

Jak znaleźć igłę w stogu siana

Rola obliczeń komputerowych w eksperymentach fizyki wysokich energii

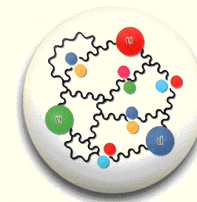
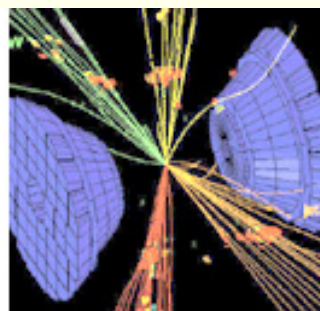
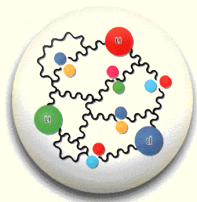
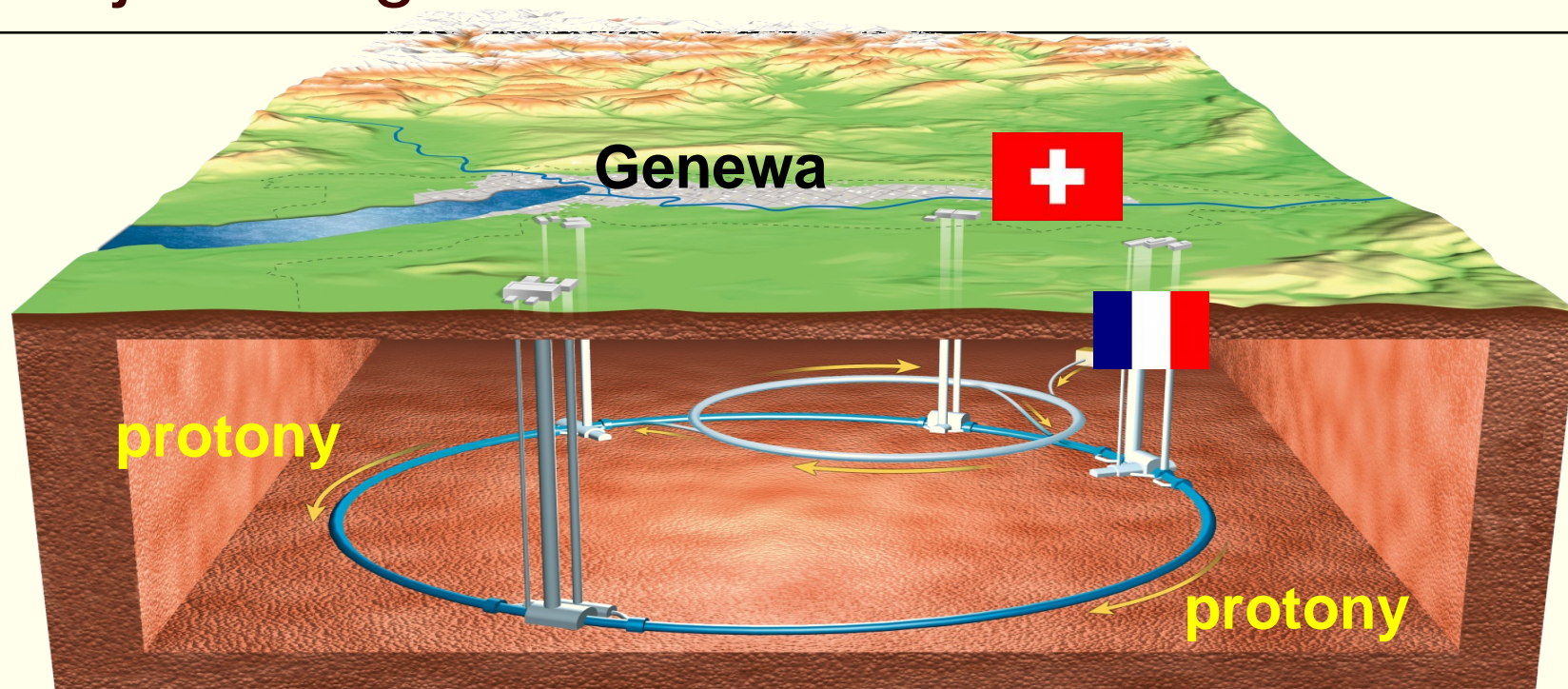
Piotr Golonka
CERN EN/ICE-SCD

Plan

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

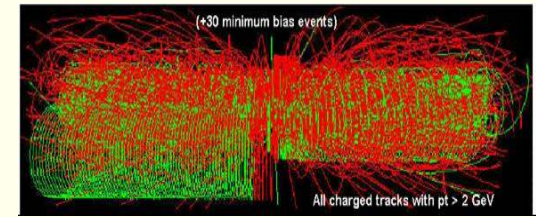
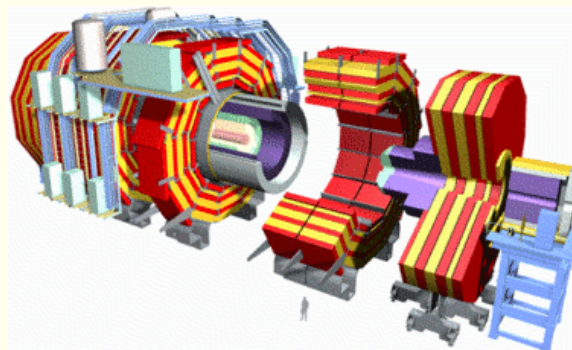


Co jest stogiem siana? - LHC



$$3.5+3.5 \text{ TeV} = 7 \cdot 10^{12} \text{ eV}$$

Co jest stogiem siana? ... i detektory



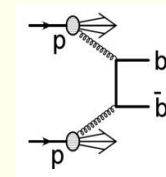
LHC



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

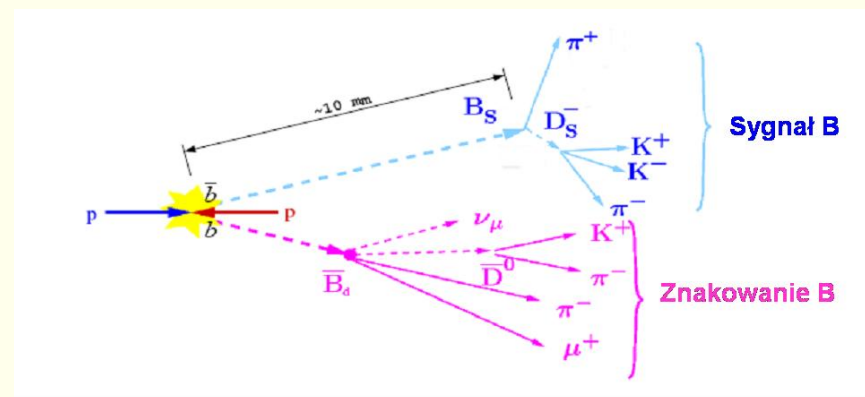
- łamanie symetrii CP w rozpadach długożyciowych mezonów K^0 (1964)

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

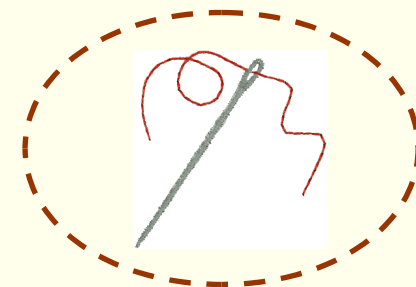


Łamanie CP w układzie mezonów pięknych (B)

