

Electroweak Physics Results at DØ

花垣和則 (Fermilab)

- 電弱対称性の破れ
 - 実験の概略 - 加速器 DØ検出器
 - Higgs 探索関連
 - Top quark の質量測定
 - まとめ - prospects and conclusions
- { (時間があれば) おまけ Bs mixing

電弱対称性の破れ

ゲージ対称性

- ゲージ原理は、量子原理、相対性原理と並ぶ宇宙の根本原理の一つと考えられている
 - U(1): 電磁気力 (QED)
 - SU(2): 弱い力
 - SU(3): 強い力 (QCD)
- 対称性が完璧なら、ゲージ粒子の質量は0
 - $m^2\phi^2$ はゲージ変換に対して不変でない
 - 光子、グルーオンは0
 - W (~80 GeV), Z (~91 GeV) ← 対称性が破れている
- フェルミオンの質量項もゲージ不変でない

質量の起源は ???

ヒッグスポテンシャル

- 複素スカラー場 $\phi(=\phi_1+i\phi_2)$ に対する
ラグランジアン $\mathcal{L} = (\partial_\mu \phi)^* (\partial^\mu \phi) - V(\phi)$

← 質量項はない

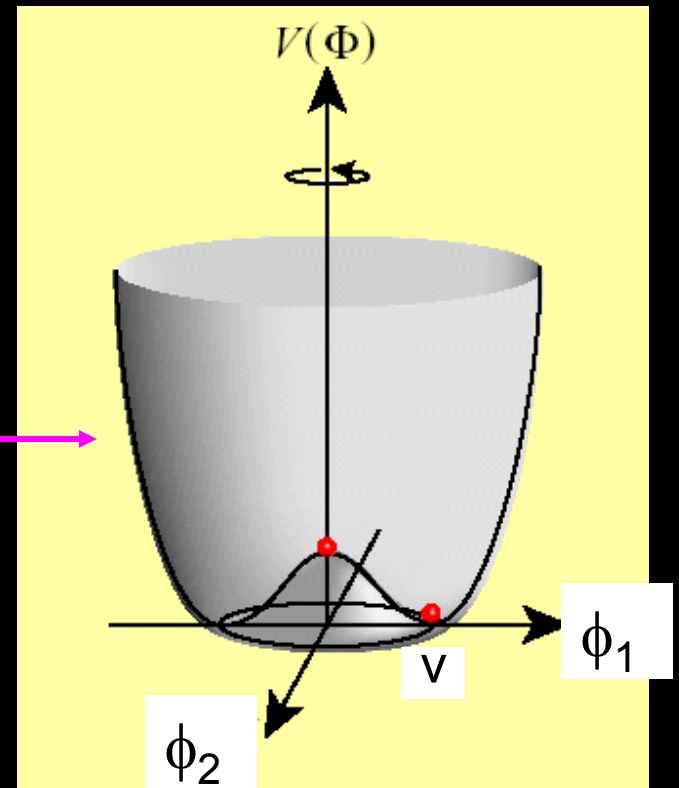
➤ $V(\phi) = \mu^2 \phi^* \phi + |\lambda| (\phi^* \phi)^2$

➤ $\mu^2 > 0$ (高温) では $\phi=0$ が
基底状態 (= 真空)

➤ $\mu^2 < 0$ (低温) では
 ϕ は 0 でない真空期待値

相
転
移

$$v = \sqrt{-\frac{\mu^2}{|\lambda|}} \quad \langle \phi \rangle = \frac{v}{\sqrt{2}}$$



対称性の自発的破れ

- 対称性を破って、新たな真空は $\phi_1=v, \phi_2=0$

- $\phi(x) = \sqrt{\frac{1}{2}}[v + \eta(x) + i\xi(x)]$ とおくと、ラグランジアンは、

$$L' = \frac{1}{2}(\partial_\mu \xi)^2 + \frac{1}{2}(\partial_\mu \eta)^2 - \frac{1}{2}(\sqrt{-2\mu^2})^2 \eta^2$$

+ (定数項) + (η と ξ の相互作用)

質量 $\sqrt{-2\mu^2}$ の η 、質量ゼロの ξ (ゴールドストーンボソン): η は動径方向。 ξ は接線方向の振動なので慣性力を必要としない

ヒッグス機構

- U(1)ゲージ対称性を保てるように

$$B_\mu \rightarrow B_\mu + \frac{1}{ev} \partial_\mu \xi$$

$$D_\mu = \partial_\mu + ieB_\mu(x) \quad \rightarrow \quad L = (D_\mu \phi)^* (D^\mu \phi) - V(\phi)$$

- η が実数になるように ξ を選んでU(1)ゲージ変換

$$\phi(x) \simeq \frac{1}{\sqrt{2}} [v + \eta(x)] e^{i\xi(x)/v}$$

$$L'' = \frac{1}{2} (\partial_\mu \eta)^2 - |\lambda| v^2 \eta^2 + \frac{1}{2} e^2 v^2 B_\mu^2 + \dots$$

η はヒッグス粒子の作る場

$$M_H = \sqrt{2|\lambda|} v$$

探していたゲージ粒子の質量項！

- ゴールドストーンボソンは現れない(ゲージ変換の自由度だった)

GWS模型 1

- $SU(2)$: Weak Isospin($\equiv I$) b_μ

結合定数 g

$$F_{\mu\nu}^\ell = \partial_\nu b_\mu^\ell - \partial_\mu b_\nu^\ell + g \varepsilon_{jkl} b_\mu^j b_\nu^k$$

- $U(1)$: Weak Hypercharge($\equiv Y$) A_μ

結合定数 g'

$$f_{\mu\nu} = \partial_\nu A_\mu - \partial_\mu A_\nu$$

- $Q = I_3 + Y/2$

$$L = \begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}_L$$

$$Y_L = -1$$

$$R \equiv e_R$$

$$Y_R = -2$$

- $SU(2) \otimes U(1)$ 不変なラグランジアン

$$\mathcal{L}_{\text{gauge}} = -\frac{1}{4} F_{\mu\nu}^\ell F^{\ell\mu\nu} - \frac{1}{4} f_{\mu\nu} f^{\mu\nu}$$

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{\text{leptons}} = & \bar{R} i \gamma^\mu \left(\partial_\mu + i \frac{g'}{2} A_\mu Y \right) R \\ & + \bar{L} i \gamma^\mu \left(\partial_\mu + i \frac{g'}{2} A_\mu Y + i \frac{g}{2} \vec{\tau} \cdot \vec{b}_\mu \right) L \end{aligned}$$

GWS模型 2

- 複素スカラー場2重項

$$\phi = \begin{pmatrix} \phi^+ \\ \phi^0 \end{pmatrix} \quad \begin{aligned} \phi^+ &\equiv (\phi_1 + i\phi_2)/\sqrt{2} \\ \phi^0 &\equiv (\phi_3 + i\phi_4)/\sqrt{2} \end{aligned}$$

- SU(2) \otimes U(1) に対するゲージ不変なラグランジアン

$$\mathcal{L}_{\text{scalar}} = (D^\mu \phi)^\dagger (D_\mu \phi) - V(\phi^\dagger \phi)$$

$$D_\mu = \partial_\mu + i\frac{g'}{2} A_\mu Y + i\frac{g}{2} \vec{\tau} \cdot \vec{b}_\mu$$

- 対称性が自発的に破れて真空が固定

$$\phi_{\text{vac}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ v \end{pmatrix}$$



$$M_W = \frac{vg}{2}$$

$$M_Z = \frac{v}{2} \sqrt{g^2 + g'^2}$$

- 独立成分4つ \rightarrow W^+ 、 W^- 、 Z^0 に質量を与える
残りの1個 \rightarrow 有限質量のヒッグスボソン

フェルミオンの質量

$$\mathcal{L}_{\text{Yukawa}} = -G_e [\bar{R}(\phi^\dagger L) + (\bar{L}\phi)R]$$

- 対称性が自発的に破れて真空が v に固定されると $m_f = G_f v / \sqrt{2}$

ヒッグスは重い粒子
と結合しやすい

➤ u-quark 1.5~4 MeV、d-quark 4~8 MeV

- 陽子 938 MeV、中性子 940 MeV

- $(m_u + m_u + m_d) / m_p \sim 1\%$

- 電弱対称性の破れは我々の世界にはあまり重要ではない???

電弱対称性が破れていない世界

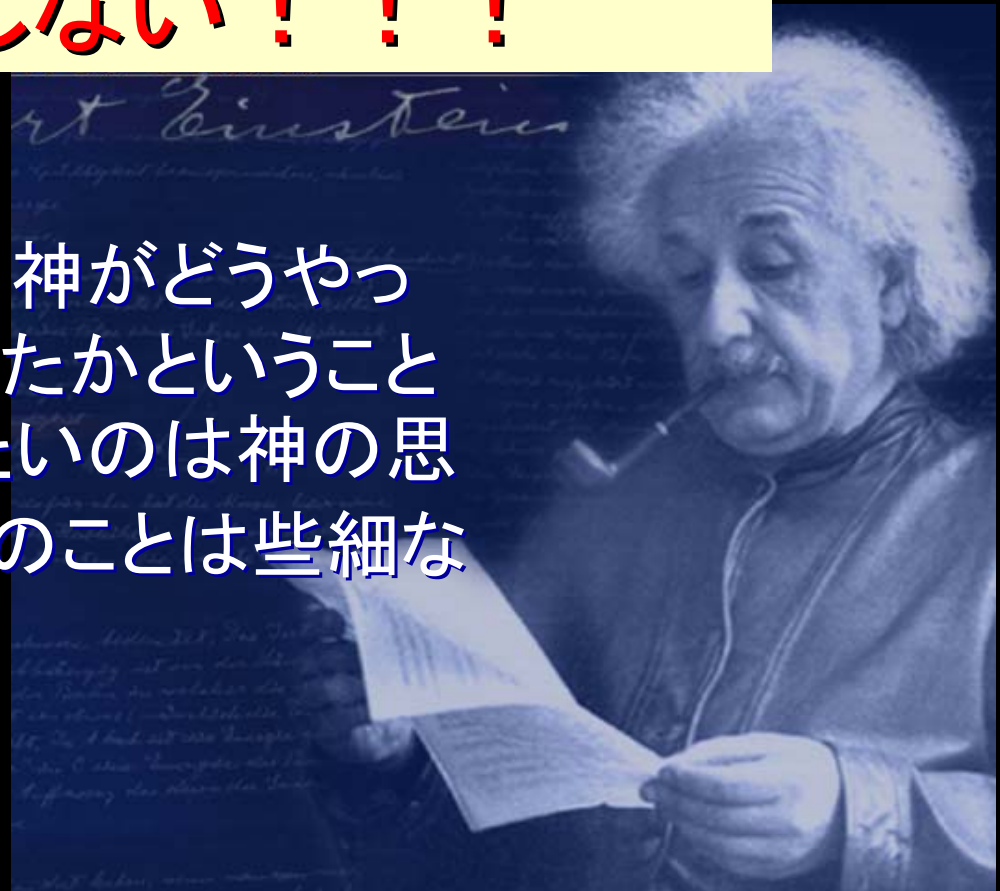
- クォークとレプトンは質量ゼロのまま
- 核子の質量は今とあまり変わらないが、陽子のほうが中性子よりも重くなる
- QCDによる対称性の破れ \rightarrow W,Zの質量約1/2500 \rightarrow β 崩壊率が非常に大きくなる



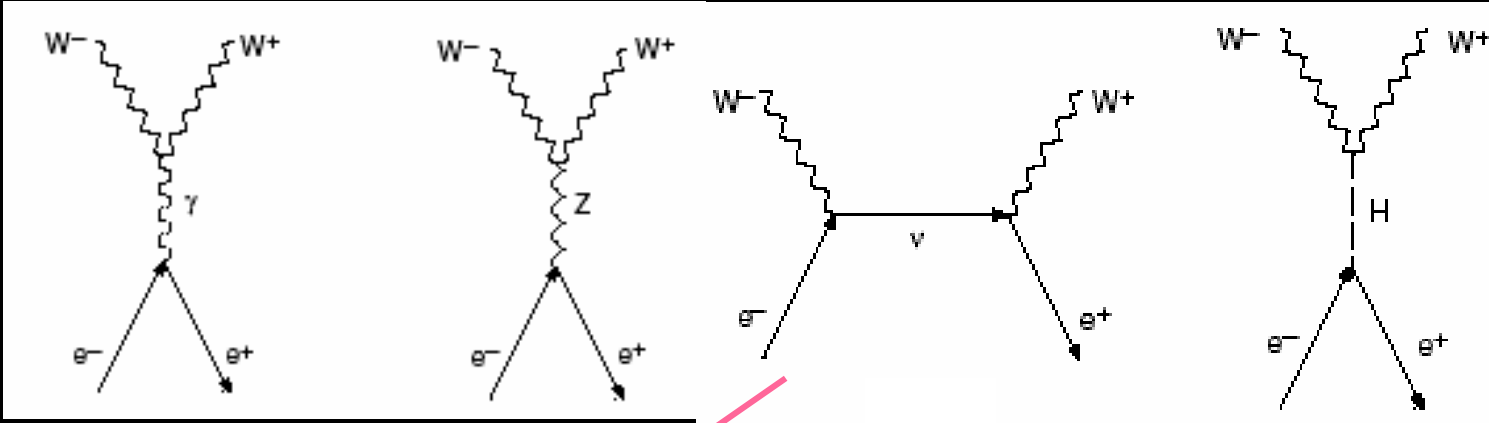
- 陽子が不安定 \rightarrow 水素原子が形成されない
 \rightarrow 我々の知っている宇宙とは違った世界

**電弱対称性の破れなしには、
我々は存在しない！！！！**

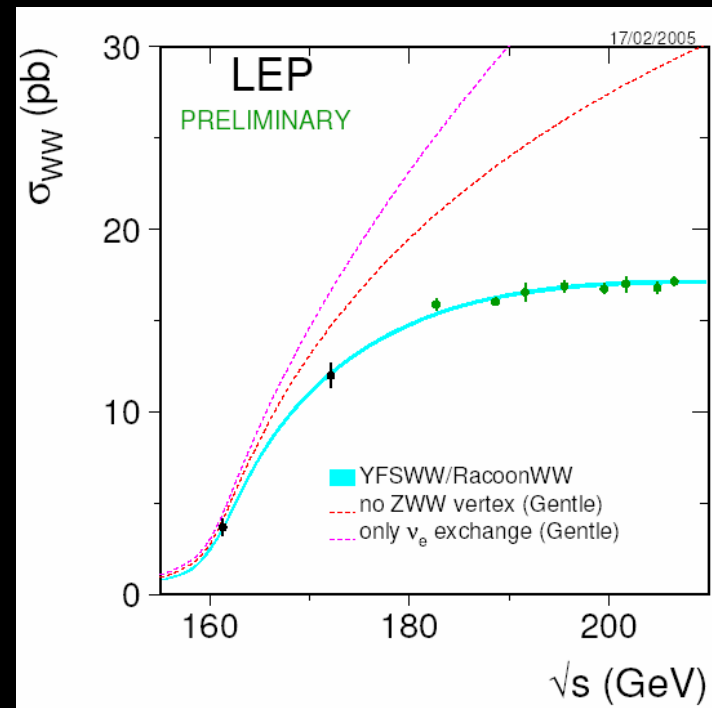
「私が知りたいのは、神がどうやってこの世界を創造したかということです。.....私が知りたいのは神の思考であって、その他のことは些細なことなのです。」



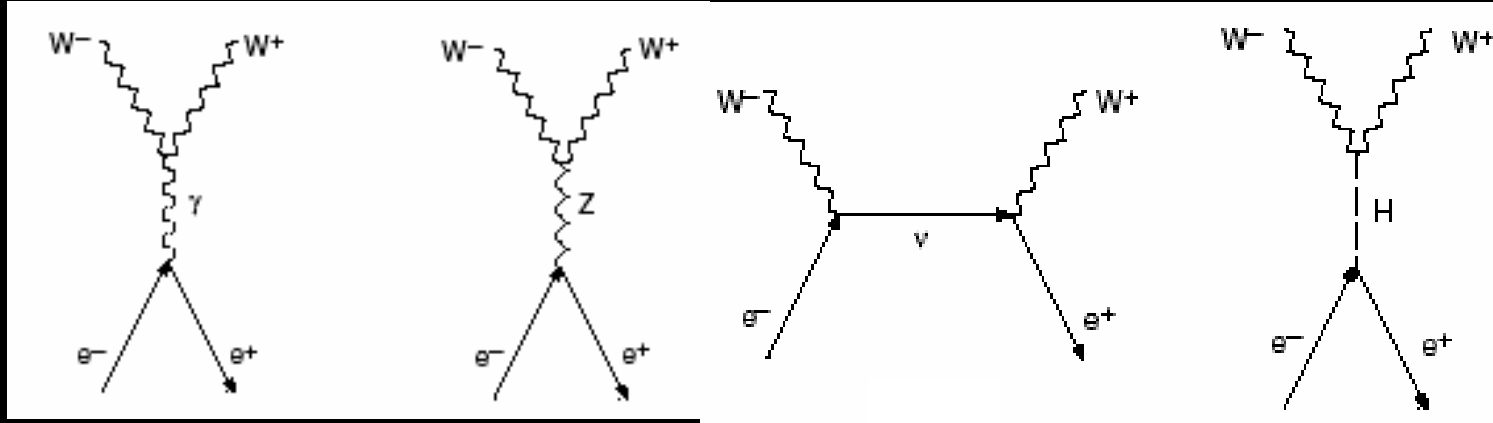
Gauge Cancellation



- $e^+ e^- \rightarrow W^+ W^-$
- 断面積 $\propto s^{1/2}$
- 高エネルギーで発散
 - スピン1成分: OK
 - ← γ/Z の中間状態によってキャンセル

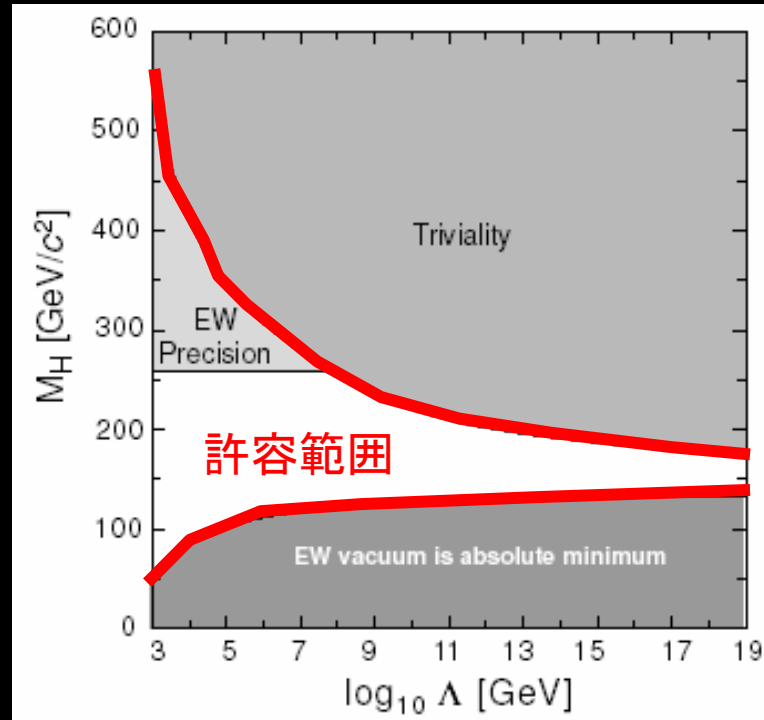


ユニタリティの保存



- スピン0成分(電子質量 \rightarrow wrong helicity state)もキャンセルする必要 ← ヒッグス(スピン0ボソン)が必要
 - キャンセルがないと $\sim 1.2\text{TeV}$ 付近で破綻
- ヒッグスと電子の結合定数は電子の質量に比例しなければならない(\because wrong helicity state \propto 質量)
← Higgs mechanism で得られる性質と一致

ヒッグスの質量の上限と下限



- 軽い (<400-500 GeV) ヒッグスが否定されたら
→ 標準理論の破綻 → 新理論の存在
- Either light Higgs or new physics @1TeV

Higgs Hunting

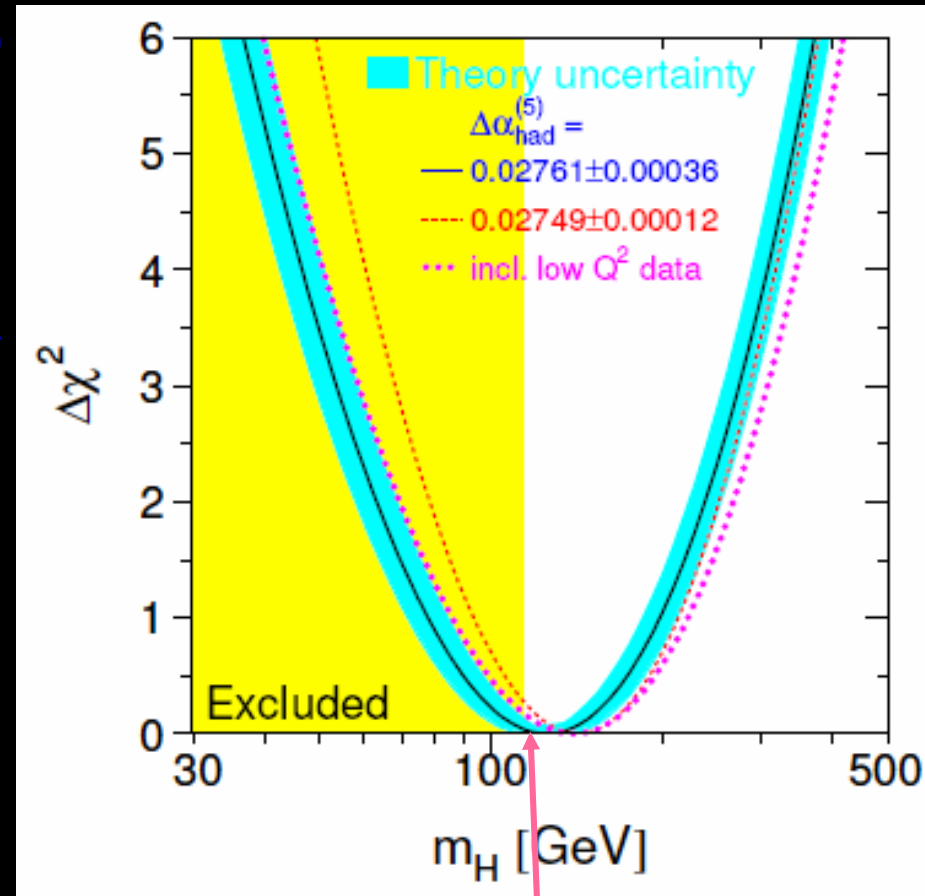
- 1TeV付近で電弱対称性が破れていることはほぼ確実
- ヒッグスポテンシャルに伴うスカラー粒子を発見すること = *GWS*模型最後の宿題



