

Jak działają detektory

Julia Hoffman

wieLki Hadronowy zderzaCz

Wiązka to “pociąg” ok. 2800
“wagonów” - paczek protonowych
Każdy wagon wiezie ok. 100 mln
protonów

Energia chemiczna:
80 kg TNT lub
16 kg czekolady (mniam!)
w kaloriach

Energia kinetyczna:



30 km/h

Obwód akceleratora:
~27km

CMS

LHCb

ALICE

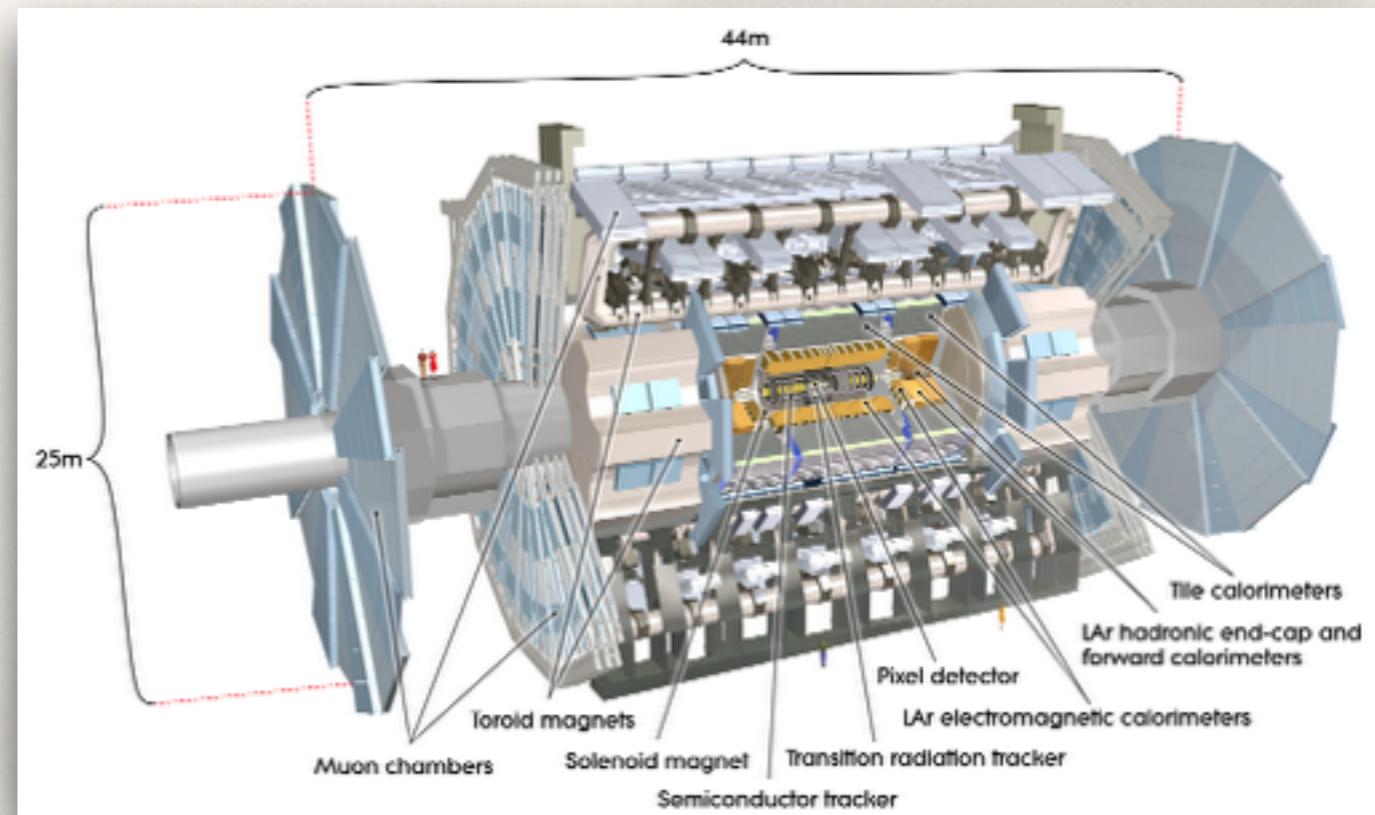
ATLAS

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

Energia termiczna:
topi 500 kg miedzi
podgrzewa 1m^3 wody
do 85°C

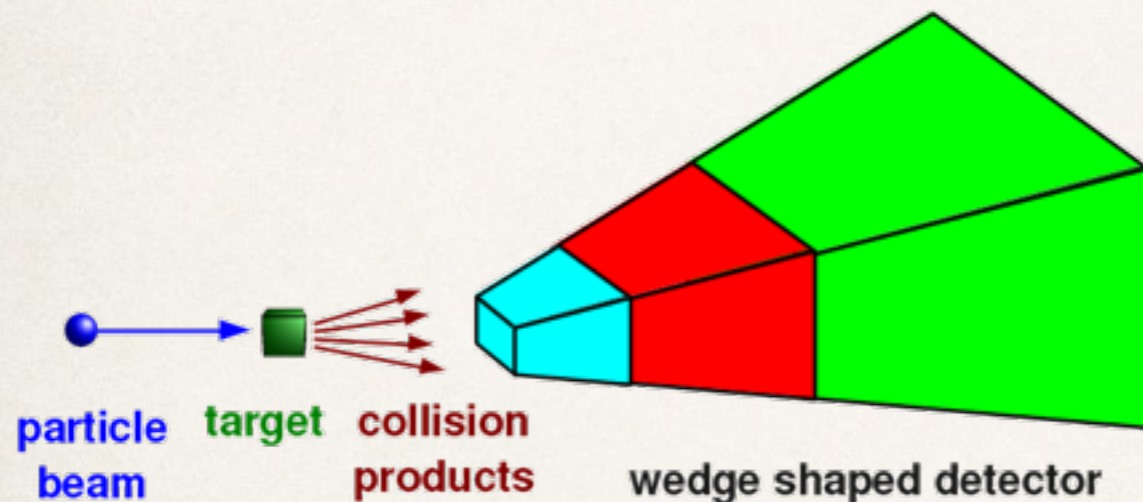
Detektory

- ❖ Do oglądania małych obiektów używamy mikroskopów
- ❖ Do oglądania bardzo małych obiektów używamy bardzo dużych mikroskopów
- ❖ Do oglądania cząstek w fizyce wysokich energii używamy detektorów



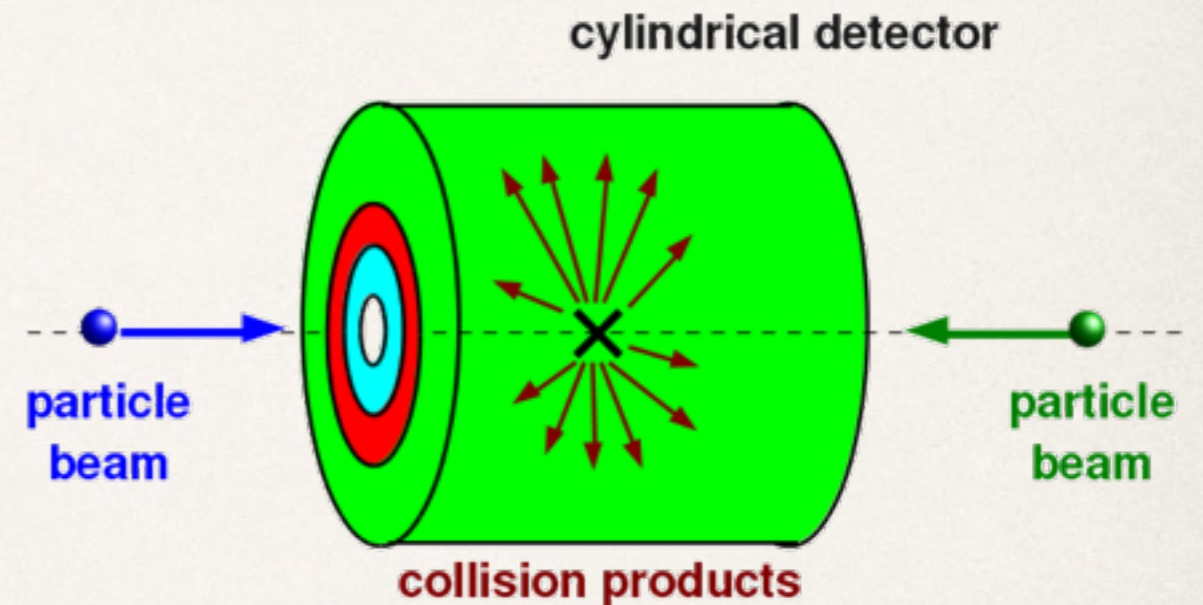
Rodzaje detektorów

- ❖ Geometria typu: wiązka-tarcza
przykład: LHCb, AMS



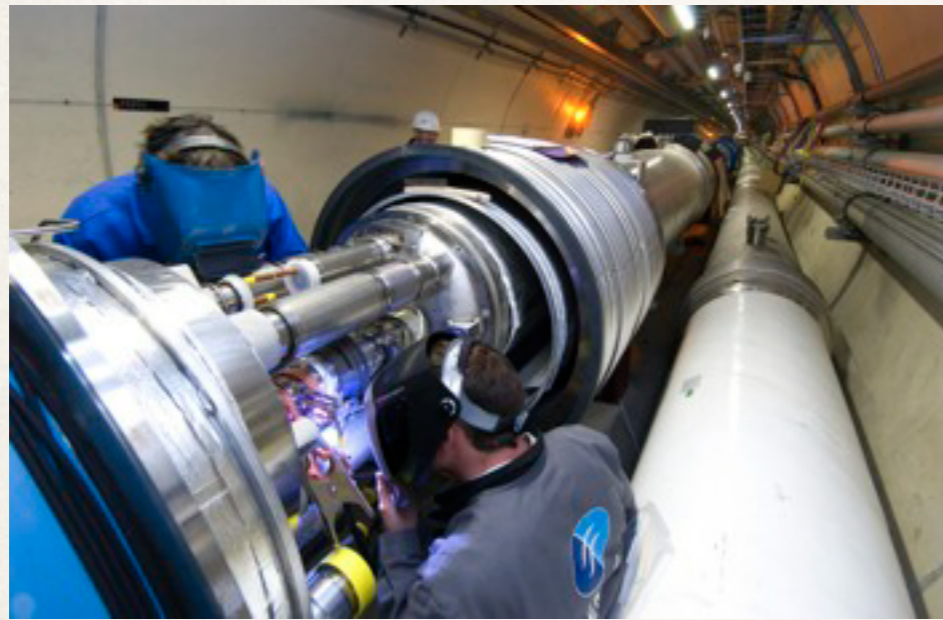
- ❖ Detektor "widzi" ograniczony obszar kątowy
- ❖ ale... łatwy dostęp do detektora (naprawy, kable, etc)

- ❖ Geometria typu: wiązki przeciwbieżne
przykład: ATLAS, CMS

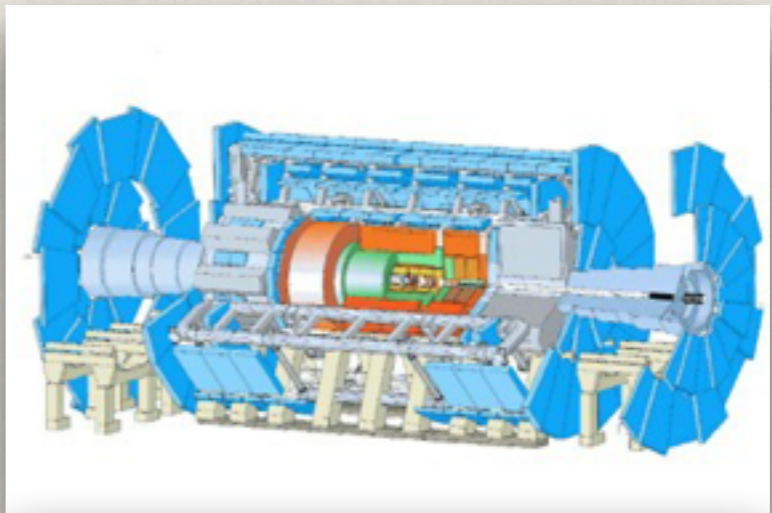


- ❖ Pełny zasięg kątowy obserwowanych przypadków
- ❖ ale... trudny dostęp do wnętrza detektora

Detektory LHC i nie tylko...