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

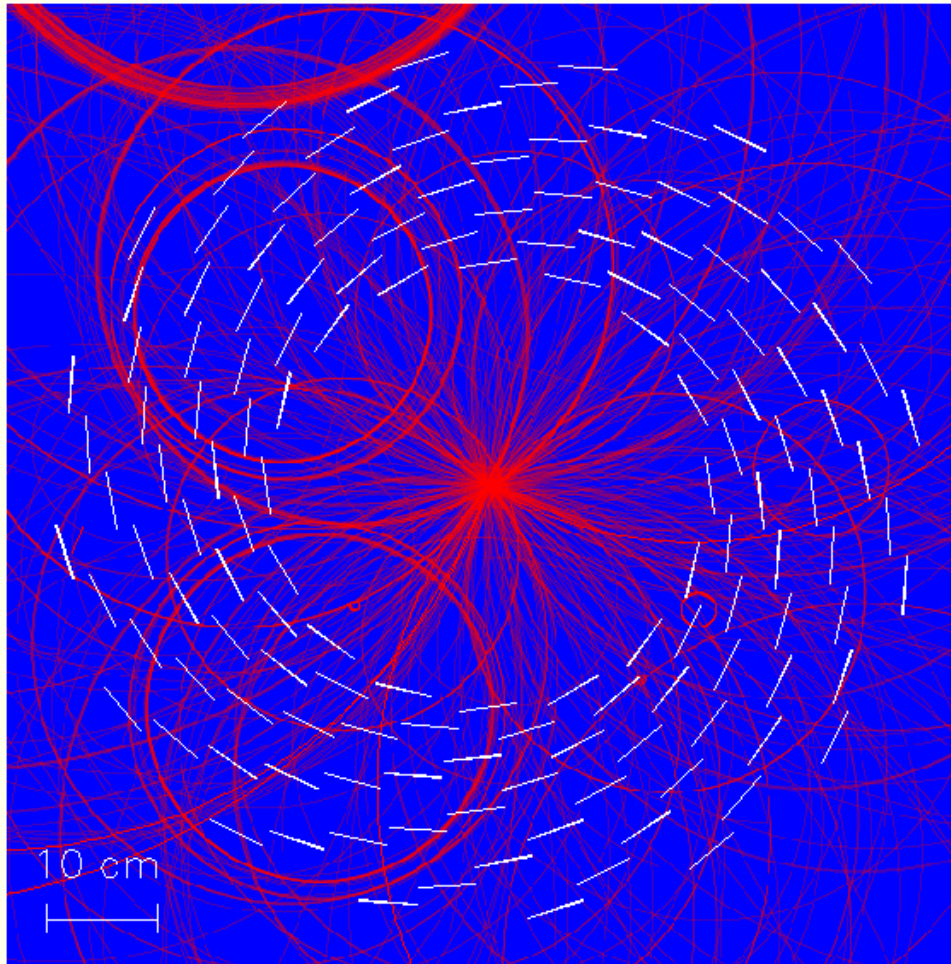
Pozostałe eksperymenty na LHC mają swoje zestawy „igieł”

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



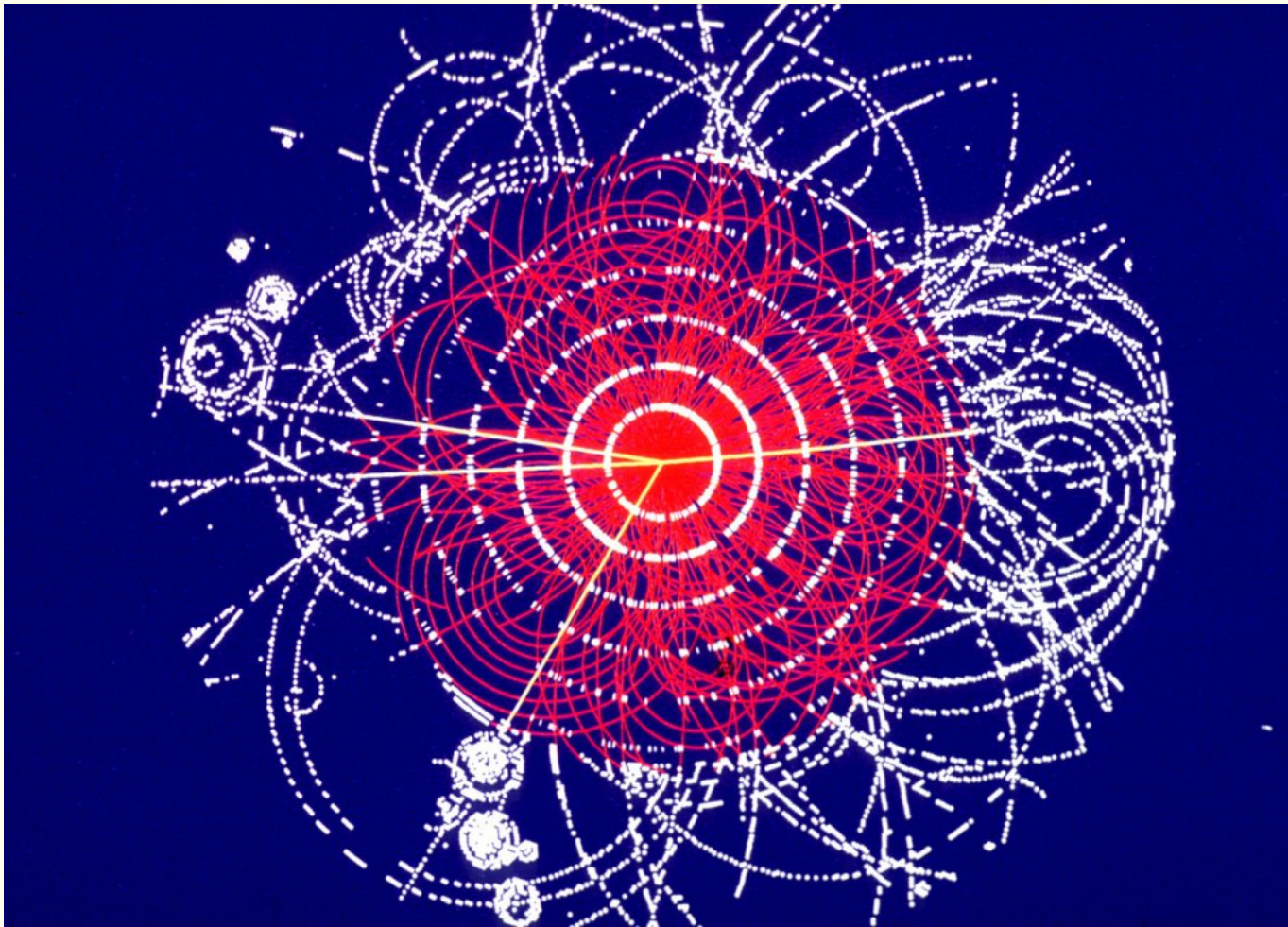
Przykład: rekonstrukcja śladów cząstek

Symulacja komputerowa danych z 1 przypadku w detektorze wewnętrznym eksperymentu ATLAS



