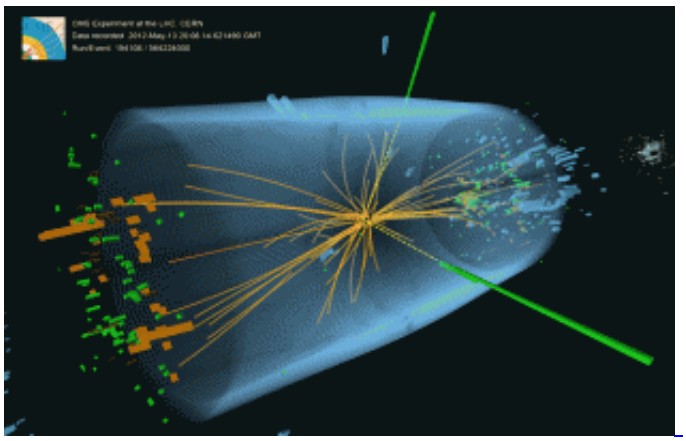
Higgs 2012

2012-07-04



Rysunek 1. Przypadek zarejestrowany w detektorze CMS w 2012 roku, przy energii w środku masy równej 8 TeV. Przypadek jest zgodny z charakterystyką oczekiwaną dla rozpadu standardowego bozonu Higgsa na parę fotonów (żółte, przerywane linie i zielone prostopadłościany). Przypadek ten może też być efektem znanych procesów tła opisywanych przez model standardowy.

Polscy fizycy od wielu lat biorą aktywny udział w badaniach z zakresu fizyki cząstek elementarnych. Badacze z Warszawy biorą udział w budowie detektora CMS działającego przy LHC od 1991 roku. Warszawska grupa eksperymentu CMS tworzona jest przez Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, Narodowe Centrum Badań Jądrowych oraz Politechnikę Warszawską.

Obecnie w skład grupy wchodzi około 20 fizyków, około 10 studentów i doktorantów oraz kilku inżynierów. Kierownikiem grupy od momentu jej powstania jest prof. dr hab. Jan Królikowski.

Więcej o aktywności Warszawskieh Grupy eksperymentu CMS można znaleźć na stronie http://cms.fuw.edu.pl**.**

Komunikat prasowy CERN, Genewa, 04 lipca 2012

Na wspólnym seminarium w CERN i na konferencji “ICHEP 2012” [1] odbywającej się w Melbourne, naukowcy pracujący przy eksperymencie CMS (ang. Compact Muon Solenoid) działającym przy Wielkim Zderzaczu Hadronów (ang. Large Hadron Collider – LHC) zaprezentowali wstępne wyniki poszukiwań bozonu Higgsa w ramach modelu standardowego (MS), oparte na danych zebranych do czerwca 2012 roku.

Eksperyment CMS obserwuje nadwyżkę przypadków przy masie około 125 GeV [2] o statystycznej znaczącości pięciu odchyleń standardowych (5 sigma) [3] ponad oczekiwanym tłem. Prawdopodobieństwo tego, że przypadki samego tła zafluktuują dając sygnał taki, jak sygnał spodziewany od cząstki Higgsa, wynosi około jeden do trzech milionów. Obserwowany sygnał jest najbardziej wyraźny w dwóch stanach końcowych o najlepszej rozdzielczości masowej: w stanie końcowym zawierającym dwa fotony oraz w stanie zawierającym dwie pary naładowanych leptonów (elektronów lub mionów). Wynik ten interpretujemy jako wkład od produkcji wcześniej nie obserwowanej cząstki o masie około 125 GeV.

Ponadto, dane CMS wykluczają istnienie bozonu Higgsa z MS w zakresach mas 110-122,5 GeV i 127-600 GeV na poziomie ufności 95% [4] – mniejsze masy zostały już wykluczone na tym samym poziomie ufności przez zderzacz LEP działający uprzednio w CERN.

W ramach statystycznych i systematycznych niepewności, wyniki uzyskane w różnych kanałach poszukiwań są zgodne z oczekiwaniami dla bozonu Higgsa w ramach MS. Dopiero zebranie większej ilości danych pozwoli ustalić, czy ta nowa cząstka ma wszystkie własności standardowego bozonu Higgsa, czy też niektóre z jej własności nie pasują do MS, co oznaczałoby istnienie nowej fizyki poza modelem standardowym.

