

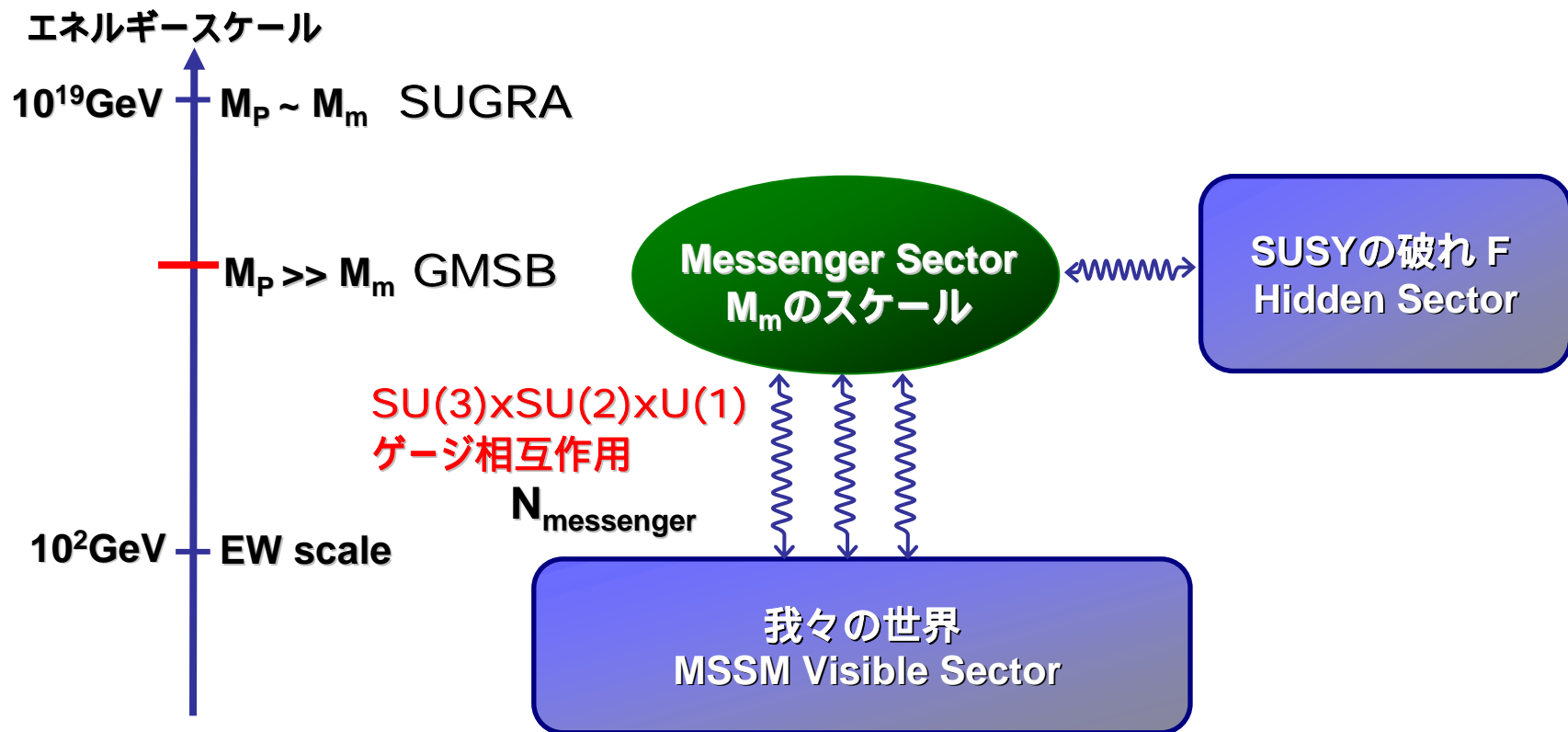
ATLAS検出器を用いた GMSB事象の研究

東大素セ, 高工研^A
野本裕史, 坂本宏, 陣内修^A

目次

1. LHC-ATLASで期待される
GMSB物理の特徴
2. Neutralino NLSP
3. Slepton(Stau) NLSP
4. まとめ

[1] GMSB(Gauge Mediated SUSY Breaking)物理の特徴



GMSBではSUSYの破れのスケールがPlanckスケールより十分小さいため、Gravitino(\tilde{G})が非常に軽くなる。

Rパリティを仮定すると全ての超対称性粒子の崩壊はLSP(Lightest SUSY Particle)である \tilde{G} に行き着く。

\tilde{G} 以外の超対称性粒子はゲージ結合の大きさに比例した質量を持つ。

U(1)結合により質量を獲得する $\tilde{\chi}_1^0$ 、もしくは右手系の超対称性レプトン $\tilde{\nu}_R$ がNLSP (Next LSP)になる。

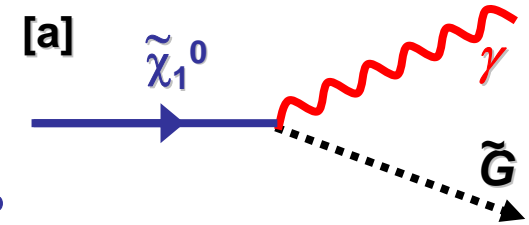
GMSBで期待される信号の特徴

2番目に軽い超対称粒子(NLSP) はMessengerの数で大別される。

[a] $N_{\text{messenger}} = 1$ のとき

最も軽いneutralino $\tilde{\chi}_1^0$ がNLSPになる。

$\tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \gamma + \tilde{G}$: 終状態に高い P_T の光子を2本含む。

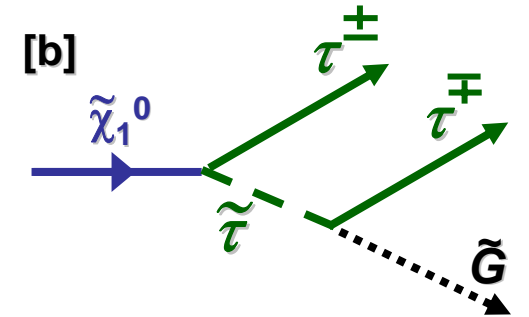


[b] $N_{\text{messenger}} > 1$ のとき

右手系の超対称性レプトン \tilde{l}_R がNLSPになる。

特に $\tan\beta$ が高いとき100% $\tilde{\tau}_1$ がNLSP。

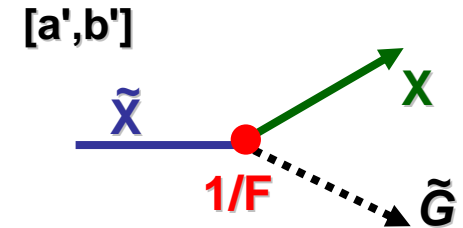
終状態に比較的高い P_T を持つタウを複数含む。



[a',b'] Messenger sectorが伝える破れのスケール F_S が F より小さい場合 i.e. $F = C_G F_S$ ($C_G > 1$),

