

Standard Model(実験)まとめ

実験理論共同研究会
「LHC が切り拓く新しい物理」
2009年4月3日
神戸大 山崎祐司

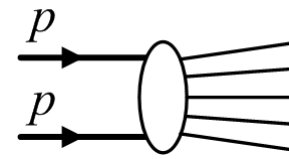
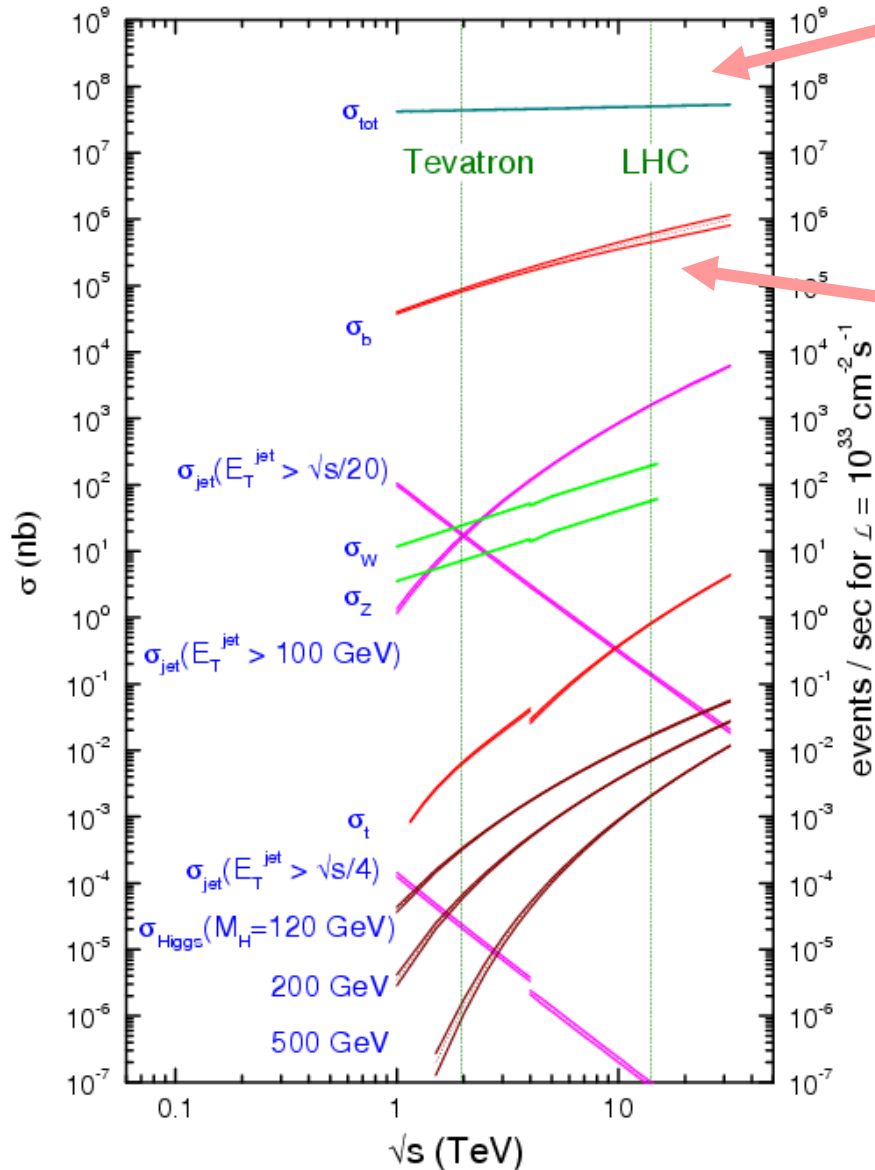
本日の内容

- LHC での Standard Model 物理概観
 - 2009/10 年でできる物理 (QCD 中心)
 - その先 (EW)
- これから関与していきたい物理
 - 現在の ATLAS 物理グループの研究状況
 - 問題点と解析のプラン

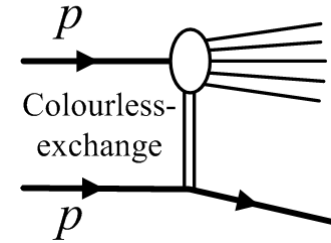
top, B-meson decay の話はしません

pp 衝突の標準模型過程

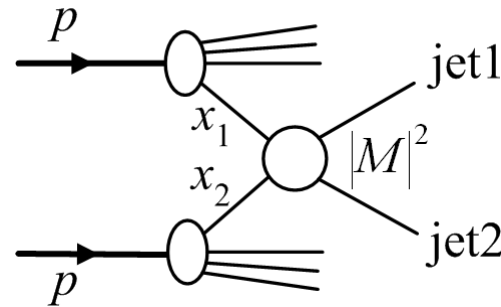
proton - (anti)proton cross sections



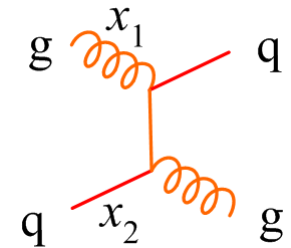
total cross section



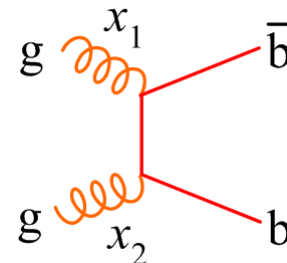
single diffraction



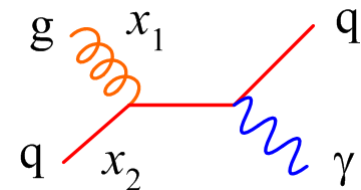
Hard scattering O(mb)



light-quark jets



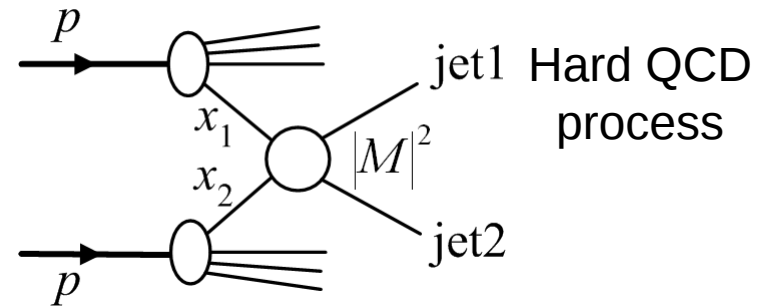
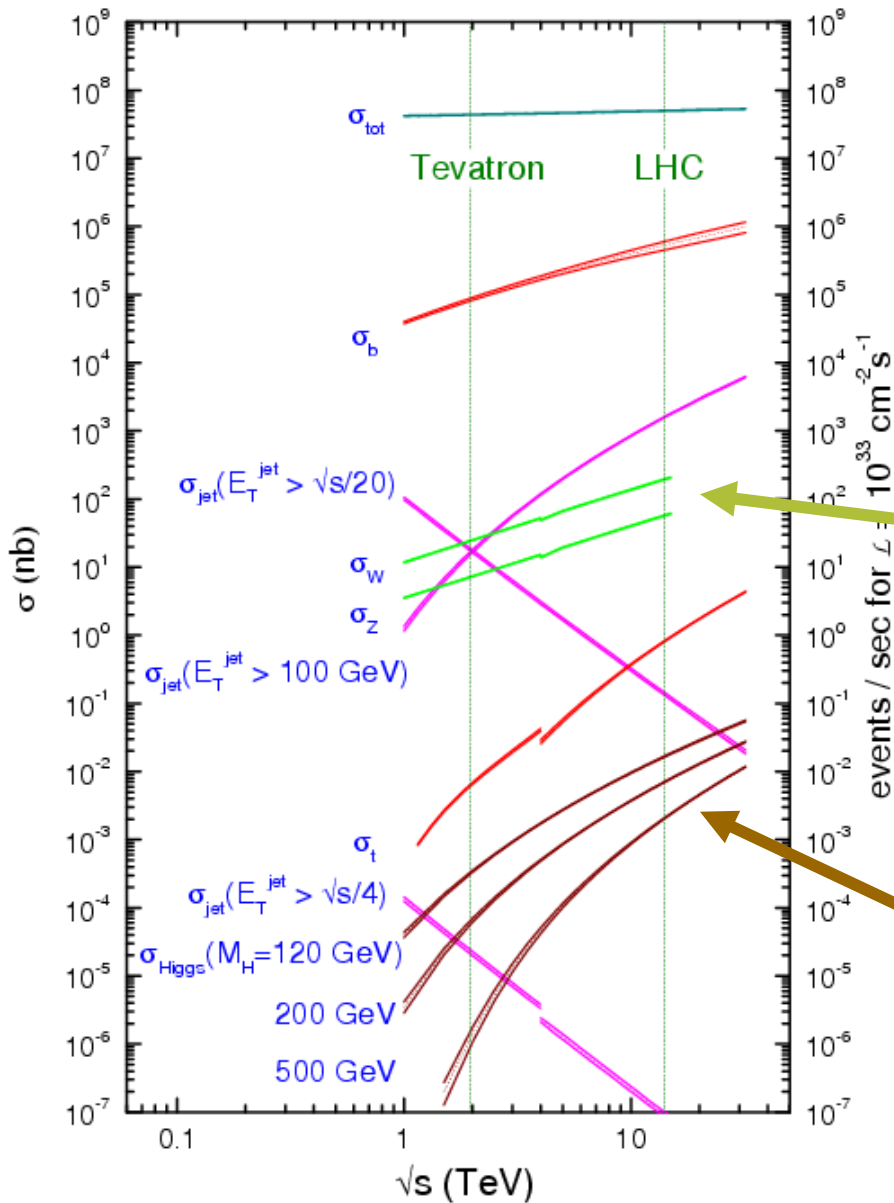
heavy-flavour production



