

ATLAS検出器を用いた 長寿命超対称性粒子の研究

東大素セ, 高工研^A
野本裕史, 坂本宏, 陣内修^A

目次

1. LHC-ATLASで期待される長寿命
超対称性粒子の物理の特徴
2. トリガー
3. 長寿命sleptonの再構成
4. まとめ

[1] 超対称性理論から期待される 長寿命荷電粒子

超対称性理論の複数のモデルで長寿命の荷電粒子の存在が预言されている。

□ GMSB (Gauge Mediated SUSY Breaking)

- NLSP(slepton)とLSP(gravitino)との結合が弱いとき sleptonが長(中)寿命 → muon like、もしくはkink track

□ AMSB (Anomaly Mediated SUSY Breaking)

- NLSP(chargino)とLSP(neutralino)の質量が縮退しているとき charginoが中寿命 → kink track

□ Split SUSY

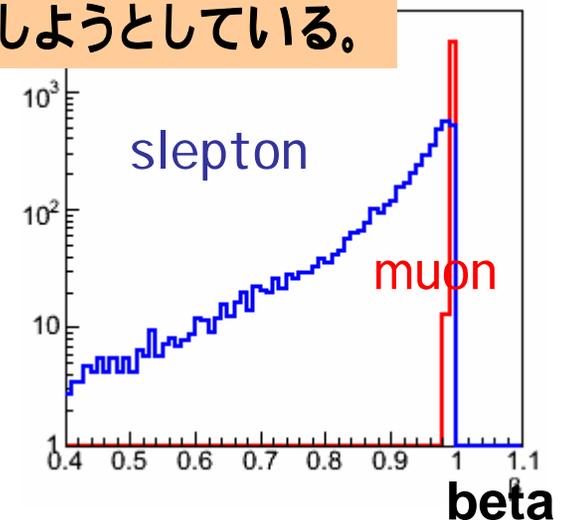
- Squarkが非常に重いためにGluinoの崩壊が抑えられるとき Colored heavy particles (R-hadrons)

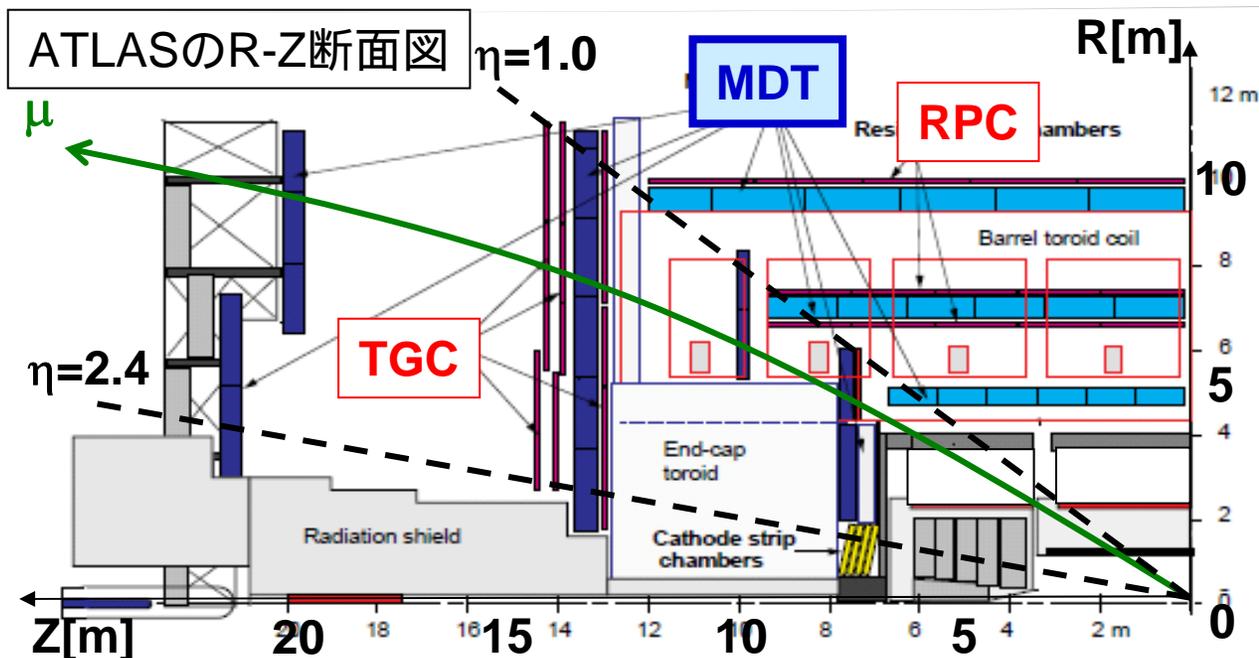
ATLASではこれらの超対称性粒子を直接探索しようとしている。

今回使ったデータ：

GMSB slepton NLSP

- $M(\tilde{e}_R) = 100\text{GeV}$, $M(\tilde{\tau}_1) = 102\text{GeV}$
- $c\tau(\text{slepton}) \gg \text{ATLAS検出器長}$
- sleptonはmuon likeなのだが質量が大きい
ためmuonとは異なり遅い $\beta(=v/c)$ をもちうる。





