

LHCでのミニブラックホール

兼田 充

東京大学素粒子センター

@LHCが切り拓く新しい物理

概要

- LHCでのミニブラックホール
- 現在用いてるモデルとその問題点
- ATLAS実験での発見能力
- Thermalである条件
- String ball
- High P_T object のキャリブレーション
- まとめ



LHCでのミニブラックホール

- もし、余剰次元が存在し、余剰次元を含めた時空でのプランクスケール M_D が $\sim \text{TeV}$ であるとLHCで TeV スケールのミニブラックホールが生成する可能性がある (Dimopoulos & Landsberg, hep-ph/0106295)
 - 粒子衝突のインパクトパラメーター b がシュワルトシルト半径 r_h の2倍より小さいとブラックホールが生成
 - 生成断面積: $\sigma \sim \pi r_h^2$ ($r_h \sim 1/M_D \sim 1/\text{TeV} \rightarrow \sigma \sim 100 \text{pb}$)
 - ただし、これは半古典近似のもとで成り立っており
 $M_{\text{BH}} \gg M_D$ でのみ有効
- この様に生成されたブラックホールは $\sim 10^{-26} \text{s}$ のうちに大量の高エネルギー粒子を放出して崩壊する
- 崩壊過程は以下の4段階に分けられる
 - Balding phase: 主にグラビトンの放出によって”毛”(多重極モーメント)を失う
 - Spin down phase: high-spin状態の粒子を放出して大きく角運動量を失う
 - Schwarzschild phase: ホーキング輻射
 - Planck phase: $M_{\text{BH}} \sim M_D$ の状態



現在用いてるモデル

➤ ブラックホールジェネレーター: CHARYBDIS (hep-ph/0307305)

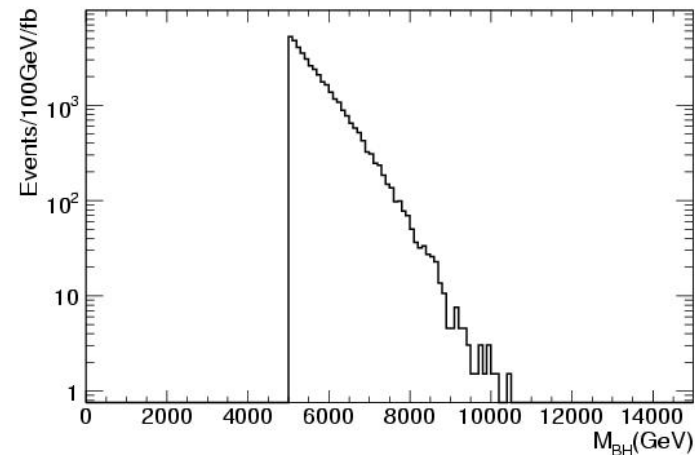
➤ 生成断面積 $\sigma = \pi r_h^2$ ($r_h = \frac{1}{\sqrt{\pi} M_D} \left[\frac{M_{BH}}{M_D} \left(\frac{8\Gamma((n+3)/2)}{n+2} \right) \right]^{\frac{1}{1+n}}$, n : 余剰次元の数)

➤ ブラックホールの生成下限値はフリーパラメーター

➤ 生成時のブラックホールの角運動量は無視し、最初の二つの崩壊phaseは行わない
崩壊時に標準理論の粒子だけを放出

➤ グラビトンは放出しない

➤ Planck phase になった後は単に2体崩壊を行う



Charybdisで生成した
Blackholeの質量分布

現在用いてるモデルと問題点

➤ ブラックホールジェネレーター: CHARYBDIS (hep-ph/0307305)

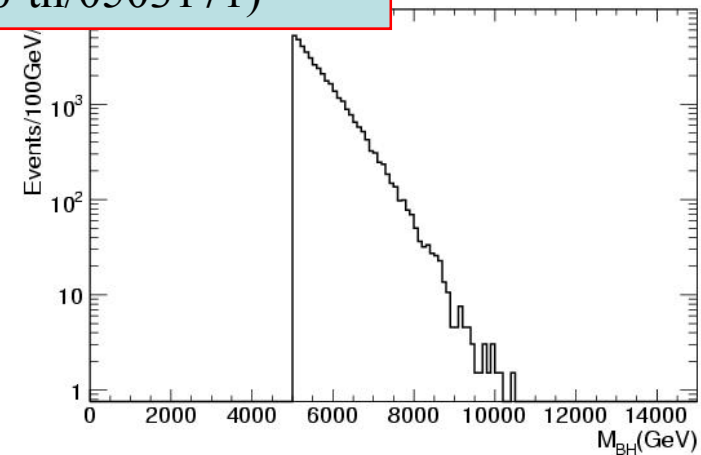
➤ 生成断面積 $\sigma = \pi r_h^2$ ($r_h = \frac{1}{\sqrt{\pi} M_D} \left[\frac{M_{BH}}{M_D} \left(\frac{8\Gamma((n+3)/2)}{n+2} \right) \right]^{\frac{1}{1+n}}$, n: 余剰次元の数)

➤ ブラックホール
• 実際には余剰次元の数によって0.5~2のファクターの違いがある (gr-qc/0201034, gr-qc/0209003, hep-th/0503171)

➤ 生成時のブラックホールの再運動量は無視し、最初の二つの崩壊phaseは行わない
崩壊時に標準理論の粒子だけを放出

➤ グラビトンは放出しない

➤ Planck phase になった後は単に2体崩壊を行う



Charybdisで生成した
Blackholeの質量分布

現在用いてるモデルと問題点

➤ ブラックホールジェネレーター: CHARYBDIS(hep-ph/0307305)

➤ 生成断面積 $\sigma = \pi r_h^2$ ($r_h = \frac{1}{\sqrt{\pi} M_D} \left[\frac{M_{BH}}{M_D} \left(\frac{8\Gamma((n+3)/2)}{n+2} \right) \right]^{\frac{1}{1+n}}$, n: 余剰次元の数)

➤ ブラックホール • ADD Model, Dimopoulos & Landsberg の用いた定義:

$$M_D = 1/G_D \quad (G_D: D \text{次元での重力定数})$$

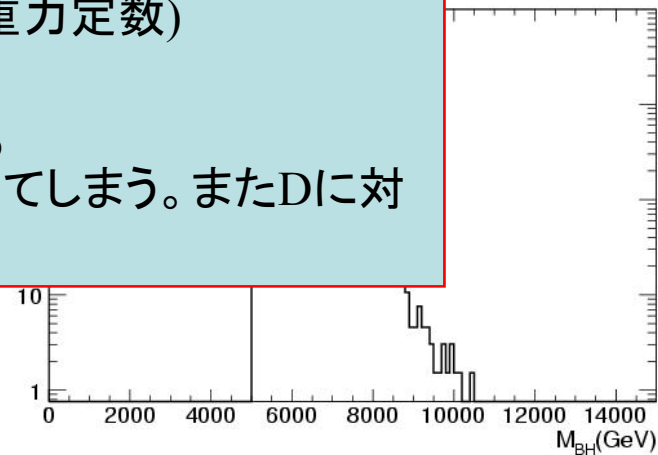
➤ 生成時のブラックホールは、最初は無視し、最初の崩壊時に標準的にグラビトンを生成する

• PDG等では

$$M_D = (2\pi)^{D-4} / 8\pi G_D$$

• この違いによって xsec が数 10% 変わってしまう。また D に対する依存性も変わってしまう

➤ Planck phase になった後は単に 2 体崩壊を行う



Charybdis で生成した Blackhole の質量分布

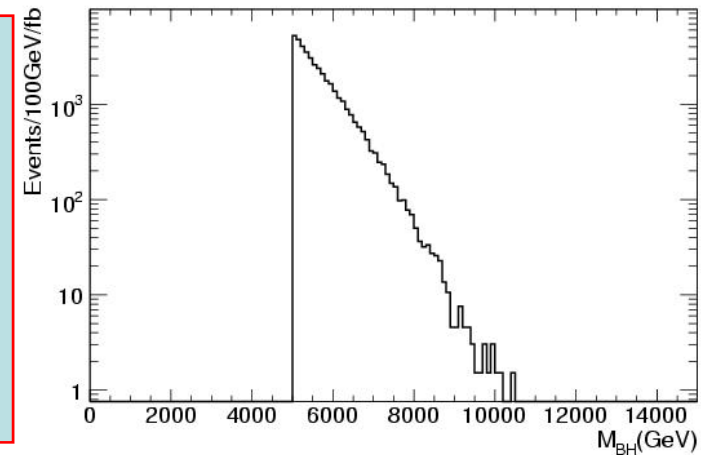
現在用いているモデルと問題点

➤ ブラックホールジェネレーター: CHARYBDIS (hep-ph/0307305)

➤ 生成断面積 $\sigma = \pi r_h^2$ ($r_h = \frac{1}{\sqrt{\pi} M_D} \left[\frac{M_{BH}}{M_D} \left(\frac{8\Gamma((n+3)/2)}{n+2} \right) \right]^{\frac{1}{1+n}}$, n : 余剰次元の数)

➤ **ブラックホールの生成下限値はフリーパラメーター**

- 適当な所から急にブラックホールが生成する様なものを考えている(右図)
- M_{BH} は $>M_D$ であればどこでもとれる ($M_{BH} > x_{\min} M_D$, $x_{\min} > 1$)
- M_{BH} の下限値何で決まるのか?
- $M_D - M_{BH}$ の下限値までの間に何も起こらないのか?
→ 後述



