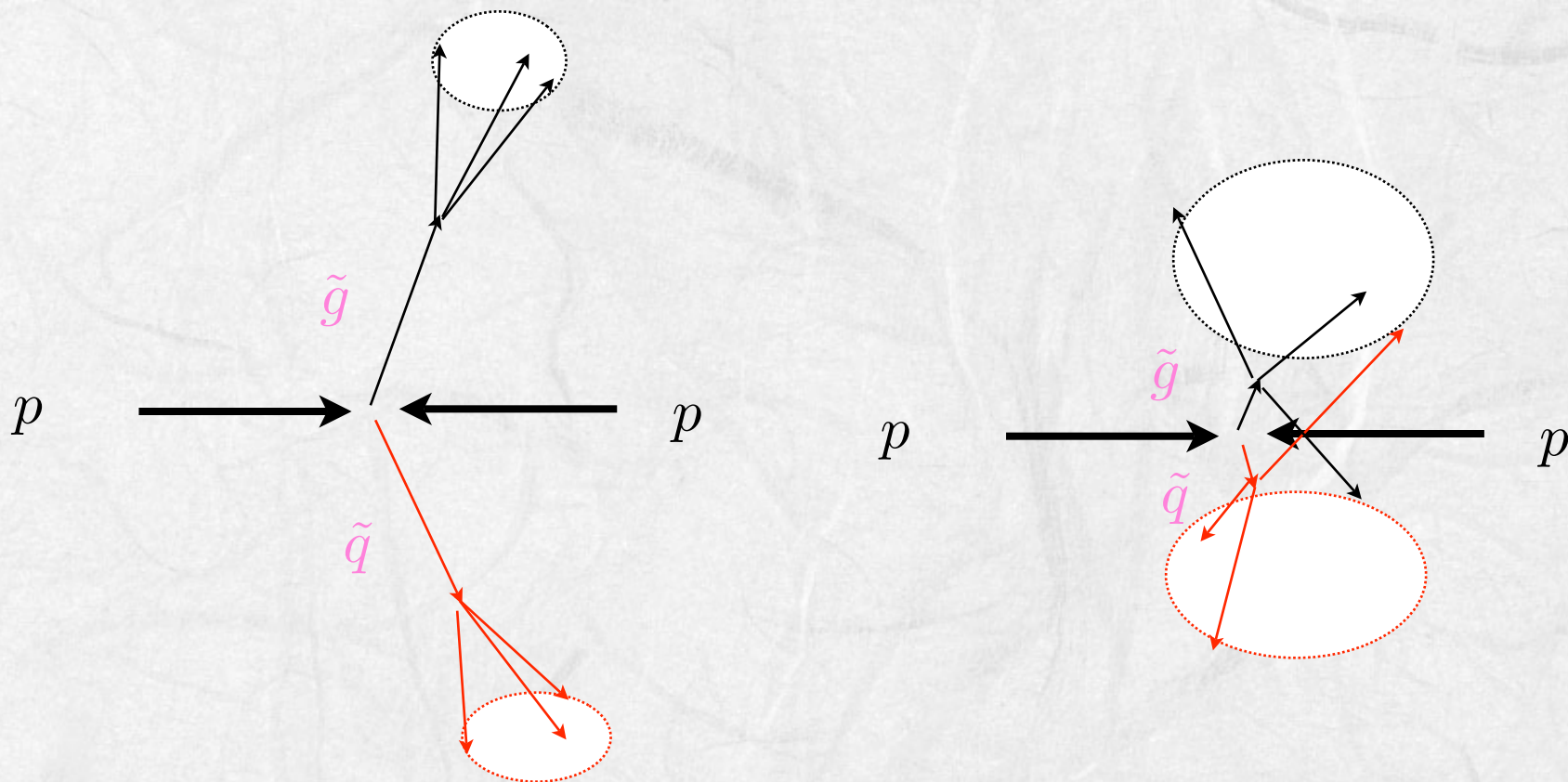
$$d(p_k, P_i) < d(p_k, P_j)$$

$$d(p_k, P_i) = (E_i - |P_i| \cos \theta_{ik}) \frac{E_i}{(E_i + E_k)^2}$$



