

## Spis treści

# faq

<i>Fizyka cząstek</i>	1
<i>Podstawowe informacje o LHC</i>	15
<i>Akcelerator</i>	27
<i>Detektory</i>	37
<i>Środowisko</i>	49
<i>10 fascynujących faktów o LHC</i>	55
<i>Dodatek 1</i>	56
<i>Dodatek 2</i>	57



## Potęgi dziesięciu

Potęgi dziesięciu są powszechnie używane w fizyce i technologii informacji. W praktyce są to skróty dla bardzo małych i bardzo dużych liczb.

Potęga dziesięciu	Liczba	Skrót
$10^{-12}$	0,000000000001	p (piko)
$10^{-9}$	0,000000001	n (nano)
$10^{-6}$	0,000001	$\mu$ (mikro)
$10^{-3}$	0,001	m (milli)
$10^{-2}$	0,01	
$10^{-1}$	0,1	
$10^0$	1	
$10^1$	10	
$10^2$	100	
$10^3$	1000	k (kilo)
$10^6$	1 000 000	M (mega)
$10^9$	1 000 000 000	G (giga)
$10^{12}$	1 000 000 000 000	T (tera)
$10^{15}$	1 000 000 000 000 000	P (peta)

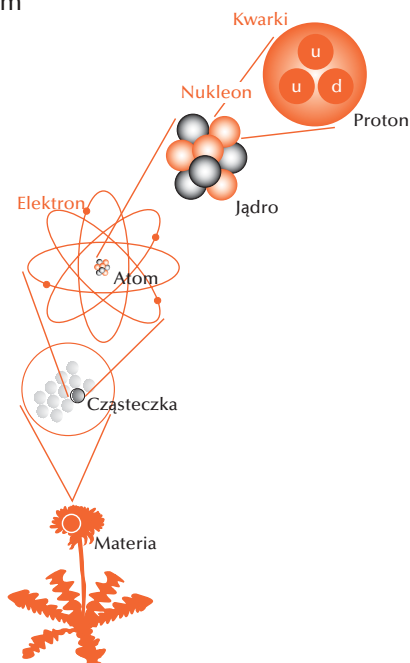
## Wewnątrz atomu



Fizyka cząstek bada najmniejsze obiekty występujące w Naturze. Zglądając do wnętrza tych bardzo małych i fundamentalnych obiektów cofa się również bardzo daleko w czasie, bo aż do kilku chwil po Wielkim Wybuchu. Poniżej przedstawione są wymiary kilku obiektów, którymi zajmuje się fizyka cząstek:

atom :  $10^{-10}$  m  
jądro :  $10^{-14}$  m  
kwarki :  $< 10^{-19}$  m

*Jeżeli protony i neutrony miałyby średnicę 10 cm, wówczas kwarki i elektrony miałyby wielkość mniejszą niż 0,1 mm, a cały atom miałby średnicę około 10 km. Więcej niż 99,99% atomu to pusta przestrzeń.*



## Jednostki energii w fizyce

W fizyce stosuje się wiele jednostek energii. Dżule, kalorie i kilowatogodziny są jednostkami używanymi w różnych kontekstach. Tylko dżul należy do międzynarodowego układu jednostek (SI), ale wszystkie jednostki są między sobą powiązane poprzez współczynniki konwersji. W fizyce cząstek najczęściej używaną jednostką energii jest elektronowolt (eV) i jego wielokrotności: keV ( $10^3$  eV), MeV ( $10^6$  eV), GeV ( $10^9$  eV) i TeV ( $10^{12}$  eV). Elektronowolt jest 'wygodną' jednostką, ponieważ w jednostkach powszechnie używanych, energie cząstek - z którymi mają do czynienia fizycy - są bardzo małe. Jeżeli weźmiemy jako przykład LHC, to całkowita energia zderzenia wynosi 14 TeV, co czyni to urządzenie najpotężniejszym w świecie. Jeżeli tę wartość energii zamienimy na dżule, to otrzymamy:

$$14 \times 10^{12} \times 1,602 \times 10^{-19} = 22,4 \times 10^{-7} \text{ dżuli.}$$

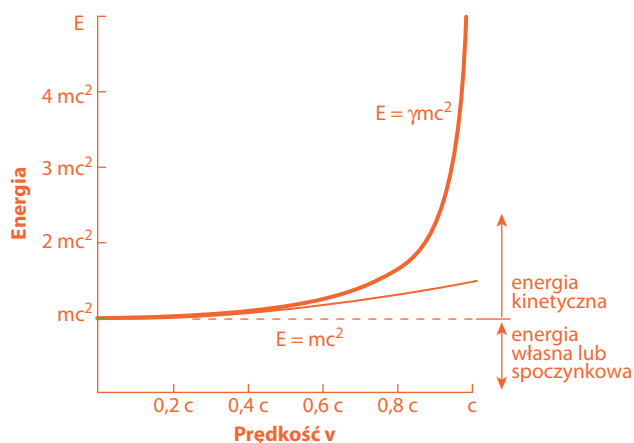
Jest to bardzo mała ilość energii w porównaniu na przykład do energii obiektu ważącego 1 kg i spadającego z wysokości 1 m, która wynosi: 9,8 dżuli =  $6,1 \times 10^{19}$  elektronowoltów.

*Definicja elektronowolta pochodzi z prostego stwierdzenia, że pojedynczy elektron przyspieszony przez różnicę potencjałów 1 wolta ma dyskretną wartość energii  $E=qV$  dżuli, gdzie  $q$  jest ładunkiem elektronu w kulombach, a  $V$  jest różnicą potencjałów w woltach. Stąd:  $1 \text{ eV} = (1,602 \times 10^{-19} \text{ C}) \times (1 \text{ V}) = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$ .*

## Energia i prędkość cząstki

Żadna cząstka nie może poruszać się z prędkością większą od prędkości światła w próżni; jednak nie istnieje żadna granica energii, jaką może osiągnąć cząstka. W akceleratorach wysokiej energii cząstki poruszają się zwykle z prędkością bardzo bliską prędkości światła. W tych warunkach, gdy energia wzrasta, wzrost prędkości jest minimalny. Na przykład, jeżeli w LHC cząstki w momencie wstrzyknięcia poruszają się z prędkością równą 0,999997828 prędkości światła (energia = 450 GeV), to po osiągnięciu najwyższej wartości energii (energia = 7000 GeV) prędkość będzie równa 0,999999991 prędkości światła. Dlatego fizycy zajmujący się cząstkami na ogół nie myślą o prędkości cząstek, tylko o ich energii.

Klasyczna newtonowska zależność pomiędzy prędkością i energią kinetyczną ( $K = (1/2)mv^2$ ) obowiązuje tylko dla prędkości dużo mniejszych od prędkości światła. Dla cząstek poruszających się z prędkością bliską prędkości światła musimy zastosować równanie szczególnej teorii względności  $E = (\gamma - 1)mc^2$  gdzie  $c$  jest prędkością światła (299792458 m/s),  $\gamma$  związane jest z prędkością wzorem  $\gamma = 1/\sqrt{1 - \beta^2}$ ;  $\beta = v/c$ , a  $m$  równe jest masie cząstki w spoczynku.



Réf: [http://www.phys.unsw.edu.au/einsteinlight/jw/module5\\_equations.htm](http://www.phys.unsw.edu.au/einsteinlight/jw/module5_equations.htm)

Energia kinetyczna protonu (K)	Prędkość (% c)	Akcelerator
50 MeV	31,4	Linac 2
1,4 GeV	91,6	PS Booster
25 GeV	99,93	PS
450 GeV	99,9998	SPS
7 TeV	99,9999991	LHC

Zależność między energią kinetyczną a prędkością protonu w akceleratorach CERN-u.  
Masa spoczynkowa protonu wynosi  $0,938 \text{ GeV}/c^2$

## Energia i masa

Energia i masa są dwiema stronami tej samej monety. Masę można przekształcić w energię i *vice versa* zgodnie ze słynnym równaniem Einsteina ( $E = mc^2$ ). W LHC zamiana taka zachodzi podczas każdego zderzenia. Również dzięki temu równaniu masę i energię można mierzyć w tych samych jednostkach. W skali fizyki cząstek są to elektronowolty i ich wielokrotności (patrz: Jednostki energii w fizyce).







## Model Standardowy

Model Standardowy jest zbiorem teorii, które obejmują całą naszą współczesną wiedzę o cząstkach elementarnych i siłach działających między nimi. Zgodnie z teorią, która jest poparta wieloma danymi eksperymentalnymi, kwarki są najmniejszymi cegiełkami materii, a siły działają poprzez cząstki-nośniki, które są wymieniane między cząstkami materii. Siły różnią się między sobą mocą. Przedstawione rysunki stanowią podsumowanie podstawowych zasad Modelu Standardowego.






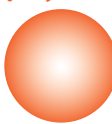
*Chociaż Model Standardowy jest bardzo mocną teorią, to niektóre zaobserwowane ostatnio zjawiska – takie jak ciemna materia i nieobecność antymaterii we Wszechświecie – pozostają niewyjaśnione i nie mogą być opisane przez model. Przeczytaj więcej na ten temat na stronie 22.*



## LEPTONY

Składnik materii	<b>Elektron</b> Razem z jądrem tworzy atom. 	<b>Neutrino elektronowe</b> Cząstka obojętna o bardzo małej masie; w ciągu sekundy miliardy tych cząstek przenikają przez nasze ciało. 
	<b>Mion</b> Cięższy, pokrewny elektronowi; jego czas życia wynosi dwie milionowe części sekundy. 	<b>Neutrino mionowe</b> Powstaje jednocześnie z mionami podczas rozpadu niektórych cząstek. 
	<b>Tau</b> Cząstka jeszcze cięższa, niezwykle nietrwała. Została odkryta w 1975 roku. 	<b>Neutrino tauonowe</b> Odkryte w 2000 roku. 

## KWARKI

Składnik materii	<b>Up (górnny)</b> Ma ładunek elektryczny plus dwie trzecie; proton zawiera dwa takie kwarki, neutron jeden. 	<b>Down (dolny)</b> Ma ładunek elektryczny minus jedna trzecia; proton zawiera jeden taki kwark, neutron dwa. 
	<b>Charm (powabny)</b> Cięższy od kwarka Up; odkryty w 1974 roku. 	<b>Strange (dziwny)</b> Cięższy odpowiednik down. 
	<b>Top (prawdziwy lub szczytowy)</b> Jeszcze cięższy; odkryty w 1995 roku. 	<b>Bottom (denny lub piękny)</b> Jeszcze cięższy; pomiar kwarków bottom jest ważnym testem teorii elektrosłabej. 

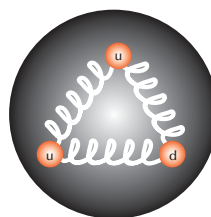
## ODDZIAŁYWANIA SILNE



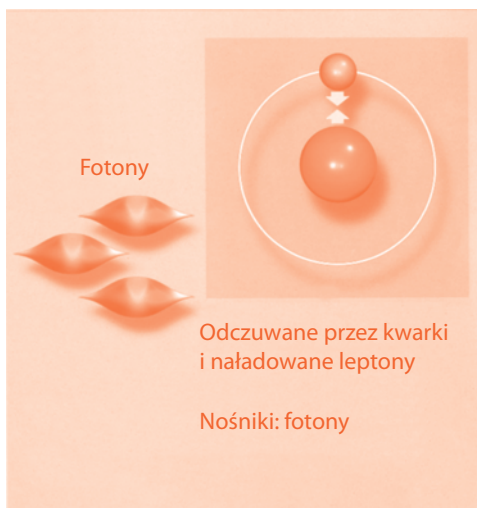
### Związane z nimi zjawiska

Silne oddziaływania wiążą ze sobą kwarki aby utworzyć protony, neutrony (i inne cząstki). Wiążą

one również protony i neutrony w jądra, gdzie pokonują ogromne odpychanie elektryczne pomiędzy protonami.



## ODDZIAŁYWANIA ELEKTROMAGNETYCZNE



### Związane z nimi zjawiska

Wiążą one elektrony z jądrami w atomach i wiążą atomy w cząsteczki; są również odpowiedzialne za właściwości ciał stałych, cieczy i gazów.

