

# Jak znaleźć igłę w stogu siana

---

Rola obliczeń komputerowych w eksperymentach fizyki wysokich energii

Piotr Golonka  
CERN IT/CO-BE

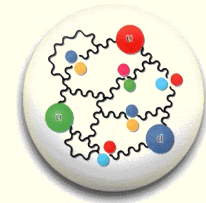
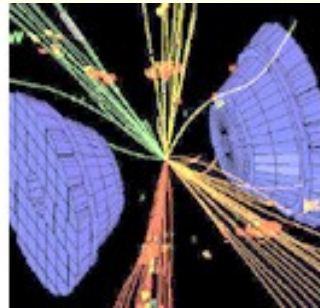
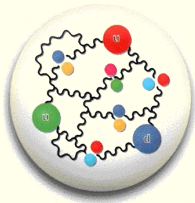
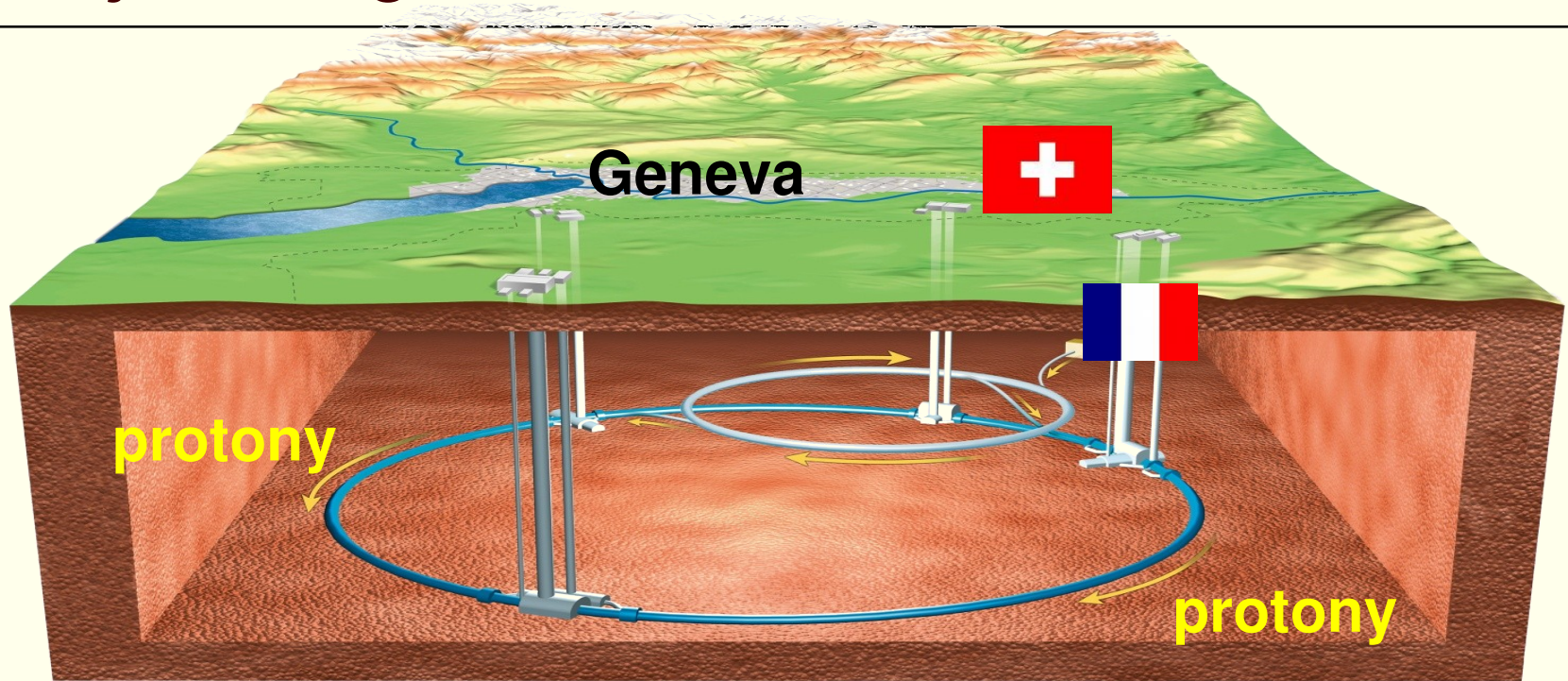
# Plan

---

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

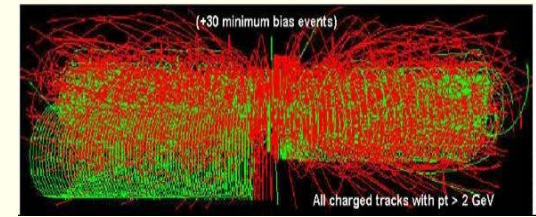
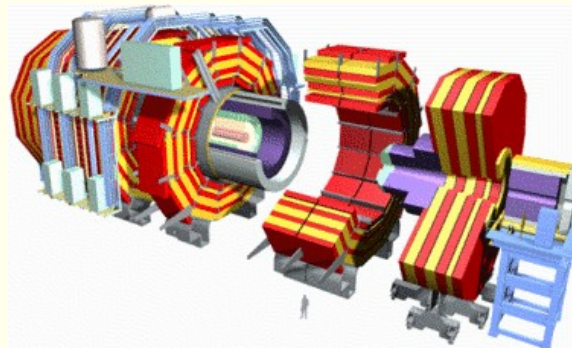


# Co jest stogiem siana? - LHC



**14 TeV =  $14 \cdot 10^{12}$  eV**

# Co jest stogiem siana? ... i detektory



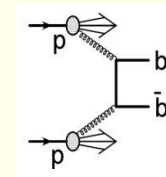
LHC



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

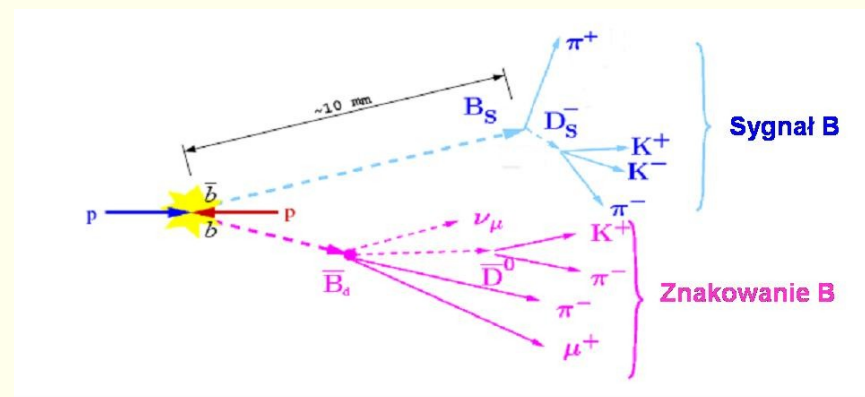
- łamanie symetrii CP w rozpadach długożyciowych mezonów  $K^0$  (1964)

