

Wszechświat cząstek elementarnych

Wykłady 6: Współczesne eksperymenty

prof. A.F.Żarnecki

Zakład Cząstek i Oddziaływań Fundamentalnych
Instytut Fizyki Doświadczalnej

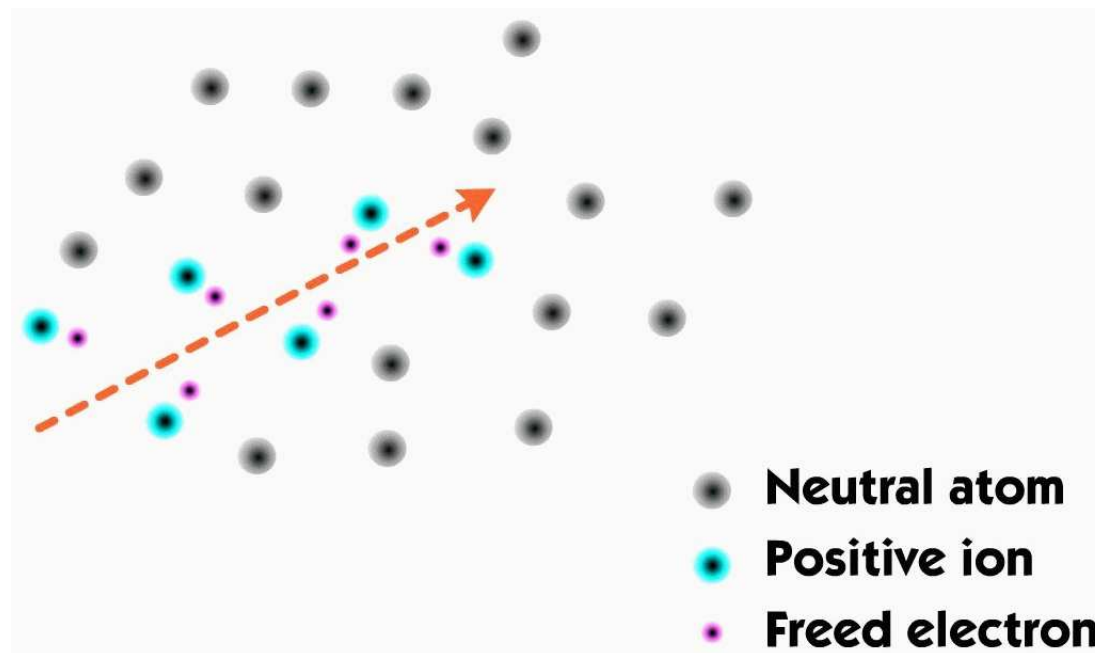
Detekcja cząstek

- Przypomnienie
 - Podstawowe typy detektorów
 - Kolajdery cząstek
- Budowa detektora uniwersalnego (hybrydowego)
 - zasada budowy
 - przykładowe konstrukcje
- Zbieranie i analiza danych
 - układ wyzwalań
 - przechowywanie i analiza danych

Detekcja cząstek

Jonizacja

U podstaw działania przeważającej większości detektorów cząstek elementarnych leży **zjawisko jonizacji**:



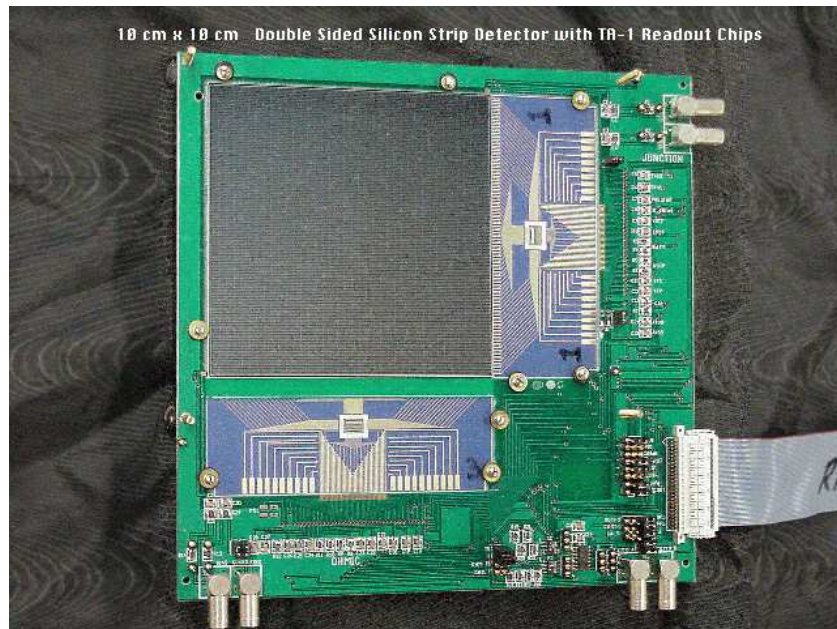
Cząstka naładowana przechodząc przez ośrodek **oddziałuje Kulombowsko** z elektronami i oddaje im część swojej energii “wybijając” je z atomów.

Detekcja cząstek

Detektory półprzewodnikowe

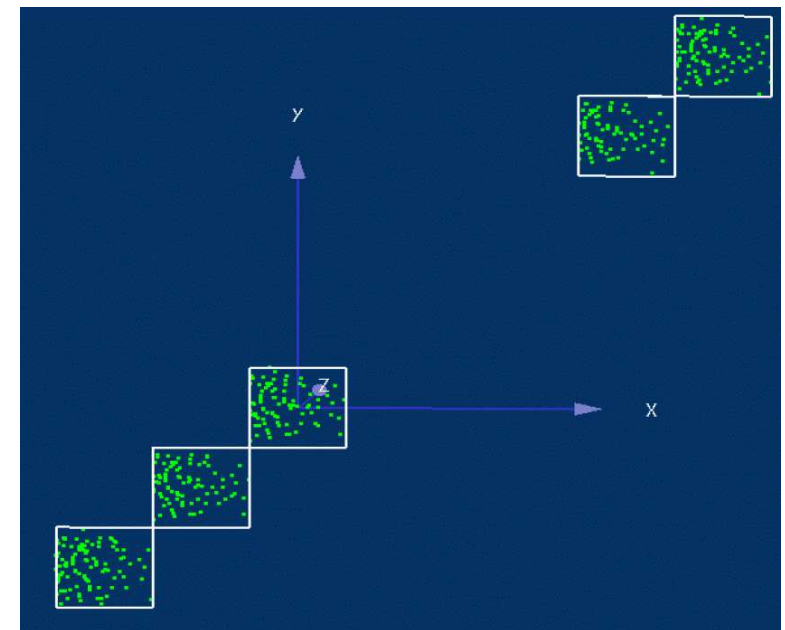
Coraz powszechniej używane.

Bardzo różne technologie, m.in. CCD (używane w fotografii cyfrowej)



Bardzo precyzyjny pomiar pozycji cząstek (rzędu μm)

Mierzone punkty przejścia wiązki cząstek przez pięć warstw "teleskopu":



Niestety wciąż drogie...

