

Jak znaleźć igłę w stogu siana

Rola obliczeń komputerowych w eksperymentach fizyki wysokich energii

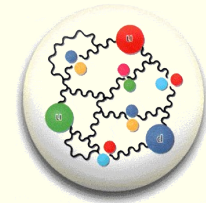
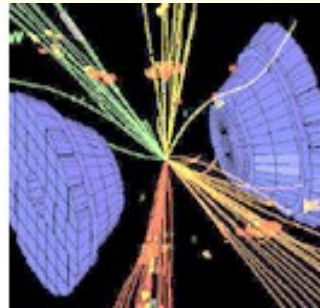
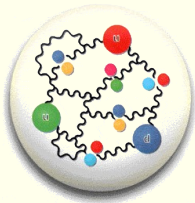
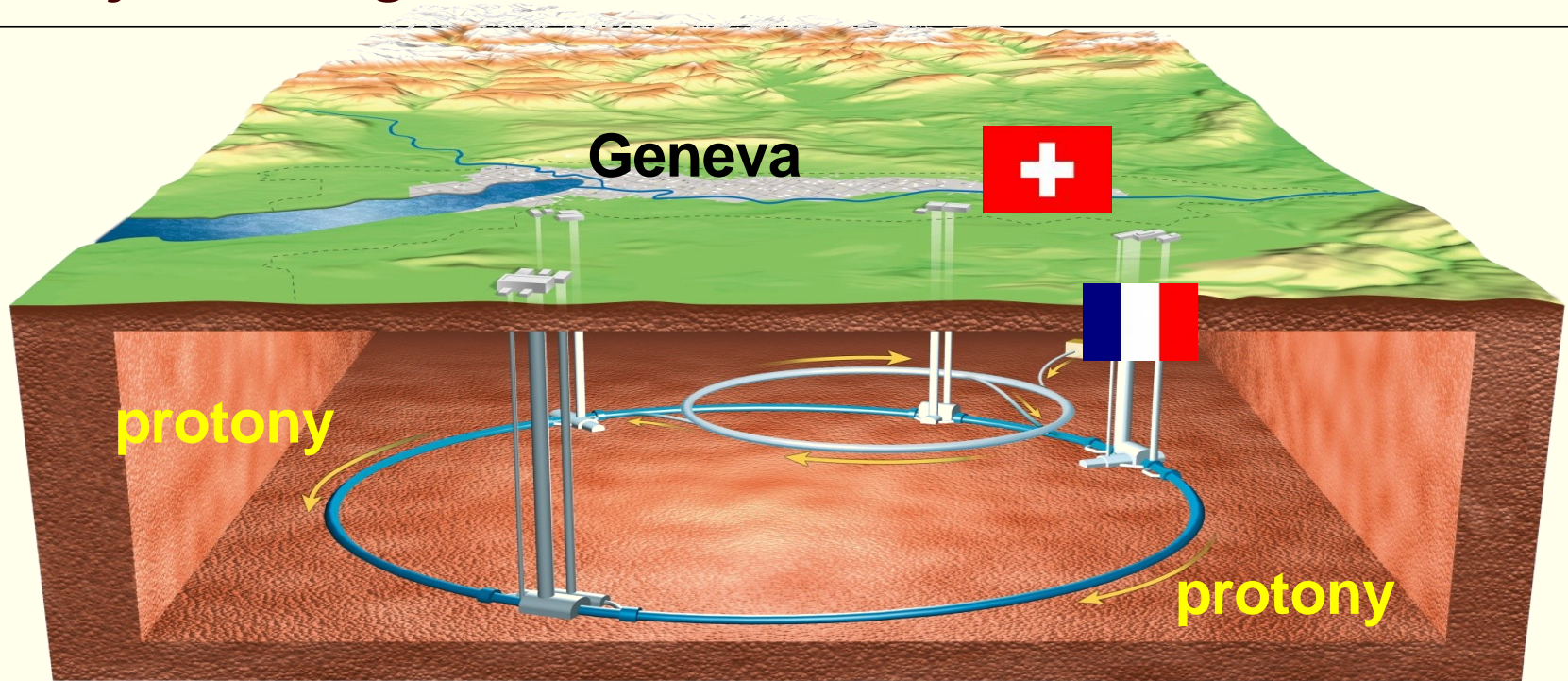
Piotr Golonka
CERN IT/CO-BE

Plan

- Co jest igłą a co stogiem siana
 - ... między teorią a doświadczeniem
- Seria złożonych problemów
 - Zbieranie danych
 - Opracowywanie danych
 - Analiza danych
- Technologie
 - Klastry, GRID

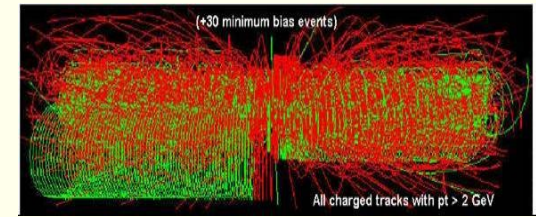
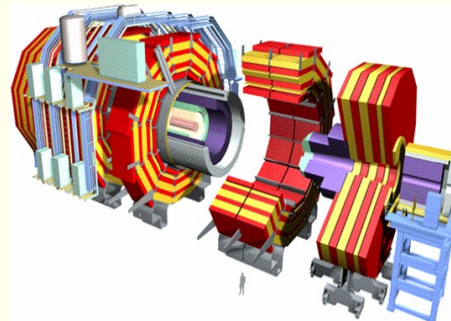
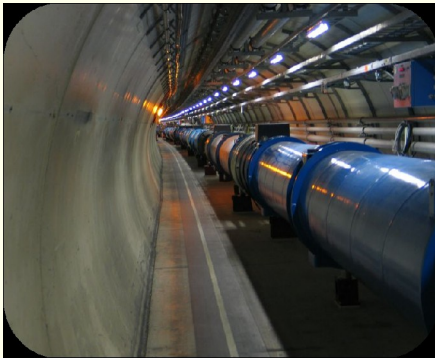


Co jest stogiem siana? - LHC



14 TeV = 14·10¹² eV

Co jest stogiem siana? ... i detektory



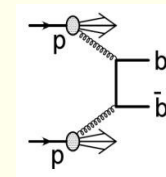
LHC



Eksperyment



Interesujące oddziaływania proton-proton



Co jest igłą ?

- Większość zderzeń to zwykłe, dobrze znane oddziaływania.
- Te interesujące które niosą informacje o nieznanym zjawiskach są bardzo rzadkie.
 - Typowo 1 przypadek na 100 mln!
- Jak „zauważyć” taki przypadek w aparaturze i zapisać go na taśmę gdy mamy tak duży strumień danych
≡ tak mało czasu na analizę „on-line”?

Czego szukamy w eksperymentach?

Przykład: eksperyment LHCb

Łamanie symetrii CP



Parzystość CP

- jednoczesne wykonanie operacji sprzężenia ładunkowego C i inwersji przestrzennej P, tzn. operacji $q \rightarrow -q$ oraz $\vec{r} \rightarrow -\vec{r}$. CP przeprowadza cząstkę w jej antycząstkę o przeciwnym pędzie i skrętności
- niezachowanie parzystości P (1956) oraz parzystości C (1957) w oddziaływaniach słabych

Łamanie parzystości kombinowanej CP

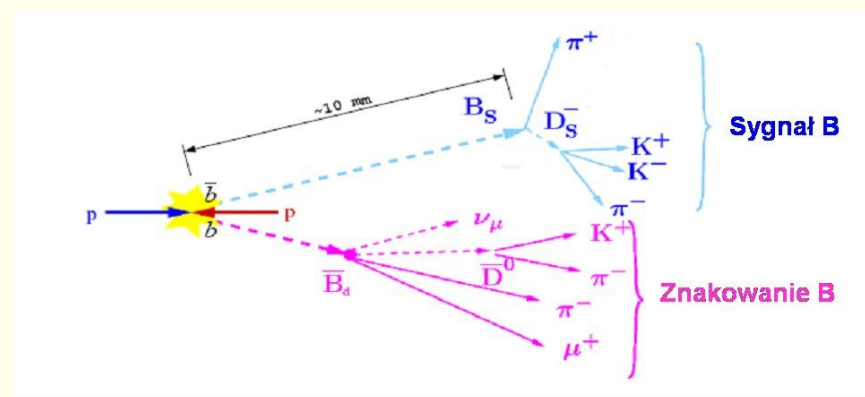
- łamanie symetrii CP w rozpadach długożyciowych mezonów K^0 (1964)

Asymetria materia-antymateria

- wszystkie obserwacje wskazują, że obecny wszechświat składa się głównie z materii
- hipoteza Sacharowa (1967)
 - jednym z 3 warunków powstania asymetrii materia-antymateria jest **łamanie CP**



Badanie łamania CP od 40 lat (zjawiska subtelne)
LHCb: duże próbki danych, rozszerzenie obszaru badań



Łamanie CP w układzie mezonów pięknych (B)

