

CDF実験の現状と展望

金 信弘

筑波大学物理学系

For the CDF Collaboration

日本物理学会(沖縄国際大学)

2001年9月23日

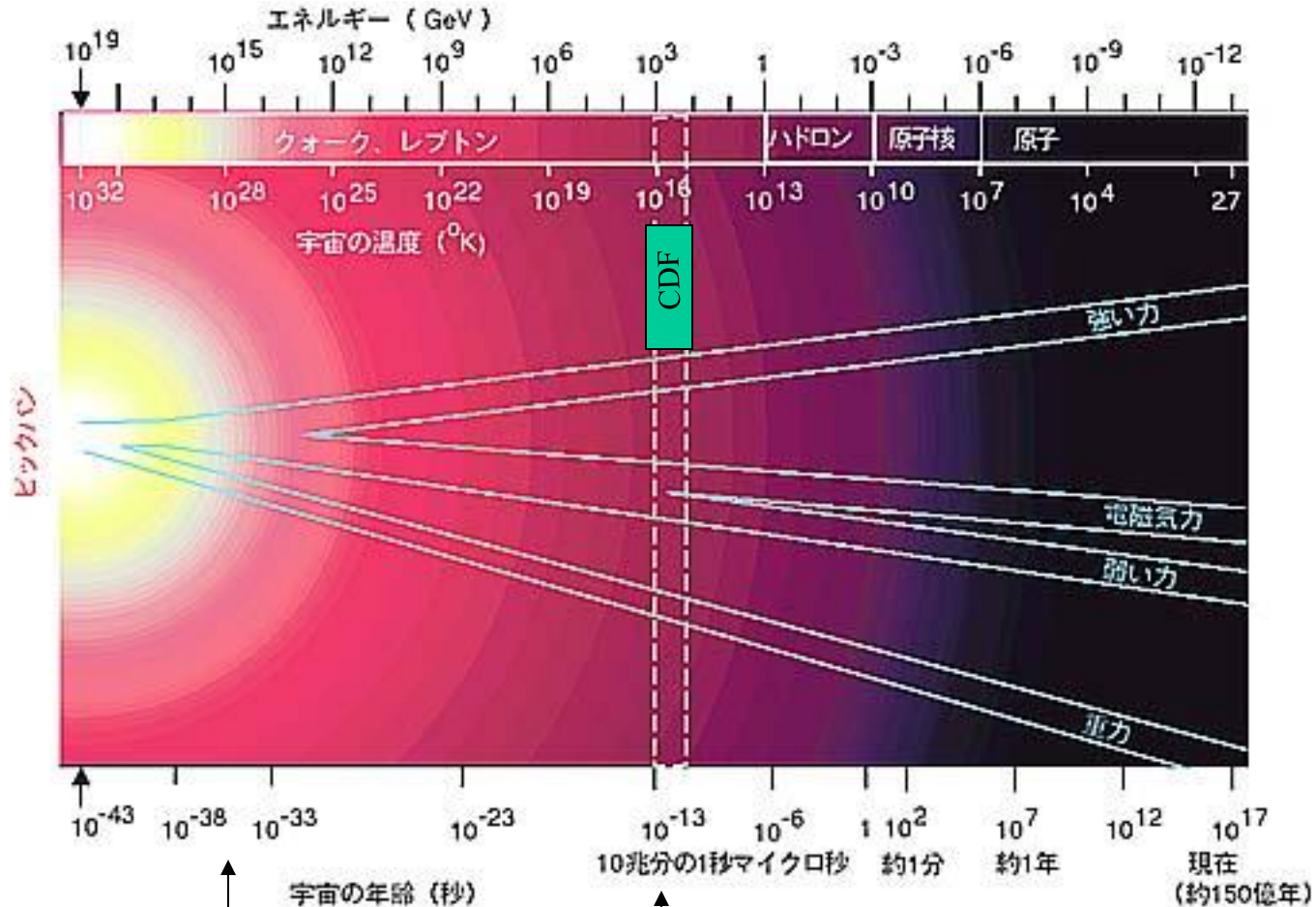
はじめに

CDF実験の成果

CDF実験の現状

CDF実験の今後の計画

ビッグバン宇宙と素粒子物理



大統一理論

真空の相転移
粒子反粒子対称性の破れ

電弱統一理論
ヒッグス粒子

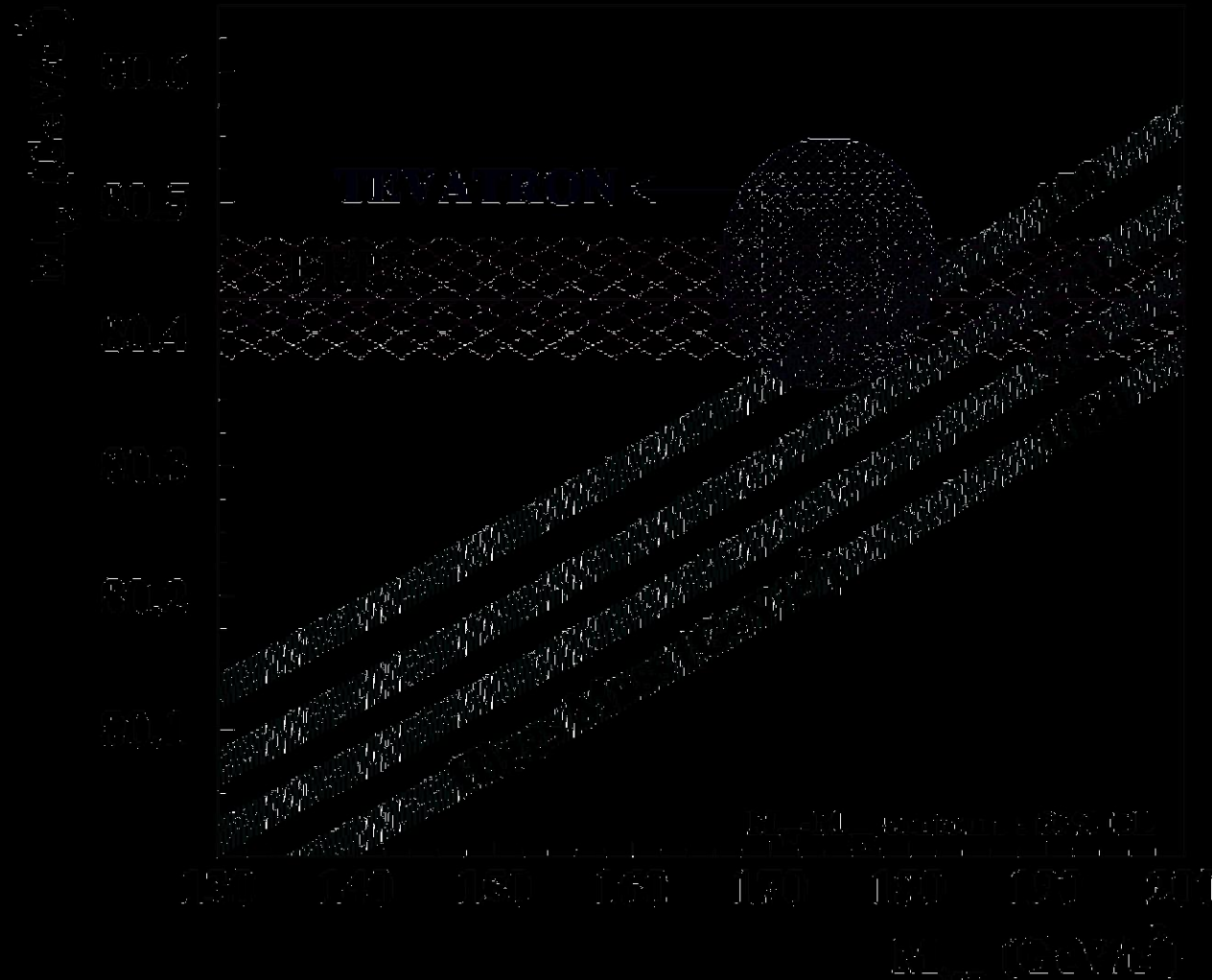
CDF実験の主要な成果

陽子反陽子衝突実験(米国フェルミ国立加速器研究所)



- 1987年 実験開始
- 1994年 トップクオーク発見
- 1998年 Bc中間子発見
- 2001年3月 実験再開
- ヒッグス粒子探索
- B中間子のCP非保存
- トップクオークの物理

M_W vs. M_{TOP}



Higgs Mass Constraint

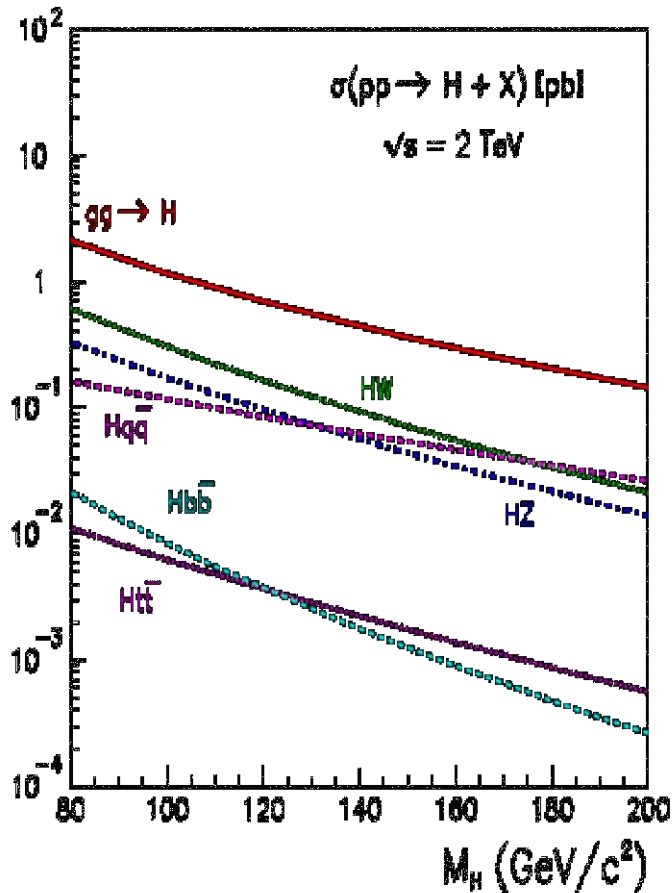
From M_{top} (CDF,D0),
 M_W (CDF,D0,LEP II)
and other electroweak
results,

$M_{Higgs} < 215 \text{ GeV}/c^2$
at 95% C.L.

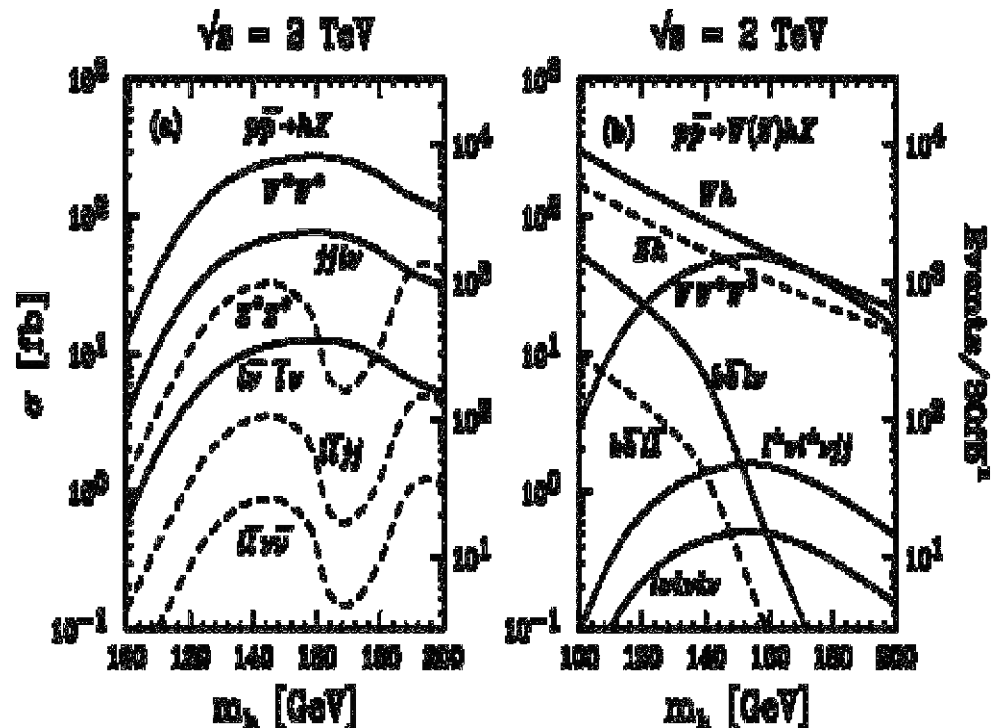
Ref. LEP Electroweak Working
Group, CERN EP/2000-016

