

Możliwości odkrycia bozonu Higgsa w ramach Modelu Standardowego w Tevatronie

Artur Kalinowski

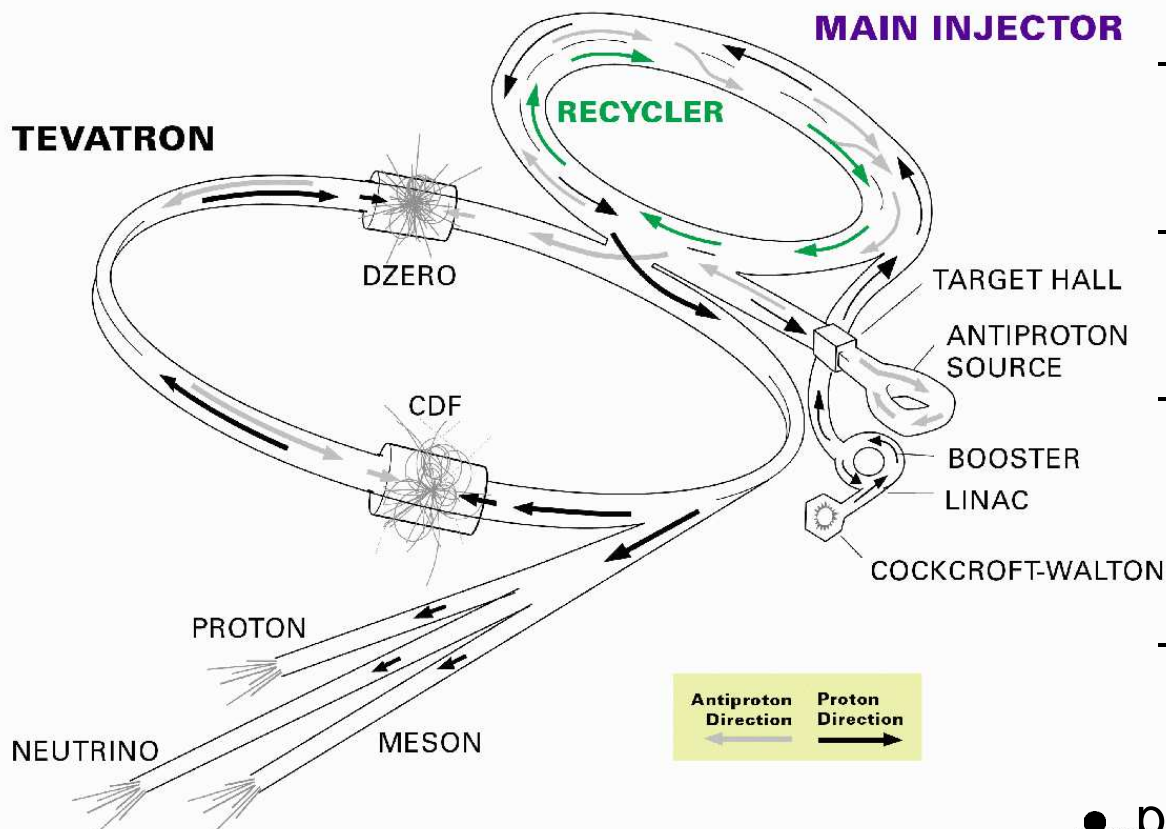
5 grudnia 2003

Plan

1. Usprawnienia detektorów CDF i D0 oraz akceleratora dla RUN II
2. Elementy analiz fizycznych w wybranych kanałach
3. Analiza statystyczna wyników
4. Analiza wpływu niepewności systematycznych
5. Podsumowanie

Usprawnienia akceleratora dla RUN IIa

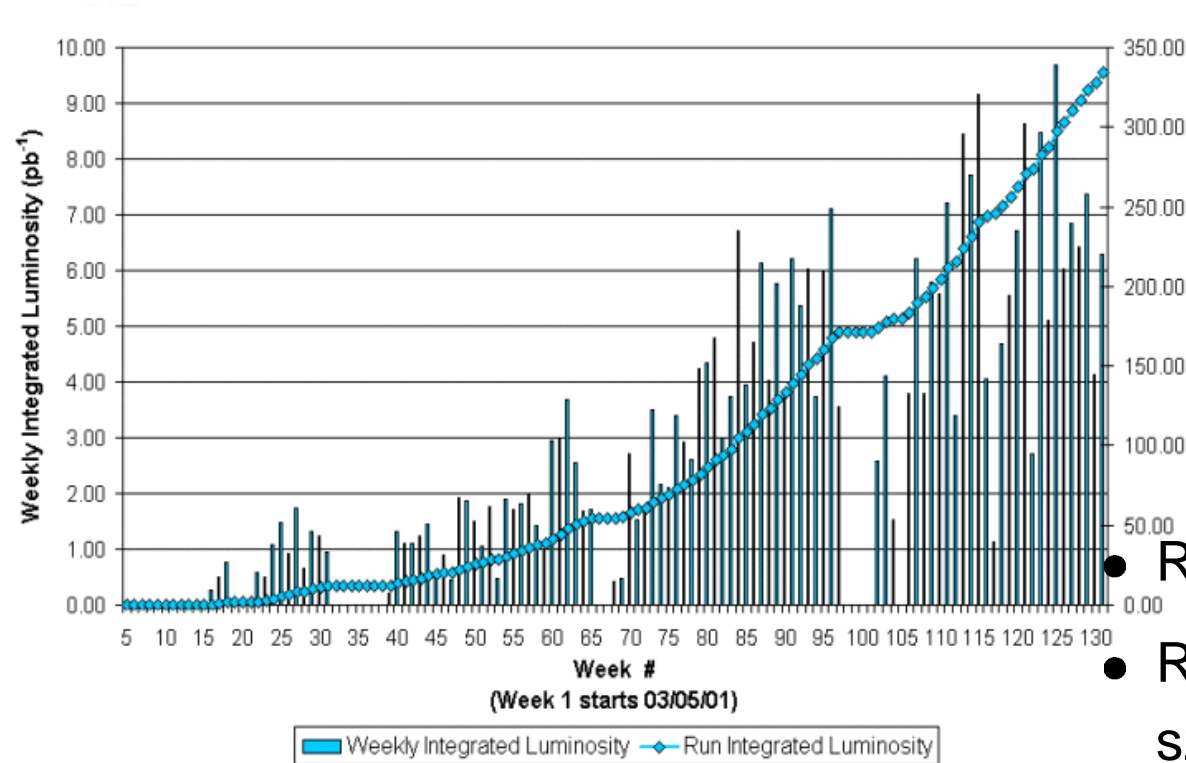
FERMILAB'S ACCELERATOR CHAIN



- podniesienie świetlności z $1.6 \cdot 10^{31}$ do $4.5 \cdot 10^{31}$ $1/\text{cm}^2/\text{s}$ (planowano $2 \cdot 10^{32}$ $1/\text{cm}^2/\text{s}$)
 - nowy wstrzykiwacz (“Main Injector”) cząstek
 - zwiększona liczba paczek p i \bar{p} $6 \rightarrow 36$
 - mniejszy odstęp czasowy między zderzeniami $3500 \rightarrow 396$ ns
 - Antiproton Recycler (jeszcze nie używany)
- podniesienie energii w środku masy z **1.8** do **1.96** TeV

Przewidywana światłość zebrana w czasie RUN II do roku 2009

Collider Run IIA Integrated Luminosity

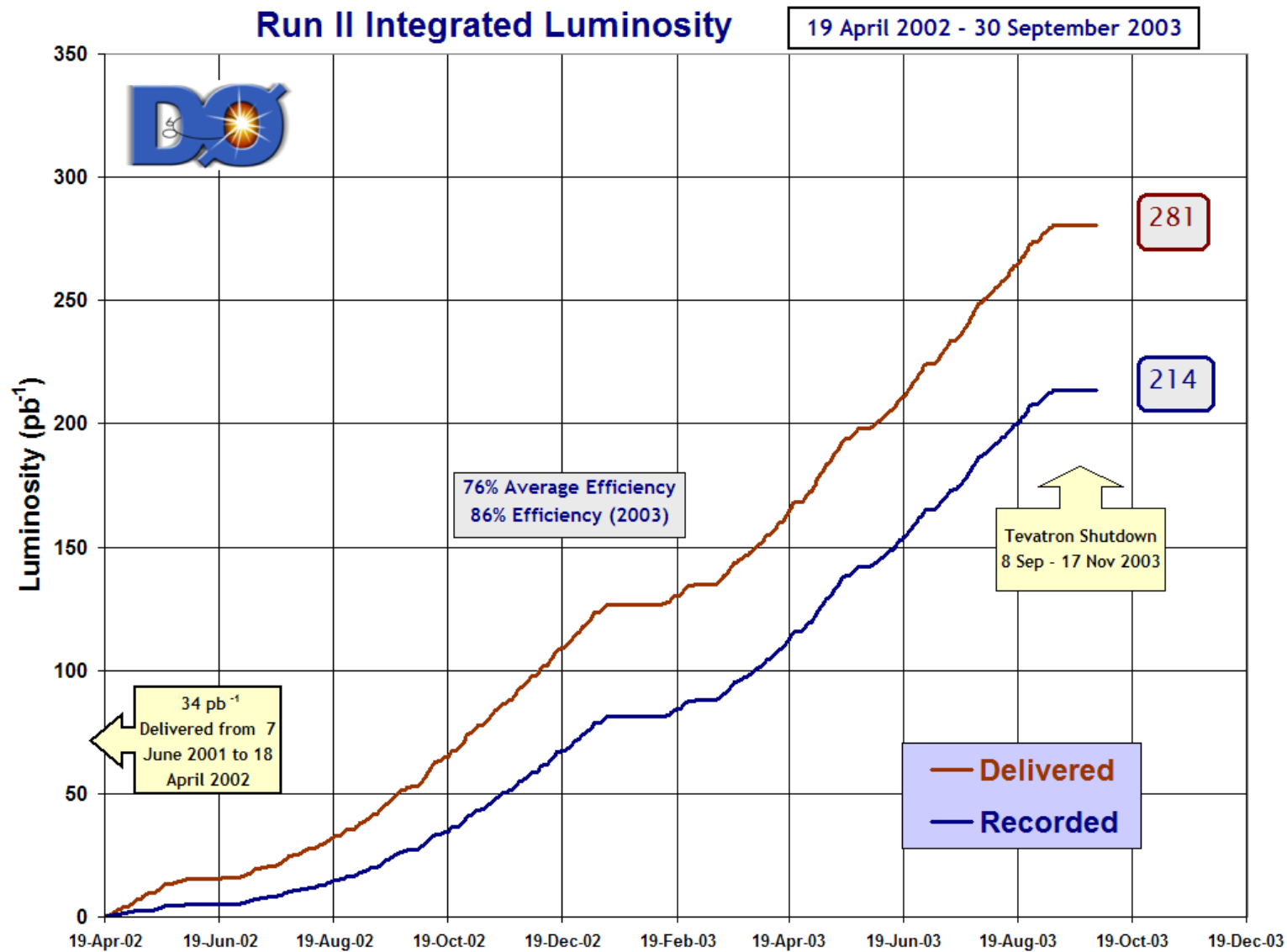


Planowana scałkowana światłość [fb^{-1}].
(stan na czerwiec 2003)

