

## Co LHC widziało?

Rok 2010 był pierwszym rokiem normalnego działania Wielkiego Zderzacza Hadronów (LHC – Large Hadron Collider). Po wstępnym uruchomieniu na jesieni 2009 roku i osiągnięciu niskiej, ale i tak rekordowej energii 2,36 TeV, przystąpiono do zderzania przeciwbieżnych wiązek protonów z energią pojedynczego protonu 3,5 TeV, czyli zbierania danych przy całkowitej energii zderzeń 7 TeV (to znaczy po przyspieszeniu każdego z protonów potencjałem 3,5 biliona volt). Była to energia uznana za bezpieczną z punktu widzenia maksymalnego niezbędnego prądu krążącego w nadprzewodzących magnesach dipolowych, służących do utrzymywania wiązek protonów na „zakrętach” LHC. Ponieważ poziom bezpieczeństwa użytkowania akceleratora zależy także od liczby krążących w nim protonów, od której z kolei zależy tzw. świeltność urządzenia, czyli liczba zderzeń zachodząca w jednostce czasu, zdecydowano się na stopniowe podnoszenie tych wielkości przez cały rok. W rezultacie liczba zebranych danych rosła, mniej więcej, w postępie geometrycznym. Praktycznie co tydzień mieliśmy do dyspozycji dwa razy więcej danych niż tydzień wcześniej.

Ostatecznie uzyskano zamierzoną na zeszły rok chwilową świeltność sześć rzędów wielkości większą od początkowej. Detektory obejrzały po ponad bilionie przypadków, zapisując najciekawsze, mniej więcej co dziesięciotysięczny.

Na tym jednak nie koniec. W listopadzie w ciągu tygodnia przystosowano zderzacz do przyspieszania jonów (jąder) ołowiu  $^{208}\text{Pb}^{82+}$  i uzyskano ich przeciwbieżne wiązki zderzające się przy energii w środku masy 2,76 TeV na parę nukleonów, czyli maksymalnej całkowitej energii zderzenia ponad pół PeV ( $10^{15}$  elektronowoltów). W ten sposób energia osiągnana w zderzeniach ciężkich jonów została podniesiona czterynastokrotnie.

Wieszczonemu końca świata, pomimo rekordowego zbliżenia się do warunków panujących tuż po Wielkim Wybuchu, oczywiście nie było, ale i tak było ciekawie. LHC ma na swoim koncie dwa odkrycia, z których jedno było spodziewane, a drugie jest trochę zaskakujące. Głównym celem zeszłorocznej kampanii było jednak „odkrycie Modelu Standardowego na nowo”. Chodziło nie tylko o wszechstronne sprawdzenie detektorów, ale także o zrozumienie, jak dobrze zgadzają się przewidywane częstości zachodzenia poszczególnych znanych procesów z rzeczywistością w niezbadanym dotąd zakresie energii. Odtworzyliśmy wszystko, co powinniśmy. Zrekonstruowaliśmy rezonansowe stany związane ciężkich kwarków (spektroskopia stanów o masie trochę powyżej  $3\text{ GeV}/c^2$  dla par kwark-antykwarł powabny oraz trochę powyżej  $9\text{ GeV}/c^2$  dla par kwark-antykwarł piękny), bozony pośredniczące  $W^+$ ,  $W^-$  i  $Z^0$  oraz produkcję par kwarków top, czyli najmasywniejszych znanych obiektów elementarnych.

Eksperyment CMS zarejestrował bardzo ciekawy przypadek czteromionowy, zgodny z hipotezą rozpadu pary bozonów  $Z^0$  na miony. Właśnie tak powinien przejawiać się poszukiwany bozon Higgosa, jeżeli miałby masę ponad progim umożliwiającym rozpad na dwa bozony  $Z^0$ . Przypadki takie są jednak oczekiwane również bez istnienia bozonu Higgosa o takiej masie, więc na razie nie ma co się ekscytować, ale znalezienie takiego rzadkiego okazu raduje serce łowcy.

Wracając do odkryć, to obydwa dotyczą własności gęstej materii jądrowej uzyskiwanej w LHC. Zacznę od drugiego, bo choć uzyskane później, to jest tzw. spodziewanym odkryciem, więc nie ma się co o nim rozpisywać. Mianowicie po raz pierwszy zaobserwowano produkcję bozonów pośredniczących, konkretnie bozonu  $Z^0$ , w oddziaływaniach ciężkich jonów. Obserwacji tej dokonał zespół badawczy eksperymentu CMS. Złośliwi twierdzą, że miał po prostu szczęście.

Ze szczęściem niewiele już wspólnego miało bardziej zaskakujące odkrycie, też dokonane przez CMS. Chodzi o tzw. *ridge effect*, czyli, w wolnym tłumaczeniu, o odkrycie „linii grzbietowej” na wykresie korelacji dwucząstkowych w oddziaływaniu proton-proton. Zostało to tak nazwane, bo na trójwymiarowych wykresach przypomina grzbiet górski. Odkrycie było możliwe dzięki zaprojektowaniu specjalnej ścieżki systemu wyzwalania zapisu danych, która mogła być używana tylko przy stosunkowo małej świeltności na początku roku 2010, gdyż później wysyciłaby całe pasmo rejestracji danych. Zjawisko zostało najpierw odkryte w zderzeniach jądro-jądro w RHIC-u (Relativistic Heavy Ion Collider), działającym w Brookhaven National Laboratory, zlokalizowanym na Long Island w Nowym Jorku, do niedawna dysponującym najwyższymi energiami zderzeń ciężkich jonów. Polega ono na zwiększonym prawdopodobieństwie obserwacji par cząstek, których pędy niewiele różnią się kątem azymutalnym  $\phi$ , ale mogą się znacznie różnić kątem polarnym  $\theta$ , czyli rozlatują się nawet prawie w przeciwne strony, ale w jednej półpłaszczyźnie, której brzegiem jest oś wiązki. Na trójwymiarowym wykresie, na którym miarę stopnia korelacji przedstawia się jako funkcję różnicy kąta azymutalnego  $\Delta\phi$  i różnicy pewnej funkcji kąta polarnego  $\Delta\eta$  (konkretnie  $\eta = -\ln[\text{tg}(\theta/2)]$ ), widać wydłużony garb dla  $\Delta\phi \sim 0$ . Występowanie takiego fenomenu w oddziaływaniach jądro-jądro zostało zinterpretowane jako jeden z (początkowo nieoczekiwanych) przejawów występowania plazmy kwarkowo-gluonowej. Wygląda na to, że w najbardziej centralnych zderzeniach proton-proton zachodzi to samo zjawisko.

Obecny rok zapowiada się jeszcze ciekawiej. Mamy uzasadnioną nadzieję, że worek z tzw. nową fizyką może się rozwiązać. Pewności jednak nie ma i to, być może, jest właśnie najciekawsze.

Piotr ZALEWSKI