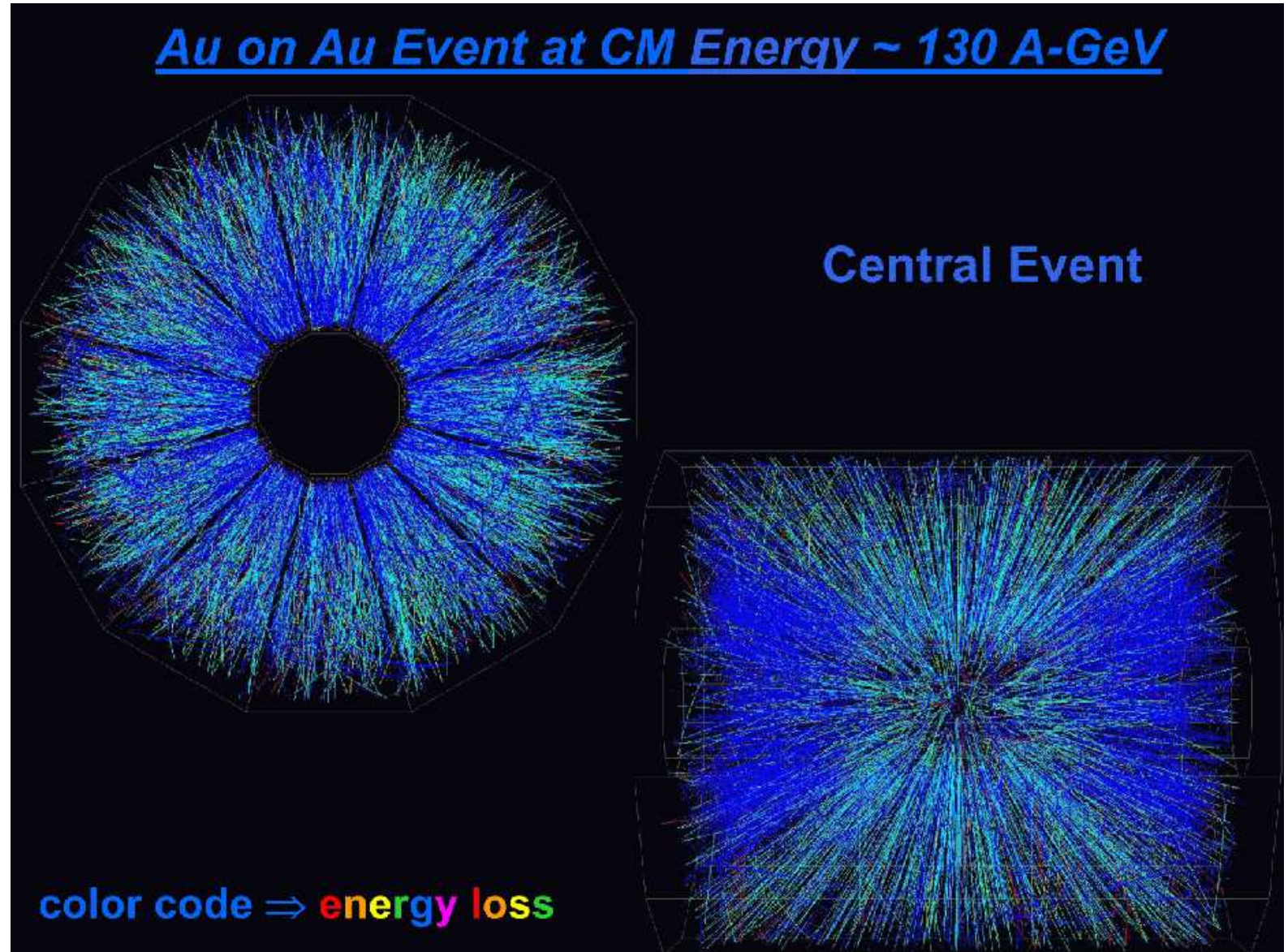
Detekcja cząstek

TPC

Komora
projekcji
czasowej

Przypadek
zderzenia
ciężkich
jonów

detektor
STAR
przy RHIC



Detekcja cząstek

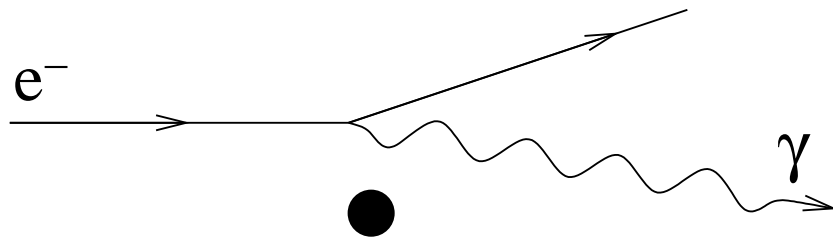
Kalorymetry

Wszystkie przedstawione do tej pory detektory rejestrowały przejście cząstki, ślad cząstki w materii \Rightarrow detektory śladowe.

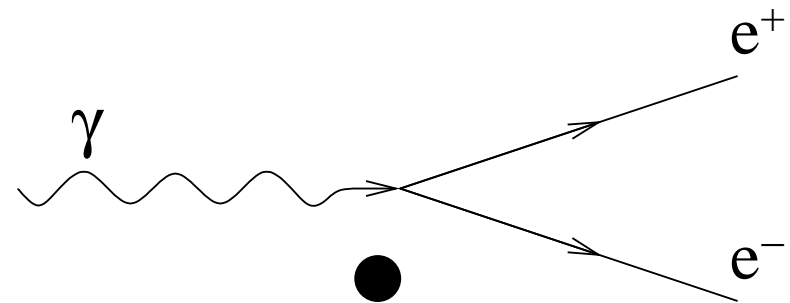
Aby zmierzyć energię cząstki musimy sprawić, aby w wyniku wielokrotnych oddziaływań "oddała ją" w całości detektorowi.

Kalorymetr elektromagnetyczny

Wysokoenergetyczne elektrony tracą energię prawie wyłącznie na **promieniowanie hamowania**



Wysokoenergetyczne fotony ulegają **konwersji na pary $e^+ e^-$**



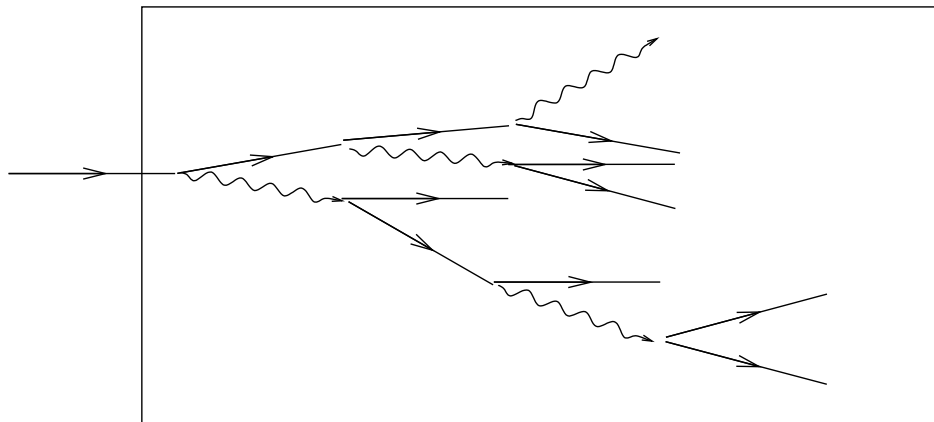
Detekcja cząstek

Kalorymetry

Wysokoenergetyczny **elektron lub foton** wpadając do detektora wywołuje **kaskadę** składającą się z $N \sim E$ cząstek

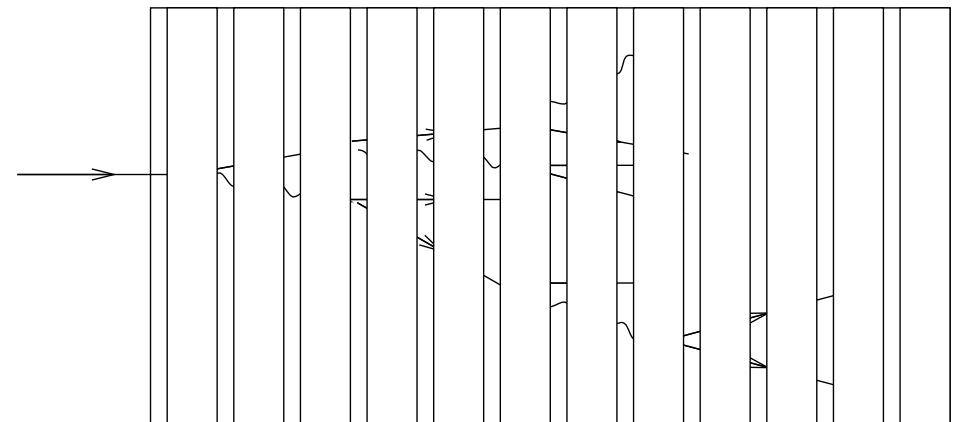
Mierząc liczbę cząstek lub całkowitą długość torów (całkowitą jonizację) możemy dokładnie określić energię cząstki początkowej

Kalorymetr jednorodny



np. blok scyntyлятора

Kalorymetr próbkujący

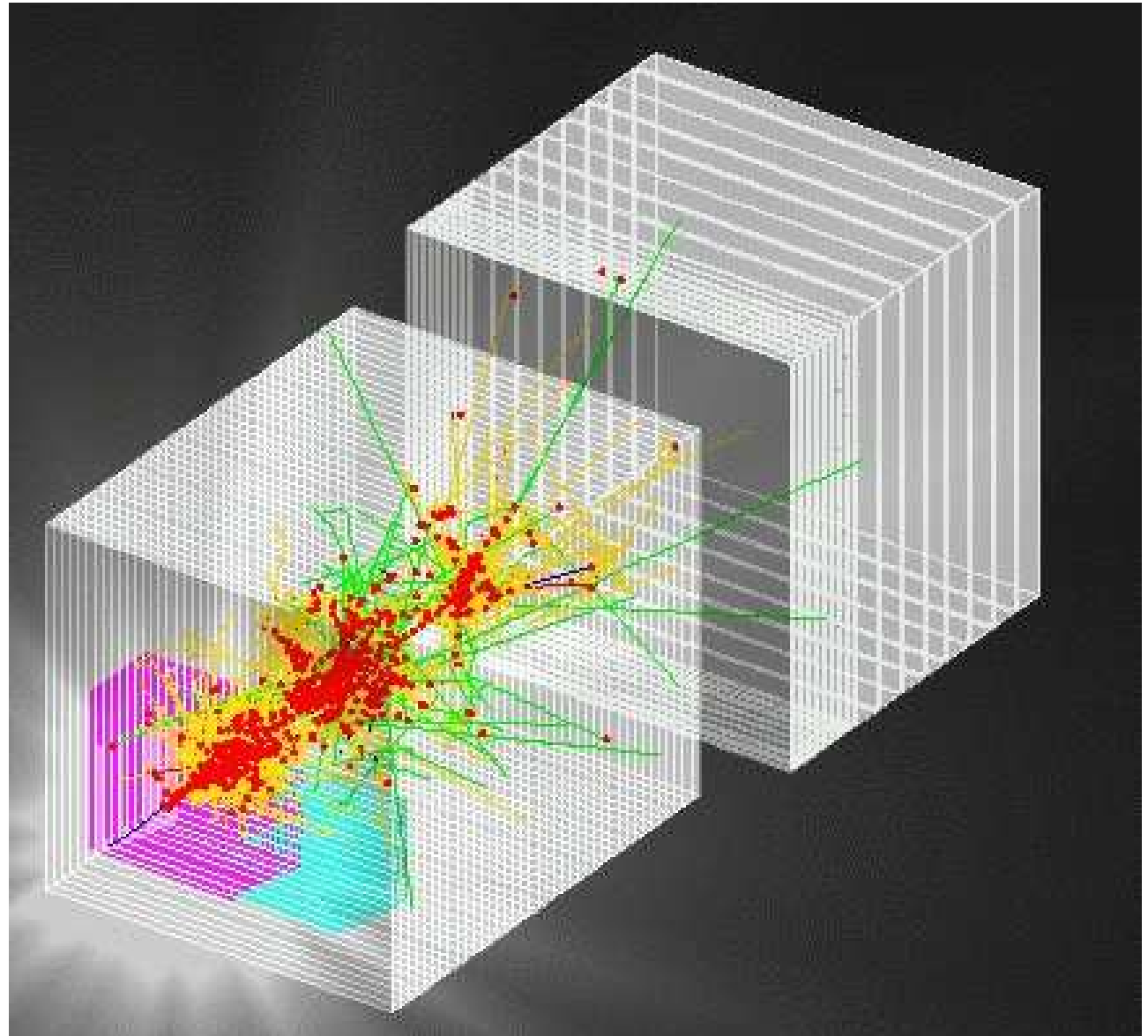


warstwy detektora na przemian z gęstym absorberem

Detekcja cząstek

Kalorymetry

Symulacja rozwoju
kaskady hadronowej
(pomiar energii protonu)