ヒッグス粒子(標準模型)の生成断面積と崩壊分岐比

生成断面積

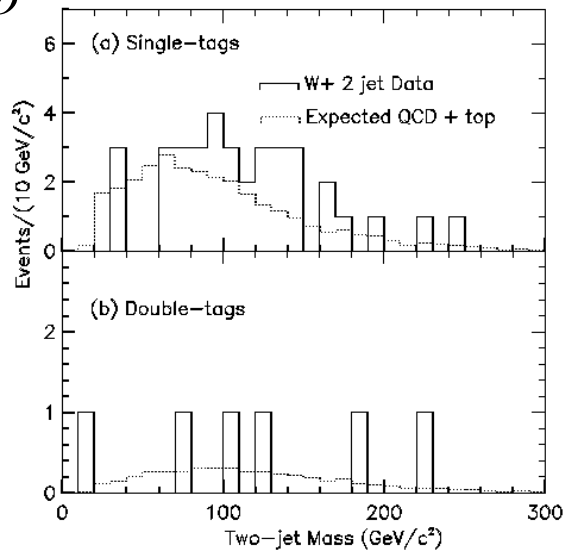


生成断面積x分岐比



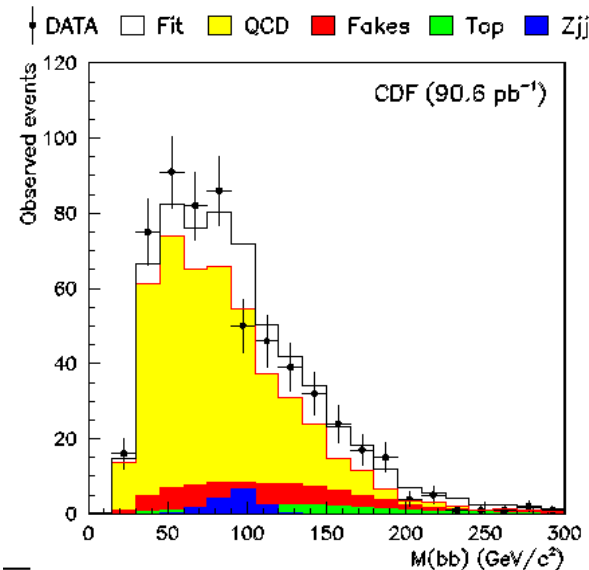
CDF Run I VH searches (106 pb⁻¹)

$$WH^0 \rightarrow \ell \nu + b\bar{b}$$



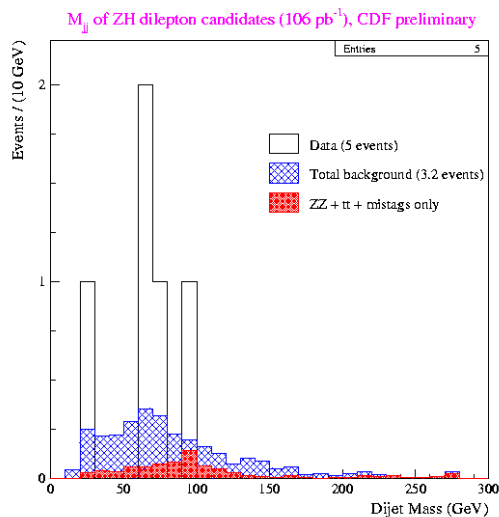
Expect: 30±5 st
6.0±0.6 dt
Observe: 36 st
6 dt

$$W/Z + H^0 \rightarrow q\bar{q}' + b\bar{b}$$



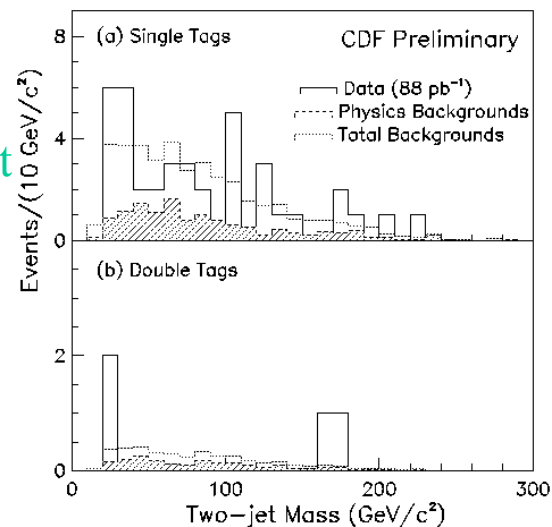
Expect:
600 events
Observe:
580 events

$$ZH^0 \rightarrow \ell^+ \ell^- + b\bar{b}$$



Expect: 3.2±0.7 st
Observe: 5

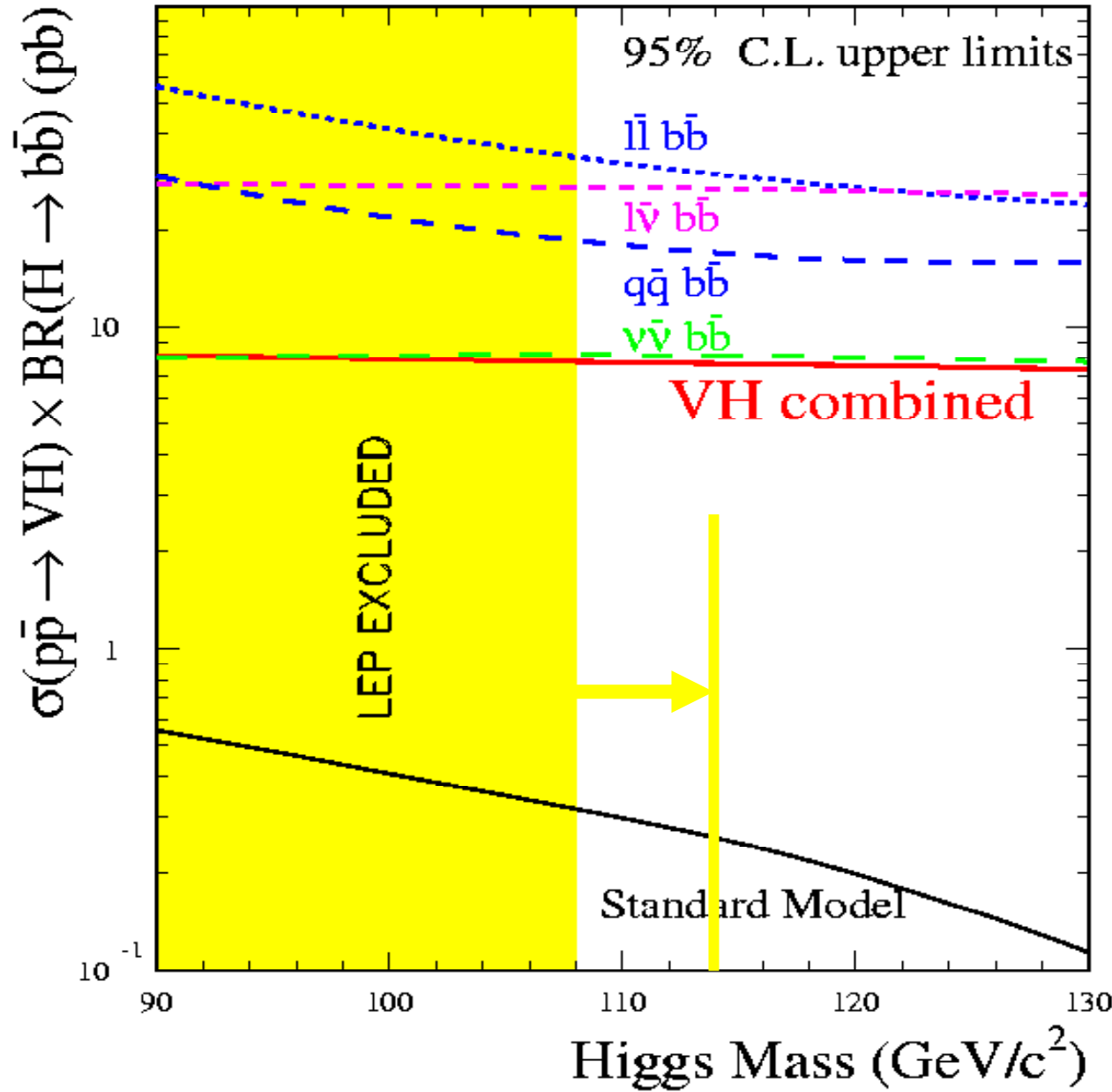
$$ZH^0 \rightarrow \nu\bar{\nu} + b\bar{b}$$



Expect: 39.2±4.4 st
3.9±0.6 dt
Observe: 40 st
4 dt

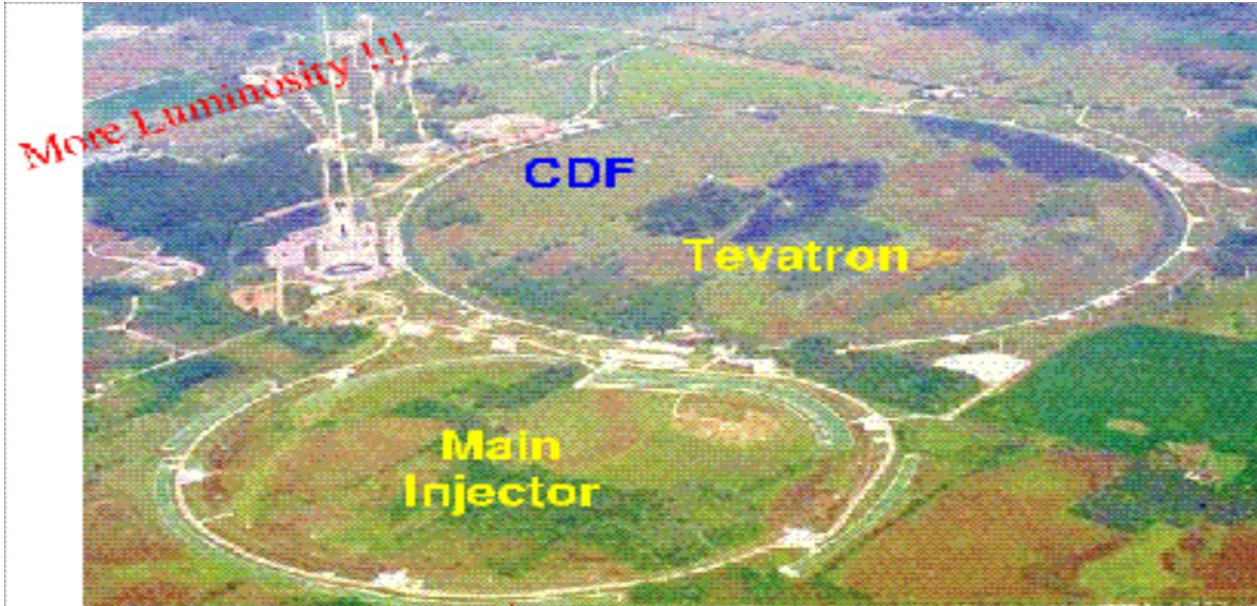
VH Production Cross Section Limit

CDF PRELIMINARY Run I

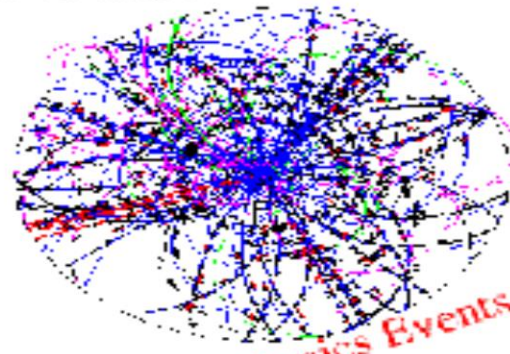
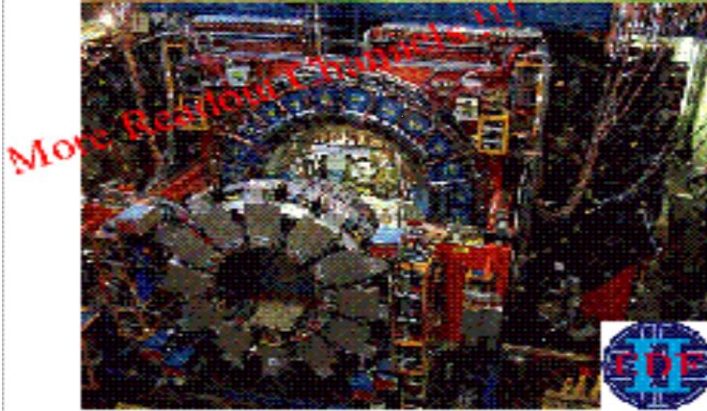


95% CL Limit is about 30 times higher than SM prediction for $M_{\text{higgs}} = 115 \text{ GeV}/c^2$.