#### 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

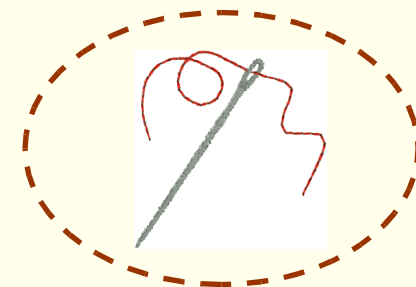


### Łamanie CP w układzie mezonów pięknych (B)

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

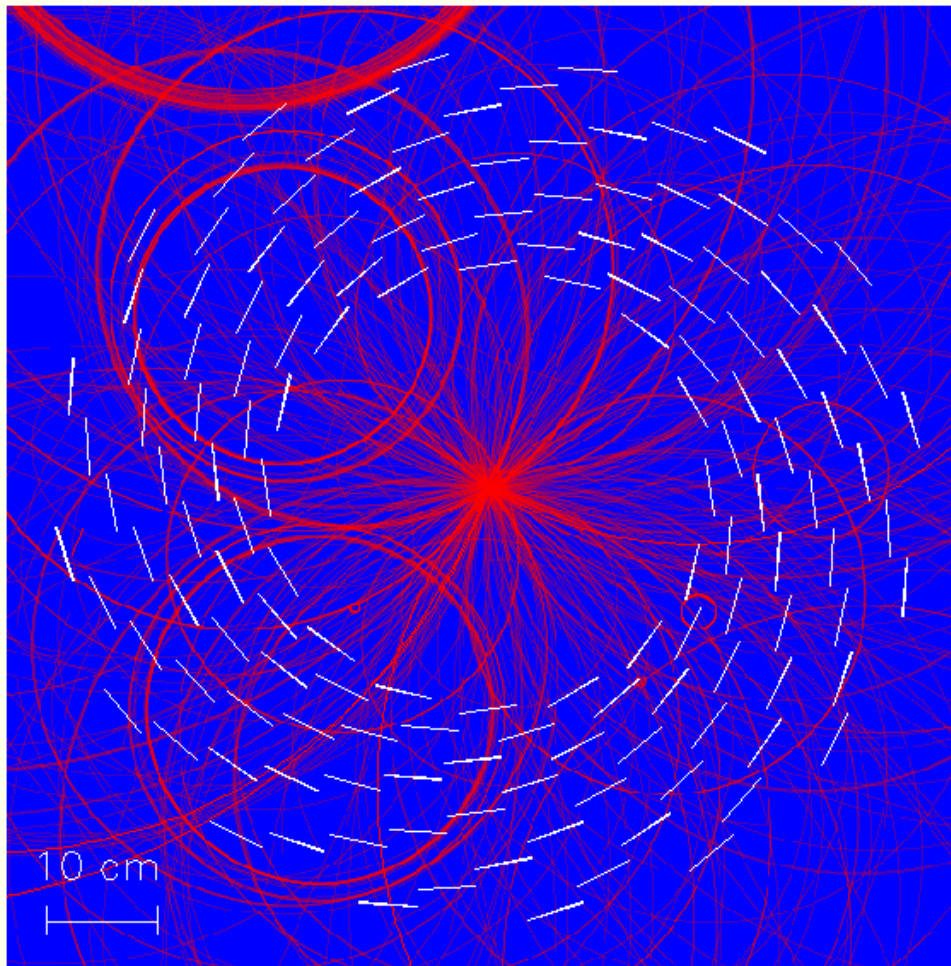
### Pozostałe eksperymenty na LHC mają swoje zestawy „igiel”

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



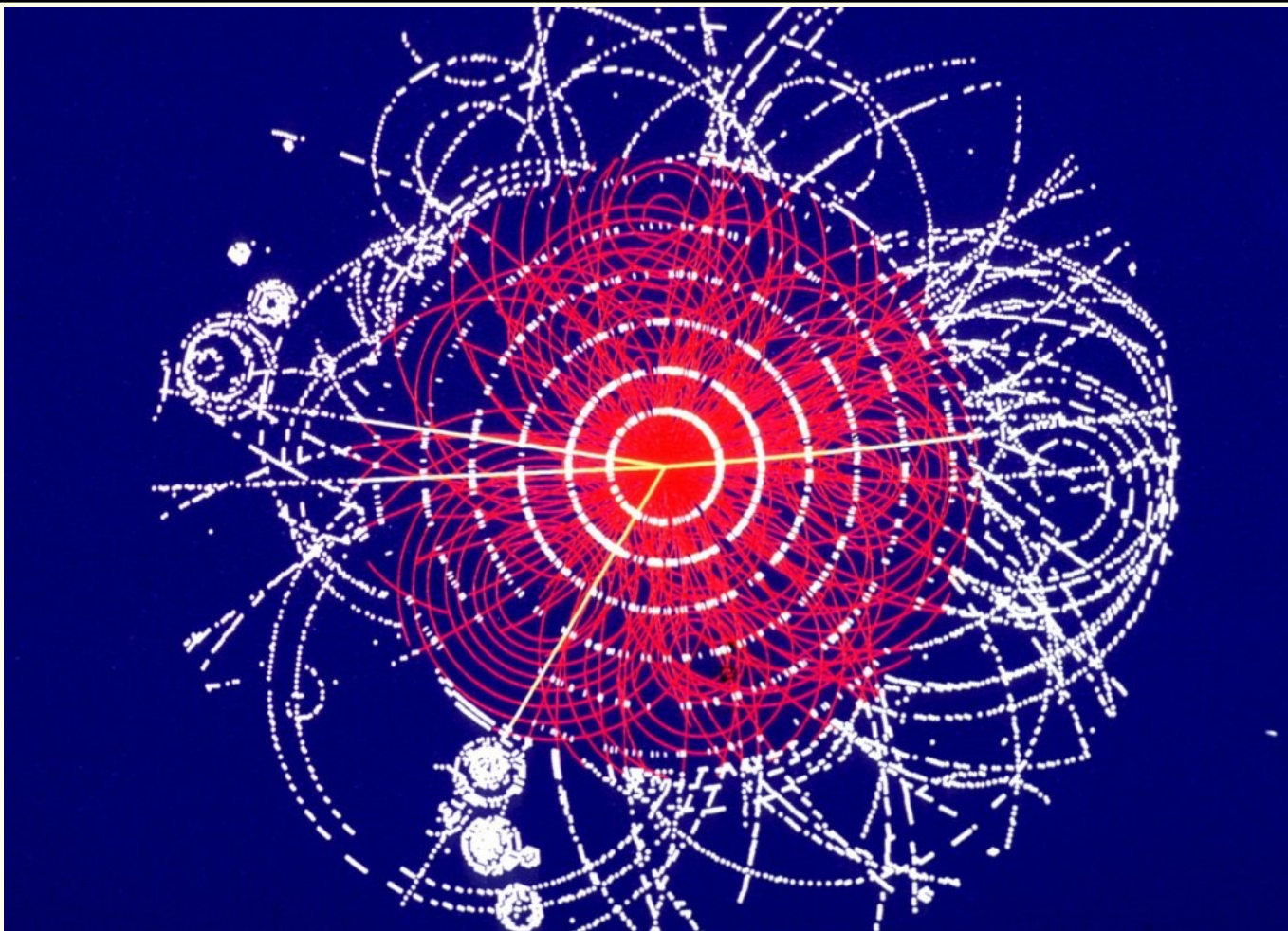
# Przykład: rekonstrukcja śladów cząstek

Symulacja komputerowa danych z 1 przypadku w detektorze wewnętrznym eksperymentu ATLAS



*Zagadka:*  
znajdź 4  
proste ślady

# Przykład: rekonstrukcja śladów cząstek

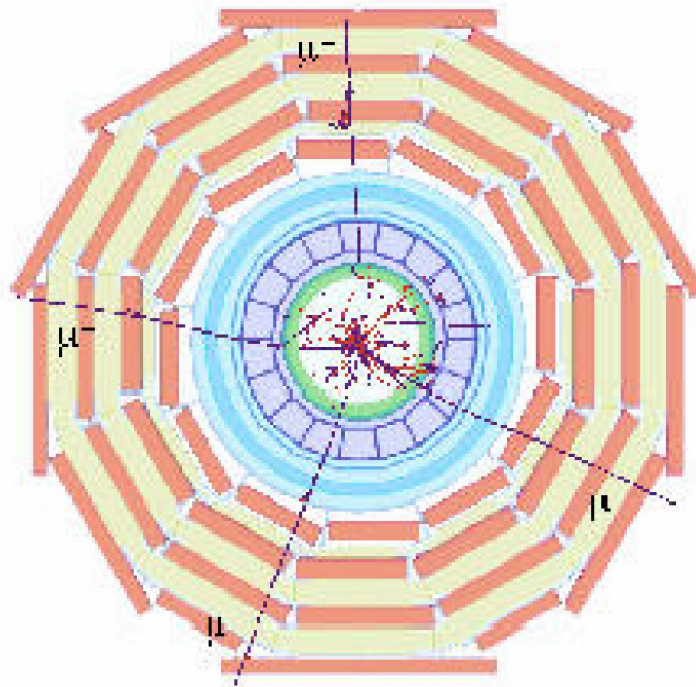


*Rozwiązanie:*

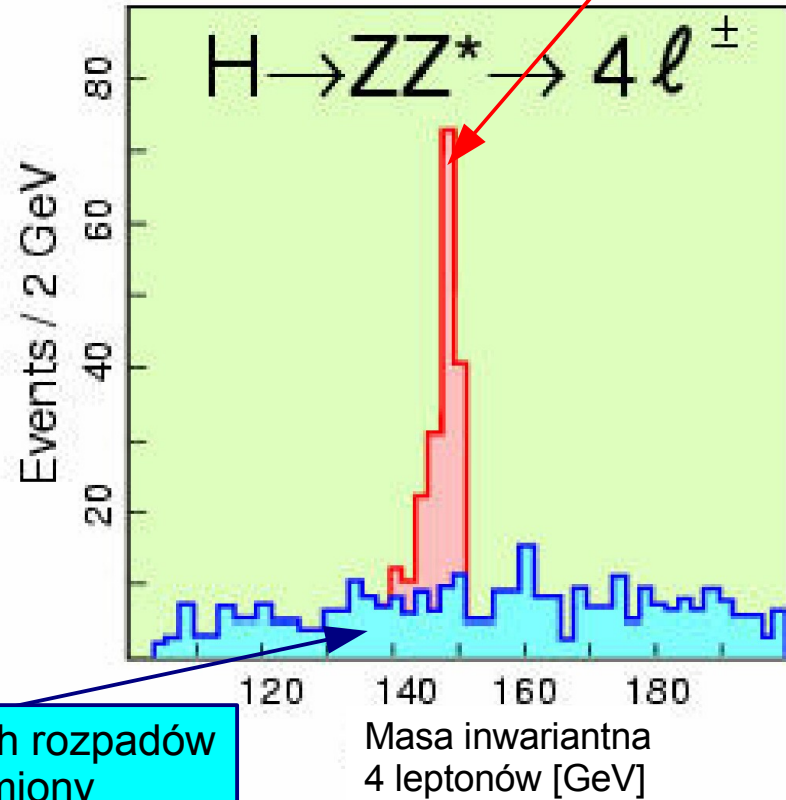
Rozpad cząstki Higgsa na 4 miony:  $H \rightarrow 4\mu$



