

Nowa fizyka na początek XXI wieku

# Tytaniczny zderzacz



Michał Turała jest profesorem w Instytucie Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie, członkiem eksperymentu ATLAS przy LHC. Związany z programem LHC od jego początku był członkiem Rady CERN ds. badań i rozwoju detektorów dla eksperymentów i jej przewodniczącym

**MICHAŁ TURAŁA**  
Instytut Fizyki Jądrowej, Kraków  
Polska Akademia Nauk  
michal.turala@ifj.edu.pl

**10 września ruszył LHC – najpotężniejszy akcelerator świata. Być może odnajdzie „boską cząstkę” – poszukiwany od lat bozon Higgsa**

Fizyką cząstek elementarnych rządzi dziś Model Standardowy. Według tego modelu podstawowe cząstki elementarne dzielą się na nośniki podstawowych sił oraz kwarki i leptoni, z których tylko kilka lżejszych występuje „na co dzień” – cięższe cząstki szybko rozpadają się na lżejsze. Jednak nie wszystko jest jeszcze jasne. Nie wiemy, dlaczego masy cząstek tak bardzo się różnią: kwark  $t$  jest 350 tysięcy razy cięższy od elektronu, foton  $\gamma$  ma masę spoczynkową zero, a bozony pośredniczące  $W$  i  $Z$  ok. 90 GeV. Fizycy spodziewają się, że zagadkę tę rozwiąże odkrycie przewidywanej teoretycznie cząstki Higgsa, która miała-

by nadawać innym cząstkom masę. Mamy nadzieję, iż znajdziemy je dzięki nowemu, najpotężniejszemu na świecie akceleratorowi LHC.

Bardzo ciężkie cząstki mogą powstać tylko wtedy, gdy mamy do dyspozycji duże energie. Tak było np. zaraz po Wielkim Wybuchu (tj. w czasie  $t < 10^{-10}$  s od początku świata); takie energie występują też w zderzeniach cząstek promieniowania kosmicznego z naszą atmosferą – tyle że niezmiernie rzadko. By zaobserwować cząstkę Higgsa w tych oddziaływaniach za pomocą urządzenia pomiarowego o rozmiarach 10 km<sup>2</sup>, trzeba by czekać na pojawienie się jednego przypadku aż miliard lat!

Dzisiaj jesteśmy w stanie zbudować urządzenia nadające tysiącom miliardów cząstek niewyobrażalne energie teraelektronowoltów (taką energię ma np. lecący komar, a my nadajemy je pojedynczemu protonowi) i potrafimy je zderzać miliard razy w ciągu sekundy. W takich warunkach cząstka Higgsa może się pojawiać co 10 sekund. Tyle że trzeba ją zarejestrować i wyszukać w ogromnej liczbie innych oddziaływań. Tak też będzie z innymi,



Andrzej Kozłowski

Polscy inżynierowie i technicy przeprowadzili tysiące pomiarów, aby usunąć niesprawności LHC

nieznanymi dotąd zjawiskami, których powstania spodziewamy się w akceleratorze LHC.

### Program LHC

Duży Zderzacz Hadronów (*Large Hadron Collider* - LHC) został zaprojektowany w kołowym tunelu podziemnym o obwodzie 27 km, wydrążonym przy granicy francusko-szwajcarskiej na potrzeby poprzedniego akceleratora w stabilnej skalnej płycie na głębokości ok. 100 m pod powierzchnią. Akcelerator LHC należy do urządzeń pierścieniowych, w których cząstki rozpędzane do coraz to wyższych energii krążą w rurach próżniowych po orbitach kołowych, a ich trajektorie wyznaczają magnesy, których pola trzymają je „na uwięzi” - im wyższa energia (pęd) cząstek, tym większe natężenia pól magnetycznych. Takie rozwiązanie ułatwia proces akceleracji - cząstki wielokrotnie przechodzą przez obszar, w którym zyskują dodatkową energię, a ponadto mają one większą szansę spowodowania „kolizji” (w tym wypadku pożytecznych dla fizyki zderzeń), jako że wielokrotnie przełatują przez „skrzyżowania” (punkty przecięcia się orbit krążących cząstek). W tych zderzeniach czołowych całkowita energia wynosi 14 TeV - tyle że dzieli się ona między kwarki i gluony, z których zbudowane są protony. W efekcie możemy oczekiwać produkcji cząstek o masach rzędu „tylko” kilku TeV.

