

# Obserwacja cząstki H(126/125) przez eksperymenty ATLAS i CMS

Artur Kalinowski

Wydział Fizyki

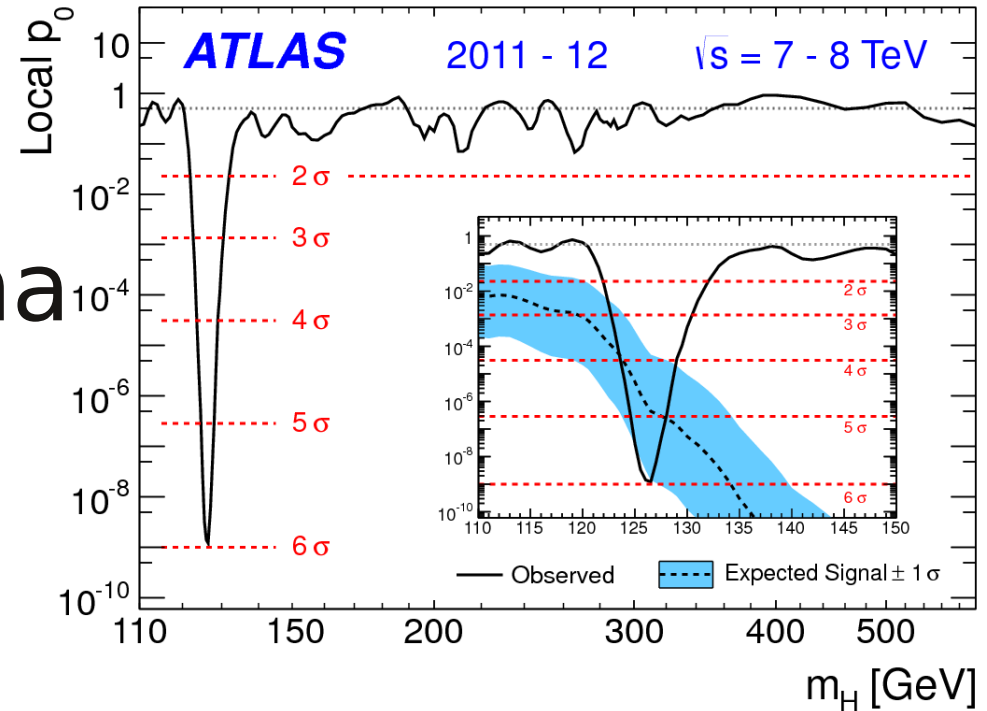
Uniwersytet Warszawski

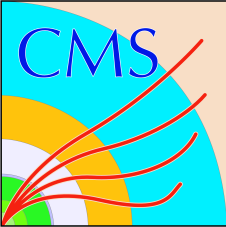
Warszawa, 5 października 2012

$$\begin{aligned} & -\frac{1}{2}\partial_\nu g_\mu^a \partial_\nu g_\mu^a - g_s f^{abc} \partial_\mu g_\nu^a g_\mu^b g_\nu^c - \frac{1}{4}g_s^2 f^{abc} f^{ade} g_\mu^b g_\nu^c g_\mu^d g_\nu^e + \frac{1}{2}ig_s^2(\bar{q}_i^\sigma \gamma^\mu q_j^\sigma)g_\mu^a + \bar{G}^a \partial^2 G^a + g_s f^{abc} \partial_\mu \bar{G}^a G^b g_\mu^c - \\ & \partial_\nu W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - M^2 W_\mu^+ W_\mu^- - \frac{1}{2}\partial_\nu Z_\mu^0 \partial_\nu Z_\mu^0 - \frac{1}{2}M^2 Z_\mu^0 Z_\mu^0 - \frac{1}{2}\partial_\nu A_\mu \partial_\nu A_\mu - \frac{1}{2}\partial_\nu H \partial_\nu H - \frac{1}{2}g_h^2 H^2 - \partial_\mu \phi^+ \partial_\mu \phi^- - \\ & M^2 \phi^+ \phi^- - \frac{1}{2}\partial_\mu \phi^0 \partial_\mu \phi^0 - \frac{1}{2c_w^2} M^2 W_\mu^+ W_\mu^- - \frac{1}{2}g^2 W_\mu^+ W_\mu^- - \frac{1}{2}g^2 W_\mu^- W_\mu^+ - \frac{1}{2}g^2 W_\mu^+ W_\mu^- + \frac{1}{2}g^2 W_\mu^- W_\mu^+ + \\ & W_\nu^+ W_\nu^- - Z_\nu^0 (W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\mu^- \partial_\nu W_\mu^+) + Z_\nu^0 (W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\mu^- \partial_\nu W_\mu^+) - ig_s s_w [\partial_\nu A_\mu (W_\mu^+ W_\nu^- - W_\nu^+ W_\mu^-) - \\ & A_\nu (W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\mu^- \partial_\nu W_\mu^+) + A_\nu (W_\mu^+ \partial_\nu W_\mu^- - W_\mu^- \partial_\nu W_\mu^+) - \frac{1}{2}g^2 W_\mu^+ W_\nu^- W_\mu^+ W_\nu^- + \\ & g^2 c_w^2 (Z_\mu^0 W_\mu^+ Z_\nu^0 W_\nu^- - Z_\mu^0 Z_\nu^0 W_\mu^+ W_\nu^-) + g^2 s_w^2 (A_\mu W_\mu^+ A_\nu W_\nu^- - A_\mu A_\nu W_\mu^+ W_\nu^-) + g^2 s_w c_w [A_\mu Z_\nu^0 (W_\mu^+ W_\nu^- - \\ & W_\nu^+ W_\mu^-) - 2A_\mu Z_\nu^0 (W_\mu^+ W_\nu^- - W_\nu^+ W_\mu^-)] + \frac{1}{2}g^2 s_w^2 [H^2 + (\phi^0)^2 + 2\phi^+ \phi^- + 2\phi^0 \phi^+ + 2\phi^0 \phi^-] + \\ & 4H^2 \phi^+ \phi^- + 2(\phi^0)^2 H^2 - g M W_\mu^+ W_\mu^- H - \frac{1}{2}g^2 c_w^2 Z_\mu^0 Z_\mu^0 H - \frac{1}{2}ig [W_\mu^+ (\partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) - W_\mu^- (\phi^0 \partial_\mu \phi^+ - \phi^+ \partial_\mu \phi^0)] + \\ & \frac{1}{2}g [W_\mu^+ (H \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu H) - W_\mu^- (H \partial_\mu \phi^+ - \phi^+ \partial_\mu H) - ig \frac{s_w^2}{c_w} M Z_\mu^0 (W_\mu^+ \phi^- - \\ & W_\mu^- \phi^+) + ig s_w M A_\mu (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) - ig \frac{1-2c_w^2}{2c_w} Z_\mu^0 (\phi^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) + ig s_w A_\mu (\phi^+ \partial_\mu \phi^- - \phi^- \partial_\mu \phi^+) - \\ & \frac{1}{4}g^2 W_\mu^+ W_\mu^- [H^2 + (\phi^0)^2 + 2\phi^+ \phi^-] - \frac{1}{2}g^2 \frac{s_w^2}{c_w} Z_\mu^0 \phi^0 (W_\mu^+ \phi^- + \\ & W_\mu^- \phi^+) - \frac{1}{2}ig^2 \frac{s_w^2}{c_w} Z_\mu^0 H (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) + \frac{1}{2}ig^2 s_w A_\mu H (W_\mu^+ \phi^- - W_\mu^- \phi^+) - \\ & g^2 \frac{s_w}{c_w} (2c_w^2 - 1) Z_\mu^0 A_\mu \phi^+ \phi^- - g^1 s_w^2 A_\mu A_\mu \phi^+ \phi^- - \bar{u}_j^\lambda (\gamma \partial + m_u^\lambda) u_j^\lambda - \bar{d}_j^\lambda (\gamma \partial + m_d^\lambda) d_j^\lambda + \\ & ig s_w A_\mu [-(\bar{e}^\lambda \gamma^\mu e^\lambda) + \frac{2}{3}(\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu u_j^\lambda) - \frac{1}{3}(\bar{d}_j^\lambda \gamma^\mu d_j^\lambda)] + \frac{ig}{4c_w} Z_\mu^0 [(\bar{\nu}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) \nu^\lambda) + (\bar{e}^\lambda \gamma^\mu (4s_w^2 - 1 - \gamma^5) e^\lambda) + (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu (\frac{4}{3}s_w^2 - \\ & 1 - \gamma^5) u_j^\lambda) + (\bar{d}_j^\lambda \gamma^\mu (1 - \frac{8}{3}s_w^2 - \gamma^5) d_j^\lambda)] + \frac{ig}{2\sqrt{2}} W_\mu^+ [(\bar{\nu}^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) e^\lambda) + (\bar{u}_j^\lambda \gamma^\mu (1 + \gamma^5) C_{\lambda\kappa} d_j^\kappa)] + \frac{ig}{2\sqrt{2}} W_\mu^- [(\bar{e}^\lambda \gamma^\mu (1 + \\ & \gamma^5) \nu^\lambda) + (\bar{d}_j^\kappa C_{\lambda\kappa}^\dagger \gamma^\mu (1 + \gamma^5) u_j^\lambda)] - \frac{g}{2} \frac{m_\lambda}{M} [H(\bar{e}^\lambda e^\lambda) + \\ & i\phi^0(\bar{e}^\lambda \gamma^5 e^\lambda)] + \frac{ig}{2M\sqrt{2}} \phi^+ [-m_d^\kappa (\bar{u}_j^\lambda C_{\lambda\kappa} (1 - \gamma^5) d_j^\kappa) + m_u^\lambda (\bar{u}_j^\lambda C_{\lambda\kappa} (1 + \gamma^5) d_j^\kappa) + \frac{ig}{2M\sqrt{2}} \phi^- [m_d^\lambda (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda\kappa}^\dagger (1 + \gamma^5) u_j^\kappa) - \\ & m_u^\kappa (\bar{d}_j^\lambda C_{\lambda\kappa}^\dagger (1 - \gamma^5) u_j^\kappa) - \frac{g}{2} \frac{m_\lambda}{M} H(\bar{u}_j^\lambda u_j^\lambda) - \frac{g}{2} \frac{m_\lambda}{M} H(\bar{d}_j^\lambda d_j^\lambda) + \frac{ig}{2} \frac{m_\lambda}{M} \phi^0 (\bar{u}_j^\lambda \gamma^5 u_j^\lambda) - \frac{ig}{2} \frac{m_\lambda}{M} \phi^0 (\bar{d}_j^\lambda \gamma^5 d_j^\lambda) + \bar{X}^+ (\partial^2 - \\ & M^2) X^+ + \bar{X}^- (\partial^2 - M^2) X^- + \bar{X}^0 (\partial^2 - \frac{M^2}{c_w^2}) X^0 + \bar{Y} \partial^2 Y + ig c_w W_\mu^+ (\partial_\mu \bar{X}^0 X^- - \partial_\mu \bar{X}^+ X^0) + ig s_w W_\mu^+ (\partial_\mu \bar{Y} X^- - \\ & \partial_\mu \bar{X}^+ Y) + ig c_w W_\mu^- (\partial_\mu \bar{X}^- X^0 - \partial_\mu \bar{X}^0 X^+) + ig s_w W_\mu^- (\partial_\mu \bar{X}^- Y - \partial_\mu \bar{Y} X^+) + ig c_w Z_\mu^0 (\partial_\mu \bar{X}^+ X^+ - \partial_\mu \bar{X}^- X^-) + \\ & ig s_w A_\mu (\partial_\mu \bar{X}^+ X^+ - \partial_\mu \bar{X}^- X^-) - \frac{1}{2}g M [\bar{X}^+ X^+ H + \bar{X}^- X^- H + \frac{1}{c_w^2} \bar{X}^0 X^0 H] + \frac{1-2c_w^2}{2c_w} ig M [\bar{X}^+ X^0 \phi^+ - \\ & \bar{X}^- X^0 \phi^-] + \frac{1}{2c_w} ig M [\bar{X}^0 X^- \phi^+ - \bar{X}^0 X^+ \phi^-] + ig M s_w [\bar{X}^0 X^- \phi^+ - \bar{X}^0 X^+ \phi^-] + \frac{1}{2}ig M [\bar{X}^+ X^+ \phi^0 - \bar{X}^- X^- \phi^0] \end{aligned}$$

Lagranżjan MS spisany przez T.D. Gutierrez'a na podstawie dodatków do „Diagrammatica” Martinusa Veltmanna.

- Bardzo krótko czym jest bozon Higgsa
- Wyniki poszukiwań na podstawie do  $10 \text{ fb}^{-1}$  danych
- Analiza zgodności z MS
- Podsumowanie





# Bozon Higgsa



**Polka została szefową Rady Europejskiej Organizacji  
Badań Jądrowych CERN**

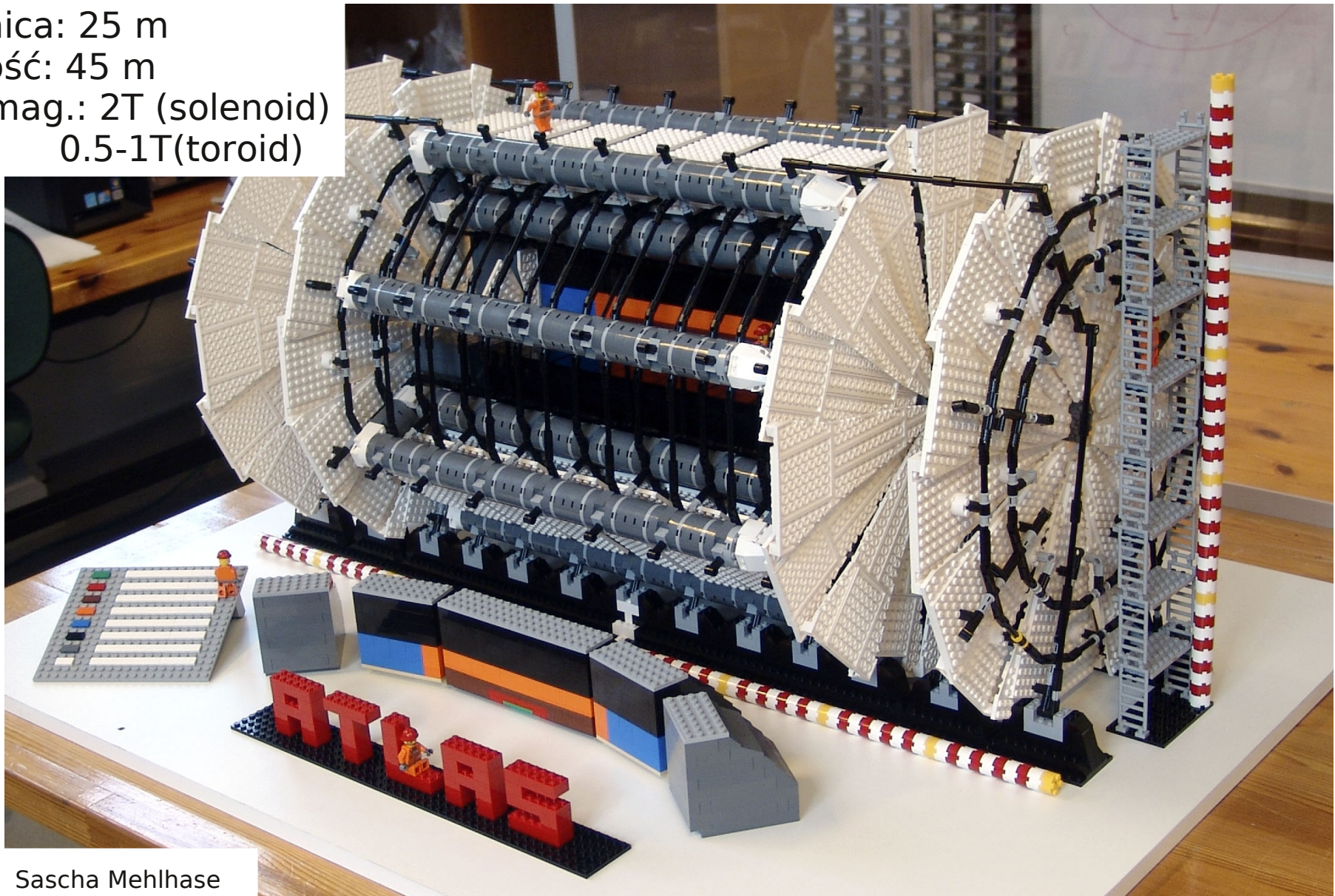
[czwartek, 20 września 2012](#)

**Prof. Agnieszka Zalewska stanie na czele Rady Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych CERN. To pierwsza w historii kobieta i pierwsza Polka, która pokieruje badaniami w tym największym laboratorium naukowym Europy.**

Prof. Agnieszka Zalewska z Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie, specjalistka w dziedzinie fizyki wysokich energii, badaczka neutrin i ciemnej materii, w wyniku czwartkowego głosowania obejmie przewodnictwo w Radzie CERN – mieszczącego się pod Genewą, największego na świecie laboratorium fizyki cząstek. To tam zbudowano Wielki Zderzacz Hadronów, a niedawno potwierdzono odkrycie **bozonu Higgsa, cząsteczki która dała początek wszelkiej materii.**