LHC dostarcza nowych danych z imponującą prędkością. Do końca 2012 roku CMS ma nadzieję zwiększyć ponad trzykrotnie próbkę zebranych danych. Dane te pozwolą CMS zbadać dokładniej naturę nowej cząstki oraz powiększą zasięg wielu innych poszukiwań nowej fizyki.

Strategia poszukiwań w eksperymencie CMS

CMS przeanalizował całą próbkę danych ze zderzeń proton-proton w latach 2011 i 2012, aż do 18 czerwca br. Dane te odpowiadają scałkowanej świetlności [5] do 5 fb-1 przy energii w środku masy 7 TeV w 2011 i do 5,3 fb-1 przy energii 8 TeV w 2012 roku.

Model standardowy przewiduje, że bozon Higgsa żyje bardzo krótko, po czym rozpada się na wiele innych, dobrze znanych cząstek. Eksperyment CMS badał pięć podstawowych kanałów rozpadu. W trzech kanałach rozpad następuje na pary bozonów ($\gamma\gamma$, ZZ lub WW), a w dwóch na pary leptonów (bb lub $\tau\tau$), gdzie γ oznacza foton, Z i W oznaczają nośniki oddziaływań słabych, b oznacza kwark niski (ang. bottom) a τ oznacza lepton tau. Kanały $\gamma\gamma$, ZZ i WW są jednakowo dokładne w poszukiwaniach bozonu Higgsa o masie około 125 GeV i jednocześnie są bardziej czułe niż kanały bb i $\tau\tau$.

Kanały $\gamma\gamma$ i ZZ są szczególnie ważne, ponieważ pozwalają na precyzyjny pomiar masy nowej cząstki. W kanale $\gamma\gamma$ masa jest wyznaczana z energii i kierunków dwóch wysokoenergetycznych fotonów mierzonych przez kalorymetr elektromagnetyczny eksperymentu CMS (ECAL, rysunek 1). W kanale ZZ masa jest wyznaczana z rozpadów dwóch bozonów Z na dwie pary elektronów, dwie pary mionów lub parę elektronów i parę mionów (rysunek 2). Cząstki te są mierzone w kalorymetrze elektromagnetycznym, wewnętrznym detektorze śladowym i komorach mionowych.

Kanał WW jest bardziej złożony. Każdy z bozonów W jest identyfikowany poprzez rozpad na elektron i neutrino lub mion i neutrino. Neutrina przelatują przed detektor CMS niezauważone, dlatego w kanale WW bozon Higgsa objawiałby się jako szeroka nadwyżka przypadków w rozkładzie masy, a nie jako wąski pik. Kanał bb charakteryzuje się dużym tłem pochodzącym od procesów znanych w modelu standardowym, wobec czego w tym kanale bozonu Higgsa poszukuje się w przypadkach jednoczesnej produkcji bozonu Higgsa i bozonów W lub Z, które rozpadają się na elektron(-y) lub mion(-y). W kanale $\tau\tau$ obserwuje się rozpady τ na elektrony, miony i hadrony.

Podsumowanie wyników CMS

Ilość danych zebrana przez CMS powinna wystarczyć do całkowitego wykluczenia zakresu mas 110–600 GeV na poziomie ufności 95%, jeśli bozon Higgsa w ramach MS nie istnieje. W rzeczywistości dane pozwoliły wykluczyć istnienie bozonu Higgsa w ramach MS na poziomie ufności 95% w dwóch szerokich zakresach mas 110–122,5 GeV oraz 127–600 GeV.

Zakres mas 122,5–127 GeV nie może być wykluczony, ponieważ obserwujemy nadwyżkę przypadków w trzech z pięciu analizowanych kanałów:

- kanał γγ: rozkład masy γγ jest pokazany na rysunku 3. Dla masy około 125 GeV występuje nadwyżka przypadków ponad tłem o znaczącości na poziomie 4,1 sigma. Obserwacja stanu końcowego z dwoma fotonami oznacza, że nowa cząstka jest bozonem, a nie fermionem, oraz że nie może mieć spinu równego 1.
- kanał ZZ: rysunek 4 przedstawia rozkład masy czterech leptonów (dwóch par elektronów lub dwóch par mionów, lub pary elektronów i pary mionów). Po uwzględnieniu charakterystyki kątowej rozpadów obserwujemy nadwyżkę na poziomie 3,2 sigma dla masy około 125 GeV.
- kanał WW: zaobserwowano szeroką nadwyżkę w rozkładzie masy na poziomie 1,5 sigma.
- kanały bb i ττ: nie zaobserwowano żadnej nadwyżki.

