

Initial State Radiation for Supersymmetric Particle Production at LHC

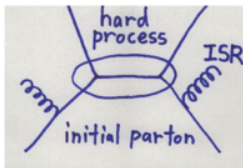
平松賢士
with 野尻美保子, 清水康弘, J. Alwall

SOKENDAI KEK

02/04/2009

Summary

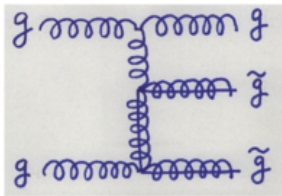
- LHC であらゆる hard process には ISR が発生しうる。
- 重い粒子の生成 event はよりハードな ISR が発生する。
- new physics の event では ISR の性質がどのように効いてくるか調べた。今回は MSSM を使用。



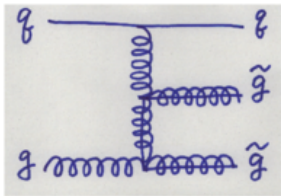
- sparticle が LSP+jet に直接崩壊する場合、ISR の性質をつかって gluino production と squark production を分類できた。
- ISR が reconstruction に及ぼす影響を取り除くことに成功した。(野尻さんの話で)
- gluino と LSP が縮退した場合の ISR を用いた解析。 Alwall et al(Phys.Lett.B666:34-37,2008.)

Initial State Radiation of $PP \rightarrow \tilde{g}\tilde{g}$

- gluino pair production + ISR の場合。 $PP \rightarrow \tilde{g}\tilde{g}$



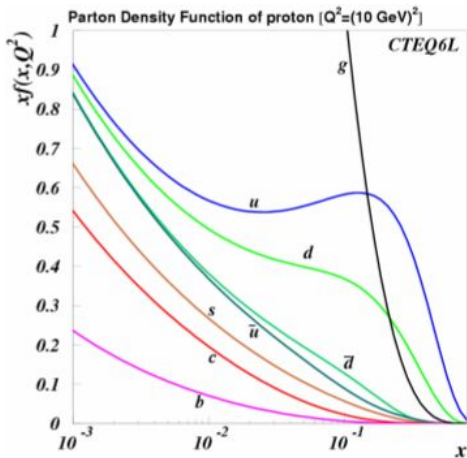
(1)



(2)

- gluino pair production でもっとも多いのは additional parton が gluon のとき。これはソフトな jet となる。
- additional parton が quark のとき、forward direction に Hard jet が出る。なぜなら...

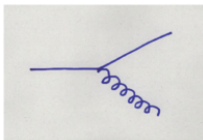
Property of Initial State Radiation



- valence quark の energy は高い, and ...

Property of quark branching

- hard quark は hard quark と soft gluon に branch する。



- quark の splitting function は以下の式。

$$P_{qq} = C_F \frac{1 + Z^2}{1 - Z}$$

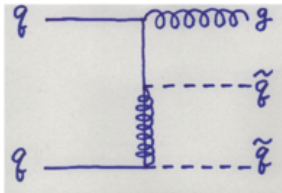
ここで, C_F は color factor.

$Z = (\text{final quark energy}) / (\text{initial quark energy})$

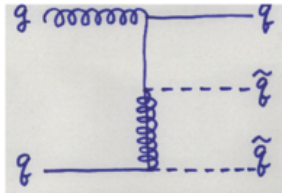
- peak は $Z = 1$ にある。
- final の hard quark は forward に出る。

Initial State Radiation of $PP \rightarrow \tilde{q}\tilde{q}$

- \tilde{q} pair production + ISR の場合。 $PP \rightarrow \tilde{q}\tilde{q}$



(1)



(2)

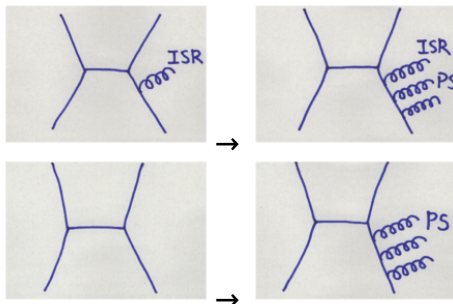
- この場合 hard quark は出ない。
 - Fig.(1) では hard quark は hard process に行く傾向がある。
 - Fig.(2) では initial state gluon は soft.

