

Jak zobaczyć cząstkę elementarną?

Piotr Traczyk

CERN

LHC w skrócie

czyli po co przyspieszamy cząstki?



LHC w skrócie

czyli po co przyspieszamy cząstki?

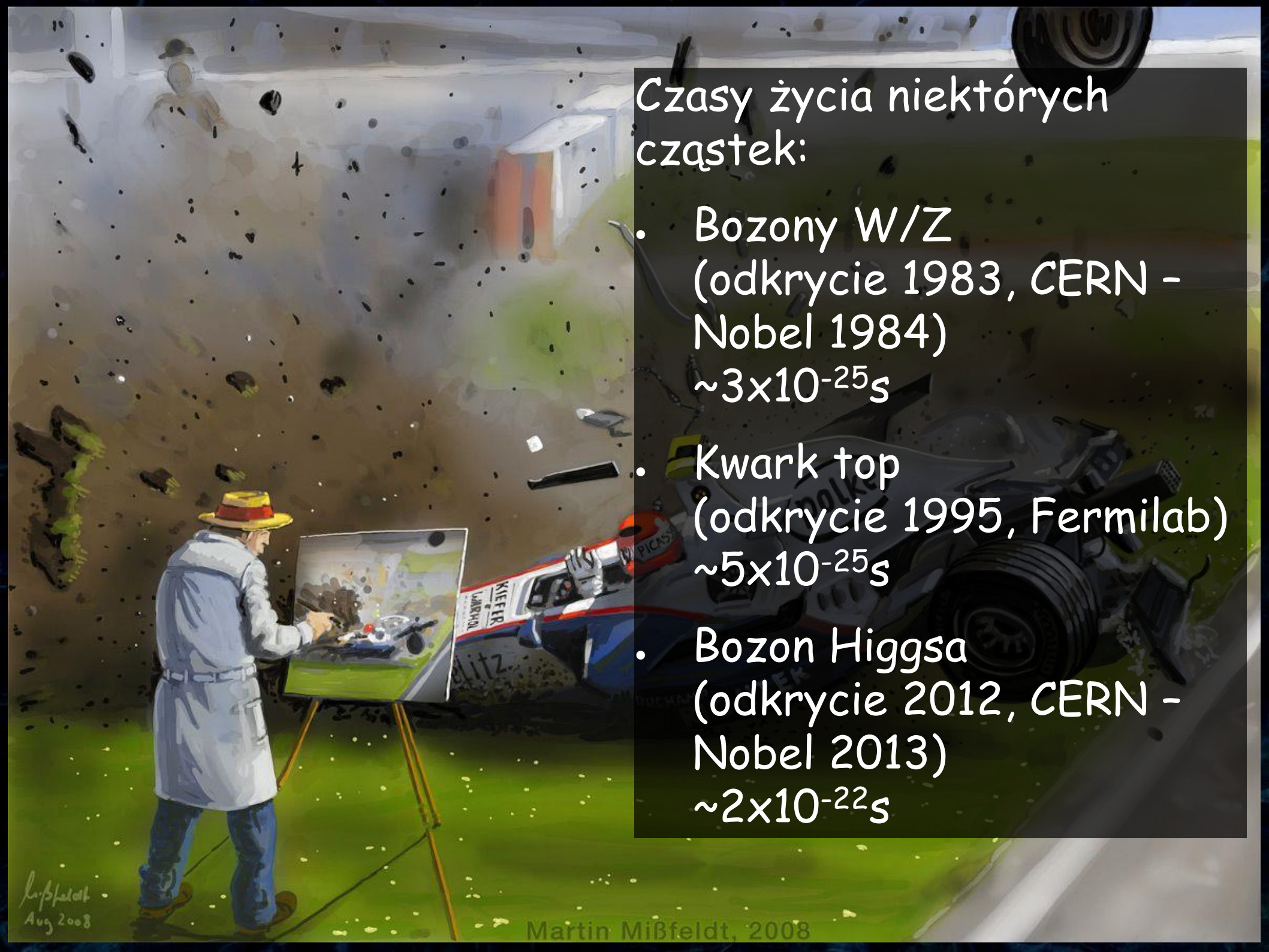
- Rozpędzamy parę protonów, nadając każdemu z nich energię lecącego komara
- Zderzamy je czołowo, aby zamienić tą energię w masę ($E=mc^2$) nowej cząstki
- Cząstka ta prawie natychmiast rozpadnie się na inne cząstki
- Produkty tego rozpadu staramy się zarejestrować i dowiedzieć się co tak naprawdę w tym zderzeniu powstało





Mißfeldt
Aug 2008

Martin Mißfeldt, 2008



Czasy życia niektórych
cząstek:

- Bozony W/Z
(odkrycie 1983, CERN -
Nobel 1984)
 $\sim 3 \times 10^{-25} \text{ s}$
- Kwark top
(odkrycie 1995, Fermilab)
 $\sim 5 \times 10^{-25} \text{ s}$
- Bozon Higgsa
(odkrycie 2012, CERN -
Nobel 2013)
 $\sim 2 \times 10^{-22} \text{ s}$

Detekcja cząstek

- Tak naprawdę nie widzimy samych cząstek - obserwować możemy jedynie efekty ich oddziaływania z materią
- Na podstawie tych oddziaływań próbujemy ustalić:
 - Typ cząstki (ładunek)
 - Energię (pęd, razem z kierunkiem)
 - Pochodzenie (punkt produkcji)



