

LHC

Wielki Zderzacz Hadronów

Ewelina Adamus, Magdalena Gwarda
Fizyka Techniczna

Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki w Krakowie

01-07-2016

Plan prezentacji

- 1 Wprowadzenie
- 2 Akcelerator LHC
 - Magnes akceleratora
 - Detektor ATLAS
 - Detektor CMS
 - Zastosowanie
 - Zużycie energii
 - Koszt LHC
- 3 Bibliografia

Gdy zderzają się ze sobą dwa protony poruszające się z prędkością równą 99.999999% prędkości światła to w następstwie tej subatomowej eksplozji przyroda dostaje do zabawy energię równą 14 bln eV (14 TeV).

Ta energia, równoważna sumie mas 14 tys. protonów, dzieli się między mniejsze cząstki, z których zbudowany jest proton: kwarki i wiążące je gluony. Jednak od czasu do czasu dwa kwarki zderzają się czołowo z energią rzędu 2 TeV lub wyższą.

Gdy zderzają się ze sobą dwa protony poruszające się z prędkością równą 99.999999% prędkości światła to w następstwie tej subatomowej eksplozji przyroda dostaje do zabawy energię równą 14 bln eV (14 TeV).

Ta energia, równoważna sumie mas 14 tys. protonów, dzieli się między mniejsze cząstki, z których zbudowany jest proton: kwarki i wiążące je gluony. Jednak od czasu do czasu dwa kwarki zderzają się czołowo z energią rzędu 2 TeV lub wyższą.

Ostatni raz przed powstaniem LHC tak gwałtowne zderzenia dużych ilości kwarków zdarzyły się miliardy lat temu, podczas pierwszej pikosekundy Wielkiego Wybuchu. Ponownie zaczęły się one pojawiać około roku 2005 w tunelu w kształcie okręgu, biegnącym pod ziemią na granicy francusko-szwajcarskiej, niedaleko Genewy.

LHC osiągnęło swoją bezprecedensową energię mimo istotnego ograniczenia, które wynikało z konieczności zmieszczenia go w istniejącym już 27-kilometrowym tunelu. Wcześniej znajdował się w nim Wielki Zderzacz Elektronowo-Pozytonowy (LEP - Large Electron-Positron Collider) używany do przeprowadzania precyzyjnych testów teorii cząstek przy energii stanowiącej mniej więcej 1% energii LHC.

Jednak zakrzywianie trajektorii wiązek protonowych o energii 7 TeV wewnątrz tunelu wymaga pól magnetycznych silniejszych od stosowanych w jakimkolwiek poprzednim akceleratorze. Te pola zostały wytworzone przez 1232 magnesy, każdy długości 15 m, rozstawione na 85% jego obwodu. Magnesy z kolei są zasilane przez nadprzewodzące kable, przez które płynie prąd 12 000 A i które za pomocą nadciekłego helu zostały ochłodzone do temperatury -271 stopni C, czyli tylko dwa stopnie powyżej zera bezwzględnego.

Tym co się naprawdę liczy jest energia zderzeń pomiędzy tworzącymi protony kwarkami i gluonami, a te dzielą między siebie energie protonu w proporcjach, których wielkość ulega fluktuacjom.

Jednak zakrzywianie trajektorii wiązek protonowych o energii 7 TeV wewnątrz tunelu wymaga pól magnetycznych silniejszych od stosowanych w jakimkolwiek poprzednim akceleratorze. Te pola zostały wytworzone przez 1232 magnesy, każdy długości 15 m, rozstawione na 85% jego obwodu. Magnesy z kolei są zasilane przez nadprzewodzące kable, przez które płynie prąd 12 000 A i które za pomocą nadciekłego helu zostały ochłodzone do temperatury -271 stopni C, czyli tylko dwa stopnie powyżej zera bezwzględnego.