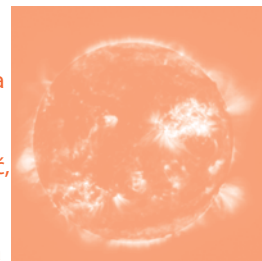


## ODDZIAŁYWANIA SŁABE



### Związane z nimi zjawiska

Słabe oddziaływania są odpowiedzialne za naturalną promieniotwórczość, np. ziemi, która jest pod naszymi stopami. Odgrywają również zasadniczą rolę w oddziaływaniach jądrowych wewnątrz takich gwiazd, jak Słońce, gdzie wodór jest zamieniany w hel.



## GRAWITACJA



### Związane z nią zjawiska

Grawitacja powoduje, że jabłko spada na ziemię. Jest to siła przyciągająca. W skali astronomicznej wiąże ona materię w planetach i gwiazdach, a także łączy gwiazdy w galaktyki



# Powrót do Wielkiego Wybuchu

## Ewolucja Wszechświata

po 13,7 miliardach lat	po 10 miliardach lat	9,2 miliardów lat temu	200 milionów lat temu	po 380000 latach	po
<p><b>Dzisiaj</b></p>  <p>Dzisiaj w CERN-ie cofamy się w czasie i badamy jak powstawała materia</p> <p><b>-270°C</b></p>	<p><b>Życie na Ziemi</b></p>  <p>'Zupa' z organicznych cząsteczek pojawia się na Ziemi, małej niebieskiej planecie zagubionej w ogromnym Wszechświecie</p>	<p><b>Układ Słoneczny</b></p>  <p>Grawitacja zbiera szczątki gwiazd i powstają planety</p>	<p><b>Gwiazdy i galaktyki</b></p>  <p>Grawitacja zbiera chmury atomów w gwiazdy</p> <p>W sercu gwiazd zachodzi synteza ciężkich atomów – cegiełek życia</p> <p><b>4000°C</b></p>	<p><b>Lekkie atomy</b></p>  <p>Wiążą się z jądrami atomowymi tworząc atomy wodoru i helu</p> <p>Fotony nie oddziałują dłużej z elektronami: Wszechświat staje się przezroczysty i świeci</p>	<p>po</p>  <p>Fot...</p>

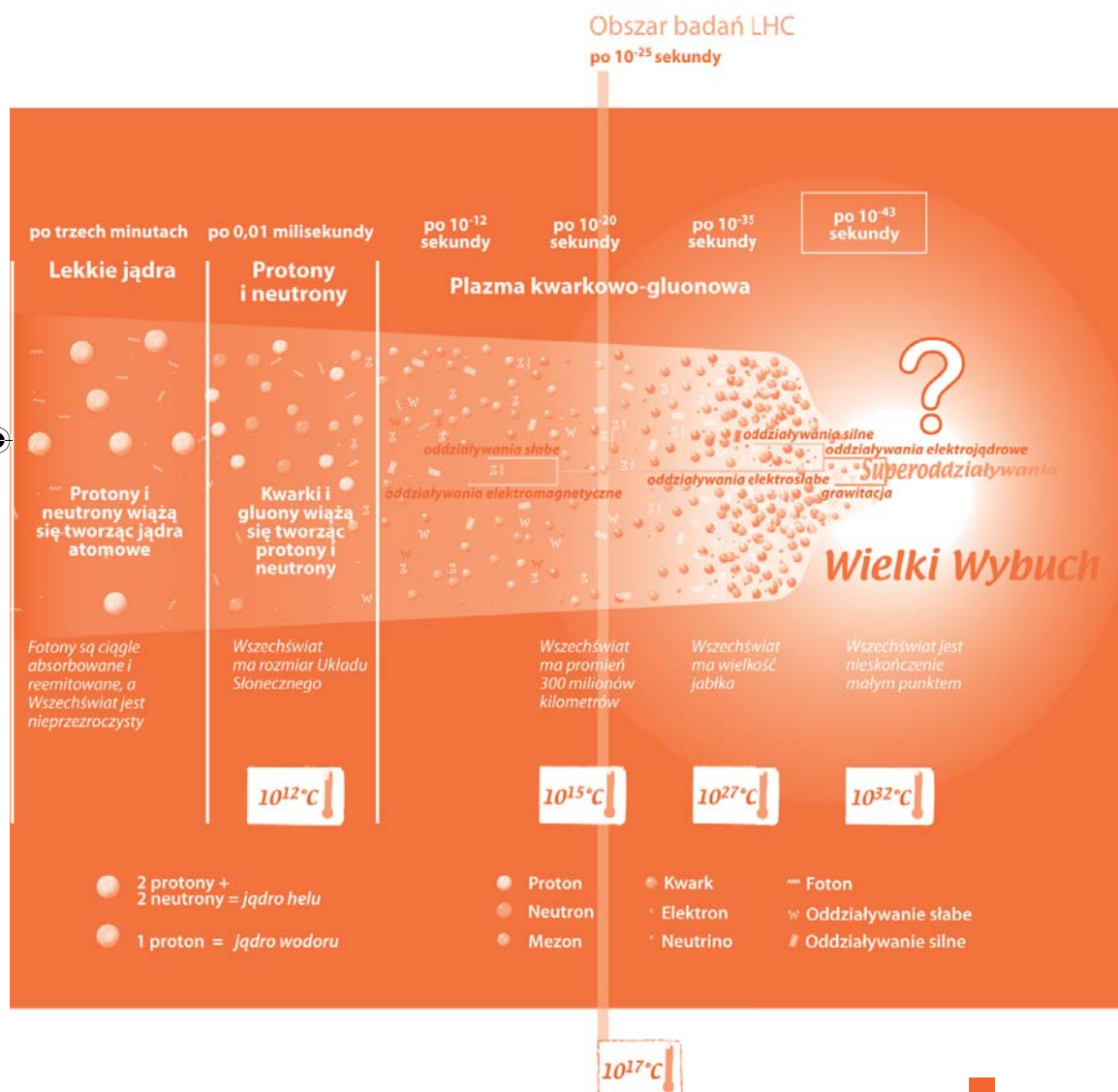
Tylko 4% materii Wszechświata można bezpośrednio obserwować

- 4% zwykła materia; atomy
- 66% ciemna materia
- 29% ciemna energia

Atom helu

Atom wodoru

Gęstość energii i temperatura, które zostaną osiągnięte podczas zderzeń w LHC są podobne do tych, jakie miały miejsce w kilka chwil po Wielkim Wybuchu. Fizycy mają nadzieję, że w ten sposób będą mogli odkryć jak rozwijał się Wszechświat.



## Kompleks akceleratorów w CERN-ie

Kompleks akceleratorów w CERN-ie przyspiesza cząstki do coraz wyższych energii. Każdy z nich wstrzykuje cząstki do następnego, który je przyspiesza do jeszcze wyższych energii itd. W LHC – ostatnim elemencie tego łańcucha – cząstki przyspieszane są do rekordowej energii 7 TeV. W dodatku każdy z tych akceleratorów ma swoje własne hale eksperymentalne, w których wiązki są wykorzystywane do eksperymentów z mniejszymi energiami.

*Krótką historią protonu przyspieszanego przez kompleks akceleratorów jest następująca:*

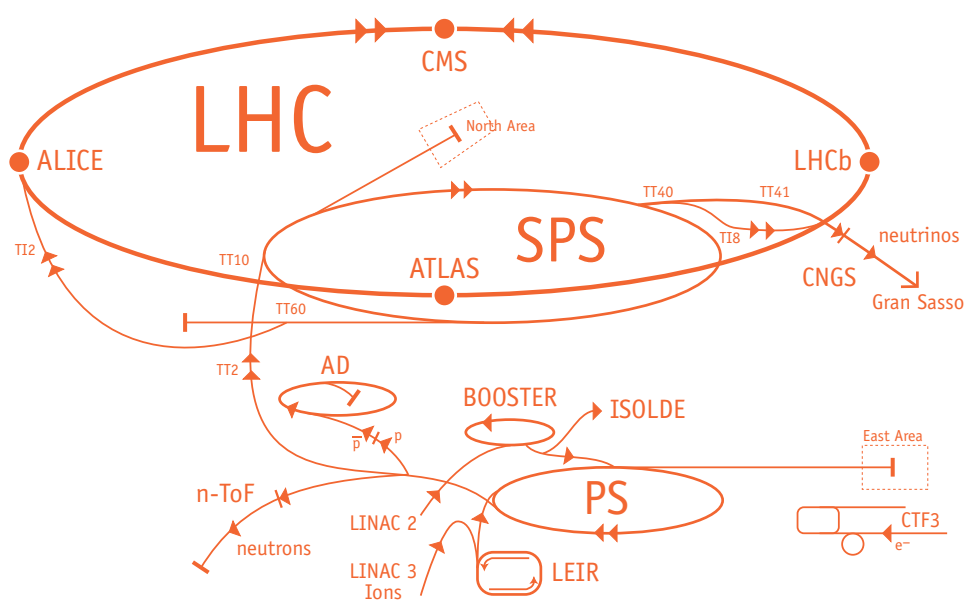
- ▶ *Atomy wodoru pobierane są z butli zawierającej wodór. Protony otrzymujemy, odzierając atomy wodoru z elektronów znajdujących się na orbitach.*
- ▶ *Protony wstrzykiwane są do wstępnego akceleratora o nazwie PS Booster (PSB – Synchrotron Protonowy przyspieszenia wstępnego) z energią 50 MeV z akceleratora Linac 2.*

*Booster – akcelerator wstępny przyspiesza protony do energii 1,4 GeV. Wiązka wprowadzana jest następnie do Synchrotronu Protonowego (PS), gdzie osiąga energię 25 GeV. Potem protony wysyłane są do Supersynchrotronu Protonowego (SPS), w którym przyspieszane są do 450 GeV. Na końcu przesyłane są do LHC (zarówno w kierunku zgodnym, jak i przeciwnym do ruchu wskazówek zegara, co zajmuje czas 4'20" na pierścień), gdzie w ciągu 20 minut osiągają nominalną energię 7 TeV. W normalnych warunkach pracy, wiązki będą krążyć przez wiele godzin w rurach LHC.*

*Protony dostarczane są do LHC w pęczkach, przygotowywanych w mniejszych akceleratorach. Aby poznać pełny schemat napełniania, pól magnetycznych i strumienia cząstek w kolejnych akceleratorach zajrzyj do Dodatków 1 i 2.*

Oprócz przyspieszania protonów, kompleks akceleratorów przyspiesza jony ołowiu.

Jony ołowiu otrzymywane są z bardzo dobrze oczyszczonej próbki ołowiu podgrzanej do temperatury około 550°C. Para ołowiu jonizowana jest przez strumień elektronów. Produkowane są jony o bardzo różnym stanie ładunkowym, przy czym najwięcej jest jonów Pb29+. Jony te są wybierane i przyspieszane do 4,2 MeV/u (energia na nukleon) przed przejściem przez folię węglową, która je odziera z elektronów i powstają głównie jony Pb54+. Wiązka Pb54+ jest akumulowana, a następnie przyspieszana do 72 MeV/u w Niskoenergetycznym Pierścieniu Jonów (LEIR – Low Energy Ion Ring), który przesyła ją do Synchrotronu Protonowego. PS przyspiesza wiązkę do energii 5,9 GeV/u i przesyła ją do SPS po przepuszczeniu przez drugą folię, gdzie jest całkowicie odziera z elektronów, aż do powstania Pb82+. SPS przyspiesza wiązkę do 177 GeV/u, a następnie przesyła do LHC, który przyspiesza ją do 2,76 TeV/u.







## Podstawowe informacje o LHC

# faq

### Co znaczy skrót LHC?

LHC to Large Hadron Collider (Wielki Zderzacz Hadronów). Large – wielki, z powodu swoich rozmiarów (w przybliżeniu ma 27 kilometrów obwodu), Hadron – hadronów, ponieważ przyspiesza protony i jony, które są hadronami i Collider – to Zderzacz, ponieważ hadrony tworzą dwie przeciwbieżne wiązki, zderzające się ze sobą w czterech punktach, w których przecinają się dwa pierścienie akceleratora.

