

Co się wydarzyło 4 lipca 2012?

Piotr Traczyk
CERN

- Co to jest ten bozon Higgsa?
- Jak zobaczyć bozon Higgsa?
 - I co to znaczy 5 sigma?
- Co tak naprawdę odkryliśmy?

...i co dalej?

Bozon Higgsa (od strony teoretycznej)

- Równania modelu standardowego można napisać tylko dla cząstek bezmasowych
- „Człony masowe” łamią jedną z podstawowych symetrii tych równań, bez której cała teoria przestaje mieć sens
- Ale w przyrodzie występują cząstki masywne...

...dlaczego przywiązujemy tak dużą wagę do „symetrii”?
(i co to w ogóle jest)

Twierdzenie Noether

- W 1915 roku Emmy Noether udowodniła fundamentalną zależność pomiędzy symetriami praw fizyki a obowiązującymi w tejże fizyce zasadami zachowania
- Znane nam dobrze zasady zachowania - energii, pędu czy momentu pędu są nierozłącznie związane z symetriami (niezmienniczością równań) względem przesunięcia w czasie, przestveni oraz obrotu



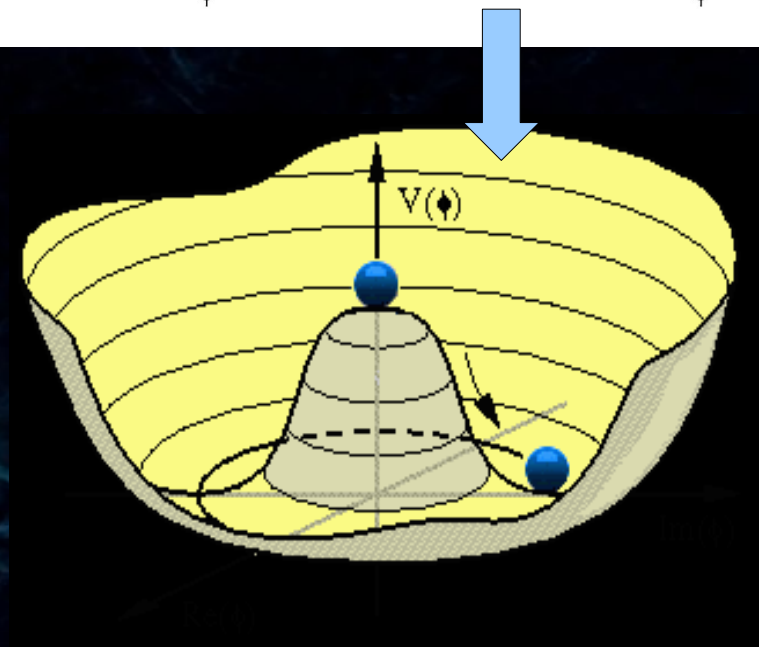
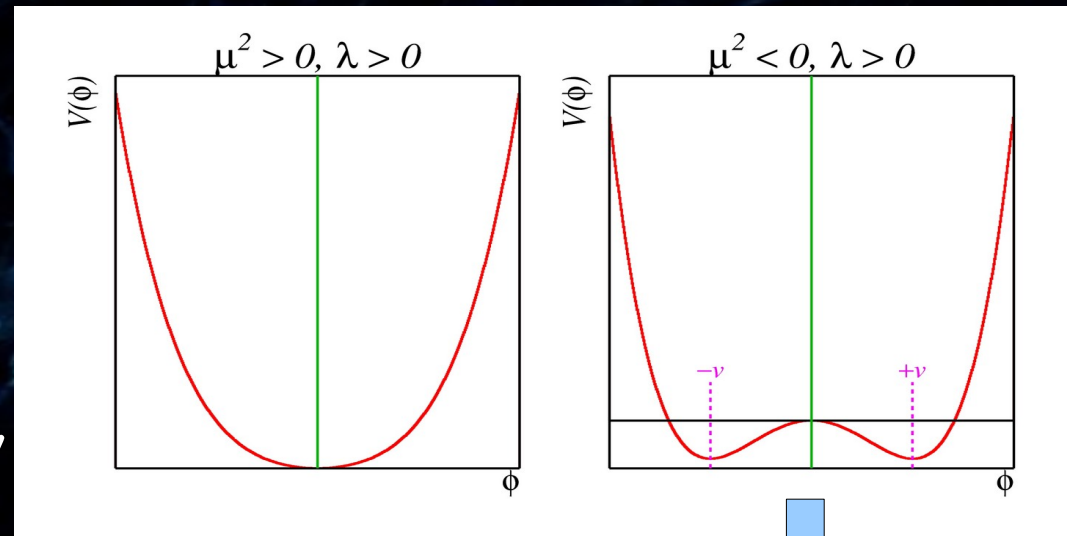
Mechanizm Higgsa