Tym co się naprawdę liczy jest energia zderzeń pomiędzy tworzącymi protony kwarkami i gluonami, a te dzielą między siebie energie protonu w proporcjach, których wielkość ulega fluktuacjom.

Natężenie LHC, czy też jego świetlność jest sto razy większe niż we wcześniej istniejących zderzaczach, jak na przykład w Tevatronie, i dziesięć razy większe niż w Nadprzewodzącym Superzderzacz, którego budowy zaprzestano w 1993 roku.

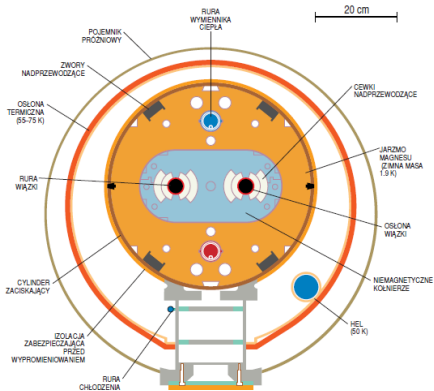
Większa świetlność LHC w porównaniu z SSC w znacznej mierze kompensuje jego niższą energię wiązek. Zarazem jednak jest utrudnieniem w prowadzeniu eksperymentów. Poza tym tak intensywne wiązki mogą być źródłem innych problemów w rodzaju chaotycznego zachowania się orbit.

W czterech miejscach wzdłuż obwodu LHC w każdej sekundzie następuje miliard zderzeń i w każdym z nich powstaje około 100 cząstek wtórnych. Ogromne detektory - największe wysokości mniej więcej sześciopiętrowego budynku - wyposażone w tysiące skomplikowanych urządzeń śledzą cały ten rozgardiasz. Pociski z LHC przenikają jeszcze głębiej, bo do $10^{-19} m$.

Magnes akceleratora

Prąd w cewce nadprzewodzącej ma natężenie 12 000 A. Cewka musi być schładzana do temperatury poniżej 2 K. W każdej z rur dla wiązki leci jedna z dwu przeciwbieżnych wiązek protonów. Inne magnesy ogniskują wiązki i zaginają je tak, by się przecięły w punktach zderzeń wewnątrz detektorów. Podstawowym celem przy projektowaniu LHC było więc dążenie do odkrycia domniemanego pola Higgsa i zrozumienia natury mechanizmu generującego masy.

Magnes akceleratora

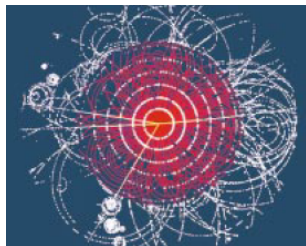
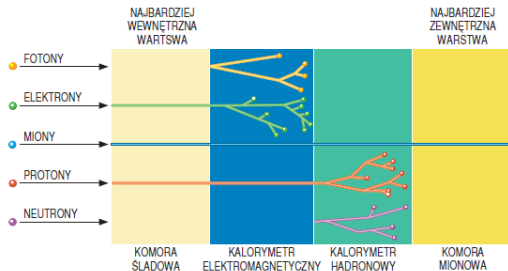


Rysunek: Magnes akceleratora

Detektor ATLAS

W DETEKTORZE ATLAS wykorzystano nowatorski układ magnesów toroidalnych. Protony zderzają się w środku detektora, produkując fontannę cząstek. Koncentryczne warstwy ATLAS-a wykrywają różne rodzaje cząstek, jedne dokładnie określają tory cząstek, inne mierzą ich energie. Uproszczony rysunek (poniżej z lewej) pokazuje, jak działają poszczególne warstwy. Toroidalne magnesy zakrzywiają tory cząstek naładowanych, co pozwala zmierzyć ich pędy. Zdjęcie (poniżej z prawej) przedstawia symulacje danych dla zderzenia, w którym cząstka Higgosa rozpada się na cztery miony (żółte tory).