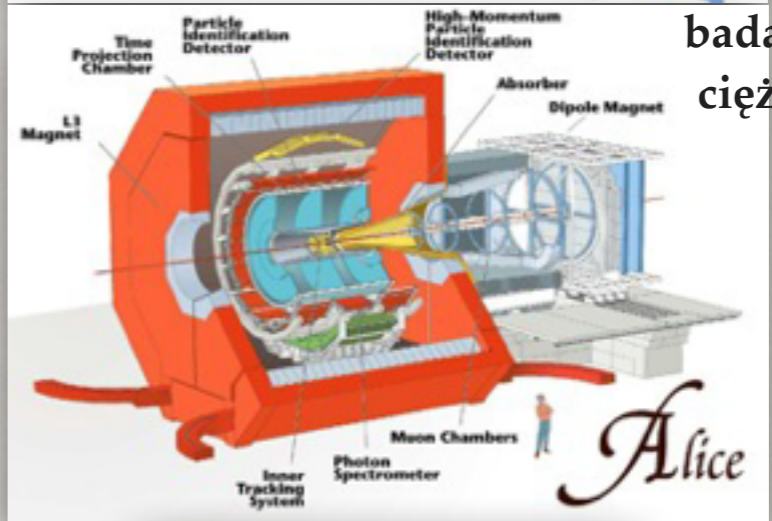
ogólnego zastosowania



ATLAS
ATLAS

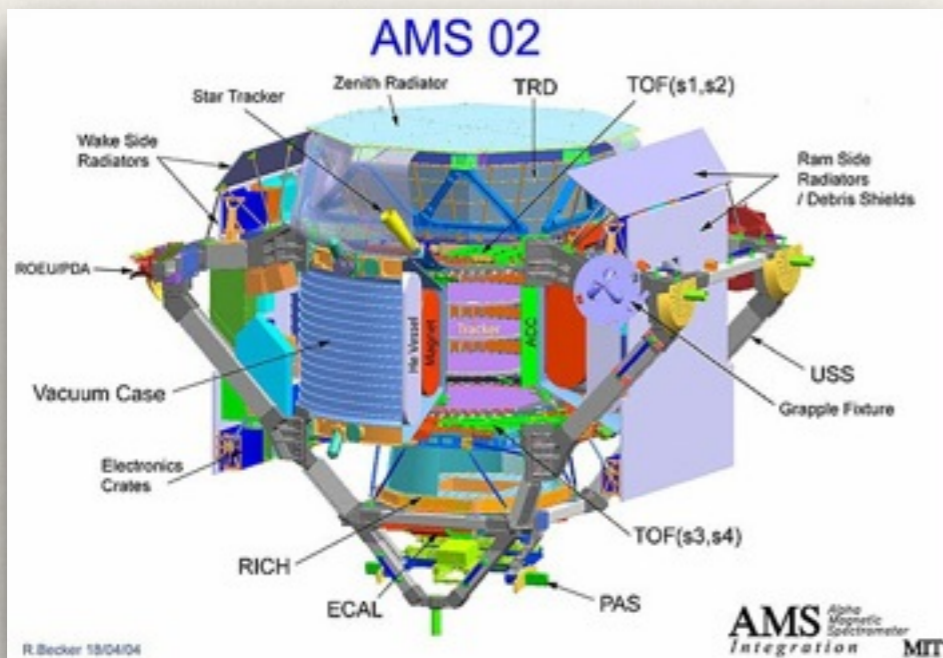


CMS

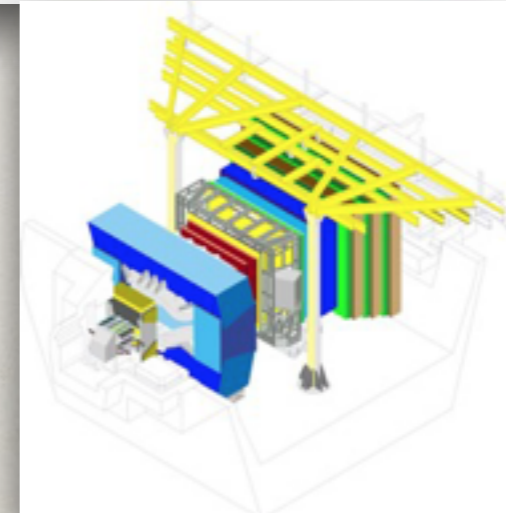


badania zderzeń ciężkich jonów

ALICE



astrofizyka cząstek

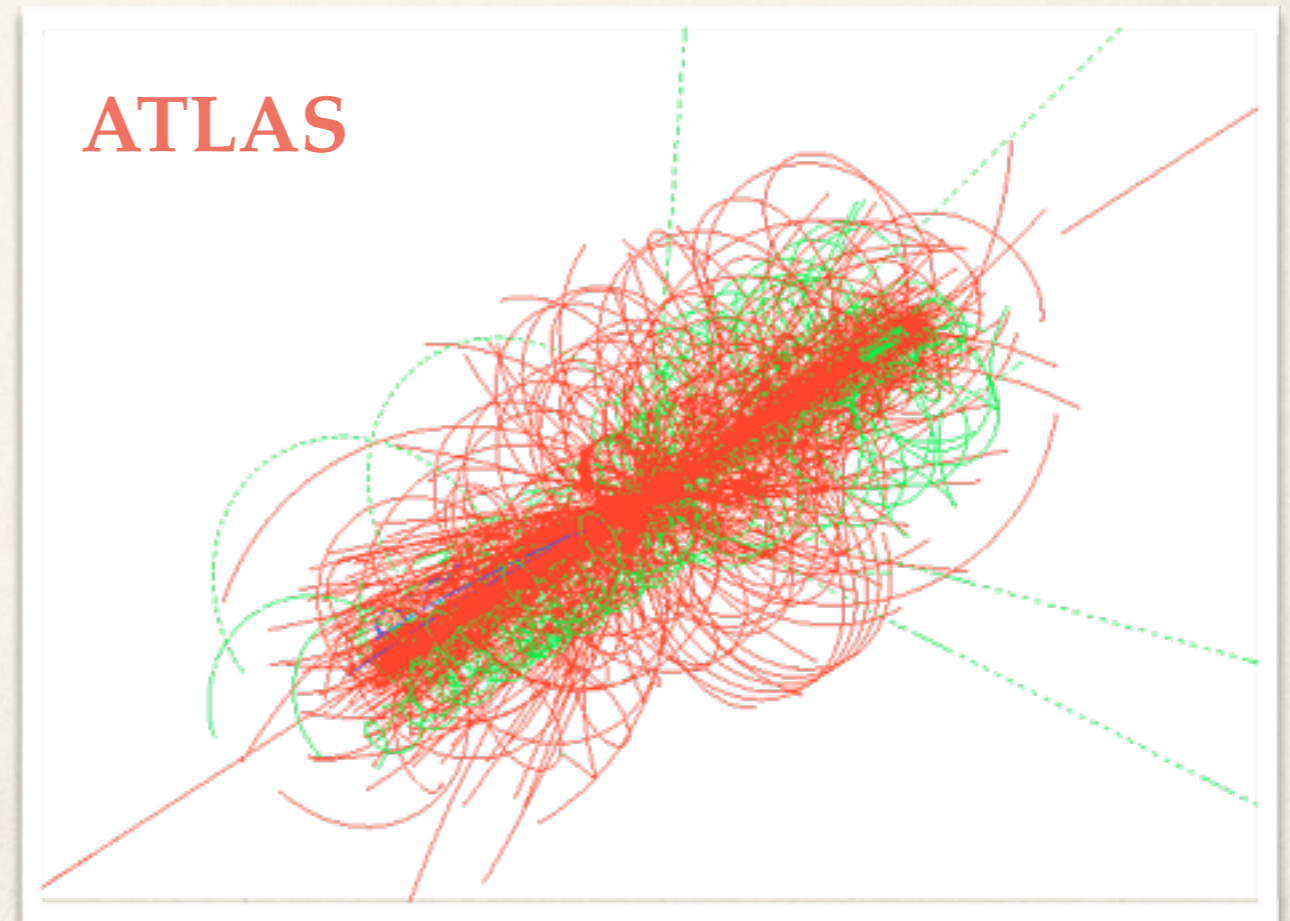
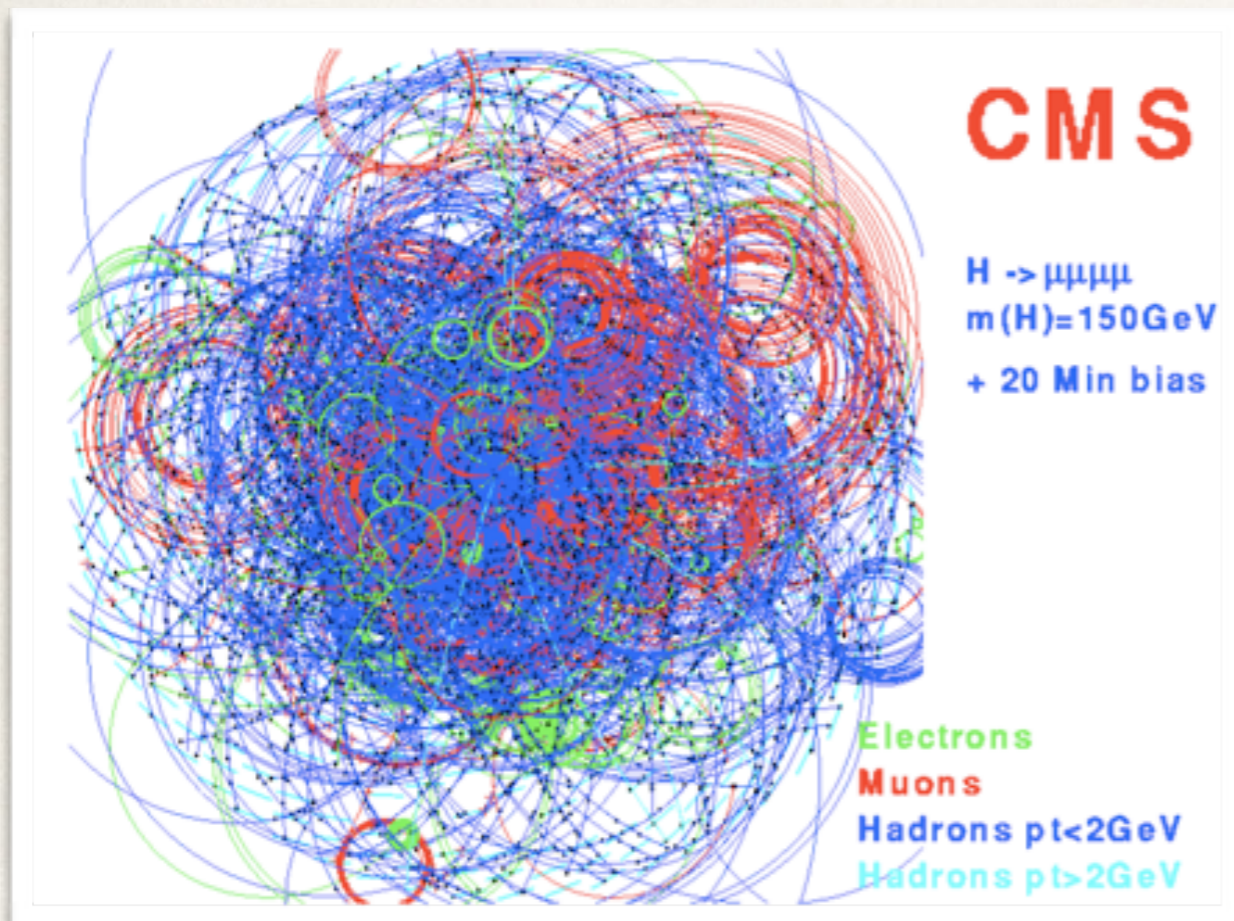


fizyka kwarków pięknych (b)

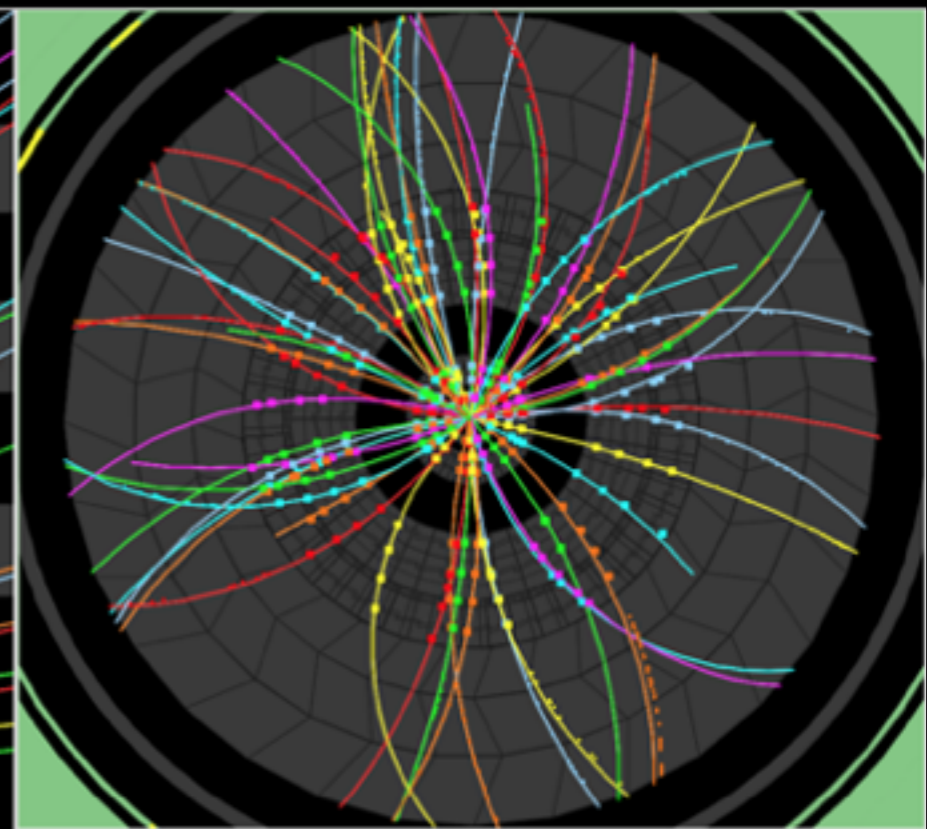
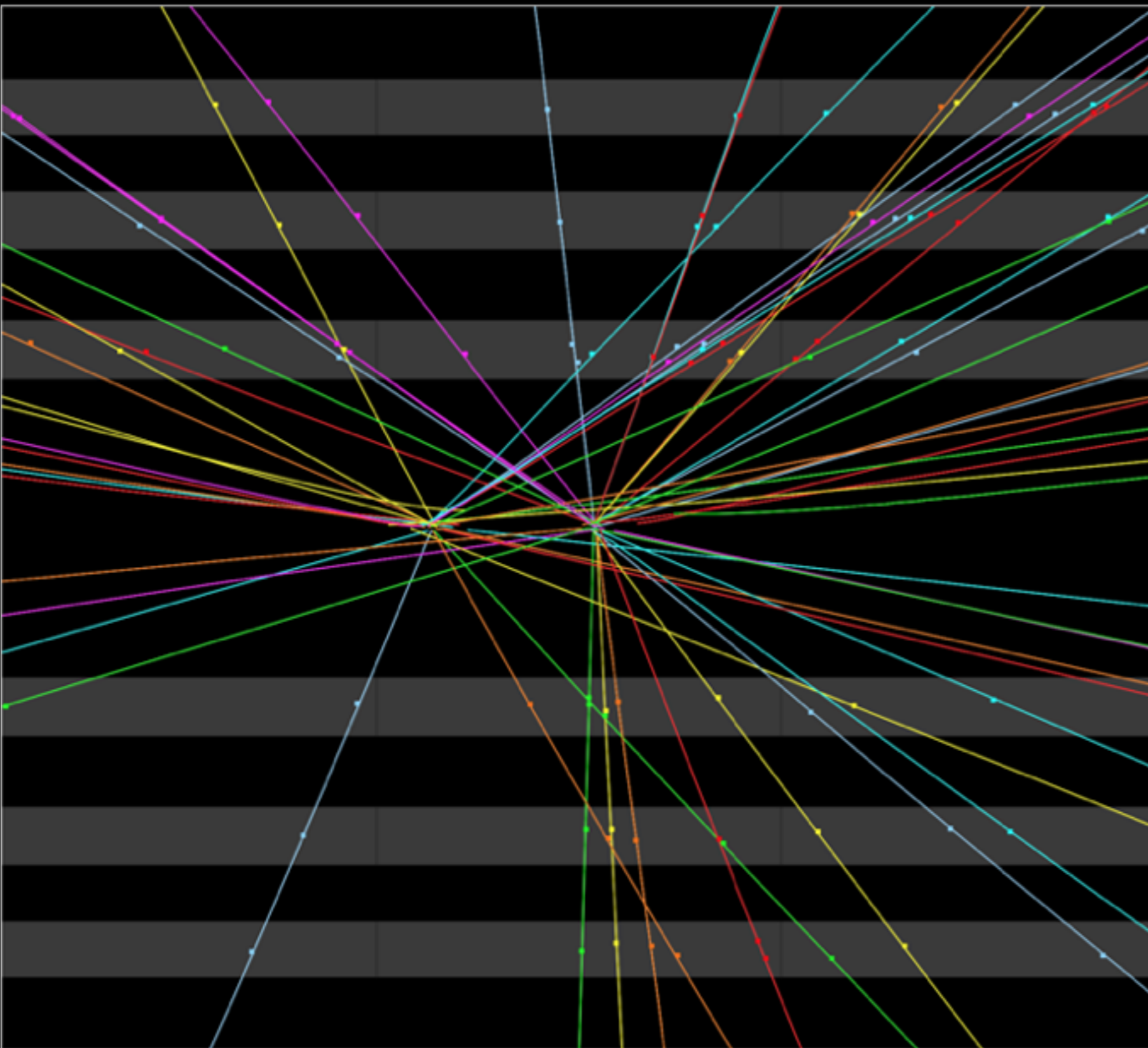
LHCb

Jaki ma być detektor?

- ❖ ...Najlepszy!
- ❖ Przecięcie wiązek w LHC następuje co 50ns (~20 oddziaływań jednocześnie)
- ❖ ~1000 śladów (cząstek naładowanych) na oddziaływanie (ok. 10^{10} /s)
- ❖ Czasem wypatrujemy tylko kilku śladów...



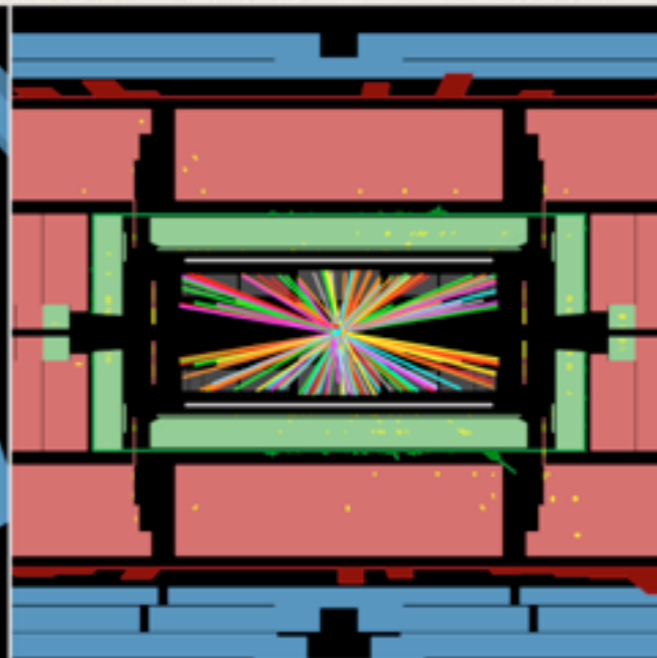
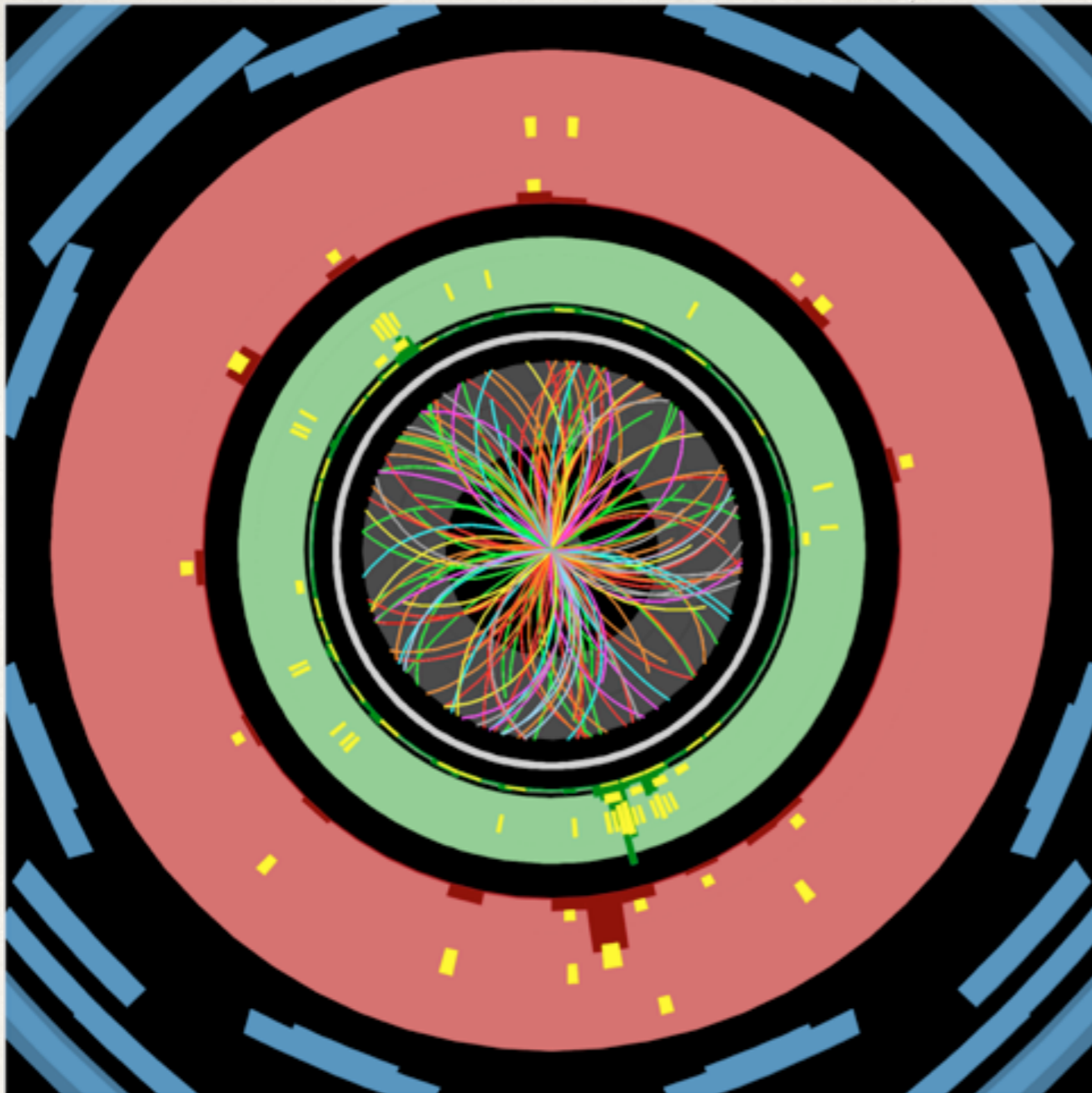
Collision Event at 7 TeV with 2 Pile Up Vertices