Kolajdery

LEP/LHC

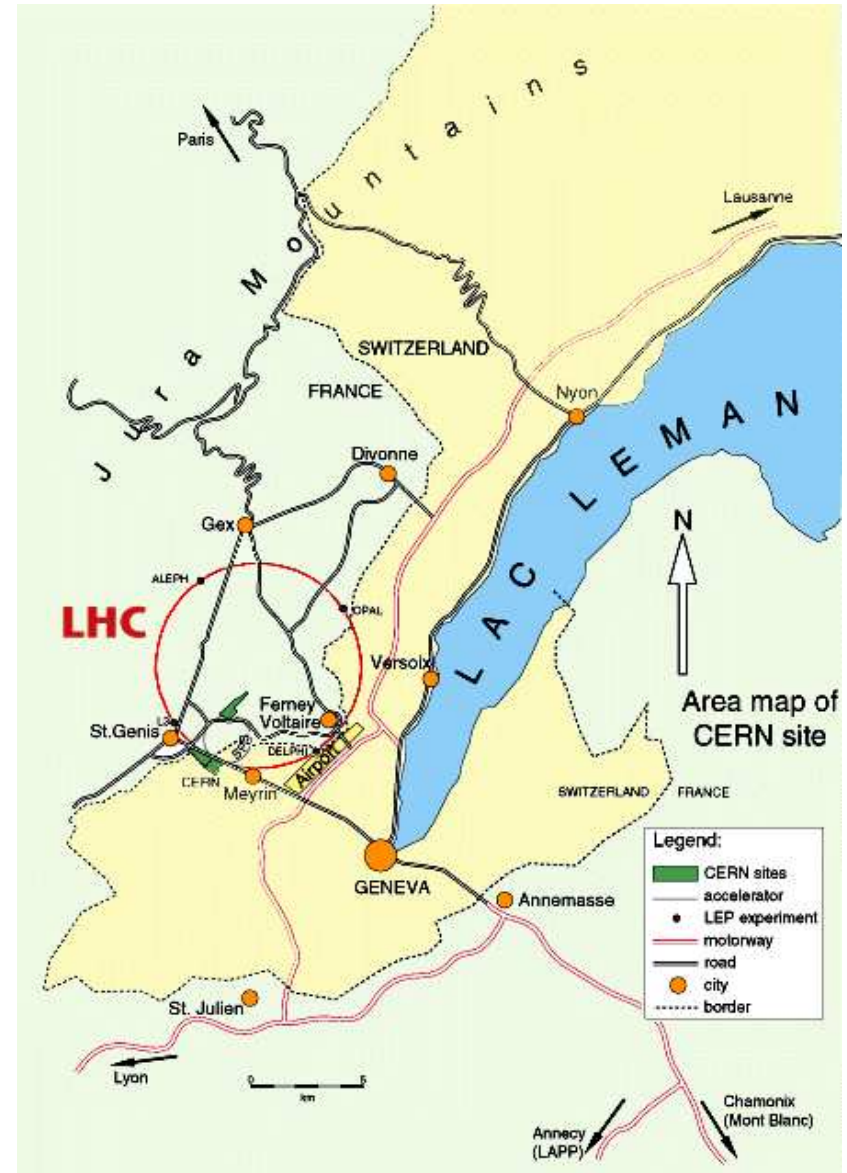
Największym zbudowanym dotąd akceleratorem był LEP. Zbudowany w CERN pod Genewą miał obwód ok. 27 km.

W tym samym tunelu budowany jest obecnie akcelerator LHC.

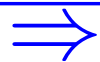
Przeciwbieżne wiązki protonów o energii 7 TeV.

W każdej 2800 "paczek" po 10^{11} protonów.

Zderzenia paczek co 25 ns
(40 milionów na sekundę)



Kolajdery



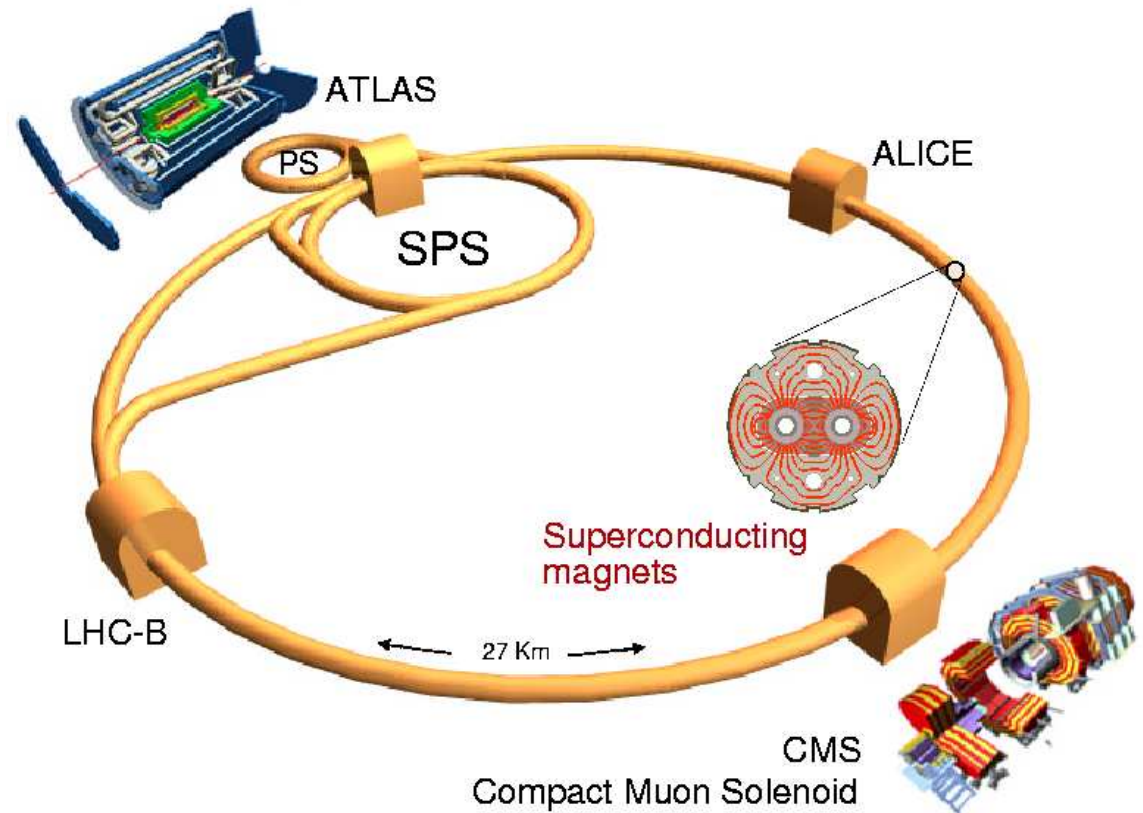
Kolajdery

Przeciwbieżne wiązki protonów w LHC mają mieć energię $2 \times 7 \text{ TeV}$
($1 \text{ TeV} = 1000 \text{ GeV}$)

Intensywność wiązek będzie tak duża, że oczekujemy produkcji do **1000** cząstek Higgosa **na godzinę** !

Przypadków produkcji cząstki Higgosa będą poszukiwać dwa eksperymenty: **ATLAS** i **CMS**

The Large Hadron Collider (LHC)










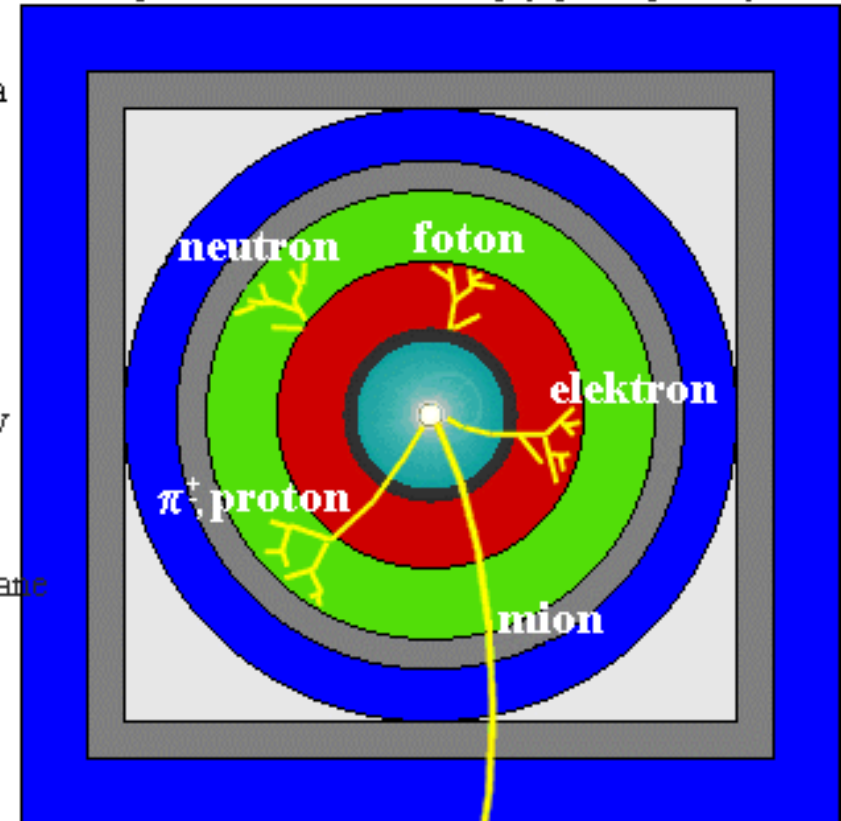
Współczesne eksperymenty

Struktura warstwowa

Współczesne eksperymenty fizyki wysokich energii (zwłaszcza te na wiązkach przeciwbieżnych) są naogół zbudowane z **wielu różnorodnych elementów**.