Charybdisで生成した
Blackholeの質量分布

現在用いているモデルと問題点

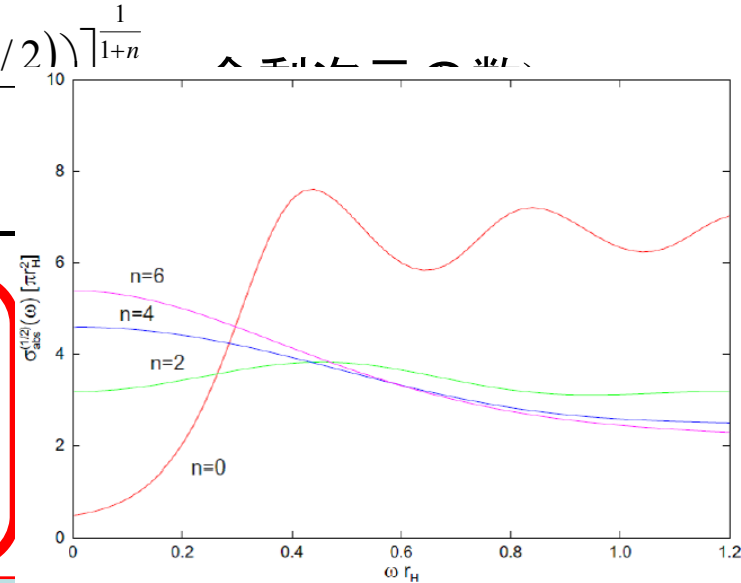
➤ ブラックホールジェネレーター: CHARYBDIS (hep-ph/0307305)

➤ 生成断面積 $\sigma = \pi r_h^2 \left(r_h = \frac{1}{\sqrt{\pi} M_D} \left[\frac{M_{BH}}{M_D} \left(\frac{8\Gamma((n+3)/2)}{n+2} \right)^{\frac{1}{1+n}} \right] \right)^2$

➤ ブラックホールの生成下限値はフリーパラメータ

➤ 生成時のブラックホールの角運動量は無視し、最初の二つの崩壊phaseは行わない
崩壊時に標準理論の粒子だけを放出

➤ グラビトンは放出しない



Gray-body factor for fermion
横軸: エネルギー x シュワルツシルト半径
縦軸: $4\pi r_H^2$ が完全な黒体輻射に対応

- 最近、balding phaseやグラビトン放出を扱えるジェネレーターは出来ている
- $n=2$ だとニュートリノに比べてミッシングの起源としては小さいが、 n が大きくなると大量に放出される様になり無視できない (hep-ph/0512116)
- ただ、回転しているブラックホールからのグラビトン放出に対するスペクトルの補正 (gray-body factor) の計算が今のところ出来てない

Charybdisで生成した
Blackholeの質量分布

現在用いてるモデルと問題点

➡ ブラックホールジェネレーター: CHARYBDIS (hep-ph/0307305)

➡ 生成断面積 $\sigma = \pi r_h^2$ ($r_h = \frac{1}{\sqrt{\pi} M_D} \left[\frac{M_{BH}}{M_D} \left(\frac{8\Gamma((n+3)/2)}{n+2} \right) \right]^{\frac{1}{1+n}}$, n: 余剰次元の数)

➡ ブラックホールの生成下限値はフリーパラメーター

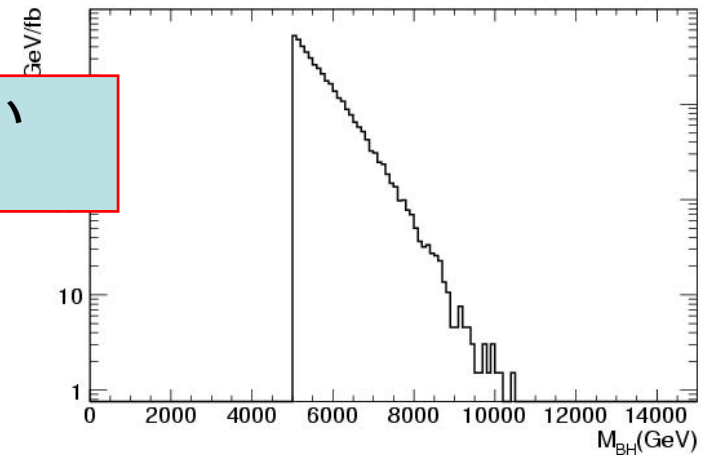
➡ 生成時のブラックホールの角運動量は

無視し、最初の二つ
崩壊時に標準理論の

- 量子重力理論が必要で難しい
- String ball?

