

Seminarium Fizyki Jądrowej, Warszawa, 6.10.2011



Marcin Konecki

Uniwersytet Warszawski, Wydział Fizyki,
Zakład Cząstek i Oddziaływań Fundamentalnych
(marcin.konecki@fuw.edu.pl)

Fizyka zderzeń pp przy wielkich energiach – ostatnie wyniki eksperymentów ATLAS i CMS

wyniki dla konferencji EPS, LP'11 (statystyka 1.1-2.3 fb⁻¹).

O czym będzie referat?

- Akcelerator LHC, Eksperymenty ATLAS i CMS
- Poszukiwania cząstki Higgsa (Model Standardowy) własności, metodologia, wyniki
- Pomiary i testy Modelu Standardowego (QCD, W/Z, top, fizyka kwarku b)
- Poszukiwania Nowej Fizyki
- Podsumowanie

Akcelerator LHC, Eksperymenty ATLAS i CMS

Akcelerator LHC

LHC = Large Hadron Collider (Wielki Zderzacz Hadronów)

- Ośrodek CERN
Europejskie Laboratorium
Fizyki Cząstek, Genewa
CERN powstał w 1954 r.,
Polska w CERN od 1991.



- LHC jest ostatnim elementem zespołu akceleratorów CERN. Zderzenia proton-proton, ołów-ołów
- 4 Duże eksperymenty w tym CMS i ATLAS
- Docelowa energia p-p:
 $\sqrt{s} = 7\text{TeV} + 7\text{TeV} = 14\text{TeV}$
- Docelowa świetność
 $L = 10^{34}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

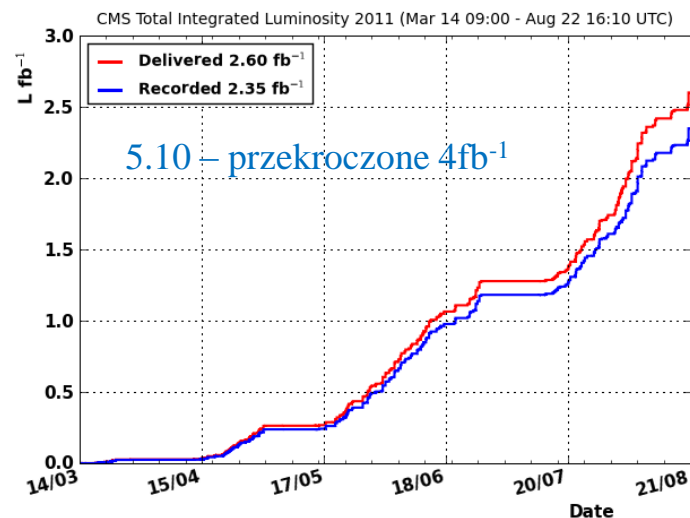
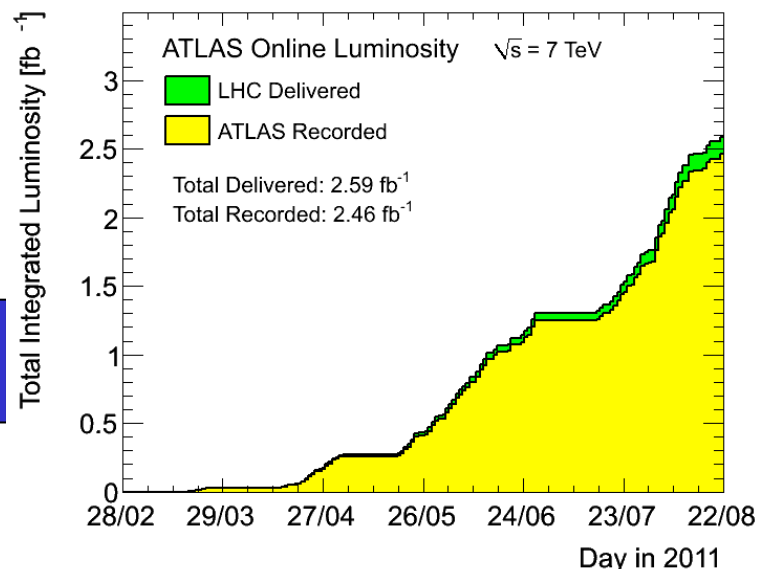
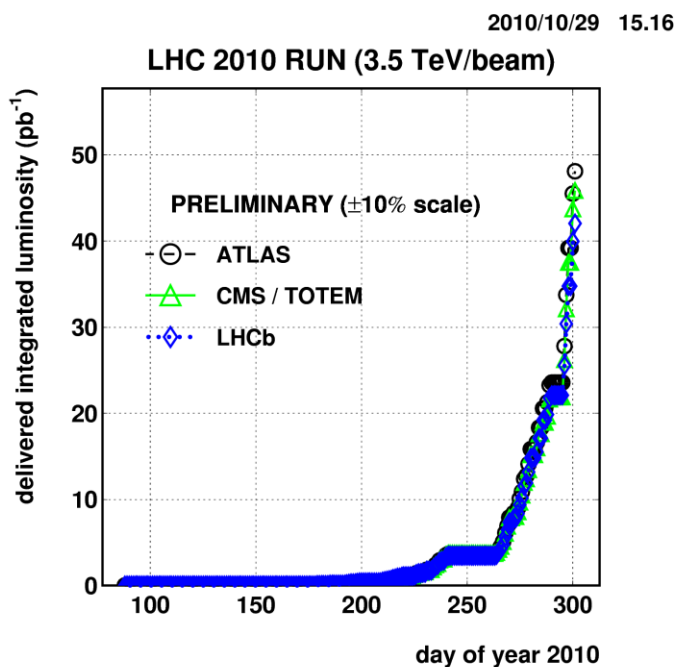


$\sqrt{s} = 7$ TeV: zwiększanie świetlności LHC: 2010 i 2011

Świetlność L jest globalnym parametrem opisującym geometrie i intensywności przecinających się wiązek

$$N = \sigma \cdot \int L \cdot dt$$

~50 pb⁻¹ dostarczone w 2010, x 50 marzec-sierpień 2011
maks. świetlność: $\approx 3,3 \cdot 10^{33} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$



Parametry pracy LHC

rok 2010

- 368 paczek (150 ns)
- 10^{11} protonów/paczka

Energia	7 TeV
Maks. świetlnosc	$2.0 \cdot 10^{32} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
Całk. świetlnosc (2010r.)	$\sim 50 \text{pb}^{-1}$

bieżące działanie

- 1380 paczek (50 ns)
- 1.2×10^{11} protonów/paczka

Energia	7 TeV
Maks. świetlnosc	$3 \cdot 10^{33} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
Całk. świetlnosc (oczekiwana)	$\sim 5 \text{fb}^{-1}$

Parametry projektowane:

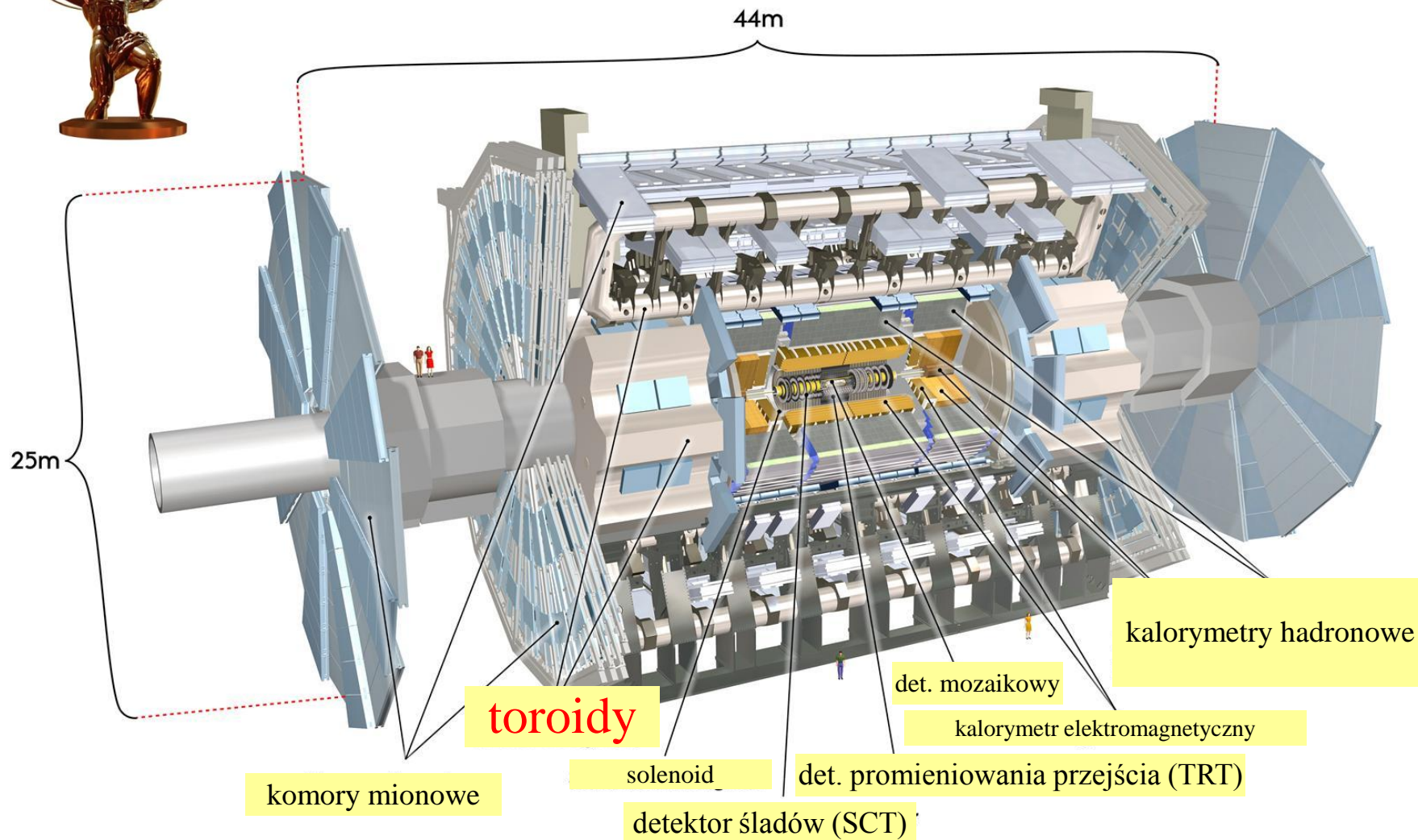
- 2808 paczek (25 ns)
- 1.1×10^{11} protonów/paczka

Energia	14 TeV
Maks. świetlnosc	$10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
Całk. świetlnosc (rok)	100fb^{-1}

W latach 2013-14 planowana jest przerwa w działaniu LHC (cel docelowe parametry pracy),
Dalsze (niezatwierdzone) plany do 2030: HI-LHC ($5 \cdot 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$?), HE-LHC (2x16TeV ?)

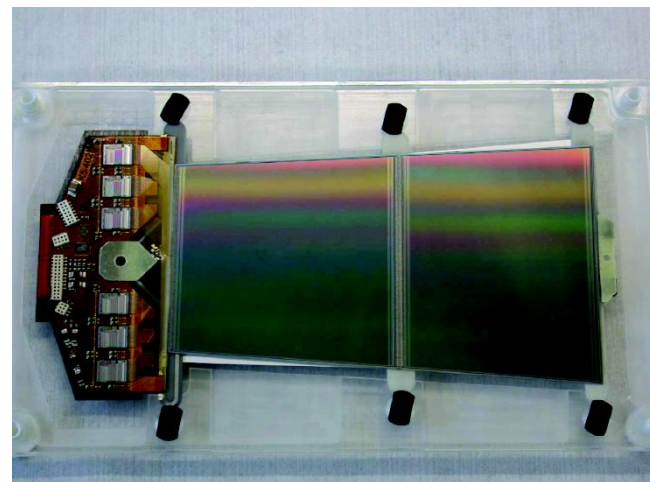


ATLAS = A Toroidal LHC ApparatuS



Polski wkład aparaturowy do eksperymentu ATLAS

- Instytut Fizyki Jądrowej PAN
- Akademia Górniczo-Hutnicza
- naukowcy z Uniwersytetu Jagiellońskiego i Politechniki Krakowskiej



Prace nad odpornymi na promieniowanie detektorami krzemowymi do Detektora Wewnętrznego (SCT, TRT) w szczególności projekt i testy hybrydowych układów odczytu, system zasilania wysokiego napięcia (zasilacze zbudowane przez polską firmę Fideltronik)

Koordinacja systemów gazowych i chłodzenia w całym detektorze, projekt wsporników pod kalorymetr (wyk. Budimex S.A. Mostostal Kraków, huta im. T. Sendzimira)

CMS = Compact Muon Solenoid



39 Countries, 169 Institutes, 3170 scientists and engineers (including about 800 students)

TRIGGER, DATA ACQUISITION & OFFLINE COMPUTING

Austria, Brazil, CERN, Finland, France, Greece, Hungary, Ireland, Italy, Korea, Lithuania, New Zealand, Poland, Portugal, Switzerland, UK, USA

krzemowy detektor śladowy

Austria, Belgium, CERN, Finland, France, Germany, Italy, Mexico, New Zealand, Switzerland, UK, USA

jednorodny kalorymetr elektromagnetyczny (ECAL)

Belarus, CERN, China, Croatia, Cyprus, France, Italy, Portugal, Russia, Serbia, Switzerland, UK, USA

PRESHOWER

Armenia, CERN, Greece, India, Russia, Taiwan

jarzmo magnesu

solenoid

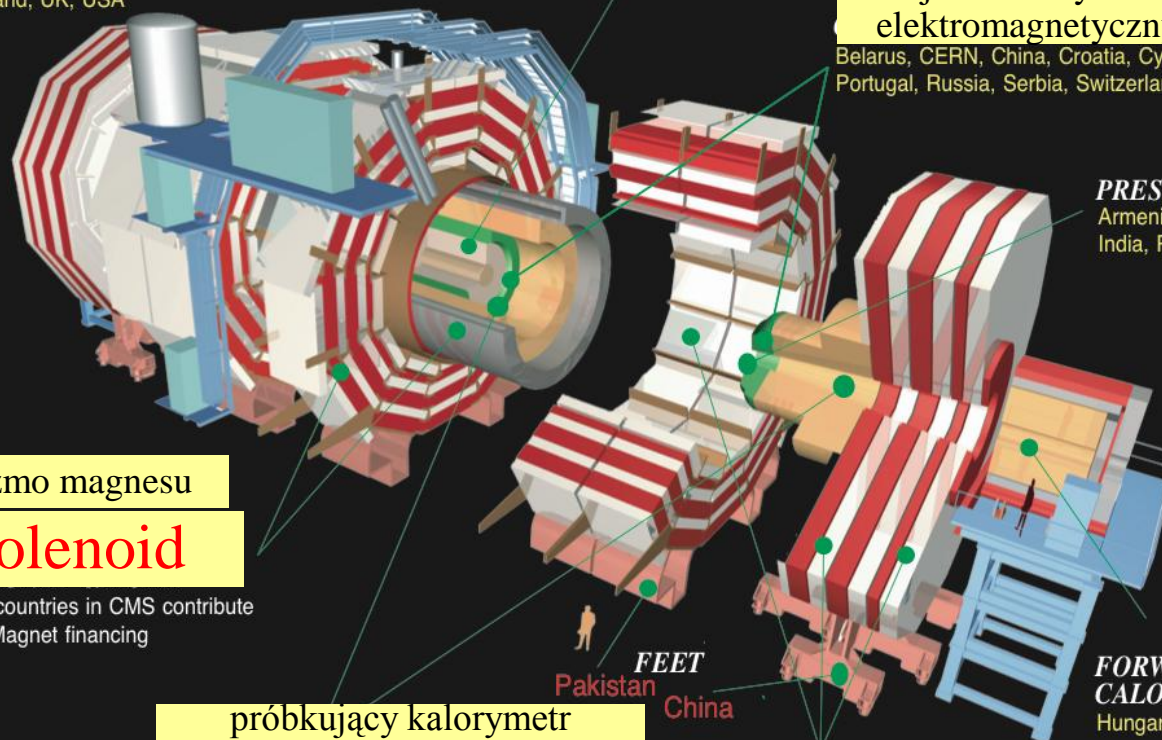
All countries in CMS contribute to Magnet financing

próbujący kalorymetr hadronowy (HCAL)

Barrel: Bulgaria, India, USA
 Endcap: Belarus, Bulgaria, Georgia, Russia, Ukraine, Uzbekistan
 HO: India

komory mionowe (DT/CSC/RPC)

Barrel: Austria, Bulgaria, CERN, China, Germany, Hungary, Italy, Spain
 Endcap: Belarus, Bulgaria, China, Colombia, Egypt, Korea, Pakistan, Russia, USA



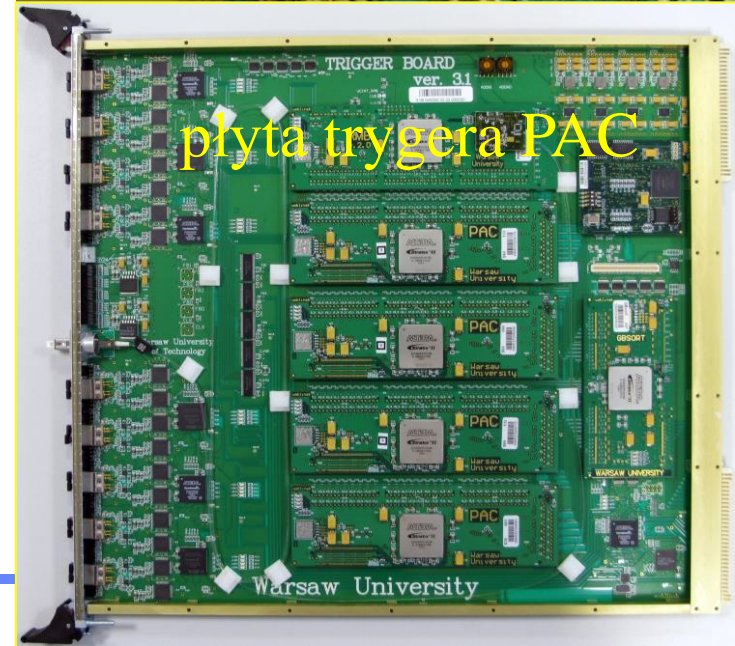
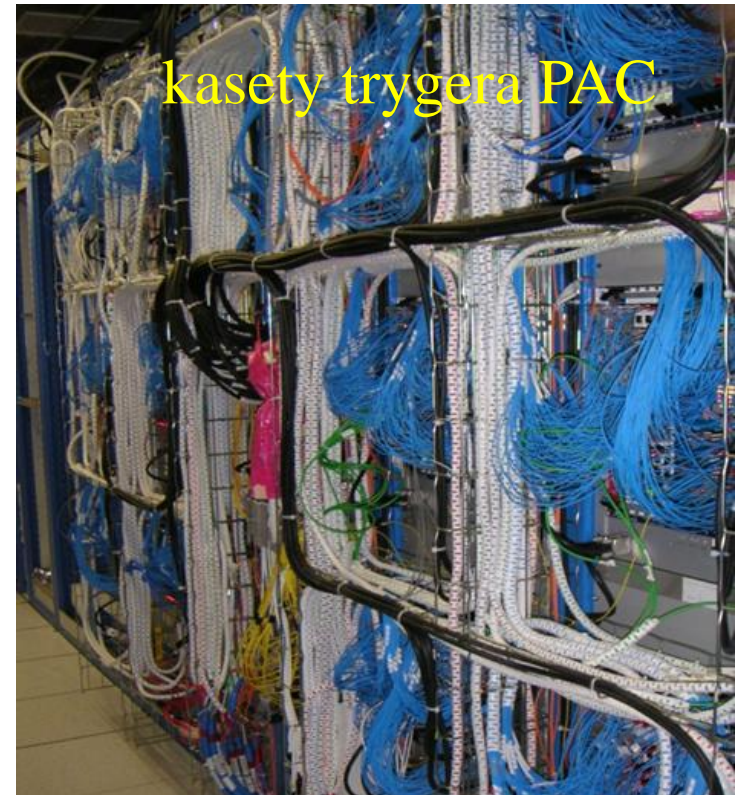
Waga:
 Średnica :
 Długość:
 Magnes:

