

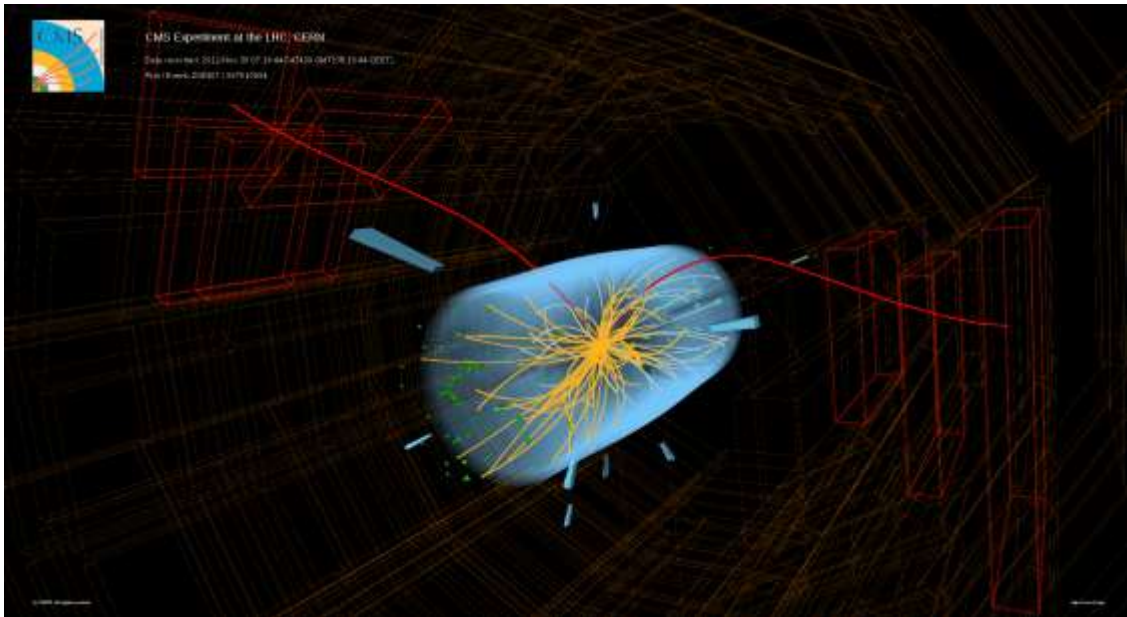
Bardzo rzadki rozpad został zaobserwowany przez CMS

Zespół badawczy CMS, CERN
19 lipca 2013 roku

CMS zaobserwował ważny rzadki rozpad przewidziany przez Model Standardowy fizyki cząstek. Obserwacja rozpadu mezonu B_s na parę mionów, której oczekiwano od 25 lat, zostanie dzisiaj ogłoszona na, odbywającej się co dwa lata, Konferencji EPS-HEP, która w tym roku ma miejsce w Sztokholmie w Szwecji.

Na każdy miliard wyprodukowanych mezonów B_s , spodziewamy się zaledwie około trzech rozpadów na parę mionów, czyli parę masywniejszych cząstek podobnych do elektronów. Rozpady te są idealnymi procesami umożliwiającymi poszukanie odstępstw od dokładnych przewidywań Modelu Standardowego (MS), czyli tzw. sygnałów fizyki spoza Modelu Standardowego (SMS).

CMS zmierzył stosunek rozpadu wynoszący $3,0^{+0,1}_{-0,9} \cdot 10^{-9}$, ze statystyczną istotnością odpowiadającą $4,3\sigma$ [1], w zgodzie z wartością $3,6 \pm 0,3 \cdot 10^{-9}$, przewidywaną przez Model Standardowy. Statystyczna istotność odpowiada prawdopodobieństwu zaledwie około 1 na 100000, że obserwacja została spowodowana przez przypadkową fluktuację tła.