Znaczącość statystyczna sygnału z pełnej kombinacji wszystkich kanałów (rysunek 5) wynosi 4,9 sigma ponad tłem. Połączone dopasowanie w wyłącznie dwóch najbardziej czułych kanałach o wysokiej rozdzielczości (γγ oraz ZZ) wykazuje statystyczną znaczącość na poziomie 5,0 sigma. Prawdopodobieństwo tego, że przypadki samego tła zafluktuują dając sygnał taki, jak sygnał spodziewany od cząstki Higgsa, wynosi około jeden do trzech milionów.

Zmierzona masa nowej cząstki to 125,3 +/- 0,6 GeV, niezależnie od zakładanych względnych częstości rozpadu w różnych kanałach. Zmierzona częstotliwość produkcji (σ) nowej cząstki jest zgodna z przewidywaną częstotliwością produkcji (σSM) bozonu Higgsa z MS: σOBS/σSM = 0,80 +/- 0,22.

Fizycy włożyli wiele wysiłku w zrozumienie szczegółów pracy i wydajności detektora, selekcji przypadków, wyznaczania tła oraz innych możliwych źródeł niepewności statystycznej lub systematycznej. Analiza przeprowadzona w 2011 r. [6] wykazała nadwyżkę przypadków przy około 125 GeV. Dlatego, aby uniknąć możliwości zasugerowania się zeszłorocznym wynikiem przy doborze kryteriów selekcji przypadków w 2012 r. i sztucznego wzmocnienia obserwowanej nadwyżki, analiza tegorocznych danych została wykonana techniką „ślepej analizy” [7]. Technika ta polega na tym, że interesujący fizyków obszar w zebranych danych nie mógł być użyty aż do momentu pełnego zrozumienia i sprawdzenia poprawności wszystkich szczegółów analizy.

W ramach sprawdzania spójności wyników wszystkie analizy prowadzone były równolegle przez co najmniej dwa niezależne zespoły. Wiarygodności wynikom dodaje również kilka ogólnych obserwacji:

- Nadwyżka przypadków występuje przy masie około 125 GeV zarówno w danych z 2011 r. zebranych przy energii 7 TeV, jak i w danych z 2012 r. zebranych przy energii 8 TeV.
- Nadwyżka widoczna jest przy tej samej masie w obu kanałach o dużej rozdzielczości (γγ oraz ZZ).
- Nadwyżka widoczna w kanale WW jest zgodna ze spodziewaną nadwyżką dla cząstki o masie 125 GeV.
- Nadwyżka jest widoczna w wielu stanach końcowych zawierających fotony, elektrony, miony oraz hadrony.

Przedstawione dziś wstępne wyniki zostaną dopracowane z zamiarem wysłania ich do publikacji pod

koniec lata.

Plany na przyszłość

Obserwacja nowej cząstki o masie około 125 GeV jest w granicach obecnej dokładności statystycznej zgodna z hipotezą, że cząstka ta jest bozonem Higgsa w ramach MS. Dopiero zebranie większej ilości danych pozwoli zmierzyć własności tej cząstki, takie jak stosunki rozgałęzień dla różnych kanałów rozpadu ($\gamma\gamma$, ZZ, WW, bb oraz $\tau\tau$) a w następnej kolejności również spin i parzystość. To pozwoliłoby ustalić czy cząstka którą widzimy jest faktycznie bozonem Higgsa z MS, czy też przejawem nowej fizyki poza modelem standardowym.

Akcelerator LHC pracuje bardzo wydajnie – do końca roku 2012 eksperyment CMS spodziewa się ponad trzykrotnego powiększenia zebranej próbki danych i dokładniejszego zbadania natury obserwowanej nowej cząstki. Jeśli nowa cząstka rzeczywiście jest bozonem Higgsa z MS, jej własności i wynikające z nich konsekwencje dla modelu standardowego będą poddane szczegółowym badaniom. Jeśli ta cząstka nie jest standardowym bozonem Higgsa, CMS będzie badał wynikającą z tego nową fizykę, co może oznaczać istnienie kolejnych nowych cząstek możliwych do zaobserwowania w LHC. Niezależnie od tego kontynuowane będą poszukiwania nowych cząstek lub sił, które mogą być zaobserwowane w danych zebranych podczas pracy akceleratora LHC z większą energią i intensywnością wiązki.

O eksperymencie CMS

Więcej informacji: http://cern.ch/cms. Kontakt: cms.outreach@cern.ch.