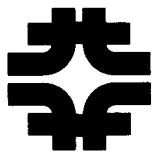
2TeV陽子反陽子衝突実験(米国フェルミ国立加速器研究所)



2000年10月～11月
Commissioning Run
試運転
2001年4月～2003年
Run2a (2fb^{-1})
2004年～2007年
Run2b ($>13\text{fb}^{-1}$)



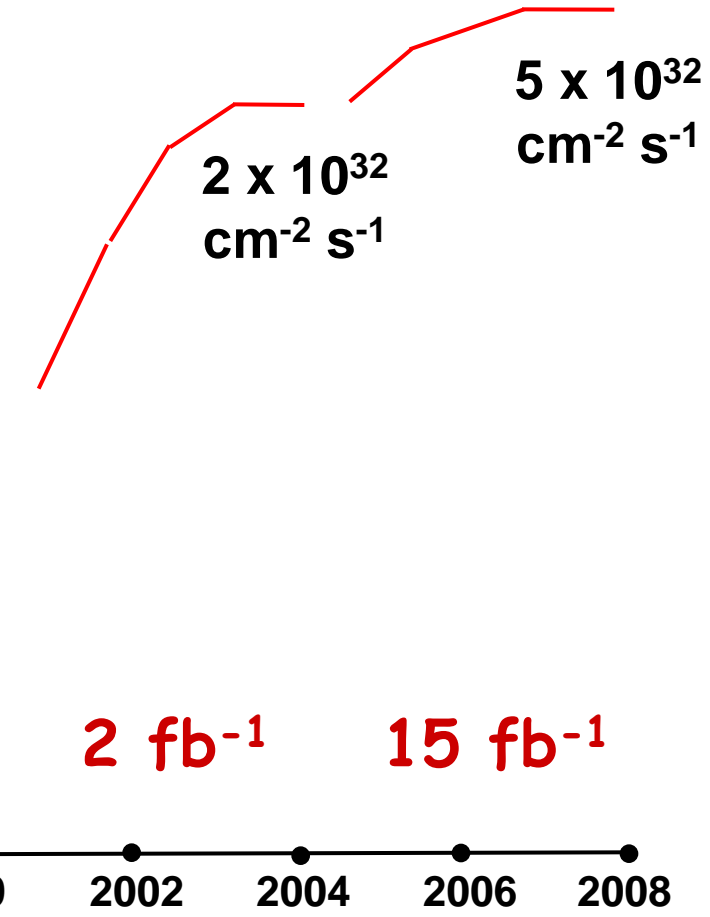
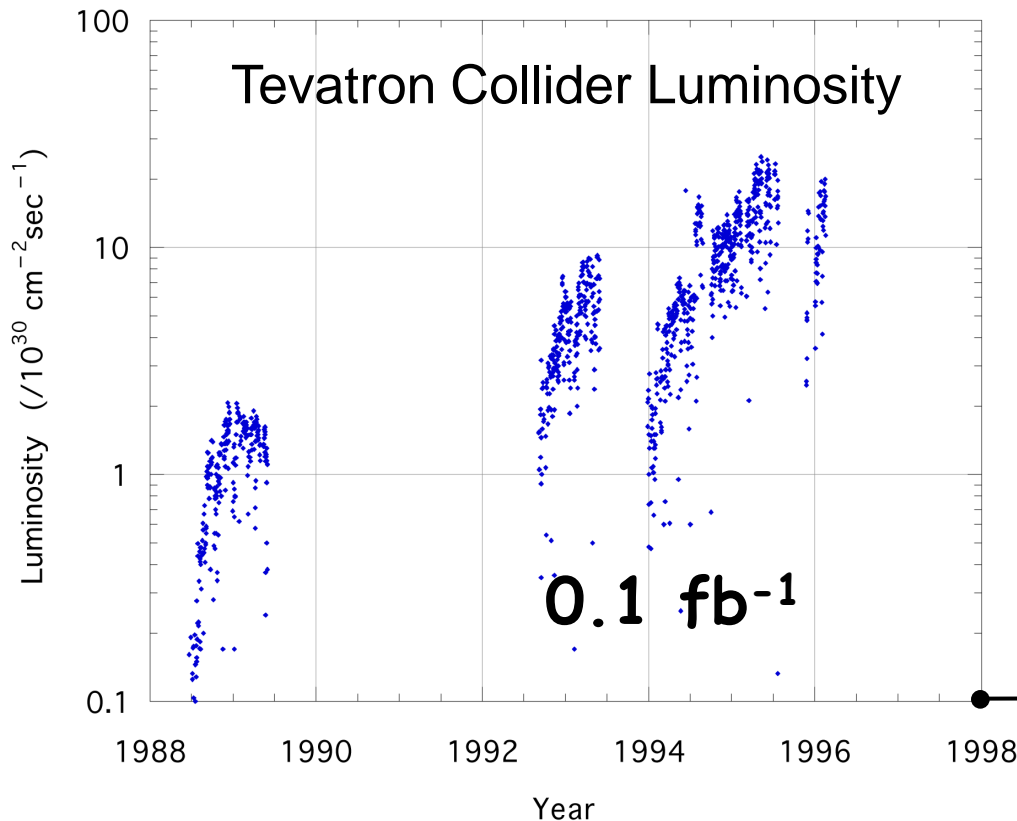
Faster, Bigger Physics Events !!!



Tevatron History and Future

Discovery of top, B_c , ...

M_W , M_{top} , $\sin 2\beta$, ... measurements



2 fb^{-1}

15 fb^{-1}

IIa

IIb

1.96 TeV

Run : 0

Ia

Ib

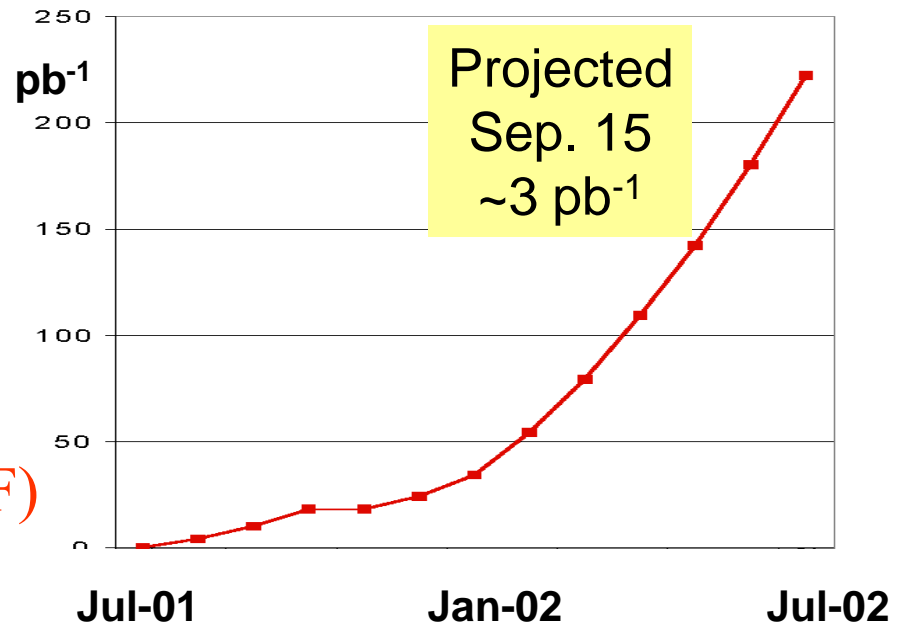
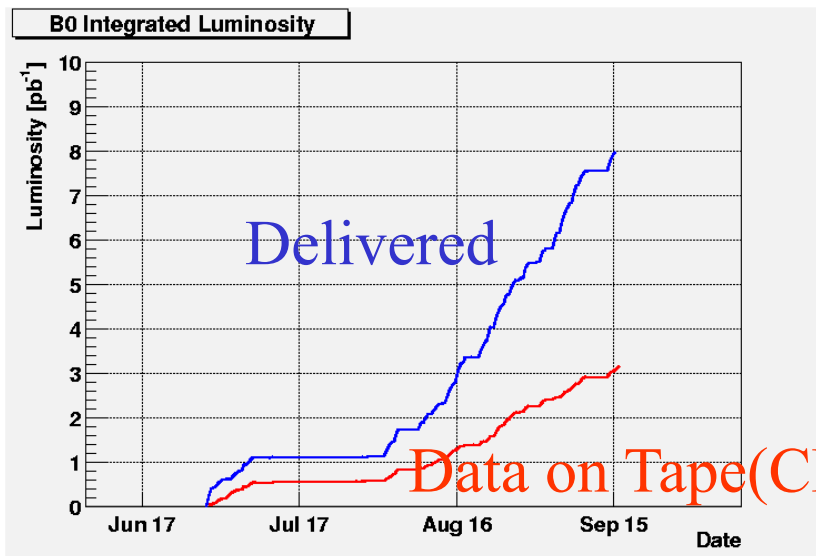
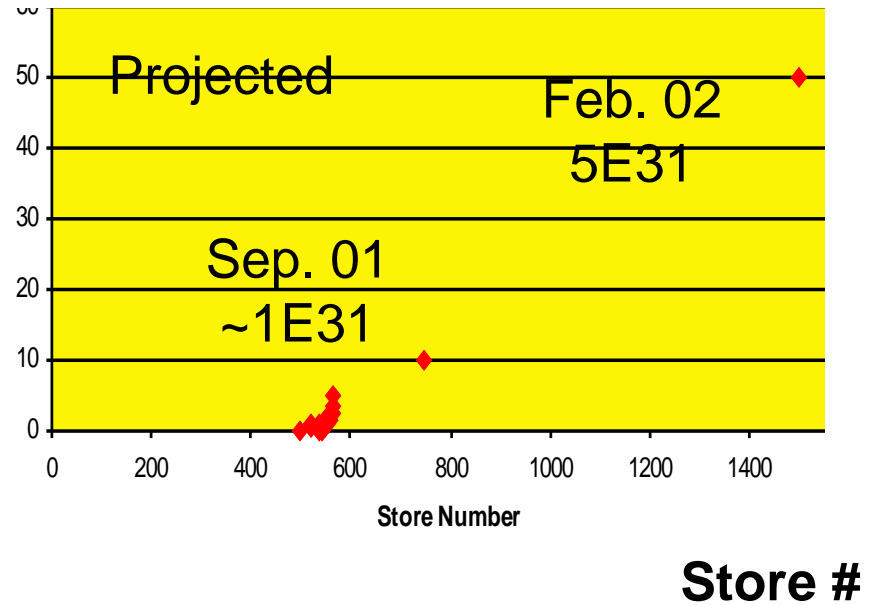
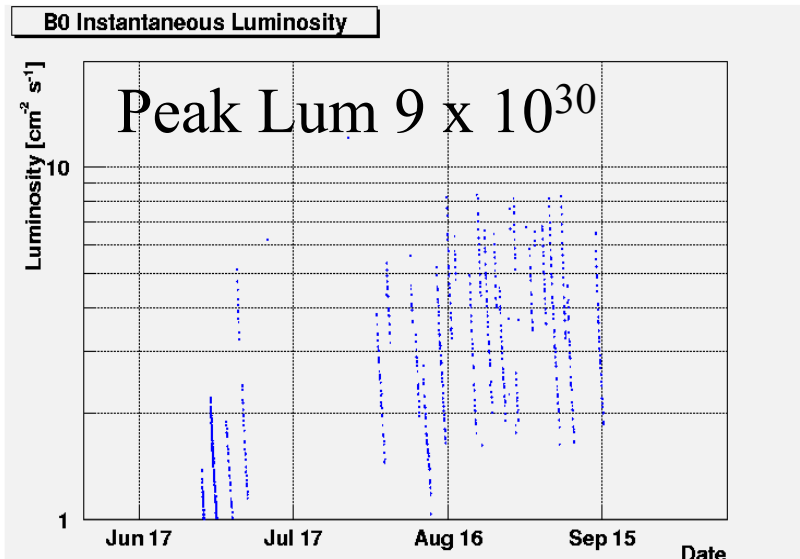
\sqrt{s} :

1.8 TeV

Run II Plans and Prospects

	Run I	Run IIa	RunIIb
Period	1992- 96	2001-03	2004-07
CM Energy	1.8 TeV	2 TeV	2 TeV
Luminosity(cm ⁻² sec ⁻¹)	10 ³¹	2 x 10 ³²	5 x 10 ³²
Integrated Luminosity	0.11 fb ⁻¹	2 fb ⁻¹	> 13 fb ⁻¹
Number of Bunches	6 x 6	36 x 36→140 x 103	
Bunch Period	3.5 μsec	396 nsec → 132 nsec	
Number of t t events			
W+4jet(1b-tag)	30	1,000	7,000
ΔM _{TOP} (GeV/c ²)	6.5	3	
Δ M _W (MeV/c ²)	79	40	
M _{HIGGS} Reach :95%CL limit		120 GeV/c ²	190 GeV/c ²
:3σ evidence			180 GeV/c ²

Recent Machine Performance





New

Old

Partially
New

Muon System

Central Calor.