Zagadka:
znajdź 4
proste ślady

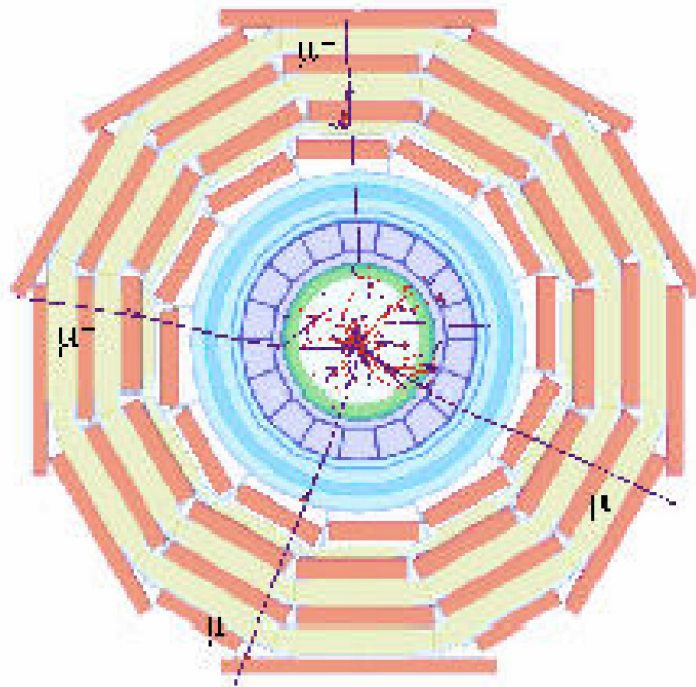
Przykład: rekonstrukcja śladów cząstek



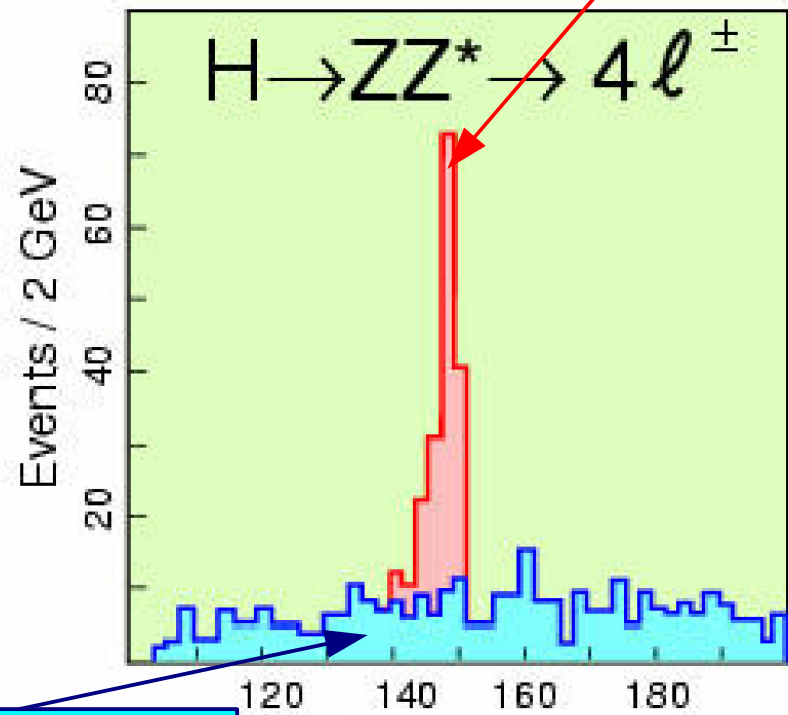
Rozwiązanie:

Rozpad cząstki Higgsa na 4 miony: $H \rightarrow 4\mu$

Analiza danych: co zobaczy Fizyk:

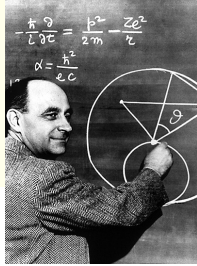


Cząstki Higgsa o masie ~150 GeV



Tło od innych rozpadów dających 4 miony

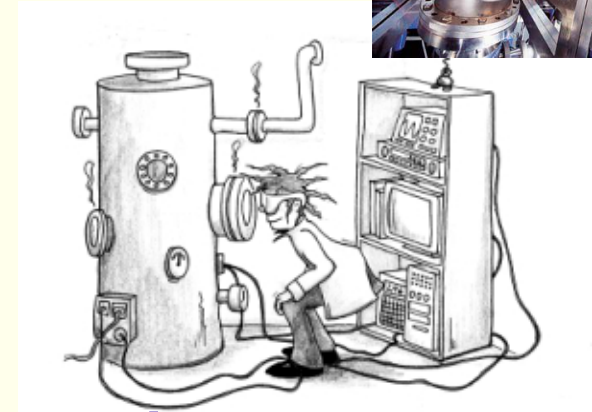
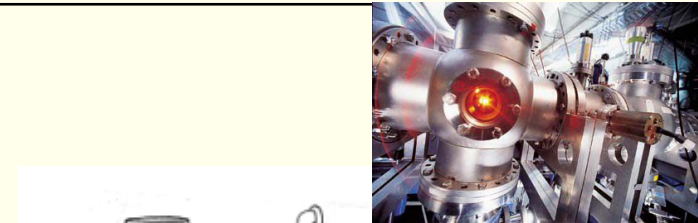
Teoria, doświadczenie i ... komputery



Teoria

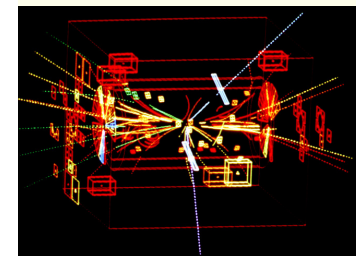
(?)

=



Doświadczenie

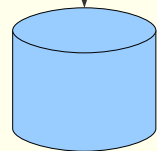
Metody
komputerowe



“doświadczenie = teoria” (?)

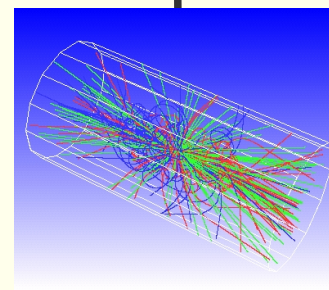


Filtr przypadków

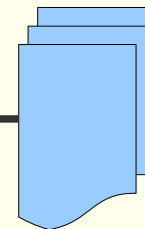


Dane

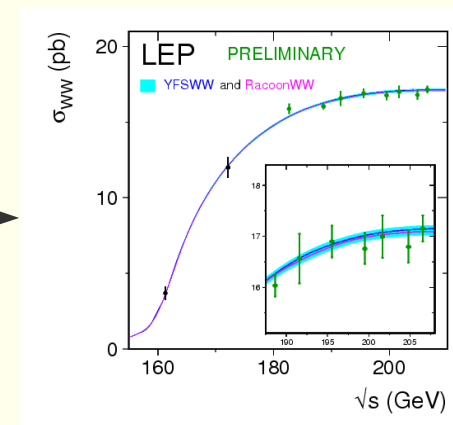
Generator(y)
przypadków



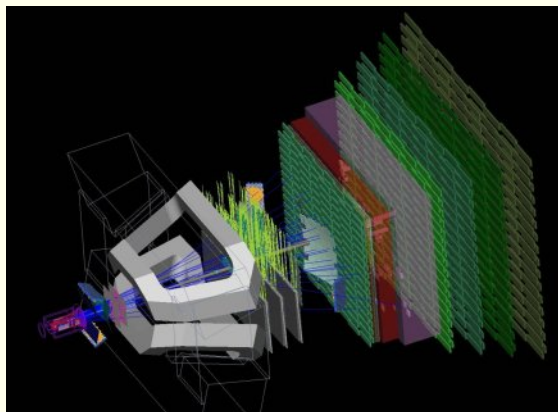
Symulacja
detektora



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



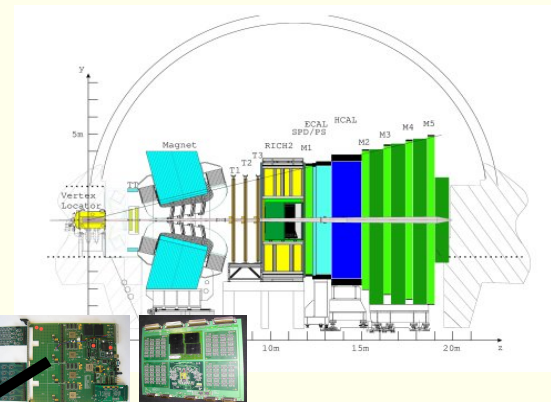
Symulacja i prawdziwy eksperyment



Symulacja

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

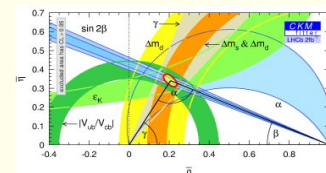
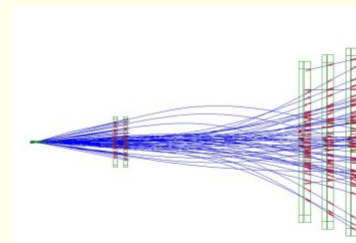
W efekcie modelowania otrzymujemy dane symulowane w formacie takim jakie będą napływać z elektroniki odczytu aparatury eksperymentalnej.