### Fizycy spodziewają się odnaleźć dzięki LHC cząstkę Higgsa, która miałaby nadawać innym cząstkom masę

Magnesy są obok układów przyspieszających głównymi elementami akceleratora LHC - w sumie w LHC jest ich około 10 tysięcy różnych rodzajów (odchylające, korygujące itp.), rozmieszczonych na 27-km pierścieniu. Rozwiązaniem, które przyjęto w akceleratorze LHC, jest zastosowanie magnesów nadprzewodzących o cewkach wykonanych z materiałów, które w niskich temperaturach wykazują zerowy opór (np. stop niobu i tytanu). Wtedy potrzebne moce elektryczne są umiarkowane - uruchomienie LHC nie spowoduje większego zużycia mocy przez CERN (które dziś odpowiada potrzebom średniej wielkości miasta).

Aby schłodzić magnesy do temperatur bliskich absolutnego zera, wykorzystuje się ciekły hel. Potrzeba go w sumie ok. 120 ton - obecnie jest to największa helowa instalacja w świecie. Znaczna część tego helu po-



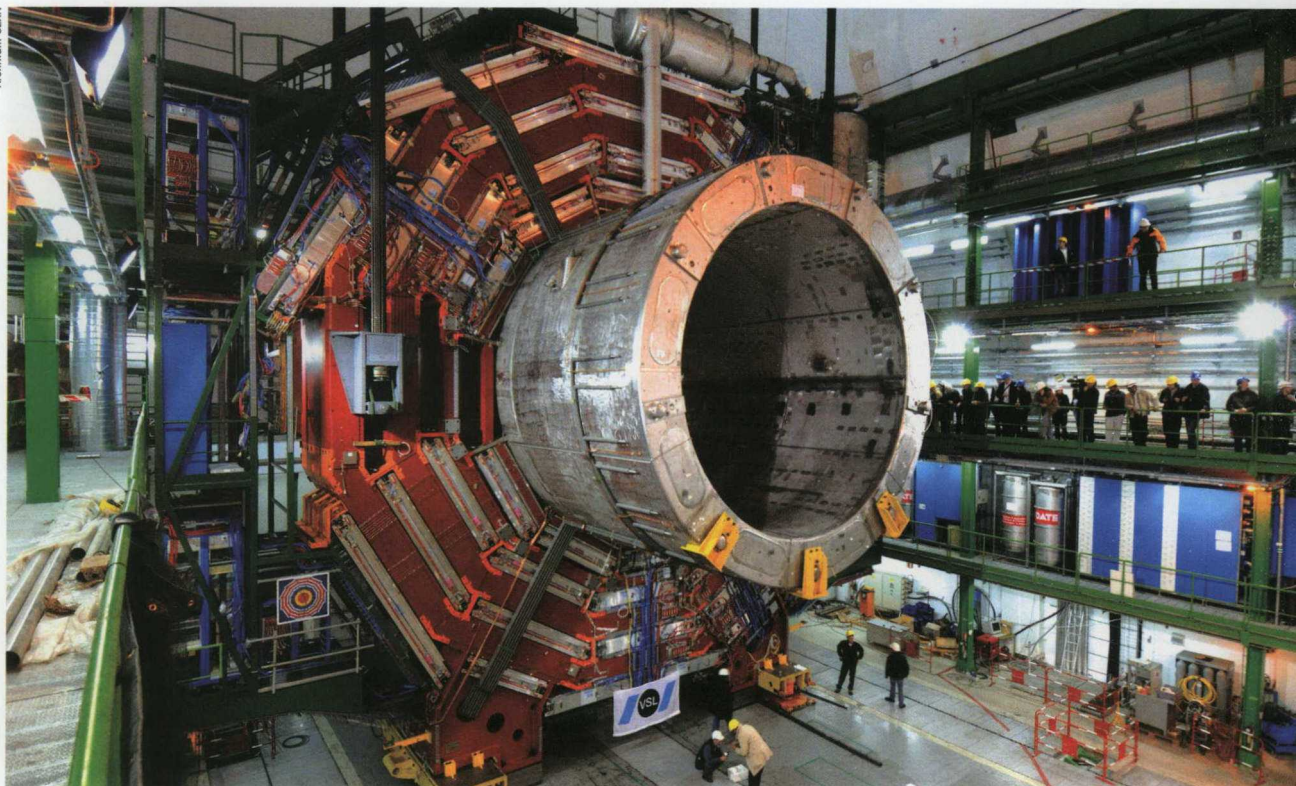
Te podpory, mające unieść kalorymetry eksperymentu ATLAS (1800 ton), wykonano w Polsce

chodzi z Polski, z Odolanowa. Hel schładza się do temperatury 1,9 stopnia Kelvina (to mniej niż temperatura przestrzeni kosmicznej!), gdyż w takich warunkach staje się nadciekły i wykazuje niesłychaną płynność i przewodność cieplną. Pozwala to na uzyskanie równomiernych temperatur na całym dużym obwodzie akceleratora.