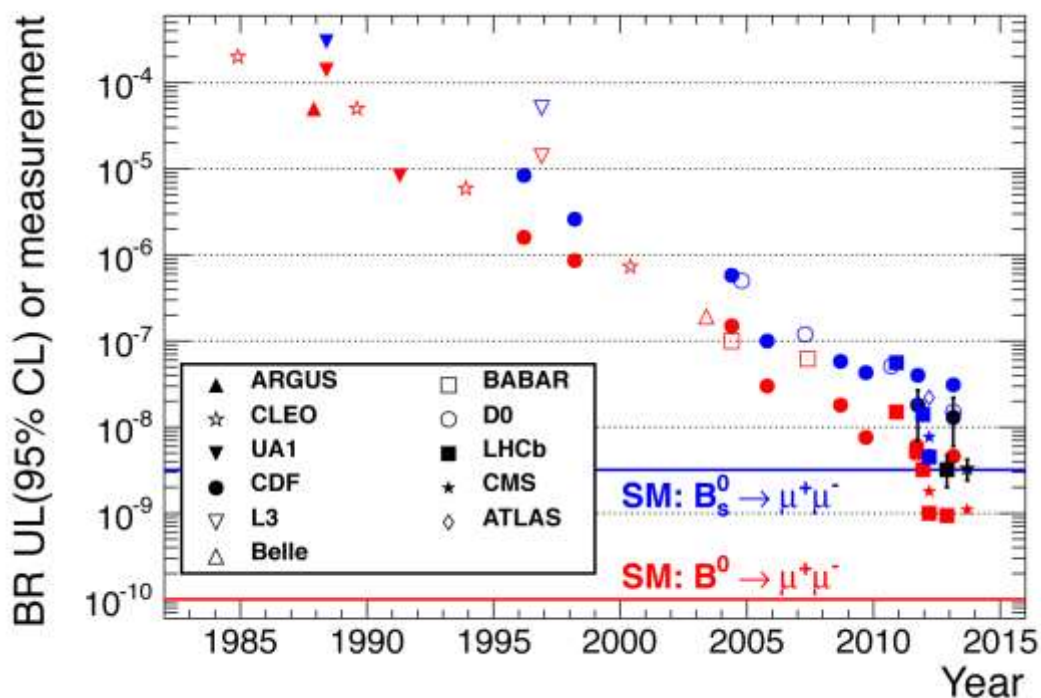
Ilustracja 1: Wizualizacja przypadku z kandydatem na rozpad $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$, zarejestrowanego za pomocą detektora CMS w 2012 roku, wytworzonego w wyniku zderzenia proton-proton przy energii 8 TeV.

Szukając czegoś nowego

Pomimo bezprecedensowych sukcesów Modelu Standardowego fizyki cząstek, dostarczającego perfekcyjnie sprawdzających się przewidywań, wiemy że jest on niekompletny. Nie proponuje żadnego wyjaśnienia istoty ciemnej materii, o której istnieniu przekonują nas obserwacje kosmologiczne. Nie potrafi wyjaśnić przewagi materii nad antymaterią we wszechświecie. Jeżeli fizyka SMS jest w zasięgu LHC, to objawi się nam. Zespół badawczy CMS systematycznie szuka przejawów szeregu

proponowanych rozszerzeń Modelu Standardowego.