NLSPが巨視的な崩壊長を持つようになる。

ex. $C_G (=F/F_S)=30$ のとき、 $c\tau_{\text{NLSP}} \sim 1\text{m}$ (ATLASの飛跡検出器内で崩壊)



GMSBの信号はSUSYの一般的な特徴(高い P_T を持った複数のジェット + 大きな消失エネルギー)に加えて上記のような特徴をもつ。

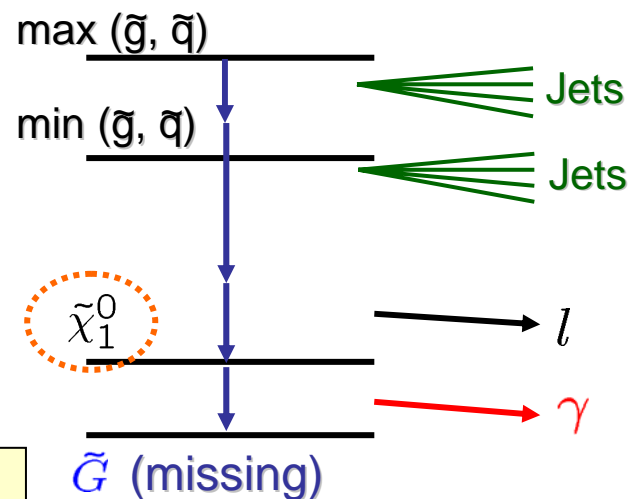
ATLASはこれらの信号を確実に捕える能力があり、mSUGRAの研究で抑えていないこれらのトポロジーの研究は非常に重要である。

[2] Neutralino NLSP

Messenger数=1のとき、陽子-陽子衝突で生じた2つの超対称性粒子はどちらも最終的にNLSPである軽いneutralino($\tilde{\chi}_1^0$)へと崩壊する。

$\tilde{\chi}_1^0$ は光子とgravitino (LSP)に崩壊する。 $\tilde{\chi}_1^0$ とgravitinoの質量差が大きいので、そのとき放出される光子は高い P_T を持つ。

つまり期待される信号のトポロジーは
高い P_T を持った複数のジェット + 大きな消失エネルギー
+ 高い P_T を持った2本の光子



→ このトポロジーを要求することにより標準理論からのバックグラウンドはほとんど残らないことが予想できる。

実際の実験データを想定して2光子バックグラウンドになりうる効果

電子、ジェットを光子と間違えてIDする確率
電子からの輻射の効果 を考慮して詳細な研究を行った。

考慮した標準理論のプロセス

$t\bar{t}$, W , $b\bar{b}$ などのレプトン + ジェット + 消失エネルギー

$QCD_{\gamma\gamma}$

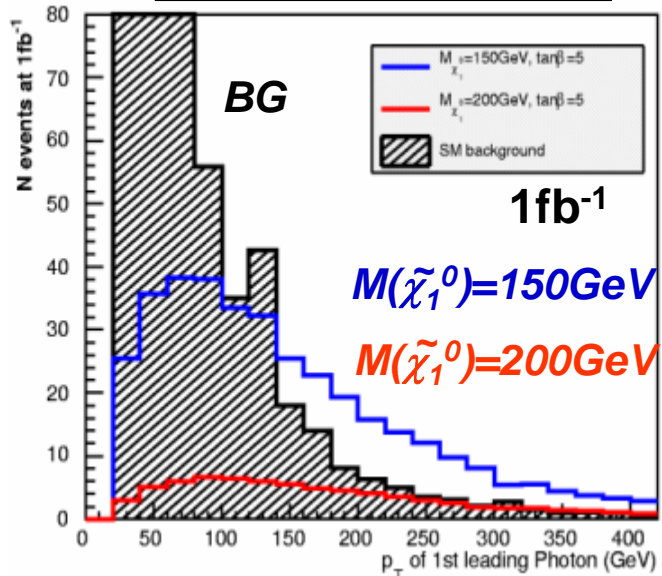
$Z \rightarrow \tau\tau, W\gamma$

信号 vs. バックグラウンド

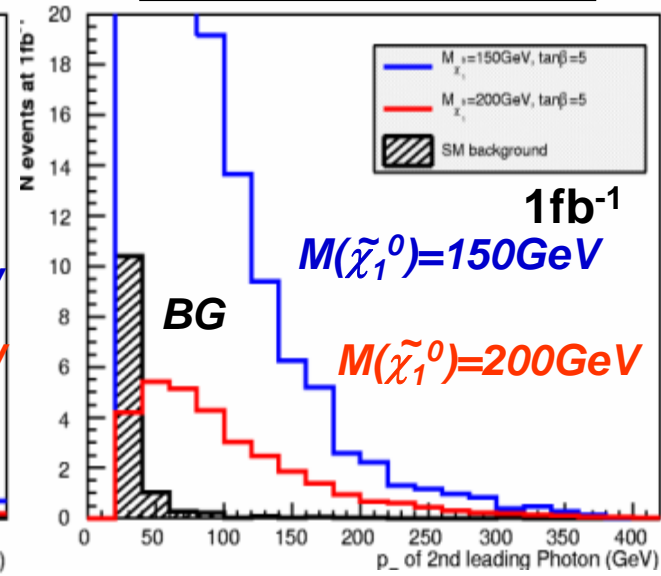
($M(\tilde{\chi}_1^0)=150,200\text{GeV}$, $\tan\beta=5$ での信号を仮定)

→2番目の光子を要求することにより強力にバックグラウンドを抑えることができる。

1番目の光子のPt分布



2番目の光子のPt分布



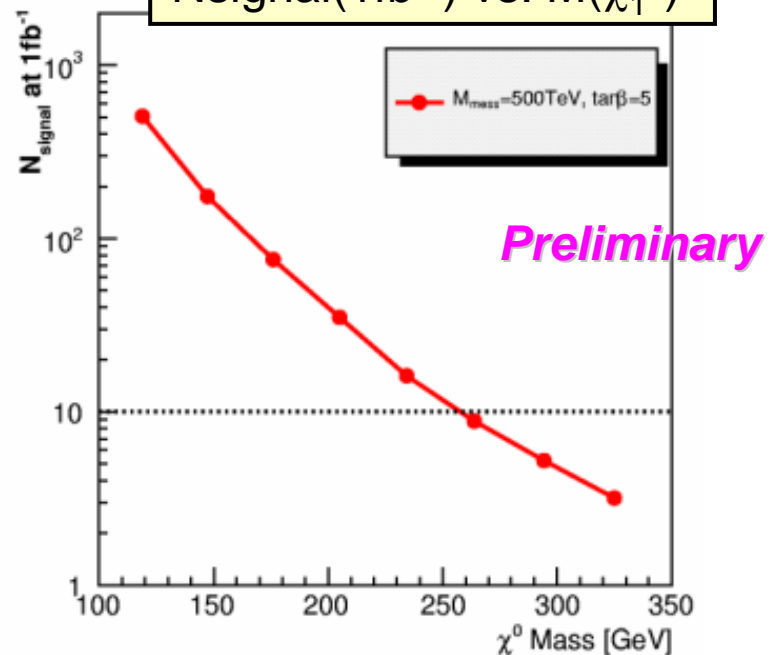
カットのパラメータを最適化したとき SUSY粒子の質量スケールでスキャンして 発見能力を探る。