Detektor ATLAS



Detektor ATLAS

Aby dało się prowadzić wiązki protonów o energii 7 TeV po wyznaczonej trasie, magnesy odchylające akceleratora muszą utrzymywać pole 8.3 T, czyli prawie 100 tys. razy silniejsze niż pole magnetyczne Ziemi, a zarazem najpotężniejsze, jakie kiedykolwiek zastosowano w akceleratorze. Wykorzystują one nadprzewodnictwo, żeby duże prądy mogły płynąć bez oporu w cienkich nadprzewodzących drutach. Dzięki temu są nieduże i uzyskują pola nieosiągalne w zwykłych magnesach zrobionych z drutów miedzianych. Aby utrzymać nadprzewodnictwo w warunkach pracy, czyli dla prądu 12 000 A, rdzenie magnesów muszą być utrzymywane w temperaturze -271 C na długości 22.4 km tunelu.

Wiązki składają się z paczek protonów, ułożonych jak koraliki na sznurku, rozsuniętych w czasie co 25-miliardowych części sekundy. W każdym punkcie zderzenia pary takich pakietów spotkają się 40 mln razy na sekundę, za każdym razem dając około 20 zderzeń proton-proton. Na skutek wielkiej częstości zderzeń cząstki z jednej kolizji nie zdążą jeszcze przelecieć przez detektory, kiedy już zajdzie następna! Przy tych 800 mln zderzeń na sekundę tylko mniej więcej jedno na miliard jest czołowym zderzeniem kwarków żeby wytrzymać to niesamowite tempo, informacja z detektora zostanie skierowana do elektronicznych buforów dostatecznie długich, żeby przechować dane z kilku tysięcy zderzeń.

Przy LHC istnieją cztery detektory cząstek. Dwa z nich są olbrzymami, każdy zbudowany jak rosyjska matryoszka, z modułami dokładnie wpasowanymi jeden w drugi i punktem zderzenia w samym środku. Każdy moduł (wypełniony wytworami najnowocześniejszej technologii) jest specjalnie przystosowany do prowadzenia określonej obserwacji, która ma być wykonana, zanim cząstka przeleci do następnej warstwy.

Zarówno ATLAS, jak i CMS zostały zaprojektowane pod kątem wykrywania wysokoenergetycznych mionów, elektronów i fotonów, których obecność mogłaby wskazywać na produkcje nowych cząstek, takich jak bozony Higgosa.

ATLAS (**A** Toroidal **LHC** **A**paratu**S**) zawiera ogromny toroidalny magnes wyposażony w detektory zaprojektowane do identyfikowania mionów w powietrzu.

W CMS zastosowano bardziej tradycyjne podejście, używając do wykrywania mionów komór znajdujących się wewnątrz jarzma bardzo potężnego solenoidalnego magnesu. Część detektora CMS jest zbudowana z kryształów, które świecą, kiedy wpadają do nich elektrony lub fotony.

Mezony B, przedmiot badań LHCb, dążą do odpowiedzi na pytanie, dlaczego Wszechświat jest zbudowany z materii, a nie z równych ilości materii i antymaterii.

ATLAS (**A** Toroidal **LHC** **A**paratu**S**) zawiera ogromny toroidalny magnes wyposażony w detektory zaprojektowane do identyfikowania mionów w powietrzu.

W CMS zastosowano bardziej tradycyjne podejście, używając do wykrywania mionów komór znajdujących się wewnątrz jarzma bardzo potężnego solenoidalnego magnesu. Część detektora CMS jest zbudowana z kryształów, które świecą, kiedy wpadają do nich elektrony lub fotony.

Mezony B, przedmiot badań LHCb, dążą do odpowiedzi na pytanie, dlaczego Wszechświat jest zbudowany z materii, a nie z równych ilości materii i antymaterii.

ATLAS (**A** Toroidal **LHC** **A**paratu**S**) zawiera ogromny toroidalny magnes wyposażony w detektory zaprojektowane do identyfikowania mionów w powietrzu.