Solenoid

Plug Calor.

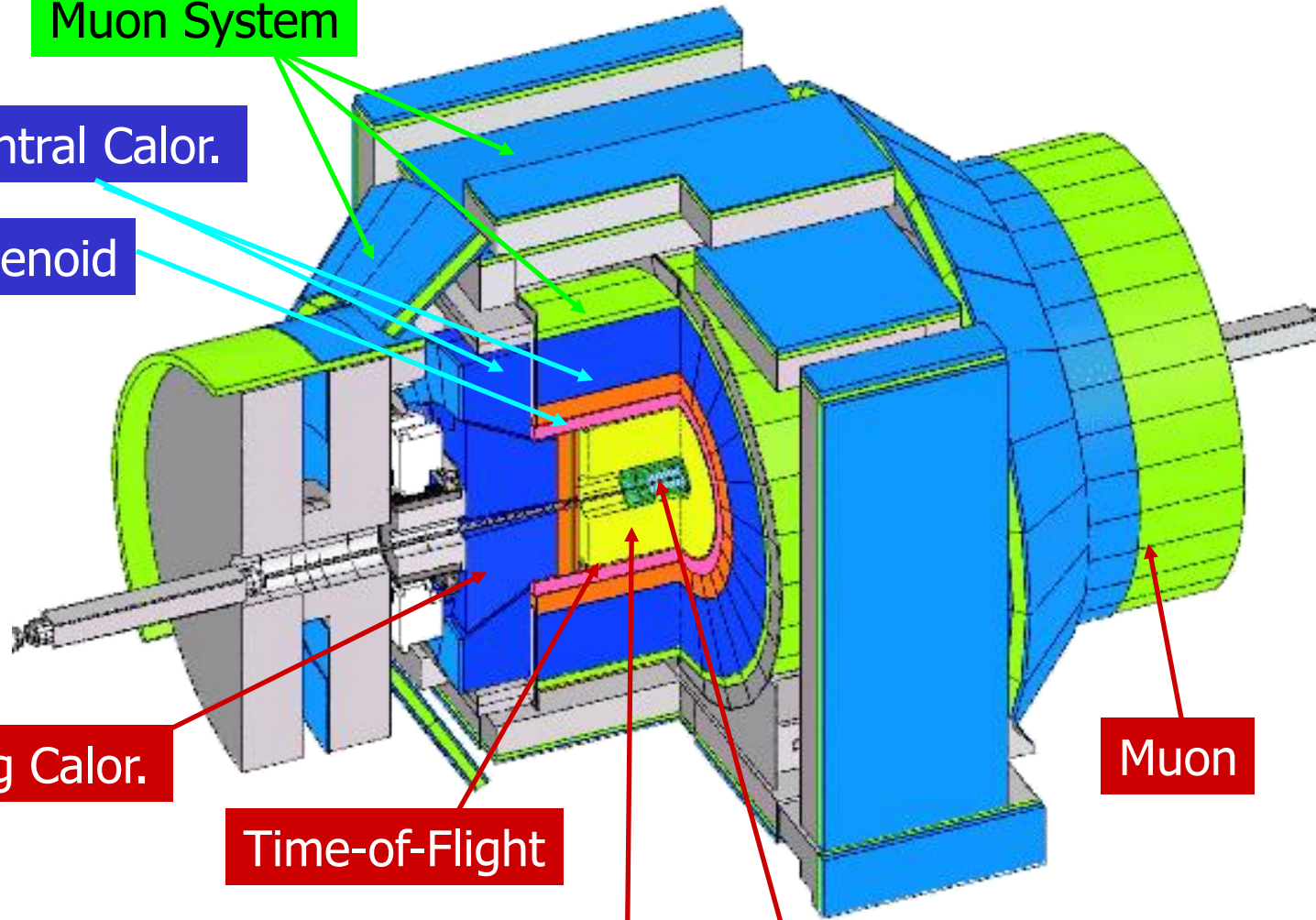
Time-of-Flight

Drift Chamber

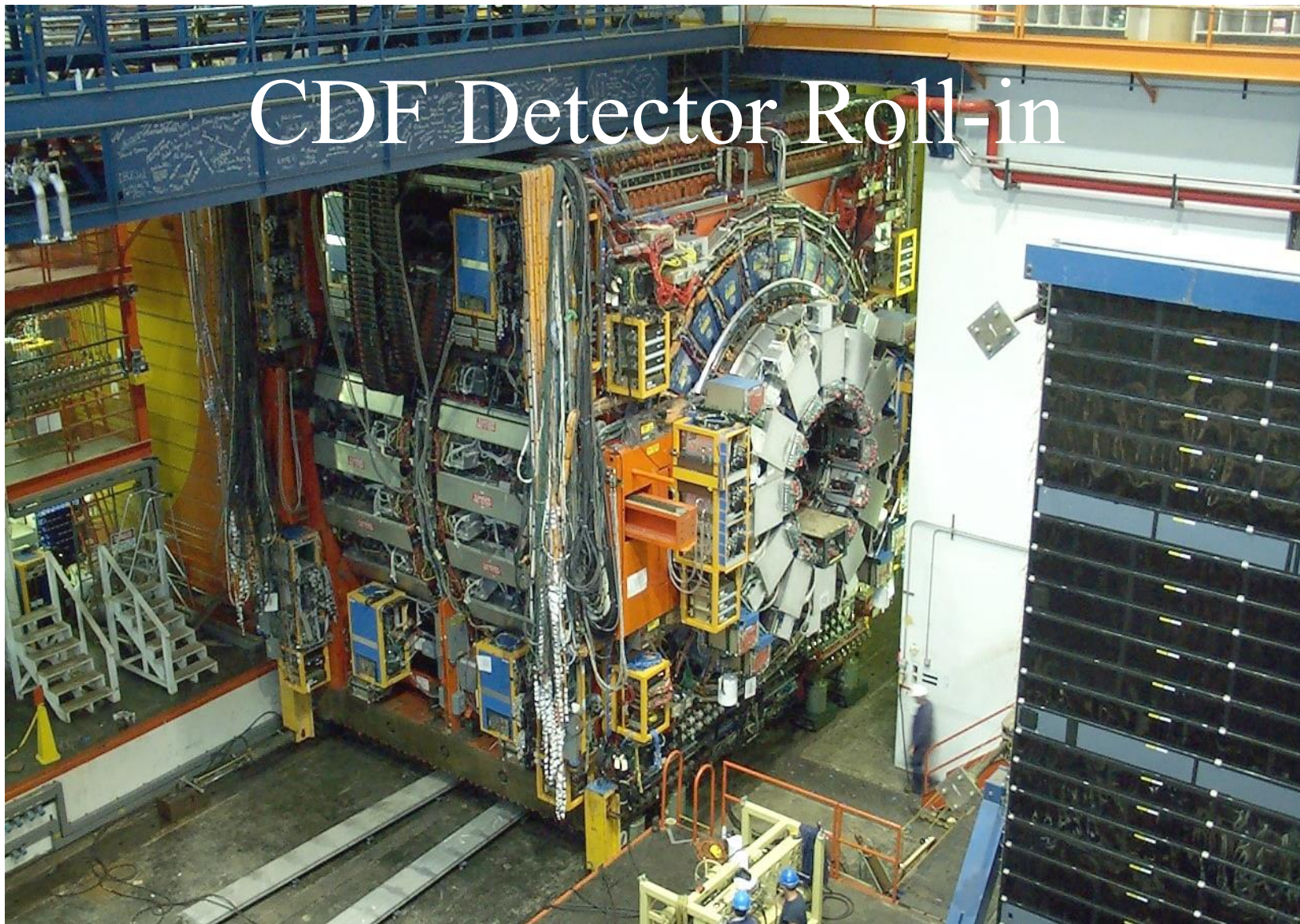
Silicon Microstrip
Tracker

Muon

Front End Electronics
Triggers / DAQ (pipeline)
Online & Offline Software



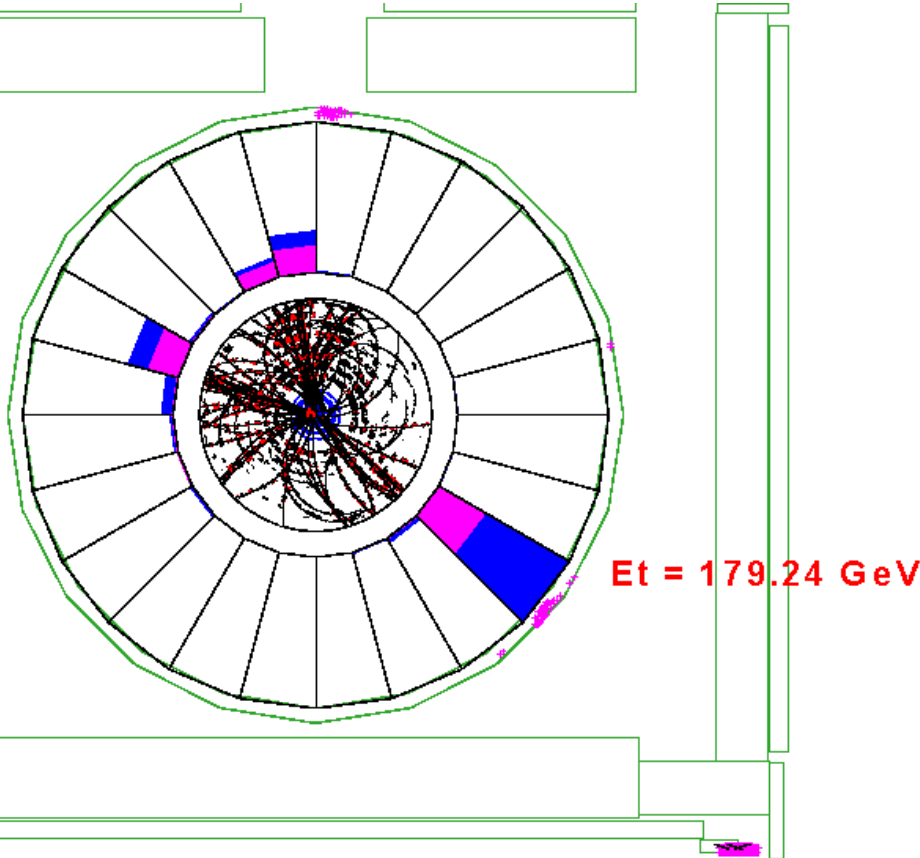
CDF Detector Roll-in



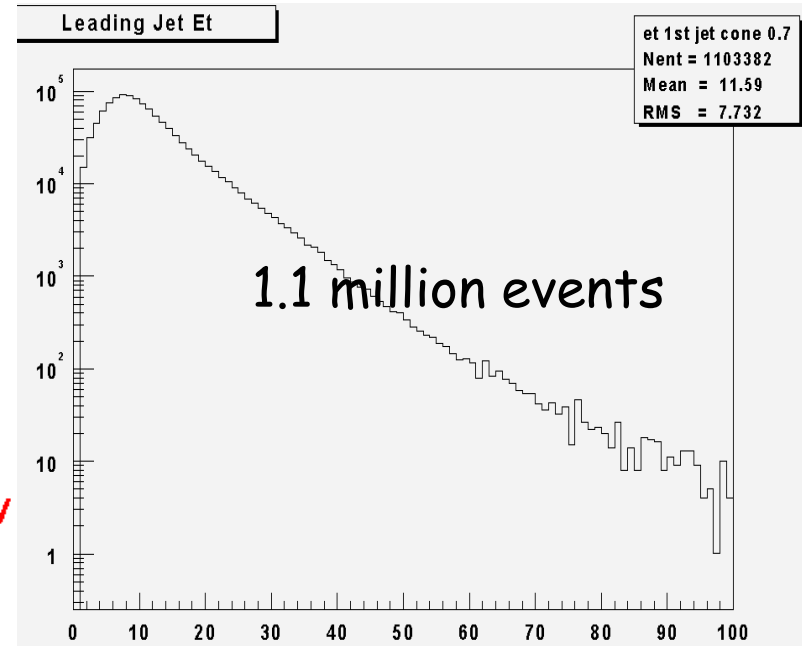
February 1, 2001

CDF Jets

3 jet event

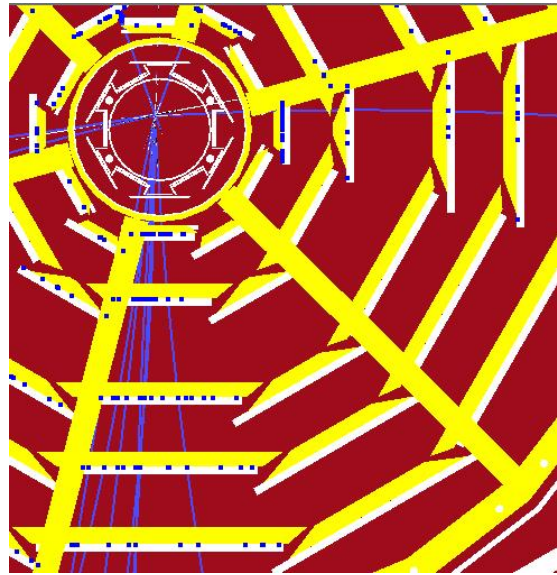