Zjawiska rzadkie $\sim 10^{-4} - 10^{-8}$

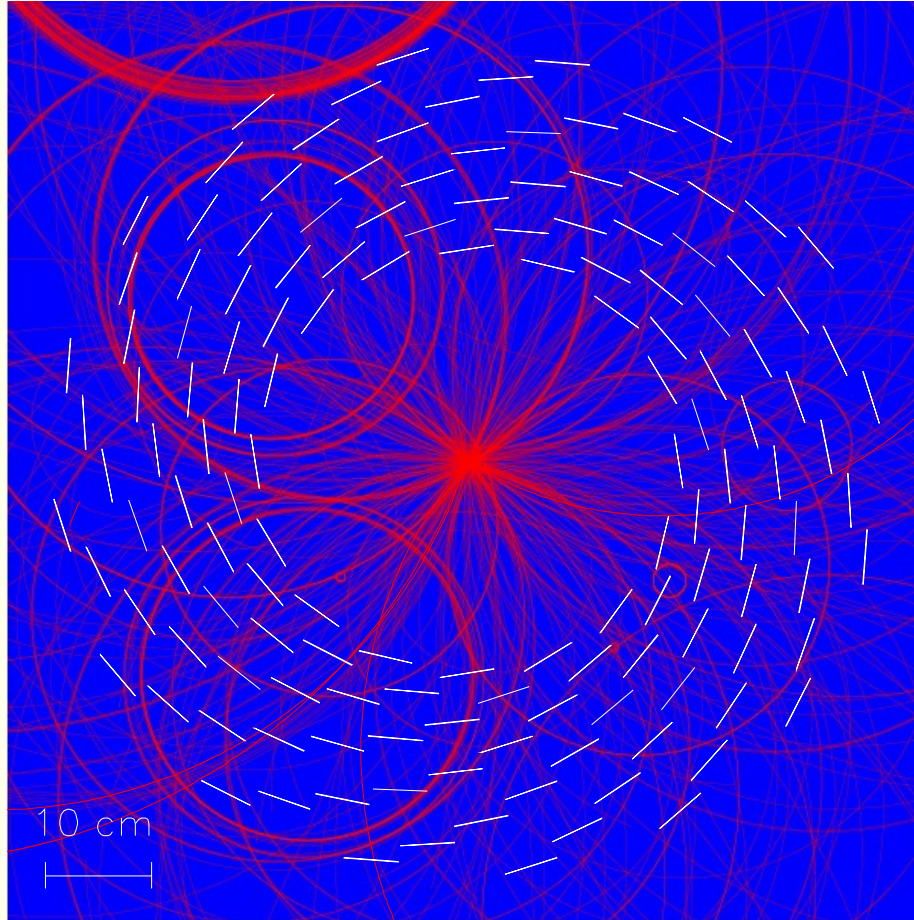
Pozostałe eksperymenty na LHC mają swoje zestawy „igiel”

- Cząstka Higgsa (ATLAS, CMS)
- Supersymetria (ATLAS, CMS)
- Plazma kwarkowo-gluonowa (ALICE)
- ...



Przykład: rekonstrukcja śladów cząstek

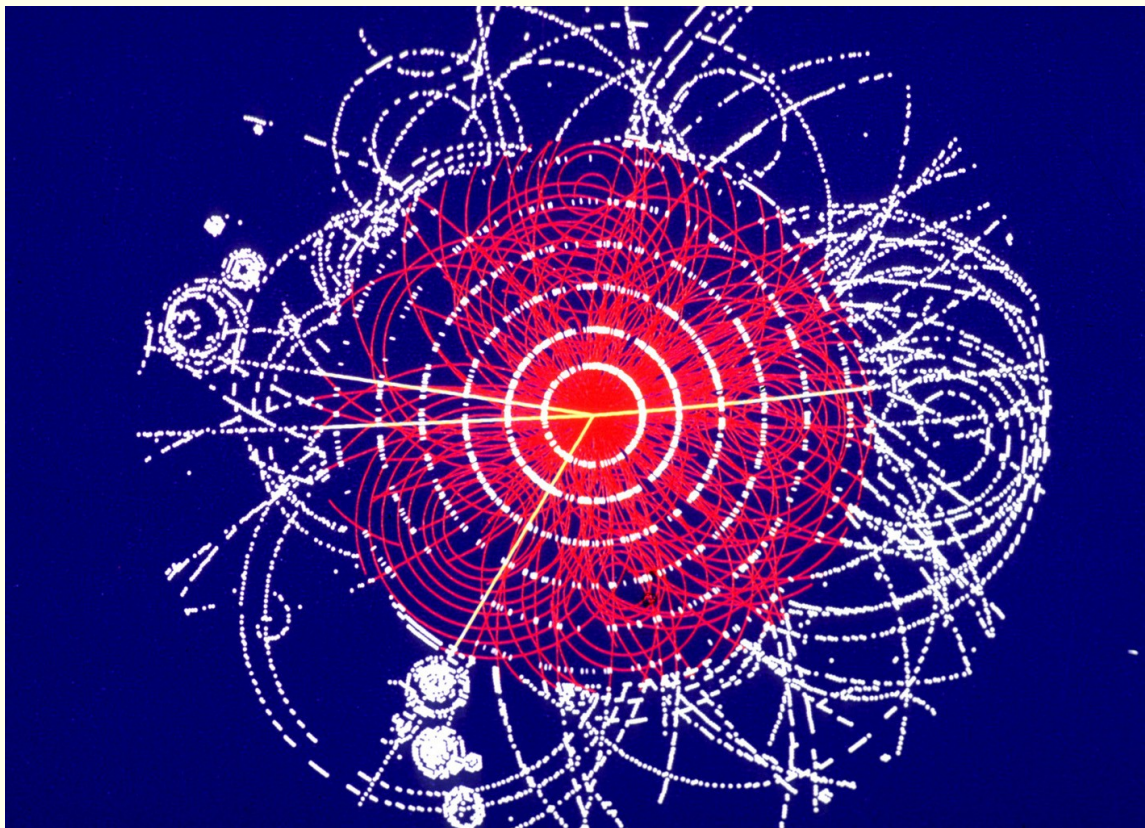
Symulacja komputerowa danych z 1 przypadku w detektorze wewnętrznym eksperymentu ATLAS



Zagadka:
znajdź 4
proste ślady

Find 4 straight tracks.

Przykład: rekonstrukcja śladów cząstek

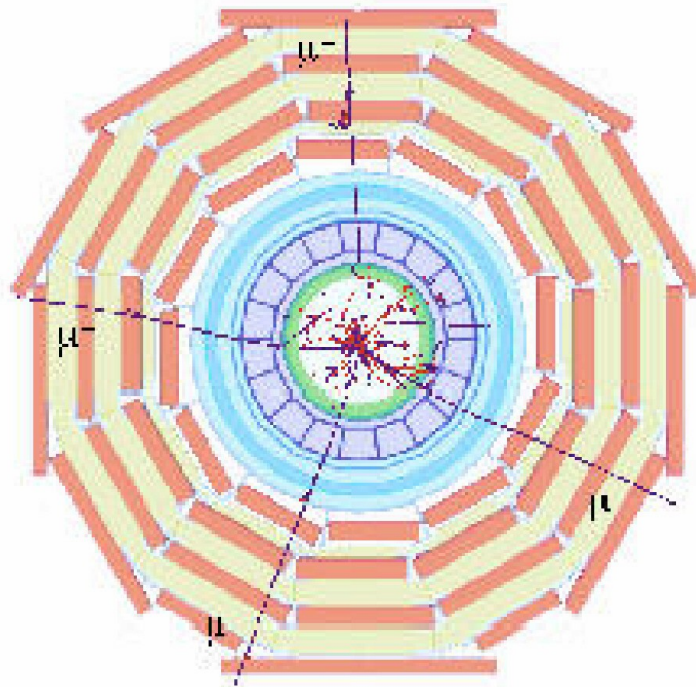


Rozwiązanie:

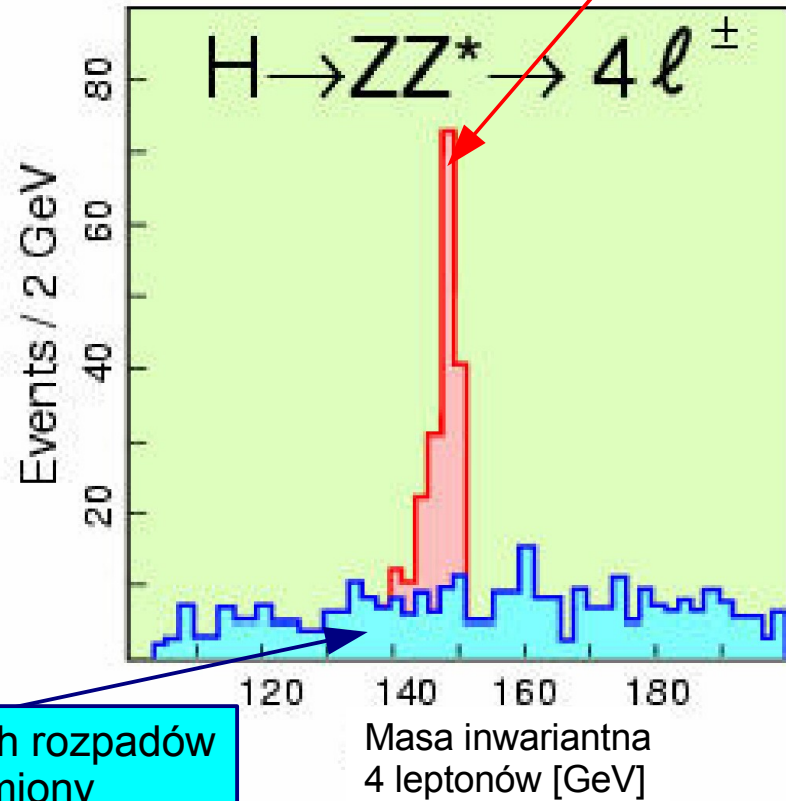
Rozpad cząstki Higgsa na 4 miony:

$$H \rightarrow 4\mu$$

Analiza danych: co zobaczy Fizyk:

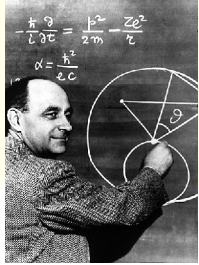


Cząstki Higgsa
o masie ~ 150 GeV



Tło od innych rozpadów
dających 4 miony

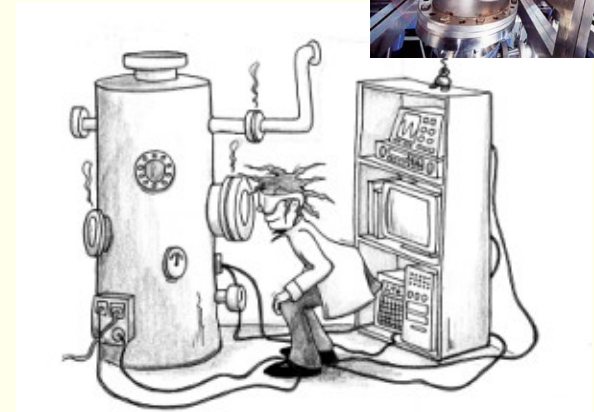
Teoria, doświadczenie i ... komputery



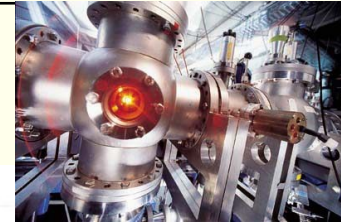
Teoria

(?)

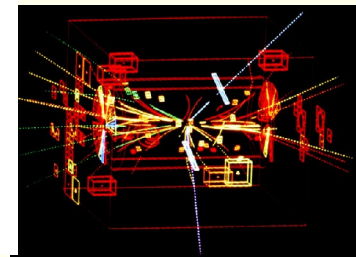
=



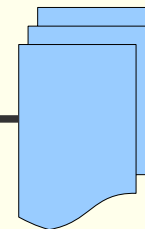
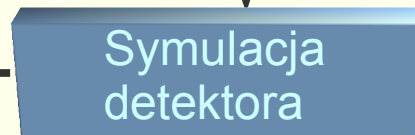
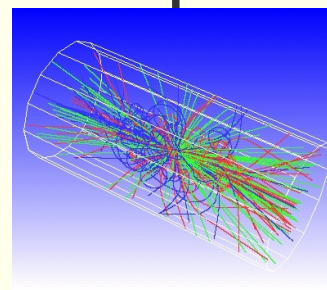
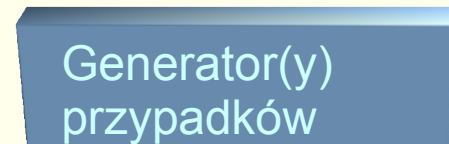
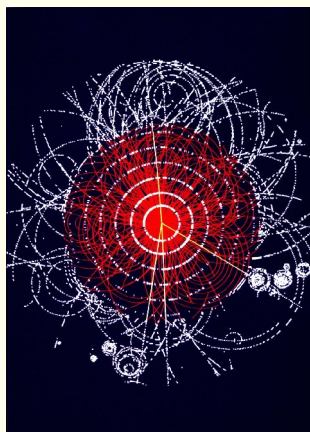
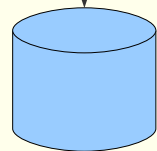
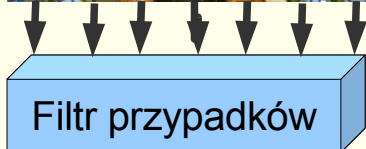
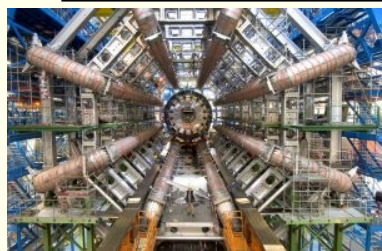
Doświadczenie



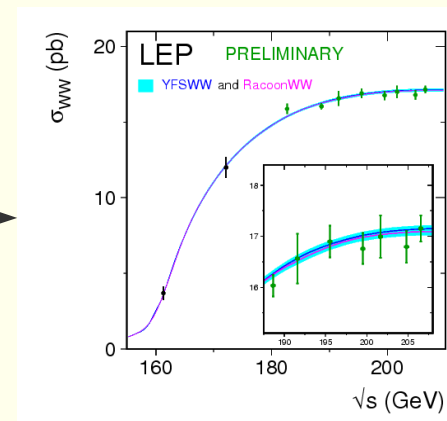
Metody
komputerowe



“doświadczenie = teoria” (?)

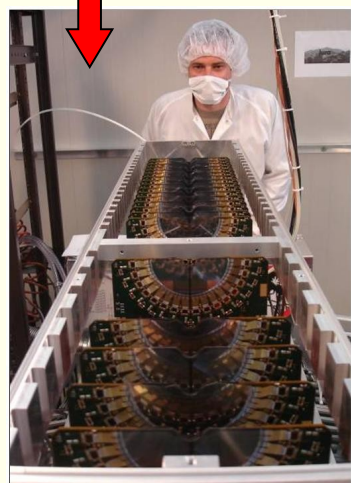
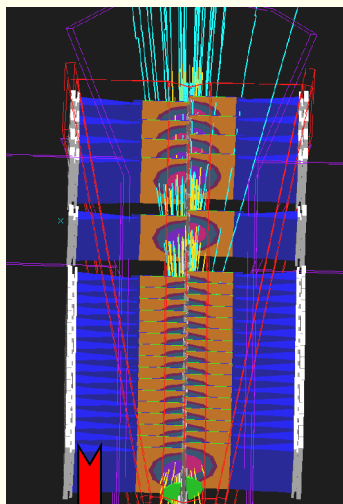


$$L_H = -\frac{1}{2} [(\partial_\mu - iW_\mu^a t^a - iB_\mu)\phi]^2 - \frac{\mu^2}{2} \phi^\dagger \phi - \frac{\lambda}{4} (\phi^\dagger \phi)^2,$$

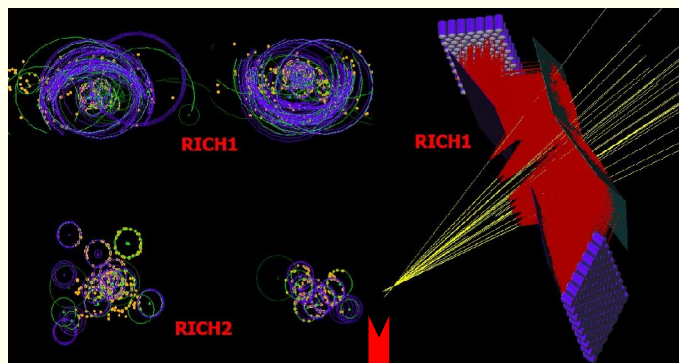


Modelowanie aparatury

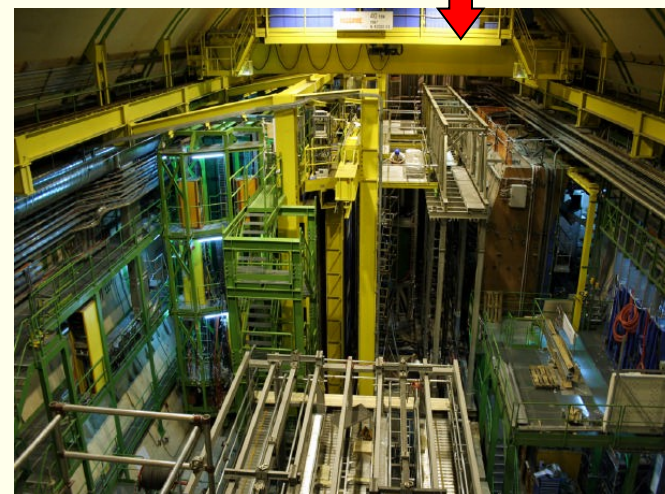
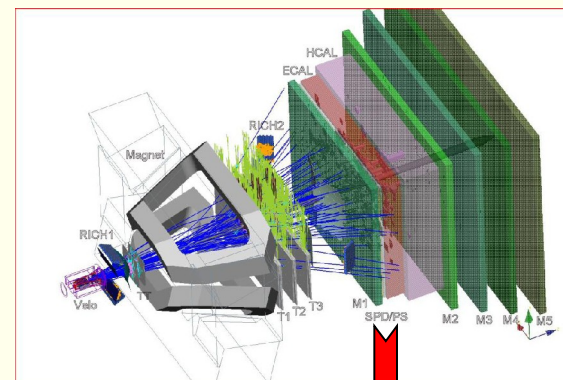
Detektor wierzchołka



