

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

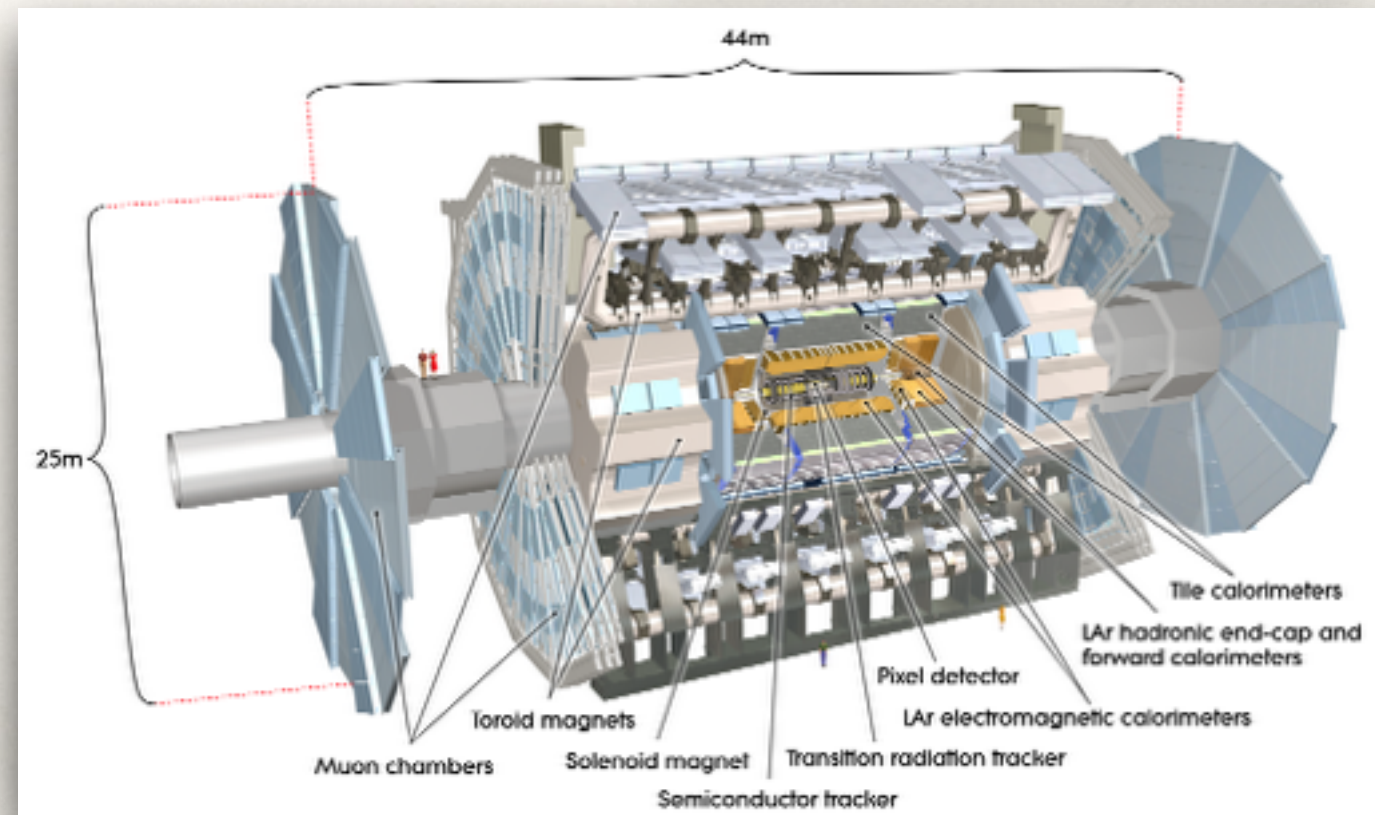
ATLAS

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

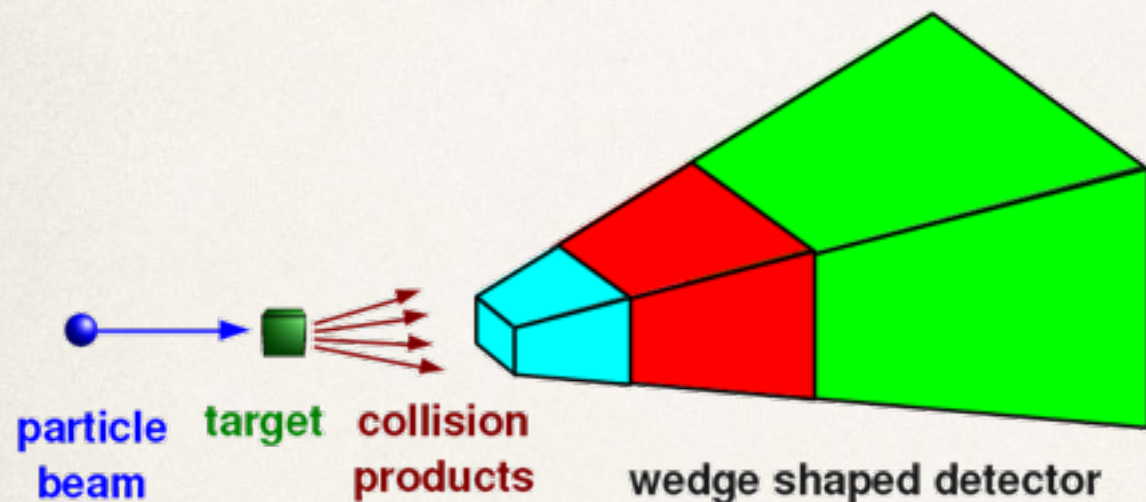
Detektory

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



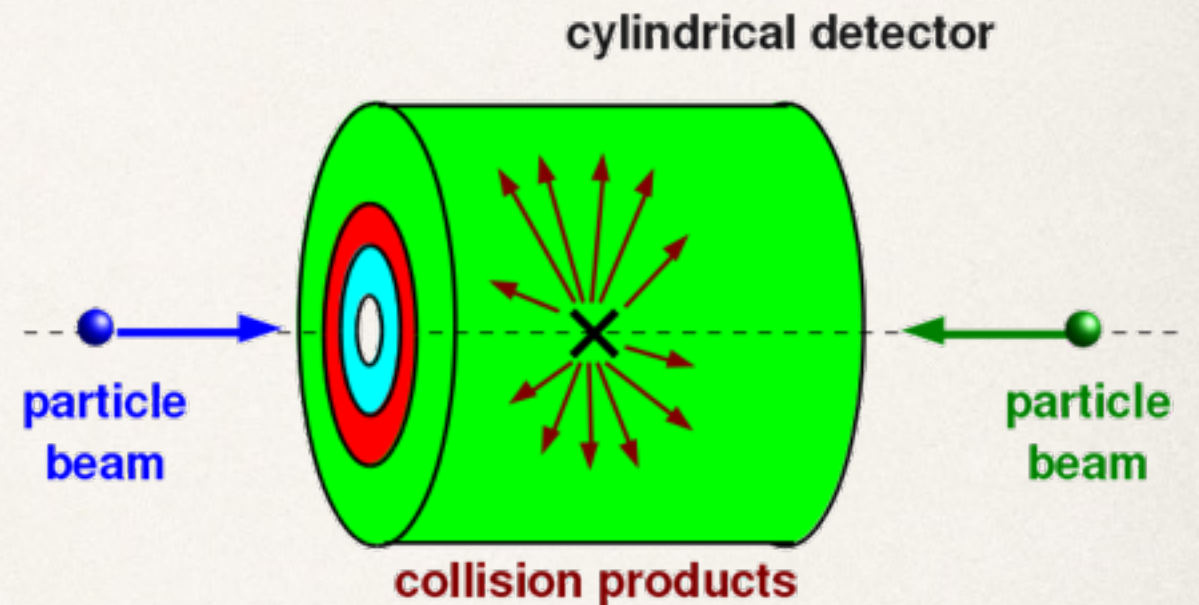
Rodzaje detektorów

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