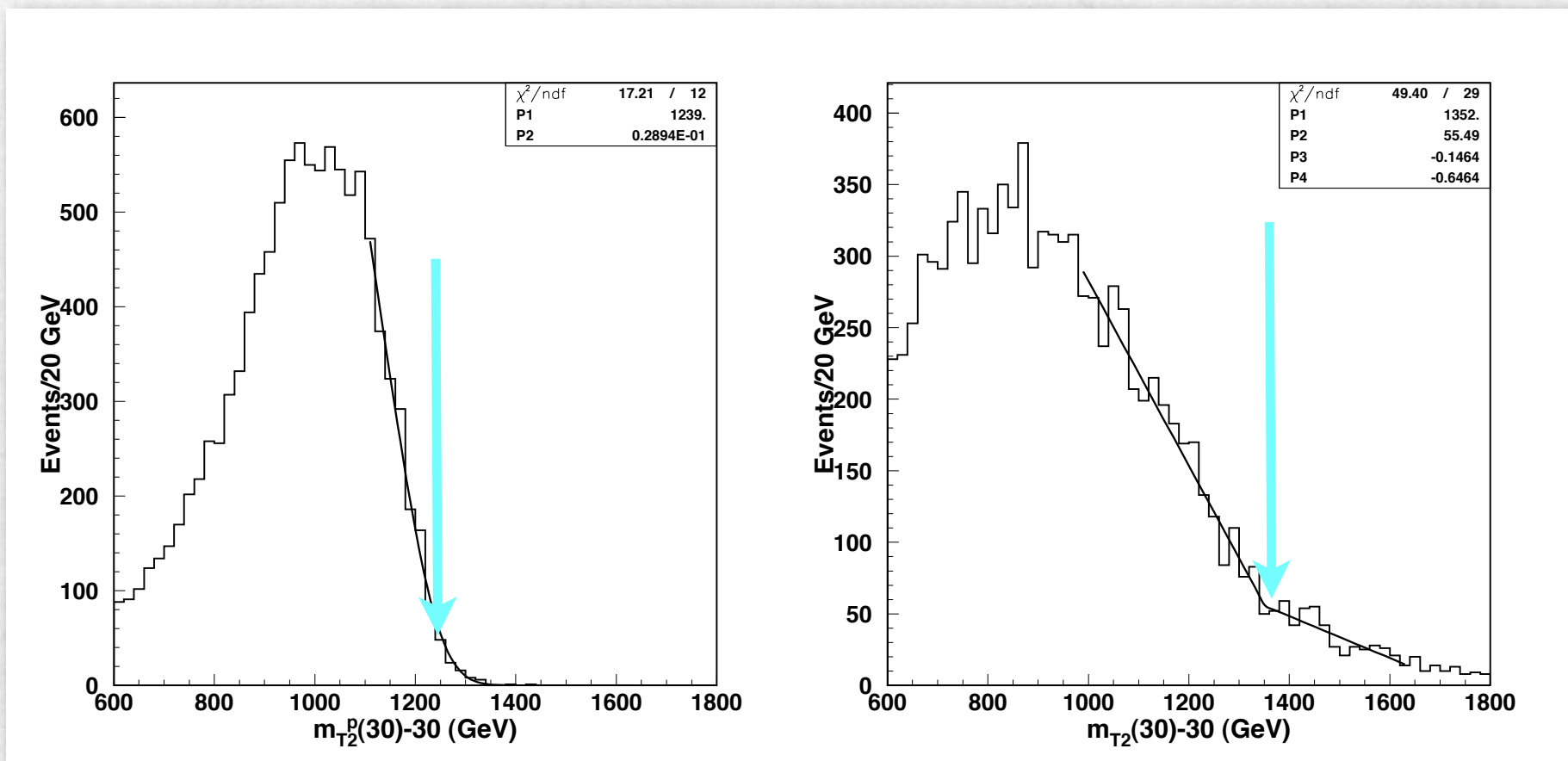


親粒子のPTが大きいときには2つのhemisphere  
にうまく分かれる可能性が高い。(崩壊した粒  
子がブーストされている)