Magnesy LHC mają wewnątrz po dwie rury próżniowe o średnicy ok. 5 cm, otoczone dwiema niezależnymi cewkami wytwarzającymi przeciwne pola magnetyczne. W ten sposób w jednym magnesie mogą krążyć w przeciwnych kierunkach dwa niezależne strumienie cząstek. Próżnia w tunelach jest większa niż na Księżycu, aby wiązki protonów nie oddziaływały z pozostałościami gazu - pozwala to im krążyć przez 10 godzin bez wyraźnych ubytków liczby protonów. Ich czołowe zderzenia będą się odbywały w kilku wybranych miejscach na obwodzie akceleratora, wokół których są ulokowane spektrometry do pomiarów produktów tych kolizji. Należy pamiętać, iż rozpędzone wiązki protonów mają ogromną energię sumaryczną wystarczającą do stopienia kilkuset kilogramów miedzi. Tak więc system sterowania musi kierować wiązkami LHC ze stuprocentową pewnością, gdyż inaczej zniszczone zostaną elementy konstrukcyjne akceleratora - niewykorzystaną, ale już nieprzydatną wiązkę, rozogniskowuje się i kieruje się na specjalny „pochłaniacz energii”, absorber zbudowany z grafitu umieszczony w odnodze tunelu.

## Nowa fizyka na początek XXI wieku

Archiwum CERN



Oto magnes eksperymentu CMS w trakcie instalacji w podziemnej hali eksperymentalnej

Instalację wszystkich elementów akceleratora LHC zakończono w 2007 r. Z początkiem 2008 r. rozpoczęto schładzanie poszczególnych sekcji tej maszyny (pełny okrąg jest podzielony na 8 części) – co musi trwać kilka miesięcy – i przystąpiono do sprawdzania działania magnesów. Latem 2008 zostały zamknięte rury próżniowe, co oznacza koniec instalacji detektorów i rozpoczęło ich odpompowywanie. 10 września pierwsze wiązki protonów przemierzyły obwód akceleratora. Wkrótce rozpocznie się ich przyspieszanie i pierwsze zderzenia. To święto oczekiwane jest jesienią tego roku.

### Eksperymenty

W 1994 r. komitety naukowe zarekomendowały, a dyrekcja CERN zaaprobowwała do realizacji cztery projekty eksperymentów: dwa ogólnego przeznaczenia, ATLAS (*A Toroidal LHC AparatuS*) i CMS (*Compact Muon Solenoid*), mogące zmierzyć szereg reakcji, a w szczególności nastawione na poszukiwania Higgsa i innych nowych cząstek; ALICE, specjalnie zaprojektowany dla badania oddziaływań ciężkich jonów, w których produkowane będą tysiące cząstek wtórnych; LHCb, koncentrujący się na badaniach rozpadów mezonów z kwarkiem „pięknym”, które

będą się produkować w wielkich ilościach w zderzeniach LHC.

Pierwsze dwa eksperymenty to monstra, które nie mają sobie równych w historii fizyki cząstek. ATLAS ma kształt cylindra o 44 metrach długości, 24 metrach średnicy i wadze ok. 7 tys. ton – są to rozmiary porównywalne z 6-piętrowym budynkiem. CMS jest nieco mniejszy, ale za to cięższy – jego magnes centralny ma rdzeń żelazny, a jego waga jest większa niż waga materiału zużytego do budowy wieży Eiffla. Aparatura to nie tylko konstrukcje mechaniczne i detektory cząstek, lecz także elektronika pozwalająca na wstępną selekcję interesujących przypadków i ich rejestrację.

W eksperymentach najważniejsza będzie nie aparatura, ale dane, które za jej pomocą zostaną zarejestrowane. Przecinające się wiązki protonów będą produkować wiele zderzeń równocześnie, co oznacza, iż spektrometry ATLAS i CMS będą musiały rejestrować równocześnie tory i energie ponad 1000 cząstek. Produkowana wówczas ilość informacji sięga 1-2 MB na przypadek (taką ilość informacji ma typowa książka). Takich przypadków („książek”) będzie się produkować 40 milionów w sekundzie. Konieczne jest więc wstępne przeanalizowanie tych przypadków w „cza-

się rzeczywistością” i wybranie tylko 100–200 najciekawszych, które są zapisywane na dyskach i taśmach magnetycznych i które będą dalej podlegać obróbce i analizie, aby wyłowić nowe cząstki i/lub nowe zjawiska. Niemniej jednak jest to wciąż jeszcze ogromna ilość informacji. Corocznie przez każdy z eksperymentów zostanie zarejestrowanych kilka petabajtów danych! (1 PB =  $10^{15}$  bajtów) – powstanie „biblioteka” składająca się z miliarda tomów, w których zapisane są magiczne reguły, które musimy znaleźć i odczytać.