: 14000 tonnes
 : 15.0 m
 : 28.7 m
 : 3.8 T

Polski wkład aparaturowy do eksperymentu CMS

- Instytut Fizyki Doświadczalnej, Uniwersytet Warszawski
- Instytut Problemów Jądrowych im. A. Sołtana
- Instytut Systemów Elektronicznych Politechniki Warszawskiej

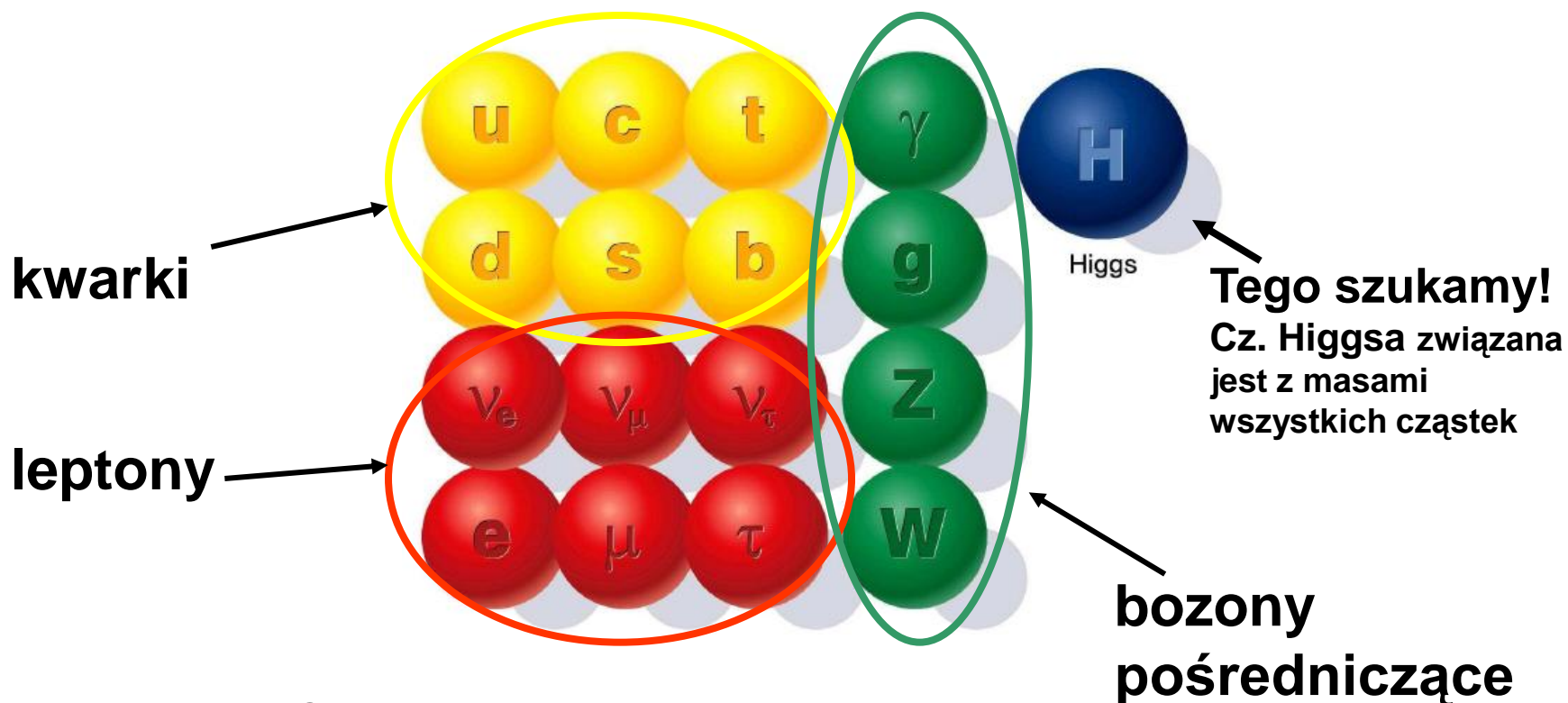
Warszawa opracowała, zbudowała i nadzoruje mionowy system wyzwalania PACT (Pattern Comparator Trigger) działający w oparciu o sygnał z dedykowanych komór RPC. Jest on podsystemem trygera minowego eksperymentu CMS.



Poszukiwania cząstki Higgsa (Model Standardowy) własności, metodologia

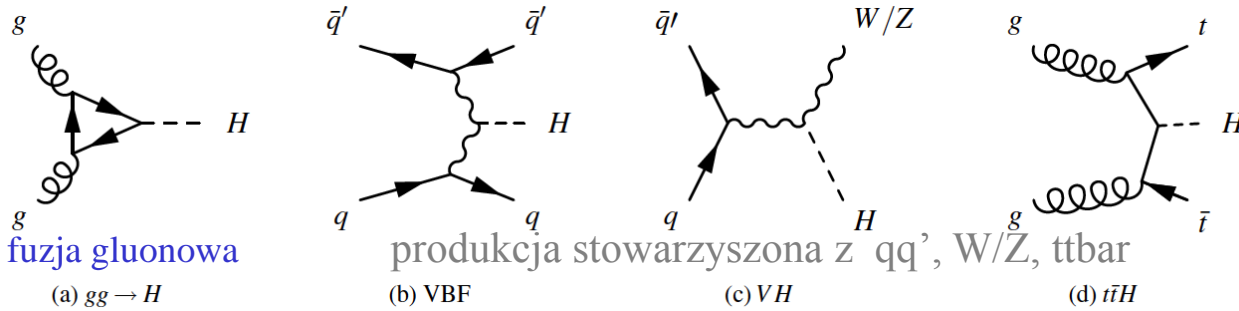
Model Standardowy a cząstka Higgsa

Model Standardowy – podstawowa teoria cząstek elementarnych.
Doskonale zgadza się z pomiarami doświadczalnymi.



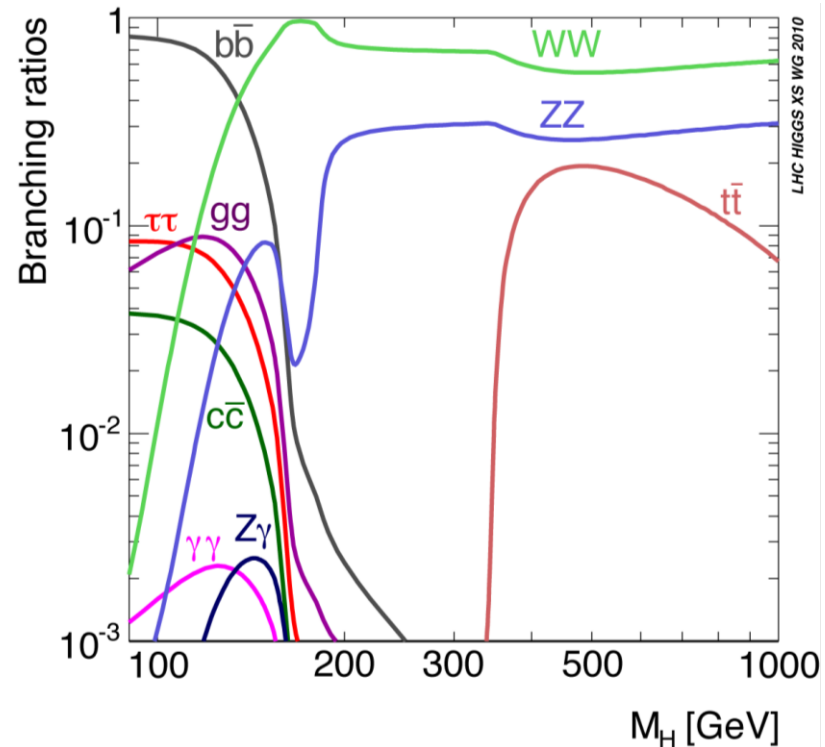
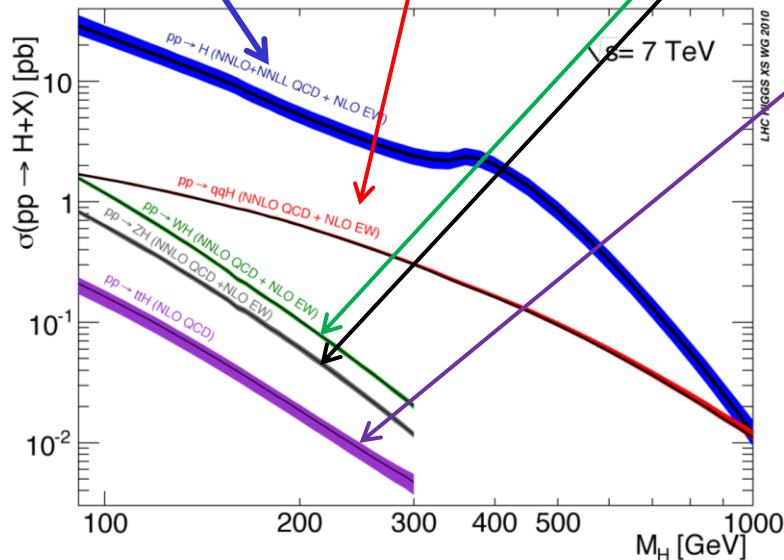
Uwaga – Model Standardowy nie opisuje grawitacji!

produkcja i kanały rozpadu cz. Higgosa



Events expected to be produced with $L=1 \text{ fb}^{-1}$

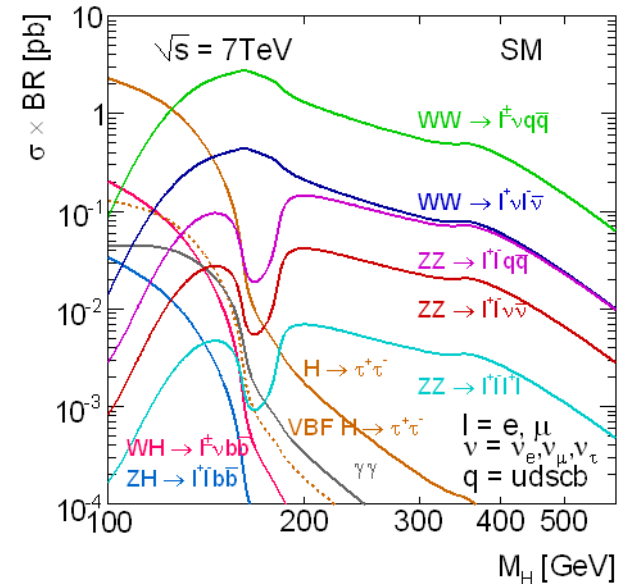
m_H , GeV	$WW \rightarrow l\nu l\nu$	$ZZ \rightarrow 4l$	$\nu\nu$
120	127	1.5	43
150	390	4.6	16
300	89	3.8	0.04



- dominuje mechanizm fuzji gluonowej, jednak pozostałe kanały produkcji są istotne ze względu na możliwości dodatkowych cięć

Poszukiwania cząstki Higgsa – preferowane kanały

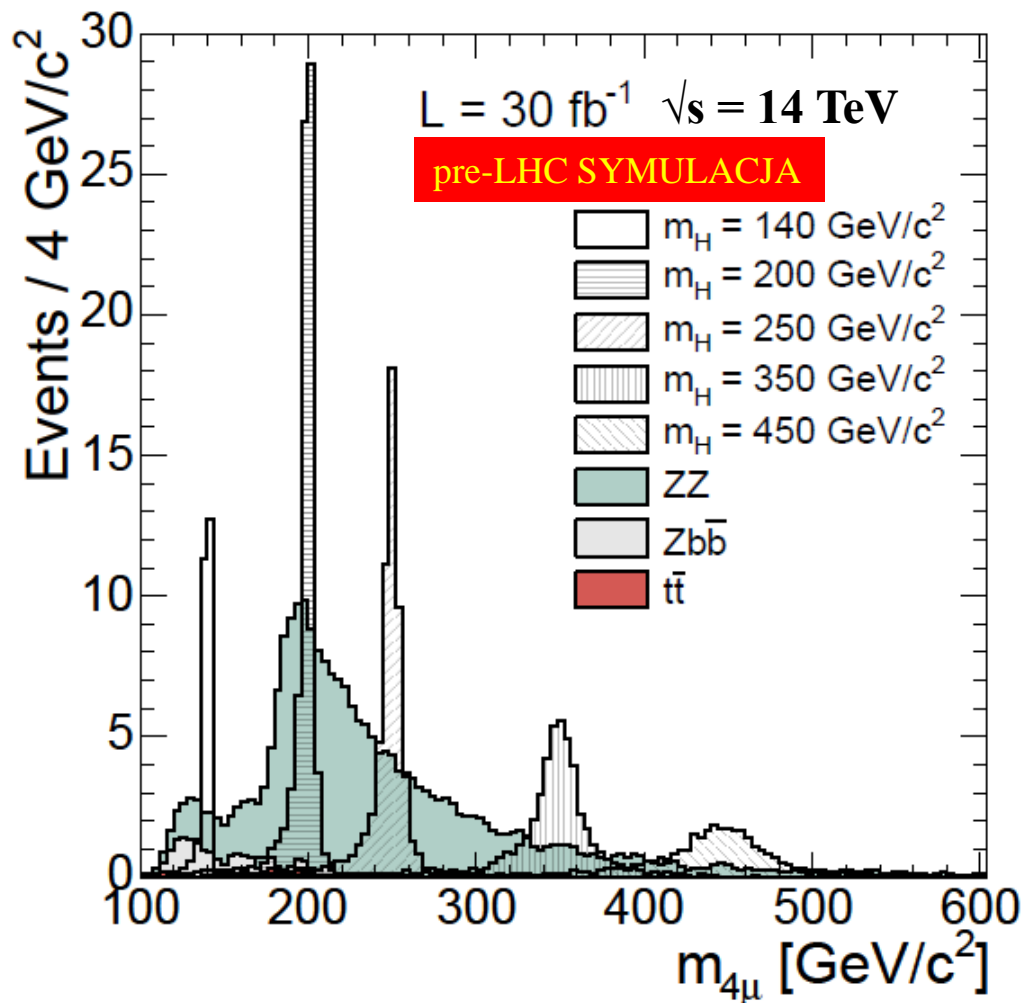
- $H \rightarrow \gamma\gamma$:
 - rzadki kanał lecz najlepszy dla małych mas
- $H \rightarrow WW^{(*)}$
 - $2l2\nu$: pośredni obszar mas
 - $lvqq$: duża liczba przypadków, duże masy
- $H \rightarrow ZZ^{(*)}$
 - $4l$ ($4e, 2e2\mu, 4\mu$) – „złoty kanał” średnie i duże masy
 - $2l2\nu$: duże masy
 - $2lbb$: duże masy
- $H \rightarrow \tau\tau$: rzadki, małe masy, dobry stosunek sygnał/tło
- $H \rightarrow bb\text{-bar}$
 - produkcja stowarzyszona ttH, WH, ZH
 - ważny dla studiów własności higgsa.



$H \rightarrow \gamma\gamma$	110-150
$H \rightarrow bb$	110-135
$H \rightarrow \tau\tau$	110-140
$H \rightarrow WW \rightarrow 2l 2\nu$	110-600
$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$	110-600
$H \rightarrow ZZ \rightarrow 2l2\tau$	180-600
$H \rightarrow ZZ \rightarrow 2l2j$	226-600
$H \rightarrow ZZ \rightarrow 2l2\nu$	250-600

Jak odkryć higgosa – analiza masy niezmienniczej

przykład $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\mu$ („złoty kanał”)



1) W układzie w którym
cz. Higgosa spoczywa:

$$\mathbf{p}=0, E=m_Hc^2$$

2) Na mocy zachowania
energii i pędu
produkty rozpadu:

$$\sum \mathbf{p}_i=0, \sum E_i=m_Hc^2$$

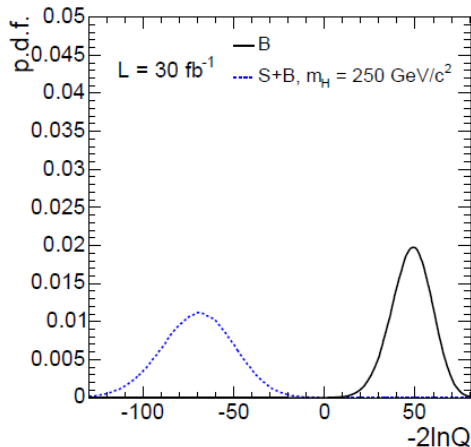
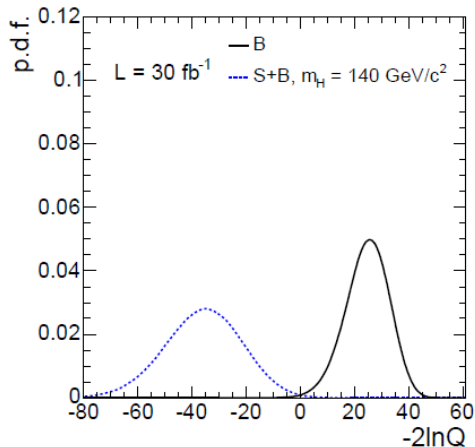
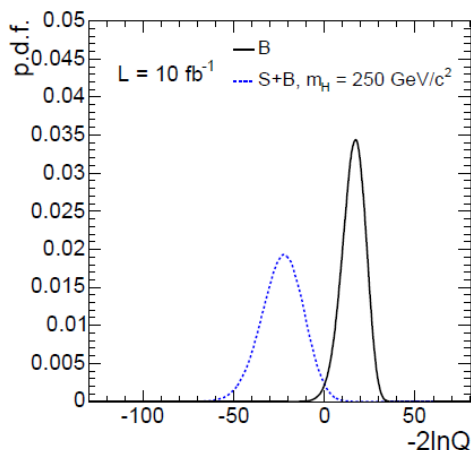
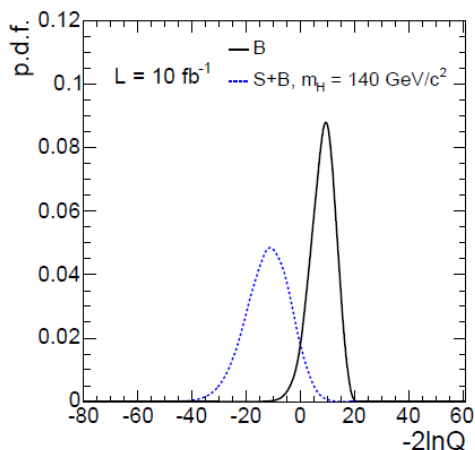
3) Niezmiennik tr. Loentza:

$$\begin{aligned}
 (\sum E'_i)^2 - (\sum c\mathbf{p}'_i)^2 &= \\
 &= \text{invariant} \\
 &= (m_Hc^2)^2
 \end{aligned}$$