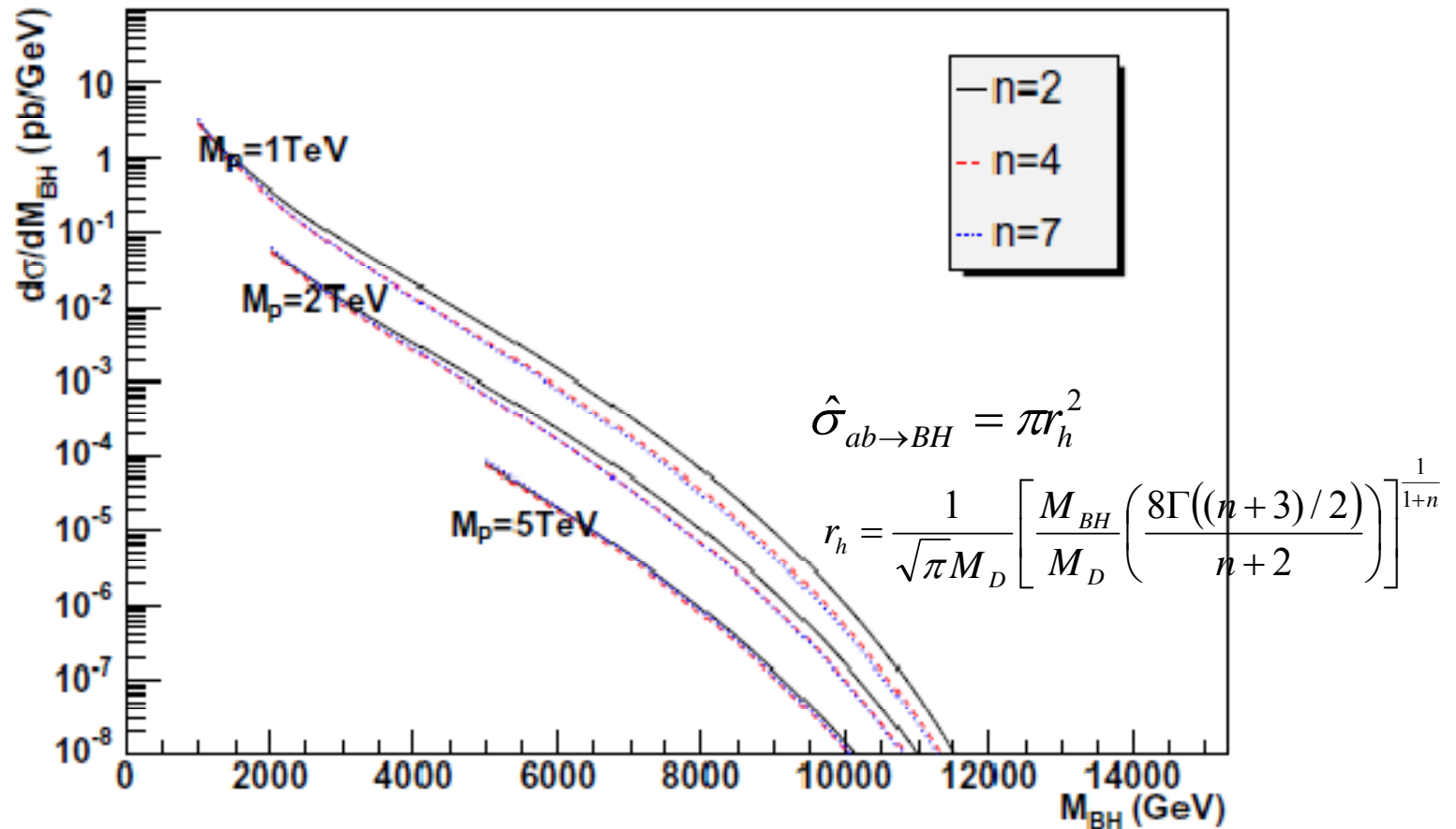
➡ グラビトンは放出しない

➡ Planck phase になった後は単に2体崩壊を行う



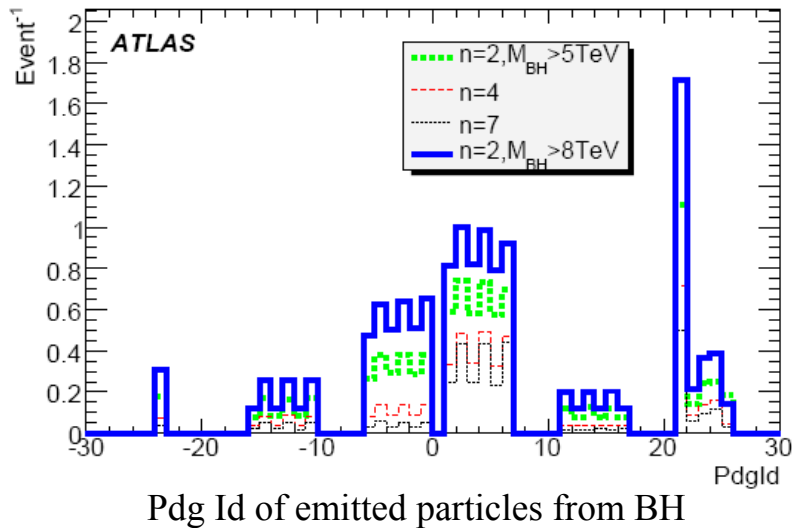
Charybdisで生成した
Blackholeの質量分布

生成断面積



14TeV衝突におけるブラックホールの生成断面積

放出粒子



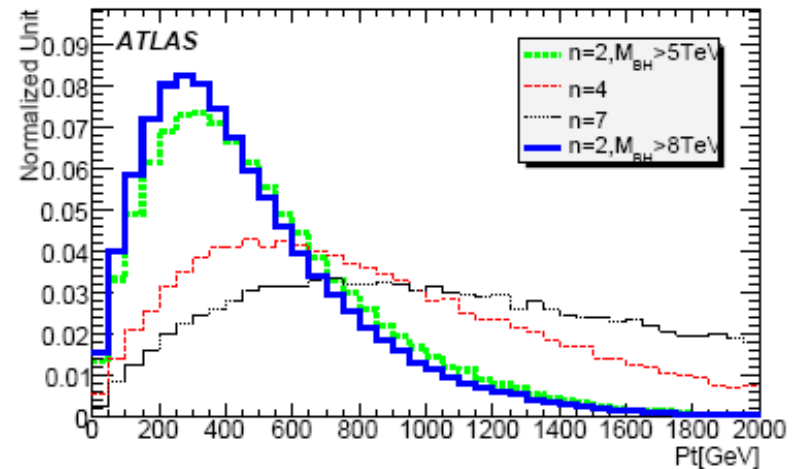
- 非常に高エネルギーの粒子を放出
- 余剰次元の大きい方がエネルギー高い粒子を放出

■ 放出粒子が少なくなる

$$\frac{dN}{dE} \propto \frac{(E/T_H)^2}{\exp(E/T_H) + c} \leftarrow \begin{matrix} \text{Hawking Temperature} \\ = -1(1) \text{ for boson(fermion)} \end{matrix}$$

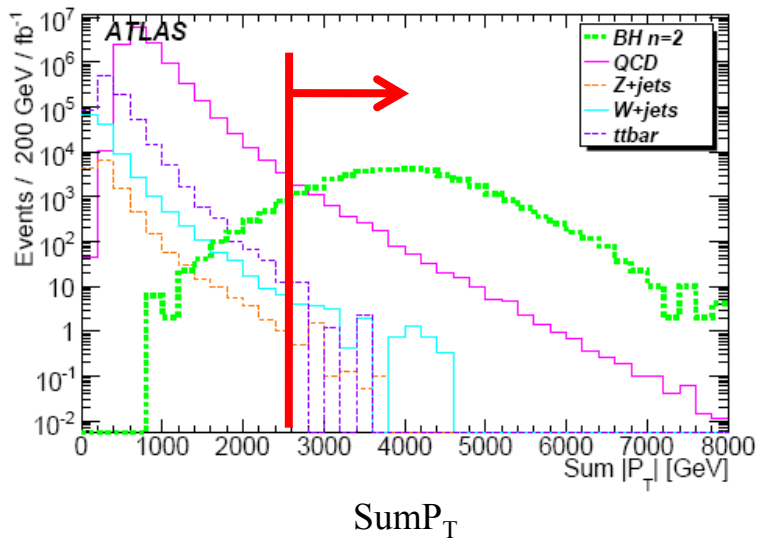
$$T_H = M_P \left[\frac{M_D}{M_{BH}} \left(\frac{n+2}{8\Gamma((n+3)/2)} \right) \right]^{2/(1+n)}$$

- ブラックホールからの放出粒子
- ほとんどはホーキング放射でその放射率は自由度のみによって決まる
- 完全なdemocratic decayが破れてるのはgray-body factorやremnantの扱い、電化、カラー、バリオン数の保存による



P_T distribution of particles from BH

イベントセレクション1: Sum P_T

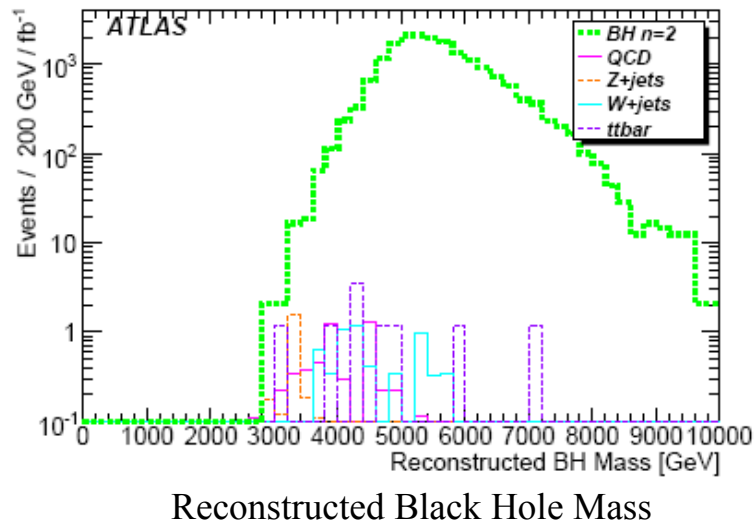


- Sum P_T selection
 - Sum P_T ($\sum_{\text{all}} P_T$) > 2.5 TeV
 - P_T > 50 GeV のレプトンを要求
- Particle multiplicityに依存しない
- ブラックホールの4元運動量はイベント中の全粒子の和 (P_T, >15 GeV for e, μ, γ, >20 GeV for jet)
- Missing ET も P_Z=0の粒子として加える

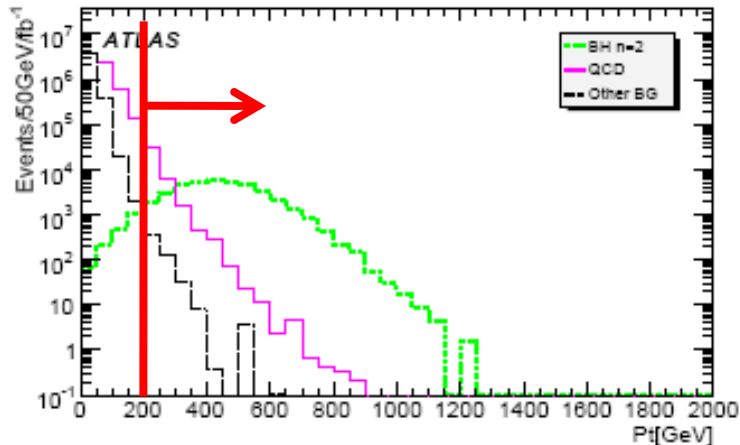
Event Efficiency: Sum P_T selection

Dataset	Before selection (fb)	$\sum p_T > 2.5 \text{ TeV}$ (fb)	After requiring a lepton acceptance (fb)	acceptance
$n = 2, m > 5 \text{ TeV}$	$40.7 \pm 0.1 \times 10^3$	$39.2 \pm 0.3 \times 10^3$	$18.6 \pm 0.2 \times 10^3$	0.46
$n = 4, m > 5 \text{ TeV}$	$24.3 \pm 0.1 \times 10^3$	$22.6 \pm 0.2 \times 10^3$	6668 ± 83	0.27
$n = 7, m > 5 \text{ TeV}$	$22.3 \pm 0.1 \times 10^3$	$20.1 \pm 0.2 \times 10^3$	3574 ± 60	0.17
$n = 2, m > 8 \text{ TeV}$	338.2 ± 1	338.1 ± 2.5	212 ± 16	0.63
$t\bar{t}$	$833 \pm 100 \times 10^3$	$23.6^{+12.2}_{-6.7}$	$8.2^{+2.43}_{-2.43}$	9.8×10^{-6}
QCD dijets	$12.8 \pm 3.7 \times 10^6$	5899^{+1773}_{-1771}	$5.37^{+3.25}_{-2.02}$	4.3×10^{-7}
$W_{\ell\nu} + \geq 2 \text{ jets}$	$1.9 \pm 0.04 \times 10^6$	$12.3^{+9.0}_{-1.8}$	$4.67^{+8.75}_{-0.93}$	2.4×10^{-6}
$Z_{\ell\ell} + \geq 3 \text{ jets}$	$51.8 \pm 1 \times 10^3$	$2.75^{+2.02}_{-2.01}$	$2.57^{+0.95}_{-0.64}$	5.0×10^{-5}

Table 6: Acceptance for each signal and background dataset in fb after requiring $\sum |p_T| > 2.5 \text{ TeV}$, and a lepton with $p_T > 50 \text{ GeV}$.