 **ATLAS**
EXPERIMENT

Run Number: 152166, Event Number: 467774

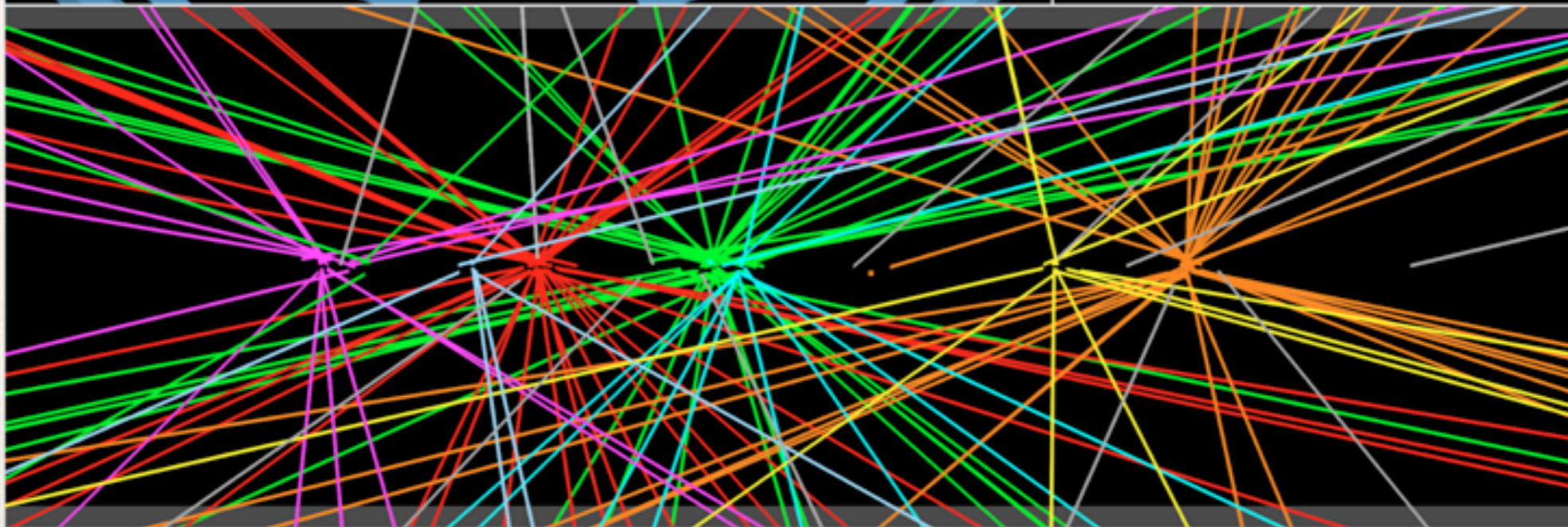
Date: 2010-03-30 13:31:46 CEST

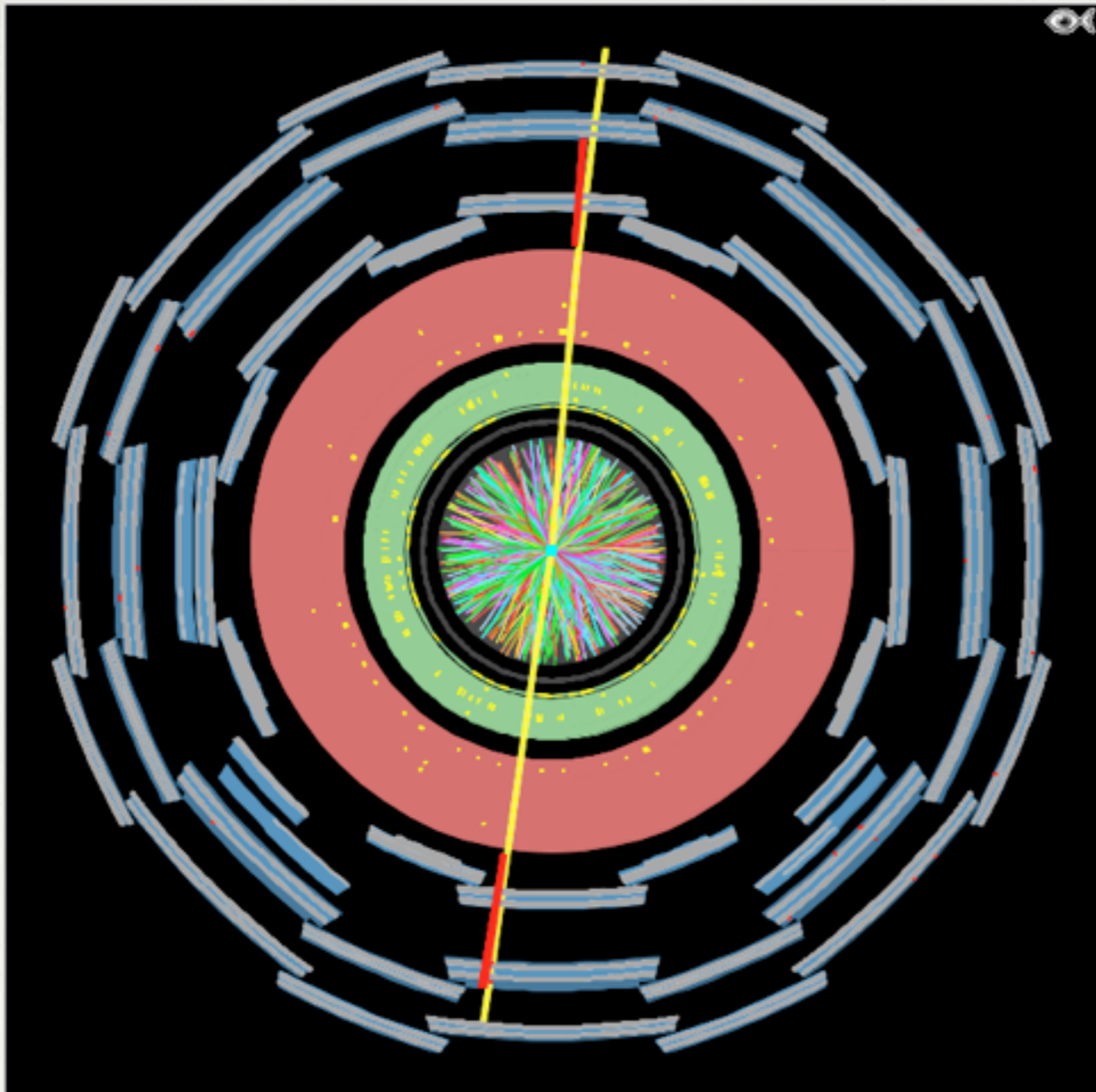


ATLAS EXPERIMENT

Run Number: 177531, Event Number: 183764

Date: 2011-03-13 18:20:50 CET

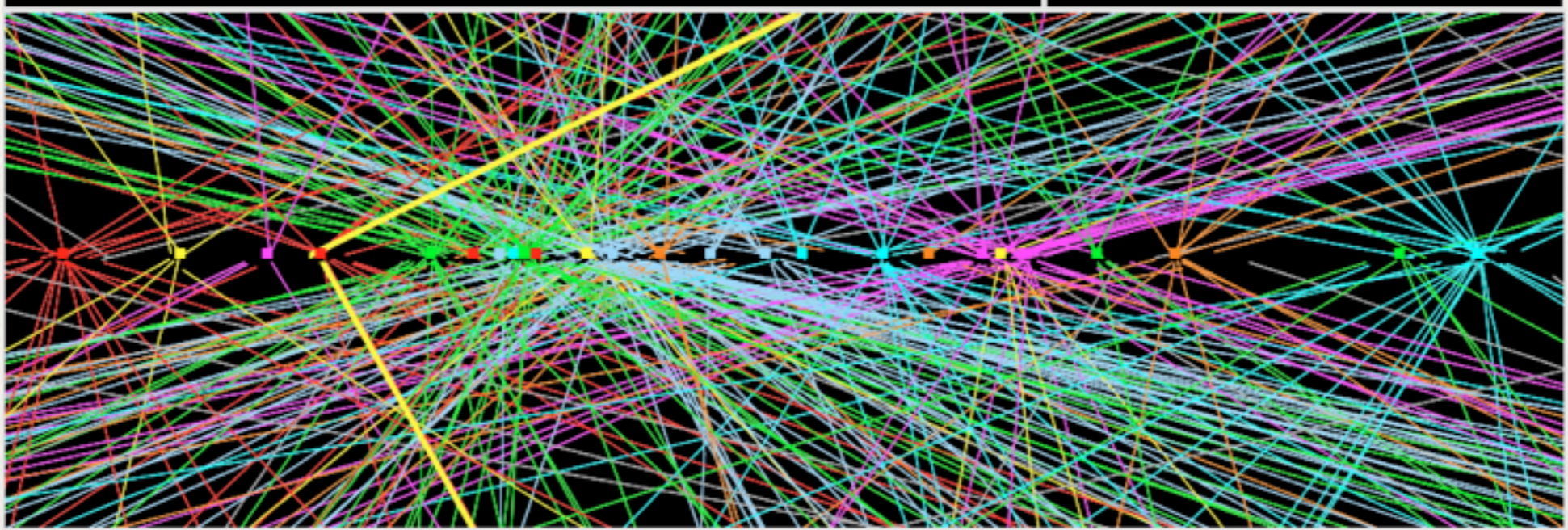
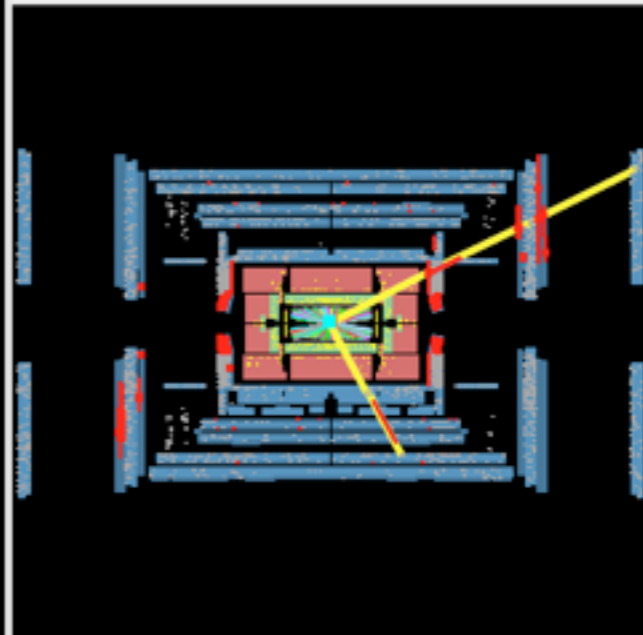




ATLAS EXPERIMENT

Run Number: 201289, Event Number: 24151616

Date: 2012-04-15 16:52:58 CEST



Miliony przypadków na sekundę....

- ❖ Zadanie każdego detektora:
 - ❖ Dostarczyć informację na temat każdego (?) zderzenia p-p (~1 bilion zderzeń / s)
 - ❖ Możemy zapisać tylko 100-200 przypadków / s (tryger):
 - ❖ poziom 1: 75000 przypadków / s
 - ❖ poziom 2: 2000 przypadków / s
 - ❖ poziom 3: 200 przypadków / s (redukcja 200000 razy)
 - ❖ Informacja musi być wystarczająco szczegółowa



- ❖ Gdyby zapisać wszystkie dane:
 - ❖ co sekundę zapełnilibyśmy 100000 płyt CD (wieża 150m),
 - ❖ na rok zesłoby płyt na odległość 2 razy na Księżyc i z powrotem.
- ❖ Ilość zapisanych danych:
 - ❖ równowartość 50 bilionów rozmów telefonicznych wykonywanych w tym samym czasie
 - ❖ 600 lat słuchania muzyki
 - ❖ 160 milionów drzew ściętych na produkcję książek

Co musi umieć detektor?

- ❖ Mierzyć:
 - ❖ kierunki, pędy, znak ładunku cząstki naładowanej
 - ❖ energię
- ❖ Identyfikować:
 - ❖ elektrony
 - ❖ fotony
 - ❖ miony
 - ❖ hadrony
- ❖ Przetworzyć informację szybko
- ❖ Pracować niezawodnie w warunkach wysokiego promieniowania radioaktywnego przez lata



Jak zobaczyć cząstkę?

Śledzić
(trakery)

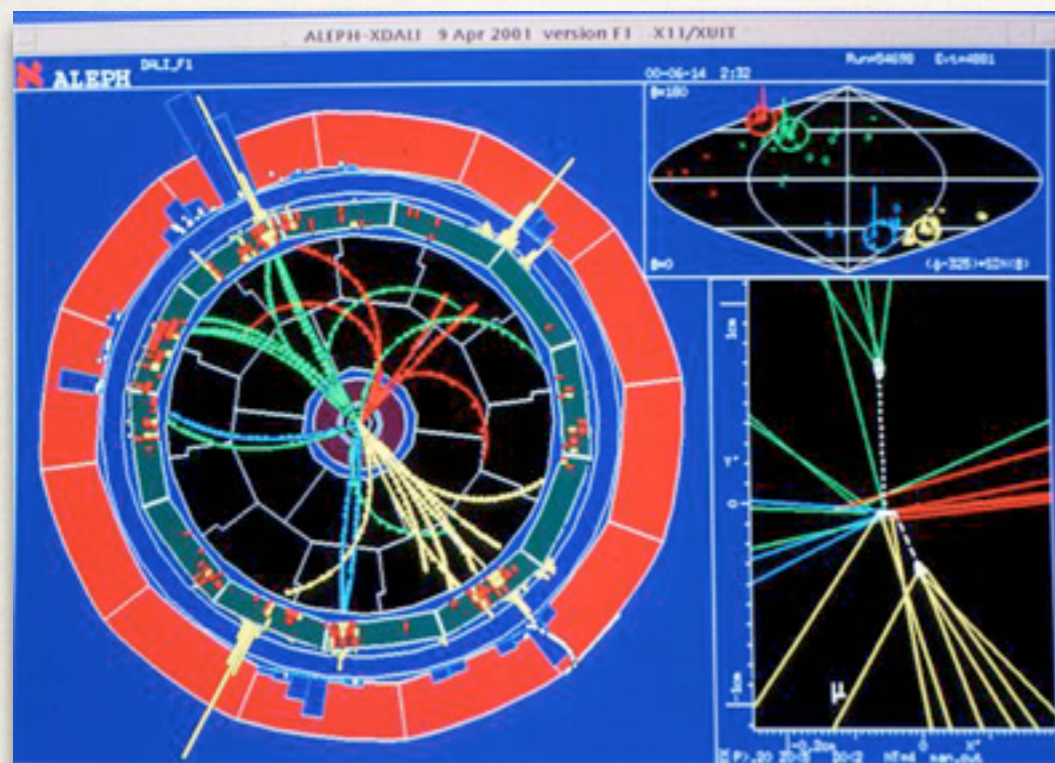


Łapać
(kalorymetry)

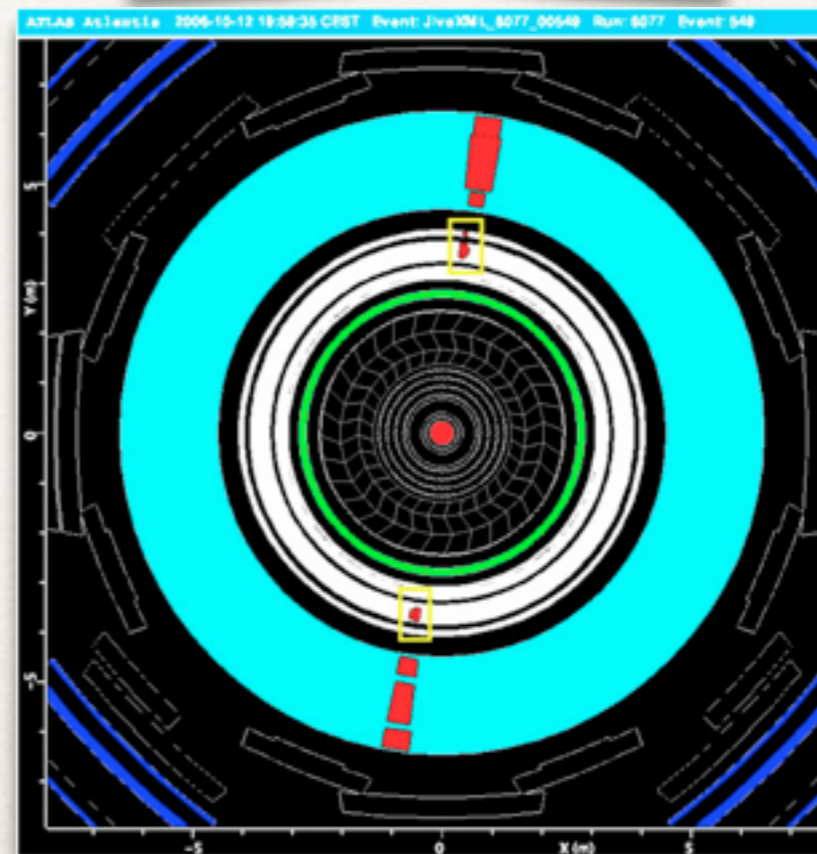
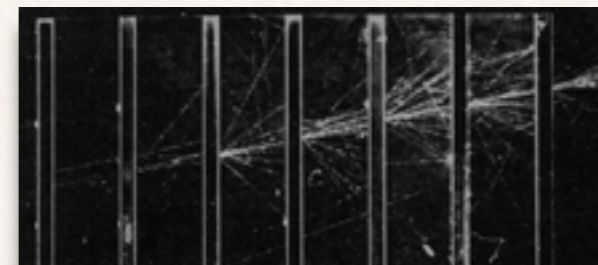


Jak zobaczyć cząstkę?

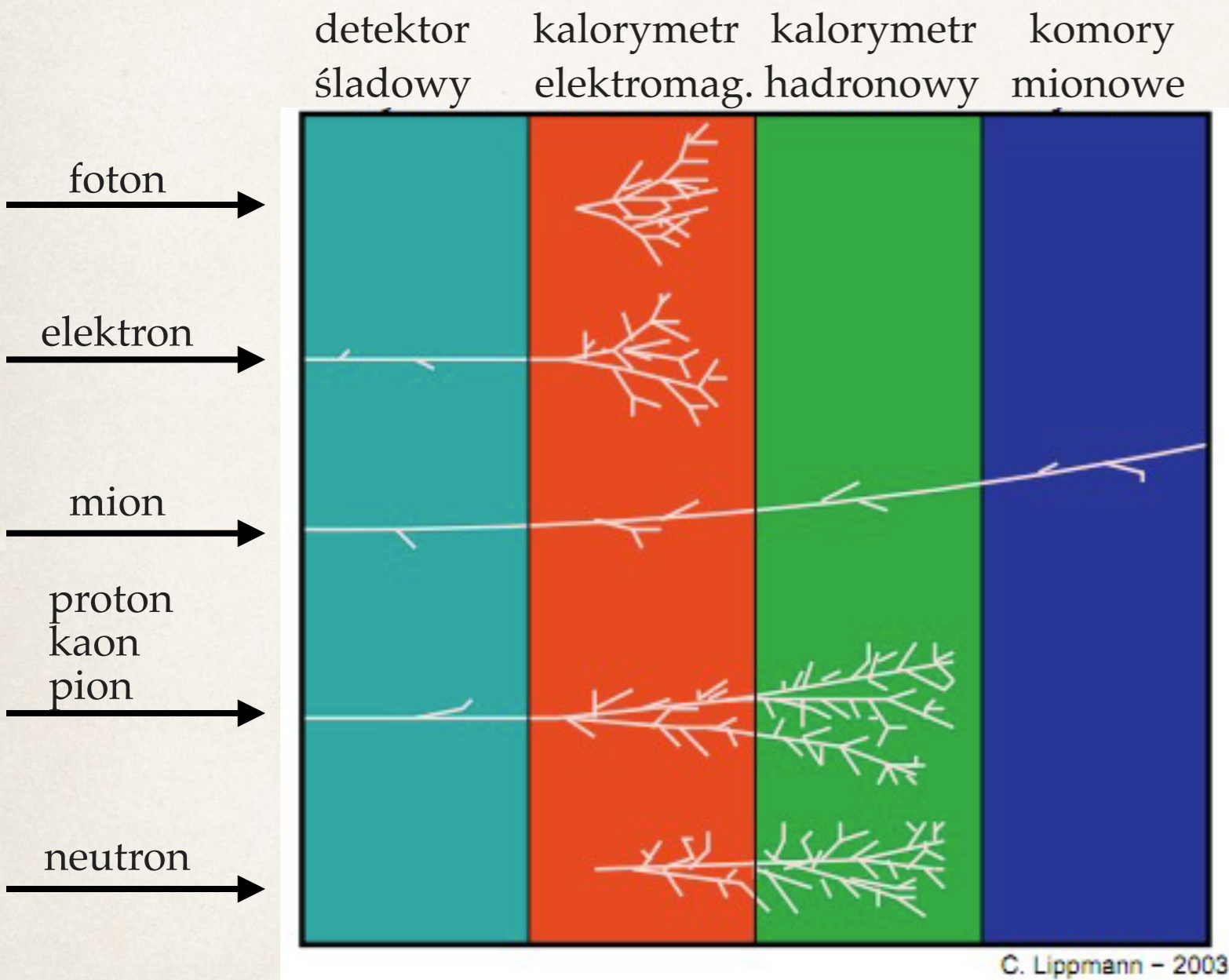
Śledzić
(trakery)



Łapać
(kalorymetry)

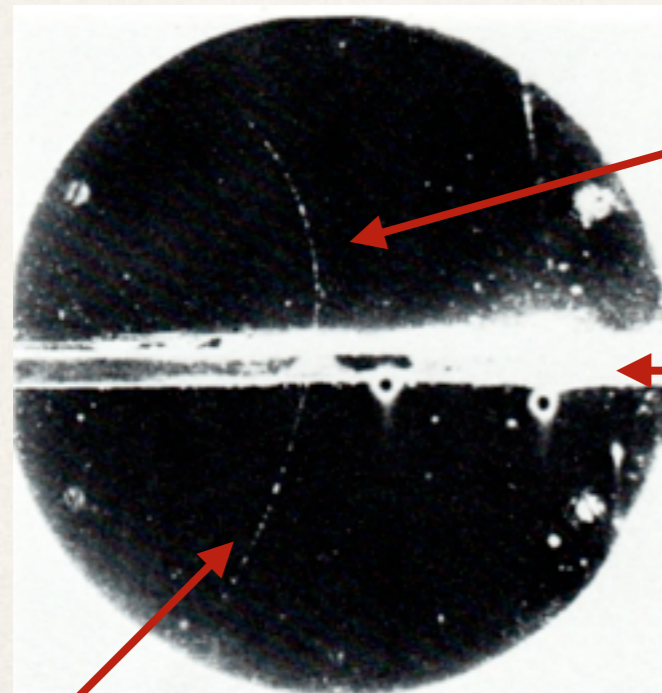


Detektory są jak cebule... mają warstwy



Klasyczne detektory śladowe

- ❖ Komora mgłowa (Ch. Wilson, 1911)
 - ❖ komora wypełniona przesyconą parą wodną (zaprojektowana do nadań formacji chmur deszczowych)
 - ❖ cząstki naładowane zostawiają ślady jonowe
 - ❖ ślady widoczne jako linia kropelek wody



pozyton traci energię w ołowiu (większa krzywizna pomaga określić kierunek lotu)