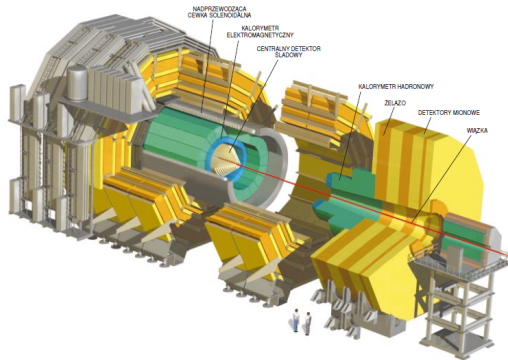
W CMS zastosowano bardziej tradycyjne podejście, używając do wykrywania mionów komór znajdujących się wewnątrz jarzma bardzo potężnego solenoidalnego magnesu. Część detektora CMS jest zbudowana z kryształów, które świecą, kiedy wpadają do nich elektrony lub fotony.

Mezony B, przedmiot badań LHCb, dążą do odpowiedzi na pytanie, dlaczego Wszechświat jest zbudowany z materii, a nie z równych ilości materii i antymaterii.

Detektor CMS

DETEKTOR CMS, wyposażony w bardziej tradycyjny typ magnesu niż ATLAS i przystosowany do wykrywania mionów. CMS, pokazany tutaj również od środka, ma detektory mionowe (żółty) ułożone na przemian z warstwami żelaza (pomarańczowy), które zamykają pole magnetyczne wytworzone przez nadprzewodzącą cewkę solenoidalną. Kalorymetr elektromagnetyczny (niebieski) zawiera 80 tys. ołowiowo-wolframowych kryształów do detekcji elektronów i fotonów. Wstawka przedstawia dane z symulacji zderzenia, w którym cząstka Higgsa rozpada się na dwa miony (ich ślady znajdują się około "godziny czwartej") i dwa strumienie hadronów (ślady około "godziny jedenastej").

Detektor CMS



Rysunek: Detektor CMS

Zastosowanie

World Wide Web (WWW) ma swoje źródła w projekcie CERN o kryptonimie ENQUIRE, zapoczątkowanym w 1989 roku przez Timą Berners-Lee i Roberta Cailliau. Pierwszy portal WWW powstał w 1991 roku. 30 kwietnia 1993, CERN zadeklarował iż World Wide Web będzie otwartą, ogólnodostępną technologią. World Wide Web wynaleziono by ułatwić fizykom komunikowanie się.

Medycyna korzysta z wielu CERNowskich technologii np. akceleratory używane do radioterapii i produkcji leczniczych radioizotopów, Kryształy używane w urządzeniach diagnostycznych (skanery PET).

Zastosowanie

World Wide Web (WWW) ma swoje źródła w projekcie CERN o kryptonimie ENQUIRE, zapoczątkowanym w 1989 roku przez Timą Berners-Lee i Roberta Cailliau. Pierwszy portal WWW powstał w 1991 roku. 30 kwietnia 1993, CERN zadeklarował iż World Wide Web będzie otwartą, ogólnodostępną technologią. World Wide Web wynaleziono by ułatwić fizykom komunikowanie się.

Medycyna korzysta z wielu CERNowskich technologii np. akceleratory używane do radioterapii i produkcji leczniczych radioizotopów, Krysztaly używane w urządzeniach diagnostycznych (skanery PET).

Zastosowanie

Obecnie CERN pracuje nad stworzeniem największego na świecie projektu Sieci Obliczeniowej GRID, mogącej dostarczyć potężnej mocy obliczeniowej potrzebnej fizykom do analizy danych z LHC. GRID zapewni swoim użytkownikom łatwy dostęp do połączonej mocy obliczeniowej tysięcy komputerów na całym świecie.