# Analiza danych: co zobaczy Fizyk:

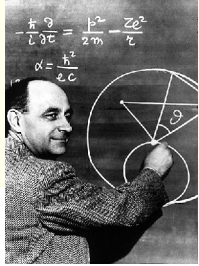


Cząstki Higgsa o masie  $\sim 150$  GeV



Tło od innych rozpadów dających 4 miony

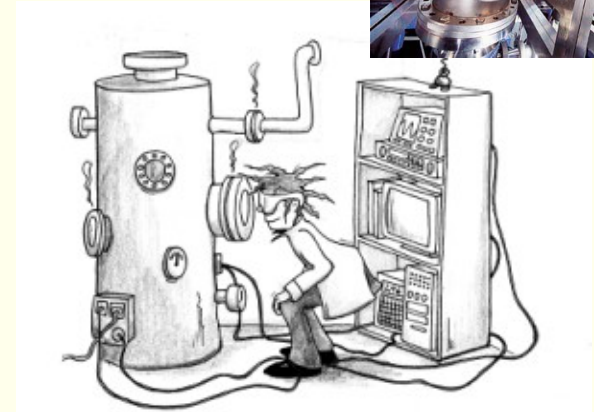
# Teoria, doświadczenie i ... komputery



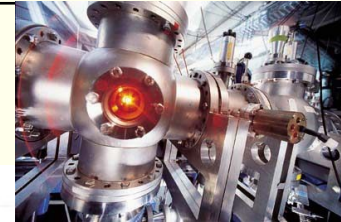
Teoria

(?)

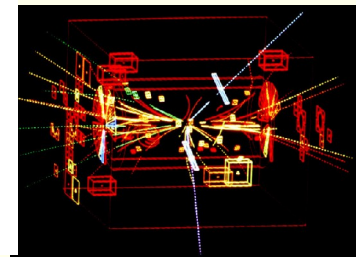
=



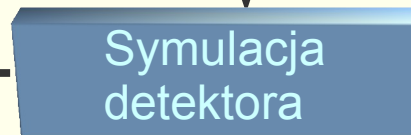
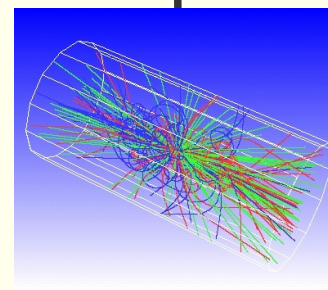
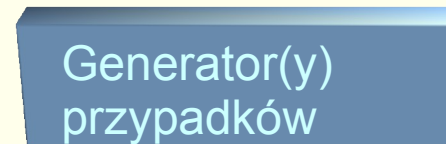
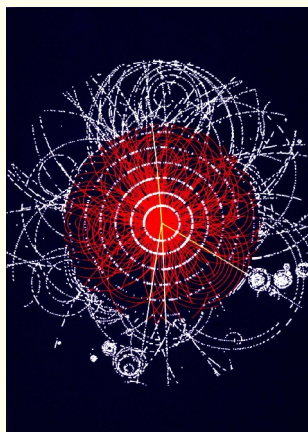
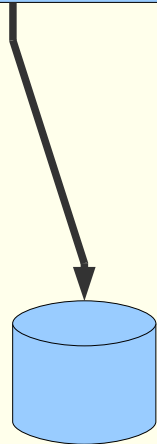
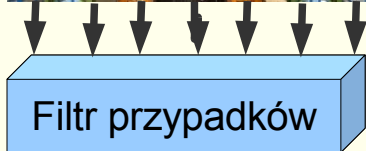
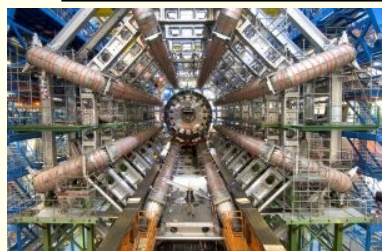
Doświadczenie



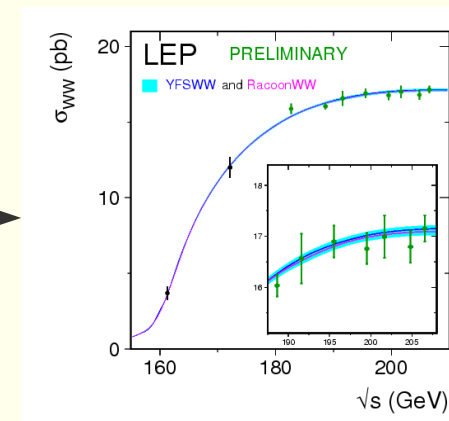
Metody  
komputerowe



# “doświadczenie = teoria” (?)

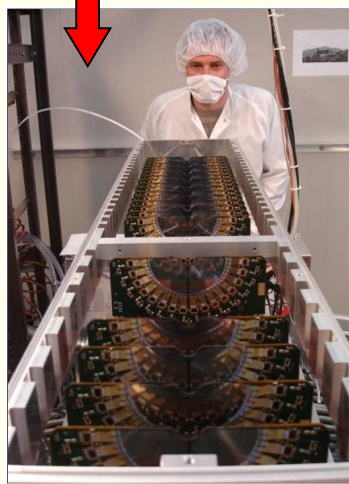
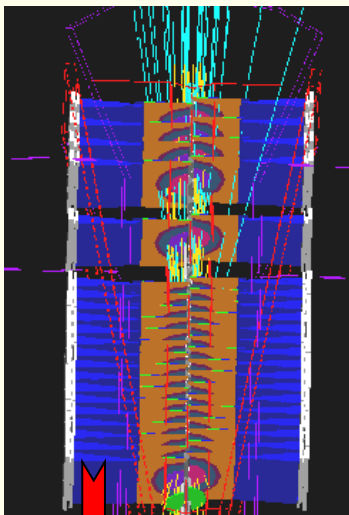


$$L_H = -\frac{1}{2} [(\partial_\mu - iW_\mu^a t^a - iB_\mu)\phi]^2 - \frac{\mu^2}{2} \phi^\dagger \phi - \frac{\lambda}{4} (\phi^\dagger \phi)^2,$$