$N_{\text{signal}} \geq 10$
 $\text{Significance} = S/\sqrt{B} > 5$

のとき発見可能であると定義すると、

$L=1\text{fb}^{-1}$ でATLASでは $M(\tilde{\chi}_1^0)\sim 260\text{GeV}$ ($M(\tilde{g})\sim 1.4\text{TeV}$)まで発見が可能である。

$N_{\text{signal}}(1\text{fb}^{-1})$ vs. $M(\tilde{\chi}_1^0)$



[3] Slepton (Stau) NLSP

Messenger数>1のとき、陽子-陽子衝突で生じた超対称性粒子は最終的にNLSPである軽い超対称性レプトン($\tilde{e}_R, \tilde{\mu}_R, \tilde{\tau}_1$)へと崩壊する。

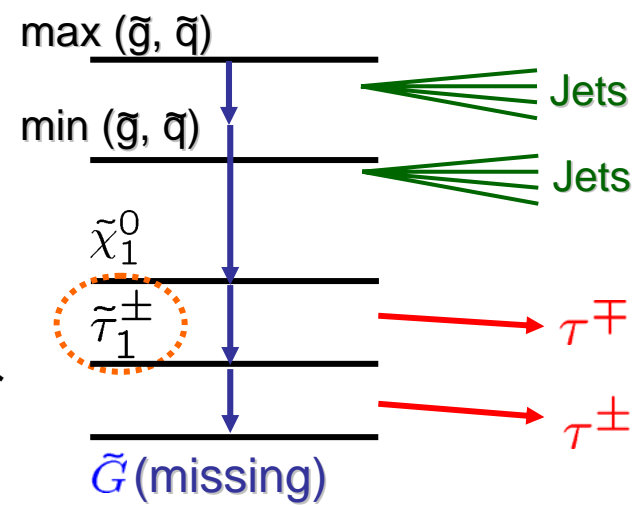
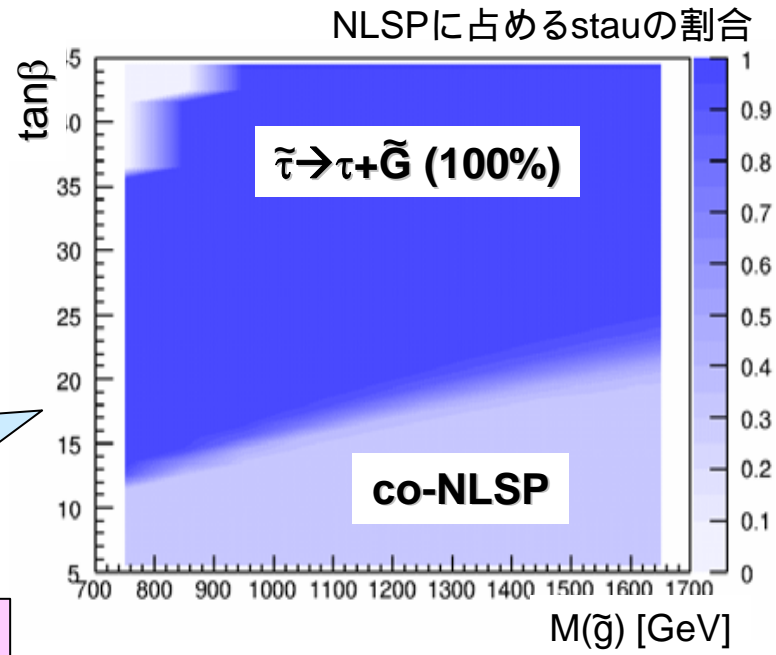
tanβが大きいときはstauのL-R混合が大きいいため、 $\tilde{\tau}_1$ が100% NLSPになる。

$\tilde{\tau}_1$ に至る1本の崩壊系列からは高い P_T を持った2本のタウが生じる。

つまり期待される信号のトポロジーは
高い P_T を持った複数のジェット + 大きな消失エネルギー
+ 高い P_T を持った複数のタウジェット

→ 標準的なSUSYカット(高い P_T のジェット, 大きな消失エネルギー)に加えて、高い P_T を持ったタウジェットを要求することにより、標準理論からのバックグラウンドを効果的に抑えることができる。

(その確認のためには)実験データを想定してタウジェット識別の現実的な考察が重要。



タウレプトンの特徴

レプトンへの崩壊 : (~35.2%)

$\tau \rightarrow e(\mu) \nu \nu$

ハドロンへの崩壊 (~64.8%)

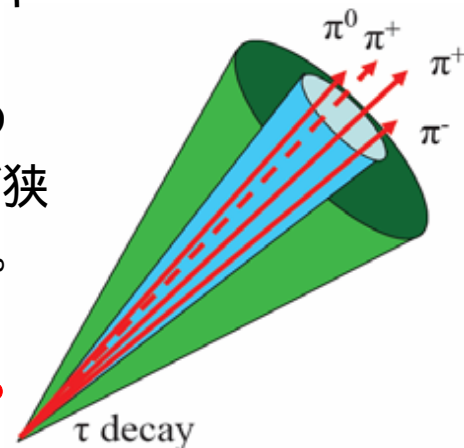
1-prong : $\tau \rightarrow \nu + \pi^\pm + n\pi^0$