Rozpad mezonów B (składających się z kwarku b oraz jakiegoś lżejszego kwarku) na parę mionów ($\mu^+\mu^-$) jest idealną okazją do poszukiwania pośrednich przejawów fizyki SMS. Rozpad dwóch typów mezonów B, mianowicie B^0 (zbudowanego z kwarku b oraz d) i B_s (kwarki b oraz s), na pary mionów są silnie defaworyzowane w MS. Szereg rozszerzeń Modelu Standardowego przewiduje znaczące wzmocnienie, albo dalsze osłabienie sprzężeń prowadzących do tych rozpadów. Jeżeli pomiar któregośkolwiek ze stosunków tych rozpadów okazałby się niezgodny z przewidywaniem MS, to byłoby to jasnym sygnałem fizyki SMS. Przez prawie 25 lat z tuzin eksperymentów przy różnych zderzaczach cząstek poszukiwało tych efemerycznych rozpadów. Ustanawiane ograniczenia na wartość tych stosunkowo rozpadów poprawiły się w tym czasie o cztery rzędy wielkości, przybliżając się do przewidywań MS. W przypadku $B_s \rightarrow \mu^+\mu^-$, zespół badawczy LHCb przedstawił, w listopadzie 2012 roku, pierwszą jasną przesłankę zachodzenia tego rozpadu, ze statystyczną istotnością $3,5\sigma$.



Ilustracja 2: Historia poszukiwań rozpadów B_s oraz B^0 na pary mionów, przy obecnie działających zderzaczach oraz tych, które już zakończyły swoją działalność. Rysunek pokazuje poprawę górnej granicy stosunku rozpadu o cztery rzędy wielkości

Specyfika badania mezonów B

Doświadczalne badanie tych rzadkich rozpadów wymaga wyodrębnienia kilku poszukiwanych przypadków spośród olbrzymiej liczby przypadków tła. Para mionów jest oczekiwana tylko trzy razy na miliard rozpadów B_s , a przewidywany stosunek rozpadu B^0 w tym kanale jest jeszcze niższy.

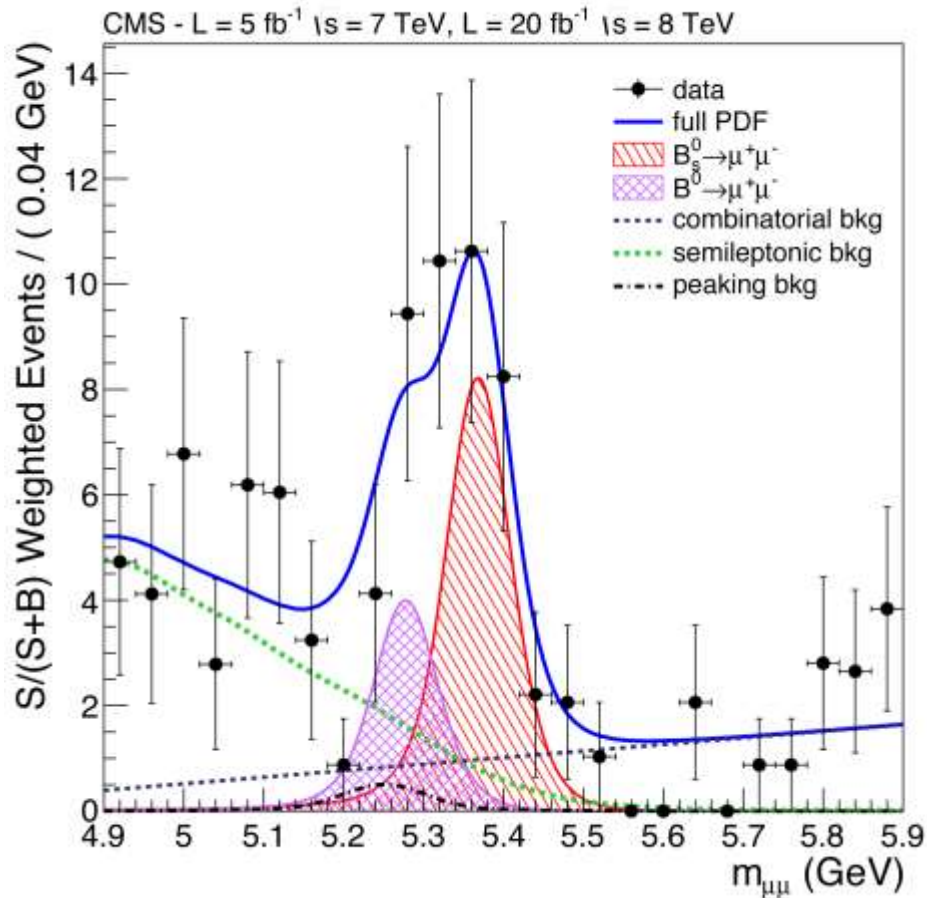
Pierwszym wyzwaniem przy wyławianiu rzadkich przypadków jest identyfikacja potencjalnych kandydatów produkowanych w zderzeniach proton-proton w środku detektora CMS w czasie rzeczywistym, czyli na poziomie systemu wyzwalania zapisu danych. W każdej sekundzie