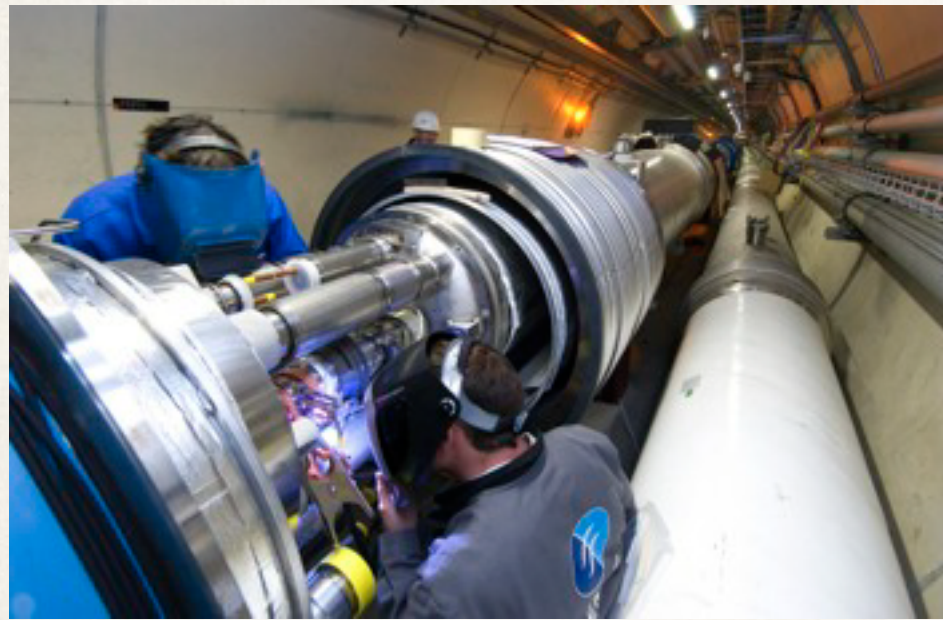
- ❖ Detektor "widzi" ograniczony obszar kątowy
- ❖ ale... łatwy dostęp do detektora (naprawy, kable, etc)

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

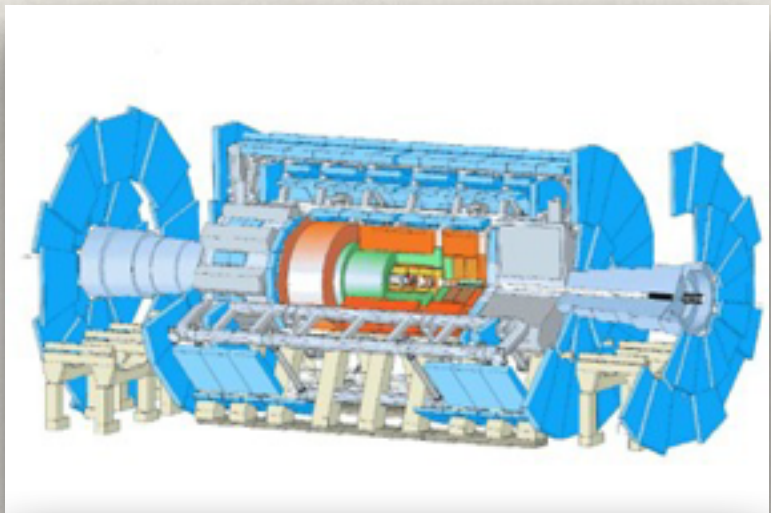


- ❖ Pełny zasięg kątowy obserwowanych przypadków
- ❖ ale... trudny dostęp do wnętrza detektora

Detektory LHC i nie tylko...



