Polscy tropiciele mionów zwiększają potencjał badawczy LHC

2016-07-27

Technicy z Uniwersytetu Warszawskiego przy układach elektronicznych trygera mionów eksperymentu CMS przy akceleratorze LHC. (Źródło: FUW)

Wiązki w akceleratorze LHC zaczynają się zderzać przy maksymalnych energiach, detektory zalewa potok cząstek wtórnych – w tym mionów. Za błyskawiczne wskazanie najciekawszych zdarzeń w detektorze CMS, jednym z głównych eksperymentów przy LHC, odpowiada specjalny system selekcji. Układ, gruntownie zmodernizowany przez fizyków i inżynierów z Polski, pełni kluczową rolę w poszukiwaniu

nowych zjawisk fizycznych.

W wysokoenergetycznych zderzeniach protonów czy jąder ołowiu tworzy się ogromna liczba cząstek. Zwykle fizycy uwielbiają dane, ponieważ im ich więcej, tym wiarygodniejsze stają się analizy i wyciągane wnioski. Jednak w akceleratorze LHC Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych (CERN) zderzeń jest po prostu zbyt dużo i zapisanie każdego do późniejszej analizy wykracza poza obecne możliwości techniczne. Z lawiny danych trzeba więc wyławiać najciekawsze przypadki, podejmując decyzję w kilka mikrosekund – i miliony razy na sekundę. Od pierwszych dni pracy detektora CMS (Compact Muon Solenoid), jednego z czterech głównych detektorów przy LHC, za wstępną selekcję danych współodpowiada tryger mionowy w istotnej części zbudowany przez fizyków z Polski. Układ ten przeszedł ostatnio gruntowną modernizację i właśnie rozpoczyna pracę w nowym cyklu naświetleń akceleratora. Wykrywanie mionów, cząstek będących m.in. produktami rozpadu innych cząstek pojawiających się w zderzeniach, odbywa się teraz znacznie dokładniej.

„Miony, czyli cząstki elementarne o podobnych cechach co elektrony, tyle że ok. 200 razy bardziej masywne, niosą cenne dla nas informacje, na podstawie których odtwarzamy przebieg zderzeń. To właśnie m.in. dzięki mionom wychwyconym przez nasz system selekcji odkryto słynny bozon Higgsa", mówi dr hab. Marcin Konecki z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (FUW).

Znaczna część obecnego, zmodernizowanego układu trygera mionowego dla eksperymentu CMS została opracowana i zbudowana przez FUW, we współpracy z Politechniką Warszawską i Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Świerku, w ramach grantu Narodowego Centrum Nauki. Warszawscy fizycy, elektronicy, inżynierowie, technicy i studenci przygotowali nowe algorytmy selekcji zdarzeń i stworzyli oprogramowanie dla starannie wybranych płyt elektronicznych, które poddano następnie szczegółowym testom. Użycie nowoczesnej elektroniki pozwoliło znacząco zredukować rozmiary urządzenia.

„W kolejnych cyklach pracy LHC zwiększa energie cząstek, a im jest ona większa, tym więcej cząstek pochodnych powstaje w zderzeniach. Mało tego, wciąż rośnie świetlność akceleratora, czyli wielkość opisująca intensywność zderzeń, a zależąca od liczby krążących w akceleratorze cząstek oraz ich upakowania. W efekcie w jednostce czasu dochodzi teraz do znacznie większej liczby zderzeń. Wszystko to stawia przed układem selekcji mionów coraz to wyższe i wyższe wymagania", uzasadnia potrzebę modernizacji dr Konecki.

W detektorze CMS wiązki protonów rozpędzonych niemal do prędkości światła przecinają się co 25 nanosekund. W każdym zderzeniu wiązek dochodzi do kilkunastu-kilkudziesięciu oddziaływań, a każde może prowadzić do narodzin wielu cząstek pochodnych. Zadaniem trygera mionowego jest wstępne, bardzo szybkie zidentyfikowanie w lawinie cząstek mionów o dużym pędzie poprzecznym, a więc takich, które z punktu zderzenia wyleciały z dużą energią, odchylone pod znacznym kątem w stosunku do kierunku wiązki.

Miejsce zderzeń wiązek w detektorze CMS jest otoczone kilkoma cylindrycznymi warstwami komór detekcyjnych umieszczonych w polu gigantycznego magnesu nadprzewodzącego o średnicy 7 m i długości ok. 13 m, zapewniającego w okolicy przecięcia wiązek pole magnetyczne o ogromnej indukcji (blisko 4 tesle). Część centralna detektora, żargonowo nazywana beczką, jest zamknięta przez okrągłe, płaskie pokrywy z kolejnymi komorami detekcyjnymi. Łączna długość głównej części detektora wynosi ok. 21 m przy średnicy zewnętrznej ok. 15 m.