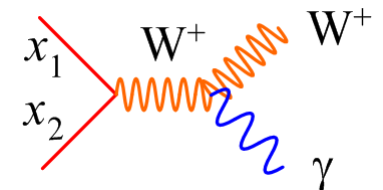
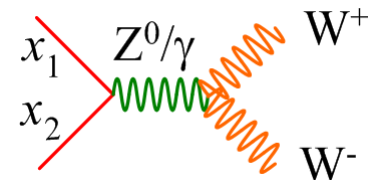
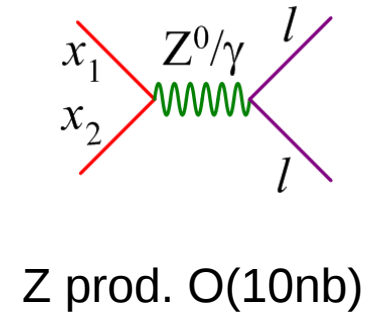
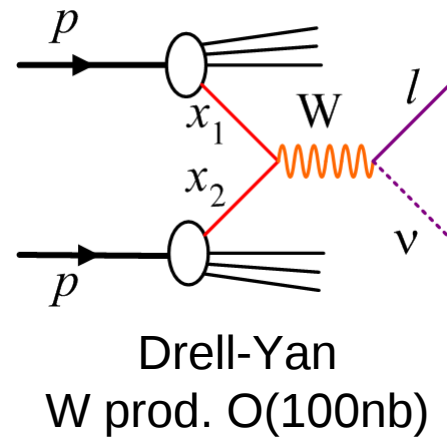
direct photon
suppressed by α/α_s

$E_T > 100 \text{ GeV}$ jet: O(μb)

proton - (anti)proton cross sections



Electroweak processes



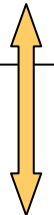
Diagrams with electroweak vertices
(triple gauge-boson coupling)

Standard Model おもな研究

赤字は、日本グループの始めたい物理

- **W/Z production ($\rightarrow ll : 10 \sim 100\text{pb}^{-1}$)** EW, QCD via EW probe
 - Minimum bias ($> 1\mu\text{b}^{-1}$) non-perturbative QCD
 - Forward physics $\approx$ diffraction ($> 1\text{nb}$, but $< 10^{30} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)
 - Jet production ($> 1\text{-}100\text{pb}^{-1}$)
 - direct photon perturbative QCD
 - b-jet cross sections
 - **onium ($J/\psi, \Upsilon$) production**
-
- EW studies with produced W/Z ($> 100\text{pb}^{-1} - 10\text{fb}^{-1}$)
 - **Diboson**, Z^0/γ interference precision EW physics

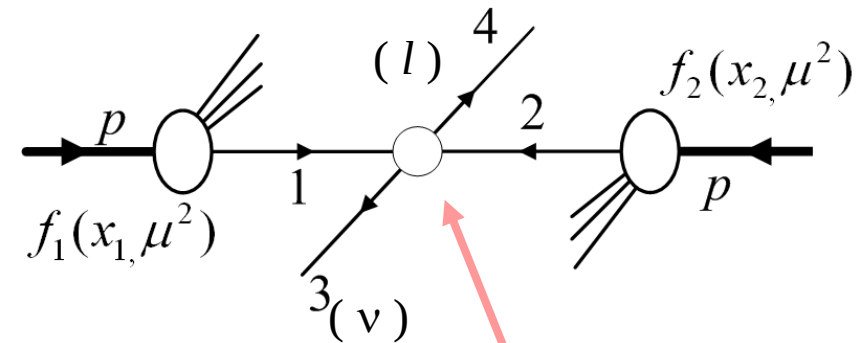
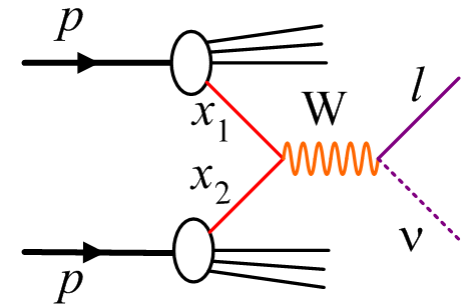
2009-10
runから



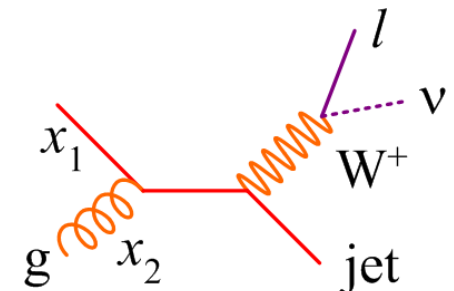
2011以降

W/Z 生成の物理

- 標準光源として検出器の較正 (tag-and-probe ...)
- ルミノシティ測定
 - 断面積の不定性を抑えられたら
- 100pb^{-1} あたり事象数
 - W: e, μ 各 $\sim 500\text{k}$
 - Z: 各 $\sim 50\text{k}$
- 物理1: 陽子の PDF $f_i(x, \mu^2)$ (parton density function) の測定
 - 断面積 $\propto$ (片方の PDF) $\times$ (反対側) $\times$ (振幅)
 - ただし, 生成メカニズムの精密な理解必要
- 物理2: W の質量測定
 - EW fit の重要なインプット