ヒッグスの発見 = 電弱対称性の破れの理解

標準理論の予想

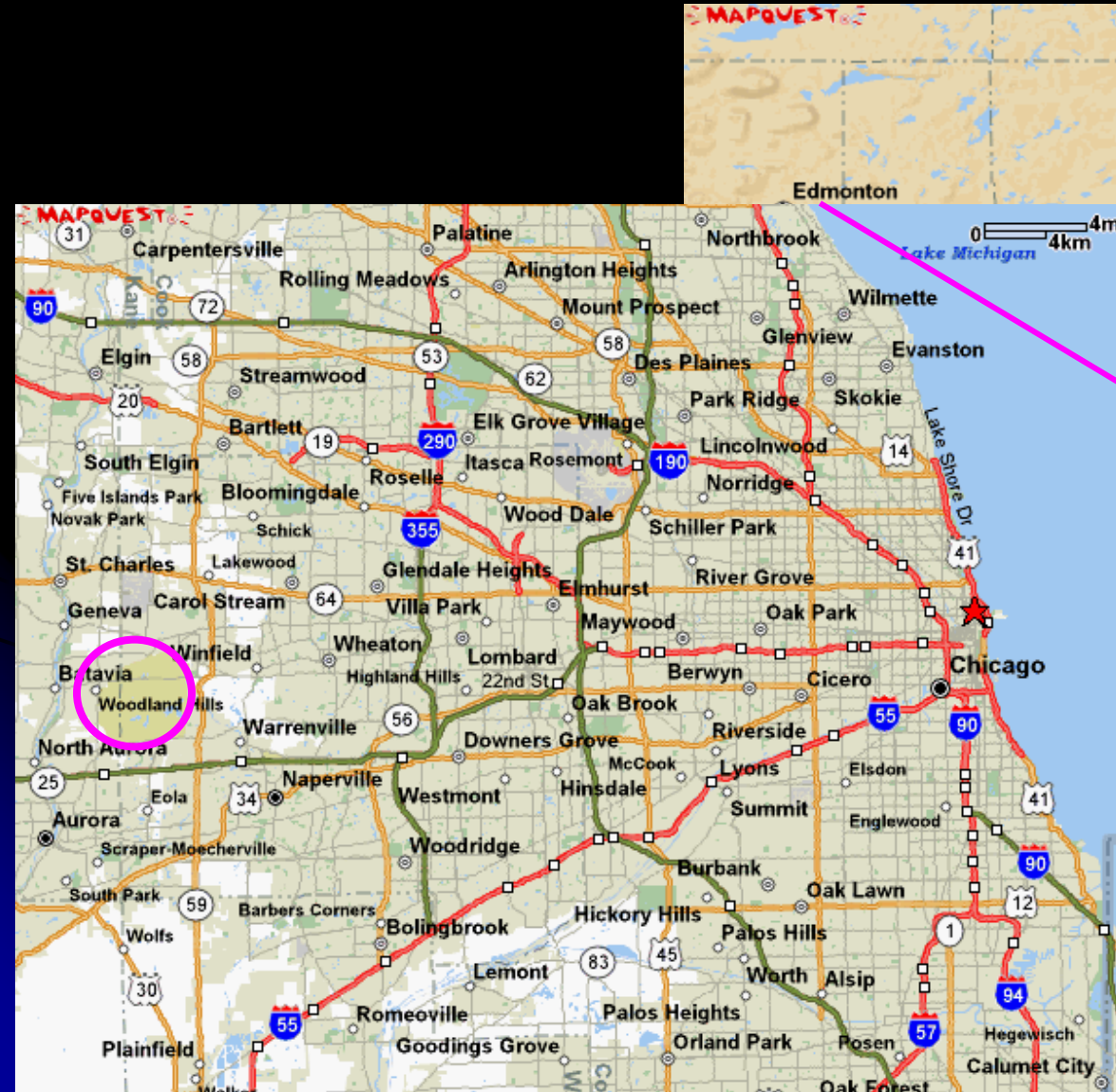
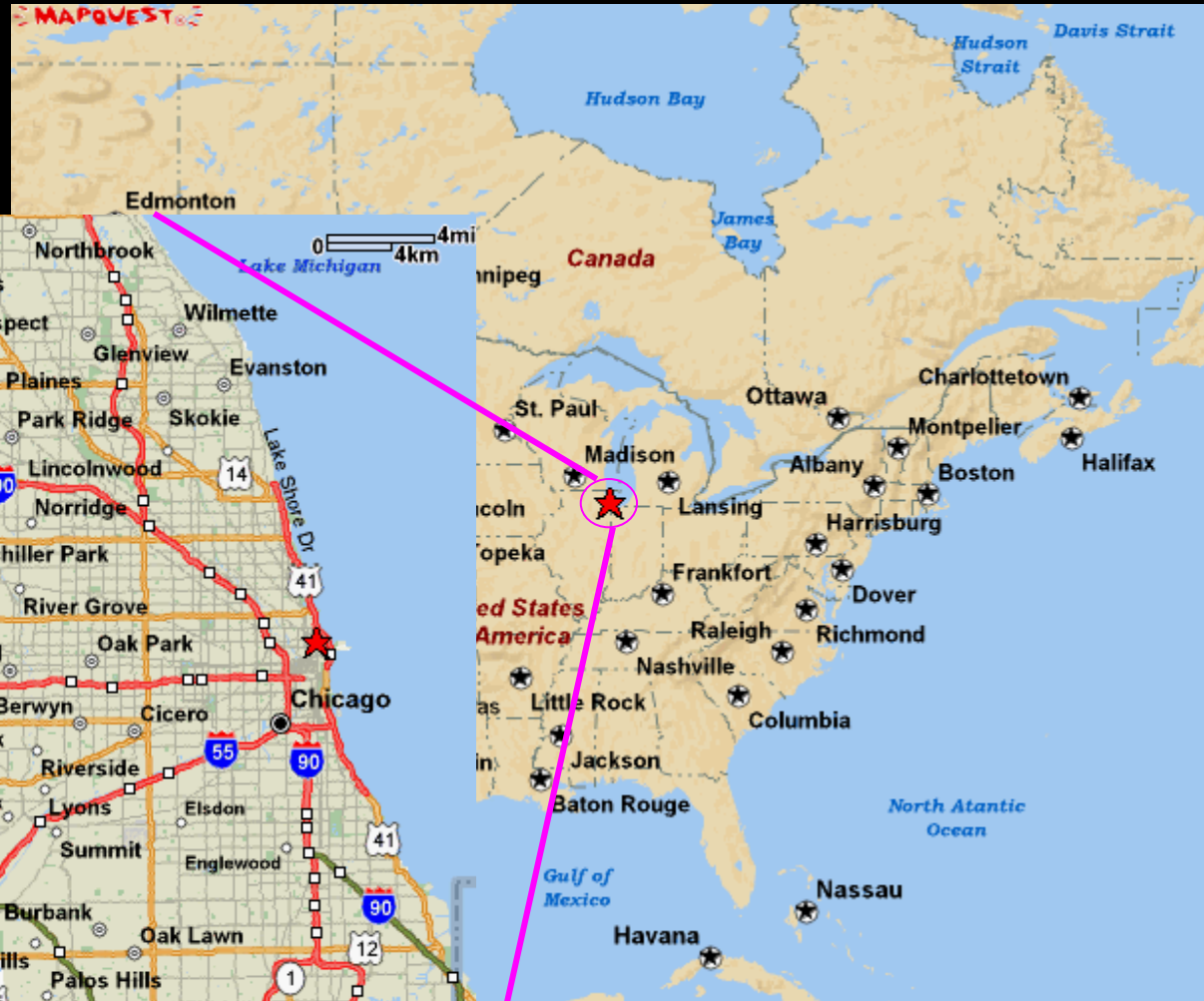
- M_H は free parameter
- 質量の量子補正にヒッグスが寄与 $\rightarrow M_t$ や M_W 、 M_Z の測定値などから予想可能
- $M_H = 126^{+73}_{-48} \text{ GeV}$
- $M_H < 280 \text{ GeV}$ @95% CL
- $M_H < 300 \text{ GeV}$ @95% CL (inc. direct search)



LEP 2 limit
 $M_H > 114.4 \text{ GeV}$

実験

Fermilab Location



CDF 検出器

Tevatron 世界最高エネルギー
980 GeV + 980 GeV

反陽子

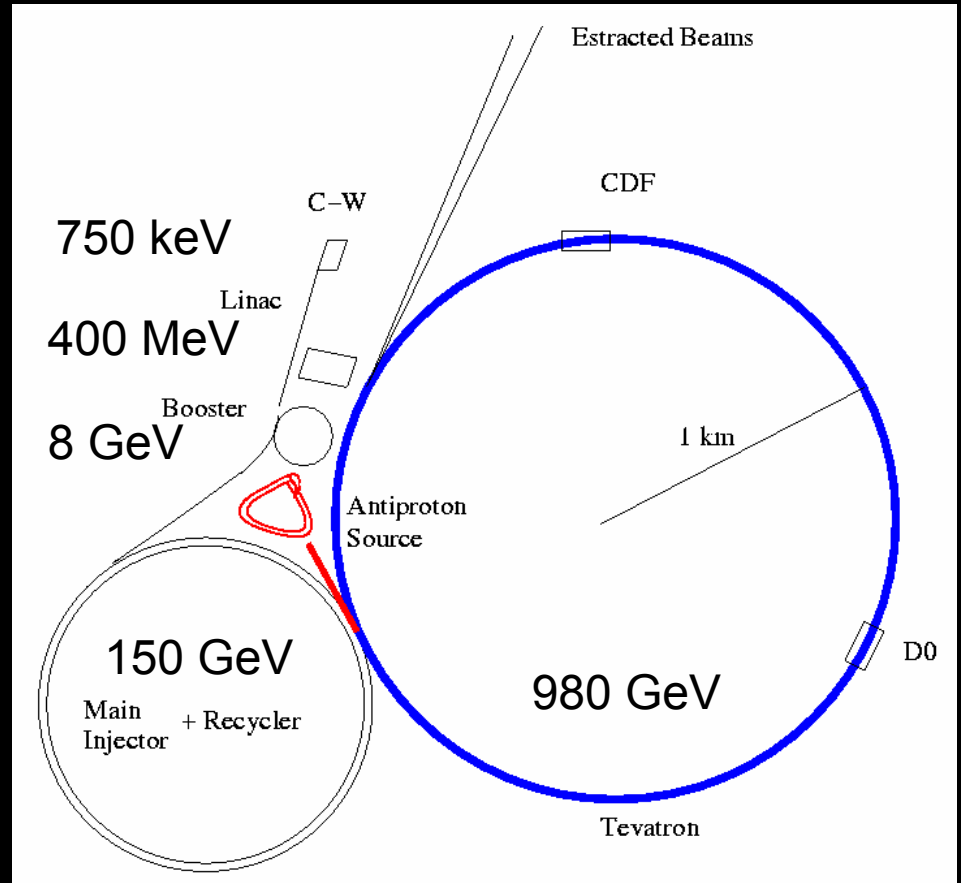
陽子

DØ 検出器



● 反陽子

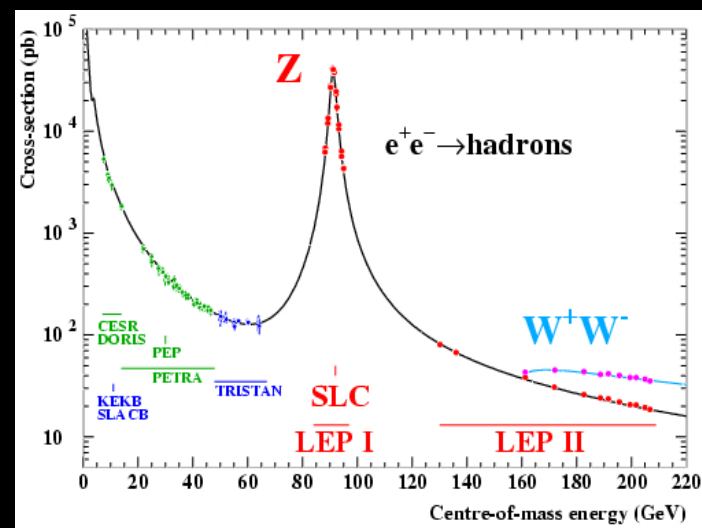
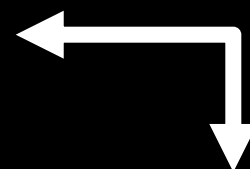
- 120 GeV 陽子を標的に入射
- 生成された反陽子は accumulator または recycler に蓄積
- 陽子に比べて生成、ビームの位相を揃えるのに時間がかかるので反陽子の数が luminosity を決める重要なファクター



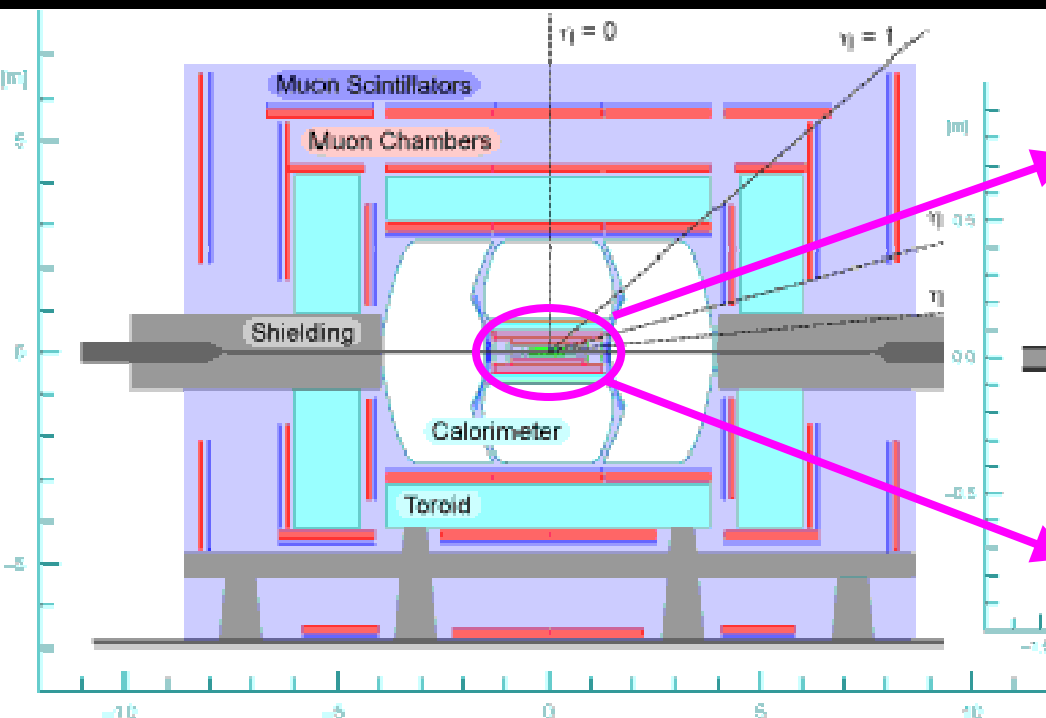
陽子・反陽子の衝突で起こる事象

- Bunch crossing 2.5MHz
 - ~3 interactions @100E30 of luminosity
- しかし！ほとんどが興味のない事象。例えば
 - bクォーク・反bクォーク: 1/2000
 - Wボソン: 1/1500万
 - トップクォーク: 1/100億
 - ヒッグスボソン: 1/4000億の割合でしか生成されない

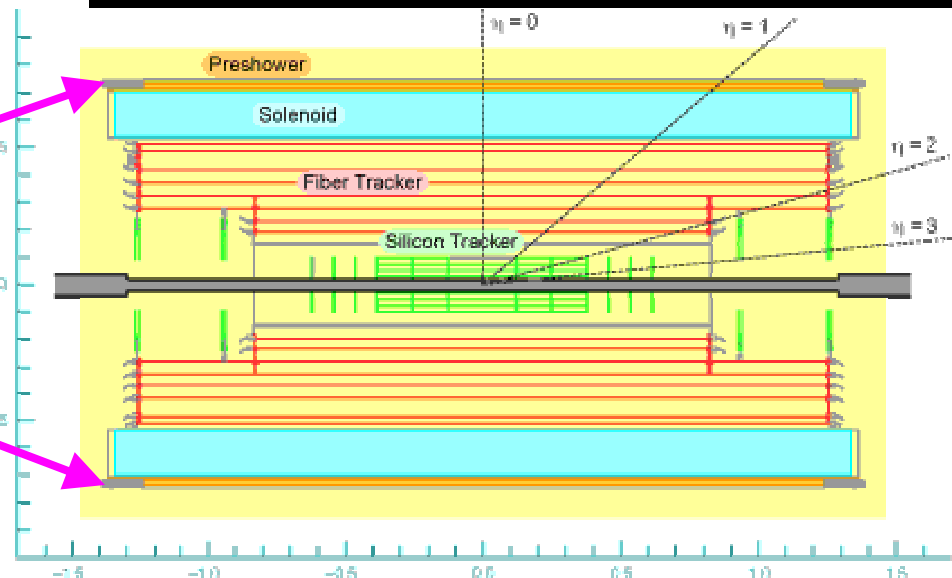
→ 欲しい信号をバックグラウンドの中から効率よく選び出すのが、実験家の腕の見せ所 (e^+e^- collider との違い)



検出器

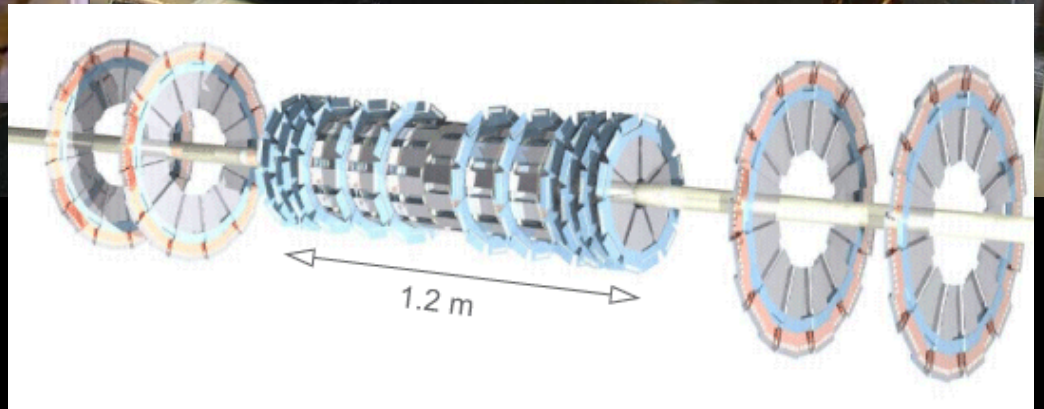
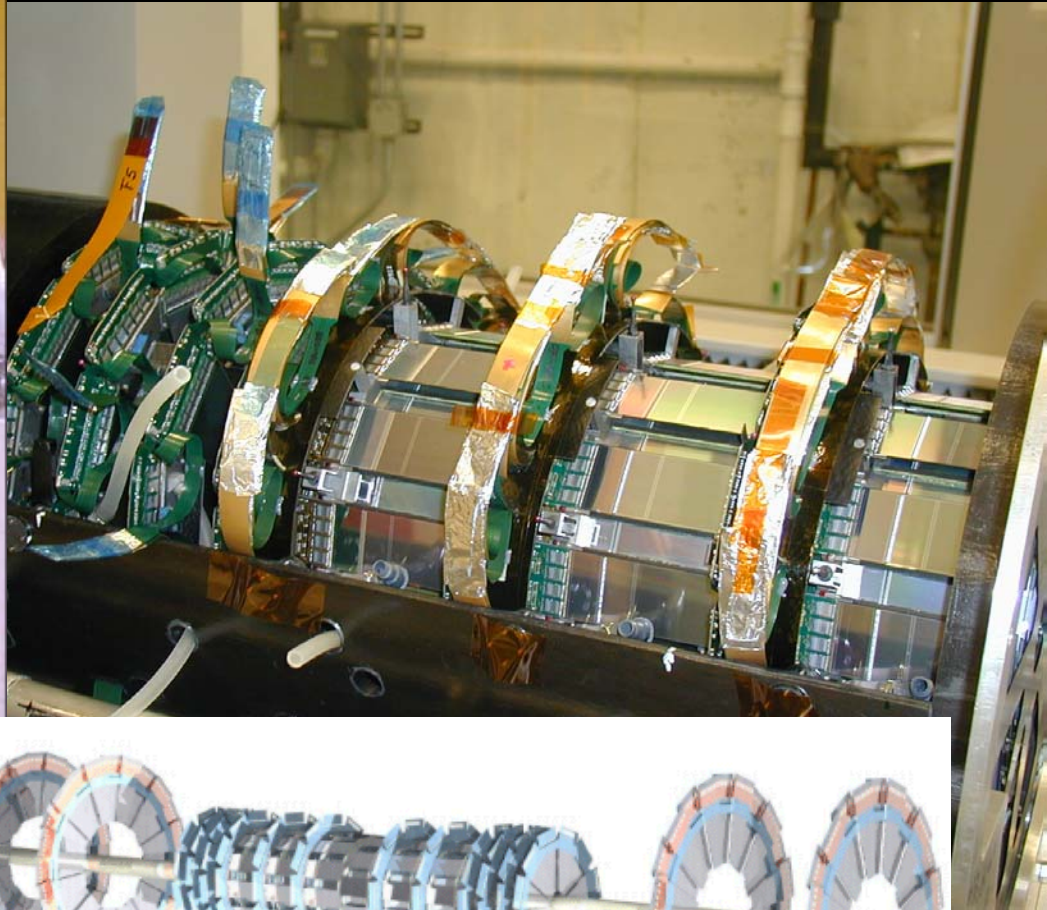
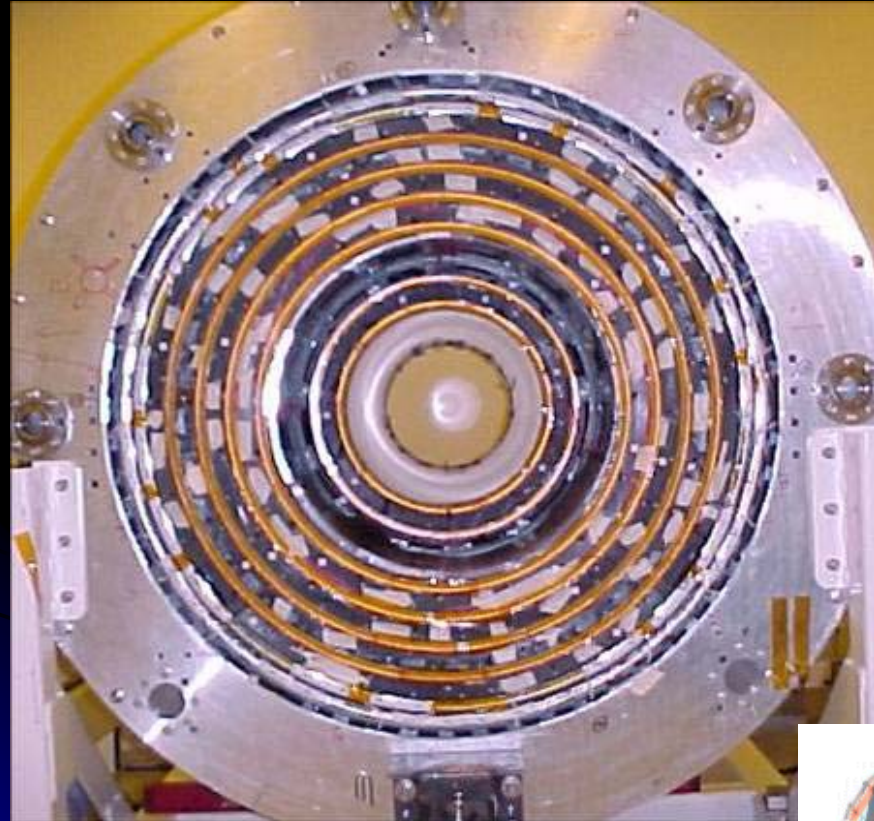