Dzięki masie niezmienniczej
„widzimy” odkrywającą
cząstkę. Tradycyjnie
znaczoność: $s/\sqrt{(s+b)}$

testowanie hipotez w oparciu o funkcje największej wiarygodności (idea)

Funkcja gęstości prawdopodobieństwa to unorm. dystrybucja $-2\ln Q$ dla dużej liczby pseudo-eksperymentów wykonanych na symulowanych danych zawierających sygnał+tło lub tylko tło

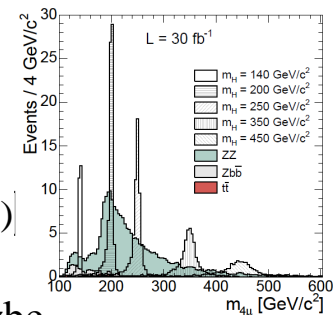


Statystyczna metoda (log-likelihood), polegająca na analizie log. dwóch funkcji prawdopodobieństw: pojawienia się danych w przypadku sygnału+tło oraz tylko tło.

$$Q = \frac{L_{S+B}}{L_B}$$

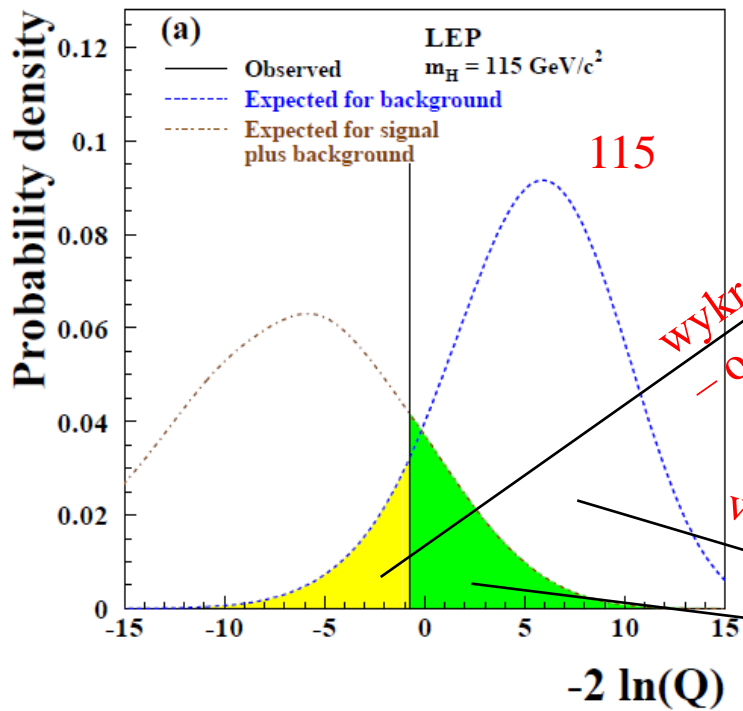
Funkcja testowa:

$$-2 \ln Q(m_H) = 2 \sum_{i=1}^N |s_i - n_i \ln(1 + s_i / b_i)|$$



$i=1, N$ numeruje oczekiwaną liczbę przypadków sygnału, tła oraz zrekonstruowane przypadki w pewnym przedziale analizowanym (np. masy niezmn.) . Porównanie wyniku eksperymentu (pojedyncza wartość $-2\ln Q$ dla testowanej wartości m_H) z przewidywaniami hipotez „sygnał+tło” oraz „tylko tło” pozwala na wnioskowanie z jakim prawdopodobieństwem znaleźliśmy (lub nie) cz. Higgsa o danej masie.

przykład: wynik LEPu

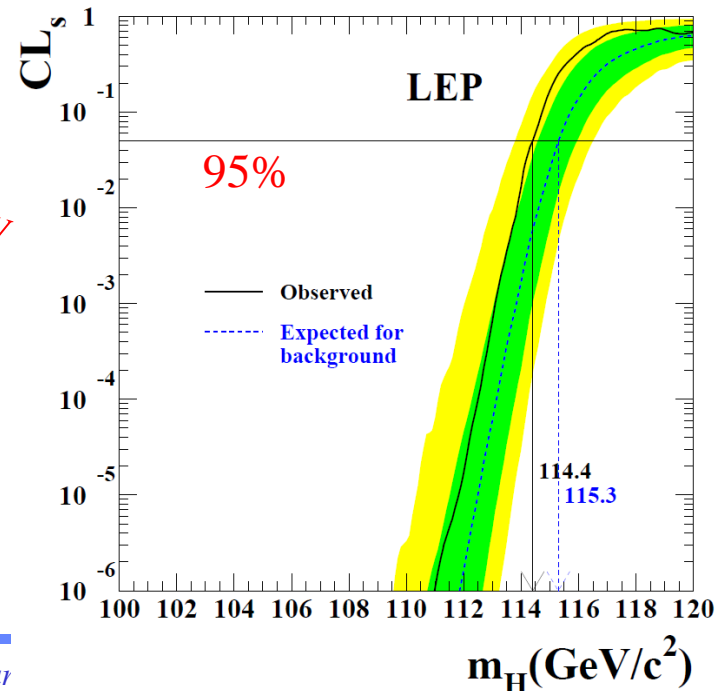
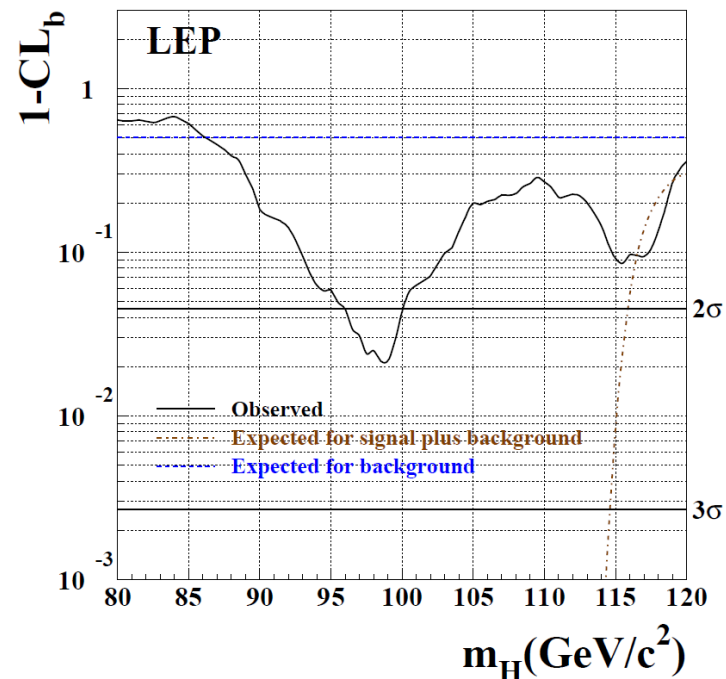
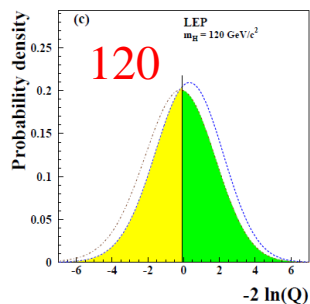
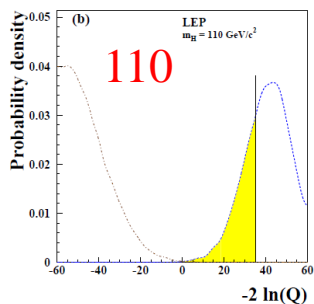


wykres „odkrywczy” $1-CL_B$
- odstępstwo od hip. tła

wykres wykluczeniowy

$$CL_S = CL_{S+B} / CL_B$$

$$CL_B = 1 - (1 - CL_B)$$



testowanie hipotezy higgosa w LHC (skrót)

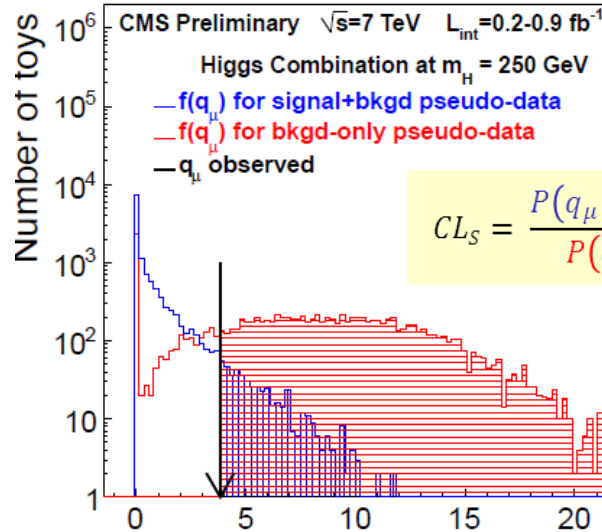
Funkcje testowe używane przez ATLAS i CMS:

$$q_\mu = -2 \ln \frac{L(\text{data}|\mu, \hat{\theta}_\mu)}{L(\text{data}|\hat{\mu}, \hat{\theta})}$$

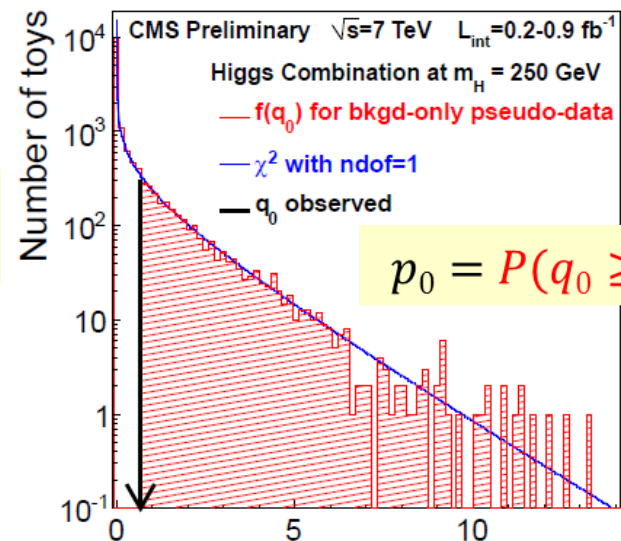
$$q_0 = -2 \ln \frac{L(\text{data}|0, \hat{\theta}_0)}{L(\text{data}|\hat{\mu}, \hat{\theta})}$$

μ – wzmacnienie sygnału ($\sigma/\sigma_{\text{SM}}$),

θ – parametry uciążliwości, opisujące nieprecyzyjną znajomość warunków (eff, L, ...)



Test Statistic $q_\mu (\mu=2)$



Test Statistic q_0

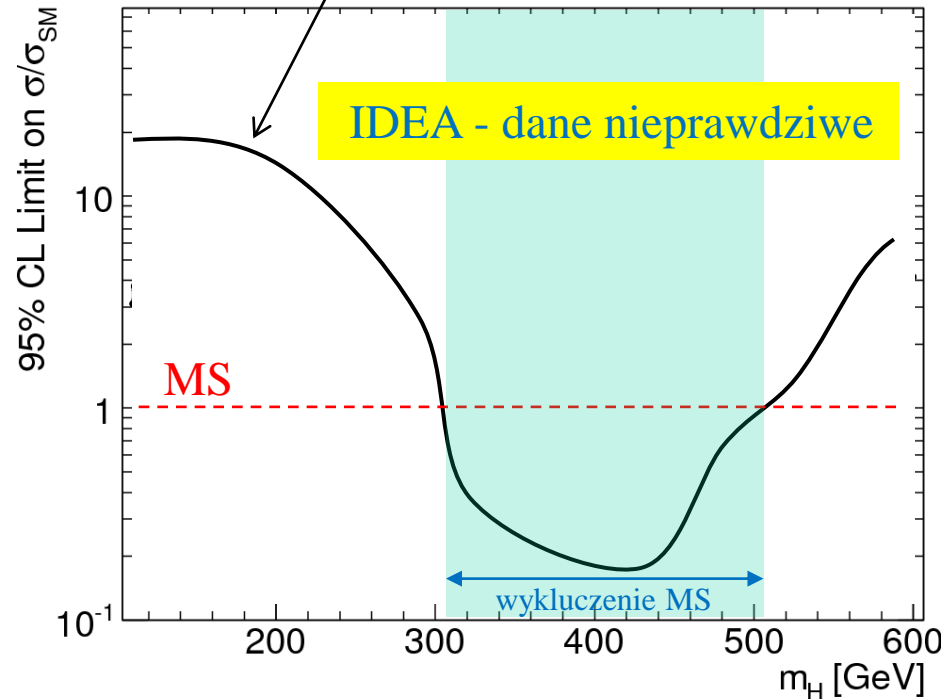
Hipotezę (μ -sygnał+tło) wykluczamy na poziomie α (0.95) gdy $CL_S < 1-\alpha$. W praktyce badamy μ dla którego $CL_S = 0.05$

Małe p_0 (p-value) świadczy o niezgodności danych z hipotezą tylko-tło (nadwyżka przypadków).

Uwaga – patrząc na wiele punktów prawdopodobieństwo znalezienia fluktuacji wzrasta (efekt LEE-look elsewhere effect) – konieczna korekta znaczości.

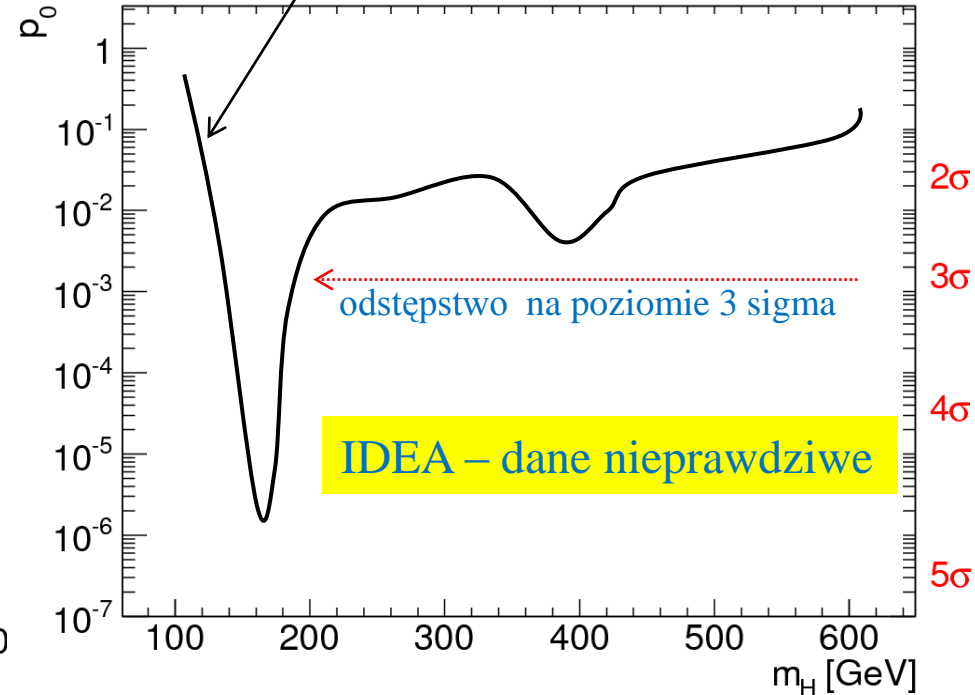
LHC - typy wykresów wykluczenia i odkrycia

wzmocnienie sygnału dla którego
wykluczamy hipotezę sygnał+tło
na poziomie ufności 95%



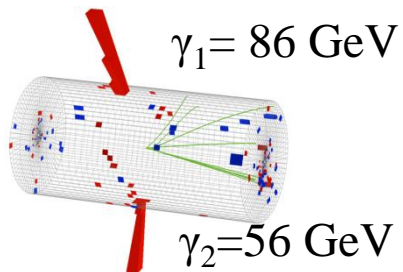
wykres wykluczenia

położenie w rozkładzie
prawdopodobieństwa dla tła



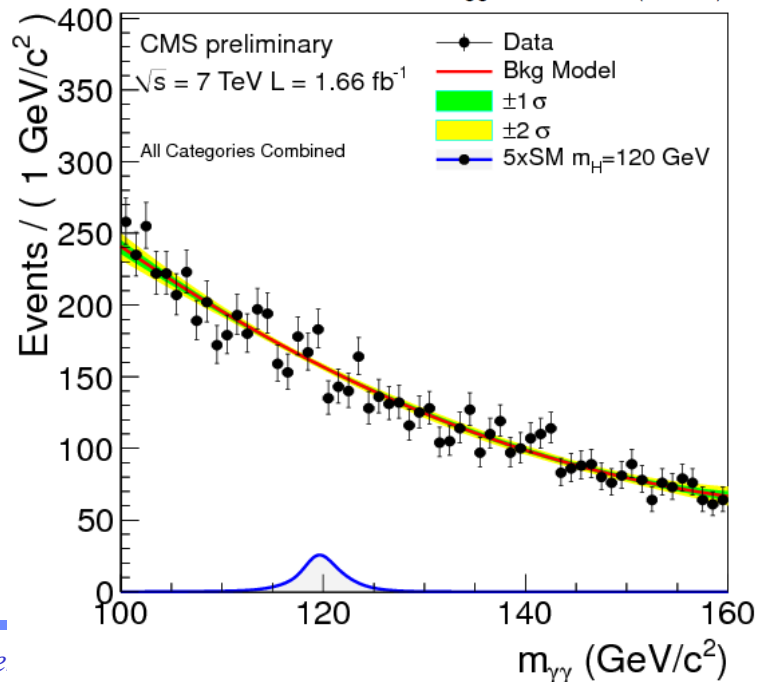
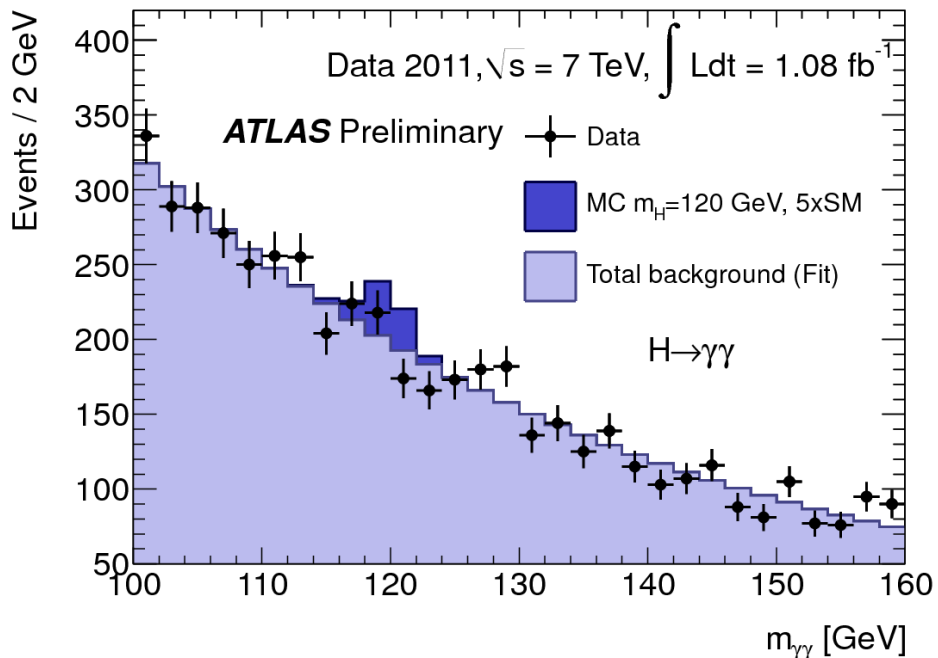
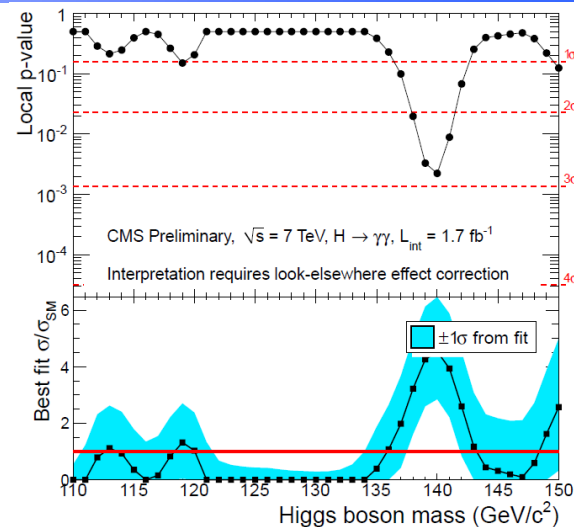
wykres odkrywczy
(uwaga: niezgodność z hipotezą
tylko-tło może pochodzić z błędów
szacowania tła)