# $m_{T2}$ 分布 (MMAMポイント)

テストLSPの質量を30GeVにとった。



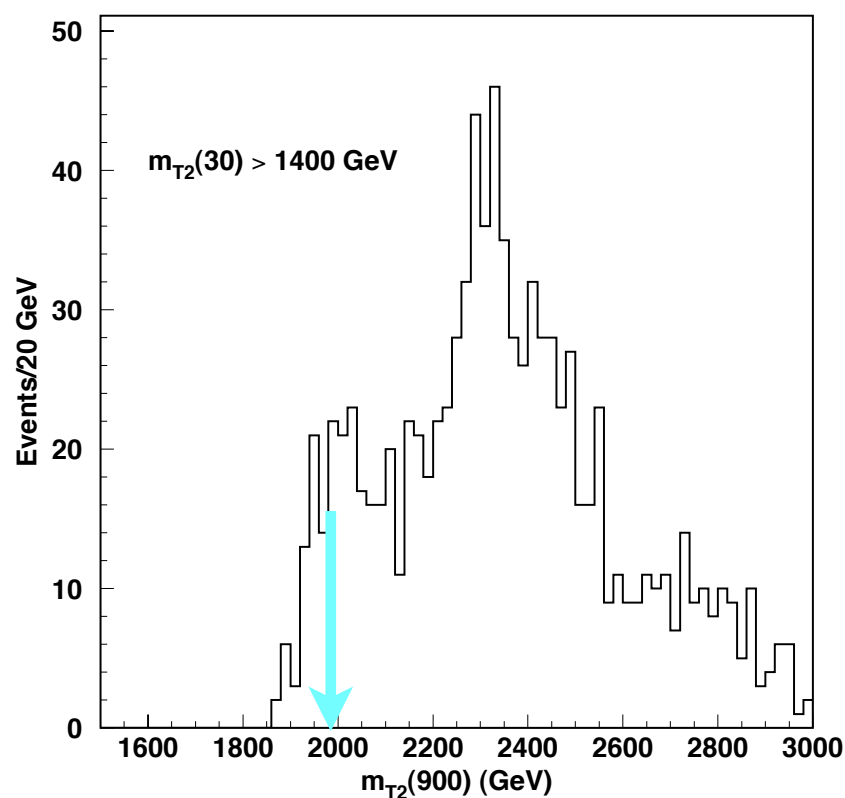
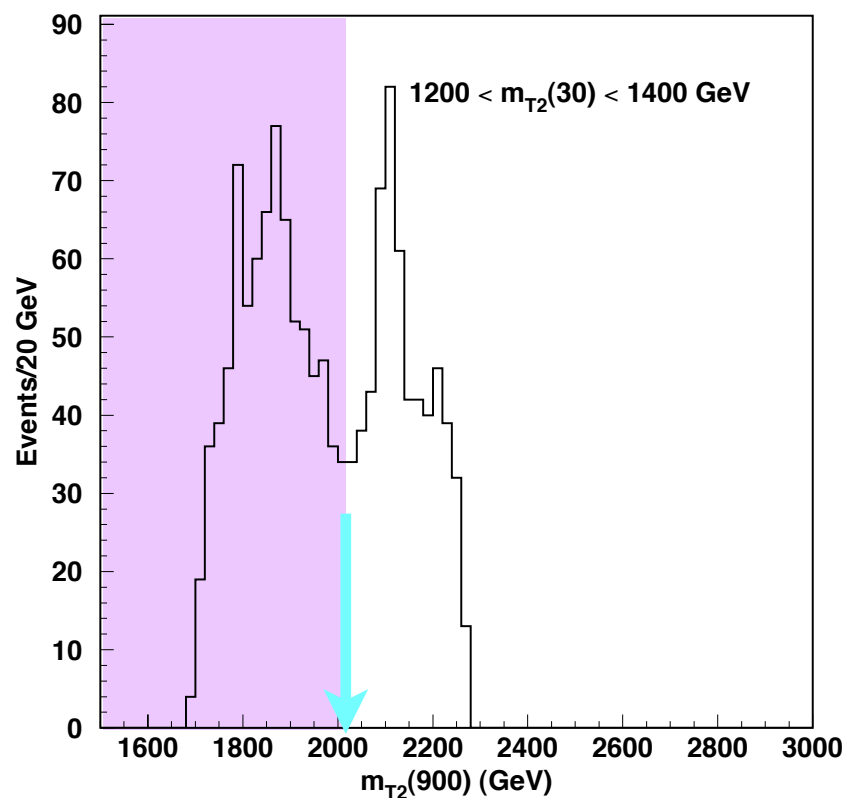
パートンの運動量から  
作った分布