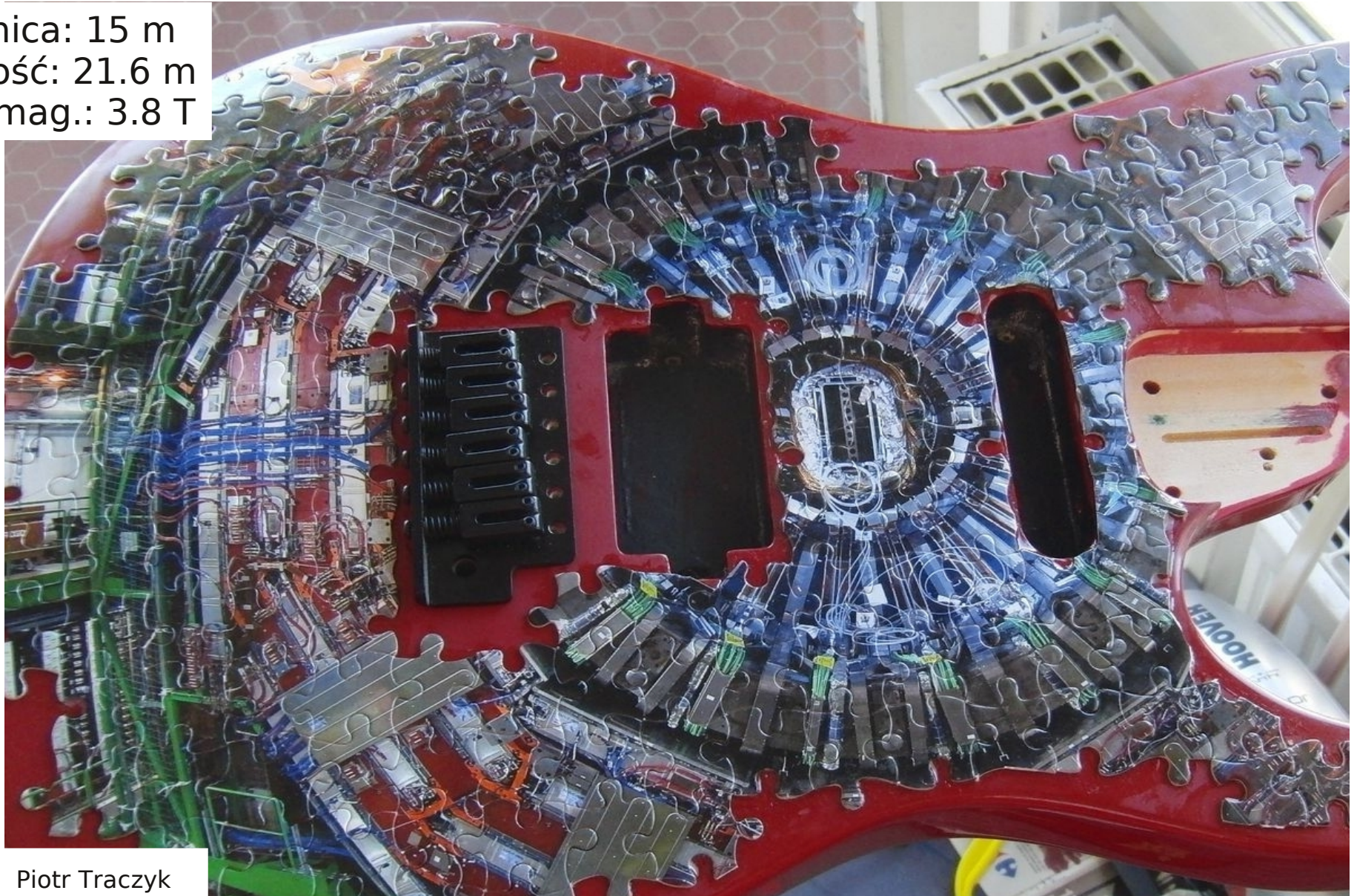
# ATLAS

Średnica: 25 m  
Długość: 45 m  
Pole mag.: 2T (solenoid)  
0.5-1T (toroid)



Sascha Mehlhase

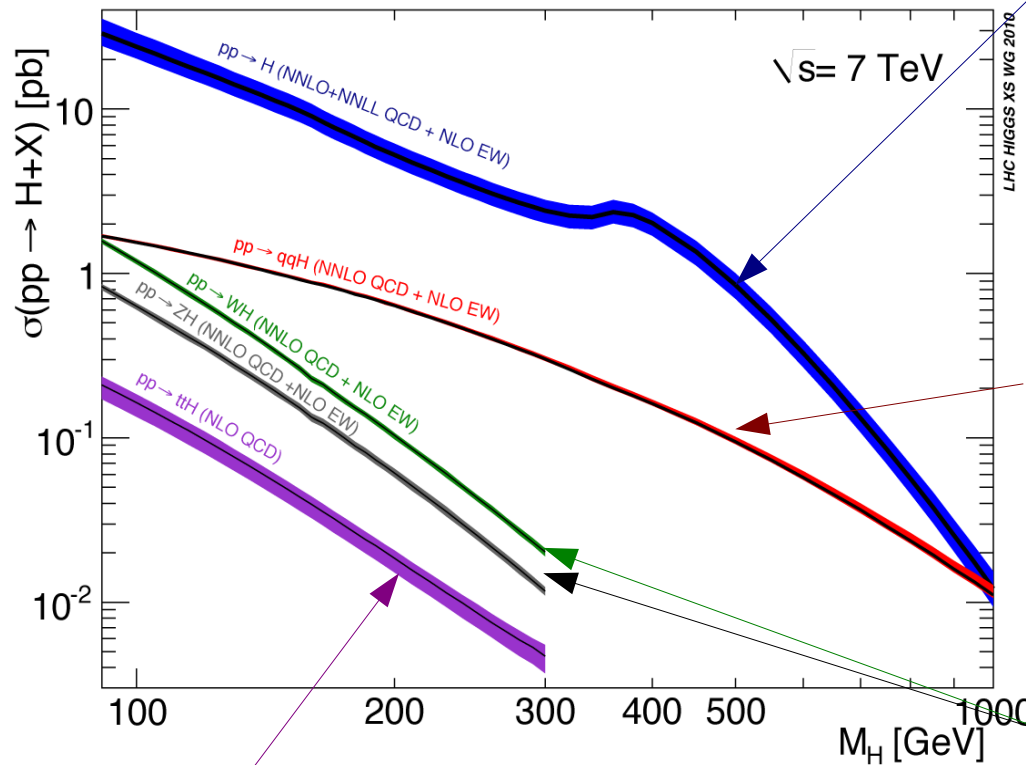
Średnica: 15 m  
Długość: 21.6 m  
Pole mag.: 3.8 T



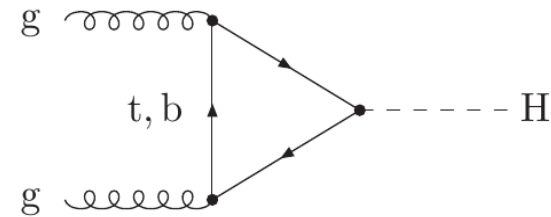
Piotr Traczyk



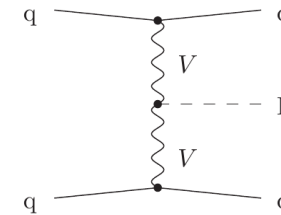
# Kanały produkcji bozonu Higgsa w LHC



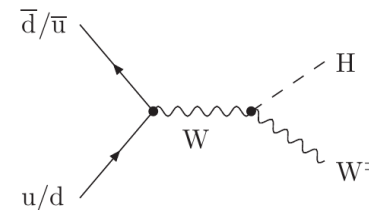
• Fuzja gluon-gluon,  $gg \rightarrow H$ :  
 $\sigma(m_H=125) = 15.32 \text{ pb}$



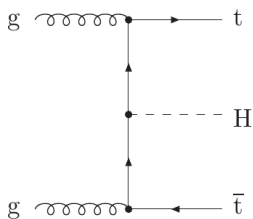
• Fuzja bozonów pośredniczących (Vector Boson Fusion, VBF)  $qq \rightarrow qqH$ :  
 $\sigma(m_H=125) = 1.21 \text{ pb}$



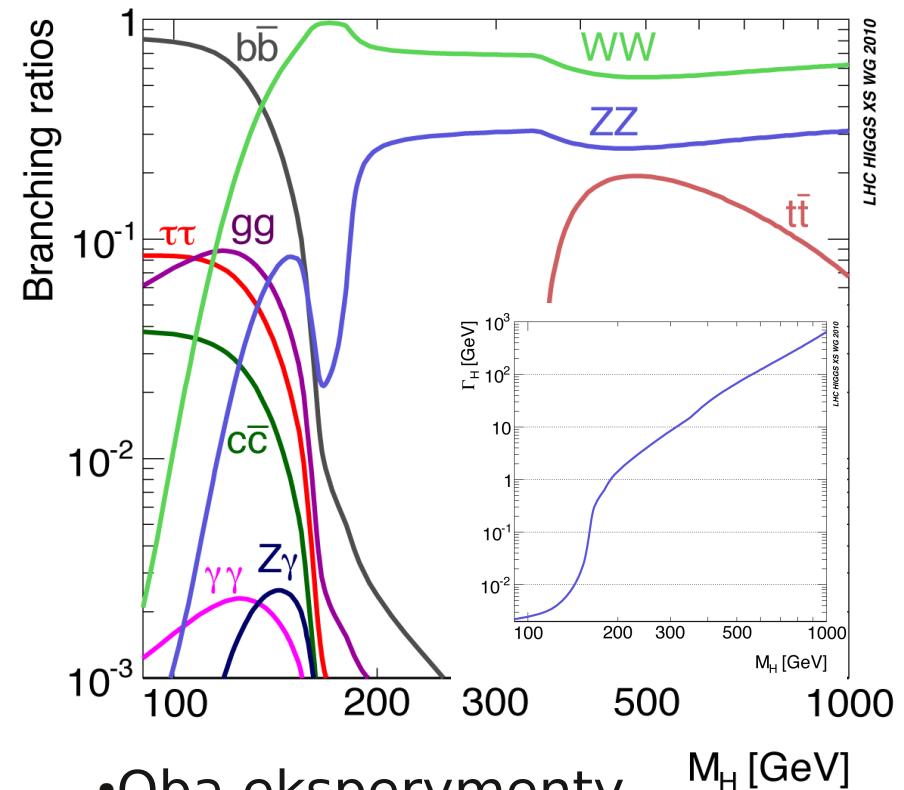
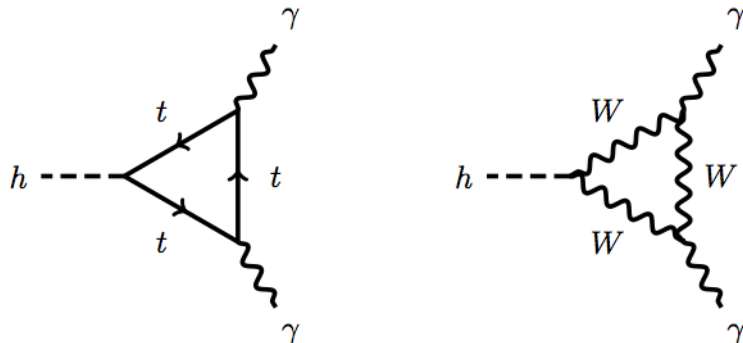
• Produkcja stowarzyszona VH:  
 $qq' \rightarrow WH \sigma(m_H=125) = 0.57 \text{ pb}$   
 $qq \rightarrow ZH \sigma(m_H=125) = 0.32 \text{ pb}$



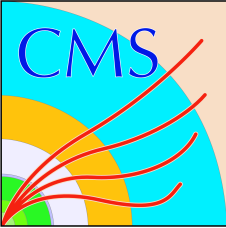
• Produkcja stowarzyszona ttH:  
 $qq \rightarrow ttH \sigma(m_H=125) = 0.086 \text{ pb}$



- Obserwacja w kanałach  $WW$  i  $ZZ$  jest nieodzowna dla potwierdzenia mechanizmu Higgsa
- Rozpady na fermiony nie są konieczne – można sobie wyobrazić różne warianty fermiofobiczne (ale to nie będzie już “klasyczny MS”)
- Rozpad  $H \rightarrow \gamma\gamma$  zachodzi jedynie przez pętle. Pomiar  $BR(H \rightarrow \gamma\gamma)$  nakłada ograniczenia na sprzężenia do  $W$  i  $t$



- Oba eksperymenty analizują kanały:  $WW$ ,  $ZZ$ ,  $\gamma\gamma$ ,  $bb$  i  $\tau\tau$
- $\mu\mu$  jest analizowany w kontekście MSSM



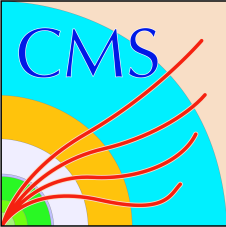
# Analizowane kanały: ATLAS



Higgs Boson Decay	Subsequent Decay	Sub-Channels	$m_H$ Range [GeV]	$\int L dt$ [fb <sup>-1</sup> ]	Ref.
2011 $\sqrt{s} = 7$ TeV					
$H \rightarrow ZZ^{(*)}$	$4\ell$	$\{4e, 2e2\mu, 2\mu2e, 4\mu\}$	110–600	4.8	[87]
	$\ell\nu\bar{\nu}$	$\{ee, \mu\mu\} \otimes \{\text{low, high pile-up}\}$	200–280–600	4.7	[125]
	$\ell\ell q\bar{q}$	$\{b\text{-tagged, untagged}\}$	200–300–600	4.7	[126]
$H \rightarrow \gamma\gamma$	–	10 categories $\{p_{Tt} \otimes \eta_\gamma \otimes \text{conversion}\} \oplus \{2\text{-jet}\}$	110–150	4.8	[127]
$H \rightarrow WW^{(*)}$	$\ell\nu\bar{\nu}$	$\{ee, e\mu/\mu e, \mu\mu\} \otimes \{0\text{-jet, 1-jet, 2-jet}\} \otimes \{\text{low, high pile-up}\}$	110–200–300–600	4.7	[106]
	$\ell\nu qq'$	$\{e, \mu\} \otimes \{0\text{-jet, 1-jet, 2-jet}\}$	300–600	4.7	[128]
$H \rightarrow \tau\tau$	$\tau_{\text{lep}}\tau_{\text{lep}}$	$\{e\mu\} \otimes \{0\text{-jet}\} \oplus \{\ell\ell\} \otimes \{1\text{-jet, 2-jet, } VH\}$	110–150	4.7	[129]
	$\tau_{\text{lep}}\tau_{\text{had}}$	$\{e, \mu\} \otimes \{0\text{-jet}\} \otimes \{E_T^{\text{miss}} < 20 \text{ GeV}, E_T^{\text{miss}} \geq 20 \text{ GeV}\} \oplus \{e, \mu\} \otimes \{1\text{-jet}\} \oplus \{\ell\} \otimes \{2\text{-jet}\}$	110–150	4.7	
	$\tau_{\text{had}}\tau_{\text{had}}$	$\{1\text{-jet}\}$	110–150	4.7	
$VH \rightarrow Vbb$	$Z \rightarrow \nu\nu$	$E_T^{\text{miss}} \in \{120 - 160, 160 - 200, \geq 200 \text{ GeV}\}$	110–130	4.6	[130]
	$W \rightarrow \ell\nu$	$p_T^W \in \{< 50, 50 - 100, 100 - 200, \geq 200 \text{ GeV}\}$	110–130	4.7	
	$Z \rightarrow \ell\ell$	$p_T^Z \in \{< 50, 50 - 100, 100 - 200, \geq 200 \text{ GeV}\}$	110–130	4.7	
2012 $\sqrt{s} = 8$ TeV					
$H \rightarrow ZZ^{(*)}$	$4\ell$	$\{4e, 2e2\mu, 2\mu2e, 4\mu\}$	110–600	5.8	[87]
$H \rightarrow \gamma\gamma$	–	10 categories $\{p_{Tt} \otimes \eta_\gamma \otimes \text{conversion}\} \oplus \{2\text{-jet}\}$	110–150	5.9	[127]
$H \rightarrow WW^{(*)}$	$e\nu\mu\nu$	$\{e\mu, \mu e\} \otimes \{0\text{-jet, 1-jet, 2-jet}\}$	110–200	5.8	[131]

- analizy w kanałach rozpadu są podzielone na kategorie wg. mechanizmów produkcji, jakości rekonstruowanych obiektów i kinematyki
- **ATLAS przedstawił wyniki oparte na danych z 2011 i 2012 dla WW, ZZ i  $\gamma\gamma$**
- **Wszystkie pozostałe analizy nie zostały uaktualnione z danymi z 2012 roku**



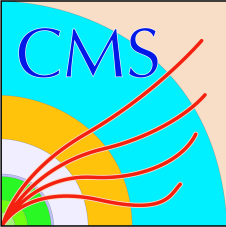


# Analizowane kanały: CMS



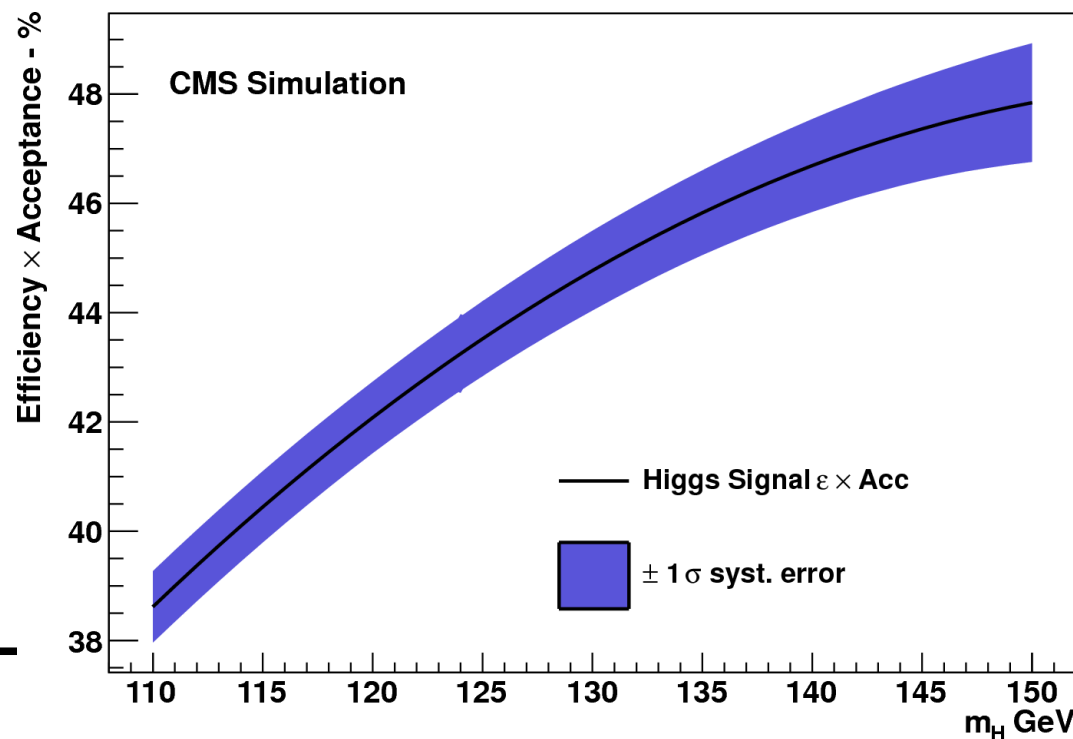
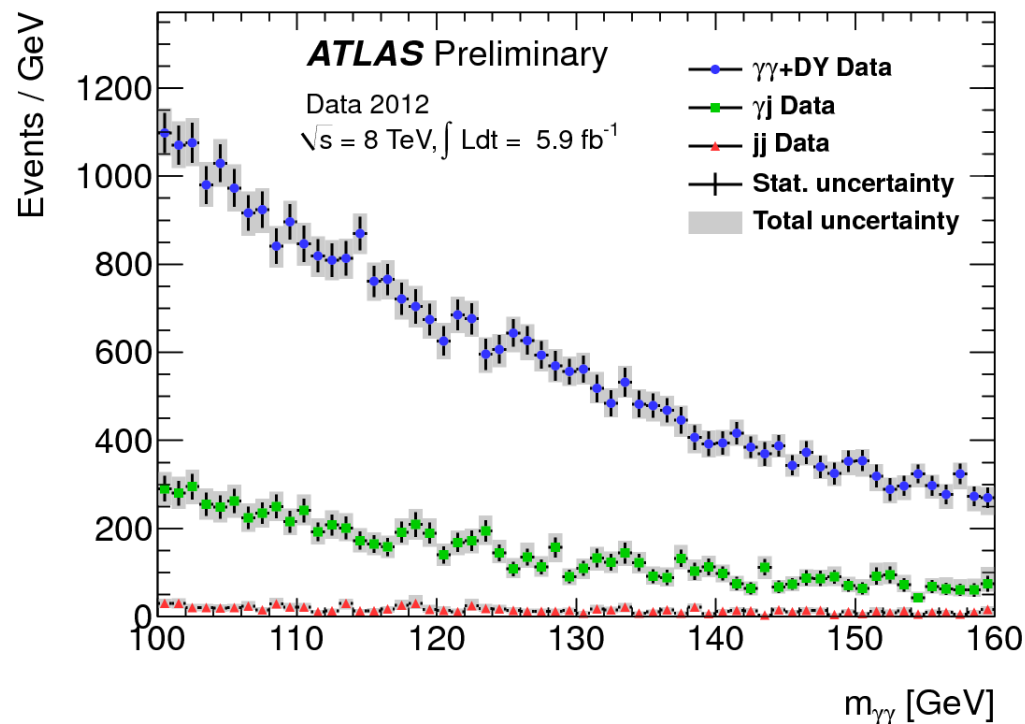
Decay mode	Production tagging	No. of subchannels	$m_H$ range (GeV)	Int. Lum. ( $\text{fb}^{-1}$ )	
				7 TeV	8 TeV
$\gamma\gamma$	untagged dijet (VBF)	4 1 or 2	110–150	5.1	5.3
ZZ	untagged	3	110–600	5.1	5.3
WW	untagged dijet (VBF)	4 1 or 2	110–600	4.9	5.1
$\tau\tau$	untagged dijet (VBF)	16 4	110–145	4.9	5.1
bb	lepton, $E_T^{\text{miss}}$ (VH)	10	110–135	5.0	5.1