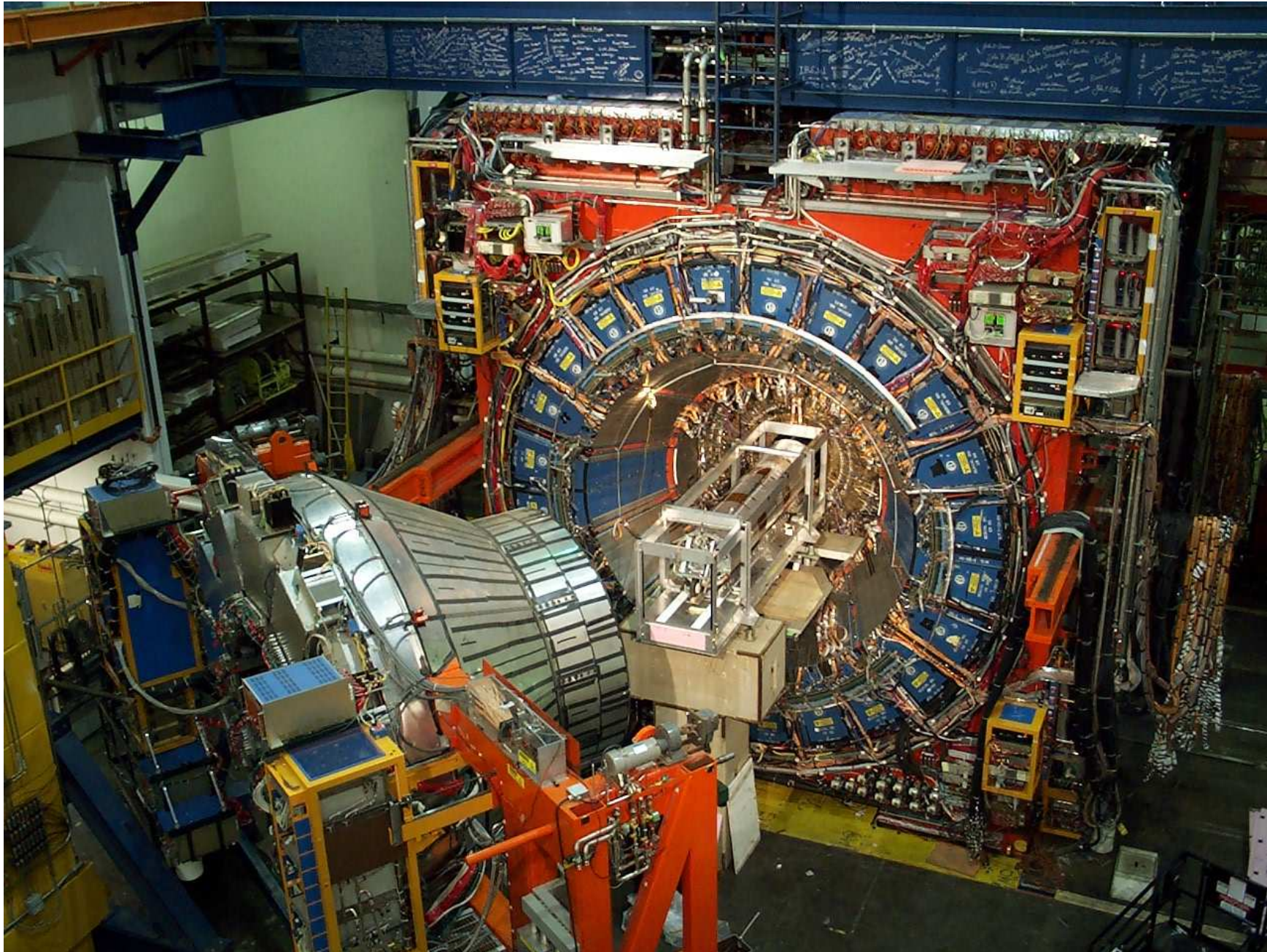
	Base	Design
FY03	0.3	0.3
FY07	2.1	3.8
FY09	4.4	8.6

- RUN Ila - zebranie $2fb^{-1}$ danych
- RUN I Ib - zbieranie danych po dalszym zwiększeniu światłości do $\simeq 2 \cdot 10^{32} \text{ 1./cm}^2/\text{s}$

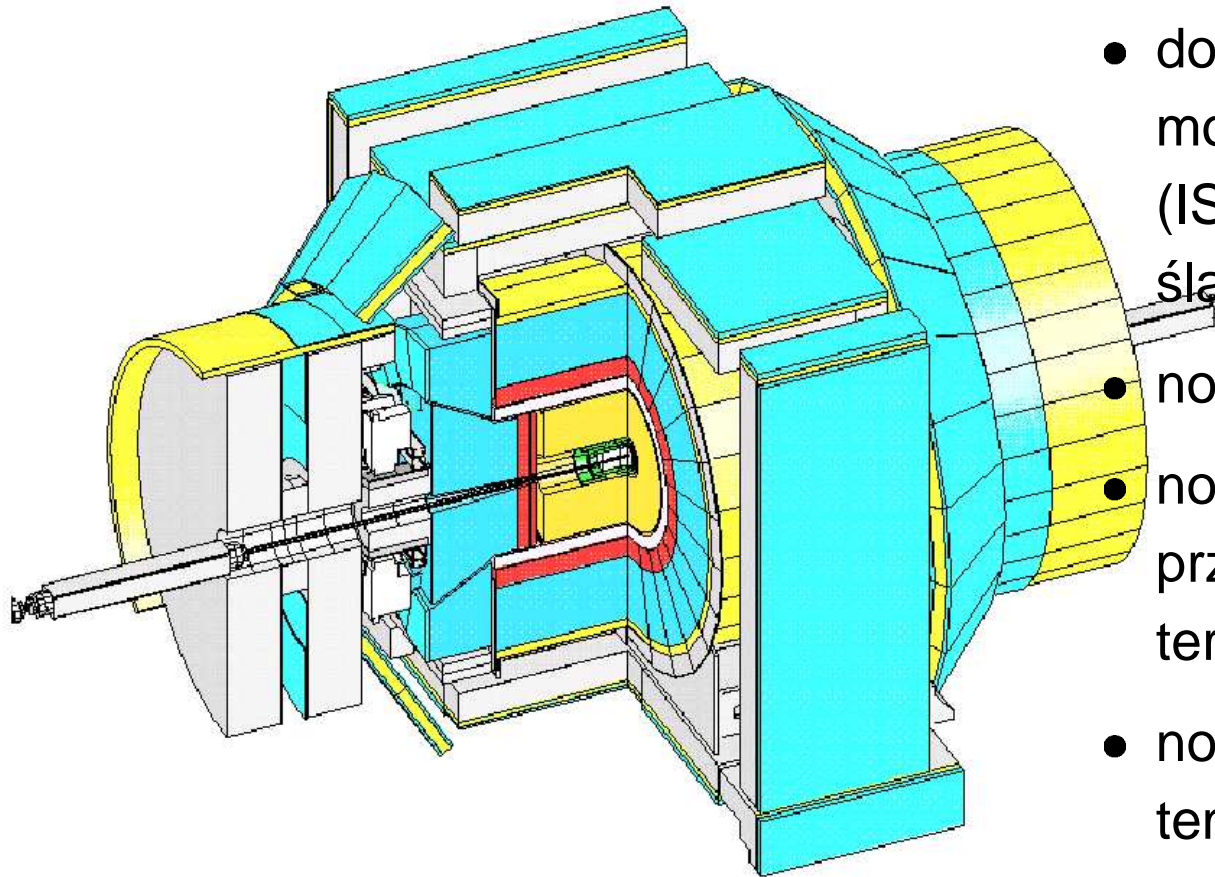
Światłość zebrana przez detektor D0



Collider Detector at Fermilab



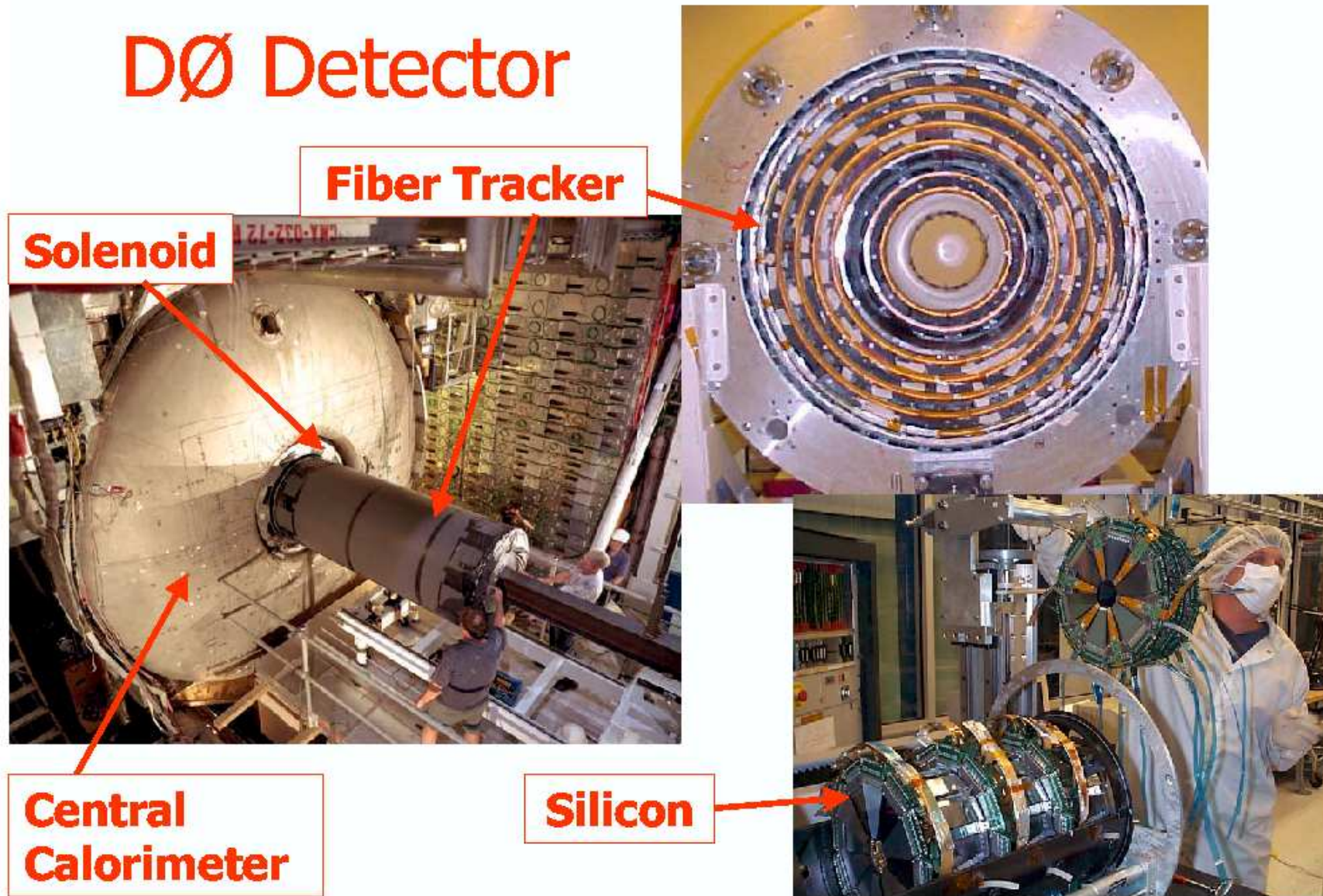
Usprawnienia detektora CDF



- nowy krzemowy detektor wierzchołka
- dodatkowe 2 warstwy krzemowego detektora śladowego (ISL) pozwalające na pomiar śladów do $|\eta| < 2$
- nowy centralny detektor śladowy
- nowy kalorymetr w obszarze do przodu (“plug and forward calorimeters”)
- nowa elektronika odczytu dla systemu mionowego
- nowa elektronika “front end”, trygera i system akwizycji danych

