

Pierwsza rocznica odkrycia

Czwartego lipca 2012 roku zespoły badawcze ATLAS i CMS wspólnie ogłosiły odkrycie nowej cząstki, znalezionej w trakcie poszukiwania bozonu Higgsa, ostatniego nieodkrytego obiektu przewidywanego przez Model Standardowy oddziaływań elementarnych (MS). W marcu bieżącego roku, podczas cyklu konferencji *Rencontres de Moriond 2013*, uznano, że przeprowadzone do tego czasu analizy materiału dowodowego zebranego w sprawie są wystarczające, żeby przestać mówić o „higgsopodobnej” nowej cząstce i zacząć ją nazywać po prostu bozonem Higgsa. Nadal pozostaje jednak nadzieja, że nie jest to ta jedyna cząstka przewidywana przez MS, tylko jeden z przedstawicieli większej rodziny, której różne wersje występują w rozszerzeniach MS, a której członków na razie nie widzimy, bo mają zbyt dużą masę lub zbyt słabo sprzęgają się do tego, co zderzenia protonów oferują.

Przyznanie nowej cząstce statusu bozonu Higgsa wiąże się z potwierdzeniem jej oddziaływania z tym, z czym oddziaływać powinna. Pozytywną obserwację uzyskano nie tylko w dwóch „odkrywczych” kanałach (fotonowym: $H \rightarrow \gamma\gamma$ oraz czteroleptonowym: $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow \ell_1^+ \ell_1^- \ell_2^+ \ell_2^-$), za pomocą których zmierzono masę $125,7 \pm 0,4 \text{ GeV}/c^2$ (CMS) oraz $125,5 \pm 0,5 \text{ GeV}/c^2$ (ATLAS), lecz również w pozostałych trzech, w których sygnał powinien być już widoczny przy tej ilości danych, które zostały zebrane (przed zaplanowaną dwuletnią przerwą techniczną w działaniu LHC mającą umożliwić działanie przy zaprojektowanej energii 14 TeV oraz większej o czynnik około 5 świetlności czyli liczbie zderzeń w jednostce czasu).

Tymi trzema kanałami, które masę określają tylko zgrubnie (trudniej jest odróżnić sygnał od tła) są: $H \rightarrow WW^* \rightarrow \ell_1^+ \nu_{\ell_1} \ell_2^- \bar{\nu}_{\ell_2}$, w którym w stanie końcowym widzimy dwa przeciwnie naładowane leptony oraz brak bilansowania się rzutów pędów na płaszczyźnie poprzecznej do kierunku wyznaczonego przez wiązki protonowe (ze względu na nierejestrowane neutrino); $H \rightarrow \tau^+ \tau^-$, w którym w analizie odtwarzamy leptony tau z produktów ich rozpadów (wśród których znów są nierejestrowane neutrino); $H \rightarrow b\bar{b}$, w którym niezwykle trudno jest wyłuskać sygnał spod przytłaczającego, wiele rzędów wielkości większego tła.

Właśnie w tym ostatnim kanale wynik LHC jest mało przekonujący (choć, w granicach niepewności, zgodny z oczekiwaniami opartymi na MS), ale CERN jest tutaj wspierany przez amerykański Tevatron, który zderzał protony z antyprotonami przy cztery razy mniejszej energii. Tam sygnał w tym kanale jest lepiej widoczny (pomimo mniejszej ilości danych i mniejszej energii), bo silniej reprezentowane są kanały, w których bozon Higgsa produkuje się np. z dodatkowym bozonem pośredniczącym (zderzana była antymateria z materią) ułatwiającym odróżnienie sygnału od tła.

W sumie, w każdym z tych pięciu kanałów połączona istotność statystyczna jest na poziomie przekraczającym 3σ (prawdopodobieństwo testowe hipotezy braku sygnału poniżej 10^{-3} , a w kanałach 4ℓ oraz $\gamma\gamma$ poniżej 10^{-11}).

Porównywanie różnych kanałów produkcji i rozpadu (każdy bozon Higgsa ma „dwa końce”, jakoś musi zostać wyprodukowany i jakoś się rozpaść) również, w granicach niepewności, zgadza się z przewidywaniami MS.