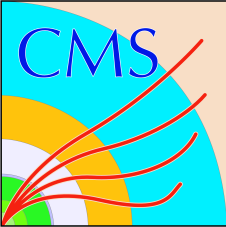
- analizy w kanałach rozpadu są podzielone na kategorie wg. mechanizmów produkcji, jakości rekonstruowanych obiektów i kinematyki
- **CMS przedstawił wyniki oparte na 5(7 TeV)+5 (8 TeV)  $\text{fb}^{-1}$  dla wszystkich analiz**



# Kanał $H \rightarrow \gamma\gamma$

- $BR(H \rightarrow \gamma\gamma) \sim 0.2\%$
- Doskonała rozdzielczość masy  $\sigma_m/m \sim 1\%$
- Bardzo prosta sygnatura: dwa izolowane fotony
- Bardzo duże tło, słaby stosunek S/B
- Tło może być wyznaczone z danych i modelowane gładką, monotonicznie zanikającą funkcją
- **Kluczowy element analizy: rozdzielczość masowa i wydajna identyfikacja fotonów.**

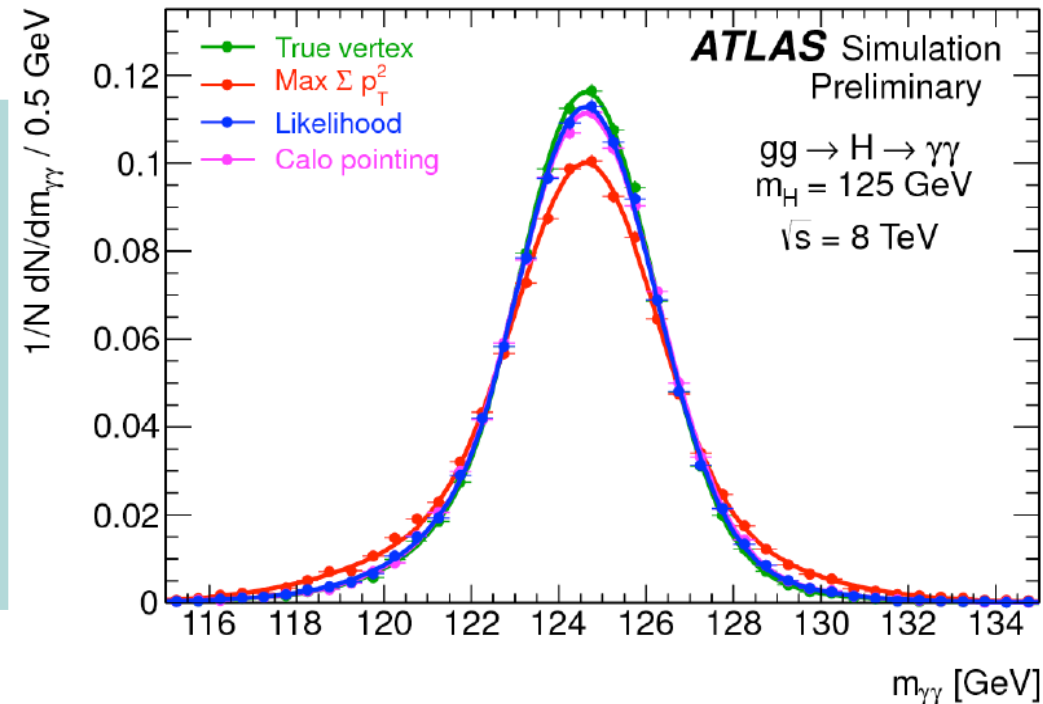
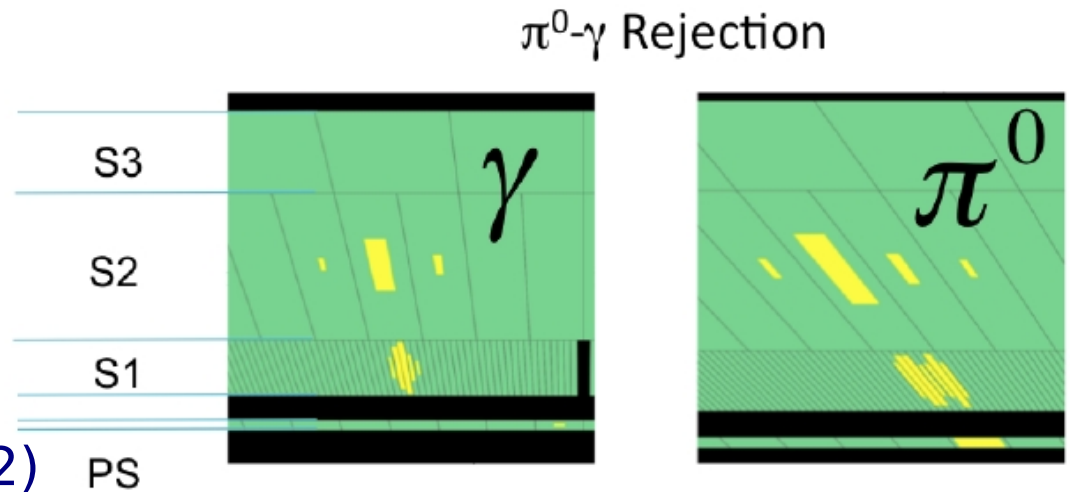


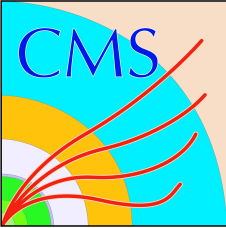


# ATLAS, analiza w kanale $\gamma\gamma$

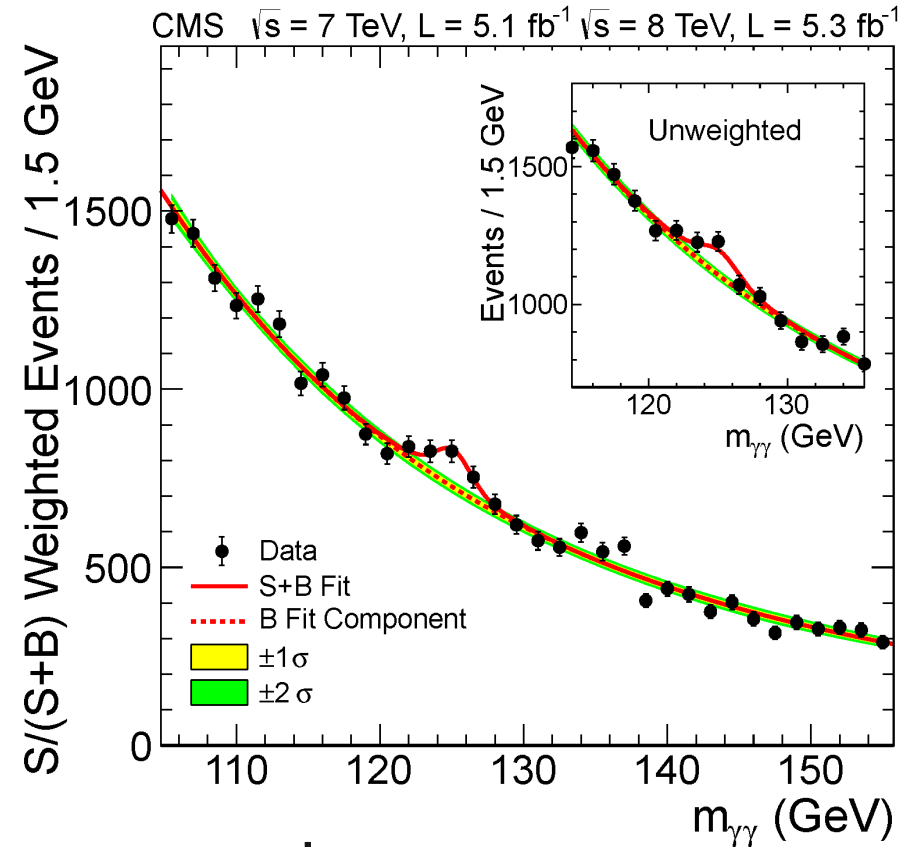
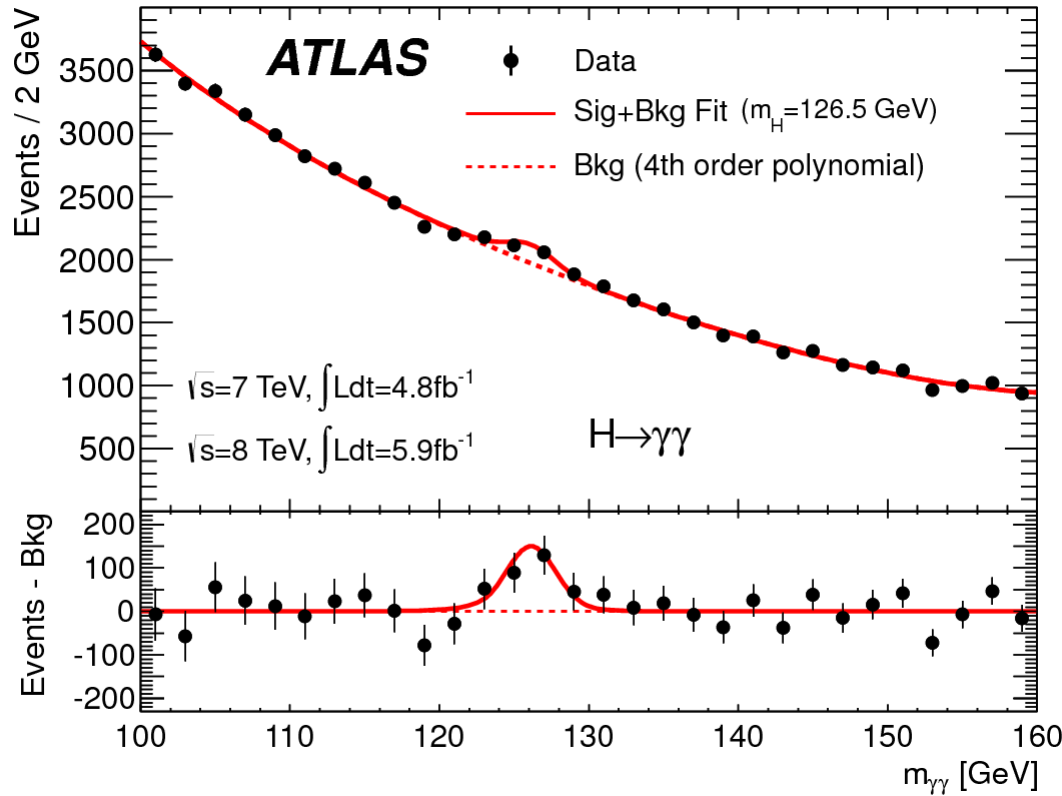


- tryger dwu-fotonowy:  $E_T^{\gamma} > 20$  GeV (2011),  $E_T^{\gamma^{1/\gamma^2}} > 35/25$  GeV (2012)
  - Precyzyjna kalibracja energii używająca przypadków  $Z \rightarrow ee$
  - $E_T^{\gamma^{1/\gamma^2}} > 40/30$  GeV
  - Identyfikacja z użyciem cięć (2012) lub sieci neuronowych
  - Izolacja kalorymetryczna z korekcją na efekt pile-up
- ATLAS posiada podłużną segmentację ECAL:
- Wspomaga identyfikację fotonów
  - Podłużna segmentacja pozwala na wyznaczanie kąta biegunowego kierunku lotu fotonu wskazanie  $\rightarrow$  wierzchołka pierwotnego

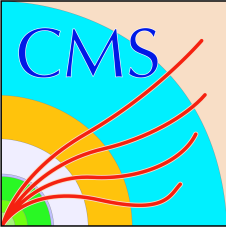




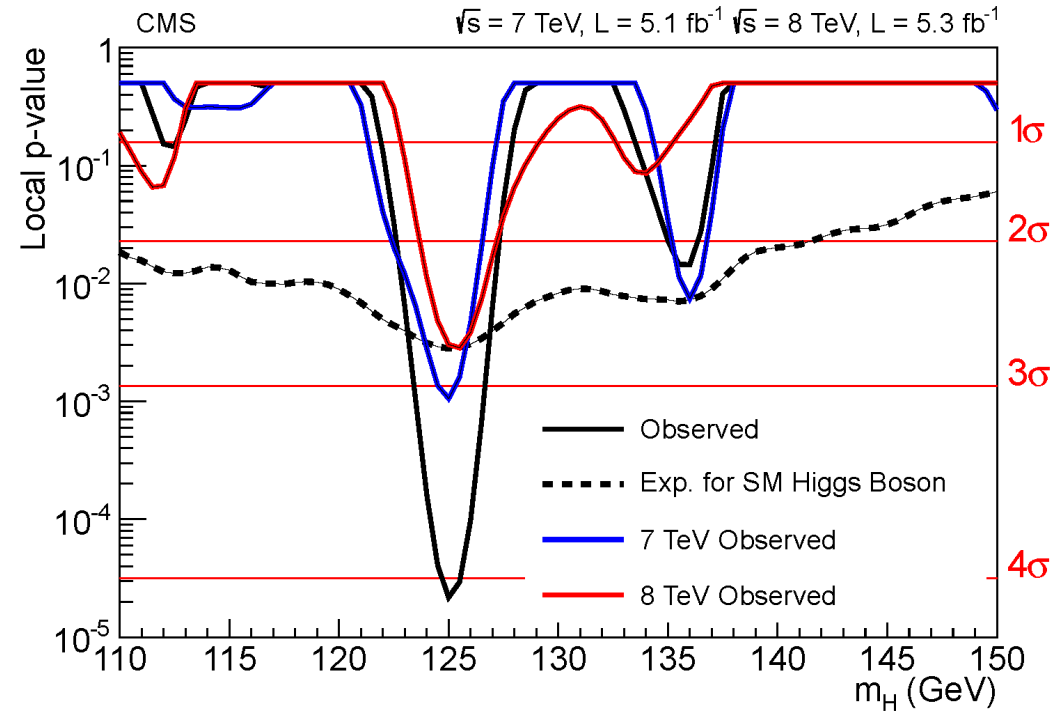
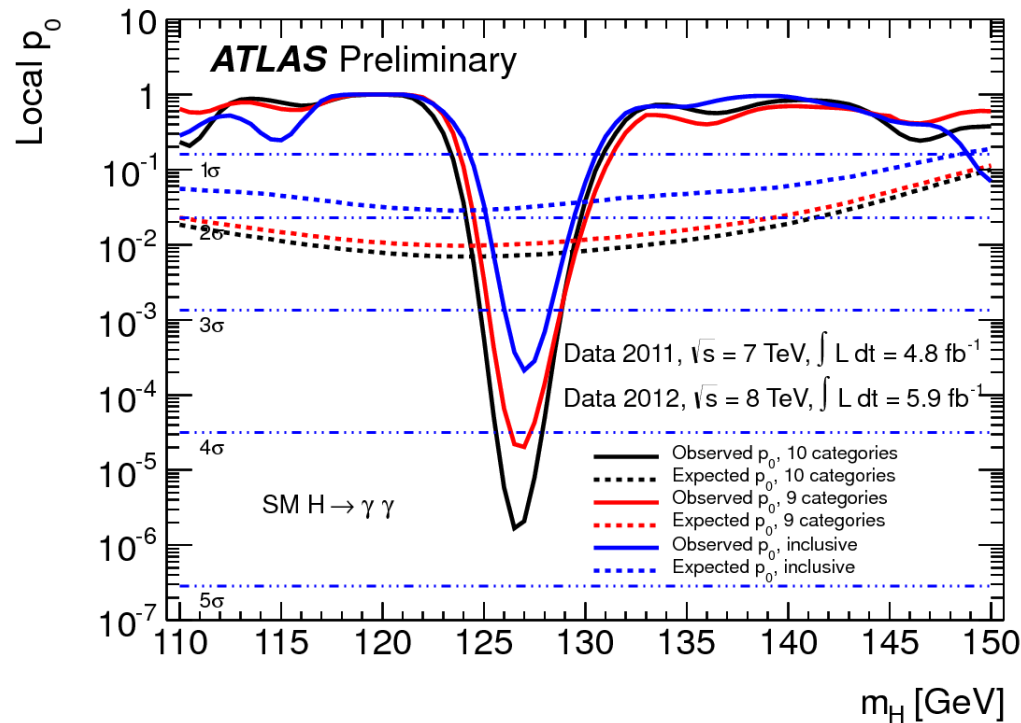
# Rozkład masy dla $\gamma\gamma$



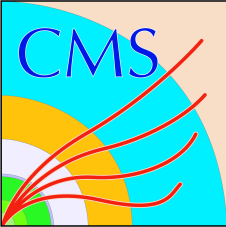
- Kształt tła szacowany z danych, parametryzowany wielomianem lub krzywą wykładniczą
- Obecność sygnału wyznaczana metodą największej wiarygodności na niegrupowanych danych