- Tzw. symetrie cechowania w Modelu Standardowym opisują oddziaływania - np. oddziaływanie elektrosłabe
- Ale symetria występuje tylko jeśli nośniki oddziaływań są bezmasowe - ale bozony W i Z mają masę
- Mechanizm Higgsa pozwala złamać tą symetrię „spontanicznie” - nie naruszając samych równań.
 - Sama próżnia ma mniejszą symetrię niż te równania - symetria we Wszechświecie jest złamana a w równaniach pozostaje.

Co to znaczy?

Spontaniczne łamanie symetrii

- Potencjał Higgsa ma kształt „sombbrero” - stan zachowujący symetrię jest niestabilny, stan stabilny łamie symetrię układu
- Próżnia wybiera sobie jakiś punkt, w którym symetria jest złamana
- Ale równania symetrię zachowują - potencjał pozostaje symetryczny



Bozon Higgsa ↔ Pole Higgsa

- Pole Higgsa:



- Cząstka Higgsa:

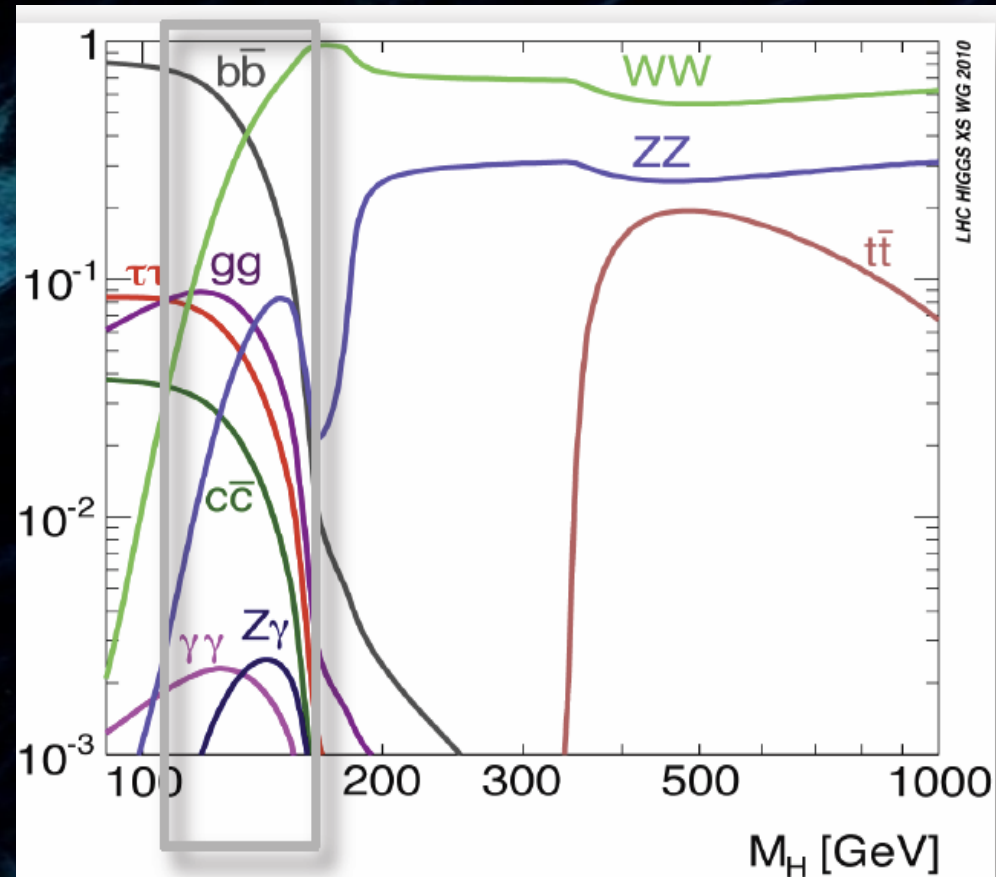


Jak odkryć bozon Higgsa?

- 1) Produkcja w zderzeniu protonów
- 2) Rozpad na znane cząstki (w zależności od tego jak cząstka Higgsa się rozpadnie będzie ją łatwiej lub trudniej „zobaczyć”)
- 3) Rejestracja produktów rozpadu w detektorze