Poszukiwania cząstki Higgsa (Model Standardowy) - wyniki

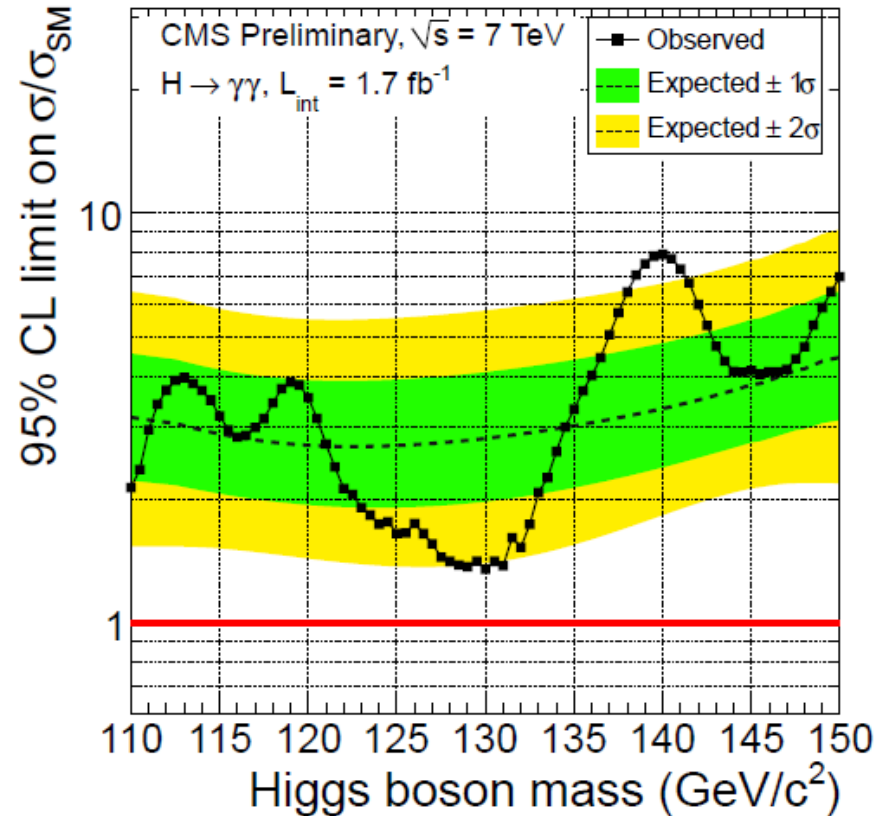
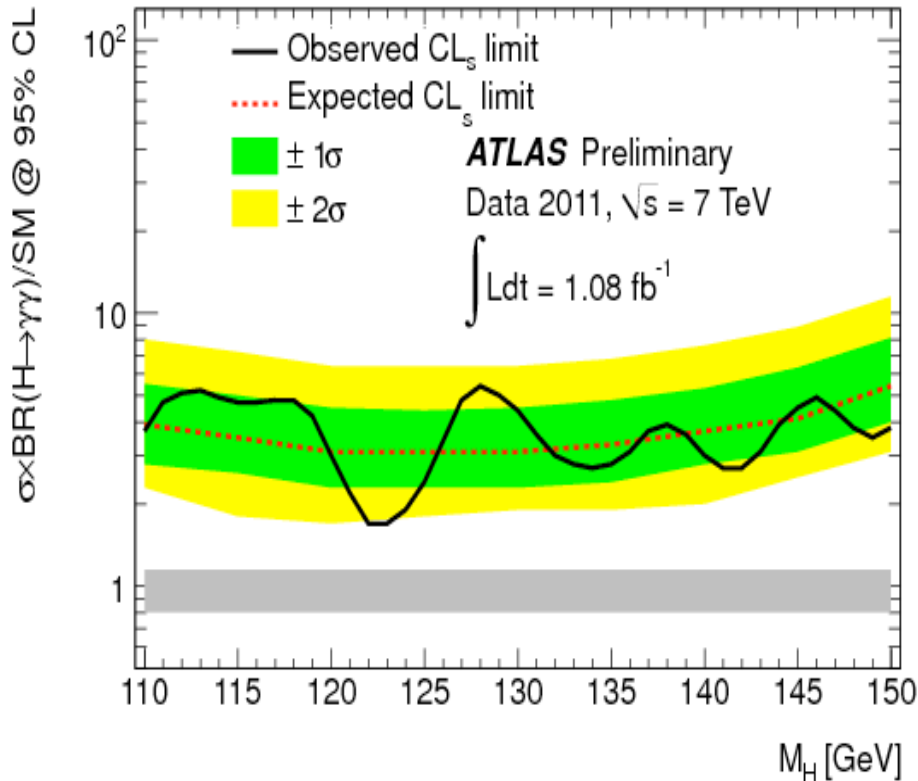


małe masy: kanał $H \rightarrow \gamma\gamma$

prosta sygnatura: dwa wysokoenergetyczne,
 izolowane fotony (p_T min. $\sim 40 \text{ GeV}/c$),
 oczekiwany wąski pik sygnału lecz duże tło
 tło nieredukowalne $pp \rightarrow \gamma\gamma X$, redukowalne: $pp \rightarrow \gamma j X$
 główne tło od dżetów z wiodącym π^0

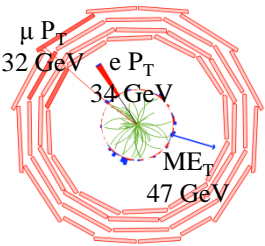


kanał $H \rightarrow \gamma\gamma$ limity



Na poziomie 95% wykluczyć można jedynie przekroje czynne prod. Higgsa kilkakrotnie większe od przewidywań MS (Atlas: ~ 4 , CMS: 2-4).

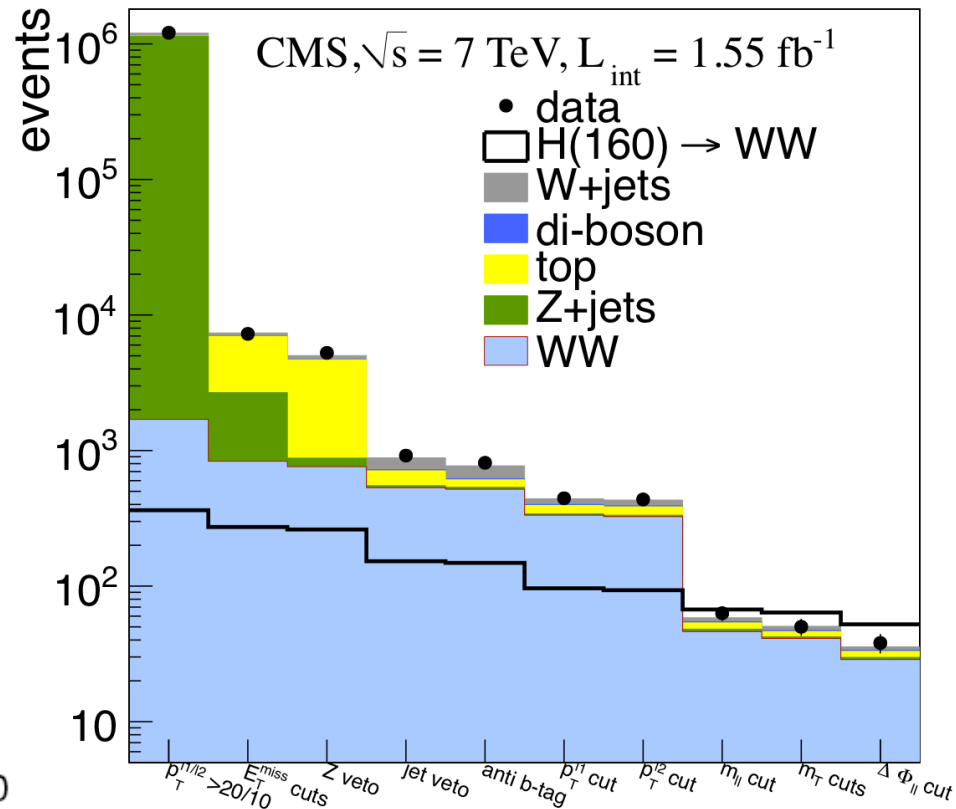
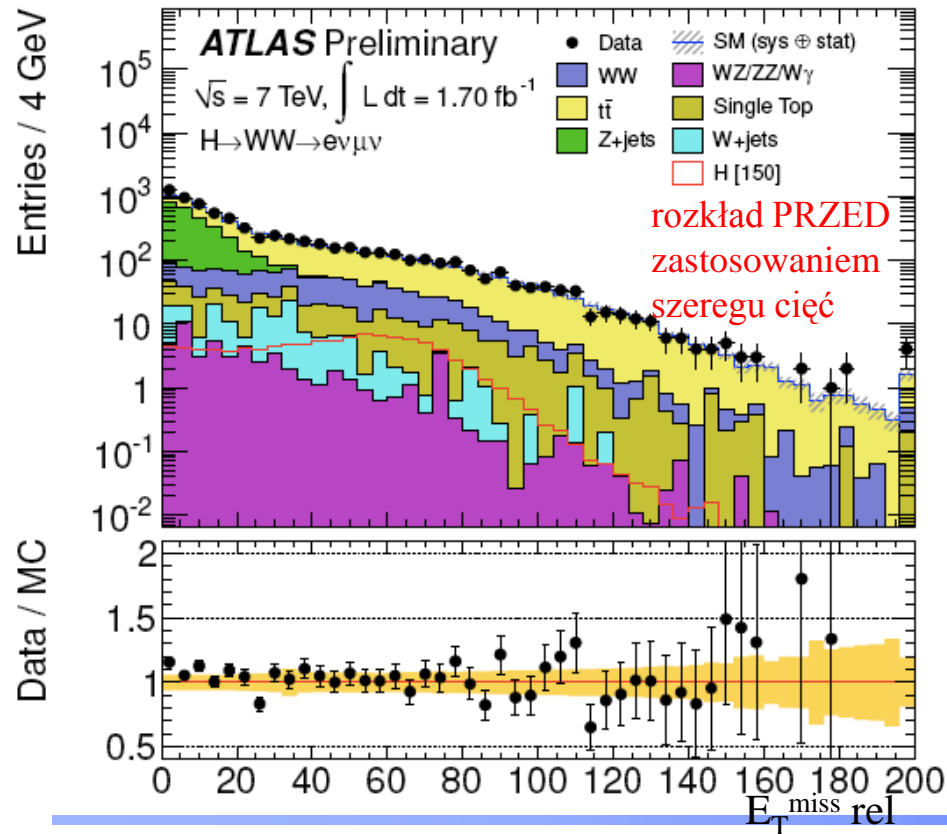
CMS: Nadmiar przypadków w okolicy $m_{\gamma\gamma} \approx 140 \text{ GeV}/c^2$ - słabsze wykluczenie



średnie masy: $H \rightarrow WW(*) \rightarrow 2l2\nu$

Ze względu na uciekające neutrino – brak szczytów w widmie masy niezmienniczej (eksperyment licznikowy)

Sygnatura: dwa izolowane, przeciwnie naładowane leptony (mały kąt) brakująca energia, Duża liczba przypadków ale i tło – **wyzwanie doświadczalne** (duża liczba cięć)

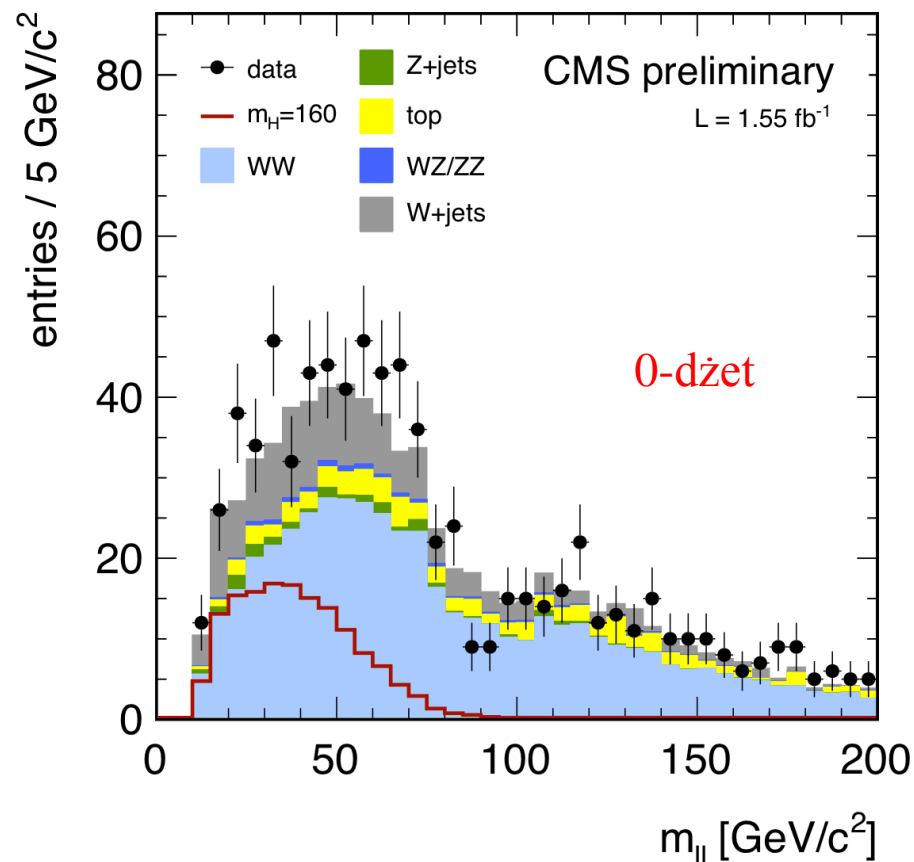
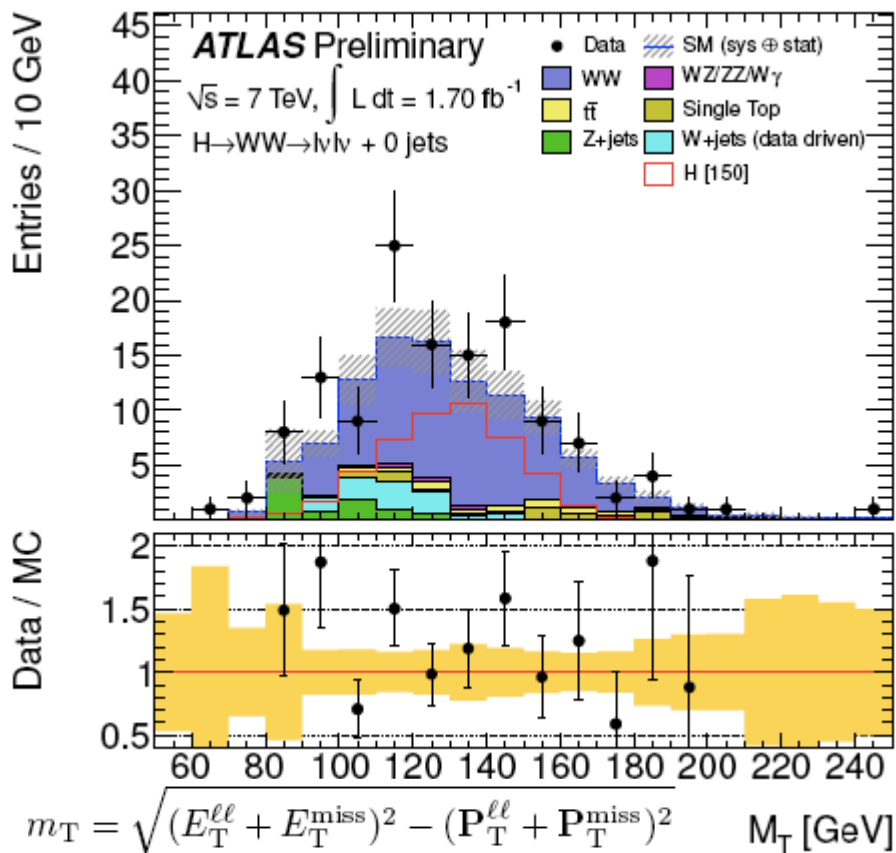


kanał $H \rightarrow WW^{(*)} \rightarrow 2l2\nu$

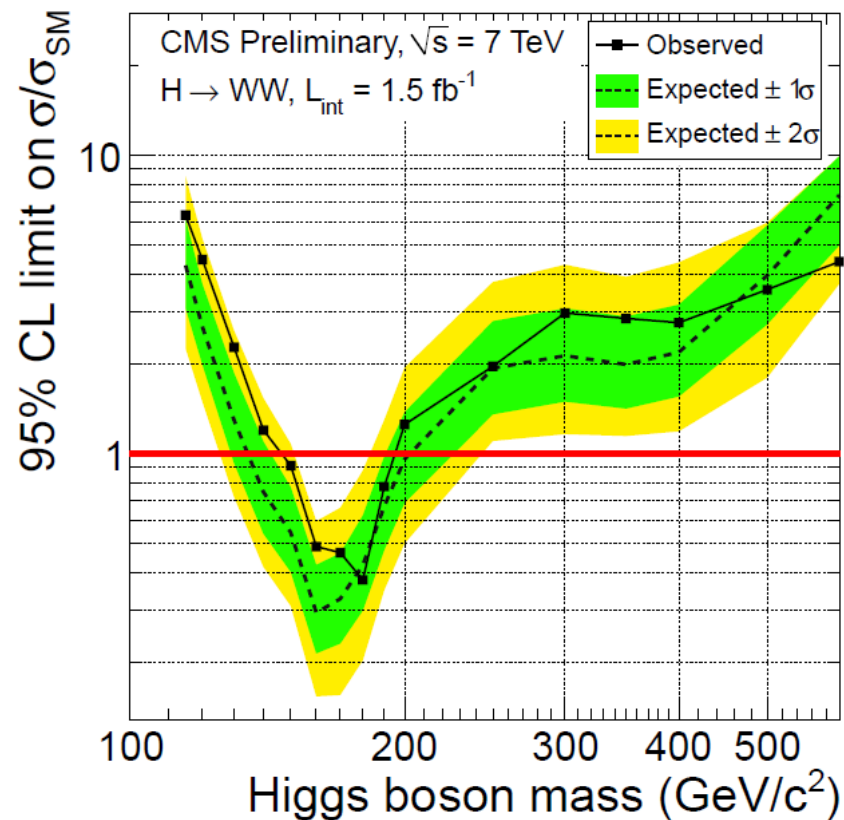
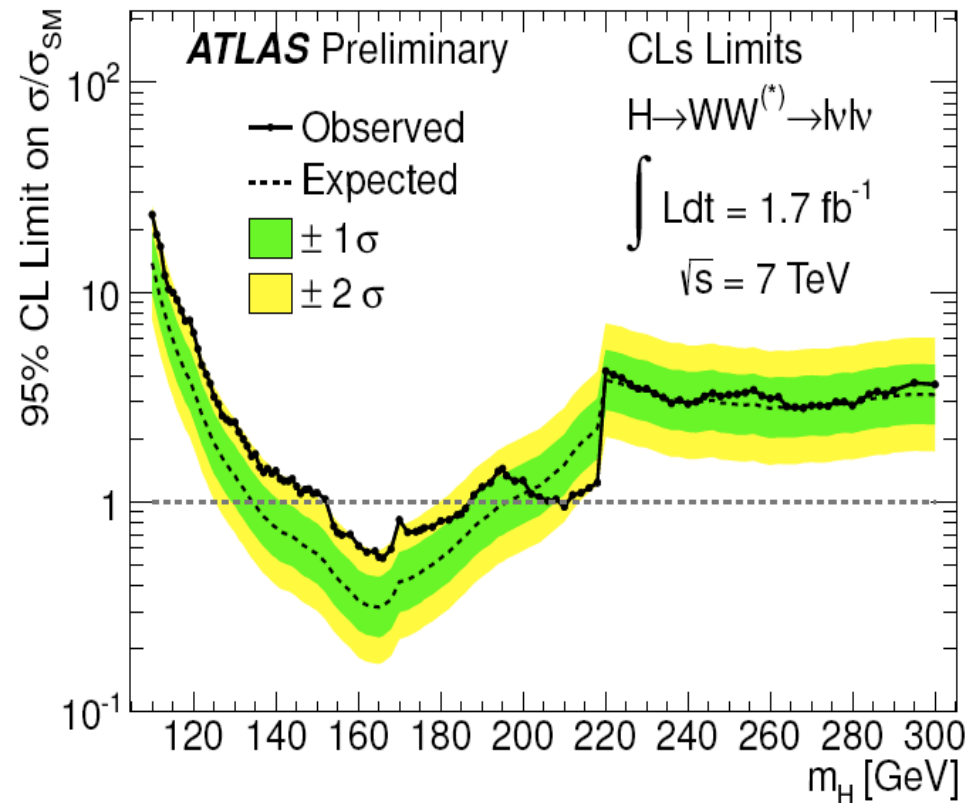
Rozkłady w M_T lub M_{ll}