精密測定

- MDT (Monitored Drift Tube)

トリガー

- RPC (Resistive Plate Chamber)
- TGC (Thin Gap Chamber)

- ATLASのミュオン検出器は大きなgeometryを持っているため、TOFの測定に都合がいい。

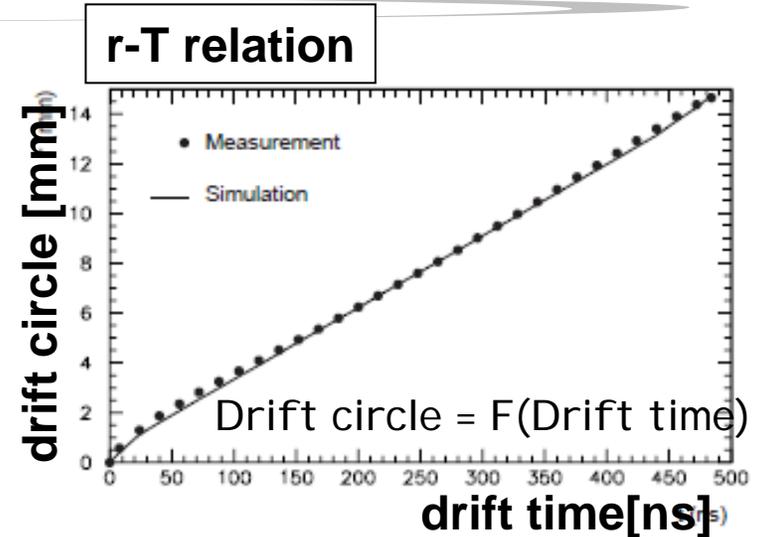
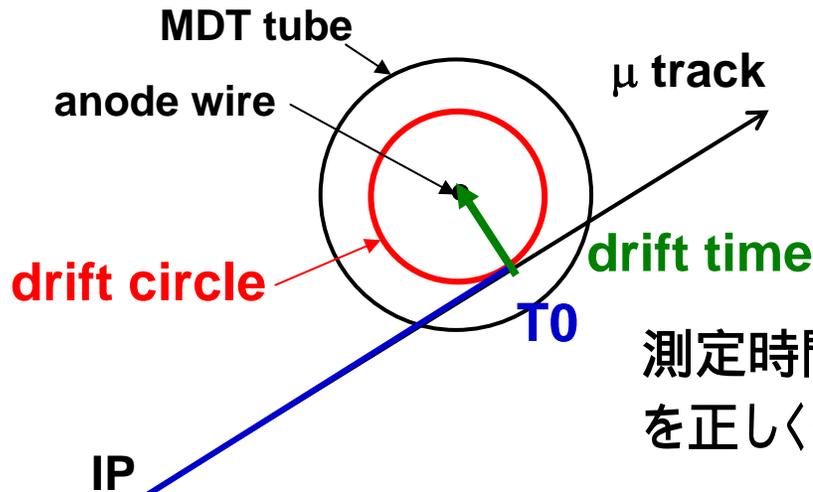
ところが、

1. LHCは25nsの短い時間間隔で衝突を行うため、遅い粒子はcurrent BCでトリガーできない。(RPCで $\beta < 0.6$, TGCで $\beta < 0.7$ は外れる)
2. 粒子の位置測定はMDT(Drift tube)を使うため、ミュオンの速度($\beta=1$)を仮定した通常のやり方では遅い粒子は正しく測定できない。

今回、超対称性理論から予想される遅い荷電粒子がATLAS検出器で直接測定できるかどうかをフルシミュレーションデータを使って検証した。

MDTでの位置測定(R-Z平面)

- Drift time = 測定時間 - T_0 (β の関数)
- Drift circle = F (Drift timeの関数)



測定時間から位置情報を得る際に、粒子の速度を正しく仮定しないと粒子の位置を間違える。

トリガーチェンバーでの位置測定(ϕ 座標)

MDTだけではR-Z平面の情報しか出せないため、軌跡の再構成にはトリガーチェンバー(RPC/TGC)での ϕ 座標測定を使う。ただし、トリガーチェンバーはtiming windowが狭いため、前後数BC($\beta > 0.4$)のデータしか残らない。