CMS Experiment at the LHC, CERN

Data recorded: 2011-Dec-01 14:35:53.627881 GMT

Run / Event / LS: 182798 / 2295665 / 117

Wybrane **Metody rejestracji cząstek**

Zobaczyć ślad



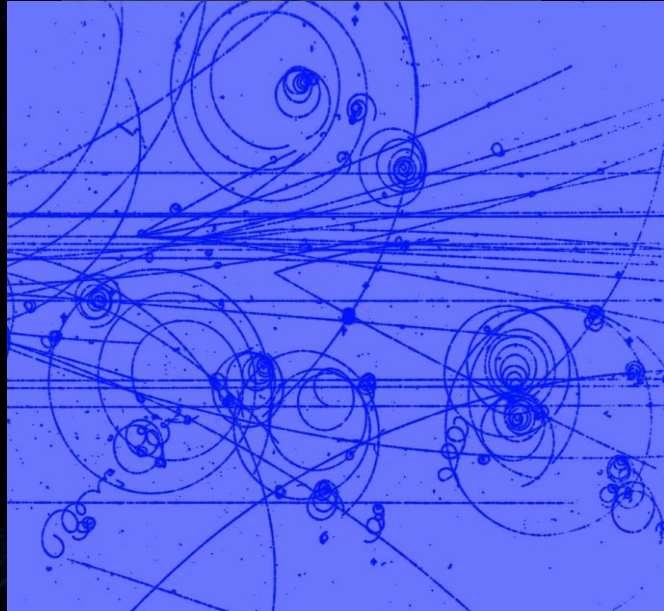
Albo

Złapać



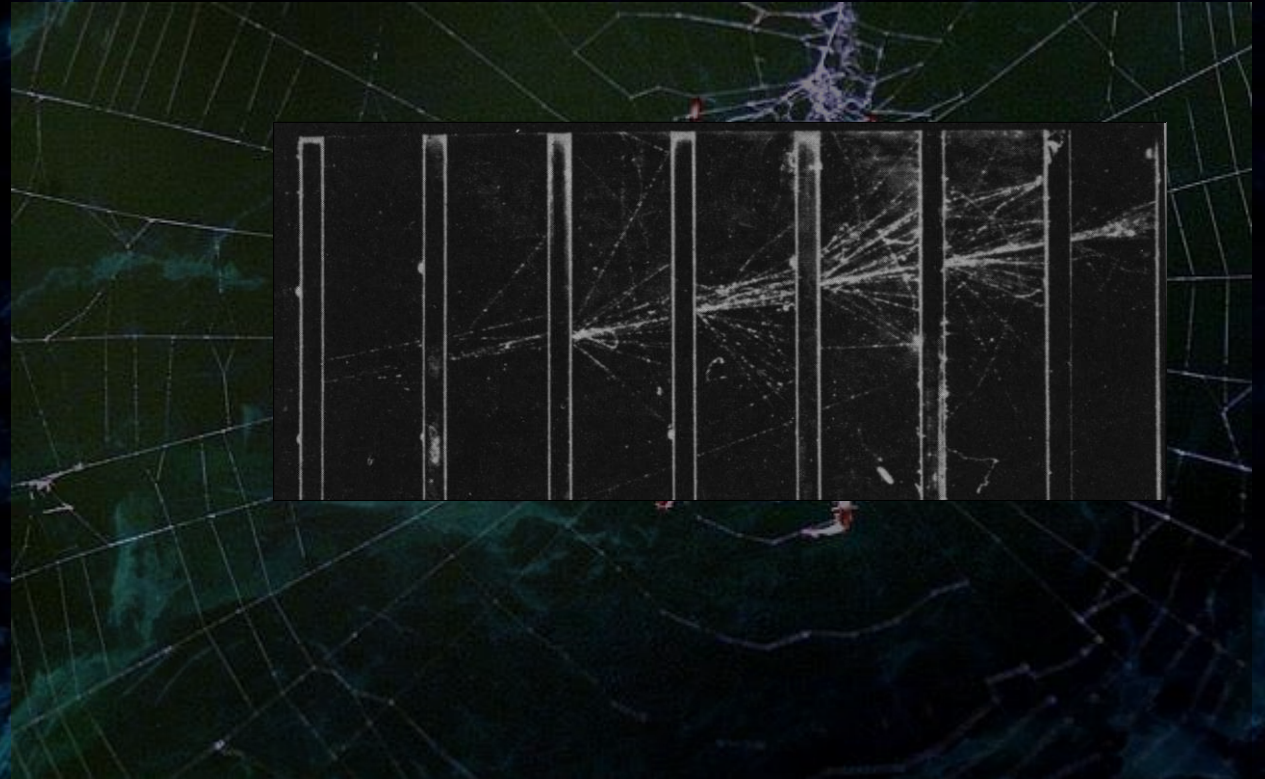
Wybrane Metody rejestracji cząstek

Detektor śladowy

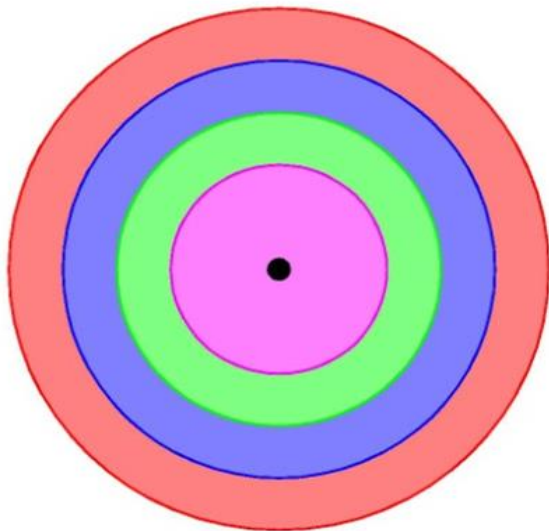
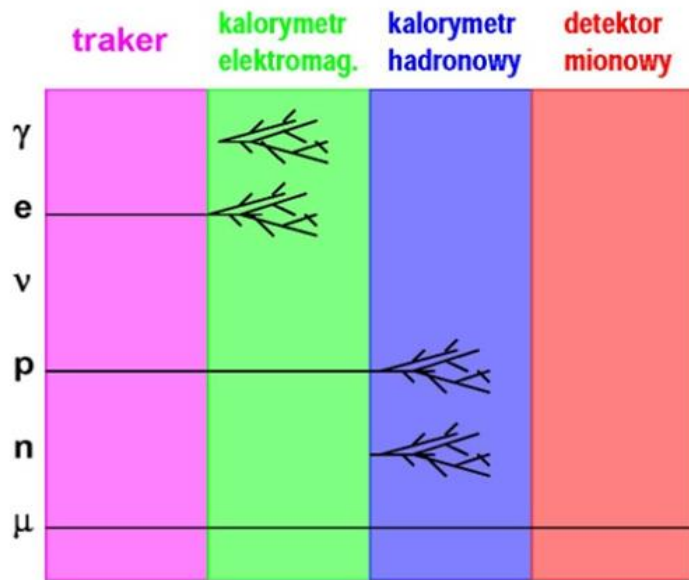