# Analiza nadwyżki dla $\gamma\gamma$



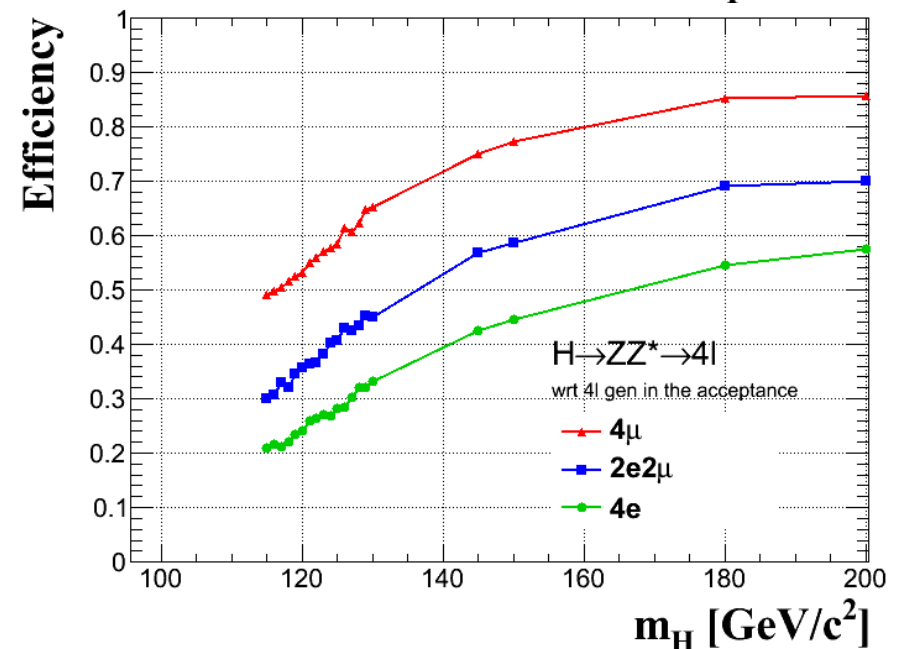
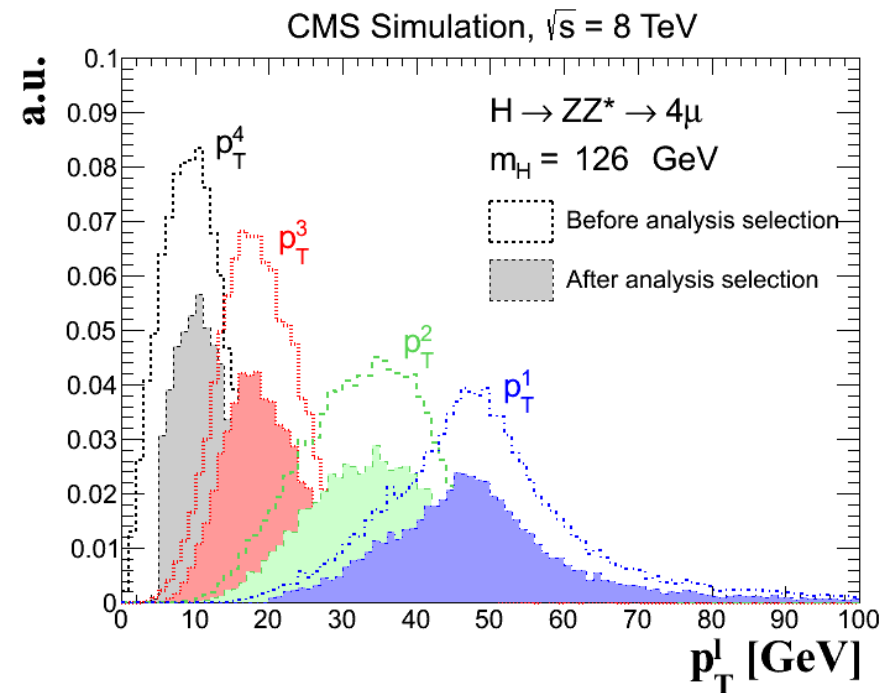
- **ATLAS obserwuje nadwyżkę na poziomie  $4.5\sigma$  ( $3.6\sigma$  uwzględniając LEE)**
- **CMS obserwuje nadwyżkę na poziomie  $4.1\sigma$  ( $3.2\sigma$  uwzględniając LEE)**
- Wynik zgodny dla różnych analiz i kategoryzacji przypadków

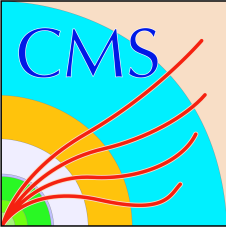


# Kanał $ZZ \rightarrow 4\mu/4e/2\mu 2e$



- $BR(H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l) \sim 0.1\%$
- Doskonała rozdzielczość masy  $\sigma_m/m \sim 1-2\%$
- Wybitna sygnatura: cztery izolowane leptony
- Bardzo małe tło, duży stosunek S/B
- **Mała przewidywana liczba przypadków wymaga dużej efektywności selekcji**
- **Kluczowy element analizy: doskonała rekonstrukcja niskopędowych obiektów**





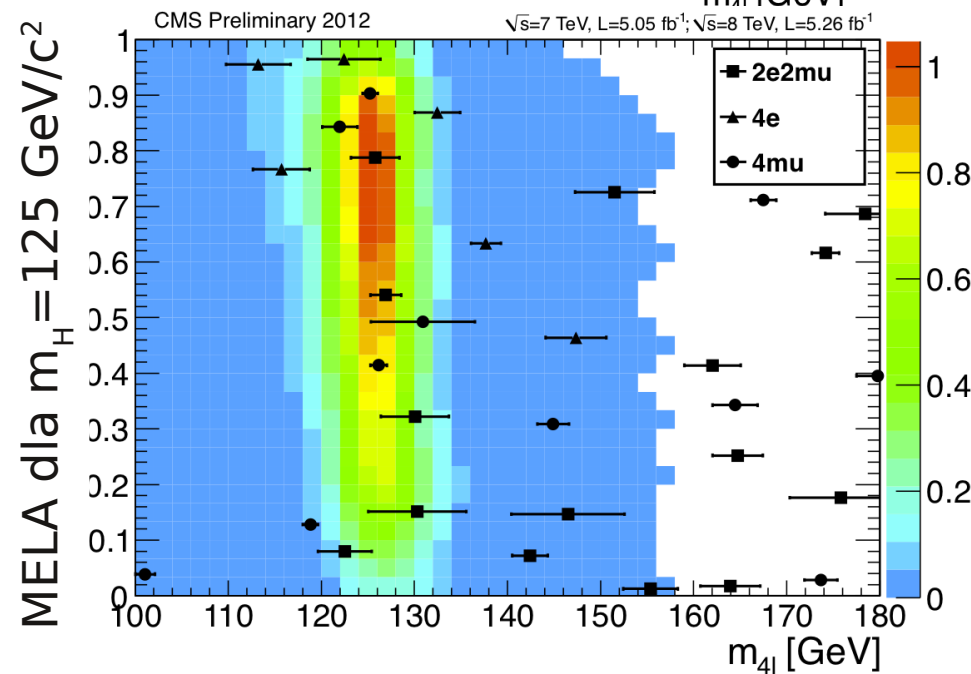
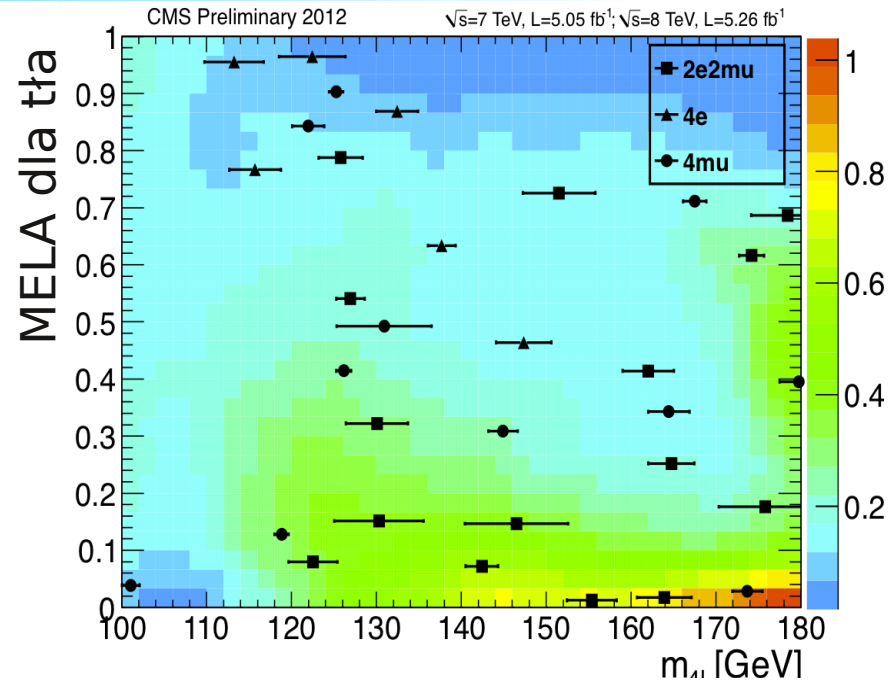
# CMS, analiza w kanale ZZ

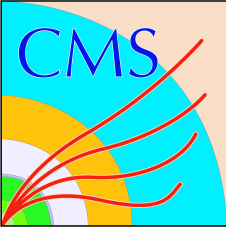


- trygery dwu-leptonowe: ee/eμ/μμ
- $p_T^e > 7$  GeV,  $p_T^\mu > 5$  GeV
- Identyfikacja elektronów używa Boosted Decision Tree → 30% wzrost eff. dla 4e@125 względem analizy z 2011
- Izolacja używa metody “particle flow” → 10 do 15% wzrostu eff./lepton
- Warunki na masę  $Z^{(*)}$ :  $40 < m_{ll} < 120$ ,  $12 < m_{ll} < 120$

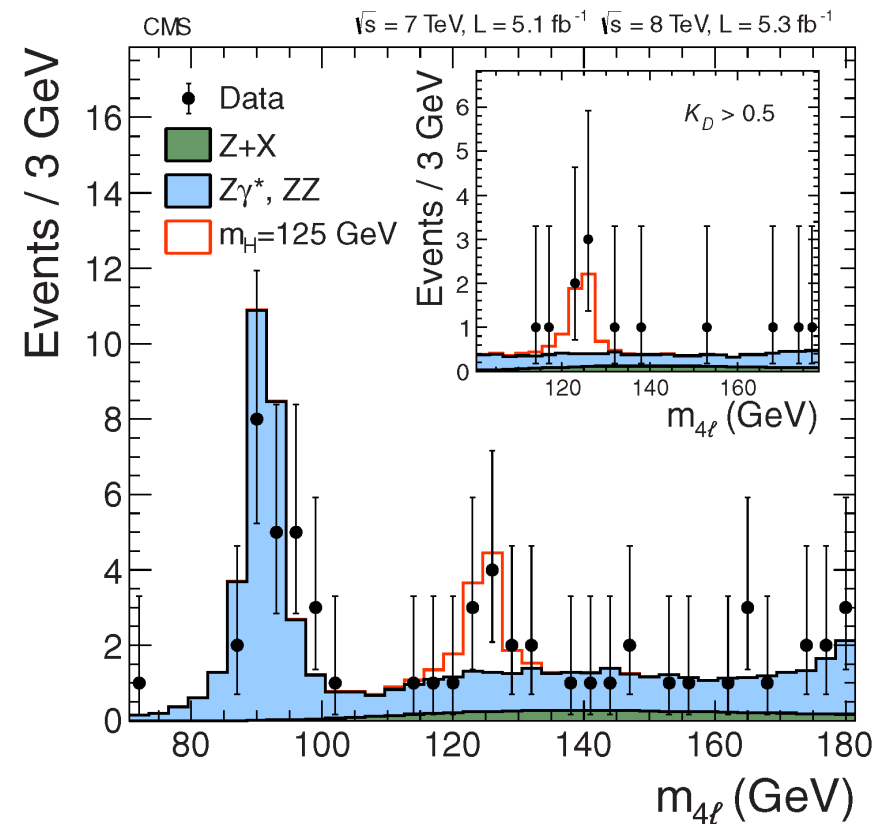
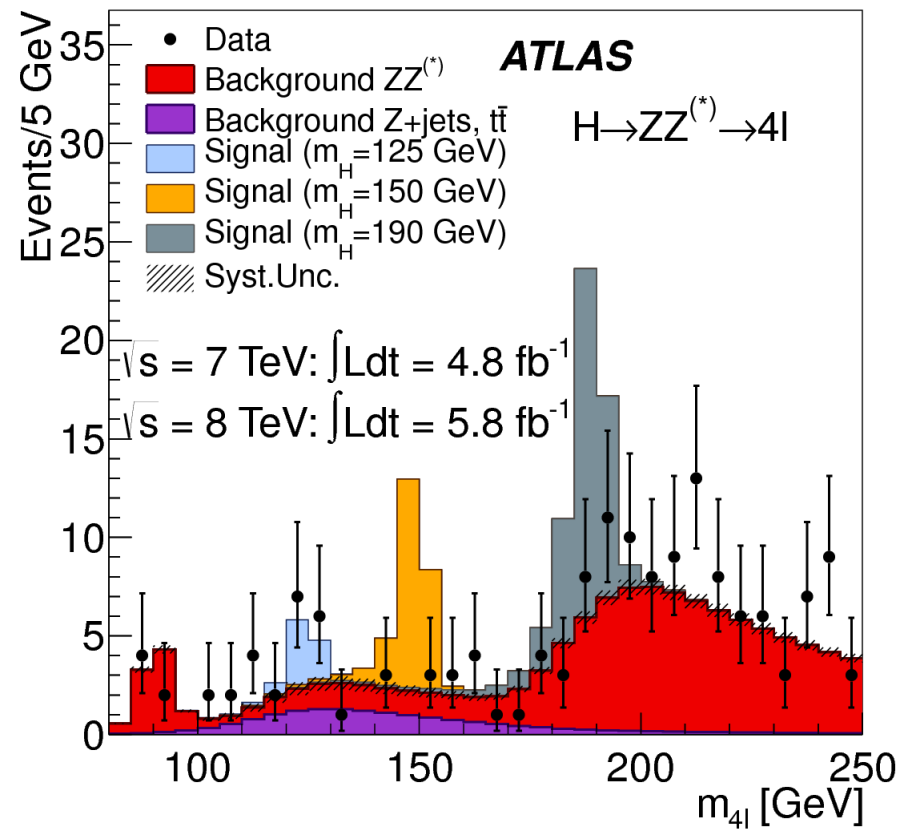
CMS użył Matrix Element Likelihood Analysis (MELA):

- Kinematyka  $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$  opisana przez 5 kątów i  $m_{ll}$
- Dwuwymiarowa analiza  $\{m_{4l}, \text{MELA}\}$



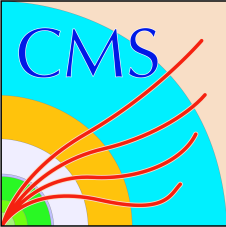


# Rozkład masy dla $ZZ \rightarrow 4l$

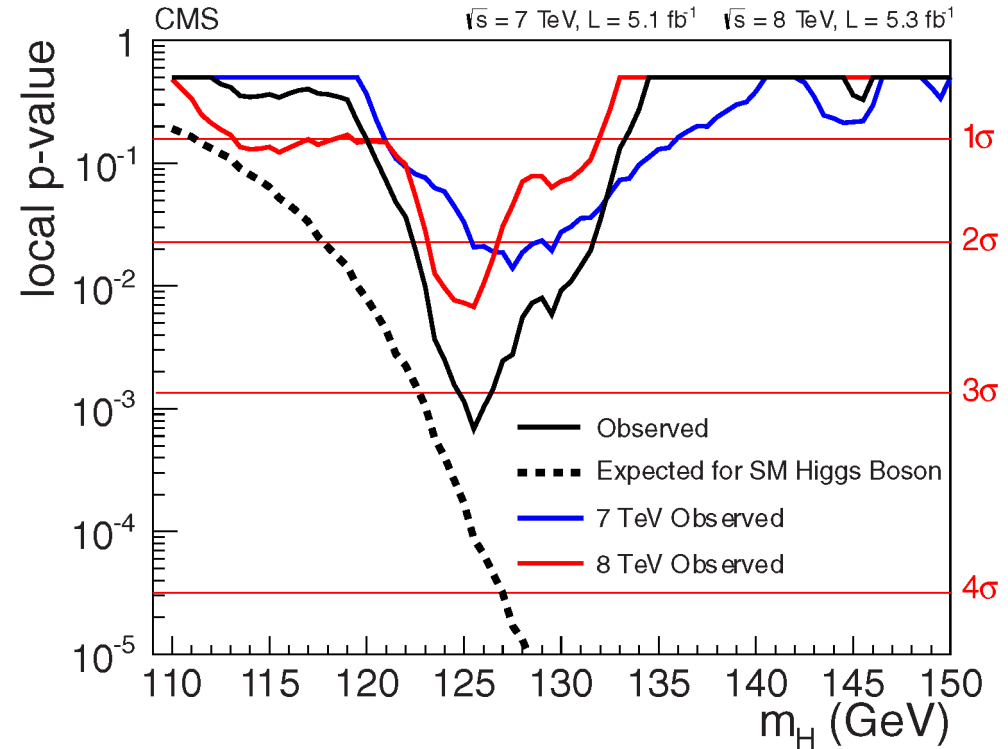
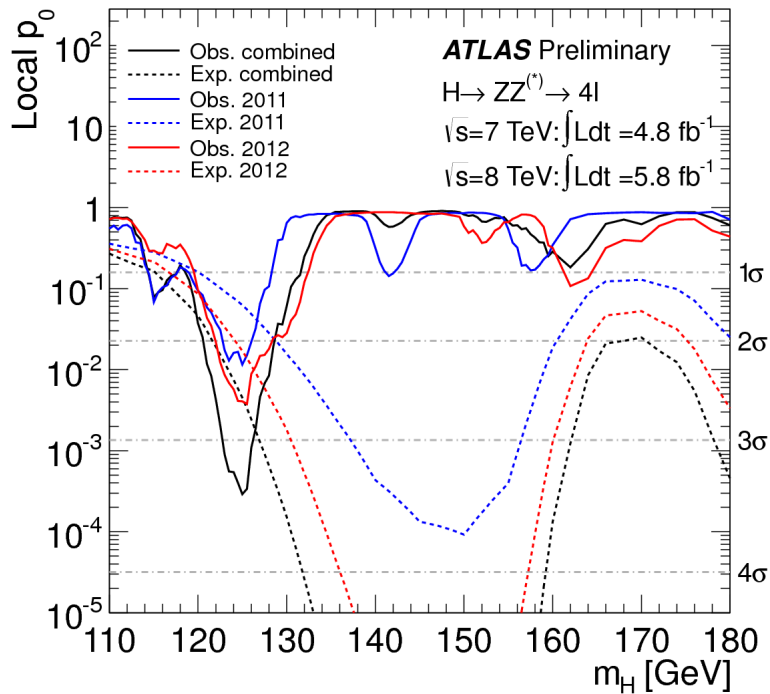