3-prong : $\tau \rightarrow \nu + 3\pi^\pm + n\pi^0$

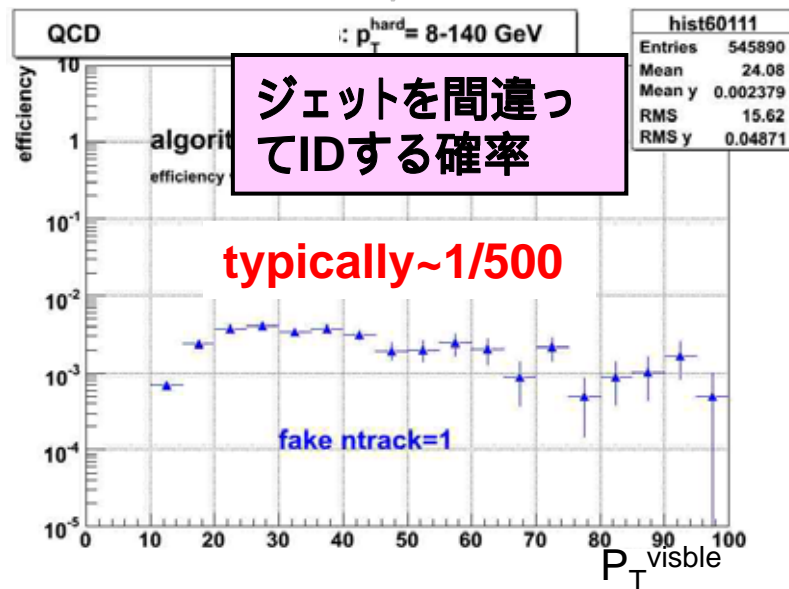
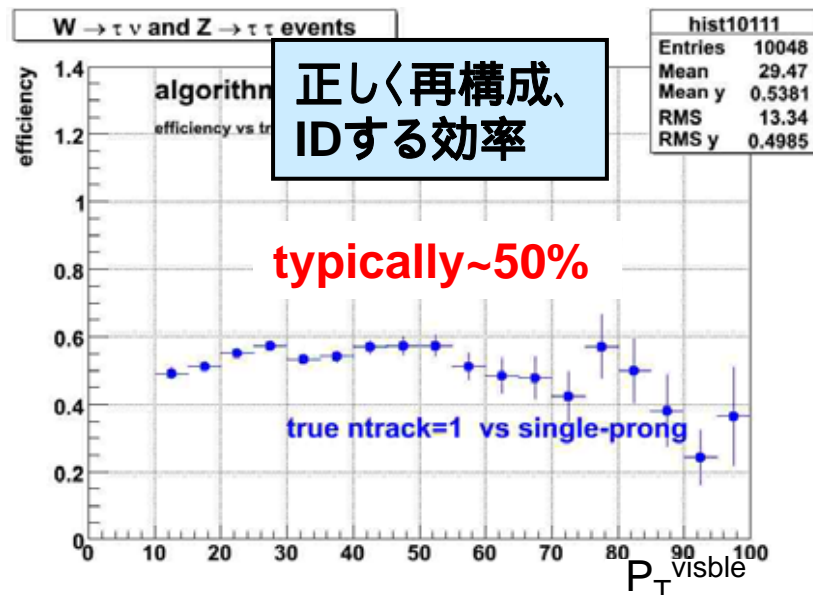
トラックの数が少ない
($1\pi^\pm$ or $3\pi^\pm$).

quark, gluon起源の
ジェットよりも崩壊物が狭
い範囲に集まっている。

→これらの特徴で
タウジェットを識別する。



ATLAS検出器のタウジェット識別能力(フルシミュレーション)