*Hadrony (z greckiego 'adros' znaczy opasły) są cząstkami złożonymi z kwarków. Protony i neutrony, z których zbudowane jest jądro atomowe należą do tej rodziny. Natomiast leptony są cząstkami, które nie są zbudowane z kwarków. Elektrony i miony są przykładami leptonów (od greckiego słowa 'leptos' co znaczy cienki).*

## Kiedy został zaprojektowany ?

We wczesnych latach osiemdziesiątych, gdy został zaprojektowany i zbudowany Wielki Zderzacz Elektronowo–Pozytonowy (Large Elektron–Positron Collider - LEP), naukowcy z CERN-u zaczęli tworzyć perspektywy dalszego rozwoju badań. Po wielu latach pracy nad warunkami technologicznymi nowego akceleratora ich marzenia spełniły się w grudniu 1994 roku, kiedy to Zarząd i Rada CERN-u zatwierdziły projekt budowy LHC. Projekt otrzymał zielone światło pod warunkiem, że nowy akcelerator zostanie zbudowany w ramach stałego budżetu i przy założeniu, że jakkolwiek wkład ze strony państwa, które nie jest członkiem CERN-u zostanie wykorzystany do przyspieszenia realizacji i ulepszenia projektu. Początkowo ograniczenia budżetowe wskazywały na to, że budowa LHC będzie realizowana w dwóch etapach. Jednakże włączenie się do tego przedsięwzięcia kilku państw nie będących członkami CERN-u (między innymi Japonii, USA i Indii) spowodowało, że w 1995 roku Rada CERN-u zdecydowała się na zrealizowanie projektu w jednym etapie. W latach 1996-98 cztery projekty – ALICE, ATLAS, CMS i LHCb – otrzymały oficjalną zgodę na rozpoczęcie prac konstrukcyjnych w czterech miejscach. Od tego czasu włączono do badań również dwa mniejsze projekty: TOTEM zainstalowany w pobliżu CMS i LHCf zainstalowany w pobliżu ATLAS-a (patrz: strony 41 i 42).

Więcej informacji na temat LHC można znaleźć na stronie <http://www.cern.ch/LHC-Milestones/>

## Ile to kosztuje ?

Koszt budowy całego akceleratora wynosi około 5 miliardów CHF (około 3 miliardy Euro). Koszty całego projektu rozkładają się z grubsza w następujący sposób:

Koszty konstrukcji (MCHF)	Personel	Materiały	Razem
Akcelerator LHC i infrastruktura <sup>*)</sup>	1224	3756	<b>4980</b>
Wkład CERN-u do detektorów	869	493	<b>1362</b>
Obliczenia dla LHC (udział CERN-u)	85	83	<b>168</b>
<b>Razem</b>	<b>2178</b>	<b>4332</b>	<b>6510</b>

<sup>\*)</sup> Wliczając B i Akceleratora i injektorów, testy i wstępny rozruch.

Międzynarodowe zespoły związane z eksperymentami są samodzielnymi jednostkami finansowanymi niezależnie od CERN-u. Natomiast CERN jest uczestnikiem każdego eksperymentu i ma swój wkład materialny: w eksperymentach CMS i LHCb na poziomie około 20%, w ALICE - 16% i 14% - w ATLAS-ie. TOTEM jest znacznie mniejszym projektem i jego całkowity koszt materialny wynosi około 6 miliona CHF, w tym wkład CERN-u to 30% budżetu.

NB: 1 miliard = 1 tysiąc milionów.

## Dlaczego duży ?

Wielkość akceleratora związana jest z maksymalną energią jaką chcemy otrzymać. W przypadku zderzacza lub pierścienia akumulującego energia ta jest funkcją promienia akceleratora i natężenia pola magnetycznego w dipolach, które utrzymuje cząstki na ich orbitach. LHC został zainstalowany w tunelu o obwodzie 27 km, zbudowanym dla poprzedniego dużego akceleratora - LEP-u. W LHC zastosowano również jedne z najsilniejszych dipoli i wnęk RF jakie istnieją. Wielkość tunelu, magnesów, wnęk i innych zasadniczych elementów akceleratora stanowią główne ograniczenia, które wyznaczają planowaną energię wiązki protonów wynoszącą 7 TeV.

## Dlaczego zderzac ?

Zderzac (tzn. akcelerator, w którym zderzają się przeciwbieżne wiązki cząstek) ma przewagę nad innego rodzaju akceleratorami, w których cząstki zderzają się z nieruchomą tarczą. Gdy zderzają się dwie cząstki, energia zderzenia jest sumą ich energii. Wiązka o tej samej energii, która zderza się z nieruchomą tarczą będzie produkować zderzenia o dużo niższej energii.

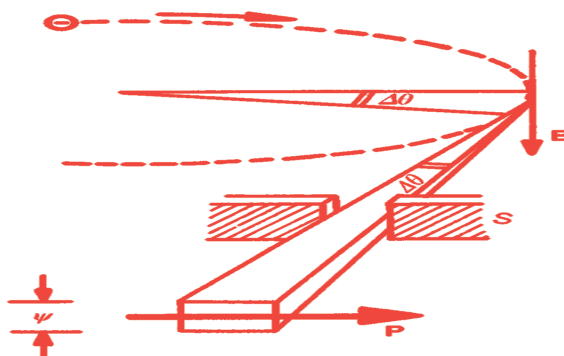
*Energia dostępna (np. do wyprodukowania nowych cząstek) jest w obydwu przypadkach energią w środku masy. W pierwszym przypadku jest ona sumą energii dwóch zderzających się cząstek ( $E = E_{beam1} + E_{beam2}$ ), natomiast w drugim przypadku - jest ona proporcjonalna do pierwiastka kwadratowego z energii cząstki uderzającej w tarczę ( $E \propto \sqrt{E_{beam}}$ ).*

## Dlaczego hadrony ?

LHC będzie przyspieszał dwie wiązki cząstek tego samego rodzaju albo protonów, albo jonów ołowiu, które są hadronami. Akcelerator może przyspieszać tylko określone rodzaje cząstek: po pierwsze muszą to być cząstki naładowane (ponieważ cząstka jest sterowana urządzeniami elektromagnetycznymi, które oddziałują tylko na cząstki naładowane) i po wtóre, z wyjątkiem szczególnych przypadków, cząstki te nie mogą się rozpadać. Ogranicza to w praktyce liczbę cząstek, które można przyspieszać do elektronów, protonów i jonów oraz ich antycząstek.

W akceleratorze kołowym, takim jak LHC, ciężkie cząstki (protony są około 2000 razy cięższe niż elektrony) mają w czasie jednego cyklu dużo mniejsze straty energii spowodowane promieniowaniem synchrotronowym aniżeli cząstki lekkie, takie jak elektrony. Dlatego w akceleratorach kołowych, w celu otrzymania największych energii, efektywniejsze jest przyspieszanie cząstek ciężkich.

*Promieniowanie synchrotronowe to nazwa promieniowania, które jest emitowane podczas przyspieszania cząstek po zakrzywionym torze lub orbicie. Ten rodzaj promieniowania odpowiedzialny jest za straty energii cząstki, co z kolei oznacza, że akcelerator musi dostarczać więcej energii, aby utrzymać stałą energię wiązki.*



## Dlaczego LHC zbudowany jest pod ziemią ?

Instalując LHC, powtórnie wykorzystano tunel zbudowany dla poprzedniego akceleratora cernowskiego – LEP-u, który został zdemontowany w 2000 roku. Tunel podziemny był najlepszym rozwiązaniem jako pomieszczenie dla akceleratora o obwodzie 27 km, ponieważ tańsze jest wykopanie tunelu, niż kupno ziemi pod jego budowę i zminimalizowany jest wpływ takiego przedsięwzięcia na warunki krajobrazowe. Dodatkowo skorupa ziemska stanowi dobry ekran chroniący przed promieniowaniem.

Tunel został zbudowany na średniej głębokości 100 metrów, ze względu na warunki geologiczne (co się znów przekłada na koszty) i ze średnim niewielkim nachyleniem wynoszącym 1,4%. Jego głębokość waha się od 175 m (pod Jurą) do 50 m (w kierunku Jeziora Genewskiego).

*Tunel jest nachylony, co również zmniejszało koszty budowy. W czasie, gdy budowano go dla LEP-u, budowa pionowych szybów była bardzo kosztowna. Dlatego długość tunelu znajdującego się pod Jurą została zminimalizowana. Inne ograniczenia, które wpłynęły na lokalizację tunelu są następujące:*

- ▶ *Najistotniejsze było jego umiejscowienie na głębokości przynajmniej 5 m poniżej górnej warstwy 'molasse' (zielonego piaskowca).*
- ▶ *Musiał przechodzić w pobliżu tunelu pilotującego, zbudowanego w celu sprawdzenia techniki wykuwania.*
- ▶ *Musiał łączyć się z Supersynchrotronem Pozytonowym (SPS). Oznaczało to, że był tylko jeden stopień swobody (nachylenie). Kąt został tak obliczony, żeby zminimalizować głębokości szybów.*

## Jaka energia jest osiągnięta w LHC i co ją w specjalny sposób wyróżnia ?

Każda wiązka protonów biegnąca wokół LHC będzie miała energię 7 TeV, więc gdy zderzą się dwa protony, energia zderzenia będzie wynosiła 14 TeV. Jony ołowiu mają wiele protonów i wszystkie razem dają jeszcze większą energię: wiązki jonów ołowiu będą miały energię zderzenia 1150 TeV. Do tej pory żadna z tych energii nie została jeszcze osiągnięta w laboratorium.

Koncentracja energii jest tym, co czyni zderzenia cząstek szczególnymi. Gdy kłańiesz w ręce to prawdopodobnie będzie to 'zderzenie' o energii większej od energii protonu w LHC, lecz dużo mniej skoncentrowanej. Teraz pomyśl, jaki byłby skutek kłańięcia, gdybyś w ręce trzymał igłę.

*W jednostkach powszechnie używanych energie te - w porównaniu z energiami z jakimi mamy do czynienia na co dzień - nie są imponujące. W rzeczywistości 1 TeV jest energią ruchu fruującego komara. To, co czyni LHC urządzeniem tak nadzwyczajnym jest skupienie energii w przestrzeni milionów razy mniejszej niż wymiary komara.*

## Jakie są główne zadania LHC ?

Obecna wiedza o Wszechświecie nie jest kompletna. Model Standardowy cząstek i sił (patrz: strona 6) podsumowuje naszą obecną wiedzę w dziedzinie fizyki cząstek. Był on testowany w wielu eksperymentach i w szczególności sprawdzil się w przewidywaniu istnienia nieznanymi uprzednio cząstek. Jednakże pozostaje wiele nierozwiązanych problemów, na które LHC powinien pomóc odpowiedzieć.

- ▶ Model Standardowy nie wyjaśnia zagadnienia początku masy, ani nie daje odpowiedzi na pytanie - dlaczego niektóre cząstki są bardzo ciężkie, a inne nie mają masy w ogóle. Być może odpowiedź na nie da tzw. mechanizm Higgsa. Według teorii mechanizmu Higgsa cała przestrzeń wypełniona jest 'polem Higgsa', przez oddziaływanie z którym cząstki uzyskują masy. Cząstki, które oddziałują silnie z polem Higgsa są ciężkie, natomiast te, które oddziałują słabo są lekkie. Pole Higgsa ma przynajmniej jedną nową cząstkę z nim związaną – bozon Higgsa. Jeżeli taka cząstka istnieje, to eksperymenty w LHC będą mogły ją wykryć.
- ▶ Model Standardowy nie daje jednolitego opisu wszystkich sił fundamentalnych, ponieważ ciągle trudno jest stworzyć teorię grawitacji podobną do teorii pozostałych sił. Supersymetria – teoria, która zakłada hipotetyczne istnienie cięższych partnerów znanych nam cząstek – może ułatwić unifikację fundamentalnych oddziaływań. Jeżeli supersymetria jest poprawną teorią, wówczas najbliższe supersymetryczne cząstki powinny być znalezione w LHC.