← płyta ołowiana

⊗ pole magnetyczne

pozyton porusza się w górę

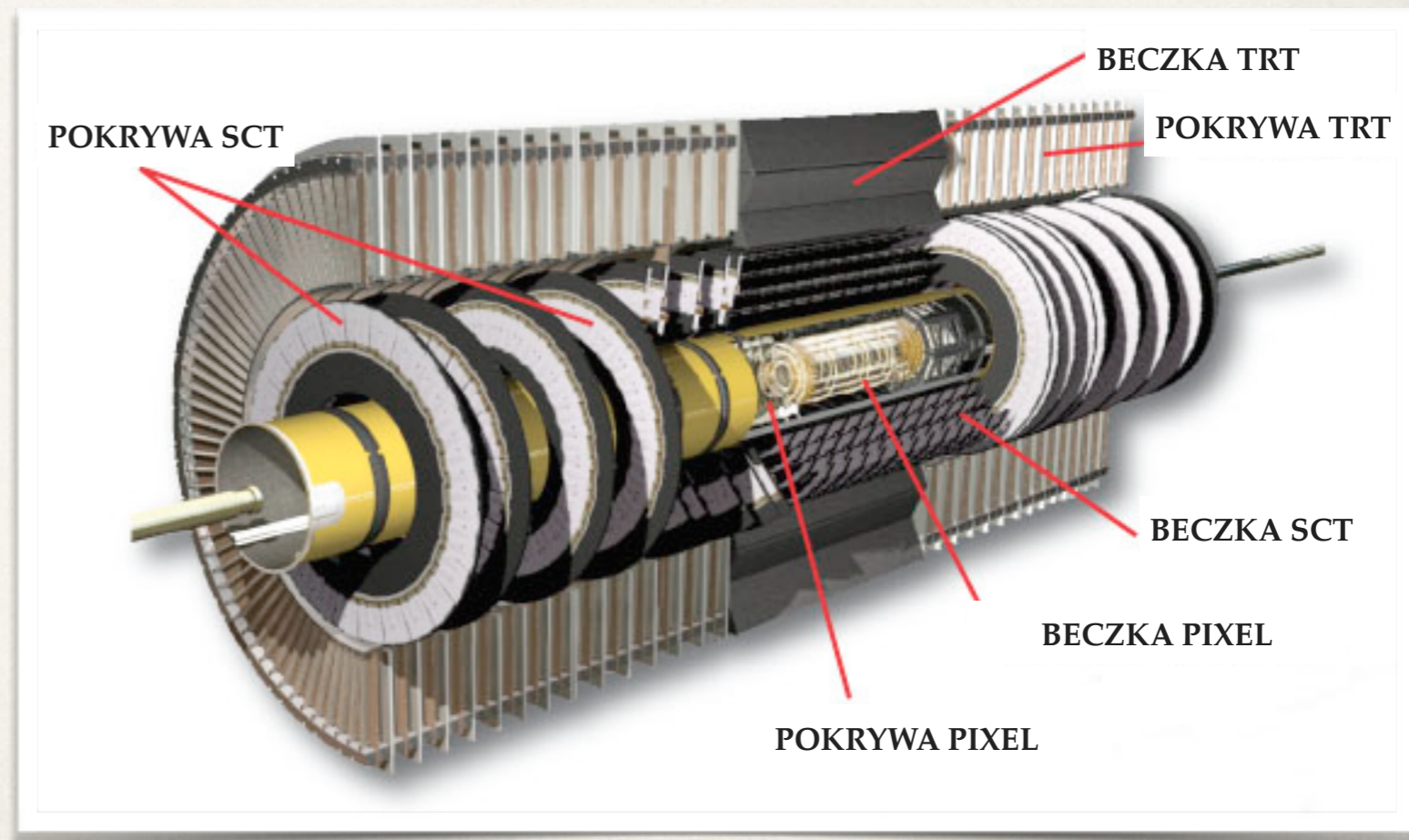


Współczesne detektory śladowe

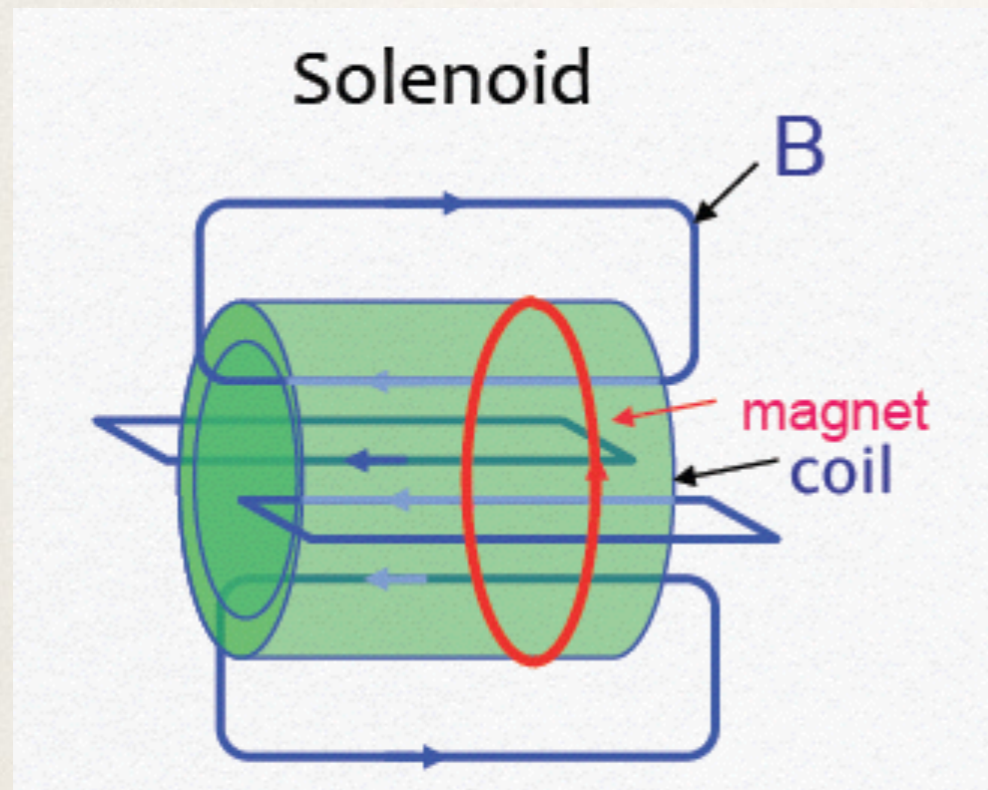
- ❖ Najbliżej punktu oddziaływania
- ❖ Umożliwia pomiar kierunku, pędu i znaku ładunku cząstek naładowanych (pole magnetyczne)

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

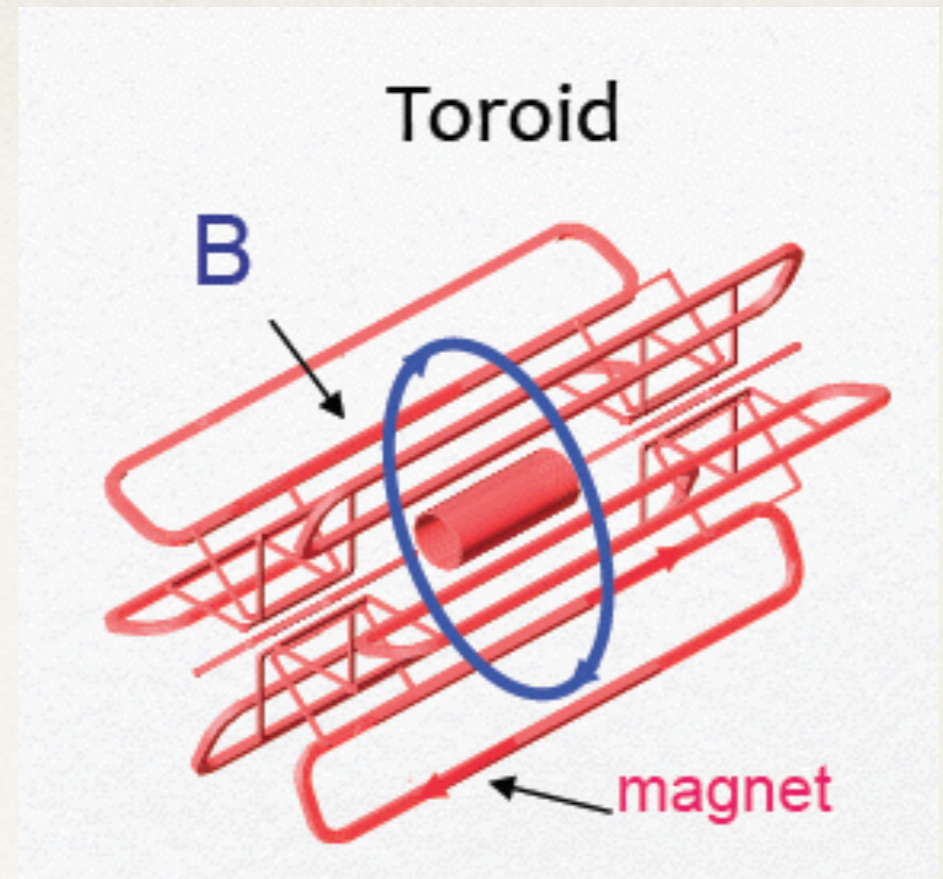
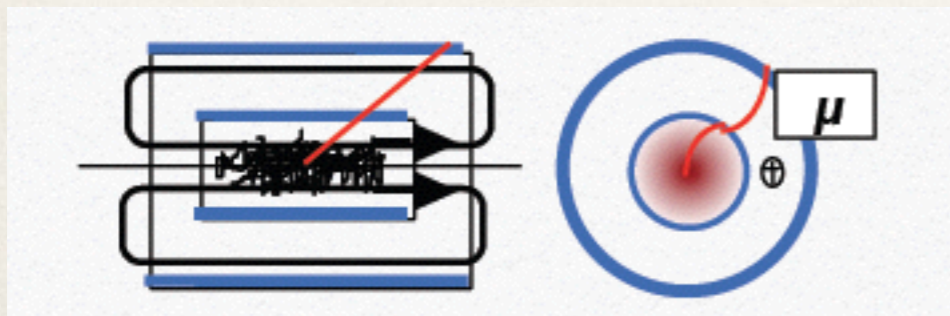
ATLAS



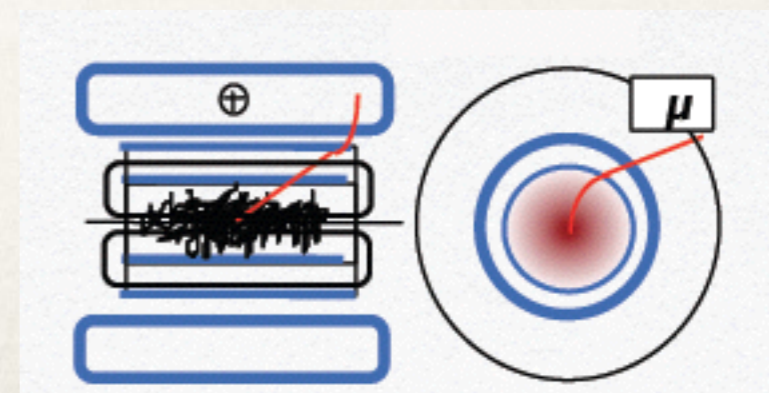
Magnesy



- + Duże jednorodne pole wewnątrz cewki
- Potrzeba jarzma zwrotnego
- Ograniczony rozmiar (koszty)
- Grubość cewki



- + Możliwe duże rozmiary
- + Mniej materiału na drodze cząstki
- Dodatkowy solenoid dla detektorów śladowych
- Niejednorodne pole
- Złożona struktura

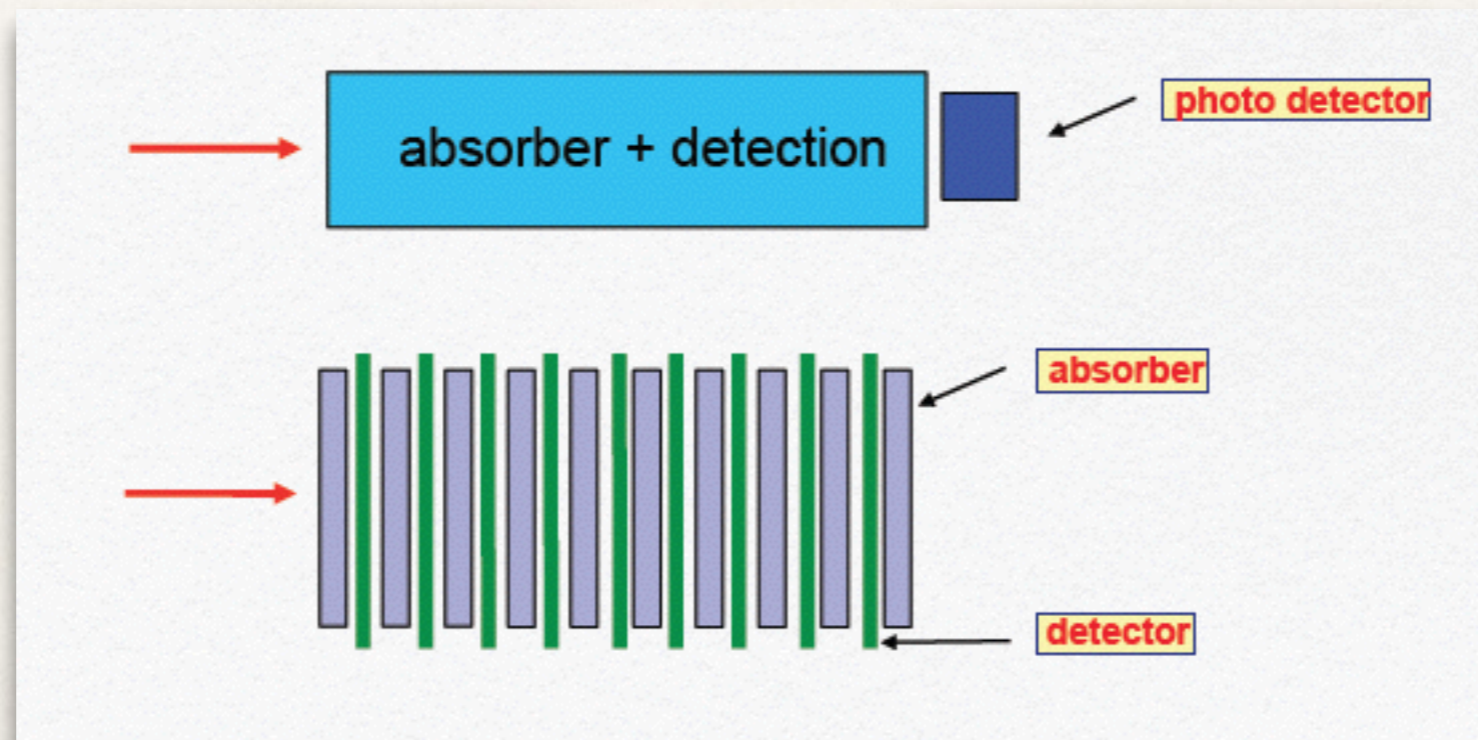


Kalorymetry

Kalorymetria: pomiar energii przez jej całkowitą absorpcję
(zwykle połączona z przestrzenna rekonstrukcją depozytu energii)

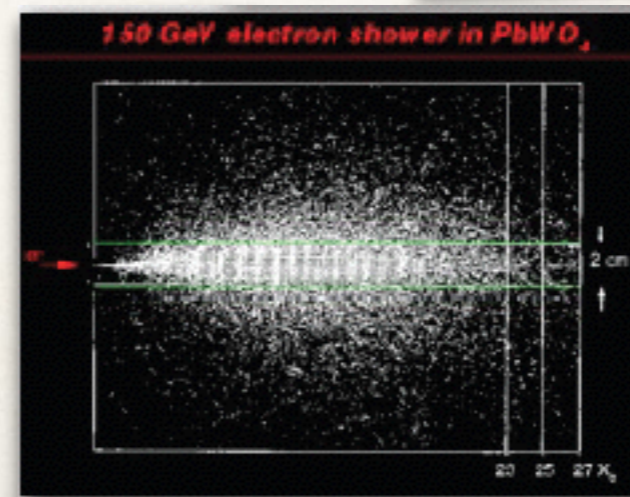
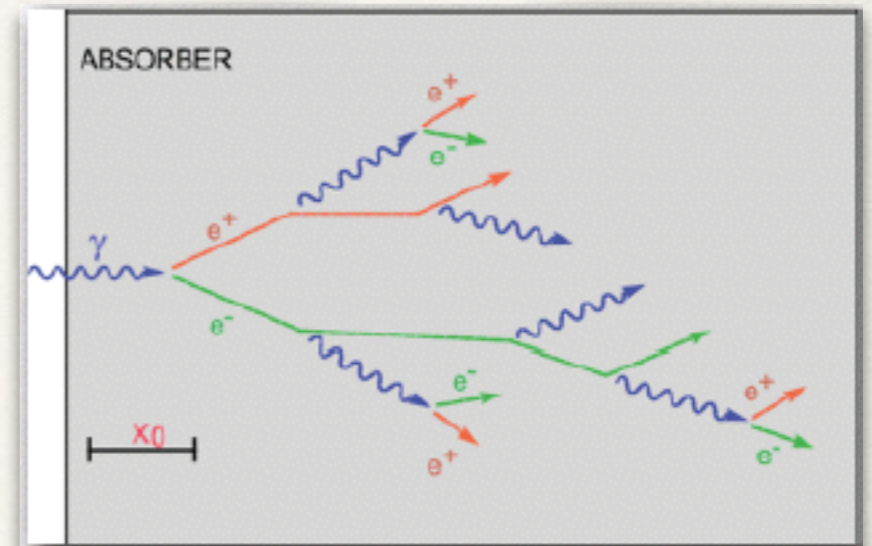
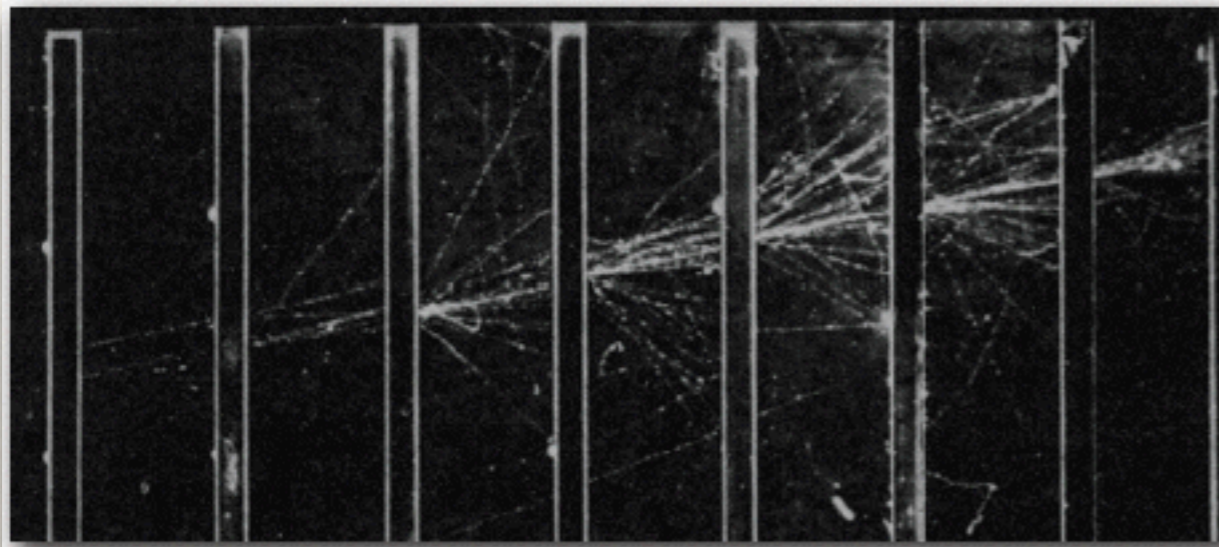
Kalorymetry:

- ❖ Jednородne, próbkujące
- ❖ Elektromagnetyczne, hadronowe

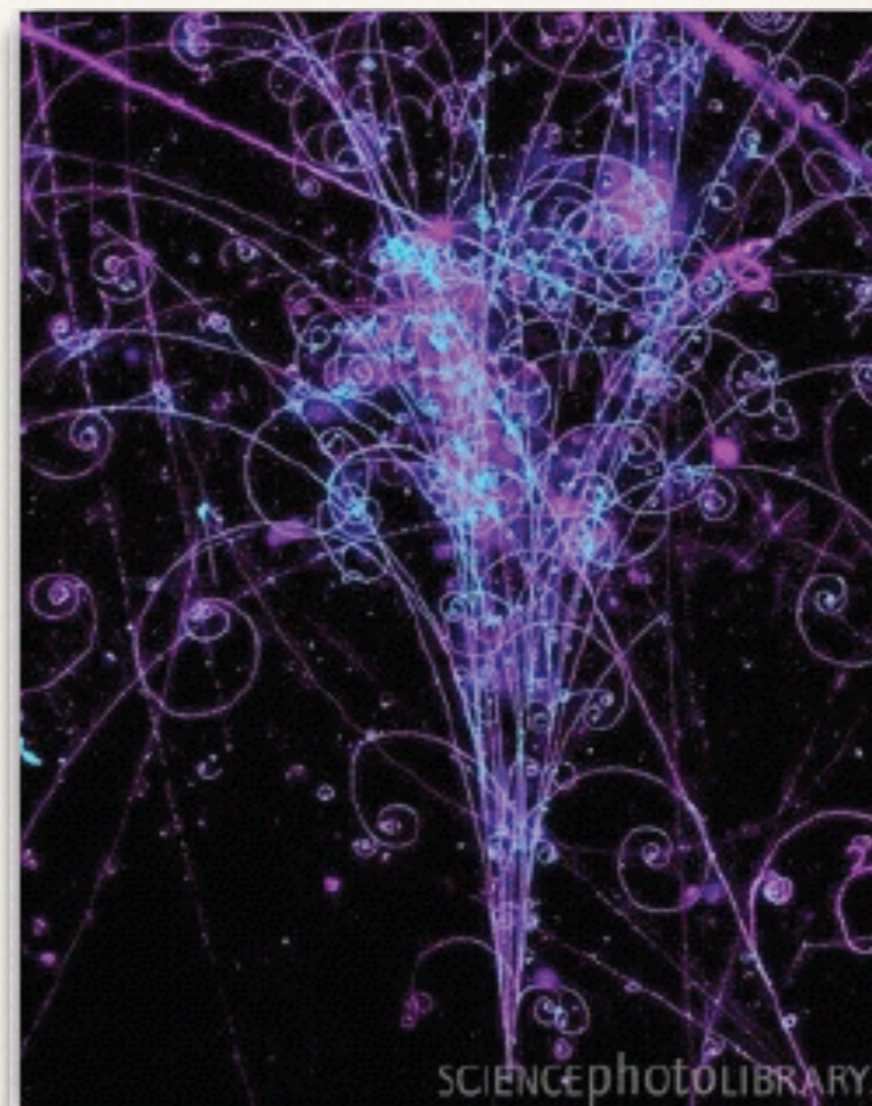
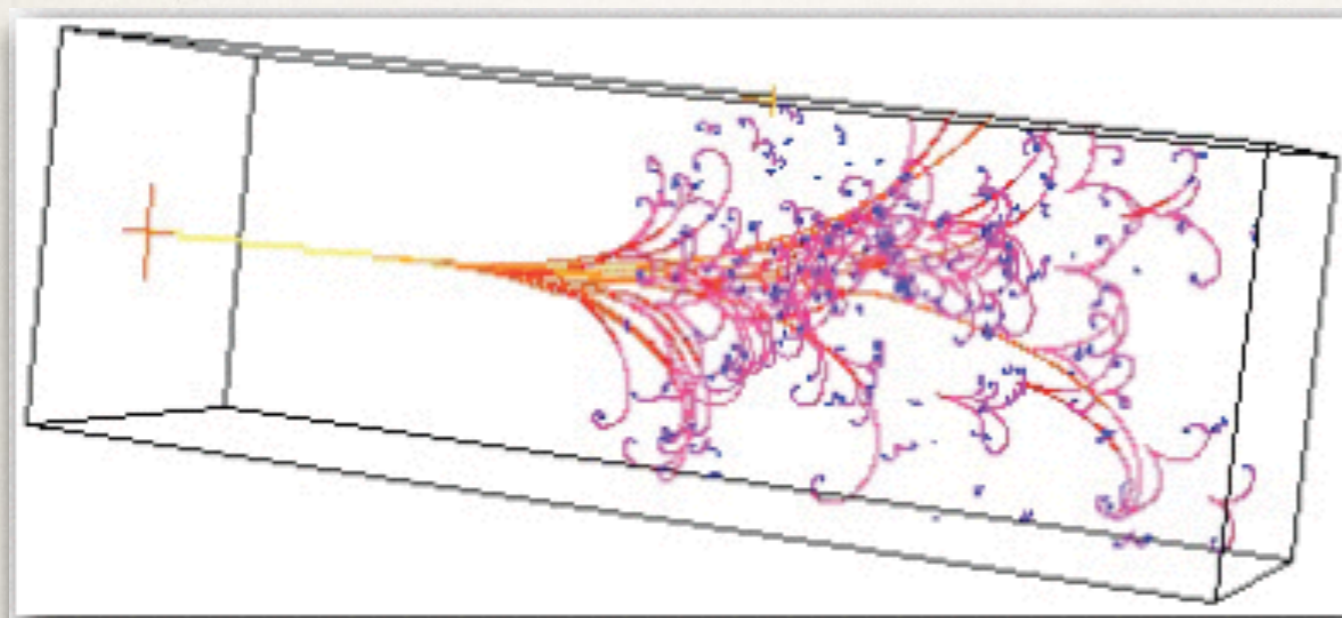


Kaskady elektromagnetyczne

- ❖ Kaskada elektromagnetyczna rozwija się w absorberze, rozpoczynając od pierwszego (pierwotnego) elektronu lub fotonu
- ❖ Elektron lub foton, przechodząc przez absorber wytwarza kaskadę wtórnych elektronów i fotonów



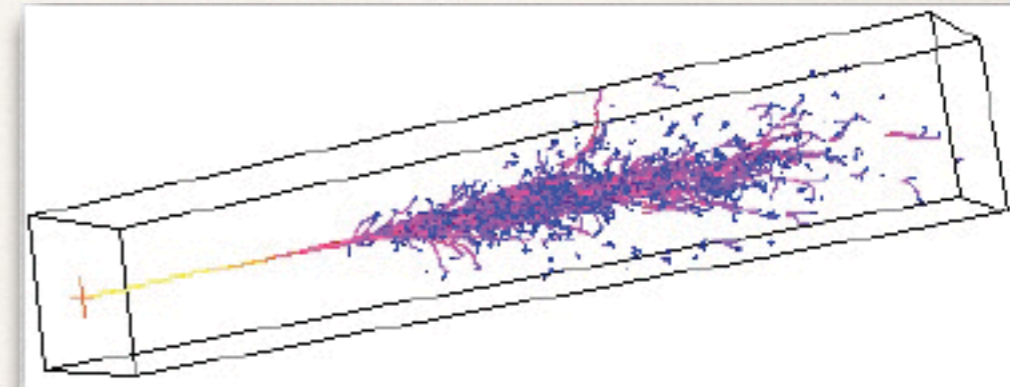
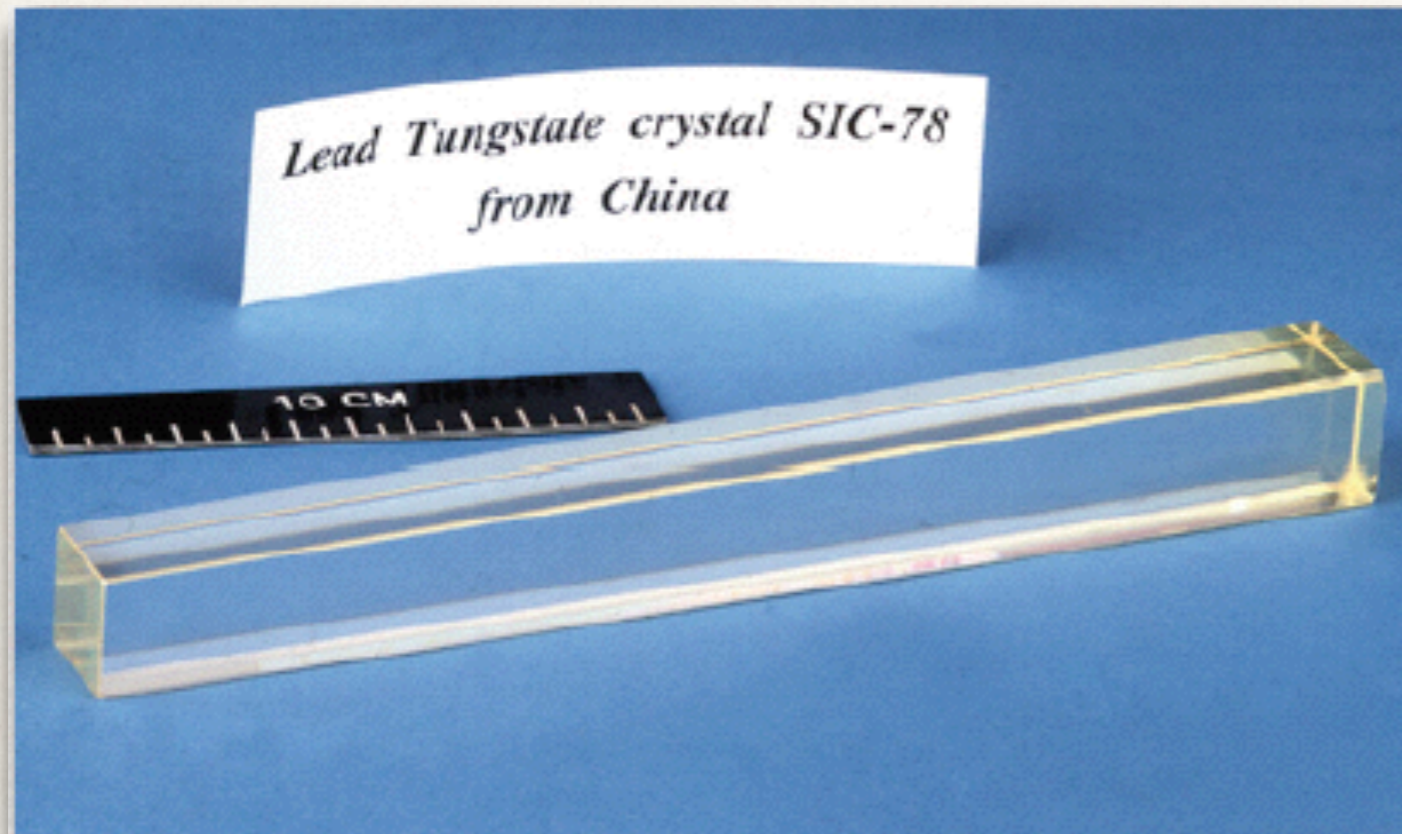
- ❖ Liczba wtórnych elektronów / pozytonów jest proporcjonalna do energii pierwotnego elektronu / fotonu, a ich obecność jest wykrywana przez materiał aktywny (jonizacja ośrodka → prąd)



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

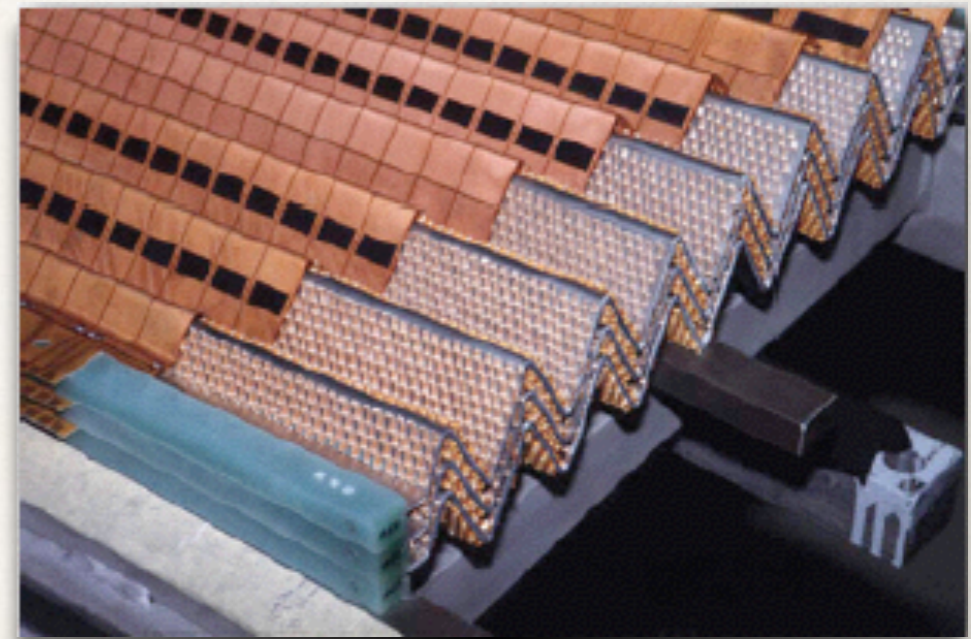
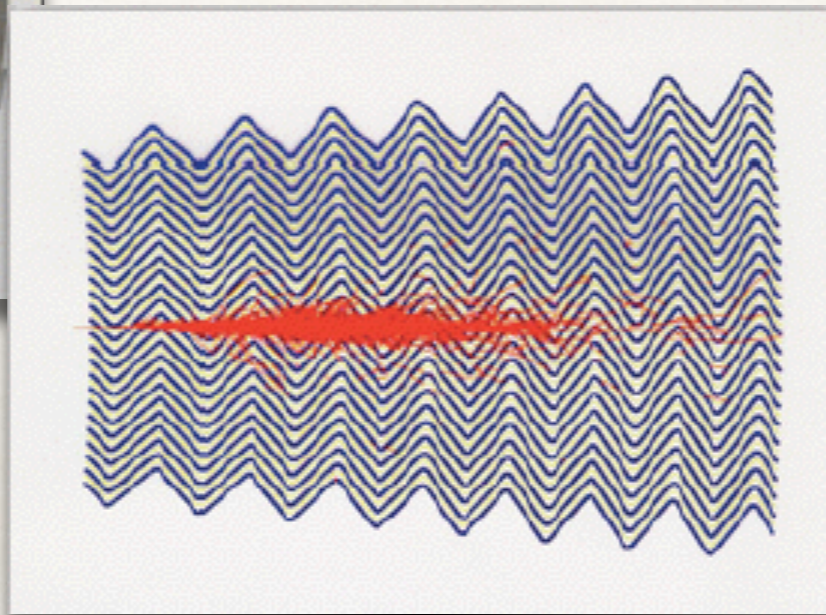
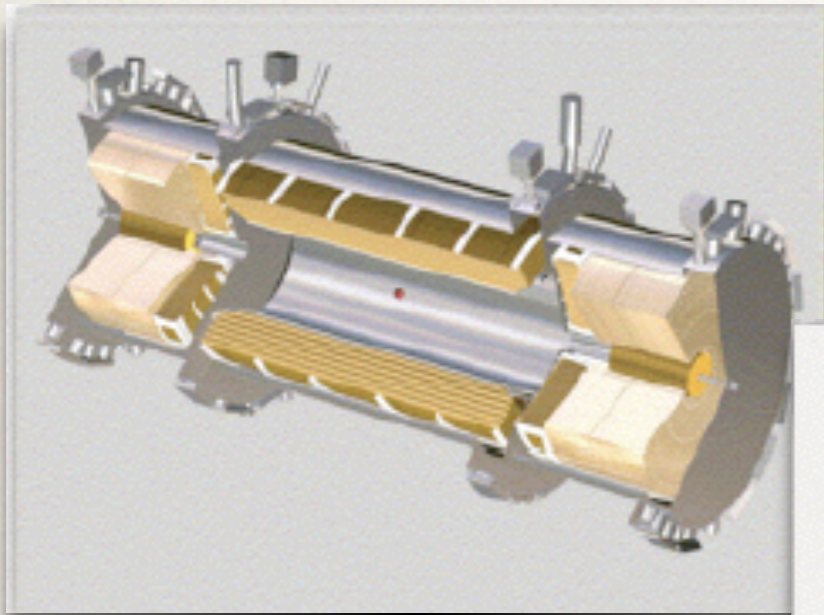
Kalorymetr elektromagnetyczny CMS

- ❖ W kalorymetrze jednorodnym (CMS, kryształy PbWO_4) cała kaskada zawarta 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)

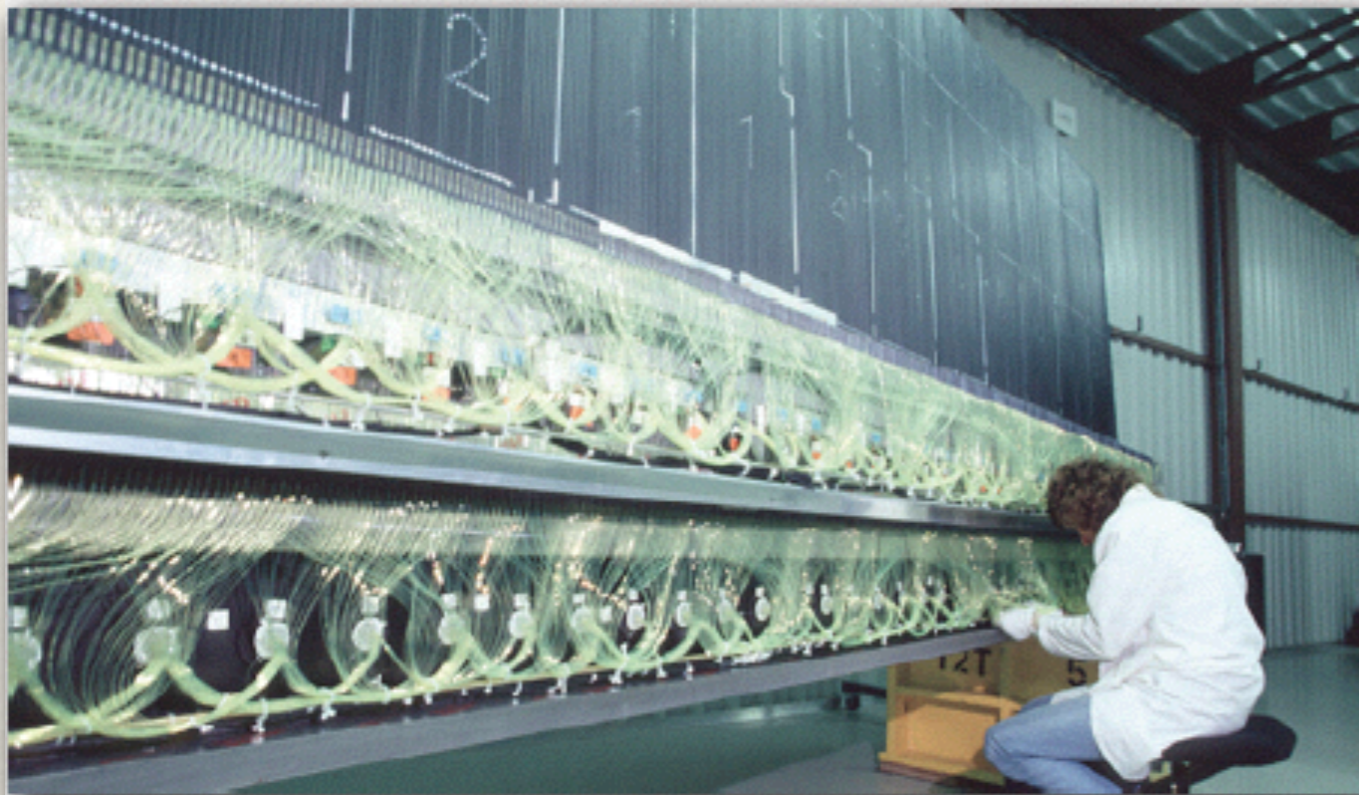


- ❖ Struktura akordeonowa pozwala uniknąć obszarów martwych (kable)