よく知っている



W+jets

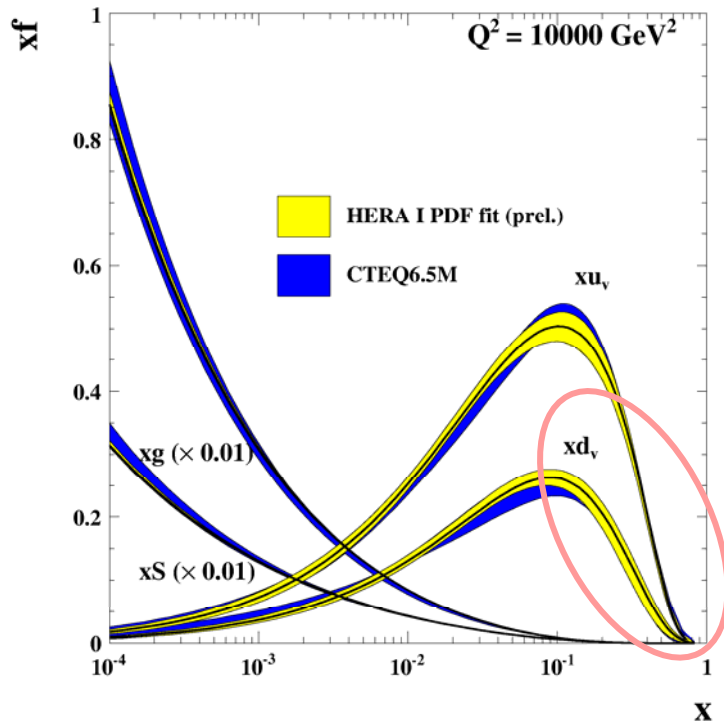
W/Z 生成とパートン密度

$$x_{1(2)} = \frac{(E \pm p_z)_l + (E \pm p_z)_\nu}{2E_p}$$

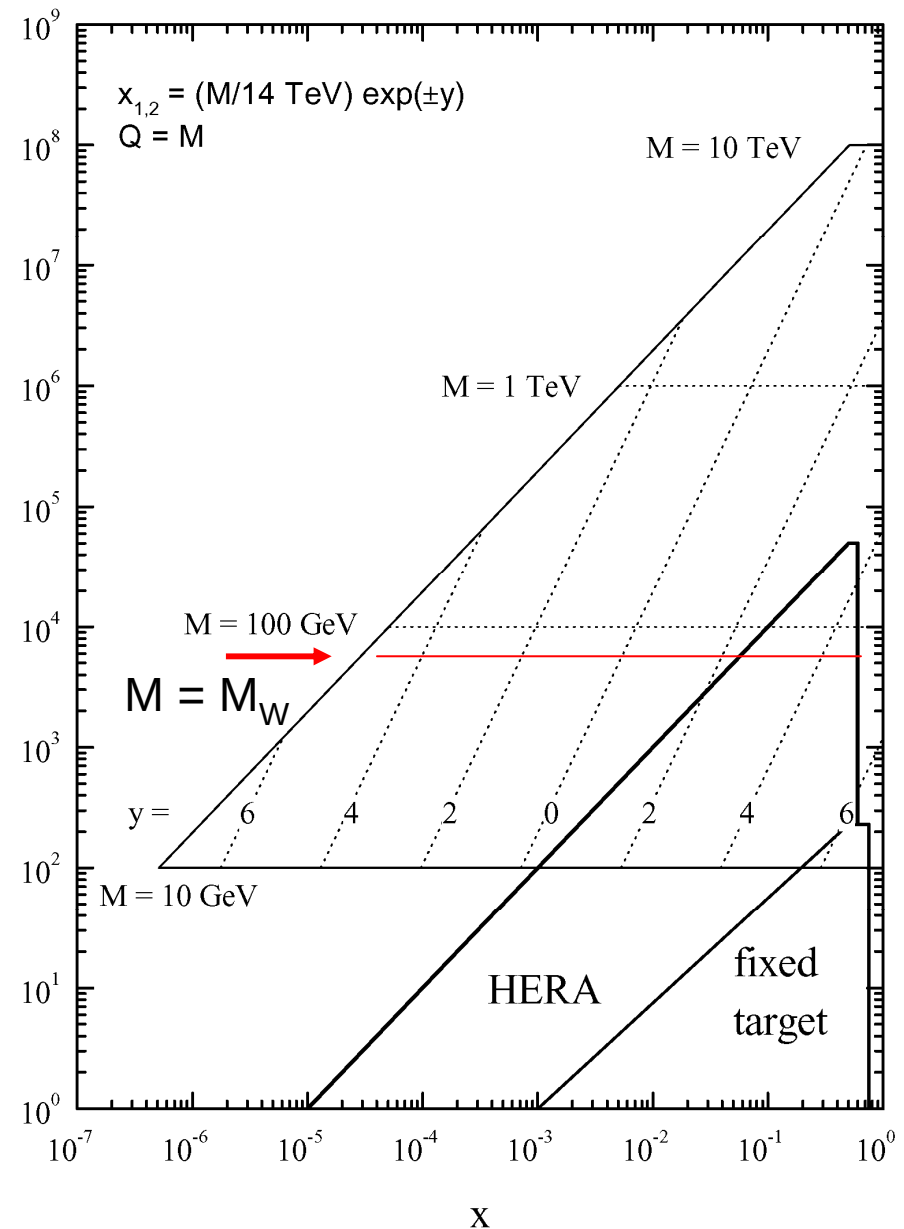
$$M_W^2 = 2(E^l E^\nu - p_z^l p_z^\nu - p_T^l p_T^\nu)$$

$$p_T^l \approx p_T^\nu$$

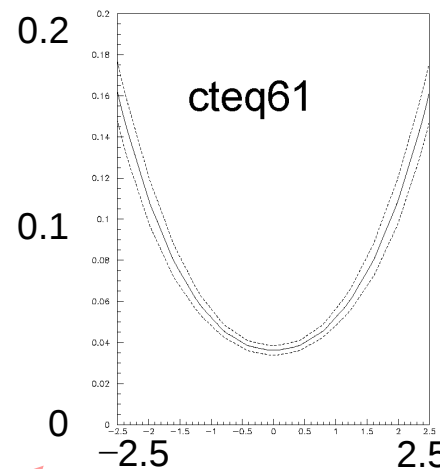
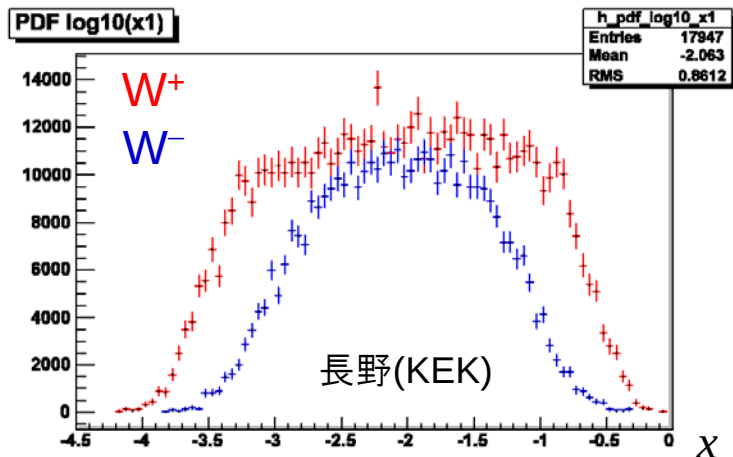
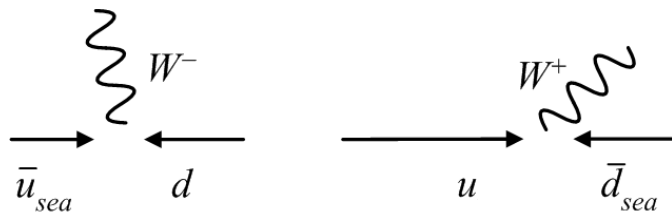
- W/Z の decay charged lepton から x_1, x_2 が決まる