- ▶ Obserwacje kosmologiczne i astrofizyczne pokazały, że cała widzialna materia stanowi jedynie 4% Wszechświata. Prowadzone są badania cząstek i zjawisk odpowiedzialnych za ciemną materię (23%) i ciemną energię (73%). Najpopularniejsze jest przypuszczenie, że ciemna materia zbudowana jest z nie odkrytych jeszcze neutralnych cząstek supersymetrycznych.

*Pierwsza sugestia o istnieniu **ciemnej materii** pochodzi z 1933 roku, kiedy to obserwacje astronomiczne i obliczenia efektu grawitacyjnego wykazały, że we Wszechświecie musi być więcej materii 'wypełniającej' niż możemy dostrzec. Badania pozwalają wierzyć, że efekt grawitacyjny ciemnej materii powoduje szybsze obracanie się galaktyk, niż można by oczekiwać, a ich pole grawitacyjne odchyła światło obiektów znajdujących się za nimi. Pomiary tych efektów wskazują na istnienie ciemnej materii i mogą być wykorzystane do wyznaczenia jej gęstości, chociaż nie możemy jej obserwować bezpośrednio.*

***Ciemna energia** jest formą energii, która jak się okazuje jest związana z próżnią w przestrzeni i stanowi w przybliżeniu 70% masy Wszechświata. Ciemna energia jest równomiernie rozłożona w całym Wszechświecie i w czasie. Innymi słowy, jej efekt nie osłabia się, gdy Wszechświat się rozszerza. Równomierne rozłożenie oznacza, że ciemna energia nie powoduje żadnego lokalnego efektu grawitacyjnego, ale raczej ma globalny wpływ na Wszechświat jako całość. Powoduje to powstanie siły odpychającej, która ma tendencję do przyspieszania rozszerzania się Wszechświata. Szybkość rozszerzania i jego przyspieszenie można zmierzyć eksperymentalnie stosując prawo Hubble'a. Pomiary te łącznie z innymi danymi naukowymi potwierdziły istnienie ciemnej energii i zostały wykorzystane do oceny jej wielkości.*

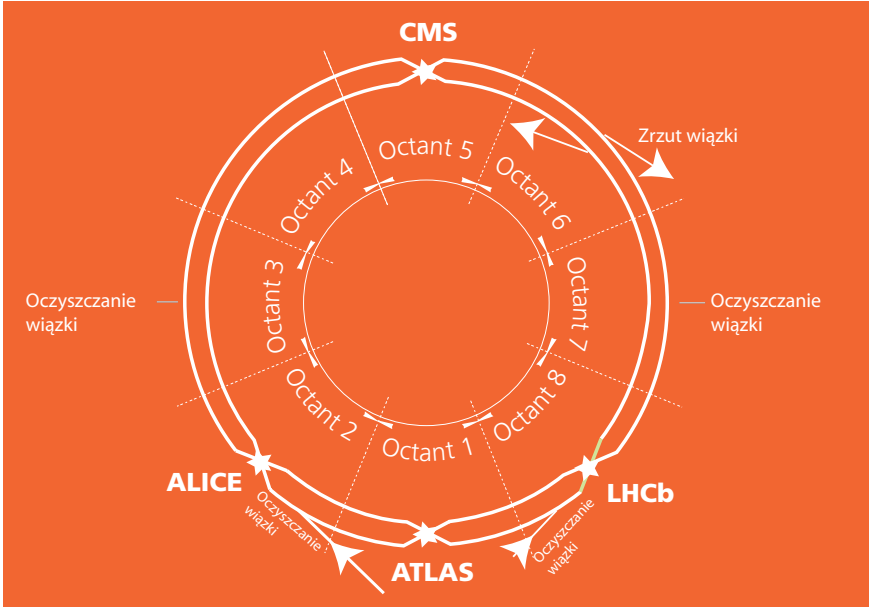
- ▶ LHC pomoże również w badaniu zagadki antymaterii. Materia i antymateria musiały zostać wyprodukowane w tych samych ilościach w czasie Wielkiego Wybuchu, lecz na podstawie dotychczasowych obserwacji wiemy, że nasz Wszechświat jest zbudowany tylko z materii. Dlaczego? LHC może nam pomóc w znalezieniu odpowiedzi.

*Dawniej myślano, że antymateria jest dokładnym 'odbiciem lustrzanym' materii – to znaczy, że jeżeli zamienimy materię na antymaterię i spojrzemy na wynik w takim lustrze, nie będziemy w stanie zobaczyć różnicy. Teraz wiemy, że odbicie nie jest dokładne, i że może to doprowadzić do zachwiania równowagi między materią, a antymaterią we Wszechświecie.*

*Najsilniejsze ograniczenie ilości antymaterii we Wszechświecie wynika z analizy 'rozmytego kosmicznego promieniowania gamma' i niejednorodności kosmicznego tła mikrofalowego (CMB). Przyjmując, że po Wielkim Wybuchu Wszechświat podzielił się w jakiś sposób na różne domeny, w których dominowała albo materia, albo antymateria, jest jasne, że na granicy tych domen powinna występować anihilacja, w wyniku której produkowane jest promieniowanie kosmiczne (gamma). Biorąc pod uwagę przekroje czynne na anihilację, odległość i kosmiczne przesunięcia ku czerwieni ('redshifts'), można przewidzieć ilość rozmytego promieniowania gamma docierającego do Ziemi. Wolnym parametrem w modelu jest wielkość domeny. Porównanie modelu z obserwowanym strumieniem promieniowania gamma wyklucza istnienie jakiegokolwiek domeny o wielkości mniejszej od 3,7 giga lat świetlnych, co nie odbiega znacząco od rozmiaru całego Wszechświata. Inne ograniczenie wynika z analizy niejednorodności kosmicznego tła mikrofalowego (CMB); domeny antymaterii (dowolnej wielkości) spowodują ogrzanie jej granic, które przejawia się w CMB jako fluktuacja gęstości. Zaobserwowana wartość  $\sim 10^{-5}$  nakłada silne ograniczenie na ilość antymaterii we wczesnym Wszechświecie.*

- ▶ Dodatkowo, badanie zderzeń proton-proton i ciężkich jonów w LHC pozwoli na nowe spojrzenie na stan materii zwanej 'plazmą kwarkowo-gluonową', która mogła istnieć we wczesnym Wszechświecie. Gdy ciężkie jony zderzają się przy bardzo dużych energiach, tworzą się na chwilę gorące skupiska gęstej materii ('fireballs' - kule ogniste), które mogą być badane eksperymentalnie.

*Zgodnie ze współczesnymi teoriami Wszechświat, który powstał w wyniku Wielkiego Wybuchu, przeszedł przez etap, w którym materia istniała jako rodzaj niezwykle gorącej, gęstej 'zupy' – zwanej plazmą kwarkowo-gluonową (QGP) – złożonej z elementarnych cegiełek materii. Gdy Wszechświat ostygł, kwarki zostały uwięzione w złożonych cząstkach, takich jak protony i neutrony. Zjawisko to zwane jest uwięzieniem kwarków. LHC jest w stanie reprodukcować plazmę kwarkowo-gluonową, przyspieszając i zderzając ze sobą dwie wiązki ciężkich jonów. W zderzeniach temperatura przewyższy 100 000 razy temperaturę w środku Słońca. W tych warunkach kwarki są znów uwalniane i detektory mogą obserwować i analizować pierwotną 'zupę', badając w ten sposób podstawowe własności cząstek i ich łączenie się, prowadzące do powstania zwykłej materii.*



## Co to są sektory i oktanty akceleratora ?

LHC nie jest idealnym okręgiem. Składa się on z ośmiu łuków i ośmiu prostych sekcji tzw. 'insertions' – 'wprowadzeń'. Łuki zawierają dipolowe magnesy 'zakrzywiające' – 154 w każdym łuku. 'Wprowadzenie' – 'insertion', to długi prosty odcinek i dwa (po jednym na obydwu końcach) obszary przejściowe – tzw. 'tłumiki dyspersji'. Szczegółowa struktura każdego 'wprowadzenia' zależy od specyfiki jego zastosowania: czy w eksperymencie ze zderzającymi się wiązkami, czy do wstrzykiwania, czy do zrzutu wiązki lub jej oczyszczania.

Sektor jest zdefiniowany jako część akceleratora pomiędzy dwoma punktami 'wprowadzania' ('insertion points'). Osiem sektorów stanowi jednostki robocze LHC: aparatura jest uruchamiana i sprawdzana niezależnie w każdym sektorze, a wszystkie dipole z sektorów połączone są w szereg i umieszczone w jednym kriostacie. Zasadniczo każdy sektor zasilany jest indywidualnie.

Oktant zaczyna się w środku każdego łuku, a kończy w środku następnego, obejmując w ten sposób całe 'wprowadzenie'. Taki opis jest wygodny, gdy chcemy przyjrzeć się, w jaki sposób wykorzystywane są magnesy do sterowania wiązkami aż do zderzenia, a także podczas wstrzykiwania, zrzutu i czyszczenia.

## Które parametry są ważne dla akceleratora ?

Budujemy akceleratory po to, aby badać procesy, których prawdopodobieństwo wystąpienia zmienia się wraz ze zmianą energii i które są często bardzo rzadkie. Oznacza to, że dla fizyków najważniejszymi parametrami są – energia wiązki i liczba interesujących zderzeń. Dokładniej mówiąc, w zderzaczach takim jak LHC prawdopodobieństwo zajścia poszczególnych procesów zmienia się wraz z wielkością zwaną 'luminosity' – świetlnością. Wielkość ta zależy od liczby cząstek w każdym pęczku, częstotliwości obiegu wokół całego pierścienia, od liczby pęczków i przekroju poprzecznego wiązki. Mówiąc krótko, należy upakować maksymalną ilość cząstek w jak najmniejszej przestrzeni wokół obszaru oddziaływania.

## Jakie są główne części składowe akceleratora ?

Cząstki krążą w akceleratorze wewnątrz rury próżniowej i są sterowane za pomocą urządzeń elektromagnetycznych: magnesy dipolowe utrzymują cząstki na ich - w przybliżeniu kołowych - orbitach, magnesy kwadrupolowe ogniskują wiązkę, a przyspieszające wnęki są rezonatorami elektromagnetycznymi, które przyspieszają cząstki i utrzymują stałą wartość ich energii, kompensując jej straty.

**Próżnia w LHC:** LHC wyróżnia się tym, że ma nie jeden, a trzy systemy próżniowe:

- osobny system próżni dla kriomagnesów,
- osobny system próżni dla linii rozprowadzania helu,
- próżnia wiązki.

Ciśnienie w układzie próżniowym wiązki będzie wynosiło  $10^{-13}$  atmosfery (ultrawysoka próżnia), ponieważ chcemy uniknąć zderzeń z cząsteczkami gazu. Największa objętość, z której musimy wypompować powietrze w LHC to osobny układ próżniowy dla kriomagnesów ( $\sim 9000\text{m}^3$  – zupełnie jakbyśmy chcieli wypompować powietrze z głównej nawy katedry!).

**Magnesy:** W LHC jest wielka różnorodność magnesów – dipole, kwadrupole, sekstupole, oktopole, dekapole itd., co daje ogólną liczbę około 9600 magnesów. Każdy z magnesów ma swój wkład w optymalizację trajektorii cząstek. Większość magnesów korekcyjnych jest osadzona w chłodzonej części głównych dipoli i kwadrupoli. Magnesy LHC mają albo podwójną szczelinę (na przykład główne dipole), albo pojedynczą szczelinę (na przykład niektóre z kwadrupoli wejściowych). Kwadrupole wejściowe są to specjalne magnesy stosowane do ogniskowania wiązki tak, żeby miała możliwie najmniejsze rozmiary w punktach zderzenia, maksymalizując w ten sposób szansę czołowego zderzenia dwóch biegnących naprzeciw siebie protonów. Największe magnesy to dipole, których jest 1232.