検出された分布は大きい  
方まで伸びている



# テストLSP質量が真の値より大きい場合

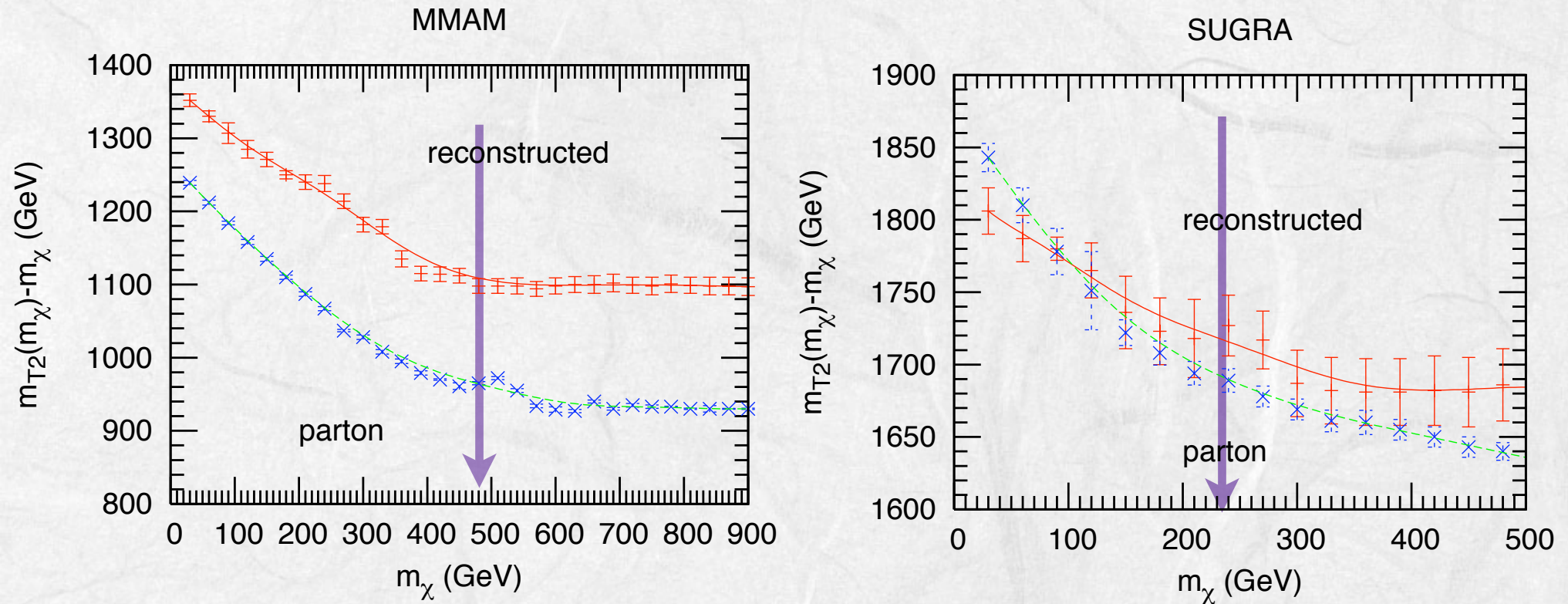
テストLSP質量が小さいときの正しいエンドポイントはテスト質量を上げるとエンドポイントより小さくなる。