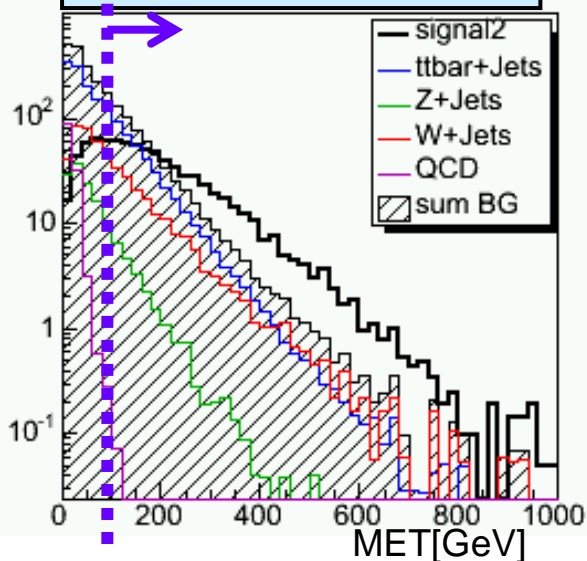


→これらのパフォーマンスを忠実に再現したファーストシミュレーションを今回の発表では使っている。

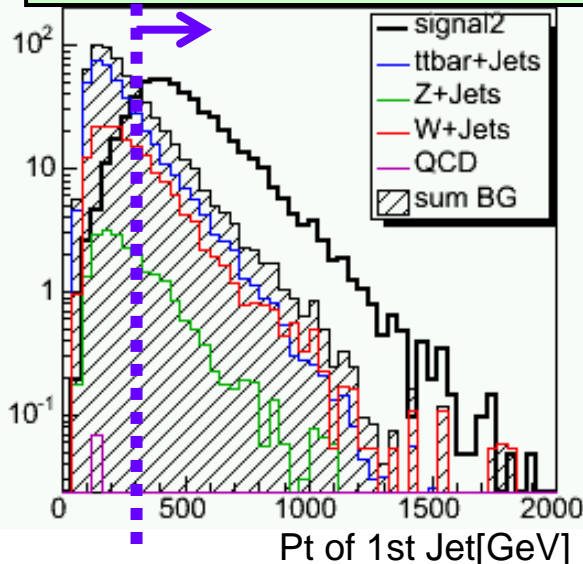
信号 vs. バックグラウンド

normalized to 1fb⁻¹

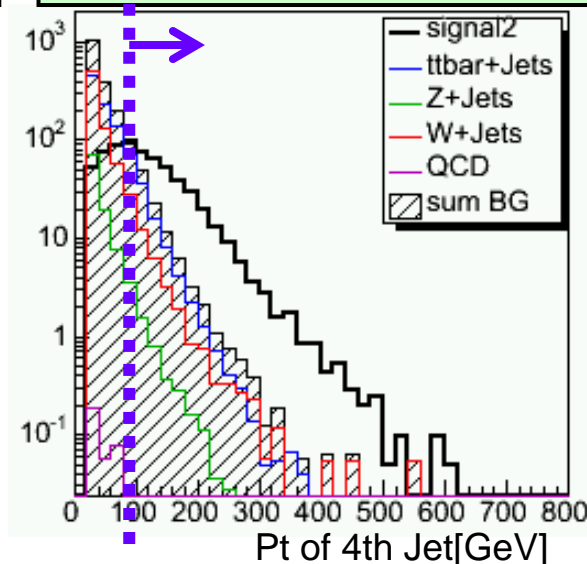
消失エネルギー分布



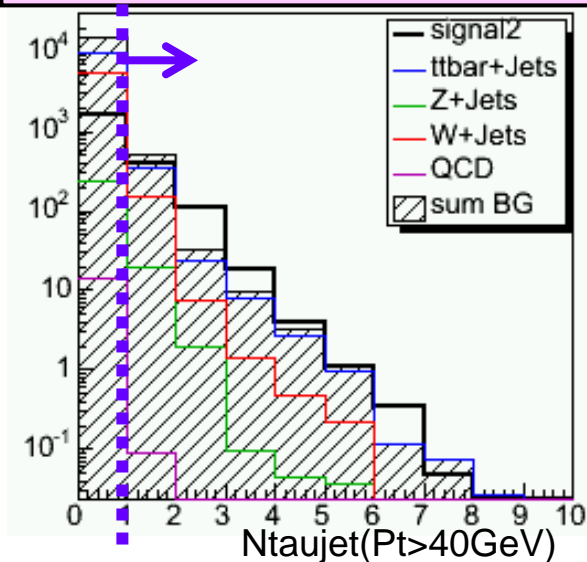
1番目のジェットのP_T分布



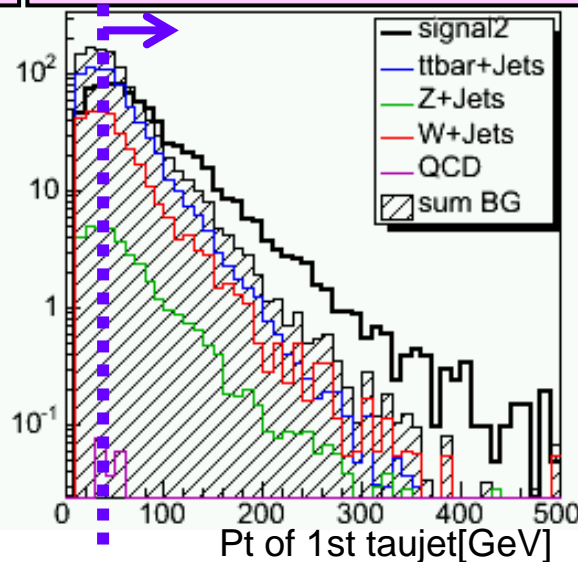
4番目のジェットのP_T分布



40GeV以上のタウジェット数



1番目のタウジェットのP_T分布



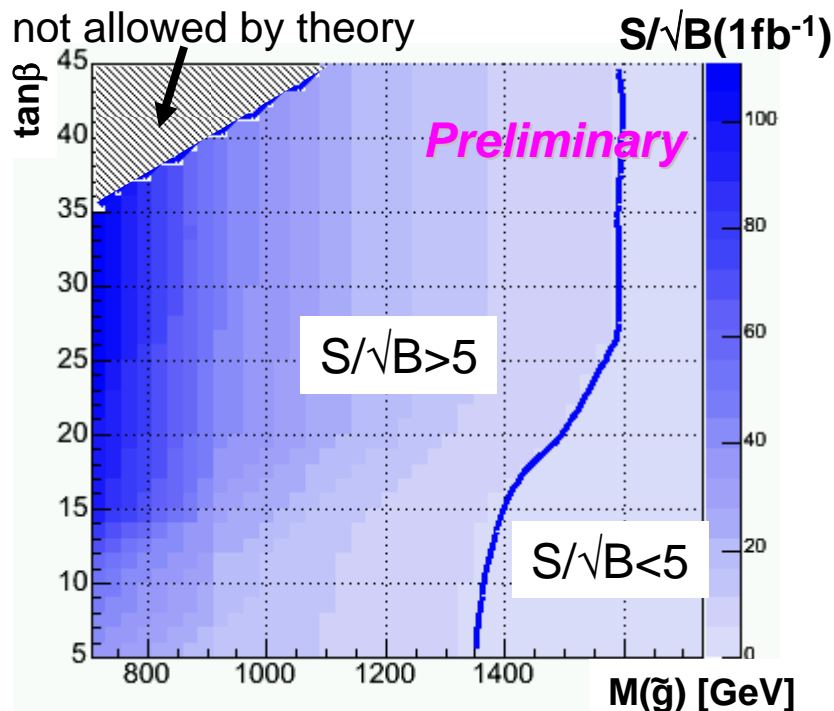
($\tan\beta=30$, $M(\tilde{g})=915\text{GeV}$ での信号を仮定)

→ 主要なバックグラウンドは $t\bar{t}$ と W 。

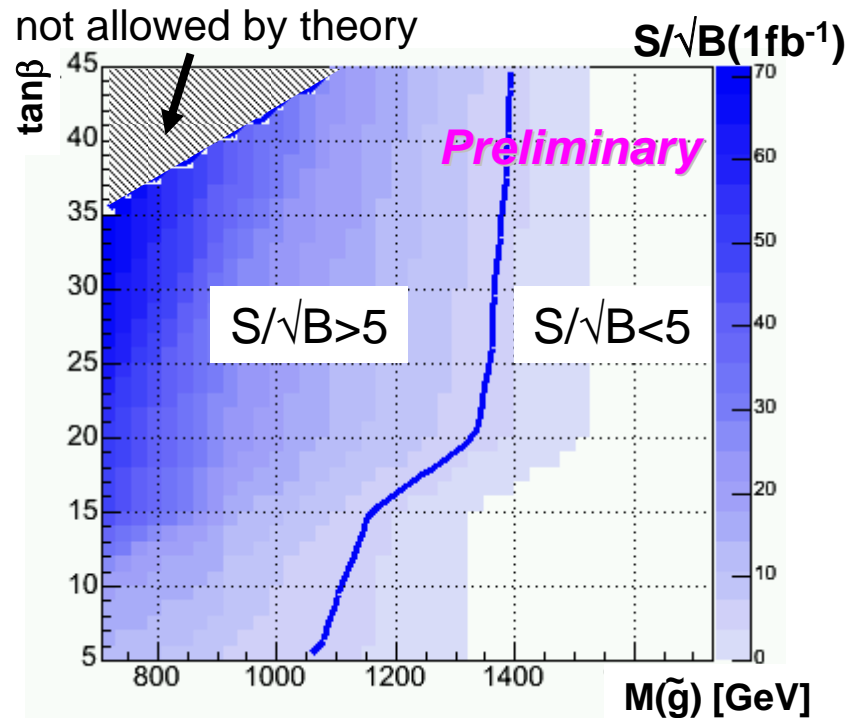
→ カットの最適化によってバックグラウンドを効果的に抑えることができる。

カットのパラメータを最適化したとき、超対称性粒子の質量スケールでスキャンして発見能力を探る。

1本以上のタウジェット($P_t > 40 \text{ GeV}$)を要求



2本以上のタウジェット($P_t > 40 \text{ GeV}$)を要求



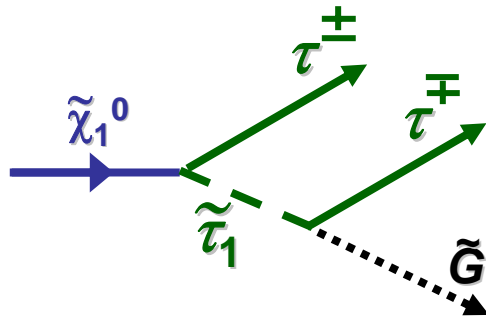
$N_{\text{signal}} \geq 10$

Significance = $S/\sqrt{B} > 5$ のとき発見可能であると定義すると、

1本以上のタウジェットを要求したときは1fb⁻¹で $M(\tilde{g}) \sim 1.4 \text{ TeV}$ まで発見が可能である。
 2本以上のタウジェットを要求すると統計量が減るために発見能力が下がる。
 $\tan\beta$ が大きい場合には $\tilde{\tau}_1$ がNLSPである割合が増えるために発見能力が上がる。