Albo

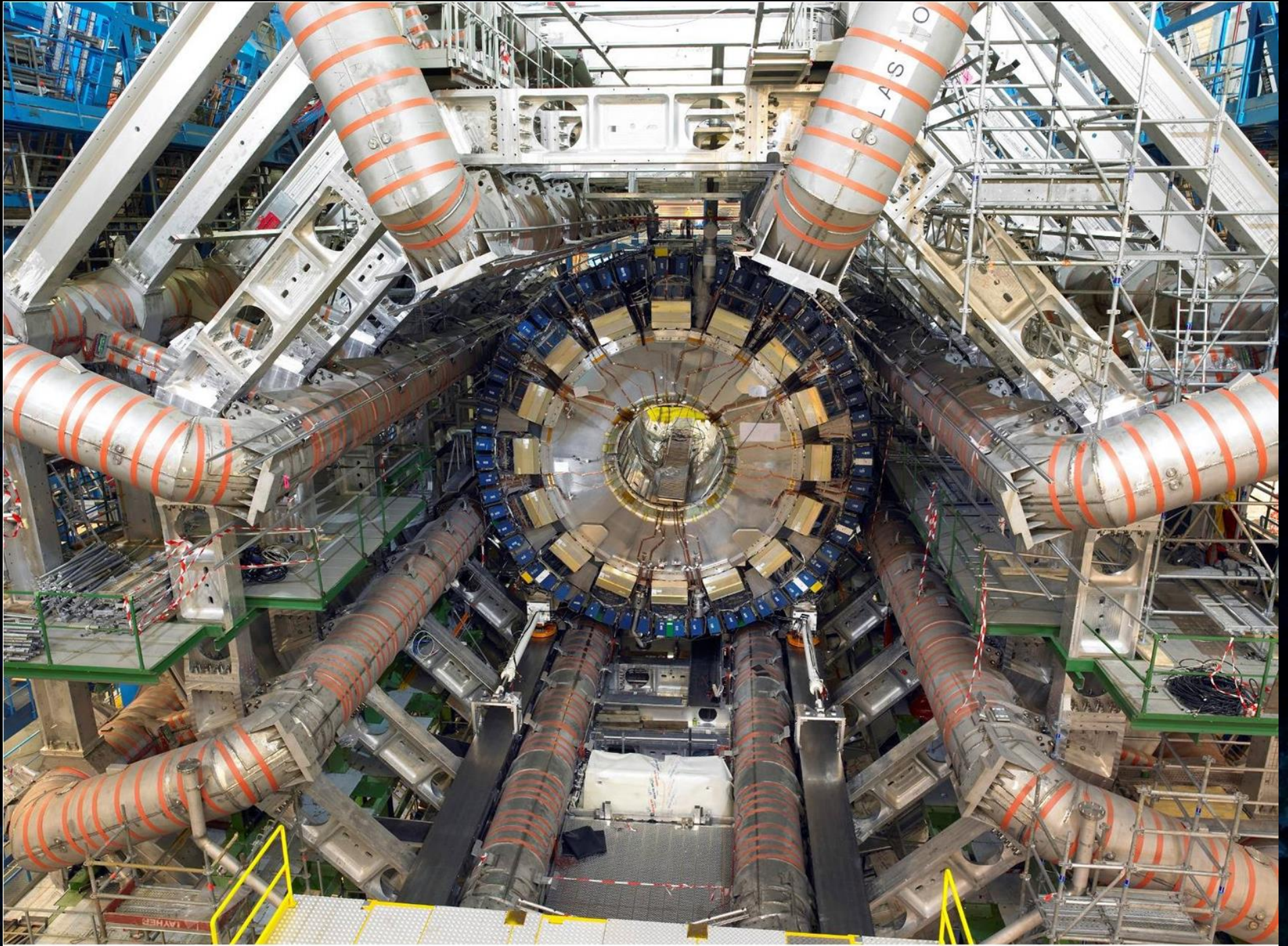
Kalorymetr



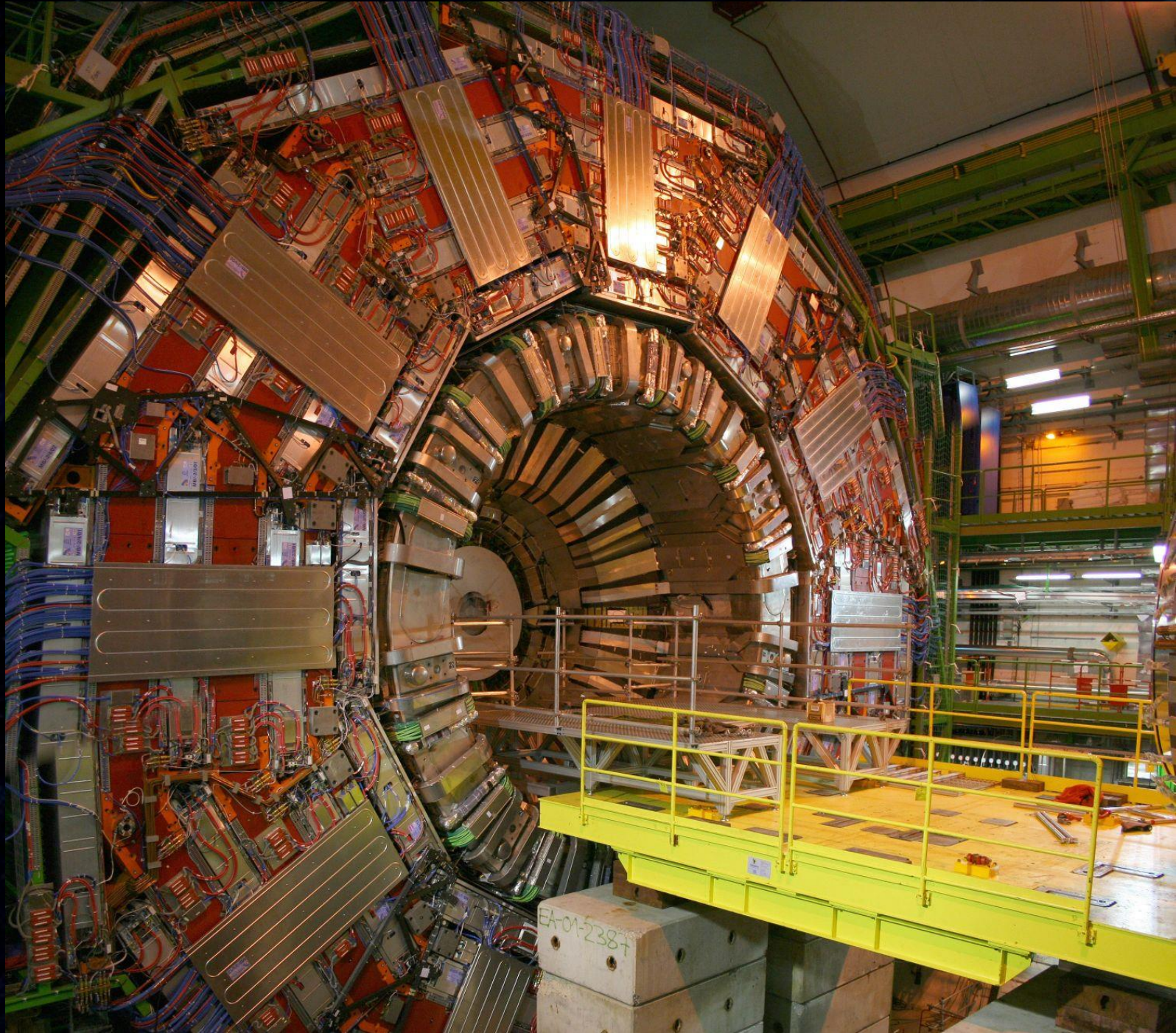
Detektory cząstek są jak...



ATLAS

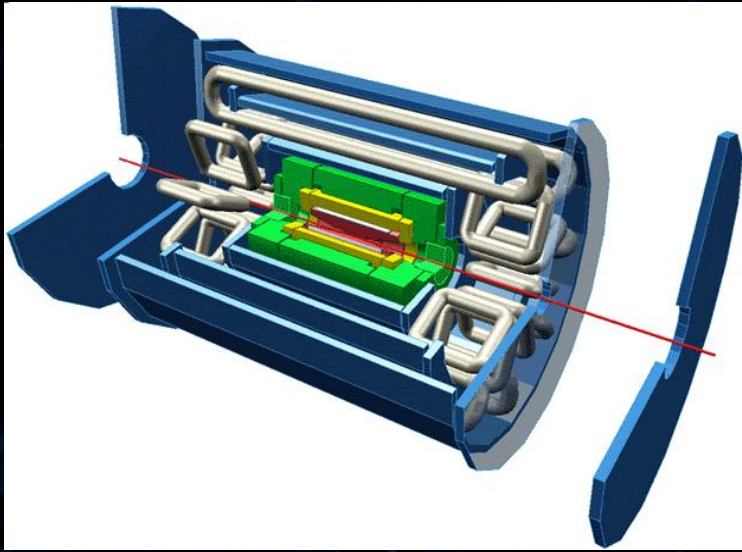


CMS

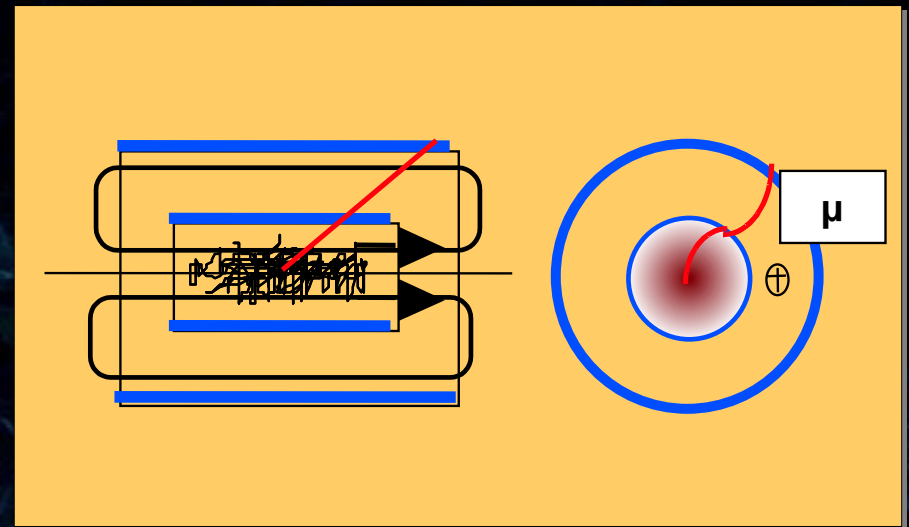
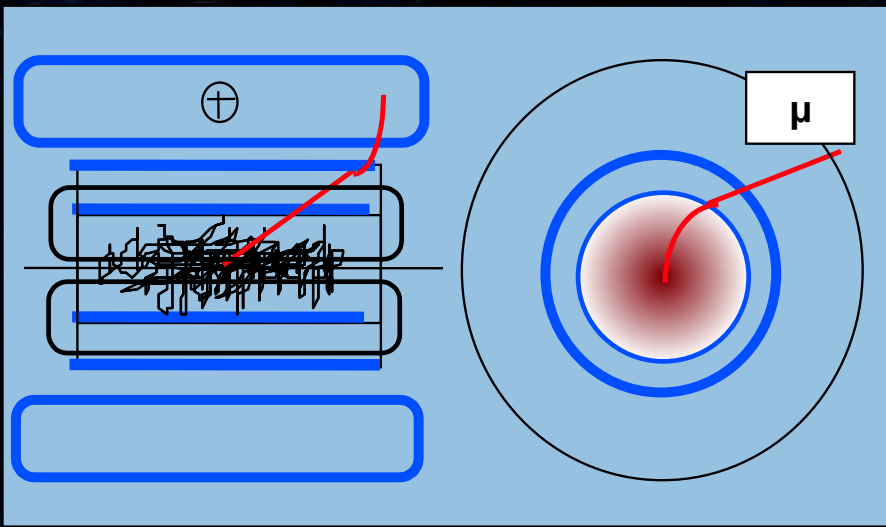
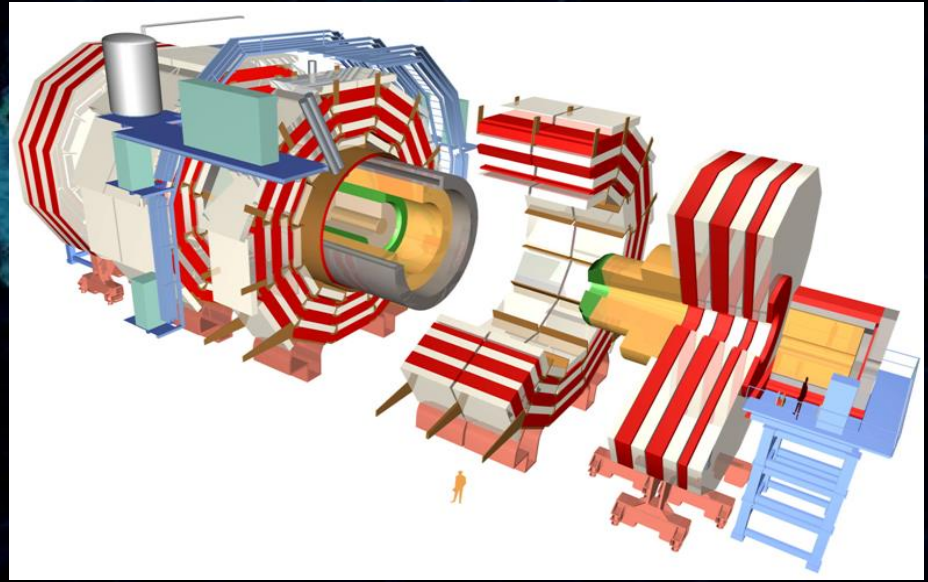