$$\eta = -\ln(\tan(\theta/2))$$

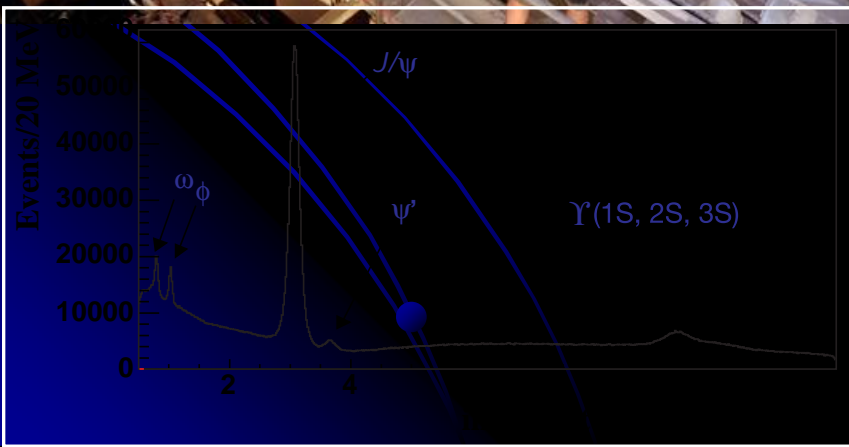
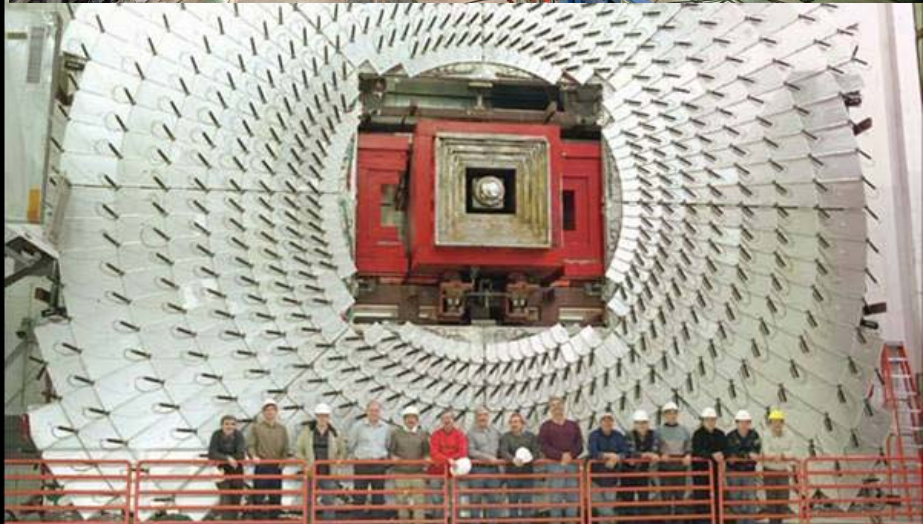
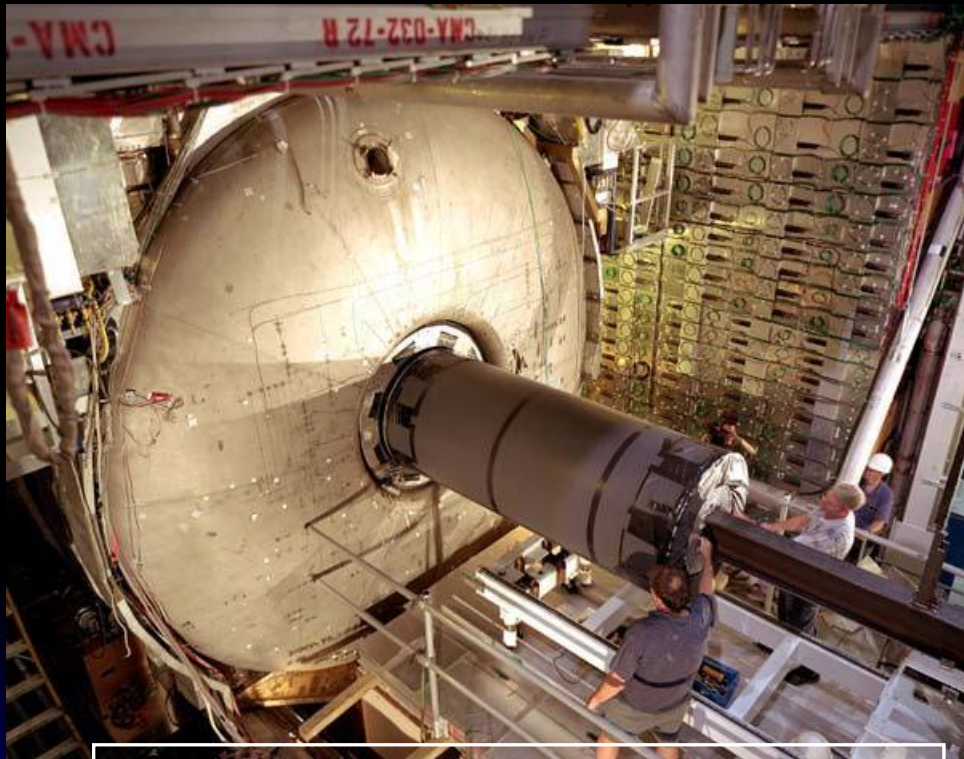


- Silicon Microstrip Tracker: b-jet の同定
- Fiber Tracker + 2T 磁場: 運動量の測定
- Large coverage by muon detector ($|\eta| < 2$)

Silicon Microstrip & Fiber Tracker

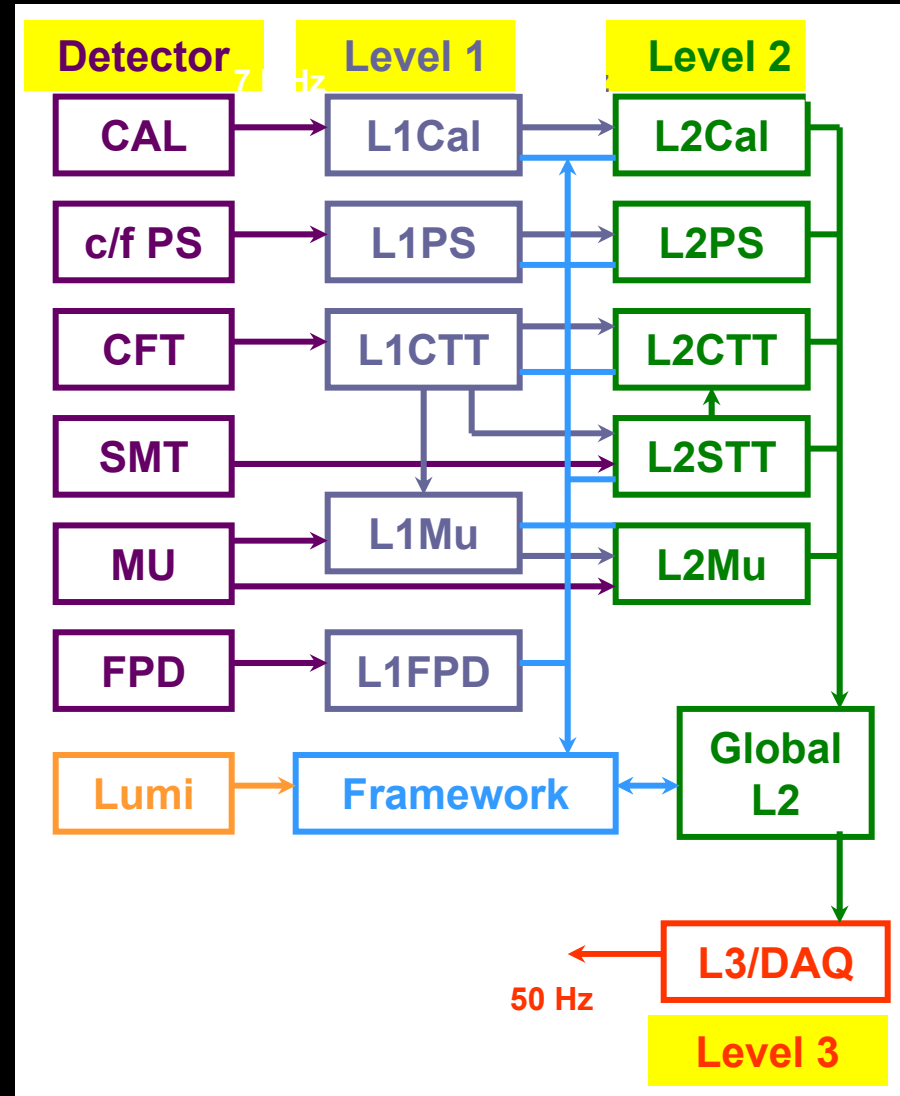
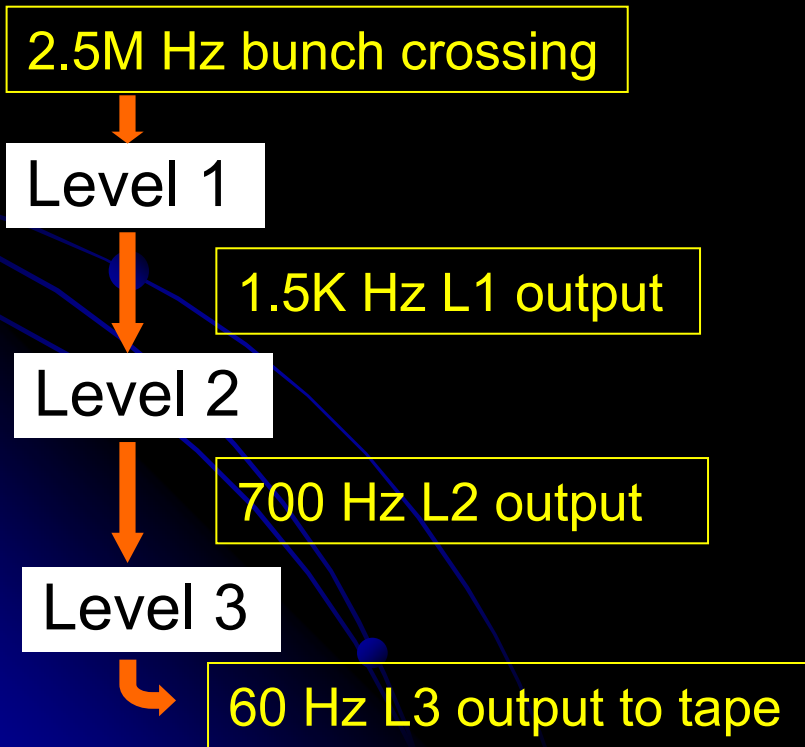


Calorimeter & Muon detector



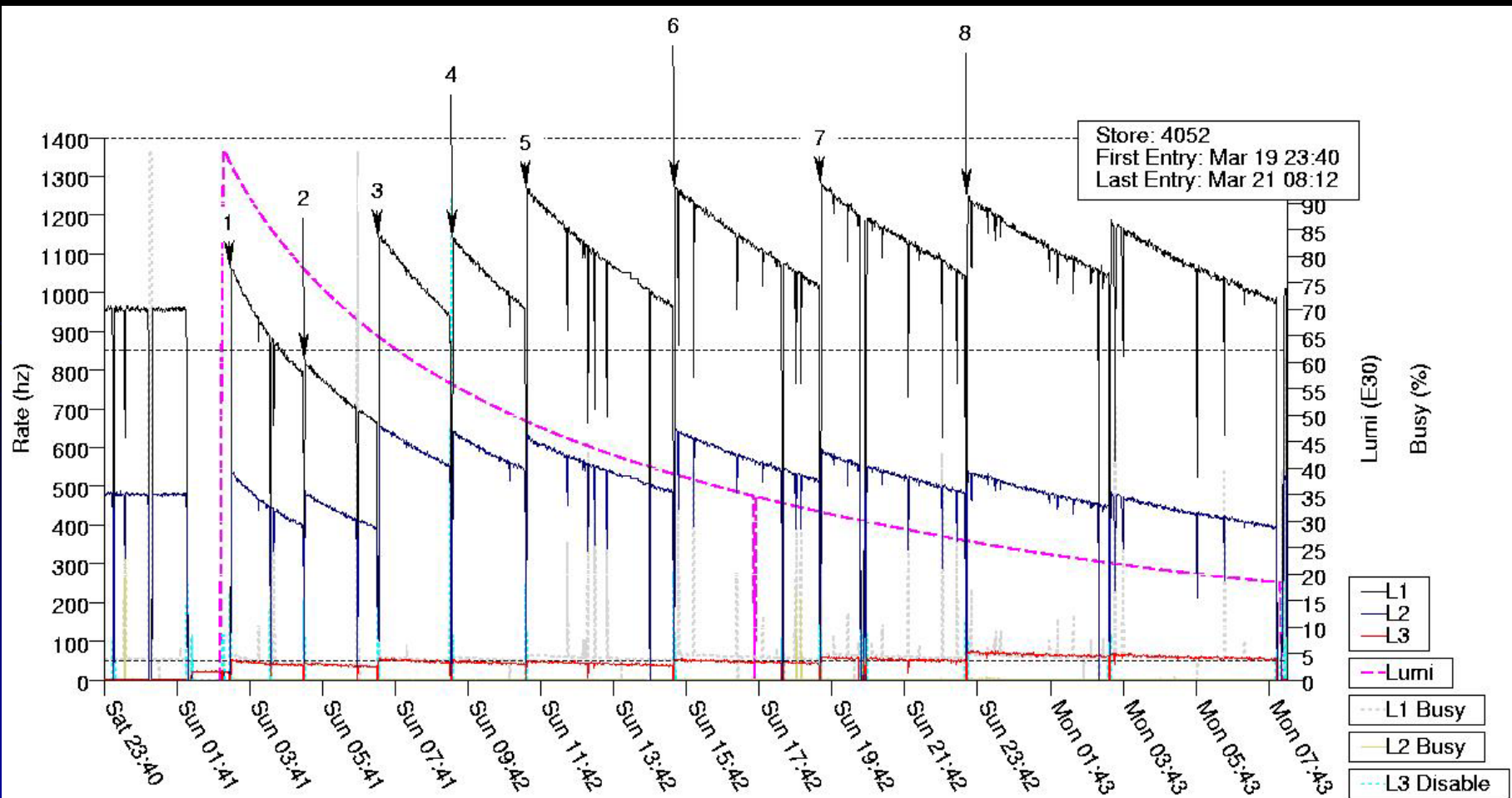
Trigger

- 3 Levels of trigger
 - L1/L2: hardware
 - L3: software on Linux cluster

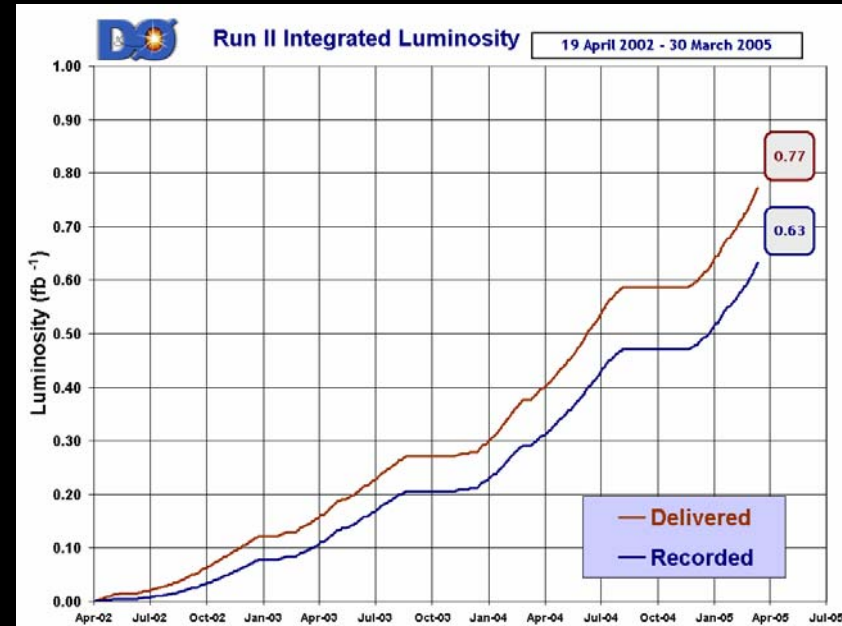
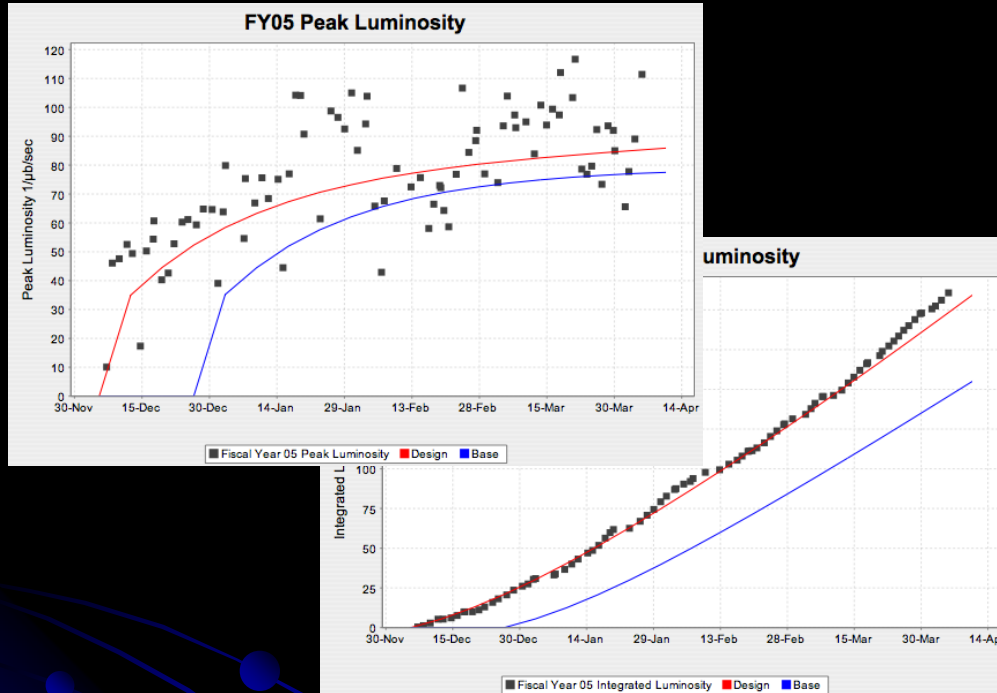


Runs and a Store

- 1回の beam store > 24 hrs
 - Prescale factor を変えて複数の runs



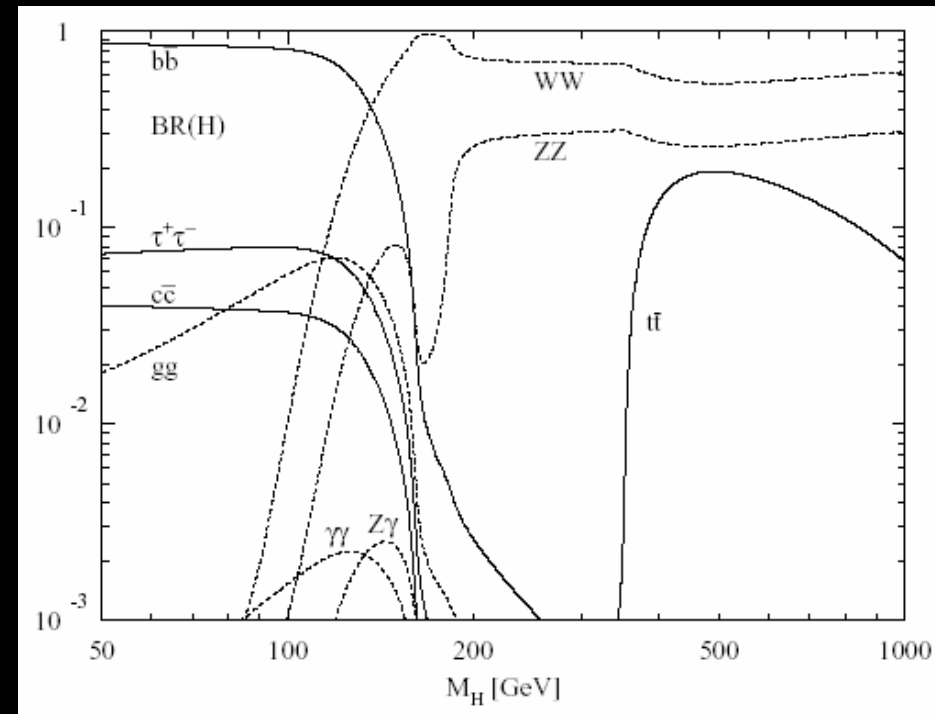
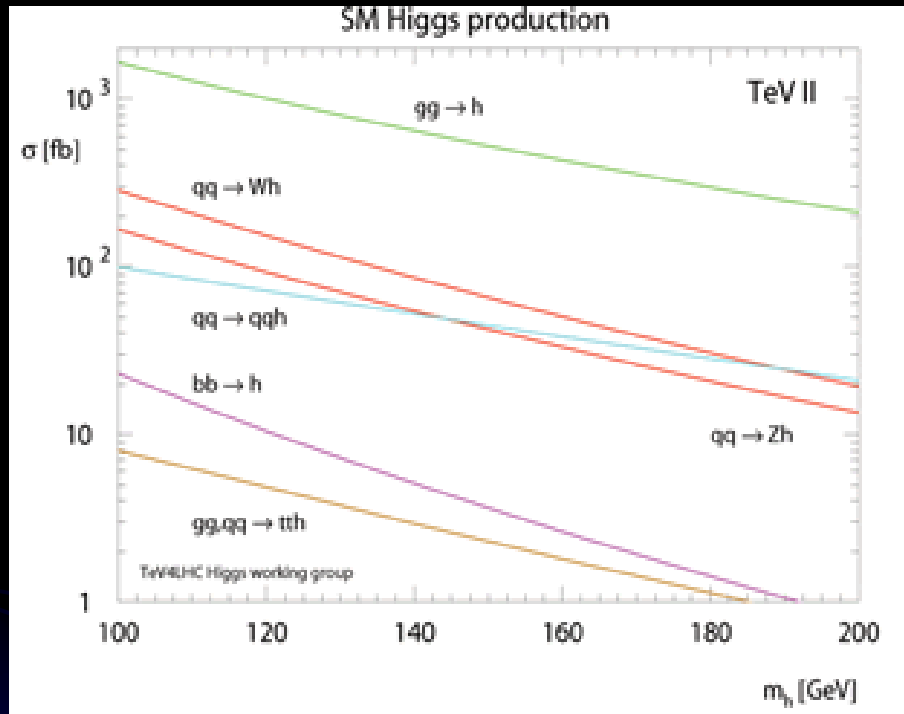
Luminosity



- Data logging efficiency > 80%
- さらに10倍のデータを収集する予定
 - 2004年度のintegrated luminosityは、計画よりも少し上回った。2005年も...