Et of highest energy jet

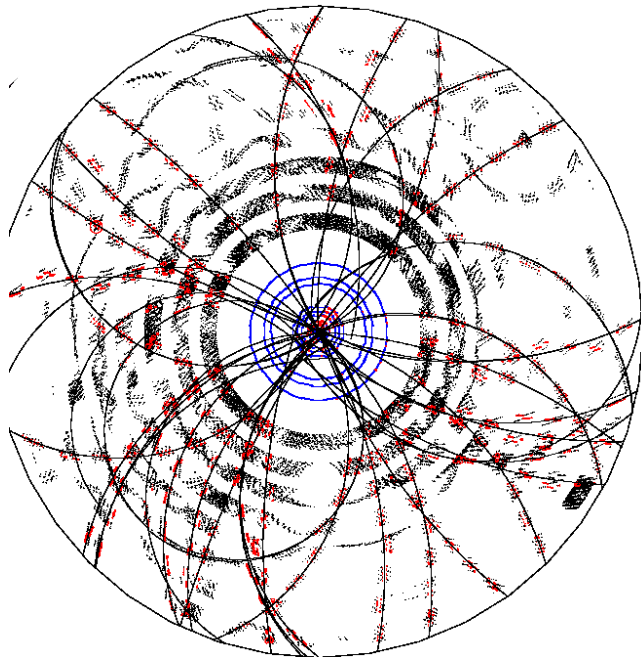
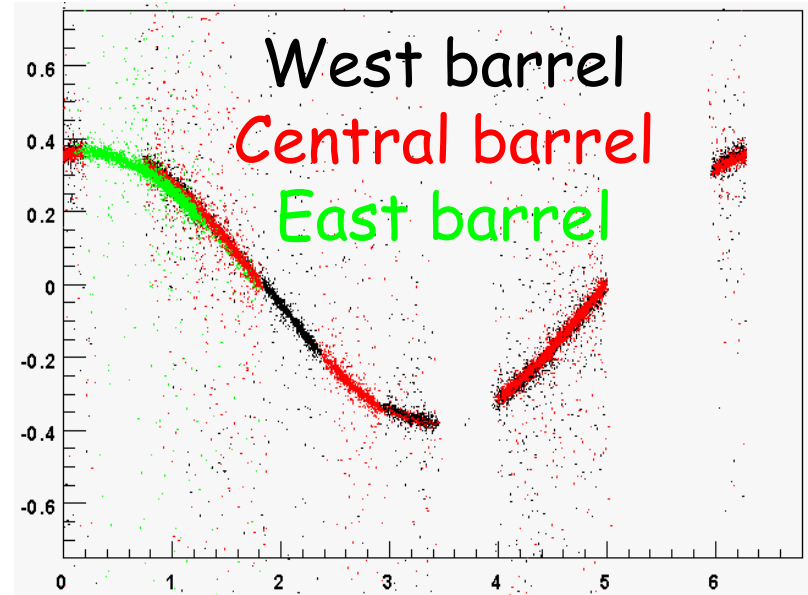


Jet E_T (GeV)

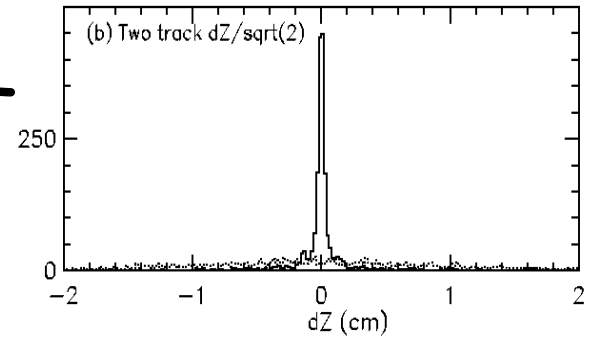
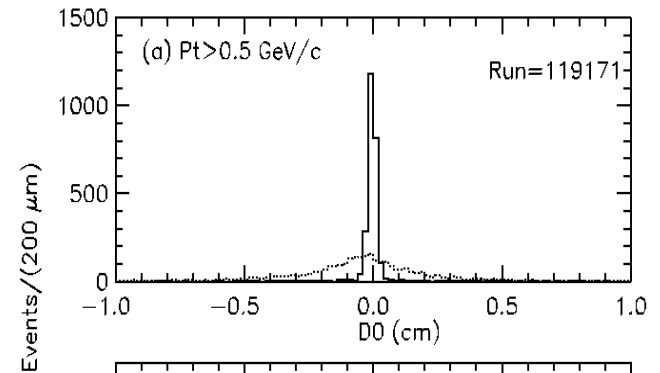
CDF Tracking Performance



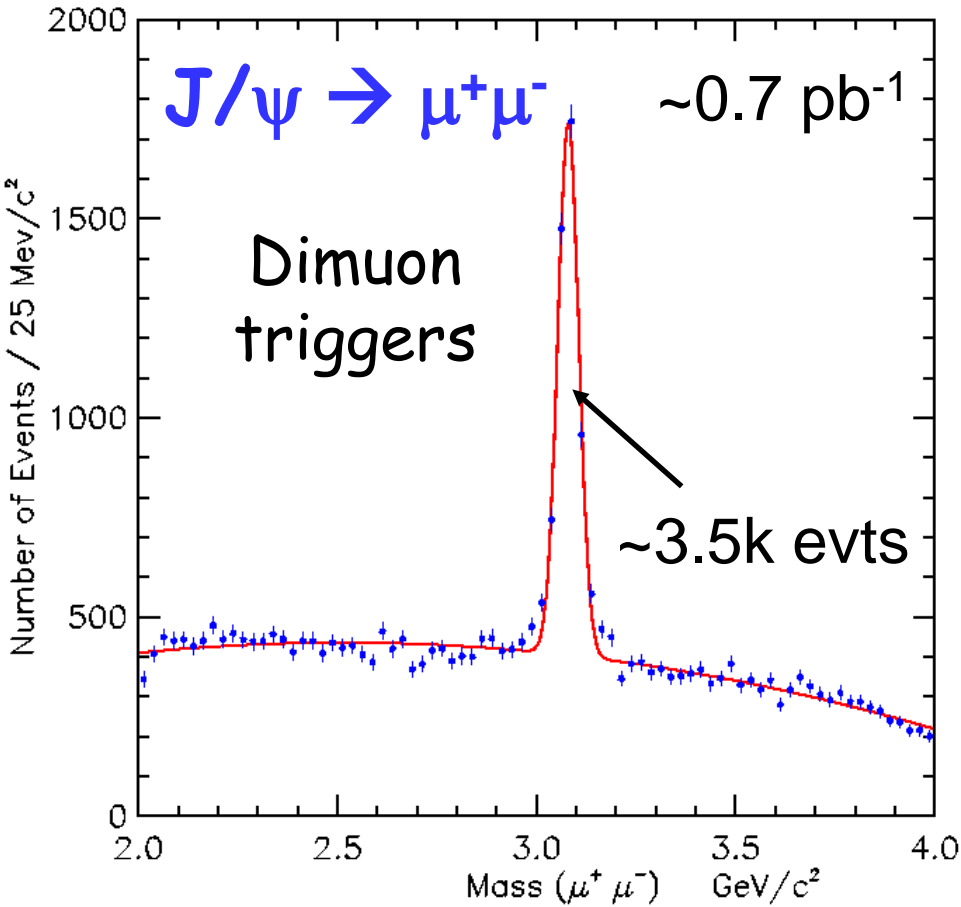
Silicon



— Si+COT
..... COT

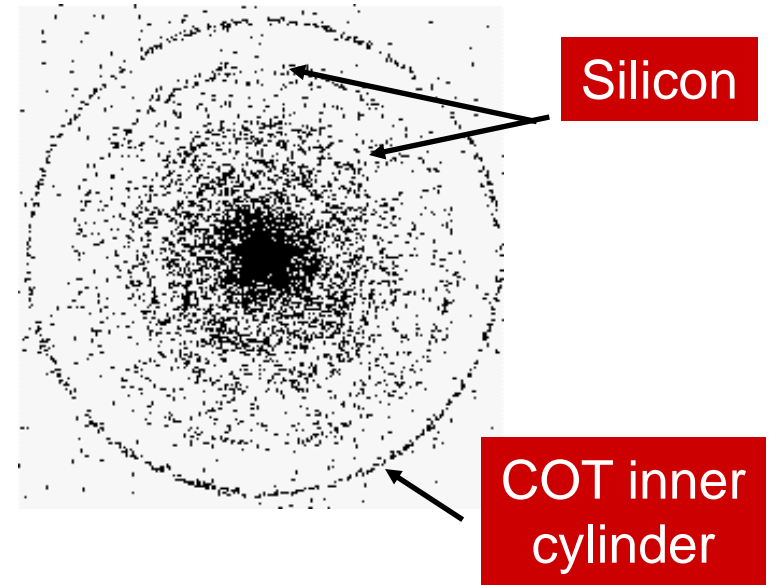


CDF Performance



$M(J/\psi) = 3.080 \pm 0.001 \text{ MeV}$
(no dE/dx corrections applied)