Przekrój poprzeczny detektora, ilustrujący tory cząstek

-  rura dryfowa
-  komora trakera
-  solenoid magnesu
-  kalorymetr elektromagnetyczny
-  kalorymetr hadronowy
-  namagnesowane żelazo
-  komory mionowe



Ułożone **jeden za drugim** detektory umożliwiają optymalny pomiar **wszystkich rodzajów cząstek** i ich (zwykle częściową) identyfikację.

Współczesne eksperymenty

Detektor uniwersalny

Ten schemat opisuje większość współczesnych eksperymentów przy kolajderach (LEP, HERA, Tevatron, LHC, ILC):

Kolejno od środka detektora:

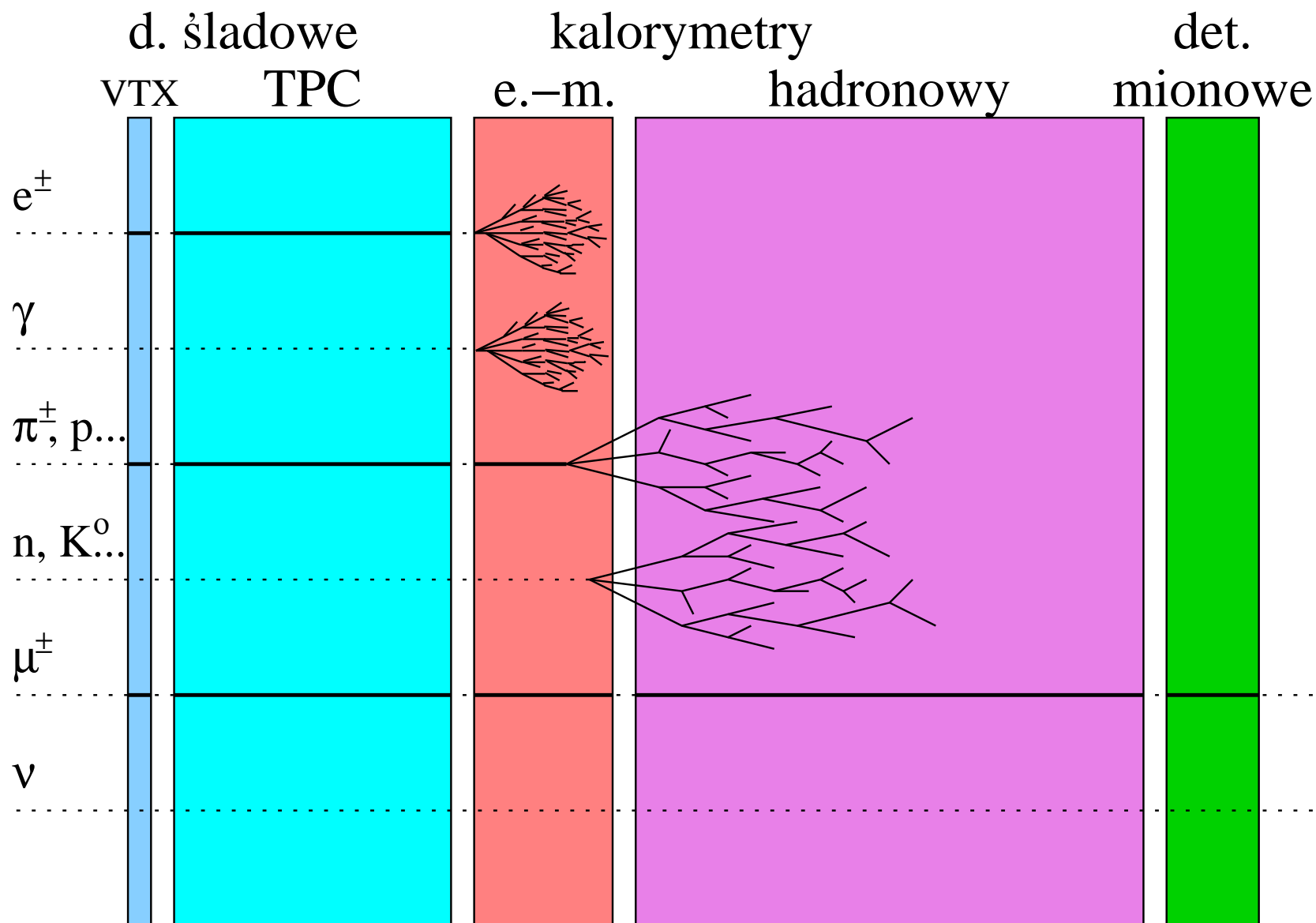
- detektor wierzchołka
jak najbliżej osi wiązki, określa gdzie zaszło zderzenie,
identyfikuje rozpady cząstek krótkożyciowych
(tzw. wierzchołki wtórne)
najczęściej detektor półprzewodnikowy
- detektory śladowe
pomiar torów cząstek naładowanych, wyznaczenie pędów
cząstek z zakrzywienia w polu magnetycznym
najczęściej detektory gazowe
(minimalizuje oddziaływania cząstek w detektorze)

Współczesne eksperymenty

Detektor uniwersalny

- kalorymetr elektromagnetyczny
pomiar energii elektronów i fotonów
gęsty materiał absorbujący lawinę cząstek
(międz, ołów, wolfram)
- kalorymetr hadronowy
pomiar energii hadronów (protony, neutrony, piony, kaony)
gęsty materiał absorbujący lawinę cząstek; lawina hadronowa
jest wielokrotnie dłuższa od elektromagnetycznej.
- detektory mionowe
identyfikacja mionów - jedyne cząstki naładowane, które mogą
przejsć przez kalorymetry bez dużych strat energii

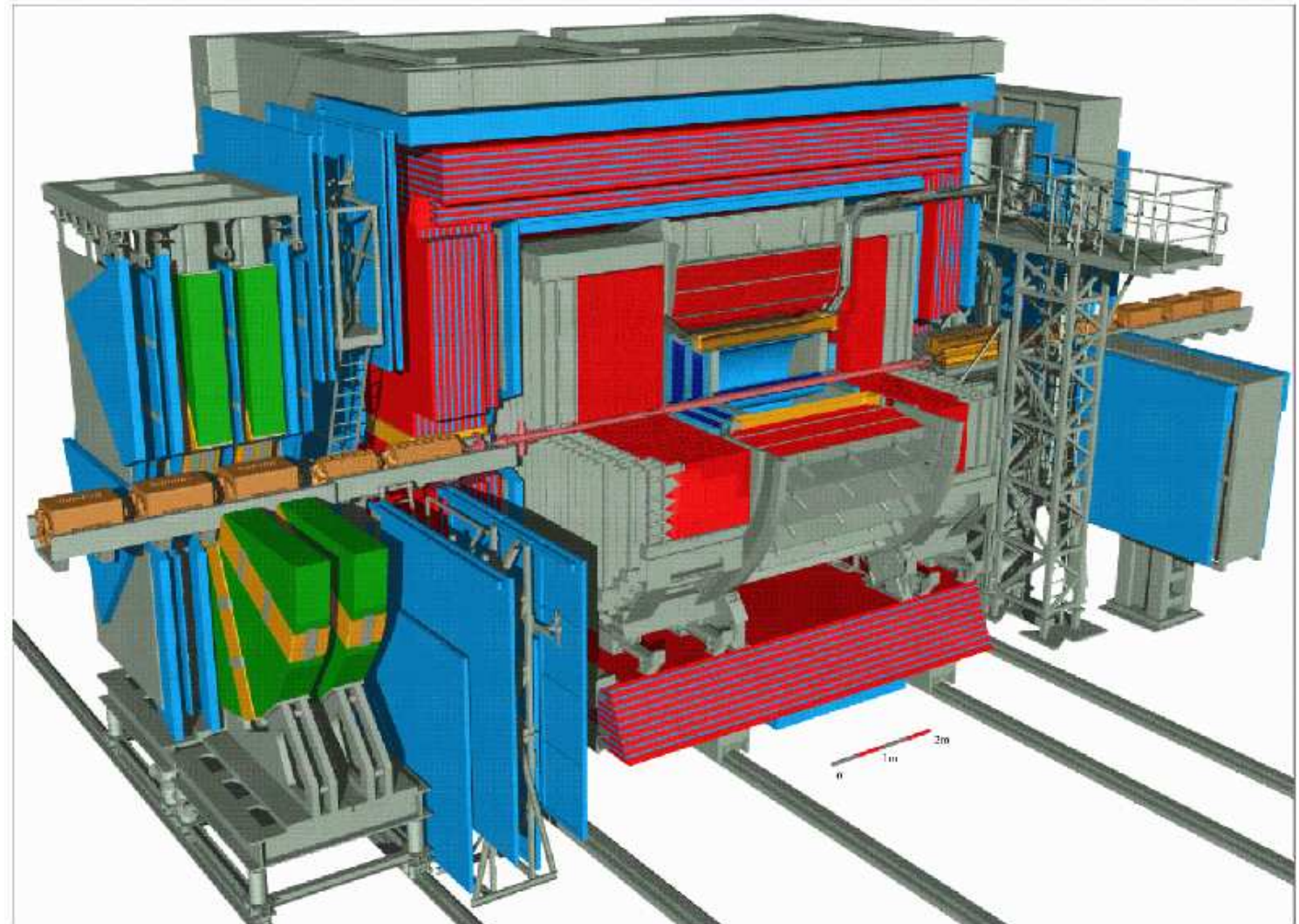
Współczesne eksperymenty



Współczesne eksperymenty

ZEUS

Detektor **ZEUS**,
akcelerator
HERA,
zderzenia wiązek
przeciwbieżnych
 $e^\pm p$



ZEUS (HERA) 