イベントセレクション2: Multi Object



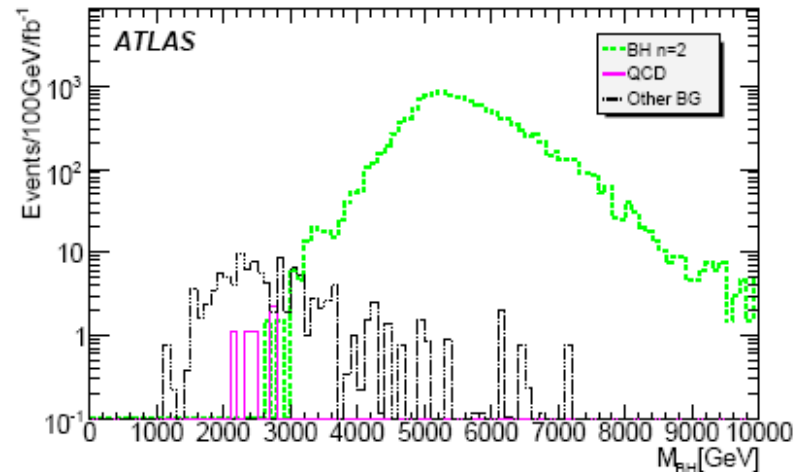
P_T distribution of 4th leading particle

- Multi Object selection
 - $P_T > 200 \text{ GeV}$ の粒子を4つ要求
 - そのうち最低一つはレプトン
- High multiplicityを要求するのでnが大きい所ではefficiencyが落ちる

Event Efficiency: Multi Object selection

Dataset	Before selection (fb)	After multi-object requirement (fb)	After lepton requirement (fb)	Acceptance
$n = 2, m > 5 \text{ TeV}$	40.7×10^3	$38.9 \pm 0.4 \times 10^3$	$14.0 \pm 0.2 \times 10^3$	0.34
$n = 4, m > 5 \text{ TeV}$	24.3×10^3	$17.9 \pm 0.3 \times 10^3$	4521 ± 126	0.19
$n = 7, m > 5 \text{ TeV}$	22.3×10^3	9953 ± 185	1956 ± 82	0.087
$n = 2, m > 8 \text{ TeV}$	338	338 ± 4	164 ± 3	0.49
$t\bar{t}$	833×10^3	129 ± 27	36_{-9}^{+12}	4.3×10^{-5}
QCD dijets	12.8×10^6	$38.9 \pm 1.9 \times 10^3$	6_{-3}^{+107}	5.6×10^{-7}
W+jets	560×10^3	99_{-22}^{+28}	56_{-13}^{+24}	1×10^{-3}
Z+jets	51.8×10^3	29_{-4}^{+90}	19_{-3}^{+90}	4×10^{-4}
$\gamma(\gamma)$ +jets	5.1×10^6	285_{-76}^{+87}	0_{-0}^{+40}	$< 10^{-5}$

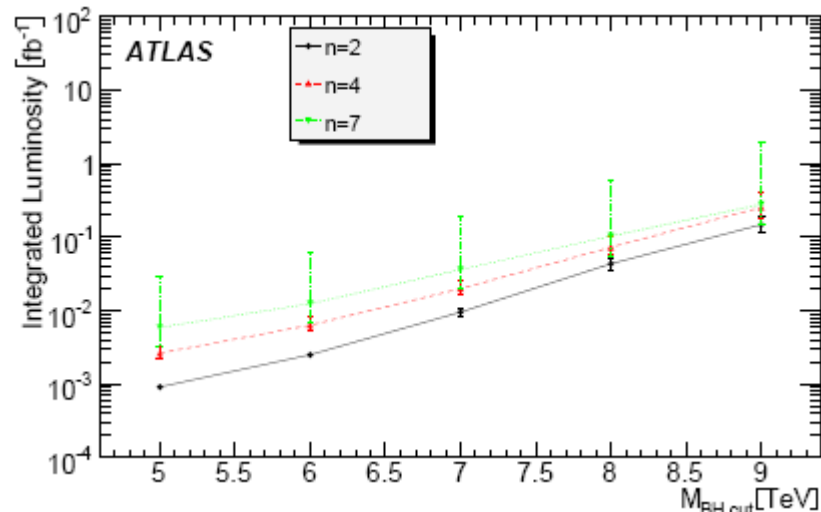
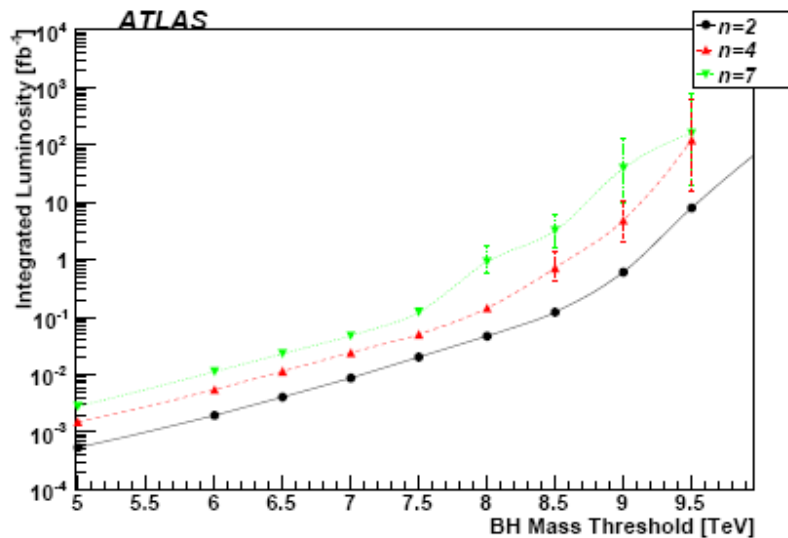
Table 7: Acceptance of the 4-object requirements for each dataset in fb. 90% confidence limits are used when no events passed the requirements.



Reconstructed Black Hole Mass

$M_D=1\text{TeV}$ におけるブラックホールの発見能力($s=14\text{TeV}$)

図の縦軸: $S/\sqrt{B} > 5$ && $S > 10$ に必要な積分ルミノシティ

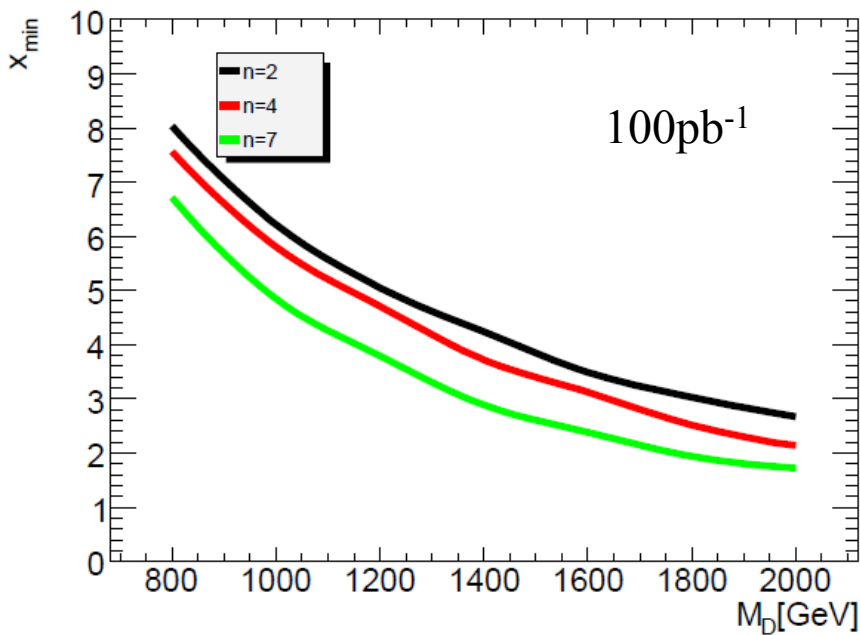


- Discovery Potential with SumP_T selection
- 横軸: $x_{\min}M_D$

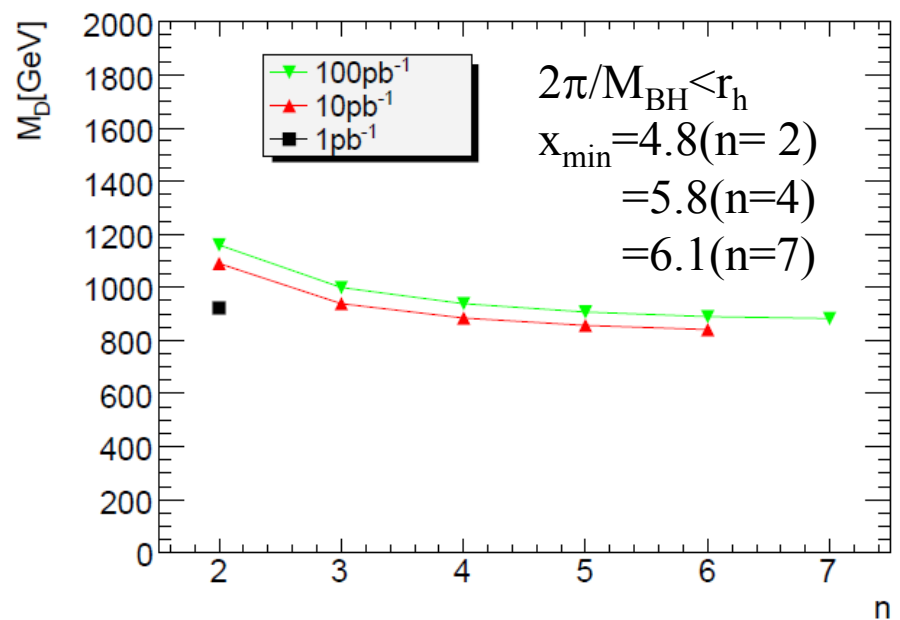
- Discovery Potential with Multi Object Selection
- 横軸: M_{BH} に対するcutの追加のイベントセレクション