zapisywanych jest tylko około 400 najbardziej interesujących spośród milionów sprawdzanych przypadków. Mod wyzwalania użyty w omawianej analizie opiera na detekcji pary mionów. Przy czym kluczowe jest maksymalne obniżenie progu rejestrowanego pędu poprzecznego, przy jednoczesnym utrzymywaniu poziomu tła na akceptowalnym poziomie.

Elektronika cyfrowa jednego z trzech niezależnych podsystemów wyzwalania za pomocą mionów (PACT od ang. *Pattern Comparator Trigger*) została zaprojektowana, zbudowana, uruchomiona i jest utrzymywana w ruchu przez Warszawską Grupę Eksperymentu CMS, w której pracują fizycy i inżynierowie z Narodowego Centrum Badań Jądrowych, Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego oraz Wydziału Elektroniki Politechniki Warszawskiej. Jednym z logicznych modułów PACT jest wymyślony w NCBJ tzw. *GhostBuster*, który (jak sama nazwa wskazuje) służy do usuwania „duchów”, czyli wielokrotnych sygnałów powstających w wyniku przejścia przez detektor pojedynczego mionu. Właśnie ten element jest kluczowy dla utrzymywaniu poziomu tła generowanego przez podsystem PACT na akceptowalnym poziomie, w efekcie przyczyniając się do maksymalizacji akceptacji CMS na poszukiwany sygnał. Ostatecznie, około dziesięć przypadków na sekundę jest akceptowanych do poszukiwania rozpadów $B \rightarrow \mu^+ \mu^-$. Przypadki te są następnie dokładniej klasyfikowane za względu na cechy kandydatów na miony, tak aby odrzucić jak najwięcej tła, zachowując większość poszukiwanych przypadków.

Oprócz wybierania par mionów pochodzących z rozpadów mezonów B, należy określić jak najdokładniej ile mezonów zostało wyprodukowanych. Liczbę tę znajduje się za pomocą zliczania innych, dobrze znanych, rozpadów tych mezonów.