X-ray the detector with
 $\gamma \rightarrow e^+e^-$ conversion

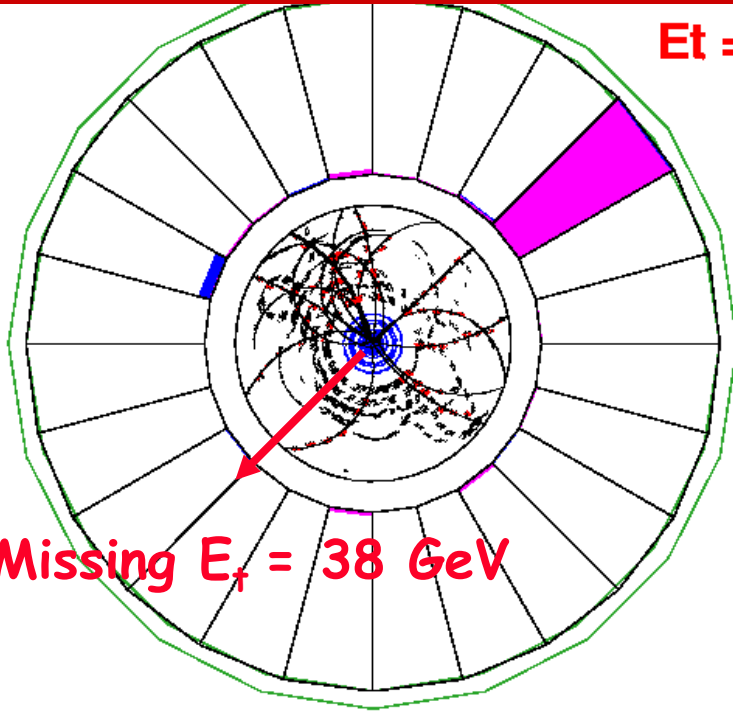


CDF Performance : W candidates

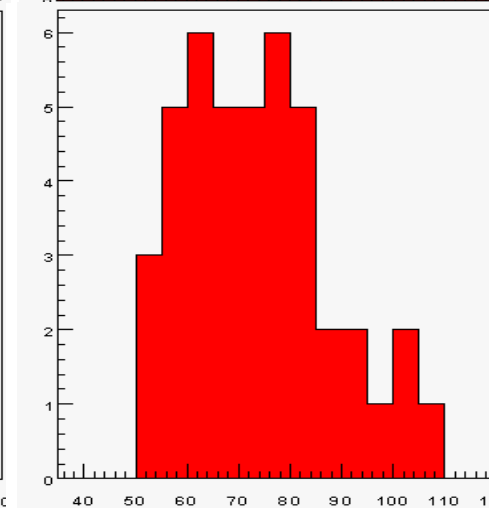
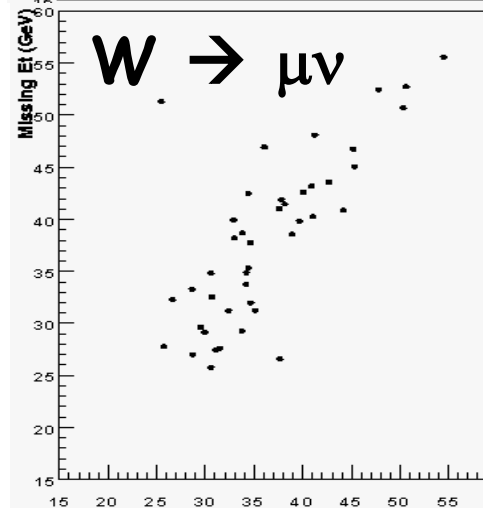
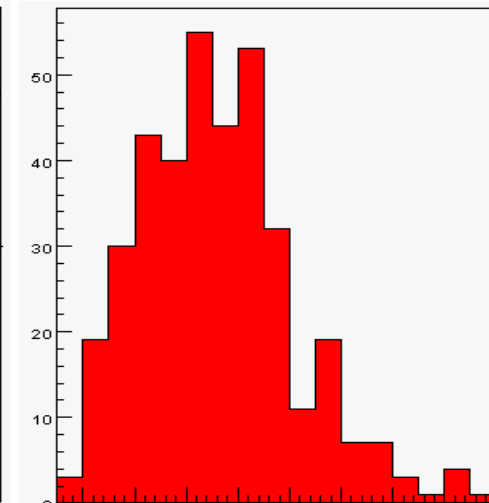
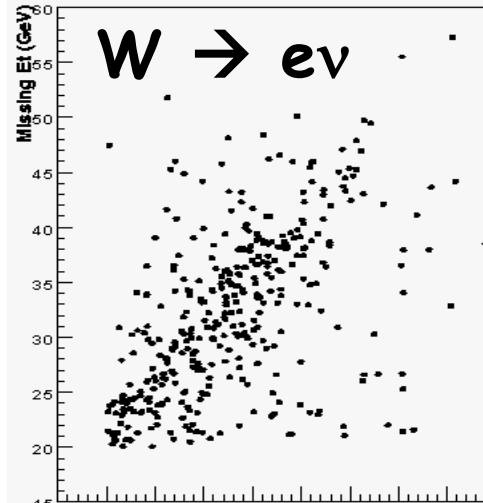
1st $W \rightarrow e \nu$ candidate

$E_T = 35$

Missing $E_T = 38$ GeV



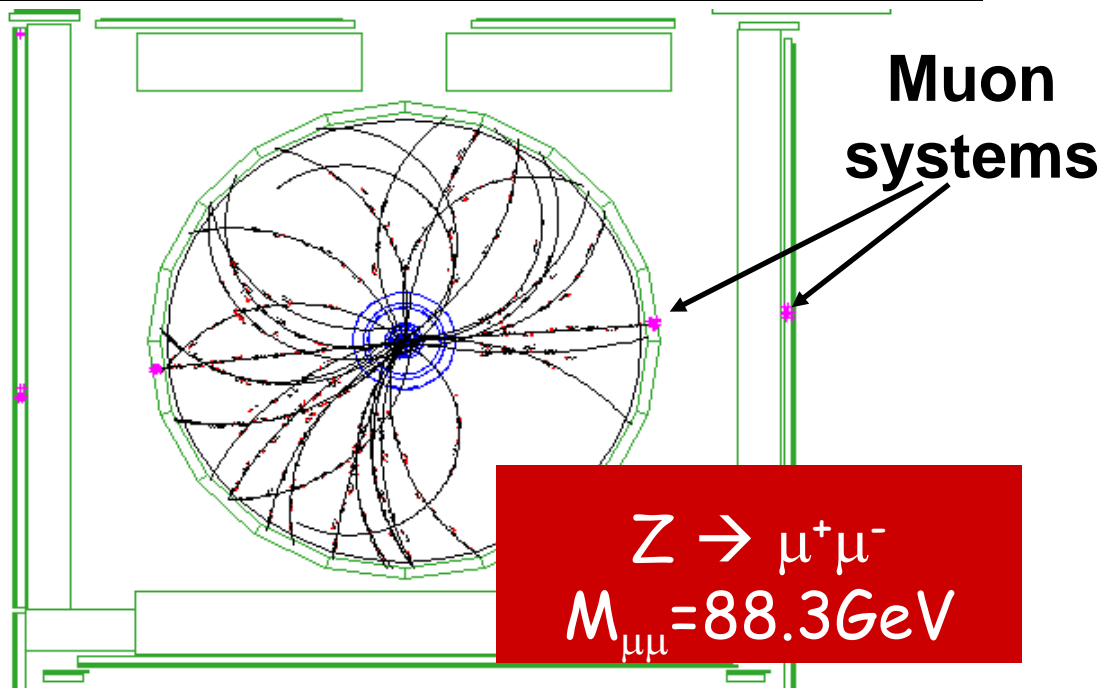
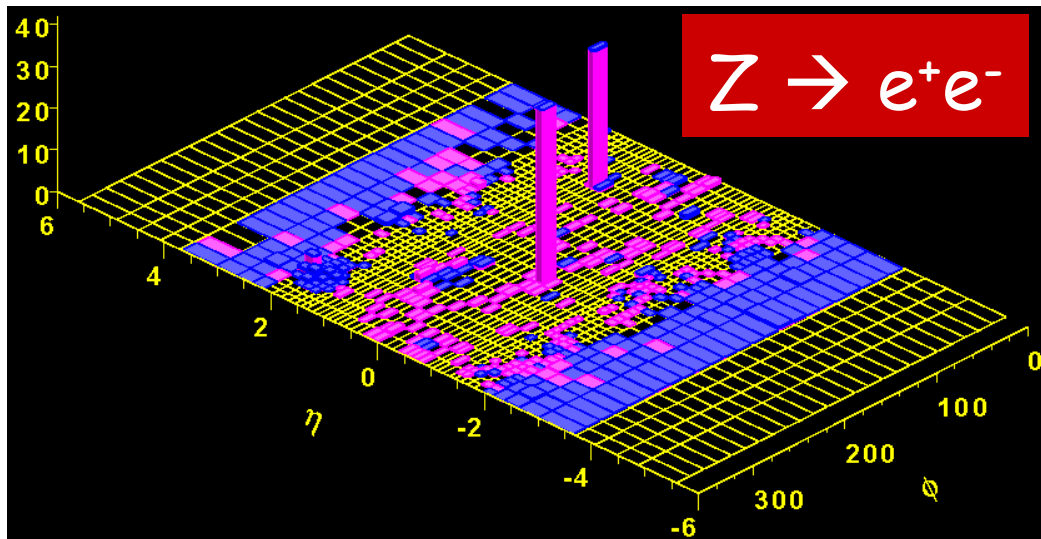
Data (0.6pb^{-1} : ~ 450 W Events)



E_T^ν vs. $E_T^{e,\mu}$ (GeV)

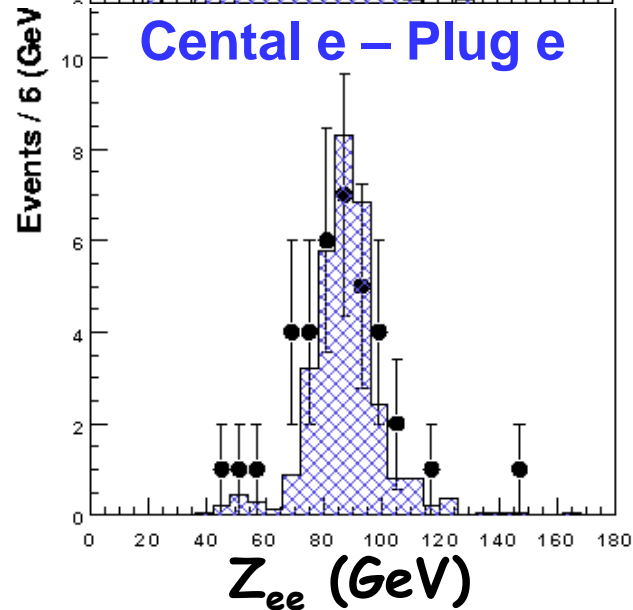
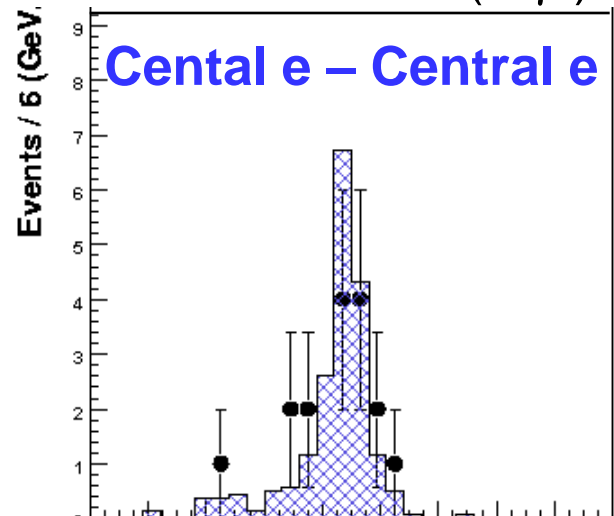
M_T^W (GeV)

CDF Performance : Z Candidates



Points : Data (0.6 pb^{-1})

Hist : PYTHIA (Z/γ^*)