テストLSP質量は900GeV

# $m_{T2}$ エンドポイント

テストLSP質量を変えて $m_{T2}$ のエンドポイントをプロット

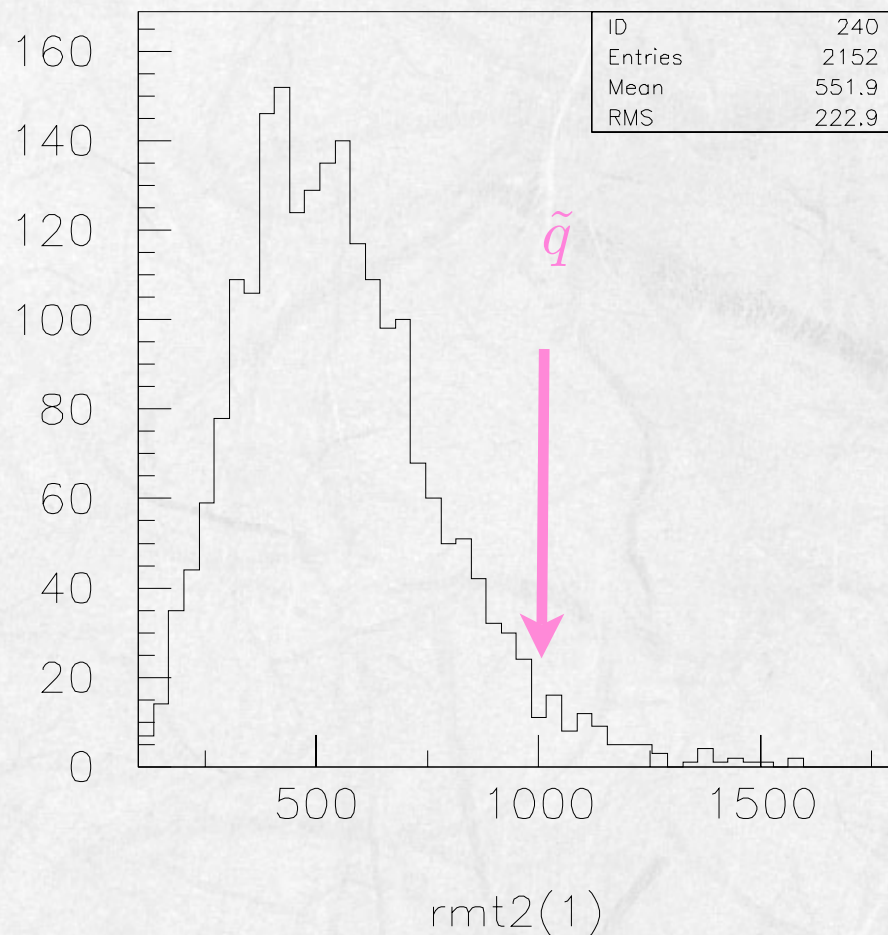


MMAMの方は正しいLSP質量の辺りにKinkらしきものが見える。

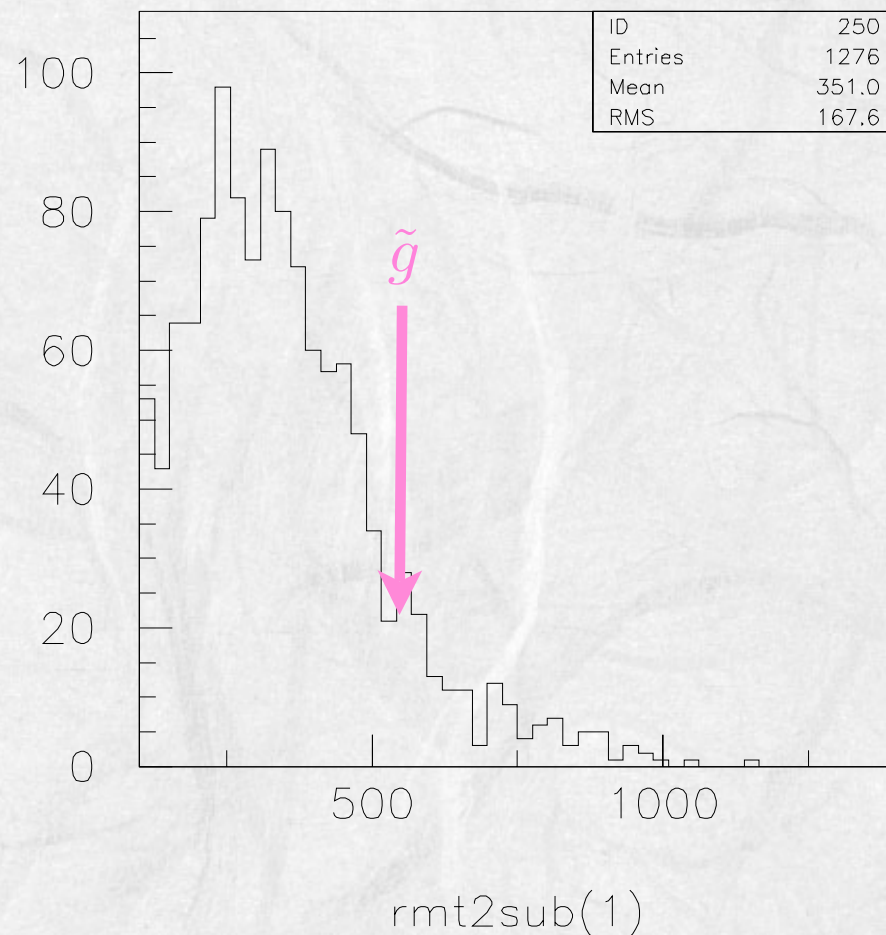




全部入れた $m_{T2}$ のエンドポイントは重いsquarkの質量



highest PT jetを除いた $m_{T2}$ のエンドポイントは軽いgluinoの質量

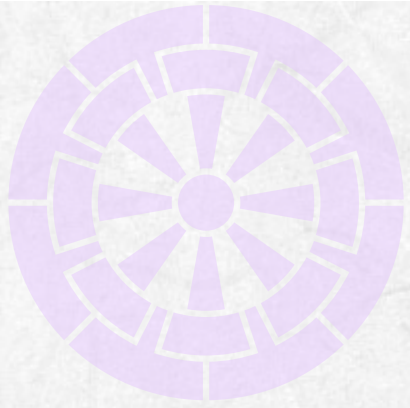


うまく $m_{T2}$ を定義するといくつかの質量が分かる可能性。



# まとめ

- ✿ LHC実験の初期のデータではjetを使ったinclusiveな解析が非常に大切。
- ✿ hemisphere methodによる $mT2$ 分布を用いて対生成されたsquark/gluinoの質量の情報が得られる。
- ✿ LSPの質量を変えたときの $mT2$ 分布のエンドポイントのkinkの値からLSPとsquark/gluinoの質量が決められる。
- ✿ squarkとgluinoの質量差が大きいときには最も高いjetを除いた $mT2$ 分布も考えることによってsquarkとgluinoの質量が分かる