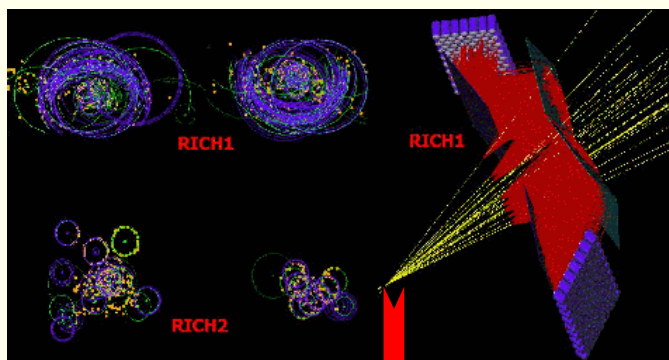


# Modelowanie aparatury

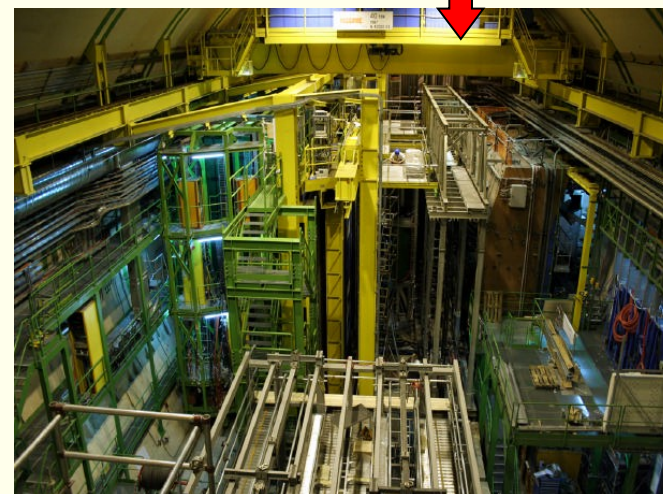
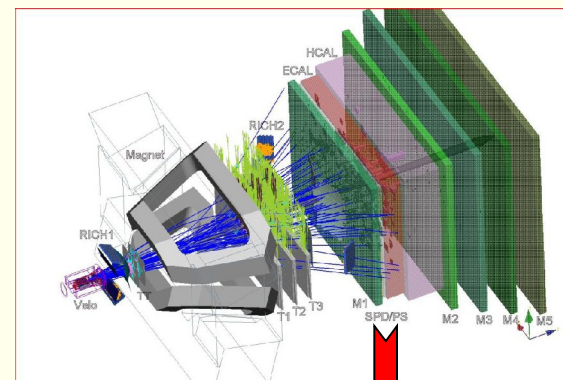
Detektor wierzchołka



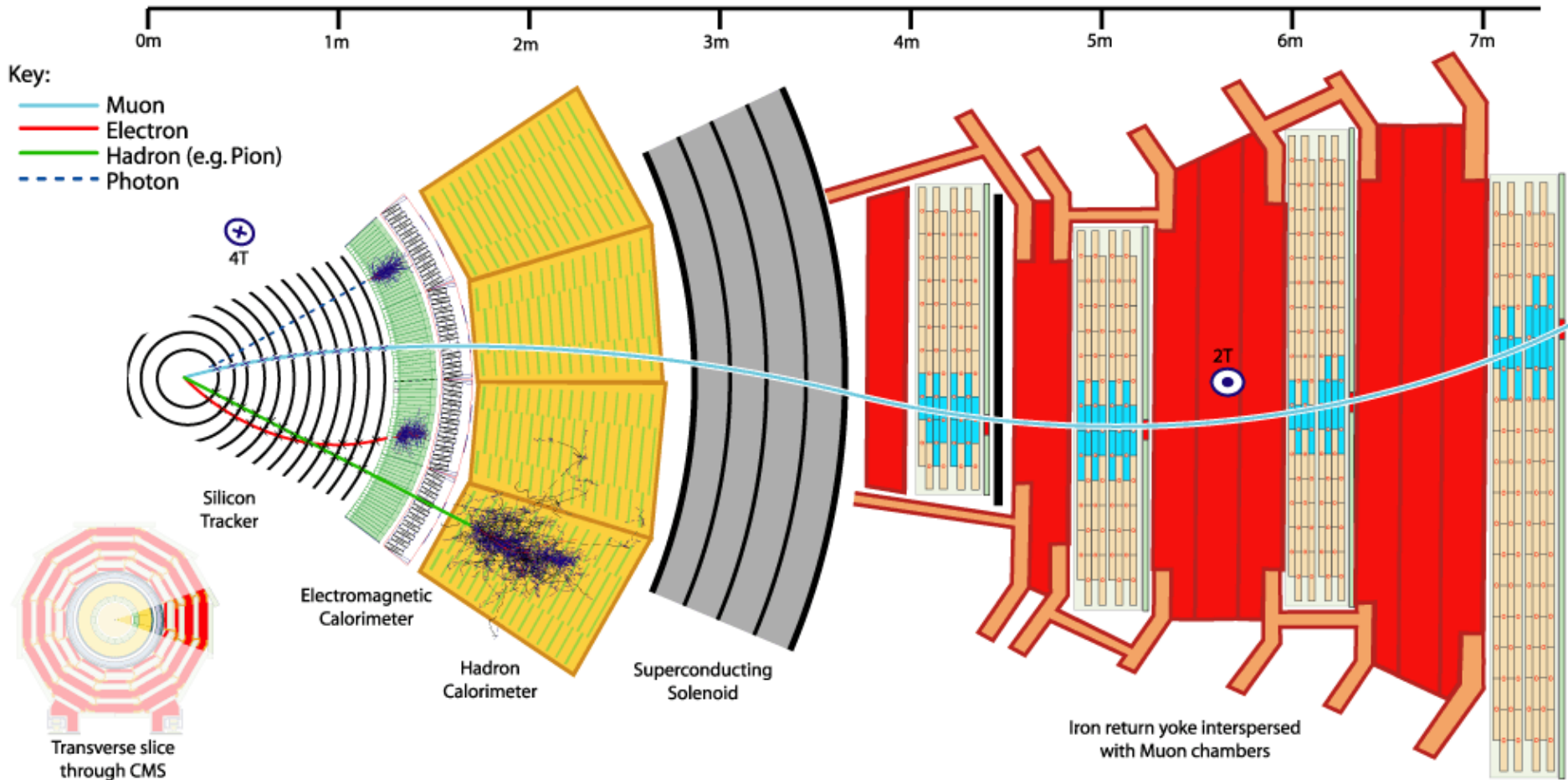
Detektor RICH  
Identyfikacja cząstek



Pełny spektrometr

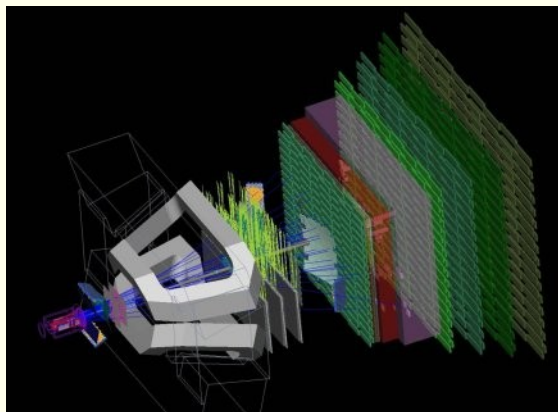


# Symulacja zjawisk w detektorach



Slajd ze strony [www.eksperymentu CMS](http://www.eksperymentu CMS)

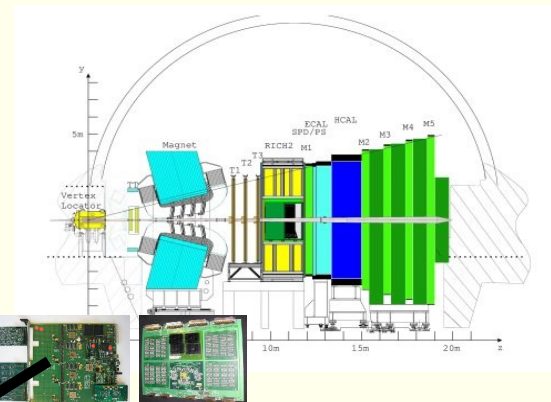
# Symulacja i prawdziwy eksperyment



**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.



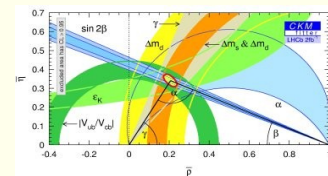
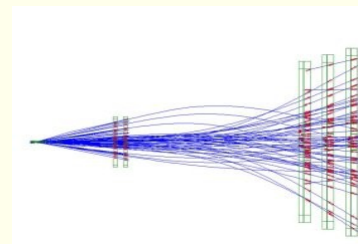
**Prawdziwy eksperyment**

**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.



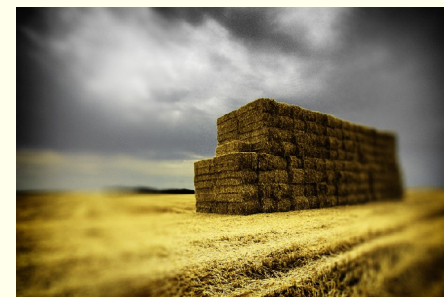
# Co jest stogiem siana

- 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*



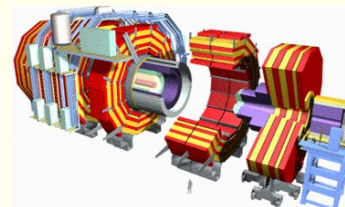
## 1 Terabajt (1TB) = 1000GB

*Światowa roczna produkcja książek*



## 1 Petabajt (1PB) = 1000TB

*Roczne składowanie danych w LHC: 14 PB*



## 1 Eksabajt (1EB) = 1000 PB

*Roczna produkcja informacji w 2002 (zapisana cyfrowo): 5 EB*

*Wszystkie dotąd wypowiedziane słowa: 5EB*

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

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



Źródło: <http://www2.sims.berkeley.edu/research/projects/how-much-info-2003/execsum.htm>



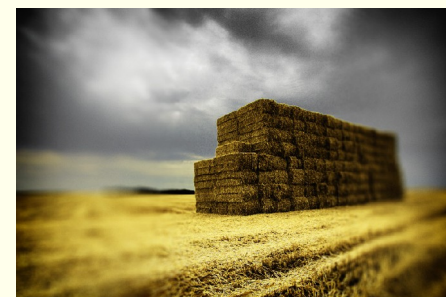
# Co jest stogiem siana

- Przebiegi pęków wiązek: 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!