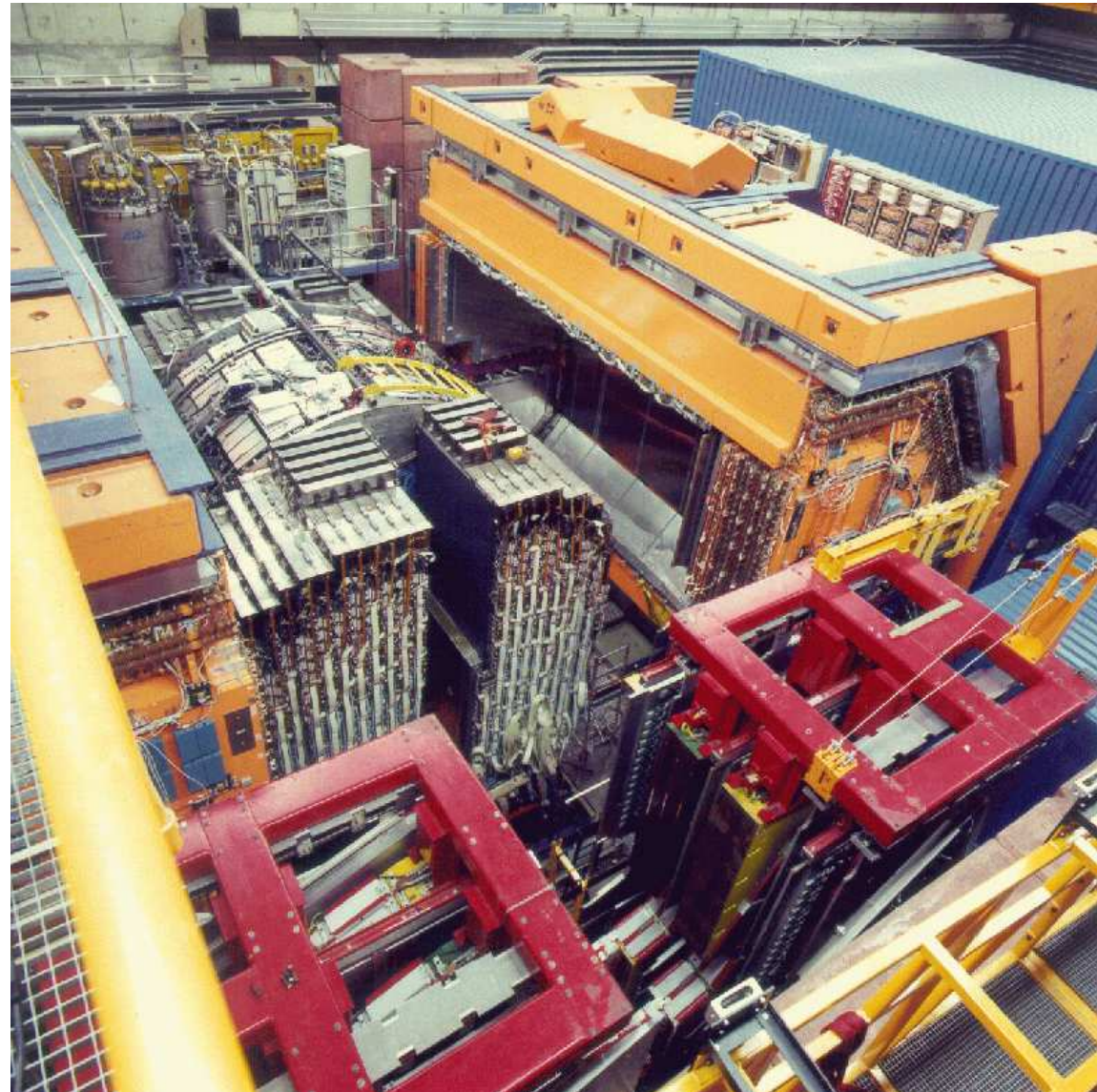
Software: SURC-IDEAS level V11
Performed by: Caster Hartmann
Status: October 1995



Współczesne eksperymenty

ZEUS

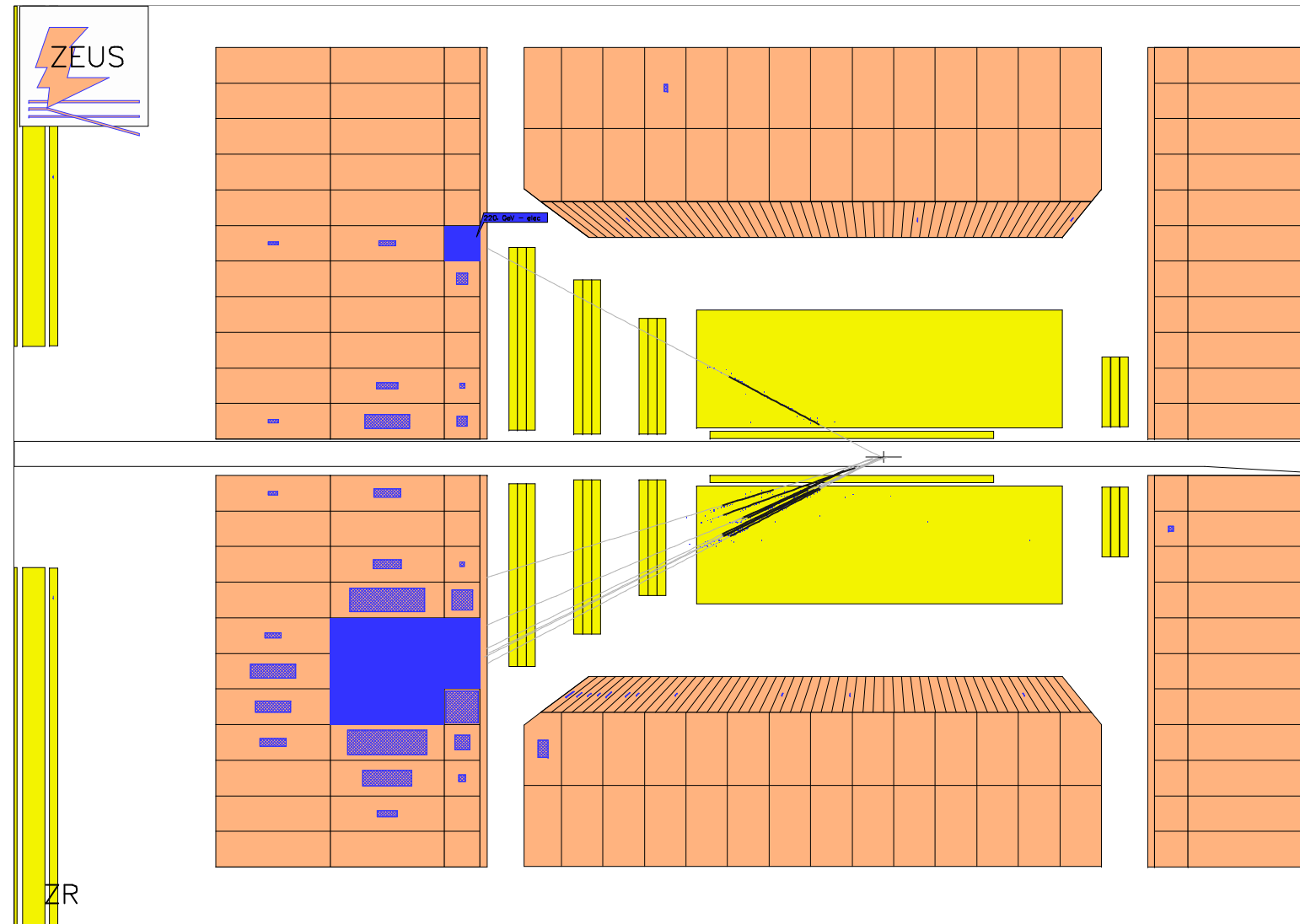
Detektor **ZEUS**,
akcelerator
HERA,
zderzenia wiązek
przeciwbieżnych
 $e^\pm p$