Magnes

ATLAS A Toroidal LHC Apparatus



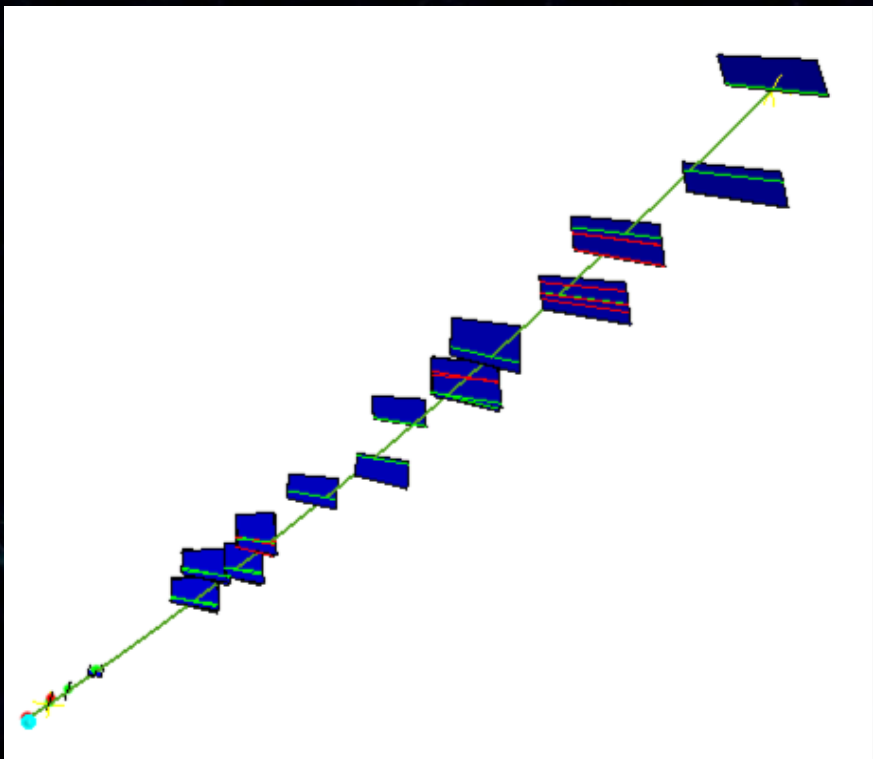
CMS Compact Muon Solenoid



Detektory śladowe

- Zadanie - wyznaczenie trajektorii cząstek naładowanych
- Pierwsze detektory śladowe - odczyt optyczny
 - Emulsja fotograficzna
 - Komora Wilsona (mgłowa), komora pęcherzykowa
 - Komora streamerowe, komory iskrowe
- W obecnych detektorach odczyt jest elektroniczny
 - Komory drutowe i komory proporcjonalne
 - Komory projekcji czasowej (TPC)
 - Detektory półprzewodnikowe