Kalorymetr hadronowy

- ❖ Otacza kalorymetr elektromagnetyczny
- ❖ Mierzy kierunek i energię strumieni cząstek (tzw. dżetów)
- ❖ Zasada działania niemal taka sama jak w kalorymetrze elektromagnetycznym (fluktuacje kaskady hadronowej)

ATLAS

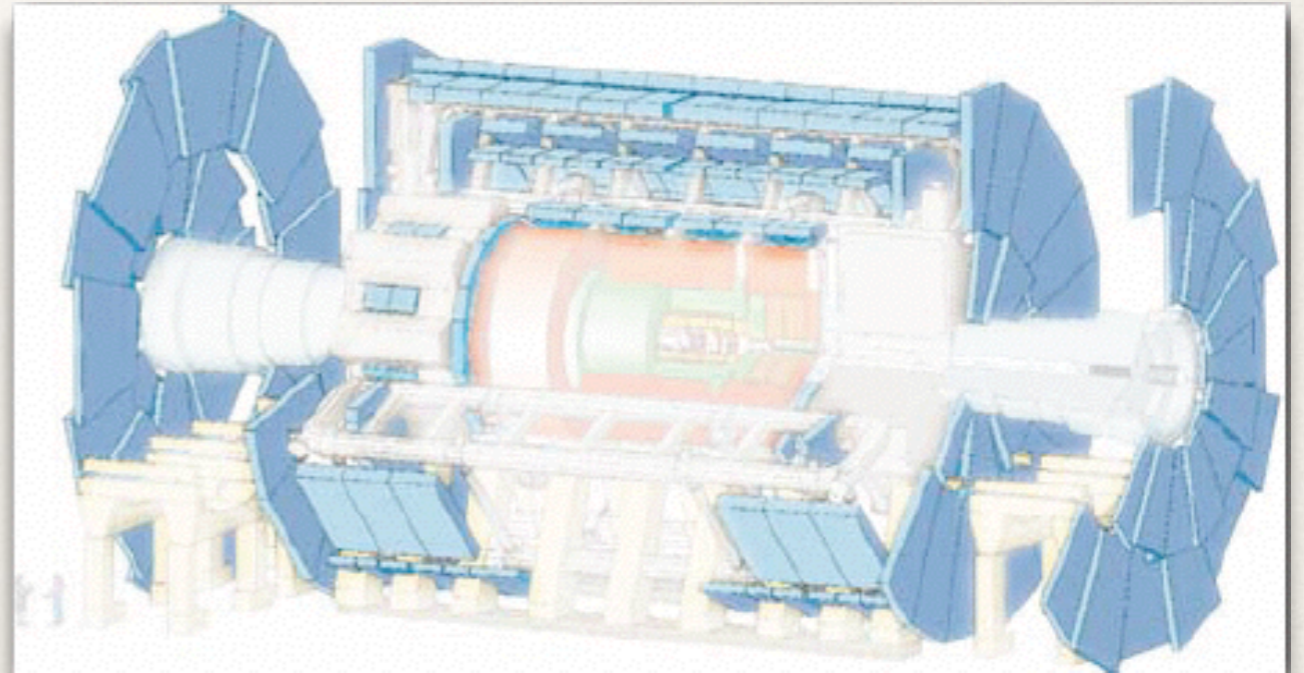
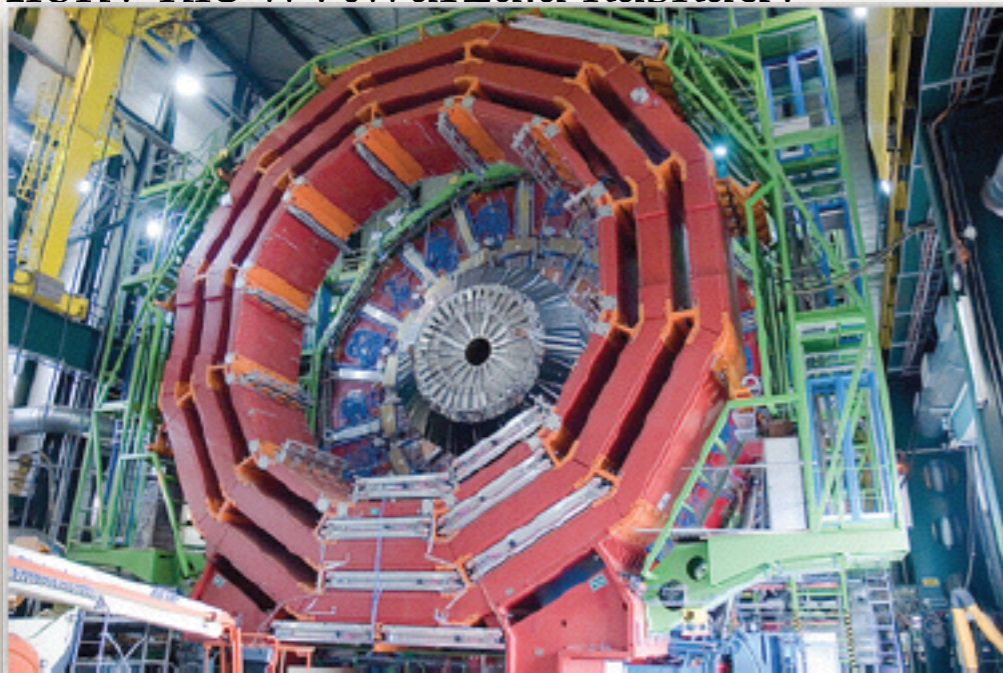


CMS



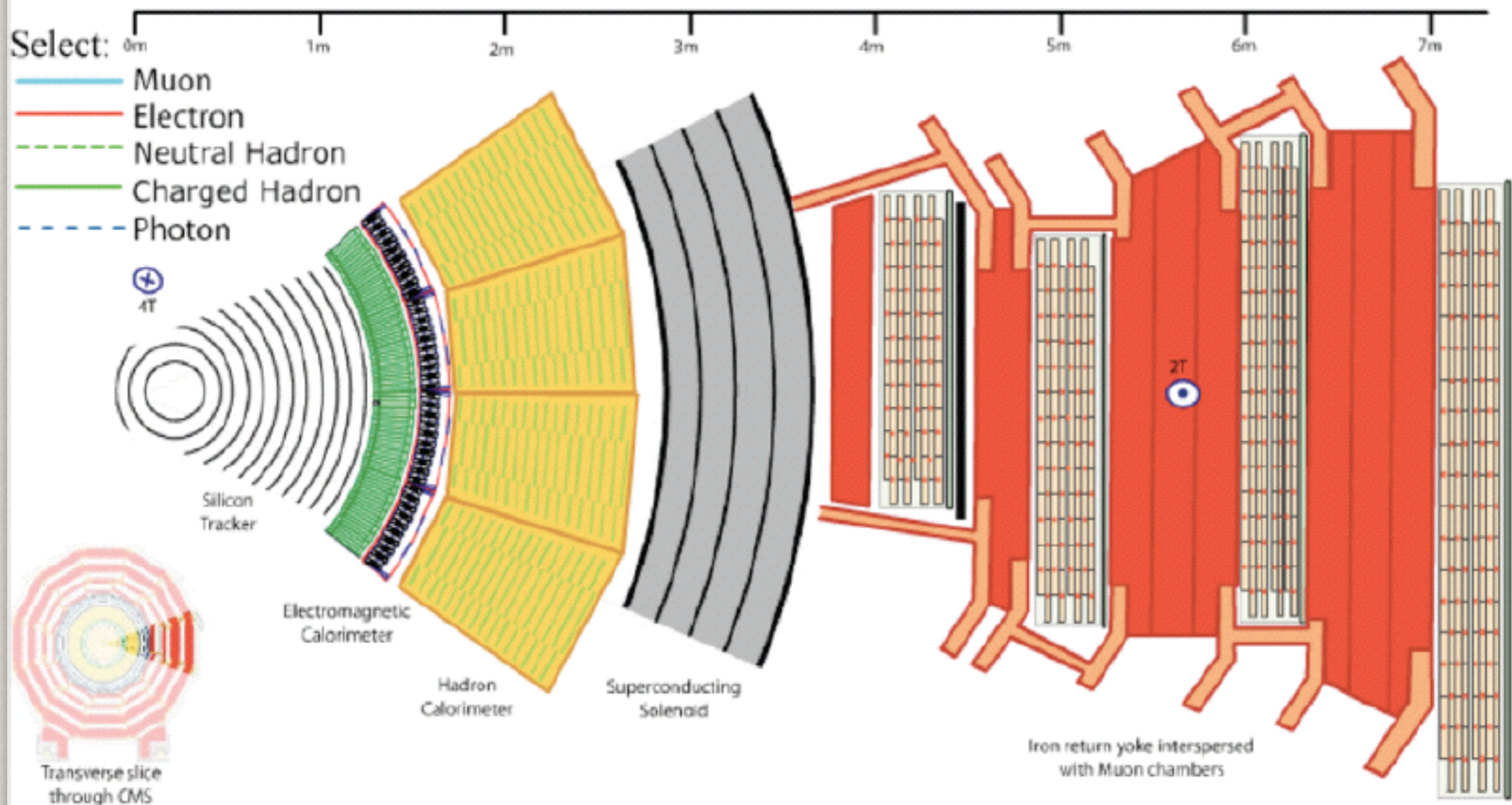
Komory mionowe

- ❖ Miony - 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 kaskad

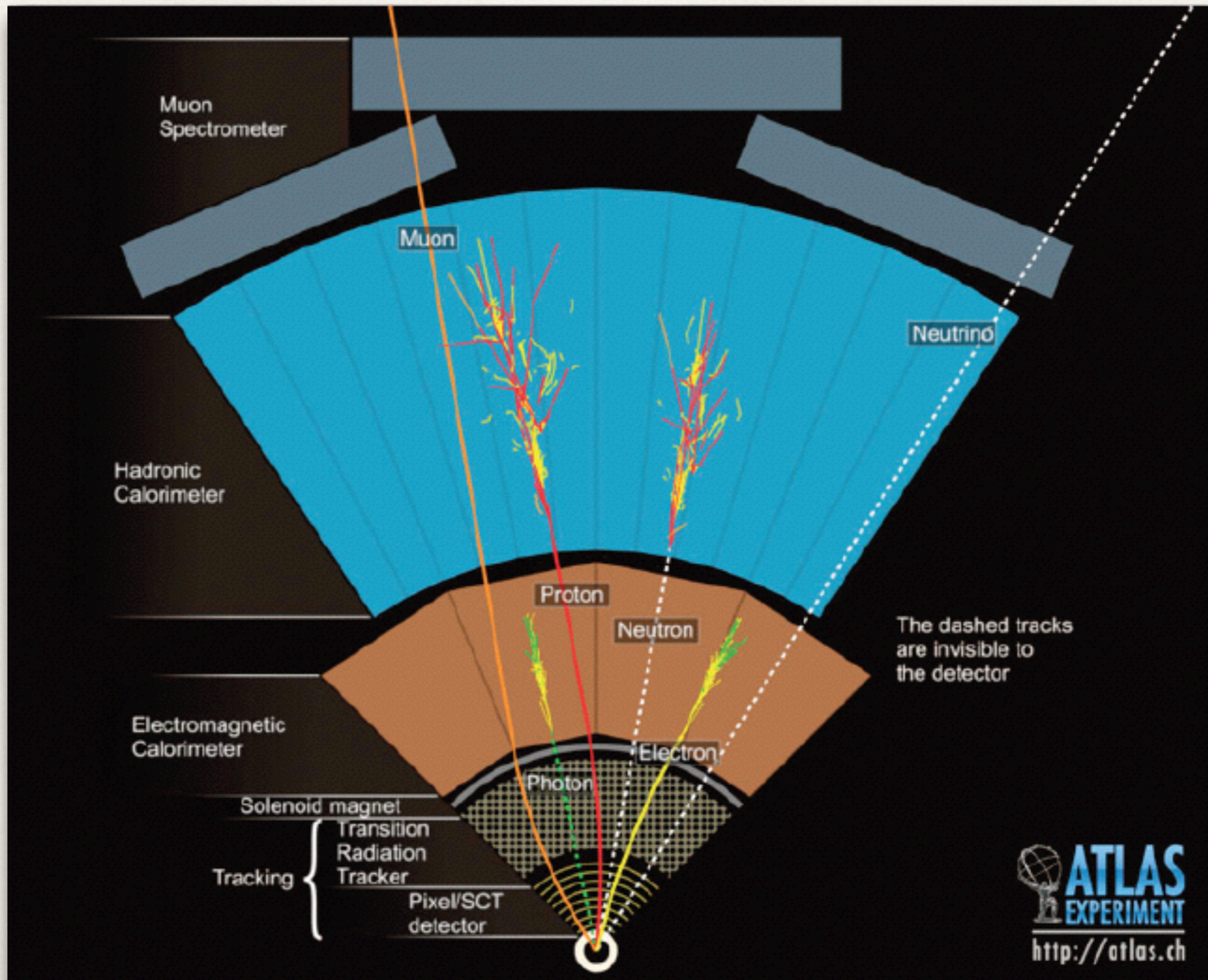


- ❖ Mion o energii 5GeV przeniknie 5m stali, podczas, gdy na zatrzymanie hadronu o niemal dowolnej energii wystarczy zaledwie 1.5m stali
- ❖ Dlatego wiemy, że cząstki zarejestrowane poza kalorymetrem hadronowym to na pewno miony

Plasterek CMS



Plasterek ATLASa



Detektor RICH (Ring Imaging CHerenkov)

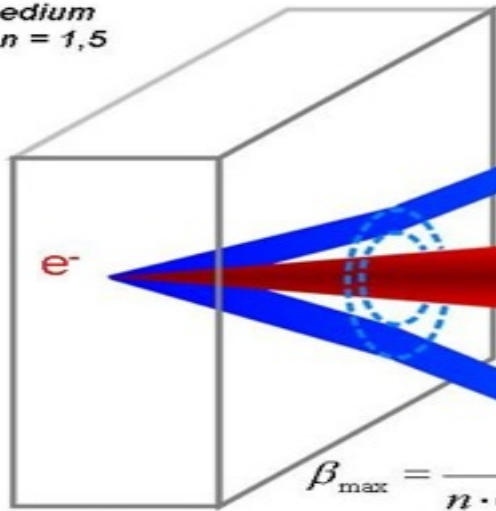
Detektor działa na zasadzie pomiaru promieniowania Cherenkova

Cerenkov Effect

Cerenkov medium
scotch tape $n = 1,5$
 $50 \mu\text{m}$

relativistic
electrons

$$\beta = \frac{v}{c}$$

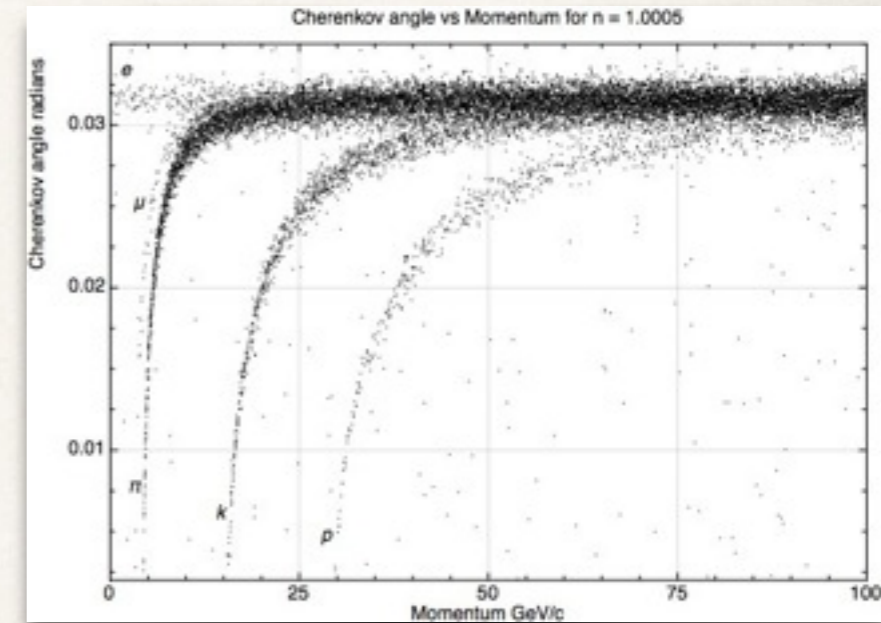


θ_{max} limited by
f[#]2-optics

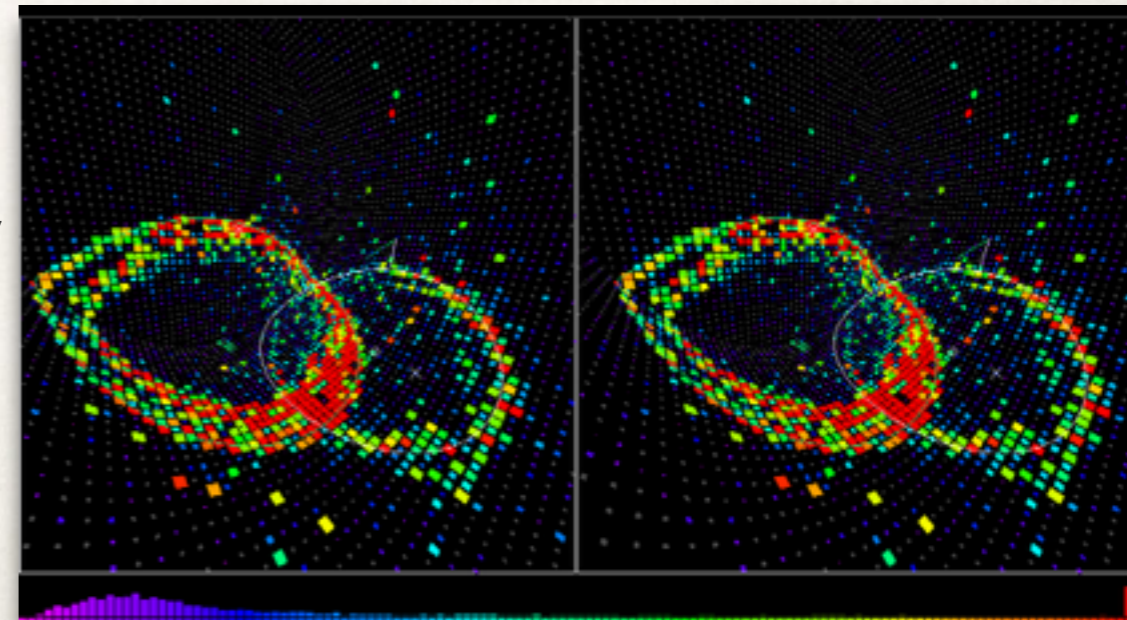
$$\beta_{\text{min}} = \frac{1}{n} = 0.7c$$