„Żeby zidentyfikować mion, trzeba wykryć sygnały z wielu komór detekcyjnych. Muszą one nadejść w określonym odstępie czasu od zderzenia i w odpowiedniej sekwencji. Trzeba też pamiętać, że mion jako cząstka naładowana zakrzywia swój tor ruchu w polu magnetycznym. A w detektorze CMS to pole się zmienia: przy osi wiązki jest zorientowane w jedną stronę, dalej od wiązki w drugą. W takim polu mion porusza się wzdłuż toru przypominającego niesymetrycznie rozciągniętą literę S. Aktywowane przez

niego komory nie leżą na jednej prostej, a opis zdarzenia jest trudny. Dlatego identyfikacja mionów w trygerze polega na porównaniu ich śladów z wzorcami. Na to wszystko nakładają się jeszcze losowe straty energii, rozpraszanie wielokrotne, szumy. Analiza staje się naprawdę wymagająca...", tłumaczy dr Konecki.

...a może być jeszcze trudniejsza! W 2012 roku polscy fizycy zwrócili uwagę kierownictwa eksperymentu CMS na złączenia obszaru beczki z pokrywami. Geometria układu detektorów w obrębie samych pokryw (płaskie koła) oraz beczki (powierzchnia boczna walca) jest jednorodna i stosunkowo prosta, lecz nie w miejscu „zszycia". Na dodatek w beczce i pokrywach zamontowano różne typy detektorów i w zszyciu trzeba brać pod uwagę je wszystkie – a znajduje się tu aż 18 warstw komór detekcyjnych! Co więcej, to właśnie w obszarze zszycia pole magnetyczne zmienia kierunek. Z tych powodów, pod wpływem sugestii polskich fizyków, kierownictwo eksperymentu CMS podjęło decyzję o wydzieleniu obszaru zszycia jako trzeciego, obok beczki i pokryw, odrębnego rejonu do analiz. Nadano mu nazwę Overlap Muon Track Finder (OMTF).

Obecna modernizacja trygera wymagała opracowania lepszych i dokładniejszych algorytmów porównywania sygnałów aktywacji komór detekcyjnych z zestawem odpowiednich wzorców. Same wzorce także należało opracować od podstaw, w sposób bardziej uniwersalny i zapewniający możliwość zakończenia analizy w założonym rygorze czasowym.

Skonstruowany przez grupę z Polski układ OMTF składa się z zaledwie dwóch kaset z elektroniką, z których każda zawiera sześć płyt trygera. Konstrukcję i oprogramowanie całości przygotowano w sposób umożliwiający w przyszłości rozbudowę urządzenia w celu dopasowania go do warunków pracy narzucanych przez stale rosnącą świetlność akceleratora LHC. W budowę, optymalizację i uruchamianie układu włączyło się kilku studentów i doktorantów, dla których udział w projekcie to nie tylko możliwość wykonania ciekawej pracy dyplomowej, ale też wspaniała naukowa przygoda, o czym zapewnia doktorant A. Byszuk, jeden ze stypendystów w projekcie OMTF.

W eksperymencie CMS przy akceleratorze LHC uczestniczy ponad 40 państw, niemal 200 instytucji naukowych, ok. 2700 fizyków i blisko 1000 inżynierów i techników; w cały projekt jest zaangażowanych ponad 4300 osób. Prowadzone tu badania dotyczą fundamentalnych zagadnień współczesnej nauki: jak powstała materia? czym się różni od antymaterii? czy istnieją inne cząstki elementarne niż dotychczas znane? czym są ciemna materia i ciemna energia, dominujące składniki Wszechświata? i dlaczego żyjemy w świecie o trzech wymiarach przestrzennych? Spektakularnym sukcesem eksperymentu CMS był współudział w odkryciu bozonu Higgsa, cząstki potwierdzającej istnienie mechanizmu nadającego masę innym cząstkom elementarnym.

Fizyka i astronomia na Uniwersytecie Warszawskim pojawiły się w 1816 roku w ramach ówczesnego Wydziału Filozofii. W roku 1825 powstało Obserwatorium Astronomiczne. Obecnie w skład Wydziału Fizyki UW wchodzą Instytuty: Fizyki Doświadczalnej, Fizyki Teoretycznej, Geofizyki, Katedra Metod Matematycznych oraz Obserwatorium Astronomiczne. Badania pokrywają niemal wszystkie dziedziny współczesnej fizyki, w skalach od kwantowej do kosmologicznej. Kadra naukowo-dydaktyczna Wydziału składa się z ok. 200 nauczycieli akademickich, wśród których jest 88 pracowników z tytułem profesora. Na Wydziale Fizyki UW studiuje ok. 1000 studentów i ponad 170 doktorantów.

KONTAKT:

dr hab. Marcin Konecki
Instytut Fizyki Doświadczalnej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
tel.: +48 22 5532815
email: marcin.konecki@fuw.edu.pl

POWIĄZANE STRONY WWW:

http://cms.web.cern.ch/
Strona eksperymentu CMS w CERN.

http://cms.fuw.edu.pl/
Strona Warszawskiej Grupy CMS.

http://www.fuw.edu.pl
Strona Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

http://www.fuw.edu.pl/informacje-prasowe.html
Serwis prasowy Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

MATERIAŁY GRAFICZNE:

FUW160727_fot01s.jpg, HR: http://www.fuw.edu.pl/press/images/2016/FUW160727b_fot01.jpg
Technicy z Uniwersytetu Warszawskiego przy układach elektronicznych trygera mionów eksperymentu CMS przy akceleratorze LHC. (Źródło: FUW)

FUW160727a - Tropienie mionow w LHC.pdf (109.5 kB)