Współczesne eksperymenty

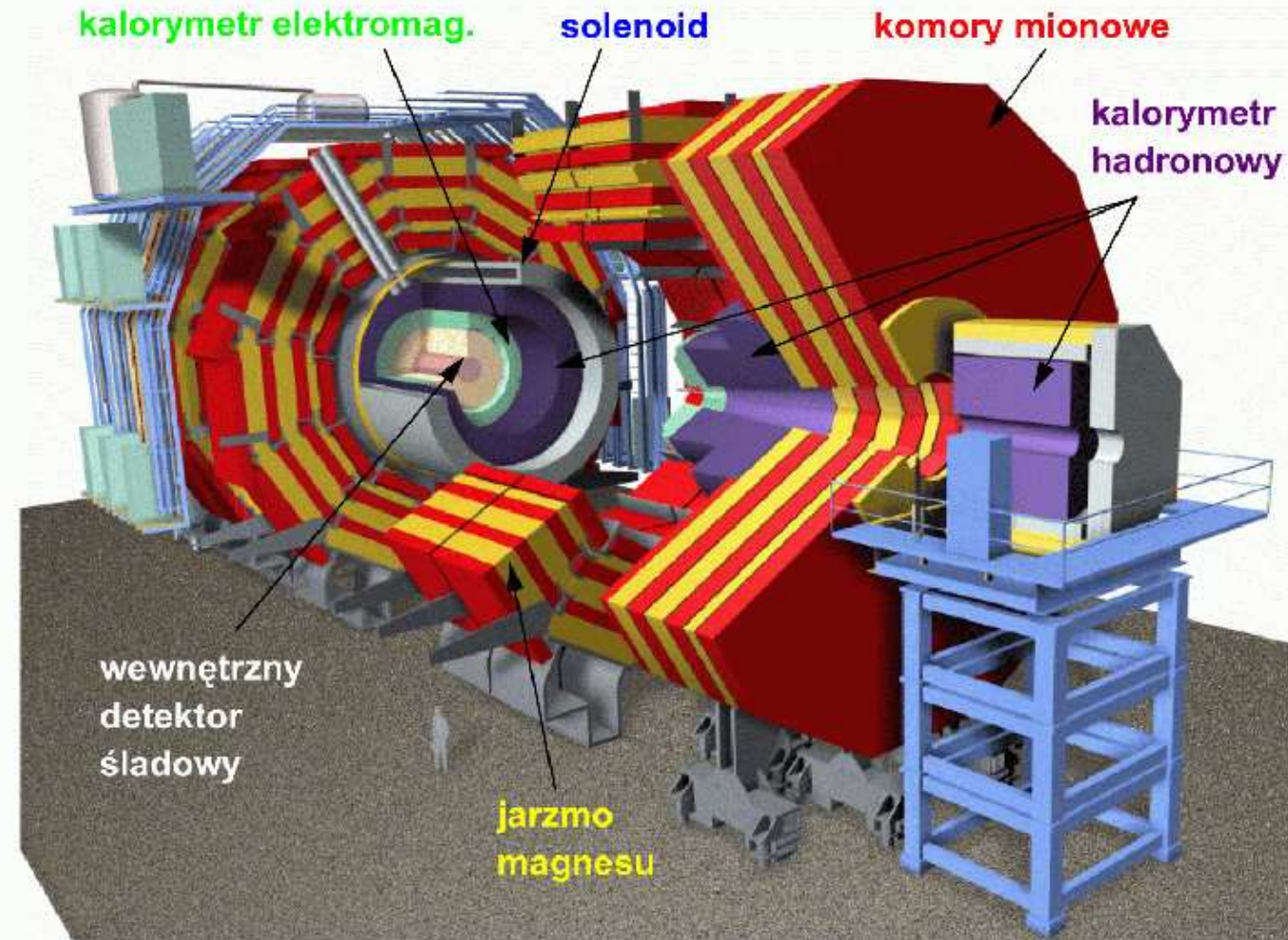
ZEUS

Detektor **ZEUS**,
 akcelerator
HERA,
 zderzenia wiązek
 przeciwbieżnych
 $e^\pm p$



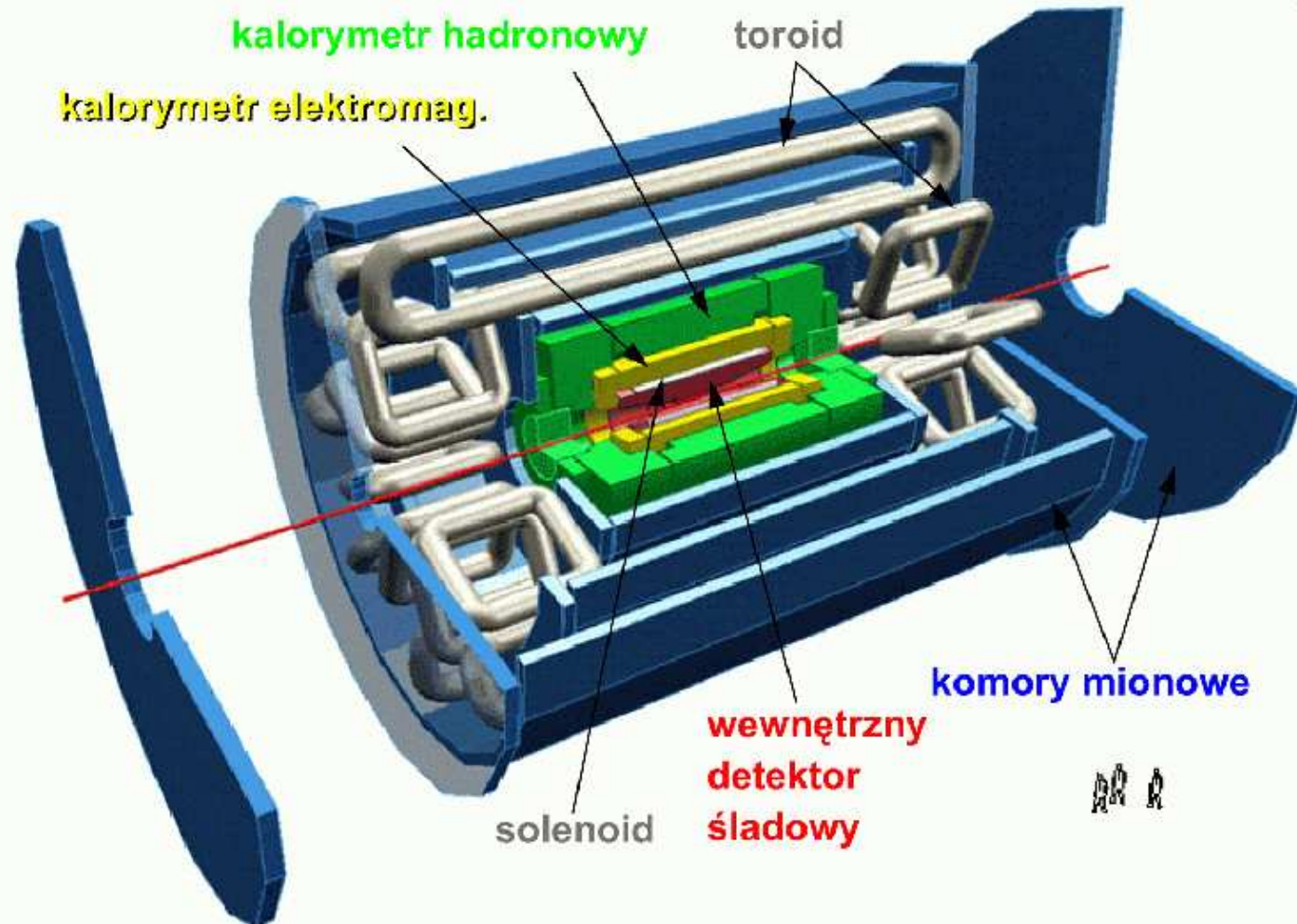
Współczesne eksperymenty

Compact Muon Solenoid



Współczesne eksperymenty

A Toroidal LHC ApparatuS (ATLAS)