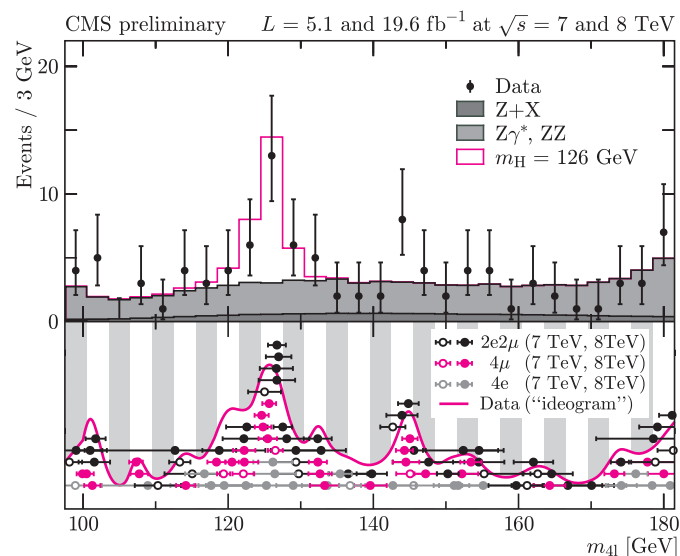
Dodatkowym testem jest badanie spinu J i parzystości P nowej cząstki. Bozon Higgsa powinien mieć $J^P = 0^+$. Można to sprawdzić, porównując obserwowane oraz oczekiwane (dla poszczególnych hipotez) rozkłady kątowe produktów

jego rozpadu, do czego najlepiej nadaje się kanał 4ℓ . W tym przypadku rozkłady można opisać przez podanie mas dwóch par leptonów oraz sześciu kątów (dwuciałowe rozpadu rozpatrywane w układzie masy rozpadającej się cząstki dają cząstki o przeciwnych pędach). Zebrany materiał pozwala na odrzucenie (w zasadzie) wszystkich konkurencyjnych hipotez na poziomie istotności przekraczającym 3σ .

Warto przypomnieć, że w tym roku obchodzimy więcej rocznic związanych z MS. Pierwsze doniesienie o odkryciu tzw. (słabych) prądów neutralnych, czyli oddziaływania neutrino z materią za pomocą neutralnego bozonu Z^0 (w odróżnieniu od słabych prądów naładowanych przenoszonych przez W^+ (W^-), za pomocą których neutrino, oddziałując z materią, zamienia się na odpowiedni lepton naładowany), pojawiło się 40 lat temu, dzięki komorze pęcherzykowej Gargamelle zbierającej dane w CERN-ie, rozpoczynając karierę Modelu Standardowego (Nagrody Nobla dla Sheldona Glashowa, Abdusa Salama i Stevena Weinberga, a później również dla Martinusa Veltmana i Gerarda 't Hoofta). Zaledwie dziesięć lat później bozony pośredniczące W^+ , W^- i Z^0 zostały odkryte, również w CERN-ie, za pomocą zderzacza $Sp\bar{p}S$ (a rok później przyznano Nagrodę Nobla Carlo Rubii oraz Simonowi van der Meerowi).

Ciekawe czy sam bozon Higgsa, pozostałość nadającego masę bozonom pośredniczącym mechanizmu Brouta-Englerta-Higgsa (taka nazwa chyba będzie obowiązywać, można jeszcze dodać na końcu Guralnika-Hagena-Kibble'a, z przodu Andersona, a na samym końcu sam Peter Higgs dodaje 't Hoofta; sam bozon chyba się obroni i pozostanie bozonem Higgsa), oprócz masy będzie zdolny wygenerować Nagrodę Nobla rok po odkryciu.

Piotr ZALEWSKI



Rozkład masy układu czterech leptonów zawierający sygnał pochodzący od rozpadu bozonu Higgsa, wstępnie opublikowany przez eksperyment CMS. Dane (ang. *Data*) pokazane są za pomocą czarnych punktów z zaznaczoną niepewnością statystyczną (liczba przypadków rejestrowana w danym binie histogramu traktowana jest jako estymata średniej procesu Poissona), spodziewane tło – odcieniami szarości, a spodziewany sygnał bozonu Higgsa o masie $126 \text{ GeV}/c^2$ – kolorem. (Na rysunku używany jest tzw. naturalny układ jednostek, w którym $c = \hbar = 1$). W części dolnej pokazany jest tzw. ideogram oraz budujące go przypadki (punkty) wraz z zaznaczoną precyzją estymaty masy, z podziałem na dane przy dwóch energiach LHC (odpowiednio otwarte oraz pełne kółka). Dodatkowo punkty odpowiadające trzem różnym stanom końcowym pokazano na czarno, kolorem oraz na szaro.