Higgs 探索

Higgs Search @Tevatron

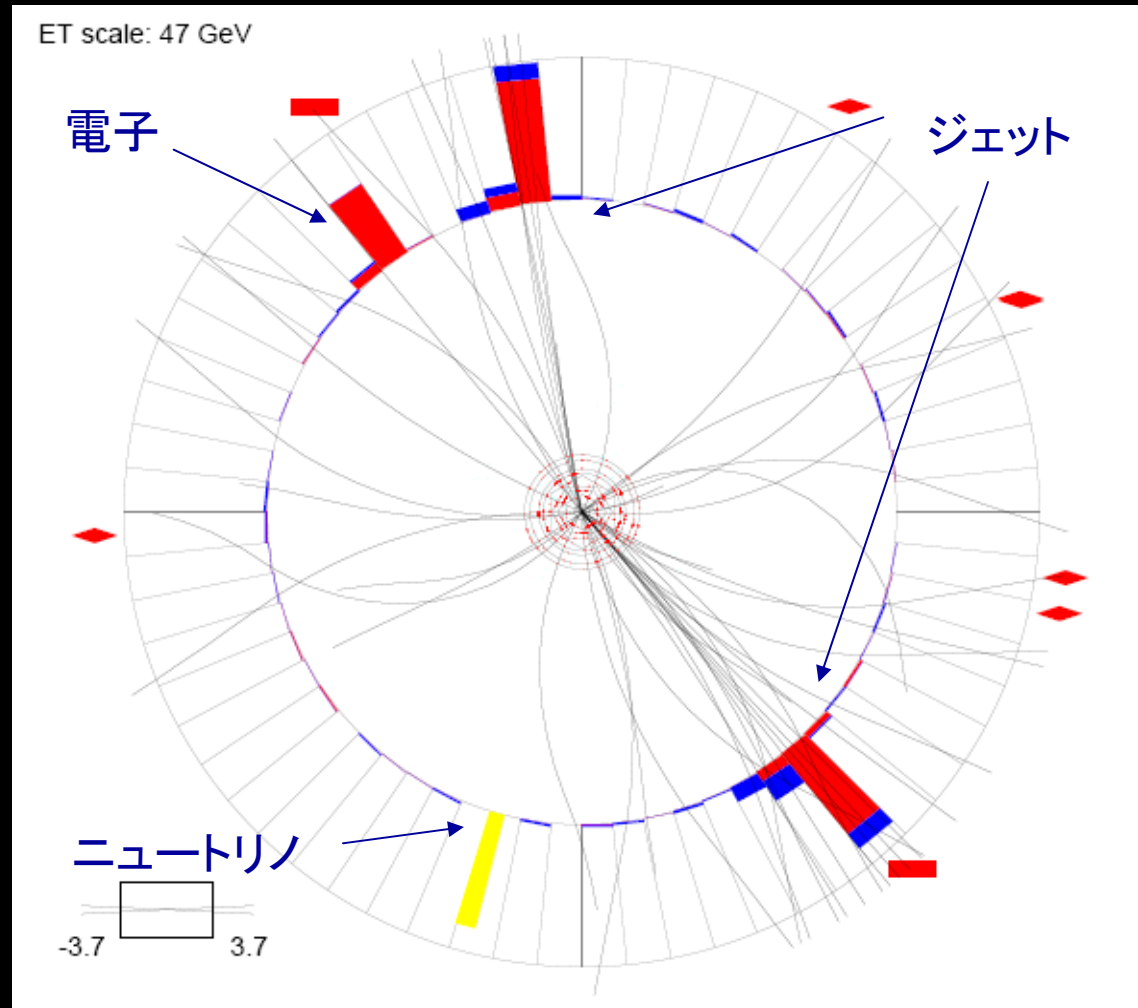


- $H \rightarrow b \bar{b}$ (for $M_H < 135 \text{ GeV}$)
 - $qq \rightarrow W/Z + H$ (too many QCD BG in $gg \rightarrow H$)
- $H \rightarrow WW$ (for $M_H > 135 \text{ GeV}$)
 - $gg \rightarrow H$

データの一例

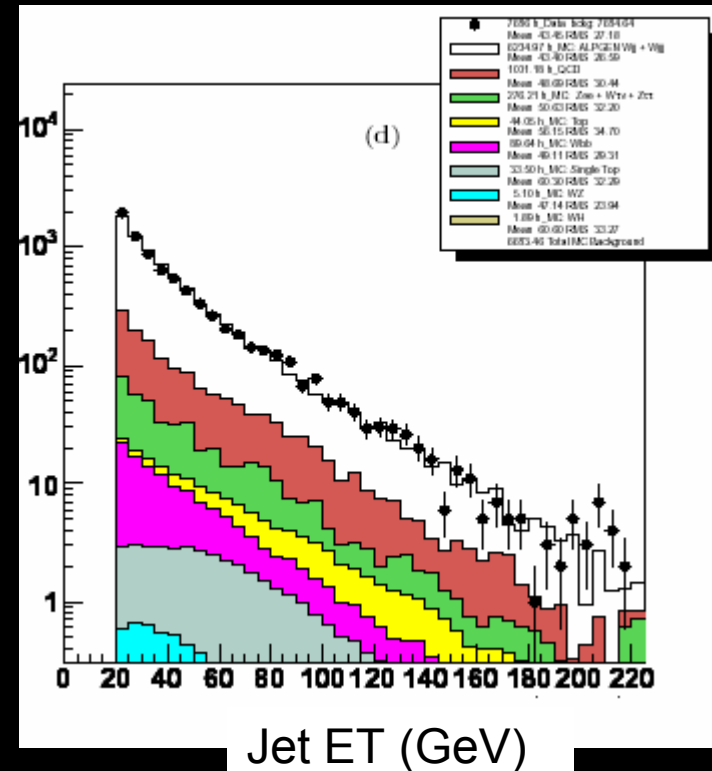
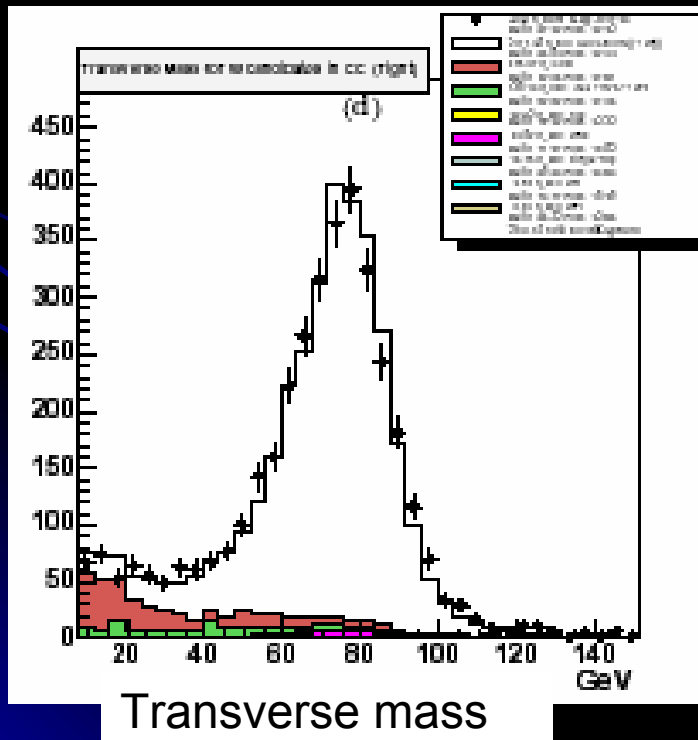
- $W(\rightarrow ev) + 2 \text{ jets}$

- ビームに垂直な平面内では運動量が保存
→ 観測した粒子の運動量からニュートリノの(ビームに垂直な平面内の)運動量がわかる



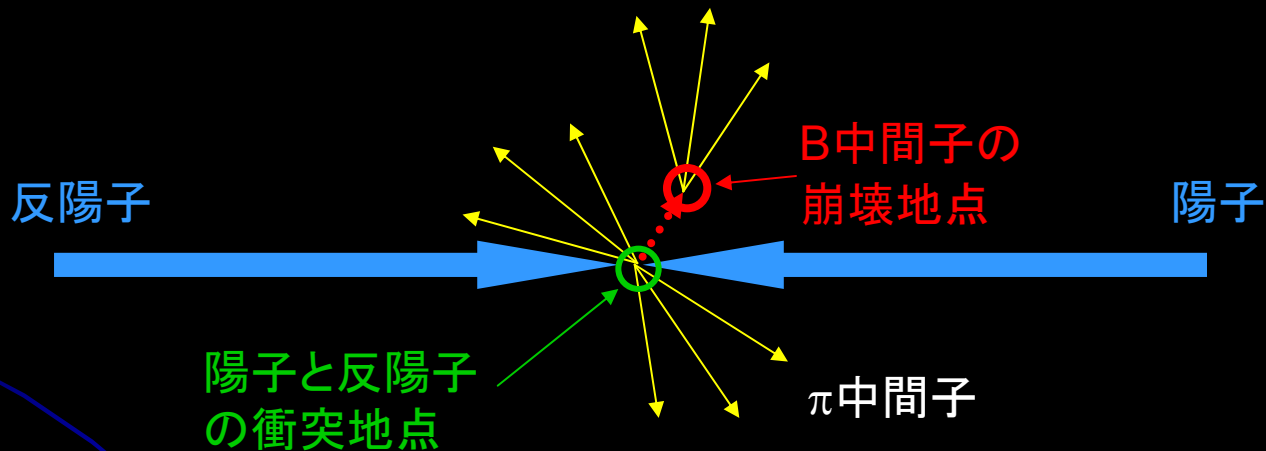
$W(\rightarrow ev)H(\rightarrow bb)$

- 孤立電子: $p_T > 20 \text{ GeV}$, $|\eta| < 1.1$
 - Missing $E_T > 25 \text{ GeV}$
 - Exactly 2 jets: $E_T > 20 \text{ GeV}$, $|\eta| < 2.5$
- } Select W
} Remove QCD BG
} Remove t tbar BG



b-jet の同定

- $\pi^{+/-}, K^{+/-}$ の寿命 $>$ Bハドロン の寿命 \gg 強い相互作用で崩壊する粒子の寿命

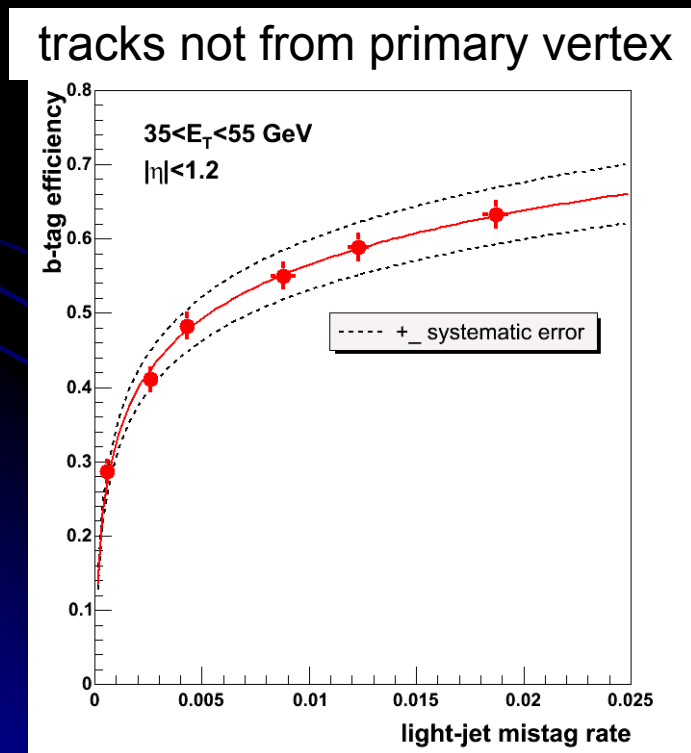


- Secondary Vertex をジェットの中に探す
 - Vertex は探さずに、primary vertex から来ないトラックを探すのもアリ

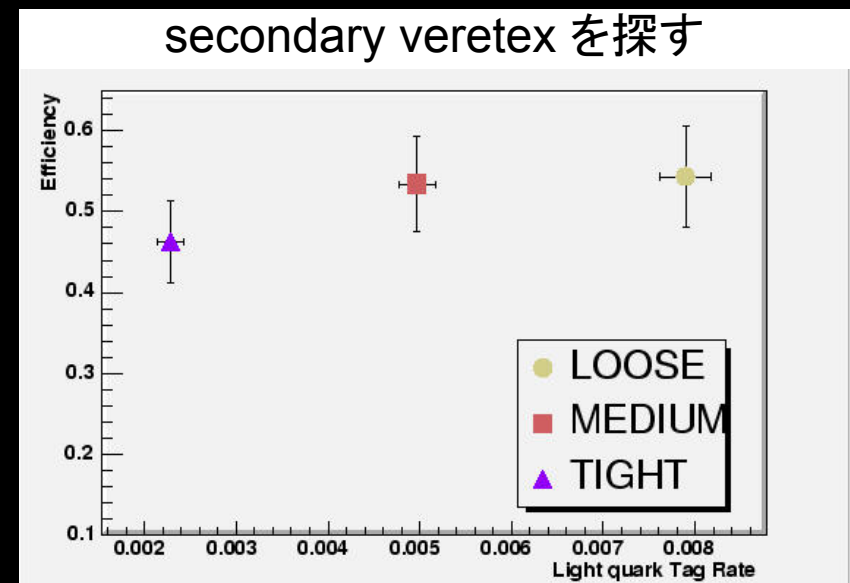
b-jet ID performance

- Three algorithms

- Combining them is in progress ← looks promising (correlation for b, not for fake)

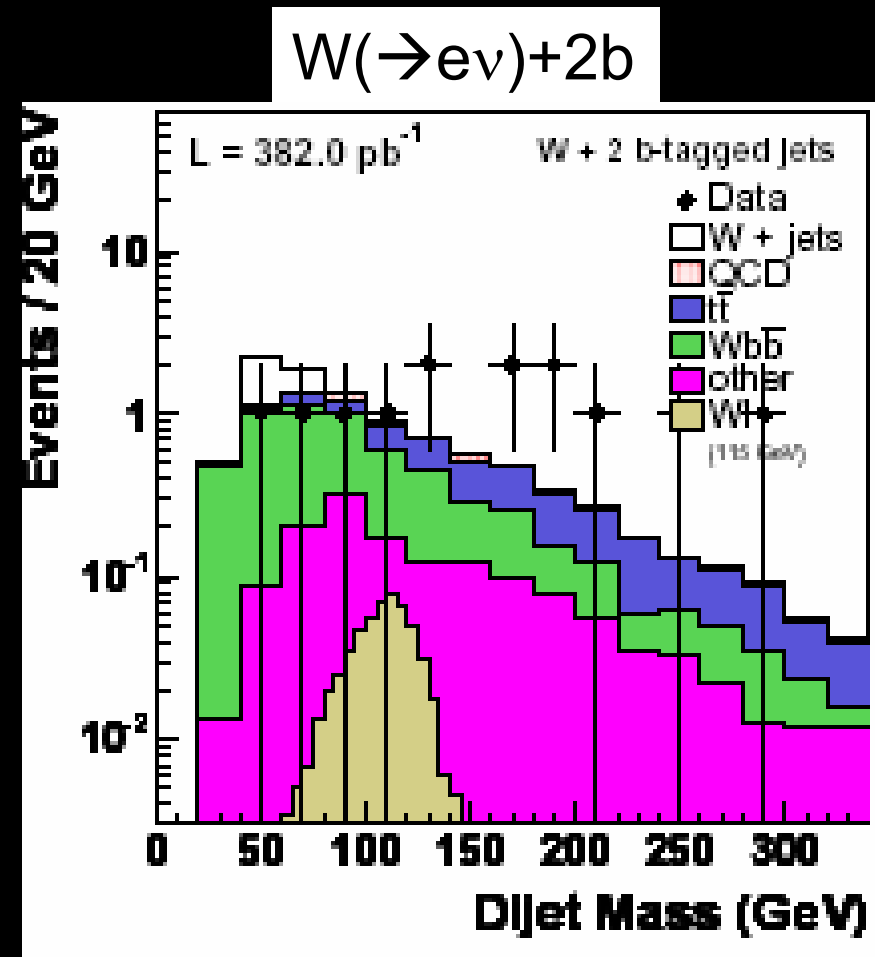


different algorithm



W(\rightarrow ev)H(\rightarrow bb) Result

- No significant excess
 - Mass window [85-135]
 - Expect total background to be 2.47 ± 0.59
 - Observe 4
- Is the excess around 180 GeV significant?
→ statistical fluctuation of BG
ということになってます



超対称性 (SUSY)

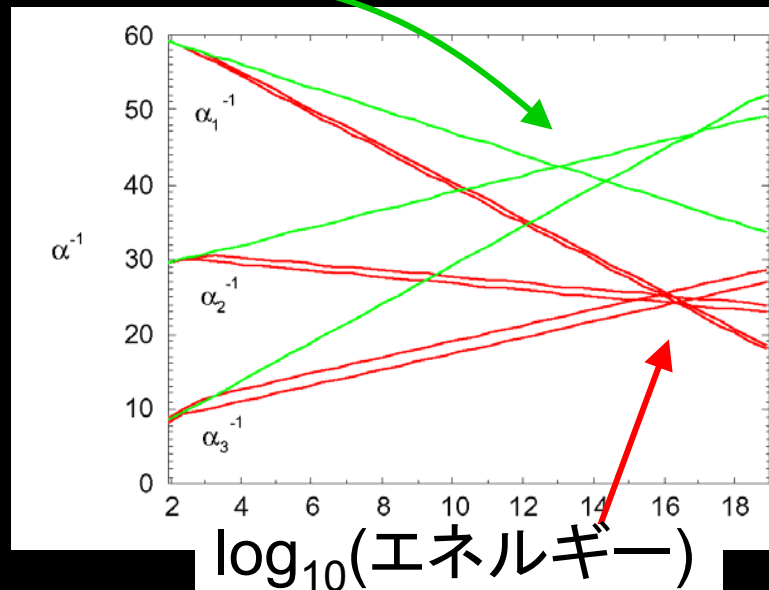
- 階層問題:
電弱統一のエネルギースケールは $\sim 10^2 \text{ GeV}$
↔ 大統一のスケールは $\sim 10^{15} \text{ GeV}$
 - エネルギーが大きくなると、電弱対称性が回復 → ゲージボソンやフェルミオンの質量に対する量子補正は小さい
 - 大統一のスケールまでHiggsの質量にする量子補正 ($\propto m^2$): 微調整を 10^{26} 桁に渡って行う ← 不自然!
- **Supersymmetry** とは、フェルミオン ↔ ボソンを入れ替える対称性。(フェルミオンとボソンは1つの粒子の異なる量子状態とみなす)
 - ヒッグスボソンの相棒(質量と結合定数が同じフェルミオン)が量子補正における発散をキャンセル
 - すべての粒子に相棒

SUSYの宣伝

- $SU(5) \supset U(1) \otimes SU(2) \otimes SU(3)$
 による力の統一の試み
 ← 一致しない



Cold Dark Matter = χ^0 ?



SU(5)にSUSYの補正を加える ← 統一の可能性

SUSYにおけるヒッグス粒子

- 複素スカラー場2重項が2つ (GWS 理論では一つ)

$$\phi_1 = \begin{pmatrix} \phi_1^+ \\ \phi_1^0 \end{pmatrix} \quad \phi_2 = \begin{pmatrix} \phi_2^- \\ \phi_2^0 \end{pmatrix}$$

$$\langle \phi_1 \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ v_1 \end{pmatrix} \quad \langle \phi_2 \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ v_2 \end{pmatrix}$$

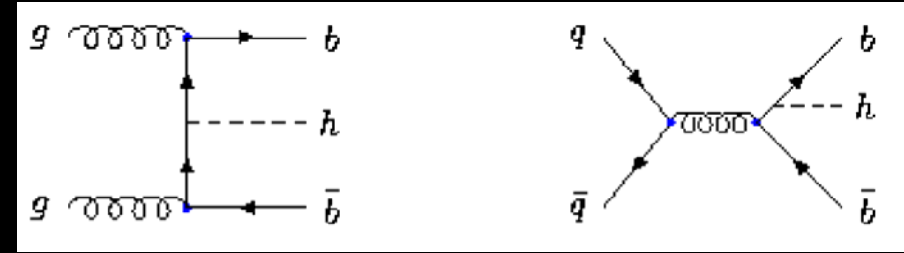
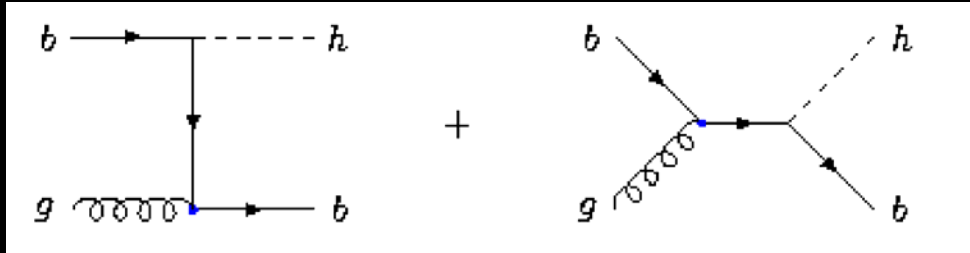
down type
quark に
質量

$$\tan \beta \equiv \frac{v_2}{v_1} \quad v^2 = v_1^2 + v_2^2$$

up type
quark に
質量

- (8個の自由度) - (3個のゲージボソンに質量)
= (5個のヒッグス粒子)
- h^0, H^0, A^0, H^+, H^-

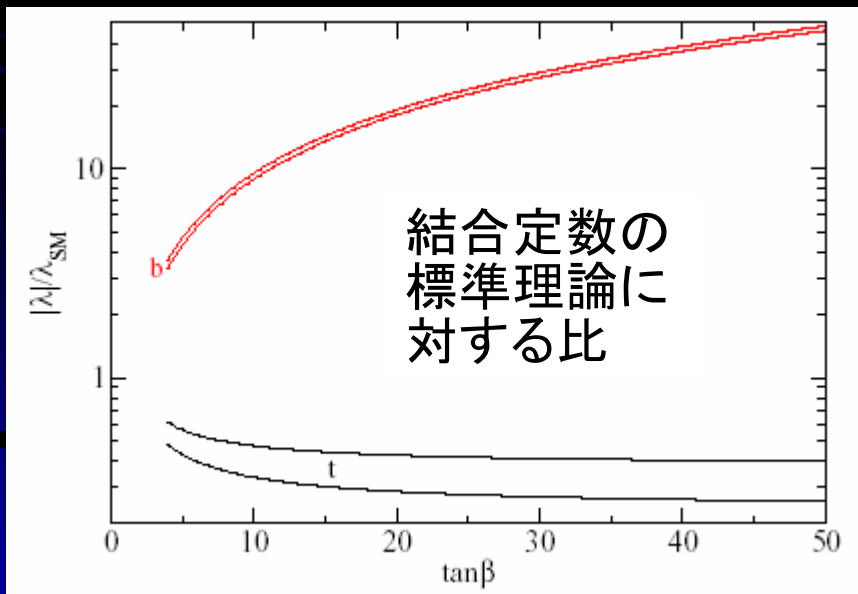
h^0 H^0 A^0 ($\equiv \phi^0$) の探索



- $\phi^0 \rightarrow b\bar{b}$ よって、終状態は3(4)個のbクォーク
- 標準理論におけるヒッグスの生成断面積よりも大きい可能性 ($\sigma \propto \tan\beta^2$)

→ real sensitivity
Main mode in Run2

if you are a gambler

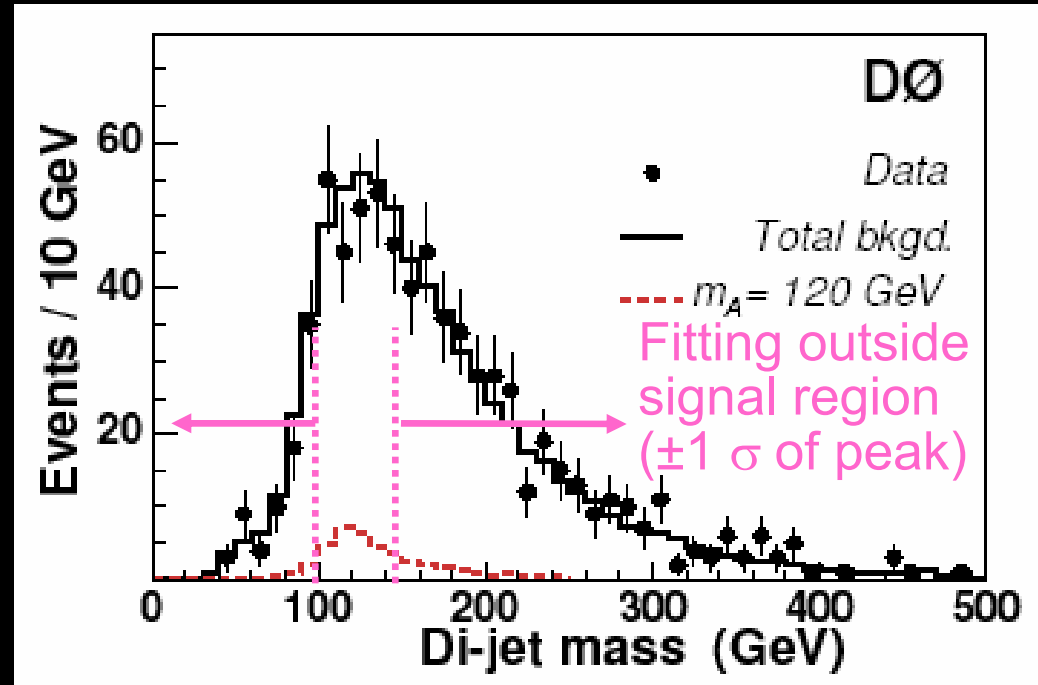


$\tan\beta$ は free parameter

$m_t/m_b \sim 40$??