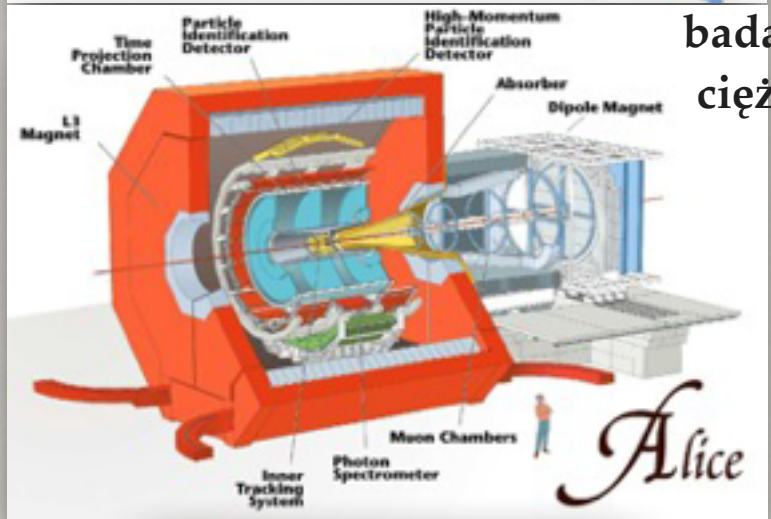
ogólnego
zastosowania



ATLAS
ATLAS

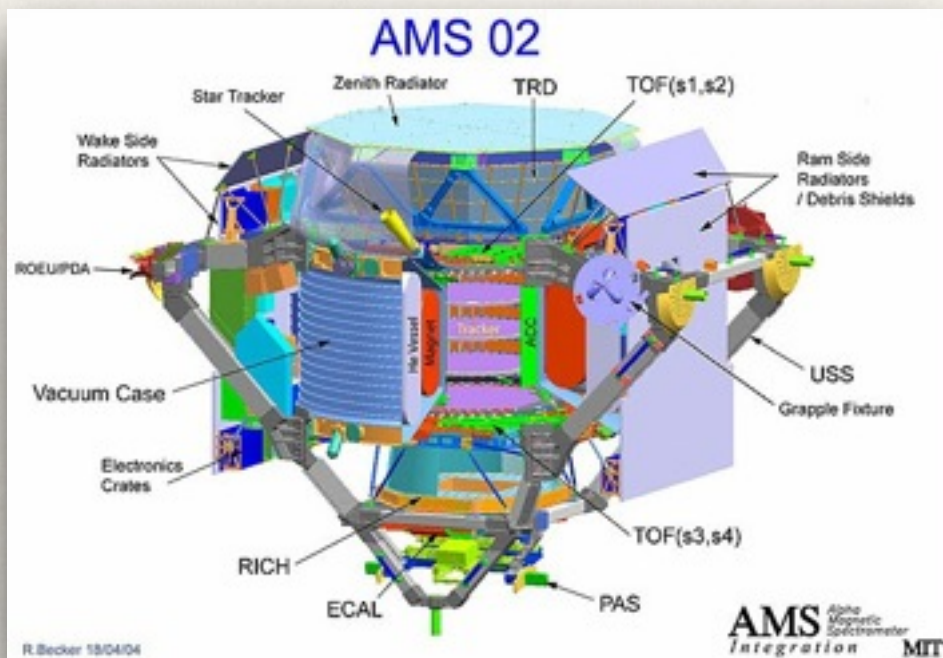


CMS

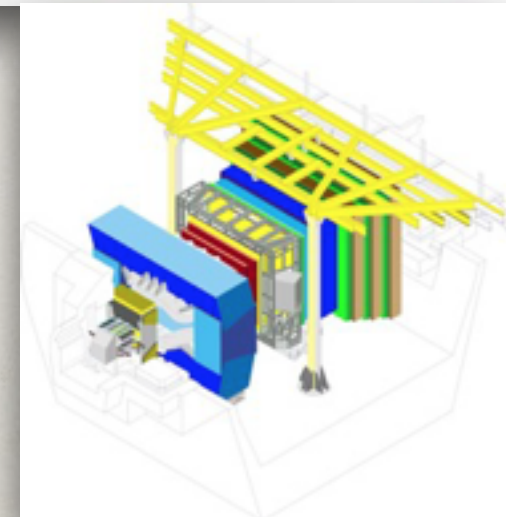


