

# Jak działają detektory...

---

Julia Hoffman  
Southern Methodist University  
Instytut Problemów Jądrowych

# LHC

Wiązka to "pociąg" ok. 2800 paczek protonowych  
Każda paczka składa się z ok. 100 mln protonów



Obwód akceleratora:  
26.7 km

ALICE

CMS

LHCb

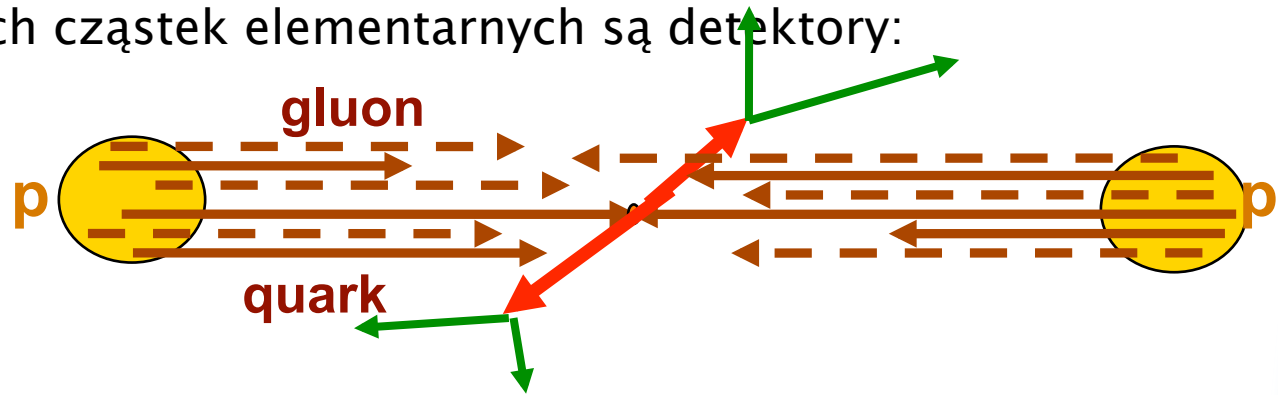
ATLAS

Energia 1 protonu w wiązce odpowiada energii lecącego komara ( $1\mu\text{J}$ )

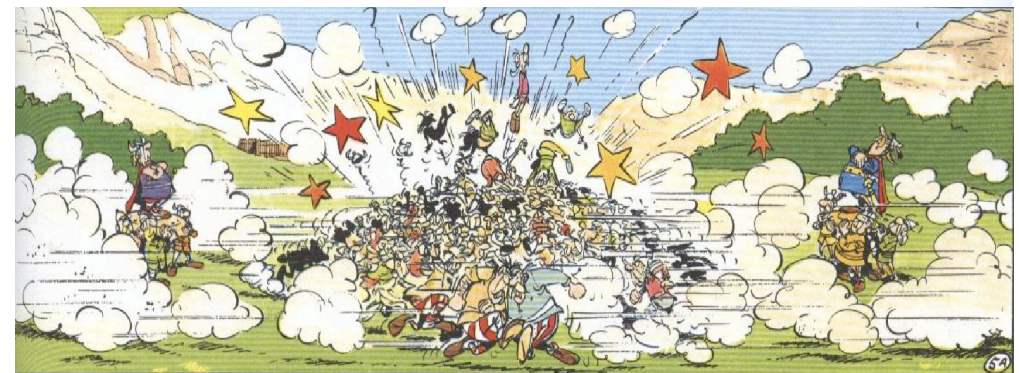
# Detektory

Do oglądania małych przedmiotów używamy mikroskopów

Mikroskopami w badaniach cząstek elementarnych są detektory:



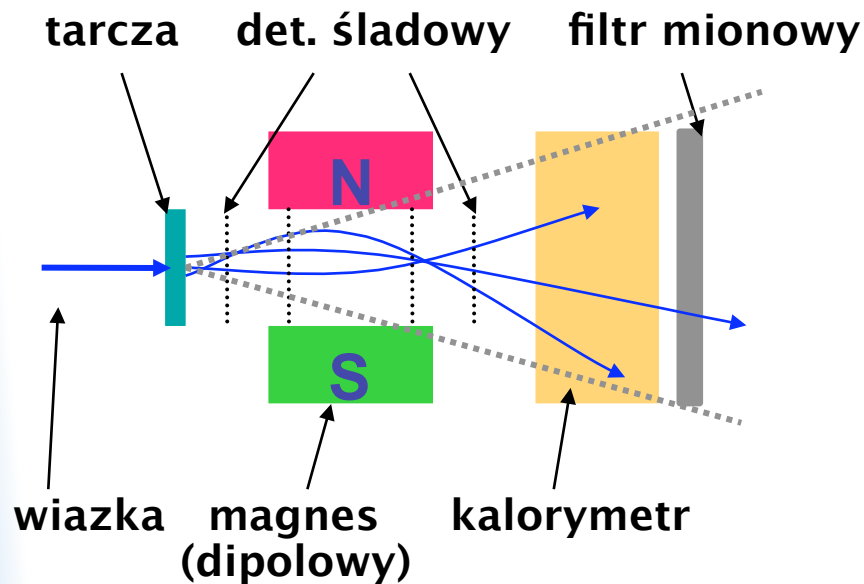
produkty zderzenia



pozostałość cząstki pierwotnej

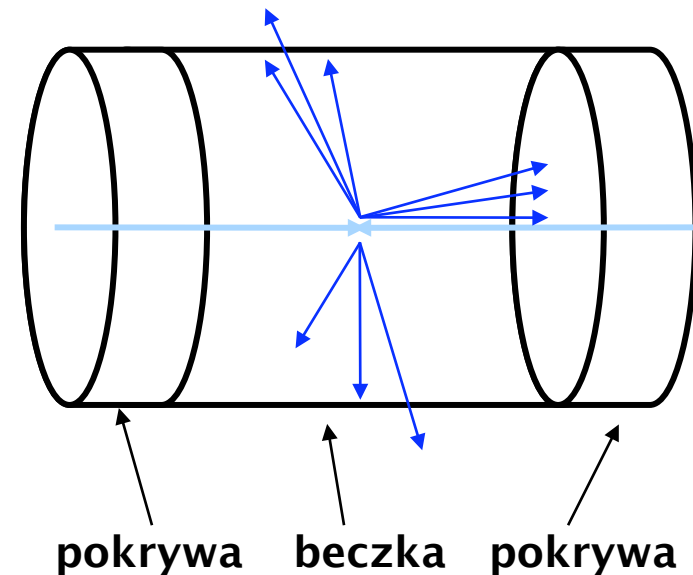
# Rodzaje detektorów

Geometria typu wiązka-tarcza  
– fixed target (LHCb)



- Detektor “widzi” ograniczony obszar kątowy
- Łatwy dostęp do wnętrza detektora (kable, naprawy, etc)

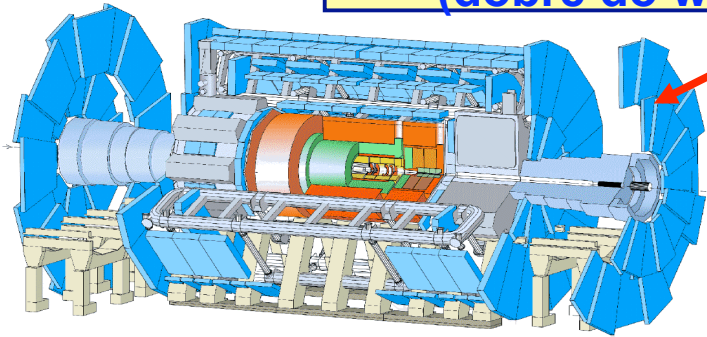
Geometria typu wiązki  
przeciwbieżne – colliding beams  
(ATLAS, CMS)



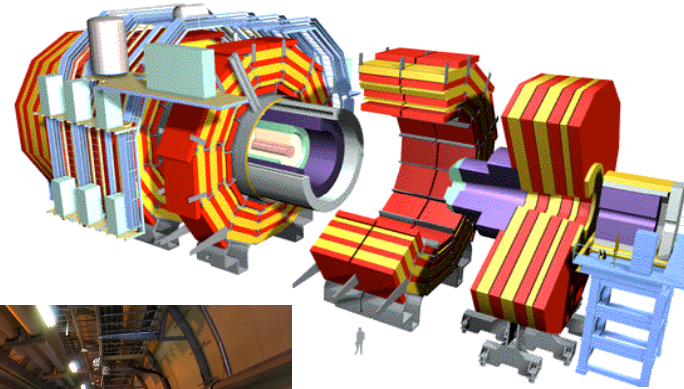
- “pełny” zasięg kątowy obserwowanych przypadków
- Bardzo ograniczony dostęp do wnętrza detektora

