

Pierwsza wspólna obserwacja pięknych rzadkich rozpadów

Ukazaniu się tego numeru *Delty* będzie, mam nadzieję, towarzyszyć prezentowanie wstępnych wyników uzyskanych po miesiącu działania LHC przy nowej, wyższej energii trzynastu bilionów elektronowoltów (13 TeV).

Natomiast w marcu ukazała się praca [1], w której, dzięki wspólnej analizie danych zebranych przez zespoły badawcze CMS (ang. *Compact Muon Solenoid*) i LHCb (ang. *Large Hadron Collider beauty*), udało się po raz pierwszy zaobserwować bardzo rzadki rozpad mezonu B_s^0 na parę mion – antymion. Dodatkowo uzyskano przesłankę o zachodzeniu jeszcze rzadszego rozpadu $B^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$.

Oba mezony są zbudowane z pary masywnego antykwarku \bar{b} oraz lekkiego kwarku s (w przypadku B_s^0) lub bardzo lekkiego d (w przypadku B^0). Odpowiednie antymezyony zawierają kwark b oraz lekki antykwark (\bar{s} lub \bar{d}).

Wynik jest niezwykle interesujący z kilku powodów. Rozpady te zachodzą poprzez oddziaływania słabe, które w najniższym rzędzie tzw. rachunku zaburzeń (rozwinęcia amplitudy względem bardzo małej stałej sprzężenia) są zabronione. Stosunek rozgałęzienia, czyli względne prawdopodobieństwo zachodzenia tych rozpadów, obliczone w ramach Modelu Standardowego, wynosi odpowiednio zaledwie cztery na miliard oraz jeden na dziesięć miliardów. Istnienie nieznanymi cząstek przewidywanych przez rozszerzenia Modelu Standardowego mogłyby te prawdopodobieństwa istotnie zmienić. Zaobserwowanie takich odstępstw świadczyłoby więc o istnieniu takich scenariuszy i odwrotnie: pomiar stosunku rozgałęzienia na poziomie przewidywania Modelu Standardowego nakładałby istotne ograniczenia na masy takich hipotetycznych obiektów (bo im bardziej masywna cząstka jest wymieniana, tym bardziej musi być wirtualna i tym mniejsze prawdopodobieństwo zajścia procesu).

Obydwa zespoły badawcze już wcześniej opublikowały wyniki osobnych poszukiwań, na podstawie danych zebranych w 2011 roku przy energii zderzeń proton-proton 7 TeV oraz w roku 2012 przy energii 8 TeV. Statystyczna istotność rejestrowanego sygnału nie przekroczyła jednak progu tzw. 5σ (prawdopodobieństwo odrzucenia prawdziwej hipotezy braku sygnału nie większe od $2,9 \cdot 10^{-7}$).

Wstępny szacunek pokazywał jednak, że tę umowną granicę odkrycia powinna przekroczyć wspólna analiza. To zmobilizowało zespoły badawcze CMS i LHCb do jej przeprowadzenia. Jest to pierwsze takie wspólne opracowanie danych przy LHC.

Koncepcja obu eksperymentów jest zupełnie różna. CMS jest detektorem uniwersalnym, nastawionym na poszukiwanie bezpośredniej produkcji masywnych nieznanymi cząstek. Jest detektorem hermetycznym,

pozwalającym na rejestrację cząstek wtórnych w pełnym kącie bryłowym, z optymalnymi możliwościami detekcji pod dużymi kątami w stosunku do kierunku zderzających się protonów. Cząstki zawierające kwark b są przede wszystkim tłem, które trzeba umieć ograniczyć, ale mogą pojawiać się wśród produktów rozpadów niektórych z poszukiwanych sygnałów. Dlatego efektywna detekcja pięknych cząstek (b jak ang. *beauty*) była jednym z wymogów projektowych.

LHCb, jak samo rozwinięcie nazwy wskazuje, jest detektorem zaprojektowanym do fizyki cząstek b . Jest on nastawiony tylko na rejestrację cząstek emitowanych pod małymi kątami i tylko po jednej stronie punktu oddziaływania. Działa on przy mniejszym stopniu zogniskowania wiązek, co daje mniejszą liczbę zderzeń na jedno przecięcie (kilka zamiast kilkudziesięciu). Może sobie jednak pozwolić na większą częstość zapisu interesujących przypadków (bo ilość informacji na pojedynczy przypadek jest mniejsza).

W ten sposób eksperymenty się uzupełniają. Obydwa zarejestrowały podobną liczbę niemal biliona cząstek b , wśród których oczekiwano 100 (10) poszukiwanych rozpadów $B_s^0(B^0) \rightarrow \mu^+ \mu^-$.

Głównymi zmiennymi odróżniającymi sygnał od tła była masa układu mion – antymion oraz odpowiedź wielokryterialnej procedury selekcyjnej. Dane zostały podzielone na dwadzieścia (CMS – 12, LHCb – 8) rozłącznych kategorii o różnym przewidywanym stosunku sygnału do tła. Procedura selekcji była dostrajana z pominięciem przedziału masy układu mion – antymion, w którym był oczekiwany sygnał. Po odsłonięciu tego okna okazało się, że sygnał $B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ został znaleziony na poziomie istotności $6,2\sigma$ (oczekiwano $7,4\sigma$), a $B^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ na poziomie $3,2\sigma$ (oczekiwano $0,6\sigma$).

W ten sposób zwieńczone zostało 30 lat wysiłków kilku generacji naukowców (pierwsze ograniczenie, na poziomie ponad milion razy większym od przewidywania Modelu Standardowego, zostało opublikowane przez eksperyment CLEO w 1984 roku). Polscy naukowcy są współautorami publikacji [1].

Pomiar stosunku rozgałęzienia jest, w ramach niepewności pomiarowej, zgodny z przewidywaniem Modelu Standardowego. Odchylenie od przewidywania dla samego B^0 (oraz dla B^0 względem B_s^0) jest na poziomie (powyżej) 2σ . Do niezgodności daleko, ale to i tak łakomy kąsek dla wygłodniałych poszukiwaczy efektów wykraczających poza Model Standardowy. Właśnie zbierane (przy energii 13 TeV) dane pozwolą, w perspektywie dwóch–trzech lat, na istotne poprawienie precyzji pomiaru.

Piotr ZALEWSKI

[1] CMS & LHCb Collaborations, *Observation of the rare $B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ decay from the combined analysis of CMS and LHCb data*, *Nature* (2015) doi:10.1038/nature14474.