badania zderzeń
ciężkich jonów

ALICE



astrofizyka
cząstek

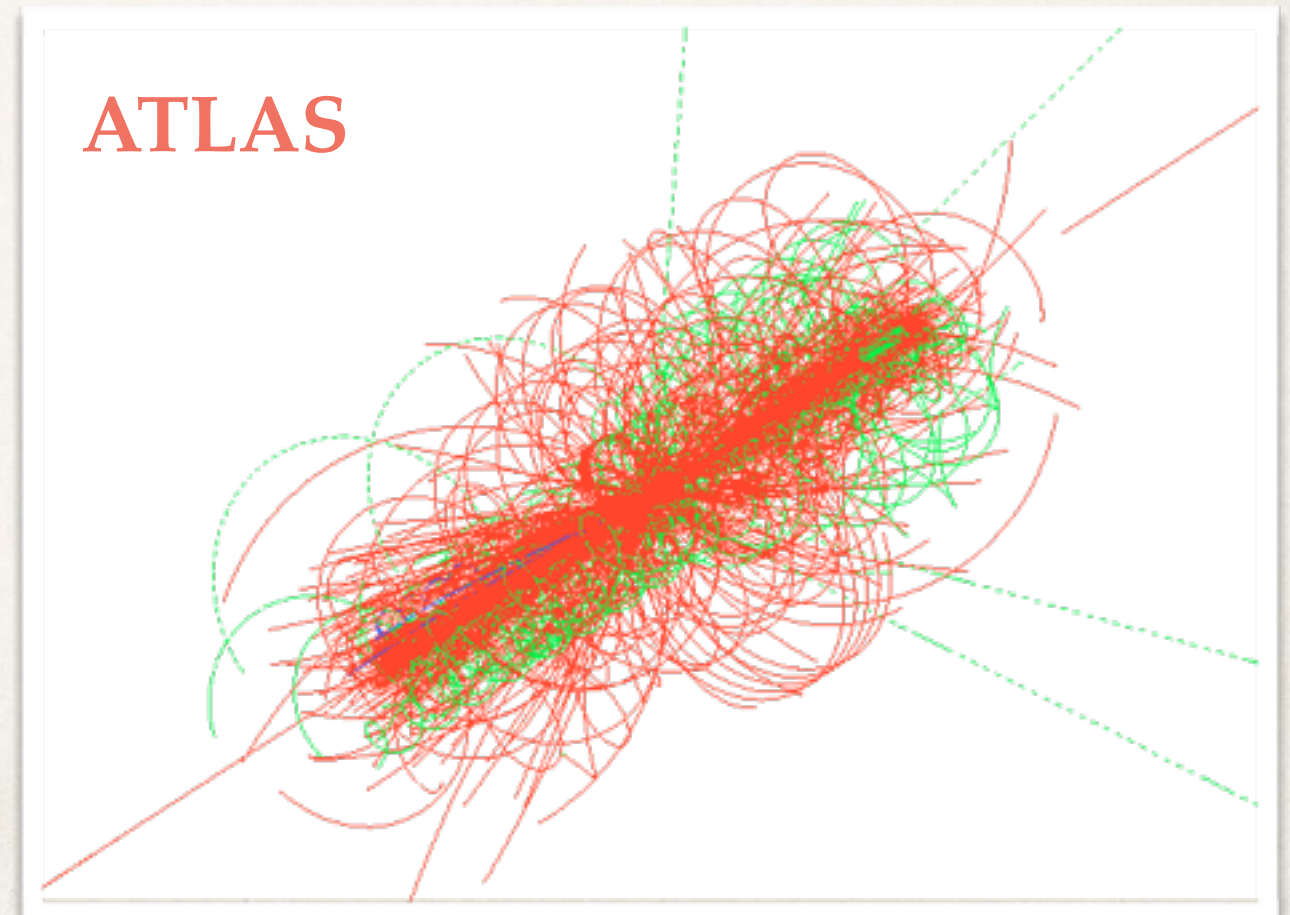
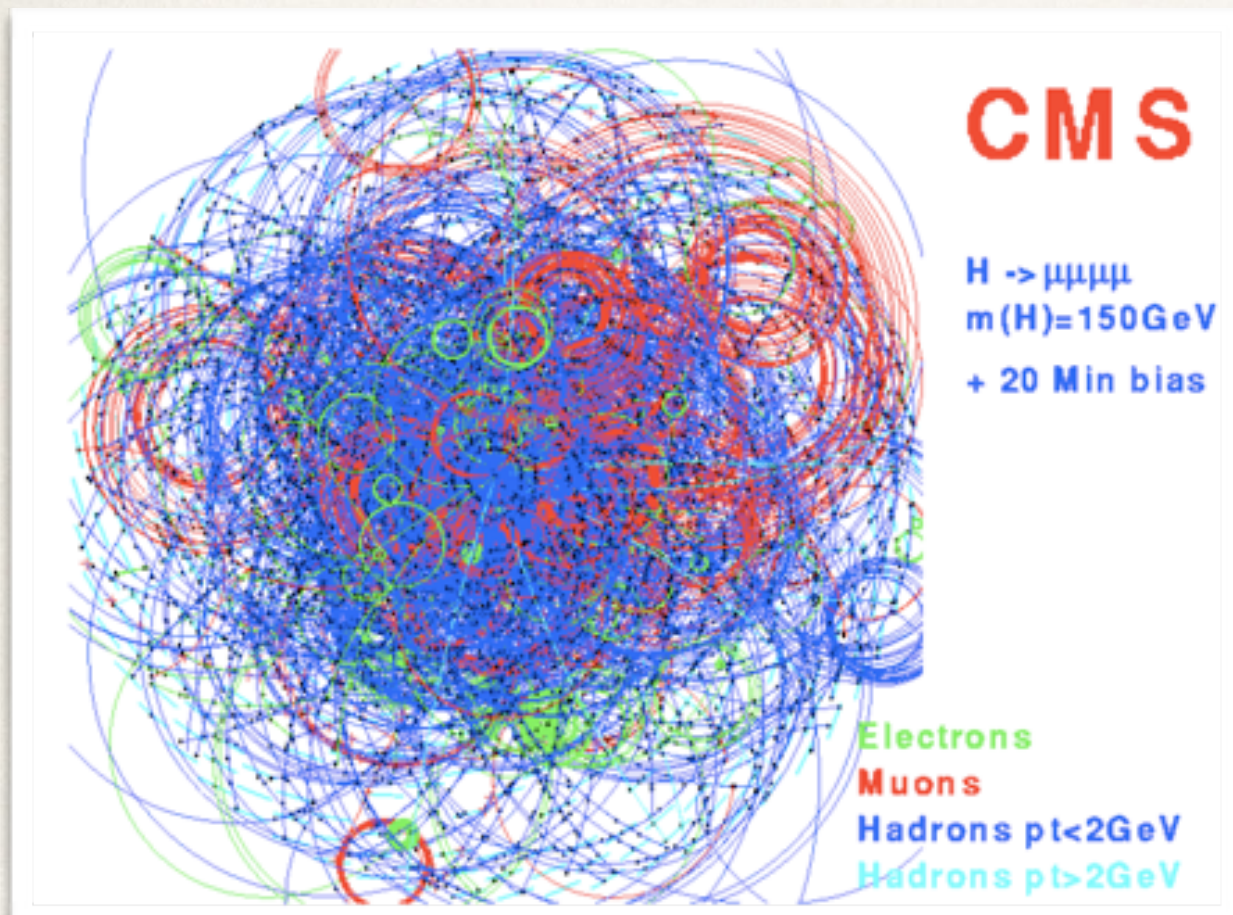