5TeV ブラックホールは数 pb^{-1} で十分発見出来る

重心系10TeVでのシミュレーション



10TeVの実験で走った時、Multi objectsのイベントセレクションでシグナルらしいイベントが見つからなかった時に90%CLで付けられるリミット

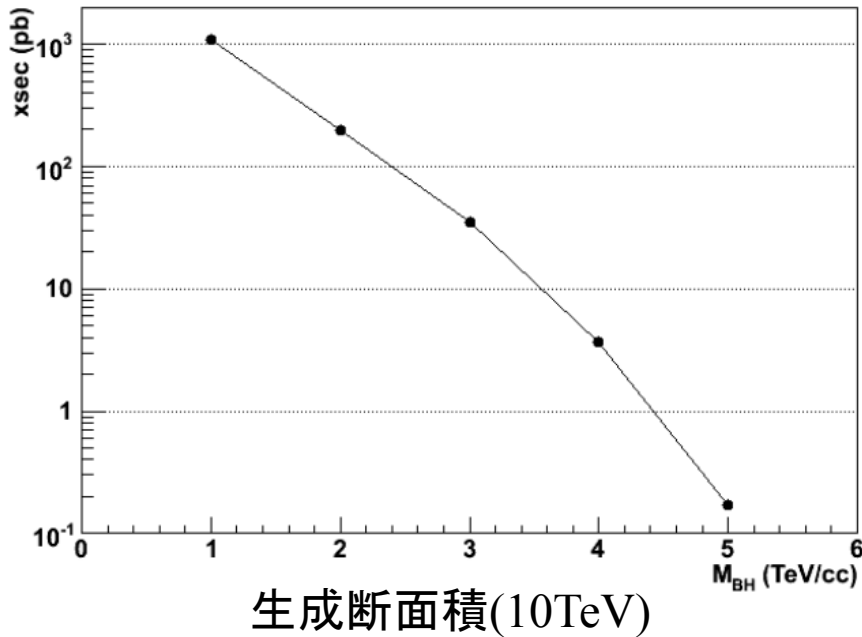


上記の様なx_{min}に対する条件を仮定した場合の余剰次元とプランクスケールに対してつけられるリミット領域

ブラックホールがThermalである条件

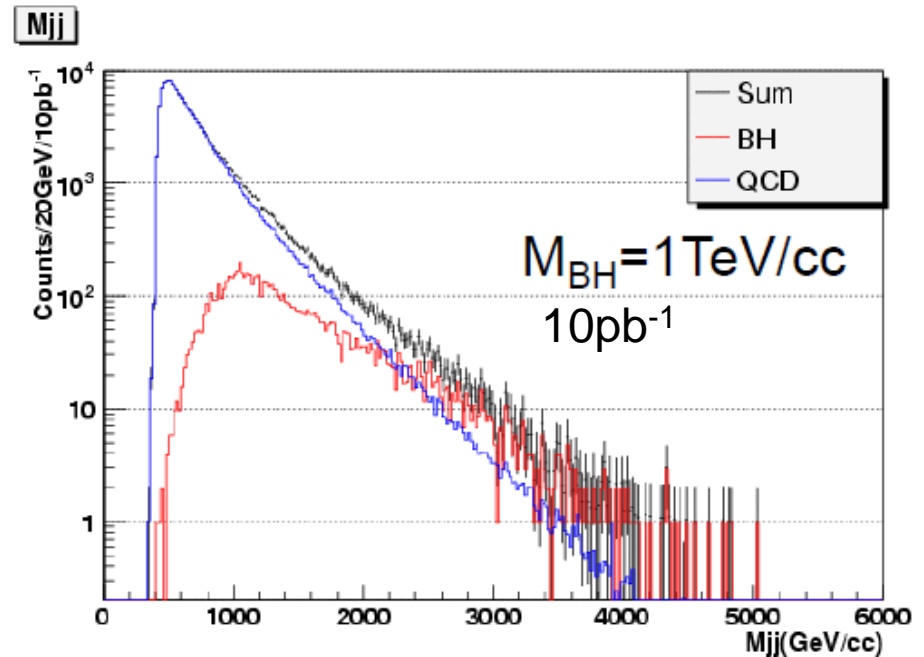
- Mende & Randallの論文(hep-ph/0708.3017)に議論がある
 - 入射粒子のコンプトン波長が生成されるシュワルツシルト半径以下(ここでの M_D はPDG)
 - $2\pi/(M_{BH}/2) < r_h \rightarrow M_{BH} > 4M_D$ (n=6) (DL:>11 M_D , RS:>16M)
 - 生成物自身のコンプトン波長がシュワルツシルト半径以下
 - $2\pi/M_{BH} < r_h \rightarrow M_{BH} > 2M_D$
 - ブラックホールの寿命 $\tau = 0.7 \times x_{min}^{9/7}/M_D > 1/M_D$ (n=2): $M_{BH} > 1.3M_D$
 - 各自由度が持っていくエネルギーが全体のエネルギー以下
 - 1粒子1自由の要求で $M_{BH} > 2M_D$
 - 3粒子を要求すれば1自由度でも $M_{BH} > 6M_D$
 - 上記の様に特に多体崩壊する(Thermalな)ブラックホールの生成には強く制限がかかる可能性がある
 - 放出粒子数が多い方が生成する可能性は少ない
 - 完全なブラックホールにならない場合でもなんらかの重力相互作用の効果が見える可能性がある
 - これらを2体崩壊探索こそが重要と言う結論

di-jet 崩壊の探索



- ジェネレーター:BlackMax
- プランクスケール:RSモデル(n=1)
- 左図は10TeVの重心系エネルギー衝突時の生成断面積
- BlackMaxではこれを全て2体崩壊している

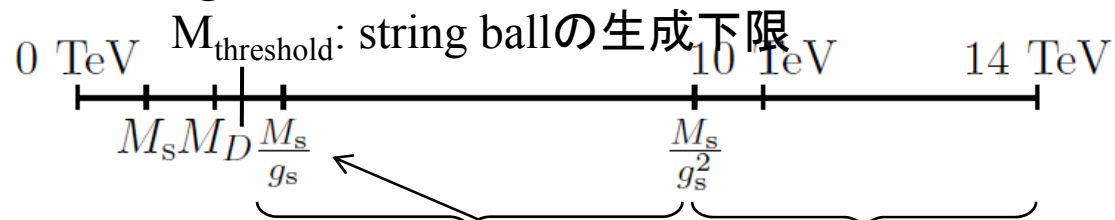
- 右図はdi-jetのinvariant mass
- イベントセレクション:
P_T of Jet > 0.25 x M_{BH}



String ball

➤ $M_D \sim X_{\min} M_D$ の物理の候補の一つが **String ball**

➤ String ball に関するエネルギースケール



g_s : String coupling < 1
 M_s : String scale $< M_D$
 $M_D^{n+2} \sim M_s^{n+2}/g_s^2$

String ballの生成

ブラックホール生成

摂動弦理論が効く上限

➤ 生成断面積

$$\hat{\sigma} = \begin{cases} \frac{g_s^2 M^2}{M_s^4} & M_s \ll M \leq \frac{M_s}{g_s}, \\ \frac{1}{M_s^2} & \frac{M_s}{g_s} \leq M \leq \frac{M_s}{g_s^2}, \\ \pi \frac{f^2(n)}{M_D^2} \left(\frac{M}{M_D}\right)^{\frac{2}{n+1}} & \frac{M_s}{g_s} < M. \end{cases} \quad f(n) \equiv \left[\frac{2^n \pi^{\frac{n-3}{2}} \Gamma\left(\frac{n+3}{2}\right)}{n+2} \right]^{\frac{1}{n+1}}$$

➤ 崩壊

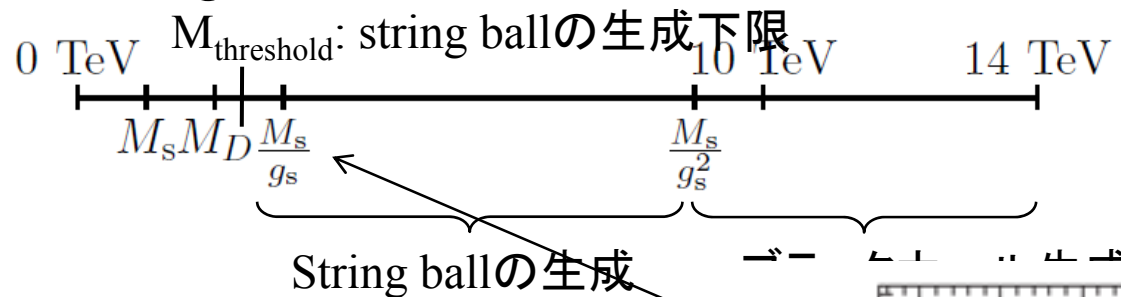
➤ Hagedorn温度 ($T_s = M_s/8^{1/2}\pi$) による輻射 (黒体輻射と同じ記述)

➤ Random-walk phase: String長 $l_s = 1/M_s$ になったとき

String ball

➤ $M_D \sim X_{\min} M_D$ の物理の候補の一つが **String ball**

➤ String ball に関するエネルギースケール



g_s : String coupling < 1
 M_S : String scale $< M_D$
 $M_D^{n+2} \sim M_S^{n+2}/g_s^2$