[3-2] タウジェットペアの再構成

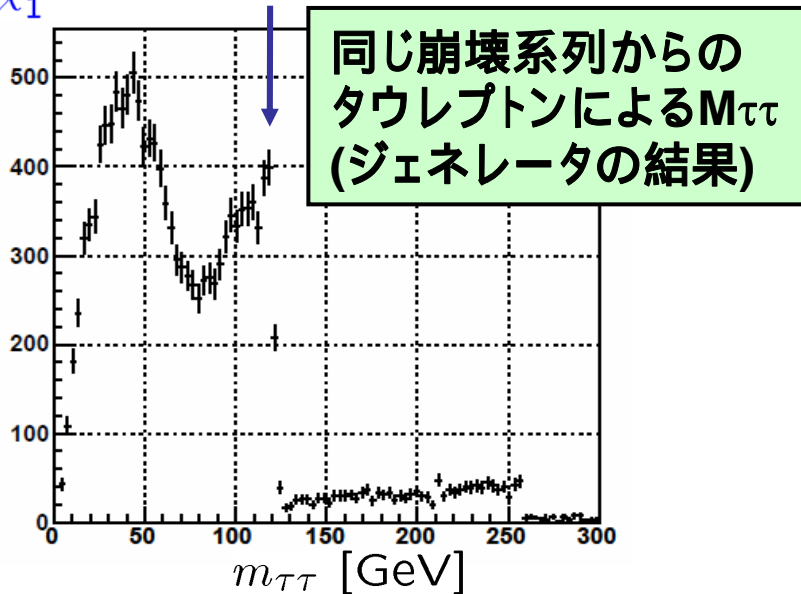
同じ崩壊系列からのタウジェットペアで不変質量を組むと分布の終端からその崩壊系列にいた超対称性粒子の質量関係を得ることができる。



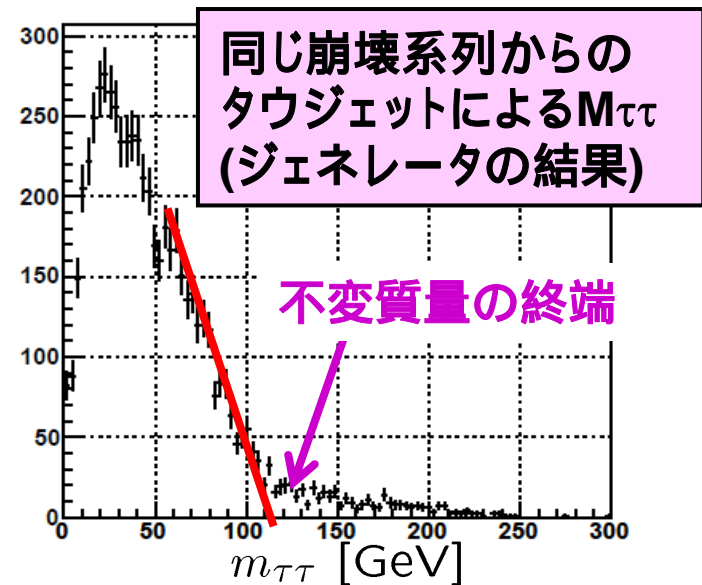
$$M_{\tau\tau}^{\max} = M_{\tilde{\chi}_1^0} \sqrt{1 - \frac{M_{\tilde{\tau}_1}^2}{M_{\tilde{\chi}_1^0}^2}} \sqrt{1 - \frac{M_{\tilde{G}}^2}{M_{\tilde{\tau}_1}^2}}$$

$$= \sqrt{M_{\tilde{\chi}_1^0}^2 - M_{\tilde{\tau}_1}^2} \quad (M_{\tilde{G}} \sim 0)$$

$$\sqrt{M_{\tilde{\chi}_1^0}^2 - M_{\tilde{\tau}_1}^2} = 121.5 \text{ GeV}$$

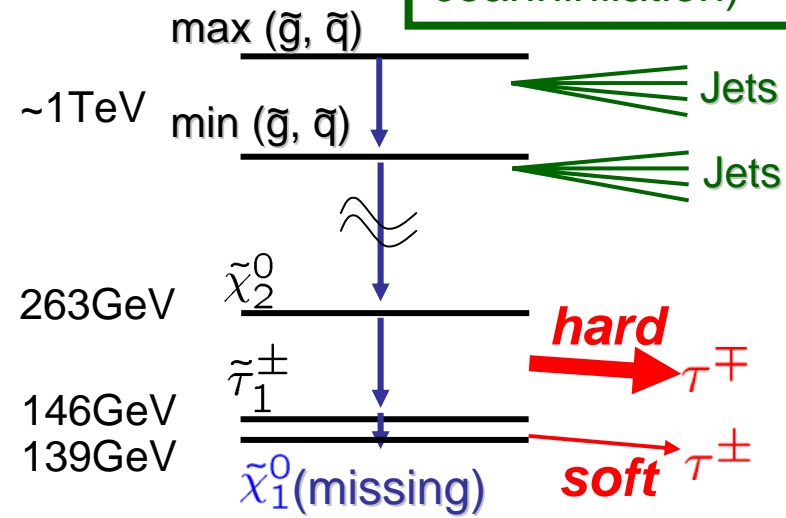
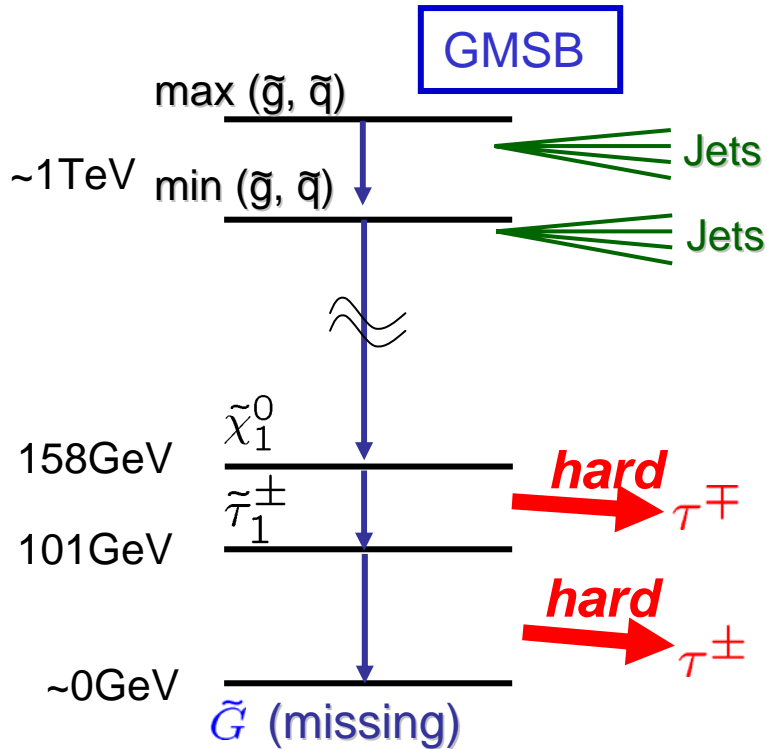