fizyka kwarków
pięknych (b)

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...



Miliony przypadków na sekundę....

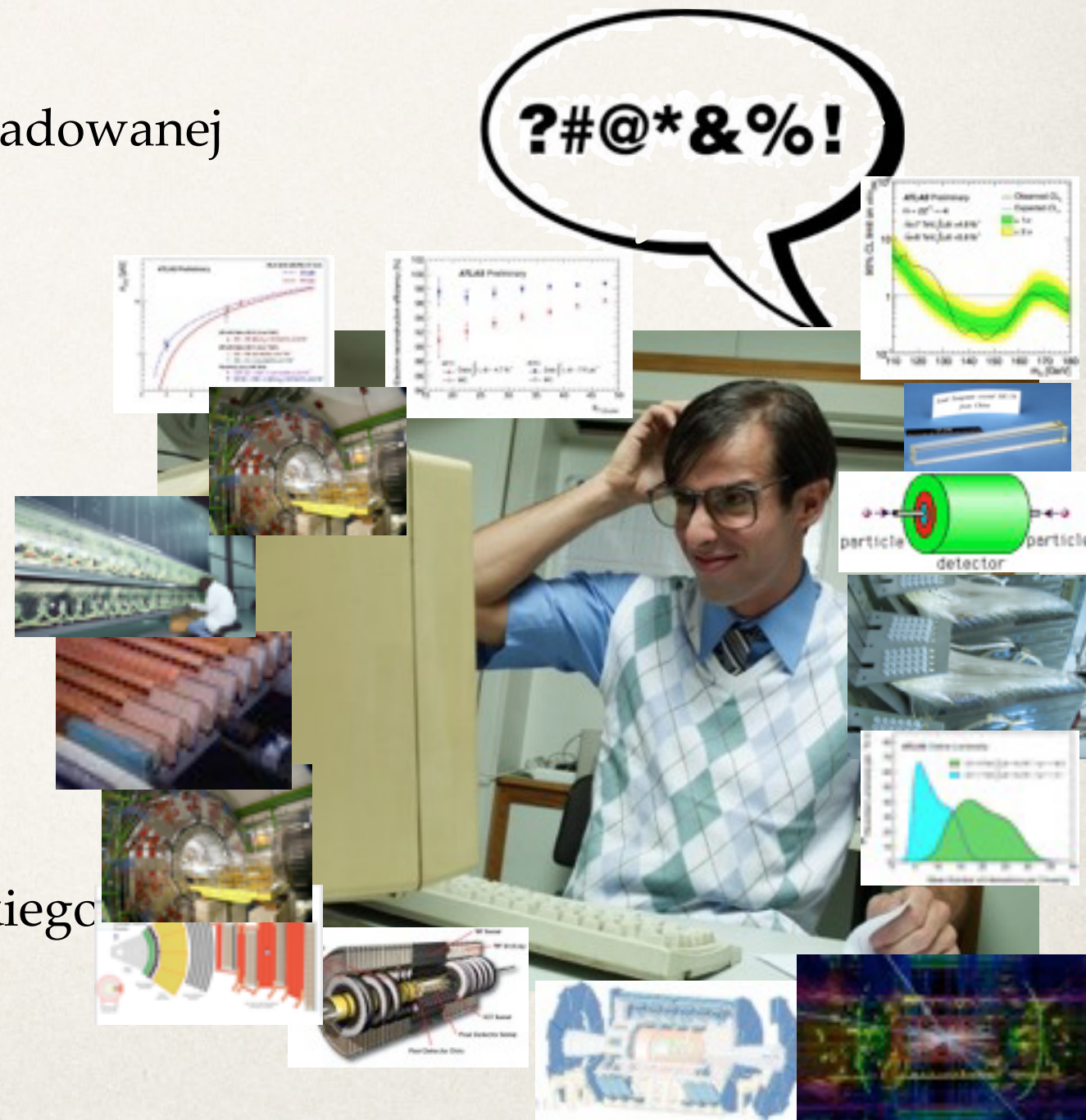
- ❖ Zadanie każdego detektora:
 - ❖ Dostarczyć informację na temat każdego (?) zderzenia p-p (~1 bilion zderzeń / s)
 - ❖ Możemy zapisać tylko 100-200 przypadków / s (tryger):
 - ❖ poziom 1: 75000 przypadków / s
 - ❖ poziom 2: 2000 przypadków / s
 - ❖ poziom 3: 200 przypadków / s (redukcja 200000 razy)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