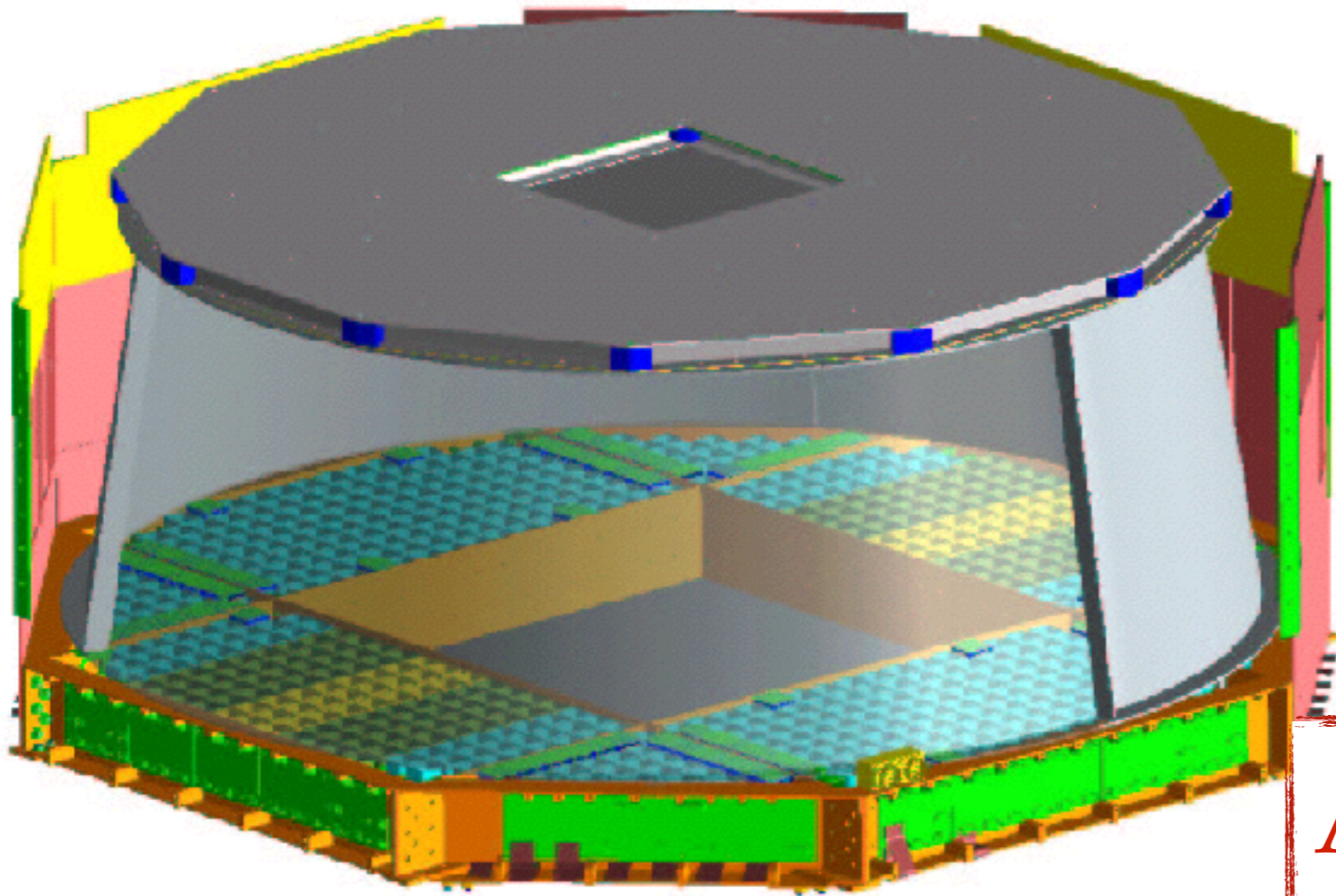
$$\beta_{\text{max}} = \frac{1}{n \cdot \cos \theta_{\text{max}}}$$

$E_e = 200 \text{ keV}$

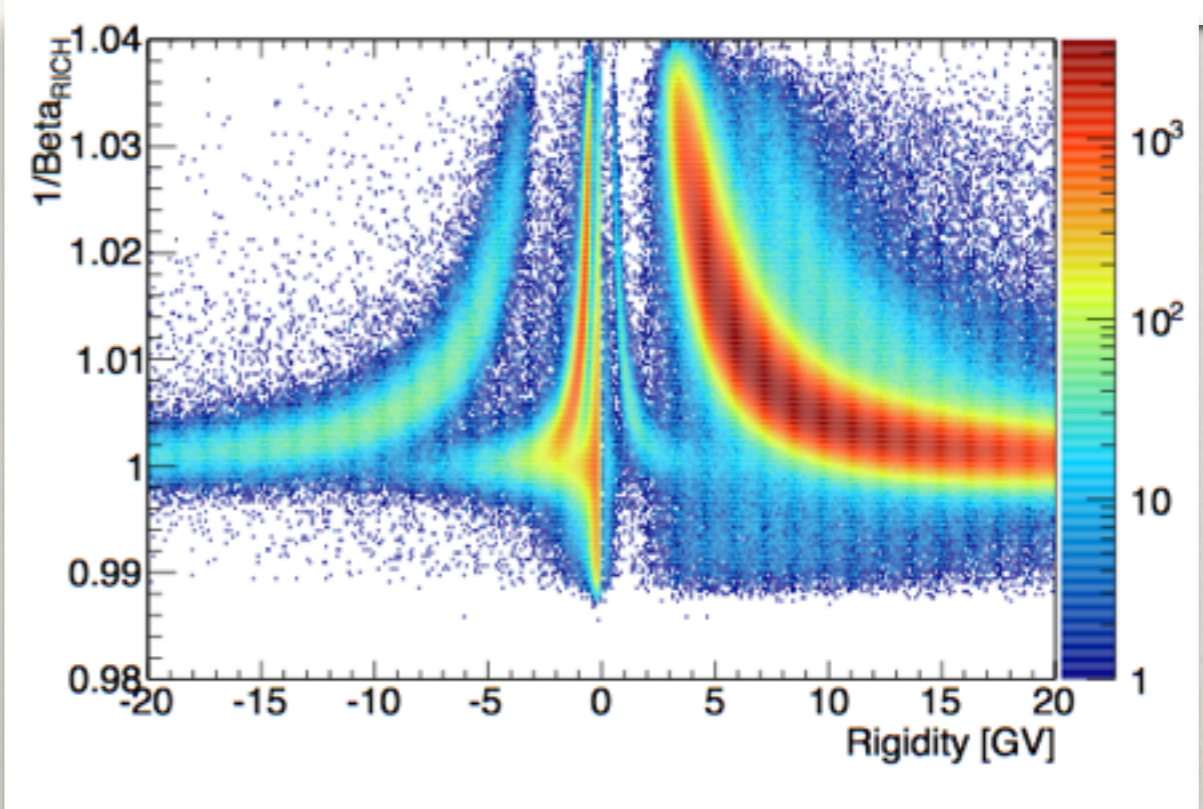
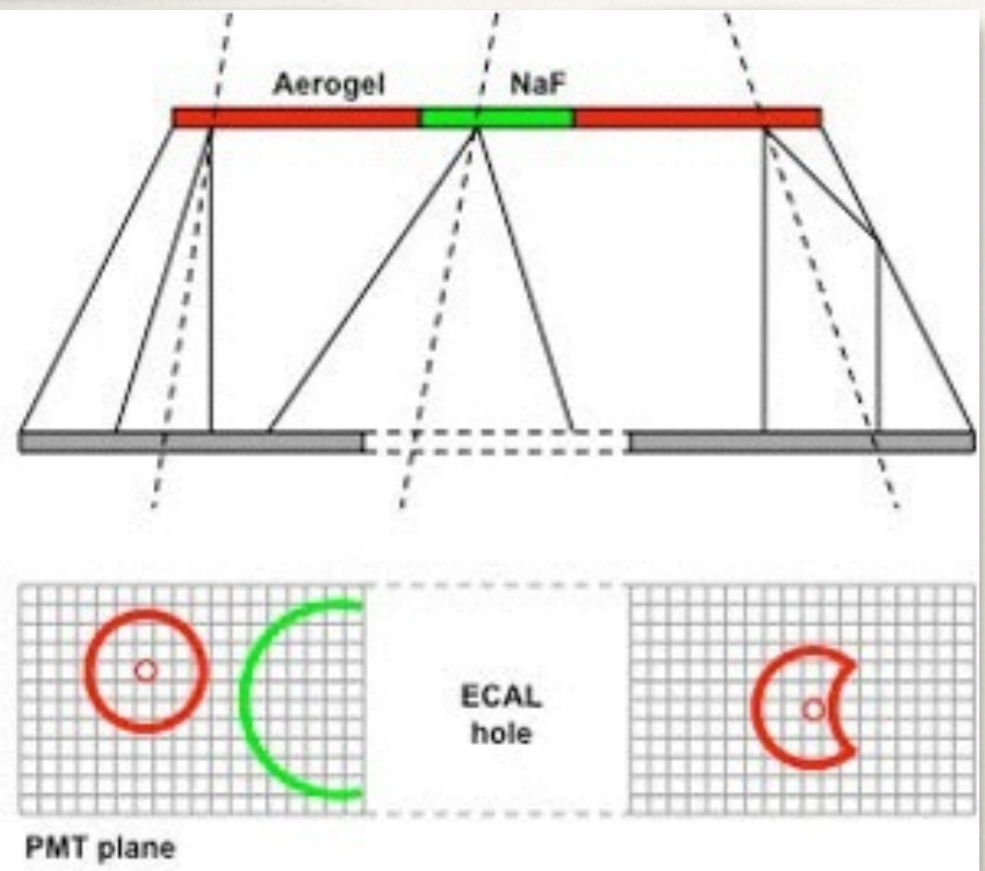
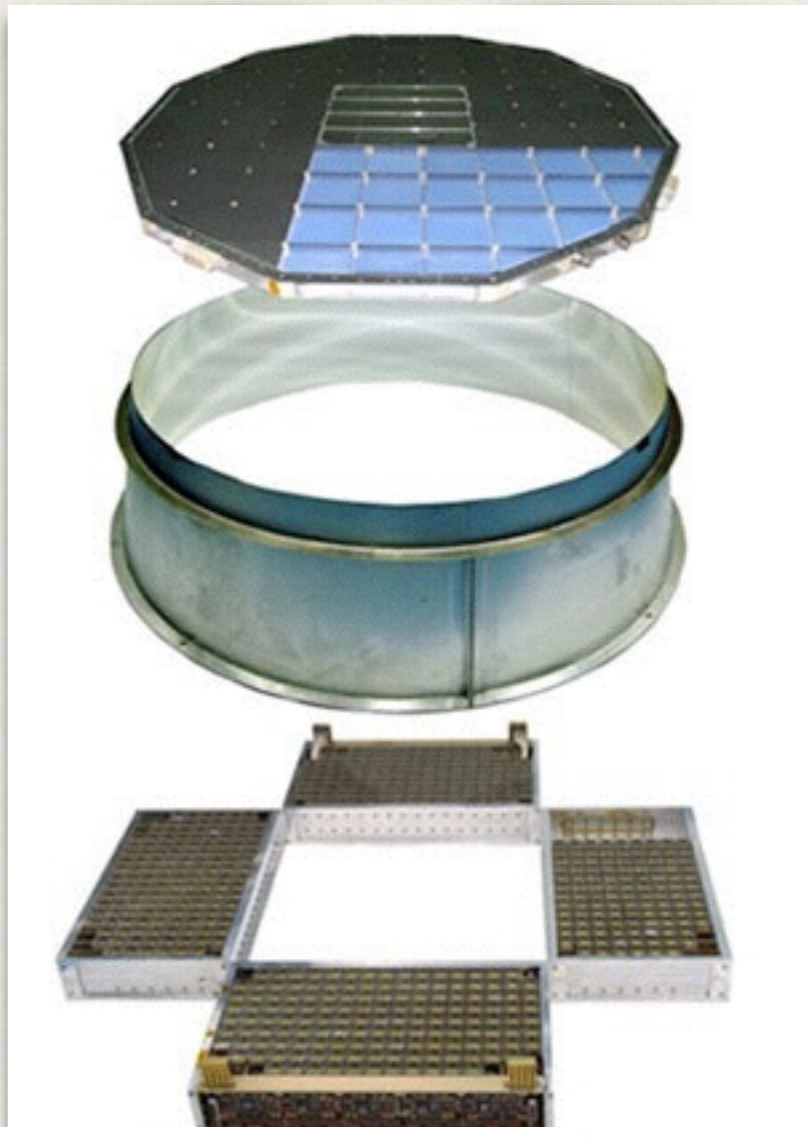


- ❖ Kiedy naładowana cząstka porusza się w ośrodku szybciej niż światło (w tym ośrodku), wytwarza “uderzeniową falę” światła w postaci stożka
- ❖ Kształt stożka zależy od prędkości cząstki