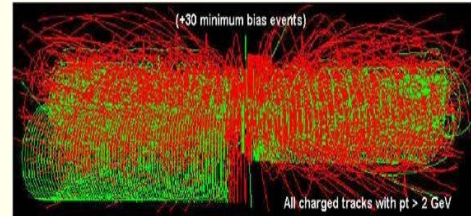
## Dane przepływające przez eksperyment

|                    | 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               |

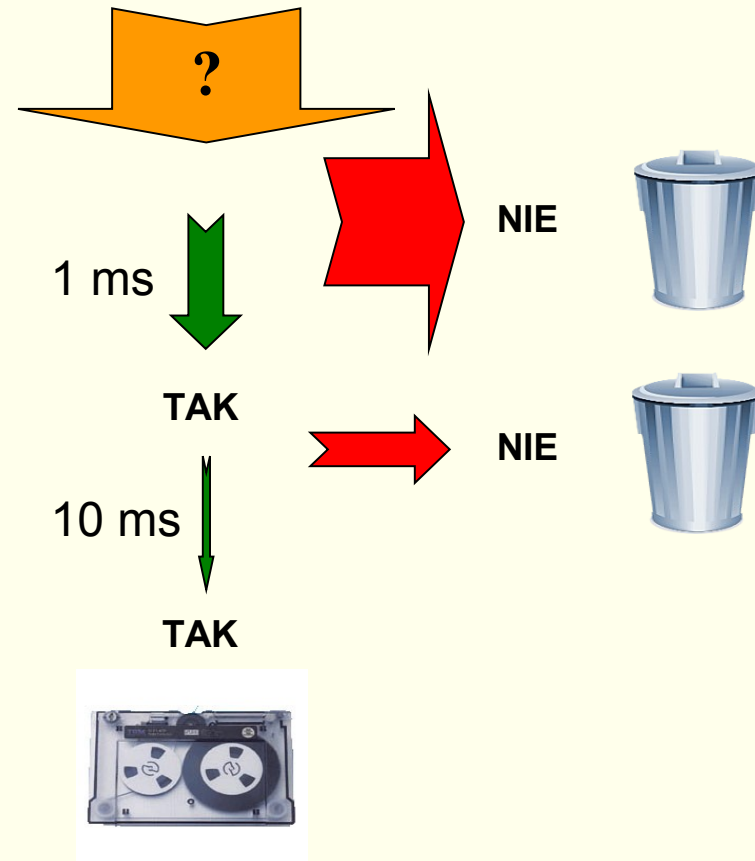
- Dla eksperymentów ATLAS i CMS jest znacznie gorzej
  - ATLAS 2PB/sek  $\equiv$  3 mln CD/s
- Zapis wszystkich przypadków jest niemożliwy
- Na każdy przypadek należy jednak „zerknąć” i zdecydować czy jest interesujący.
  - Do „przeglądania” przypadków służy **system wyzwalania** czyli filtracji przypadków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



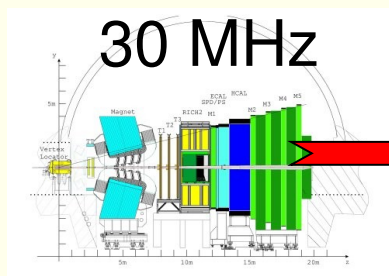
# Zbieranie danych - system wyzwalania



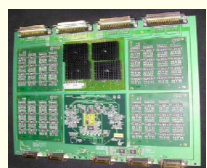
- Zadaniem systemu wyzwalania jest przede wszystkim **jak najszybsze odrzucanie zbędnych przypadków** (a nie wybieranie tych interesujących).
- W kolejnych stopniach filtrowania mamy do dyspozycji coraz więcej czasu na dokładniejszą analizę przypadków zaakceptowanych i dokładniejsze odrzucanie.



# Zbieranie danych



30 MHz



35 GB/s  
1 MHz



2 kHz



**L0 (hardware)**

Wstępny poziom wyzwalania

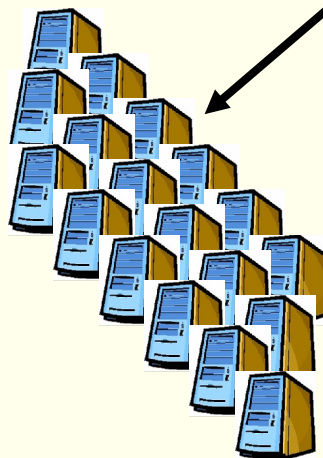
**HLT (algorytmy)**

Wyższy stopień wyzwalania

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

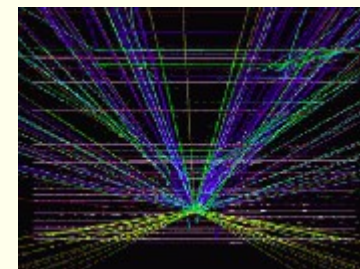
1 MHz  $\rightarrow$  1  $\mu$ s/przypadek.  
W ciągu 1  $\mu$ s nie można nawet  
zdekodować danych

**Co zrobić ???**



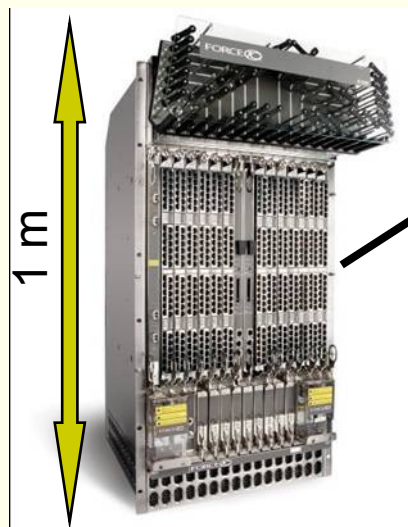
1000 procesorów  $\rightarrow$  1 ms/przypadek

Możliwa staje się  
rekonstrukcja śladów w  
detektorze wierzchołka w  
rzucie  $\varphi$

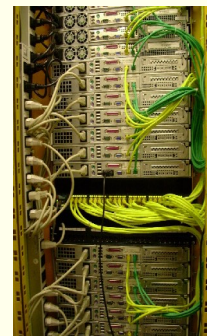
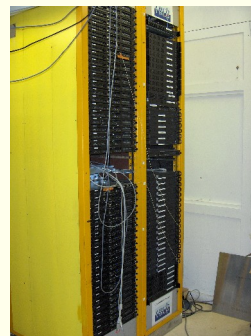
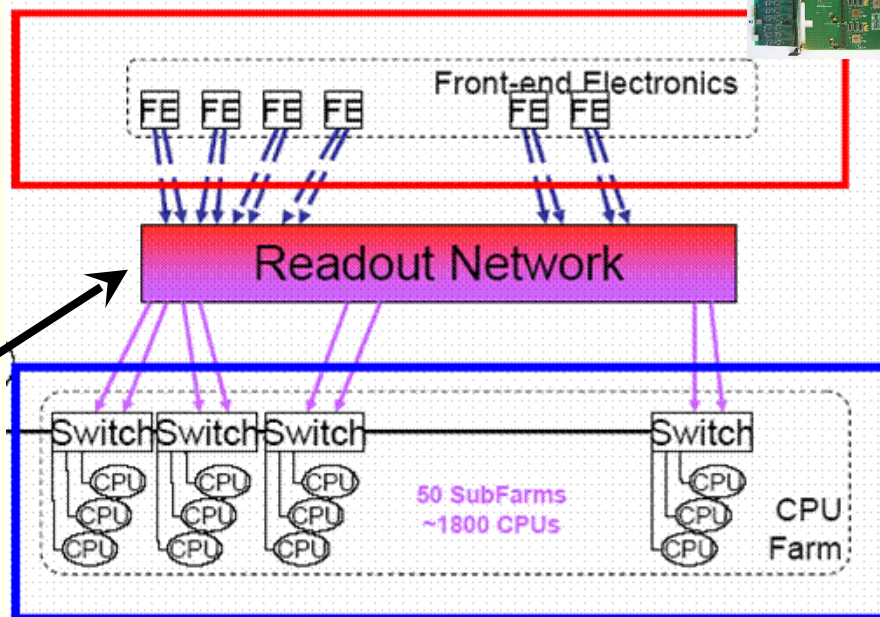