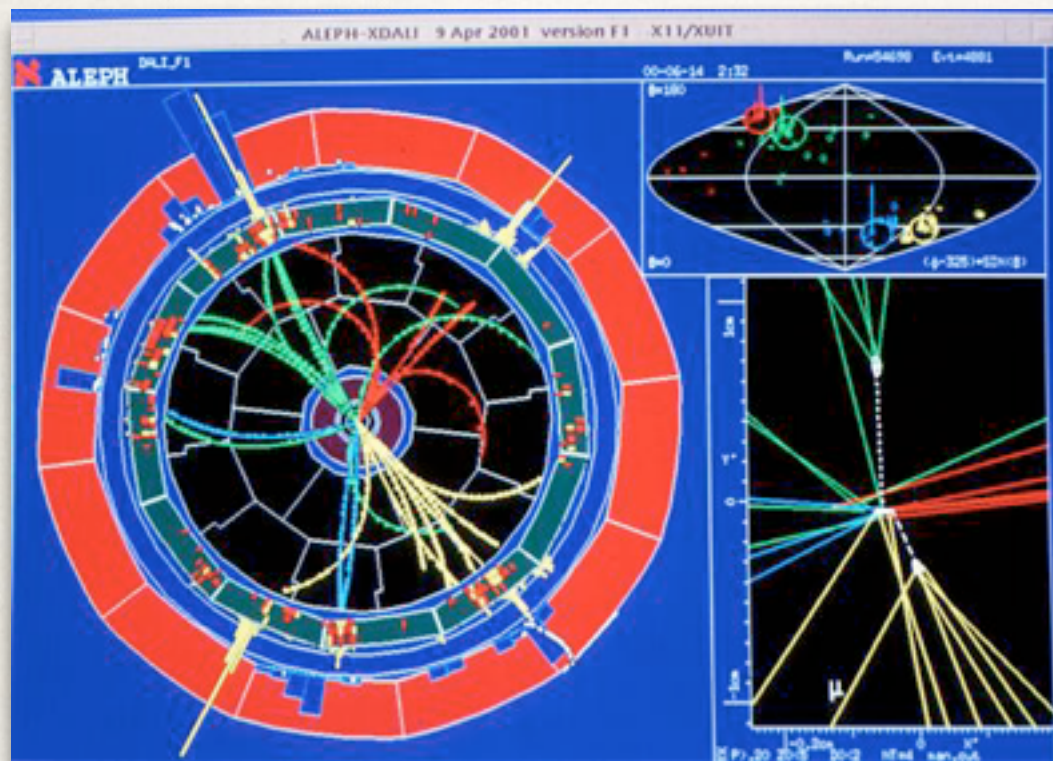


Łapać
(kalorymetry)

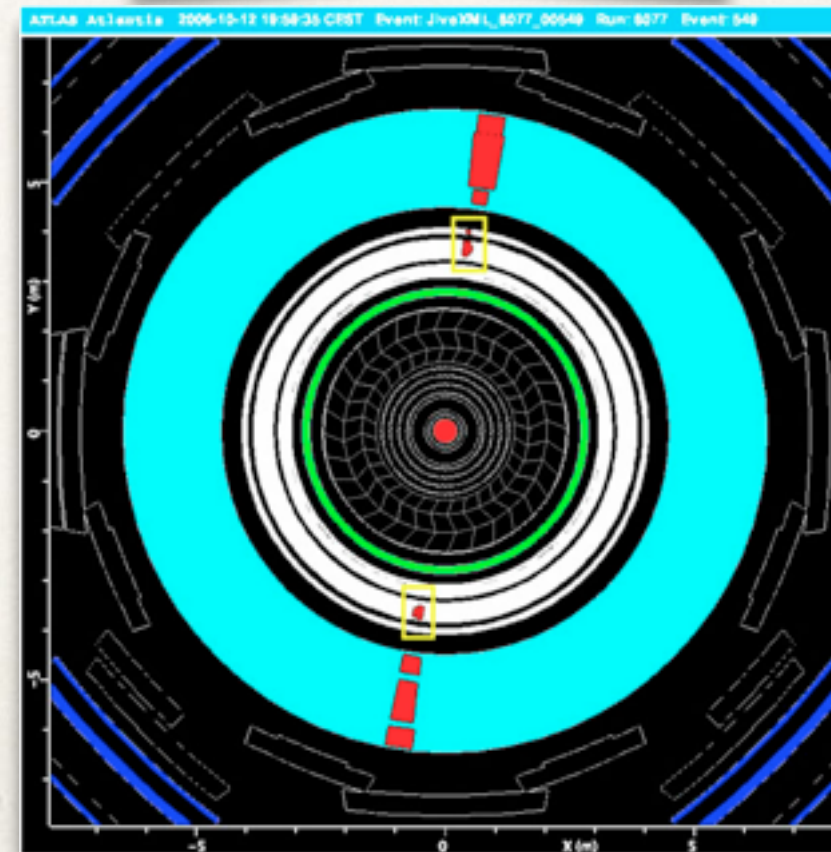
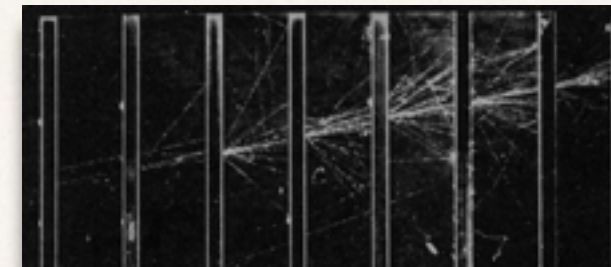


Jak zobaczyć cząstkę?