- $4l = 4\mu/4e/2\mu 2e$ , inne kanały używane dla dużych  $m_H$
- Tło  $ZZ$  szacowane z MC, poprawiane na różnice Dane/MC
- Tło redukowalne,  $Z+j$ ,  $tt$ , szacowane z danych





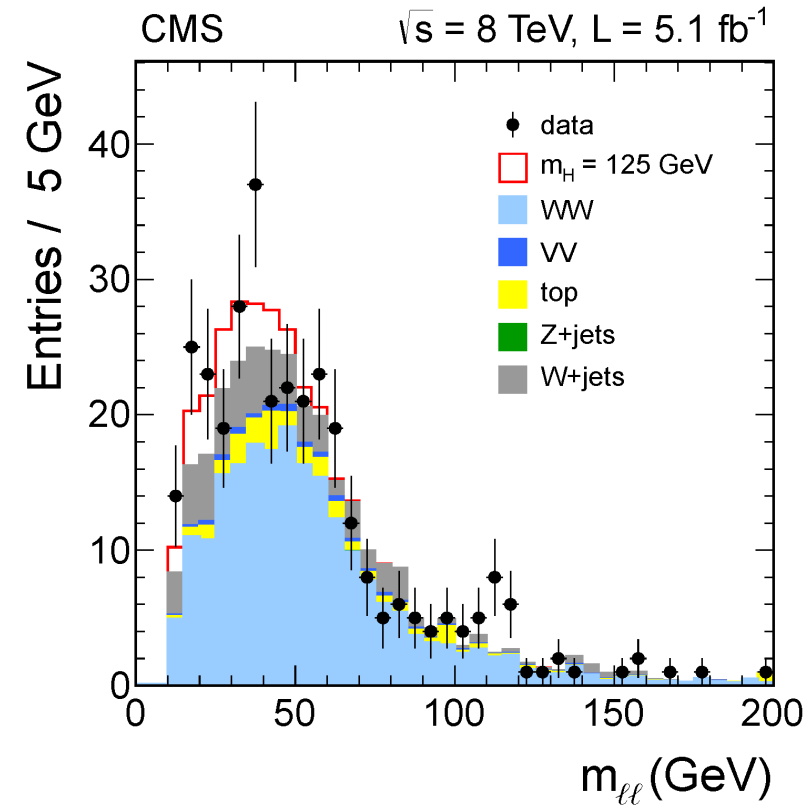
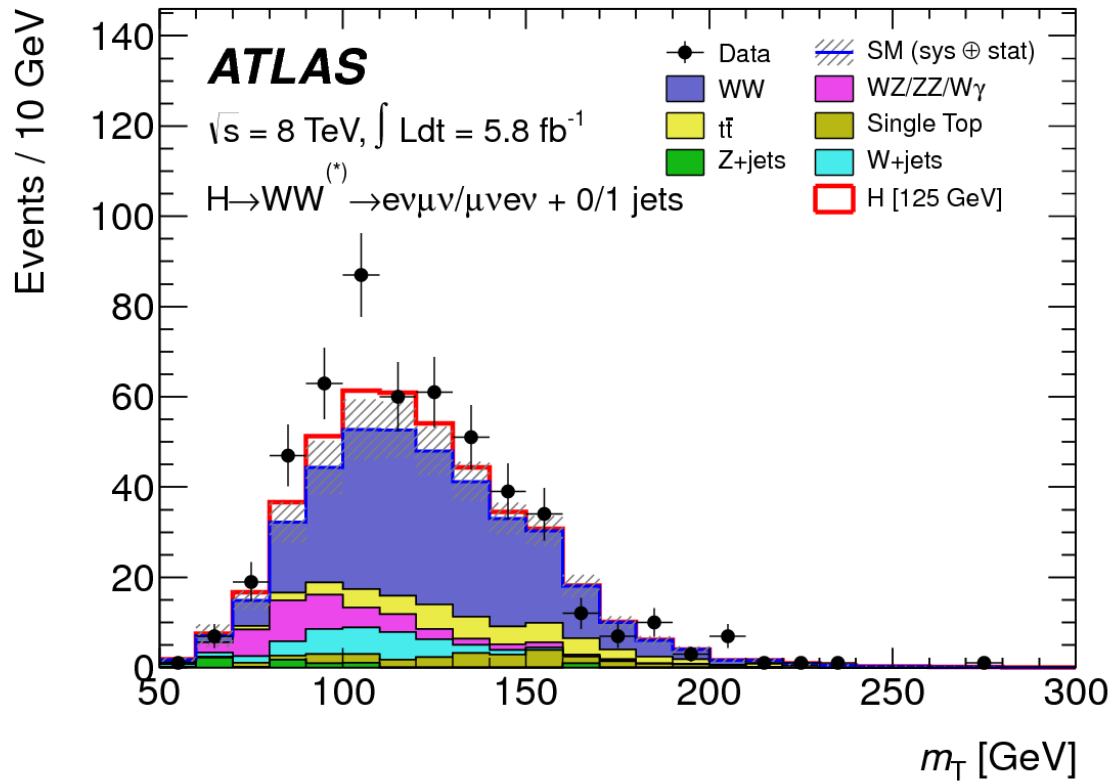
# Analiza nadwyżki dla ZZ



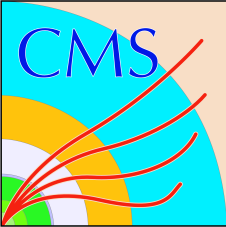
- **ATLAS obserwuje nadwyżkę na poziomie  $3.4\sigma$  ( $2.5\sigma$  uwzględniając LEE)**
- **CMS obserwuje nadwyżkę na poziomie  $3.2\sigma$**
- Wynik zgodny dla danych z 2011 i 2012 roku



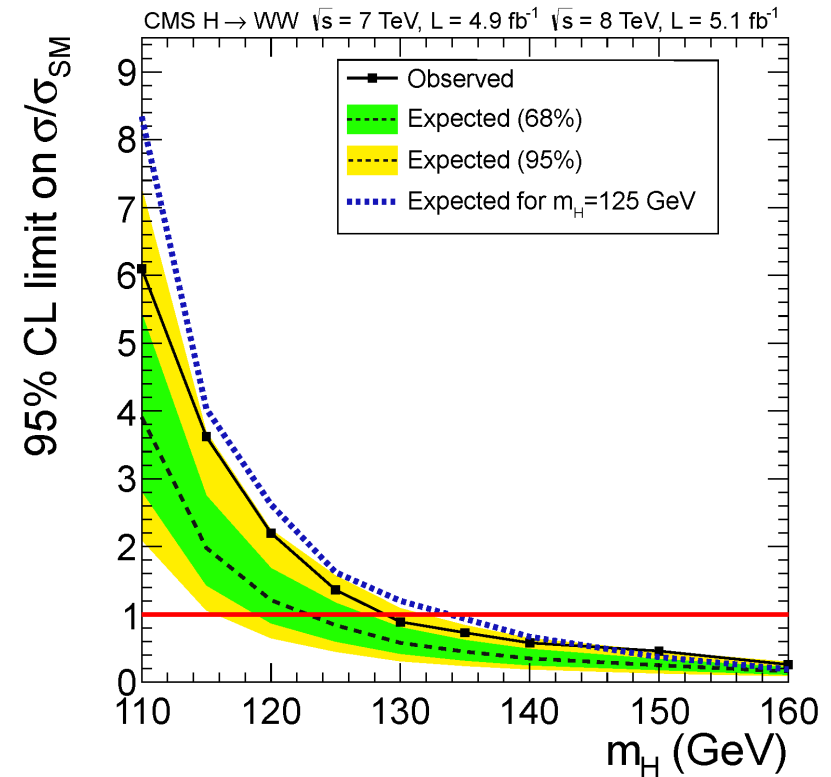
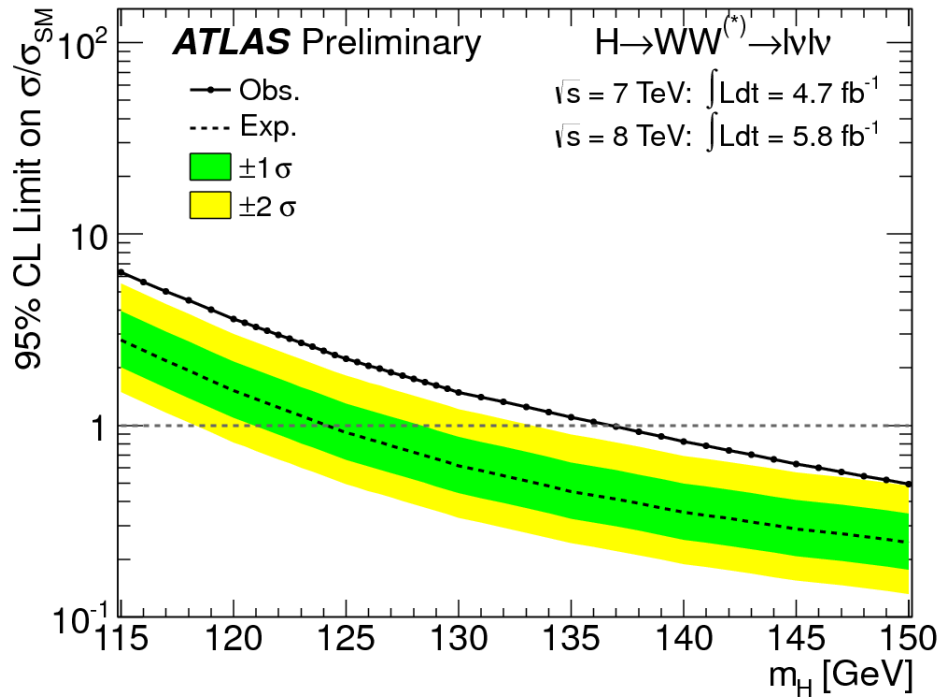
# Analiza $WW \rightarrow \nu\nu$



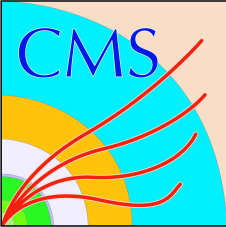
- Selekcja oparta o cięcia lub metody MVA.
- Brak możliwości rekonstrukcji pełnej masy → eksperyment licznikowy.
- **Kluczowy element analizy: szacowanie tła z danych**



# Wyniki dla WW



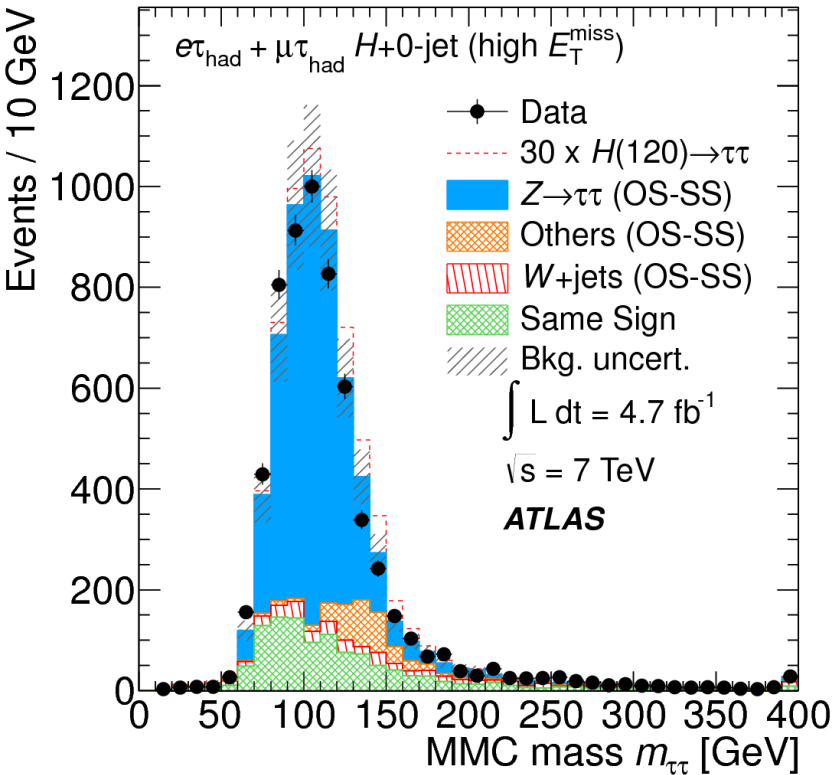
- **ATLAS obserwuje szeroką w masie nadwyżkę na poziomie  $3.1\sigma$**
- **CMS obserwuje szeroką nadwyżkę na poziomie  $\sim 1.5\sigma$**
- Obserwacja jest niesprzeczna z hipotezą  $m_H \sim 125$



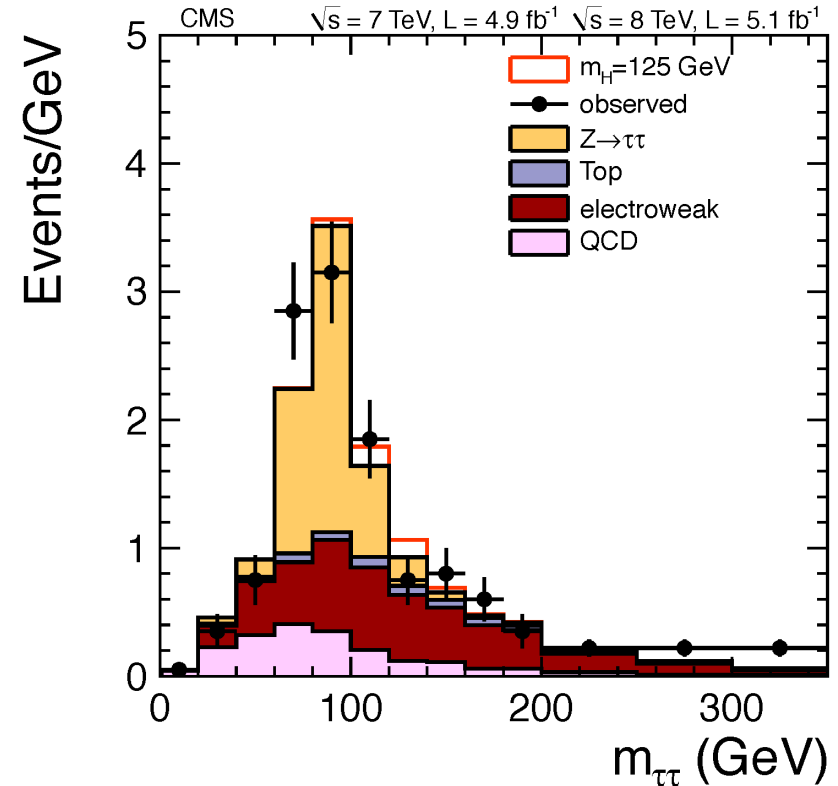
# Analiza $H \rightarrow \tau\tau$



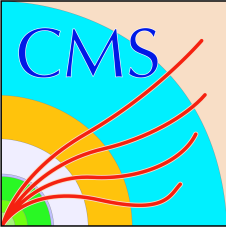
## Kategoria o największej liczbie



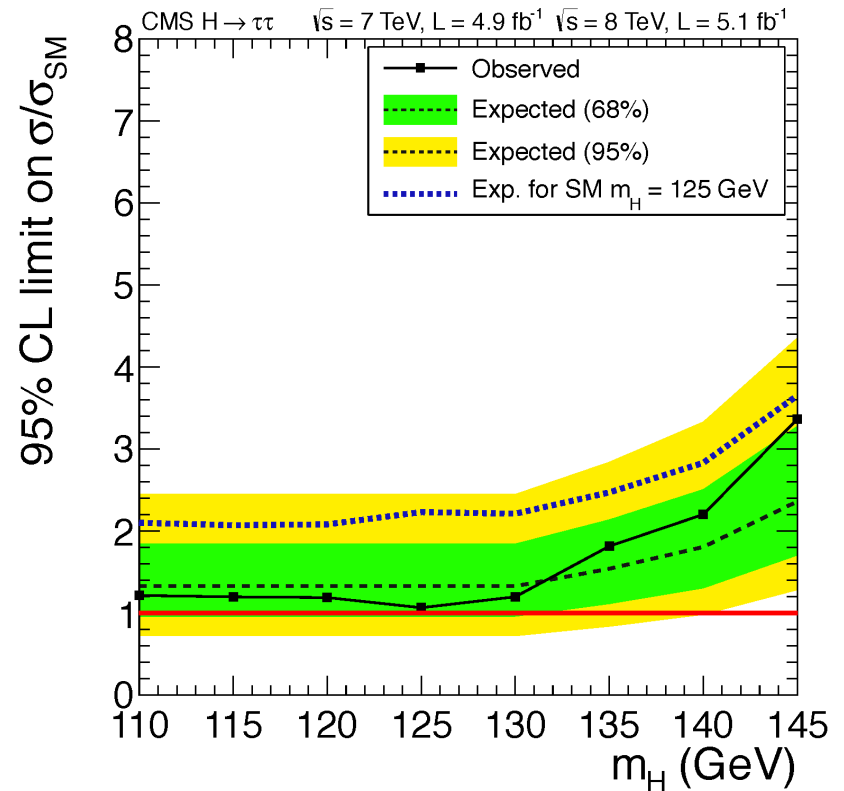
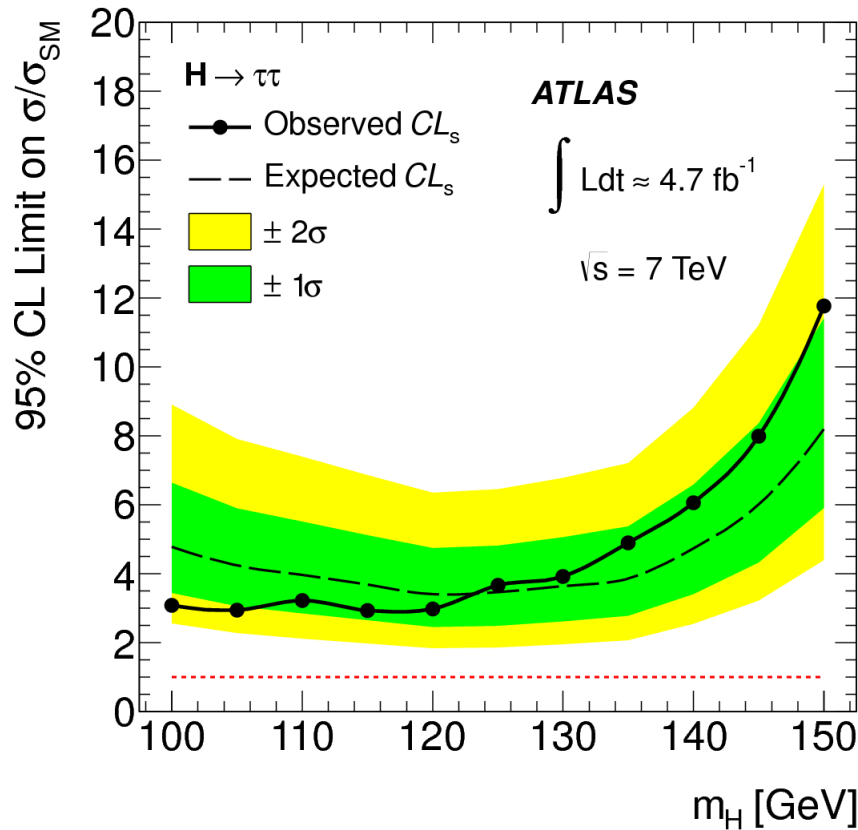
## Kategoria o najlepszej dyskryminacji