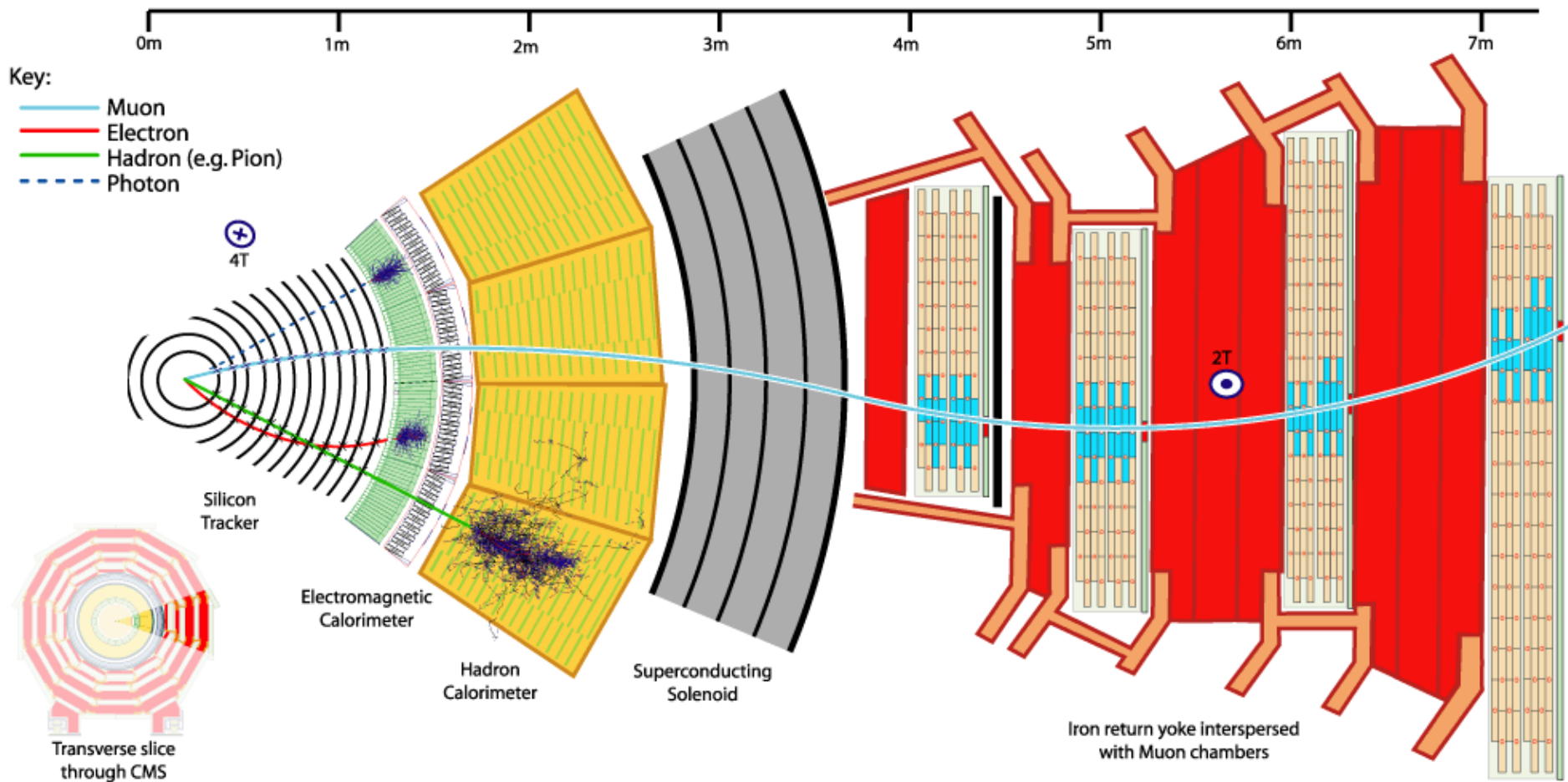
Detektor RICH
Identyfikacja cząstek



Pełny spektrometr

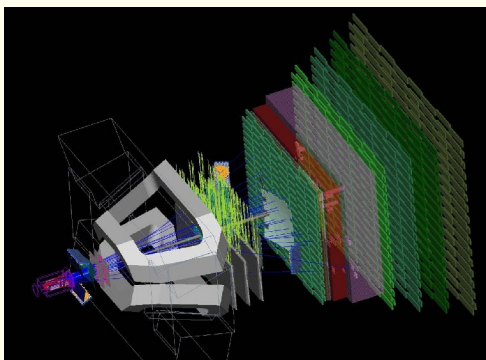


Symulacja zjawisk w detektorach



Slajd ze strony www.eksperymentu CMS

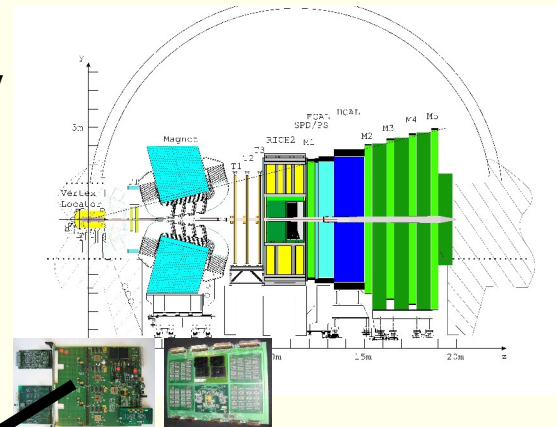
Symulacja i prawdziwy eksperyment



Symulacja

2. Generator przypadków (teoria)
3. Modelowanie odpowiedzi aparatury (Geant4)

W efekcie modelowania otrzymujemy dane symulowane w formie takiej jakiej będą napływać z elektroniki odczytu aparatury eksperymentalnej.



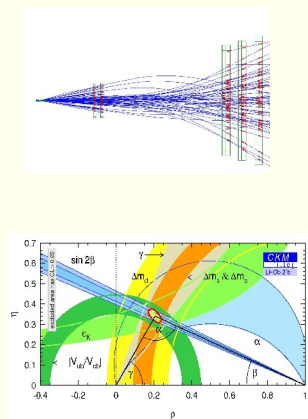
Prawdziwy eksperyment

Rekonstrukcja

Analiza fizyczna

Detektor „działa” wspaniale wewnątrz komputerów. Czy w takim razie potrzebujemy budować prawdziwy?

Tak. W prawdziwym eksperymencie pojawiają się zjawiska o których być może nawet nie pomyśleliśmy.



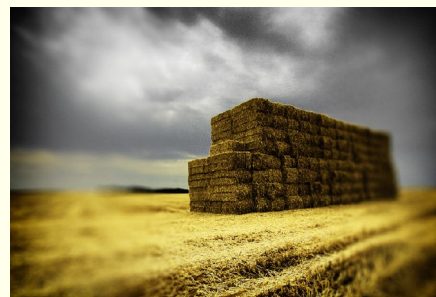
Co jest stogiem siana?

- Przebiegi pęków wiązek co 25 nanosekund (40 MHz)
- $10 * 10^6$ zderzeń w ciągu 1 sekundy widocznych w LHC-b!

Dane przepływające przez eksperyment

	Sekunda	Dzień	Rok
I. przypadków	10^7	10^{12}	10^{14}
Ilość danych	300 GB	30 PB	3 EB ($3*10^{18}$)
I. dysków (300 GB)	1	100 tys	10 mln

- Dla eksperymentów ATLAS i CMS jest znacznie gorzej
 - ATLAS 2PB/sek \equiv 3 mln CD/s
- Zapis wszystkich przypadków jest niemożliwy
- Na każdy przypadek należy jednak „zerknąć” i zdecydować czy jest interesujący.
 - Do „przeglądania” przypadków służy **system wyzwania** czyli filtracji przypadków (tzw. **tryger**).



1 Megabyte (1MB)
A digital photo

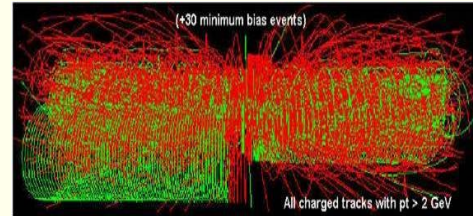
1 Gigabyte (1GB)
= 1000MB
A DVD movie

1 Terabyte (1TB)
= 1000GB
World annual book production

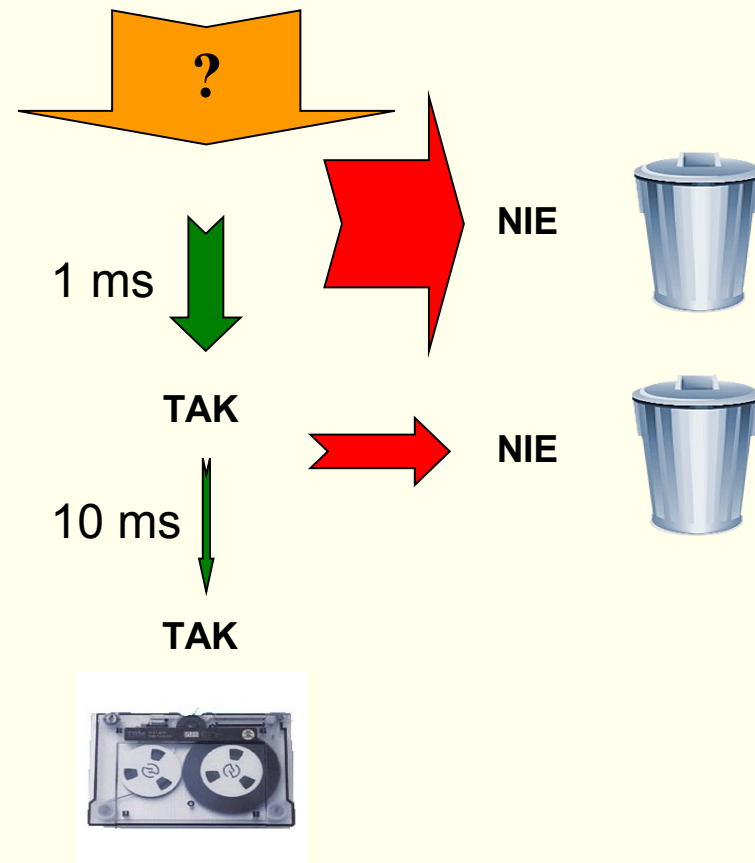
1 Petabyte (1PB)
= 1000TB
Annual production of one LHC experiment