Do krajów założycielskich należą: Francja, Grecja, Szwajcaria, Belgia, Dania, Niemcy, Włochy, Holandia, Norwegia, Szwecja i Wielka Brytania. Kolejne państwa dołączały później: Austria (1959), Czechy (1993), Finlandia (1991), Węgry (1992), Polska (1991), Portugalia (1986), Słowacja (1993) i Hiszpania (1961), Bułgaria (1999).

Według pierwotnych uzgodnień akcelerator LHC miał być finansowany tylko przez 19 europejskich krajów członkowskich CERN. Budowę zaplanowano w dwu etapach według okropnie powolnego terminarza.

Zużycie energii

- CERN: 1 TWh/rok
 - Średnio: 1/5 zużycia kantonu Genewa
 - Gdy maszyny pracują: 1/3 zużycia
 - 40-45%: LHC
 - 12-14% kriogenika, 7-9% chłodzenie, wentylacja
 - 10-12%: eksperymenty na LHC
 - 28-32%: akcelerator SPS
 - 2-3%: pozostałe akceleratorzy (LINAC, Booster)
 - 5-6%: centrum komputerowe
 - 7-9%: biura, restauracje, itp.

Zużycie energii

- CERN: 1 TWh/rok
- Średnio: 1/5 zużycia kantonu Genewa
- Gdy maszyny pracują: 1/3 zużycia
- 40-45%: LHC
- 12-14% kriogenika, 7-9% chłodzenie, wentylacja
- 10-12%: eksperymenty na LHC
- 28-32%: akcelerator SPS
- 2-3%: pozostałe akceleratorzy (LINAC, Booster)
- 5-6%: centrum komputerowe
- 7-9%: biura, restauracje, itp.

Zużycie energii

- CERN: 1 TWh/rok
- Średnio: 1/5 zużycia kantonu Genewa
- Gdy maszyny pracują: 1/3 zużycia
- 40-45%: LHC
- 12-14% kriogenika, 7-9% chłodzenie, wentylacja
- 10-12%: eksperymenty na LHC
- 28-32%: akcelerator SPS
- 2-3%: pozostałe akceleratorzy (LINAC, Booster)
- 5-6%: centrum komputerowe
- 7-9%: biura, restauracje, itp.

Zużycie energii

- CERN: 1 TWh/rok
- Średnio: 1/5 zużycia kantonu Genewa
- Gdy maszyny pracują: 1/3 zużycia
- 40-45%: LHC
- 12-14% kriogenika, 7-9% chłodzenie, wentylacja
- 10-12%: eksperymenty na LHC
- 28-32%: akcelerator SPS
- 2-3%: pozostałe akceleratorzy (LINAC, Booster)
- 5-6%: centrum komputerowe
- 7-9%: biura, restauracje, itp.

Zużycie energii

- CERN: 1 TWh/rok
- Średnio: 1/5 zużycia kantonu Genewa
- Gdy maszyny pracują: 1/3 zużycia
- 40-45%: LHC
- 12-14% kriogenika, 7-9% chłodzenie, wentylacja
- 10-12%: eksperymenty na LHC
- 28-32%: akcelerator SPS
- 2-3%: pozostałe akceleratorzy (LINAC, Booster)
- 5-6%: centrum komputerowe
- 7-9%: biura, restauracje, itp.

Zużycie energii

- CERN: 1 TWh/rok
- Średnio: 1/5 zużycia kantonu Genewa
- Gdy maszyny pracują: 1/3 zużycia
- 40-45%: LHC
- 12-14% kriogenika, 7-9% chłodzenie, wentylacja
- 10-12%: eksperymenty na LHC
- 28-32%: akcelerator SPS
- 2-3%: pozostałe akceartory (LINAC, Booster)
- 5-6%: centrum komputerowe
- 7-9%: biura, restauracje, itp.