Event simulation

- 以下の simulation tool を使用。
- MadGraph
 - hard processes を生成。 ($PP \rightarrow \tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g}\tilde{g}j, \tilde{q}\tilde{q}, \tilde{q}\tilde{q}j$)
- Pythia
 - parton shower や hadronization などの soft part を生成。
 - MadGraph の option で Matching を行い、double-counting を取り除く。
- AcerDet
 - detector の特徴を再現。

Matching

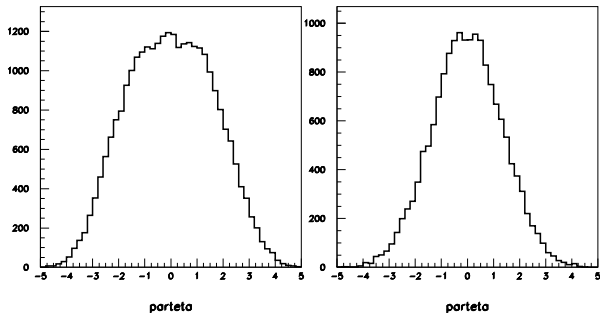
- parton shower では additional な hard jet の特徴を記述できない。
- $PP \rightarrow \tilde{g}\tilde{g}j$ と $PP \rightarrow \tilde{q}\tilde{q}j$ を計算する必要がある。
- しかし parton shower と matrix element で double-counting が起こってしまう。



- “Matching” はこの double-counting を取り除く。

Parton level distributions of $\tilde{g}\tilde{g}j$ and $\tilde{q}\tilde{q}j$

- $\tilde{g}\tilde{g}$ production では additional parton は forward に出ている。



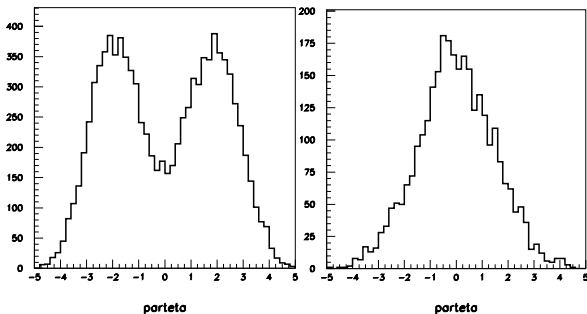
左は $\tilde{g}\tilde{g}j$. 右は $\tilde{q}\tilde{q}j$.

modelpoint は sps1a

- parton level での IRS の性質を確かめた。

Difference between $\tilde{g}\tilde{g}q$ and $\tilde{q}\tilde{q}q$

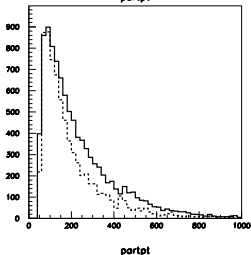
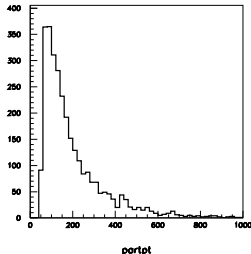
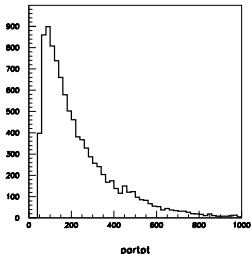
- additional な parton が quark parton のときに違いが出る。



左は $\tilde{g}\tilde{g}q$. 右は $\tilde{q}\tilde{q}q$.

Difference between $\tilde{g}\tilde{g}q$ and $\tilde{q}\tilde{q}q$

- Pt 分布にも違いが出ている。



Pt 分布.
左は $\tilde{g}\tilde{g}q$.
右は $\tilde{q}\tilde{q}q$.
下は重ねた図.

Jet level distributions

- jet level でもこれらの性質が現れるか？
- jet の数が増えると ISR からくる jet を選び出すことが困難になる。
- まずは sparticle が 2 体崩壊する場合で確認。

Analysis of two-body decay

- Strongly Interacting Gauge Mediation では Gluino は gravitino(LSP) と gluon に崩壊する。

M.Ibe et al.(Phys.Lett.B671:378-382,2009.)

hidden sector と messenger sector は strongly interacting.

Gluino は NLSP.