- 4) Analiza danych - zderzenia zawierające rozpad Higgsa trzeba oddzielić od „tła”

Kanały rozpadu bozonu Higgosa

- Dla „małych mas” ($\sim 150 \text{ GeV}$) bozon Higgosa rozpada się najczęściej na parę kwark-antykwarek $b\bar{b}$ lub parę bozonów W .
- W tych kanałach jednak trudno jest oddzielić sygnał od tła. W poszukiwaniu nowej cząstki bardziej obiecujące były dużo rzadsze kanały - rozpad na dwa fotony oraz rozpad na parę bozonów Z , z których każdy rozpada się na parę elektronów lub mionów



Przykład: rozpad na parę fotonów

- Jak zobaczyć Higgsa? - szukamy zderzeń w których detektor zarejestrował dwa fotony
- Ale (oczywiście) para fotonów może pojawić się w detektorze na wiele sposobów (niekoniecznie pochodzić z rozpadu Higgsa)
- Do odróżnienia SYGNAŁU od TŁA stosujemy różne metody, w szczególności patrzymy na masę niezmienniczą pary fotonów

Masa niezmiennicza

- Wielkość zachowana przy zmianie układu odniesienia, ale również przy rozpadzie:

w spoczynku:

$$E = mc^2 \rightarrow m = E/c^2$$

w ruchu:

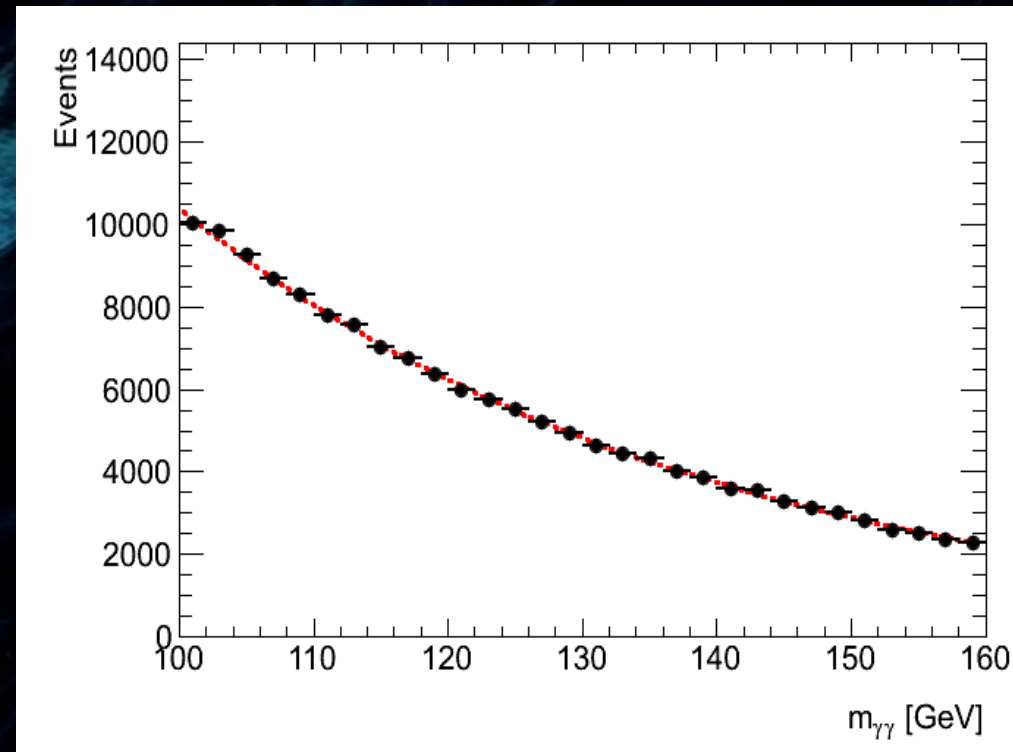
$$E^2 = m^2c^4 + p^2c^2 \rightarrow m = 1/c^2 \text{ sqrt}(E^2 - |\bar{p}|^2c^2)$$