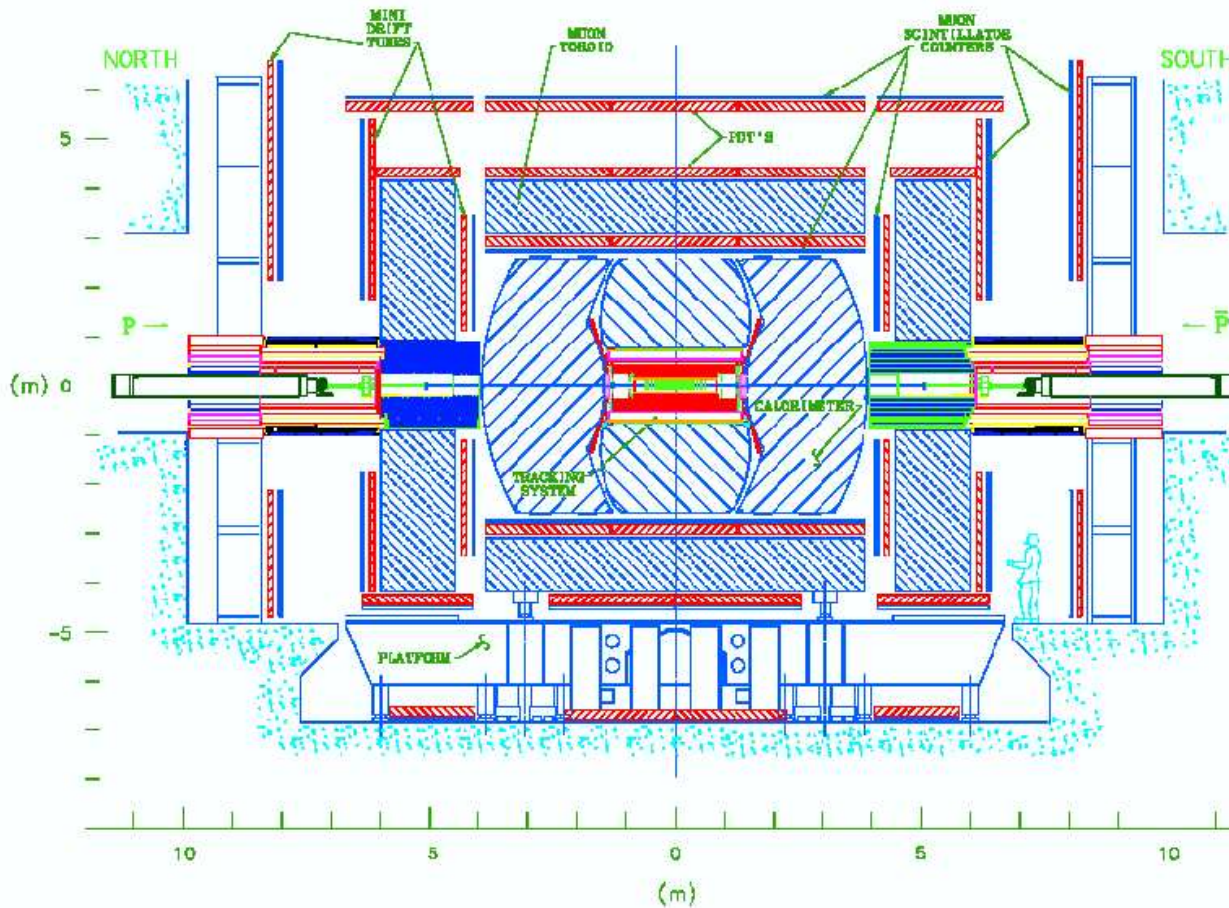
Detektor D0

DØ Detector



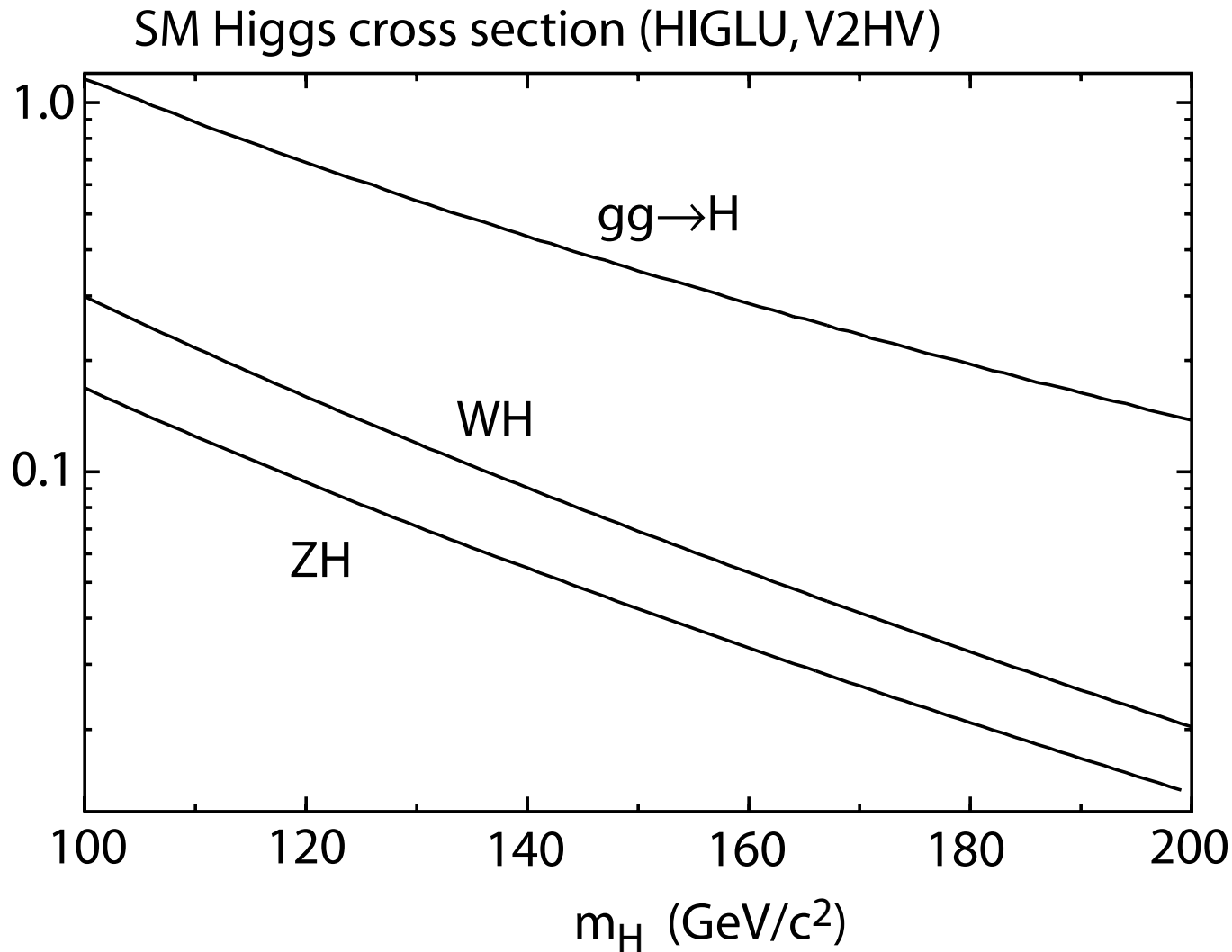
Usprawnienia detektora D0

DØ Detector



- nowy system detektorów śladowych: krzemowy detektor wierzchołka + scintylating fiber tracking
- nowy “preshower”
- dodatkowe detektory mionowe, dające całkowite pokrycie do $|\eta| < 3.4$
- nowa elektronika “front end”, trygera i system akwizycji danych

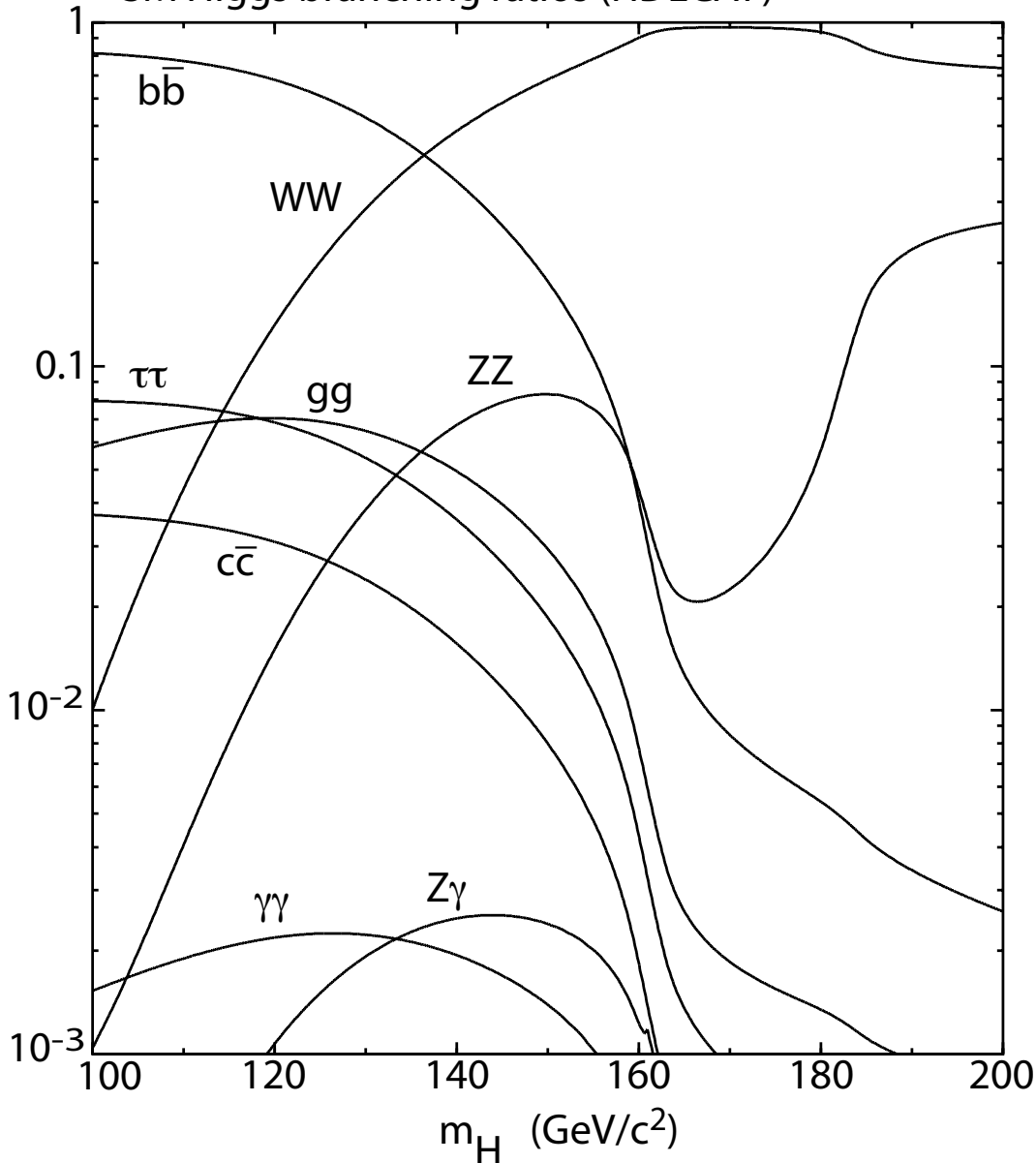
Produkcja Higgsa w ramach Modelu Standardowego



Przekrój czynny [pb] na produkcję Higgsa w zderzeniach $p\bar{p}$, przy
 $\sqrt{s} = 1.96 \text{ TeV}$

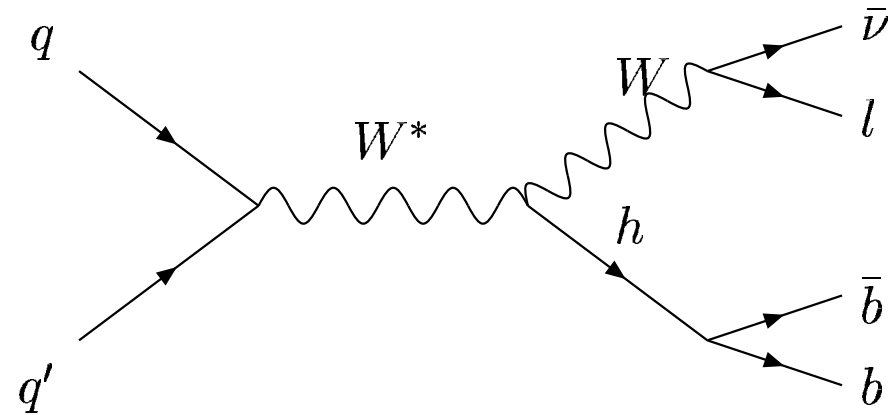
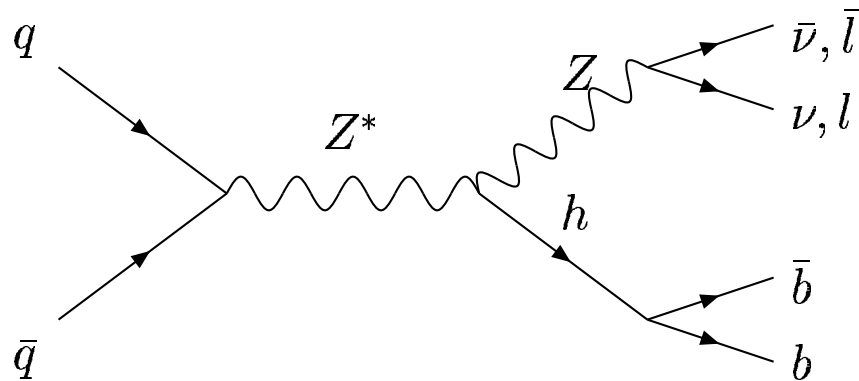
Lekki Higgs: $90 < m_h < 130 \text{ GeV}/c^2$

SM Higgs branching ratios (HDECAY)



Dla mas z zakresu $90 < m_h < 130$ najczęstszym kanałem rozpadu jest $h \rightarrow b\bar{b}$. Przy produkcji przez fuzję gluonową, $gg \rightarrow h$, w stanie końcowym otrzymujemy tylko dżety, co uniemożliwia wyłuskanie sygnału spod tła QCD.

W połączeniu z procesem produkcji przez Higgstrahlung otrzymujemy wyraźne sygnatury sygnału.



- $Zh \rightarrow \nu\bar{\nu}b\bar{b}$: dwa kwarki **b**, brakująca energia
- $Zh \rightarrow l\bar{l}b\bar{b}$: dwa kwarki **b**, dwa leptoni o dużym p_T :

- $Wh \rightarrow l\bar{\nu}b\bar{b}$: dwa kwarki **b**, brakująca energia, leptoni o dużym p_T

Analiza w kanale $p\bar{p} \rightarrow Wh \rightarrow l\bar{\nu}b\bar{b}$ (CDF)

Sygnal: $p\bar{p} \rightarrow Wh \rightarrow l\bar{\nu}b\bar{b}$

Sygnatura: dwa dżety b, lepton o dużym p_T , brakująca energia.

Masa h [GeV/c^2]	przekrój czynny \cdot BR [pb]
110	0.054
140	0.010

Główne źródła tła:

Proces	Kanał	Przekrój czynny [pb]
W + dżety	$p\bar{p} \rightarrow W + g, g \rightarrow b\bar{b}, c\bar{c}$	10
$t\bar{t}$	$p\bar{p} \rightarrow t\bar{t} \rightarrow WbW\bar{b}$	7
pojedyncze t	$p\bar{p} \rightarrow t\bar{b} \rightarrow Wb\bar{b}$	3
WZ	$p\bar{p} \rightarrow WZ \rightarrow l\bar{\nu}b\bar{b}$	3

Selekcja w kanale $p\bar{p} \rightarrow Wh \rightarrow l\bar{\nu}b\bar{b}$ (CDF)

Efektywność poszczególnych cięć[%].