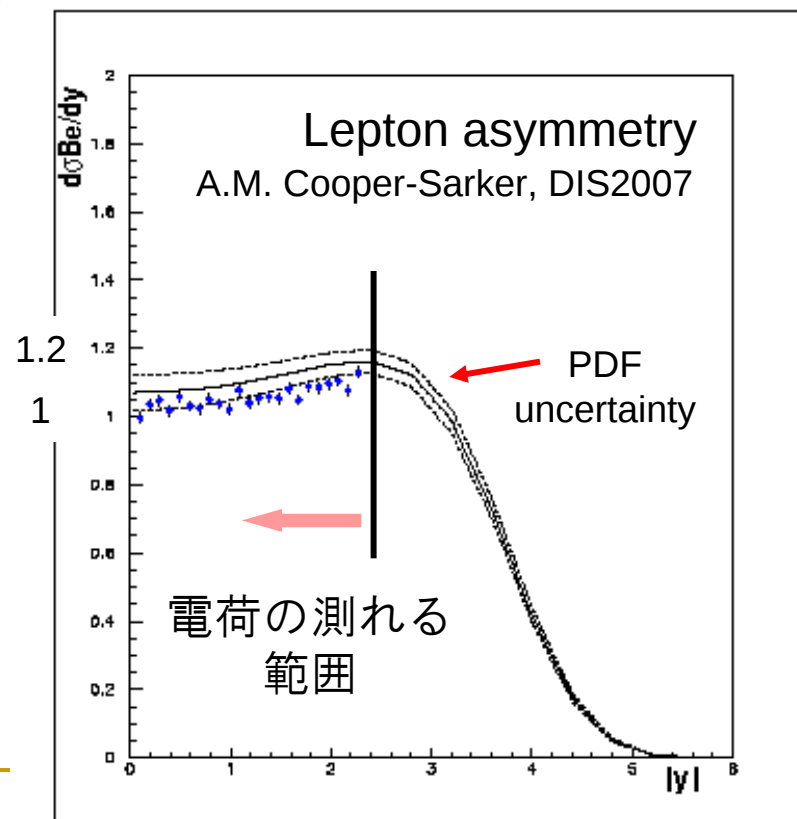
LHC parton kinematics



W^+/W^- asymmetry



W 崩壊の
角度分布で
なまる



- (d-quark) / (u-quark) の測定
- $d\sigma/d\eta$ を ≪ 5% で測る必要あり

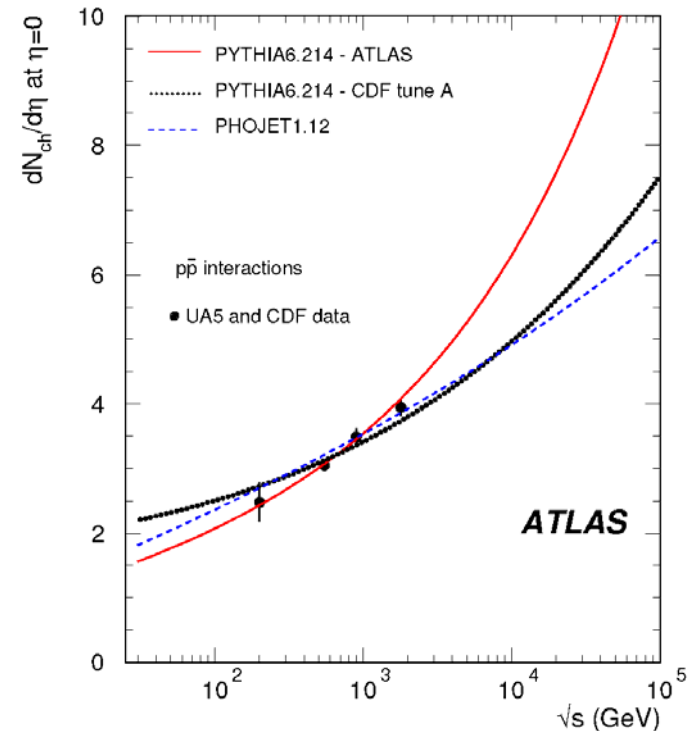
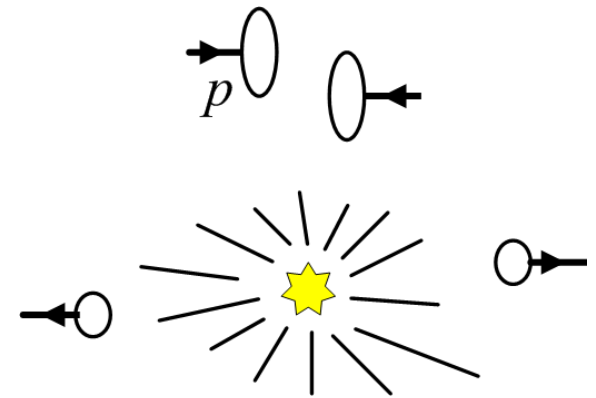
日本グループ興味あり

→ 詳しくは sub-WG 長野さんのトーク

ATLAS解析の現状, 問題点は後述

ソフトな pp 衝突の物理

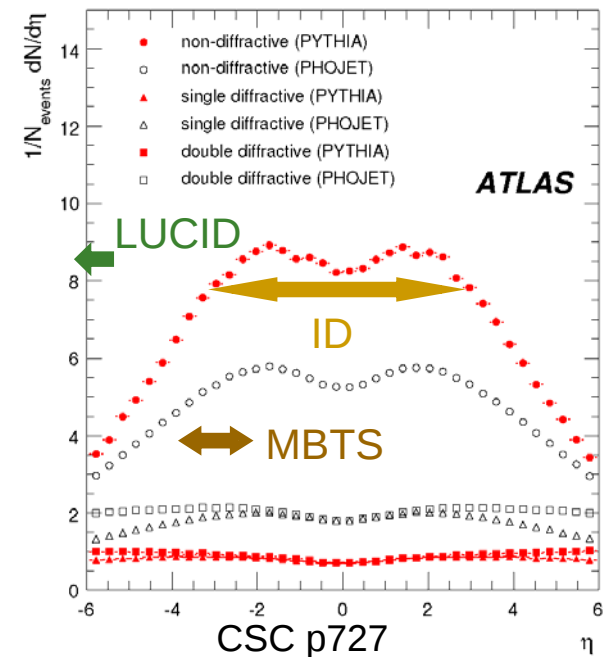
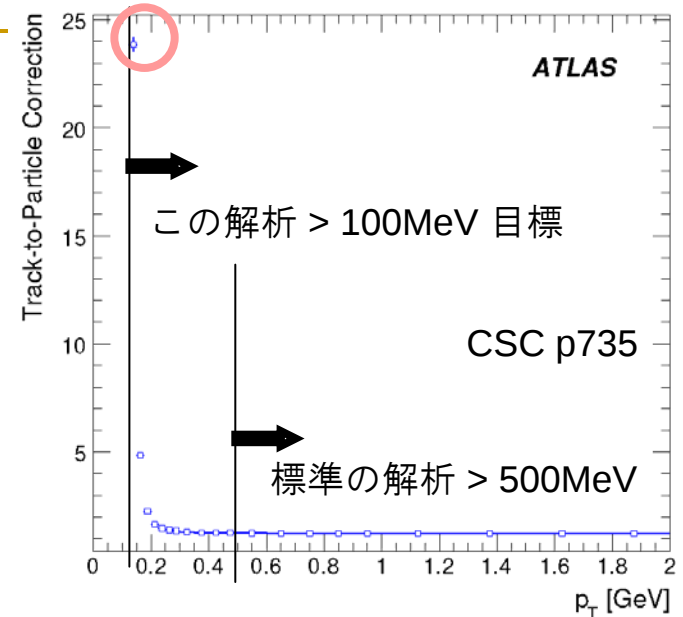
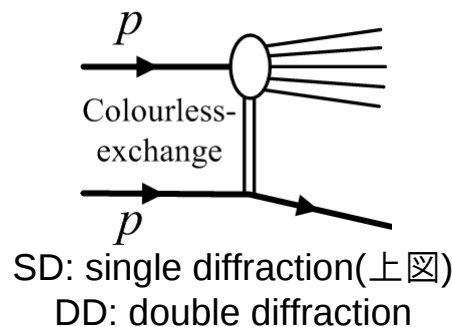
- いわゆる “Minimum bias” イベント
 - p_T 低い $\rightarrow$ ハードスケールなし, α_s 大
パートンが見えない, 摂動無理
 - ハドロン物質同士の衝突とみなす
 - はっきりしたジェットの構造を持っていない
- 興味ある物理
 - Charged track multiplicity
 $dN/d\eta$, dN/dp_T
 - パイルアップシミュレーションのチューニング
 - 全断面積
- パイルアップのない = low-lumi run 限定



CSC p725

Minimum bias 解析

- 低い p_T のトラッキング
 - 現在のは $p_T < 200$ MeVで急速に reconstruction efficiency が悪化
- トリガー効率
 - 使うもの：LUCID, MBTS など
 - 全断面積：4つのプロセスの和
 $\sigma_{\text{tot}} = \sigma_{\text{elas}} + \sigma_{\text{SD}} + \sigma_{\text{DD}} + \sigma_{\text{inel}}$
 - プロセス, rapidity, **モデル**により $dN/d\eta$ 異なる
- ハードなジェットによる diffraction のメカニズム説明も low-lumi の重要な物理プログラム



ジェット生成

- $\sigma \propto (\text{片方の PDF}) \times (\text{反対側}) \times (\text{振幅})$ だが...

- 「振幅」= パarton 散乱には理論の大きな不定性
- 特に多ジェット (= 高次の摂動)

- パarton - ジェットの対応関係

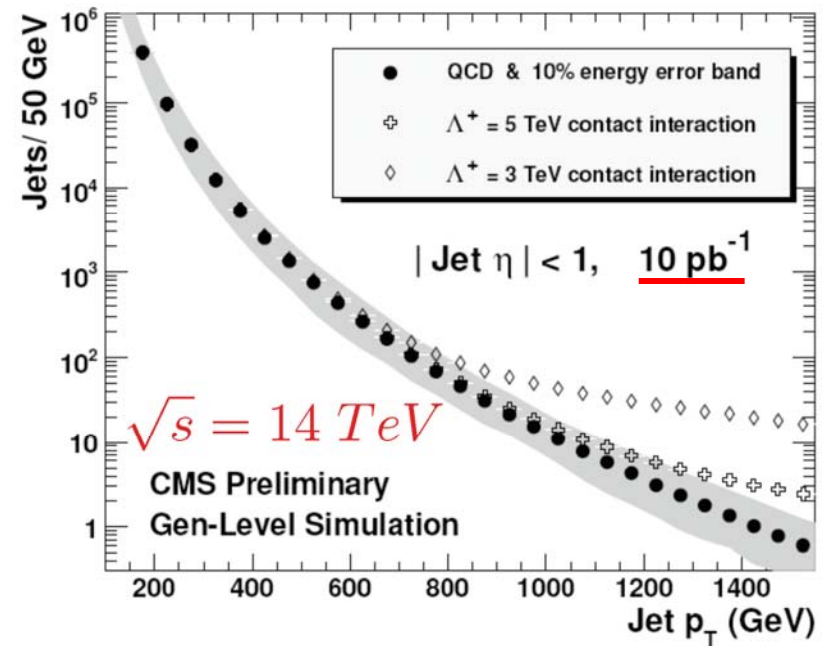
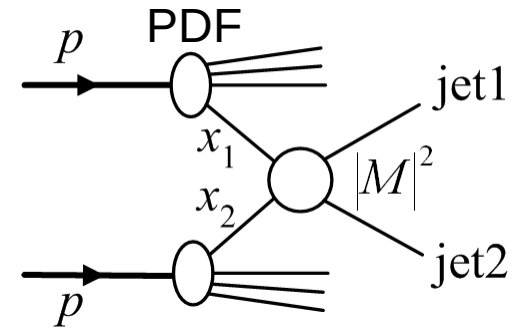
- 検出器：エネルギー測定
(いわゆる JES: Jet energy scale)
- 物理：ジェットファインダー

- 物理 1：散乱過程の理解

- cross sections, dijet angular distribution, multijets ...