# Farma procesorów on-line

1 MHz na wejściu  
→ 30 GB/s

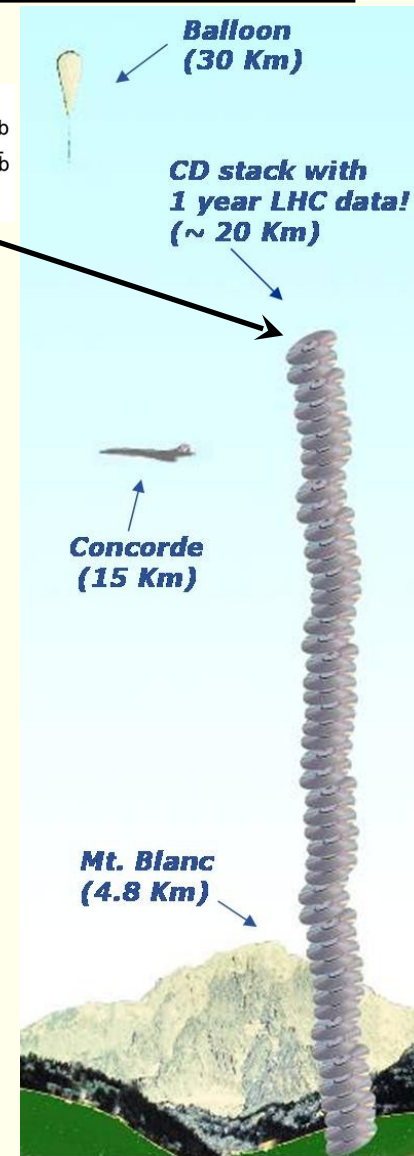
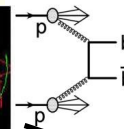
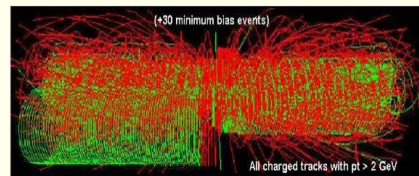
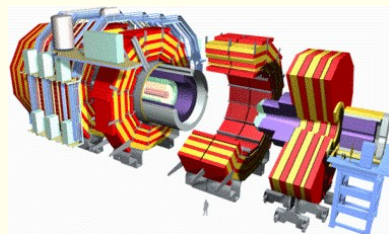


Force10 E1200, 1260 GbE ports  
Przepustowość 50 GB/s



1000 CPU  
2 kHz na wyjściu  
Zapis 250 MB/s

# Igła czy stóg siana?



LHC




Eksperymenty



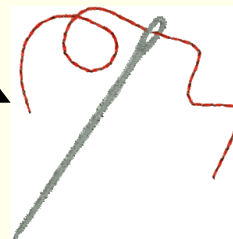
Filtrowanie

Redukcja  $> 10^5$

Interesujące oddziaływania p-p

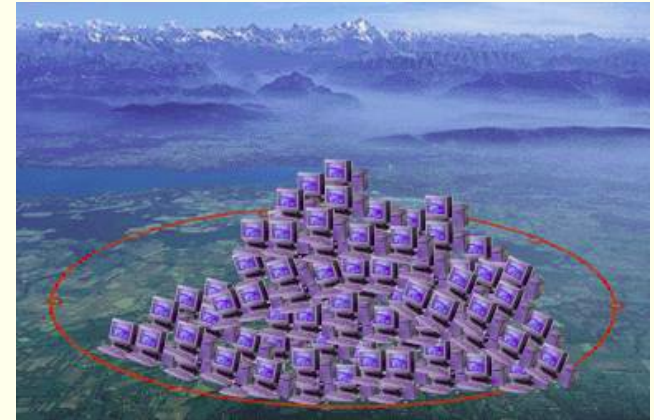
3 Eksabajty/rok  15 Petabajtów/rok

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

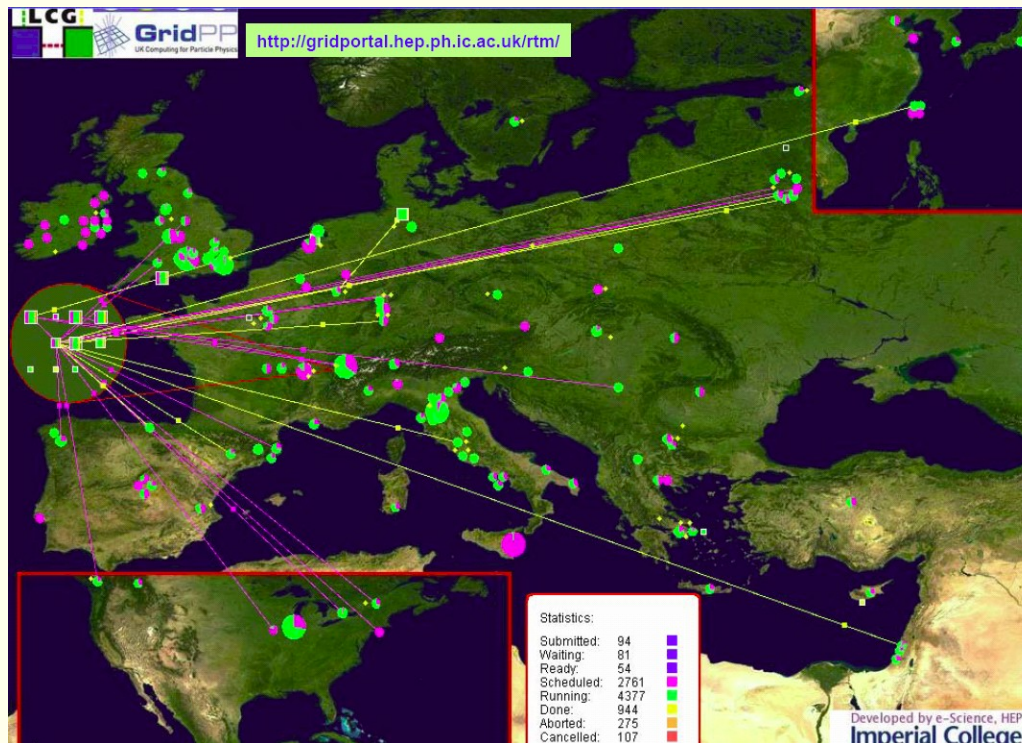
- WWW – przewrót w dostępie do informacji (wynalezione w CERN).
  - Jednolity dostęp do informacji bez względu na miejsce na Ziemi.
- GRID – jednolity dostęp do zasobów obliczeniowych.
  - GRID widziany przez każdego użytkownika jako **jeden wielki komputer**.
  - Dobra platforma współpracy dla dużych 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 \$