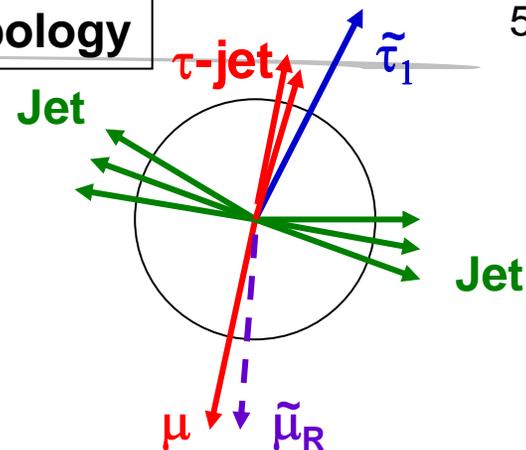
1. 重い粒子を測定するためには速度 β を正しく仮定する必要がある。
→逆に、 T_0 の値を見つけることで β の測定ができる。
2. β の非常に小さい粒子は ϕ 座標が測定できず軌跡を再構成できない。

[2] トリガー

typical topology

5

- 遅い粒子はLHCの衝突間隔である25ns以内では
 ミューオントリガーチェンバーに届かないのでそれ
 自身はcurrent BCでミューオントリガーを作らない。
 ところが、

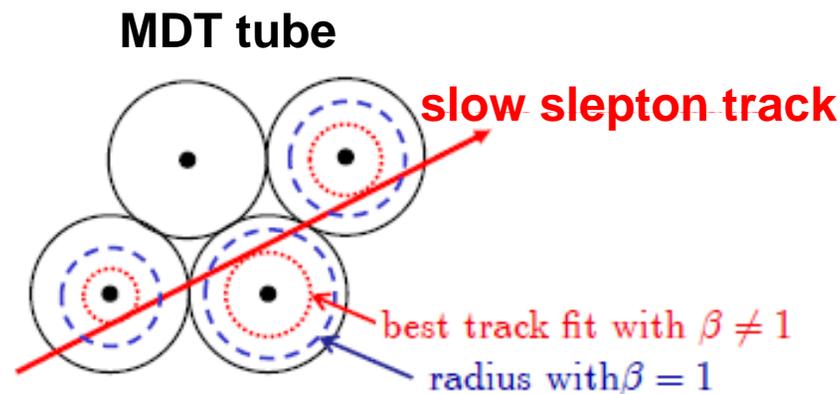
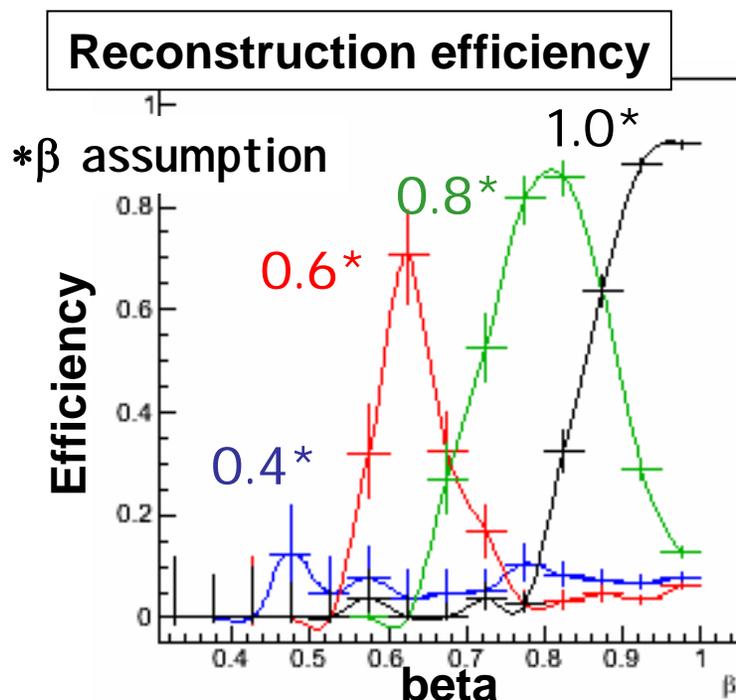


1事象には2つのsleptonが生成され、少なくとも片方のsleptonは十分速く25ns以内でミューオントリガーに入る場合が多い(~97%)	muon trigger or missing Et trigger	L1MU20 96%
遅いsleptonはmuonとして再構成されないために、消失エネルギーとなる。		
sleptonは高い横運動量を持ったleptonと共に生成される。	muon/e/tau trigger	L1TAU15 95%
gluino/squark崩壊系列から高い横運動量のジェットが出る。	Jet trigger	L1J170 90%