Cięcie	Sygnał	Tło	
		$t\bar{t}$	WZ
	$m_h = 115$		
jeden lepton o $p_T > 20 \text{ GeV}/c$ (lub izolowany ślad)	42	32	39
$E_T^{miss} > 20 \text{ GeV}$	89	90	89
veto Z: $76 < M_{ll} < 106 \text{ GeV}/c^2$	99	95	91
2 lub 3 dżety	78	42	53
brak dodatkowego izolowanego śladu o $p_T > 10 \text{ GeV}/c$	84	46	79
2 dżety b	28	24	4
Całkowita akceptancja	6.6	1.26	0.58
Przypadków na 1 fb^{-1}	2.86	46.7	5.9

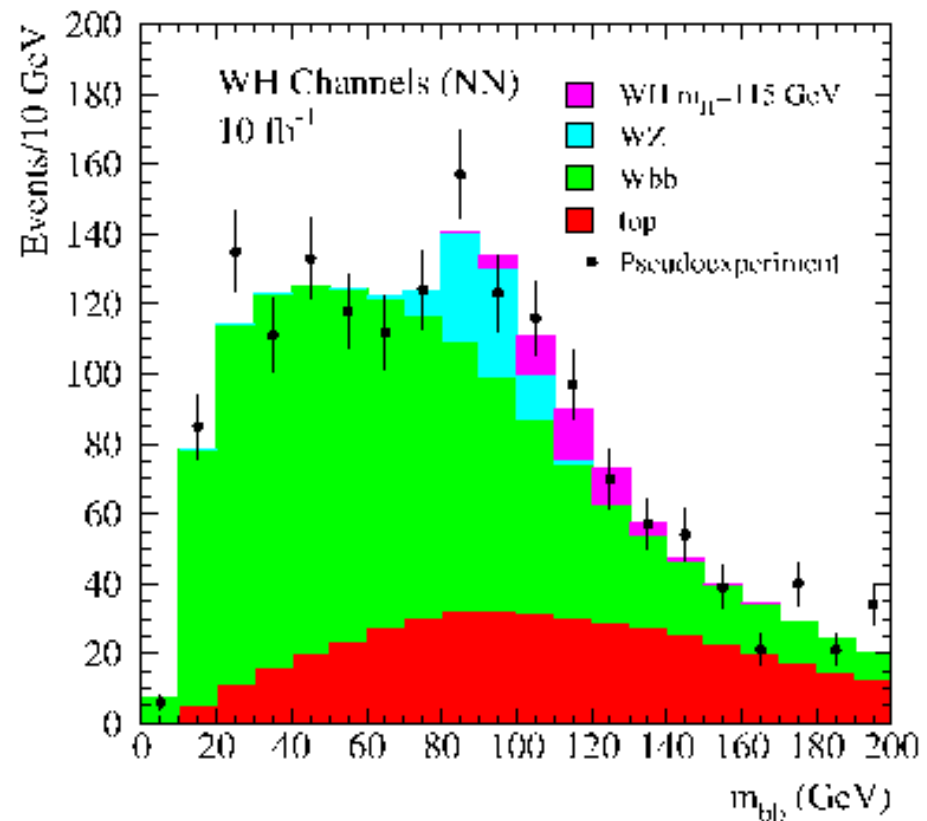
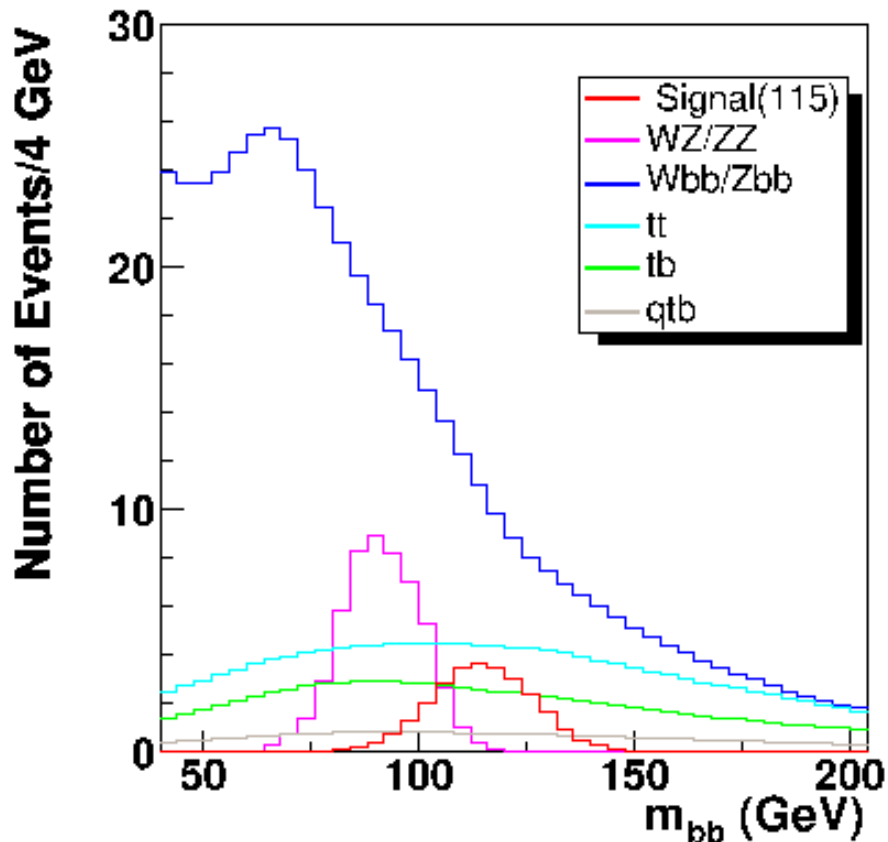
Analiza tła $W + \text{dżet}$ (CDF)

Próbki $W + \text{dżet}$ były normalizowane do obserwowanej częstości przypadków. Monte Carlo było używane do wyznaczania wkładu od ciężkich kwarków oraz oszacowania efektywności znaczenia kwarków b .

Cięcie	Tło		
	$Wb\bar{b}$	$Wc\bar{c}$	$W + \text{lekkie } q$
cięcia kinematyczne	bd	bd	bd
2 dżety b	21	7	0.3
Całkowita akceptancja	bd	bd	bd
Przypadków na $1fb^{-1}$	108	3.5	3.8

Analiza w kanale $p\bar{p} \rightarrow Wh \rightarrow l\bar{\nu}b\bar{b}$ (CDF)

Rozkłady dla $10 fb^{-1}$



Znaczoności dla $1 fb^{-1}$: $S/\sqrt{B} = 0.21$

$S/\sqrt{B} = 0.45$, (w oknie masowym $100 < m_{b\bar{b}} < 136 GeV/c^2$)

$S/\sqrt{B} = 0.58$, (w oknie masowym $100 < m_{b\bar{b}} < 136 GeV/c^2$, z użyciem NN)

Analiza w kanale $p\bar{p} \rightarrow Zh \rightarrow \nu\bar{\nu}b\bar{b}$ (D0)

Sygnal: $p\bar{p} \rightarrow Zh \rightarrow \nu\bar{\nu}b\bar{b}$ (także wkład od $p\bar{p} \rightarrow Wh \rightarrow l\bar{\nu}b\bar{b}$, gdy lepton pozostanie niewykryty)

Sygnatura: dwa dżety b, duża brakująca energia.

Masa h [GeV/c^2]	przekrój czynny · BR [pb]
115	0.016
130	0.0075

Główne źródła tła:

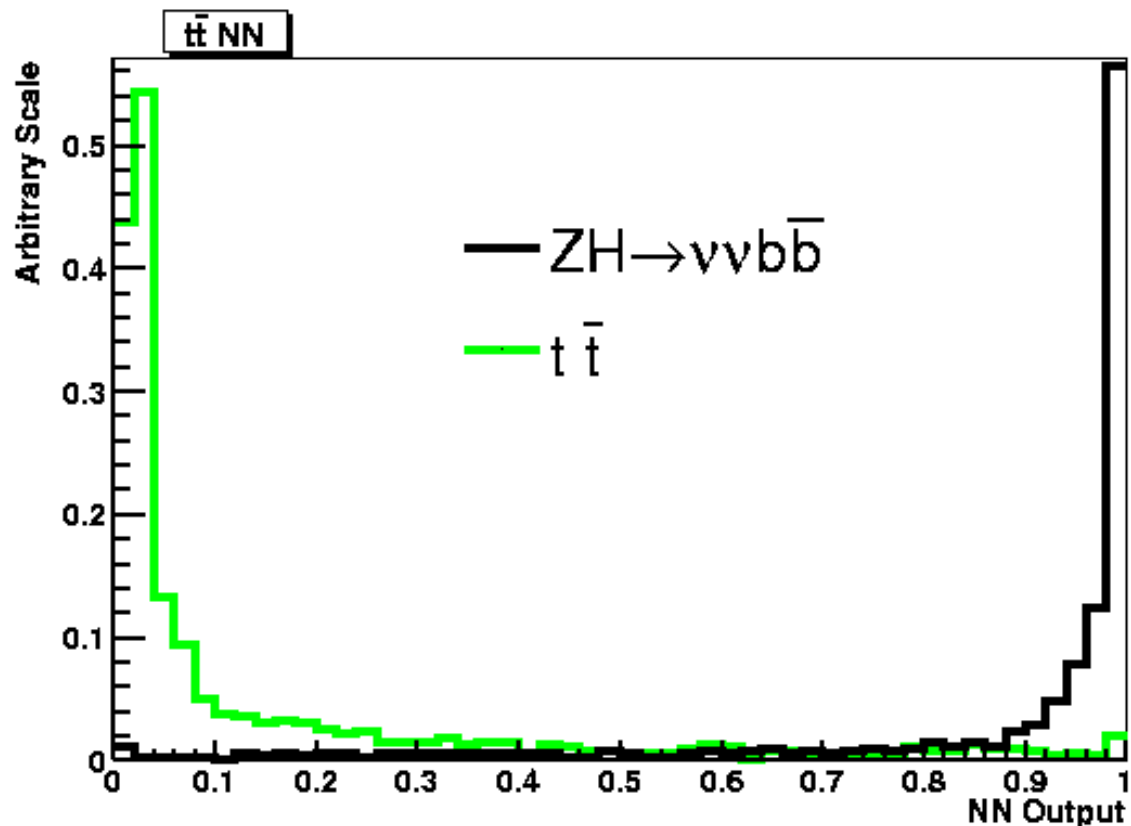
Proces	Kanał	Przekrój czynny [pb]
QCD	$p\bar{p} \rightarrow b\bar{b}, c\bar{c}$	normalizowane do danych
W/Z + dżety	$p\bar{p} \rightarrow W/Z + g, g \rightarrow b\bar{b}$	2.5+0.7
WZ	$p\bar{p} \rightarrow WZ \rightarrow l\nu b\bar{b}, c\bar{c}$	0.135
ZZ	$p\bar{p} \rightarrow ZZ \rightarrow \nu\bar{\nu}b\bar{b}, c\bar{c}$ $p\bar{p} \rightarrow ZZ \rightarrow l\bar{l}b\bar{b}, c\bar{c}$	0.137
$t\bar{t}$	$p\bar{p} \rightarrow t\bar{t} \rightarrow WbW\bar{b}$	6.8
pojedyncze t	$p\bar{p} \rightarrow t\bar{b} \rightarrow Wb\bar{b}$	1.8

Selekcja w kanale $p\bar{p} \rightarrow Zh \rightarrow \nu\bar{\nu}b\bar{b}$. Użycie sieci neuronowej.

Cięcia kinematyczne + selekcja przy użyciu sieci neuronowych.

Użyto sieci $8 \times 16 \times 1$. Sieć była trenowana na przypadkach tła $t\bar{t}$ i sygnału, w których oznaczono dwa dżety b, oraz $H_T < 225$ GeV/c.