Prawdziwy eksperyment

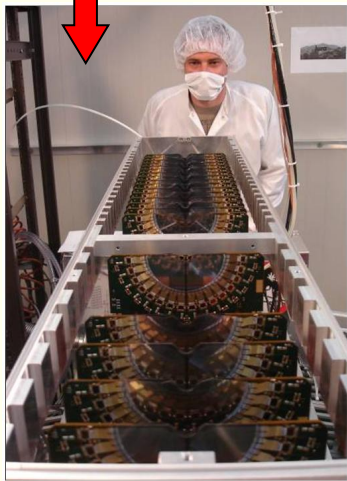
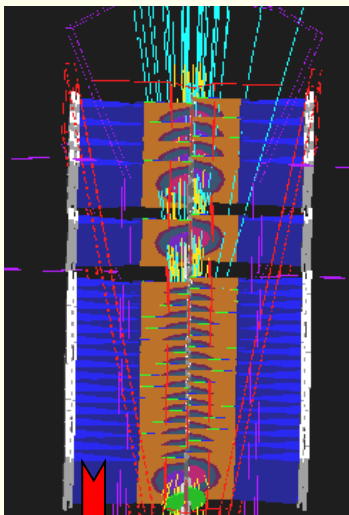
Rekonstrukcja

Analiza fizyczna

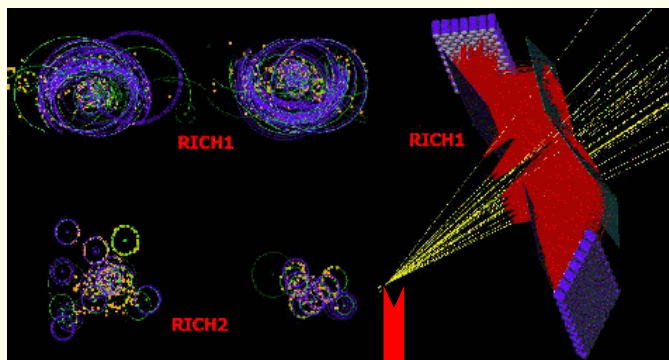


Modelowanie aparatury

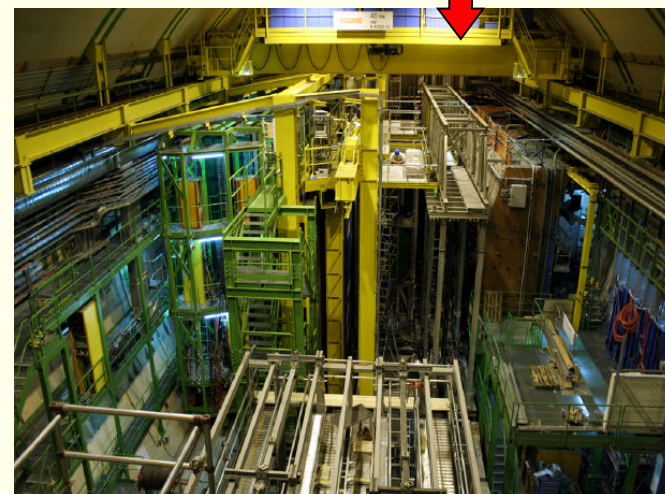
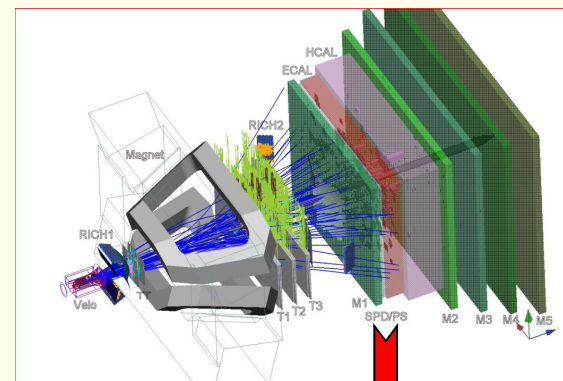
Detektor wierzchołka



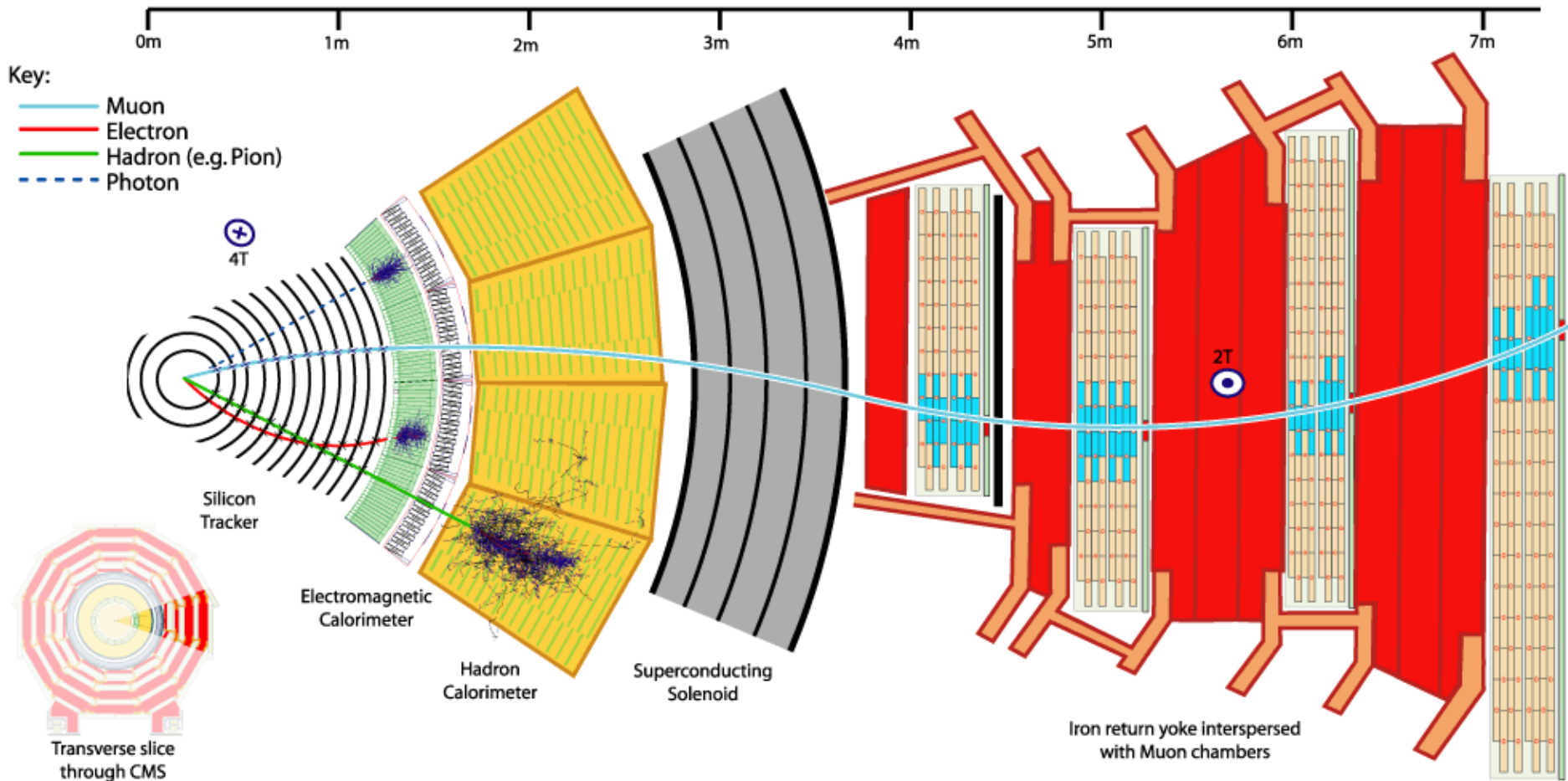
Detektor RICH
Identyfikacja cząstek



Pełny spektrometr



Symulacja zjawisk w detektorach



Slajd ze strony www.eksperymentu CMS

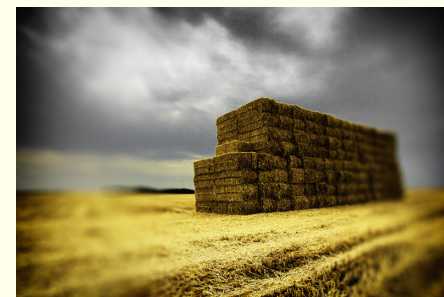
Co jest stogiem siana

- Przekięcia pęków wiązki: co 25 nanosekund (częstotliwość LHC: 40 MHz)
- Nie wszystkie “pęczki” są pełne – zderzenia: 31 MHz
- $10 * 10^6$ zderzeń w ciągu 1 sekundy widocznych w eksperymencie 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



Dygresja... ile to bajtów?