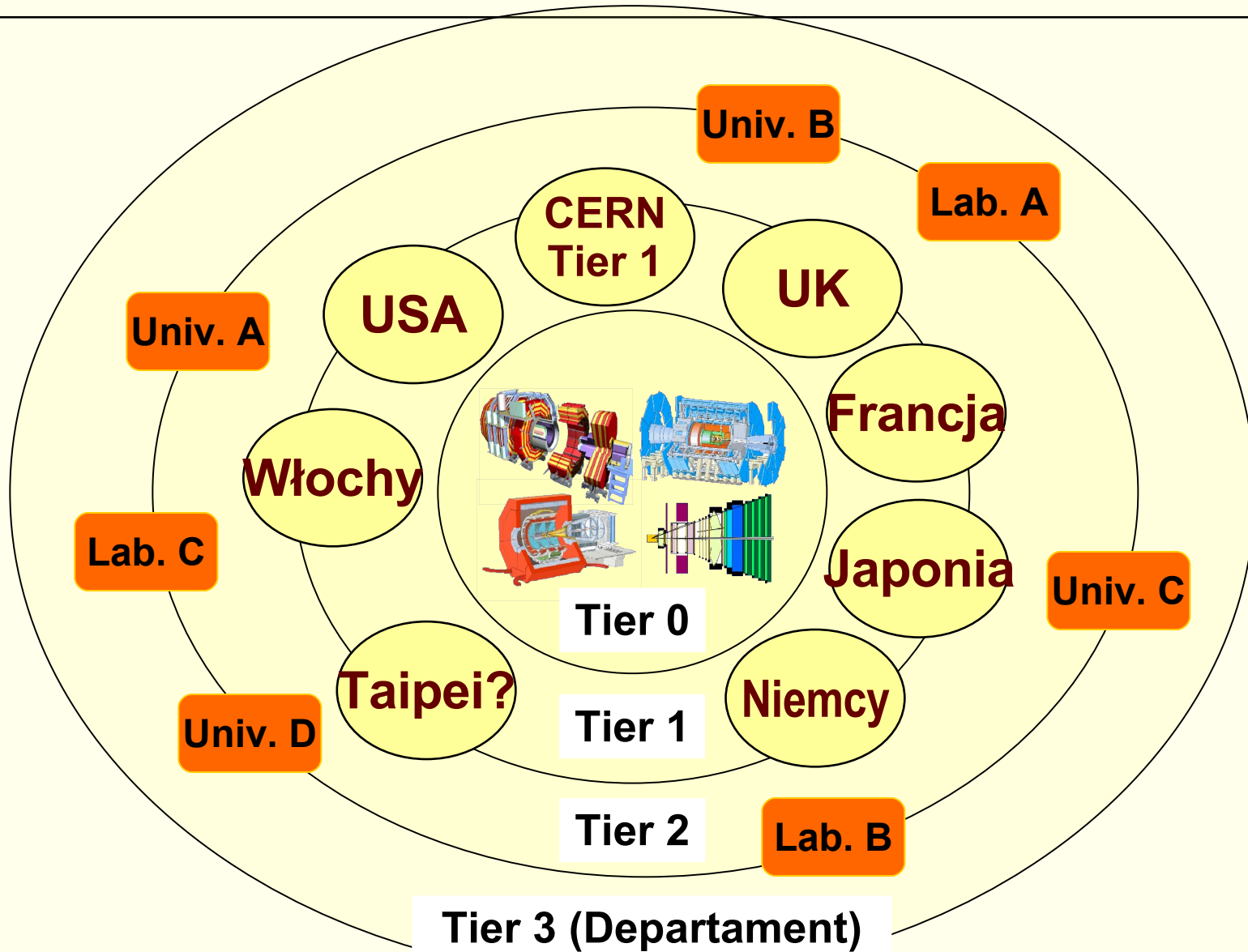
# Ogólnosiwiatowa sieć GRID

- EGEE jest największym ogólnosiwiatowym projektem GRID
  - Obecnie ponad 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)