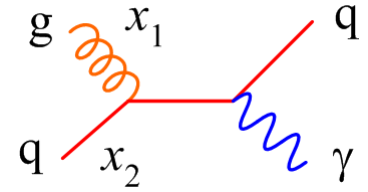
- 物理 2：PDF へのフィードバック

- 例：high- E_T jet excess at CDF and gluon density

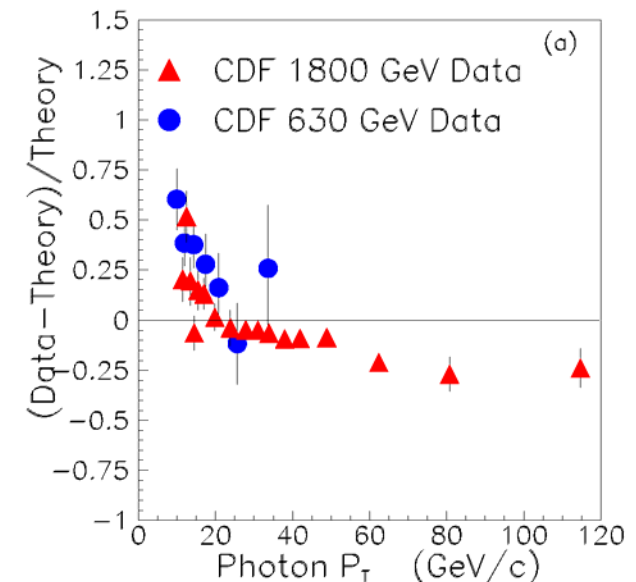


stat. error は
JES 10% band
より小さい
($p_T < 1.5 \text{ TeV}$,
 10 pb^{-1})

Direct γ



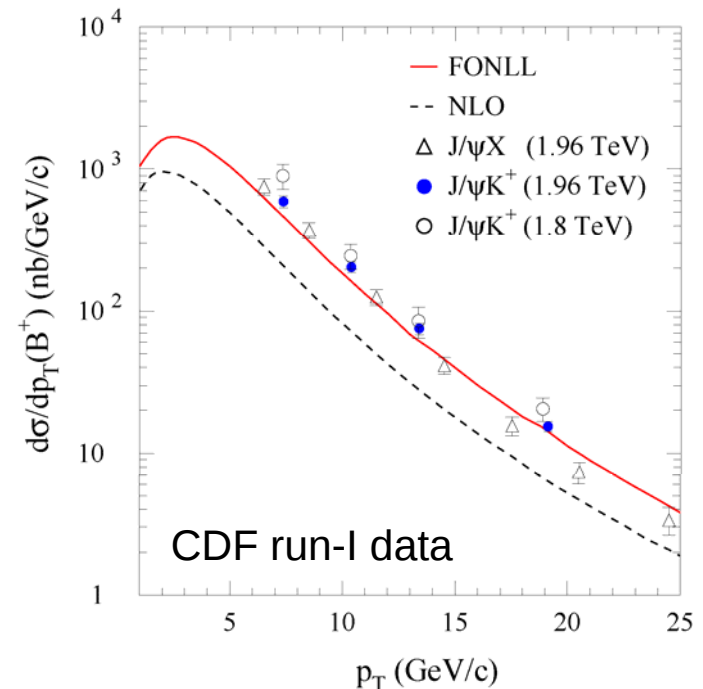
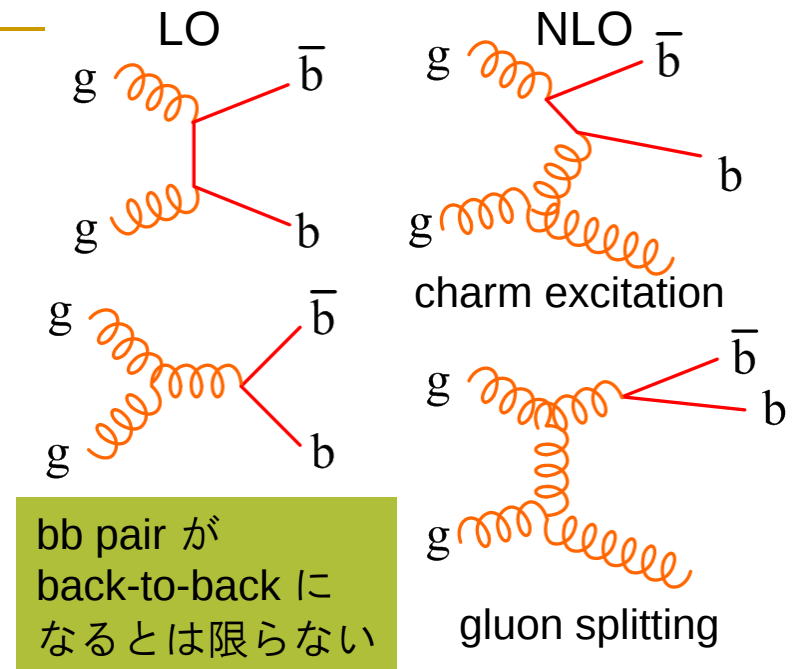
- Photon がクォークから直接生成されるもの
 - Parton fragmentation からの含まず
- ジェットよりすこし「きれいな」過程
 - 物理はほぼ同じ
 - 始状態: qg 多い $\rightarrow$ gluon PDF
 - パートン=ジェット
 - エネルギー測定が精密 (EM) } low- p_T $\sim$
- ただし (ご存じの通り)
バックグラウンド多し (π^0 等)
- 100pb^{-1} で 1M event 以上 ($E_{T\gamma} > 17 \text{ GeV}$)



CDF は conversion を用いて
この excess は background で
ないとしている

Heavy-quark 生成

- 生成にたくさんの
ダイアグラムが寄与し、
理論の高次補正が大きい
- LHC でどうなるか興味あり
 - 始状態が gluon
 - 高い CM energy
→ より低い x のパートン関与
- 測定方法
 - 最初は J/ψ tag
 - Semileptonic tag
 - b-tag



J/ψ の生成

2つのメカニズム

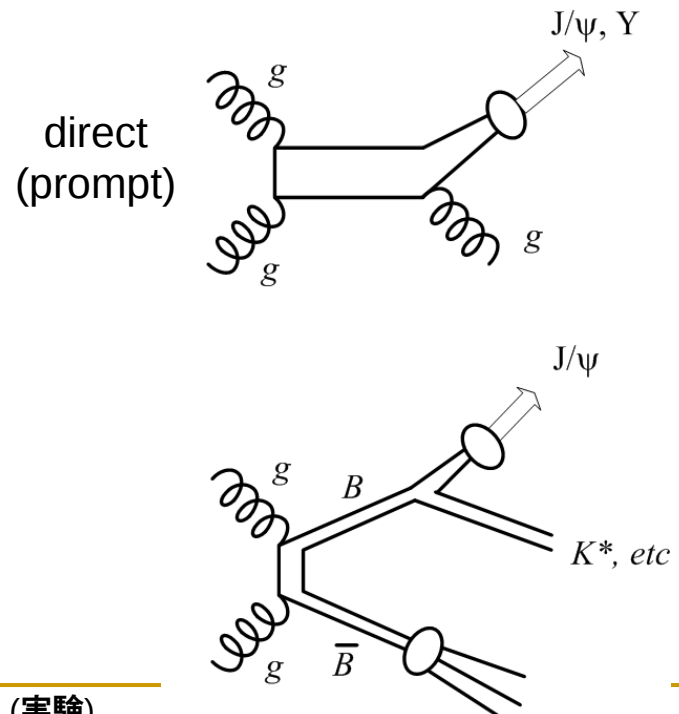
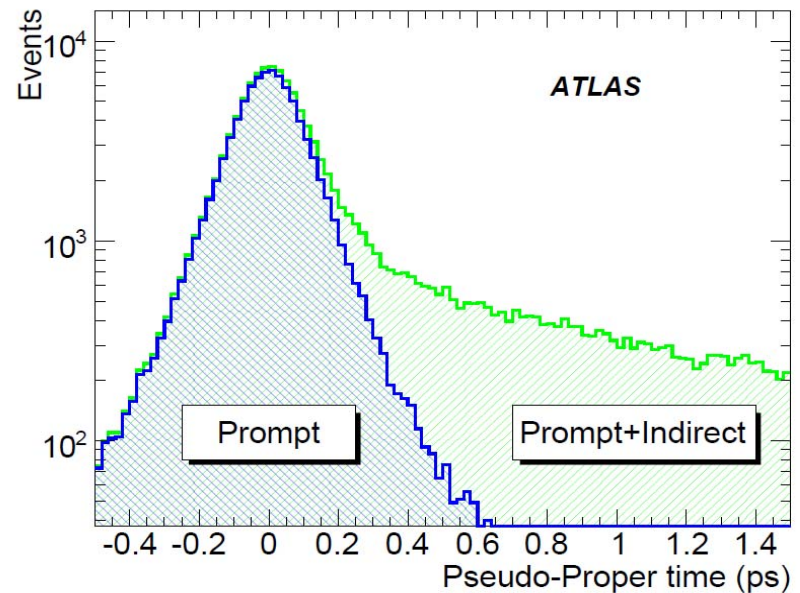
■ 直接生成