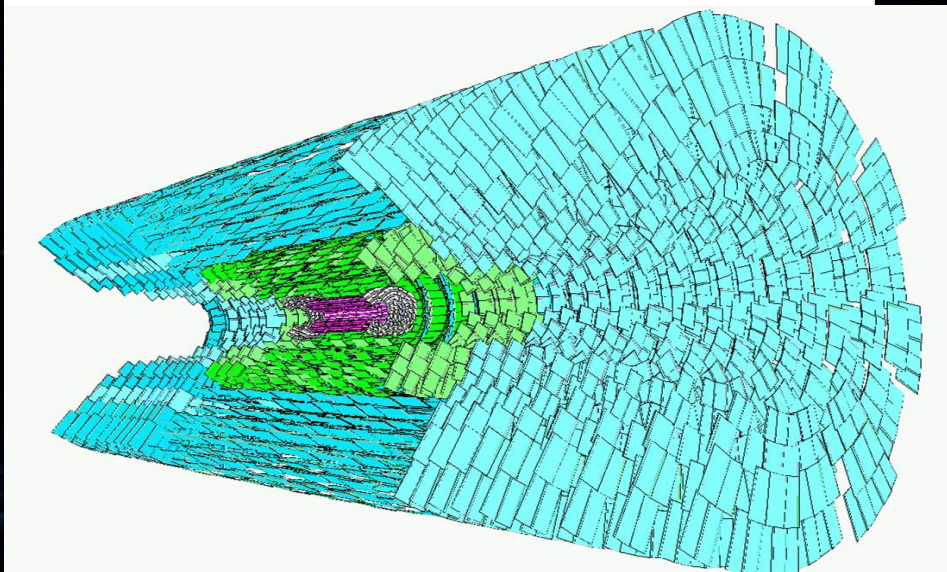
Detektor śladowy (Tracker) w CMS

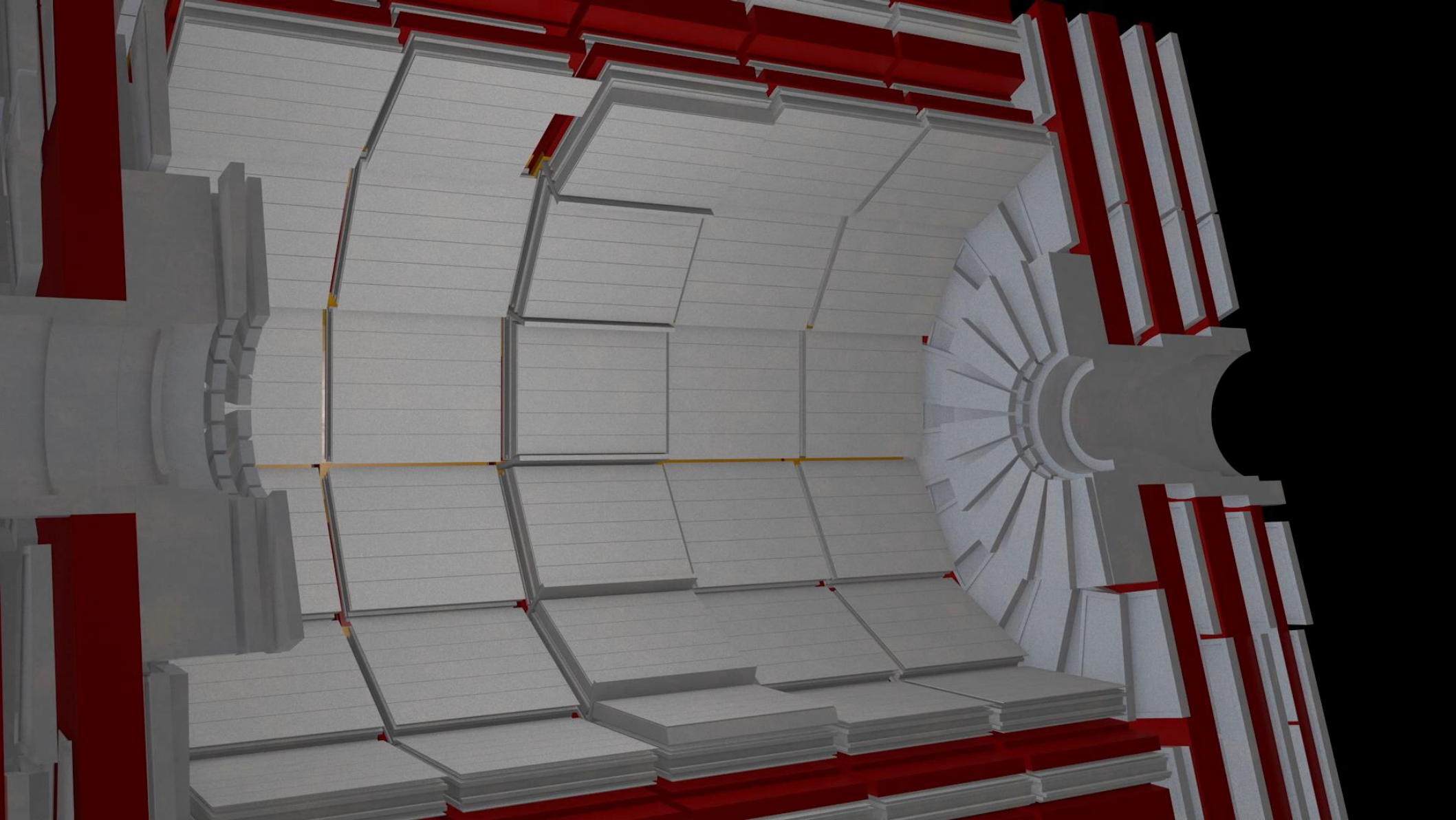


- Mierzy trajektorie cząstek naładowanych

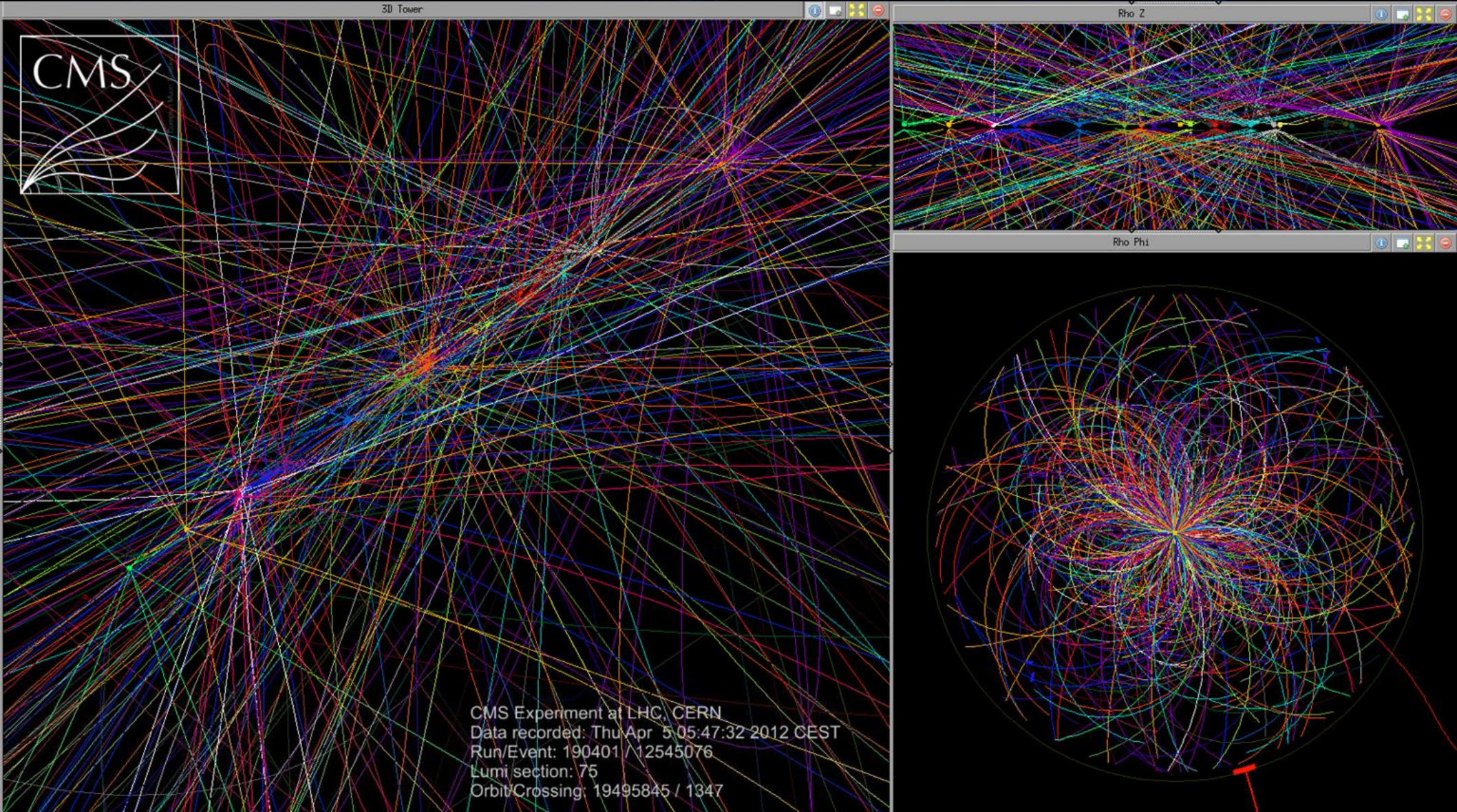
pęd $\sim 1/\text{krzywizna toru}$

- W całości oparty o detektory półprzewodnikowe (ponad 220m^2 , ~ 140 milionów kanałów odczytu)
- 4 warstwy detektorów pixelowych, 10-11 warstw detektorów paskowych





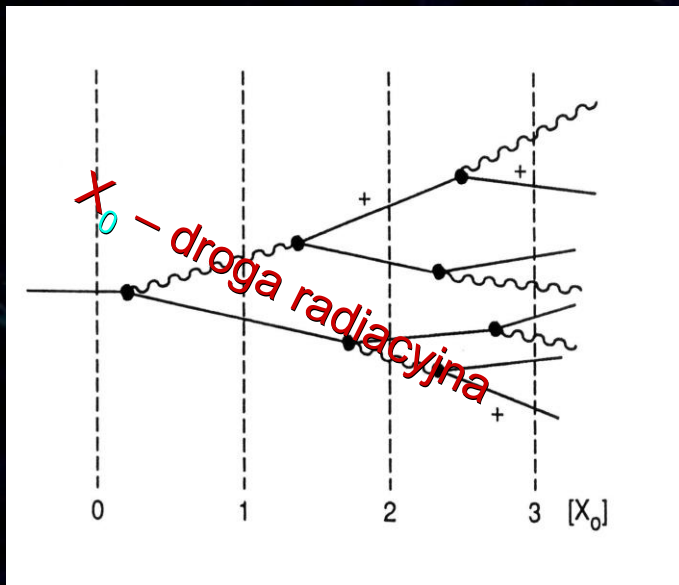
Event „pile-up”



Zderzeniu paczek protonów to kilka(dziesiąt) zderzeń protonów - nie dwa.
Zdjęcie zderzenia jest nałożeniem wielu zdjęć - trzeba jakoś rozszyfrować.

