

Powabne wyniki LHCb

Naruszenie kombinowanej symetrii przestrzenno-ładunkowej CP (ang. *charge-parity*), odkryte w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku w systemie neutralnych kaonów, czyli neutralnych mezonów (stanów związanych kwark-antykwarck) zawierających kwark dziwny, było sporym zaskoczeniem dla części środowiska naukowego. Później okazało się, że najprostsze wyjaśnienie tego zjawiska wymaga istnienia co najmniej trzech generacji kwarków, podczas gdy w chwili odkrycia jeszcze nie wiadomo o istnieniu kwarków, a hadronów, zawierających kwarki cięższe niż dziwny, jeszcze nie znano.

Bez naruszenia CP nie sposób jednak wyjaśnić przewagi materii nad antymaterią, a więc i naszego istnienia.

Badanie naruszenia CP oraz rzadkich rozpadów cząstek zawierających masywne kwarki *b* (ang. *beauty*, piękno) i *c* (ang. *charm*, powab) jest jednym ze sposobów na poszukiwanie efektów wykraczających poza Model Standardowy. Rozpady tych cząstek zachodzą nie tylko bezpośrednio, lecz także za pomocą wymiany wirtualnych cząstek, wśród których mogą znajdować się również takie, których jeszcze nie odkryliśmy. Mało tego, niektóre takie cząstki wręcz muszą brać udział w takich procesach, o ile tylko istnieją i nie są zbyt masywne. Dlatego badanie tych rzadkich procesów nakłada ograniczenia na parametry modeli wykraczających poza Model Standardowy.

W tej dziedzinie dominującą rolę zaczyna odgrywać eksperyment LHCb. Jest on jednym z czterech głównych eksperymentów przy LHC, ale wygląda i działa inaczej niż pozostałe. Jego detektor nie otacza punktu oddziaływania jak najszczelniej, tylko tworzy jednoramienny spektrometr. Nie tylko jego akceptacja geometryczna jest więc wielokrotnie mniejsza, ale również częstość zderzeń nie jest maksymalna, tylko dobrana tak, by nie było zbyt wielu oddziaływań w pojedynczym przecięciu wiązek protonowych. Wiąże się to ze specyfiką rejestracji hadronów pięknych. Ich czas życia wystarcza do tego, żeby zmierzyć odległość między wierzchołkami produkcji i rozpadu. Zbyt dużo pierwotnych oddziaływań sprawę by tylko komplikowało.

Choć w LHCb zachodzi około rząd wielkości mniej oddziaływań proton-proton niż w ATLAS-ie czy CMS-ie, to liczba zarejestrowanych oddziaływań jest największa. Paradoks bierze się z wielkości przypadków (z ilości zapisywanych informacji). Przypadki LHCb są dużo mniejsze, więc eksperyment, mając do dyspozycji podobną przepustowość, może pozwolić sobie na dużo większą częstość ich zapisu.

Około jedna trzecia zapisywanych przypadków to rozpady cząstek powabnych. Przypadki te są trudniejsze do rozwikłania, bo hadrony powabne żyją krócej i są lżejsze, ale jest ich produkowanych więcej, co umożliwia bardziej selektywny wybór. Główną motywacją badania cząstek powabnych jest nadzieja na stwierdzenie naruszenia CP w sektorze powabnym.

O tak zwanym bezpośrednim łamaniu CP mówi się wtedy, gdy np. obserwuje się różne prawdopodobieństwa rozpadu cząstki D i jej antycząstki \bar{D} do stanu o określonym CP.

Pomiar polega na wyznaczeniu tzw. asymetrii A zdefiniowanej jako iloraz różnicy przez sumę prawdopodobieństw przejścia raz cząstki, a raz antycząstki do tego samego stanu końcowego f .

$$A(D \rightarrow f) = \frac{P(D \rightarrow f) - P(\bar{D} \rightarrow f)}{P(D \rightarrow f) + P(\bar{D} \rightarrow f)}$$

W przypadku mezonów powabnych dobrym sposobem analizy [1] jest wyznaczenie różnicy asymetrii rozpadów D^0 (neutralny stan związany kwarków c i anty u) i anty \bar{D}^0 do stanu końcowego złożonego z różnych par naładowanych mezonów. Raz dziwnych K^+K^- (kaonów), a raz najbliższych $\pi^+\pi^-$ (pionów, zbudowanych tylko z kwarków pierwszej generacji).

$$\Delta = A(D^0 \rightarrow K^+K^-) - A(D^0 \rightarrow \pi^+\pi^-)$$

W tak zdefiniowanej wielkości wkład do asymetrii, niezwiązane z bezpośrednim naruszeniem CP, wzajemnie się kasują.

Według Modelu Standardowego naruszenie CP w rozpadach D^0 jest możliwe, ale przewiduje się, że asymetria powinna być rzędu jednego promila. Zmierzenie jej wartości powyżej jednego procenta wskazywałoby na jakiś wkład od nowej fizyki.

Pomiar wymaga jeszcze jednego istotnego elementu. Trzeba umieć ustalić, jaki był stan początkowy. W tym celu wykorzystuje się fakt, że większość mezonów D^0 powstaje z rozpadu wzbudzonego stanu D^{*+} , a – odpowiednio – antymezonów \bar{D}^0 z rozpadu D^{*-} . W rozpadach tych, oprócz neutralnego mezonu (odpowiednio antymezonu) powabnego, produkowany jest naładowany pion, po którego znaku można poznać, czy powstał mezon D^0 , czy antymezon \bar{D}^0 . W końcu warto podkreślić decydujące znaczenie wyposażenia LHCb w detektory RICH, które, dzięki rejestracji promieniowania Czerenkowa, pozwalają na odróżnienie naładowanych kaonów od pionów.

Zmierzona różnica asymetrii wyniosła [1]

$\Delta = (-0,82 \pm 0,24)\%$, co jest pierwszym wynikiem istotnie (choć w umiarkowanym stopniu) różnym od zera.

Niestety, wartość taka może być, choć z trudem, wyjaśniona w ramach Modelu Standardowego.

Nie potwierdzamy ani nie zaprzeczamy

Tak, moim zdaniem, należy rozumieć informację przekazaną przez eksperymenty ATLAS i CMS 13 grudnia 2011 roku [2].

Jeżeli poszukiwany bozon Higgsa istnieje w najprostszej postaci przewidzianej przez Model Standardowy, to powinien mieć masę między 115 a 127 GeV/c².

Zgodnie z zasadami logiki powyższe zdanie jest prawdziwe również wtedy, gdy taki obiekt w przyrodzie nie występuje.

Inna rzecz, że dokładnie tam się go spodziewamy (jeżeli istnieje) i to nie tylko wtedy, gdyby był standardowy.

Póki co: „piłka jest okrągła, a bramki są dwie”, co najwyżej ustaliliśmy boisko.

Piotr ZALEWSKI

[1] LHCb Collaboration, *Evidence for CP violation in time-integrated $D^0 \rightarrow h^- h^+$ decay rates*, <https://cdsweb.cern.ch/record/1404248/files/LHCb-PAPER-2011-023.pdf>

[2] <https://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=164890>