- 主にgg衝突でできる
- ただし、中間状態がよくわかっていない（次ページ）

■ b-hadronからの崩壊

- $\text{BR}(b \rightarrow J/\psi X) = 1.16\%$
- Proper timeを測ることで分離できる（b-tag!）
- ボトムクォークの断面積が測れる

→ 詳しくは sub-WG 織田さんのトーク



J/ψ 形成メカニズムと偏極

- Colour-Singlet Model (CSM)
vs Colour-Octet Model (COM) ?

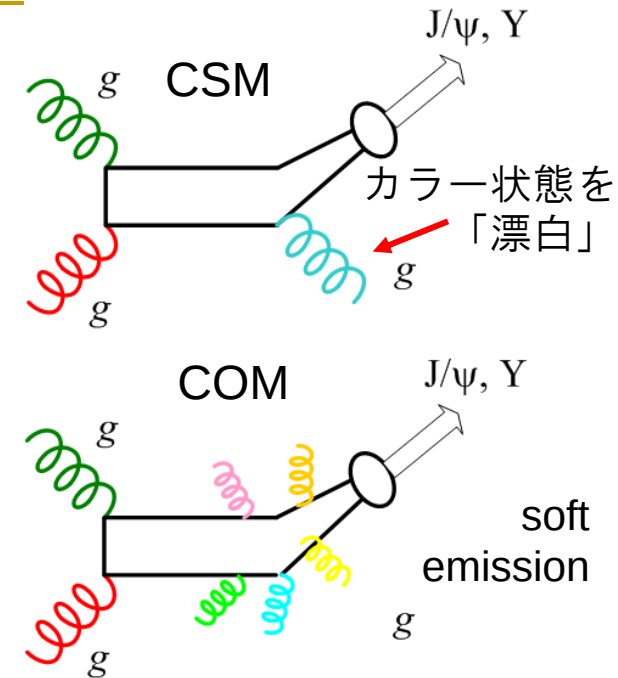
- 長年の疑問
- Heavy-ion との比較

- 崩壊レプトンの角度分布異なる

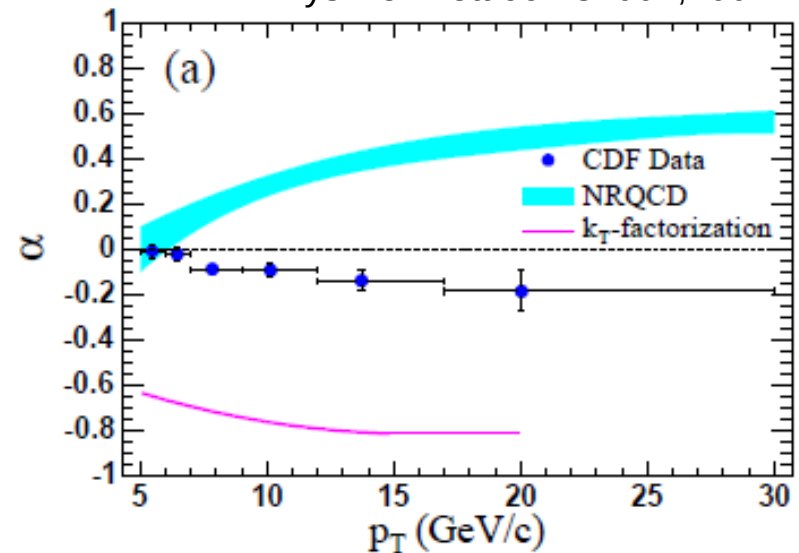
$$\frac{dN}{d \cos \theta} \propto 1 + \alpha \cos^2 \theta$$

- Helicity = ± 1 (COM が近い)
→ $\alpha = +1$: transverse polarisation
- Helicity = 0 (CSM が近い)
→ $\alpha = -1$: longitudinal pol.

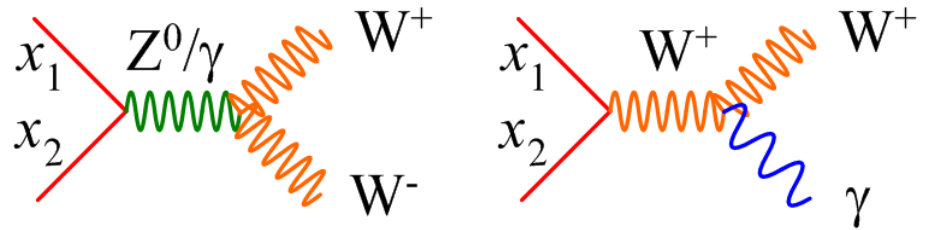
- 理論モデル:
データ説明できていない



Phys.Rev.Lett.99:132001,2007

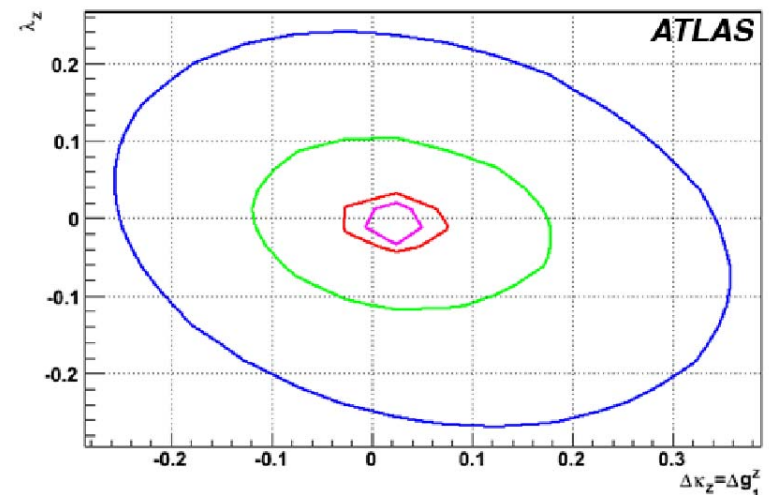


Diboson 生成



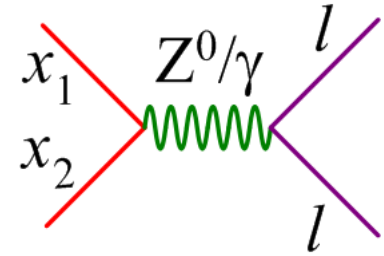
$$L/g_{WWV} = \underbrace{ig_1^V}_{\text{red circle}} (W_{\mu\nu}^* W^\mu V^\nu - W_{\mu\nu} W^{*\mu} V^\nu) + \underbrace{ik^V}_{\text{red circle}} W_\mu^* W_\nu V^{\mu\nu} + \frac{\underbrace{\lambda^V}_{\text{red circle}}}{M_W^2} W_{\rho\mu}^* W_\nu^\mu V^{\nu\rho}$$

- 物理：triple gauge-boson coupling (TGC)
 - BSM 模型：標準模型からのずれ $10^{-3} \sim 10^{-4}$ を予言
これに達する道のりは長いが...
 - $\sim 100\text{pb}^{-1}$ からイベント見える
 $\sim 1\text{fb}$ で Tevatron limit 超える
- Systematic error
 - background (WZ)
 - theoretical error (NLO)