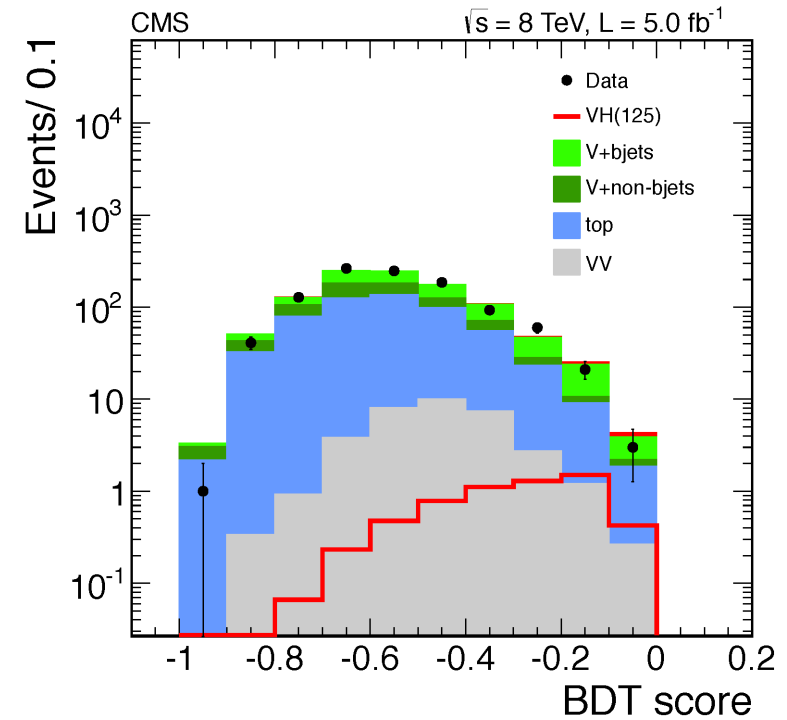
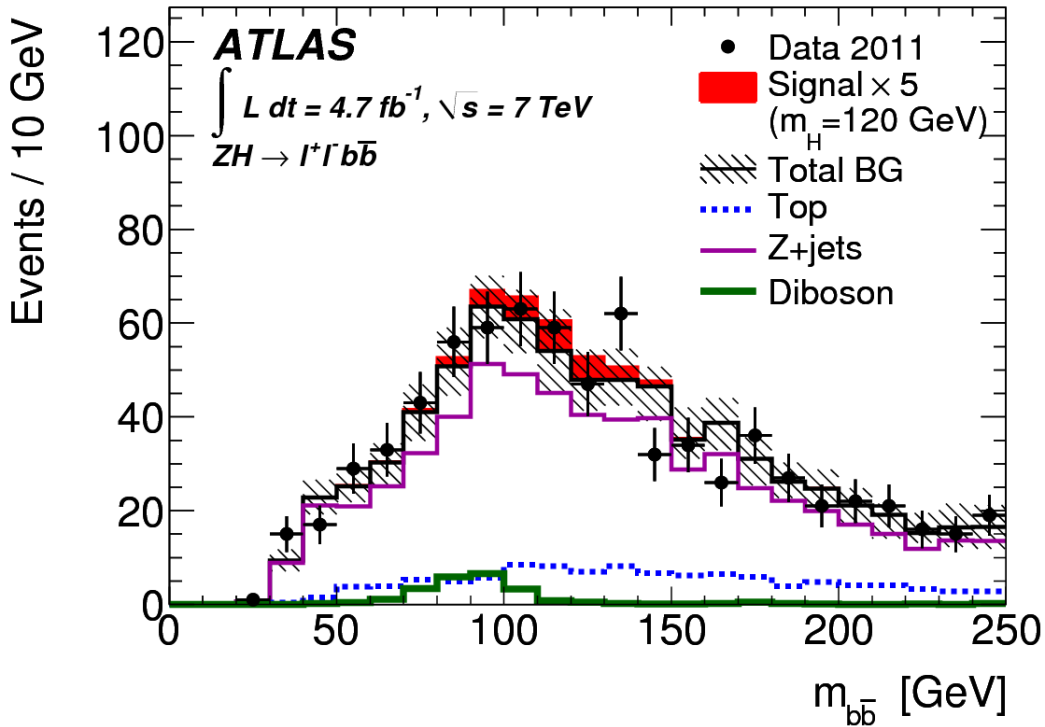
- Rozdzielczość masy rzędu 20% z powodu neutrin w stanie końcowym
- **Bardzo duże nieredukowalne tło  $Z \rightarrow \tau\tau$**
- **Większość czułości pochodzi z kategorii wykorzystującej VBF**



# Wyniki dla $H \rightarrow \tau\tau$



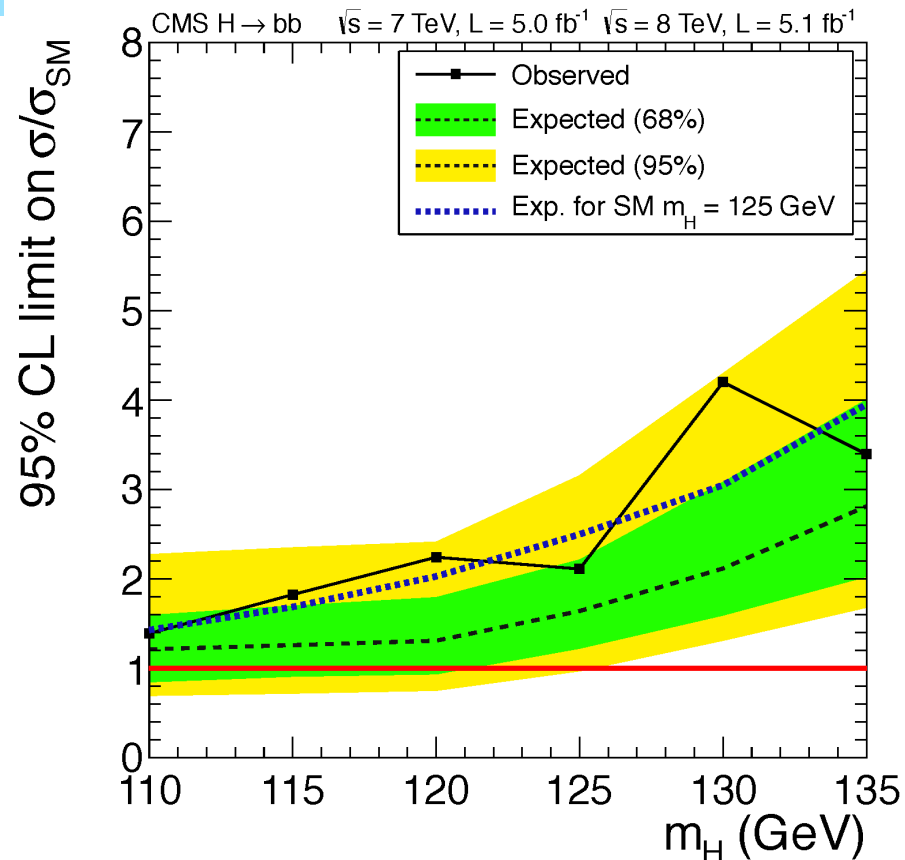
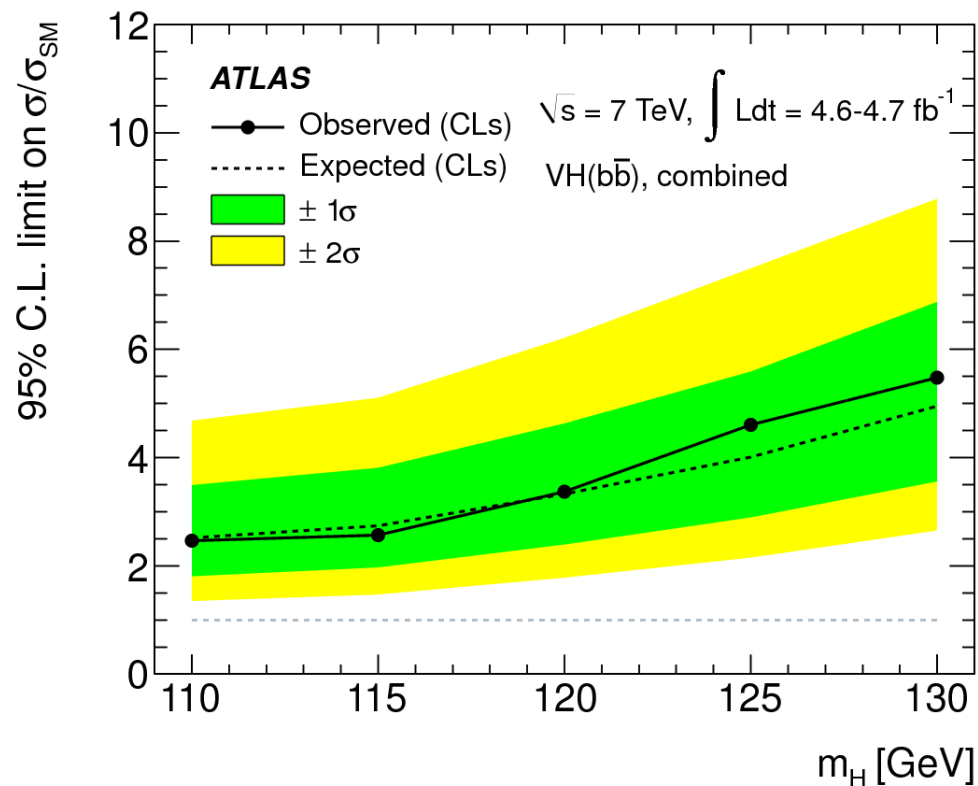
- **ATLAS nie pokazał jeszcze wyników z danymi z 2012 roku**
- **CMS obserwuje szeroki deficyt przypadków**
- Obserwacje zgodne z brakiem lub obecnością sygnału.



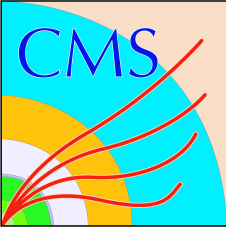
- **Gigantyczne tło QCD wymaga użycia kanału VH. Rozpady W/Z używane w trygerze i selekcji sygnału**
- ATLAS używa rozkładu  $m_{b\bar{b}}$  w analizie obecności sygnału
- CMS używa rozkładu zmiennej BDT w analizie obecności sygnału



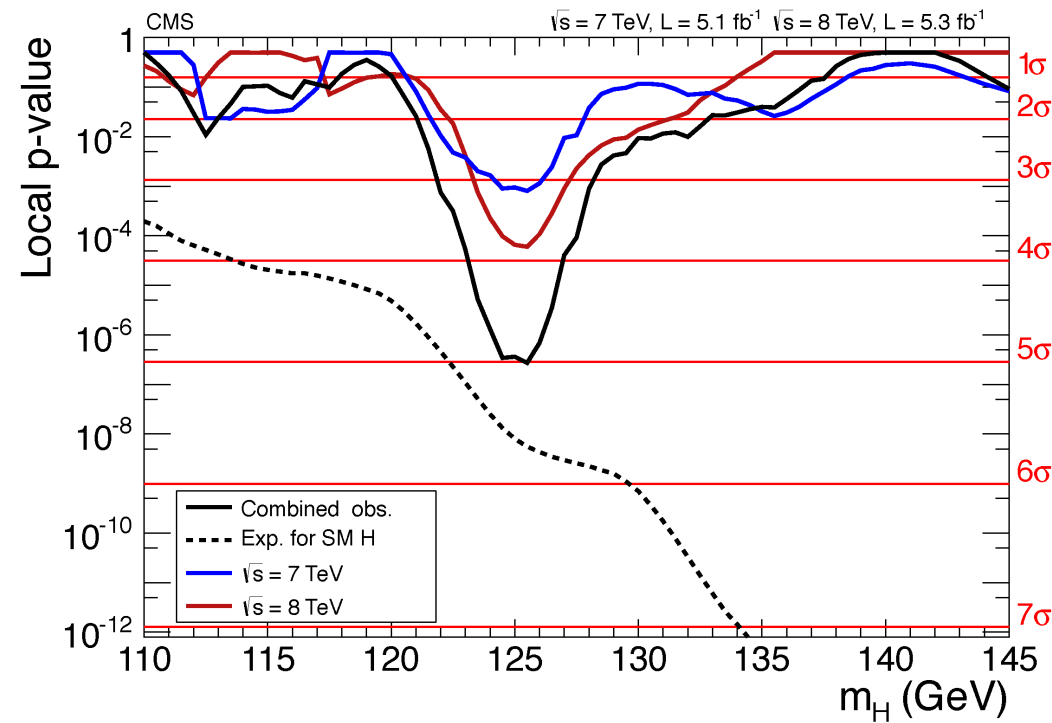
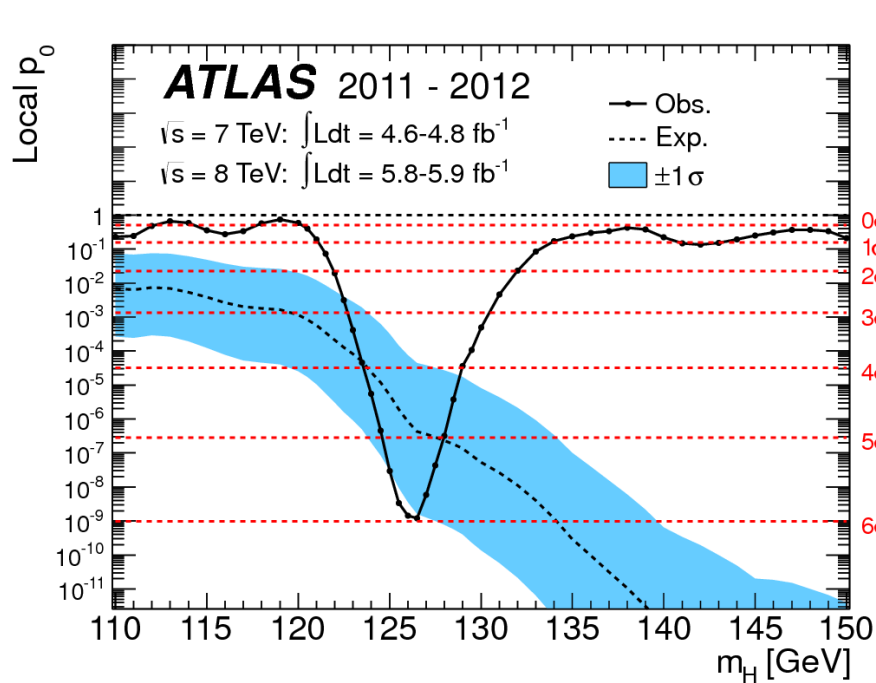
# Wyniki dla $H \rightarrow b\bar{b}$



- **ATLAS nie pokazał jeszcze wyników z danymi z 2012 roku**
- **ATLAS obserwuje dobrą zgodność z przewidywaniem dla samego tła**
- **CMS obserwuje szeroką nadwyżkę przypadków na poziomie  $0.7\sigma$**

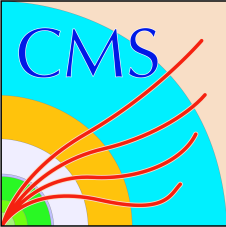


# Kombinacja kanałów

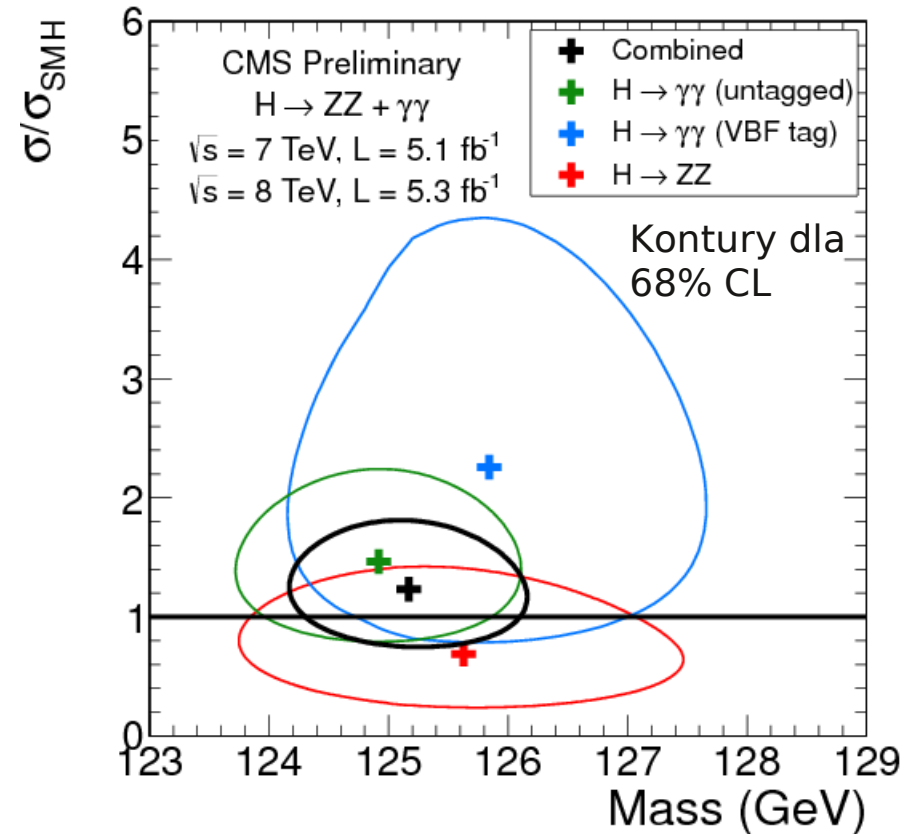
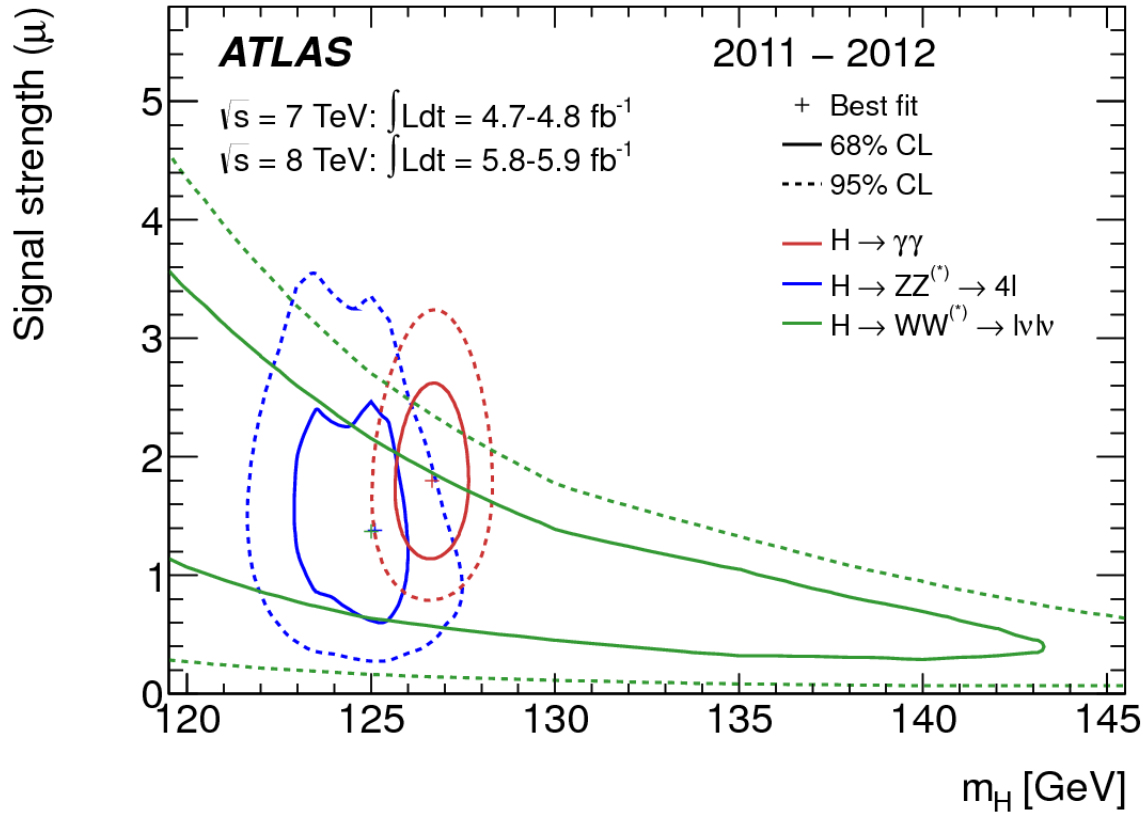