Stan przygotowań - ATLAS

15 grudnia 2003



Stan przygotowań - ATLAS

15 czerwca 2004

UX15 Jura Tue Jun 15 17:00:02 2004



Stan przygotowań - ATLAS

15 grudnia 2004



Stan przygotowań - ATLAS

15 czerwca 2005



Stan przygotowań - ATLAS

15 grudnia 2005

UX15 Jura. Thu Dec 15 17:00:07 2005



Stan przygotowań - ATLAS

15 czerwca 2006

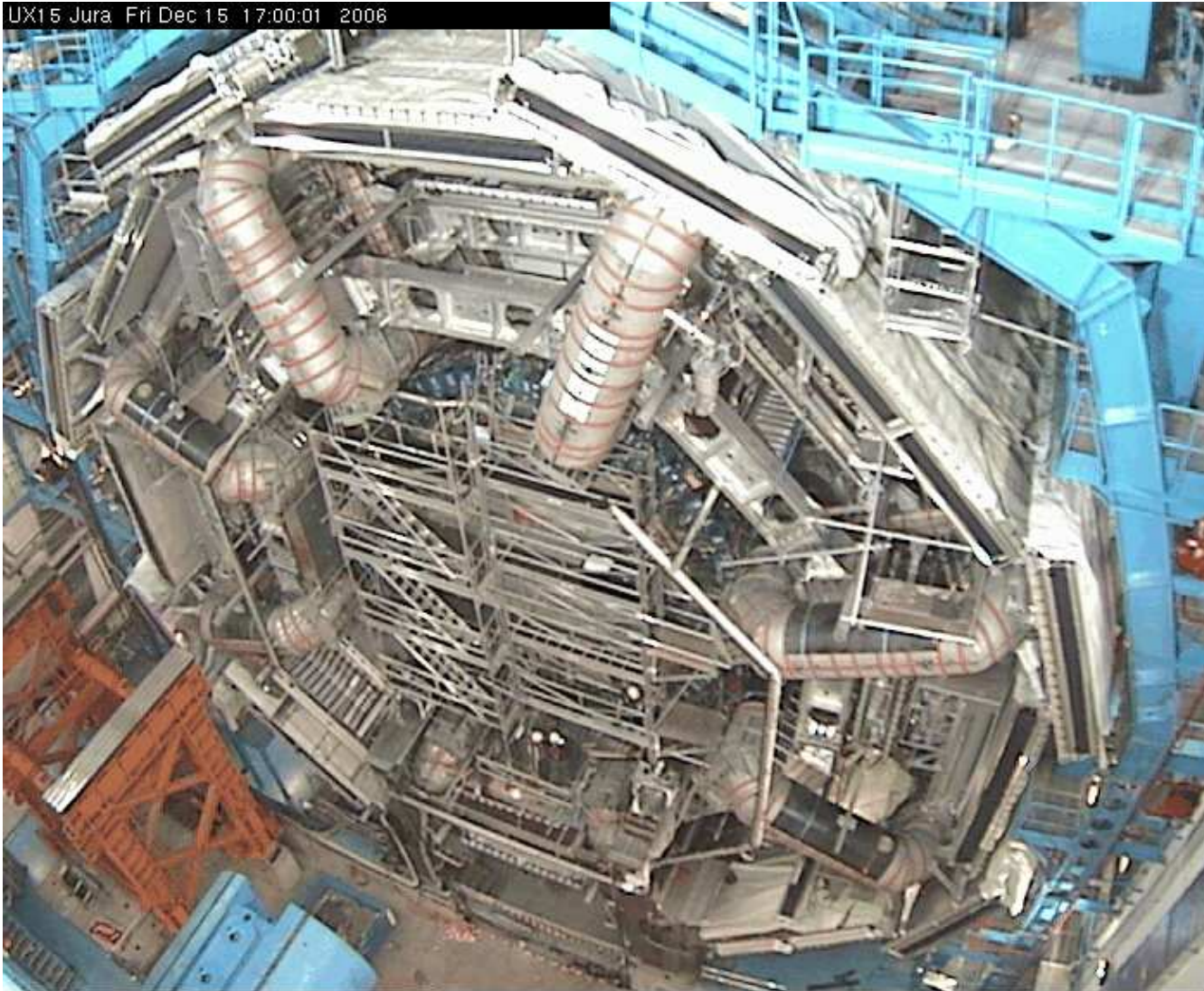
UX15 Jura Thu Jun 15 17:00:02 2006



Stan przygotowań - ATLAS

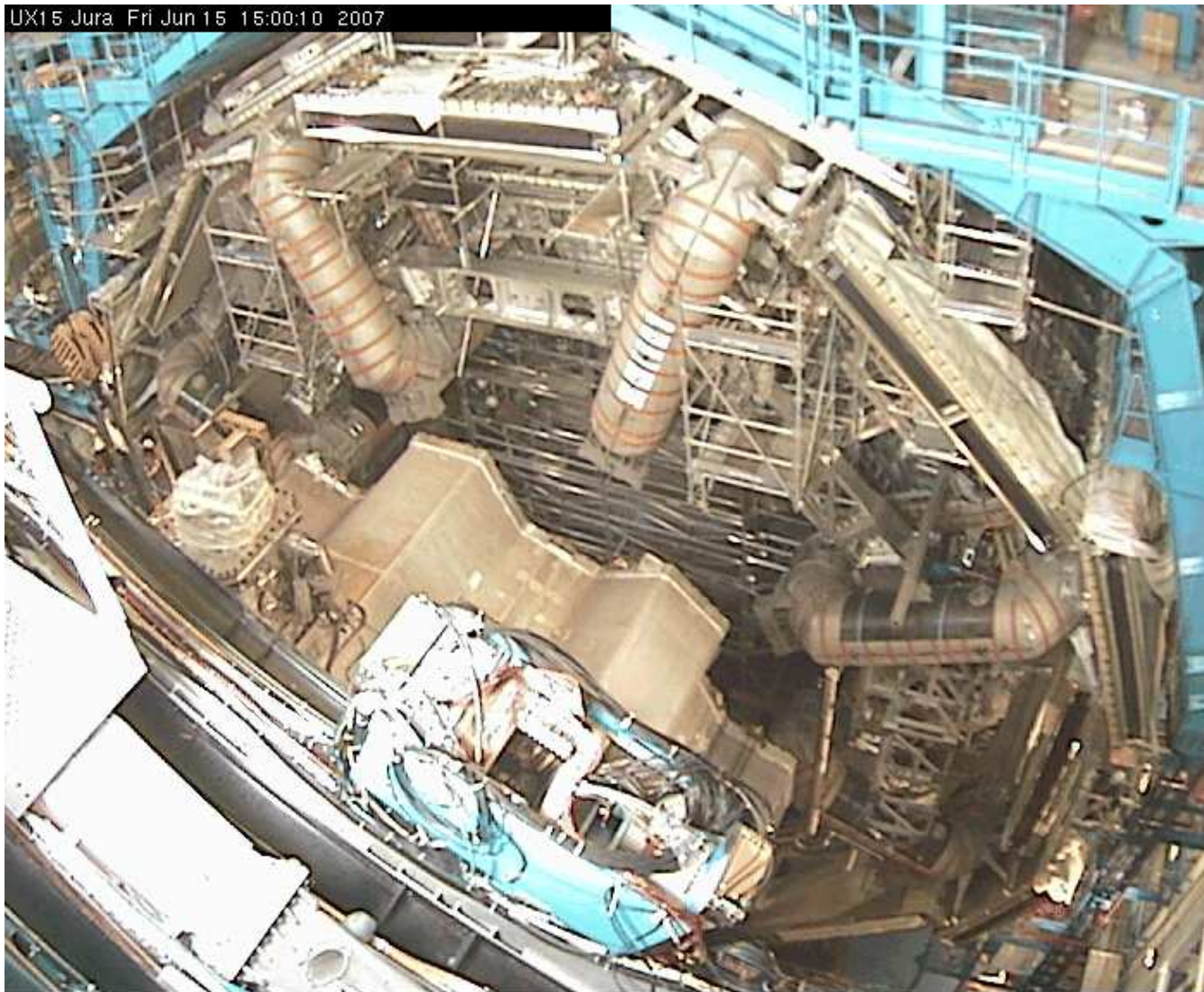
15 grudnia 2006

UX15 Jura Fri Dec 15 17:00:01 2006



Stan przygotowań - ATLAS

15 czerwca 2007



Stan przygotowań - ATLAS

15 grudnia 2007



Stan przygotowań - ATLAS

23 luty 2008

UX15 Jura Sat Feb 23 14:00:02 2008

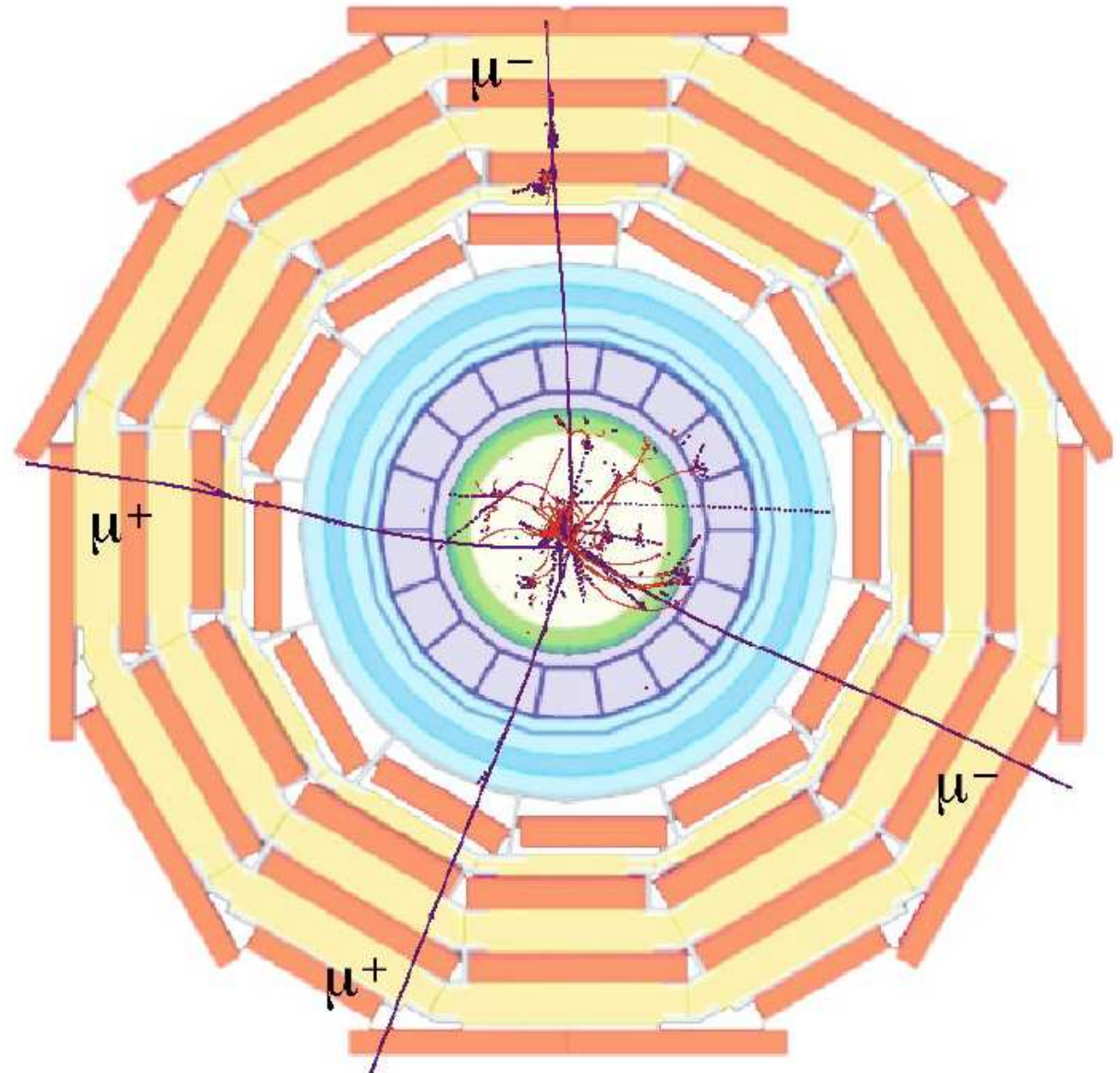


Współczesne eksperymenty

W detektorze CMS przy LHC mamy nadzieję zobaczyć takie przypadki:

Produkcja Bozonu Higgsa i rozpad

$$H \rightarrow ZZ \rightarrow \mu^+ \mu^- \mu^+ \mu^-$$



Współczesne eksperymenty

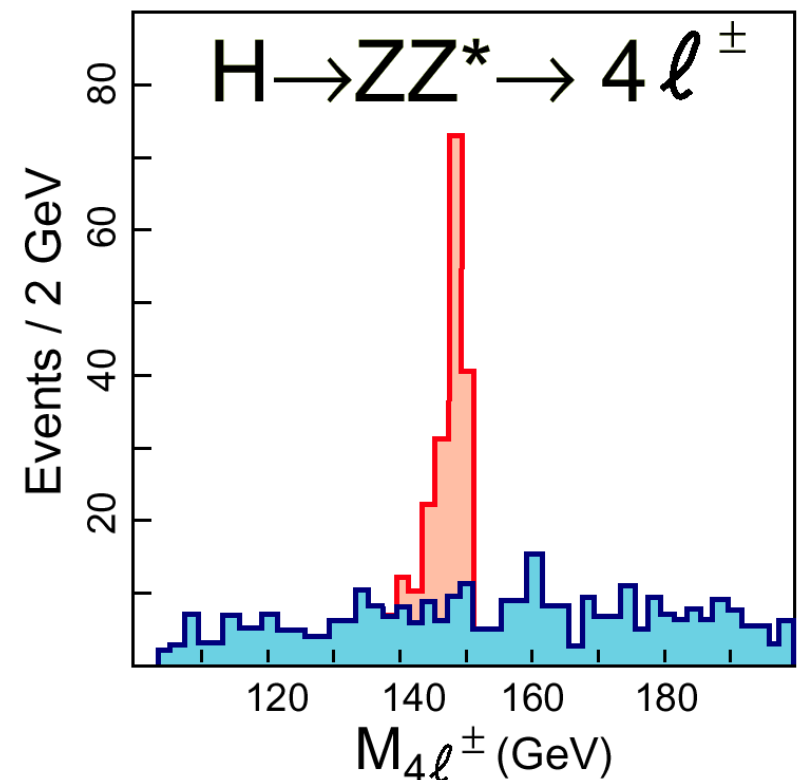
Poszukiwania **bozonu Higgsa** a następnie **pomiar** jego **parametrów** będzie jednym z głównych tematów badań w LHC.