→ 詳しくは sub-WG 松下さんのトーク

Forward-backward asymmetry from Z/γ interference

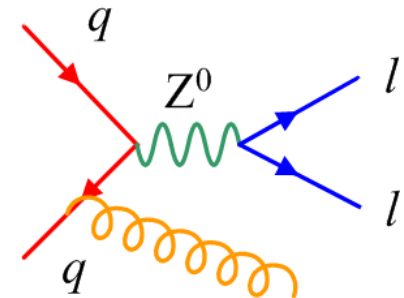


(CSC の内容)

- $A_{\text{lept,eff}}^{\text{FB}}$: $\sin\theta_W$ の測定
 - World average error: $\delta(\sin\theta_W) = 1.6 \times 10^{-4}$
様々な測定からの error はほぼ同じ
 - 100fb^{-1} で $50\text{M } Z^0 \rightarrow e^+e^-$ decay
 $\delta(\sin\theta_W) = 2.4 \times 10^{-4}$ (syst.)
 - 主な uncertainty: PDF
- 角度の acceptance を広くとるため
electron を使う

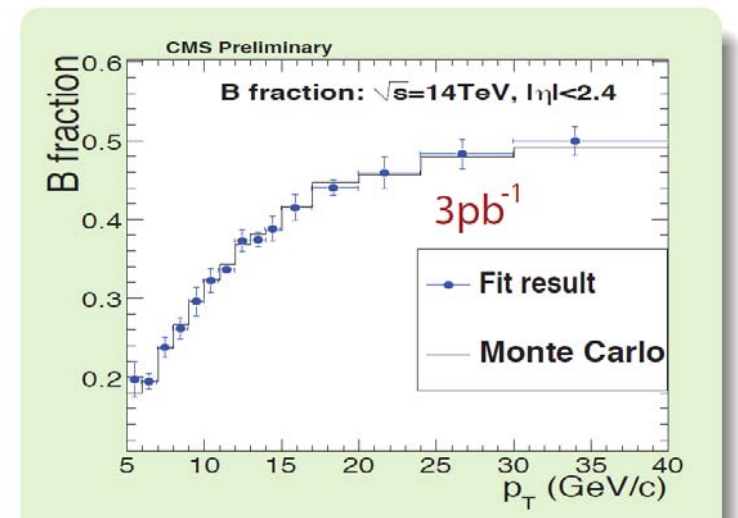
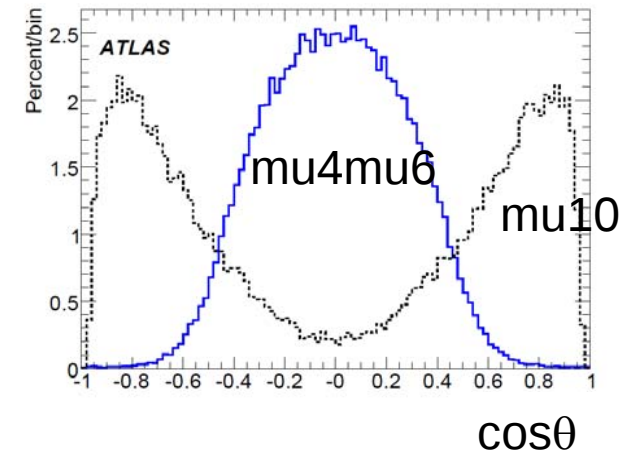
W/Z 断面積測定の問題点と対策

- 解析の予定：muon で測ります
- Muon trigger/reconstruction/selection efficiencies
 - Z の tag-and-probe では統計が足りない
W の統計は Z の 10 倍
 - W asymmetry では特に charge による systematic error が重要
 - 全体の効率だけでなく，各 (η, p_T) で $\ll 5\%$ で知りたい
W $\rightarrow \mu\nu$ チャンネルなら，たくさんのミューオンが必要
- W Charge asymmetry:
 - u/d により感度が高くなるような運動学領域の研究
- 断面積測定誤差の最大の要因：
QCD ISR modeling (2%)
 - p_T 分布，Forward jet など見ていく必要あり



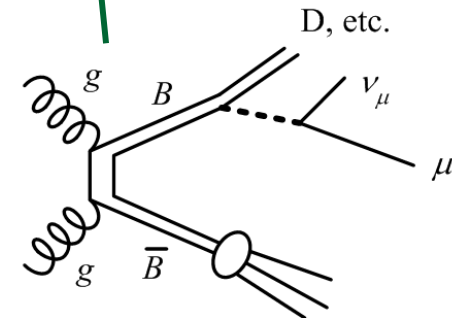
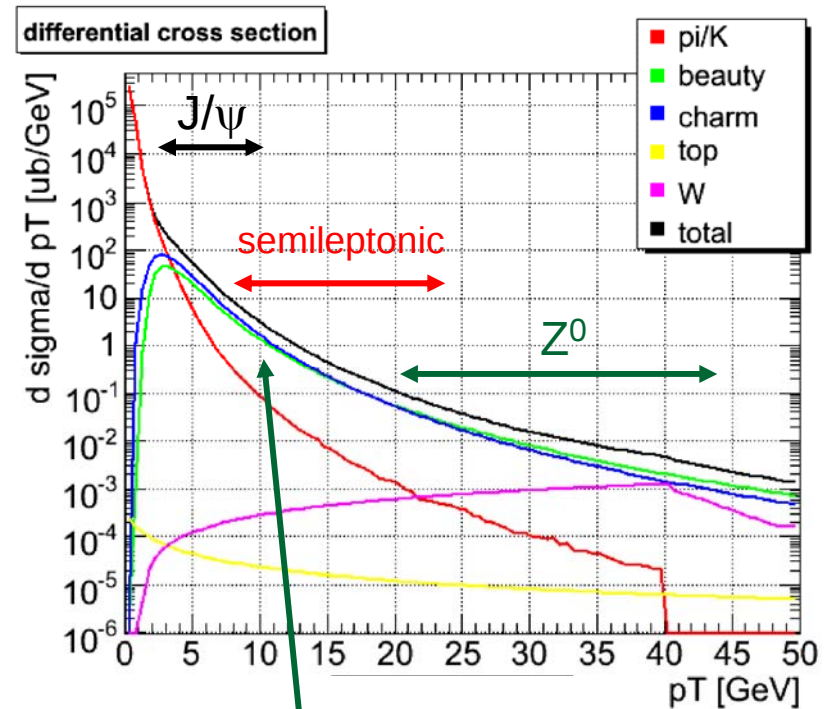
J/ ψ 解析の現状・問題点

- Low- p_T でのミュオンの trigger/reconstruction efficiency
 - 低い p_T の立ち上がりを調べる
 - J/ ψ 自身の tag-and-probe で見るしかない
- 偏極測定では広い角度の acceptance が必要
 - dimuon low- p_T + single μ のトリガーのミックス, 理解必要
- 生成メカニズム
 - b-tag が不可欠



解析の方針

- おもな生成過程：b, c からの semileptonic 崩壊 $b \rightarrow \mu \nu_\mu X$
- Low- p_T dimuon を集める
 - tag-and-probe 用
 - $J/\psi \rightarrow \mu\mu$
 - **new: bb の両方が semileptonic**
i.e. $\mu \nu_\mu X$ に崩壊するイベント
 - 片方を MU10 ($p_T > 10$ GeV) でとる
- 10pb^{-1} で始められる, 十分な数
 - J/ψ : $\sim 15\text{k events/pb}^{-1}$
 - Semileptonic μ : $\sim 50\text{k events/pb}^{-1}$
for $p_T > 10$ GeV