Sprawa opracowania tej ogromnej ilości informacji to osobny problem, zwłaszcza jeśli uwzględnimy skalę międzynarodowych zespołów badawczych rozsiansych po wszystkich krajach i kontynentach, z których każdy chce i musi mieć dostęp do danych. Dopiero technologie ostatnich lat, w szczególności bardzo szybkie (i względnie tanie) łącza sieciowe, przynoszą rozwiązanie, a mianowicie możliwość stworzenia zintegrowanego systemu rozproszonych zasobów obliczeniowych. Taki system nosi nazwę „Grid”, na wzór sieci elektrycznej, która dostarcza nam prąd z rozsiansych po całym kraju elektrowni.

### Polski udział

Polski wkład w prace związane z programem LHC rozpoczął się z początkiem lat 90. i obejmował udział w projektach badawczo-rozwojowych mających na celu zbadanie możliwości skonstruowania odpowiednich detektorów i elektroniki rejestrującej, a także lepsze zrozumienie zachodzących w nich procesów fizycznych towarzyszących cząstkom o bardzo wysokich energiach. Fizycy polscy z Krakowa i Warszawy, wspomagani przez inżynierów i techników, uczestniczą we wszystkich czterech eksperymentach LHC: zespoły z Akademii Górniczo-Hutniczej w ATLAS i LHCb, z Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w ALICE, ATLAS i LHCb, z Instytutu Problemów Jądrowych w Warszawie w ALICE, CMS i LHCb, z Politechniki Warszawskiej w ALICE, z Uniwersytetu Warszawskiego w CMS.

Nasz udział w programie badawczym LHC nie byłby pełny bez dołączenia do Światowego Gridu Komputerowego LHC (WLCG). Pierwsze prace rozpoczęły się w ośrodkach komputerowo-sieciowych Krakowa (ACK Cyfronet AGH), Poznania (PCSS) i Warszawy (ICM UW) w 2000 r. Udział w projektach europejskich CrossGrid (koordynowany przez au-

tora) i EGEE doprowadził do zaznajomienia się z nową technologią gridową, co w konsekwencji pozwoliło polskim ośrodkom stać się pełnoprawnymi partnerami projektu CERN-owskiego. Obecnie w Polsce wykonuje się ok. 2% wszystkich obliczeń potrzebnych do eksperymentów LHC.

### Czy to ma sens?

Zamiast zwykłego podsumowania można postawić pytanie: czy to wszystko ma sens? Odpowiedź na to jest dla wielu jednoznaczna – tak, nie ma dalszego rozwoju cywilizacji bez badań naukowych. Koszt programu LHC (ok. 4 miliardów euro), choć ogromny, to jednak stanowi tylko znikomą część wydatków świata na zbrojenia i wojny i jest podobny do kosztów eskadry samolotów F-16 dla Polski. Ale jeszcze ważniejsze jest nasze stałe dążenie do poznania i zrozumienia otaczającego świata. Ta ciekawość doprowadziła ludzkość do obecnego poziomu rozwoju, z którym mało kto chciałby się rozstać. Kolumb i inni żeglarze wyruszyli, by poznać Ziemię i jej bogactwa. Faraday i Maxwell zajmowali się elektrycznością, co wtedy większość, także wielu uczonych, uznawało za mało perspektywiczne i niepraktyczne. Demokryt i jego następcy, Bohr, Dirac, Fermi, zastanawiali się, z jakich drobin zbudowany jest świat i co je łączy, co doprowadziło do odkrycia energii jądrowej. W ostatnich latach fizycy z dużych eksperymentów CERN „przy okazji” odkryli WWW, „światową pajęczynę”. Może więc i badania przy LHC dadzą nam wiedzę o nowych cząstkach i siłach, które można będzie wykorzystać z pożytkiem dla cywilizacji. ■

### Chcesz wiedzieć więcej?

<http://www.fuw.edu.pl/~ajduk/Public/Welcome.html>

<http://www.cern.ch>

<http://www.przygodazczastkami.org>



Prof. P.W. Higgs  
na galerii  
eksperymentu ATLAS  
(4 kwietnia 2008)