# Backup





# サンプル SUSY スペクトラム

## Mirage

$R = 20, m_3(M_{\text{GUT}}) = 650, \tan \beta = 10$   
 $(\alpha = 0.61, M_0 = 802)$

mass Br

$\tilde{g}$	1491	$t \tilde{t}_1(67), b \tilde{b}_1(16)$
$\tilde{q}_L$	1473	$\tilde{q}'_L \chi_1^\pm(66), \tilde{q}_L \chi_2^0(33)$
$\tilde{q}_R$	1415	$\tilde{q}_R \chi_1^0(100)$
$\tilde{e}_L$	916	$\nu \chi_1^\pm(51), e \chi_2^0(27)$
$\tilde{e}_R$	845	$e \chi_0^\pm(100)$
$\tilde{t}_1$	1014	$t \chi_0^\pm(63), b \chi_1^\pm(27)$
$\chi_2^0$	695	$h \chi_0^\pm(97), Z \chi_1^\pm(2)$
$\chi_1^\pm$	696	$W \chi_0^\pm(100)$
$\chi_1^0$	487	

## mSUGRA

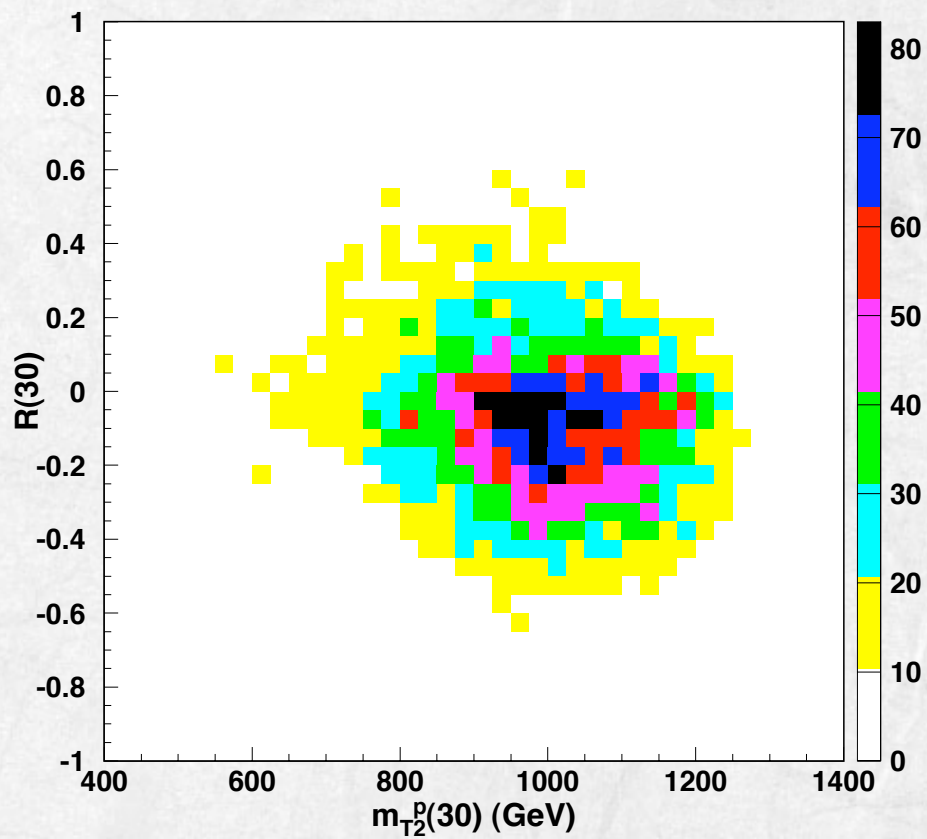
$m_0 = 1475, m_{1/2} = 561, A_0 = 0, \tan \beta = 10$