1 Megabajt (1MB)

zdjęcie z aparatu cyfrowego: 2 MB



1 Gigabajt (1GB) = 1000MB

film na nośniku DVD: 6 GB



1 Terabajt (1TB) = 1000GB

Największe twarde dyski: 1TB

Światowa roczna produkcja książek: 8TB

Biblioteka kongresu USA: 10 TB



1 Petabajt (1PB) = 1000TB

Roczne składowanie danych w LHC: 14 PB

Informacja w WWW: 8PB

1 Eksabajt (1EB) = 1000 PB

Roczna produkcja informacji zapisanej cyfrowo: 5 EB

Wszystkie dotąd wypowiedziane słowa: 5EB

Wszystkie twarde dyski w stanie Minesota, USA (5 mln mieszkańców): 1EB

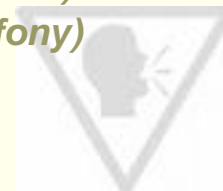
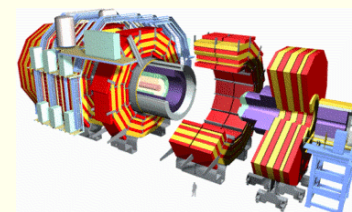
Przepływ cyfrowej informacji w 2002: 18 EB (z czego 98% to telefony)

Ilość danych "widzianych" przez eksperyment na LHC: 3 EB

1 Zetabajt (1ZB) = 1000 EB

Roczna konsumpcja informacji w USA: 3.6 ZB

(55% to gry komputerowe, 35% telewizja)



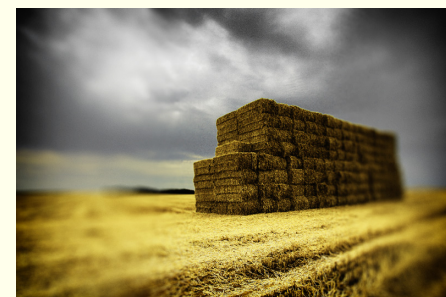
Co jest stogiem siana

- Przekięcia pęków wiązki: co 25 nanosekund (częstotliwość LHC: 40 MHz)
- Nie wszystkie “pęczki” są pełne – zderzenia: 31 MHz
- $10 * 10^6$ zderzeń w ciągu 1 sekundy widocznych w eksperymencie LHC-b!

Dane przepływające przez eksperyment

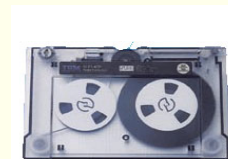
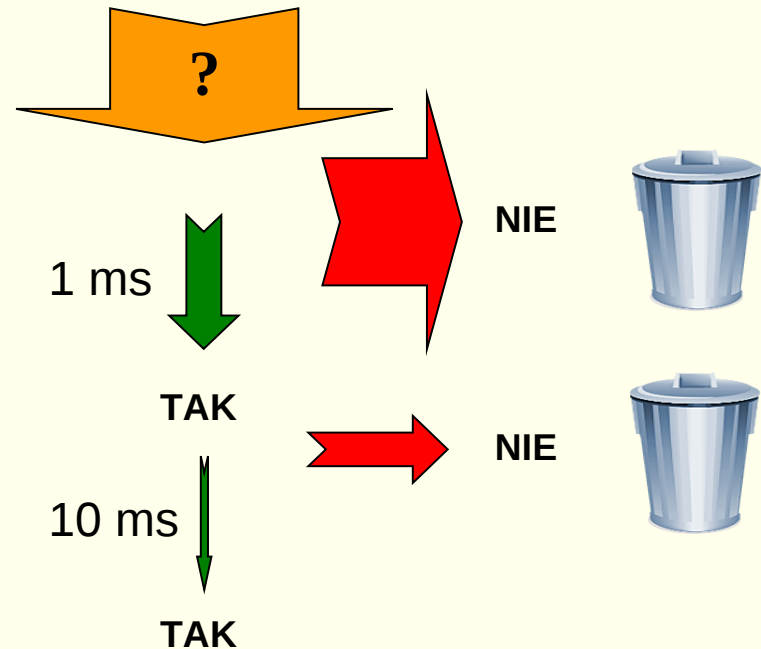
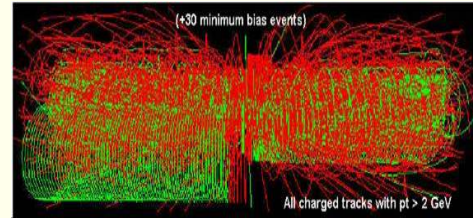
	Sekunda	Dzień	Rok
I. przypadków	10^7	10^{12}	10^{14}
Ilość danych	300 GB	30 PB	3 EB ($3*10^{18}$)
I. dysków (300 GB)	1	100 tys	10 mln

- 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 wyzwiania** czyli filtracji przypadków (tzw. **tryger**).

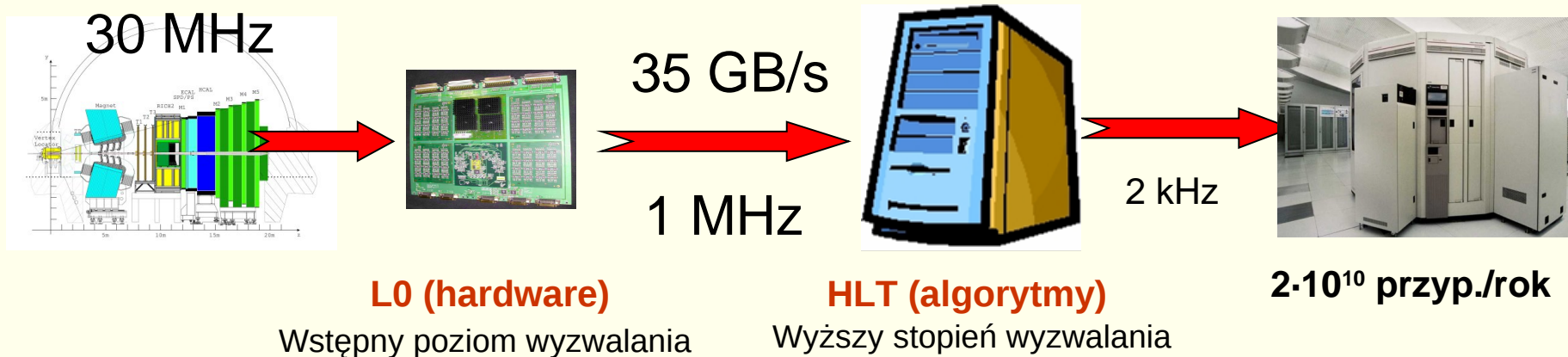


Zbieranie danych - system wyzwalania

- 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.

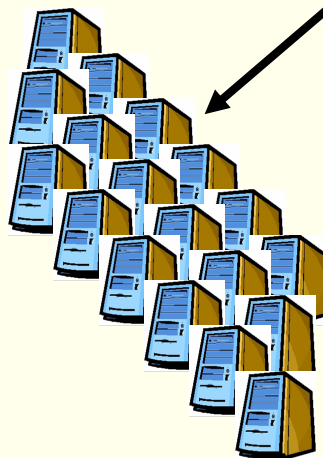


Zbieranie danych



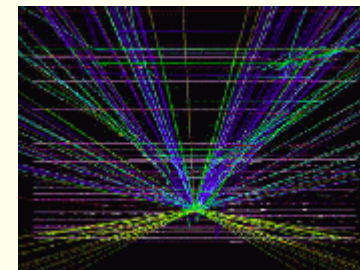
1 MHz \rightarrow 1 μ s/przypadek.
W ciągu 1 μ s nie można nawet zdekodować danych

Co zrobić ???