# Detektory LHC

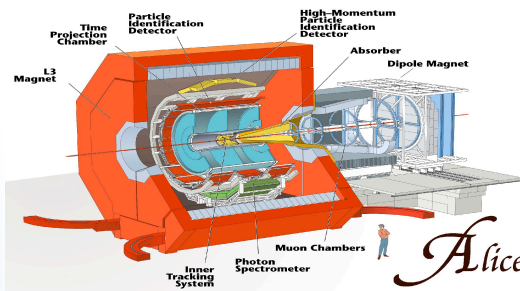
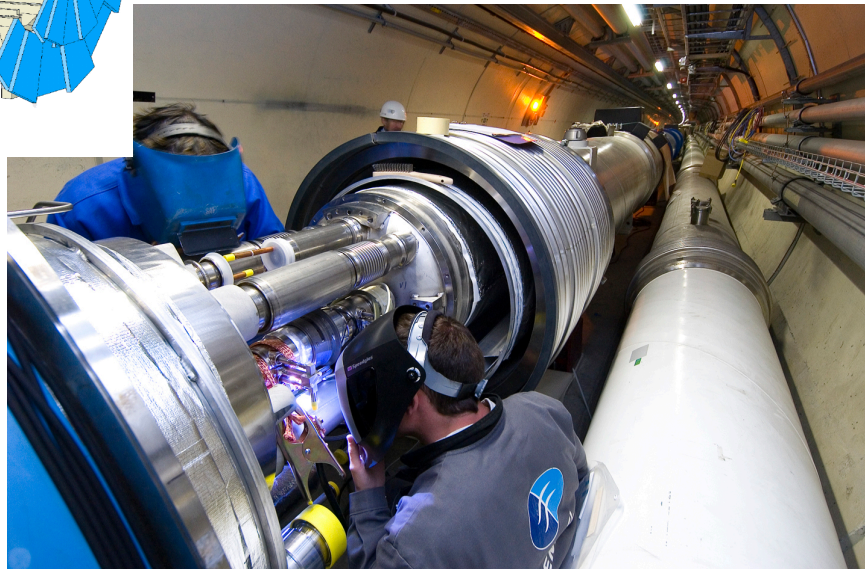
Detektory ogólnego zastosowania  
(dobre do wszystkiego...)



ATLAS



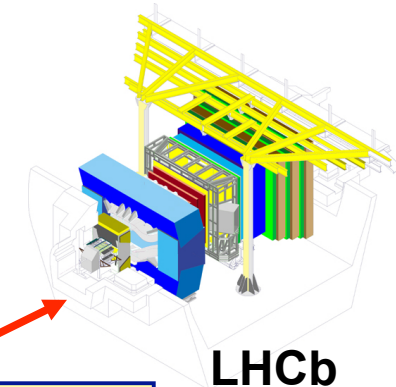
CMS



ALICE

przeznaczony do badań  
zderzeń ciężkich jonów

przeznaczony do badań  
fizyki kwarków b

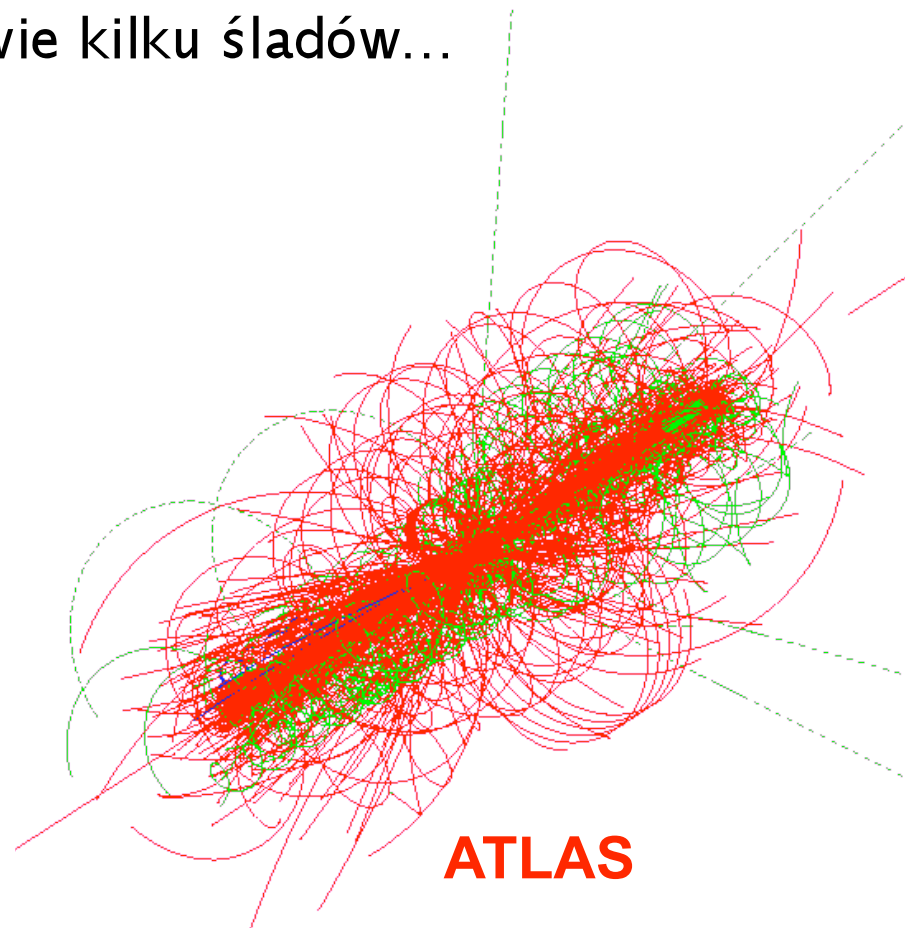
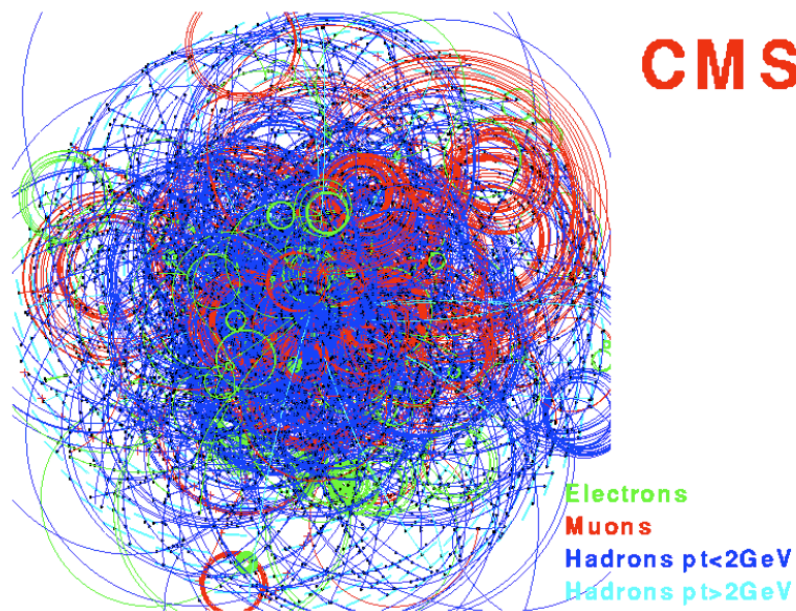


LHCb

# Czego oczekujemy?

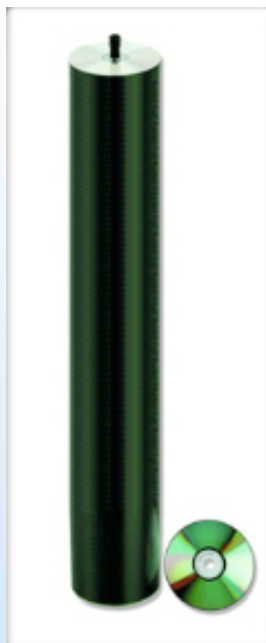
Przecięcie wiązek następuje co 25ns (~20 oddziaływań)

- 1000 śladów cząstek na przecięcie  $\rightarrow 4 \cdot 10^{10}$  śladów na sekundę
- często wypatrujemy zaledwie kilku śladów...

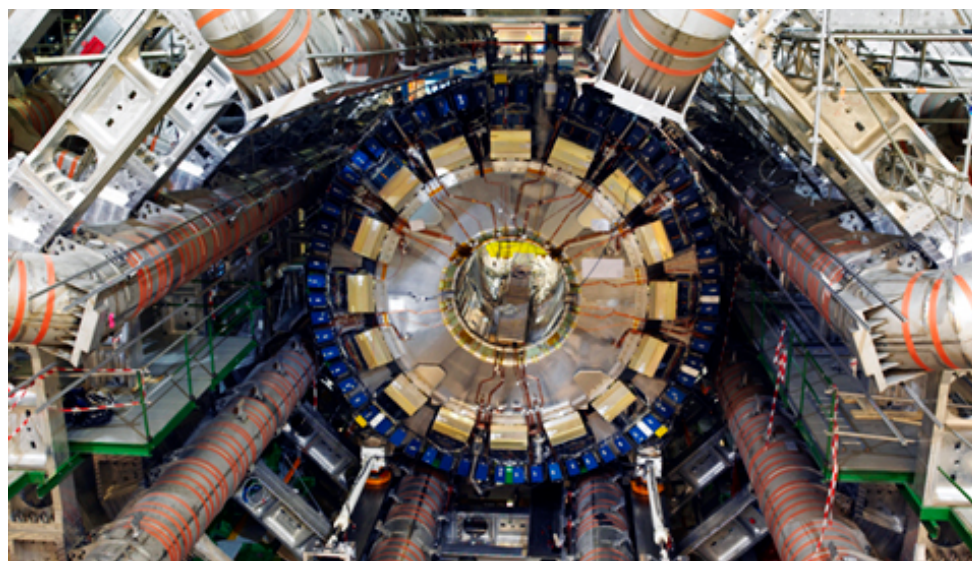


# Miliony przypadków na sekundę...

- Zadanie dla detektora: dostarczyć informacje o produktach każdego(?) zderzenia p-p
- Możemy zapisać 10–100 przypadków/s
- Informacja musi być wystarczająco szczegółowa do rozpoznania produktów kolizji:
  - ♦ Cząstki dobrze nam znane
  - ♦ Nowe cząstki/procesy



Co 2 sekundy  
zapisujemy dane o  
objętości 1 płyty CD  
→ 7km wieża danych  
w ciągu roku!