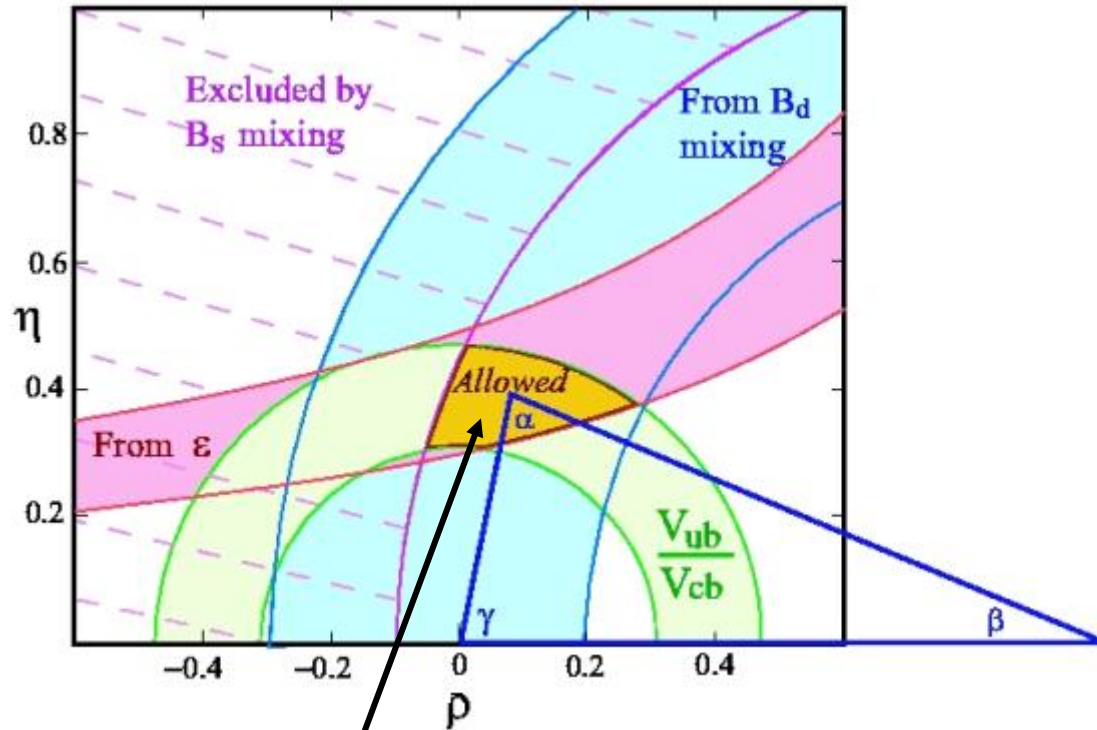
Run II Physics Goals

- **Understanding Electroweak Symmetry Breaking**
 - EW Measurements (M_W , M_{top})
 - Higgs Boson Search
 - the Standard Model
 - SUSY

- **Study CP Violation and the CKM Matrix**
 - $\text{Sin}2\beta$ Measurement
 - X_s Measurement

- **Searches for New Phenomena**

Study CP Violation and CKM Matrix

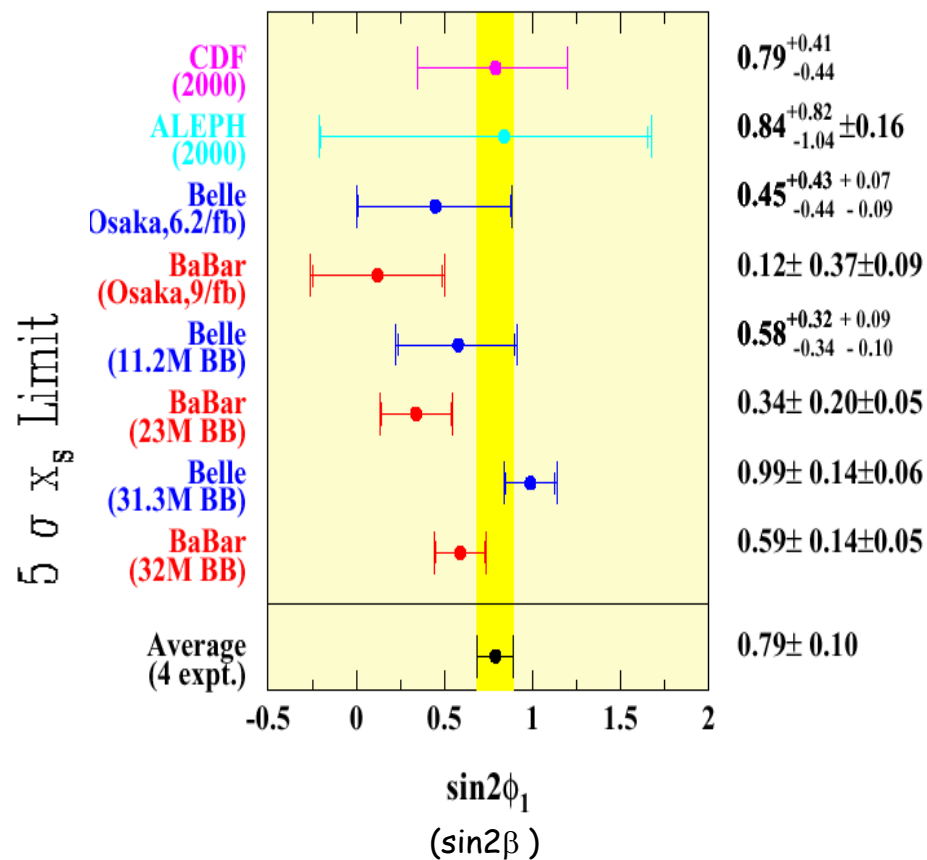
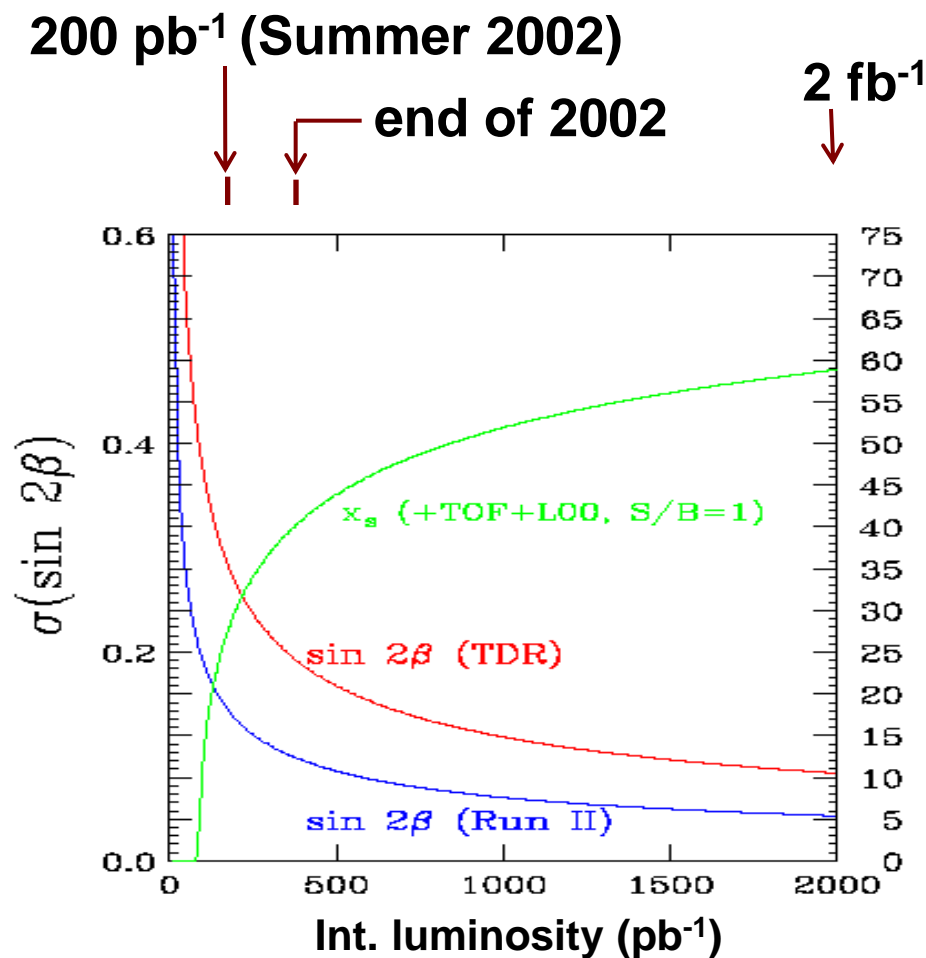


B_s mixing measurement is important for complete picture of the Unitary triangle.

CP Violation & CKM Matrix (cont.)

With data by next summer,

- B_s mixing : SM prediction region fully covered.
- $\delta \sin 2\beta \sim 0.12$

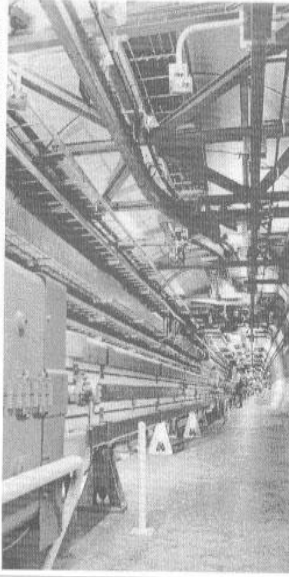


重さの正体つかまえる

物には重さがある。当たり前のようだが、物理学的に説明しようとするところが簡単ではない。質量のかきまを測る未知の粒子ヒッグスの存在を示すこれまでに最も信頼度の高いデータが、欧州合同原子核研究所(CERN)の加速器実験で得られた。世界中の素粒子物理学者が探し続けてきた粒子で、現代物理学の基礎となつて、「標準理論」を検証するだけでなく、「大統一理論」など新たな神秘みづくりにつながる可能性もある。日米欧の大層加速器計画にもはつきりがつきそつた。

カギ握る粒子「ヒッグス」 欧州チーム「存在示唆」

物質は原子の集まり。原子は電子と原子核の集まり。原子核は陽子と中性子の集まり。そして陽子と中性子はクォークの集まり。標準理論によれば、私たちの世界は、六種類のクォークと、電子など軽い粒子である六種類のレプトンからできている。標準理論では、不思議なことにはこれらの粒子の質量はゼロでなければならぬ。



ヒッグス探しのため、運転期間が11月2日まで延長されたCERNの加速器LEP。スイス・ジュネーブの園地にある(CERN提供)

ヒッグス粒子探索 についての記事

ぶつつかって、動きが鈍くなるため、質量があるように見えると説明付けた。未知の粒子は説明者にちなみ「ヒッグス」と呼ばれる。米国のフェルミ国立加速器研究所の加速器パイプラインでヒッグス探しに挑む金信弘・筑波大学教授によ

ると、標準理論では、ヒッグスは少なくとも四種類からなる。宇宙の誕生直後に消え、質量を与えられた粒子になった。これら消えた三種類には質量がなく、観測することはできない。残つた一種類が「見えるヒッグス」。自然では、高いエネルギーを持つ陽子同士が衝突するようなまれな場合にしか現れない。人工的につくるには非常に高

いエネルギーが要る。八〇年代、ヒッグスを探した加速器計画が登壇した。米国のSSC(二四八七億)とCERNのLHC(四二七億)。計画では、いずれもトンネル内で陽子同士を衝突させ、十兆電子ボルトを超えるエネルギーを発生。SSCは建設費が巨額で中止になった。LHCは建設費を二千億円で抑え、二〇〇五年の運転開始を目指している。

だ、あと二カ月実験できれば、今回の原因がヒッグスかどうかはほぼ確定できる。LEPの運転は特別な準備がない限り、今年末で終わる予定だったが、今回の結果を待たずして、今年三月から本格運転に入る。来年三月から本格運転を始める。四、五年後にはさらに強化し、ヒッグスの質量が千七百億電子ボルト以下であれば存在が確定できるようになる。金さんは「千四百四十億電子ボルト」という。今回のLEPの結果が事実なら、すぐに確認できるはずだ」と意気込

既存の加速器にチャンス

とろが最近、一兆電子ボルトとされていたヒッグスの質量が、千五百億〜二千五百十億電子ボルトへ下方修正された。これならCERNの運転中の加速器LEPや、デパトロンの能力でも見つかるとも思えない。

ヒッグスが見つければ、重さの正体は解ける。私たちが世に知る四つの力のうち電磁力と「弱い力」を統一した標準理論は検証されたことになる。さらに「強い力」を加えた三つの力の統一を目指す「大統一理論」を目標とする。物理学者の次の神話も見えてくる。胸が膨らむ。

対称性」が重要な柱の一つ。超対称性を課する大統一理論は、質量千五百億電子ボルト以下の「ヒッグス」の存在を言っている。「見えるヒッグス」が正体である可能性もある。正体がわかってくれば、「大統一理論」の入り口に立つことになる。金さん、ただ、これらの理論につなげるには、ヒッグスを見つけては远远不够だ。加速器もますます必要になる。

り、LHCはもちろん、日本が中心となつてアジアで進めているJLC計画に期待がかかる。二十、程度の直線型加速器で、二〇一〇年前後の運転開始を目標にしている。胸が膨らむ。LEPはヒッグス以外の粒子もつく。上空から全体を見渡すような加速器だ。これに対し、ヒッグス工場としてこの粒子をしゃぶりつくすJLCのような加速器もますます必要になる。