検出器ではタウジェットのvisible成分だけが観測される。

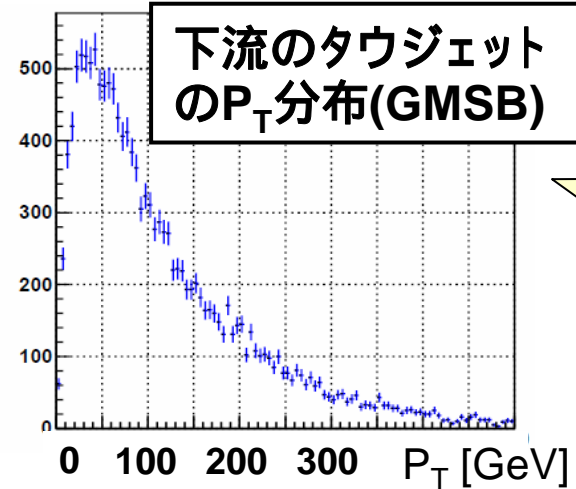
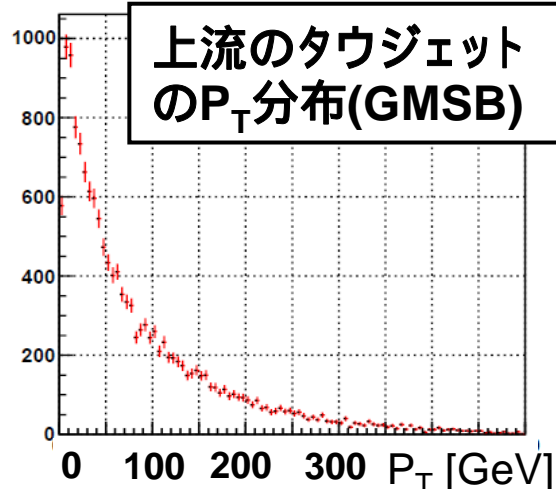


GMSB事象におけるタウジェットペア再構成の特徴

mSUGRA (stau coannihilation)



GMSBではLSP(\tilde{G})が非常に軽いため、NLSPとLSPの質量差が大きい。



→mSUGRAとは違って1つの崩壊系列からの両方のタウジェットが高い P_T を持つ。

→タウジェットペアの質量再構成が比較的確実にできる。

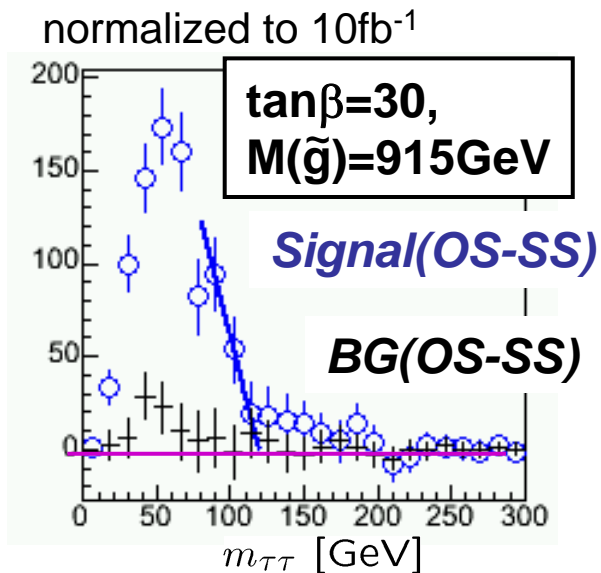
タウジェットペアの組み方(charge subtraction)

($\tan\beta=30$, $M(\tilde{g})=915\text{GeV}$ での信号を仮定)

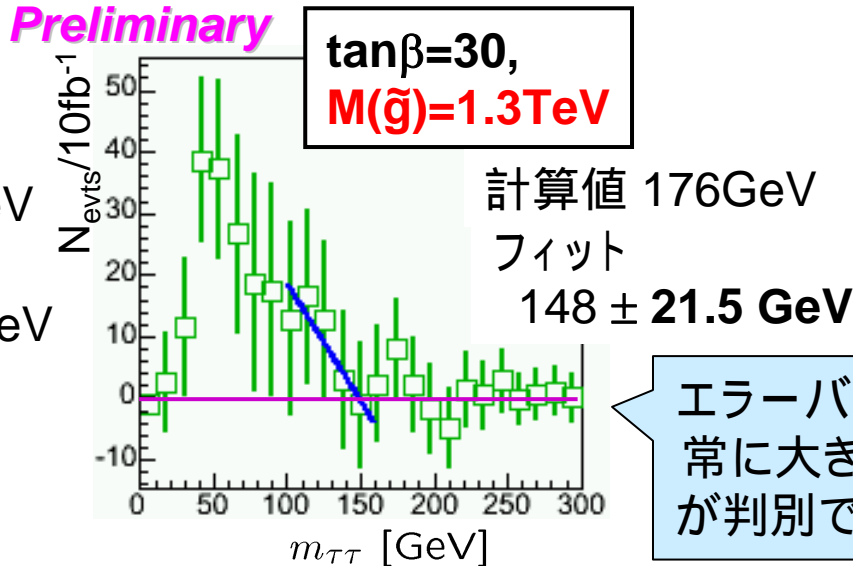
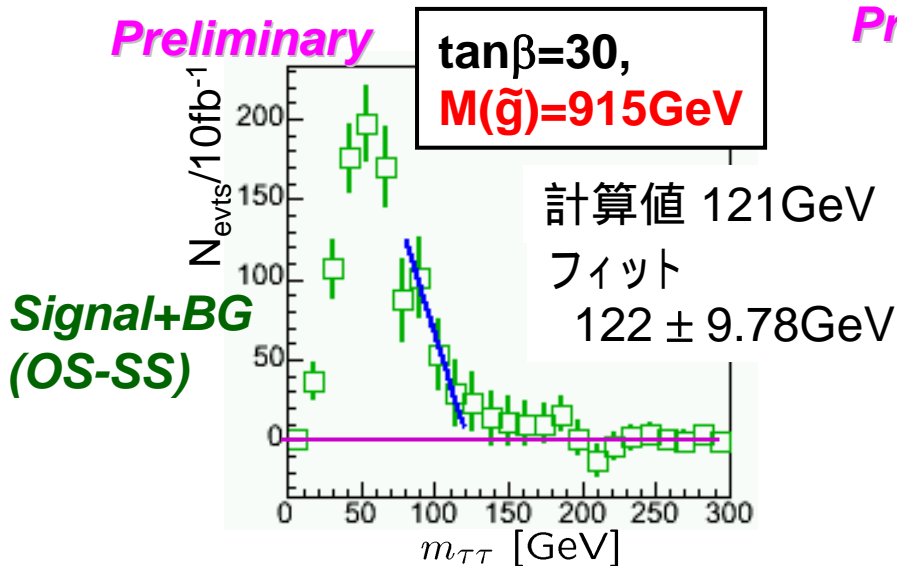
同じ崩壊系列からのタウジェットペアは互いに逆の電荷(**O**pposite **S**ign)。