1 Exabyte (1EB)
= 1000 PB
World annual information production

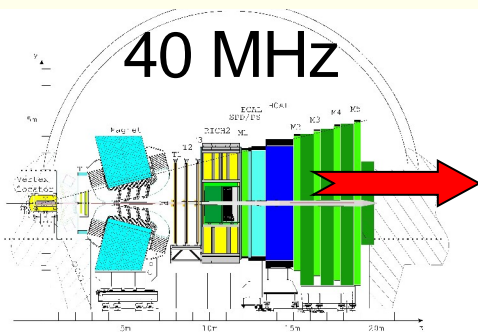
Zbieranie danych - system wyzwalania



- Zadaniem systemu wyzwalania jest przede wszystkim **jak najszybsze odrzucanie zbędnych przypadków** (a nie wybieranie tych interesujących).
- W kolejnych stopniach filtrowania mamy do dyspozycji coraz więcej czasu na dokładniejszą analizę przypadków zaakceptowanych i dokładniejsze odrzucanie.



Zbieranie danych



35 GB/s
1 MHz



2 kHz



$2 \cdot 10^{10}$ przyp./rok

L0 (hardware)

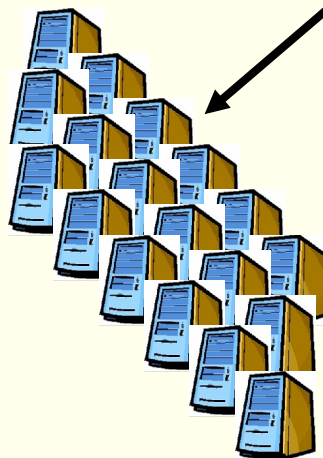
Wstępny poziom wyzwalania

HLT (algorytmy)

Wyższy stopień wyzwalania

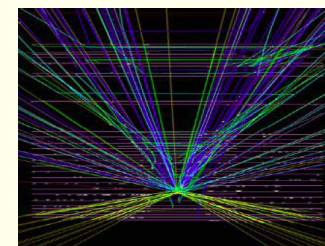
1 MHz \rightarrow 1 μ s/przypadek.
W ciągu 1 μ s nie można nawet
zdekodować danych

Co zrobić ???



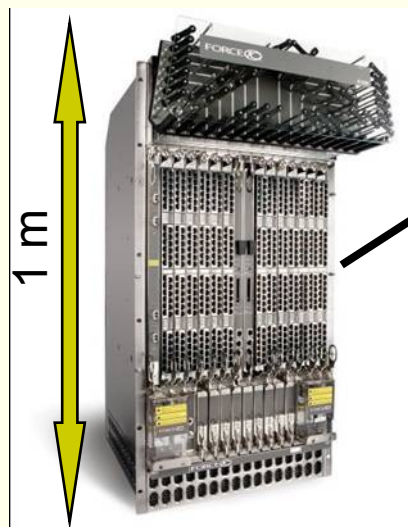
1000 procesorów \rightarrow 1 ms/przypadek

Możliwa staje się
rekonstrukcja śladów w
detektorze wierzchołka w
rzucie $r\phi$

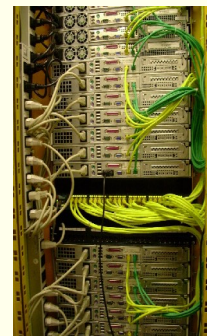
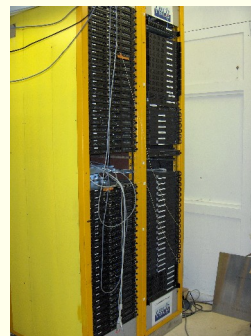
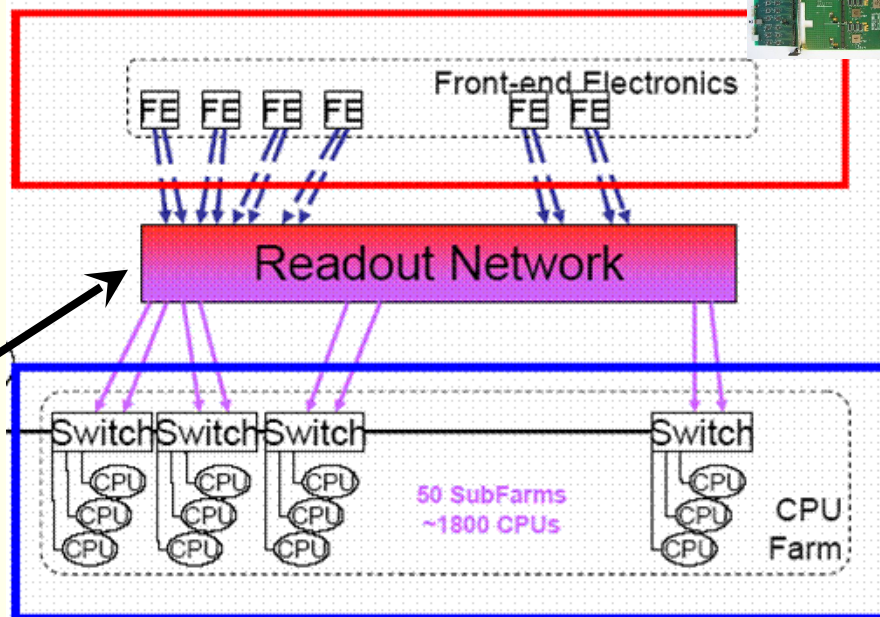


Farma procesorów on-line

1 MHz na wejściu
→ 30 GB/s

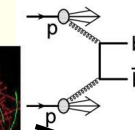
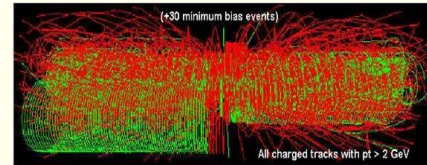


Force10 E1200, 1260 GbE ports
Przepustowość 50 GB/s



1000 CPU
2 kHz na wyjściu
Zapis 250 MB/s

Co jest stogiem siana?



LHC



Eksperyment

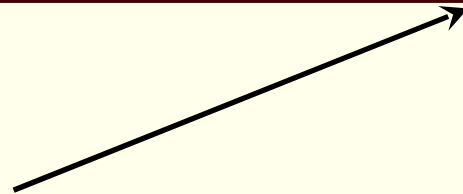


Interesujące oddziaływania p-p

Filtrowanie

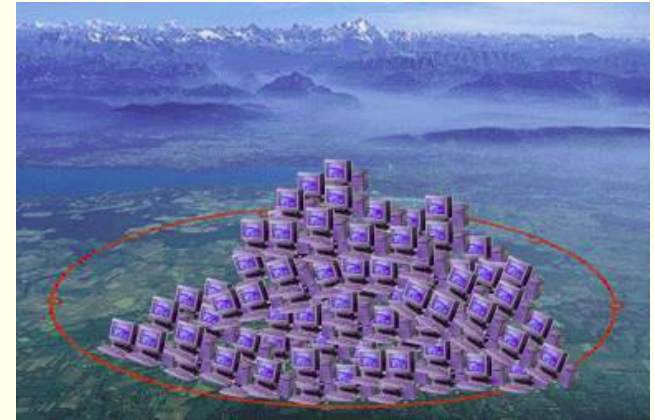
Redukcja > 10^5

15 Petabajtów / rok przefiltrowanych danych z czterech eksperymentów na LHC



Analiza danych

- Analiza danych zapisanych na taśmy
 - Przypadki przefiltrowane
- Niespotykane dotąd wyzwania
 - ~kilka PB danych na rok
 - 200 tys procesorów
 - 10 tys dysków
- Skoncentrowanie infrastruktury w jednym miejscu jest niesłychanie trudne (i niecelowe bo blokuje rozwój innych ośrodków).
 - Instalacja, zasilanie, chłodzenie, obsługa systemów operacyjnych i oprogramowania
- Konieczny model rozproszonych obliczeń czyli zespół współpracujących ze sobą farm komputerowych.
 - **Czy można jednak stworzyć coś bardziej uniwersalnego co byłoby przydatne także dla innych dziedzin?**