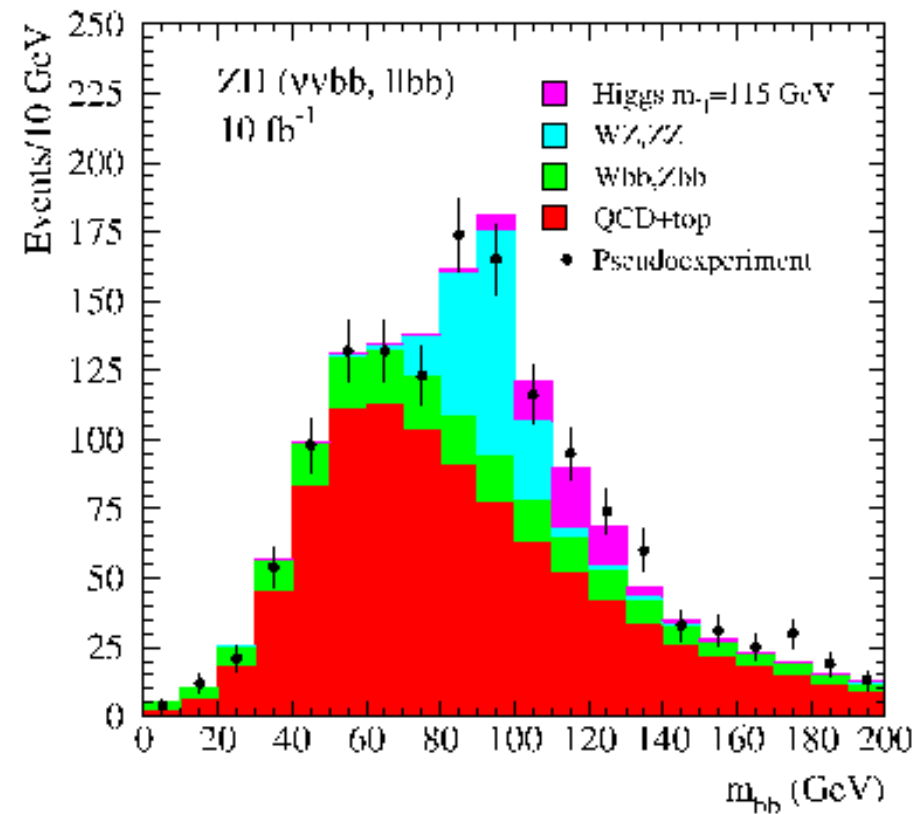
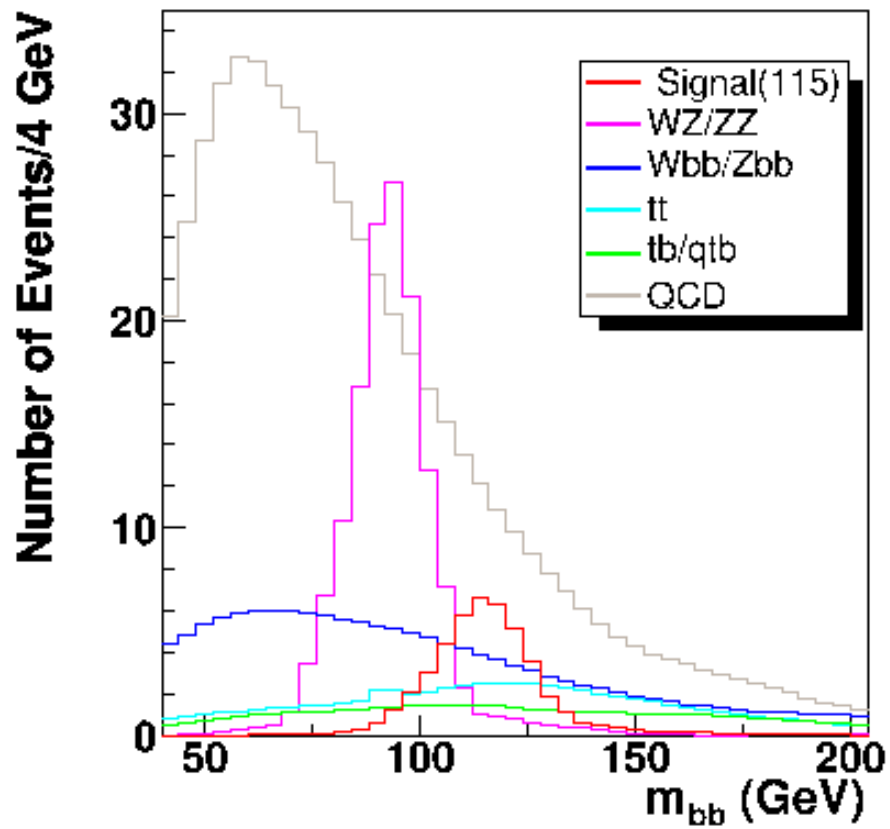
Cięcie na wyjściu sieci było wykonywane po wszystkich cięciach kinematycznych.



Proces	Akc.[%]
Zh	83.4
$(m_h = 115)$	
$t\bar{t}$	15.0
$Wb\bar{b}$	63.2
ZZ	73.1

Analiza w kanale $p\bar{p} \rightarrow Zh \rightarrow \nu\bar{\nu}b\bar{b}$

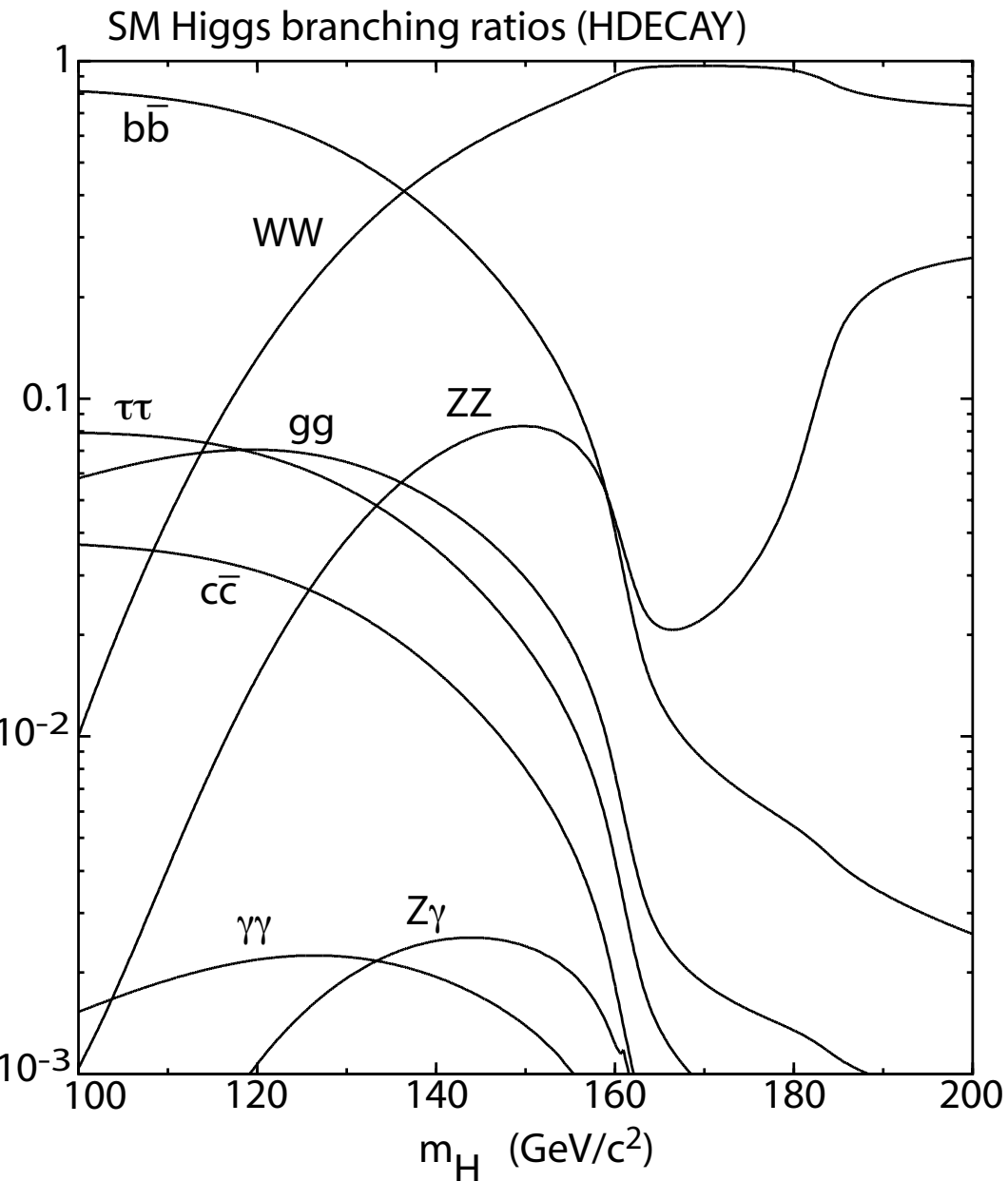
Rozkłady dla 10 fb^{-1}



Znaczoność dla 1 fb^{-1} :

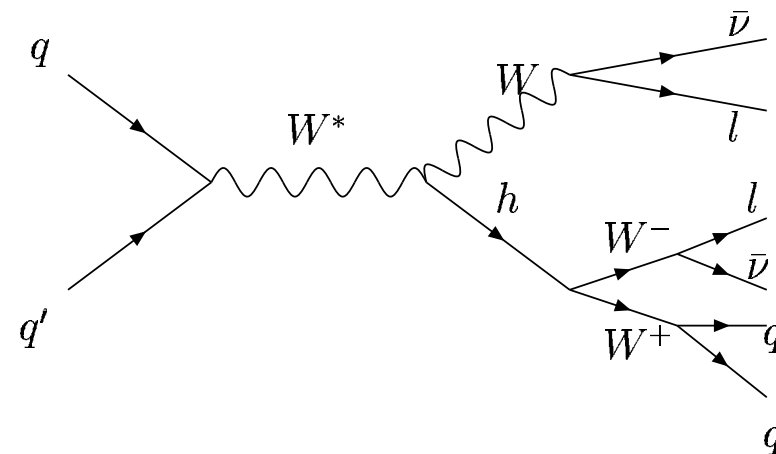
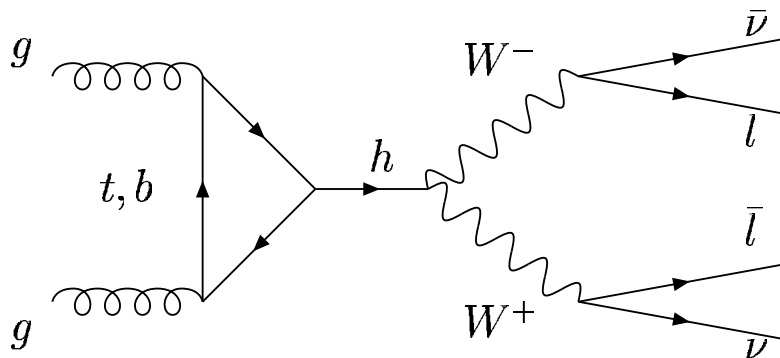
$S/\sqrt{B} = 0.86$, (w oknie masowym $100 < m_{bb} < 136 \text{ GeV}/c^2$)

Ciężki Higgs: $130 < m_h < 190 \text{ GeV}/c^2$



Dla mas z zakresu $130 < m_h < 190$ najczęstszym kanałem rozpadu jest $h \rightarrow VV^*$. Leptony i neutrina z rozpadu V pozwalają na użycie dominującego kanału produkcji, $gg \rightarrow h$ do poszukiwań Higgsa.

Podstawowe kanały poszukiwań



- $gg \rightarrow h \rightarrow WW \rightarrow l^- \bar{\nu} l^+ \nu$:
brakująca energia, leptony o przeciwnych ładunkach

- $qq' \rightarrow Wh \rightarrow WWW \rightarrow l^- \bar{\nu} l^- \bar{\nu} jj$
+ inne kombinacje rozpadów VVV:
brakująca energia, leptony o tych samych ładunkach

Kanał $p\bar{p} \rightarrow h \rightarrow WW \rightarrow l^+l^-\nu\bar{\nu}$

Sygnał: $p\bar{p} \rightarrow h \rightarrow WW \rightarrow l^+l^-\nu\bar{\nu}$

Sygnatura: dwa leptoni o przeciwnych ładunkach, duża brakująca energia.

Masa h [GeV/c^2]	przekrój czynny \cdot BR [fb]
140	3.9
190	2.5

Główne źródła tła:

Proces	Kanał	Przekrój czynny [fb]
WW	$p\bar{p} \rightarrow WW \rightarrow l^+\nu l^-\bar{\nu}$	130
ZZ	$p\bar{p} \rightarrow ZZ \rightarrow l^+l^-\nu\bar{\nu}$	2.4
WZ	$p\bar{p} \rightarrow WZ \rightarrow l^+\nu l^+l^-$	2.4
$t\bar{t}$	$p\bar{p} \rightarrow t\bar{t} \rightarrow WWb\bar{b} \rightarrow l^+\nu l^-\bar{\nu}b\bar{b}$	13

Kanał $l^\pm l^\pm jj$

Sygnal: $p\bar{p} \rightarrow Vh \rightarrow VVV \rightarrow l^\pm l^\pm jj + X$

Sygnatura: dwa leptoni o jednakowych znakach, dzety.

Masa h [GeV/c^2]	przekrój czynny · BR [fb]
140	0.34
190	0.2

Główne źródła tła:

Proces	Kanał
WZjj	$p\bar{p} \rightarrow WZ + jj \rightarrow l^\pm l^\pm jj + X$
$t\bar{t}$	$p\bar{p} \rightarrow t\bar{t} \rightarrow WWb\bar{b} \rightarrow l\bar{\nu} jj b\bar{b}$
VVV	$p\bar{p} \rightarrow VVV \rightarrow l^\pm l^\pm jj + X$
$t\bar{t}V$	$p\bar{p} \rightarrow t\bar{t}V \rightarrow l^\pm l^\pm jj + X$

Progi świetłości

Pytanie: **Ile trzeba zebrać danych by móc potwierdzić ze znaczącością S (na poziomie ufności $1 - \beta$) istnienie bozonu Higgsa o zadanej masie m_h ?**

Założenia:

- znamy dobrze rozkład tła: $P_B(\mathbf{n})$
- znamy efektywność cięć na tło: ϵ_B
- znamy efektywność cięć na sygnał: ϵ_S
- szacujemy oczekiwaną liczbę przypadków sygnału i tła:
$$\mathbf{n} = \mathbf{L} \cdot (\epsilon_S \cdot \sigma_S + \epsilon_B \cdot \sigma_B)$$

Prawdopodobieństwo przyjęcia fałszywej hipotezy: $\beta = \int_n^\infty P_B(n) dn$.