BGや別の崩壊系列ではランダムな電荷の組み合わせになる(**S**ame **S**ignと**O**pposite **S**ignが等量)。

→ OS-SSで同じ崩壊系列以外のペアが落ちる。



SUSY粒子の質量スケールでスキャンしてどこまで再構成可能か探る。



エラーバーが非常に大きく終端が判別できない。

$\tan\beta=30$ (100% $\tilde{\tau}_1$ NLSP)のとき、 10fb^{-1} で $M(\tilde{g})\sim 1.1\text{TeV}$ まで $M_{\tau\tau}$ の終端の測定が可能。

[4] long lifetime NLSP

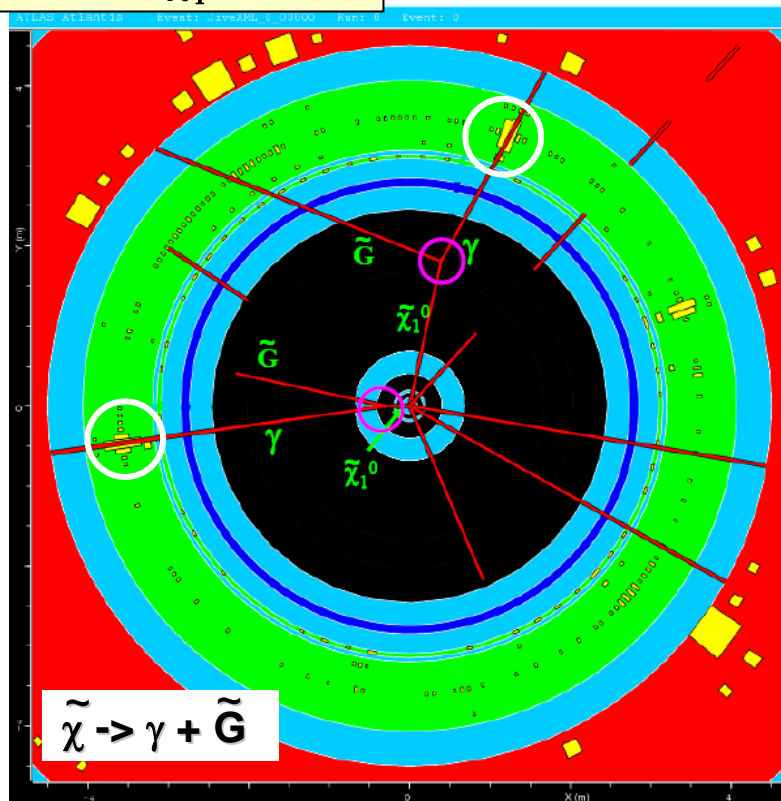
Messenger sectorが伝える破れのスケールがFより小さい場合、NLSPが巨視的な崩壊長を持つようになる。

i.e. $C_G(=F/F_S)=30$ のとき、 $c\tau_{NLSP}\sim 1\text{m}$ (ATLASの飛跡検出器内で崩壊)

$C_G(=F/F_S)=5000$ のとき、 $c\tau_{NLSP}\sim 5\text{km}$ (ATLASの外で崩壊)

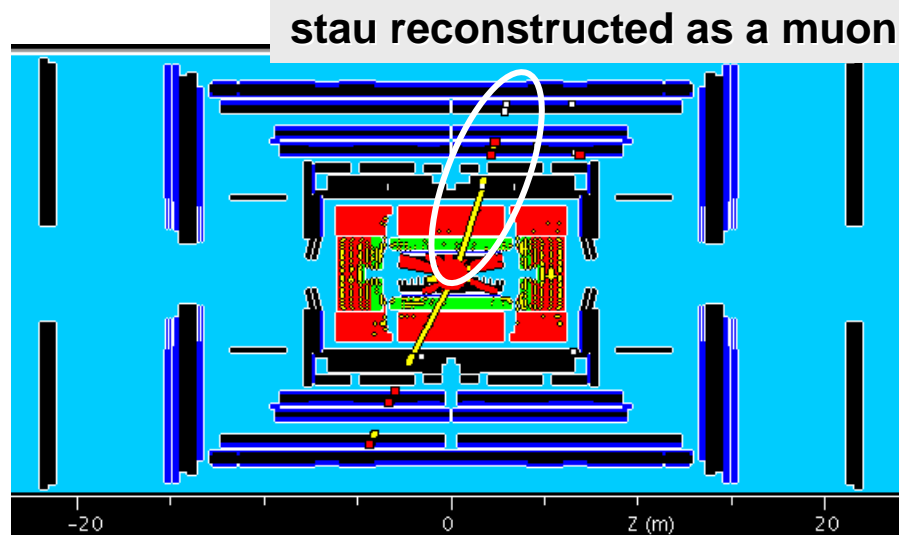
→ NLSPがlong lifetimeの場合をATLASのフルシミュレーションに実装した。

[a] NLSP= $\tilde{\chi}_1^0$ のとき



電磁カロリメータでnon-pointing photonが観測される。

[b] NLSP= $\tilde{\tau}_1$ のとき



検出器ではミュオンとして識別される。
また $\beta(=v/c)$ が小さい場合はTOFと運動量の測定から質量を測定する。

これらのlong lifetime SUSYの研究をATLASで進めてる。

[5] Summary

LHC-ATLAS検出器を用いたGMSB事象の発見能力、および特性の研究を行った。

$\tilde{\chi}_1^0$ がNLSPの場合、 1fb^{-1} のルミノシティで $M(\tilde{g})\sim 1.4\text{TeV}$ まで発見が可能である。

$\tilde{\tau}_1$ がNLSPの場合、 1fb^{-1} のルミノシティで $M(\tilde{g})\sim 1.4\text{TeV}$ まで発見が可能である。

$\tilde{\tau}_1$ がNLSPの場合、 10fb^{-1} のルミノシティで $M(\tilde{g})\sim 1.1\text{TeV}$ まではタウジェットペアの不変質量の再構成が可能である。

NLSPの寿命が長い場合、ATLAS検出器の特性を活かすことで超対称性粒子の観測、測定が可能である。

2008年からの実データ解析を想定し、今後トリガーなどを含めたさらに詳細な研究を進める。