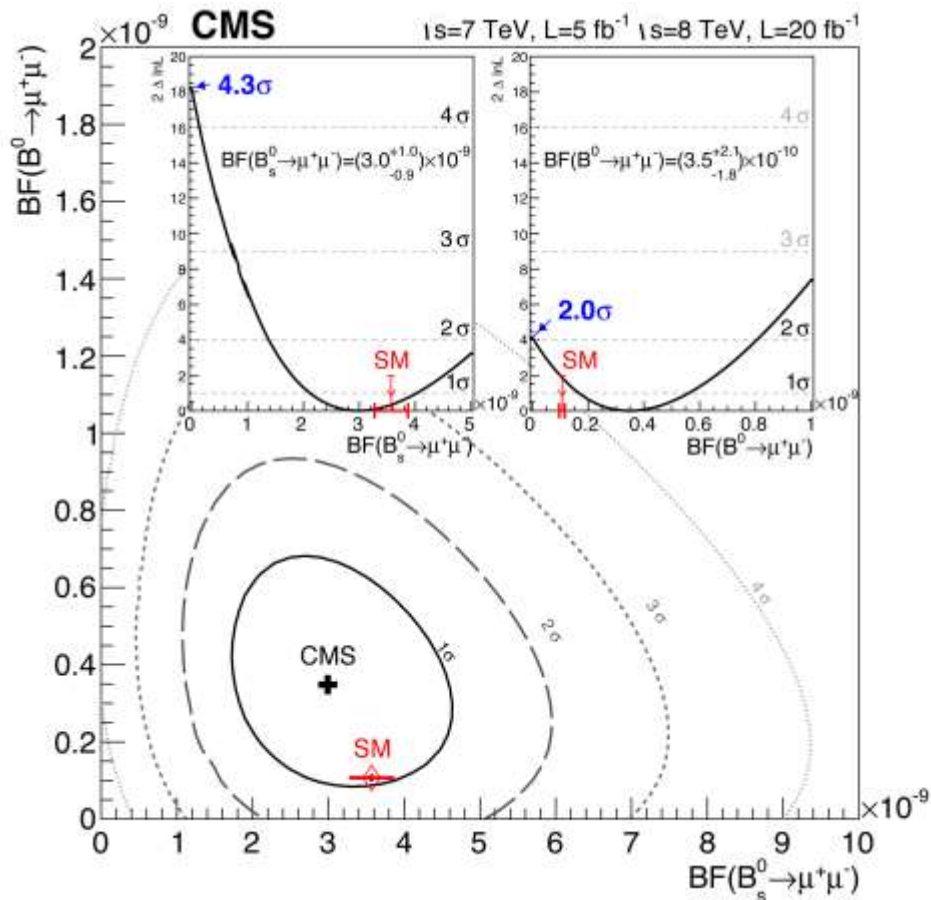
Pierwszy oczekiwany sygnał



Ilustracja 3: Rozkład masy pary mionów. Fioletowo oraz czerwono zakreskowane obszary pokazują dopasowane wkłady od sygnałów B^0 oraz B_s natomiast przerywane linie uwidaczniają wkłady od trzech rodzajów tła. Ciągła niebieska linia pokazuje sumaryczny wynik dopasowania do danych pokazanych za pomocą czarnych punktów.

Do poszukiwania zostały użyte dane zarejestrowane przez CMS w latach 2011 oraz 2012, odpowiadające sumarycznej świetności 4,9/fb oraz 20,4/fb (odwrotnych femtobarnów [2]). Otrzymany rozkład masy układu pary mionów wykazuje nadwyżkę przypadków $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$ ponad tłem, odpowiadającą stosunkowi rozpadu $3,0^{+0,1}_{-0,9} \cdot 10^{-9}$, gdzie niepewność pomiarowa zawiera zarówno efekty statystyczne jak i systematyczne. Poziom statystycznej istotności obserwacji odpowiada $4,3\sigma$. Publikacja zawierająca ten wynik została wysłana do Physical Review Letters.

Wykonany przez CMS pomiar $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$ jest zgodny z obliczoną w ramach MS wartością, wynoszącą $3,6 \pm 0,3 \cdot 10^{-9}$, kontynuując potwierdzanie przewidywań MS. Rozpad $B^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ był również poszukiwany, ale wobec niezalezienia statystycznie istotnego sygnału określono jedynie górną granicę stosunku rozpadu na $1,1 \cdot 10^{-9}$ na poziomie ufności 95% [3], również zgodną z MS.



Ilustracja 4: Dwuwymiarowe kontury obszarów ufności odpowiadających kolejnym liczbom odchyień standardowych, na płaszczyźnie stosunku rozpadu $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$, względem stosunku rozpadu $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$. We wstawce pokazane są jednowymiarowe projekcje głównego rysunku. Minima krzywych odpowiadają najlepszemu dopasowaniu, a przecięcie krzywych z odpowiednią osią pionową określa stopień niekompatybilności obserwacji z hipotezą fluktuacji samego tła, mierzony w odchyleniach standardowych (niebieskie napisy).