Szacowanie tła z danych (szczególnie ważne dla eksperymentów licznikowych),

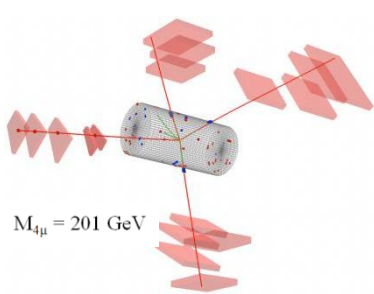
przykład: zdefiniować region kontrolny bogaty w tło danego typu; ekstrapolacja do obszaru sygnału używając profili z MC ($N_{\text{data}}^{\text{SR}} = \alpha \cdot N_{\text{data}}^{\text{CR}}$, gdzie $\alpha = N_{\text{MC}}^{\text{SR}} / N_{\text{MC}}^{\text{CR}}$)



kanał $H \rightarrow WW^{(*)} \rightarrow 2l2\nu$

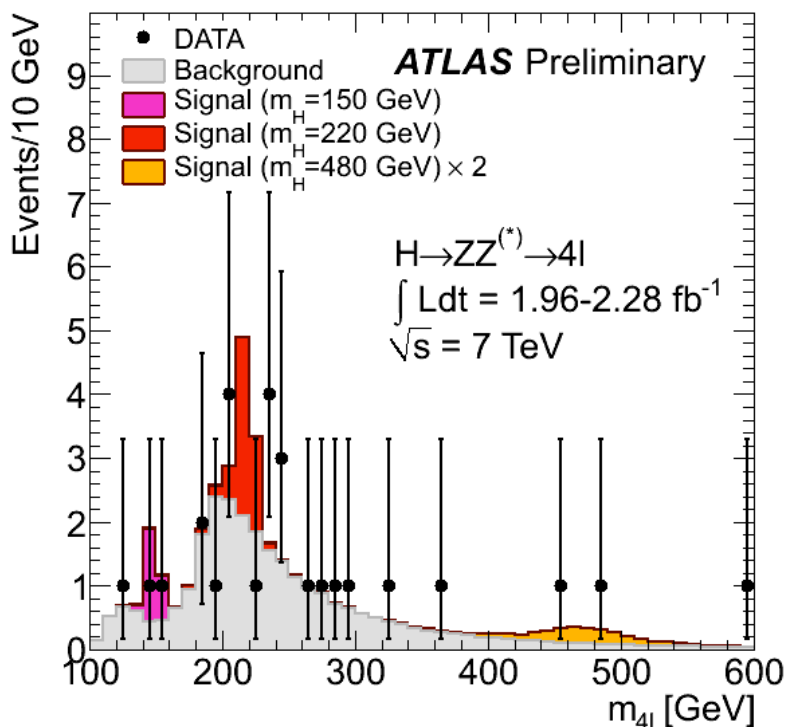


kanał dostarcza głównego limitu wykluczeń dla $m_H < 200 \text{ GeV}$.
ATLAS: $154 < m_H < 186 \text{ GeV}$, CMS: $147 < m_H < 194 \text{ GeV}$
 oczekiwane (statystycznie) wykluczenie około 135-200 GeV.

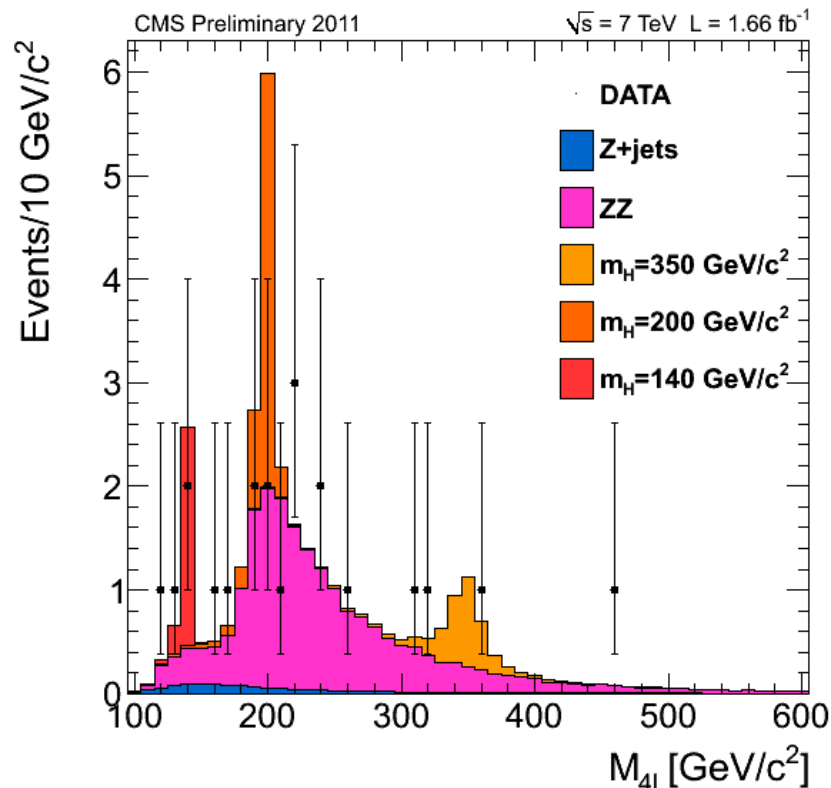


duże masy: kanał $H \rightarrow ZZ(*) \rightarrow 4l$

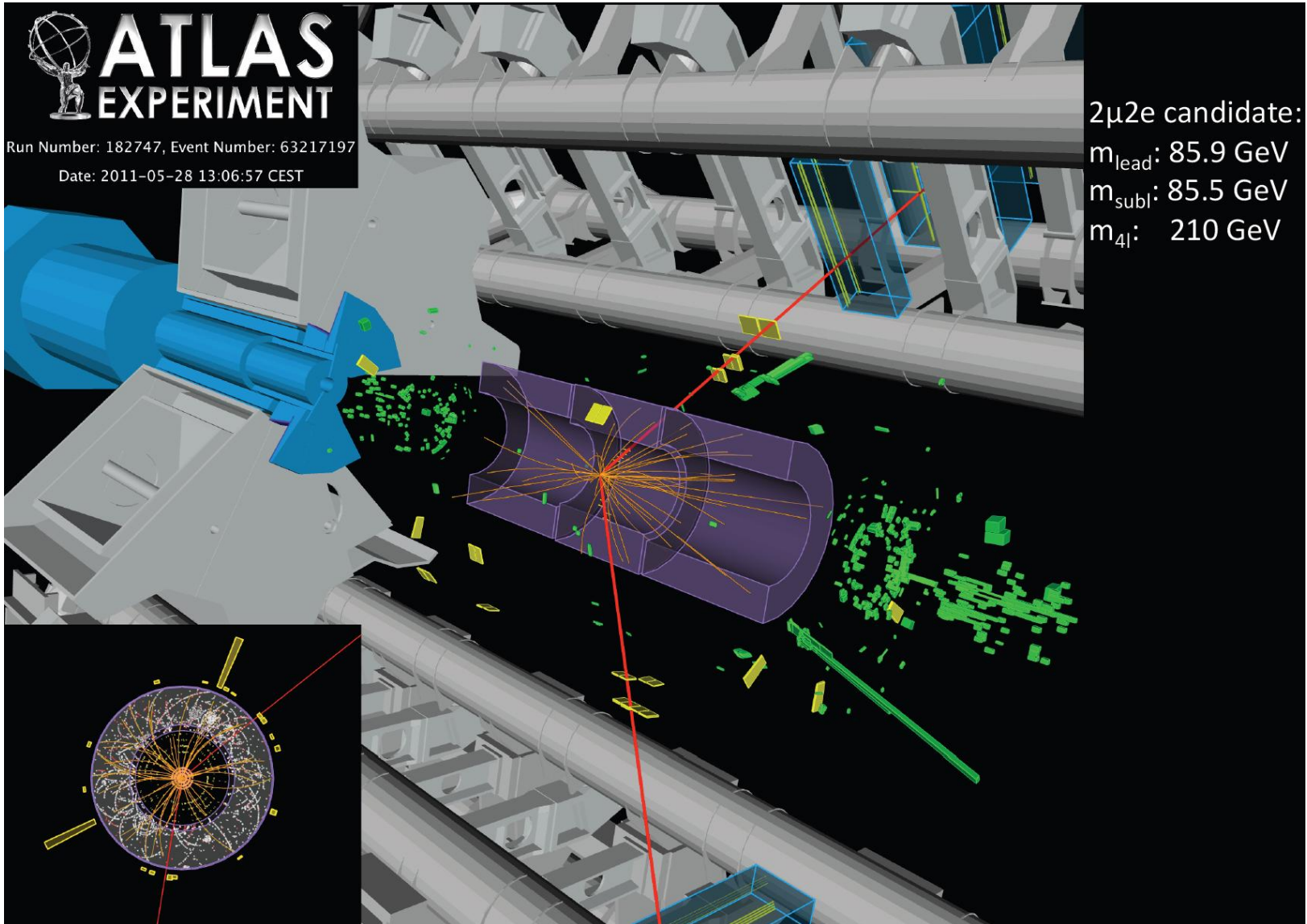
„złoty kanał” – stosunkowo małe tło lecz też oczekiwana niewielka liczba przypadków
 sygnatura: wysokoenergetyczne leptony ($2e+2\mu, 4\mu, 4e$), kompatybilność z Z, izolacja
 tło nieredukowalne – produkcja $ZZ(*)$, tło redukowalne: tt-bar, Z+dżety



27 przypadków znalezionych, oczekiwania tła: 28 ± 4



kanał $H \rightarrow ZZ(*) \rightarrow 4l$

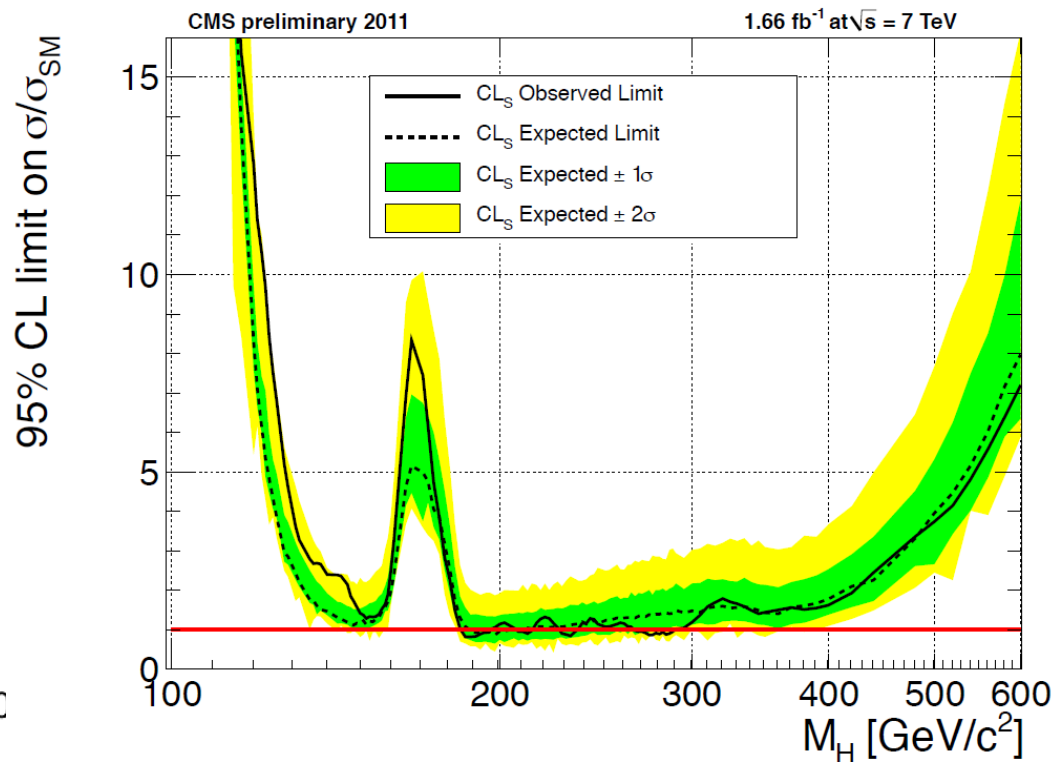
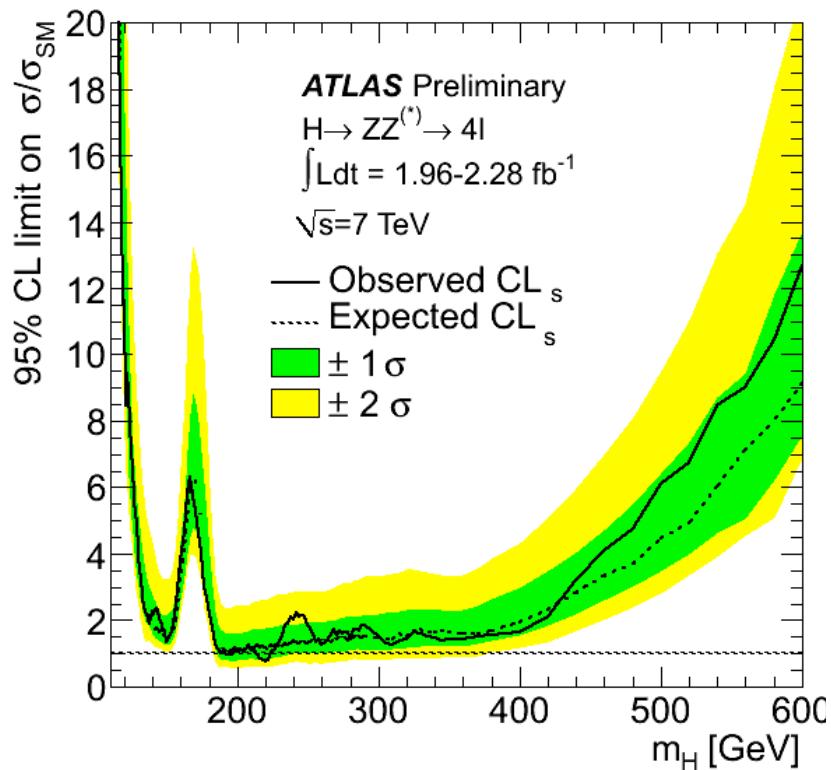


kanał $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4l$

Niezależnie od innych analiz wykluczenia przy masach ok. 200 GeV.

ATLAS: - przewidywania i aktualne wykluczenia pokrywają się

CMS: w przedziale małych mas wykluczenie słabsze od oczekiwanego



łączone wyniki w ramach ATLAS i CMS

Oczekiwany przedział wykluczenia: 130-440 GeV.