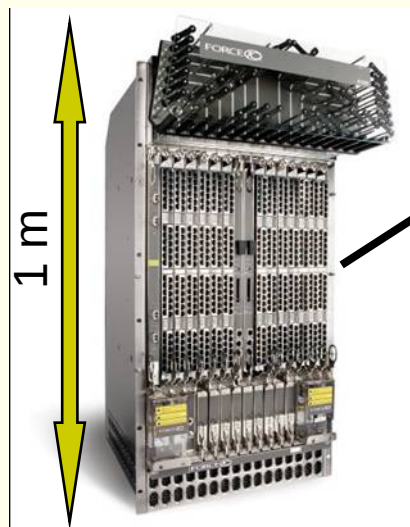
1000 procesorów \rightarrow 1 ms/przypadek

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

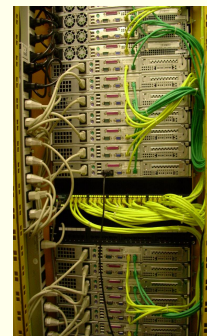
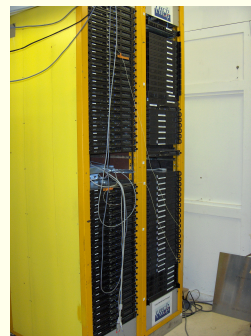
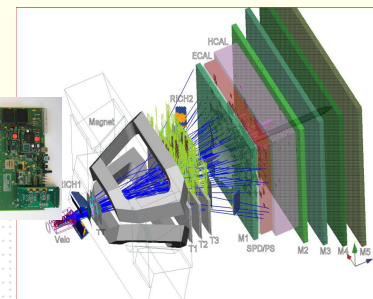
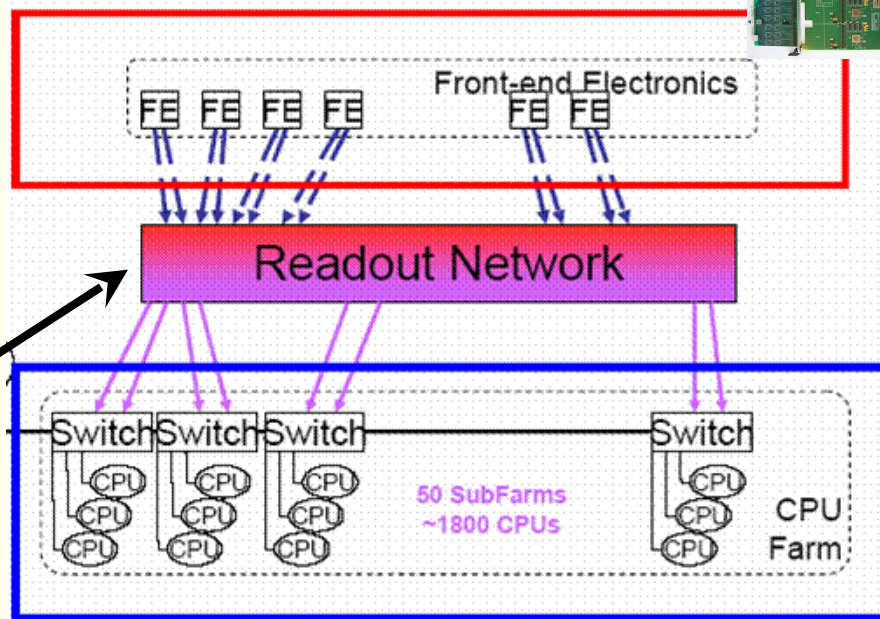


Farma procesorów on-line

1 MHz na wejściu
→ 30 GB/s

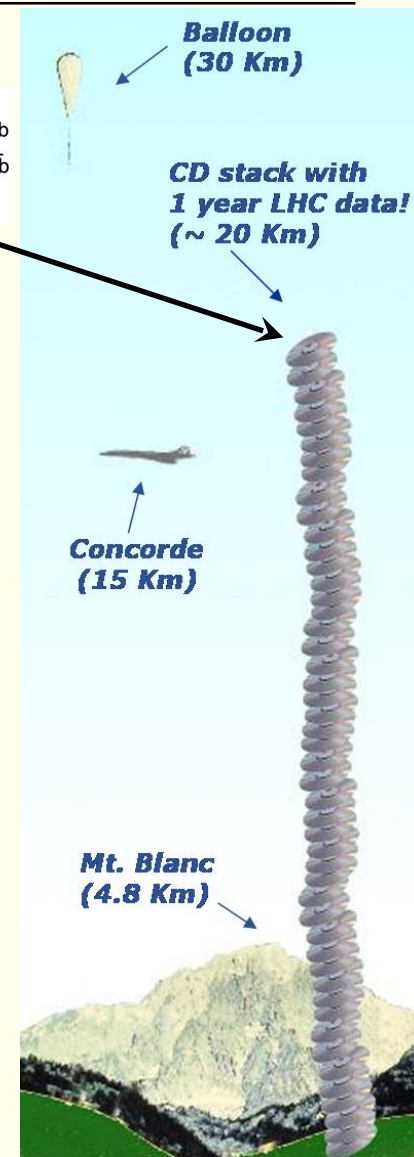
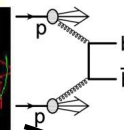
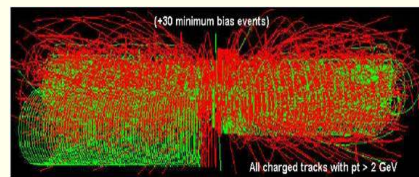
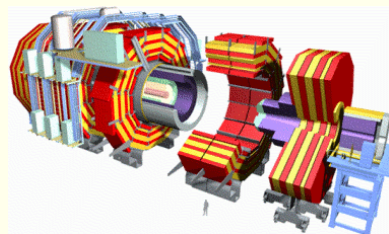


Force10 E1200:
1260 portów GbE
Przepustowość 50 GB/s



1000 CPU
2 kHz na wyjściu
Zapis 250 MB/s

Igła czy stóg siana?



LHC



Eksperymenty



Interesujące oddziaływania p-p

Filtrowanie

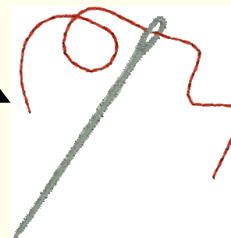
Redukcja > 10^5

3 Eksabajty/rok



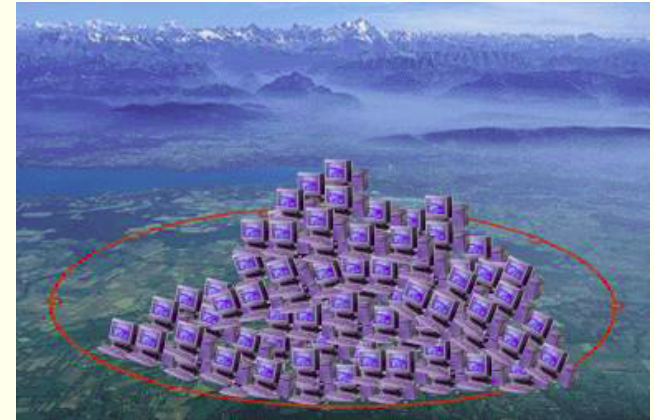
15 Petabajtów/rok

15 Petabajtów / rok przefiltrowanych danych z czterech eksperymentów na LHC



Analiza danych

- Analiza danych zapisanych na taśmy
 - Przypadki przefiltrowane
- Niespotykane dotąd wyzwania
 - ~kilkanaście 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