W detektorze nie “widzimy” cząstek:  
widzimy skutki ich oddziaływania  
z materią detektora

# Co musi "umieć" detektor?

- Mierzyć:
  - ♦ kierunki, pędy i znak ładunku naładowanej cząstki
  - ♦ energię niesioną przez elektrony i fotony w każdym kierunku
  - ♦ energie protonów, neutronów, pionów w każdym kierunku
- Zidentyfikować:
  - ♦ elektrony wśród naładowanych cząstek (o ile są)
  - ♦ miony wśród naładowanych cząstek (o ile są)
  - ♦ pochodzenie cząstki (z punktu oddziaływania lub z wierzchołka wtórnego)
- Przetworzyć wszystkie te informacje szybko
- Pracować niezawodnie przez długi czas (lata) w środowisku promieniowania radioaktywnego



# Jak zobaczyć częśćkę?

Śledzimy

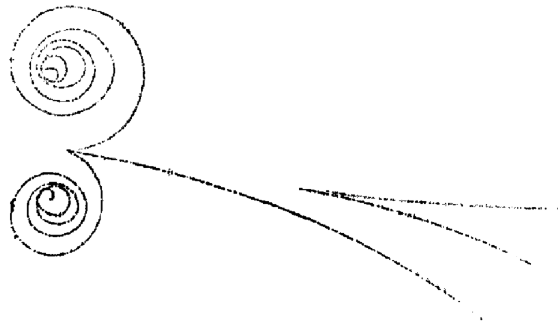


Łapiemy

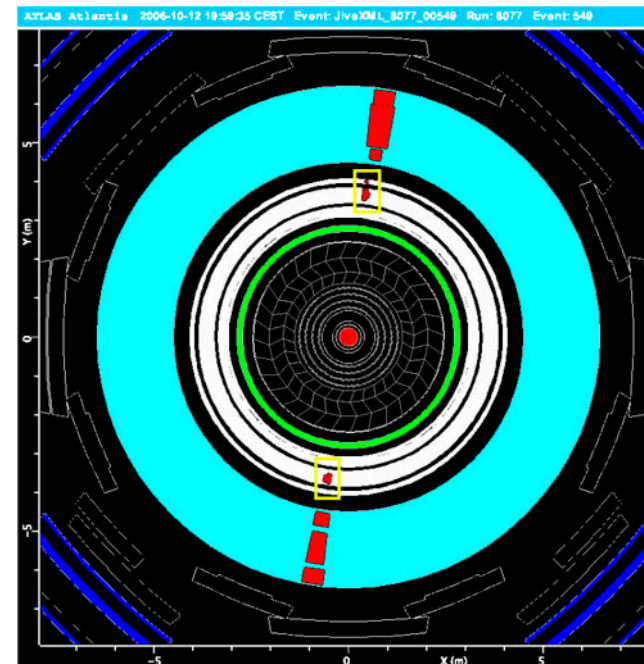
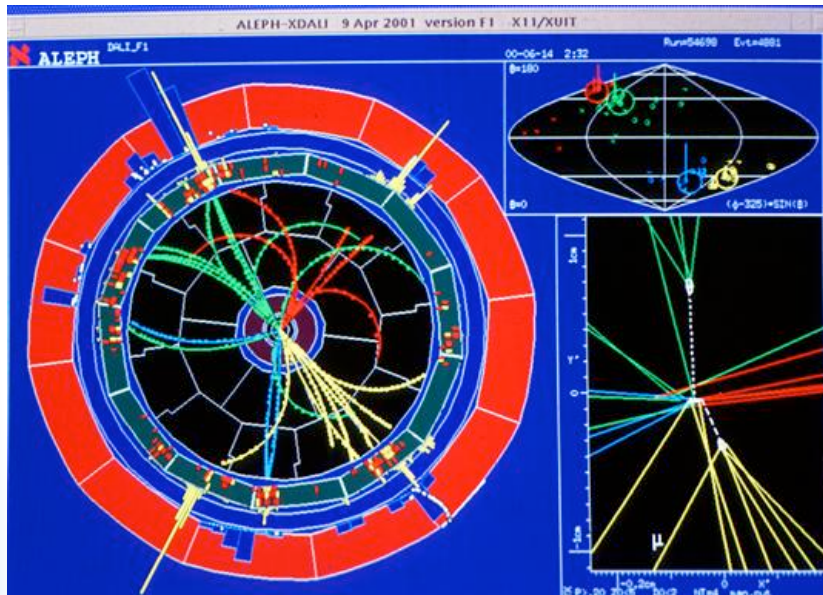
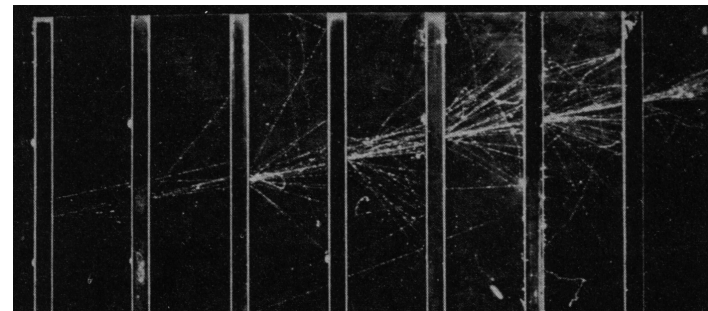


# Jak zobaczyć cząstkę?

Śledzimy w  
“trakerach”