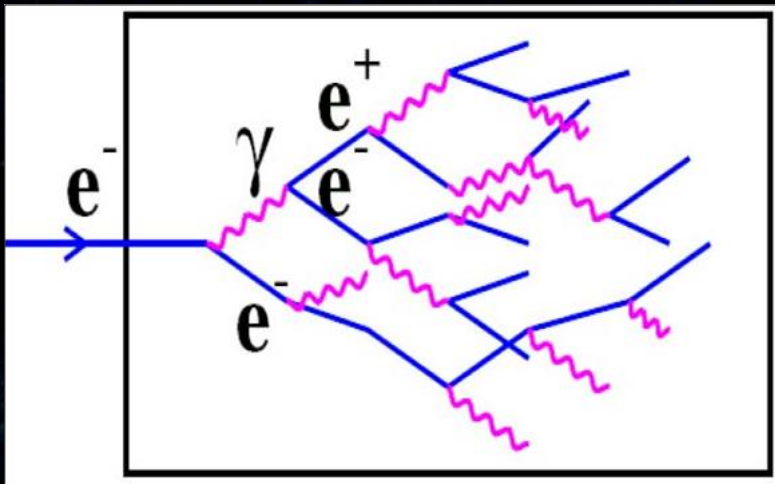
Kalorymetry

- Detektory mierzące energię cząstek przez ich całkowitą absorpcję



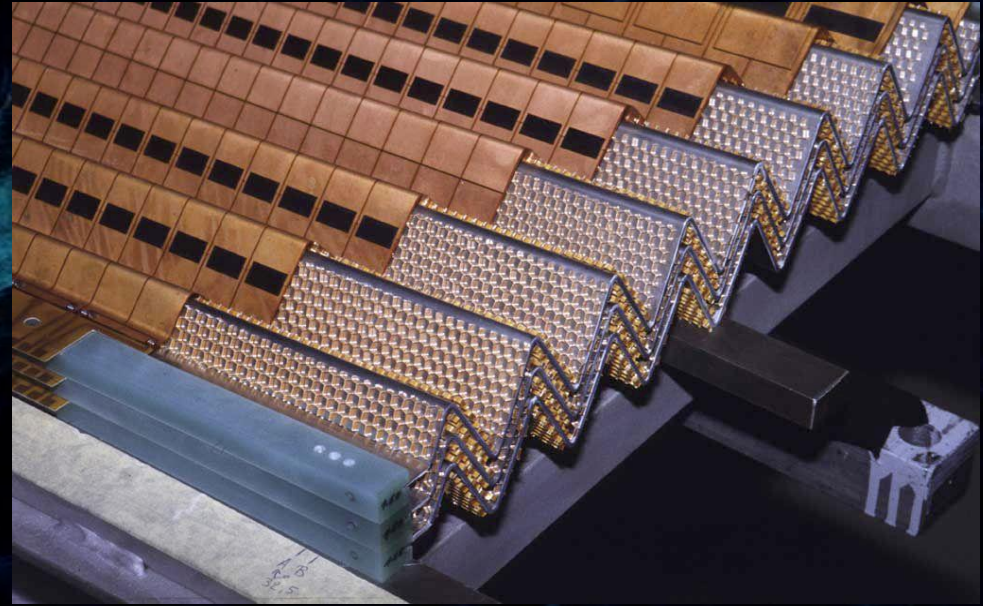
- X_0 - droga radiacyjna, średnia odległość na której elektron traci $1/e$ swojej energii
- Przykłady:

- Powietrze	30 420 cm
- Woda	36,1 cm
- Grafit	18,8 cm
- Żelazo	1,76 cm
- Ołów	0,56 cm
- Uran	0,32 cm



Kalorymetry Elektromagnetyczne

- Pomiar energii elektronów i fotonów
- Kalorymetry próbkujące (np. ATLAS) - naprzemienne warstwy absorbera i materiału aktywnego (w tym przypadku ciekły argon)
- Kalorymetry jednorodne (np. CMS) - kryształy PbWO_4 , jednocześnie scyntylator i absorber



Kalorymetry Elektromagnetyczne

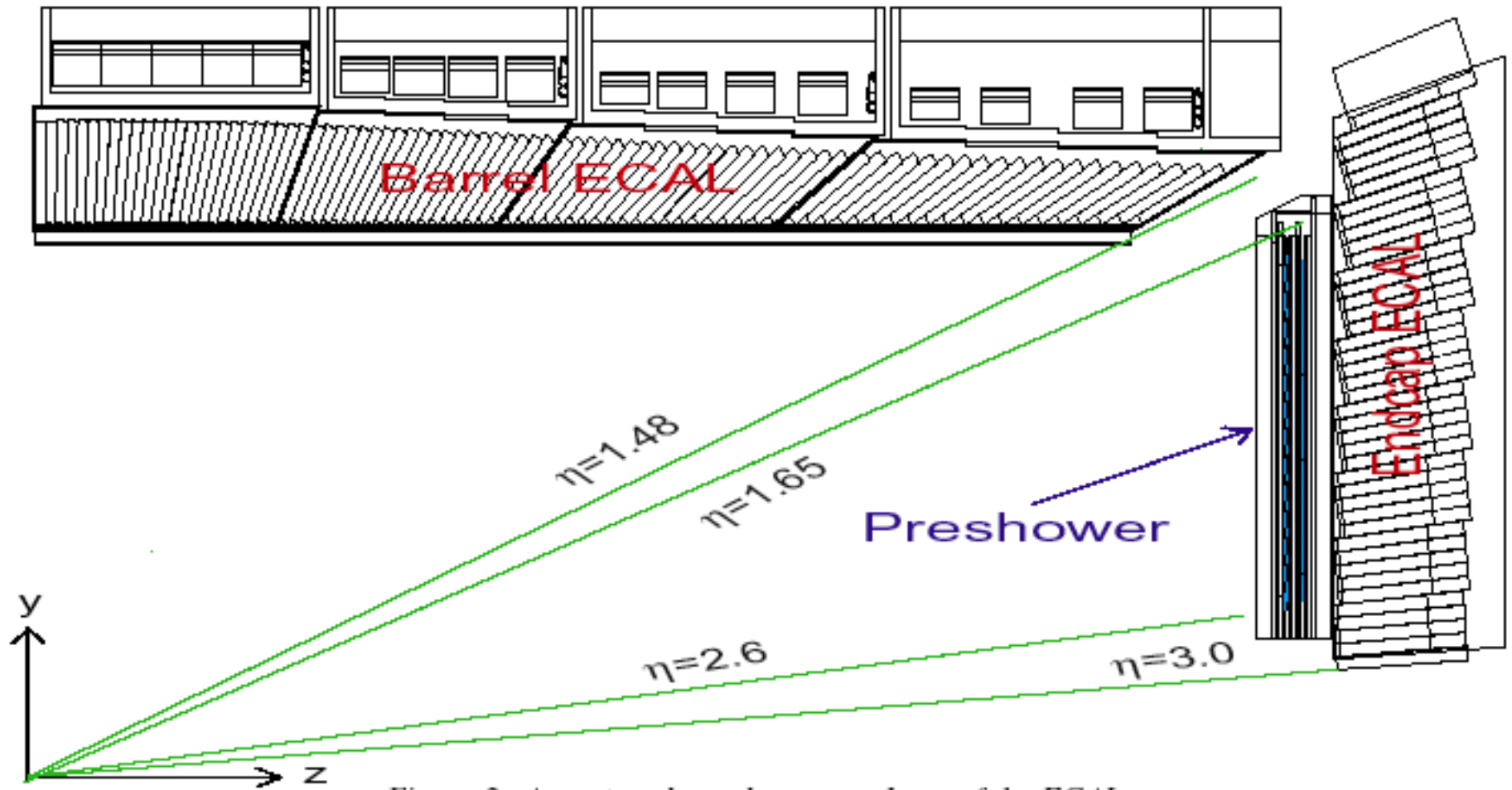
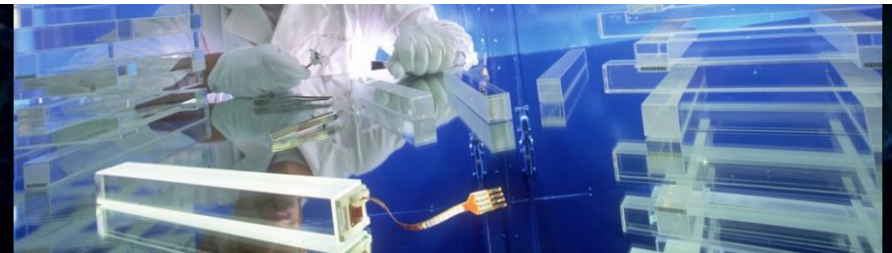


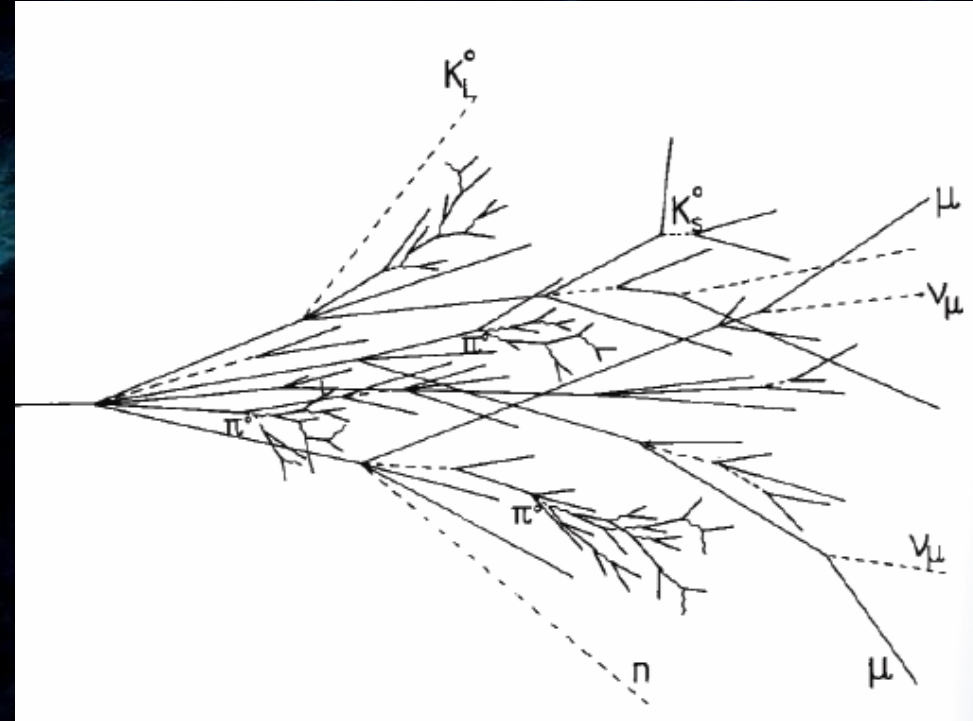
Figure 2: A section through one quadrant of the ECAL.