Najbardziej obiecujący jest **kanal**:

$$pp \rightarrow H \rightarrow Z^0 Z^0 \rightarrow l^+ l^- l^+ l^-$$

gdyż naładowane leptony (e^\pm i μ^\pm) można **łatwo zidentyfikować** (kalorymetr elektromagnetyczny, komory mionowe)

Ale wciąż nie będzie to łatwe zadanie!



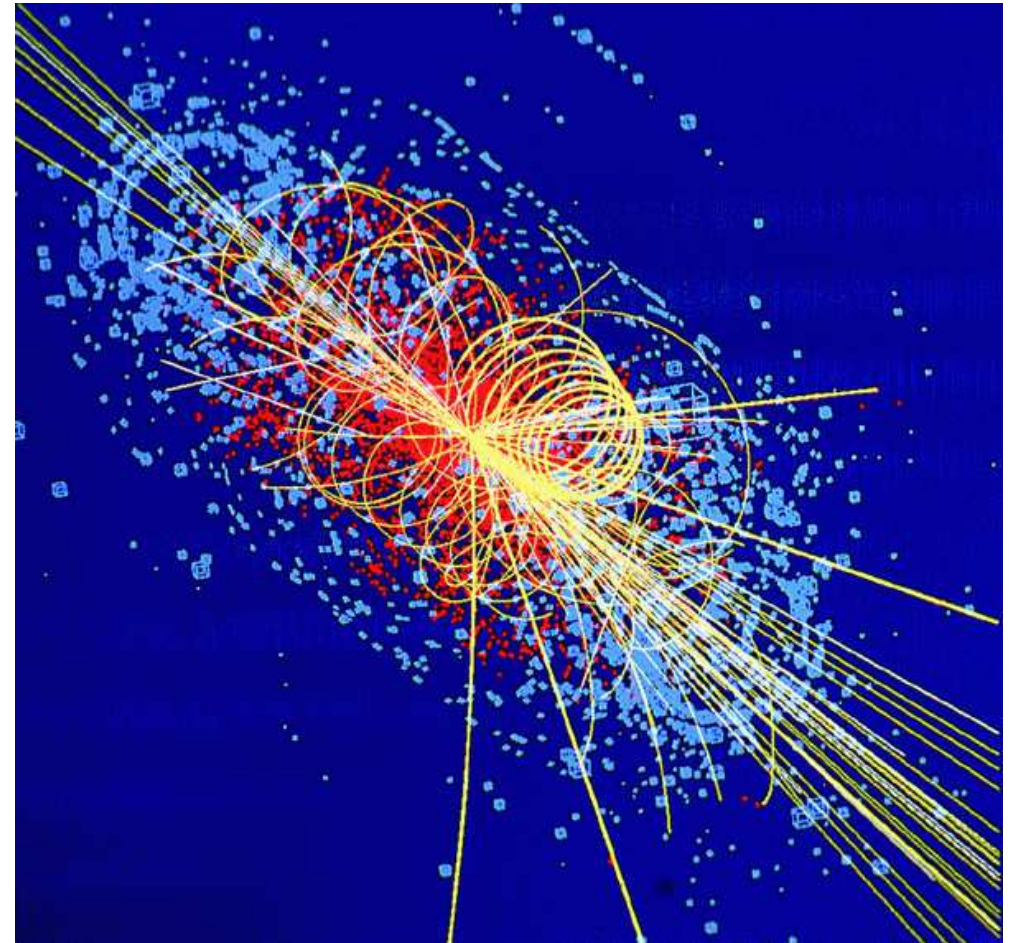
Współczesne eksperymenty

Przy każdym przecięciu paczek zderzać się będzie kilkadziesiąt par protonów.

W prawie każdym zderzeniu wyprodukowane będą nowe cząstki.

Koło miliarda oddziaływań na sekundę!

Jak wybrać te ciekawe?



Współczesne eksperymenty

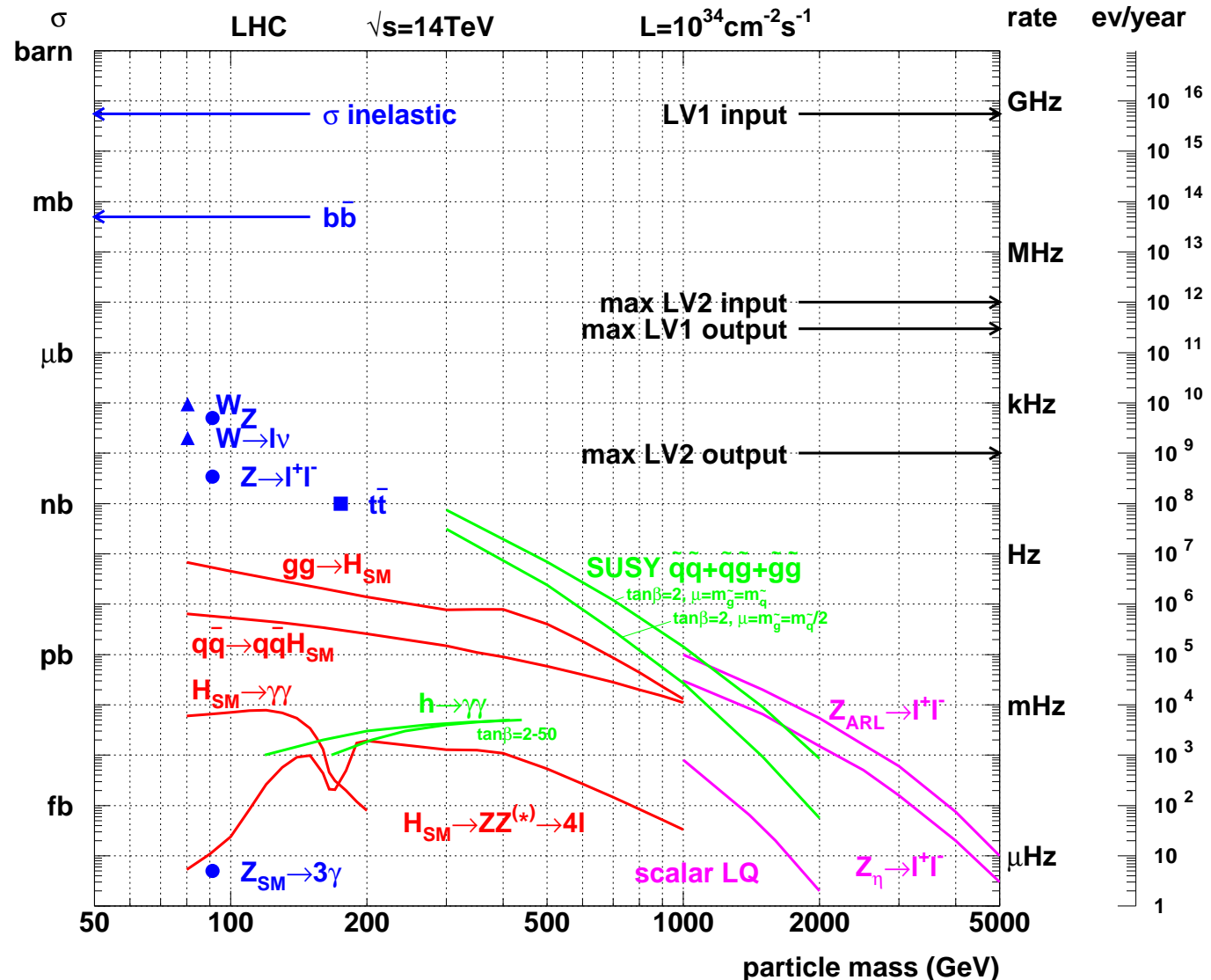
Układ wyzwalań

Sygnaly z detektora są na bieżąco “podglądane” przez dedykowane układy elektroniczne.

Tylko “ciekawe” sygnaly są czytane z detektora.

Te przypadki są dalej przepuszczane przez specjalne programy - “filtry”, które mają odrzucać wszystkie śmieci.

Zapisujemy tylko to, co ma szansę być ciekawe!



Współczesne eksperymenty

Zbieranie i rekonstrukcja danych

Ilość zbieranych danych dawno przekroczyła możliwości pojedynczego komputera.

1 przypadek to MB danych

zbieramy miliony przypadków

Ale do niedawna można to było trzymać w jednym miejscu...



Współczesne eksperymenty

Zbieranie i rekonstrukcja danych

Ilość zbieranych danych dawno przekroczyła możliwości pojedynczego komputera.

1 przypadek to MB danych

zbieramy miliony przypadków

Ale do niedawna można to było trzymać w jednym miejscu...



GRID dla LHC