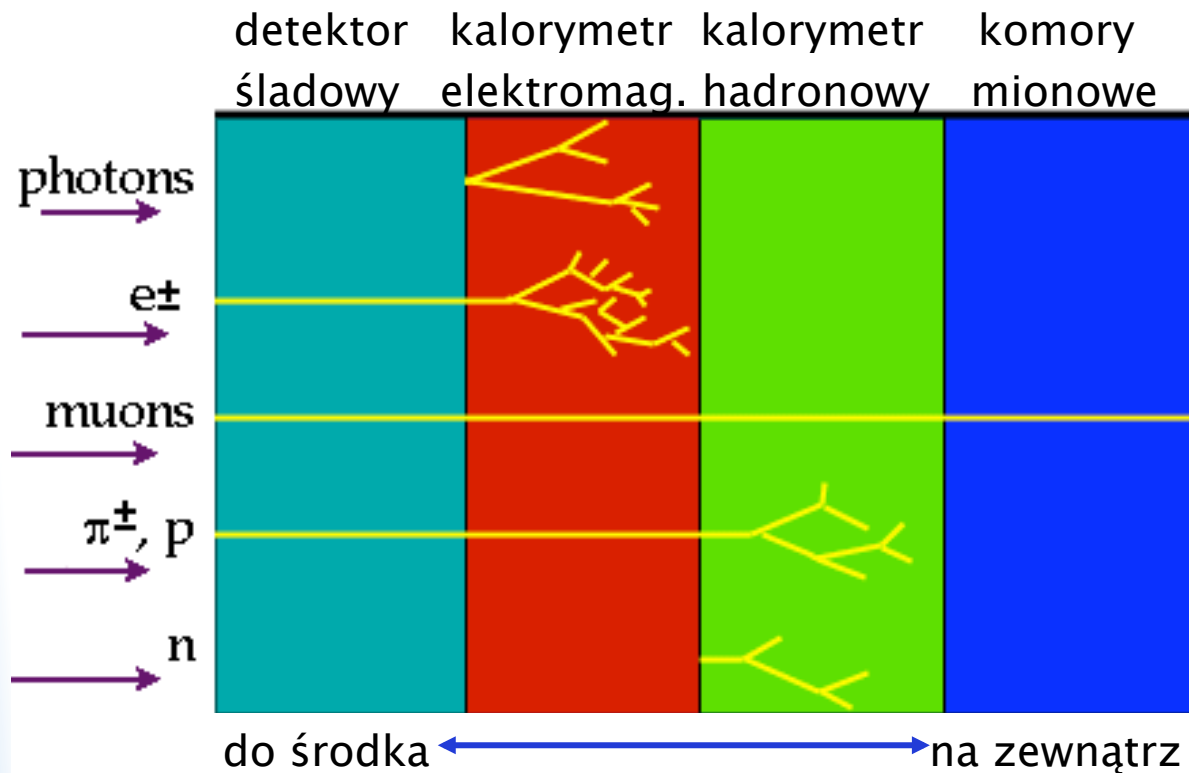


Łapiemy w  
kalorymetrach



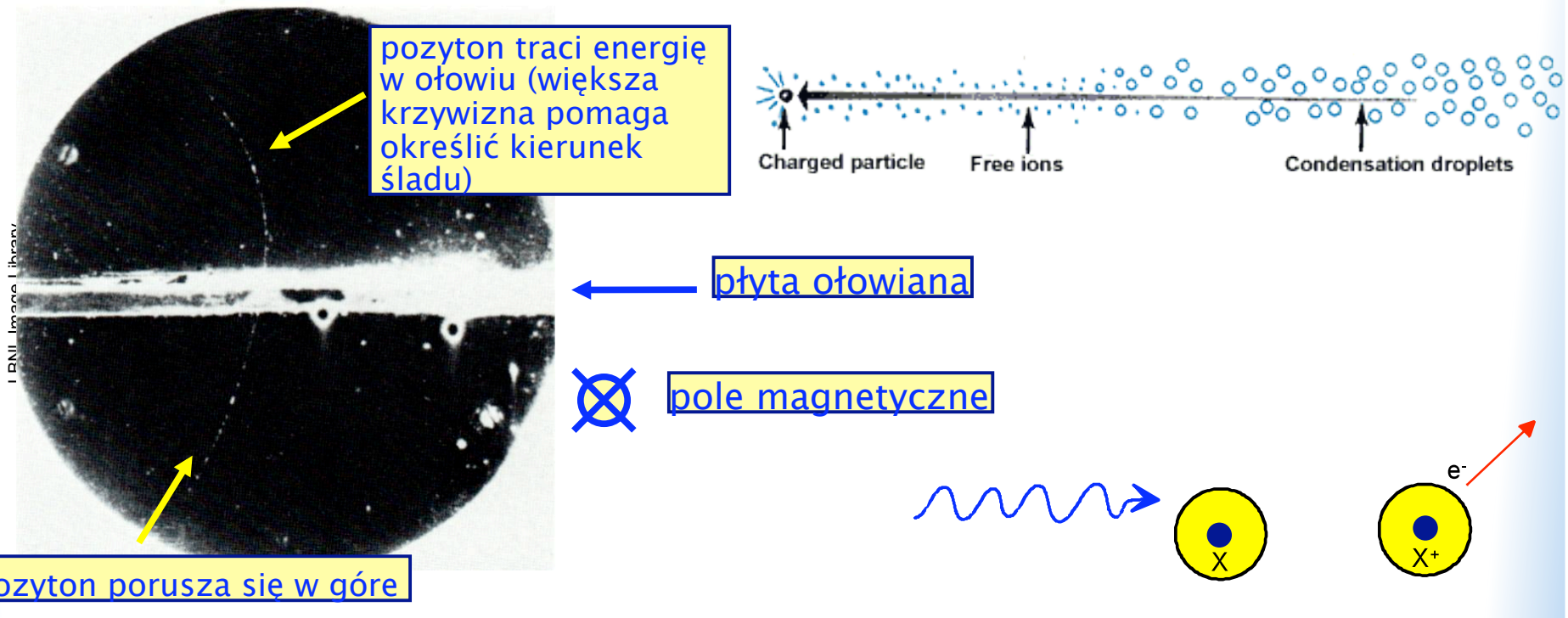
# Ogry... Detektory...

...są jak cebule: mają warstwy



# Klasyczne detektory śladowe

- Komora mgłowa (1911 Charles Wilson, N. Nobla 1927)
  - ♦ Komora wypełniona przesyconą parą wodną (zaprojektowana do badań formacji chmur deszczowych)
  - ♦ Cząstki naładowane zostawiają ślady jonowe
  - ♦ Ślady widoczne jako linia małych kropelek wody

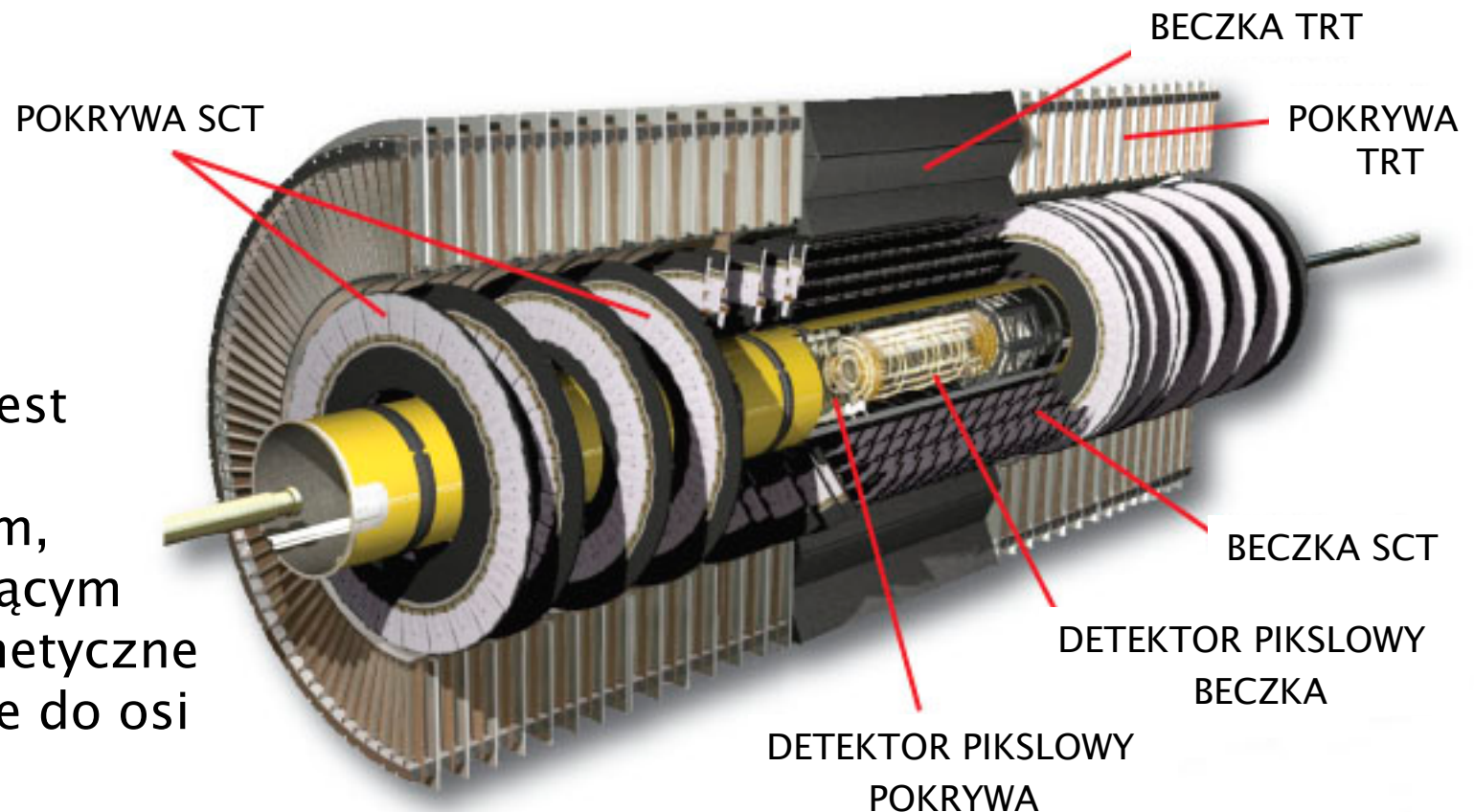


# Współczesne detektory śladowe

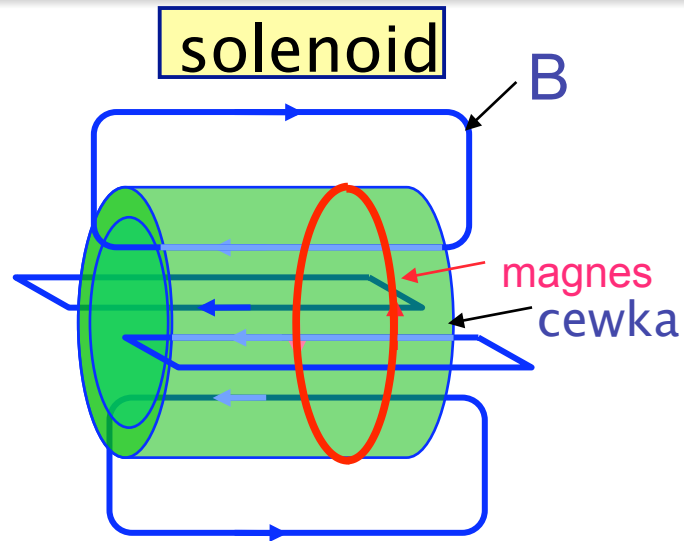
- Najbliżej punktu oddziaływania
- Detektor śladowy umożliwia pomiar kierunku, pędu i znaku ładunku cząstek naładowanych (pole magnetyczne!)