dla wielu cząstek:

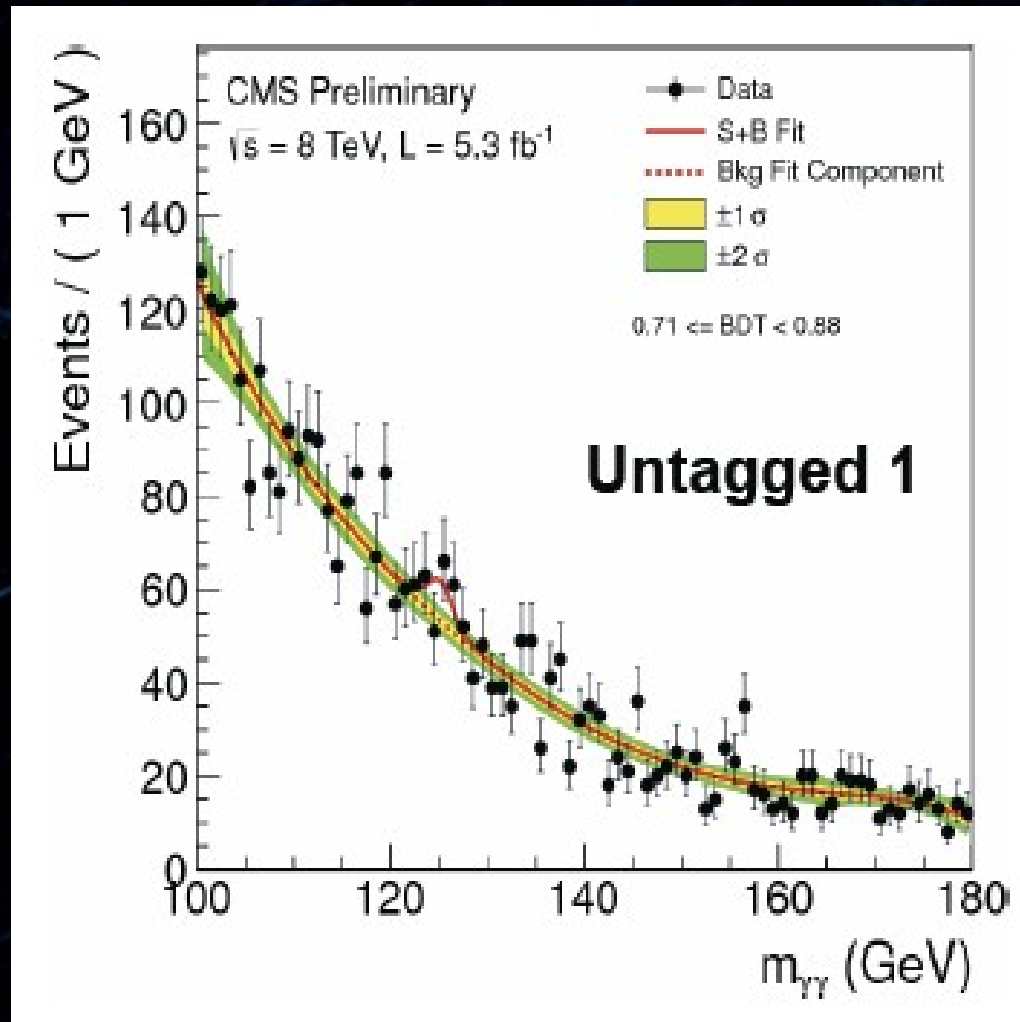
$$m = 1/c^2 \text{ sqrt}((\sum E_i)^2 - (\sum \bar{p}_i)^2c^2)$$