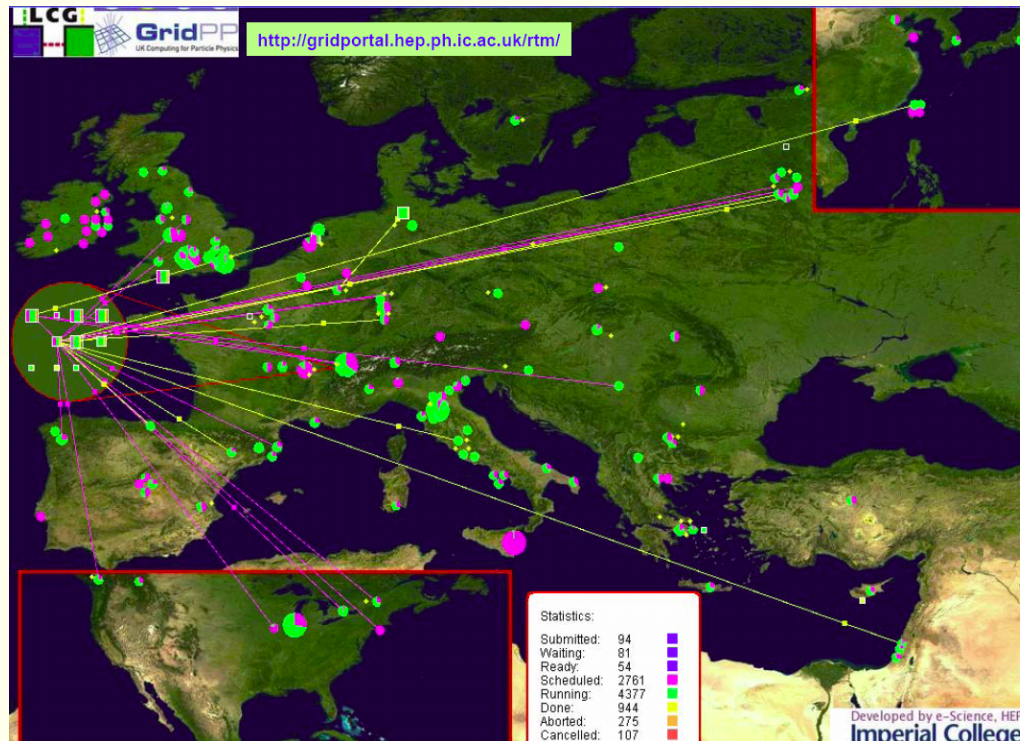
- WWW – przewrót w dostępie do informacji (wynalezione w CERN).
 - Jednolity dostęp do informacji bez względu na miejsce na Ziemi.
- GRID – jednolity dostęp do zasobów obliczeniowych.
 - GRID widziany przez każdego użytkownika jako **jeden wielki komputer**.
 - Dobra platforma współpracy dla dużych projektów.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



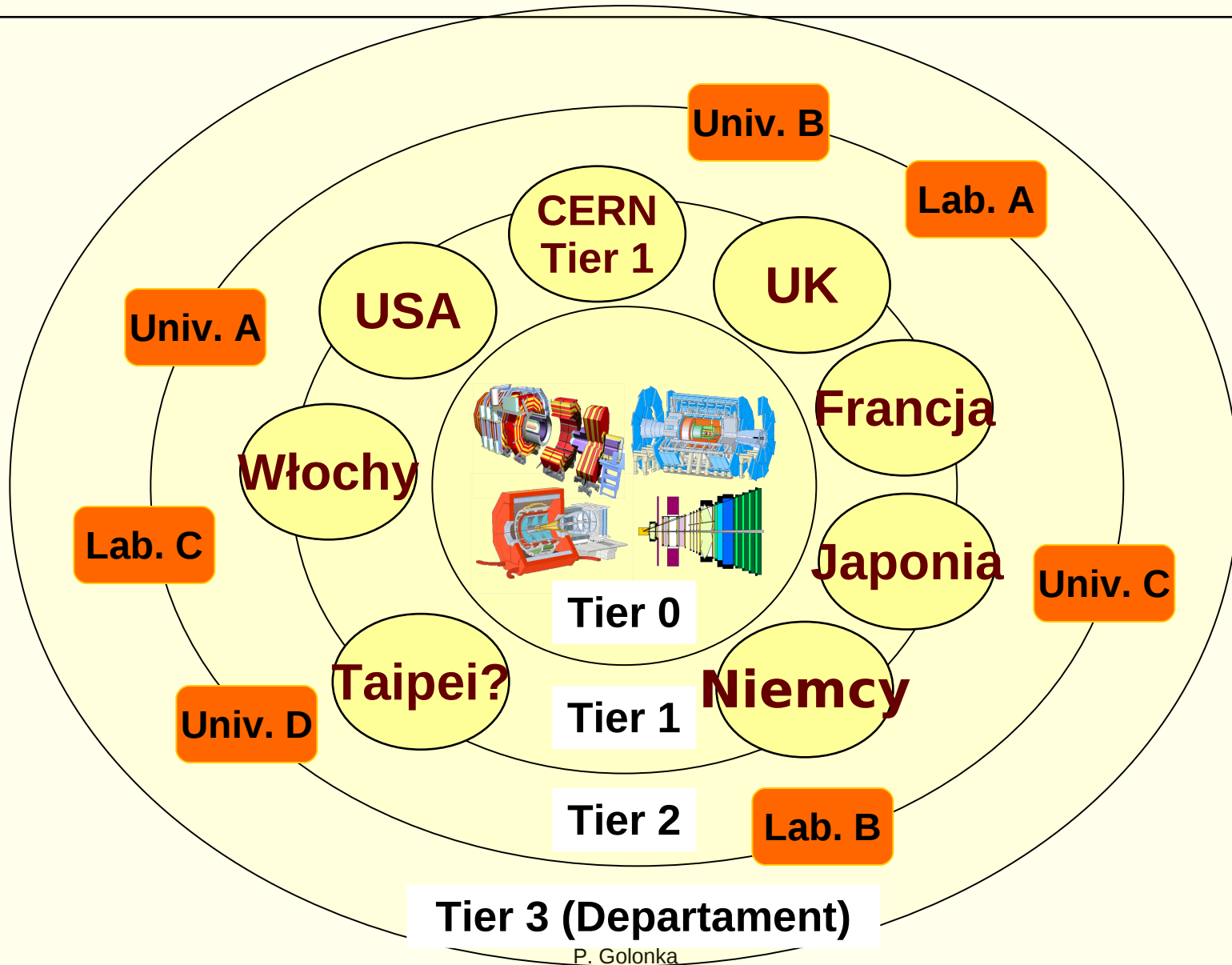
- Pierwszą udaną inicjatywą na dużą skalę były obliczenia w ramach projektu SETI (*Search for Extra-Terrestrial Intelligence*)
 - Każdy posiadacz PC mógł udostępnić moc obliczeniową np. w nocy i uruchomić program analizujący sygnały przychodzące z kosmosu.
 - Projekt zaoszczędził wiele milionów \$