M(slepton)~100GeVのGMSBサンプルにおけるL1 menuのefficiency

事象全体としては高い確率で複数のトリガーマニューにかかるとなる。

[3] 長寿命sleptonの再構成



✓ ミューオンの速度($\beta=1$)を仮定したままでは、 $\beta < 0.8$ のsleptonは再構成できない。

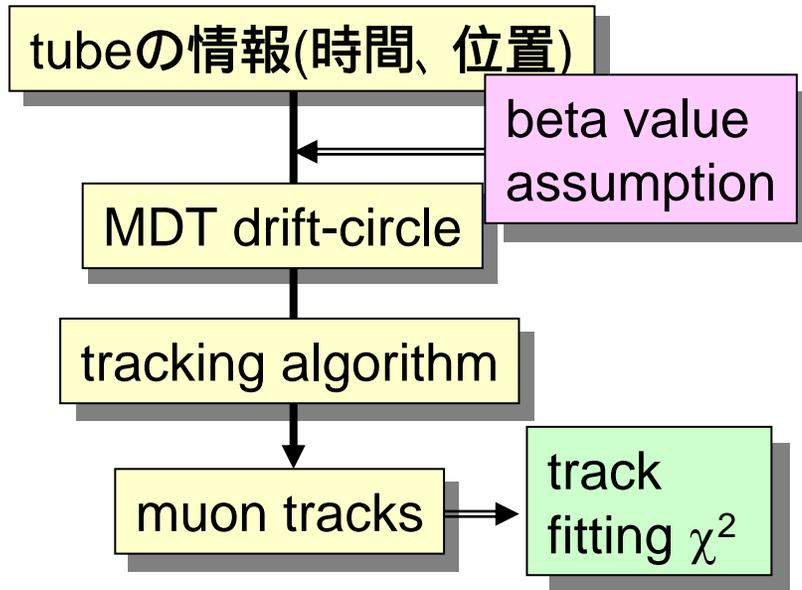
←MDTのdrift circle計算を間違えるため。

✓ β を正しく仮定しても、 $\beta < 0.5$ のsleptonは再構成できない。

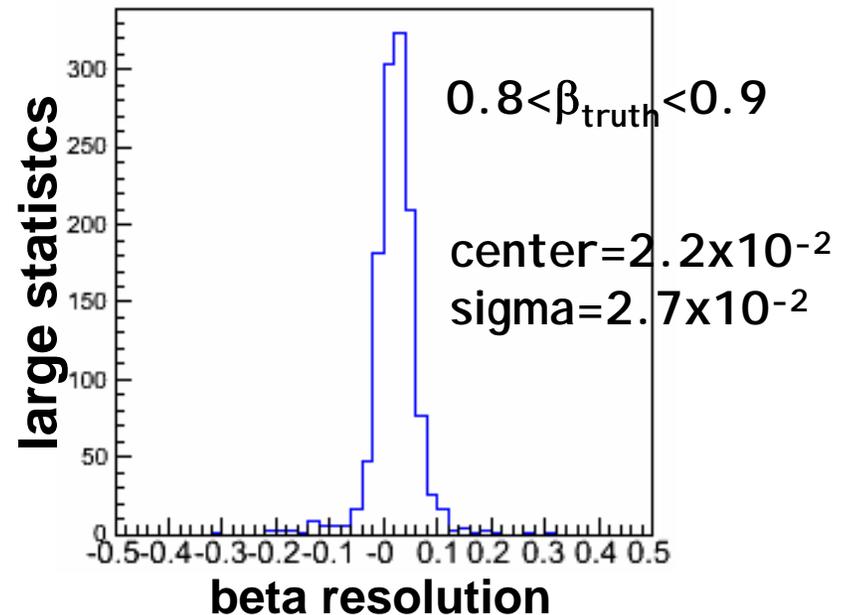
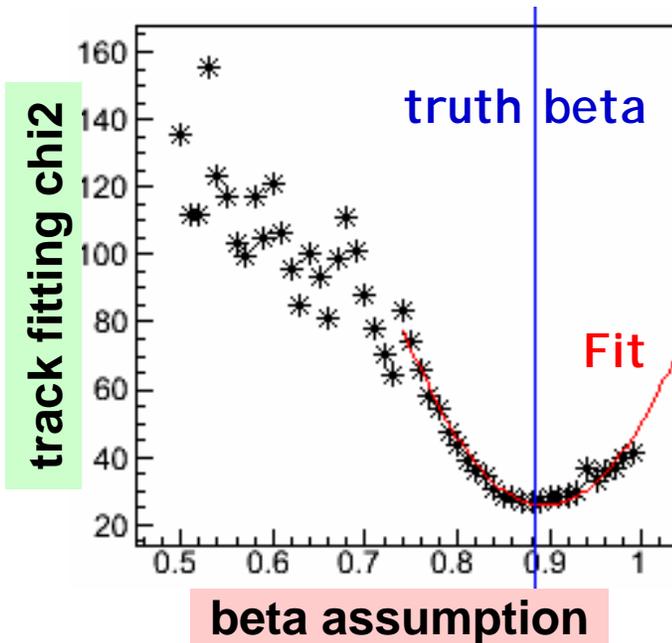
←トリガーチェンバーでの ϕ 座標測定ができないため。