Poszukiwanie nowej cząstki

- Jeśli patrzymy np. na przypadki z dwoma fotonami, możemy zrobić histogram zrekonstruowanej masy par fotonów
- W sytuacji w której nie ma nowej cząstki widzimy ciągłe, opadające spektrum mas
- Jeśli wśród tych przypadków byłyby przypadki z rozpadem cząstki Higgsa, wszystkie powinny zgromadzić się wokół jednej masy



The $H \rightarrow \gamma\gamma$ channel

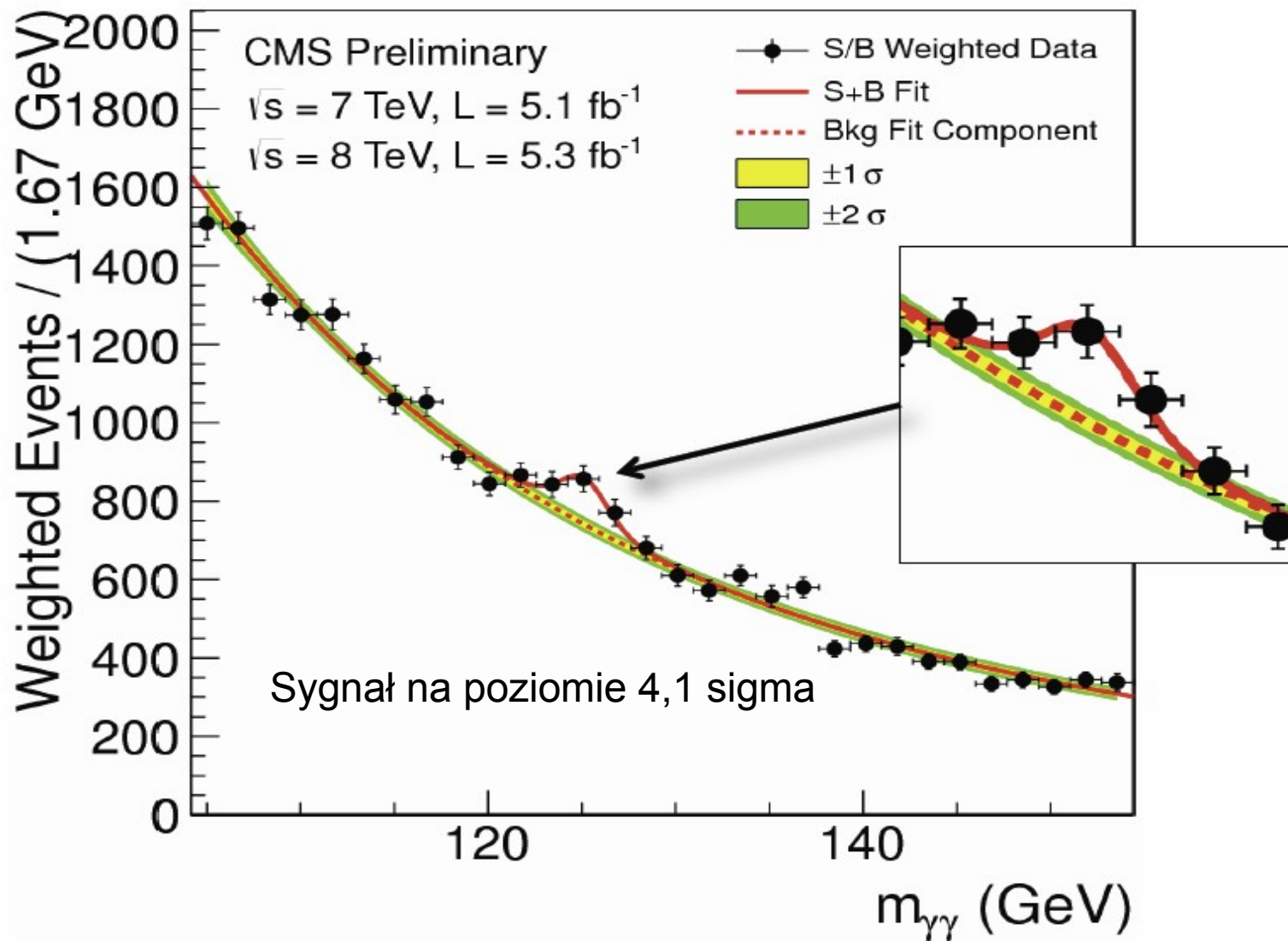


Jak zmierzyć czy coś widzimy czy nie?

- Statystyka matematyczna pozwala nam odpowiedzieć na pytanie:
jakie jest prawdopodobieństwo, że obserwowana przez nas w którymś miejscu wykresu nadwyżka przypadków jest tylko dziełem przypadku?