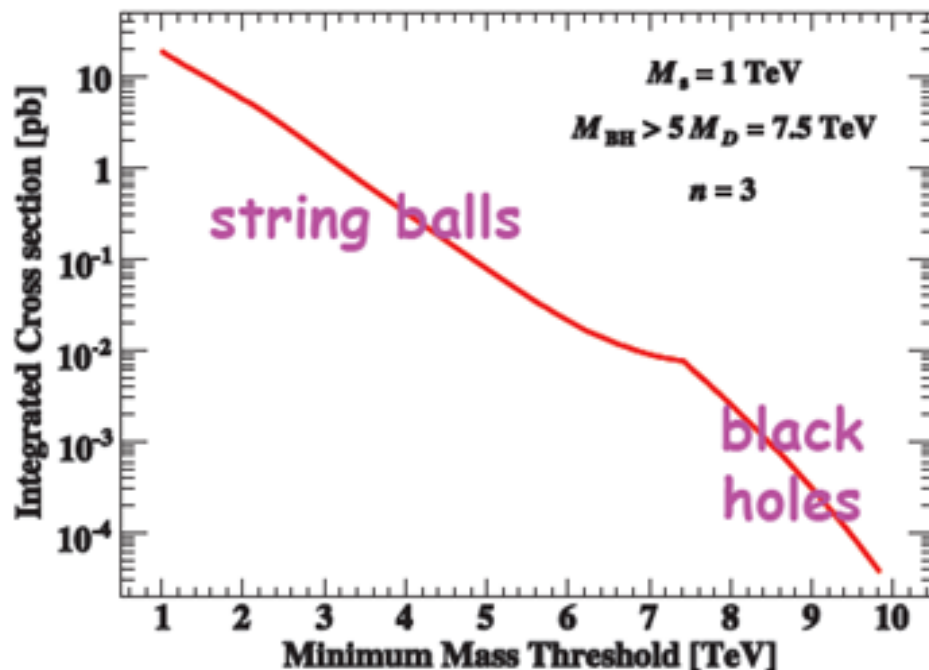
➤ 生成断面積

$$\hat{\sigma} = \begin{cases} \frac{g_s^2 M^2}{M_S^4} & M_S \ll M \leq \frac{M_S}{g_s}, \\ \frac{1}{M_S^2} & \frac{M_S}{g_s} \leq M \leq \frac{M_S}{g_s^2}, \\ \pi \frac{f^2(n)}{M_D^2} \left(\frac{M}{M_D}\right)^{\frac{2}{n+1}} & \frac{M_S}{g_s^2} < M. \end{cases}$$

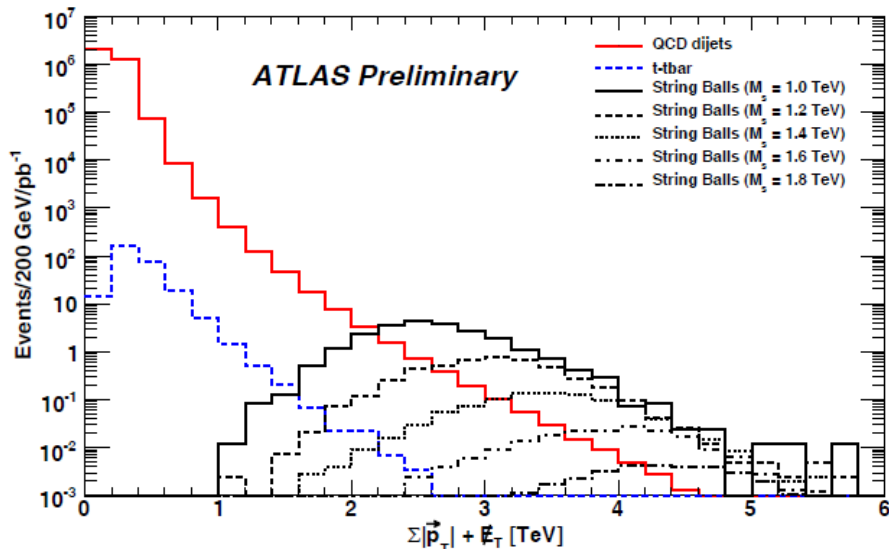
➤ 崩壊

➤ Hagedorn温度 ($T_s = M_S/8^{1/2}\pi$)

➤ Random-walk phase: String



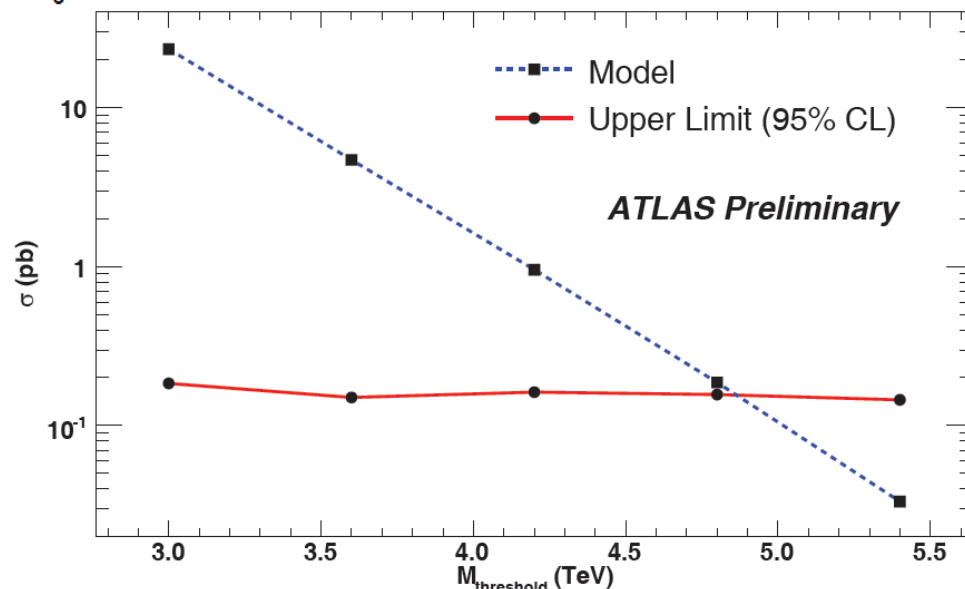
String ball



- イベントトポロジーはブラックホールと同じ (high energy, high multiplicity)
- イベント中の全粒子の P_T 和とmissing E_T を足したもの(左図)をセレクションで用いる

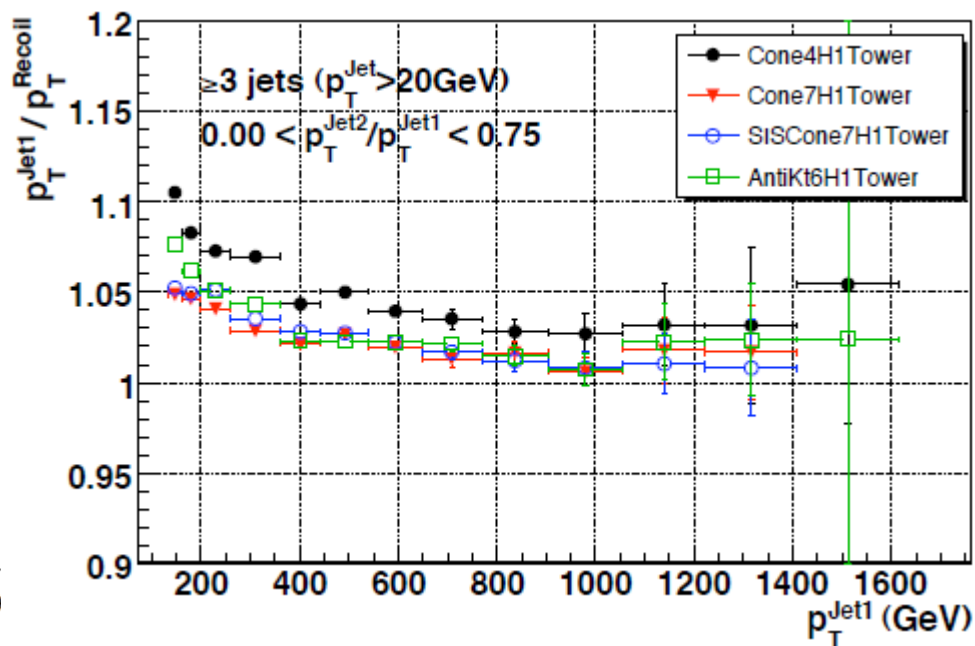
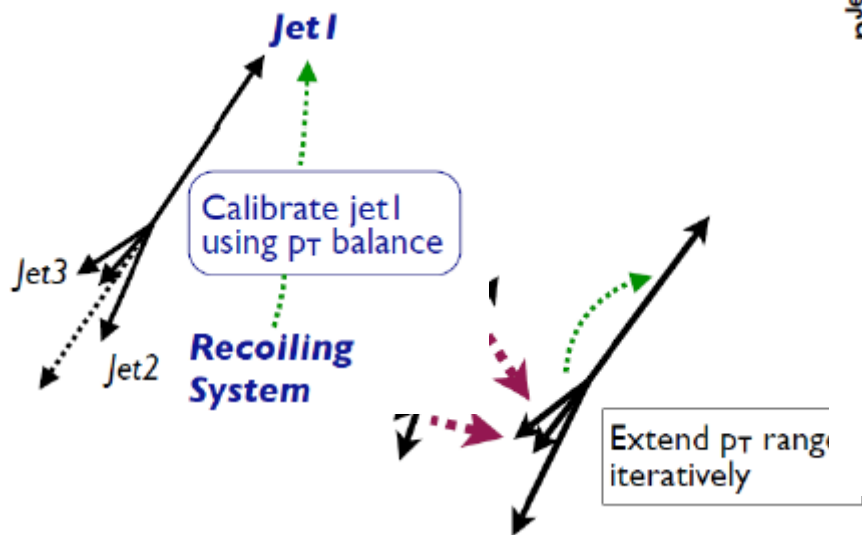
右図は 100pb^{-1} でシグナルらしいイベントが観測されなかった時に付けられるリミット

$M_{\text{threshold}} > 3M_S$, $g_s = 0.37$ ($n=3$) の仮定のもと (hep-ph/0808.2512), 100pb^{-1} で $M_S < 1.6\text{TeV}$, $M_D < 2.4\text{TeV}$ まで見える



High- P_T Objectsのキャリブレーション

- ブラックホールから放出される粒子は非常にエネルギーが高い(>200GeV)
- ブラックホールは生成断面積が大きく、実験初期のデータで発見の議論が出来る為、早急にこれらエネルギーの高い粒子のキャリブレーションを行うことが重要である
- 下はHighest P_T のジェットと反対側の小さなジェットの和のバランスを使ったキャリブレーション方法
 - ある P_T のジェットをキャリブレーション出来るとさらに大きな P_T のジェットの伽リブレーションが行える
 - 右図は 200pb^{-1} , >400GeVで<5%の精度で出来る