- **ATLAS obserwuje nadwyżkę na poziomie 5.9 $\sigma$**
- **CMS obserwuje nadwyżkę na poziomie 5.0 $\sigma$**
- Kombinacja obu eksperymentów wymaga dokładnej analizy korelacji niepewności systematycznych i nie jest przewidziana w najbliższej przyszłości





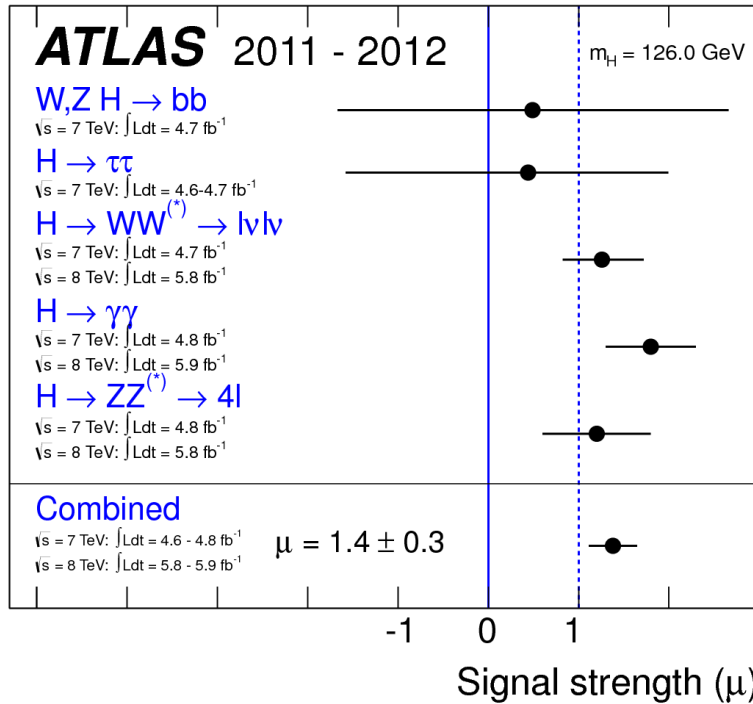
# Masa



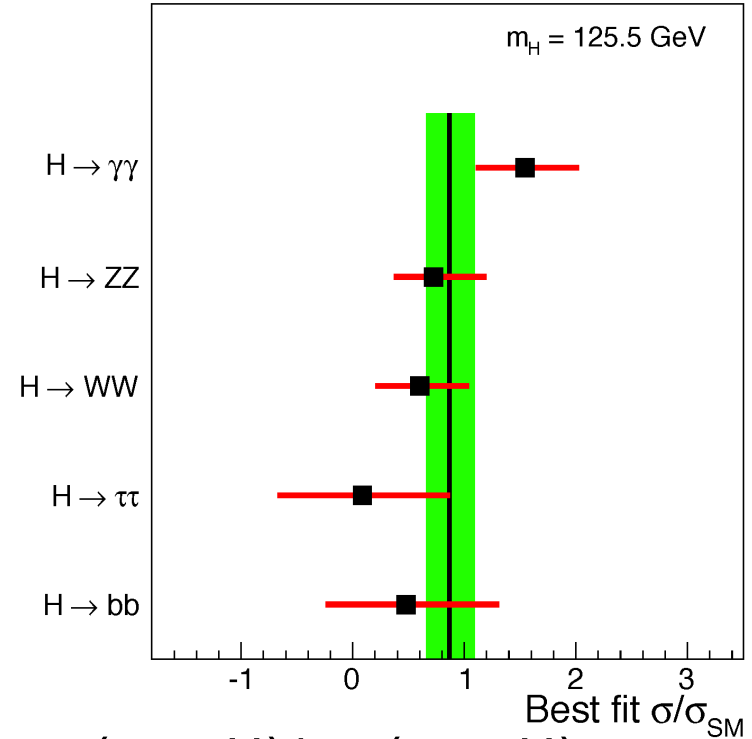
- **ATLAS:  $m_H = 126.0 \pm 0.4(\text{stat}) \pm 0.4(\text{sys})$**
- **CMS:  $m_H = 125.3 \pm 0.4(\text{stat}) \pm 0.5(\text{sys})$**
- Masy wyznaczone w różnych kanałach są zgodne



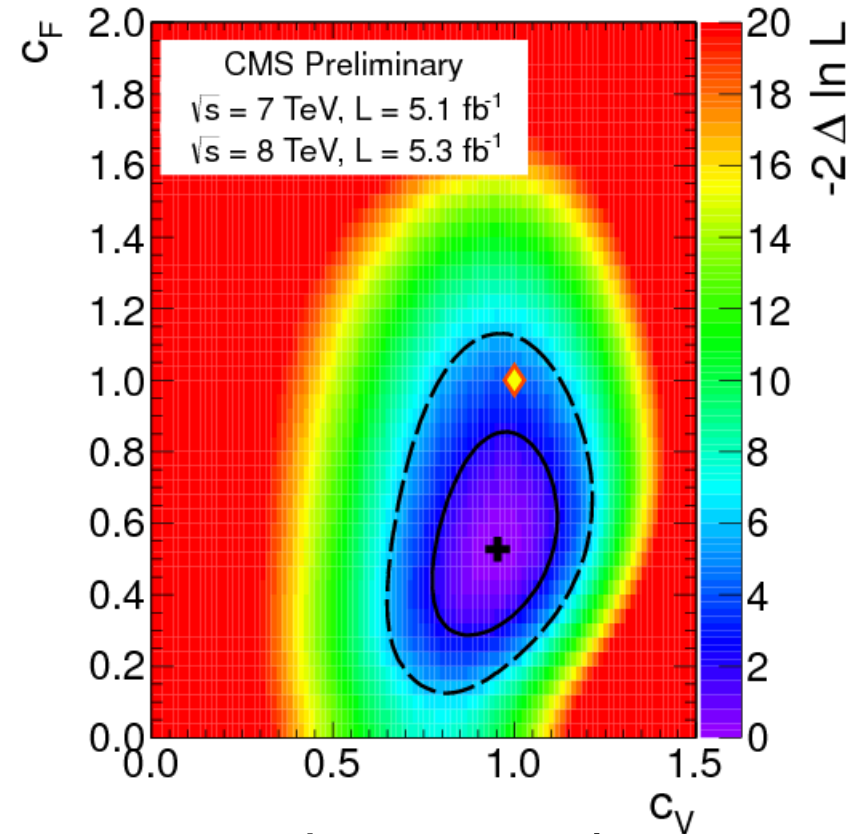
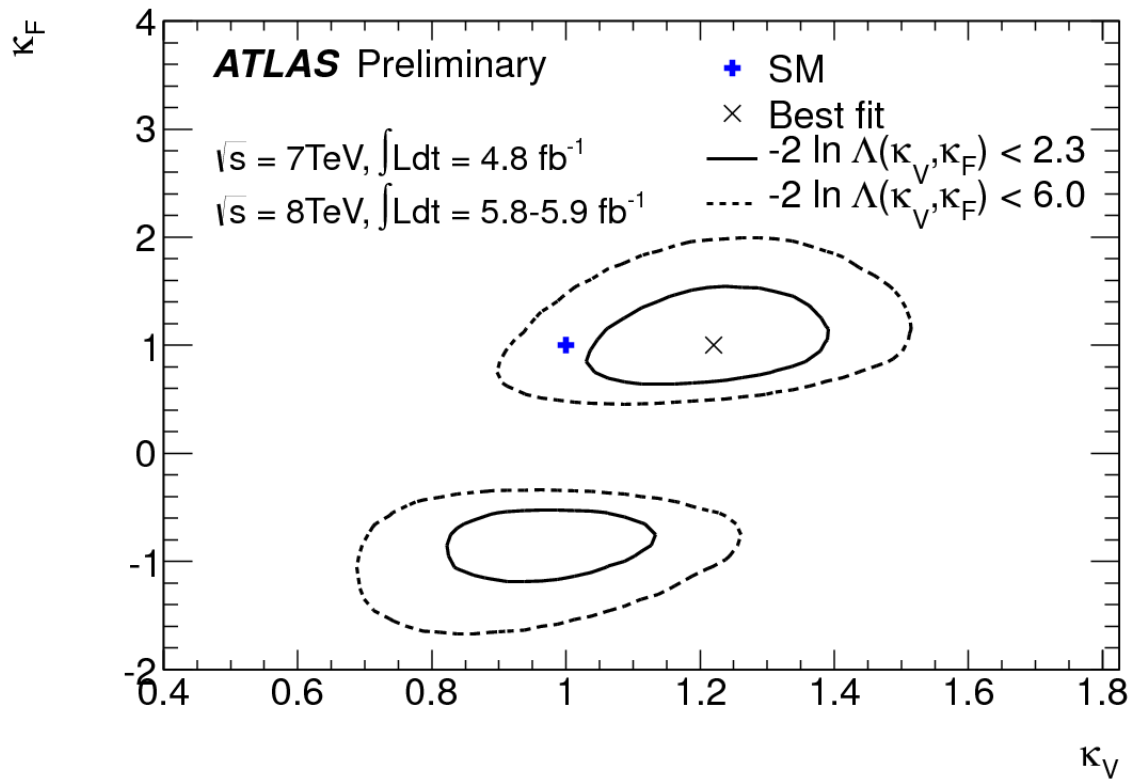
# Przekrój czynny



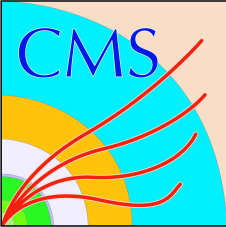
CMS  $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV, } L = 5.1 \text{ fb}^{-1}$   $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV, } L = 5.3 \text{ fb}^{-1}$



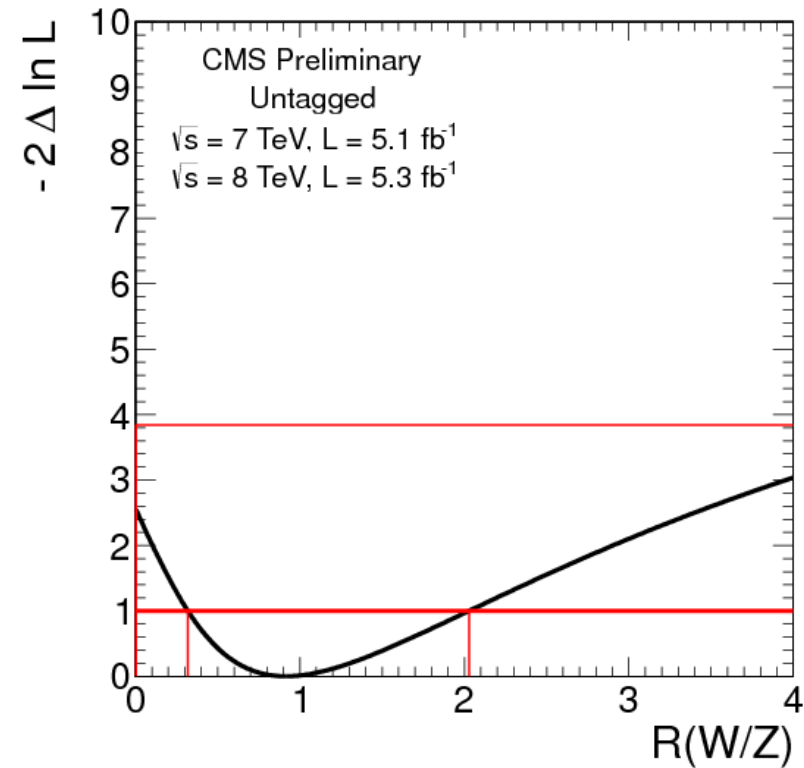
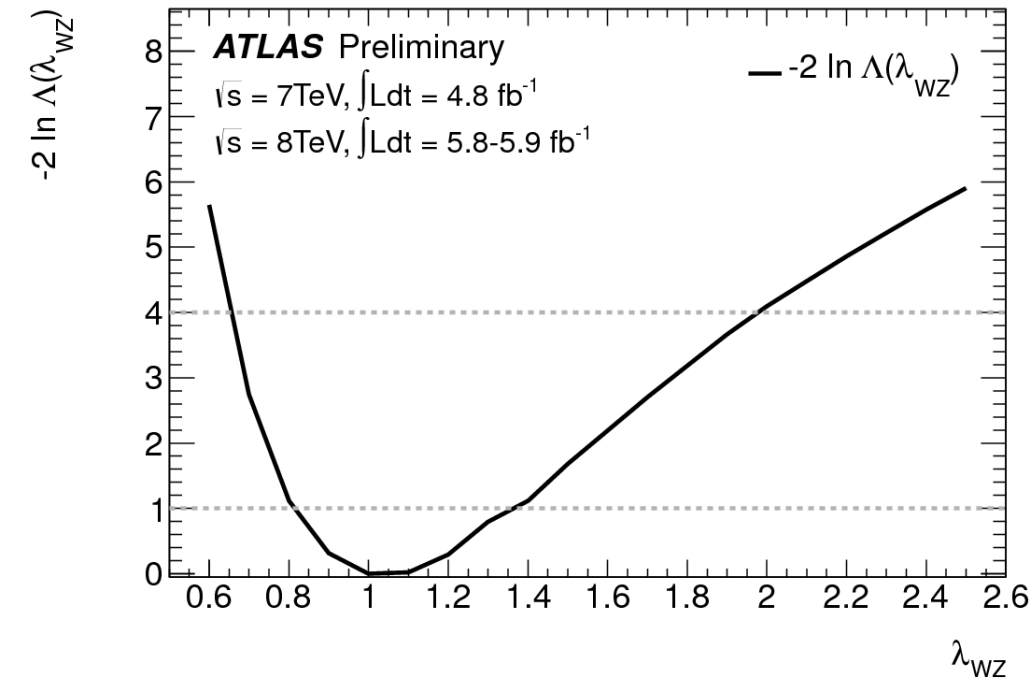
- Dla każdego kanału rozpadu wyznaczono  $\mu = \sigma(pp \rightarrow H) / \sigma_{SM}(pp \rightarrow H)$
- Znaczne wzmocnienie obserwowane w kanale  $\gamma\gamma$ :  
ATLAS:  $\mu = 1.9 \pm 0.5$ , CMS:  $\mu = 1.54 \pm 0.43$
- Znaczny deficyt (z dużym błędem!) obserwowany w kanałach  $bb$  i  $\tau\tau$
- **Po kombinacji wszystkich kanałów:**  
**ATLAS  $\sigma(pp \rightarrow H) / \sigma_{SM}(pp \rightarrow H) = 1.4 \pm 0.3$**   
**CMS:  $\sigma(pp \rightarrow H) / \sigma_{SM}(pp \rightarrow H) = 0.87 \pm 0.23$**