- Standardowo wynik wyrażamy w odchyleniach standardowych czyli „sigmach”

n	$\text{erf}\left(\frac{n}{\sqrt{2}}\right)$	i.e. 1 minus ...	or 1 in ...
1	0.682 689 492 137	0.317 310 507 863	3.151 487 187 53
2	0.954 499 736 104	0.045 500 263 896	21.977 894 5080
3	0.997 300 203 937	0.002 699 796 063	370.398 347 345
4	0.999 936 657 516	0.000 063 342 484	15,787.192 7673
5	0.999 999 426 697	0.000 000 573 303	1,744,277.893 62
6	0.999 999 998 027	0.000 000 001 973	506,797,345.897

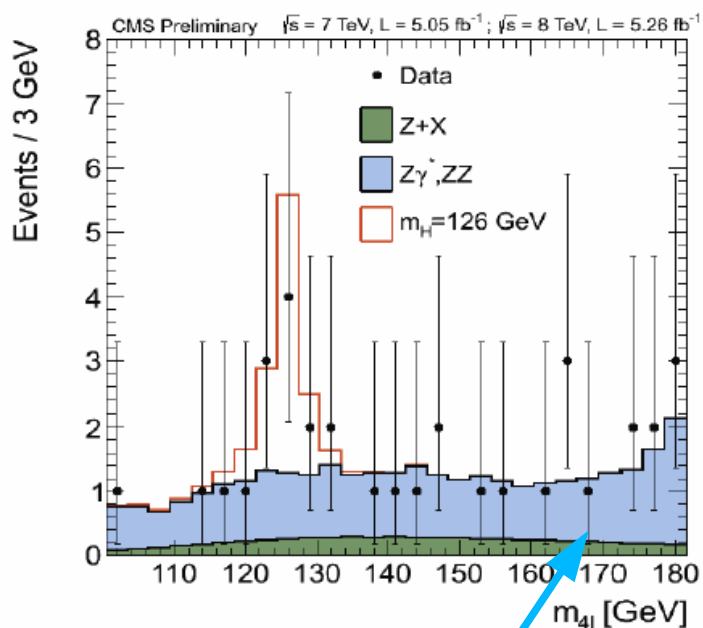
Wynik poszukiwania $H \rightarrow \gamma\gamma$ (CMS)



Wynik poszukiwania $H \rightarrow 4l$ (CMS)