GRID – globalny komputer

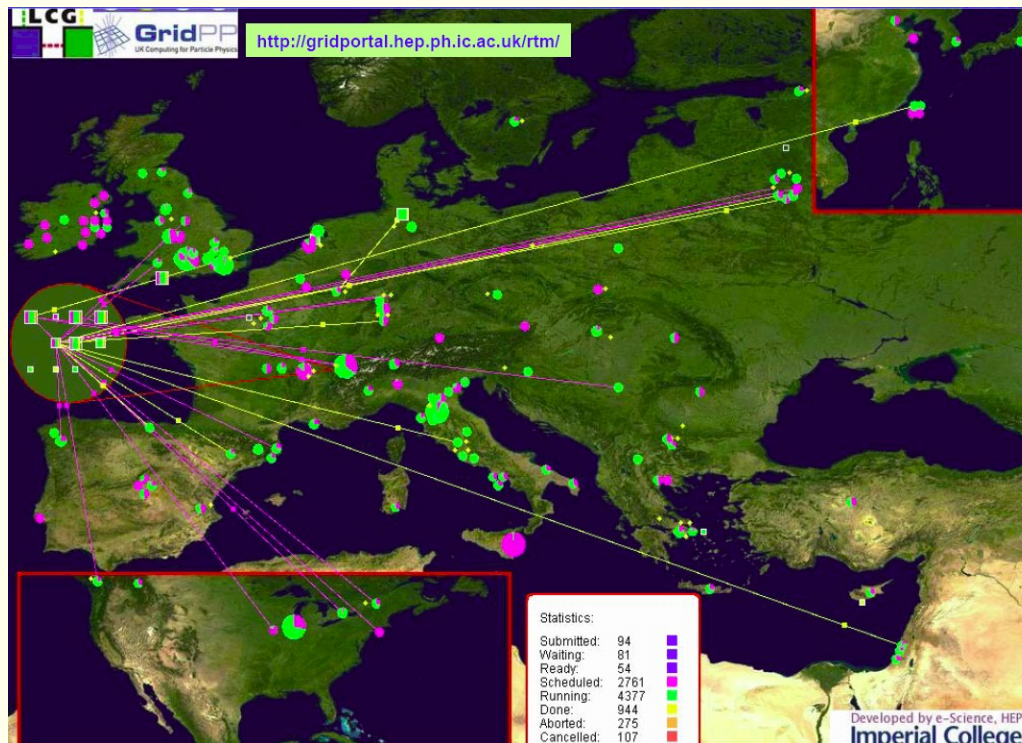
- WWW – przewrót w dostępie do informacji (wynalezione w CERN).
 - Jednolity dostęp do informacji bez względu na miejsce na Ziemi.
- GRID – jednolity dostęp do zasobów obliczeniowych.
 - GRID widziany przez każdego użytkownika jako **jeden wielki komputer**.
 - Dobra platforma współpracy dla dużych projektów.
 - Wspólne narzędzia i dane, dostęp do mocy obliczeniowej.
 - Analogia z **siecią elektryczną** (także w przypadku opłat za pobraną moc obliczeniową)



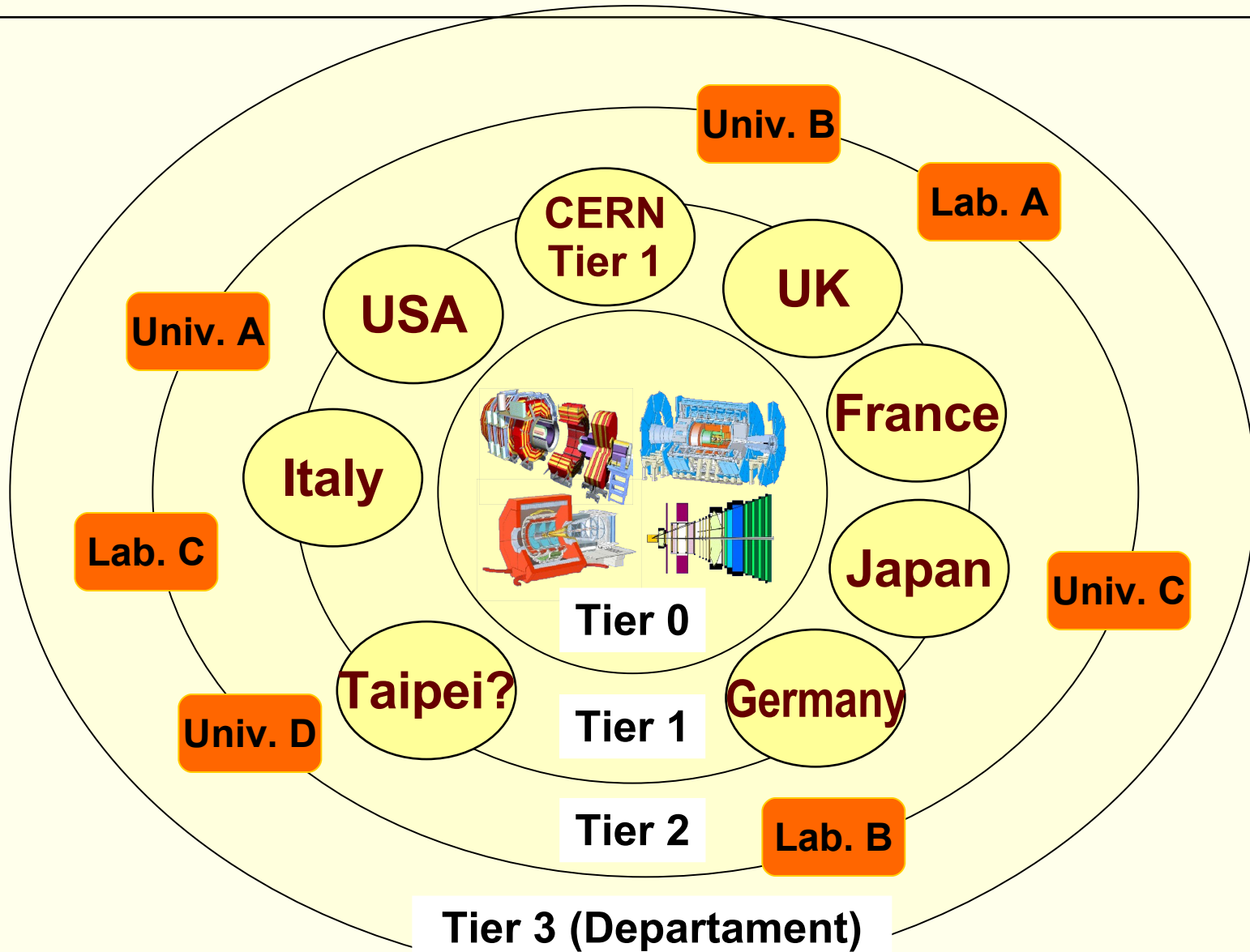
- Pierwszą udaną inicjatywą na dużą skalę były obliczenia w ramach projektu SETI (*Search for Extra-Terrestrial Intelligence*)
 - Każdy posiadacz PC mógł udostępnić moc obliczeniową np. w nocy i uruchomić program analizujący sygnały przychodzące z kosmosu.
 - Projekt zaoszczędził wiele milionów \$

Ogólnosiwiatowa sieć GRID

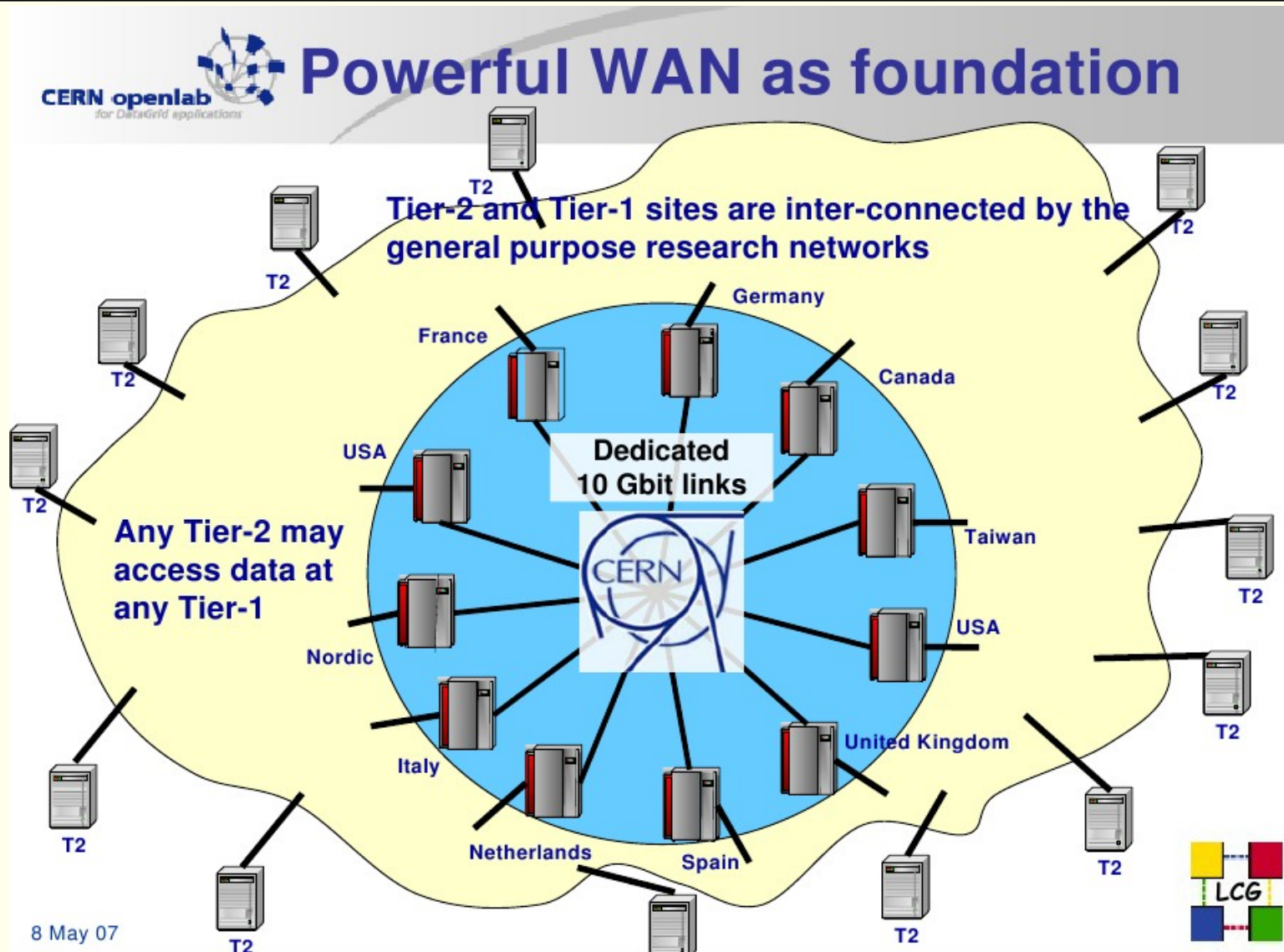
- EGEE jest największym ogólnosiwiatowym projektem GRID
 - Obecnie ponad 40 tys procesorów rozproszonych po całym świecie
 - 100 tys zadań wykonywanych jednocześnie
 - 5 PB przestrzeni dyskowej
- Koordynatorem projektu jest CERN
- Fizyka cząstek jest głównym użytkownikiem (największe potrzeby)