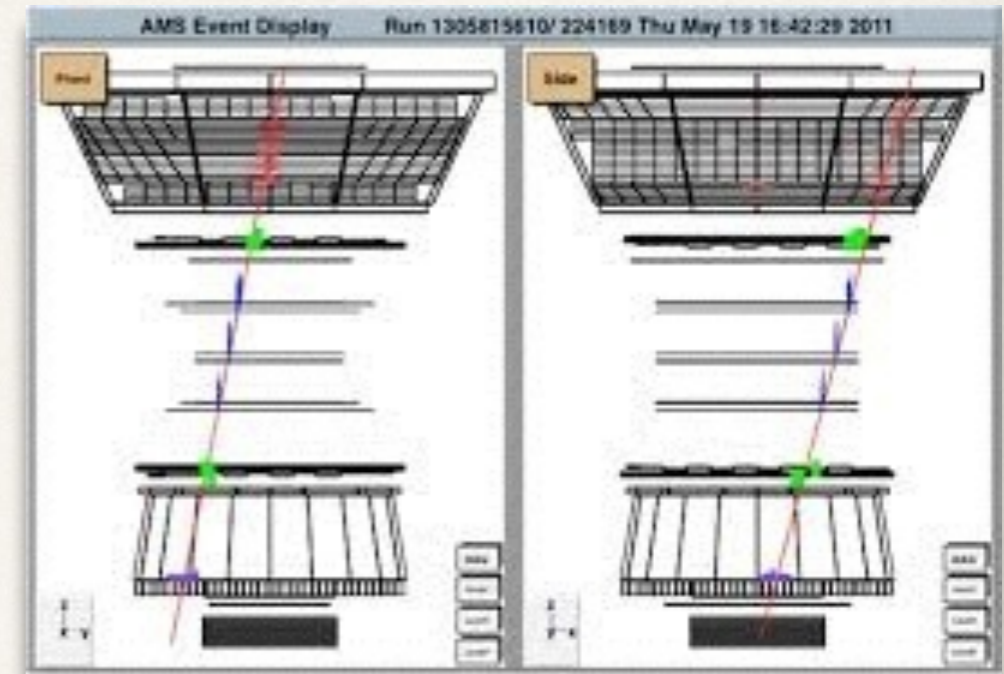


AMS

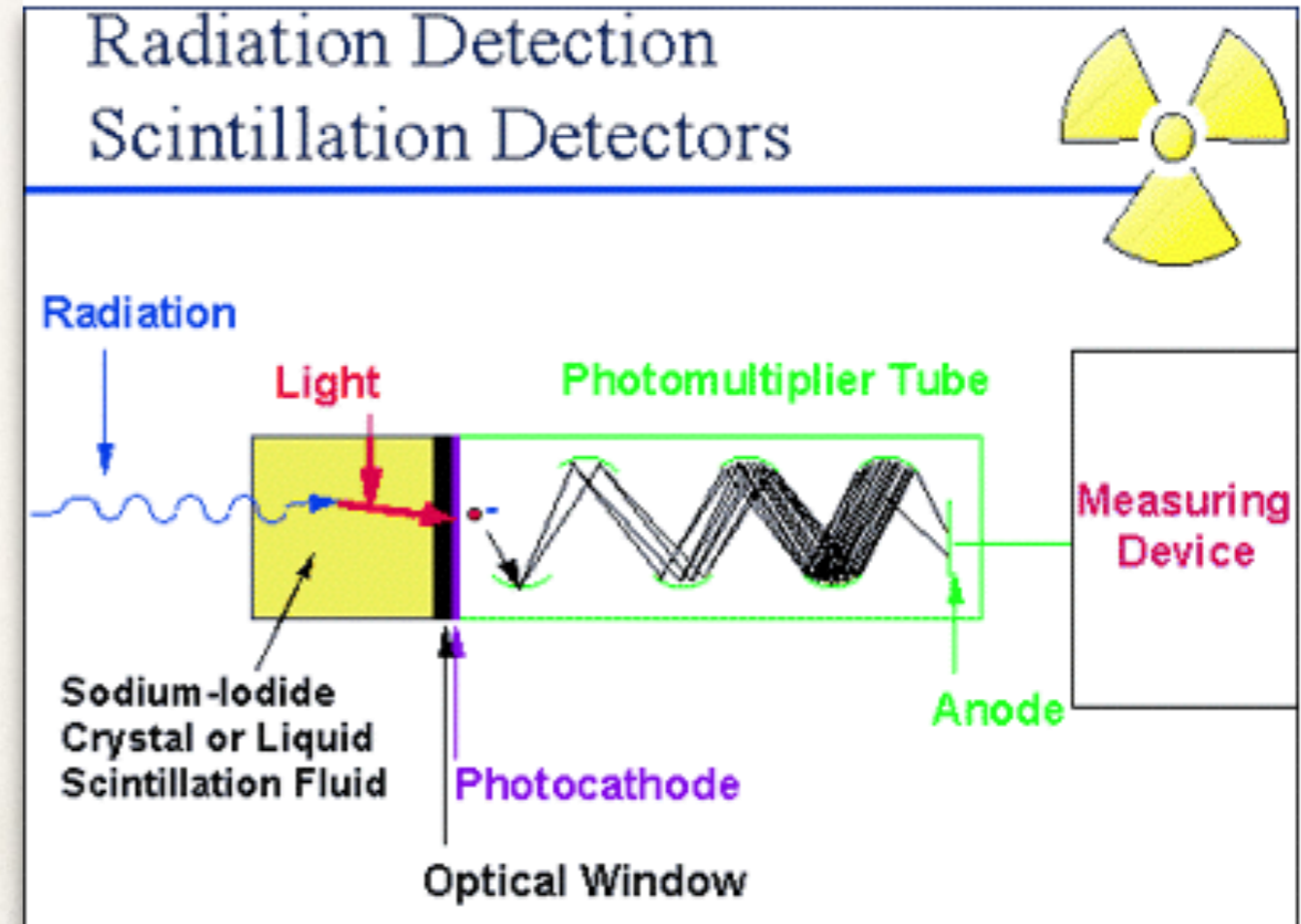


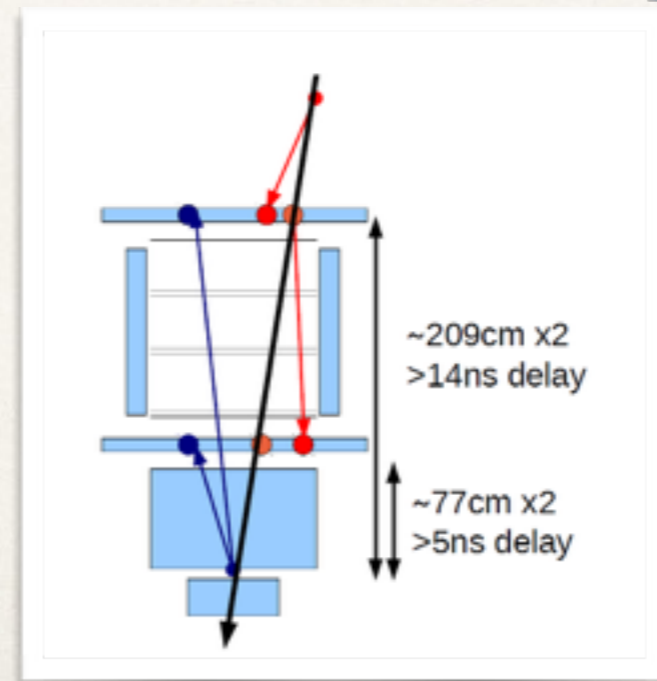
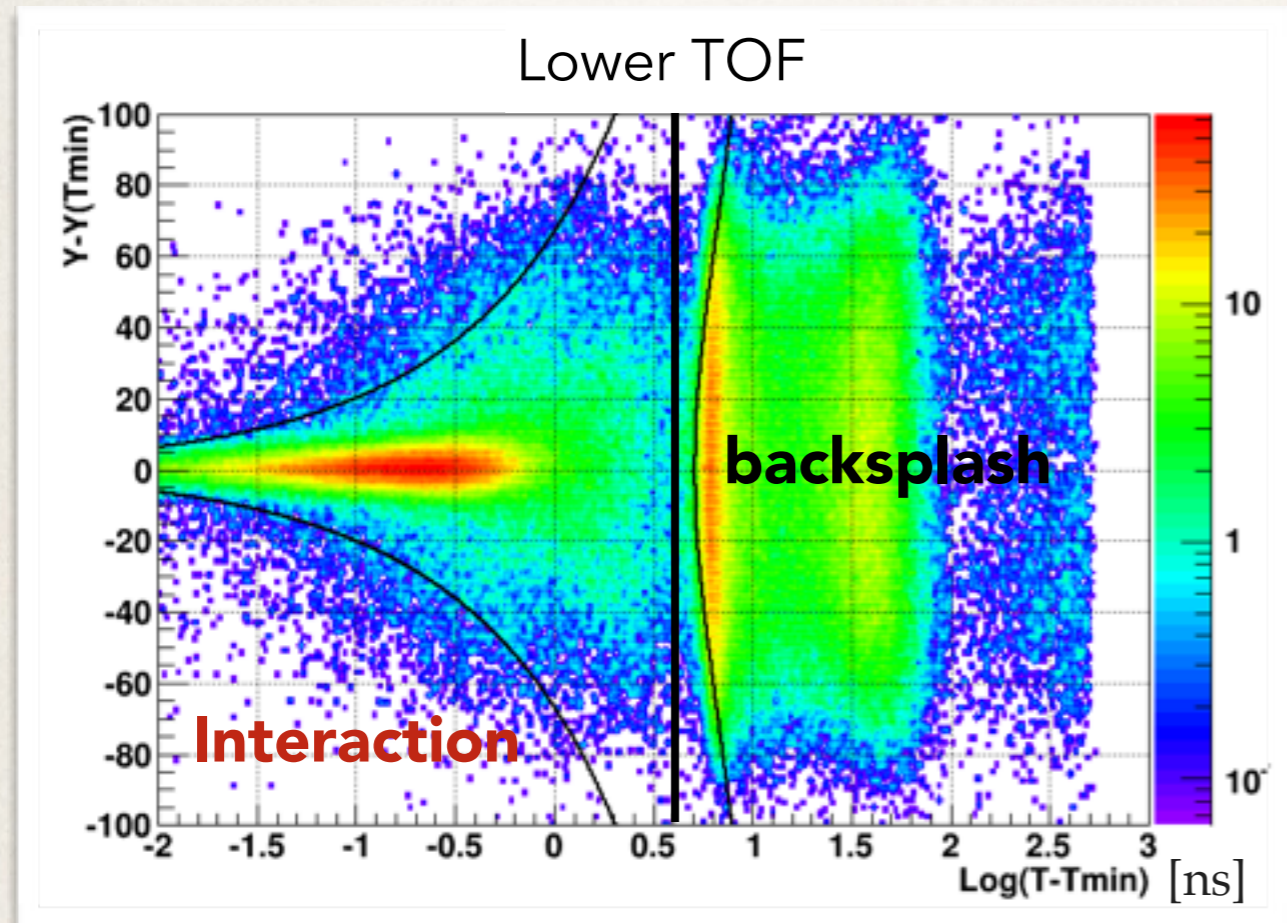
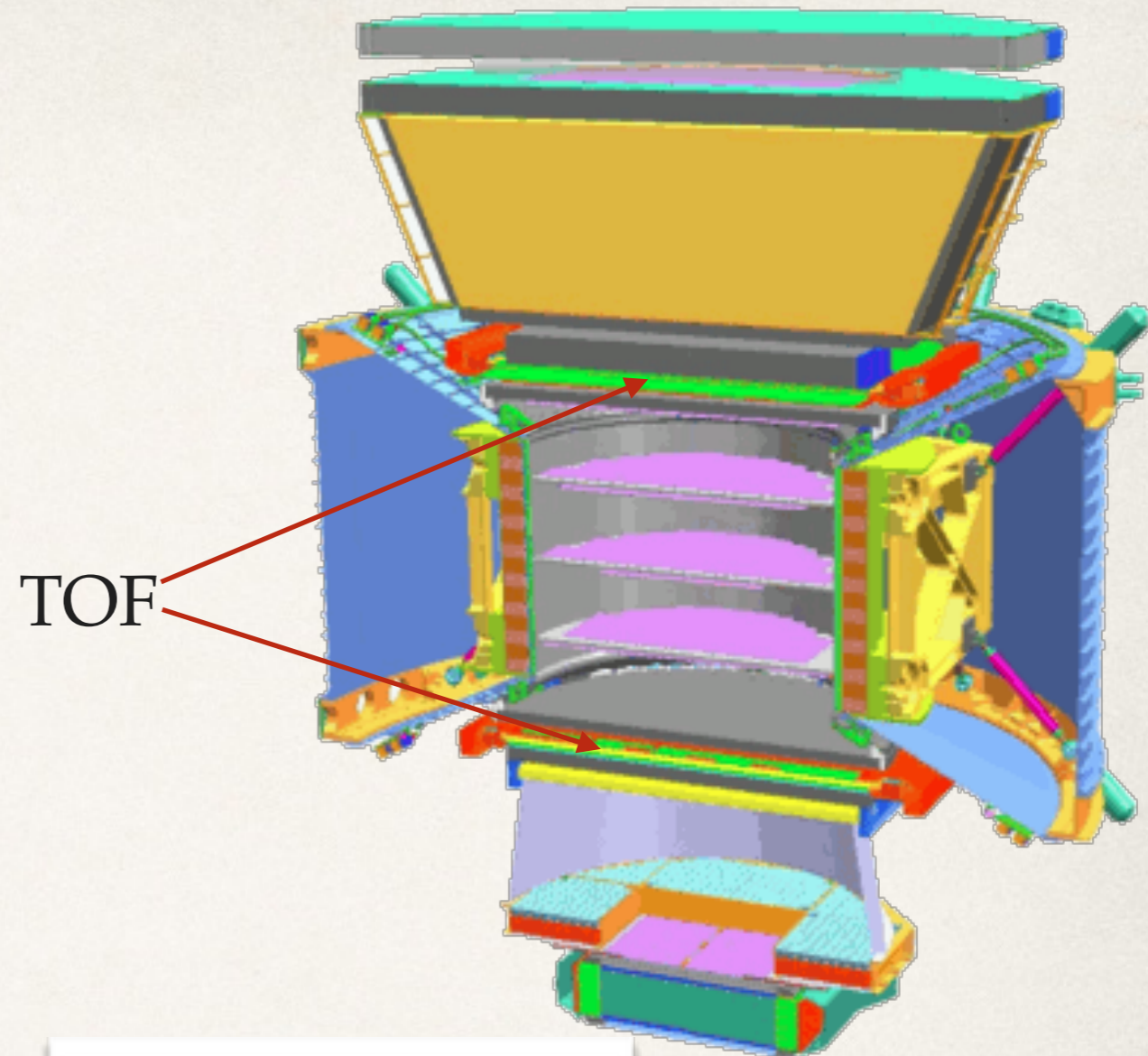
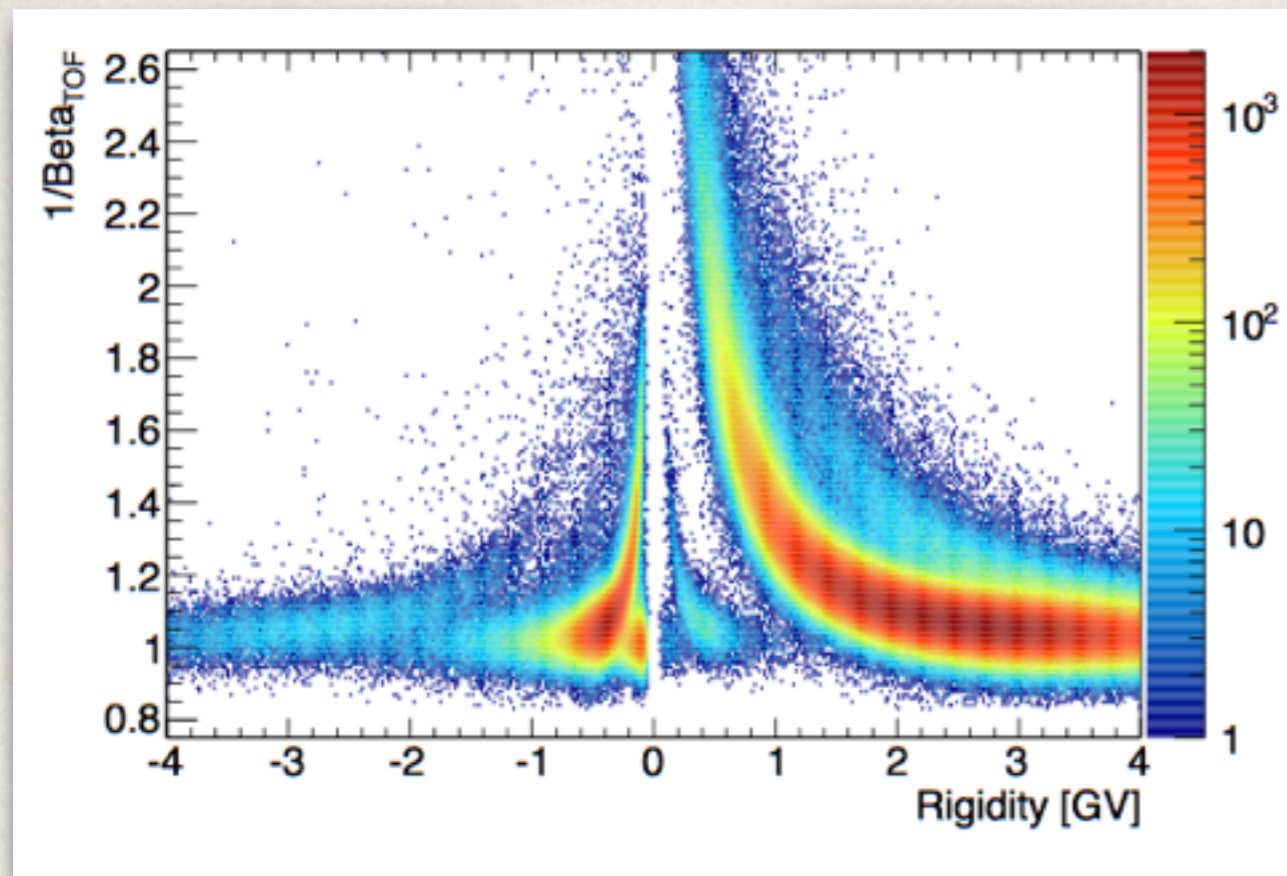
Detektor ToF (Time-of-Flight)-AMS

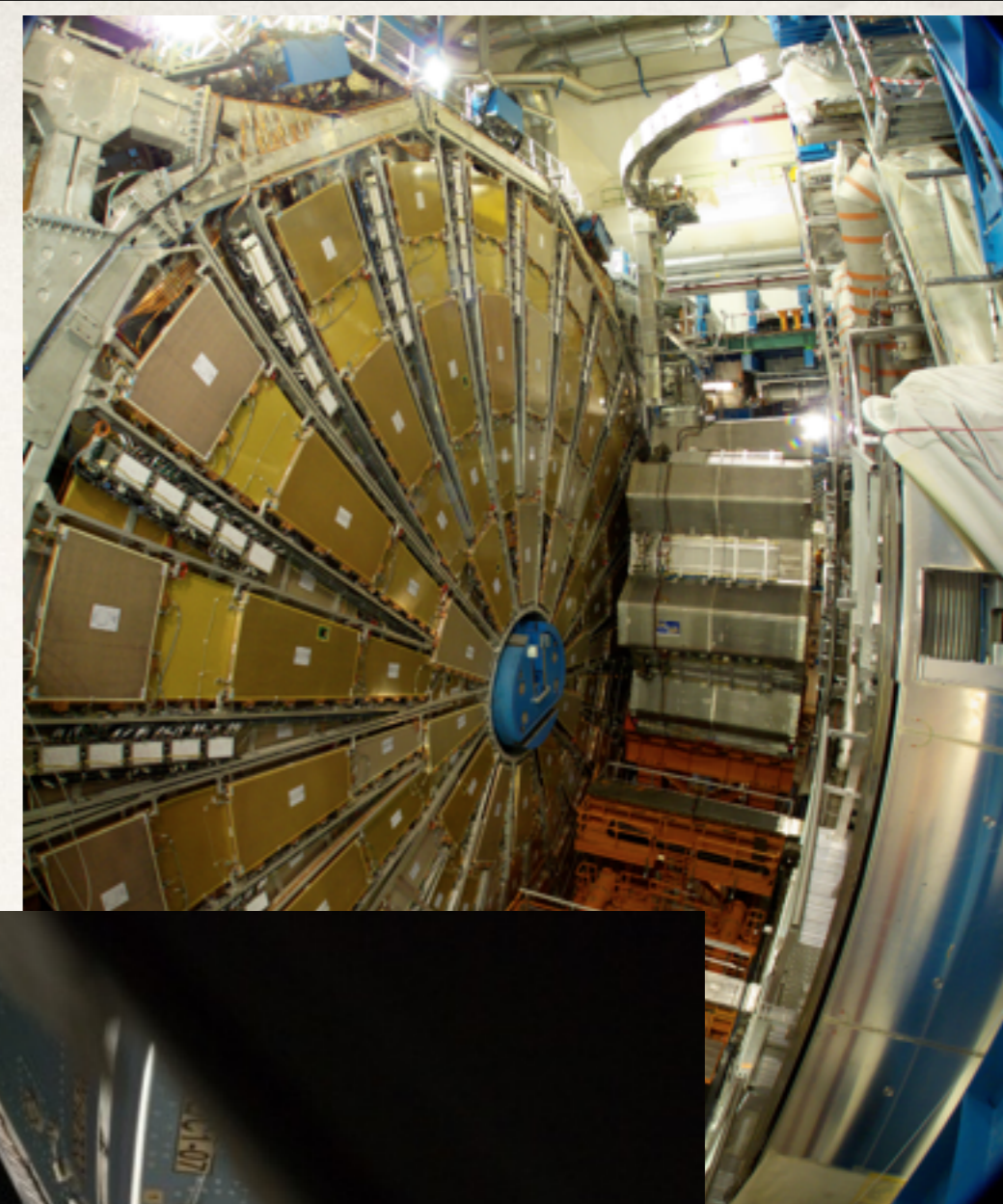
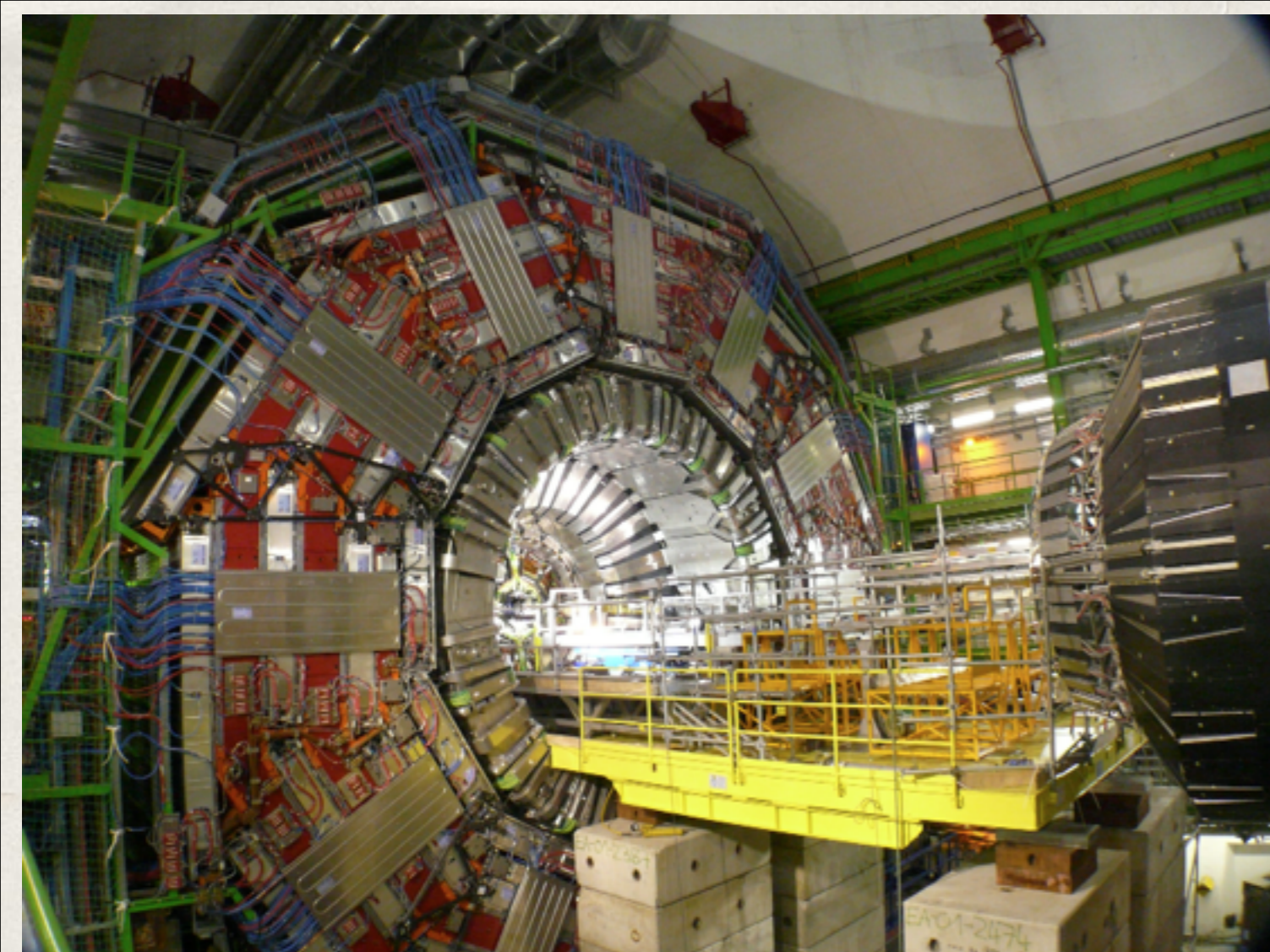
- ❖ Detektor TOF jest “stoperem”
- ❖ Bardzo szybki detektor
- ❖ 2 warstwy: górna i dolna
- ❖ Ważny detektor przy szukaniu antymaterii
- ❖ Działa na zasadzie scyntylacji



- ❖ Cząstka, przechodząc przez materiał scyntylacyjny powoduje wzbudzenia (ekscytacje) materiału.
- ❖ Proces deekscytacji to bardzo szybka (~ 10 ns) emisja światła.
- ❖ Światło jest zbierane przez światłowody i dostarczane do fotopowielaczy
- ❖ Fotopowielacze przetwarzają światło w elektrony dzięki efektowi fotoelektrycznemu elektrody powielają sygnał







Koniec 😊