scyntylator i absorber



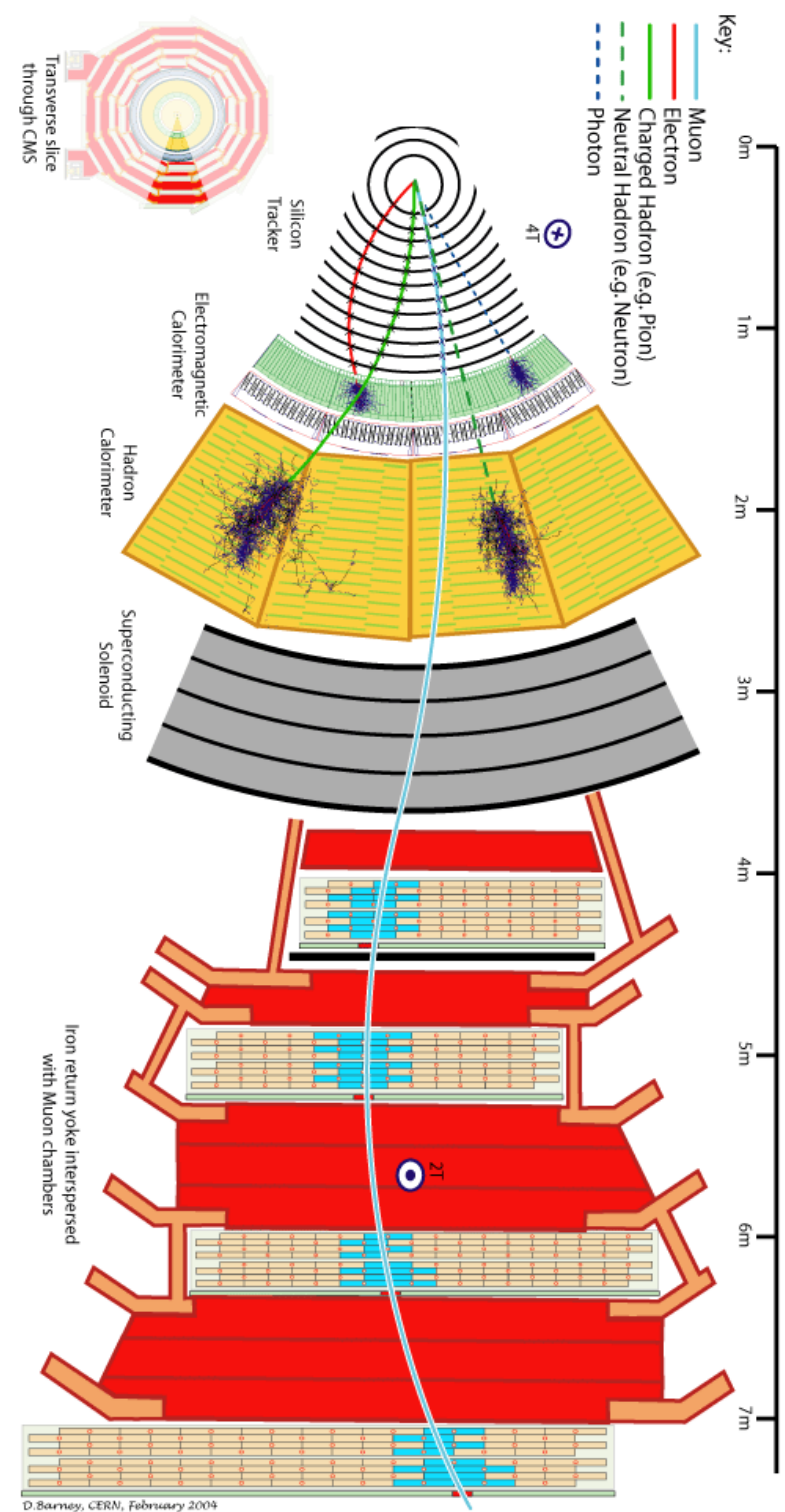
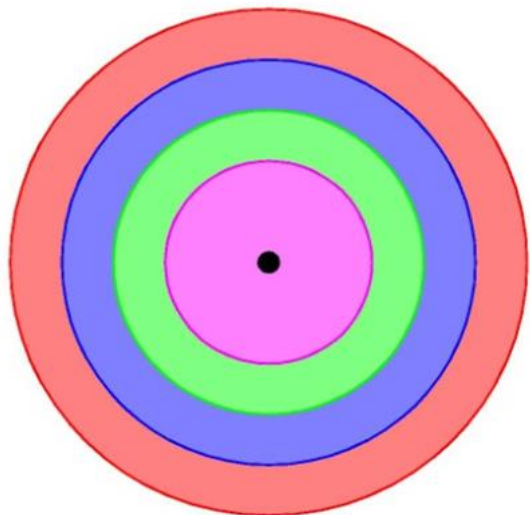
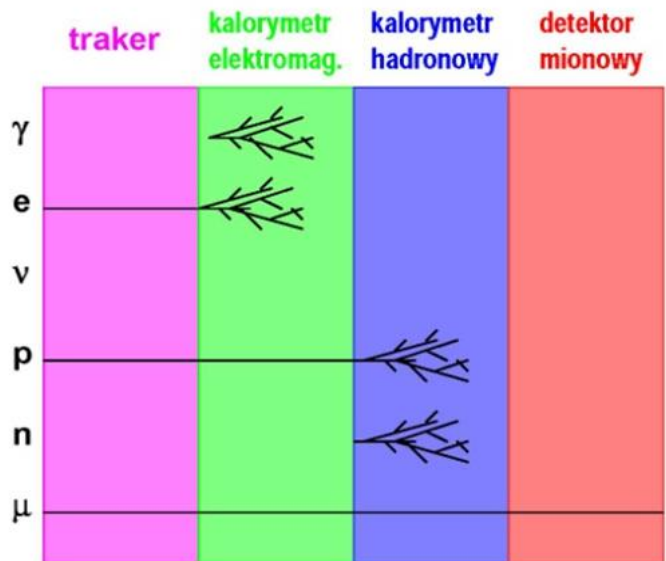
Kalorymetry Hadronowe

- Pomiar energii hadronów, na podobnej zasadzie (obserwacja kaskad)
- Dwie składowe kaskady hadronowej:
 - Hadronowa - naładowane hadrony, **neutralne hadrony, rozbite jądra, neutrina**
 - Elektromagnetyczna - fotony z rozpadu π^0