\tilde{g}	693GeV
\tilde{q}_R	870GeV
$\tilde{G}(\text{LSP})$	$O(10)\text{eV}$ 以下

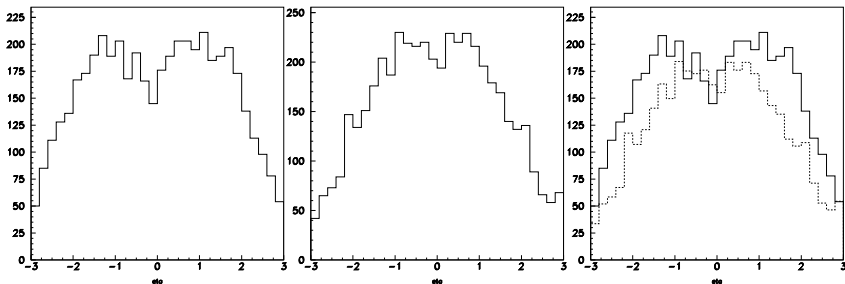
- mSUGRA では \tilde{q}_R は $\tilde{\chi}_1^0(\text{LSP})$ と quark に崩壊する。

	$m_0 = 1350\text{GeV}, m_{1/2} = 250\text{GeV}$ $\tan\beta = 10, \mu > 0, A_0 = 0\text{GeV}$
\tilde{g}	772GeV
\tilde{q}_R	693GeV
$\tilde{\chi}_1^0(\text{LSP})$	130GeV

Analysis of two-body decay

- additional jet を以下のようにして選ぶ。
 - highest P_T jet と second highest P_T jet を \tilde{g} や \tilde{q} から来た jet とみなす。
 - 他の jet のうちで最も eta が大きいものを選ぶ。 ($-3 < \eta < 3$)
 - その jet が Third jet の場合、ISR 由来の jet とみなす。
- hard な ISR が sparticle 由来の jet の次に大きい P_t を持つ状況とみなせる。

Eta distribution of the Third jet



左は $\tilde{g}\tilde{g}j$ 。真ん中は $\tilde{q}\tilde{q}j$ 。右は重ねた図。

- $(300\text{GeV} < M_{T_2} < 700\text{GeV})$ の cut を入れた。
end point 付近は ISR 由来の jet を正しく選んでいるとみなせるから。
- \tilde{g} の場合は forward に出ている。

Analysis of three-body decay

- gluino が 3 体崩壊するような場合でも見れるか?
 $PP- \rightarrow \tilde{g}\tilde{g}j- \rightarrow 5j + 2LSP$
- \tilde{q}_R は 3 体崩壊しない。

Analysis of three-body decay

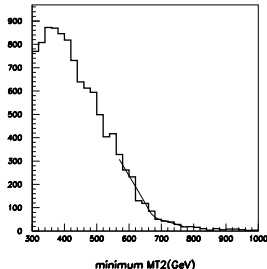
- mSUGRA の次の point では gluino が χ_1^0 (LSP) に 3 体崩壊できる。

	$m_0 = 1350\text{GeV}, m_{1/2} = 250\text{GeV}$ $\tan \beta = 10, \mu > 0, A_0 = 0\text{GeV}$
\tilde{g}	685GeV
\tilde{q}_R	1425GeV
$\tilde{\chi}_1^0$ (LSP)	102GeV

- ここでは decay を $\tilde{g} \rightarrow \chi_1^0 + u + \bar{u}$ に限る。

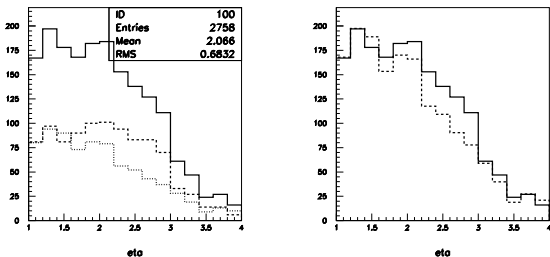
Analysis of three-body decay

- additional jet を以下のようにして選ぶ。
 - Pt の大きい方から 5 つの jet を使用。
 - 1 つの jet を除いた全ての組み合わせで最小となる M_{T2} を計算。除いた jet の PT が大きい順に $M_{T2}(1), M_{T2}(2), \dots, M_{T2}(5)$ とラベル。
 - 5 つの M_{T2} の値の中で最小のものが $M_{T2}(2), M_{T2}(3), M_{T2}(4), M_{T2}(5)$ のいずれかである場合に additional jet の eta 分布をかく。
- $M_{T2}(1)$ を採用しないのは、ISR に関係無く Pt が大きいものを除く方が M_{T2} が小さくなる傾向があるのでゴミが多いから。
- 半分以上が ISR 由来の jet.