**Wnęki:** Głównym zadaniem wnęk rezonansowych w LHC jest zapewnienie utrzymania ścisłego upakowania 2808 pęczków protonowych, aby zapewnić wysoką świetlną w punktach zderzeń i w ten sposób zmaksymalizować liczbę oddziaływań. Stanowią one również źródło zasilania wiązki promieniowaniem o częstotliwościach radiowych (RF), w czasie przyspieszania jej do maksymalnej energii. Najlepszym rozwiązaniem do tych celów są nadprzewodzące wętki o małych stratach energii i możliwości zmagazynowania dużej ilości energii. W LHC zostanie zastosowanych 8 wnęk na wiązkę, z których każda dostarcza 2 MV (pole przyspieszające wynosi 5 MV/m) przy częstotliwości 400 MHz. Wnęki będą pracować w temperaturze 4,5 K ( $-268,7^{\circ}\text{C}$ ) (do magnesów LHC stosowany jest nadciekły hel o temperaturze 1,9 K czyli  $-271,3^{\circ}\text{C}$ ). Będą one umieszczone po cztery w 'kriomodule' – dwa kriomoduly na wiązkę. Zainstalowane zostaną w długich prostych sekcjach akceleratora, w których normalna poprzeczna odległość między wiązkami, wynosząca 195 mm, zostanie zwiększona do 420 mm.

W poniższej tabelicy przedstawione są najważniejsze parametry LHC.

Parametr	Wielkość
Obwód	26659 m
Temperatura pracy dipoli	1,9 K (-271,3°C)
Liczba magnesów	9593
Liczba głównych dipoli	1232
Liczba głównych kwadrupoli	392
Liczba wnęk RF	8 na wiązkę
Nominalna energia protonów	7 TeV
Nominalna energia jonów	2,76 TeV/u <sup>*)</sup>
Maksymalne pole magnetyczne dipola	8,33 T
Minimalna odległość między pęczkami	~7 m
Zaprojektowana świetlność	$10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
Liczba pęczków w wiązce protonowej	2808
Liczba protonów w pęczku (po napełnieniu)	$1,1 \times 10^{11}$
Liczba okrążeń na sekundę	11245
Liczba zderzeń na sekundę	600 milionów

<sup>\*)</sup> Energia na nukleon

## Czy Księżyc będzie miał wpływ na energię wiązki LHC, jak to miało miejsce w przypadku akceleratora LEP ?

Księżyc będzie miał taki sam wpływ na energię wiązki w LHC, jak w przypadku akceleratora LEP. Absolutna wartość energii zderzenia nie ma tak zasadniczego znaczenia dla eksperymentów w LHC, jak to było w przypadku LEP-u, lecz zmiany pływowe muszą być brane pod uwagę w momencie wstrzykiwania wiązki do zderzacza.



Zjawisko pływów oceanów spowodowane wpływem Księżyca (i w mniejszym stopniu Słońca) jest dobrze znane. Powodują one, że poziom wody przy brzegu morza podnosi się i opada w cyklu w przybliżeniu 12-godzinnym. Ziemia również podlega wpływowi przyciągania Księżyca, ponieważ skały, z których jest zbudowana są elastyczne. W czasie nowiu i pełni Księżyca skorupa ziemska podnosi się w okolicy Genewy o około 25 cm, co jest wynikiem 'pływów Ziemi'. Ruch ten powoduje zmianę obwodu LHC o 1 mm (cały obwód ma 26,6 km), a to powoduje zmianę energii wiązki. Fizycy muszą więc brać pod uwagę wpływ Księżyca w swoich eksperymentach.

## Co szczególnego możemy powiedzieć o dipolach w LHC ?

Dipole stanowiły najważniejsze wyzwanie technologiczne przy projektowaniu LHC. W akceleratorze protonów, takim jak LHC, maksymalna energia jaką można osiągnąć jest wprost proporcjonalna do natężenia pola magnetycznego dipola przy danym obwodzie akceleratora. W LHC magnesy dipolowe są elektromagnesami nadprzewodzącymi i mogą wytworzyć silne pole magnetyczne o natężeniu 8,3 T na całej swojej długości. Podczas projektowania nie znaleziono żadnego praktycznego rozwiązania z zastosowaniem 'ciepłych' magnesów zamiast nadprzewodzących.

W dipolach LHC zastosowano kable niobowo-tytanowe (NbTi), które w temperaturach poniżej 10 K (-263,2°C) stają się nadprzewodnikami, tzn. przewodzą elektryczność bez oporu. W rzeczywistości LHC będzie pracować w temperaturze 1,9 K (-271,3°C), która jest nawet niższa od temperatury panującej w przestrzeni kosmicznej (2,7 K czyli (-270,5°C)). W dipolach płynie prąd o natężeniu 11700 A, który wytwarza silne pole magnetyczne o natężeniu 8,3 T, konieczne do zakrzywiania wiązki o energii 7 TeV wokół 27-kilometrowego pierścienia LHC. Gdyby magnesy pracowały w temperaturze 4,5 K (-268,7°C), wytwarzałyby

pole magnetyczne o natężeniu tylko 6,8 T. Dla porównania maksymalne natężenie prądu w przeciętnym domu mieszkalnym wynosi około 100 A.

Temperaturę 1,9 K (-271,3°C) osiąga się pompując nadciekły hel do systemu magnesów. Każdy dipol ma 15 m długości i waży około 35 ton.

*Cewki magnetyczne dla LHC nawinięte są z kabla zawierającego do 36 skręconych 15 milimetrowych żył, z których każda zrobiona jest z 6000-9000 pojedynczych włókien o średnicy 7 mikrometrów (dla porównania ludzki włos ma około 50 mikrometrów grubości). 27- kilometrowy obwód LHC potrzebuje około 7600 km kabla, co odpowiada około 270 000 km żyły, co wystarczyłoby do sześciokrotnego otoczenia nią kuli ziemskiej wokół równika. Gdyby wszystkie włókna zostały rozwinięte i wyprostowane, to ich długość byłaby równa pięciokrotnej odległości do Słońca tam i z powrotem i jeszcze starczyłoby na kilka wycieczek na Księżyc. (patrz Fakt 2, str. 55).*

## Co szczególnego możemy powiedzieć o systemie chłodzenia ?

LHC jest największym systemem chłodzenia w świecie i jednym z najzimniejszych miejsc na Ziemi. Tak niska temperatura potrzebna jest do pracy magnesów, które utrzymują protony na torze (patrz pytanie: 'Co szczególnego możemy powiedzieć o dipolach w LHC?'). Aby utrzymać 27-kilometrowy pierścień (4700 ton materiału w każdym sektorze) w temperaturze nadciekłego helu 1,9K (-271,3°C) układ chłodzący LHC musi dostarczyć bezprecedensowej całkowitej mocy chłodzenia – około 150 kW dla chłodziarek o temperaturze 4,5 K i 20 kW dla tych o temperaturze 1,9 K. Układ systemu chłodzącego oparty jest na pięciu 'wyspach kriogenicznych'. Każda 'wyspa' musi rozprowadzać chłodziwo i przenosić kilowaty mocy chłodzącej na dalekie odległości. Cały proces chłodzenia zajmie kilka tygodni.

Proces chłodzenia przebiega w trzech fazach:

- 1) ochłodzenie do temperatury 4,5 K (-268,7°C),
- 2) wypełnienie ciekłym heliem chłodzonej masy magnesów,
- 3) ostateczne ochłodzenie do temperatury 1,9 K (-271,3°C).

Pierwsza faza przebiega w dwóch etapach: najpierw hel ochładzany jest do temperatury 80 K w wymiennikach ciepła chłodziarki, korzystających z 10 000 ton ciekłego azotu. Następnie turbiny chłodzące obniżają temperaturę helu do 4,5 K (-268,7°C), przygotowując wprowadzenie go do chłodzonej masy magnesów. Gdy tylko magnesy są wypełnione, urządzenia chłodzące obniżają temperaturę do 1,9 K (-271,3°C). Całkowita ilość potrzebnego helu będzie wynosiła około 120 ton z czego 90 ton zostanie wykorzystane w magnesach, a reszta w rurach i jednostkach chłodzących.

Płynny azot nigdy nie jest bezpośrednio wprowadzany do LHC, żeby uniknąć jakiegokolwiek możliwej przyczyny 'uduszenia' w tunelu podziemnym.

## Dlaczego nadciekły hel ?

Wybór temperatury pracy LHC wynika z konieczności zastosowania helu o 'super' własnościach, jak i nadprzewodzącego stopu niobowo-tytanowego w cewkach magnesów. Przy ciśnieniu atmosferycznym hel w stanie gazowym skrapla się w temperaturze około 4,2 K (-269,0°C), lecz gdy jest chłodzony w dalszym ciągu, ulega drugiemu przejściu fazowemu w stan nadciekłości w temperaturze około 2,17 K (-271,0°C). Wśród wielu ważnych własności nadciekły hel ma bardzo wysokie przewodnictwo cieplne, dlatego został wybrany jako środek chłodzący i stabilizujący wielkie układy nadprzewodzące. (patrz także pytanie: 'Co szczególnego możemy powiedzieć o systemie chłodzenia?').

Aby utrzymać temperaturę pracy magnesów na poziomie 1,9 K, cały układ chłodzący będzie potrzebował około 40 000 szczelnych połączeń rur i 120 ton helu dla całego LHC. 60% helu będzie w chłodzonej masie magnesów, a 40% zostanie podzielone między dystrybutory układu i chłodziarki. W czasie normalnej pracy większość helu będzie krążyć w zamkniętych pętlach obiegu chłodziarek. Niemniej w każdym roku jakiś procent wkładu zostanie utracony na skutek wstrzymania pracy w czasie serwisowania, wycieku do atmosfery, sprawdzenia i z innych powodów związanych z działaniem urządzenia.

## Dlaczego mówimy o pęczkach ?

Protony krążą w LHC wokół pierścienia w ściśle określonych pęczkach. Struktura pęczków we współczesnym akceleratorze jest bezpośrednią konsekwencją częstotliwości radiowych (RF) w schemacie przyspieszania. Protony mogą być przyspieszane jedynie wówczas, gdy pole elektromagnetyczne (RF) ma odpowiednią orientację w czasie przechodzenia cząstek przez przyspieszającą wnękę, co zdarza się w ściśle określonych momentach cyklu RF.

W LHC w normalnych warunkach pracy każda wiązka protonowa ma 2808 pęczków, z których każdy zawiera  $10^{11}$  protonów.

Wymiary pęczka nie są stałe wokół całego pierścienia. Każdy pęczek w czasie krążenia jest ściskany i rozciągany – na przykład jest on maksymalnie ściskany w pobliżu punktu oddziaływania, aby zwiększyć prawdopodobieństwo zderzenia. Gdy pęczki są daleko od punktu zderzenia, mają kilka centymetrów długości i 1 mm szerokości. Gdy osiągają punkt oddziaływania zostają ściśnięte do 16  $\mu\text{m}$  (włos ludzki ma grubość 50  $\mu\text{m}$ ), co znacznie zwiększa szansę zderzeń proton-proton. Zwiększanie liczby pęczków stanowi jeden ze sposobów zwiększania światłości urządzenia. Odległość między pęczkami w LHC wynosi

25 ns (około 7 m) co jest wielkim wyzwaniem technologicznym (poprzednik LHC - LEP pracował tylko z czterema pęczkami).

Odległość między pęczkami równa 25 ns odpowiada częstotliwości 40 MHz, co oznacza, że pęczki mogą przechodzić przez każdy punkt zderzenia w LHC około 40 milionów razy na sekundę. Jednakże ze względów praktycznych istnieje kilka dużych 'dziur' w strukturze pęczków, zapewniających czas na zadziałanie 'kicker' (pobudzających) magnesów, które albo wstrzykują wiązkę, albo powodują jej zrzut. Przeciętna częstość przecinania się jest równa całkowitej liczbie pęczków pomnożonej przez całkowitą liczbę obiegów na sekundę:  $2808 \times 11\,245 = 31,6$  MHz.

## Ile zderzeń następuje w LHC w ciągu sekundy ?

Każda wiązka będzie składała się z blisko 3000 pęczków, a każdy pęczek będzie zawierał 100 miliardów cząstek. Cząstki są tak małe, że szansa zderzenia się dwóch cząstek jest bardzo mała. Gdy dwa pęczki przecinają się, to zajdzie tylko około 20 zderzeń pomiędzy 200 miliardami cząstek. Pęczki będą zderzać się około 30 milionów razy na sekundę (patrz poprzednie pytanie), tak że LHC będzie generować około 600 milionów zderzeń cząstek w ciągu sekundy.