ATLAS

- Detektor jest otoczony solenoidem, wytwarzającym pole magnetyczne równoległe do osi wiązki

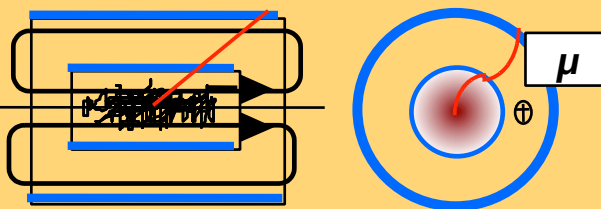


# Magnesy

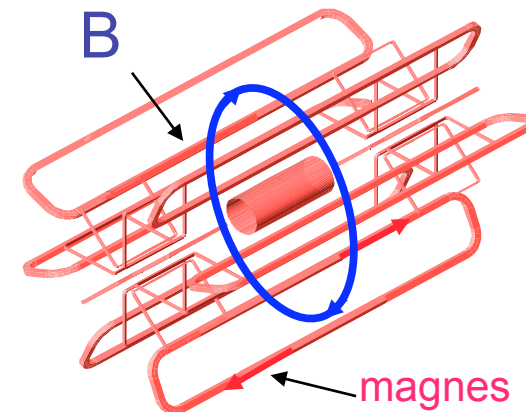


- + duże jednorodne pole wewnątrz cewki
- potrzeba jarzma zwrotnego
- ograniczony rozmiar (koszty)
- grubość cewki (długości radiacyjne)

CMS, ALICE, LEP detectors

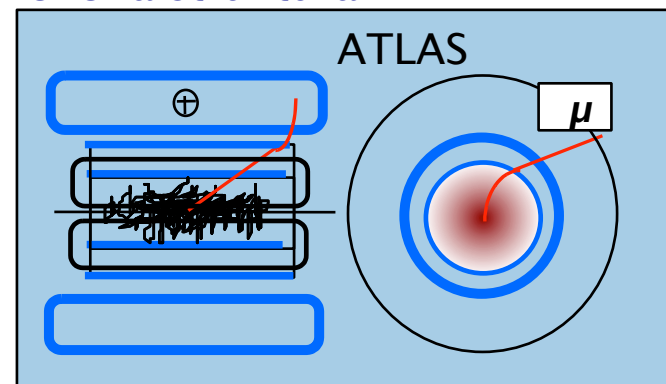


**toroid (rdzeń powietrzny)**



- + możliwe duże rozmiary
- + mniej materiału na drodze cząstki
- dodatkowy solenoid dla detektorów śladowych
- niejednorodne pole
- złożona struktura

ATLAS

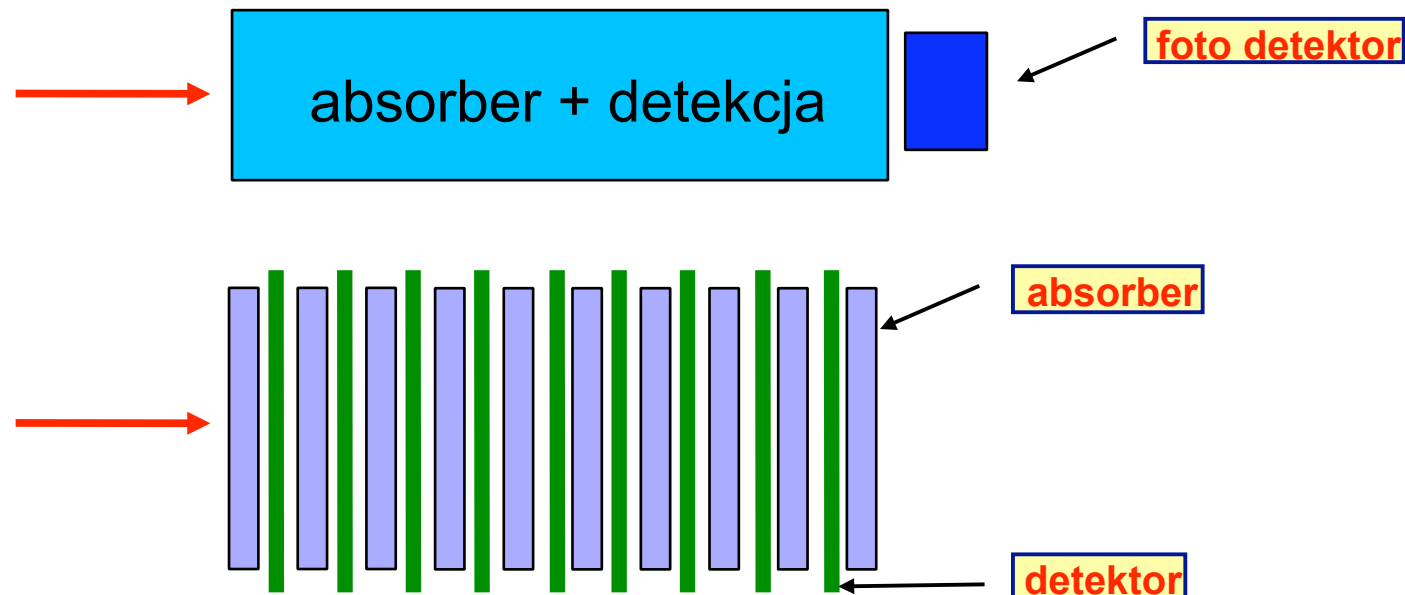


# Kalorymetry

**Kalorymetria = pomiar energii poprzez całkowitą absorpcję, zwykle połączoną z przestrzenną rekonstrukcją depozytu energii.**

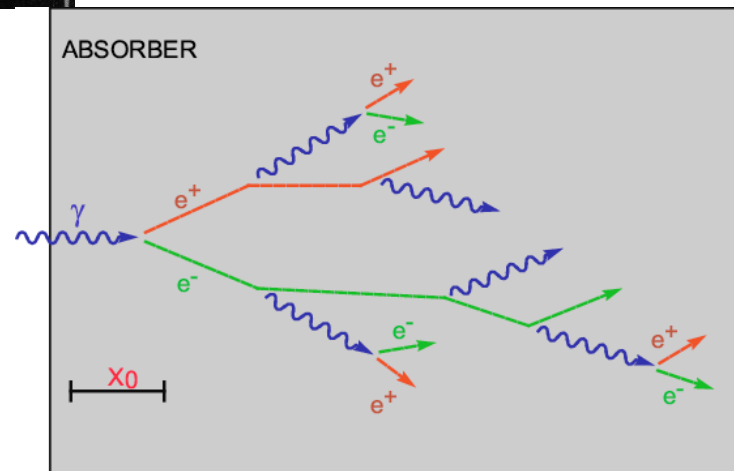
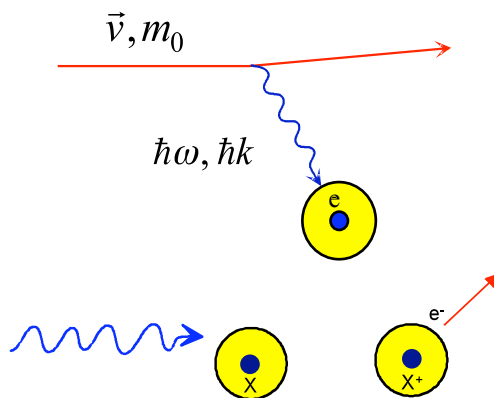
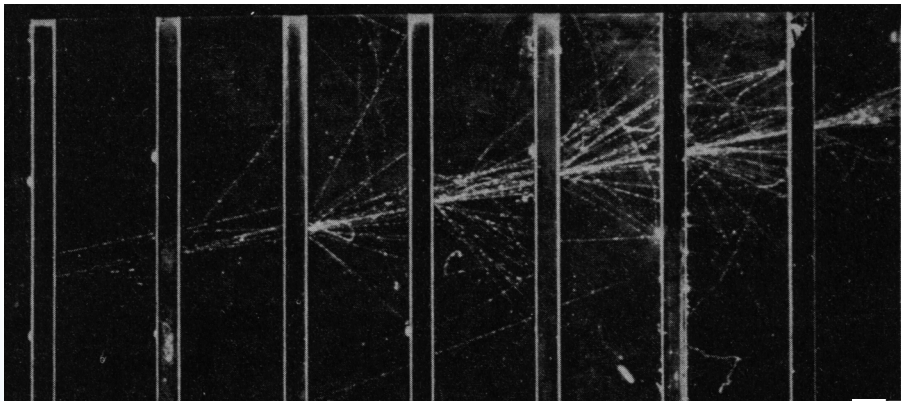
Kalorymetry:

- jednorodne i próbkujące
- elektromagnetyczne i hadronowe



# Kaskady elektromagnetyczne

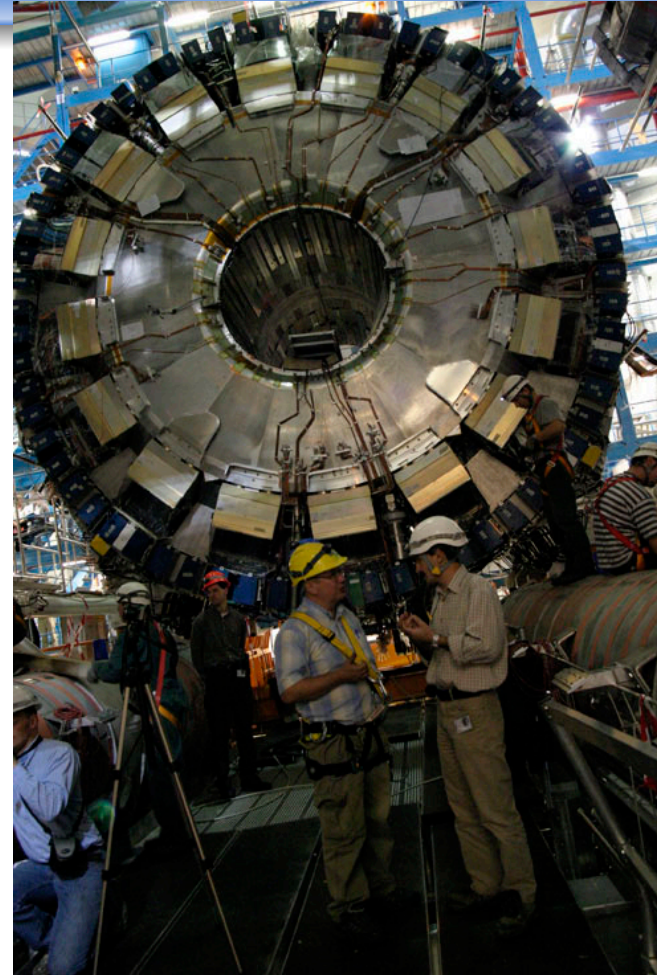
- Kaskada elektromagnetyczna rozwija się w absorberze poczynając od pierwszego (pierwotnego) elektronu
- Elektron lub foton przechodząc przez ołów wytwarza kaskadę wtórnych elektronów i fotonów (prysznic elektronowy – ang. *shower*).