Struktura hierarchiczna (Multi Tier)

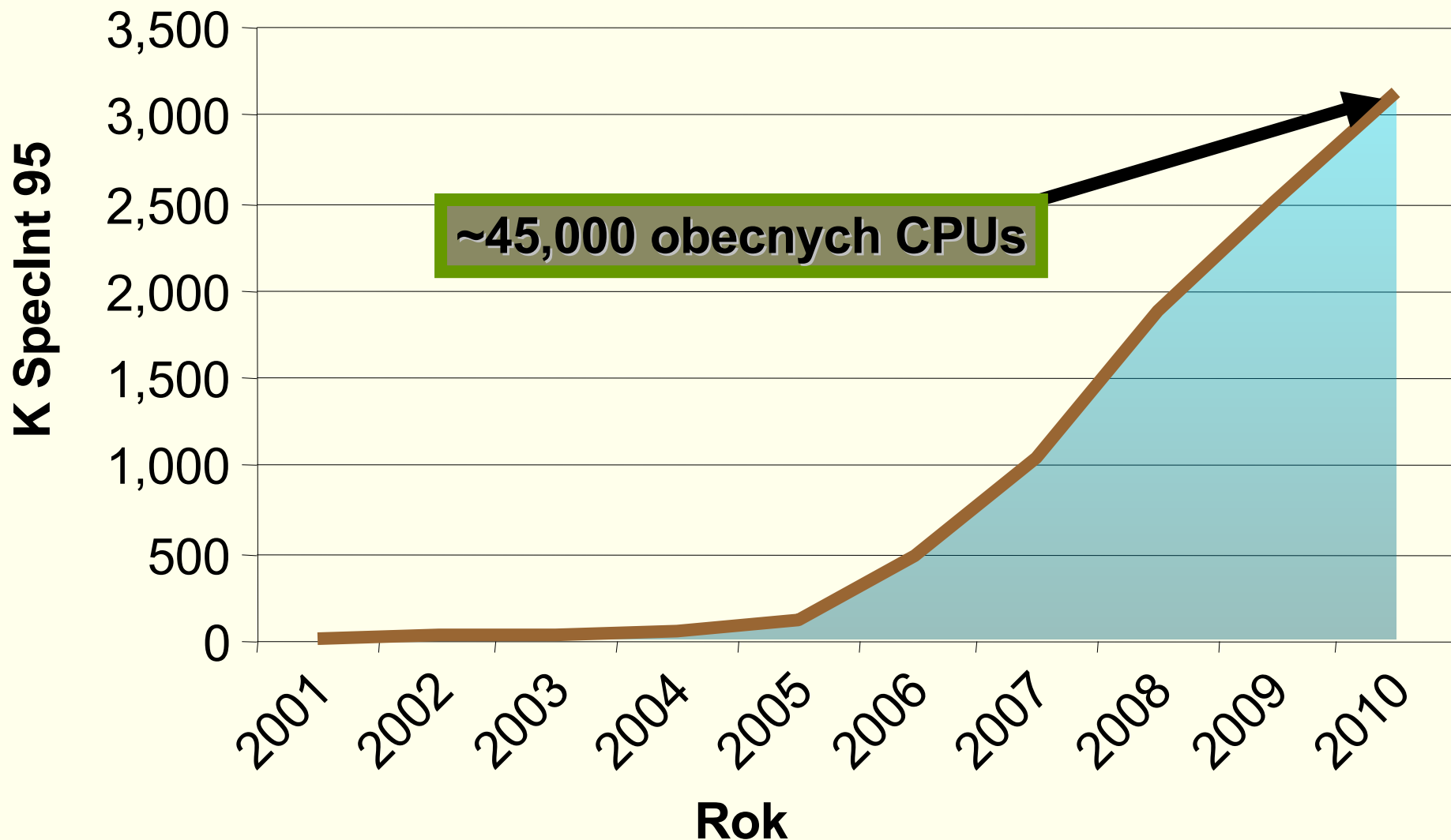


Struktura hierarchiczna (Multi Tier)

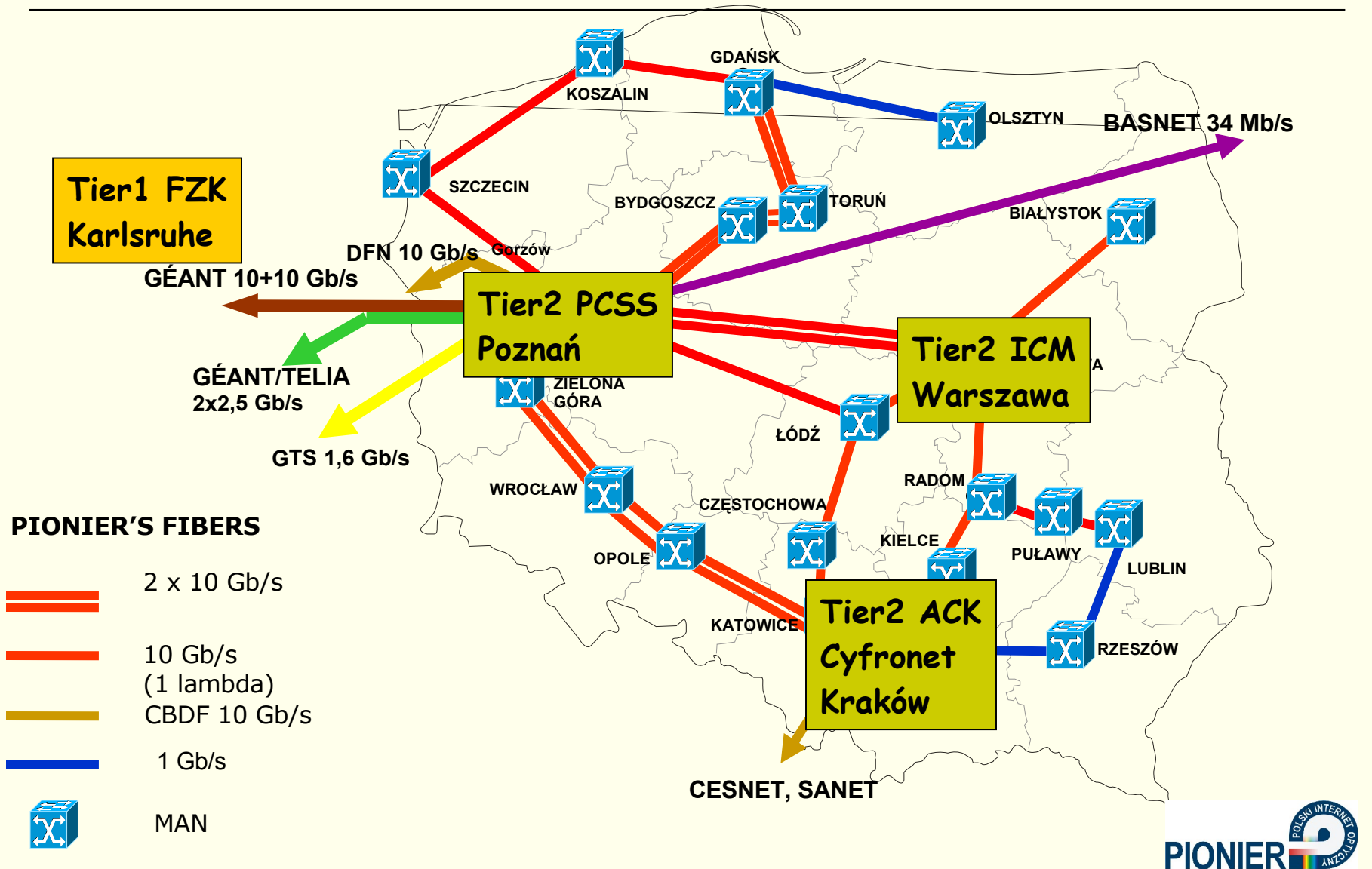


CERN Tier 0+1

Moc obliczeniowa



Polska infrastruktura WLCG



Technologie: farmy PC

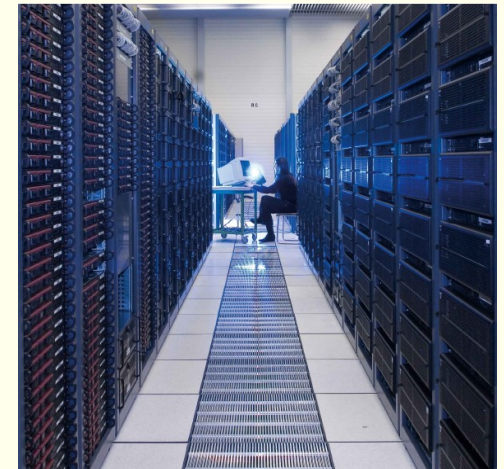
- ❑ Początkowo CERN zdecydował zakupić komputery w formie zwykłych PC dostępnych w sklepach.
- ❑ W międzyczasie technologie RACK i BLADE osiągnęły konkurencyjne ceny.
- ❑ Obecnie w dużych ośrodkach wygrywają technologie specjalistyczne RACK i BLADE