## Jak długo cząstki pozostają w akceleratorze ?

Wiązka może krążyć w akceleratorze przez 10 godzin, przebywając w tym czasie więcej niż 10 miliardów kilometrów, tzn. drogę do Neptuna i z powrotem. Z prędkością bliską prędkości światła proton będzie wykonywał 11 245 obiegów na sekundę.

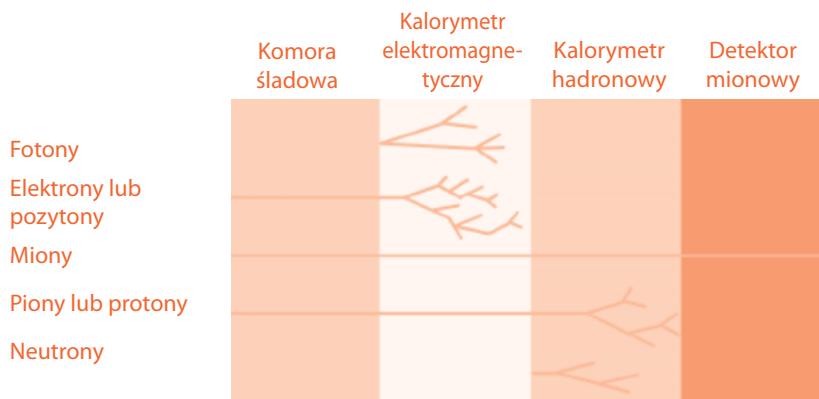


## Detektory

# faq

### Jak zobaczyć cząstki ?

Dla każdego zderzenia fizycy muszą policzyć, prześledzić i zidentyfikować wszystkie wyprodukowane cząstki, żeby móc w pełni zidentyfikować proces. Już prześledzenie toru cząstki daje dużo interesujących informacji, szczególnie, gdy detektor umieszczony jest wewnątrz pola magnetycznego: na przykład ładunek cząstki będzie oczywisty, ponieważ tory cząstek naładowanych dodatnio będą się zakrzywiać w przeciwnym kierunku niż tory cząstek naładowanych ujemnie. Wyznaczyć można również pęd cząstki ('ilość ruchu'), który jest równy iloczynowi masy cząstki przez jej prędkość: cząstki o bardzo wysokim pędzie będą biegły prawie po liniach prostych, cząstki o niskim pędzie po ścisłych spiralach.



37

## Jakie detektory są w LHC ?

W LHC zainstalowanych jest sześć detektorów: ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, LHCf i TOTEM.

ALICE, ATLAS, CMS i LHCb zainstalowane są w czterech wielkich podziemnych pomieszczeniach (grotach) zbudowanych wokół czterech punktów zderzenia wiązek w LHC.

TOTEM zainstalowany zostanie w pobliżu punktu zderzeń CMS, a LHCf w pobliżu detektora ATLAS.

## Co to jest ALICE ?

ALICE jest detektorem przeznaczonym do badania zderzeń jonów ołowiu. Będzie on badał własności plazmy kwarkowo-gluonowej, stanu materii, w którym kwarki i gluony w warunkach wysokiej temperatury i dużej gęstości nie są dłużej uwięzione w hadronach. Taki stan materii prawdopodobnie istniał zaraz po Wielkim Wybuchu, zanim zostały uformowane takie cząstki, jak protony i neutrony. Międzynarodowy zespół badawczy liczy ponad 1500 członków ze 104 instytucji i 31 krajów (stan z czerwca 2007).

Wymiary	26 m długości, 16 m wysokości i 16 m szerokości
Ciężar Projekt	10 000 ton Centralna beczka i pojedyncze ramię spektrometru mionowego 'ku przodowi'
Koszty materiałów Lokalizacja	115 MCHF ST. Genis-Pouilly, Francja

Więcej informacji pod adresem: <http://aliceinfo.cern.ch/Public/>



## Co to jest ATLAS ?

ATLAS jest detektorem przeznaczonym do ogólnych celów, zbudowanym w ten sposób, żeby pokryć najszerszy zakres zainteresowań fizyków związanych z LHC – począwszy od bozonów Higgsa po supersymetrię (SUSY) i dodatkowe wymiary. Główną cechą detektora ATLAS jest ogromny układ magnesów w kształcie obwarzanka. Zawiera on osiem nadprzewodzących cewek magnetycznych, każda o długości 25 m, ułożonych na kształt cylindra wokół rury wiązki znajdującej się w środku detektora. ATLAS jest największym detektorem rejestrującym zderzenia, jaki kiedykolwiek został zbudowany. Międzynarodowy zespół badawczy liczy ponad 1900 członków ze 154 instytucji i 35 krajów. (Dane z kwietnia 2007).

Wymiary	46 m długości, 25 m wysokości i 25 m szerokości
Ciężar	7000 ton
Projekt	Beczka i pokrywy uszczelniające
Koszty materiałowe	540 MCHF
Lokalizacja	Meyrin, Szwajcaria

Więcej informacji na stronie: <http://atlas.ch/>

## Co to jest CMS ?

CMS jest detektorem przeznaczonym do ogólnych celów. Jego cele są takie same jak eksperymentu ATLAS, ale ma inne rozwiązania techniczne i budowę. Zbudowany został wokół ogromnego nadprzewodzącego solenoidu. Ma kształt cylindrycznej cewki z nadprzewodzącego kabla, która będzie wytwarzała pole magnetyczne o natężeniu 4 T, około 100 000 razy większe od pola magnetycznego Ziemi. Ponad 2000 osób ze 181 instytucji i z 38 krajów będzie pracowało w eksperymencie CMS (maj 2007).

Wymiary	21 m długości, 15 m wysokości i 15 m szerokości
Ciężar	12500 ton
Projekt	Beczka i pokrywy uszczelniające
Koszty materiałów	500 MCHF
Lokalizacja	Cessy, Francja

Więcej informacji pod adresem:  
<http://cmsinfo.cern.ch/outreach/>

## Co to jest LHCb ?

LHCb to detektor badający niewielką asymetrię pomiędzy materią i antymaterią występującą w oddziaływaniach cząstek B (zawierających kwark b - piękny). Zrozumienie tego zjawiska powinno dostarczyć niezwykle ważnej odpowiedzi na pytanie: 'Dlaczego nasz Wszechświat zbudowany jest tylko z materii?' Zamiast otaczać cały punkt oddziaływania jednym detektorem, w eksperymencie LHCb zastosowano szereg poddetektorów, które wykrywają głównie cząstki lecące do przodu. Pierwszy poddetektor zbudowany jest wokół punktu zderzenia, następne umieszczone jeden za drugim na długości około 20 m. W eksperymencie uczestniczy 650 osób z 47 instytucji i 14 krajów. (Maj 2007).

Wymiary	21 m długości, 10 m wysokości i 13 m szerokości
Ciężar	5 600 ton
Projekt	Spektrometr 'ku przodowi' z detektorami planarnymi
Koszty materiałów	75 MCHF
Lokalizacja	Ferney-Voltaire, Francja

Więcej informacji na stronie: <http://lhcb.web.cern.ch/lhcb/>

## Co to jest LHCf ?

W eksperymencie LHCf badane są cząstki produkowane pod małymi kątami w stosunku do wiązki w zderzeniach proton-proton w LHC. Motywacją jest sprawdzenie modeli stosowanych do oceny pierwotnej energii ultrawysokoenergetycznych promieni kosmicznych. Detektor tego eksperymentu będzie umieszczony w odległości 140 m od ATLAS-a. Zespół badawczy skupia 21 członków z 10 instytucji i 6 krajów (Maj 2007).

Wymiary	Dwa detektory, każdy o długości 30 cm, 10 cm wysokości, 10 cm szerokości.
Ciężar	40 kg każdy detektor
Lokalizacja	Meyrin, Szwajcaria (blisko ATLAS-a)

## Co to jest TOTEM ?

W eksperymencie TOTEM mierzone będą efektywne rozmiary czyli wielkość 'przekroju czynnego' protonu w LHC. Żeby tego dokonać TOTEM musi wykrywać cząstki produkowane pod małymi kątami w stosunku do wiązek LHC. W eksperymencie będą stosowane detektory umieszczone w specjalnie do tego celu zbudowanych komorach zwanych 'Roman pots' – 'rzymskie garnki', które są połączone z rurami wiązki w LHC. Ośiem 'rzymskich garnków' będzie umieszczonych parami w czterech miejscach, w pobliżu punktu zderzenia w detektorze CMS. Zespół TOTEM-u liczy ponad 70 członków z 10 instytutów w siedmiu krajach (maj 2007).

Wymiary	440 m długości, 5 m wysokości i 5 m szerokości
Ciężar	20 ton
Urządzenie	'rzymskie garnki', detektory GEM i komory z paskami katodowymi
Koszt materiałowe	6,5 MCHF
Lokalizacja	Cessy, Francja (w pobliżu CMS)

Więcej informacji na stronie: <http://totem.web.cern.ch/Totem/>

## Co decyduje o ogólnym kształcie detektorów cząstek w LHC ?

Nowoczesny detektor ogólnego zastosowania w fizyce wysokich energii, taki jak ATLAS albo CMS, musi być hermetyczny. Musi istnieć bardzo małe prawdopodobieństwo, że (wykrywalna) cząstka ucieknie nie wykryta w miejscu niezabezpieczonym. Dla wygody inżynierów, w większości nowoczesnych detektorów zainstalowanych w zderzaczach cząstek takich jak LHC, stosowane są rozwiązania typu – beczka plus pokrywy uszczelniające,

gdzie cylindryczny detektor pokrywa centralny region, a dwa płaskie kołowe denka pokrywają region ku przodowi (małe kąty w stosunku do wiązki). ALICE i LHCb mają kształt asymetryczny, ponieważ zajmują się bardziej specyficznymi dziedzinami fizyki.

## Jakie są główne części składowe detektora ?

Zasadniczym celem dużych detektorów zainstalowanych w LHC jest identyfikacja cząstek produkowanych w zderzeniach, pomiar ich położenia w przestrzeni, ładunku, prędkości, masy i energii. Żeby to osiągnąć detektory mają wiele warstw lub 'poddetektorów', z których każdy spełnia swoją szczególną rolę w rekonstrukcji zderzenia. Układ magnesów uzupełnia te urządzenia. Zadaniem ich jest rozdzielenie cząstek o różnym ładunku i umożliwienie pomiaru ich pędu - wielkości związanej z masą i prędkością cząstki.

Istnieją dwa ważne rodzaje poddetektorów:

- ▶ **Detektory śladowe** pokazujące tor cząstki naładowanej, która zostawia swoje ślady jonizując materię. W polu magnetycznym mogą być one wykorzystane do pomiaru krzywizny trajektorii cząstki, a stąd do wyznaczenia jej pędu. Może to pomóc w identyfikacji cząstki. W większości nowoczesnych detektorów śladowych tory cząstek nie są bezpośrednio widoczne. Zamiast śladów wytwarzane są elektryczne sygnały, które rejestruje się jako dane komputerowe. Program komputerowy rekonstruuje kształt zarejestrowanego toru. Dwa specjalne typy urządzeń śladowych to detektory wierzchołka i komory mionowe. Detektory wierzchołka zostały umieszczone blisko punktu oddziaływania (pierwotnego wierzchołka), a komory mionowe - w zewnętrznych warstwach układu detektorów, ponieważ miony są jedynymi cząstkami, które mogą przejść przez wiele metrów gęstej materii.