✓ $0.5 < \beta < 1.0$ では β を正しく仮定することで軌跡を再構成できる。

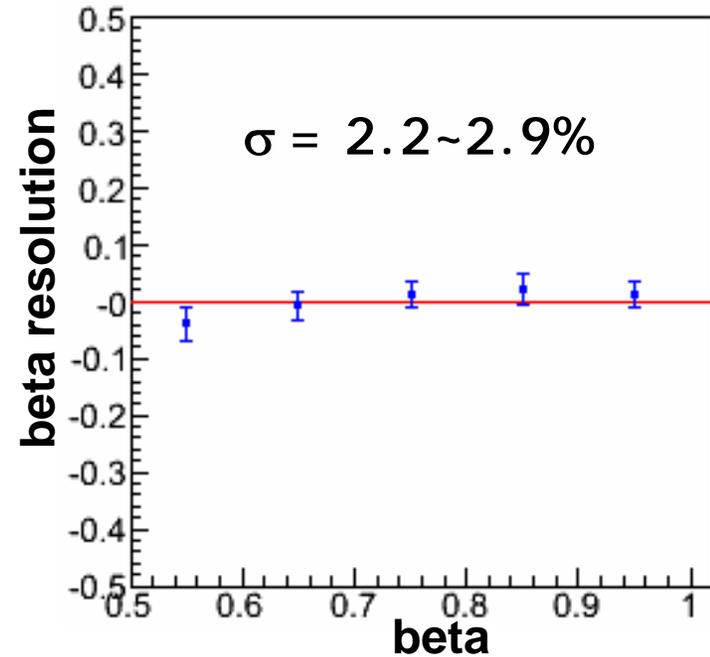
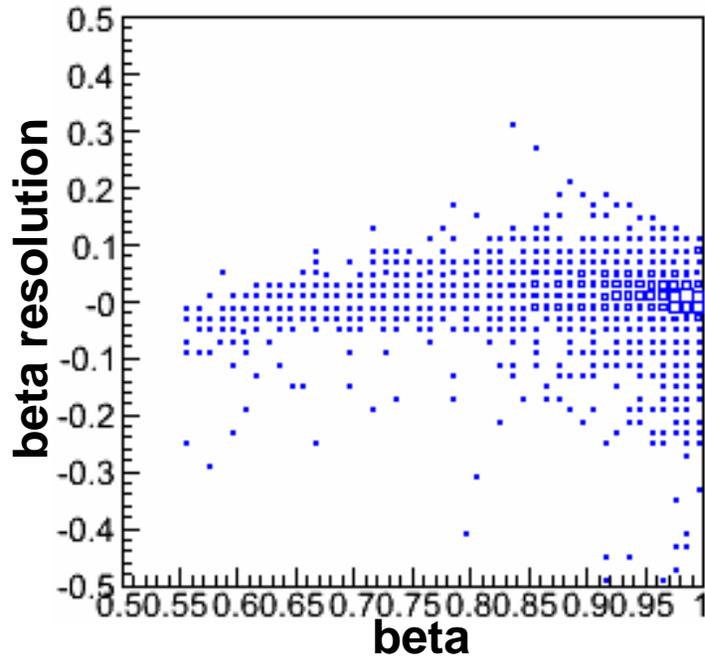
速度betaの測定方法



1. MDTのDrift circle計算における粒子の β の仮定をscanする。(0.5 $<$ β $<$ 1.0の範囲を0.01step)
2. β の仮定ごとに軌跡の再構成を行い fitting χ^2 を出す。
3. β vs. χ^2 分布を $\chi^2/Ndof < 2$.かつNdofが最大かつ χ^2 が最小になる点の ± 0.1 の範囲を二次関数でフィットする。
4. χ^2 が最小になる β の値を求める。