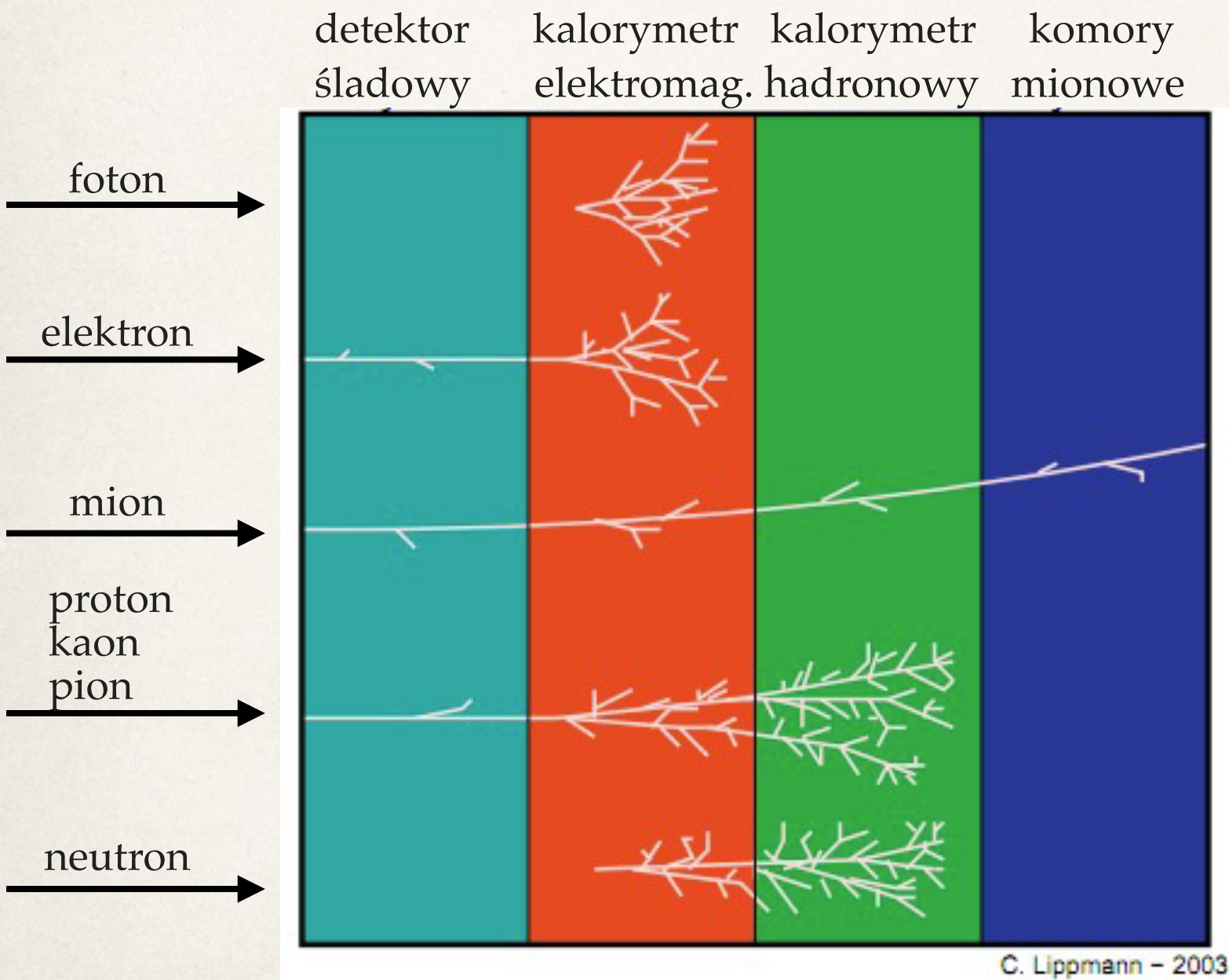
Śledzić
(trakery)



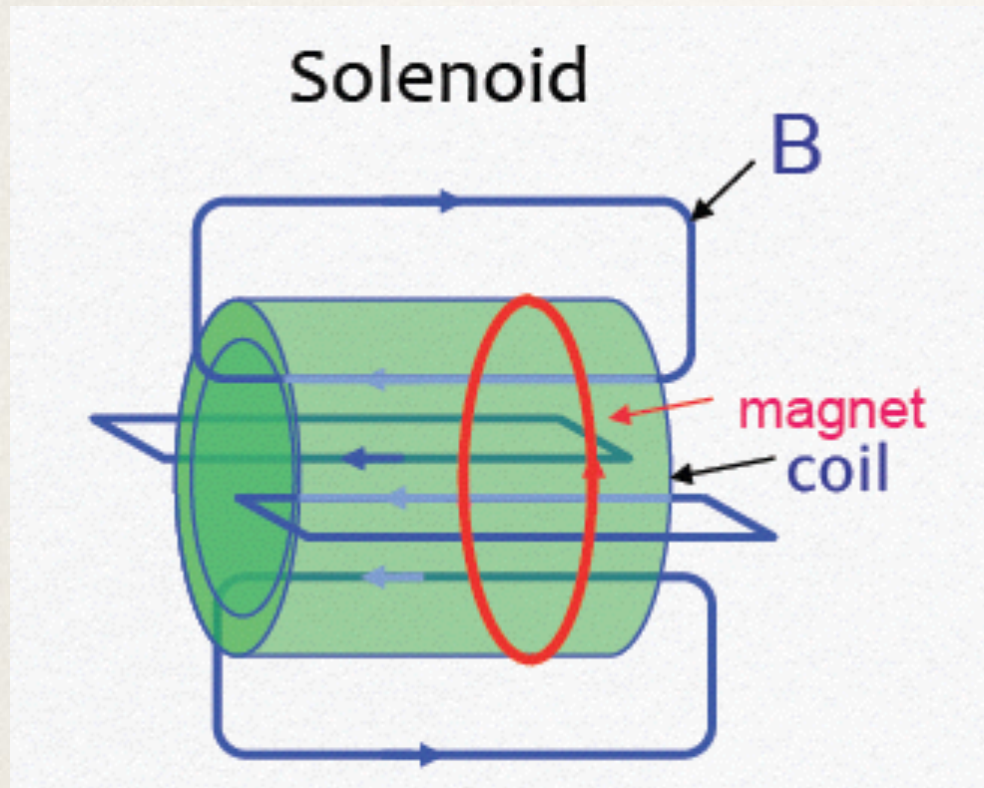
Łapać
(kalorymetry)