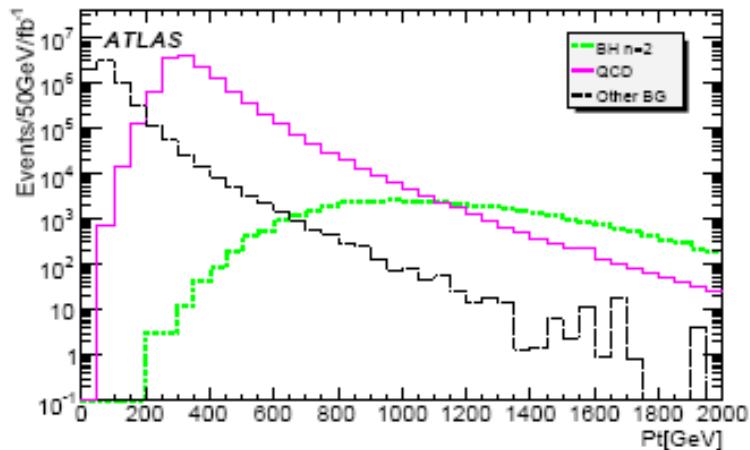
まとめ

- 余剰次元が存在し、実際にはプランクスケールがTeV程度であれば~TeVのミニブラックホールが生成される可能性がある
- LHCはこの様なブラックホールを史上初めて直接生成可能なエネルギーを達成できる加速器であり、ATLAS検出器では、その特徴的なイベントにより非常に早い段階で発見出来る可能性がある
 - $2\pi/M_{\text{BH}} < r_h$ の仮定のをすると、 10pb^{-1} で $n=2$ に対して $M_D > 1.1\text{TeV}$,
 100pb^{-1} で $n=7$ に対して $M_D > 0.9\text{TeV}$
- ブラックホールの生成下限値については大きな不定性がある
 - Thermalなブラックホールの生成はLHCでは難しいかもしれない
 - 2体崩壊の探索でなんらかの重力相互作用に関する新しい現象が見える可能性がある
 - ブラックホールの生成下限値以下ではString ballが生成される可能性もあり、この場合、さらに発見しやすくなる
- 実験的な面では、非常に高いエネルギーの粒子を扱うのでこれらのキャリブレーション方法を確立し、実験の初期の段階で行うことが重要

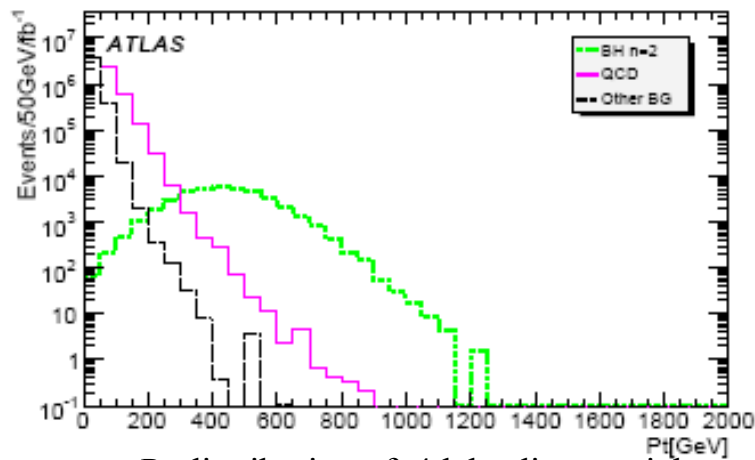


Backup

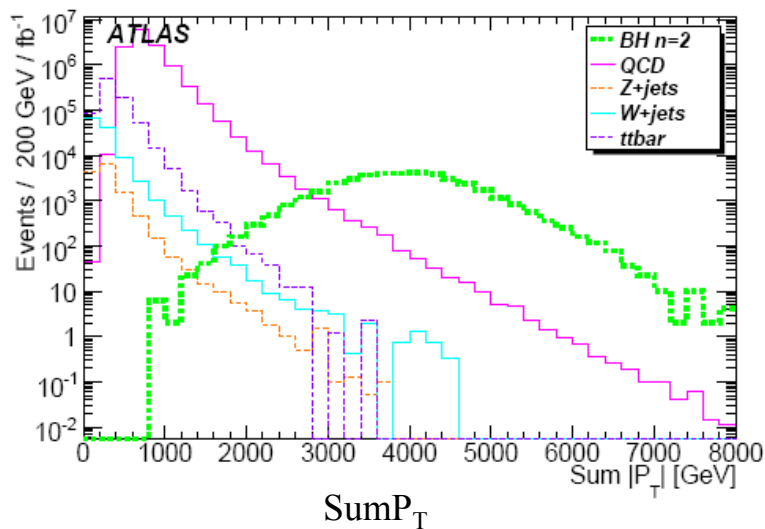
P_T of Particles observed in Events



P_T distribution of leading particle

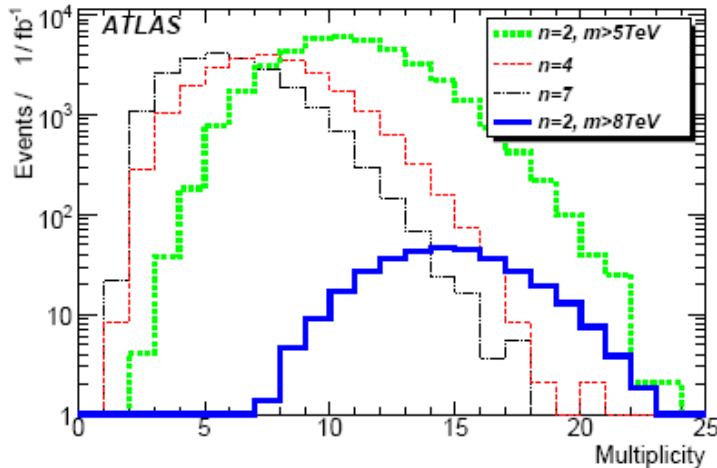


P_T distribution of 4th leading particle



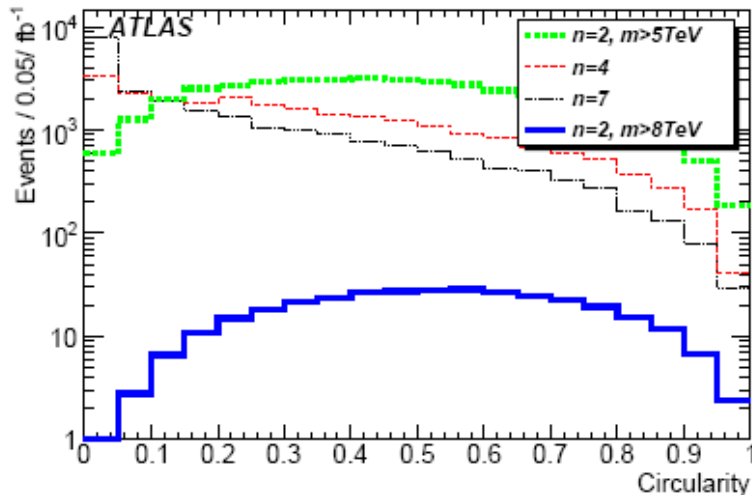
- Even 4th leading particle has very large P_T
- Sum P_T :
 - A scalar sum of P_T of all particles in the event

Multiplicity and Circularity

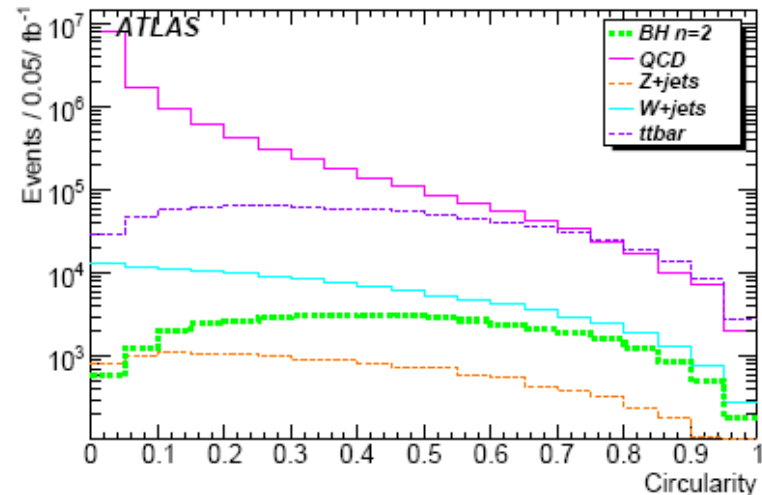


Particle Multiplicity of BH with different parameters

- Higher n shows lower multiplicity
 - Hawking temperature is higher
 - One particle carries larger energy
- Circularity, Sphericity or Thrust are also the candidates of event selections
 - But they strongly depend on multiplicity