beta resolution vs. truth beta



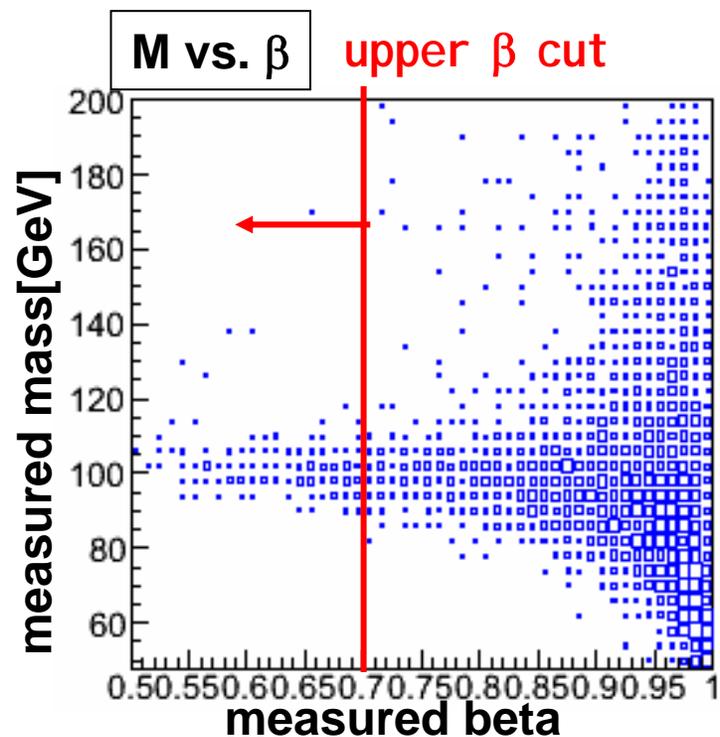
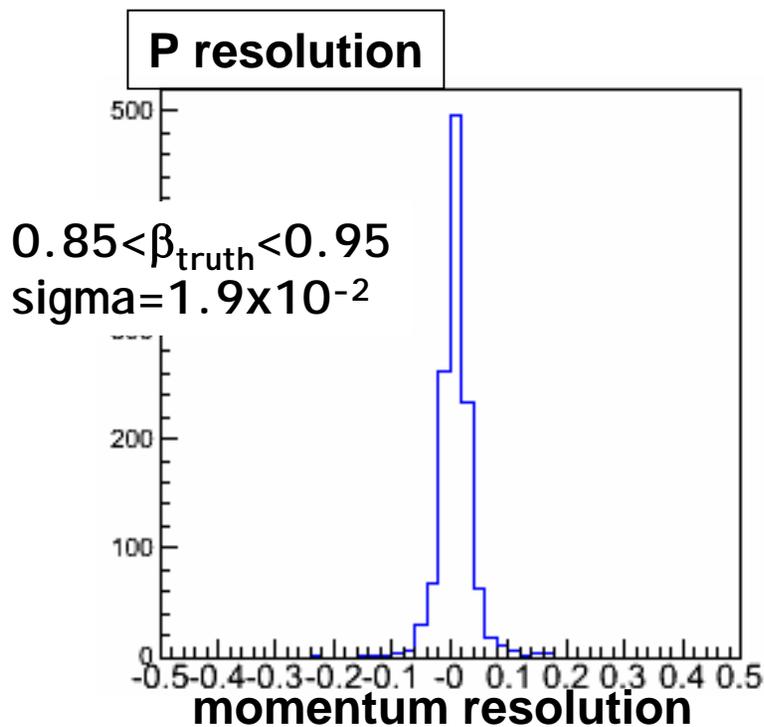
- この方法で、 $0.5 < \beta < 1.0$ の領域では<3%の精度で β が測定できる。

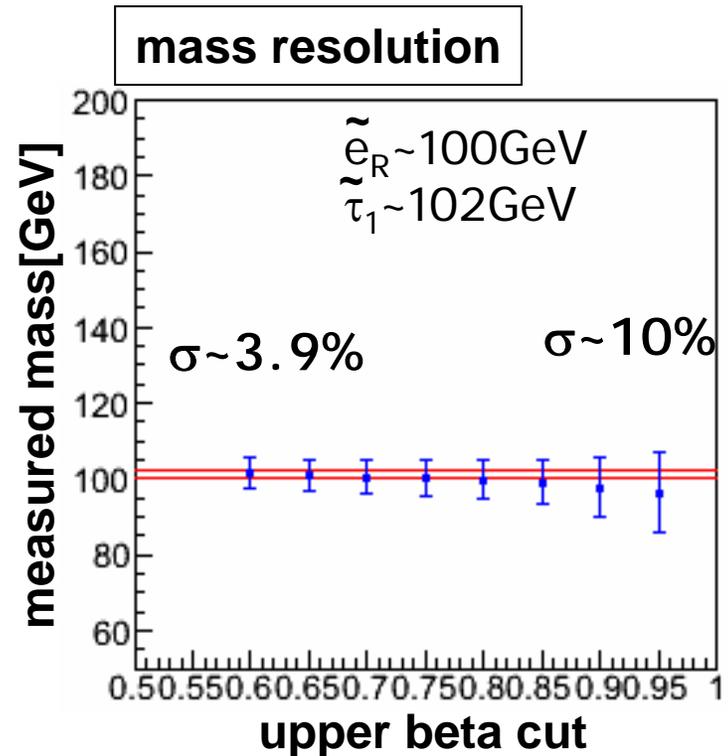
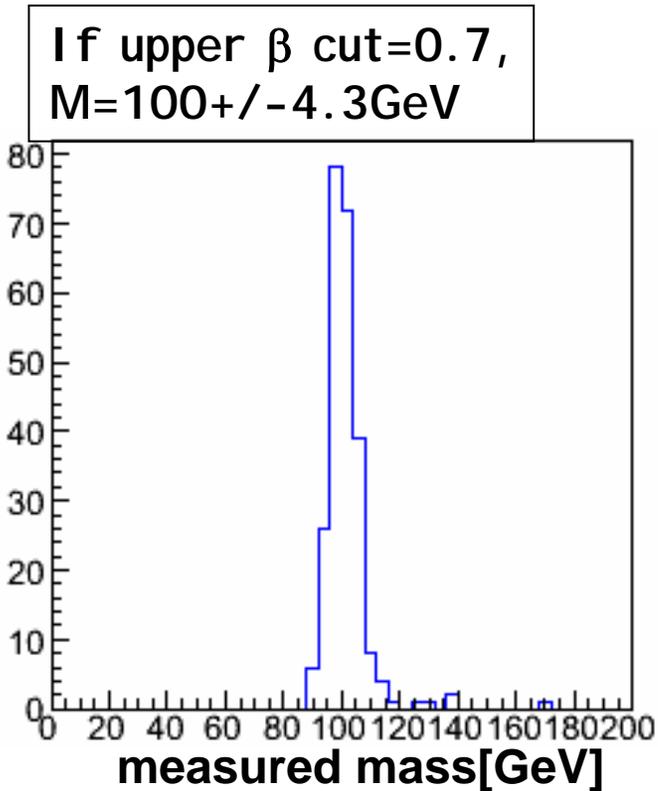
sleptonの質量測定