Analysis of three-body decay

- $(500\text{GeV} < M_{T_2} < 700\text{GeV})$ の cut



左は \tilde{g} の図。右は quark 成分を引いたものとの比較。

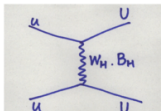
- \tilde{q}_R に 3 体崩壊する場合は無いので、additional quark の成分の振る舞いを見た。
- additional quark jet が forward に出ている。

Summary

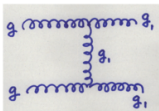
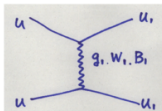
- $\tilde{g}\tilde{g}$ production の ISR は forward に出ている、 $\tilde{g}\tilde{g}$ と $\tilde{q}_R\tilde{q}_R$ の区別ができる。
- 2 体崩壊だけでなくより一般的な 3 体崩壊でも見えた。
- five jet system を用いると M_{T2} endpoint の clean up ができ、event 数も多い。(野尻さんの話で)
- この method は他の new physics process でも適用できるだろう。

Similar new physics processes

- In Little Higgs model with T parity
 - quark partner の pair production



- In UED (universal extra dimension)
 - Minimal model では hard jet が存在しない。何故なら level 1 KK の mass が縮退しているから。
 - gluon KK と quark KK の pair production



- 今回の method が適応できるか調査中。

Thank you

ご清聴ありがとうございました

Mt2

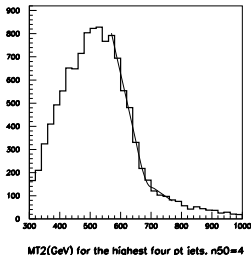
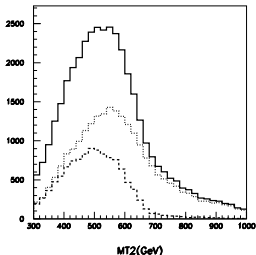
- 解析方法の 1 つに M_{T2} がある。
- process が $PP \rightarrow SS \rightarrow (p + \chi)(p + \chi)$ の場合
- p の momentum と LSP の test mass と p_χ^T から

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

- M_{T2} の end point は S の mass になる。
- test mass に対する依存性があり、LSP mass のところで kink になる。

Effect of ISR on the gluino reconstruction

- 多数の jet が出る場合 M_{T2} の endpoint が汚くなる。
- gluino が 3 体崩壊する場合 $\tilde{g} \rightarrow q + \bar{q} + \chi$

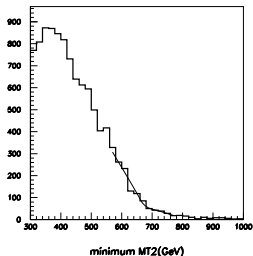


左は 4jet を用いた M_{T2} 。右は 4jet で ($n50 = 4$) の event のみを用いた M_{T2} 。

- $n50$ が 4 の event だけ使うと endpoint が綺麗になるが $n50$ が 4 の event 数は非常に少ない。
→ 次の gluino reconstruction を用いて M_{T2} の endpoint を clean up

Effect of ISR on the gluino reconstruction

- Pt の大きい方から 5 つの jet を使用。
- 1 つの jet を除いた全ての組み合わせで最小となる M_{T2} を計算。除いた jet の PT が大きい順に $M_{T2}(1), M_{T2}(2), \dots, M_{T2}(5)$ とラベル。
- 5 つの M_{T2} の値の中で最小のものが $M_{T2}(3), M_{T2}(4), M_{T2}(5)$ のいずれかである場合にその M_{T2} を採用。

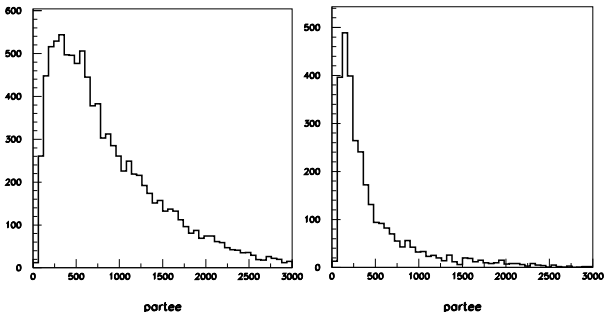


- ($n_{50} = 4$) は event 数が少ないが five jet system は event 数が多い。

おまけ

Difference between $\tilde{g}\tilde{g}q$ and $\tilde{q}\tilde{q}q$

- このとき eta 分布だけでなく energy や Pt 分布に違いが出ていることも確認できる。



energy 分布. 左は $\tilde{g}\tilde{g}q$. 右は $\tilde{q}\tilde{q}q$.