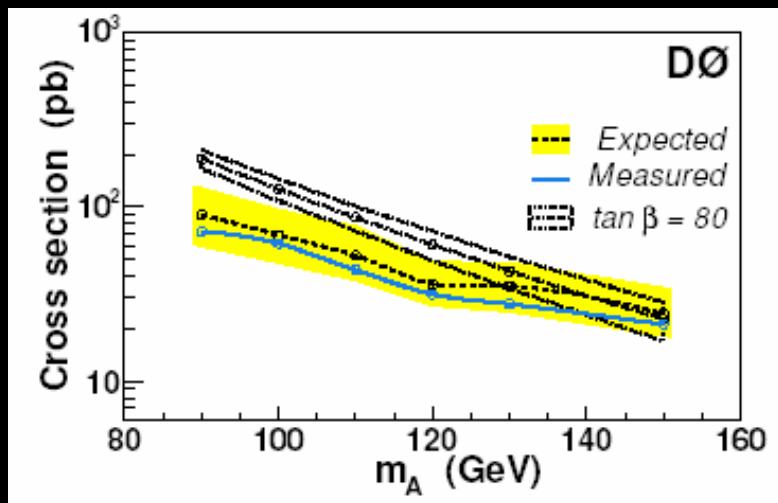
$b(b) + \phi^0$ – analysis

- 260 pb⁻¹ of data
- At least 3 jets; Pt and η cut optimized for each mass hypothesis
- ≥ 3 b-tagged jets (much looser b-tag criteria than W/Z+b(b))
- **Look for excess in di-jet mass**

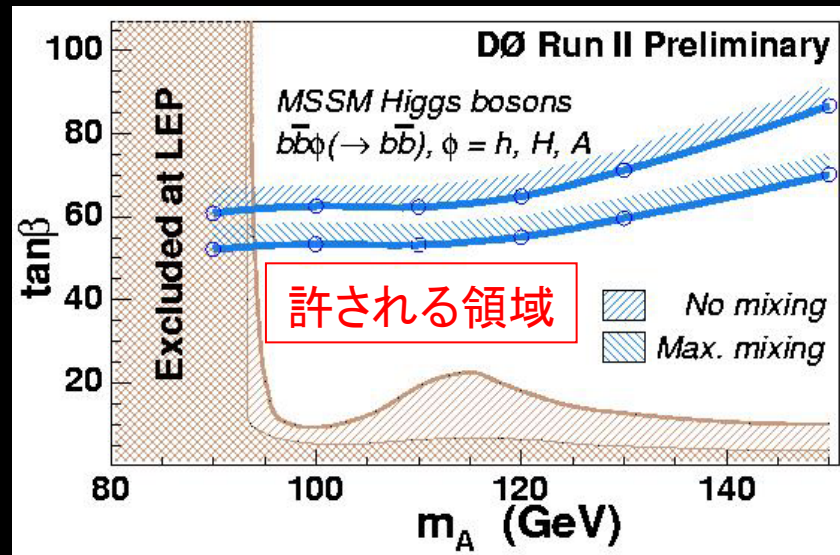
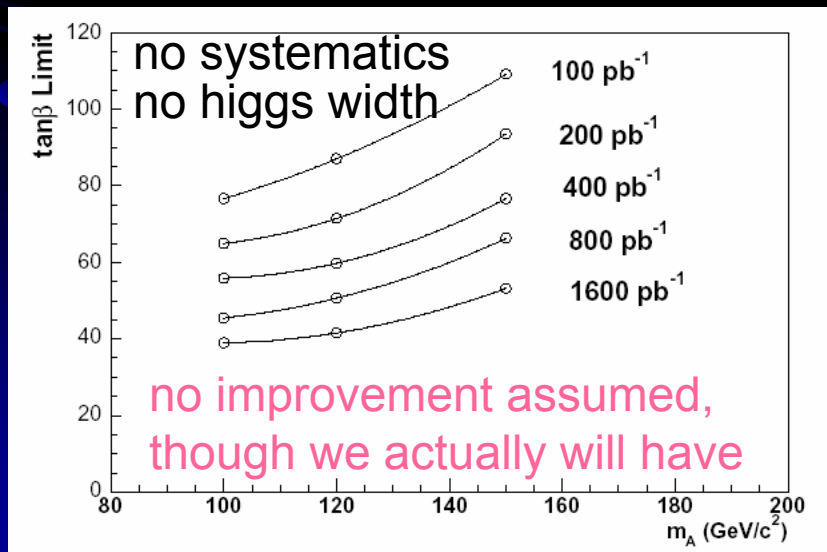


- BG shape determined from 2 b-tagged data with inclusion of fake rate

ϕ^0 探索の現状

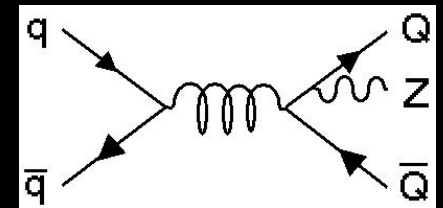
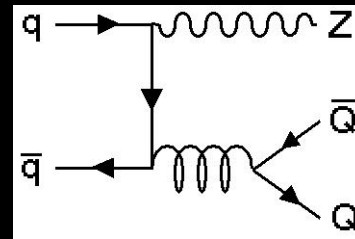
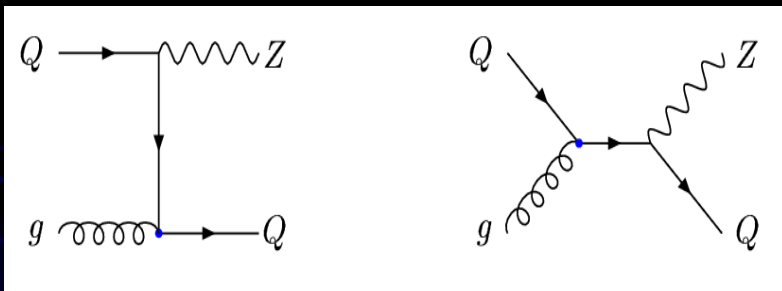


- Signal acceptance 0.2-1.5% depending on mass
- Systematic error from JES, btagging, etc..
- Upper limit of the lightest higgs at MSSM ~ 135 GeV



ϕ^0 探索に関連して

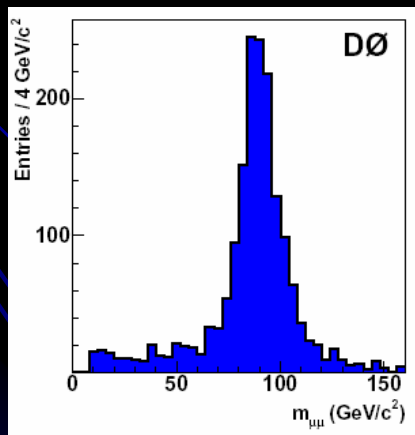
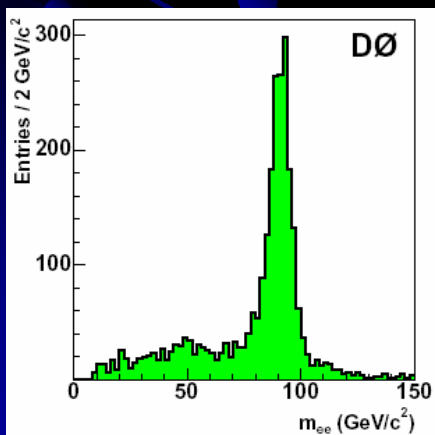
- $bb\phi^0(\rightarrow\tau\tau)$ も有効 - τ ID capability verified in $Z\rightarrow\tau\tau$
- $Z+b$ production は重要
 - Bench mark of theoretical calculations



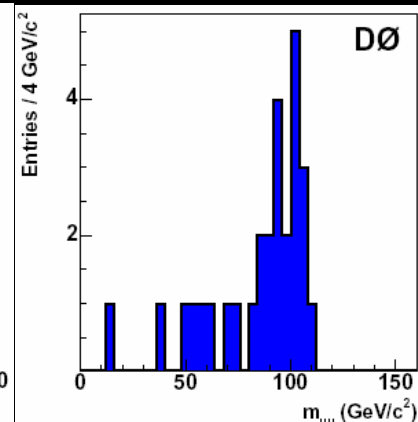
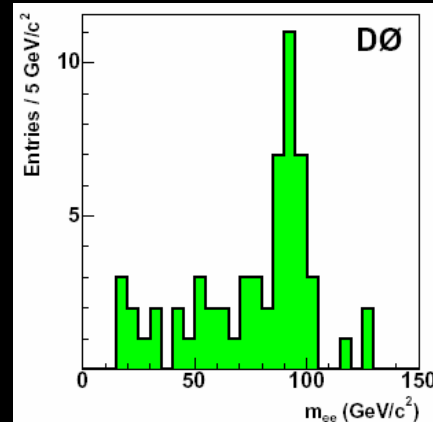
- Good probe to b's parton density function
 - ◆ CDF Run I result hardly to reproduce - the limit was too good (factor of xx)
 - ◆ This discrepancy is officially attributed to the parton density function

$$\sigma(Z+b)/\sigma(Z+j) \quad 1$$

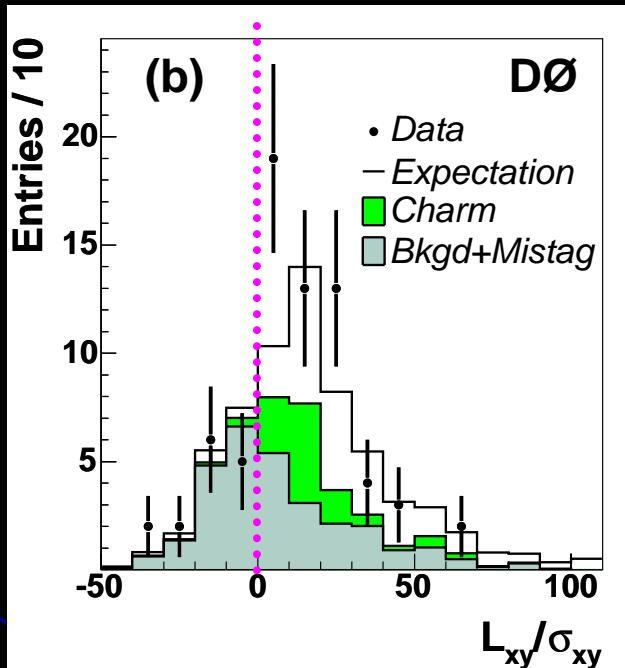
- Why ratio?
 - Many systematics cancel out
- Two isolated high p_T leptons
- Select Z; mass [80:100] or [65:115] GeV
- At least one b-tagged jet w/ $E_T > 20$ GeV



b-tag
➔



$\sigma(Z+b)/\sigma(Z+j)$ 2



asymmetric
distribution

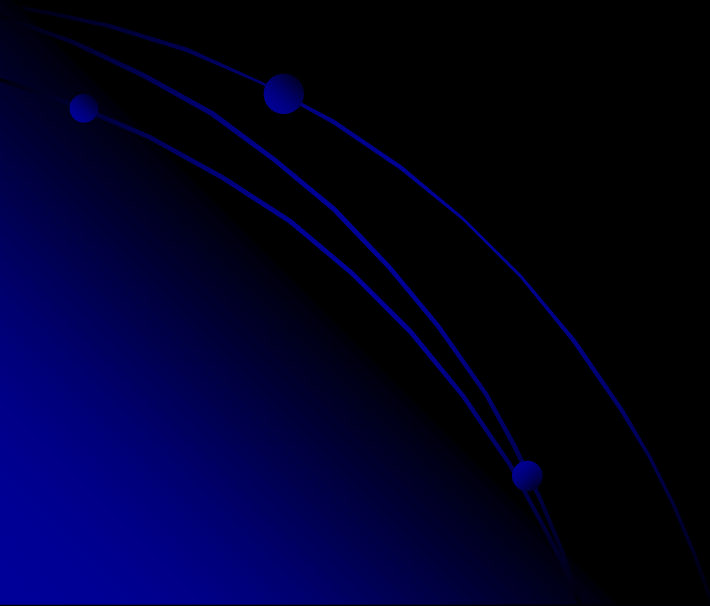


evidence of
Z+heavy jet

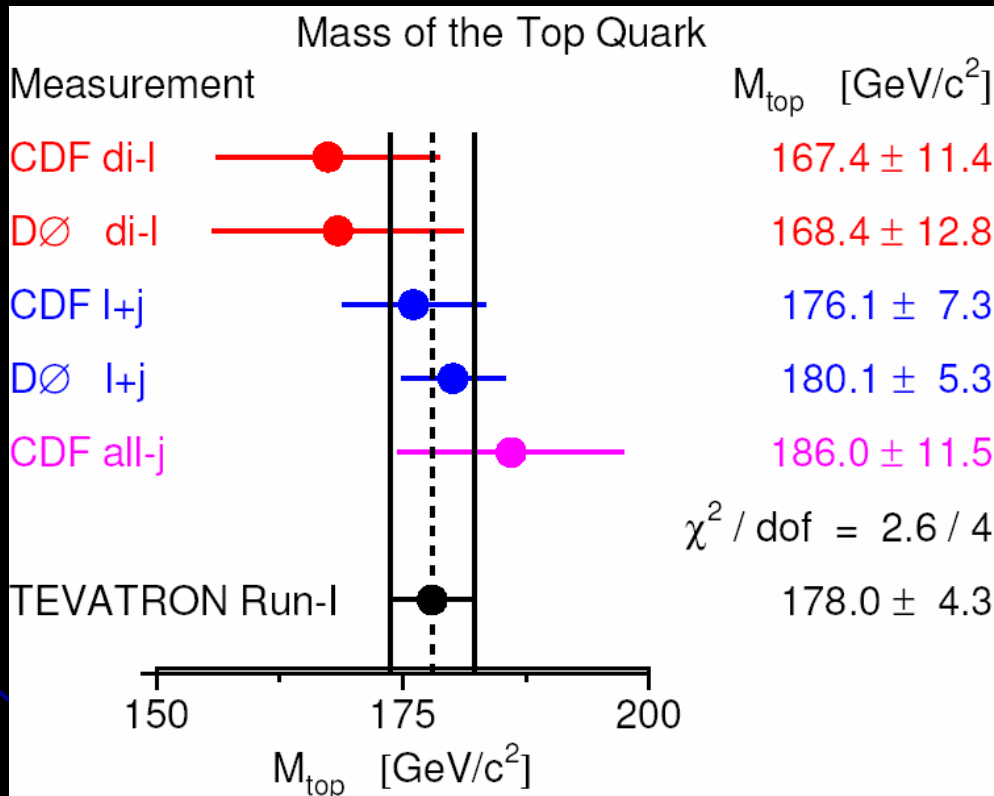
b/c ratio
in theory

- $\sigma(Z+b)/\sigma(Z+j) = 0.021 \pm 0.004^{+0.002}_{-0.003}$
- NLO calculation predicts
 $\sigma(Z+b)/\sigma(Z+j) = 0.018 \pm 0.004$ (CTEQ6)

Top mass measurement



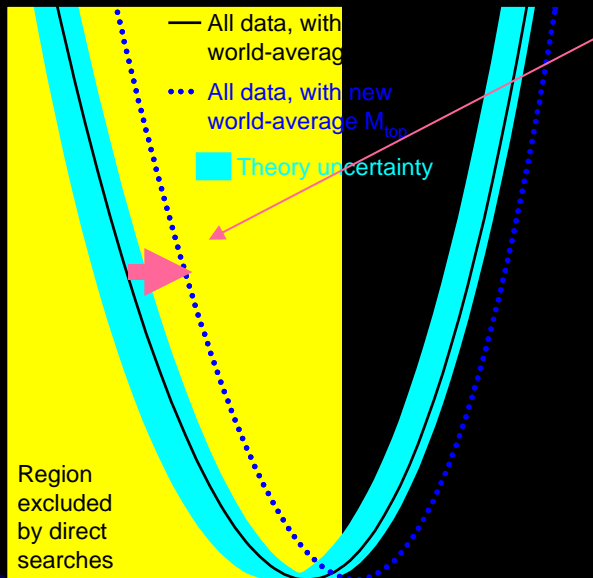
Run I results



- Reference results for Run II
 - Run I results based on 106-125 pb⁻¹

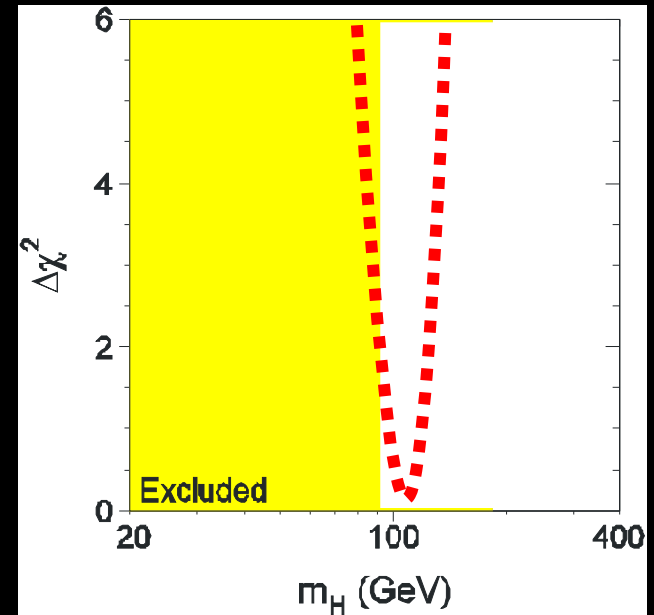
Top mass in radiative corrections

2004



Shift due to top mass
 174.3 \rightarrow 178.0 GeV

トップやWの質量
 が精度よくわか
 ると...