W ramach Modelu Standardowego Bozon Higgsa wykluczony na poziomie ufności 95% w przedziałach mas:

ATLAS:

$$146 < m_H < 232 \text{ GeV}$$

$$256 < m_H < 282 \text{ GeV}$$

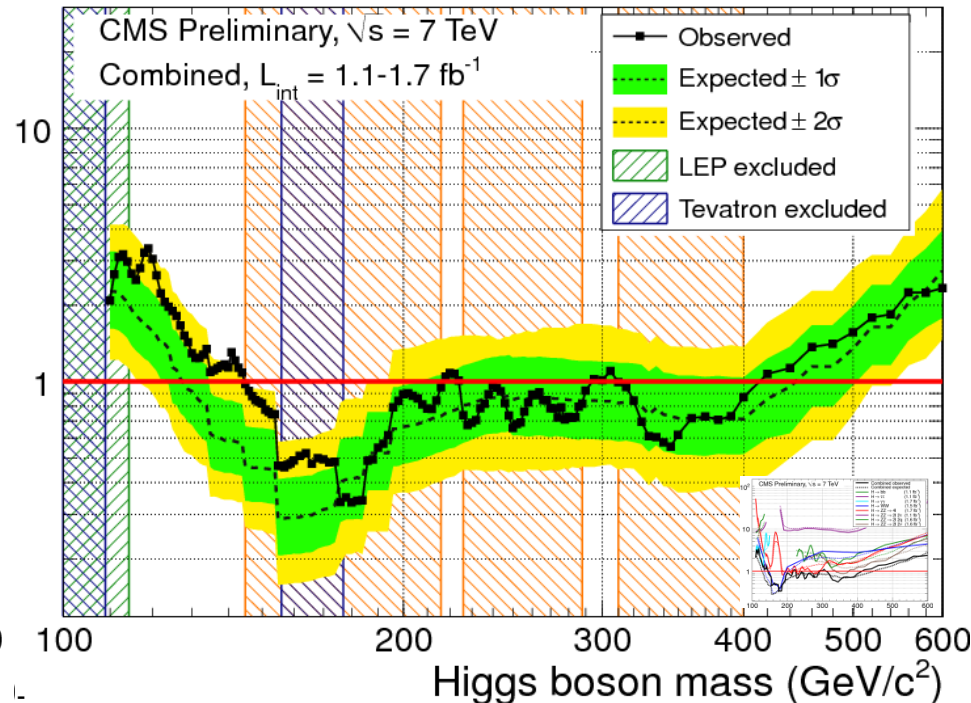
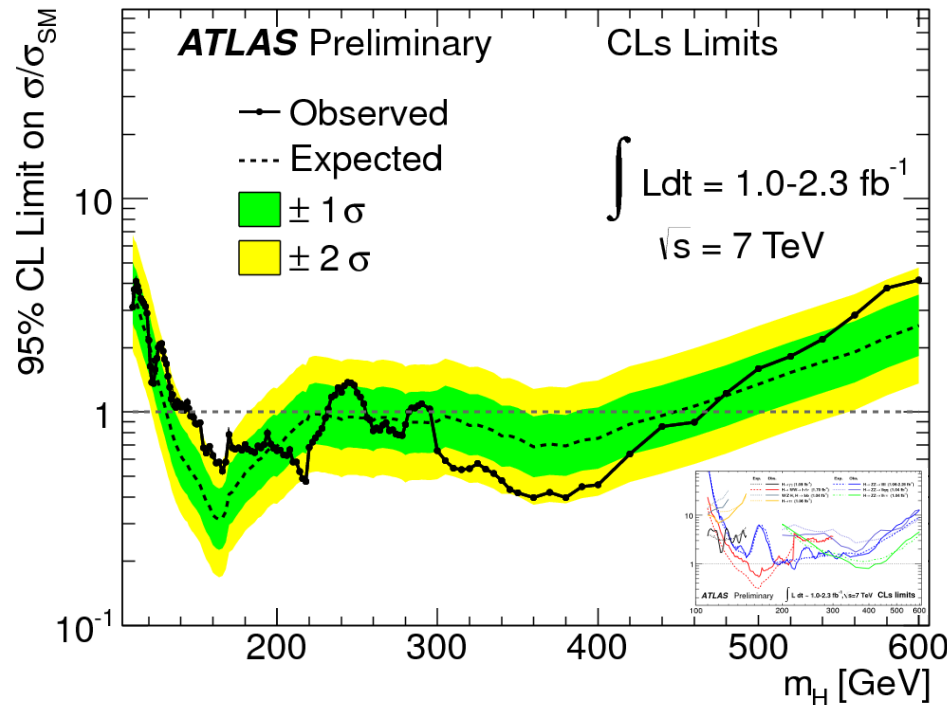
$$296 < m_H < 466 \text{ GeV}$$

CMS:

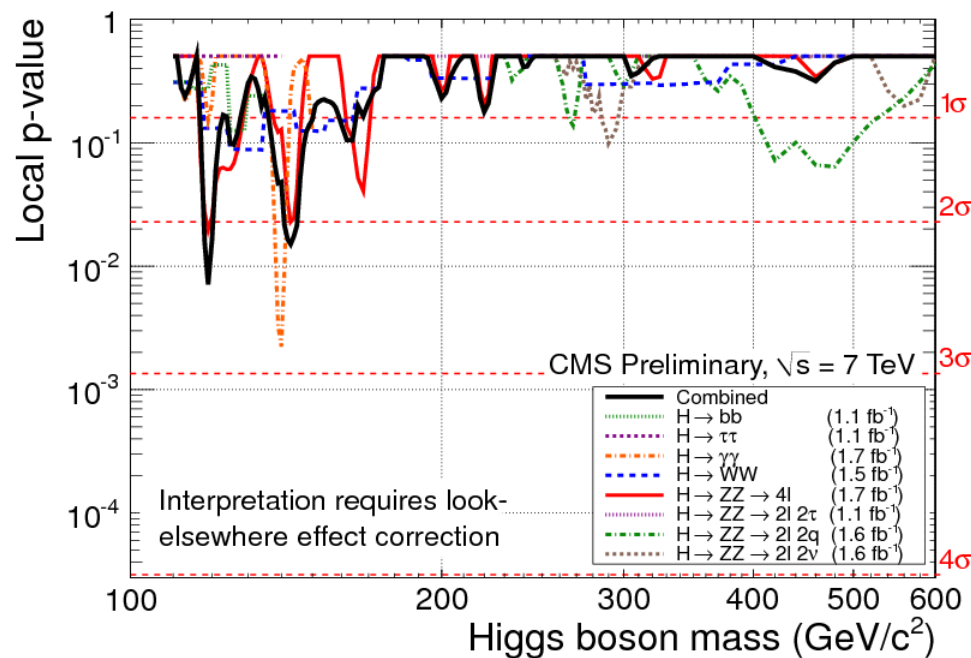
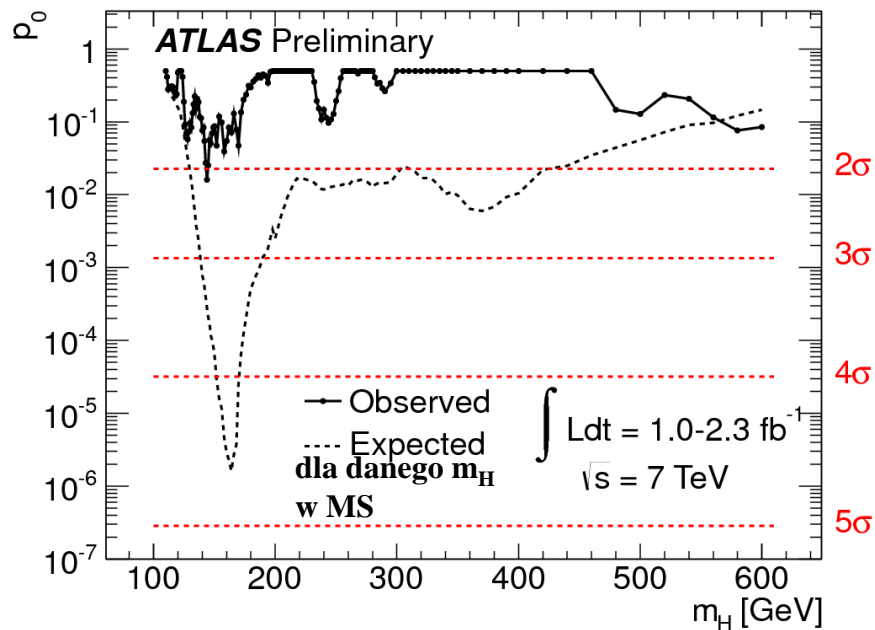
$$145 < m_H < 216 \text{ GeV}$$

$$226 < m_H < 288 \text{ GeV}$$

$$310 < m_H < 400 \text{ GeV}$$



łączone wyniki w ramach ATLAS i CMS

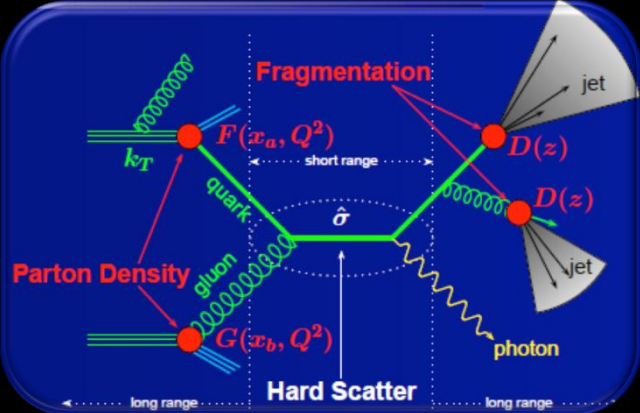


p-value jest szacunkiem prawdopodobieństwa górnej fluktuacji tła do nadmiaru przypadków w danych.

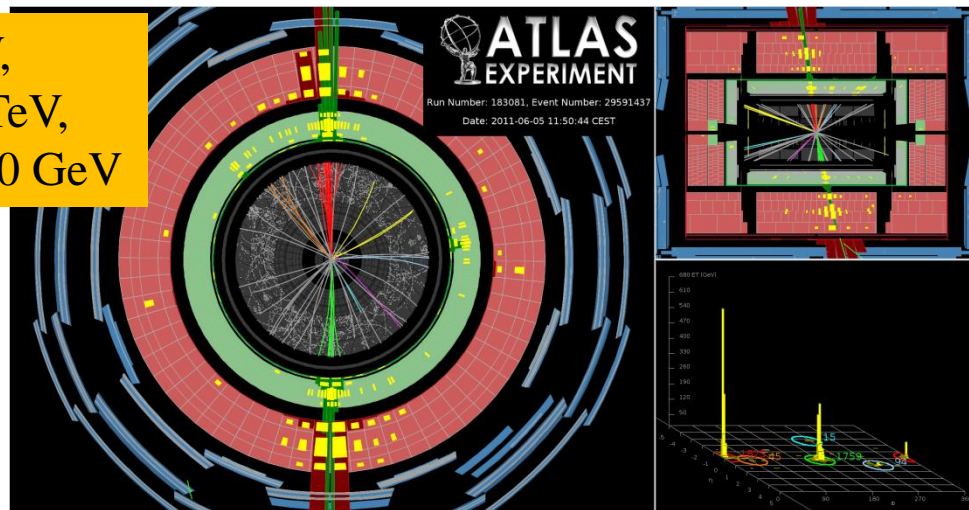
Obserwacje ATLAS i CMS są zgodne z tłem Modelu Standardowego

pomiary w ramach Modelu Standardowego (QCD, W/Z, top, fizyka b)

Chromodynamika kwantowa (QCD)



2x1.8 TeV,
M = 4.0 TeV,
E_t^{miss} = 100 GeV



LHC – nowa era dla (twardej) QCD.

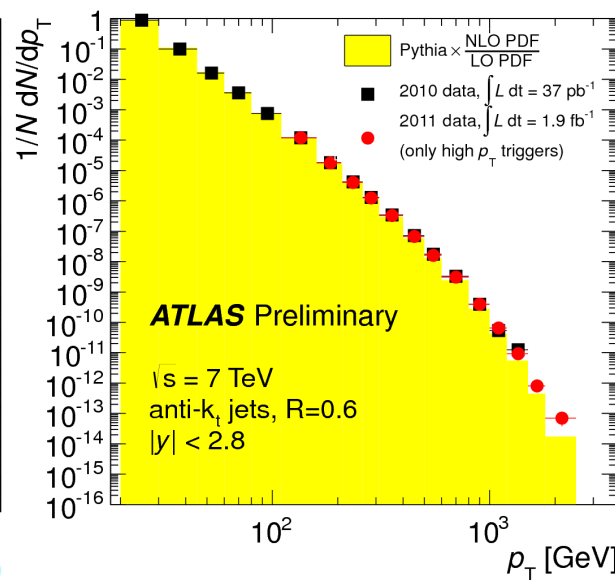
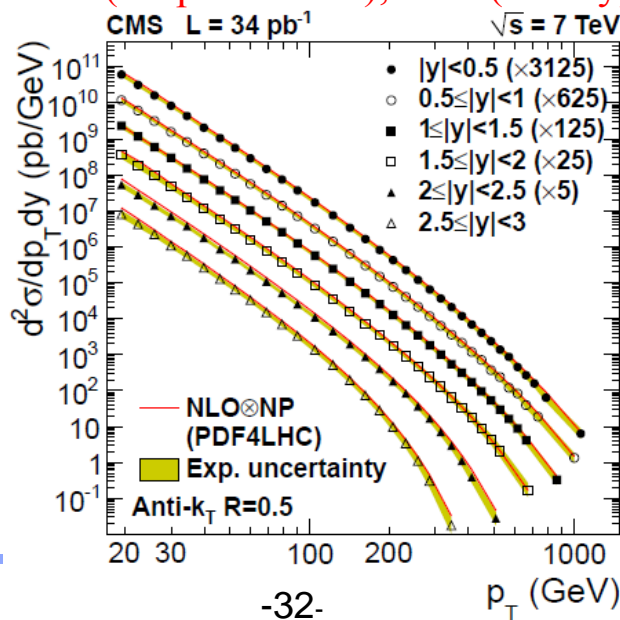
- stan początkowy opisywany przez funkcje gęstości partonów (PDF)
- **twarde rozpraszanie partonów**
- fragmentacja (kaskada partonowa+hadronizacja)

Rachunki QCD w rzędzie wiodącym (LO) często niewystarczające. Konieczne NLO, NNLO

Prec. przewidywania QCD kluczowe dla odkryć.

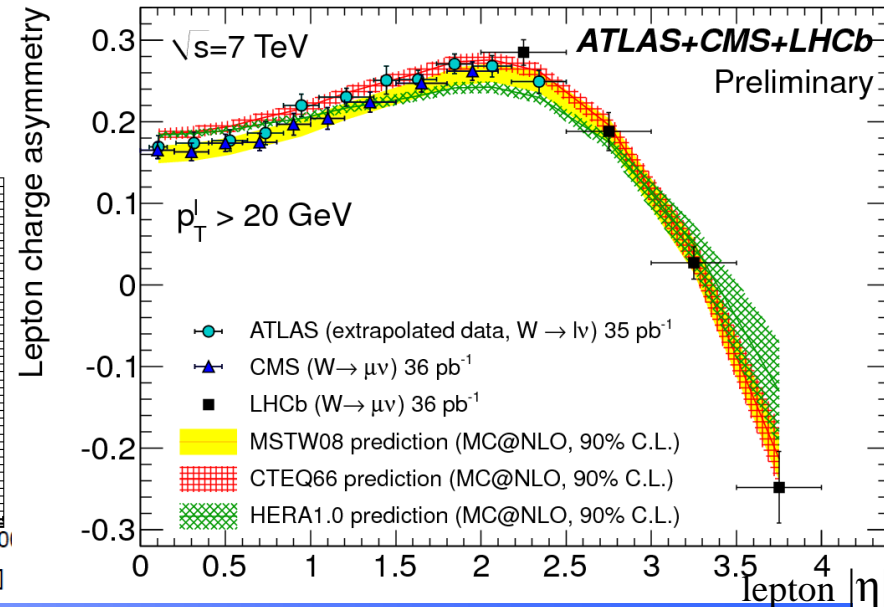
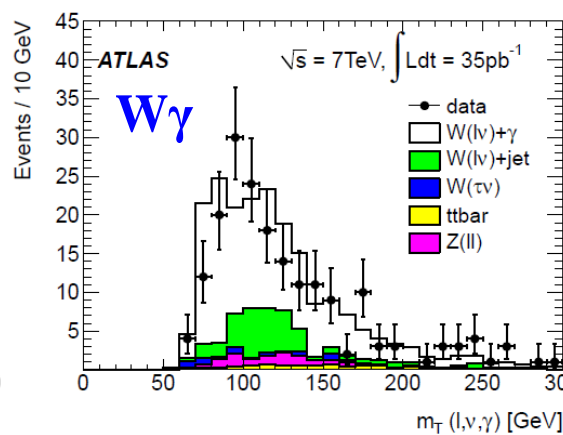
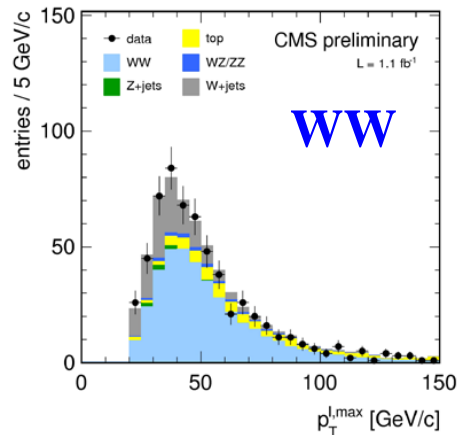
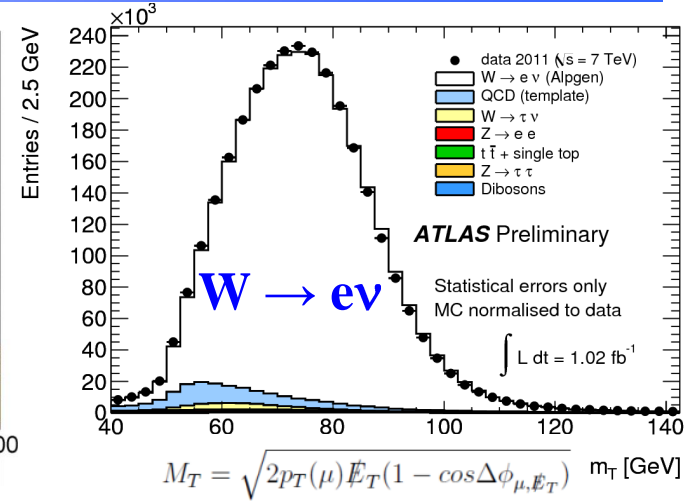
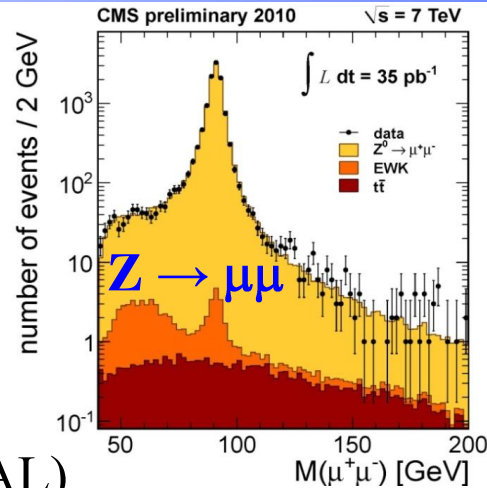
Testy pQCD: produkcja dżetów, fotonów (bezpośrednich), W/Z (+dżety), dżety b, procesy DY

„mięka” QCD (rezultaty 2010):
nieelastyczne przekroje czynne,
oddziaływania dyfrakcyjne,
korelacje dwucząstkowe,
korelacja Bose-Einsteina,
krotności i spektra cząstek nał.