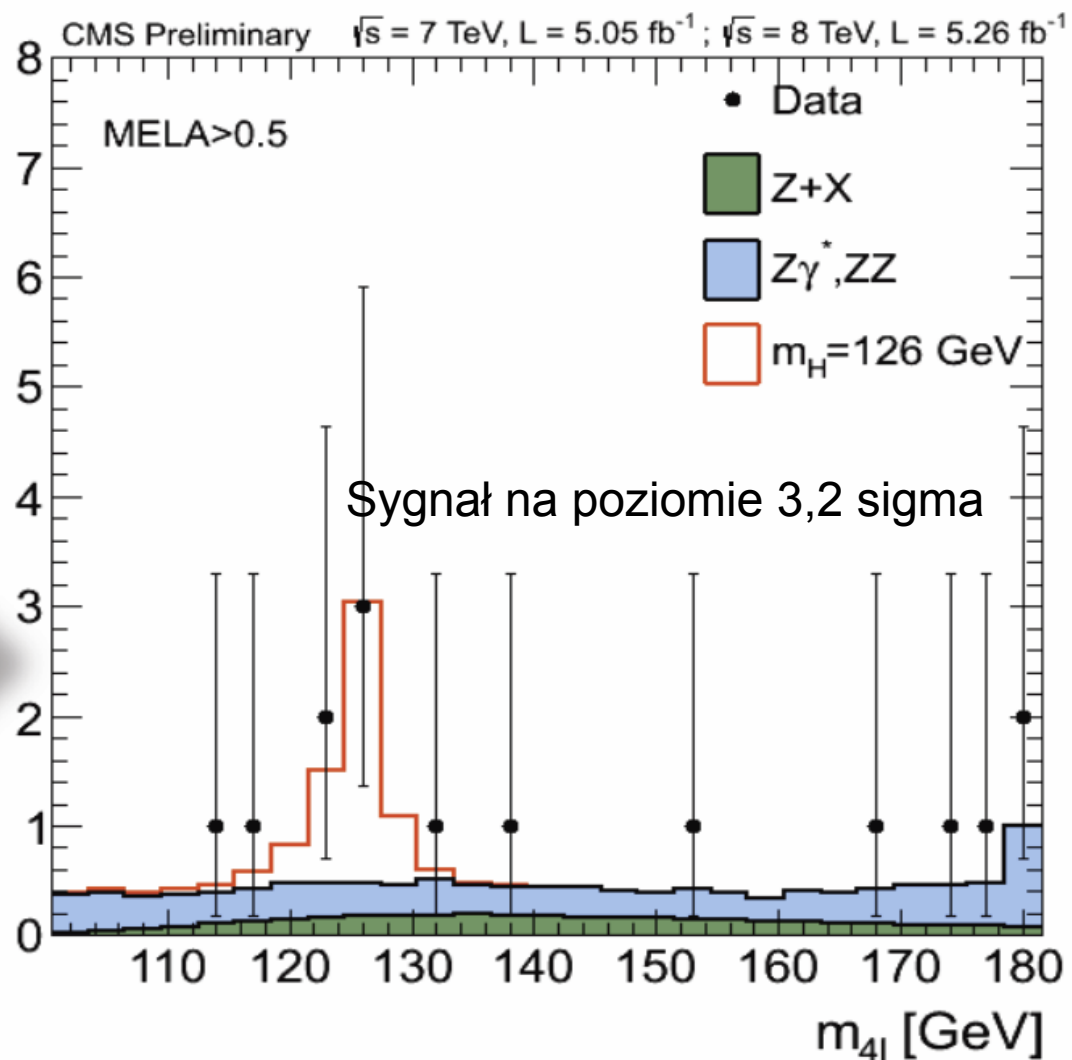
Enrich the signal content

- Cut: $MELA > 0.5$
 - Cut value chosen such that signal probability > background probability