Ogólnosiwiatowa sieć GRID

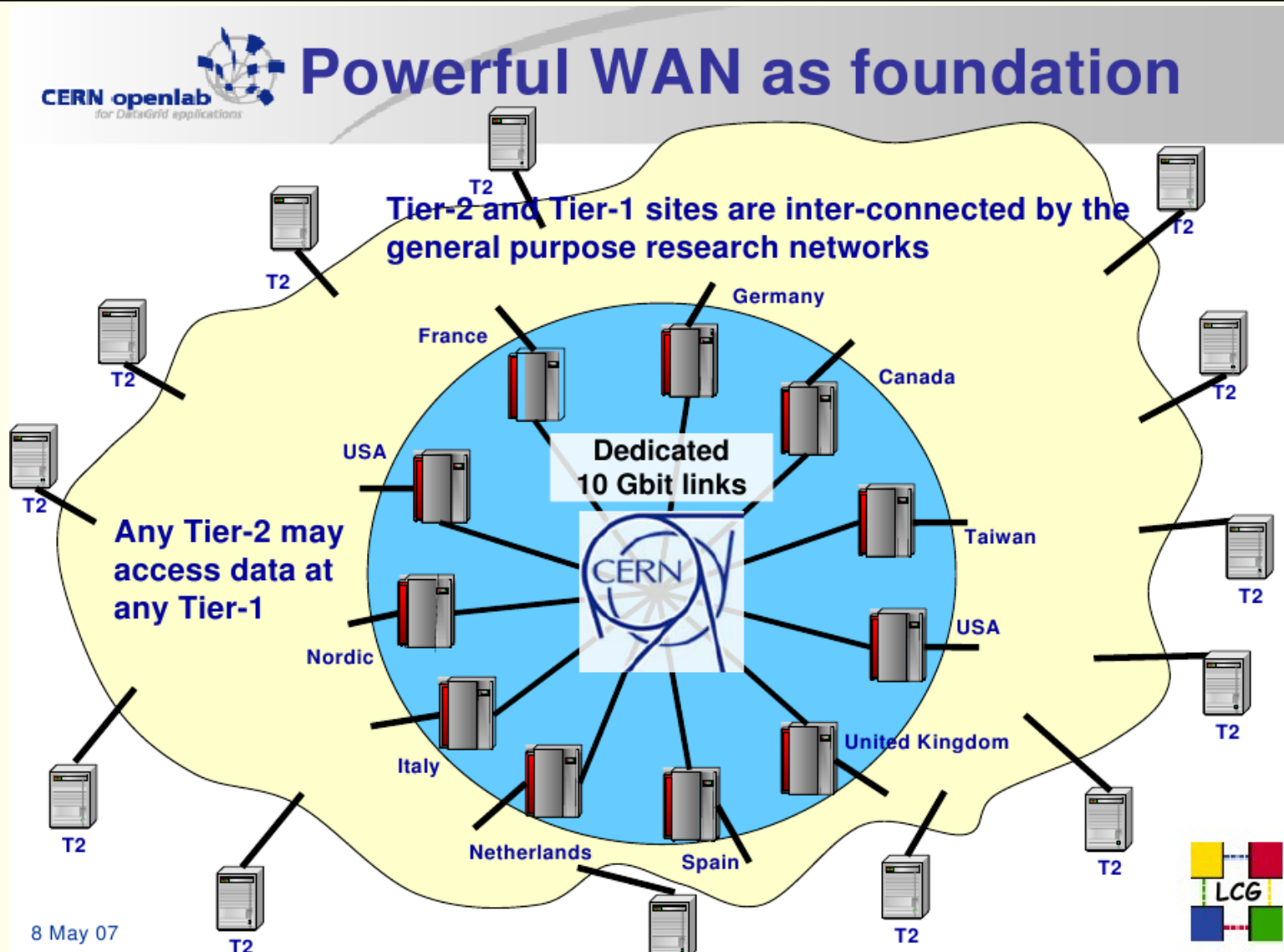
- EGEE jest największym ogólnosiwiatowym projektem GRID
 - Obecnie ponad 80 tys procesorów
 - 300 ośrodków naukowych w 50 krajach na całym świecie
 - 10 000 użytkowników
 - 100 tys zadań wykonywanych jednocześnie
 - 15 PB przestrzeni dyskowej
- Koordynatorem projektu jest CERN
- Fizyka cząstek jest głównym użytkownikiem (największe potrzeby)



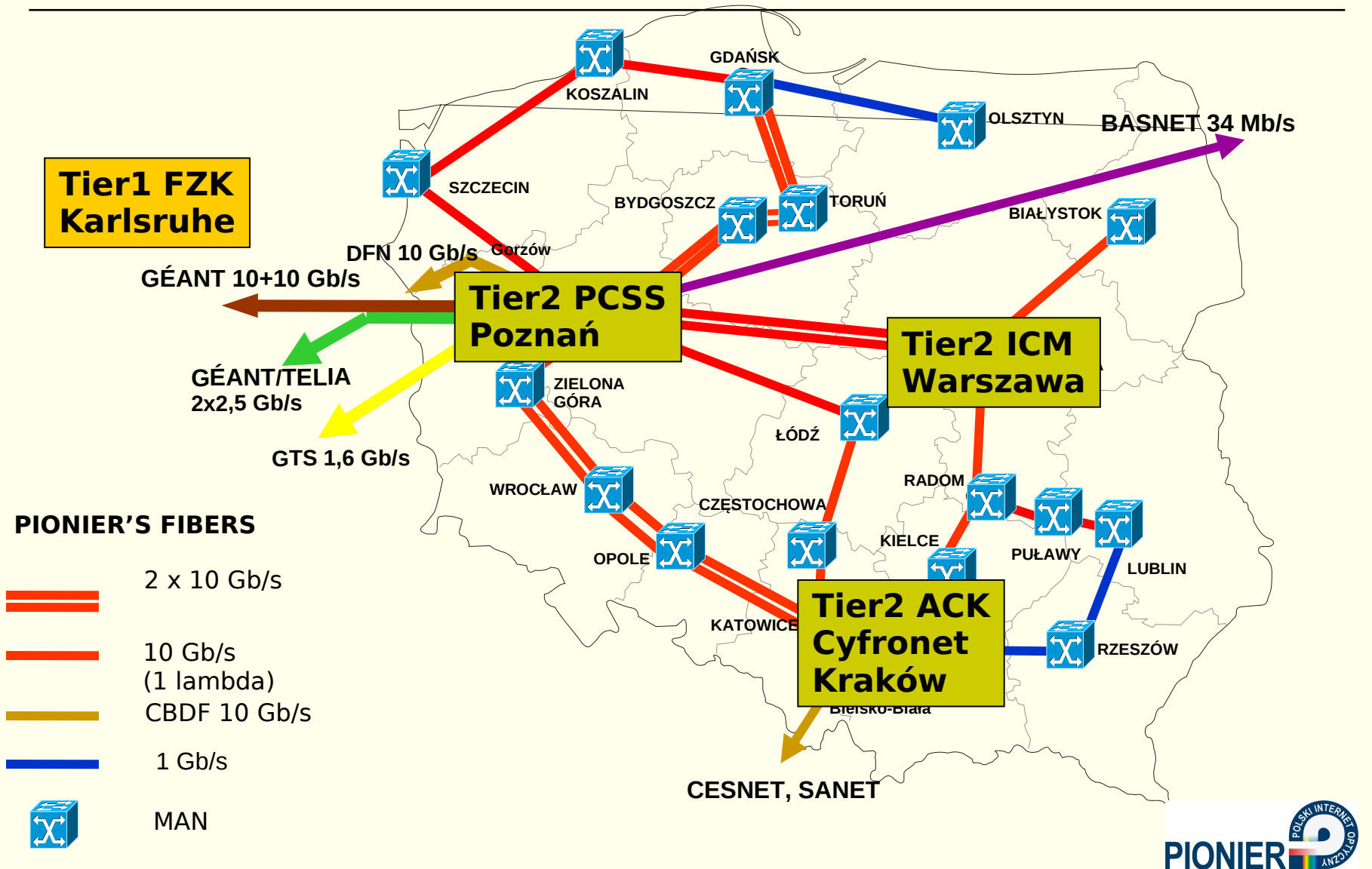
Struktura hierarchiczna (Multi Tier)



Struktura hierarchiczna (Multi Tier)



Polska infrastruktura WLCG



Więcej informacji...

- <http://www.gridcafe.org>

GridCafé

*The place for everybody to learn about **grid computing***



- <http://lcg.web.cern.ch/lcg/monitor.htm>
- Real-Time grid monitor:
<http://gridportal.hep.ph.ic.ac.uk/rtm/>

Technologie: farmy PC

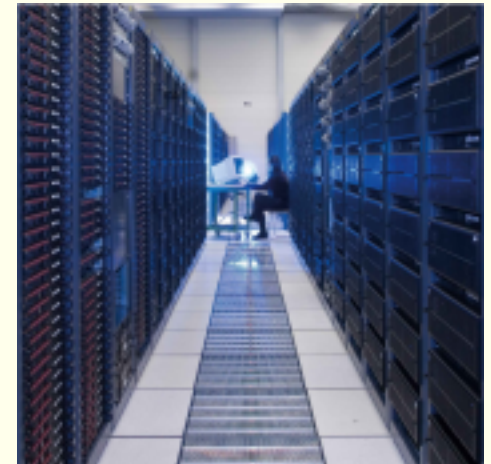
- Początkowo CERN zdecydował zakupić komputery w formie zwykłych PC dostępnych w sklepach.
- W międzyczasie technologie RACK i BLADE osiągnęły konkurencyjne ceny.
- Obecnie w dużych ośrodkach wygrywają technologie specjalistyczne RACK i BLADE



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.

- O(10000) procesorów (rdzeni)
 - Kilka procesorów w komputerze, kilka rdzeni w procesorze, wirtualizacja...
- Ultra-szybkie połączenia sieciowe
 - 1, 10Gb Ethernet
 - Fiber Channel
- Składowanie danych: taśmy
 - np. 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
- Automatyka przemysłowa
- Bezpieczeństwo



World Wide Web, europejski Internet

WWW:Tim Berners-Lee, 1989-2009!



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)