Istnieją dwie główne techniki budowania urządzeń śladowych:

- ▶ *Komory gazowe, gdzie ośrodkiem jonizującym jest gaz, a jony i elektrony zbierane są na elektrodach, zwykle w kształcie drutów lub płytek, w silnym polu elektrycznym. W komorach dryfowych położenie toru określane jest przez pomiar czasu, potrzebnego elektronom na dotarcie do drutu anodowego od chwili przejścia cząstki przez komorę. W przypadku szerszych przerw między drutami osiąga się wyższą rozdzielczość przestrzenną: komórki dryfowe mają na ogół szerokość kilku centymetrów, co daje rozdzielczość przestrzenną około 50-100  $\mu\text{m}$ . W komorze z projekcją czasową objętość dryfu jest znacznie większa i wynosi 2 m albo więcej, a rejestrujące druty są ułożone na końcowej powierzchni.*
- ▶ *Detektory półprzewodnikowe, w których cząstki wytwarzają elektrony i dziury w czasie przechodzenia przez spolaryzowany zaporowo półprzewodnik, zazwyczaj krzem. Urządzenie zwykle podzielone jest na paski lub piksele. Typowa zdolność rozdzielcza wynosi 10  $\mu\text{m}$ .*

- ▶ **Kalorymetry** to urządzenia, które wyznaczają energię cząstek zatrzymując je, a następnie mierząc wyzwoloną energię. Istnieją dwa główne typy kalorymetrów: elektromagnetyczne (ECAL) i hadronowe (HCAL). Zastosowano w nich różne materiały, w zależności od rodzaju zatrzymywanych cząstek. Kalorymetry ECAL na ogół całkowicie absorbują elektrony i fotony, które łatwo oddziałują przez siły elektromagnetyczne. Silnie oddziałujące cząstki (hadrony), takie jak protony i piony, mogą zacząć tracić swoją energię w kalorymetrze ECAL, ale zostaną zatrzymane w kalorymetrze HCAL. Miony i (neutrino) przejdą przez obydwie warstwy. Zastosowanie kalorymetrów stanowi główny sposób identyfikacji takich cząstek, jak fotony i neutrony; chociaż cząstki te nie są widoczne w detektorach śladowych, ich obecność może zostać zarejestrowana jako depozyt energii w kalorymetrach.

Typowe kalorymetry zbudowane są z warstw 'pasywnego', 'absorbującego' materiału o dużej gęstości (np. ołowiu) przekładanych warstwami aktywnego ośrodka, takiego jak szkło ołowiowe lub płynny argon.

Detektory zawierają często poddetektory, mierzące szybkość cząstek naładowanych, zasadniczą wielkość potrzebną do identyfikacji.

Stosowane są dwie ważne metody pomiaru prędkości cząstek:

- ▶ *Promieniowanie Czerenkowa: jeżeli prędkość cząstki naładowanej przechodzącej przez ośrodek przekracza określoną wielkość, wówczas emituje ona fotony pod kątem, który zależy od prędkości. Znajomość prędkości w połączeniu z wynikiem pomiaru pędu cząstki pozwala na wyznaczenie jej masy, czyli jej identyfikację. Żeby mogła nastąpić emisja promieniowania Czerenkowa cząstka musi mieć prędkość wyższą od prędkości światła w danym ośrodku.*
- ▶ *Promieniowanie przejścia: gdy relatywistyczna cząstka naładowana przechodzi przez niejednorodny ośrodek, w szczególności na granicy dwóch materiałów o różnych własnościach elektrycznych, emituje promieniowanie w przybliżeniu proporcjonalne do jej energii. To pozwala na rozróżnienie między sobą różnych rodzajów cząstek.*

## Jaka będzie częstość produkcji bozonów Higgsa w LHC ?

Chociaż częstość zderzeń cząstek w LHC będzie bardzo duża, to częstość produkcji bozonów Higgsa będzie tak mała, że fizycy przewidują, iż dostateczną liczbę danych – pozwalających na ich statystyczną ocenę - uzyskają dopiero po 2-3 latach. Częstość produkcji bozonów Higgsa w znacznej mierze zależy od modelu teoretycznego i zastosowanych do jej oceny obliczeń. Oczekuje się, że w dobrych warunkach będzie to jeden przypadek na kilka godzin na eksperyment. To samo stosuje się do cząstek supersymetrycznych. Fizycy spodziewają się, że pierwsze znaczące rezultaty otrzymają po około roku zbierania danych przy pełnej świetłości.

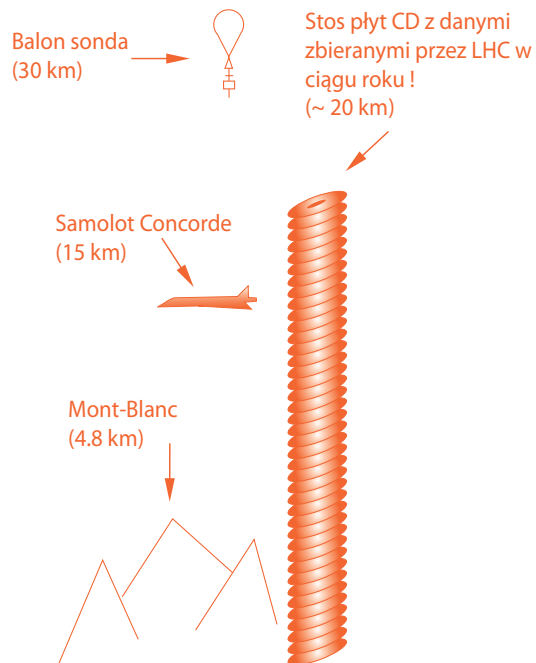
## Jaka będzie szybkość przesyłania danych z LHC ?

Okolo 150 milionów czujników dostarcza dane z eksperymentów w LHC z częstością 40 milionów razy na sekundę. Po przefiltrowaniu uzyskuje się około 100 interesujących zderzeń na sekundę.



Szybkość przesyłania danych ze wszystkich czterech eksperymentów będzie wynosiła około 700 MB/s, to jest około 15 000 000 GB (=15PB) na rok, co odpowiada stosowi płyt CD o wysokości około 20 km na rok. Ta ogromna ilość danych będzie dostępna dla tysięcy naukowców na całym świecie i przez nich analizowana. Zadaniem Sieci Komputerowej LHC (LHC Computing Grid) jest zbieranie i gromadzenie danych, oraz dostarczenie infrastruktury do ich analizy dla całej społeczności fizyków, którzy będą wykorzystywać LHC.

- ▶ ATLAS będzie dostarczał 320 MB/s danych,
- ▶ CMS będzie dostarczał 300 MB/s danych,
- ▶ LHCb będzie dostarczał 50 MB/s danych,
- ▶ ALICE będzie dostarczał 100 MB/s podczas zderzeń proton-proton i 1,25 GB/s danych podczas zderzeń ciężkich jonów.





## Ile mocy pobiera LHC ?

Pobór mocy wynosi około 120 MW (230 MW dla całego CERN-u) co odpowiada mniej więcej poborowi mocy w gospodarstwach domowych w kantonie Genewa. Zakładając, że średnia liczba dni pracy akceleratora wynosi 270 w ciągu roku (akcelerator nie będzie pracował zimą), oceniona roczna ilość energii zużytej przez LHC w 2009 roku będzie wynosiła 800 000 MWh. Wielkość ta zawiera lokalne, podstawowe obciążenie i eksperymenty. Roczny koszt pracy LHC będzie więc wynosił około 19 milionów Euro. CERN zasilany jest głównie przez francuską kompanię EdF (szwajcarskie kompanie EOS i SIG są wykorzystywane tylko w przypadku niedoboru dostaw z Francji).

*W LHC duża część energii elektrycznej zużywana jest do utrzymania systemu nadprzewodzących magnesów w temperaturze pracy (1,8 i 4,2 K) zależnej od rodzaju magnesów. Dzięki technologii nadprzewodnictwa zastosowanej w tych magnesach, nominalne zużycie energii nie jest o wiele większe niż w przypadku Supersynchrotronu Protonowego (SPS), chociaż LHC jest znacznie większy i osiąga wyższą energię.*

## Czy zderzenia w LHC są niebezpieczne ?

W LHC można uzyskać energie, jakie nie były osiągnięte w żadnym z dotychczasowych akceleratorów. Energia osiąganych w nim zderzeń mogła do tej pory zdarzyć się tylko w Naturze. To tylko dzięki takiemu potężnemu urządzeniu fizycy będą mogli głębiej poznać tajemnice Wszechświata. Niektórzy ludzie obawiają się, że zderzenia cząstek wysokich energii mogą być niebezpieczne. Jednakże nie ma żadnych powodów do obaw.

- ▶ *Bezprecedensowa energia zderzeń ?* Tylko na Ziemi! Akceleratory w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych odtwarzają tylko pewne zjawiska zachodzące w promieniowaniu kosmicznym. Promienie kosmiczne są cząstkami przyspieszonymi w przestrzeni kosmicznej przez takie zjawiska, jak supernowe lub tworzenie się czarnych dziur, podczas których przyspieszane są one do energii przewyższających energię osiąganą w LHC. Promienie kosmiczne wędrują przez Wszechświat i bombardują atmosferę ziemską od czasu jej powstania 4,5 miliardów lat temu. Oprócz nadzwyczajnej mocy LHC, w porównaniu z innymi akceleratorami, energie produkowanych w nim zderzeń są znacznie niższe od energii zderzeń zaobserwowanych w promieniowaniu kosmicznym. Ponieważ zderzenia jeszcze wyższych energii, produkowane przez miliardy lat w Naturze nie zaszkodziły Ziemi, nie ma powodu sądzić, że jakiegokolwiek zjawiska występujące w LHC mogą to spowodować. Promienie kosmiczne zderzają się również z Księżycem, Jowiszem, Słońcem i innymi ciałami niebieskimi. Całkowita liczba tych zderzeń jest ogromna w porównaniu z oczekiwaną w LHC. Ponieważ planety i gwiazdy pozostają nietknięte, umacnia nas to w przekonaniu, że zderzenia w LHC są również bezpieczne. Energia uzyskiwana w LHC, choć bardzo wielka jak na akcelerator, jest skromna w porównaniu z tym, co produkuje Przyroda.

- ▶ *Czy to mini 'wielkie wybuchy'?* Chociaż koncentracja energii (czyli jej gęstość) w zderzeniach cząstek w LHC jest bardzo wysoka, to w jednostkach absolutnych ta energia jest bardzo mała w porównaniu z energiami, z którymi mamy do czynienia na co dzień, albo z energiami występującymi w zderzeniach w promieniowaniu kosmicznym. Jednakże ze względu na bardzo małe wymiary wiązki protonowej, koncentracja energii jest taka sama jak gęstość energii, która miała miejsce w kilka chwil po Wielkim Wybuchu – oto dlatego zderzenia w LHC są czasem nazywane mini 'wielkimi wybuchami'.
- ▶ *Czy czarne dziury?* Masywne czarne dziury powstają we Wszechświecie wskutek grawitacyjnego zapadania się masywnych gwiazd, które posiadają ogromne ilości energii grawitacyjnej, przyciągającej otaczającą materię. Przyciąganie grawitacyjne czarnej dziury zależy od ilości materii lub energii, którą ona posiada – im jest jej mniej, tym przyciąganie jest słabsze. Niektórzy fizycy sugerują, że mikroskopijne czarne dziury mogą być produkowane w zderzeniach w LHC. Jednakże mogłyby być tworzone tylko z energią równą energii zderzających się cząstek (równoważną energii komarów). Oznacza to, że żadne mikroskopijne czarne dziury wyprodukowane w LHC nie mogłyby wytworzyć dostatecznie dużej siły grawitacyjnej, która przyciągałaby otaczającą materię. Jeżeli w LHC mogą być wyprodukowane mikroskopijne czarne dziury, to promienie kosmiczne, które mają znacznie wyższą energię wyprodukowałyby ich do dziś znacznie więcej. Ponieważ Ziemia ciągle istnieje, nie ma żadnych powodów, aby wierzyć, że zderzenia wewnątrz LHC są niebezpieczne.