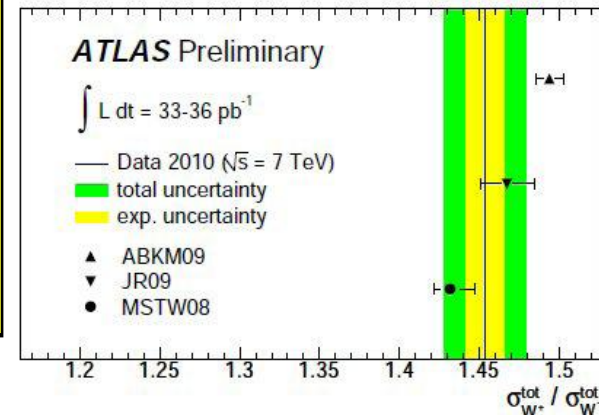
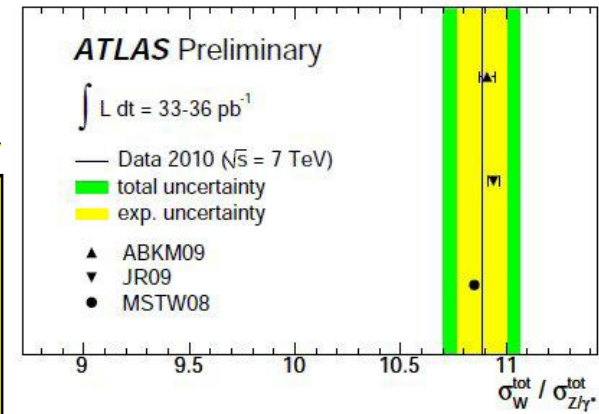
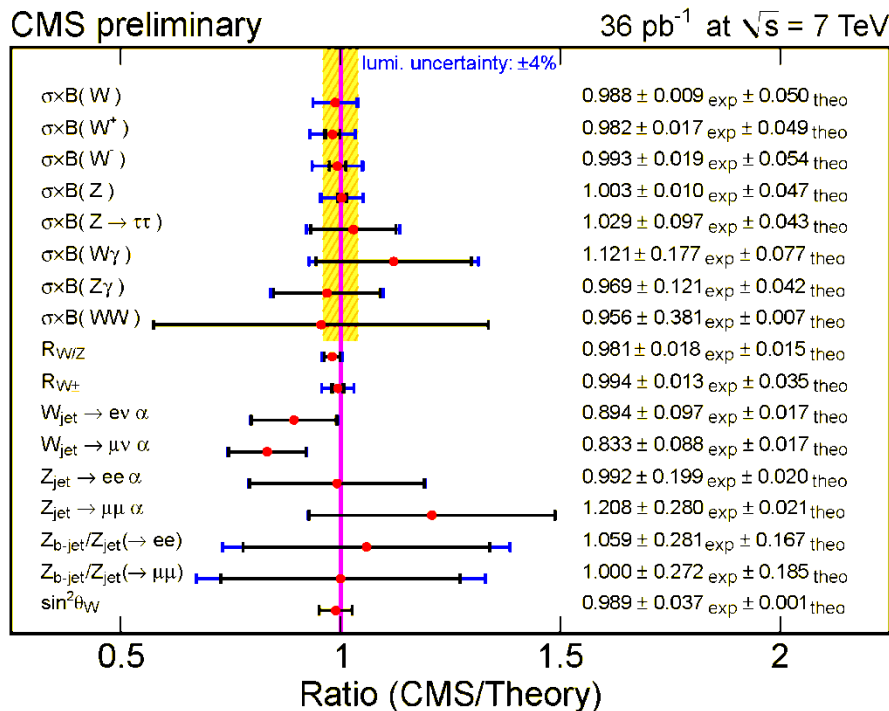
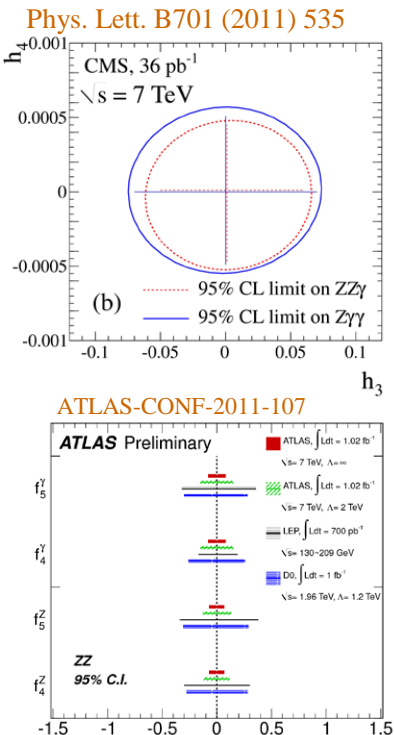
LHC – fabryka W i Z

- podstawowy proces EW
- test jakości rekonstrukcji lept.
- dokładne przewidywania σ – testy pQCD, funkcji gęstości part. prot.
- możliwy estymator $\int L dt$,
- kalibracja kolorymetrów (ECAL)
- ważne tło dla wielu procesów
- czułość na Nową Fizykę



W/Z przekroje czynne i sprzężenia

- precyzyjne pomiary W i Z (w tym WW, WZ, ZZ, Z γ , W γ) zgodne z przewidywaniami Modelu Standardowego



badania kwarku t

najcięższy znany obiekt fundamentalny, sprzężenia do H
 czas rozpadu krótszy od czasu hadronizacji

brak związanych obiektów $t\bar{t}$, w przeciwieństwie do np. $J/\psi = c\bar{c}$, $Y = b\bar{b}$

pole do poszukiwania Nowej Fizyki

kanał rozpadu $t \rightarrow Wb$, stany końcowe: dwuleptonowe, leptonowo-dżetowe, hadronowe
 istnienie kwarku t potwierdzone po osiągnięciu przez LHC energii 7 TeV,

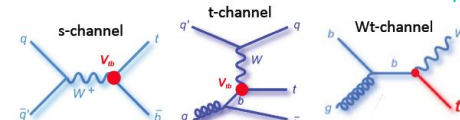
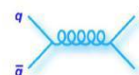
wyznaczane są przekroje czynne i masa t

potwierdzona też elektrosłaba produkcja pojedynczych kwarków t

- Gluon fusion (dominant at LHC)

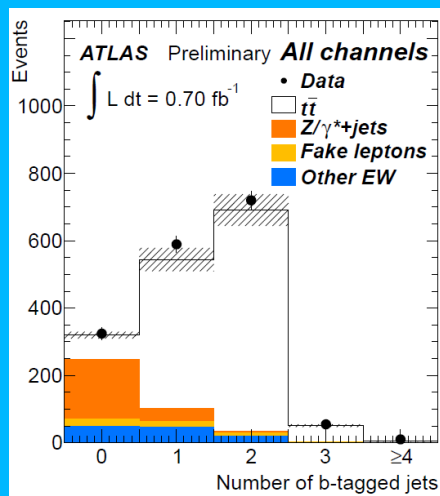


- Quark-antiquark annihilation



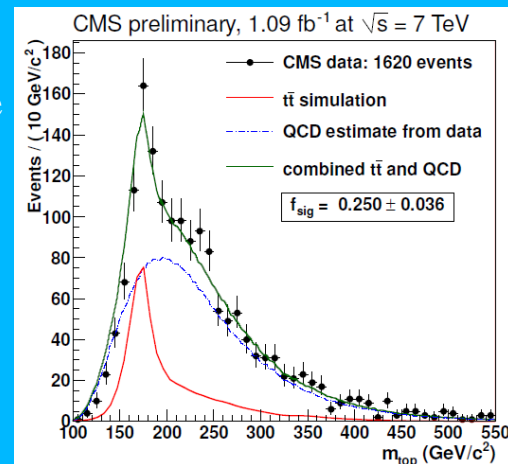
ANALIZA DWULEPTONOWA

- wymagane wysokoenergetyczne leptony
- wymagane (lub nie) dżety znaczone jako b
- używa się na HT i E_T^{miss}



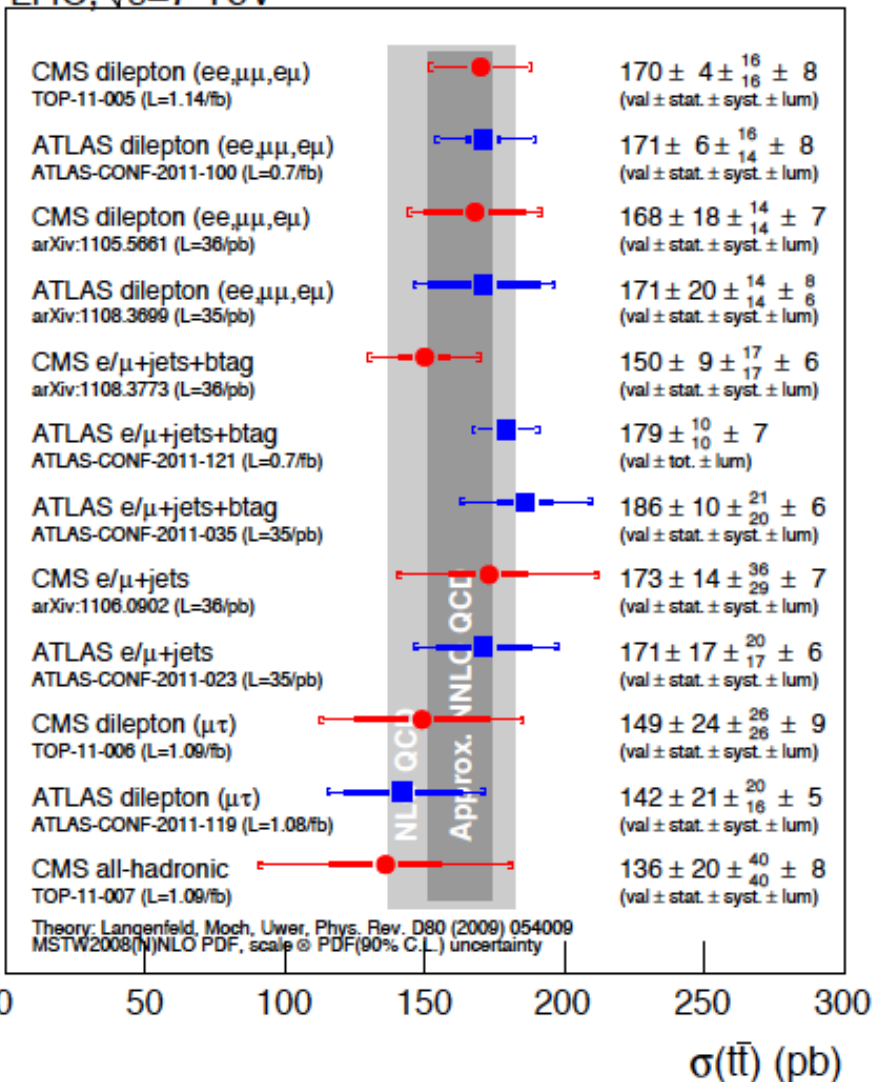
ANALIZA HADRONOWA

- wymagane wysokoenergetyczne dżety (6) w tym 2 znaczone jako b
- dopasowanie oczekiwanego profilu masy sygnału i tła do danych

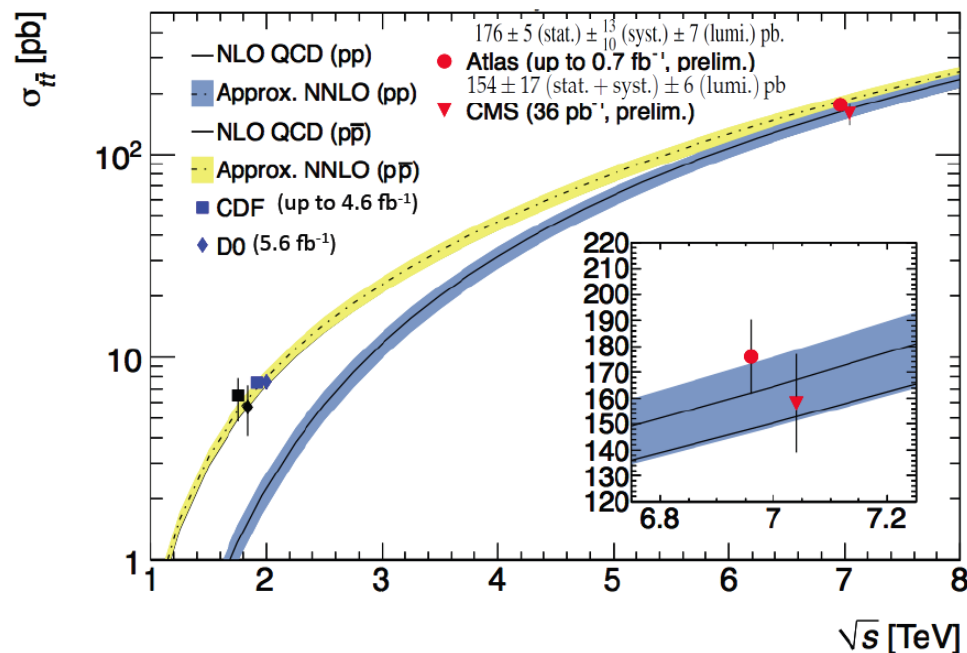


badania kwarku t – zestawienie wyników

LHC, $\sqrt{s}=7$ TeV



pomiary przekrojów czynnych zgadzają się z przewidywaniami.
precyzja pomiarów LHC porównywalna do pomiarów z Tevatronu



fizyka kwarku b

Po uruchomieniu LHC fizyka b zapoczątkowana szybko przez spektroskopię rodziny Y (bb-bar), a następnie obserwacje rozpadów B (bd)/ B_s/B[±] w kanałach zawierających J/ψ.

Ciekawe pomiary 2011-

Atlas: precyzyjne wyznaczenie masy Λ_b(udb),

CMS: poszukiwania rzadkich rozpadów B.

$$\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-) < 1.9 \times 10^{-8} \quad (95\% \text{ C.L.})$$

$$\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-) < 1.6 \times 10^{-8} \quad (90\% \text{ C.L.})$$

$$\mathcal{B}(B^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-) < 4.6 \times 10^{-9} \quad (95\% \text{ C.L.})$$

$$\mathcal{B}(B^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-) < 3.7 \times 10^{-9} \quad (90\% \text{ C.L.})$$

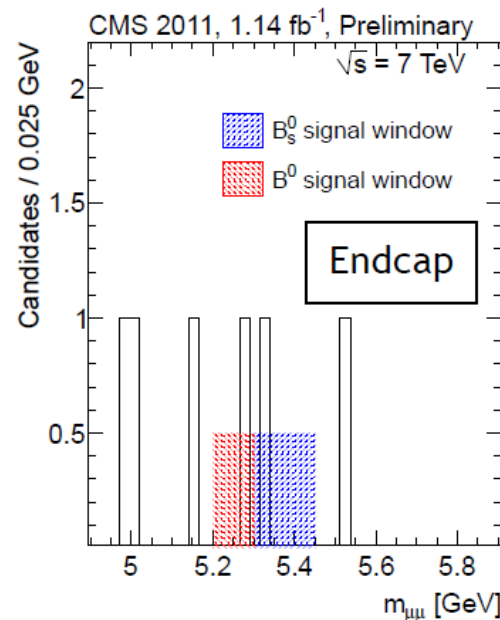
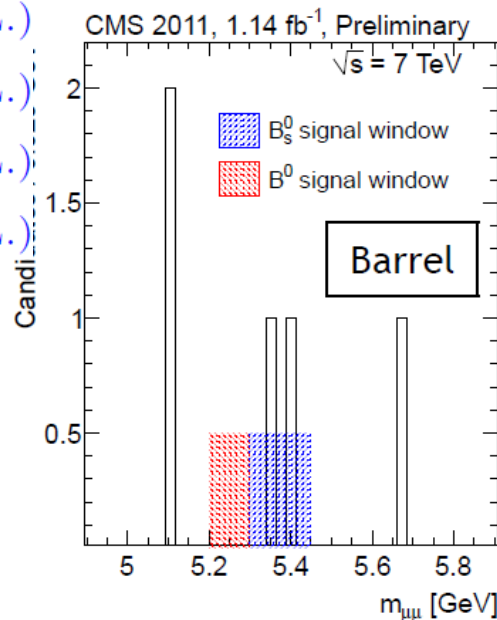
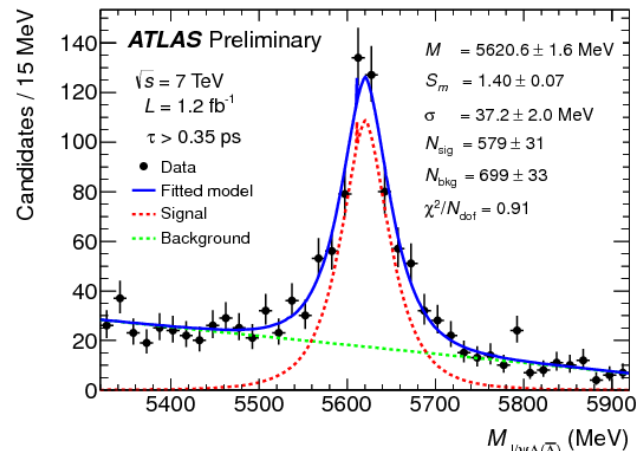
limity wyznaczone przez CMS porównywalne z LHCb

przewidywania teoretyczne:

$$\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-) = (3.2 \pm 0.2) \times 10^{-9}$$

$$\mathcal{B}(B^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-) = (1.0 \pm 0.1) \times 10^{-10}$$

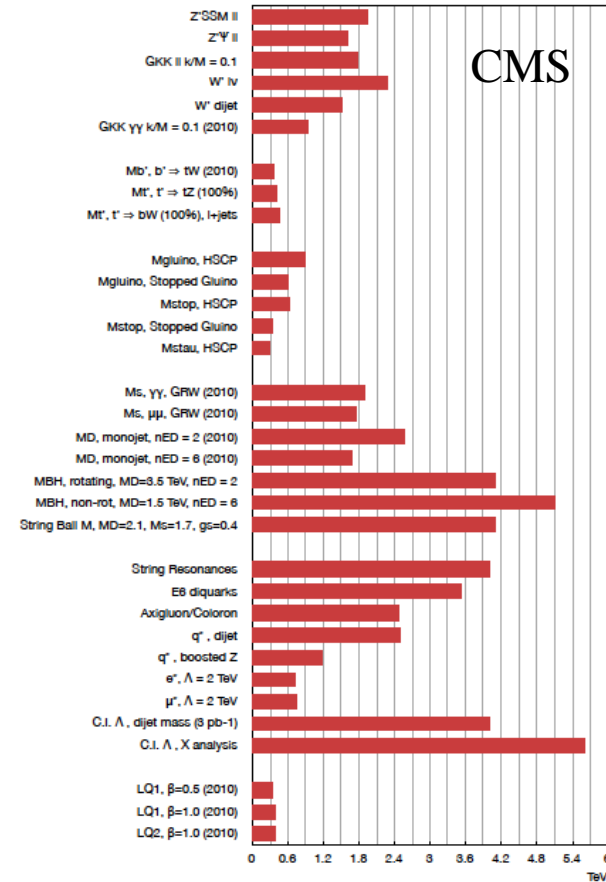
(Buras 2010)



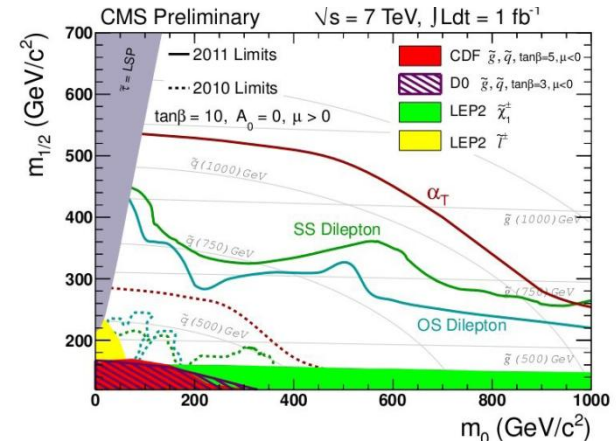
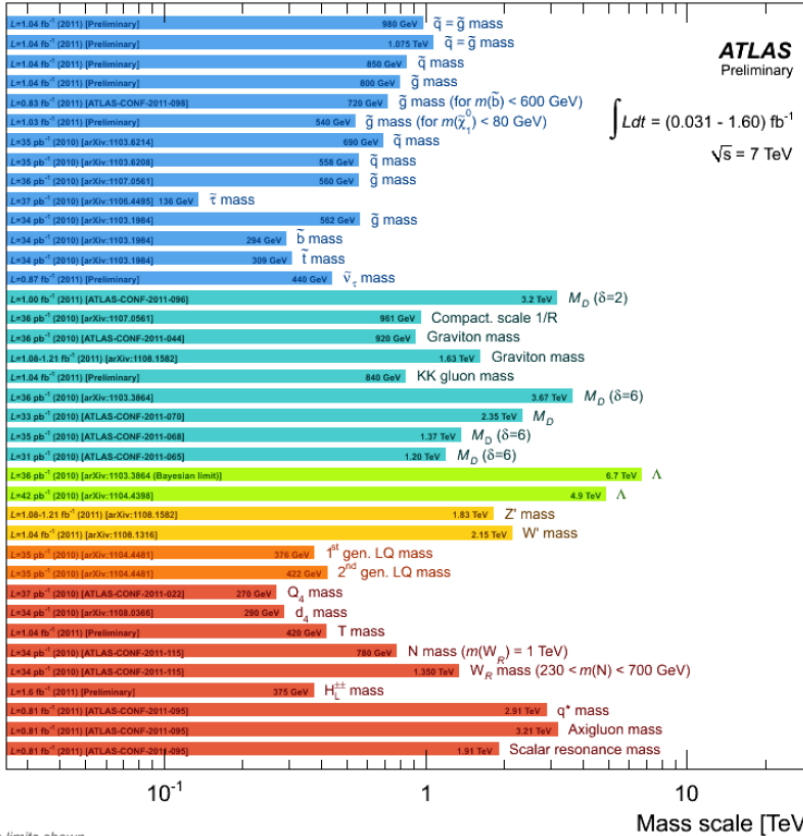
poszukiwania Nowej Fizyki

(Supersymetria, Silna Grawitacja,
Ciężkie Rezonanse, Cząstki Długożyciowe)

CMS



ATLAS Searches* - 95% CL Lower Limits (Lepton-Photon 2011)



SUSY

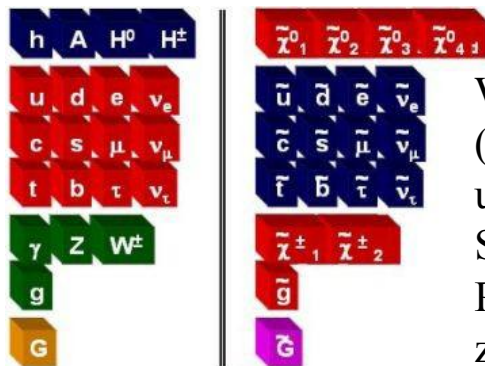
Extra dimensions

LQ Z' / W' Cl. I.

