



LHC przestaje działać!

Nie, CERN-owi wcale nie skończyły się fundusze, a fizyka cząstek ma się lepiej niż kiedykolwiek wcześniej. Dlaczego więc nasz największy projekt naukowy zostaje czasowo wstrzymany? Pokróćce wyjaśniamy...

Na początek kilka słów wstępu. LHC (Wielki Zderzacz Hadronów) to akcelerator cząstek zlokalizowany w pobliżu Genewy, służący do badań fizyki wysokich energii. Od 2010 roku dostarcza on dane eksperymentalne, a jego pierwotnym celem było odkrycie bozonu Higgsa. Cel ten udało się osiągnąć już po dwóch latach jego działania, a od tego czasu eksperymenty prowadzone przy LHC koncentrują się na jak najdokładniejszym wyznaczaniu własności tej cząstki.

Po kilkunastu latach pracy dobrze rozumiemy, w jaki sposób bozon Higgsa oddziałuje z bozonami przenoszącymi oddziaływanie elektromagnetyczne i słabe (fotonem, Z^0 i $W^\pm$). Nieco gorzej – choć wciąż na zadowalającym poziomie – poznaliśmy jego sprzężenia z fermionami, w szczególności z kwarkiem b oraz leptonem τ (taonem). Zaobserwowano również rozpady na pary kwarków c oraz mionów; w tych kanałach wciąż brakuje jednak precyzyjnych pomiarów. Dalszy postęp ogranicza dziś przede wszystkim dostępna statystyka danych.

Różnice w czułości pomiarów dla poszczególnych kanałów wynikają z wielu czynników. Najważniejszym z nich jest częstość rozpadu bozonu Higgsa: na przykład rozpad na kwarki b zachodzi w około 58% przypadków, podczas gdy na parę mionów jedynie w około 0,02%. Drugim istotnym czynnikiem jest problem odróżnienia sygnału od tła. Przykładowo, zarówno bozon Higgsa, jak i bozon Z^0 rozpadają się na parę taonów. Rozpady te są bardzo podobne, więc trudno je rozróżnić.

Może się to wydawać kontrintuicyjne, ale pośród petabajtów danych przetwarzanych przez ośrodki obliczeniowe CERN-u brakuje właśnie tych najbardziej interesujących. Zdecydowana większość zdarzeń to przejawy „zwykłej” fizyki – oddziaływań elektromagnetycznych i silnych. Samych bozonów Higgsa wyprodukowano „zaledwie” kilkadziesiąt milionów, jednak ze względu na niewielkie częstości niektórych rozpadów oraz trudności w identyfikacji sygnału w wybranych kanałach analizy opierają się na zaledwie dziesiątkach lub setkach przypadków.

Najprostszym rozwiązaniem wydaje się zwiększenie przepustowości LHC – fachowo nazywanej *światłością* – a tym samym liczby produkowanych bozonów Higgsa. Tu jednak pojawia się ograniczenie natury fizycznej: przy ustalonym obwodzie akceleratora i prędkościach bliskich prędkości światła nie da się po prostu „upchnąć” większej liczby protonów w wiązkę. Zamiast tego protony grupowane są w gęste paczki, zawierające miliardy cząstek, które następnie się zderzają. Efektem ubocznym jest tzw. *pile-up*: pojedyncze zderzenie paczek odpowiada w rzeczywistości kilkudziesięciu jednoczesnym zderzeniom protonów, które trzeba później rozdzielić na etapie analizy danych.

Sposobem na zwiększenie światłości, a tym samym liczby interesujących nas zdarzeń, jest zwiększenie liczby zderzeń przypadających na jedną paczkę protonów.

Niestety, im więcej protonów zderza się jednocześnie, tym trudniej rozdzielić ich produkty. To z kolei wymaga coraz lepszych detektorów – im dokładniej zmierzmy powstające cząstki, tym łatwiej ustalić, z którego zderzenia pochodzą.

Dlatego właśnie Wielki Zderzacz Hadronów wchodzi pod koniec czerwca w stan hibernacji. Przez najbliższe cztery lata LHC będzie wyłączony, aby dać czas głównym detektorom – CMS i ATLAS – na wymianę kluczowych komponentów. Prace technologiczne trwają już od kilku lat i stopniowo wkraczają w fazę produkcji.

Wymiana niektórych elementów detektora jest konieczna także ze względu na ich zużycie. Najbardziej wrażliwą częścią jest detektor śladowy (*tracker*), położony najbliżej punktu zderzenia protonów. Z tego powodu jest on wystawiony na największe dawki promieniowania i przez kilkanaście lat pracy LHC uległ znacznej degradacji – zarówno pod względem czułości, jak i rozdzielczości.

Planowo przerwa potrwa do 2030 roku, kiedy uruchomiony zostanie HL-LHC (od *High Luminosity*), który ma operować przez kolejną dekadę (2030–2041). Najważniejsze zmiany obejmują budowę nowego trackera (detektora mierzącego trajektorie naładowanych cząstek), wysokorozdzielczego kalorymetru HGAL (mierzącego energie hadronów, elektronów i fotonów) oraz zupełnie nowego detektora czasowego o rozdzielczości rzędu 30 ps.

Czytelników zainteresowanych bardziej inżynierskimi aspektami zachęcam do sięgnięcia po dodatkową literaturę na temat nowych detektorów, których konstrukcja znajduje się na granicy współczesnych możliwości technologicznych.

Zgodnie z obecnymi planami w ciągu zaledwie dwóch lat ilość zgromadzonych danych ma się podwoić, a w kolejnych latach tempo ich zbierania jeszcze wzrośnie. Pozwoli to na znacznie dokładniejsze badania rzadkich kanałów rozpadu. Oprócz precyzyjnych pomiarów właściwości bozonu Higgsa planowane są również badania bozonów $W^\pm$ i Z^0 , a także kwarków b i t . Jednym z najbardziej ambitnych celów jest obserwacja produkcji dwóch bozonów Higgsa w jednym procesie, choć obecnie nie jest jasne, czy uda się ją osiągnąć w ramach programu HL-LHC.

Produkcja dwóch bozonów Higgsa jest szczególnie interesująca, ponieważ pozwala zmierzyć siłę oddziaływania bozonu Higgsa na samego siebie.

Warto też zaznaczyć, że nie jest to pierwszy przestój LHC. Wielki Zderzacz Hadronów był już zatrzymywany w latach 2013–2014 oraz 2019–2021. W tych okresach również wymieniano zużyte elementy detektorów i wprowadzano ulepszenia – choć na zdecydowanie mniejszą skalę.

Koniec LHC został więc odłożony w czasie. Nastąpi on najprawdopodobniej po 2041 roku. A co potem – to już zupełnie inna historia...

Wiktor MATYSZKIEWICZ