*Czarne dziury tracą masę przez emisję energii w procesie odkrytym przez Stephena Hawkinga. Każda czarna dziura, która nie może przyciągać materii, taka jaka mogłaby być wyprodukowana w LHC, będzie się kurczyć, parować i zniknie. Im mniejsza czarna dziura, tym szybciej znika. Gdyby mikroskopijne czarne dziury zostały znalezione w LHC, mogłyby istnieć tylko przelotną chwilę. Istniałyby one tak krótko, że jedynym sposobem ich detekcji byłaby obserwacja produktów ich rozpadu.*

- ▶ *'Strangelets'- 'strangelety' (dziwadelka)?* 'Strangelety' to hipotetyczne małe kawałki materii, których istnienie nigdy nie zostało udowodnione. Byłyby one zrobione z 'dziwnych kwarków' – cięższych i nietrwałych cząstek, odpowiedników podstawowych kwarków, które tworzą trwałą materię. Nawet jeżeli 'strangelety' rzeczywiście istnieją to powinny być nietrwałe. Ich ładunek elektryczny odpychałby normalną materię i zamiast łączenia się z trwałą materią po prostu by się rozpadały. Gdyby 'strangelety' były produkowane w LHC to nie siałoby spustoszenia. Jeżeli istnieją, to mogły być już od dawna produkowane przez wysokoenergetyczne promienie kosmiczne bez żadnych niebezpiecznych konsekwencji.
- ▶ *Promieniowanie?* Promieniowanie jest nieuniknione w takich akceleratorach jak LHC. Zderzenia cząstek, które pozwalają badać początki istnienia materii także wytwarzają promieniowanie. CERN stosuje aktywne i pasywne środki zabezpieczenia, monitory promieniowania i różne procedury, chroniące załogę i okoliczną ludność przed promieniowaniem, które i tak jest dużo mniejsze od granicy ustalonej przez prawo międzynarodowe. Dla porównania zauważmy, że naturalna promieniotwórczość – spowodowana promieniami kosmicznymi i naturalną promieniotwórczością środowiska – wynosi w Szwajcarii około 2400  $\mu\text{Sv}/\text{rok}$ . W czasie podróży lotniczej z Europy do Los Angeles i z powrotem wynosi ona 100  $\mu\text{Sv}$ . Tunel LHC znajduje się na głębokości około 100 m pod ziemią, tak głęboko, że zarówno uciekające promieniowanie generowane w czasie pracy akceleratora, jak i resztkowe - nie będą wykrywane na powierzchni. Powietrze będzie wypompowane z tunelu i przefiltrowane. Badania wykazały, że dawka promieniowania, które przedostanie się do atmosfery, w porównaniu z całkowitą dawką promieniowania, któremu poddana jest ludność, jest niewielka – będzie wynosiła nie więcej niż 10  $\mu\text{Sv}/\text{rok}$ .

*Zalecenia CERN-u dotyczące ochrony środowiska i personelu są zgodne ze szwajcarskim i francuskim ustawodawstwem państwowym i z 'European Council Directive' 96/29/EURATOM. Zgodnie zarówno z przepisami szwajcarskimi jak i francuskimi, pod żadnym warunkiem dawka promieniowania, na które narażony jest personel zatrudniony przy eksperymencie, nie może przekroczyć 20  $\mu\text{Sv}$  na rok, a niezatrudniony i społeczeństwo - 1  $\mu\text{Sv}$  na rok.*

## Jakie zasady obowiązują przy wejściu do LHC ?

Na zewnątrz biegnącej wiązki, większa część tunelu LHC będzie tylko słabo radioaktywna. Większość resztkowego promieniowania jest skoncentrowana w specjalnych częściach urządzenia, takich jak groty zrzutu wiązki (w których cała wiązka jest absorbowana przy końcu całego cyklu pracy) oraz w obszarach, w których następuje kolimacja wiązki.

Tylko specjalnie przeszkolone osoby spośród personelu technicznego będą mogły wejść do tunelu LHC. Technicy – specjaliści w zakresie zabezpieczania przed promieniowaniem – wchodzi najpierw i mierzą moc dawki promieniowania w miejscu ewentualnego wejścia, żeby ocenić, kiedy i jak długo będzie można tam przebywać.

## Jakie ilości helu zużywane są w LHC ?

Dokładna ilość helu traconego podczas pracy LHC nie jest jeszcze znana. Konkretna ilość zależy od wielu czynników, od tego jak często zdarzają się wyłączenia magnesów, przerwy w zasilaniu i inne awarie. Natomiast wiemy, że ilość helu potrzebna do chłodzenia LHC i napełnienia przed pierwszym uruchomieniem wynosi około 120 ton.

## Co się wydarzy, gdy wiązka stanie się niestabilna ?

Energia zmagazynowana w wiązkach LHC jest niespotykana, co grozi zniszczeniem wyposażenia akceleratora w przypadku niekontrolowanej utraty wiązki. Robi się więc wszystko, co można, żeby się upewnić, że to się nigdy nie wydarzy. Bezpieczne działanie LHC wymaga poprawnego działania kilku systemów: kolimatorów i absorbentów wiązki, systemu pochłaniania wiązki, monitorowania wiązki, układów blokowania wiązek oraz systemu zabezpieczającego na wypadek samorzutnej utraty własności nadprzewodzących przez magnesy. Gdy wiązka staje się niestabilna, wykryją to czujniki strat cząstek i w ciągu trzech obiegów ( $< 0,3$  ms) układ magnesów usunie wiązkę z LHC. Wiazka skierowana zostanie wówczas specjalnym tunelem do bloku zatrzymującego wiązkę, będącego jedynym elementem LHC, który może powstrzymać uderzenie całej wiązki. Rdzeń bloku zatrzymującego stanowi stos płyt grafitowych o różnych gęstościach.

*Całkowita energia w każdej wiązce o maksymalnej energii wynosi 350 MJ, co jest równoważne mniej więcej energii pociągu wążącego 400 ton, takiego jak francuski TGV, jadącego z prędkością 150 km/godzinę. Jest to energia wystarczająca do stopienia 500 kg miedzi. Całkowita energia zmagazynowana w magnesach LHC jest około 30 razy większa (11 GJ).*



## 10 fascynujących faktów związanych z LHC

**Fakt 1.** Gdy drążono kołowy tunel o obwodzie 27 km na obszarze między Jeziorem Genewskim, a Jurą, to dwa jego końce spotkały się z dokładnością 1 cm.

**Fakt 2.** Każde z 6000-9000 włókien kabla niobowo–tytanowego wyprodukowanego dla LHC ma grubość około 0,007 mm i jest 10 razy cieńsze od przeciętnego włosa ludzkiego. Gdyby wszystkie włókna zostały rozwinięte i wyprostowane, to ich długość byłaby równa pięciokrotnej odległości do Słońca tam i z powrotem i jeszcze starczyłoby na kilka wycieczek na Księżyc.

**Fakt 3.** Wszystkie protony przyspieszane w CERN-ie otrzymywane są ze standardowego wodoru. Chociaż wiązka protonów w LHC jest bardzo intensywna tylko 2 nanogramy wodoru<sup>\*)</sup> przyspieszane są każdego dnia, a więc przyspieszenie 1 grama wodoru trwałoby w LHC milion lat.

**Fakt 4.** Centralna część LHC będzie największą w świecie lodówką. W temperaturze niższej niż w dalekiej przestrzeni kosmicznej będzie znajdowało się żelazo, stal i wszystkie ważne części nadprzewodzących magnesów.

**Fakt 5.** Ciśnienie w rurach wiązki w LHC będzie około 10 razy niższe niż na Księżycu. Jest to ultrawysoka próżnia.

**Fakt 6.** Proton o pełnej energii będzie pędził w LHC z prędkością wynoszącą 0,999999991 prędkości światła. Każdy proton obiegnie 27-kilometrowy pierścień ponad 11 000 razy w ciągu sekundy.

**Fakt 7.** Przy pełnej energii każda z protonowych wiązek w LHC będzie miała energię całkowitą równoważną mniej więcej energii pociągu ważącego 400 ton, takiego jak francuski TGV, jadącego z prędkością 150 km/godzinę. Jest to energia wystarczająca do stopienia 500 kg miedzi.

**Fakt 8.** Słońce nigdy nie zachodzi nad współpracującymi przy projekcie ATLAS laboratoriami. Naukowcy pracujący w eksperymencie pochodzą ze wszystkich zamieszkałych kontynentów.

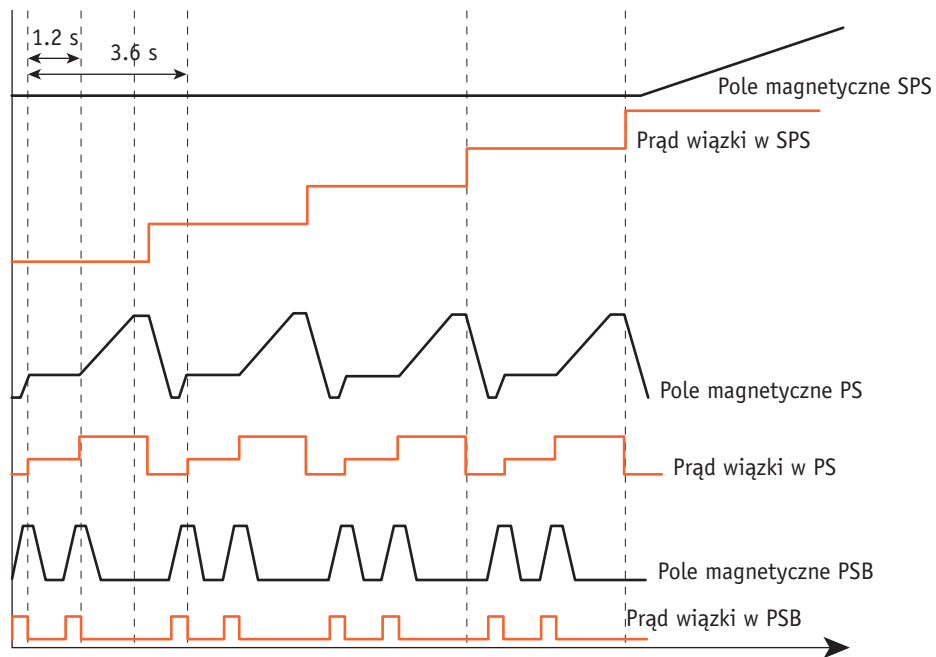
**Fakt 9.** System magnesów CMS zawiera 10 000 t żelaza, czyli więcej niż wieża Eiffla.

**Fakt 10.** Dane zebrane przez każdy z wielkich eksperymentów wystarczą do zapalenia około 100 000 płyt DVD w ciągu każdego roku.

<sup>\*)</sup> Całkowita masa protonu liczona jest w spoczynku.

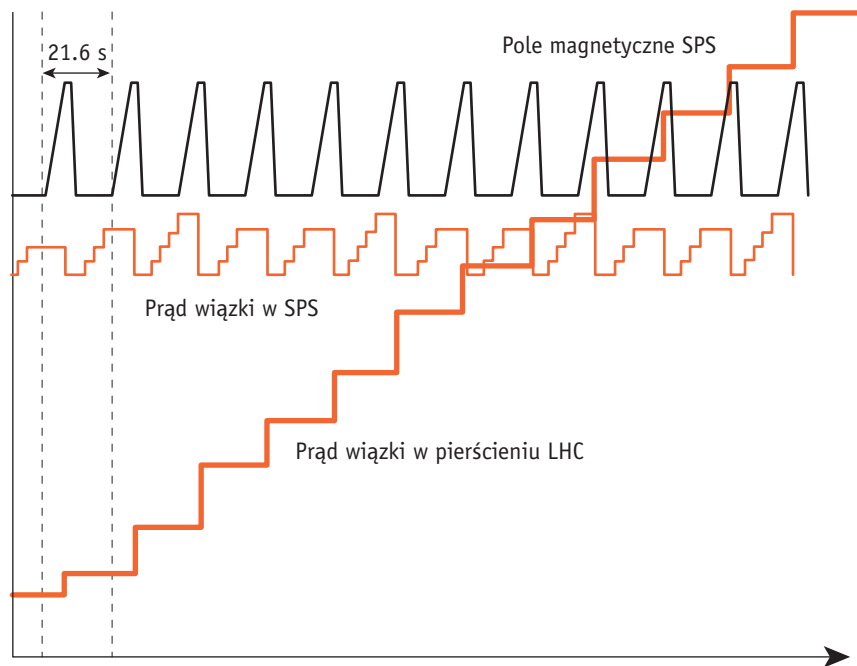
# Dodatek 1

## Schemat wypełnienia, pole magnetyczne i prąd wiązki w PSB, PS i SPS



## Dodatek 2

### Schemat wypełnienia, pole magnetyczne i prąd wiązki w SPS i LHC





58



*Przewodnik po LHC*