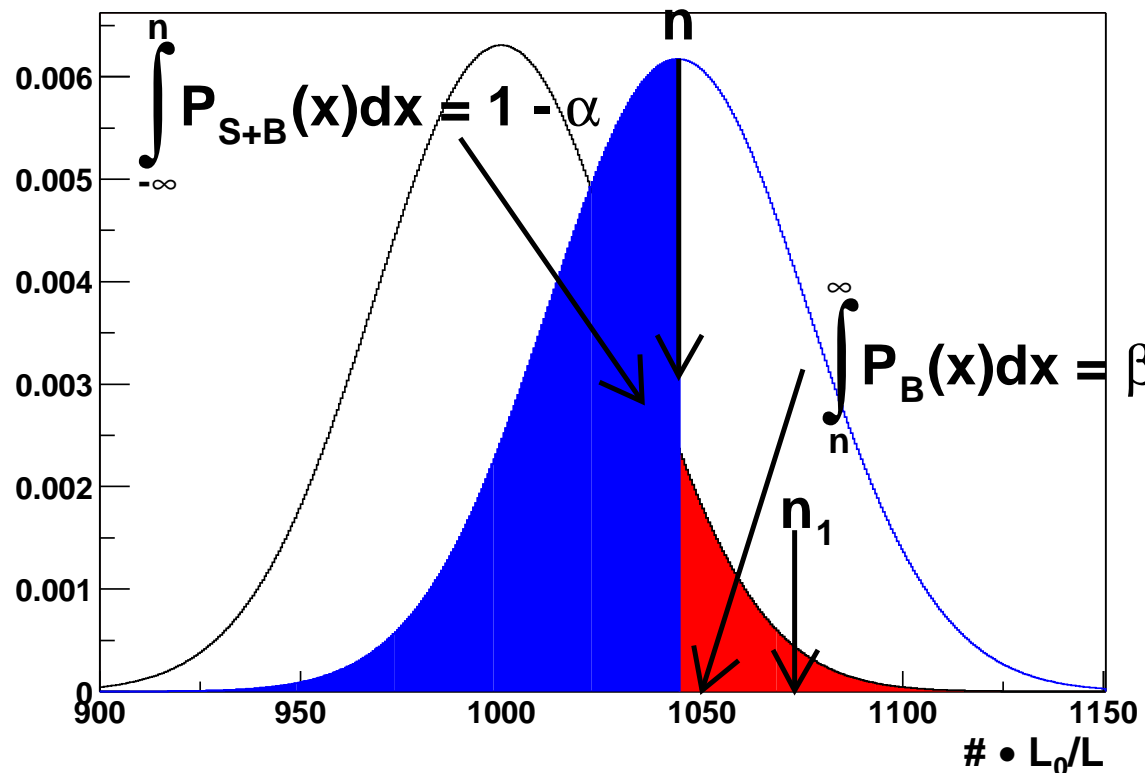
Dla $S=5$, $\beta = 2.5 \cdot 10^{-7}$

Wyznaczanie progów świetłości. Prosty przykład

$$n_B = L_0 \cdot \epsilon_B \cdot \sigma_B = 1000$$

$$n = L_0 \cdot (\epsilon_S \cdot \sigma_S + \epsilon_B \cdot \sigma_B) = 1044$$

$$n_1 : \int_{n_1}^{\infty} P_B(n) dn = 0.01.$$



Interesuje nas odkrycie na poziomie 99%, czyli chcemy, by $\beta = 0.01$.

Wynik prawdziwego eksperymentu może zafluktuować do wartości n_1 dając odkrycie na żądanym poziomie.

$$L/L_0 = 1, \beta = 0.08$$

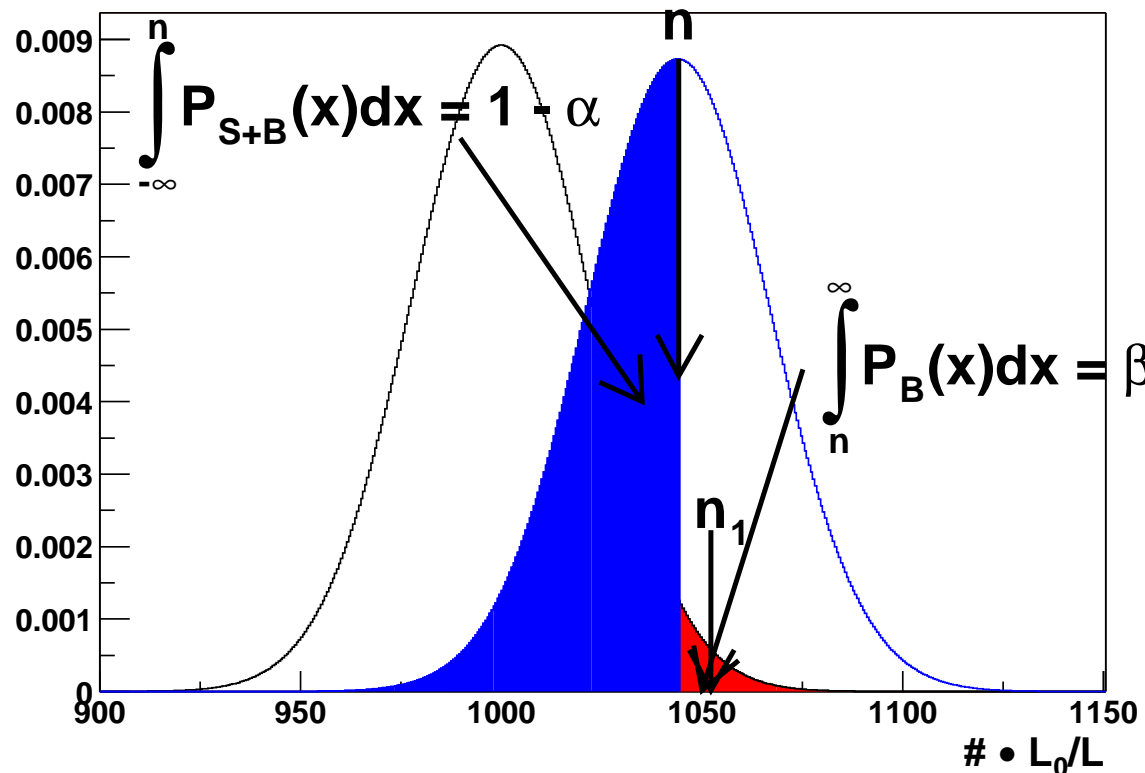
Prawdopodobieństwo odkrycia na poziomie 99% = 0.018

Wyznaczanie progów świetłości. Prosty przykład

$$n_B = L_0 \cdot \epsilon_B \cdot \sigma_B = 1000$$

$$n = L_0 \cdot (\epsilon_S \cdot \sigma_S + \epsilon_B \cdot \sigma_B) = 1044$$

$$n_1 : \int_{n_1}^{\infty} P_B(n) dn = 0.01.$$



Interesuje nas odkrycie na poziomie 99%, czyli chcemy, by $\beta = 0.01$.

Wynik prawdziwego eksperymentu może zafluktuować do wartości n_1 dając odkrycie na żądanym poziomie.

$$L/L_0 = 2, \beta = 0.02$$

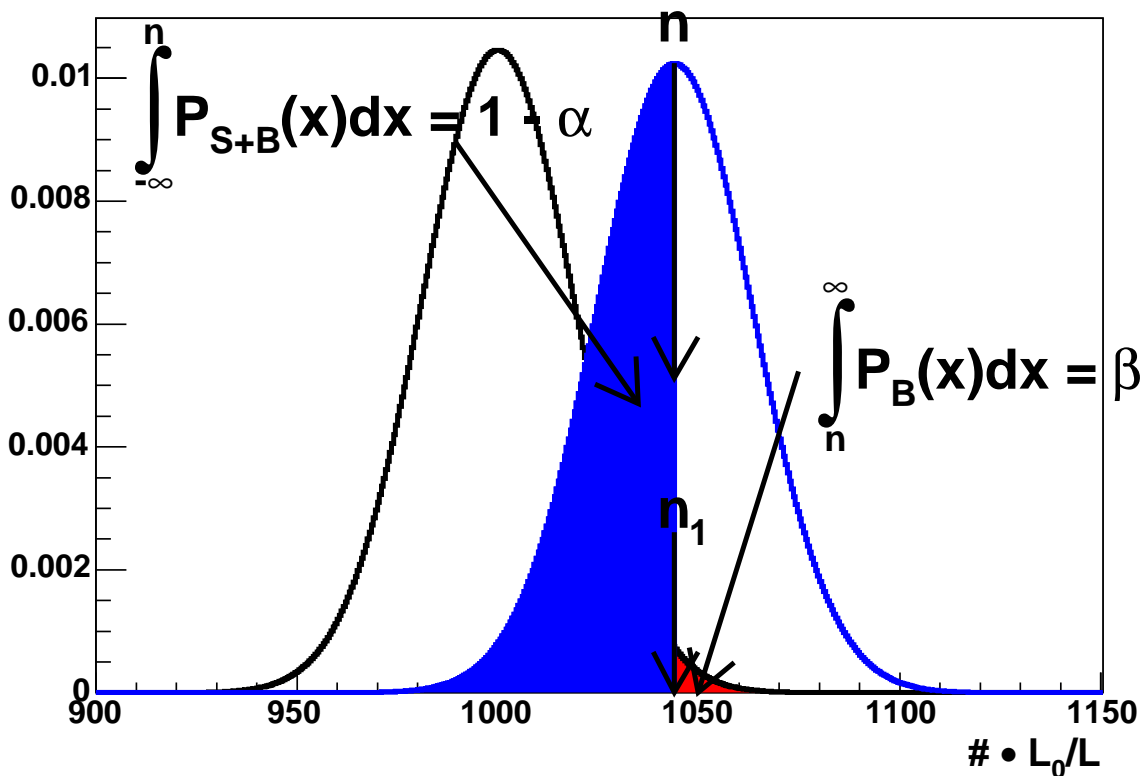
Prawdopodobieństwo odkrycia na poziomie 99% = 0.36

Wyznaczanie progów świetności. Prosty przykład

$$n_B = L_0 \cdot \epsilon_B \cdot \sigma_B = 1000$$

$$n = L_0 \cdot (\epsilon_S \cdot \sigma_S + \epsilon_B \cdot \sigma_B) = 1044$$

$$n_1 : \int_{n_1}^{\infty} P_B(n) dn = 0.01.$$



Interesuje nas odkrycie na poziomie 99%, czyli chcemy, by $\beta = 0.01$.

Wynik prawdziwego eksperymentu może zafluktuować do wartości n_1 dając odkrycie na żądanym poziomie.

$$L/L_0 = 2.75, \beta = 0.01$$

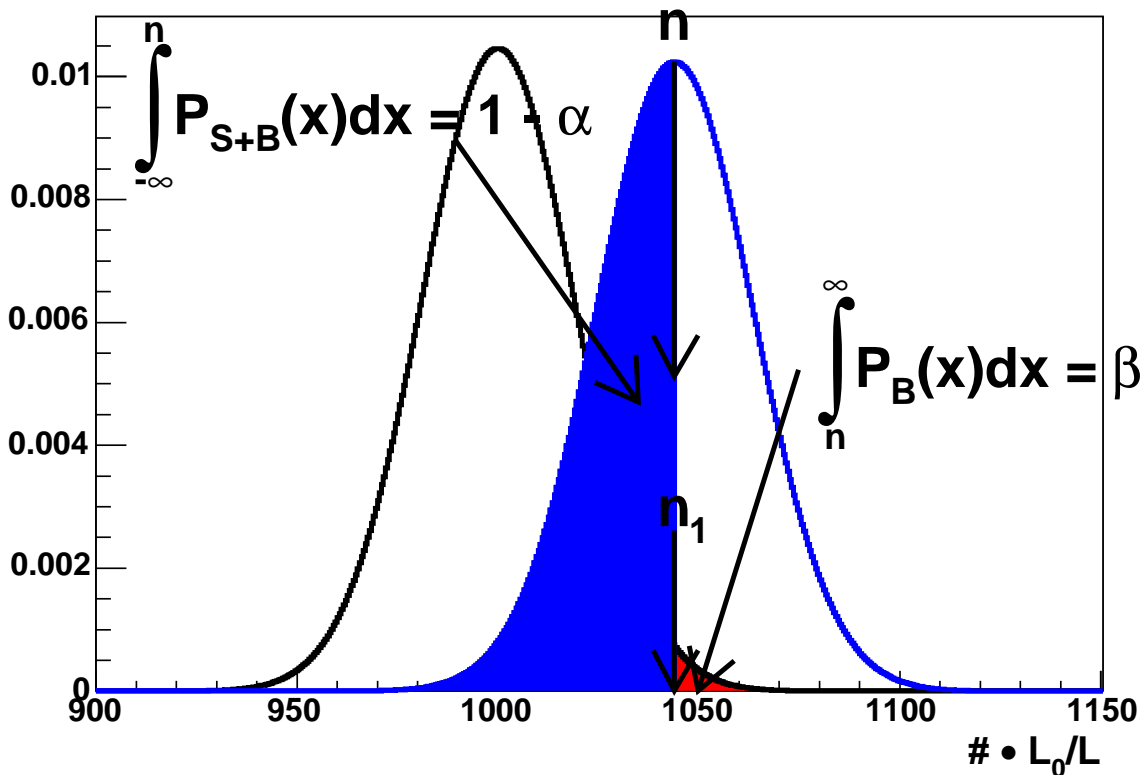
Prawdopodobieństwo odkrycia na poziomie 99%= 0.5

Wyznaczanie progów świetłości. Prosty przykład

$$n_B = L_0 \cdot \epsilon_B \cdot \sigma_B = 1000$$

$$n = L_0 \cdot (\epsilon_S \cdot \sigma_S + \epsilon_B \cdot \sigma_B) = 1044$$

$$n_1 : \int_{n_1}^{\infty} P_B(n) dn = 0.01.$$



Dla $L = 2.75 \cdot L_0$ otrzymujemy żadaną znaczość. $1 - \alpha$ to prawdopodobieństwo odrzucenia prawdziwej hipotezy. Dla rozkładu normalnego średnia, wyznacza medianę, więc $1 - \alpha = 0.5$. Oznacza to, że przy świetłości $2.75 \cdot L_0$ mamy 50% szans na odkrycie na poziomie 99%.