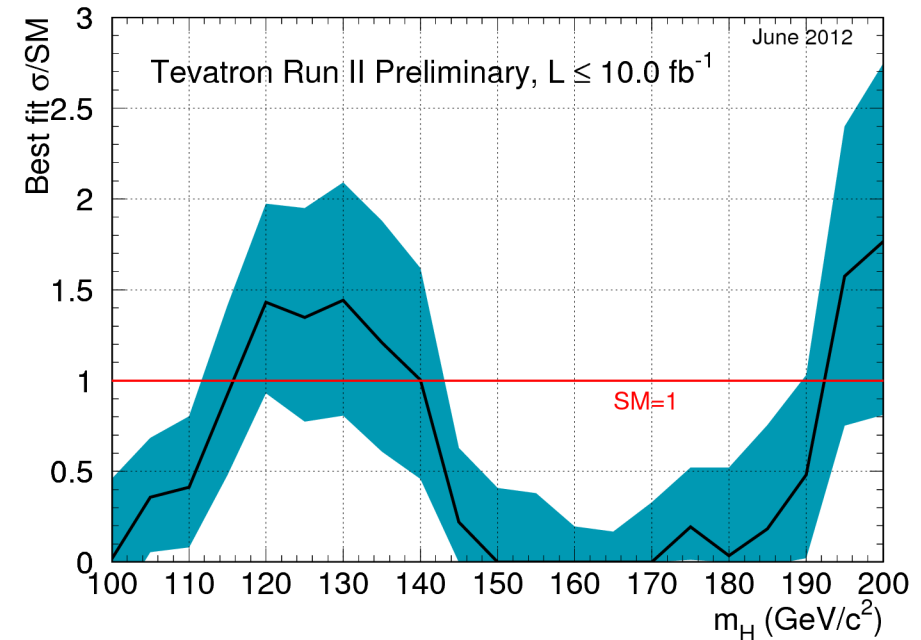
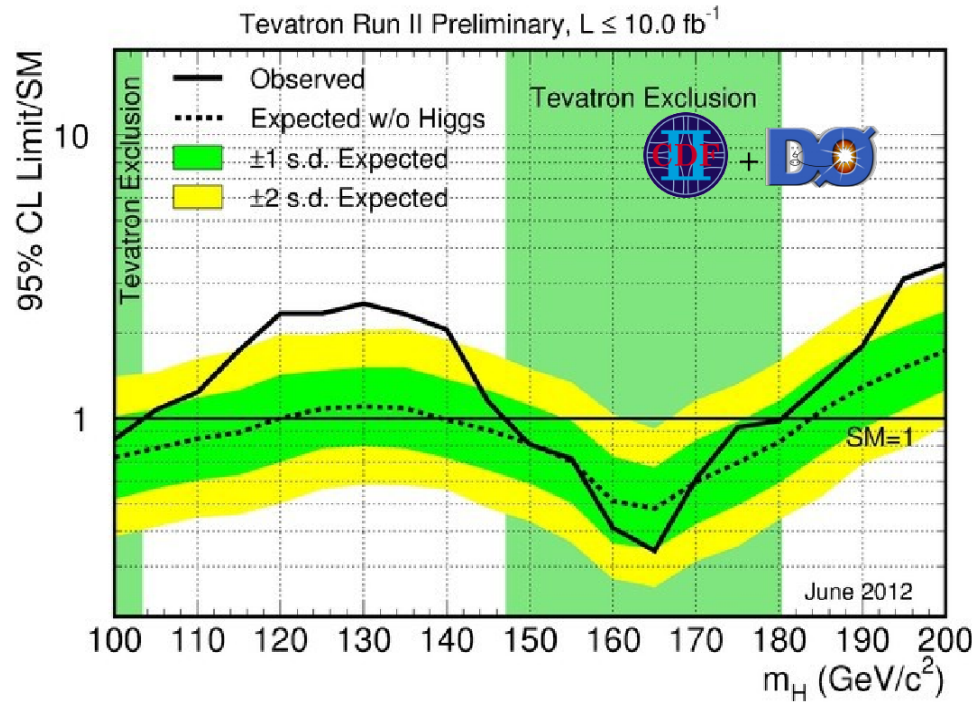
- Obserwowany sygnał, lub deficyt można zanalizować w kontekście sprzężeń do W/Z ( $\kappa_V/c_V$ ) i fermionów ( $\kappa_F/c_F$ )
- **Analiza uwzględnia obecność sprzężeń w produkcji i rozpadzie**
- Oba eksperymenty uzyskują najlepsze dopasowania zgodne z MS w zakresie  $2\sigma$



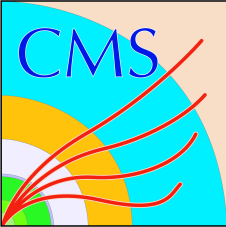
# Symetria "custodial"



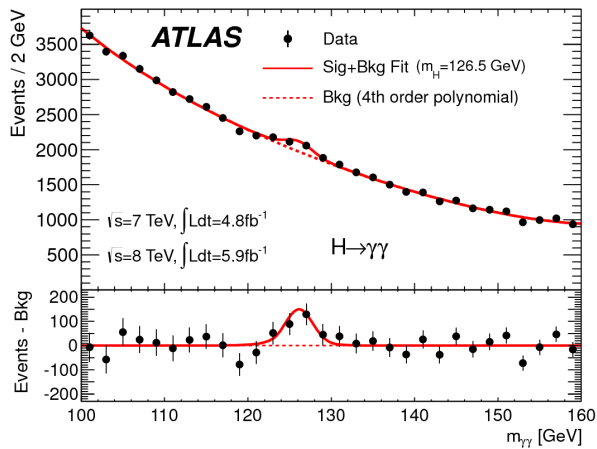
- Mechanizm Higgsa przewiduje  $g_{HWW}/g_{HZZ}=1$
- ATLAS:  $g_{HWW}/g_{HZZ} = 1.07^{+0.35}_{-0.27}$       CMS:  $g_{HWW}/g_{HZZ} = 0.9^{+1.1}_{-0.6}$
- **Pomiar  $g_{HWW}/g_{HZZ}$  wykazuje zgodność z MS**



- **Kombinacja analiz D0 i CDF wykazuje nadwyżkę na poziomie  $3\sigma$  ( $2.5\sigma$  z LEE)**
- **Nadwyżka jest obserwowana głównie w kanale  $H \rightarrow b\bar{b}$ :  $3.2\sigma$  ( $2.9\sigma$  z LEE)**
- **Analiza statystyczna wykazuje zgodność z hipotezą SM H,  $m_H = 125 \text{ GeV}/c^2$**



# Podsumowanie własności



$H \rightarrow \gamma\gamma$

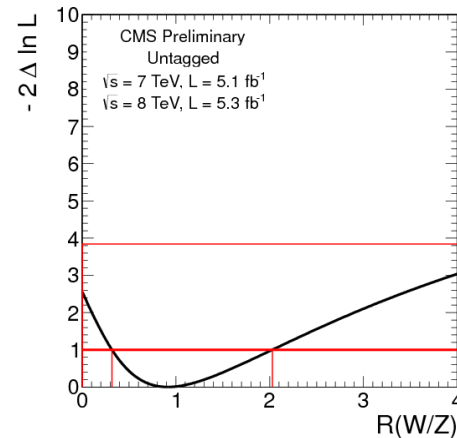
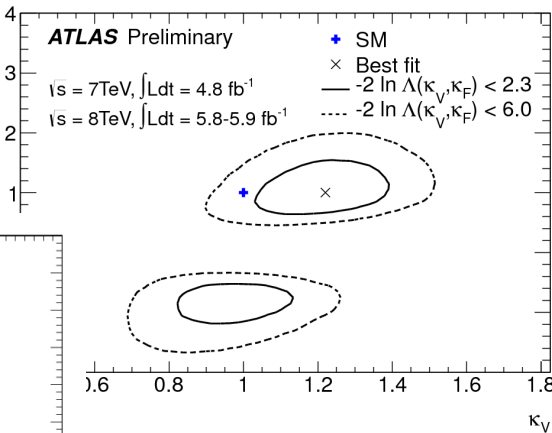
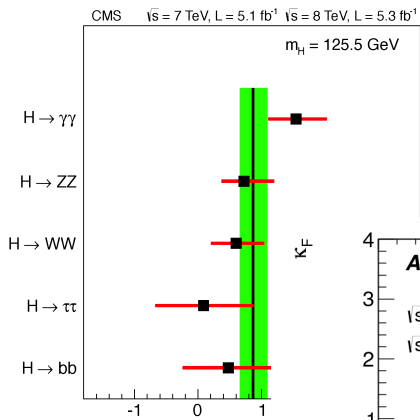
→

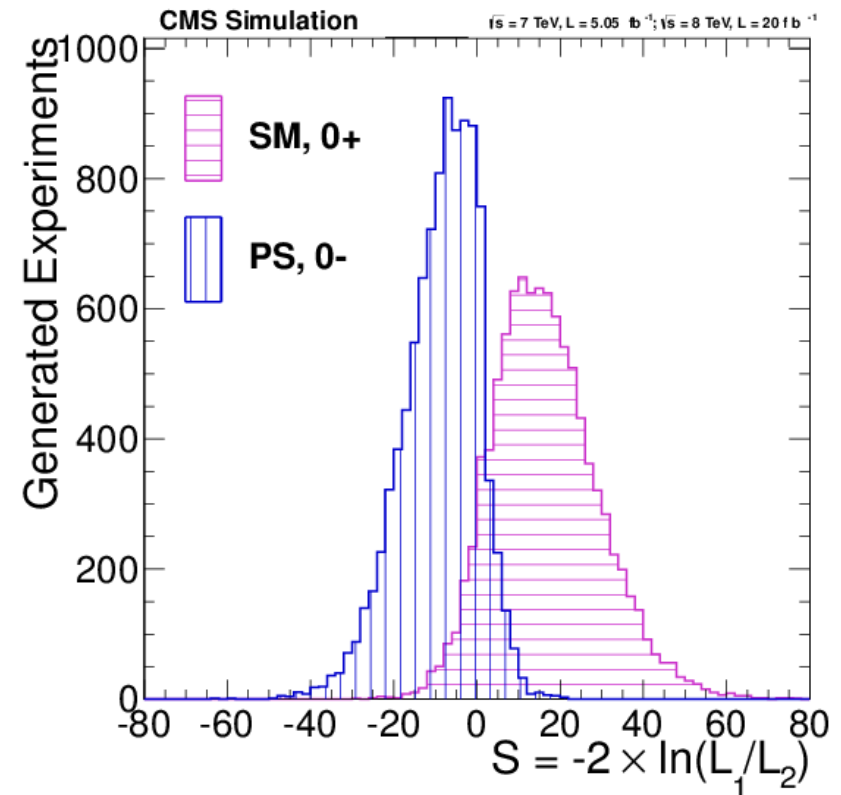
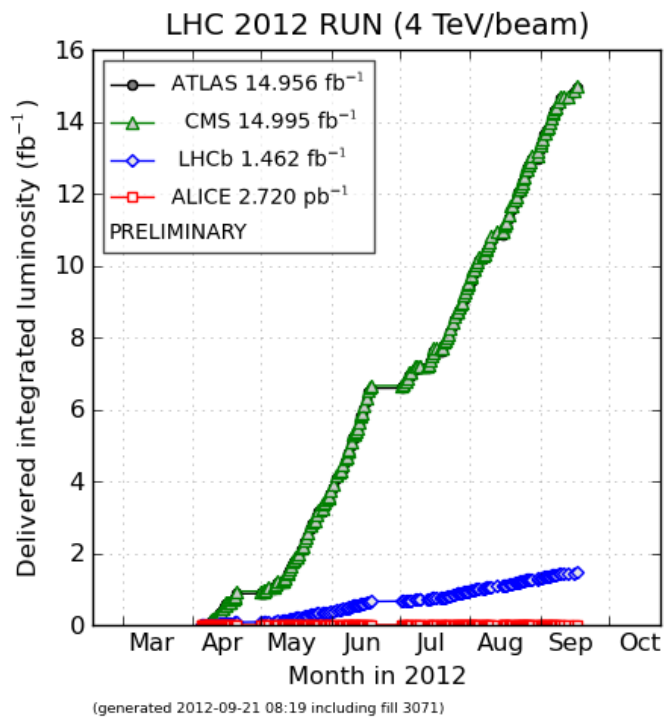
- Skalar lub tensor

$\sigma/\sigma_{MS} \sim 1$

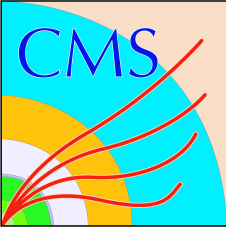
→

- Produkcja i rozpad zgodne z MS (w ramach 1-2 $\sigma$ )





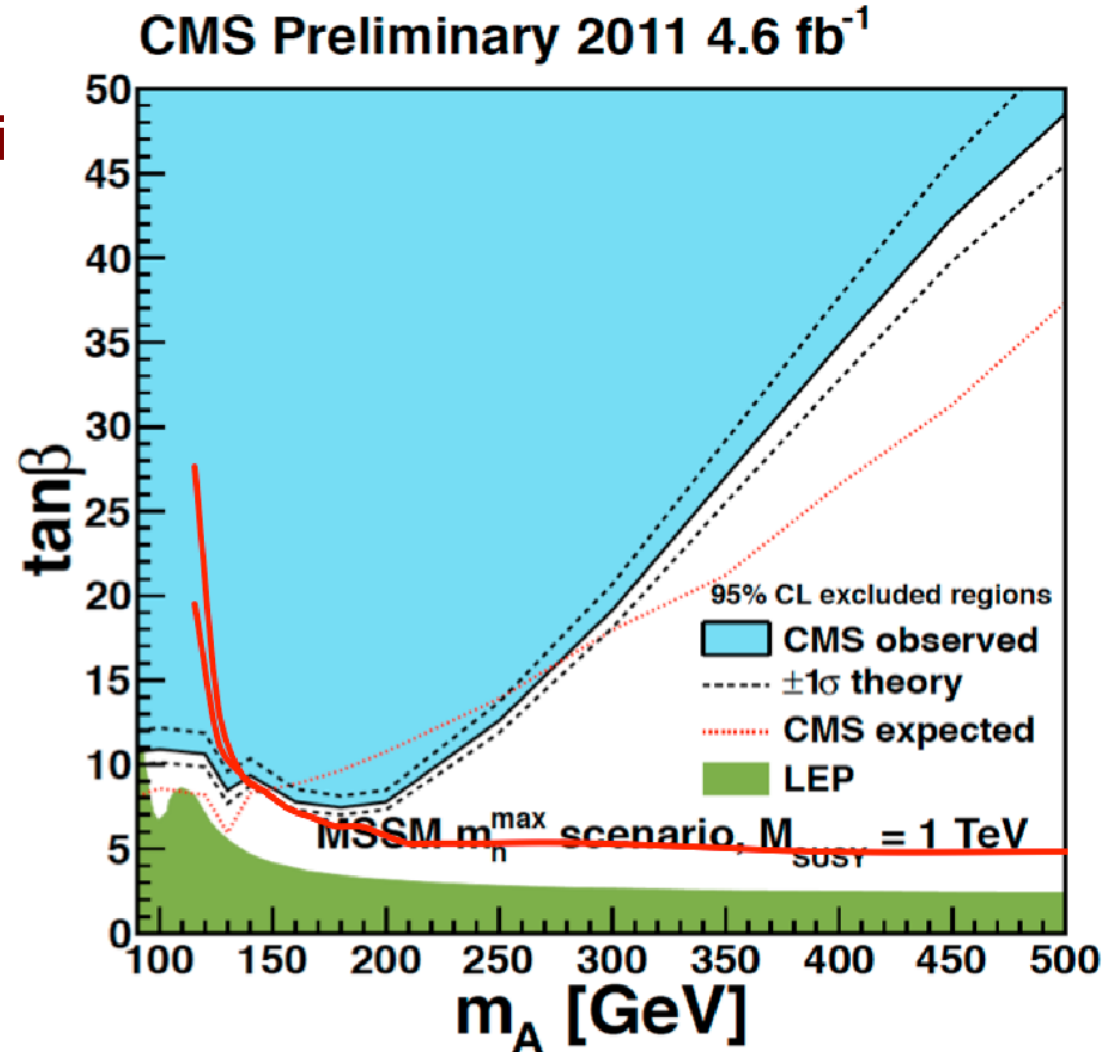
- W 2012 roku LHC powinno dostarczyć około 20 fb<sup>-1</sup>
- **Kanały ZZ i  $\gamma\gamma$  powinny mieć czułość na poziomie 5 $\sigma$  każdy**
- **Kanał ZZ powinien pozwolić na ustalenie parzystości H**
- **Z 25 fb<sup>-1</sup> (2011+2012) powinno się dać coś powiedzieć na temat rozpadów na fermiony**



# Perspektywy w MSSM



- Analizy w ramach MSSM nie były aktualizowane z danymi z 2012
- W ramach cMSSM  $m_h = 125 \text{ GeV}/c^2$  dopuszcza tylko wąski zakres  $m_A$ ,  $\tan\beta$
- Bezpośrednie poszukiwania SUSY wskazują że cMSSM raczej nie jest realizowany





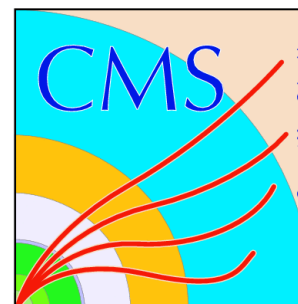


# Polski wkład w analizę



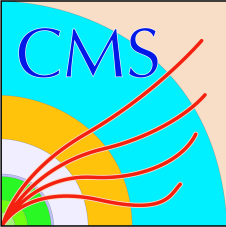
## Kraków

- T. Szymocha, M. Sapiński, E. Stanecka – doktoraty związane z analizami H
- Wkład w budowę detektora śladowego
- Identyfikacja leptonów tau metodami MVA
- Rekonstrukcja rozpadów  $\pi^0$  w rozpadach  $\tau$
- Prof. E. Richter Wąs była koordynatorem grup ATLAS Higgs oraz ATLAS Tau
- W planie zaangażowanie w analizy  $H^\pm \rightarrow \tau \nu$



## Warszawa

- M. Bluj, T. Früboes (w drodze), A. Kalinowski, P. Zych – doktoraty związane z analizami H
- Znaczny wkład w tryger mionowy pierwszego poziomu
- Implementacja trygera taonowego
- Analizy czystości identyfikacji  $\tau$
- Zaangażowanie w obecną analizę  $H \rightarrow \tau\tau$ :
  - metoda zanurzania “embeddingu” dla  $Z \rightarrow \tau\tau$
  - szacowanie tła QCD+W

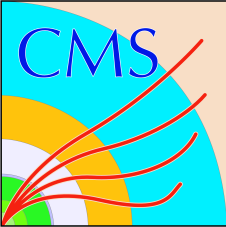


# Podsumowanie



- **Eksperymenty ATLAS i CMS przeanalizowały do 10 fb<sup>-1</sup> danych w poszukiwaniu bozonu Higgsa w ramach MS**
- **W kanałach  $\gamma\gamma$  i ZZ zaobserwowano sygnał na poziomie około 5-6 $\sigma$**
- **W kanale WW zaobserwowano nieznaczną nadwyżkę nad tłem, na poziomie około 1.5-3 $\sigma$**
- **W kanale bb zaobserwowano nieznaczną nadwyżkę nad tłem, na poziomie około 0.7 $\sigma$  (tylko CMS)**
- **W kanale  $\tau\tau$  zaobserwowano nieznaczny deficyt przypadków**

**Wszystkie te obserwacje są w ramach niepewności statystycznych zgodne z oczekiwaniami dla bozonu Higgsa o masie około 125-126 GeV/c<sup>2</sup>**



# Literatura



- Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC  
[Phys. Lett. B 716 \(2012\) 1-29](#)
- Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC  
[Phys. Lett. B 716 \(2012\) 30-61](#)
- Updated Combination of CDF and DØ's Searches for Standard Model Higgs Boson Production with up to 10.0 fb<sup>-1</sup> of Data
- [arXiv:1207.0449 \[hep-ex\]](#)
- Strona WWW eksperymentu CMS w wynikami analiz  
<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/CMSPublic/PhysicsResultsHIG>
- Strona WWW eksperymentu ATLAS w wynikami analiz  
<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/AtlasPublic/HiggsPublicResults>
- CMS detector: JINST 3:S08004,2008  
<http://iopscience.iop.org/1748-0221/3/08/S08004>
- ATLAS detector: JINST 3:S08004,2008  
<http://iopscience.iop.org/1748-0221/3/08/S08003>

**SLAJDY ZAPASOWE**