modelpoint

sps1a
m0 100GeV
 $m_{1/2}$ 250GeV
tanbeta(mZ) 10
sign(mu) $\mu > 0$
A0 -100GeV
Mass Spectrum(GeV)
 \tilde{g} 607.713704
 \tilde{d}_L 568.441109
 \tilde{d}_R 545.228462
 \tilde{u}_L 561.119014
 \tilde{u}_R 549.259265
 \tilde{s}_L 568.441109
 \tilde{s}_R 545.228462
 \tilde{c}_L 561.119014
 \tilde{c}_R 549.259265
 $\tilde{\chi}_{10}$ (LSP) 96.6880686
Decay
制限無し

squark right2 体崩壊の modelpoint

m0 130GeV
 $m_{1/2}$ 325GeV
tanbeta(mZ) 10
sign(mu) $\mu > 0$
A0 -130GeV
Mass Spectrum(GeV)
 \tilde{g} 772.289089
 \tilde{d}_L 719.760182
 \tilde{d}_R 691.746123
 \tilde{u}_L 715.457475
 \tilde{u}_R 693.094233
 \tilde{s}_L 719.760182
 \tilde{s}_R 691.746123
 \tilde{c}_L 715.457475
 \tilde{c}_R 693.094233
 $\tilde{\chi}_{10}$ (LSP) 129.671462
 h^0 113.148132
Decay
特に制限せず作った。

gluino2 体崩壊の modelpoint

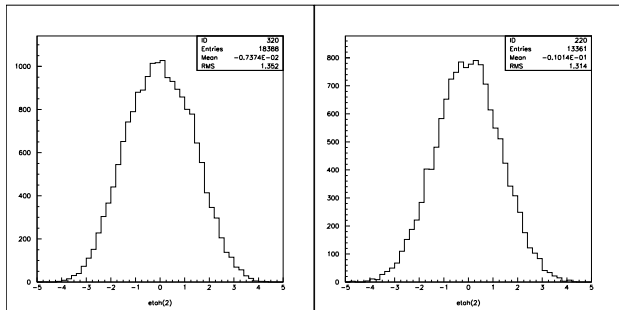
Λ_{SUSY} 100TeV
 Λ_{mess} 200TeV
tanbeta(mZ) 10
sign(mu) $\mu > 0$
 N_{mess} 1
Mass Spectrum(GeV)
 \tilde{g} 846.780839
 \tilde{d}_L 1118.58526
 \tilde{d}_R 1066.01516
 \tilde{u}_L 1115.88964
 \tilde{u}_R 1069.75228
 \tilde{s}_L 1118.58526
 \tilde{s}_R 1066.01516
 \tilde{c}_L 1115.88964
 \tilde{c}_R 1069.75228
 \tilde{G} (LSP) 1.000
 $\tilde{\chi}_{10}$ 139.513550
 h^0 113.066294
Decay
 $\tilde{g} \rightarrow \tilde{G} + g$

gluino3 体崩壊の modelpoint

m0 1350GeV
 $m_{1/2}$ 250GeV
tanbeta(mZ) 10
sign(mu) $\mu > 0$
Mass Spectrum(GeV)
 \tilde{g} 685.011265
 \tilde{d}_L 1427.95332
 \tilde{d}_R 1425.69286
 \tilde{u}_L 1425.82243
 \tilde{u}_R 1425.04752
 \tilde{s}_L 1427.95332
 \tilde{s}_R 1425.69286
 \tilde{c}_L 1425.82243
 \tilde{c}_R 1425.04752
 $\tilde{\chi}_{10}$ (LSP) 101.653445
 h^0 114.330585
Decay
 $\tilde{g} \rightarrow \tilde{\chi}_{10} + u + ub$

parton level の解析

- additional parton が gluino のときは両方とも中央にある。



左が gluino+gluino+jet の図。右が squark+squark+jet の図。