Zwykle rozkłady nie są gausowskie. Wtedy za n , bierzemy medianę rozkładu S+B.

$$L/L_0 = 2.75, \beta = 0.01$$

$$\text{Prawdopodobieństwo odkrycia na poziomie 99\%} = 0.5$$

Kombinacja wyników dla wszystkich kanałów

Progi świetlności wyznaczamy na podstawie następującej procedury:

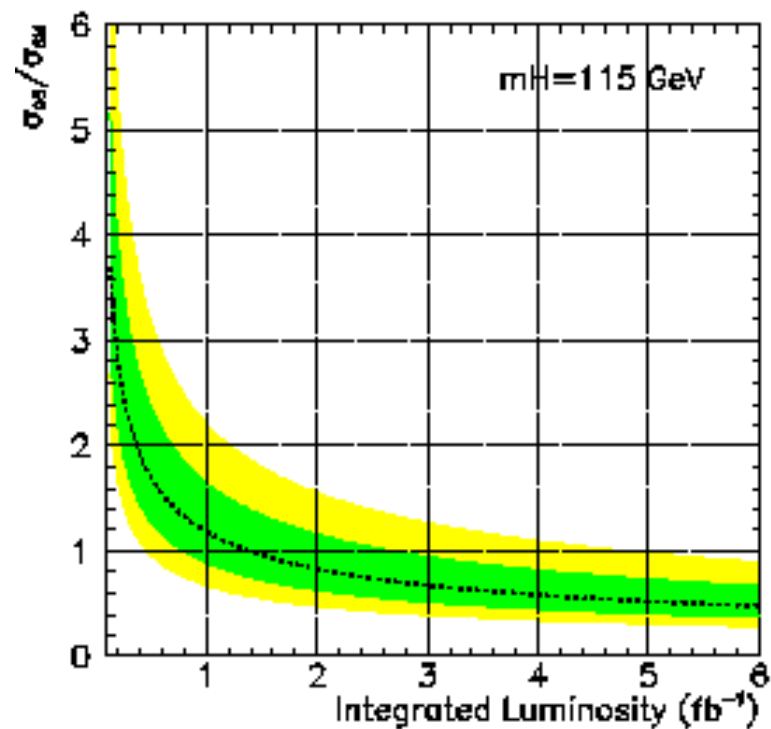
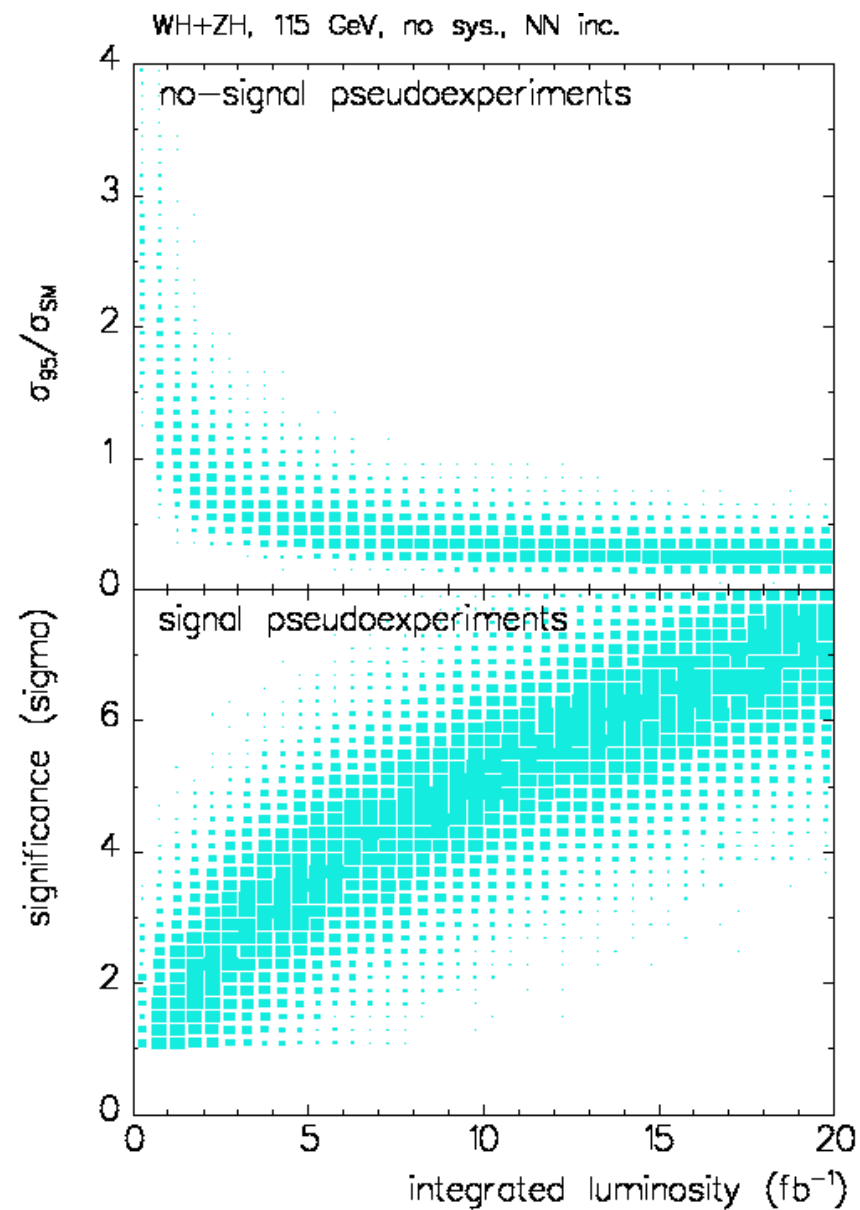
1. Wyznaczamy kryterium “sukcesu”, np. wykluczenie na poziomie ufności 95%, odkrycie na poziomie 3 lub 5σ
(wykluczenie, lub odkrycie definiujemy używając metody CL_s , lub Bayesa)
2. Wykonujemy serię pseudoeksperymentów dla różnych świetlności i mas Higgosa (dla przypadku wykluczenia symulujemy tylko tło)
3. Świetlność wymaganą np. do wykluczenia Higgosa o masie $m_h = 115 \text{ GeV}/c^2$ wyznaczamy jako tę dla której 50% pseudoeksperymentów da wynik pozytywny.

Innymi słowy jako próg świetlności przyjmujemy taką ilość danych, przy jakiej przyszły eksperyment ma 50% szans powodzenia (w sensie z punktu 1).

Wyniki dużej liczby pseudoeksperymentów

σ_{95} - górna granica na przekrój czynny na poziomie 95%

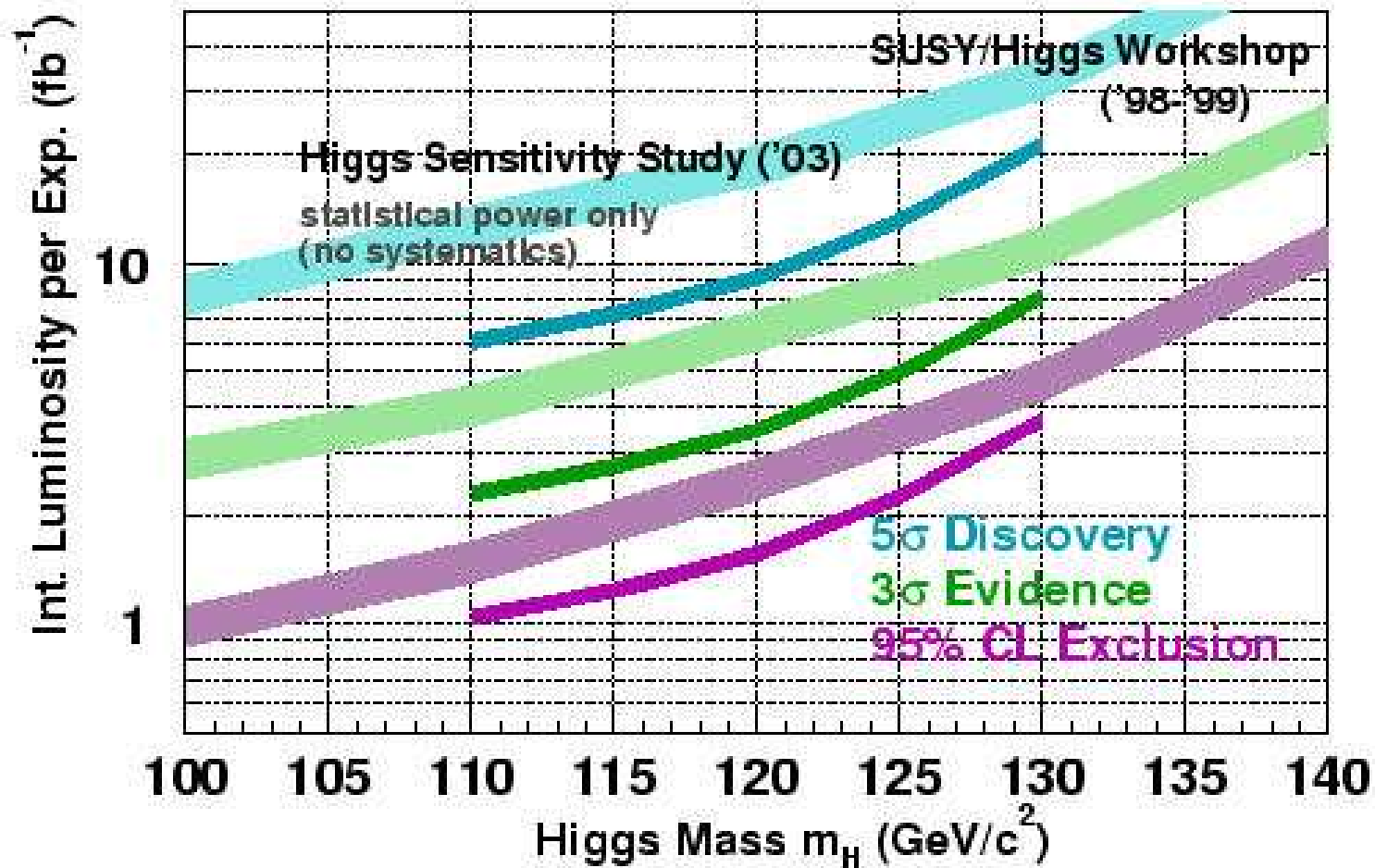
σ_{SM} - przekrój czynny przewidywany przez MS.