# Kaskady elektromagnetyczne

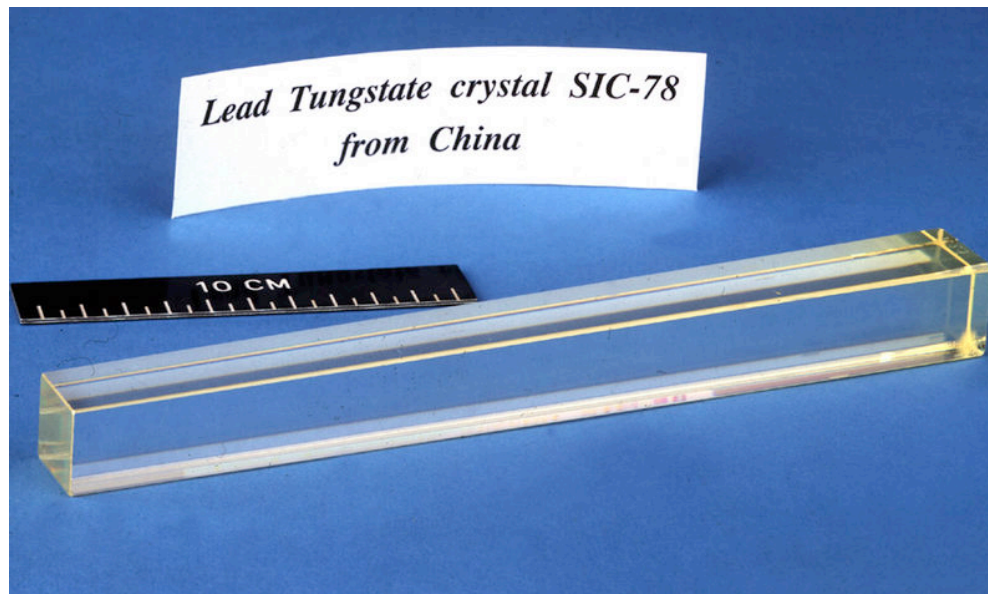
Liczba takich elektronów/pozytonów jest proporcjonalna do początkowej energii pierwotnego elektronu/fotonu a ich obecność jest wykrywana przez materiał aktywny (jonizacja ośrodka → prąd)



Żeby określić dokładny związek między energią elektronu/fotonu i prądem, trzeba wykalibrować kalorymetr.

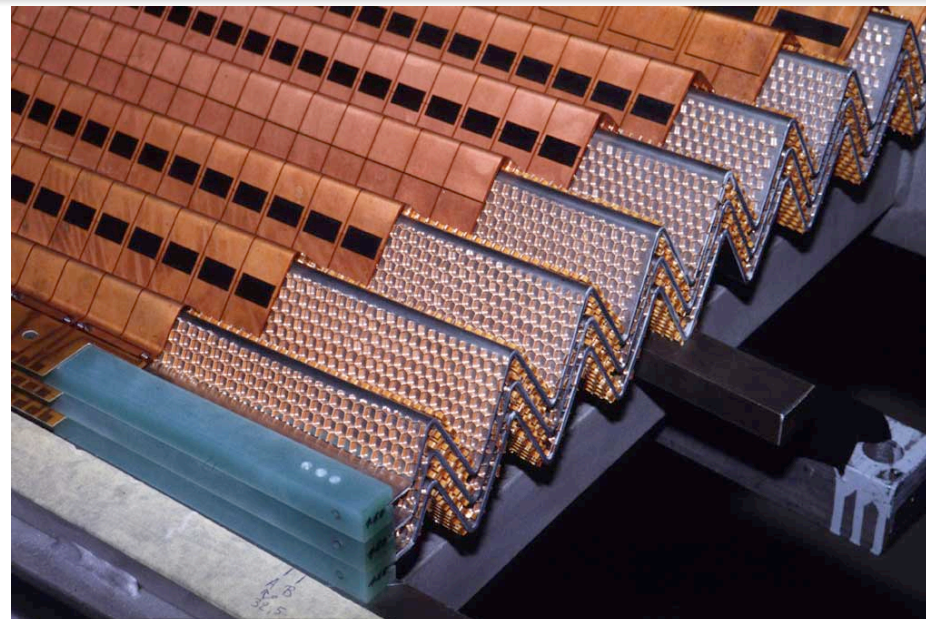
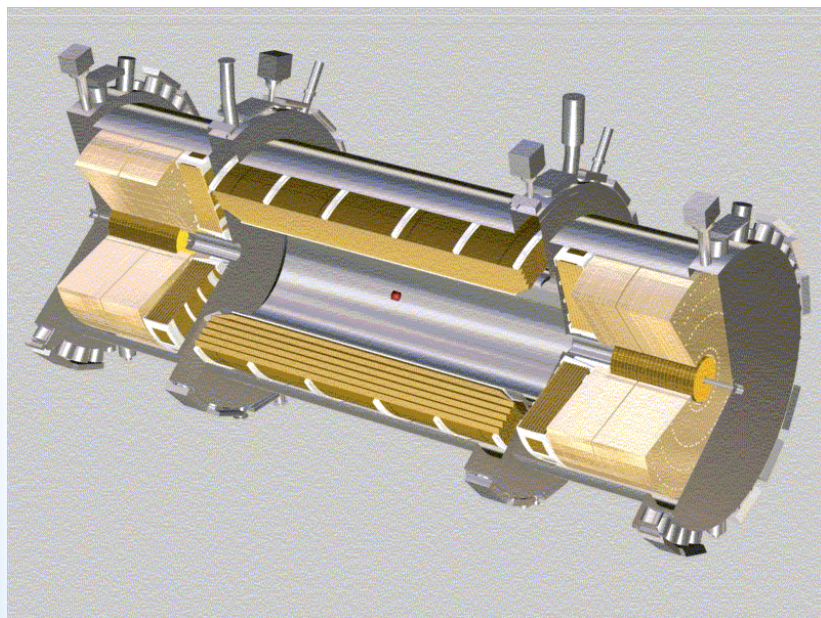
# Kalorymetr elektromagnetyczny CMS

- W kalorymetrze jednorodnym (CMS, kryształy  $\text{PbWO}_4$ ) cały “prysznic” zawarty jest w materiale aktywnym
  - ◆ Dokładna informacja o energii elektronu/fotonu (nie ma strat energii w absorberze)
  - ◆ Brak informacji o kształcie kaskady w kierunku lotu cząstki

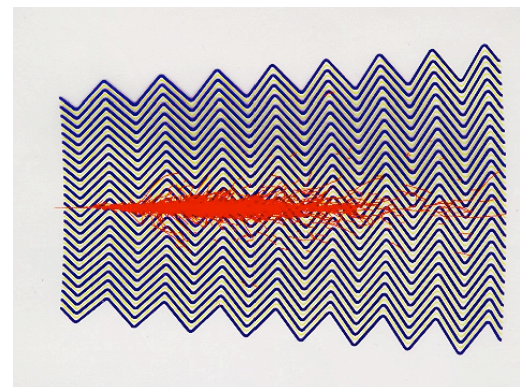


# Kalorymetr elektromagnetyczny ATLAS

- Kalorymetr składa się z cienkich ołowianych płyt (absorber), zanurzonych w ciekłym argonie (materiał aktywny)
- Ciekły argon poddany jest wysokiemu napięciu (2000V)

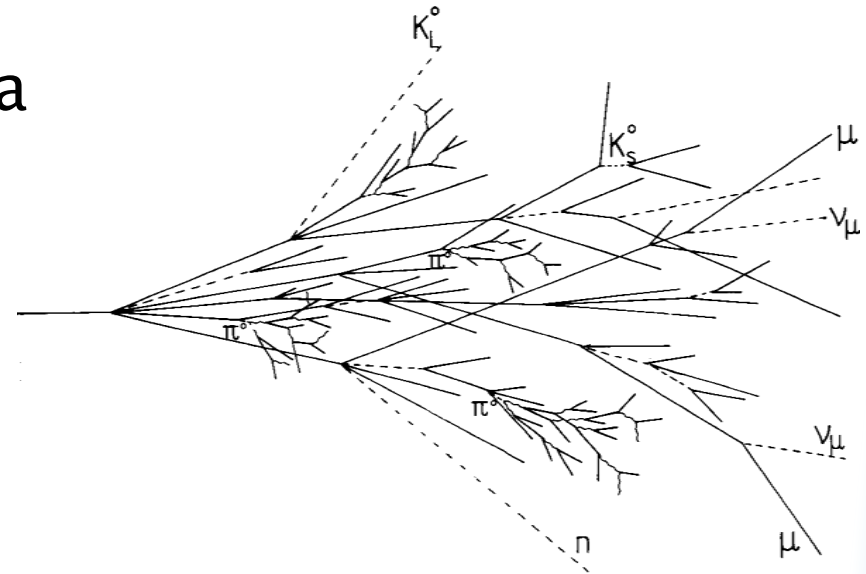


- Struktura akordeonowa pozwala uniknąć obszarów martwych (kable, itp)