● Radiative Correction

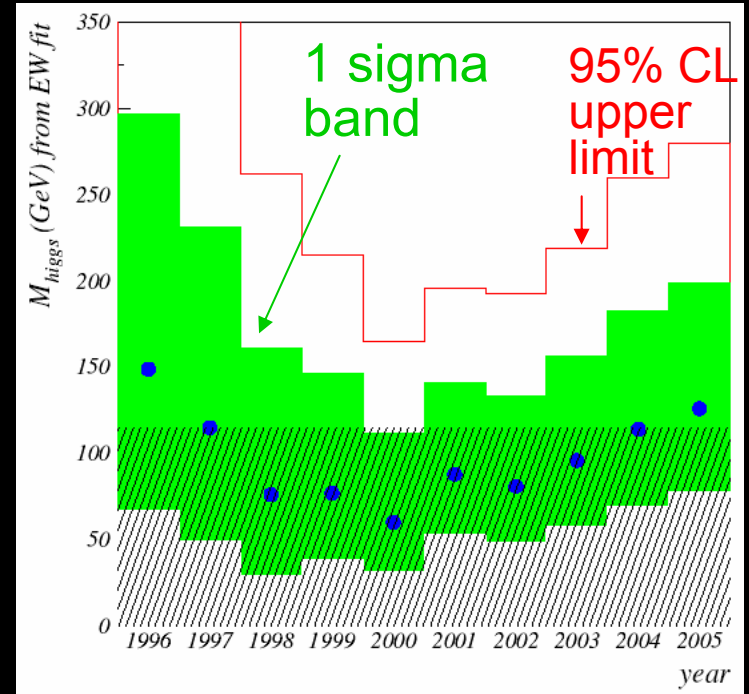
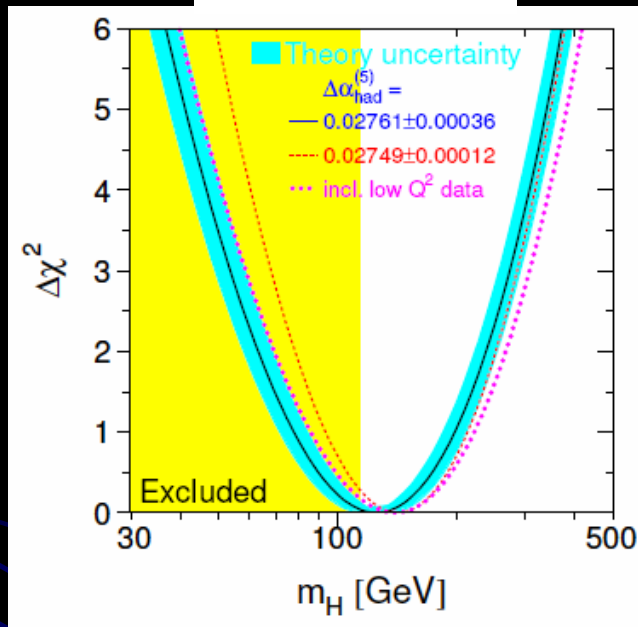
➤ SM $\delta M_w \propto (M_t^2, \ln(M_H))$

➤ SUSY

$$\epsilon = \frac{3G_F}{\sqrt{2}\pi^2} \frac{M_t^4}{\sin^2 \beta} \log \frac{M_{\tilde{t}_1} M_{\tilde{t}_2}}{M_t^2}$$

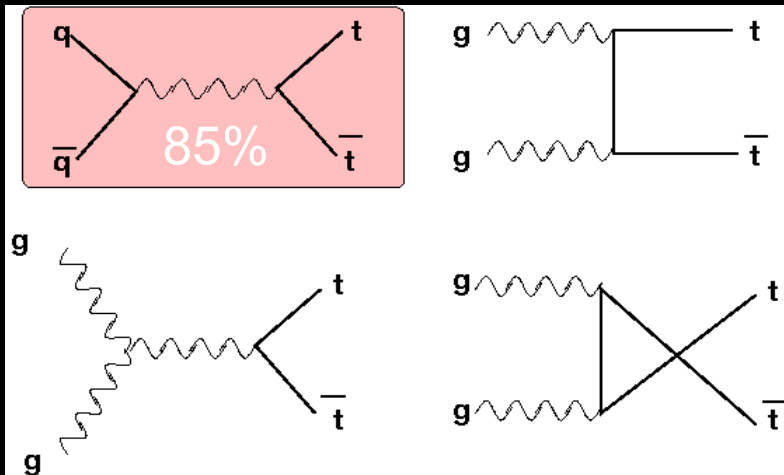
Top mass in EW fit

2005 winter



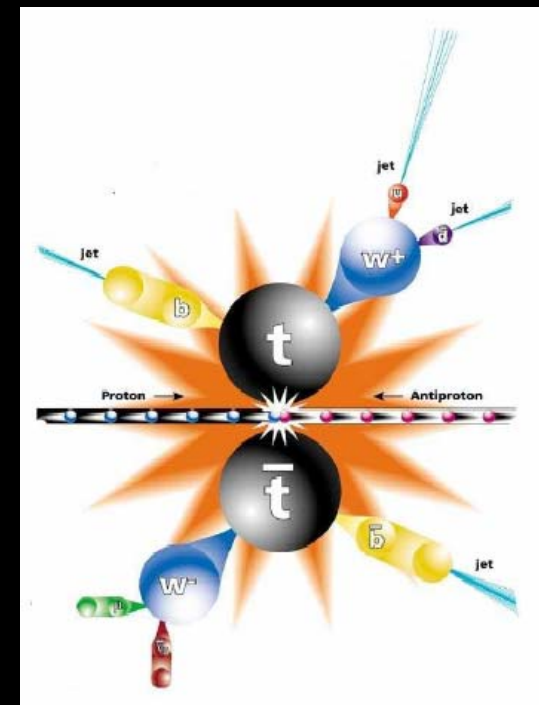
- 現在の Global EW fit からの Higgs mass constraint は緩い
- Is the χ^2 being improved???
- (まだ) SM の検証としても重要

Top production & decay



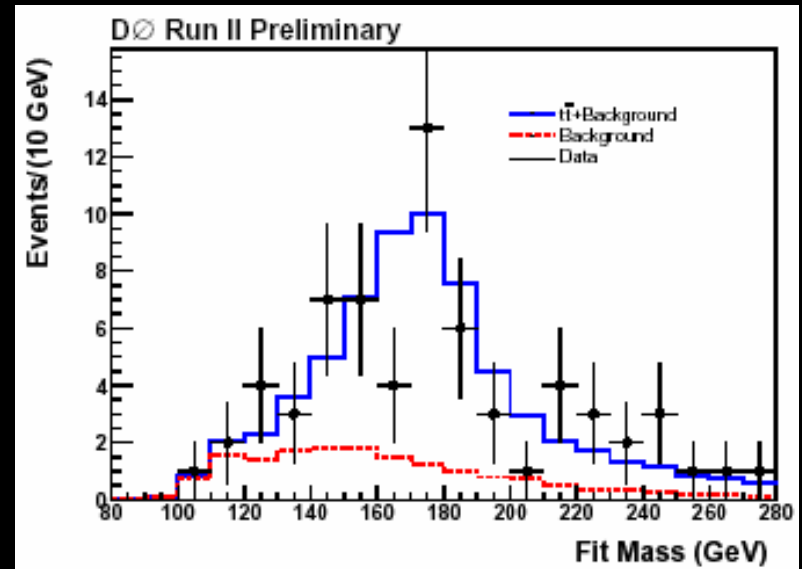
- $\sigma = 5.8-7.4 \text{ pb}$
hep-ph/0303085
- $BR(t \rightarrow Wb) \sim 100\%$

- BR's of two W's
 - Dilepton(e,μ) ~ 5% no
 - Lepton(e,μ)+jet ~ 30% yes/no
 - All jets ~ 44%
 - $\tau + X \sim 21\%$
- a little more detail in next a few slides



Lepton + jets (b-tagged)

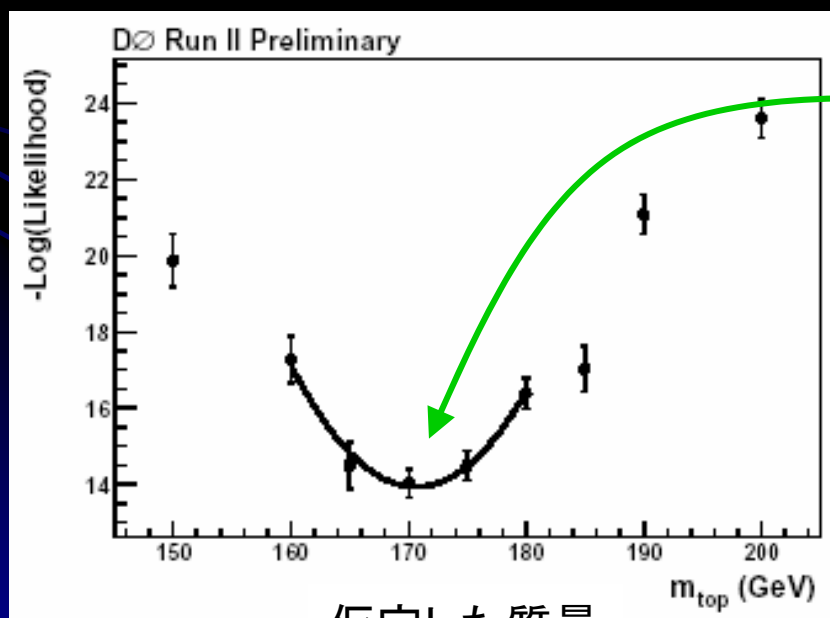
- High p_T lepton
- Large missing E_T
- ≥ 4 high p_T jets
- One unknown p_{ν}^z with constraints



- $M_{l\nu} = M_W$, $M_{jj} = M_W$, and $M_{\tau} = M_{\tau\text{-bar}}$
- 12 jet permutations \rightarrow 6 permutations in case one b-tag, 2 permutations for two b-tag
- Kinematical fitting for each permutation
- Select the smallest χ^2 combination

Template method

- 色々な質量を仮定して(BGも)シミュレーションを行い、それぞれ M_{top} の分布を作る ← template
 - データの分布をtemplateで maximum likelihood fit → likelihood value for each M_{top}



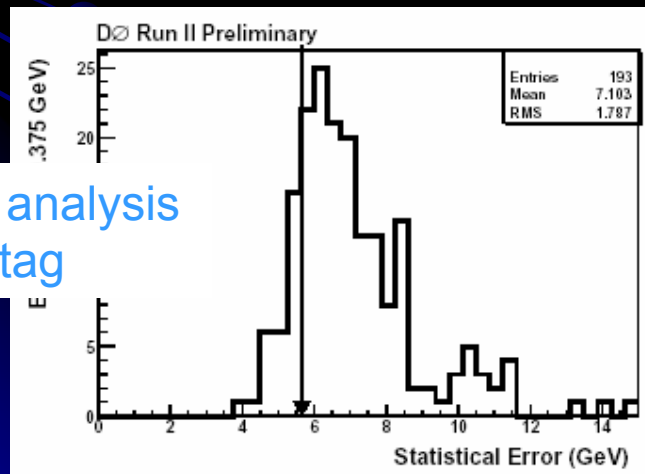
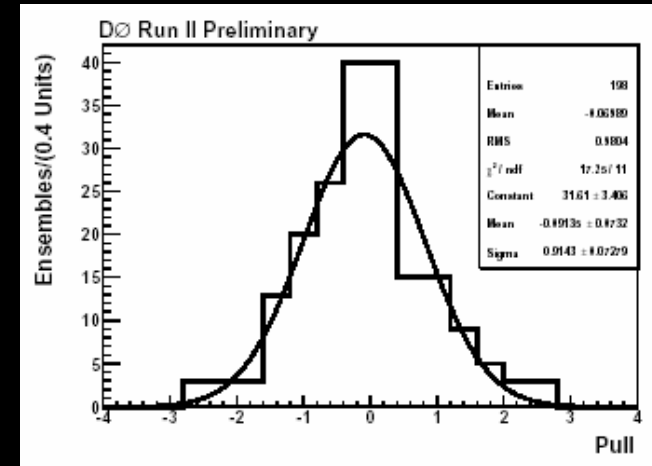
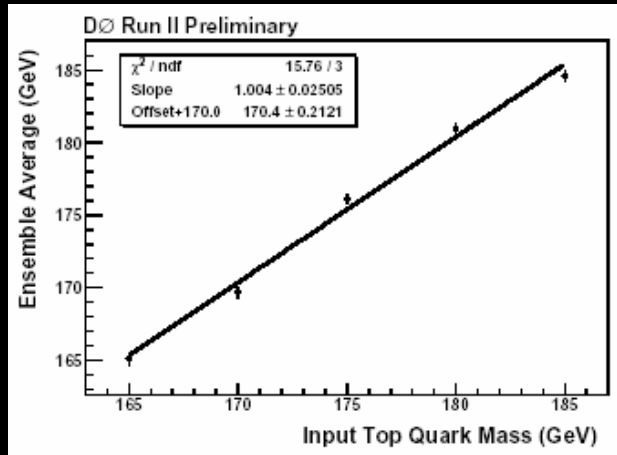
templateとデータ
が最も一致



$$M_{\text{top}} = 170.6 \pm 4.2 \pm 6.0 \text{ (GeV)}$$

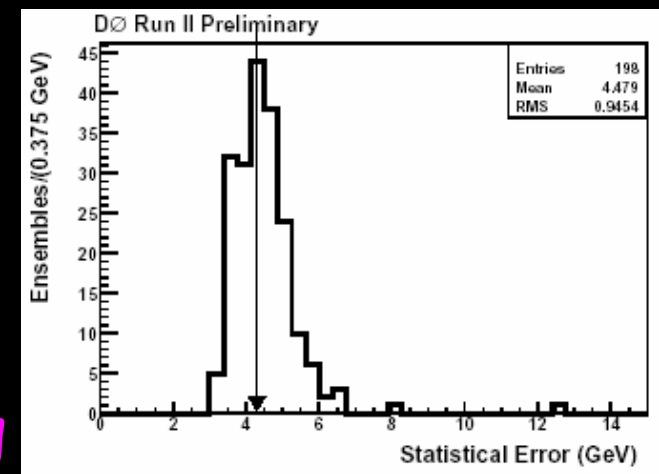
Consistency checks

- Ensemble test with toy MC \rightarrow no bias



same analysis
but b-tag

\Rightarrow
effect
of b-tag



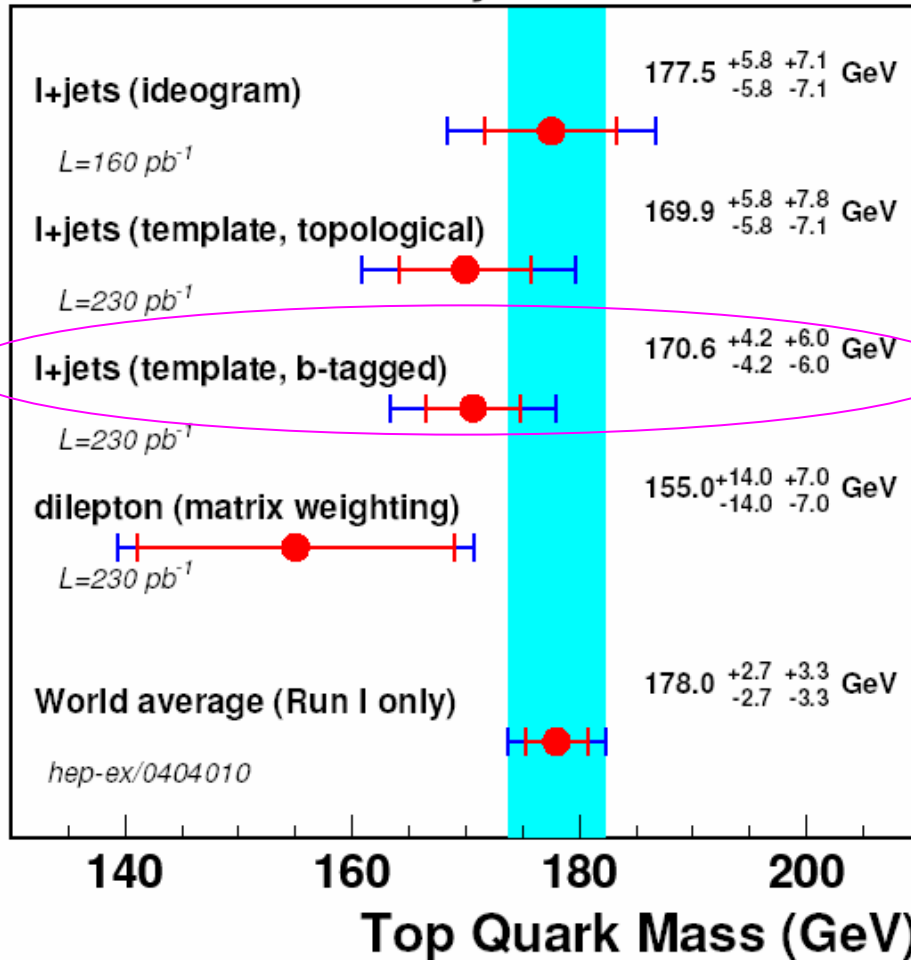
Systematic error

Source	-1 σ (GeV)	+1 σ (GeV)
Jet Energy Scale	5.3	4.7
Signal Model		2.3
Background Model	0.8	0.81
Gluon Radiation	2.4	2.4
Limited Monte Carlo Statistics	0.5	0.5
Trigger Bias	0.5	0.5
Calibration	0.5	0.5
Jet Resolution	0.9	0.9
b Tagging	1.2	1.2
Total	6.0	6.0

- Jet energy scale is the largest as usual
 - Jet response, out of cone showering etc. calibrated with γ + jet events

DØ Run II results

DØ Run II Preliminary



- This b-tagged analysis in l+jets is the most precise single measurement in Run II so far. (recent new CDF result has much smaller error)

CDF Run II results (obsolete)

	Lepton+jets (btag)			Dilepton
	Template Method	Multivariate Method	Dynamical Likelihood Method	Template Method (125pb ⁻¹)
Expected Statistical Uncertainty	7.3	6.4	+ 5.4 (4.5) - 5.0 (4.1)	13.9
Results	174.9 ^{+7.1} _{-7.7} ±6.5	179.6 ^{+6.4} _{-6.3} ±6.8	177.8 ^{+4.5} _{-5.0} ±6.2	175 ^{+17.4} _{-16.9} ± 8.4
Total Measured Uncertainty	+ 9.6 - 10.1	+ 9.3 - 9.3	+ 7.7 - 8.0	+ 19.2 - 18.9

- Again the largest contribution on systematic error is JES

Revised Run I results

statistical error (GeV)

systematic error (GeV)

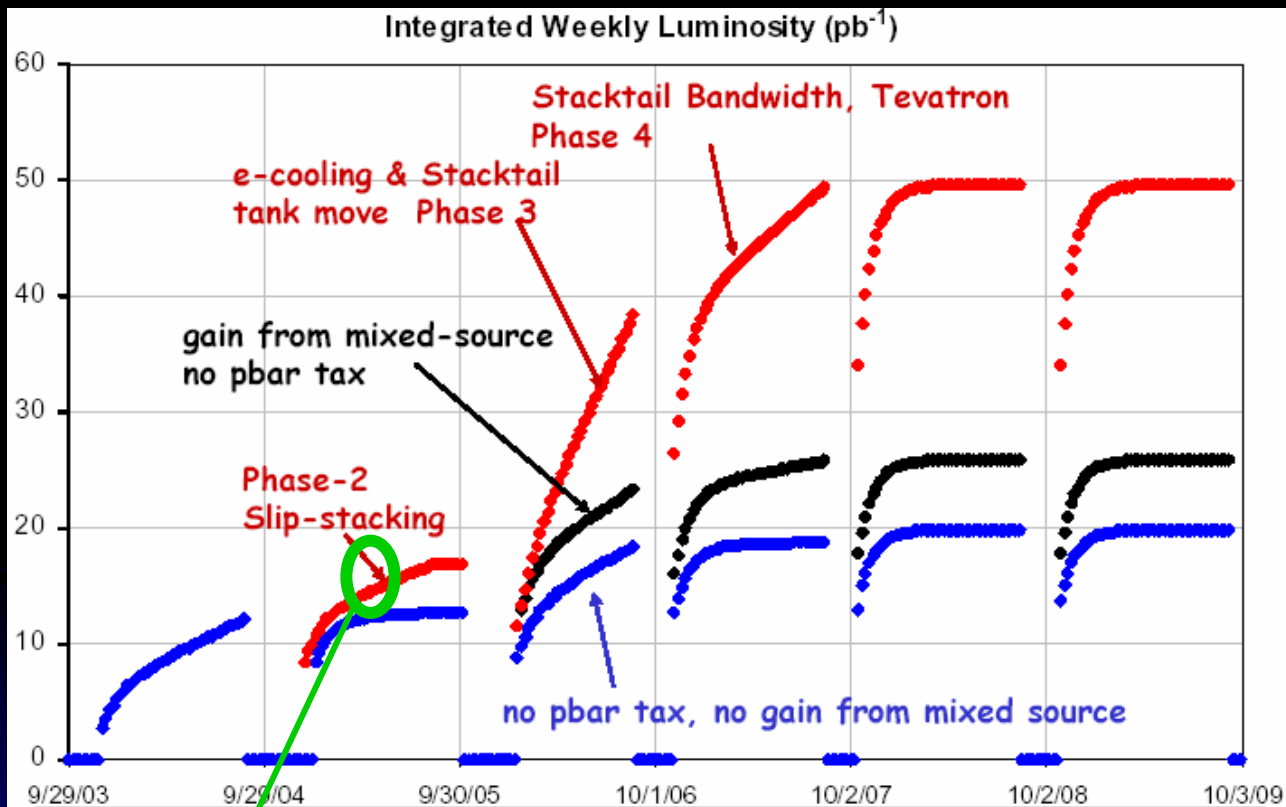
	toy	meas	$p(\sigma_{\text{toy}} < \sigma_{\text{data}})$	JES	signal	BG	MI	Fit	MC
CDF/I+j	6.6	5.1	5%	4.4	2.6	1.3	0.0	0.0	0.1
CDF/II	N/A	10.3	8%	3.8	2.8	0.3	0.0	0.7	0.6
D0/I+j	5.4	3.6	14%	3.3	1.1	1.0	1.3	0.6	0.0
D0/II	N/A	N/A	21%,47%	2.4	1.8	1.1	1.3	1.1	0.0

- All Run I results look lucky: ほぼすべて統計2倍に匹敵 → Run II でもそうなる... かな?
 - Scaling the stat. error from Run I is wrong
- JES の理解が不可欠

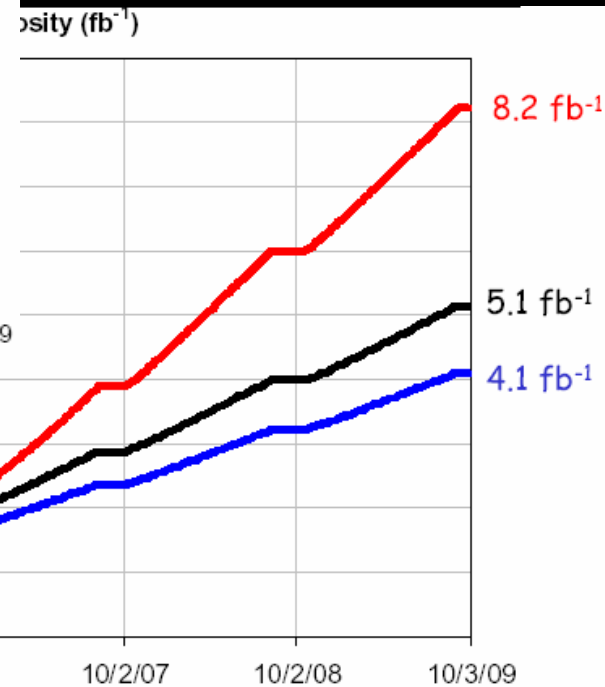
まとめ

Prospects and conclusions

Projected Integrated Luminosity



現在我々のいる所

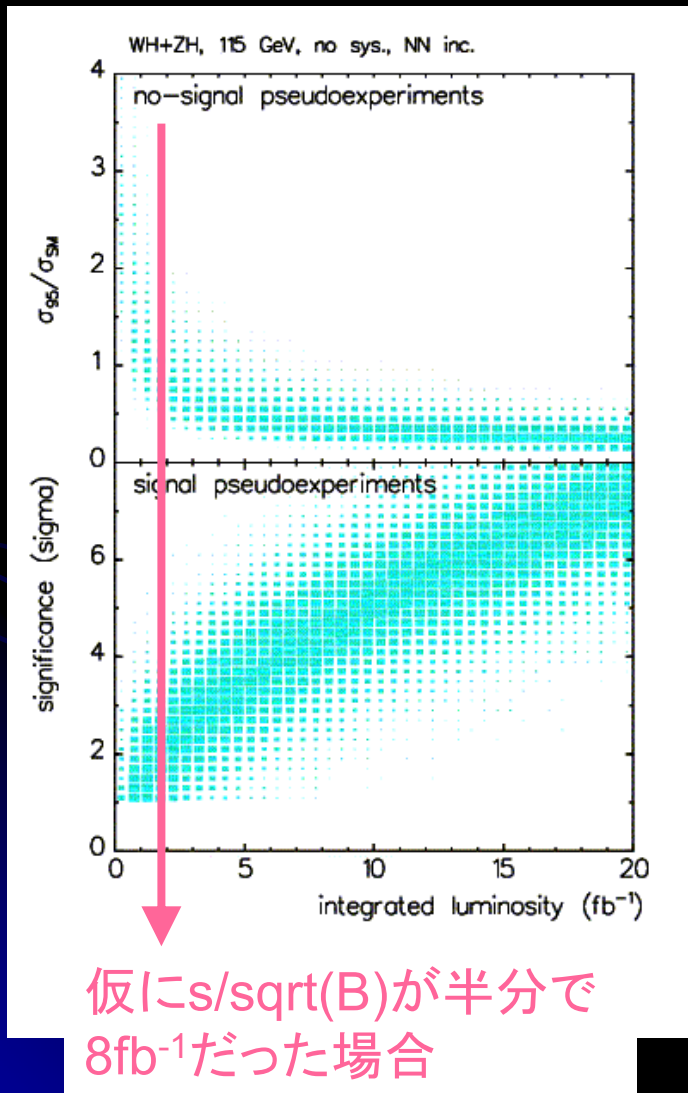


Higgs hunting – どこまで行ける？

Not official – my assessment

- $WH(\rightarrow bb)$: 1999年のstudy (SHW)と比べると、
 - Efficiency: 1/10
 - ◆ b-tag efficiency 約半分
 - ◆ $W \rightarrow \mu\nu$ まだやってない
 - ◆ central electron しか使ってない
 - ◆ object ID/trigger efficiency not 100%
 - ◆ mass resolution $\sim 13\%$ vs 10% in SHW
 - Wjj background: LO \rightarrow NLOで2倍近くになったが、efficiency も低い
 - S/\sqrt{B} で半分くらいまでは行けるかも。頑張れば
 - $Z(\rightarrow \nu\nu)H(\rightarrow bb)$ はNNでの改善が不可欠 & promising
- double tag なので
- x 2弱
- x 3
- 難しいが、improve すると 20% better
- NNで3つの algorithmをcombine
 - soft lepton tagging