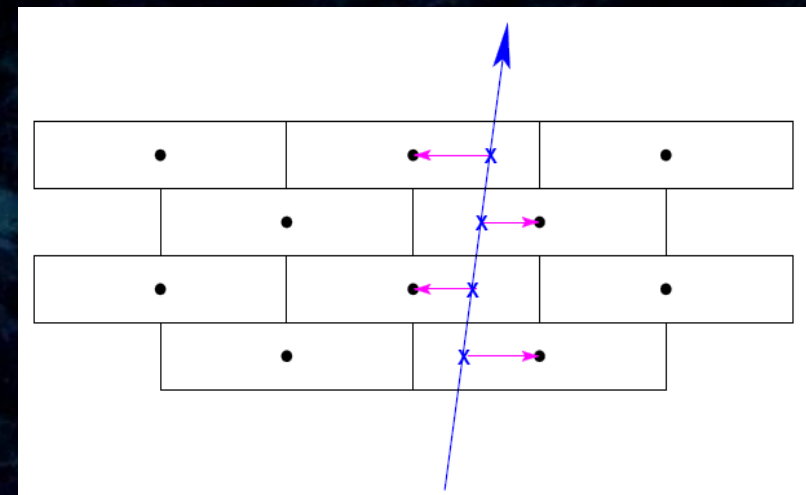
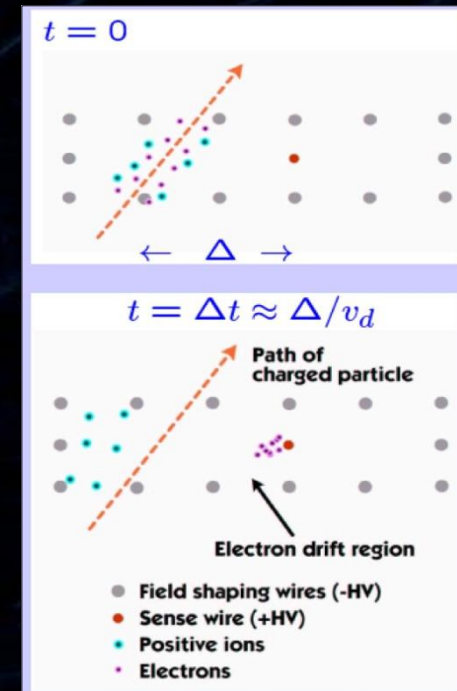
← Część niewidzialna -
Dodatkowe
fluktuacje
pomiaru

przypomnienie...

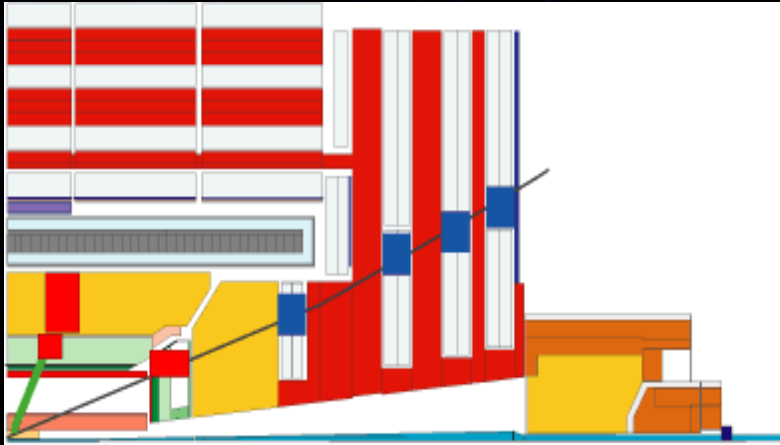


System Mionowy CMS - Komory Dryfowe

- Pomiar trajektorii mionów w „beczce”
- Mierzony czas dryfu chmury elektronów powstałych po przejściu mionu
- Znana prędkość dryfu → pomiar odległości (precyzja $\sim 50\text{-}200\mu\text{m}$)
- Geometria b. ważna - „alignment”!

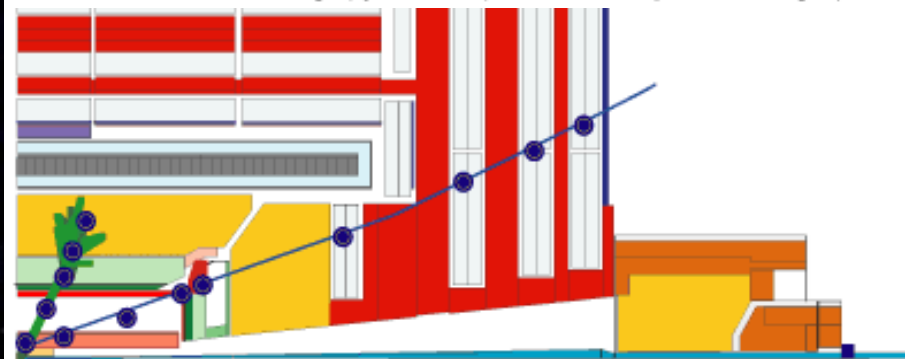


Układ wyzwalań (Trigger)



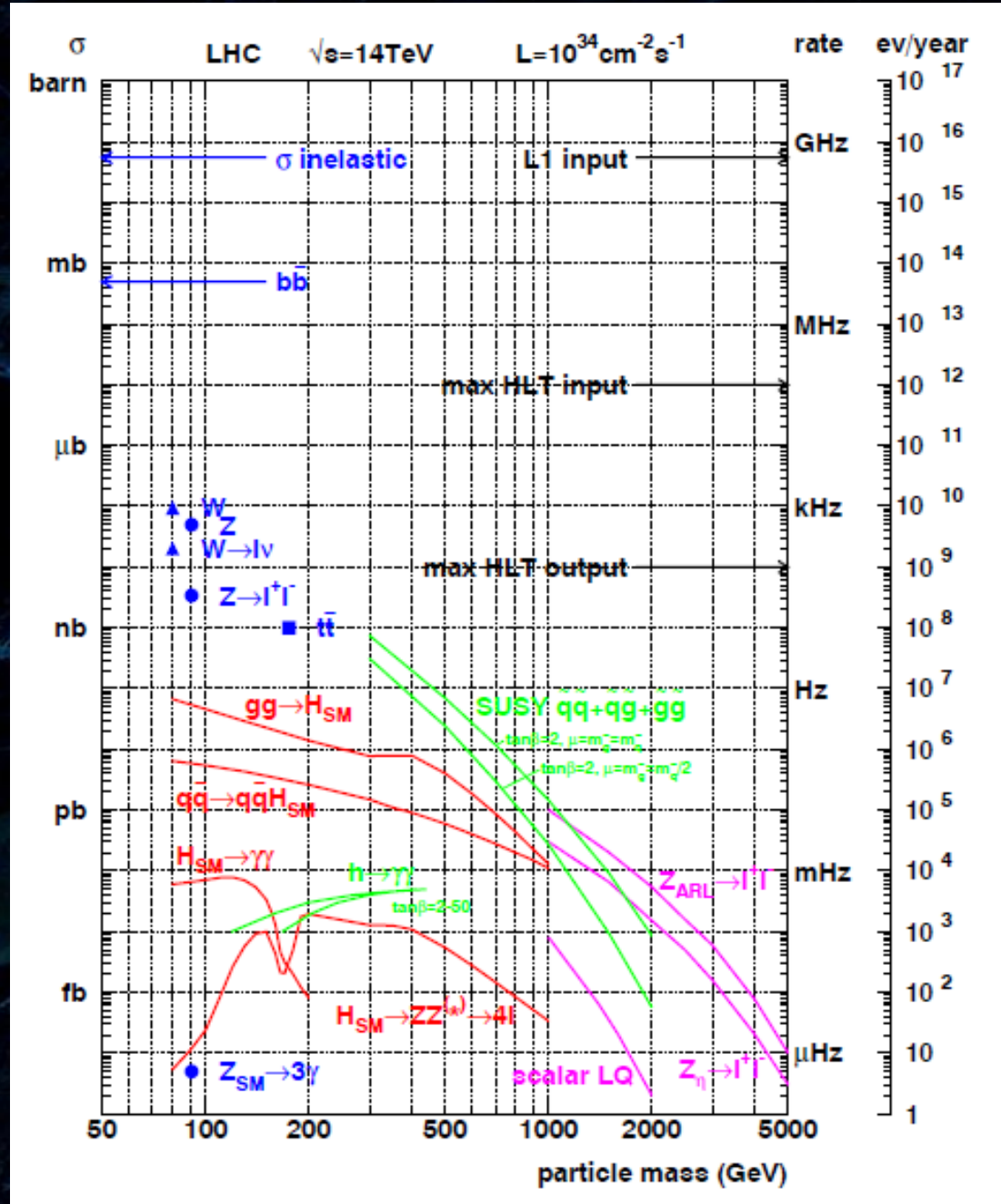
Level-1 trigger. 40 MHz input :

- Specialized processors (25 ns pipelined, latency < 1 μ s)
- Local pattern recognition and energy evaluation on prompt macro-granular information from calorimeter and muon detectors
- Particle identification: high p_T electron, photon, muon, jets, missing E_T



High trigger levels (>1). 100 kHz input :

- Large network of processor farms
- Clean particle signature. All detector data
- Finer granularity precise measurement
- Effective mass cuts and event topology
- Track reconstruction and detector matching
- Event reconstruction and analysis



Koniec



CMS Experiment at the LHC, CERN

Data recorded: 2018-Oct-03 01:19:17.320393 GMT

Run / Event / LS: 323940 / 44997009 / 65