# Kaskady hadronowe

- Kaskada hadronowa rozwija się przez silne oddziaływania hadronów z jądrami atomowymi (materiału detektora)
- Składa się z dwóch części:
  - ♦ Hadronowej
    - naładowane hadrony, rozbite jądra atomowe (energia wiązania), neutrony, neutrina...
  - ♦ Elektromagnetycznej
    - rozpad pionów neutralnych na 2 fotony



**"niewidoczna" energia =  
duże fluktuacje energii**

# Kalorymetr hadronowy

- Otacza kalorymetr elektromagnetyczny
- Mierzy energię i kierunek dżetów (strumieni cząstek)
- Zasada działania jest niemal taka sama, jak dla kalorymetru elektromagnetycznego
- Dokładność pomiaru energii jest gorsza niż w kalorymetrze el-mag (fluktuacje kaskady hadronowej)
- ATLAS i CMS – scyntylator jako materiał aktywny

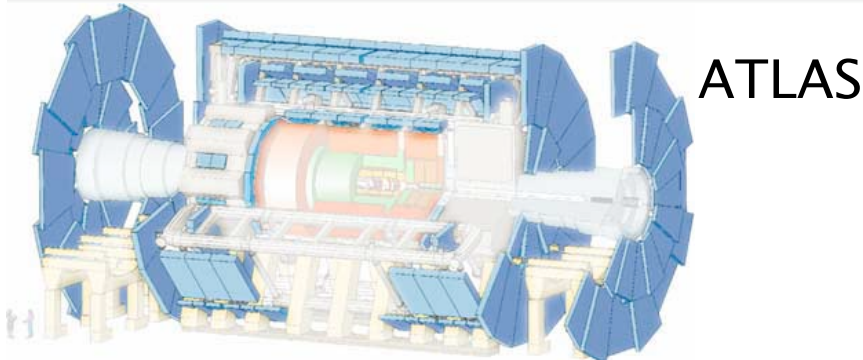