CERN研究所(ジュネーブ)で ヒッグス粒子の候補事象が見えた。これが事実かどうかはフェルミ研究所での陽子反陽子衝突実験で明らかにできる。

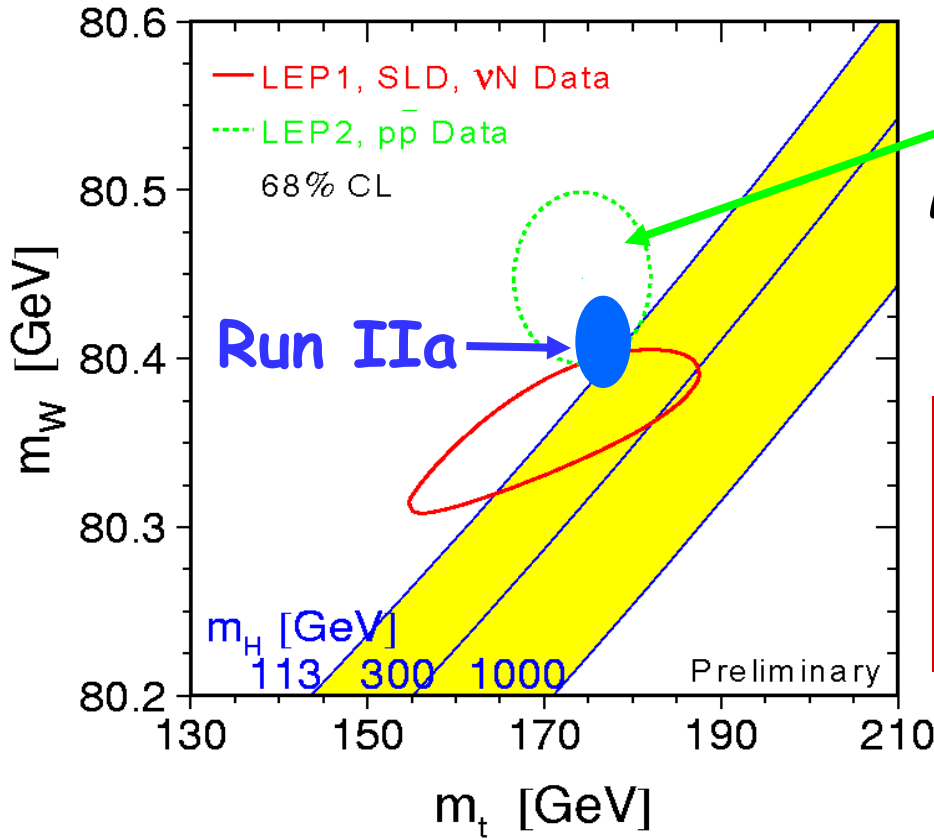
月から本格的にヒッグス探しを始めた。東京大学素粒子物理国際研究センターも加わる。「オパール」など四つの実験グループがあり、粒子の崩壊の様子などを観測している。

「アレーフ」がこれほど、ヒッグスの存在を示唆する現象を観測。四グループ分を合わせると、解析にもよるが、ヒッグスが存在しないときには一回程度しか観測されないまれな事象が五回

「強い力」を加えた三つの力の統一を目指す「大統一理論」を目標とする。物理学者の次の神話も見えてくる。胸が膨らむ。

り、LHCはもちろん、日本が中心となつてアジアで進めているJLC計画に期待がかかる。二十、程度の直線型加速器で、二〇一〇年前後の運転開始を目標にしている。胸が膨らむ。LEPはヒッグス以外の粒子もつく。上空から全体を見渡すような加速器だ。これに対し、ヒッグス工場としてこの粒子をしゃぶりつくすJLCのような加速器もますます必要になる。

Electroweak Precision Measurements



Tevatron Run I :
 $M_{\text{top}} = 174.3 \pm 5.1 \text{ GeV}/c^2$
 $M_W = 80.452 \pm 0.062 \text{ GeV}/c^2$

EW Meas : $M_{\text{Higgs}} < 215 \text{ GeV} @ 95\% \text{CL}$
 LEP II Higgs Searches :
 $M_{\text{Higgs}} > 113 \text{ GeV} @ 95\% \text{CL}$
 LEP II Hint @ $M_{\text{Higgs}} = 115 \text{ GeV}$

Γ_W (from W high mass tail)
2.04 ± 0.15 GeV (CDF), 2.22 ± 0.17 GeV (D0)
SM : 2.0937 ± 0.0025 GeV

今後のヒッグス粒子探索

• $M_H < 130 \text{ GeV}/c^2$

$$p\bar{p} \rightarrow W H X \rightarrow l \nu + b\bar{b} + X$$

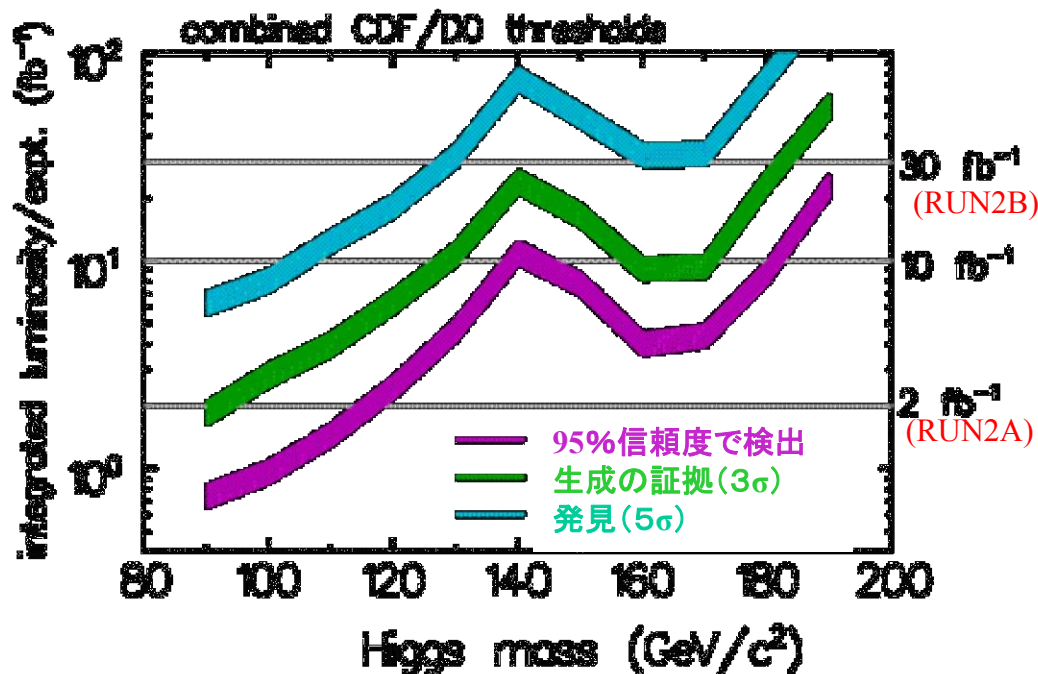
• $125 < M_H < 160 \text{ GeV}/c^2$

$$pp \rightarrow W H X \rightarrow l \nu + W^* W^* + X$$

(like-sign dilepton + jets)

• $150 \text{ GeV}/c^2 < M_H$

$$pp \rightarrow H X \rightarrow W W X \rightarrow l \nu l \nu X$$



RUN2A (~2003)

95%信頼度で $M_H < 120 \text{ GeV}/c^2$ 検出可能

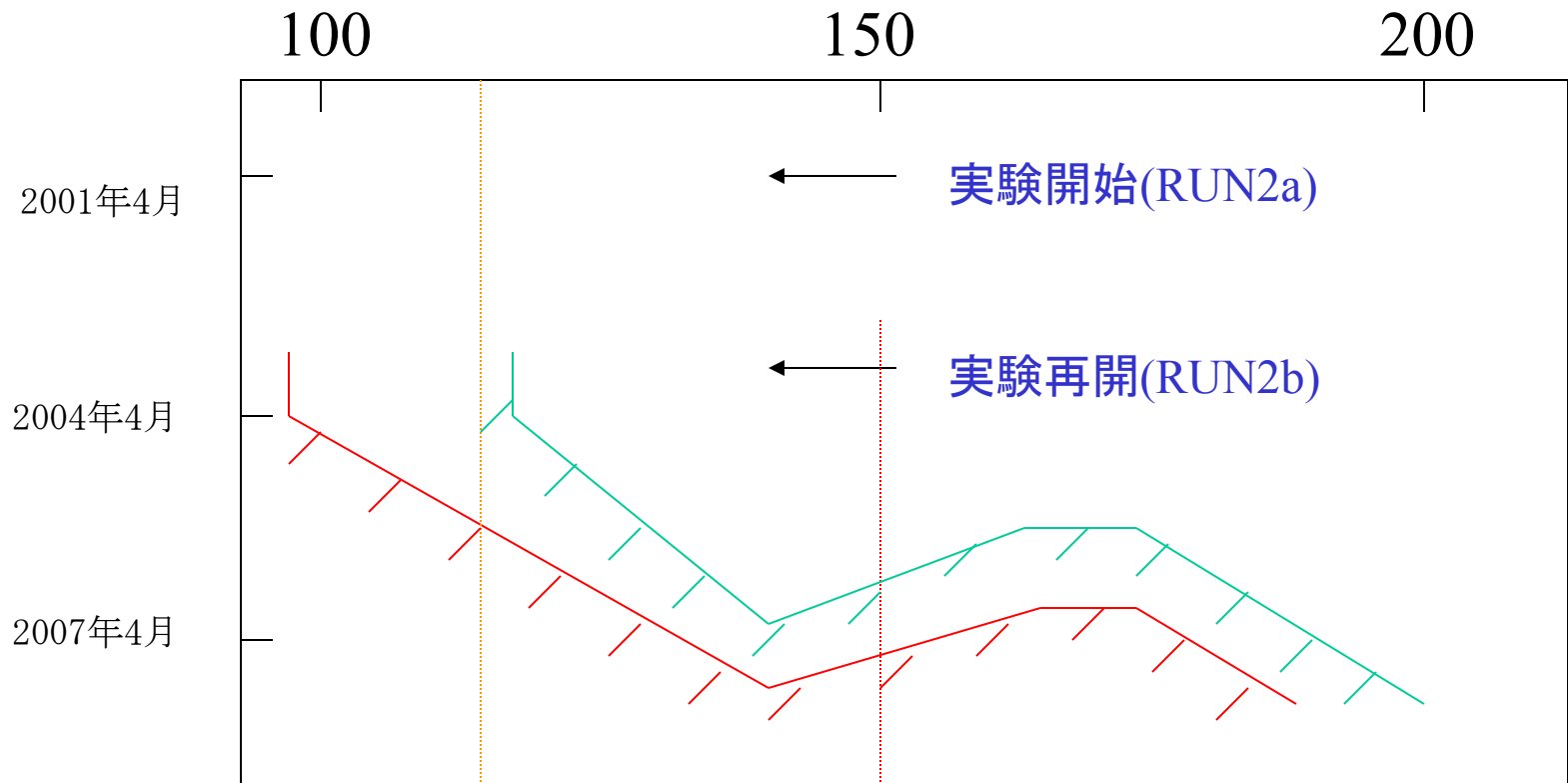
RUN2B (2004 ~)

95%信頼度で $M_H < 190 \text{ GeV}/c^2$ 検出可能

$M_H < 180 \text{ GeV}/c^2$ の証拠 (3σ evidence)

テバトロン加速器での ヒッグス粒子探索

証拠検出可能なヒッグス粒子の質量 $M_H(\text{GeV}/c^2)$
(95%信頼度で検出できる M_H)



LEP 2 の
ヒッグス粒子

超対称性理論の軽い
ヒッグス粒子の質量上限

まとめ

CDF実験RUN2(2001年～)で以下の成果が期待される。

- 2002年に B_s mixingの測定ができる。また $\sin 2\beta$ が誤差0.12で測定できる。
- 2年間の実験で1000 $t\bar{t}$ 事象が収集され、 $\Delta M_{\text{top}} \sim 3\text{GeV}/c^2$ で M_{top} が測定できる。同時に $\Delta M_W \sim 40\text{MeV}/c^2$ で M_W が測定できる。これらより $\Delta M_H \sim 0.3M_H$ でヒッグスの質量を間接的に測定できる。
- 2年間の実験で
 - 95%信頼度で $M_H < 120\text{GeV}/c^2$ のヒッグス粒子検出可能。
- さらに3年間のデータ収集によって
 - 95%信頼度で $M_H < 190\text{GeV}/c^2$ のヒッグス粒子検出可能。
 - $M_H < 180\text{GeV}/c^2$ のヒッグス粒子の生成の証拠(3σ)。