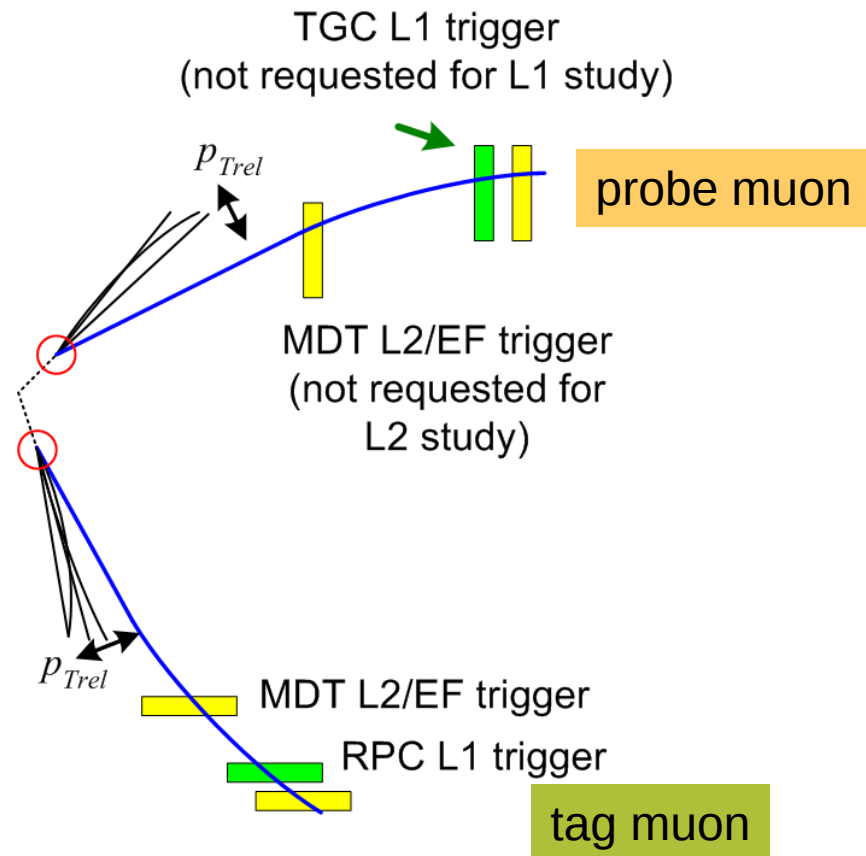


$$W \rightarrow \mu \nu: 5\text{k/pb}^{-1}$$

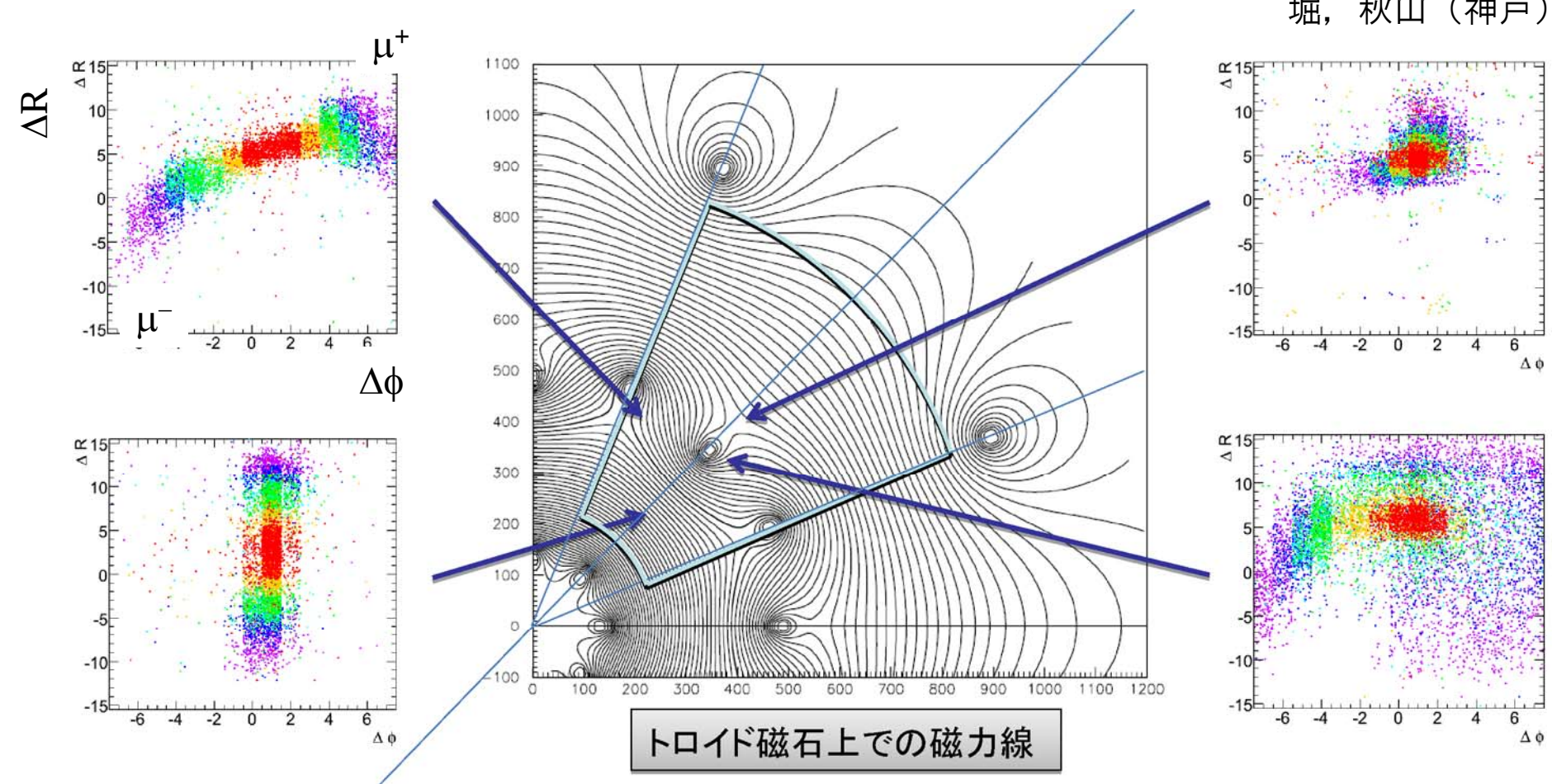
$$Z \rightarrow \mu \mu: 500/\text{pb}^{-1}$$

Probe muon を用いたトリガーチェック

- 2 ミューオンイベントの選別
 - タグミューオン：
 - トリガー (MU10)
 - そこそこ離れた近傍にジェットがある (large p_{Trel})
 - optional: b-tag
 - プローブミューオン：
 - ID のトラックを MS に外挿し,
 - L1 スタディの場合, MDT にヒット
 - L2 スタディの場合, RPC/TGC にヒット
 - バックグラウンド多いかも b-tag, p_{Trel} ... で purity 上げる



トリガー効率の絶対値は無理かも知れないが, (η, ϕ, p_T) で細かく検出器を見る



- L1 トリガー： (η, π) 方向のトロイド磁場による曲がりを用いる
 - 赤： $p_T > 40 \text{ GeV}$, 紫： $6 < p_T < 10 \text{ GeV}$
- Tag-and-probe のミューオンを用いて, この曲がり为正, 負の電荷に対し正しくシミュレートされているか確かめる

結論：標準模型の物理は...

- 断面積大きいもの多し
すぐに始められます
- 初測定はスピード重視（今の ATLAS SM group）
でも遅くとも2回目には精度が必要
- イベントが必ずあります
物理的な動機も、十分あります

今日の parallel の内容



Standard Model meeting

Friday 03 April 2009
from 13:30 to 16:10
Asia/Tokyo
at ESnet 001134988078
chaired by: 山崎

Friday 03 April 2009 | [top](#)

Friday 03 April 2009

13:30	Introduction (10')	Yuji Yamazaki (Kobe)
13:40	PDF studies at the LHC (30')	Kunihiro Nagano (KEK)
14:10	ATLASにおける di-muon チャンネルでのクォークoniumの測定 (30')	Susumu Oda (ICEPP Tokyo)
14:40	Electroweak di-boson production at the LHC (30')	Takashi Matsushita (Kobe)
15:10	2009/10 run での J/psi およびセミレプトニック崩壊からの2ミューオンイベント数 (20')	Yuji Yamazaki (Kobe)
15:30	Comment (10')	Kono Takanori (CERN/Universitaet Hamburg)
15:40	今後の活動予定 (30')	

<http://kds.kek.jp/conferenceDisplay.py?confId=2910>

[login](#) [Home](#) > [Experiments](#) > [ATLAS Meetings](#) > [物理](#) > [ミーティング](#) > [Standard model](#)

- 始めたばかりで活動の方向を探っています
- 情報交換の場

SM解析の問題点：一般論

あえて対比すると...

■ Search の物理の場合

- まずは detector acceptance 全域で探す
- バックグラウンドからの fake が一番問題

→ 検出器の穴, reconstruction/misID の “tail” がないことが大切

■ SM 物理の場合

- 運動量から終状態の運動学的変数を再構成
- 次に, 始状態の運動学的変数を再構成

→ acceptance, resolution の (p_T , η) 依存性が割とすぐに必要

Wの質量測定

- SM fit に重要なインプット
- Systematic error: e, μ のエネルギースケール
 - Calibration error 0.13% (assumed with 15pb^{-1} , 45k evt)
→ 110 MeV
 - Tevatron 115k evts, syst 34 MeV