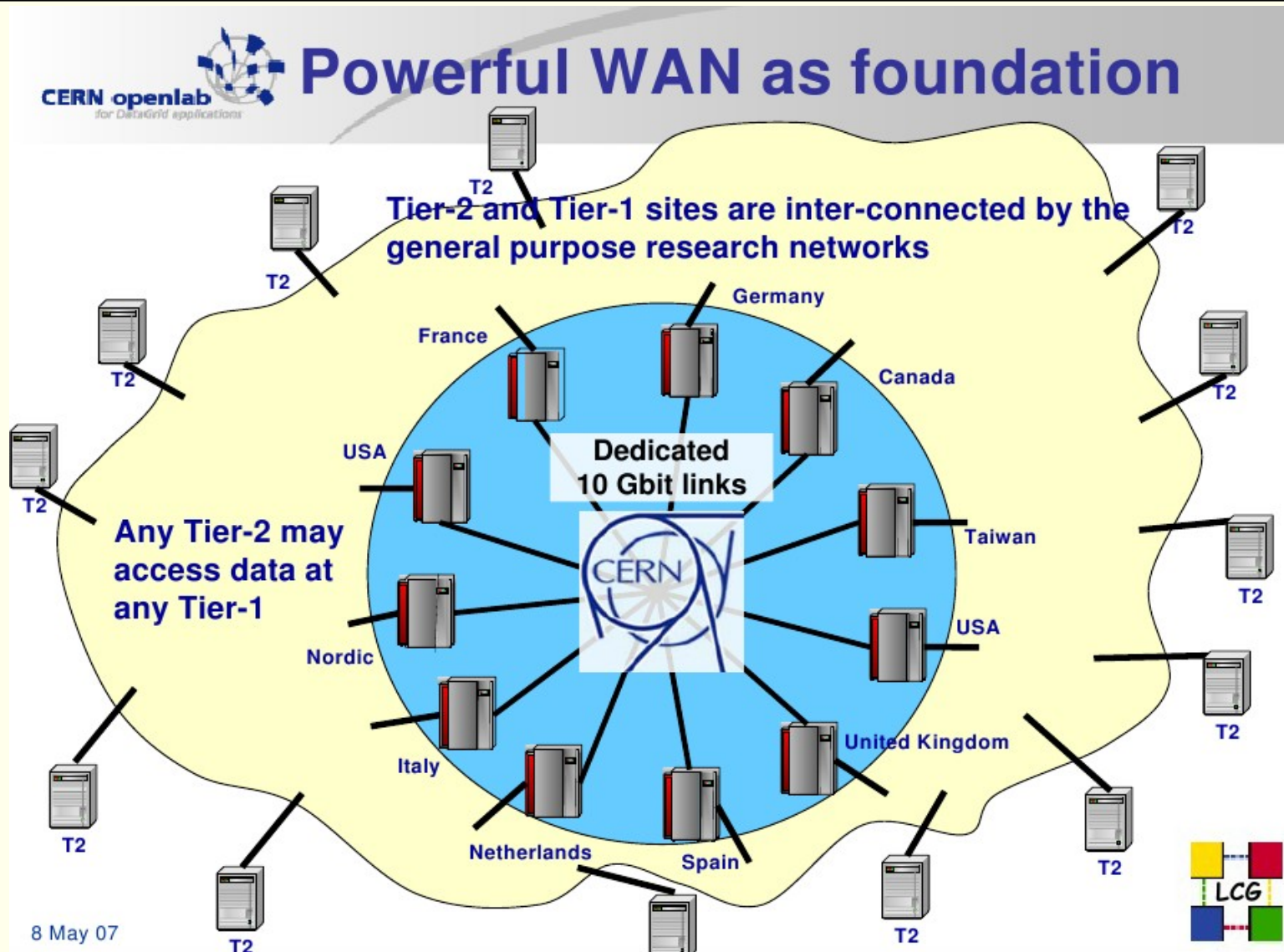




# Struktura hierarchiczna (Multi Tier)

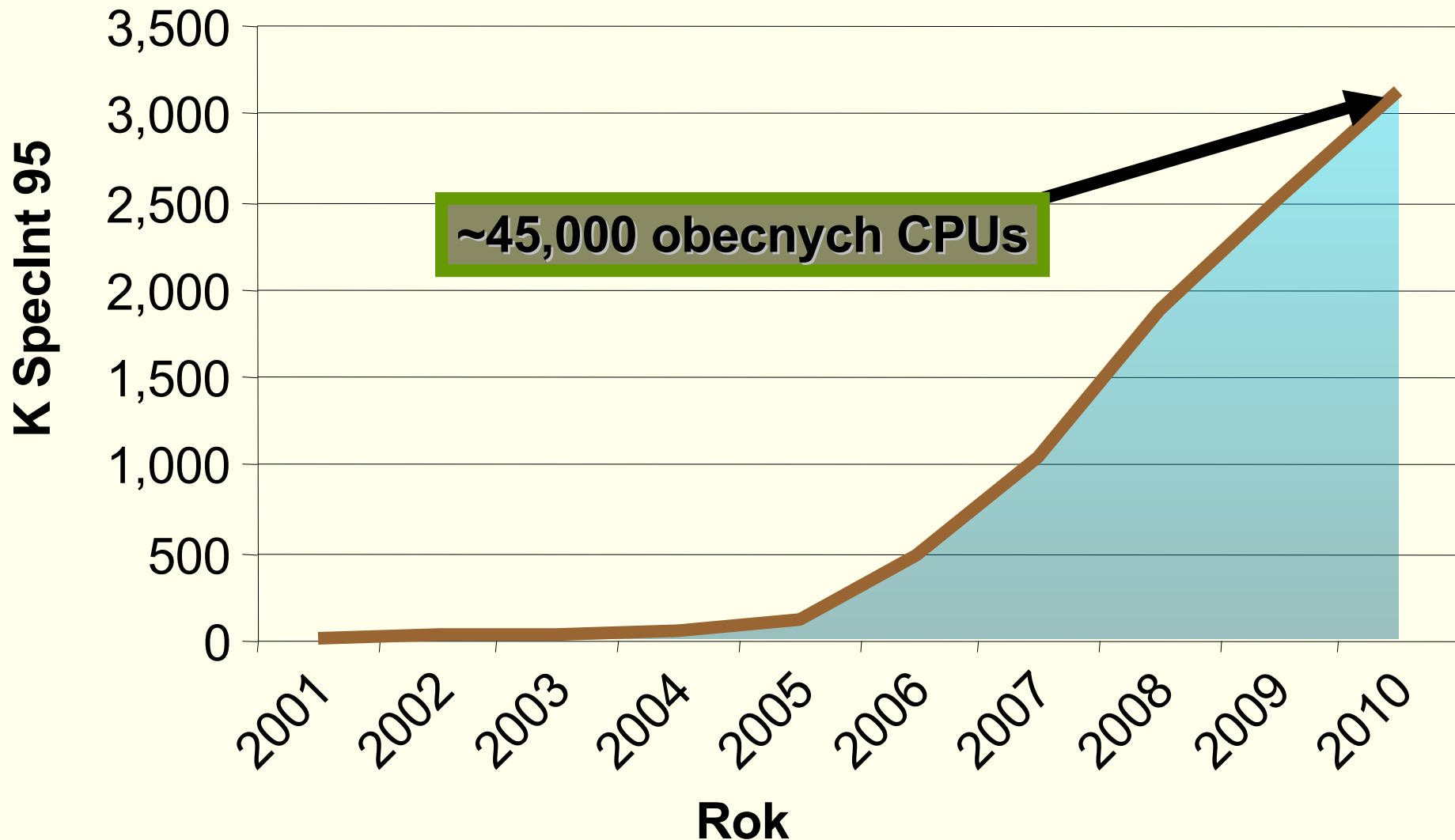


# Struktura hierarchiczna (Multi Tier)

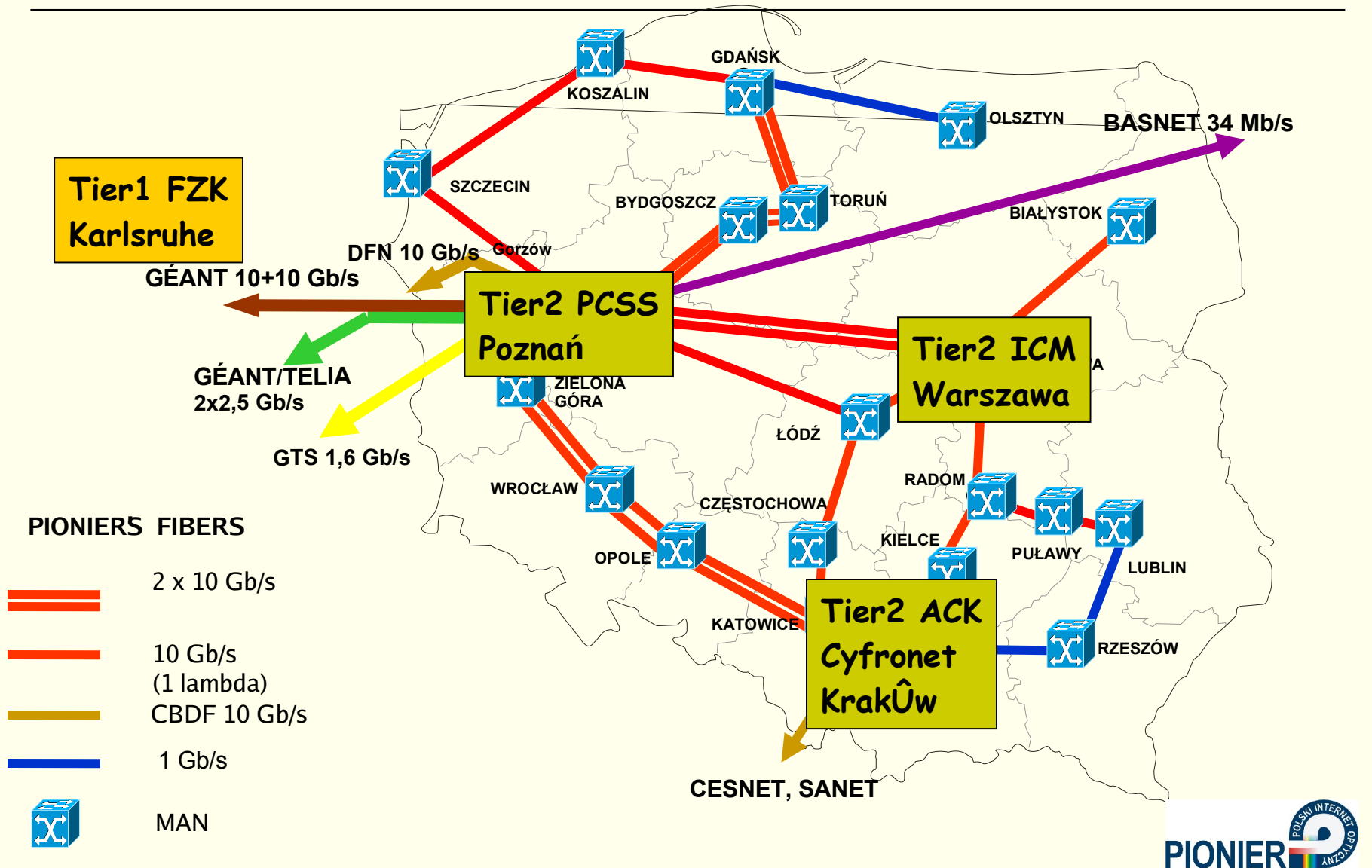


# CERN Tier 0+1

## Moc obliczeniowa



# Polska infrastruktura WLCG



# Technologie: farmy PC

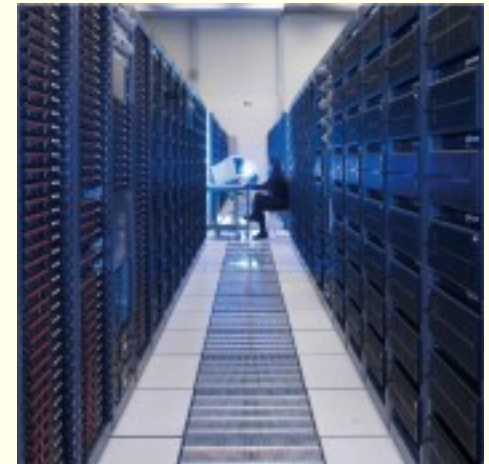
- Początkowo CERN zdecydował zakupić komputery w formie zwykłych PC dostępnych w sklepach.
- W międzyczasie technologie RACK i BLADE osiągnęły konkurencyjne ceny.
- Obecnie w dużych ośrodkach wygrywają technologie specjalistyczne RACK i BLADE



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
  - 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
- Bezpieczeństwo

PARTNERS



ORACLE®

CONTRIBUTORS

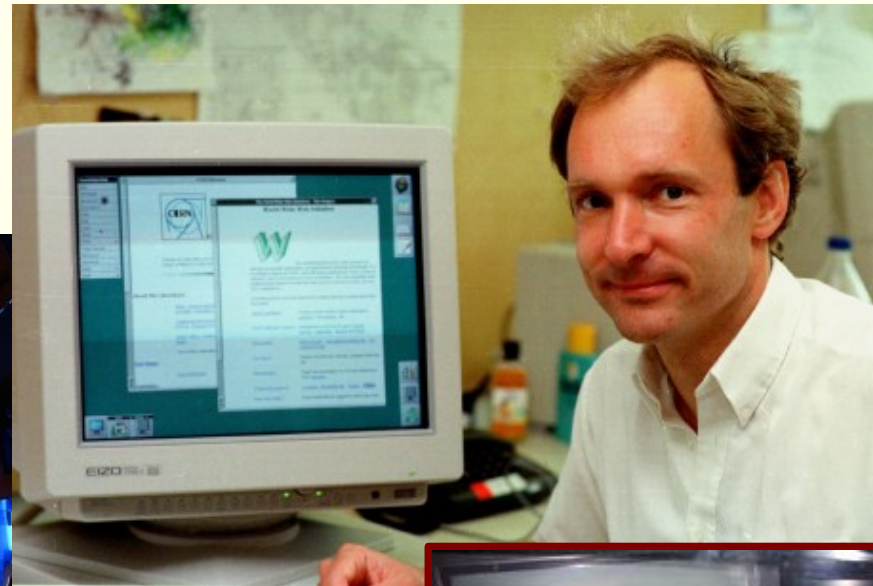


STONESOFT

# 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)