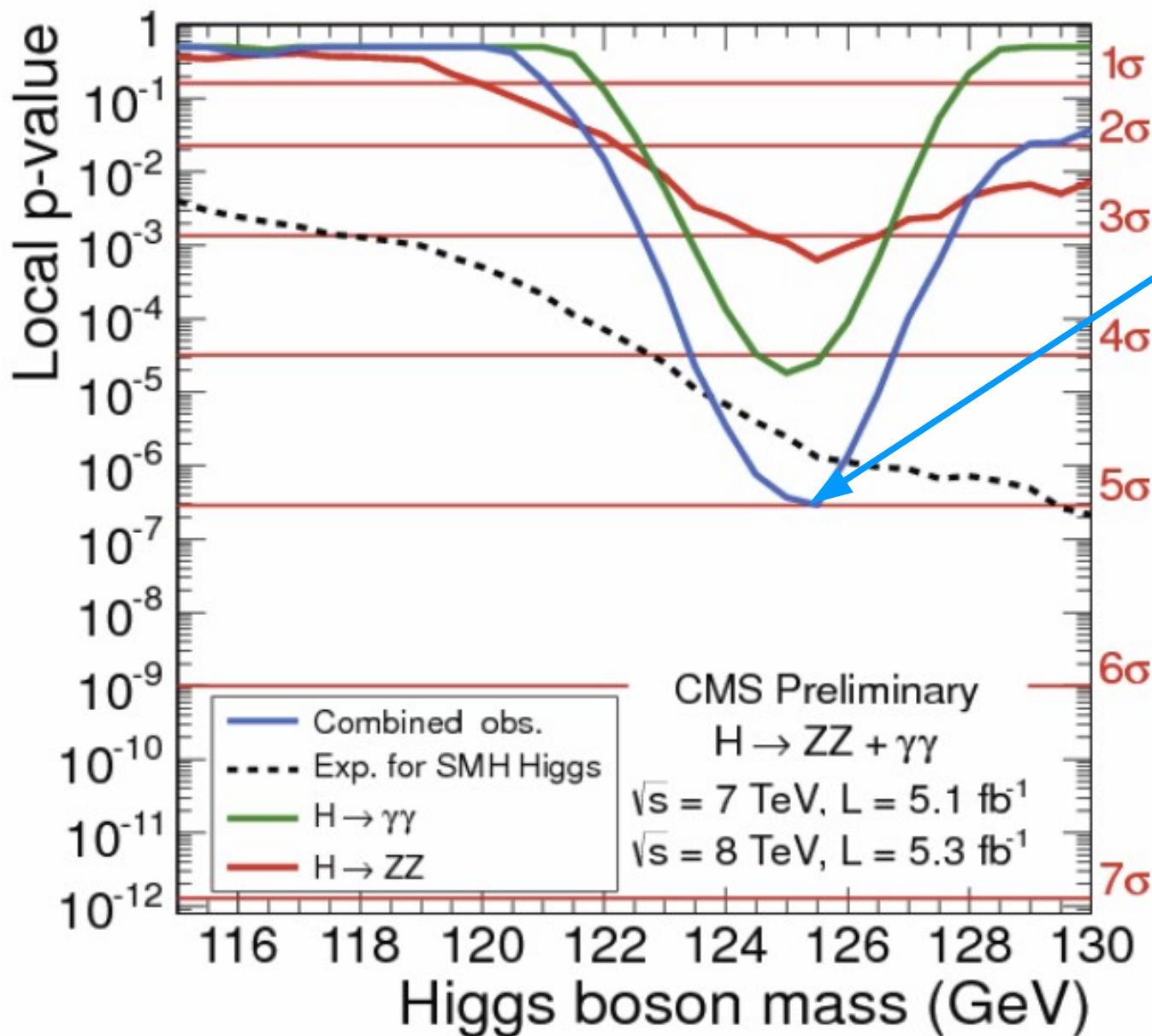


Znane tło

Events / 3 GeV



Połączenie dwóch kanałów



5,0 sigma otrzymane poprzez połączenie wyników z dwóch kanałów.

Prawdopodobieństwo tego, że widzimy to co widzimy jedynie w wyniku czystego przypadku, to około 1 : 3 500 000

Mniej więcej dwa razy mniej niż prawdopodobieństwo wyrzucenia 8 razy 6 oczek na kostce

Co dalej?