Zużycie energii

- CERN: 1 TWh/rok
- Średnio: 1/5 zużycia kantonu Genewa
- Gdy maszyny pracują: 1/3 zużycia
- 40-45%: LHC
- 12-14% kriogenika, 7-9% chłodzenie, wentylacja
- 10-12%: eksperymenty na LHC
- 28-32%: akcelerator SPS
- 2-3%: pozostałe akceleratorzy (LINAC, Booster)
- 5-6%: centrum komputerowe
- 7-9%: biura, restauracje, itp.

Zużycie energii

- CERN: 1 TWh/rok
- Średnio: 1/5 zużycia kantonu Genewa
- Gdy maszyny pracują: 1/3 zużycia
- 40-45%: LHC
- 12-14% kriogenika, 7-9% chłodzenie, wentylacja
- 10-12%: eksperymenty na LHC
- 28-32%: akcelerator SPS
- 2-3%: pozostałe akceleratorzy (LINAC, Booster)
- 5-6%: centrum komputerowe
- 7-9%: biura, restauracje, itp.

Zużycie energii

- CERN: 1 TWh/rok
- Średnio: 1/5 zużycia kantonu Genewa
- Gdy maszyny pracują: 1/3 zużycia
- 40-45%: LHC
- 12-14% kriogenika, 7-9% chłodzenie, wentylacja
- 10-12%: eksperymenty na LHC
- 28-32%: akcelerator SPS
- 2-3%: pozostałe akceleratorzy (LINAC, Booster)
- 5-6%: centrum komputerowe
- 7-9%: biura, restauracje, itp.

Zużycie energii

- CERN: 1 TWh/rok
- Średnio: 1/5 zużycia kantonu Genewa
- Gdy maszyny pracują: 1/3 zużycia
- 40-45%: LHC
- 12-14% kriogenika, 7-9% chłodzenie, wentylacja
- 10-12%: eksperymenty na LHC
- 28-32%: akcelerator SPS
- 2-3%: pozostałe akceleratorzy (LINAC, Booster)
- 5-6%: centrum komputerowe
- 7-9%: biura, restauracje, itp.

Koszt LHC

- **LHC (akcelerator): 4.6 mld CHF**
- CERN: wkład w detektory: 1.09 mld CHF
- LHC injector upgrade: 0.16 mld CHF
- Komputery dla LHC (wkład CERN): 0.18 mld CHF
- W SUMIE: 6.03 mld CHF (24 mld PLN)

Koszt LHC

- LHC (akcelerator): 4.6 mld CHF
- CERN: wkład w detektory: 1.09 mld CHF
- LHC injector upgrade: 0.16 mld CHF
- Komputery dla LHC (wkład CERN): 0.18 mld CHF
- W SUMIE: 6.03 mld CHF (24 mld PLN)

Koszt LHC

- LHC (akcelerator): 4.6 mld CHF
- CERN: wkład w detektory: 1.09 mld CHF
- LHC injector upgrade: 0.16 mld CHF
- Komputery dla LHC (wkład CERN): 0.18 mld CHF
- W SUMIE: 6.03 mld CHF (24 mld PLN)

Koszt LHC

- LHC (akcelerator): 4.6 mld CHF
- CERN: wkład w detektory: 1.09 mld CHF
- LHC injector upgrade: 0.16 mld CHF
- Komputery dla LHC (wkład CERN): 0.18 mld CHF
- W SUMIE: 6.03 mld CHF (24 mld PLN)

Koszt LHC

- LHC (akcelerator): 4.6 mld CHF
- CERN: wkład w detektory: 1.09 mld CHF
- LHC injector upgrade: 0.16 mld CHF
- Komputery dla LHC (wkład CERN): 0.18 mld CHF
- W SUMIE: 6.03 mld CHF (24 mld PLN)

Bibliografia



Swiat nauki *LHC - Wielki zderzacz*, wrzesień 2000



<https://indico.cern.ch/>

Dziękujemy za uwagę!