Sensitivity Study について

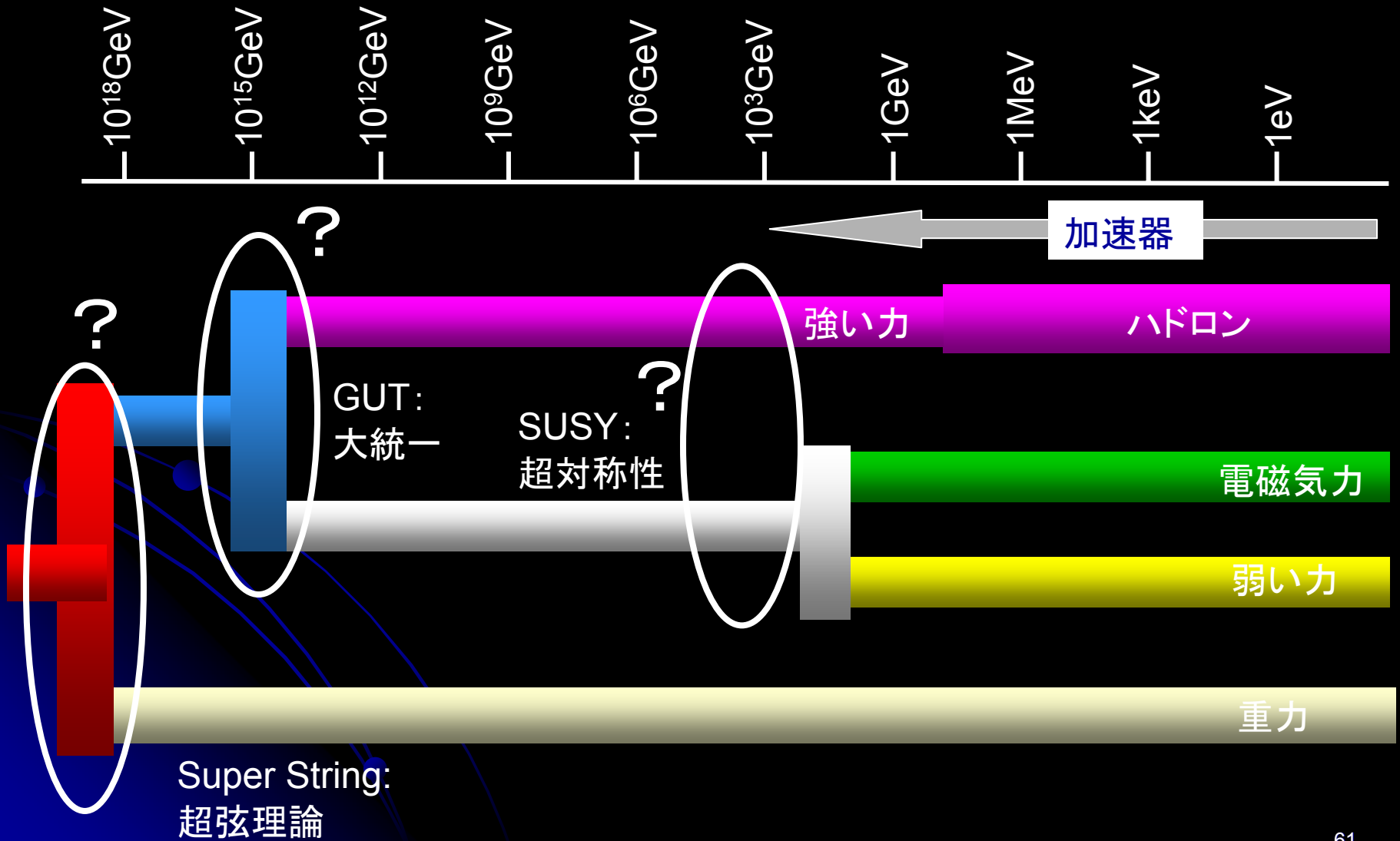


- 有名なカーブは、toy MC の平均 \rightarrow 少数統計なので、ラッキー、アンラッキーが非常に大きい
 - Gambler なら $bb\phi^0$, さらに大穴狙いなら SM Higgs も
- $D\emptyset$ は、この秋 Layer 0 silicon tracker を install \rightarrow b-tag efficiency は degrade しない

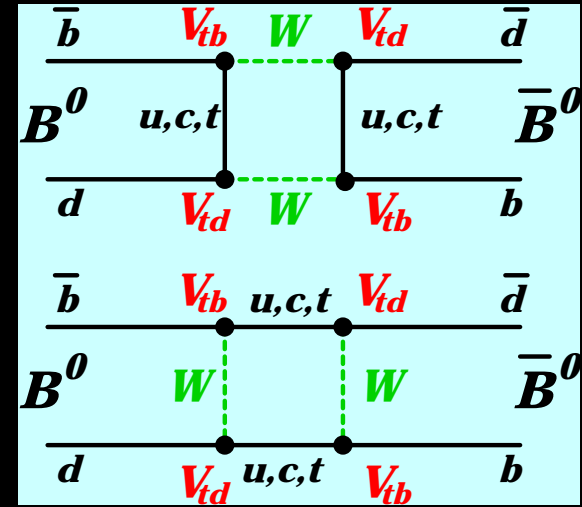
Conclusions

- 電弱対称性の破れは、我々の存在にかかわる謎
- ヒッグス機構：宇宙が低温になると、相転移によってヒッグス粒子の作る場が W^\pm, Z^0 , フェルミオンに質量を与えている
- ヒッグス粒子は、まだ見つかっていない
 - MSSMヒッグスにはすでに感度がある
 - 2009年までデータ収集の予定 ← 大穴
- トップクォークの質量測定
 - $D\bar{0}$ の b-tagged analysis (l+jets) が Run II の中では今の所一番精度のよい測定(だった)
- Run I は統計的に無茶苦茶ラッキーだった (?)
 - Run II でもそうなるといいですね

アインシュタインの夢



おまけ



$$|B_H\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|B\rangle + |\bar{B}\rangle)$$

$$|B_L\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|B\rangle - |\bar{B}\rangle)$$

$$P(B \rightarrow B) = \frac{e^{-t/\tau}}{2\tau} (1 + \cos \Delta m t) = P_{umix}$$

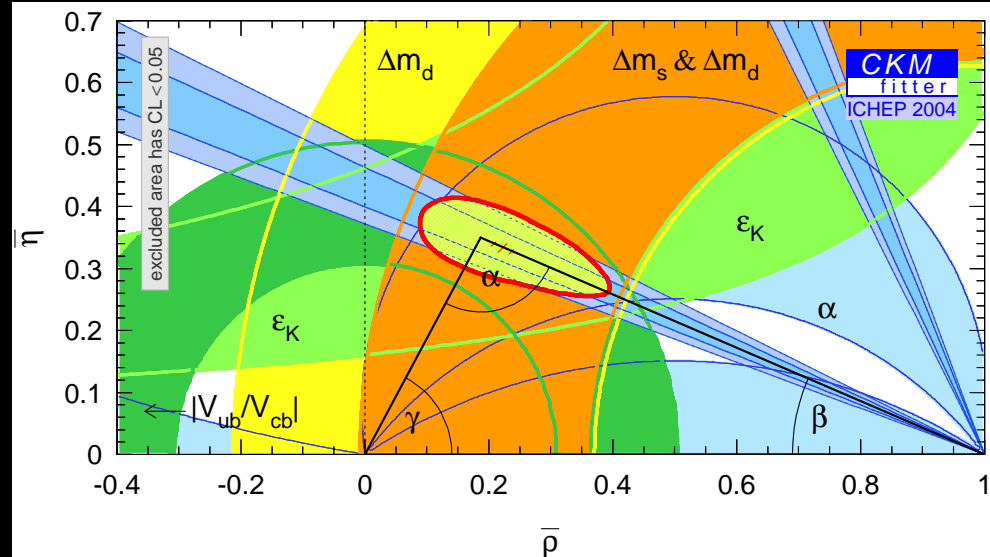
$$P(B \rightarrow \bar{B}) = \frac{e^{-t/\tau}}{2\tau} (1 - \cos \Delta m t) = P_{mix}$$

$$A = \frac{P_{umix} - P_{mix}}{P_{umix} + P_{mix}} = \cos \Delta m t$$

$$\frac{\Delta m_s}{\Delta m_d} = \frac{m_{Bs}}{m_{Bd}} \frac{f_{Bs}^2 B_{Bs}}{f_{Bd}^2 B_{Bd}} \frac{|V_{ts}|^2}{|V_{td}|^2} = \frac{m_{Bs}}{m_{Bd}} \xi^2 \frac{|V_{ts}|^2}{|V_{td}|^2}$$

● Bs mixing

- $\xi = 1.21 \pm 0.04 \pm 0.05$
- Δm_d との組み合わせで V_{td} 測定



Start up of $D\bar{0}$ analysis

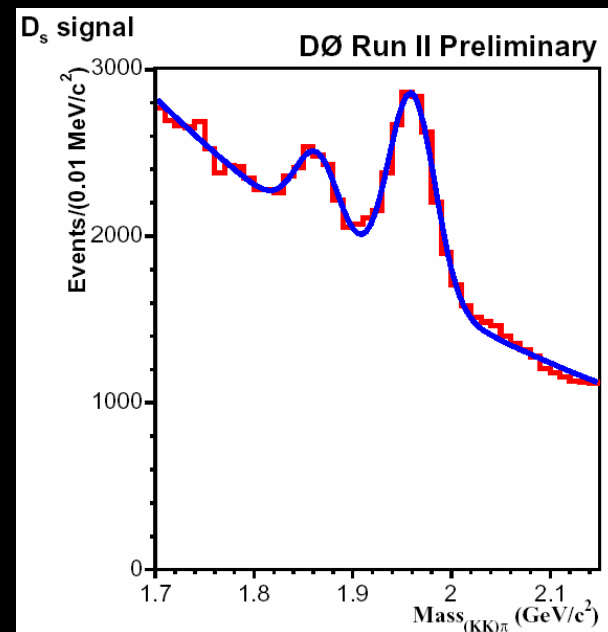
- Goal: check of event yield, vertex resolution, flavor tagging capability, understanding of backgrounds, etc..
 - Simple binned fit to the asymmetry
 - Event-by-event vertex error is not used
 - Not all flavor tagging scheme is used
 - Only $B_s \rightarrow D_s (\rightarrow \phi\pi) | \nu X$
- **それでも潜在能力があります**

Signal Yield

- $\sim 13.3\text{k events (460 pb}^{-1}\text{)}$
 $\rightarrow \sim 10\text{k for } 350\text{ pb}^{-1}$

CDF (350 pb⁻¹)

	Hadronic	Semileptonic
$B_s: D_s \rightarrow \phi\pi$	526 ± 33	4355 ± 94
$B_s: D_s \rightarrow K^*K$	254 ± 21	1750 ± 83
$B_s: D_s \rightarrow \pi\pi\pi$	116 ± 18	1573 ± 88



- Yield が多くて驚き
 \triangleright S/N は違う

- 他の Ds mode も加える予定
- 反対側の muon を tag すると、hadronic mode も出来るらしい

Flavor tagging

- Opposite muon always required

- Charge of tracks in a jet w/muon

$$Q_J = \sum_i \frac{q^i p_T^i}{p_T^i}$$

- p_T of muon w.r.t. the jet

$$p_T^{rel} \cdot q_\mu$$

- Charge of tracks associated with secondary vertex (muon need not to be associated with the secondary vertex)

$$Q_{SV} = \sum_i \frac{(q^i p_T^i)^{0.6}}{(p_T^i)^{0.6}}$$

- $y = \prod_{i=1}^n y_i; \quad y_i = \frac{f_i^w(x_i)}{f_i^r(x_i)}$ f is the probability

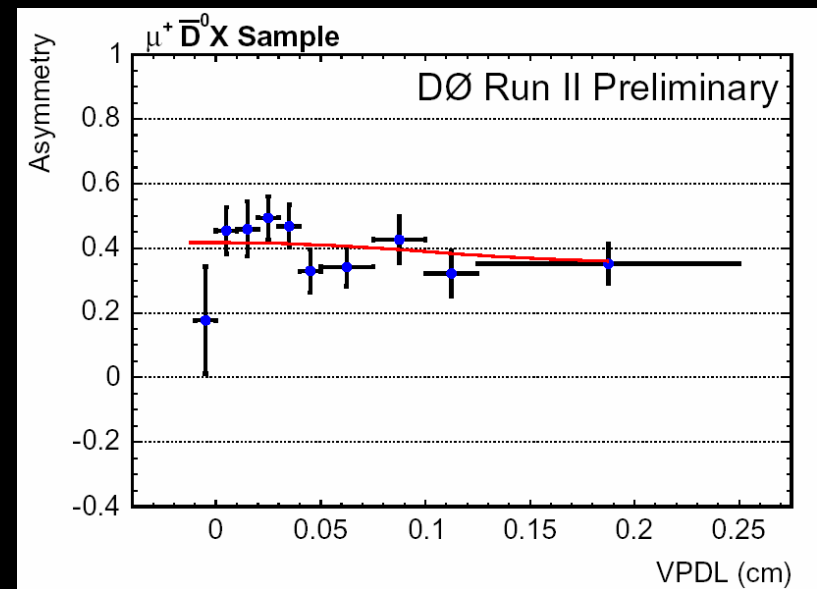
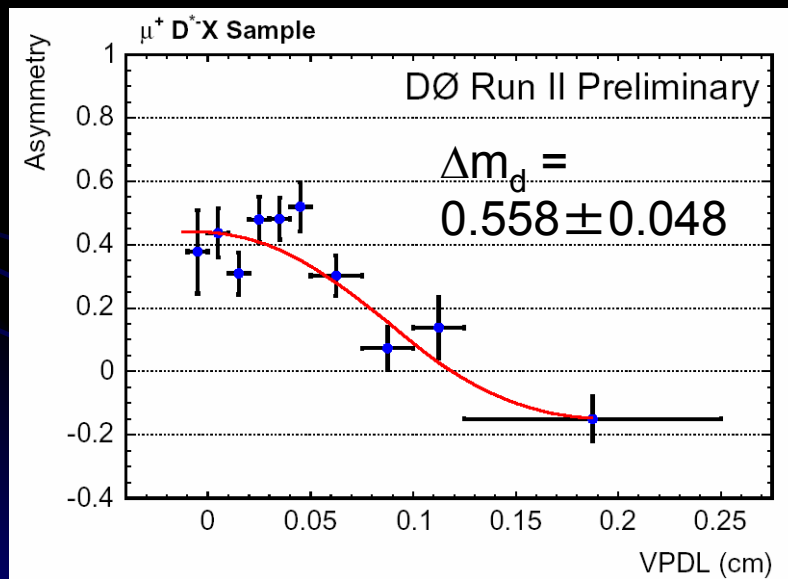
density for each discriminant

- $d > 0$ --- b , $d < 0$ --- \bar{b}

$$d = \frac{1 - y}{1 + y}$$

Dilution in B_d and B^+

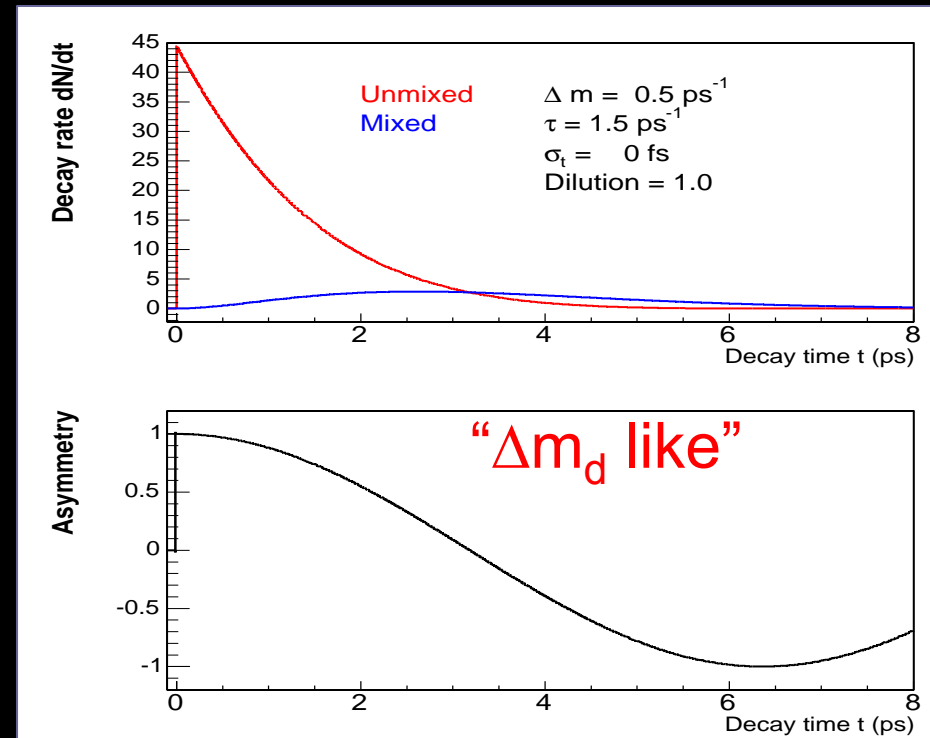
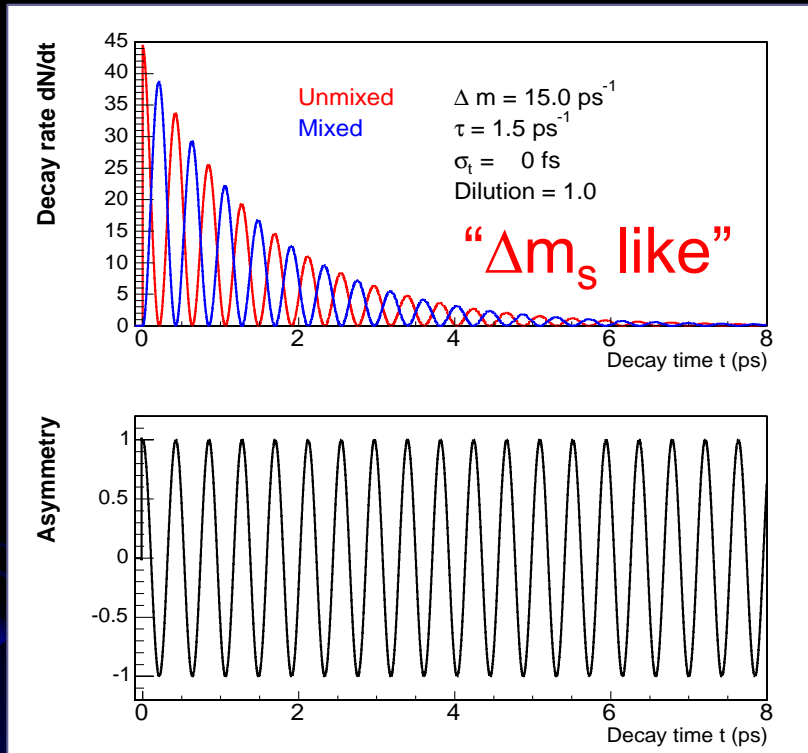
- Tagging side decays independent of the signal side \leftarrow all pieces of B hadrons
- Can measure dilution in flavor specific mode



- $\epsilon(1-2\omega)^2 \sim 1.3\%$

- Optimization needed
- Addition of electron/same side tag

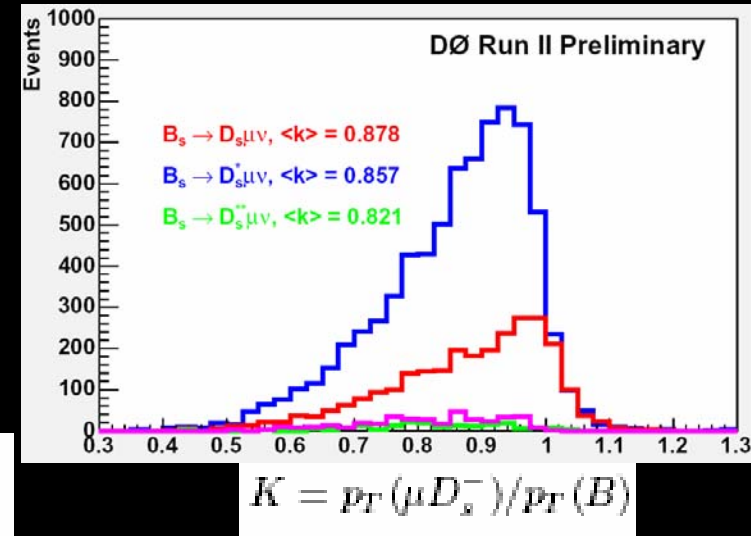
Mixing Example



- Δm_s の測定では Vertex resolution が最重要 ← detailed tuning of resolution

Expected asymmetry

- Proper decay length を bin に分ける
- i-th bin ごとに odd sign, same sign event の数を見積もる



resolution, efficiency,
K-factor の convolution

$$n_s^{non-osc/osc}(x) = \frac{K}{c\tau_{B_s}} \exp\left(-\frac{Kx}{c\tau_{B_s}}\right) \cdot 0.5 \cdot (1 \pm (2\eta - 1) \cos(\Delta m_s \cdot Kx/c))$$

$$n_{DsDs}^{non-osc}(x) = n_{DsDs}^{osc}(x) = \frac{K}{c\tau_{B_s}} \exp\left(-\frac{Kx}{c\tau_{B_s}}\right) \cdot 0.5$$

$$n_u^{non-osc}(x) = \frac{K}{c\tau_{B_u}} \exp\left(-\frac{Kx}{c\tau_{B_u}}\right) \cdot (1 - \eta)$$

$$n_u^{osc}(x) = \frac{K}{c\tau_{B_u}} \exp\left(-\frac{Kx}{c\tau_{B_u}}\right) \cdot \eta$$

$$n_d^{non-osc/osc}(x) = \frac{K}{c\tau_{B_d}} \exp\left(-\frac{Kx}{c\tau_{B_d}}\right) \cdot 0.5 \cdot (1 \mp (2\eta - 1) \cos(\Delta m_d \cdot Kx/c))$$

$$N_{(d,u,s),j}^{osc, non-osc}(x^M) = \int dx \text{Res}_j(x - x^M, x) \cdot \text{Eff}_j(x) \int dK D_j(K) \cdot \theta(x) \cdot n_{(d,u,s),j}^{osc, non-osc}(x, K)$$