β の測定と同時に、遅い粒子の軌跡も再構成できている。
測定した速度 β とそのときの軌跡の運動量 P から

$$m = \frac{P}{\beta\gamma}$$

より、sleptonの質量を求める。





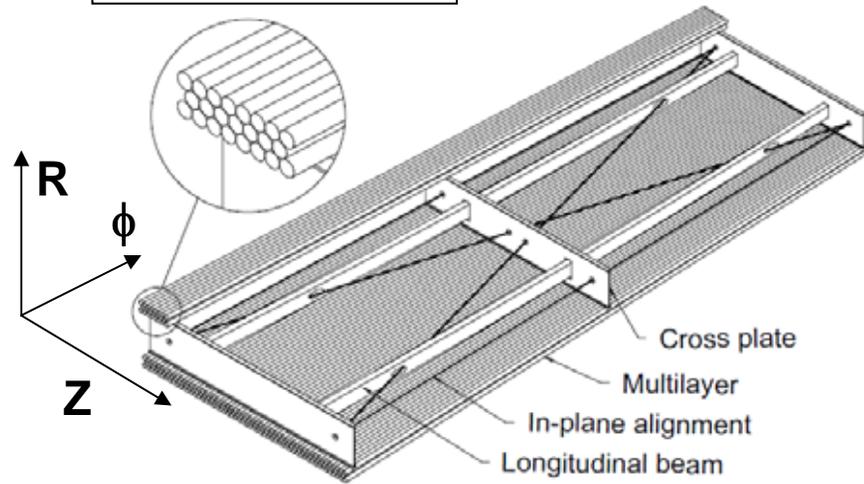
- sleptonの質量は、4~10%の精度で求まる。
- upper β cutを大きく取ると統計量は増えるが、精度が下がる。

[4] まとめ

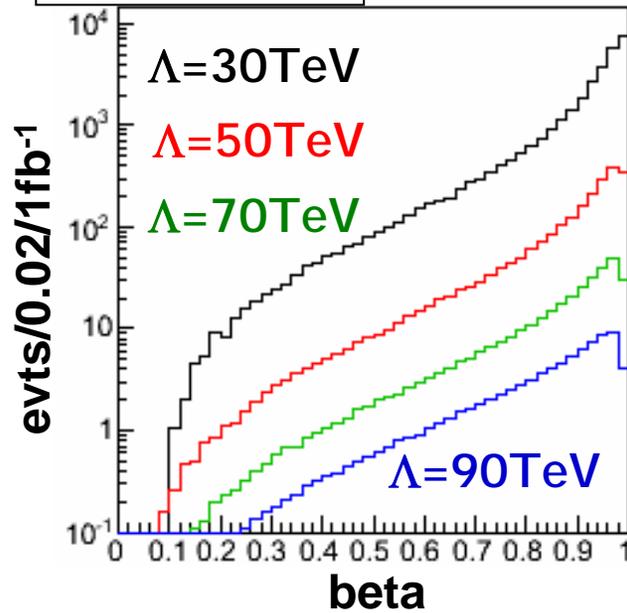
- ATLASにおいて、超対称性理論から予想される長寿命荷電粒子の直接測定方法を研究した。
- ✓ 遅い slepton は 25ns の BC 内でトリガーを作ることができないが、slepton 生成の事象全体としては高い確率で複数のトリガーを作る。
- ✓ ミューオン検出器での粒子の軌跡再構成において Fitting における β の仮定を scan することで、 β は $< 3\%$ の精度で測定できる。
- ✓ 測定した β とそのときの運動量 P から質量を求めると、4~10% の精度で直接質量が測定できる。