ATLAS



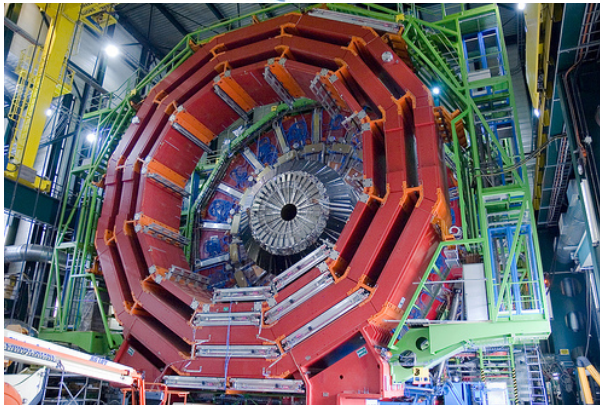
CMS



# Komory mionowe

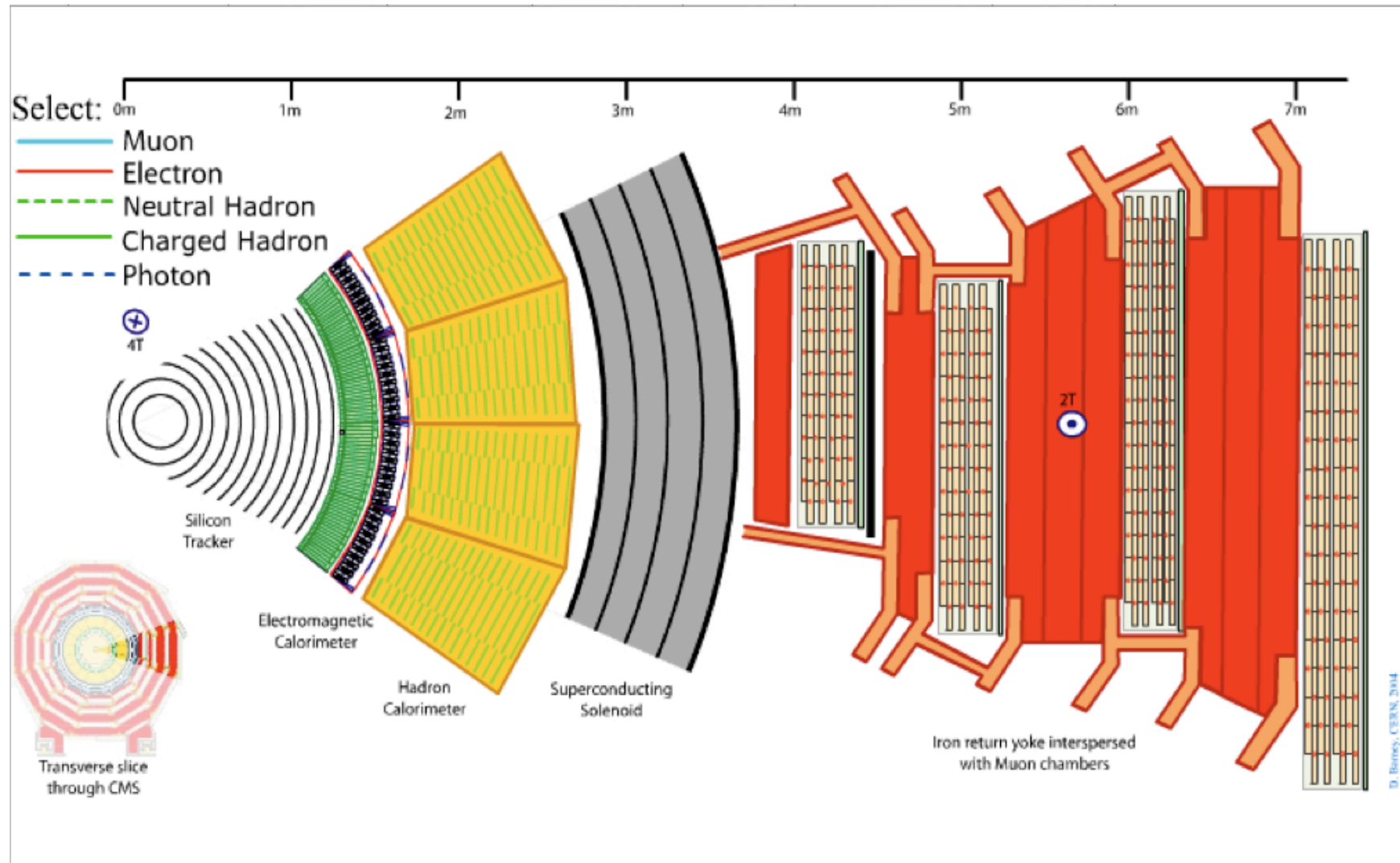


CMS

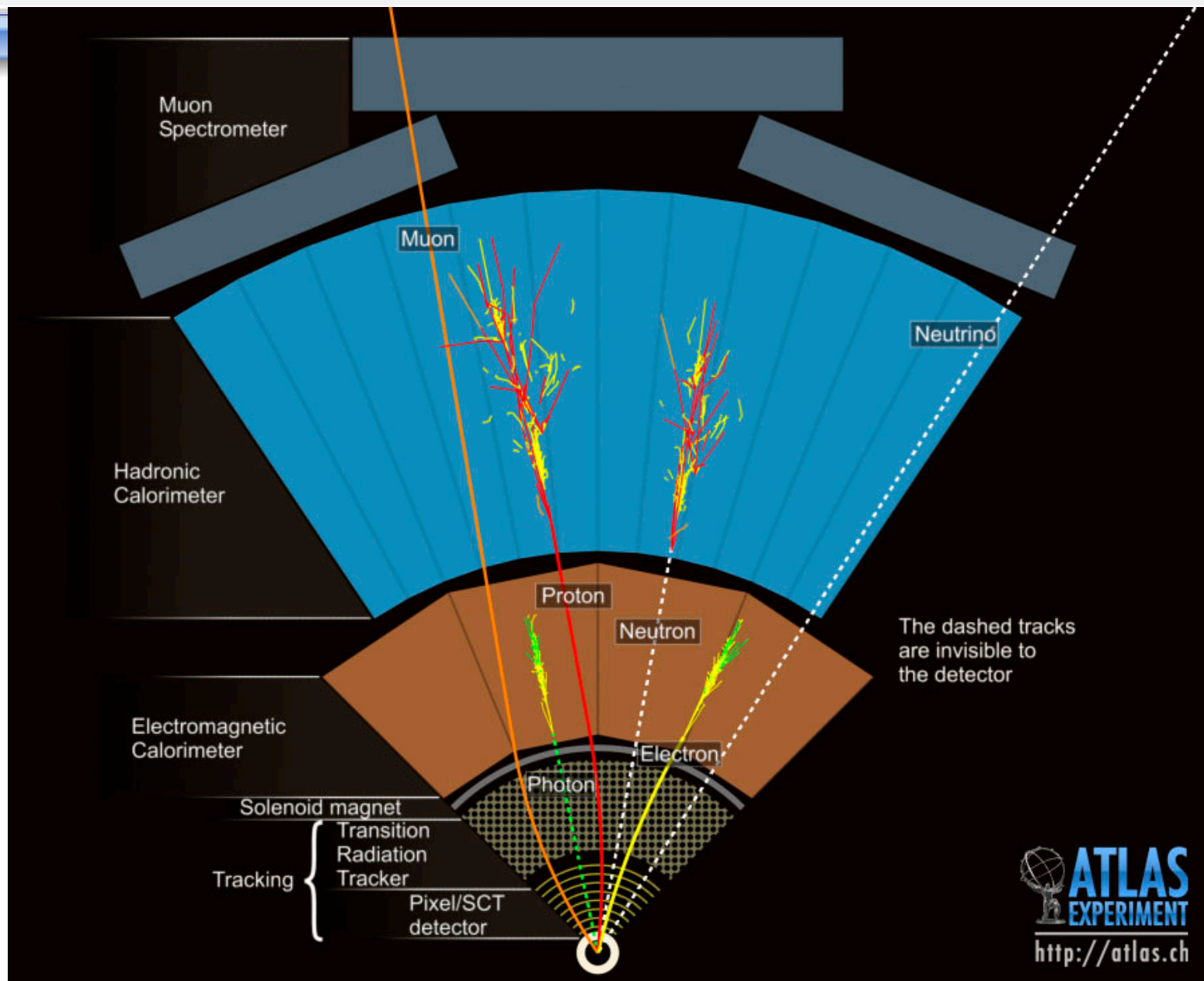


- Miony ( $\mu$ ) – jedyne cząstki, które mogą przebyć cały detektor i sięgnąć najbardziej zewnętrznych warstw detektora
- Komory mionowe dostarczają informacji o znaku ładunku i określają pęd mionów
- Miony nie wytwarzają “prysznic mionowego”
- Mion o energii 5GeV przeniknie 5m stali, podczas gdy na zatrzymanie hadronu o prawie dowolnej energii potrzeba zaledwie 1.5 m stali.
- Dlatego wiemy, że cząstki zarejestrowane poza kalorymetrem hadronowym to na pewno miony

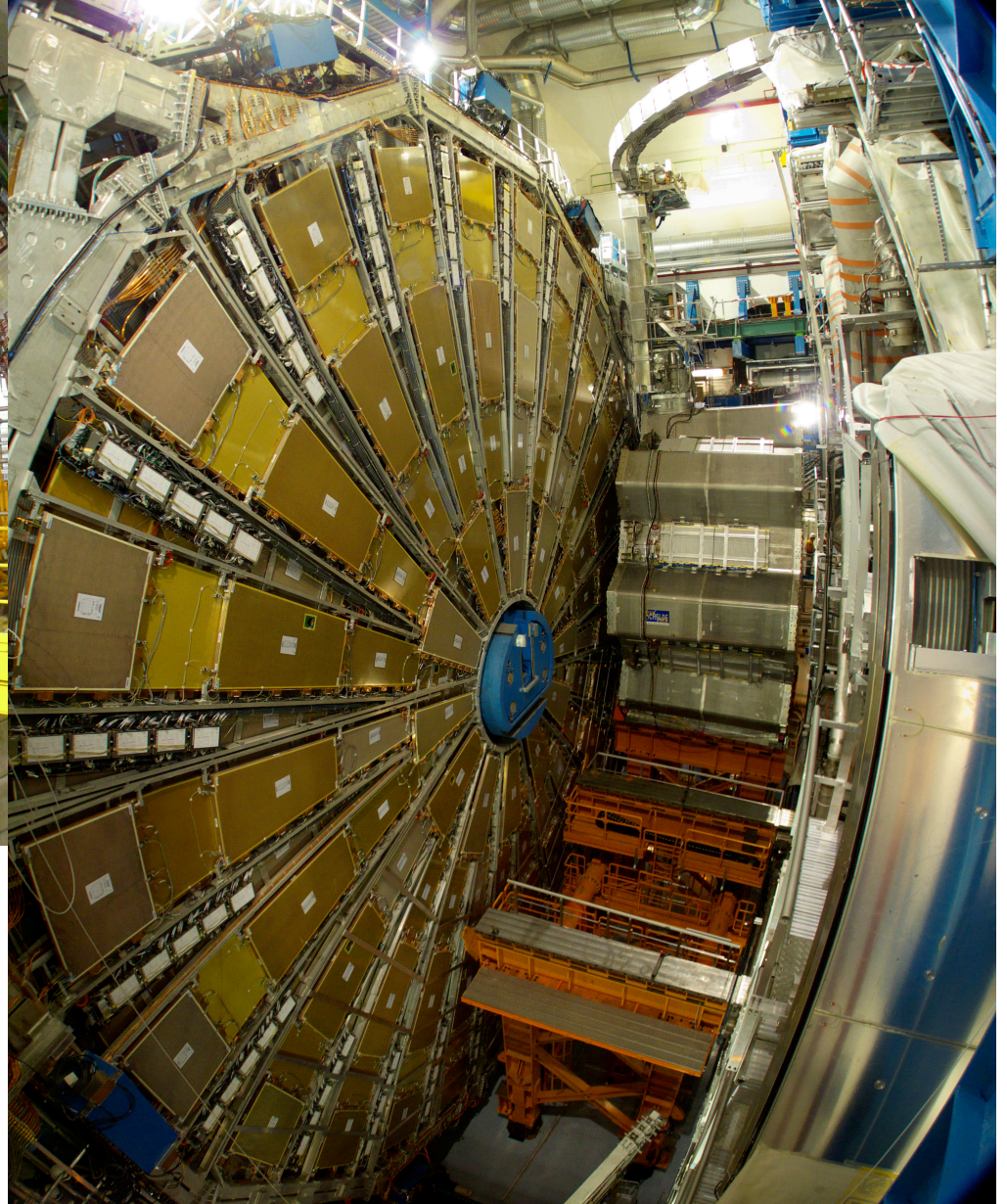
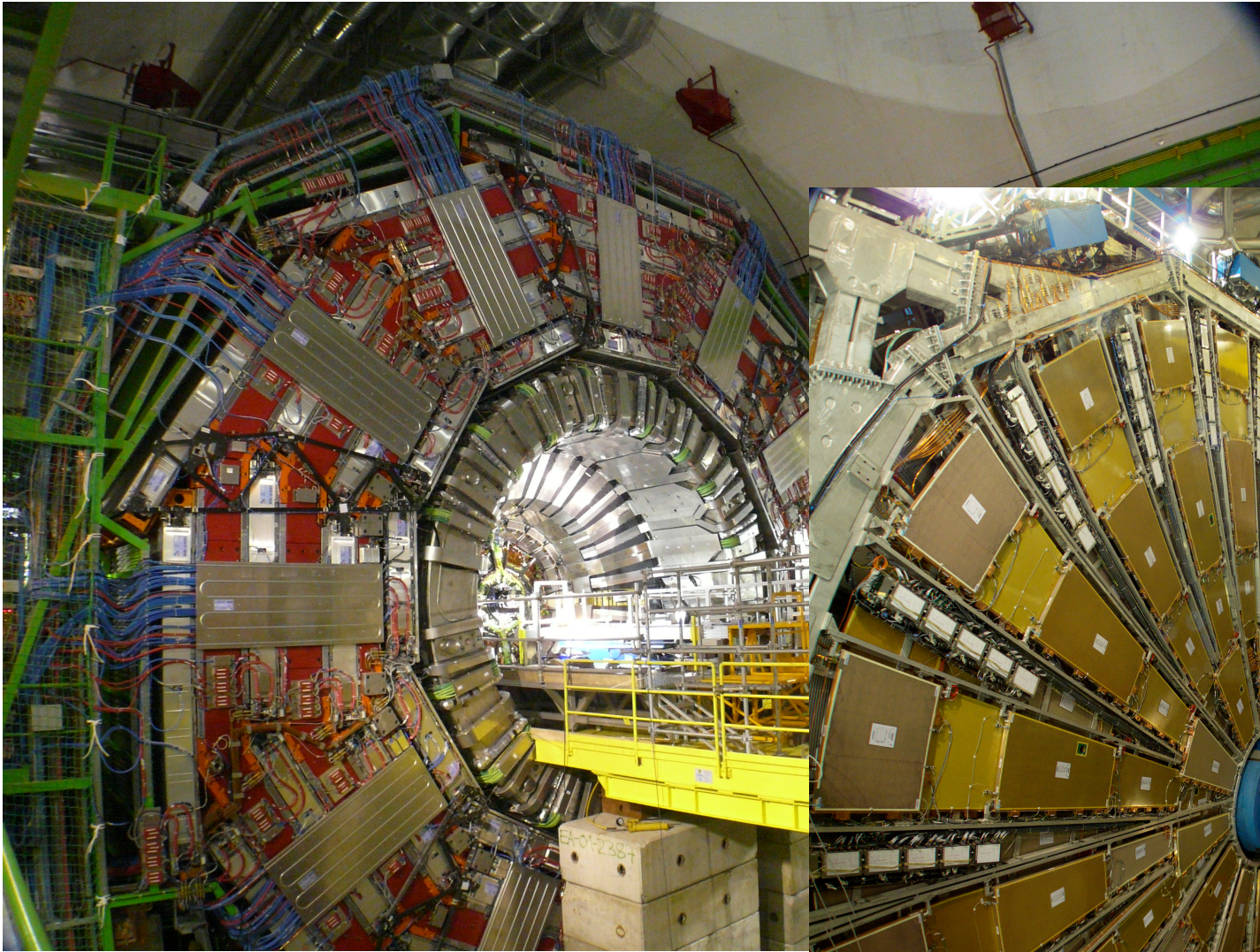
# Plasterek CMS



# Plasterek ATLASa







**KONIEC** 😊