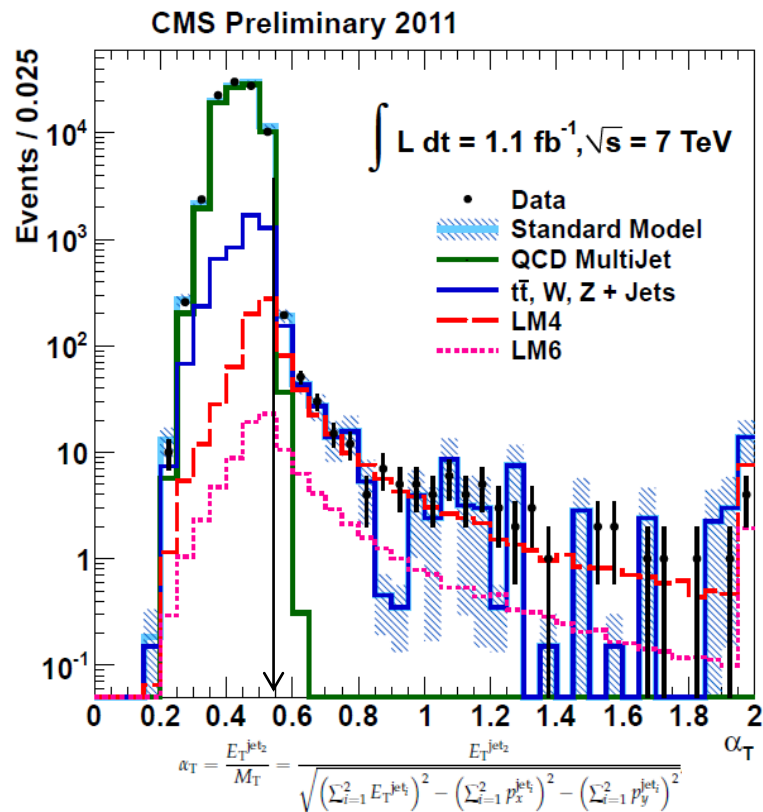
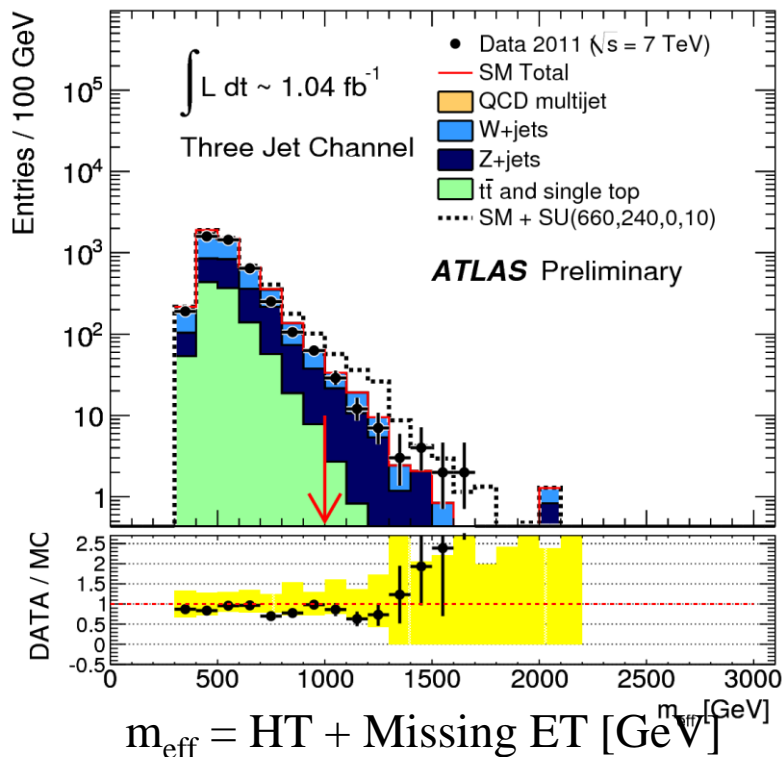
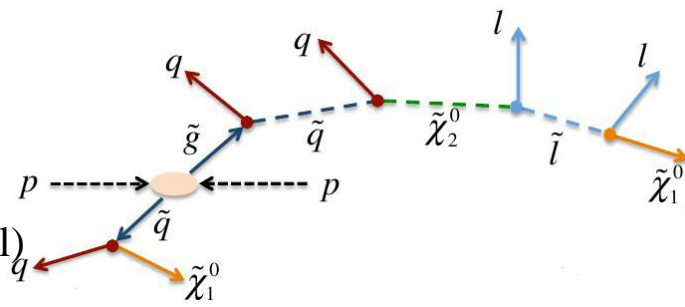
Other

*Only a selection of the available results leading to mass limits shown

Supersymetria (SUSY) z brakującą energią



W podstawowej wersji LSP (najlżejsza cz. supersymetryczna) ucieka nie oddziałując w detektorze
 Sygnatury: wiele dżetów, MET, (b,t,γ,l)
 Poszukiwania trwają, ograniczenia w znacznej przestrzeni parametrów

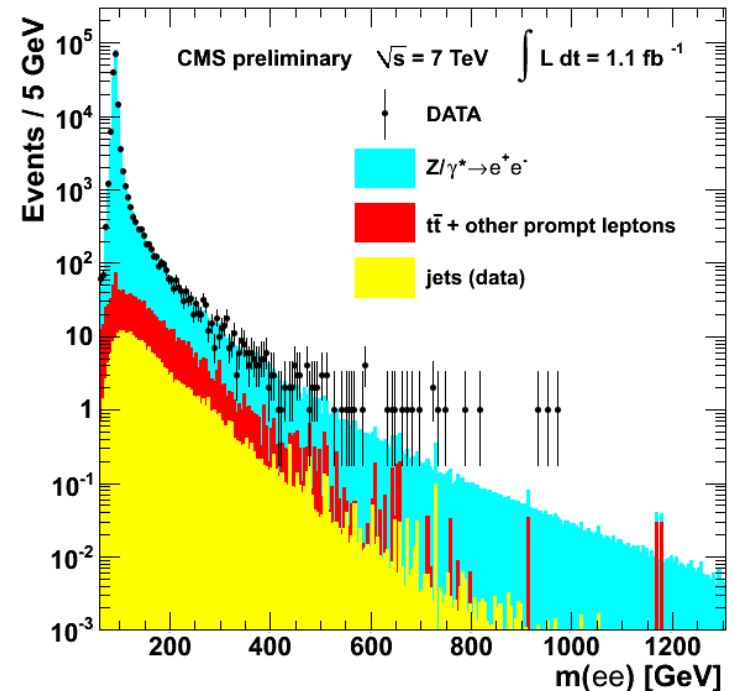
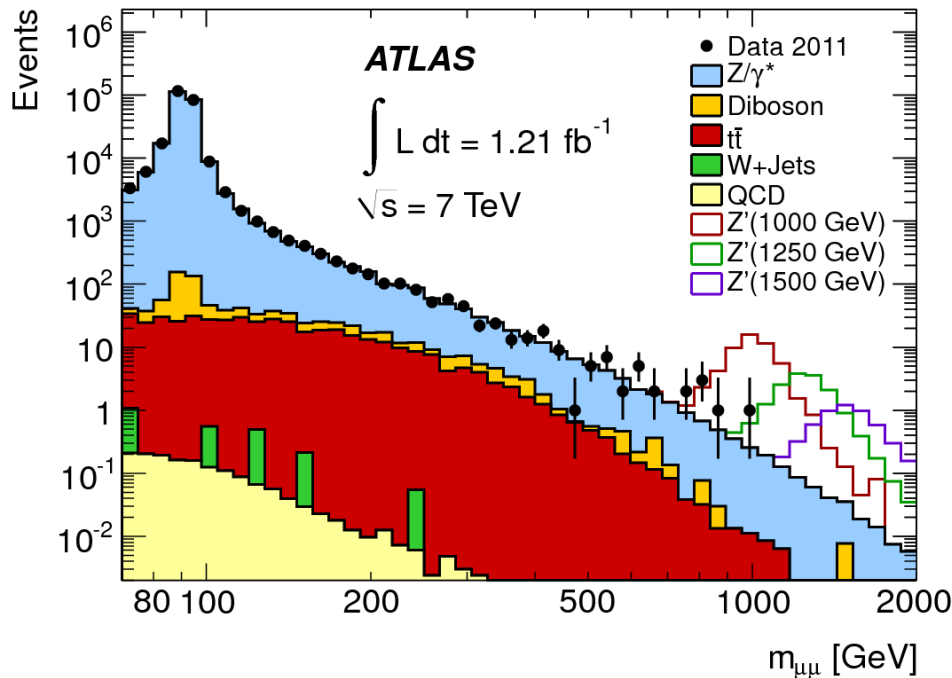


Ciężkie Rezonanse

Ciężkie Rezonanse (ciężkie bozony pośredniczące W'/Z' , technihadrony, wzbudzone grawitony) przewidywane są przez liczne rozszerzenia Modelu Standardowego.

typowe sygnatury: rozpad dwuleptonowe (także tego samego ładunku),
 ν +lepton, dwufotonowe, WZ, dwudżetowe

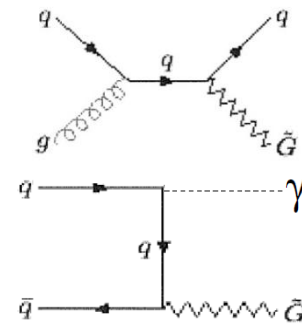
wymagania analiz: dobra rekonstrukcja cząstek o skrajnie dużych energiach



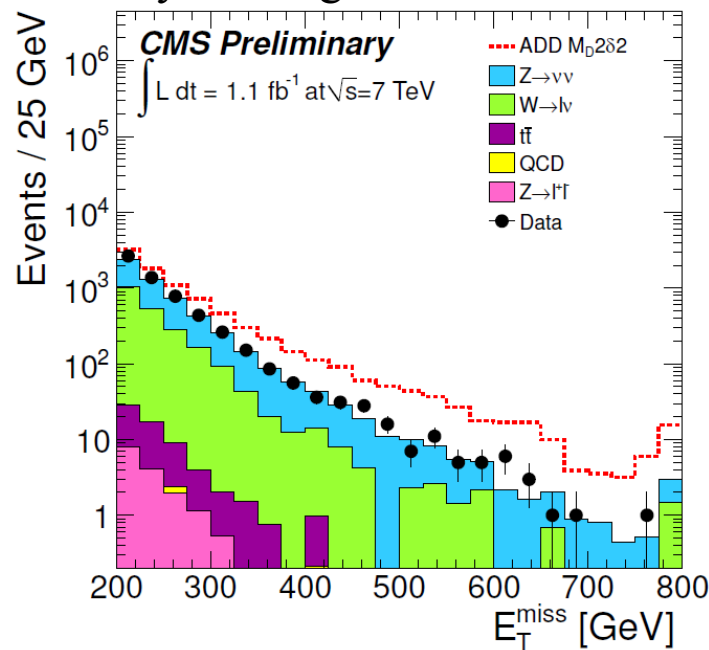
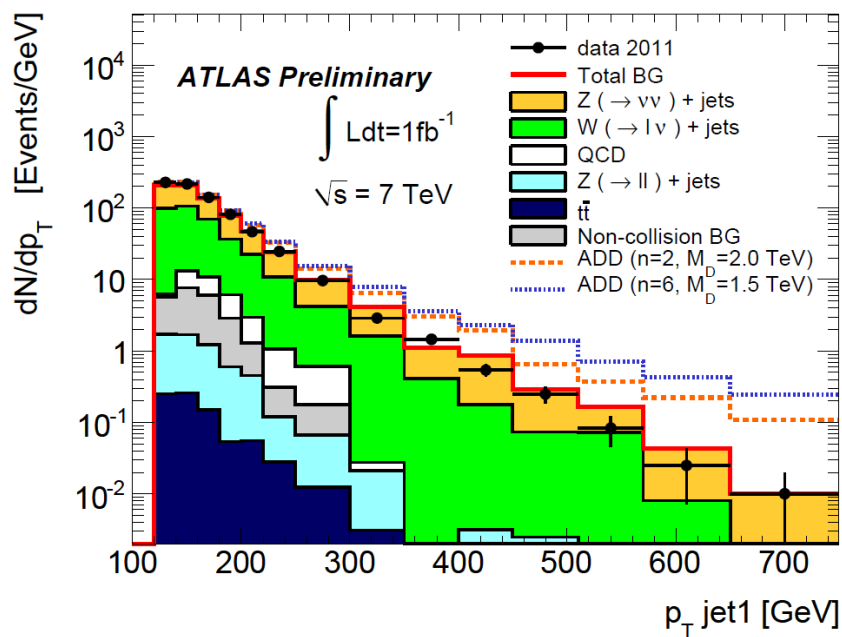
Silna grawitacja

W niektórych modelach grawitacja staje się silna/wzmocniona przy wysokich energiach. Produkowane grawitony uciekają w dodatkowe wymiary.

Typowe sygnatury: wysokoenergetyczne pojedyncze dzety lub fotony mikroskopowe czarne dziury - wiele wysokoenergetycznych dzetów i leptonów,



poszukiwania odstępstw od oczekiwanych rozkładów dla dużych energii obiektów



Egzotyczne Cząstki Długożyciowe

HSCP (Heavy Stable Charged Particles)

– Ciężkie (prawie) stabilne cząstki naładowane.

Przewidywane przez kilka modeli teoretycznych.

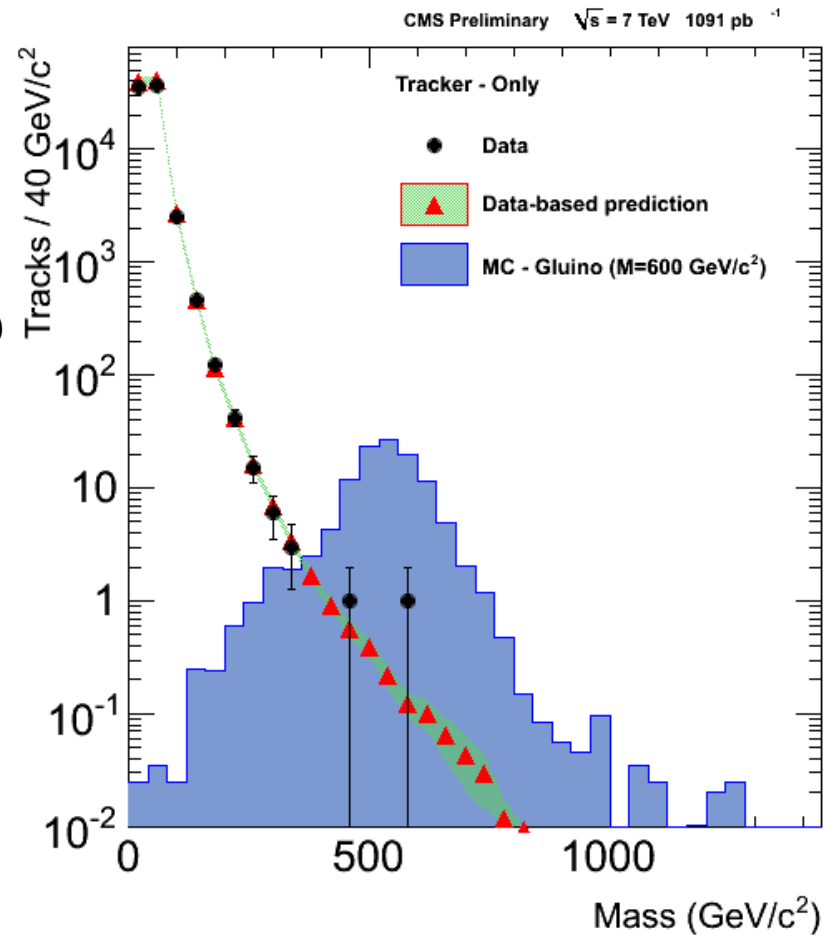
Duży czas życia, - penetrują detektor,
(opcja) straty energii jedynie na jonizację.

Szacowanie masy z dE/dx i czasu przelotu ($\beta \ll c$)

Dodatkowa własność:

sygnał (część danych) pojawia się
w przecięciu (BX) późniejszym.

Dedykowana funkcjonalność trygera PACT
w oparciu o komory RPC.



Podsumowanie

- LHC działa bardzo dobrze. Ok. 2.5fb^{-1} zebrane przez ATLAS i CMS w przeanalizowanych danych (do końca sierpnia – konferencje letnie). Zebrana statystyka „na dziś”: 4fb^{-1} .
- **Poszukiwania cz. Higgsa trwają. Obecnie nie znaleziono bozonu Higgsa.** Oczekiwany przedział wykluczenia: 130-440 GeV. W ramach Modelu Standardowego Bozon Higgsa wykluczony na poziomie ufności 95% w przedziałach mas:

ATLAS:	CMS:
$146 < m_H < 232 \text{ GeV}$	$145 < m_H < 216 \text{ GeV}$
$256 < m_H < 282 \text{ GeV}$	$226 < m_H < 288 \text{ GeV}$
$296 < m_H < 466 \text{ GeV}$	$310 < m_H < 400 \text{ GeV}$
- Wiele interesujących pomiarów i testów Modelu Standardowego.
- **Nie znaleziono przejawów Nowej Fizyki**