appendix

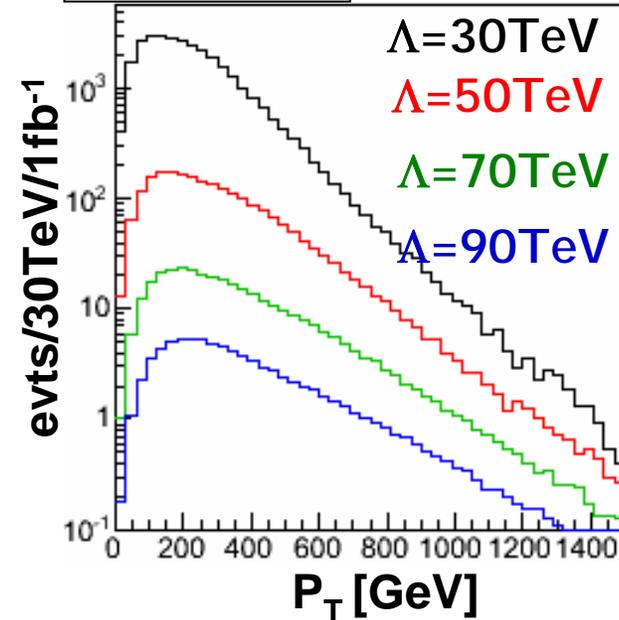
MDT chamber



slepton beta

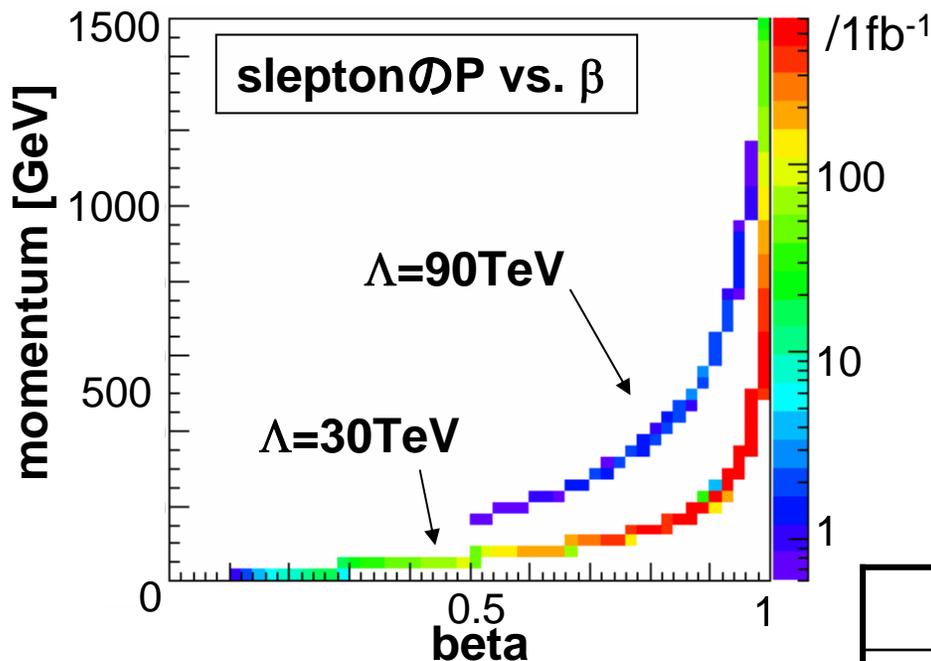


slepton P_T



[3] イベントセレクション

高い運動量かつ遅い速度を持った粒子を選ぶことでバックグラウンドを SUSYスケール($\propto \Lambda$)によらず効果的に抑えることができると予想される。



$\Lambda = 30 \sim 90 \text{ TeV}$ でのGMSB slepton NLSPサンプルを使った。
 Λ が大きくなると断面積が小さくなるが、sleptonのmomentumは大きくなる。

高い横運動量 + $\beta < 0.9$ を要求したときに残るsleptonの数 ($/1 \text{ fb}^{-1}$)

	$P_T > 100 \text{ GeV}$	$P_T > 200 \text{ GeV}$
$\Lambda = 30 \text{ TeV}$	6.1×10^3	751
$\Lambda = 90 \text{ TeV}$	48	34

- これらのカットを加えてもシグナルは十分残る。
- BGに対するこれらのカットに関してはいまoptimize中。