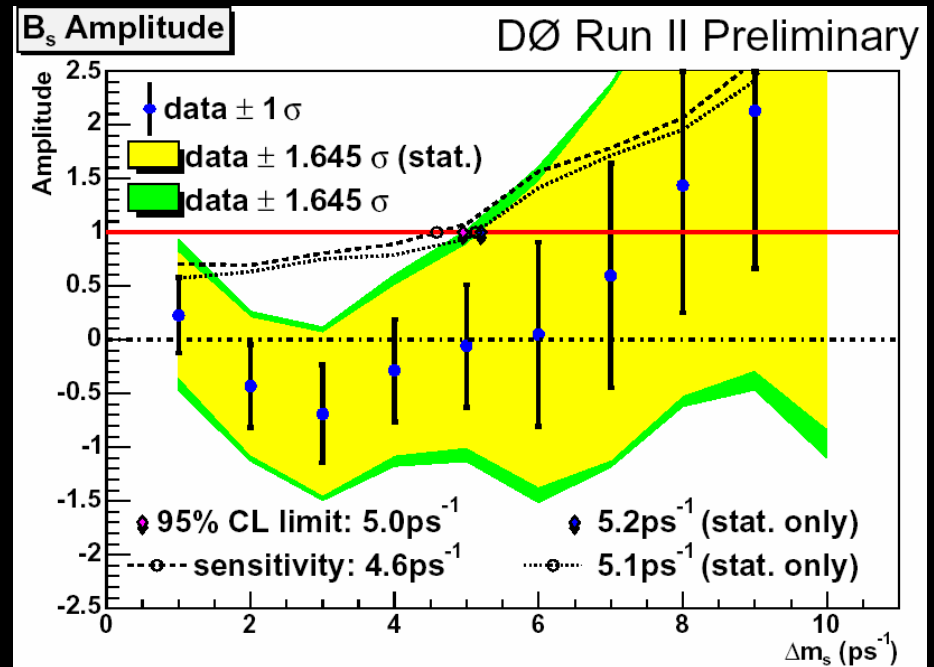
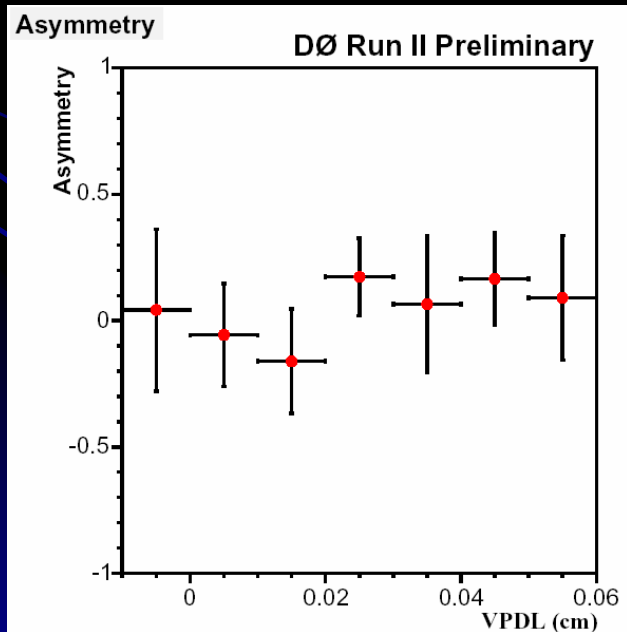
$$N_i^{e,osc/non-osc} = \int_i dx^M \left(\sum_{f=u,d,s} \sum_j (Br_j \cdot N_{f,j}^{osc/non-osc}(x^M)) \right)$$

Amplitude scan

$$n_s^{\text{non-osc/osc}}(x) = \frac{K}{c\Gamma_{B_s}} \exp\left(-\frac{Kx}{c\Gamma_{B_s}}\right) \cdot 0.5 \cdot (1 \pm (2\eta) - 1) \cos(\Delta m_s \cdot Kx/c) \cdot A$$

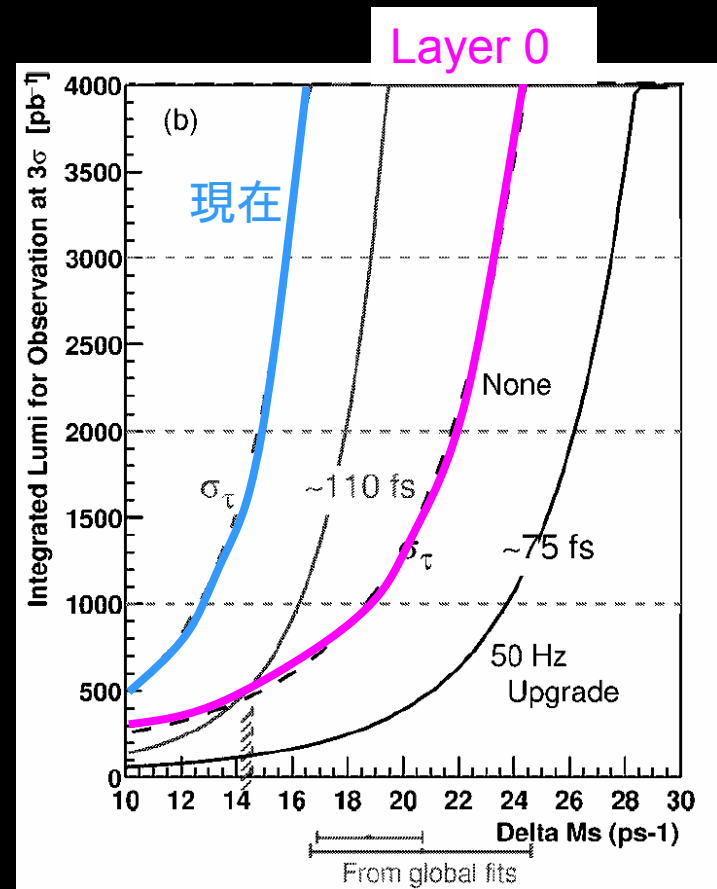
- Δm_s を固定して、amplitude に関する χ^2 fit

$$\chi^2(A) = \sum_i \frac{(A_i - A_i^e(A))^2}{\sigma^2(A_i)}$$

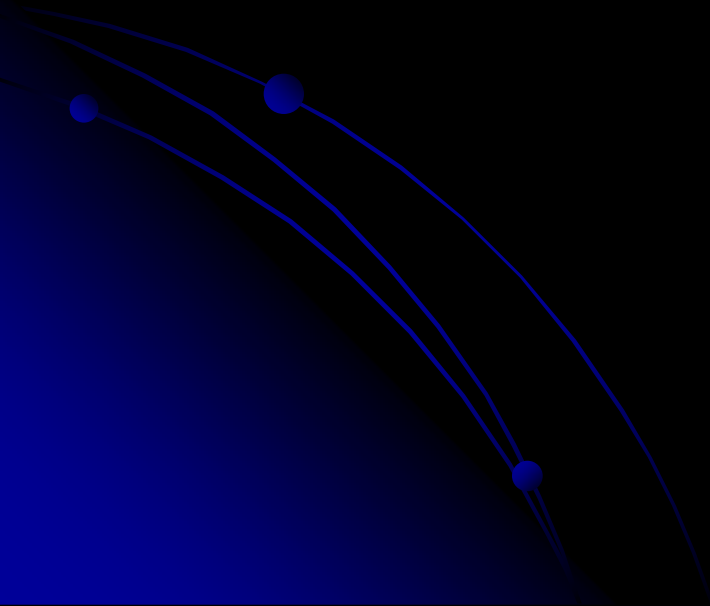


B_S Prospects

- Long list
 - Unbinned likelihood fit with event-by-event vertex error
 - Addition of other flavor tagging method
 - Addition of different Ds modes
- Two big items
 - Layer 0
 - L3 bandwidth 50 → 100 Hz



Backup



ゲージ変換

- U(1) (1次元ユニタリ一群) 局所ゲージ変換:
$$\psi \rightarrow \psi' = e^{-iq\alpha(x)} \psi, \quad \psi^\dagger \rightarrow \psi'^\dagger = \psi^\dagger e^{iq\alpha(x)}$$
- 自由粒子場の従う方程式 $\Lambda(\partial_\mu)\psi(x) = 0$
について考えてみる(Λ は ∂_μ の2次までの多項式)
- U(1)局所ゲージ変換で不変になるためには、
 ∂_μ を $D_\mu = \partial_\mu + iqA_\mu(x)$ と、置き換える
 $A_\mu \rightarrow A_\mu + \partial_\mu \alpha(x)$ のように変換
- $D_\mu \psi(x) \rightarrow e^{-iq\alpha(x)} D_\mu \psi(x)$ と変換されるので
 $\Lambda(D_\mu)\psi(x) = 0 \rightarrow e^{-iq\alpha(x)} \Lambda(D_\mu)\psi(x) = 0$
- $\Lambda(D_\mu)\psi(x) = 0$ がゲージ不変性を満たす条件

U(1)対称性→QED

- $L_f(\psi(x))$ (=自由フェルミオンのラグランジアン)が
U(1)局所ゲージ変換に対して不変という要求
 $L_f \rightarrow L_f - j^\mu A_\mu$ (相互作用) + (電磁場)
→自動的に相互作用する場が現れる
= QEDが得られた
 - A_μ : U(1)ゲージ場(光子の作る場)
 - j^μ : 電荷・電流密度
 - 空間の各点で位相が独立に変わると位相変化にともなう観測量が生じる。。が、位相が観測量であってはならない
 - ゲージ場が位相変化を打ち消す働き
 - ◆ 位相変化は無限遠まで打ち消されなければならない。よって、光子は質量ゼロ ($c\Delta t \sim \hbar/\Delta E \sim \hbar/mc \sim \hbar/m$)

SUSY couplings

● ゲージボソン

$$\frac{\cos(\beta - \alpha)}{H^0 W^+ W^-}$$

$$H^0 Z Z$$

$$Z A^0 h^0$$

$$W^\pm H^\mp h^0$$

$$Z W^\pm H^\mp h^0$$

$$\gamma W^\pm H^\mp h^0$$

$$\frac{\sin(\beta - \alpha)}{h^0 W^+ W^-}$$

$$h^0 Z Z$$

$$Z A^0 H^0$$

$$W^\pm H^\mp H^0$$

$$Z W^\pm H^\mp H^0$$

$$\gamma W^\pm H^\mp H^0$$

● フェルミオン

$$h^0 b\bar{b} : -\frac{\sin \alpha}{\cos \beta} = \sin(\beta - \alpha) - \tan \beta \cos(\beta - \alpha),$$

$$h^0 t\bar{t} : \frac{\cos \alpha}{\sin \beta} = \sin(\beta - \alpha) + \cot \beta \cos(\beta - \alpha),$$

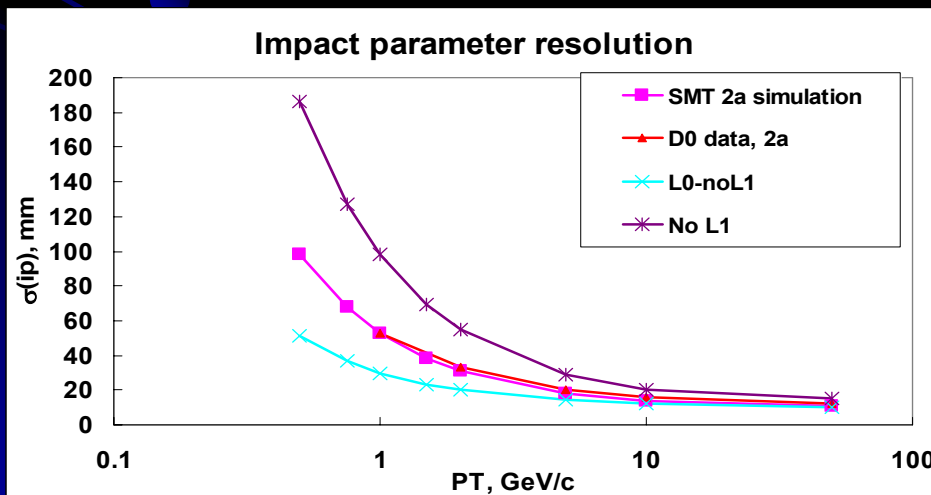
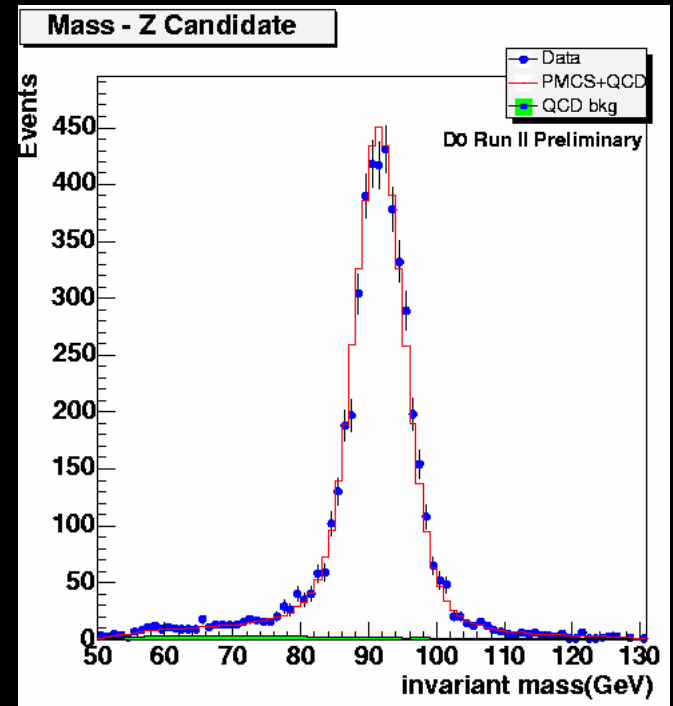
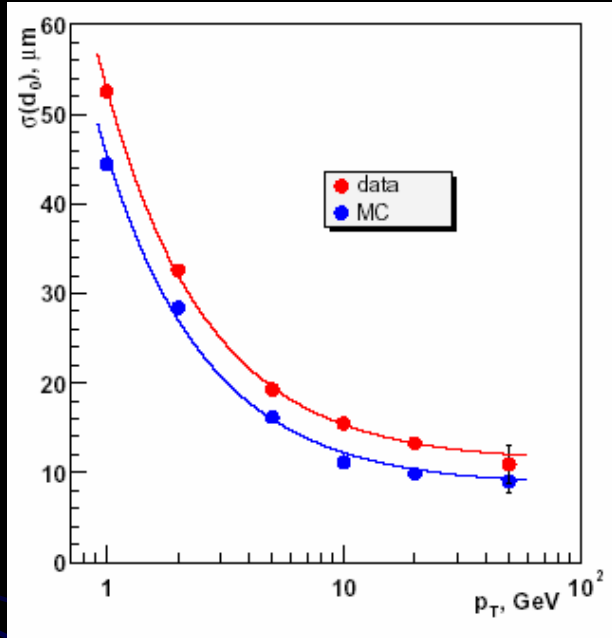
$$H^0 b\bar{b} : \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = \cos(\beta - \alpha) + \tan \beta \sin(\beta - \alpha),$$

$$H^0 t\bar{t} : \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \cos(\beta - \alpha) - \cot \beta \sin(\beta - \alpha),$$

$$A^0 b\bar{b} : \gamma_5 \tan \beta,$$

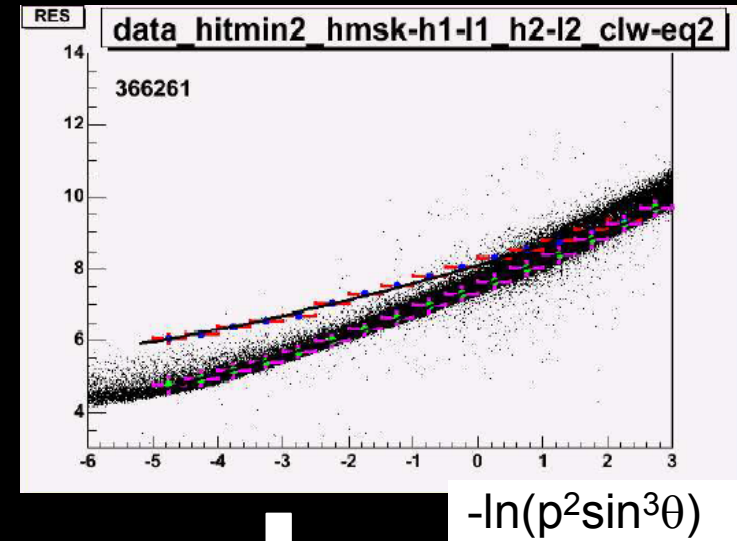
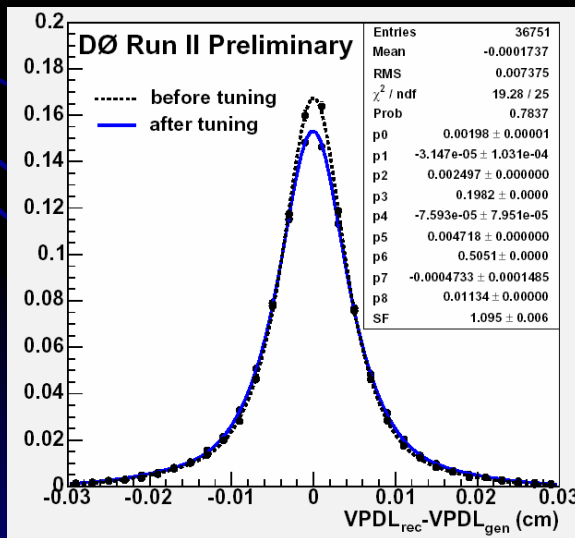
$$A^0 t\bar{t} : \gamma_5 \cot \beta,$$

Detector Performance

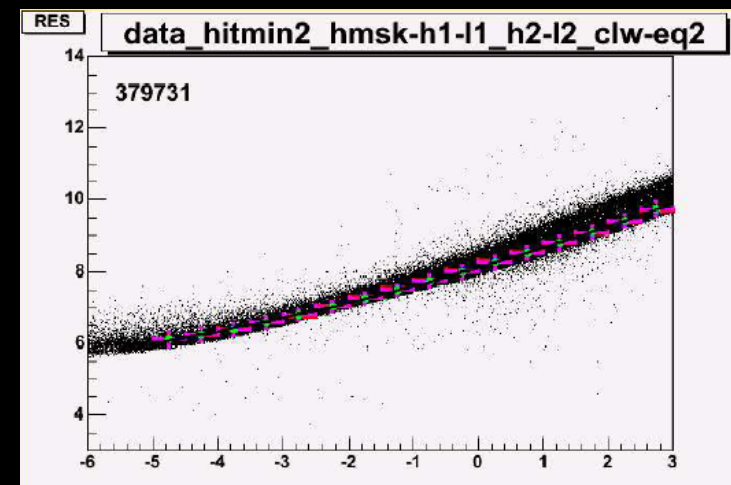


Tracking tuning

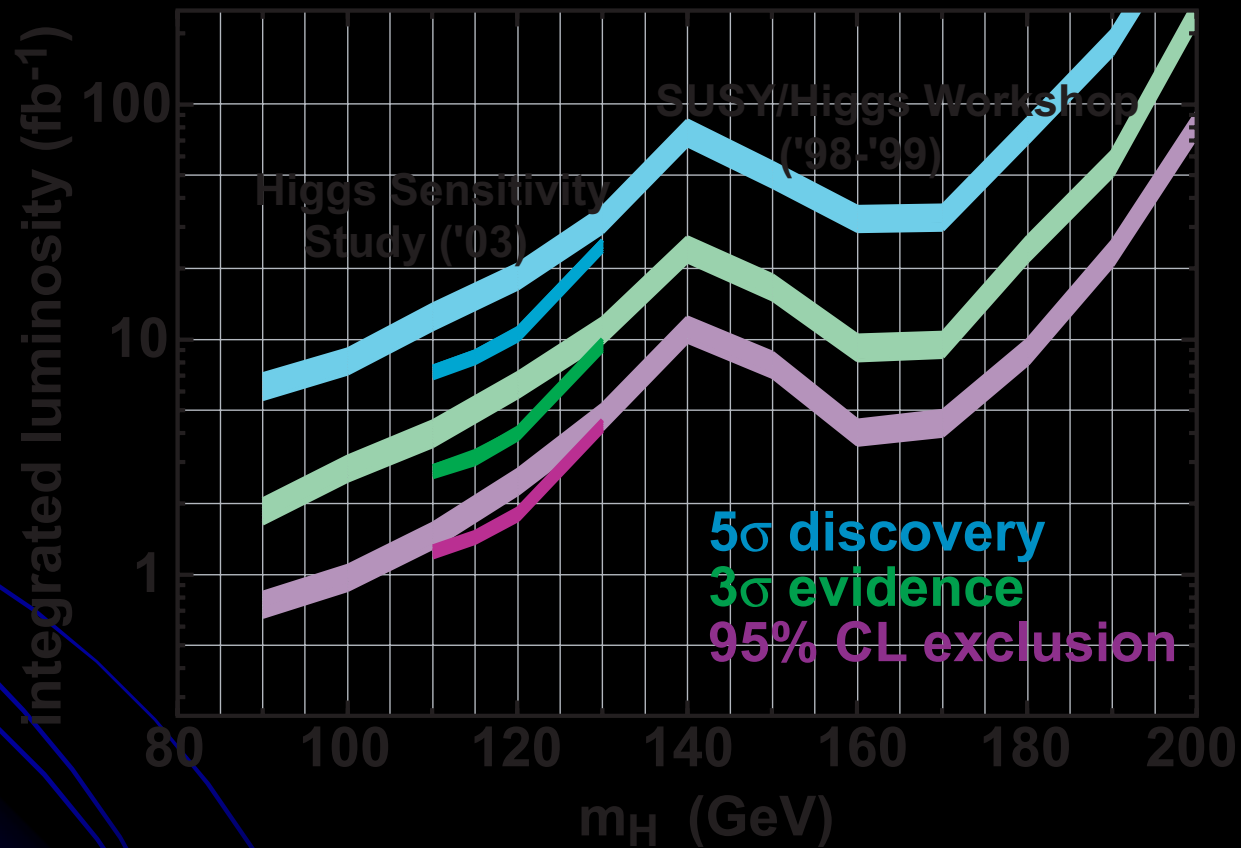
- IP error assigned by tracking algorithm (event-by-event) is smeared to match true IP resolution (=width of IP distribution - beam spot size)



after tuning



Officialに使わされているplot



EW fit prospects

hep-ph/0202001

$\delta(l+jets)$ (GeV)

Lum	Run I	2
stat	5.6(2.7)	1.7
syst	5.5(3.3)	2.1
total	7.8(4.3)	2.7

$\delta(dilepton)$ (GeV)

Lum	Run I	2
stat	12.3	2.4
syst	3.6	1.4
total	12.8	2.8

$\delta(W \text{ mass})$ (MeV)

Lum	Run I	2
stat	96	19
syst	66	19
total	116	27

- $\delta(M_H)$
58% \rightarrow 35% (48%
as of 2005 winter)