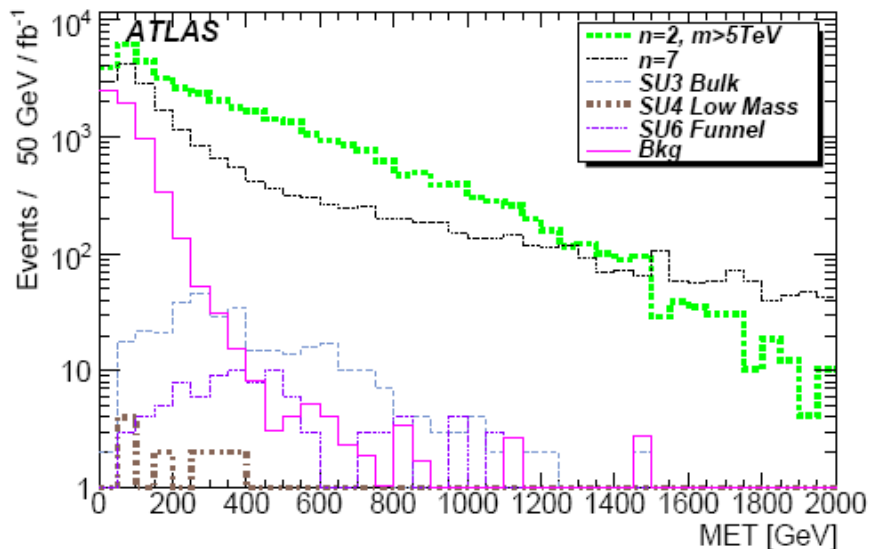


Circularity of Black Holes



Circularity, compared with backgrounds

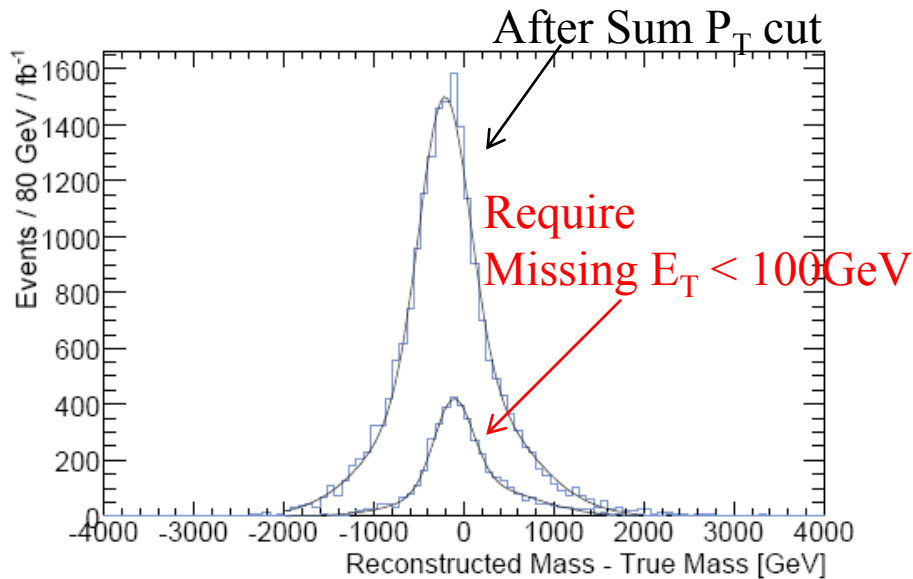
Missing E_T



Missing E_T (with event selection: $\text{Sum}P_T > 2500\text{GeV}$)

- Black Hole emits also high P_T neutrinos
 - Large missing E_T source
- Even compared to SUSY signal, BH has a long tail in high MET region
- Charybdis can not emit graviton and not emit into bulk
 - They may be also large missing E_T source
 - New generator which can treat such features are being investigating

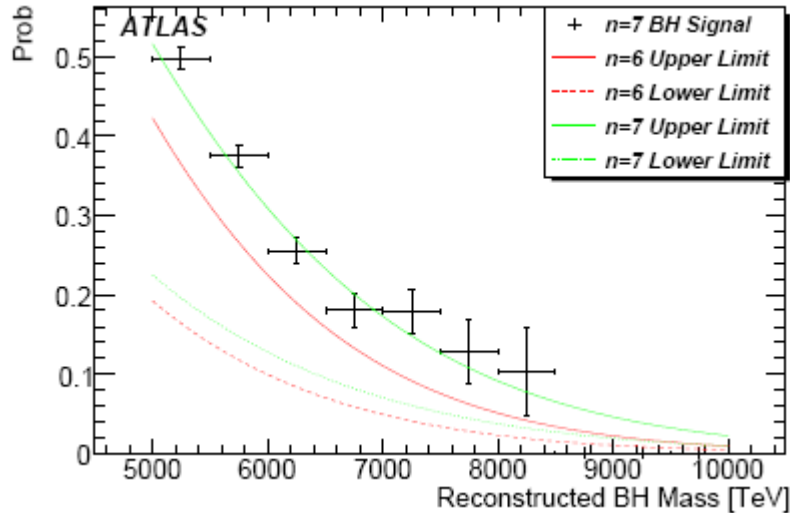
Mass Reconstruction



- ▣ Mass information is important for more study: cross section, Planck Scale and number of extra dimensions
- ▣ A part of mass information is missed as a momentum of an undetected particle
 - ▣ A requirement of small missing E_T can improve the center value and also the resolution

		Normalisation	Mean (GeV)	Resolution (GeV)
Without E_T requirement	Narrow	1018 ± 26	-217 ± 5	276 ± 9
	Wide	276 ± 30	-148 ± 9	722 ± 13
With E_T requirement	Narrow	318 ± 12	-116 ± 8	215 ± 9
	Wide	108 ± 7	118 ± 18	635 ± 16

Measurement of Features of TeV-Scale Gravity



➤ A attempt to estimate the features using energy spectrum of Hawking radiation had been studied

➤ But non-Hawking radiation effects (such a grey-body factor) and detector effects make it difficult

➤ One of the possibility is extract from xsec

➤ Xsec strongly depends on M_p

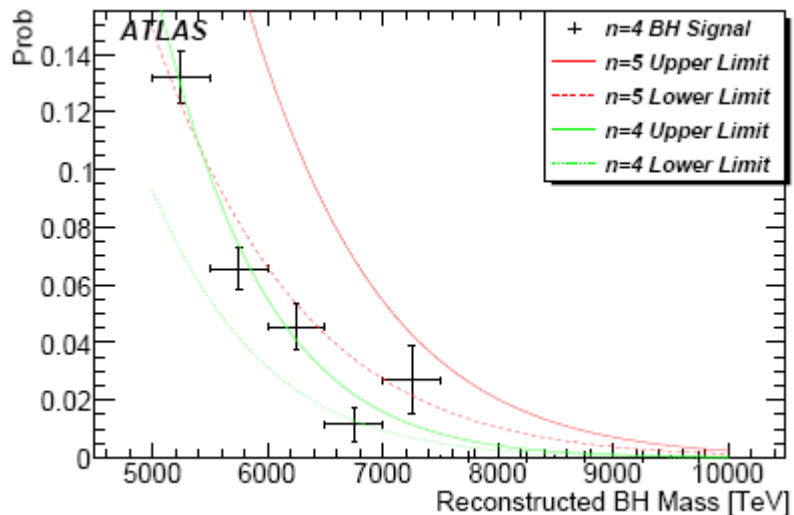
➤ n dependence is not so strong

➤ Left figures show one of the other methods

➤ Using emission probability of high energy particles ($E \sim M_{BH}/2$)

➤ Such particles should be generated at fist of BH decay

➤ Then, they should be radiated by Hawking radiation with generated M_{BH}



Degrees of Freedom

Particle	Scalar	Spinor	Vector
Quark		72	
Gluon			16
Lepton		12	
Neutrino		6*	
Photon			2
Z	1		2
W	2		4
Higgs	1		
Total	4	90	24

Black Hole Event Generators

- **TRUENOIR** (Dimopoulos & Landsberg, hep-ph/0106295)
 - ➔ $J=0$ only; no energy loss; fixed T ; no g.b.f.
 - **CHARYBDIS** (Harris, Richardson & BW, hep-ph/0307305)
 - ➔ $J=0$ only; no energy loss; variable T ; g.b.f. included
 - **CATFISH** (Cavaglia et al., hep-ph/0609001)
 - ➔ $J=0$ only; energy loss option; variable T ; g.b.f. included
 - **BlackMax** (Dai et al., arXiv:0711.3012)
 - ➔ $J \neq 0$; energy loss option; variable T ; split branes; g.b.f.
 - **CHARYBDIS2** (Casals et al., in preparation)
 - ➔ $J \neq 0$; energy loss model; variable T ; remnant options; g.b.f.
- ➔ All need interfacing to a parton shower and hadronization generator (PYTHIA or HERWIG)

String ball

s=10TeVでの生成断面積

M_S (TeV)	M_D (TeV)	M_{thresh} (TeV/c ²)	σ (pb)
1.0	1.5	3.0	$(2.32 \pm 0.01) \times 10^{+1}$
1.2	1.8	3.6	$(4.70 \pm 0.01) \times 10^{+0}$
1.4	2.1	4.2	$(9.58 \pm 0.03) \times 10^{-1}$
1.6	2.4	4.8	$(1.87 \pm 0.01) \times 10^{-1}$
1.8	2.7	5.4	$(3.34 \pm 0.01) \times 10^{-2}$

Table 3: Cumulative cut statistics for a luminosity of 100 pb⁻¹. BG is the total number of background events and p_T is the lepton (electron or muon) transverse momentum.

M_{thresh} (TeV/c ²)	$\Sigma \vec{p}_T + \cancel{E}_T$ (TeV)	Signal Events	BG Events	p_T (GeV/c)	Signal Events	BG Events
3.0	2.4	1525	127	100	781	2.3
3.6	2.9	284	23	100	148	0.37
4.2	3.3	57	5.2	100	29	0.098
4.8	3.8	10	0.94	50	6.0	0.034
5.4	4.0	2	0.30	50	1.2	0.022