CMS jest jednym z dwóch eksperymentów ogólnego przeznaczenia skonstruowanych aby poszukiwać nowej fizyki w danych z akceleratora LHC. Został on zaprojektowany tak, by móc rejestrować szeroki zakres zjawisk fizycznych i cząstek produkowanych w zderzeniach par wysokoenergetycznych protonów i ciężkich jonów w LHC. CMS pozwoli nam znaleźć odpowiedzi na pytania takie jak: „Z czego tak naprawdę składa się Wszechświat i jakie siły w nim działają?” czy „Co nadaje wszystkiemu masę?”. Eksperyment ten pozwoli również zmierzyć własności znanych cząstek z nieosiągalną dotąd dokładnością oraz szukać całkowicie nowych, nieprzewidzianych zjawisk. Badania takie nie tylko pozwolą nam lepiej zrozumieć jak działa Wszechświat, ale mogą też stymulować rozwój nowych technologii, które zmienią nasz świat, jak to często się zdarzało w przeszłości.

Pierwszy koncepcyjny projekt eksperymentu CMS powstał w roku 1992. Budowa gigantycznego detektora (średnica 15 metrów, długość prawie 29 metrów i waga 14000 ton) pochłonęła 16 lat starań jednej z największych kiedykolwiek utworzonych naukowych kolaboracji: 3275 fizyków (w tym 1535 studentów) oraz 790 inżynierów i techników, ze 179 instytucji i laboratoriów badawczych z 41 krajów na całym świecie.

W razie potrzeby służymy dodatkowymi informacjami. Pytania prosimy kierować na adres cms.outreach@cern.ch.

Przypisy

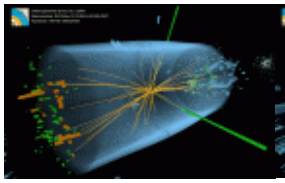
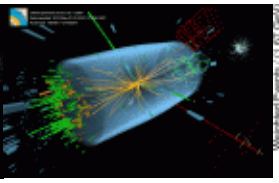
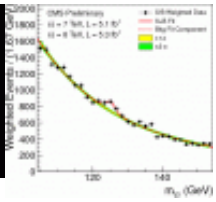
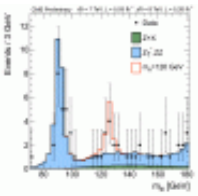
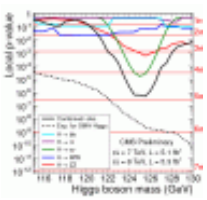
[1] ICHEP to trzydziesta szósta Międzynarodowa Konferencja Fizyki Wysokich Energii (ang. 36th International Conference on High Energy Physics), odbywająca się w Melbourne w Australii w dniach od 4 do 11 lipca 2012 r. Wyniki będą przedstawione równocześnie w ośrodku CERN oraz poprzez łącze internetowe na konferencji ICHEP.
[2] Elektronowolt (eV) jest jednostką energii. Energia 1 GeV oznacza 1.000.000.000 eV (1 miliard eV). W fizyce wysokich energii, gdzie masa i energia często używane są zamiennie, przyjęło się używać

jednostek masy eV/c2 (ze wzoru E = mc2, gdzie c oznacza prędkość światła w próżni). Jeszcze bardziej powszechne jest stosowanie układu jednostek w którym po przyjęciu c = 1 (i w konsekwencji E = m), eV staje się również jednostką masy.

[3] Odchylenie standardowe jest miarą rozrzutu wyników serii pomiarów wokół wartości średniej. Jest też miarą tego, jak bardzo próbka danych odbiega od zakładanej hipotezy. Fizycy mierzą odchylenia standardowe w jednostkach zwanych „sigma”. Im większa liczba sigma, tym bardziej dane nie pasują do zakładanej hipotezy. Zazwyczaj, im odkrycie jest bardziej nieprawdopodobne, tym większej liczby sigma wymagają fizycy, żeby się o nim przekonać.

[4] Poziom ufności w procentach to statystyczna miara liczby przypadków na 100 prób, dających wynik w granicach ustalonego przedziału. Przykładowo, poziom ufności 95% oznacza, że wynik doświadczenia będzie zgodny z oczekiwaniami w 95 przypadkach na 100 prób.

[5] http://news.stanford.edu/news/2004/july21/femtobarn-721.html

[6] http://cms.web.cern.ch/news/cms-search-standard-model-higgs-boson-lhc-data-2010-and-2011

[7] http://cms.web.cern.ch/news/blinding-and-unblinding-analyses