1358	$t b \chi_2^\pm(30), t t \chi_1^0(12)$
1852	$q' \tilde{g}(53), q_L \chi_1^\pm(30)$
1830	$q \tilde{g}(96), q \chi_1^0(4)$
1518	$\nu \chi_1^\pm(56), e \chi_2^0(30)$
1488	$e \chi_0^\pm(100)$
1237	$b \chi_2^\pm(39), t \chi_3^0(22)$
450	$h \chi_0^\pm(93), Z \chi_1^\pm(7)$
450	$W \chi_0^\pm(100)$
237	

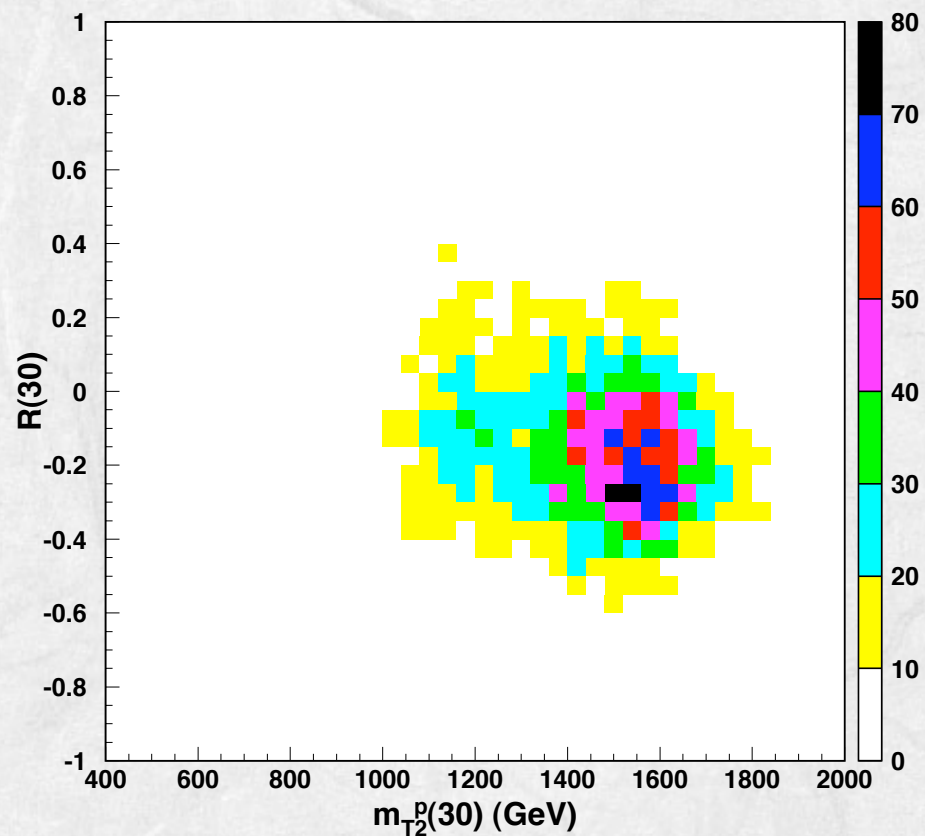
縮退したスペクトラム

$$R(m_\chi) \equiv \frac{m_{T2}(m_\chi) - m_{T2}^{(p)}(m_\chi)}{m_{T2}^{(p)}(m_\chi)}.$$

MMAM



SUGRA





# SUGRA