Co dalej?

Dreszczyk emocji związany z tym znaczącym pomiarem przychodzi razem z pewną dozą rozczarowania dla tych, którzy poszukują efektów spoza Modelu Standardowego. Urok rozpadu $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$, upatrywany jest w możliwości odkrycia skaz Modelu Standardowego. Opowieść jest jednak daleka od zakończenia. Wraz z nowymi danymi oczekiwanymi dzięki LHC, dokładność z jaką, tak CMS, jak i inne eksperymenty, będzie mógł mierzyć te kluczowe stosunki rozpadu będzie wzrastać. Ta rosnąca precyzja będzie pomocna w ograniczaniu rozszerzeń MS oraz we wskazywaniu co może znajdować się dzisiejszym horyzontem fizyki wysokich energii. Dodatkowo, następny cyklu działania LHC, mający się rozpocząć w 2015 roku, przyniesie wzrost wrażliwości, której CMS potrzebuje do mierzenia częstości pojawiania się rozpadów $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$ na poziomie przewidywanym przez MS.

Obserwacja tego rzadkiego rozpadu B_s jest znaczącym kamieniem milowym w 25-letniej podróży, ale jeszcze wiele białych plam pozostaje na mapie fizyki cząstek.

Informacje na temat eksperymentu CMS

Więcej informacji można znaleźć poprzez stronę: <http://cern.ch/cms>
albo uzyskać za pomocą poczty elektronicznej: cms.outreach@cern.ch,
albo poprzez stronę polskiej grupy eksperymentu: <http://cms.fuw.edu.pl>.

CMS jest jednym z dwóch detektorów ogólnego przeznaczenia działającym przy LHC, które zostały zbudowane w celu poszukiwania fizyki wykraczającej poza Model Standardowy. Został zaprojektowany do rejestrowania szerokiego spektrum cząstek oraz zjawisk produkowanych w LHC w zderzeniach protonów z protonami oraz jąder z jądrami przy wysokiej energii. Eksperyment CMS pomoże odpowiedzieć na pytanie takie jak: „Z czego Wszechświat jest zbudowany i jakie siły w nim działają?” oraz „Co nadaje wszystkiemu masę?” Pozwoli również na zmierzenie własności znanych cząstek z bezprecedensową precyzją oraz poszukiwanie zupełnie niespodziewanych zjawisk. Tego typu badania nie tylko rozszerzają nasze zrozumienie Wszechświata, ale również mogą doprowadzić do powstania nowych technologii, które mogą zmienić nasze codzienne życie, jak to wielokrotnie zdarzyło się w przeszłości. Prace koncepcyjne nad eksperymentem CMS rozpoczęły się w 1992 roku. Budowa gigantycznego detektora (średnica 15 m, długość 29 m, masa 14000 ton) wymagała 16 lat wysiłku jednego z największych międzynarodowych zespołów badawczych: 3275 fizyków (w tym 1535 studentów, głównie doktorantów) oraz 790 inżynierów i techników ze 179 instytucji naukowych z 41 krajów świata.

Odnośniki

[1] Odchylenie standardowe σ jest miarą rozrzutu pomiarów wokół wartości średniej. Może zostać użyte do określenia stopnia niezgodności danych z określoną hipotezą. W tym wypadku hipotezą obserwacji wyłącznie fluktuacji tła. Im więcej σ , tym mniej prawdopodobna jest ta hipoteza. Im bardziej nieoczywiste odkrycie, tym więcej σ jest potrzebnych do jego uznania.

[2] <http://news.stanford.edu/news/2004/july21/femtobarn-721.html>

[3] Poziom ufności jest statystyczną miarą znalezienia frakcji wyników testowych w określonym zakresie. W tym przypadku 95% wartość poziomu ufności oznacza, że mierzony stosunek rozpadu jest mniejszy od określonej górnej granicy z prawdopodobieństwem 95/100.