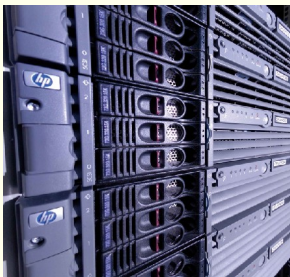
Pierwsze klastry w CERN w standardowej technologii.



Hala w CERN przygotowana do montażu PC w szafach RACK



Serwery typu "rack" w centrum komputerowym CERN



PC typu RACK i BLADE

Technologie - c.d.

- Około 3000 komputerów PC, 2-procesorowych
 - 2, a ostatnio również 4 rdzenie w każdym procesorze

- Ultra-szybkie połączenia sieciowe
 - 1, 10Gb Ethernet
 - Fiber Channel

- Składowanie danych: taśmy
 - Robot: *Sun StorageTek SL8500*
 - Do 300 tys taśm, 500 GB każda
 - Do 2048 napędów o prędkości 100MB/s



- System operacyjny:
 - CERN Scientific **Linux**



CERN openlab



Partnerstwo z czołowymi firmami informatycznymi:

- Najnowsze procesory i technologie sieciowe
- Bazy danych
- Bezpieczeństwo

PARTNERS



ORACLE®

CONTRIBUTORS

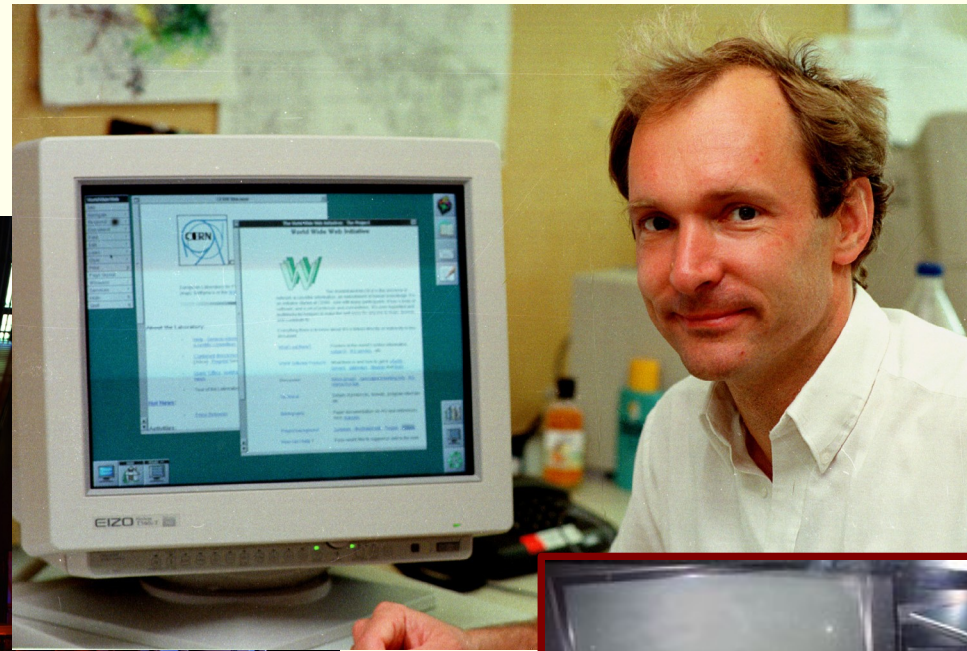


STONESOFT

Made at CERN: WWW, europejski Internet

WWW: Tim Berners-Lee, 1991

CERNET: 1984
(first European TCP/IP network)



Podsumowanie

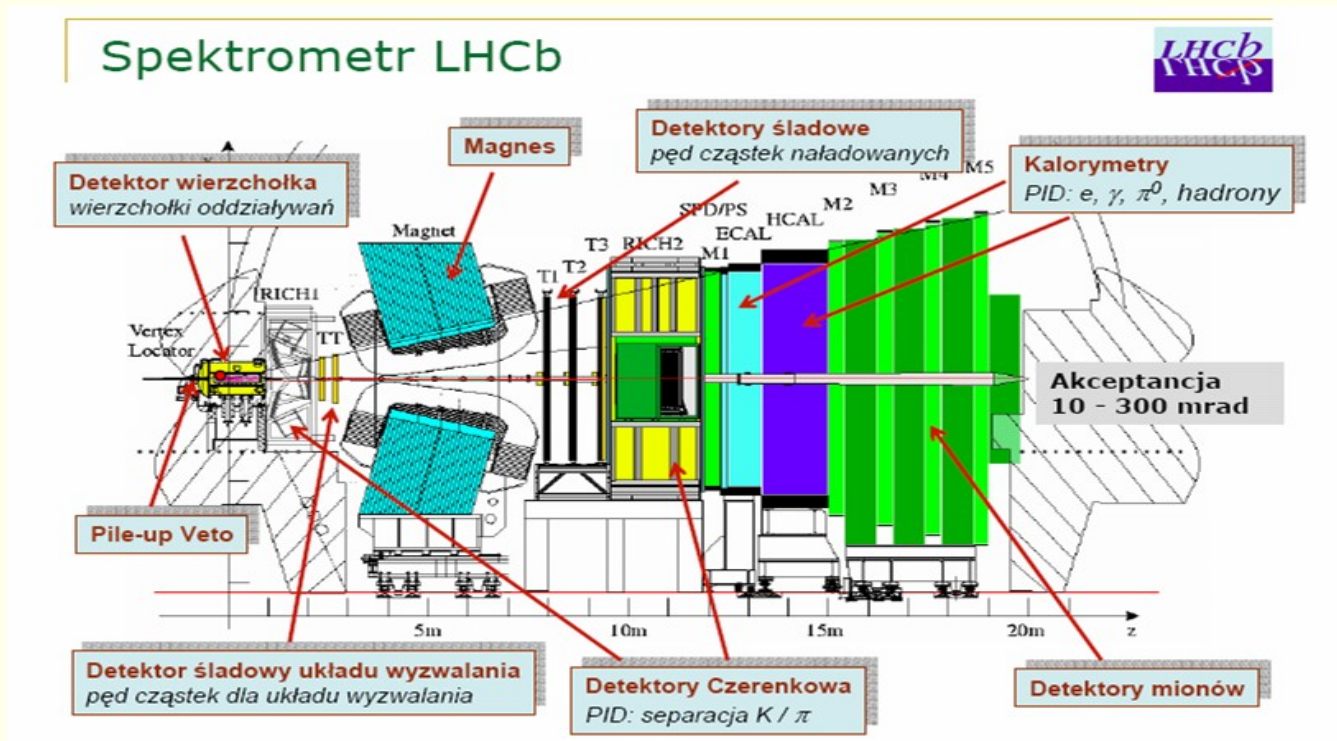
- Eksperymenty na LHC dostarczają ogromnej ilości danych.
- Przypadki których szukamy zdarzają się bardzo rzadko, ~1 na 100 mln.
- Jedynie dzięki komputerom udaje się zebrać, przetworzyć i analizować dane.
- CERN stymuluje rozwój nowych technologii informatycznych (WWW, GRID)



Backup

Projektowanie eksperymentu

- Eksperyment powinien charakteryzować się maksymalnym potencjałem badawczym przy zadanym budżecie (konieczna optymalizacja)
- Projektowanie jest procesem wieloletnim (~10 lat) w trakcie którego wprowadza się wiele poprawek spowodowanych np. rozwojem technologii.



Typowy proces optymalizacji

- Projektujemy zestaw detektorów do pomiaru pędu
 - Najlepszy detektor to taki, który nic nie waży i ma 100 % wydajności
 - Symulacje komputerowe -> dobieramy pozycje i liczbę płaszczyzn pomiarowych, zakładamy jakie materiały będą użyte.
 - Sprawdzamy czy dokładność pomiaru pędu pozwoli na osiągnięcie dobrej jakości wyników analizy fizycznej.
 - Jeżeli nie to zmieniamy geometrię, szukamy nowych materiałów lub technik pomiarowych...
 - Praktyka -> stosujemy konkretne materiały
 - Budujemy prototyp itd..