czarna linia - mediana,

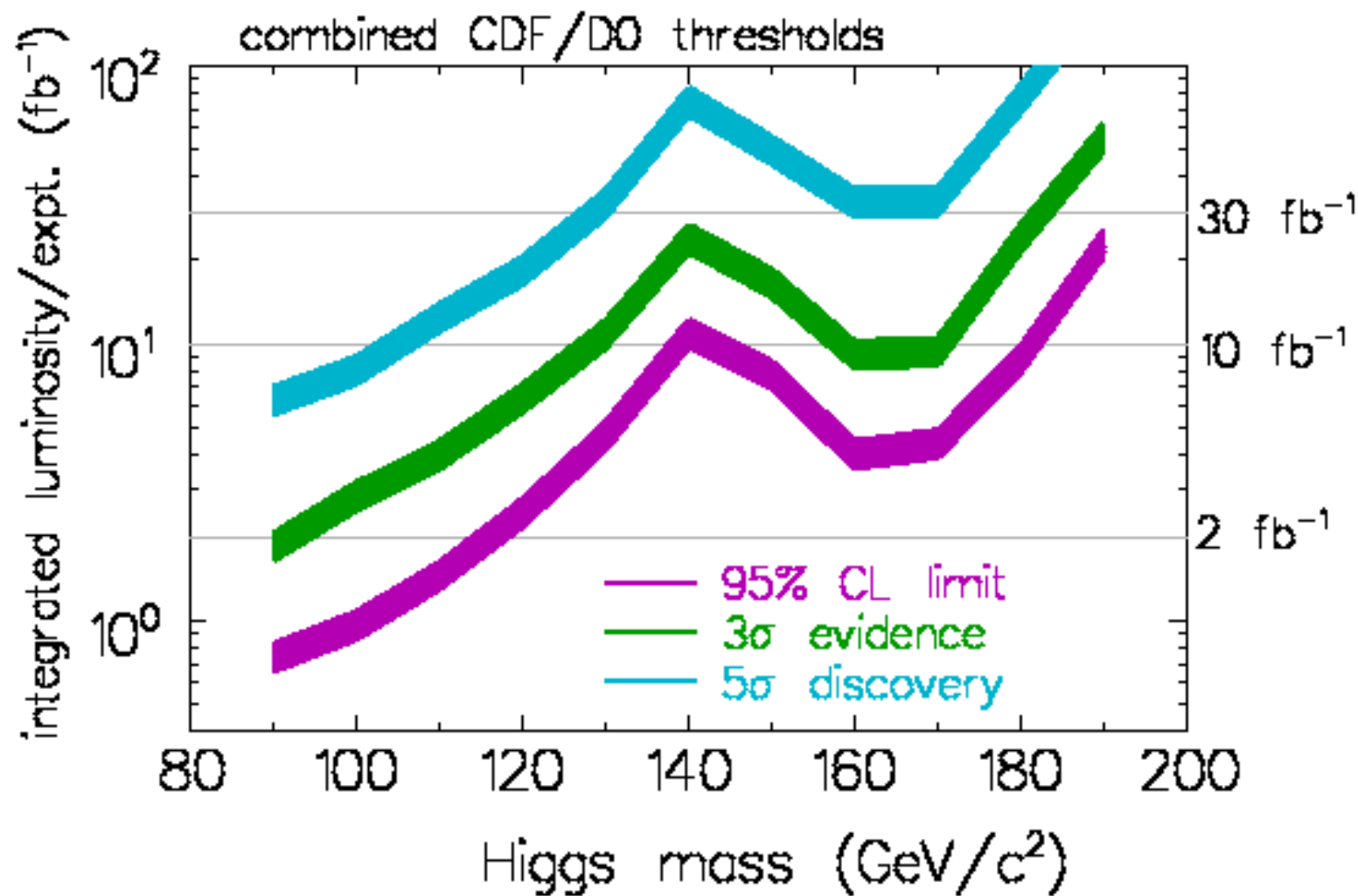
zielony obszar = 68%, żółty = 95%

Progi świetlności dla lekkiego Higgsa: $100 < m_h < 140$



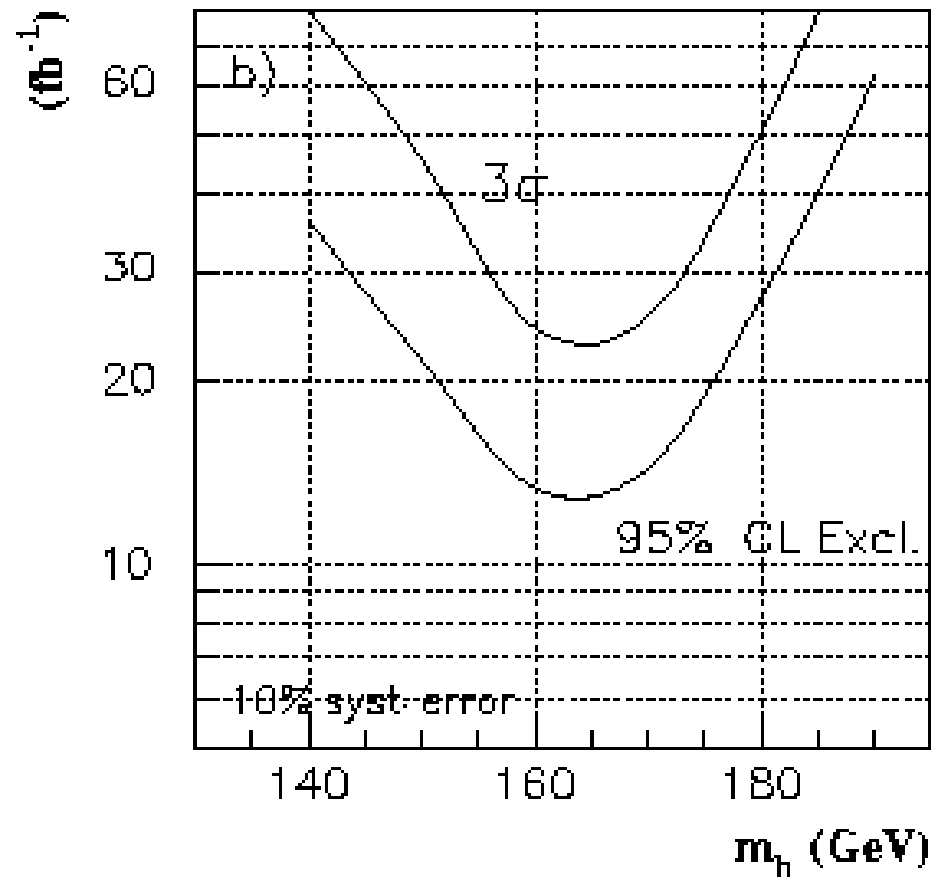
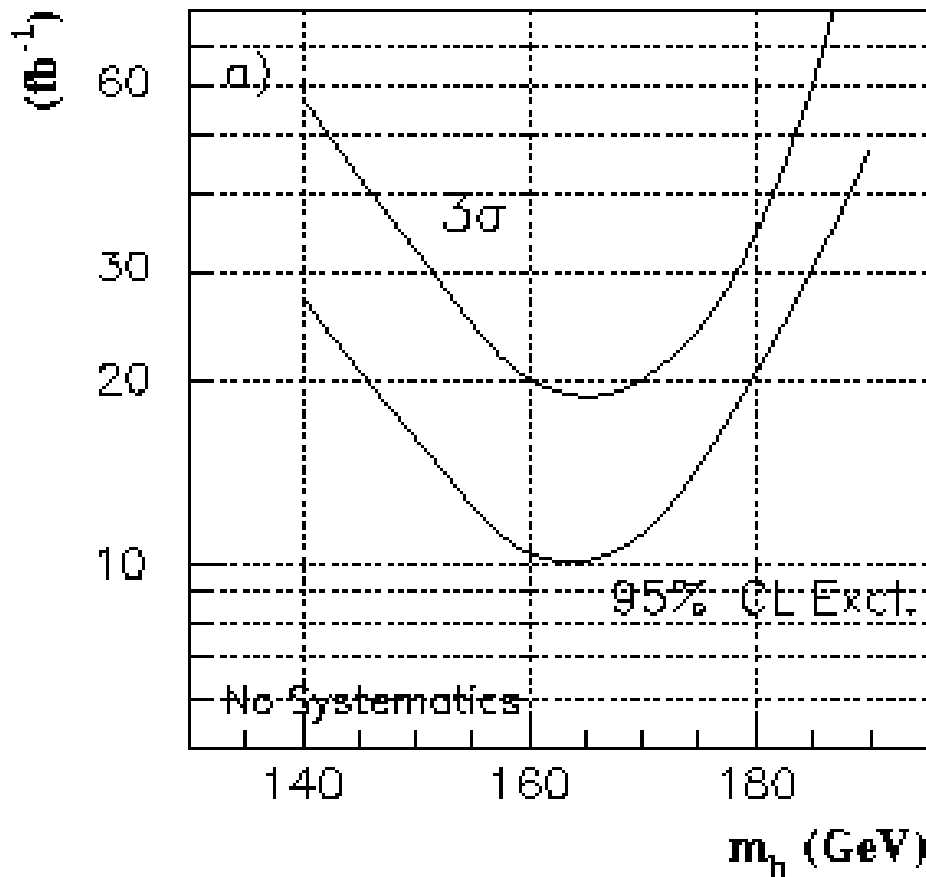
Przewidywana świetlność w 2007 r.: $2.2 < L < 3.8 fb^{-1}$

Progi świetlności dla ciężkiego Higgsa: $140 < m_h < 190$



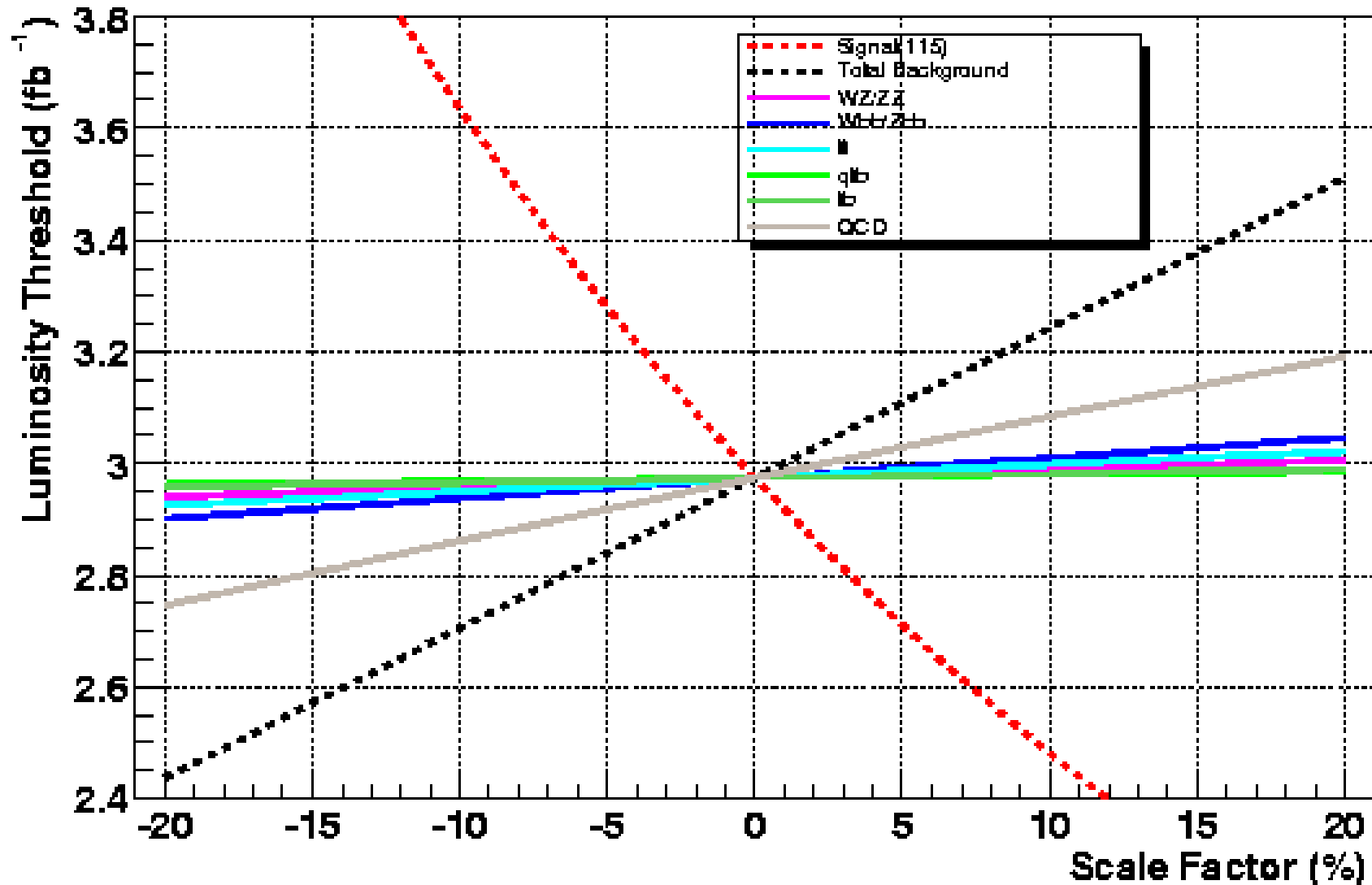
Przewidywana świetlność w 2007 r.: $2.2 < L < 3.8 \text{fb}^{-1}$

Analiza systematyki w kanale $p\bar{p} \rightarrow h \rightarrow WW \rightarrow l^+l^-\nu\bar{\nu}$



Scałkowana świetność na jeden eksperyment wymagana do wykluczenia istnienia bozonu Higgsa na poziomie 95% lub jego odkrycia na poziomie 3 σ . "10% syst. error" odpowiada zwiększeniu tła o 10%, oraz zmniejszeniu sygnału o ten sam czynnik.

Analiza systematyki dla skombinowanych wyników



Zmiana świetlności wymaganej do odkrycia Higgsa o $m_h = 115 \text{ GeV}/c^2$ na poziomie 3σ przy zmianach przekroju czynnego na procesy sygnału i tła.

Podsumowanie, czyli co z tego wszystkiego wynika.

W chwili uruchomienia LHC (2007), Tevatron zbierze między 2.1 a 3.8 fb^{-1} danych.

Jeśli pokładać zaufanie w symulacjach Monte Carlo to:

- z dużym prawdopodobieństwem ($\simeq 50\%$) wykluczy istnienie Higgsa o masie $< 130 \text{ GeV}/c^2$ lub $160 - 170 \text{ GeV}/c^2$ (pod warunkiem, że masa Higgsa jest większa)
- z małym prawdopodobieństwem ($< 50\%$) odkryje na poziomie 3σ Higgsa o masie $\simeq 115 \text{ GeV}/c^2$.