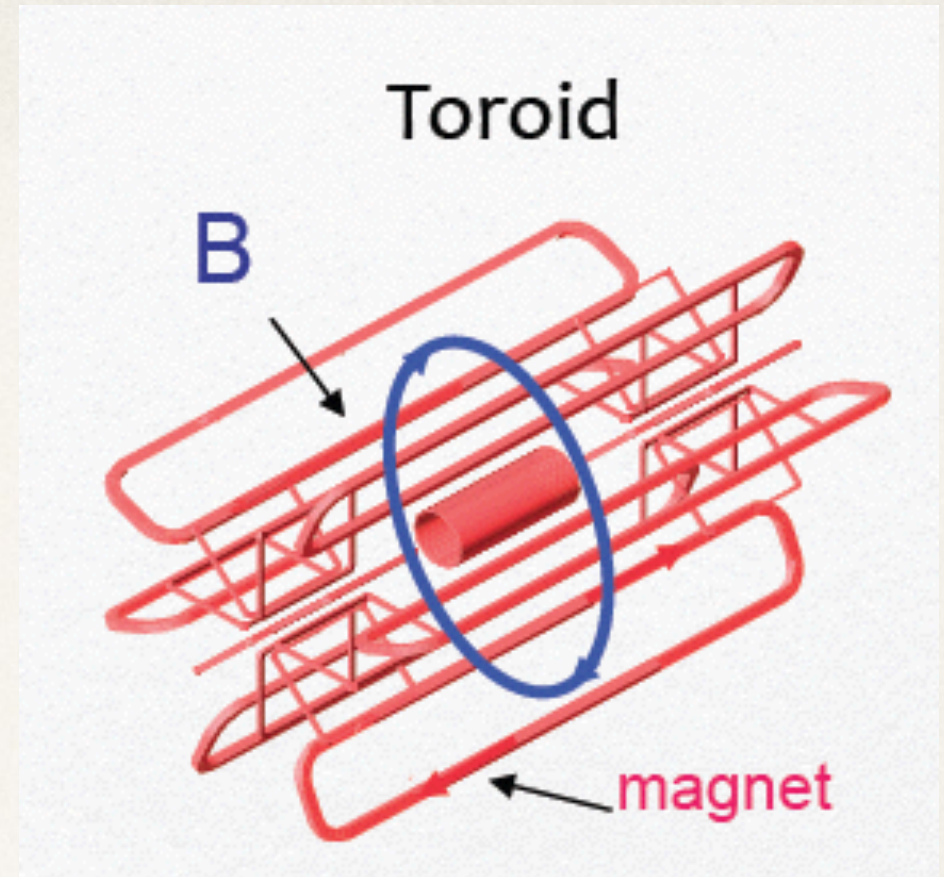
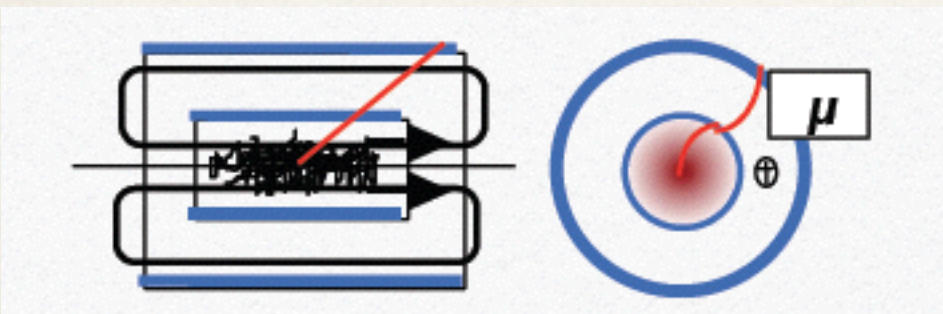
Detektory są jak cebule... mają warstwy



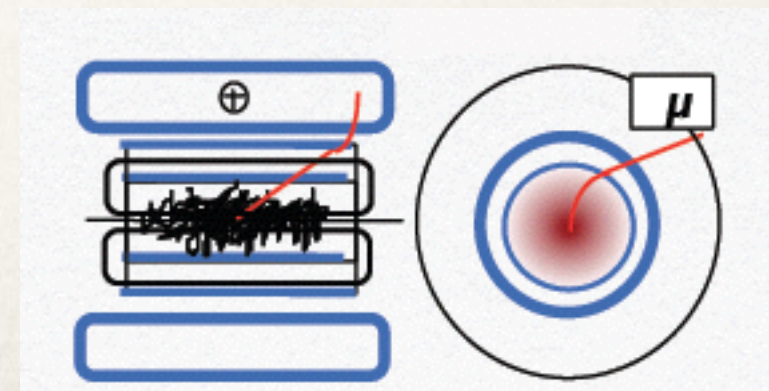
Magnesy



- + 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

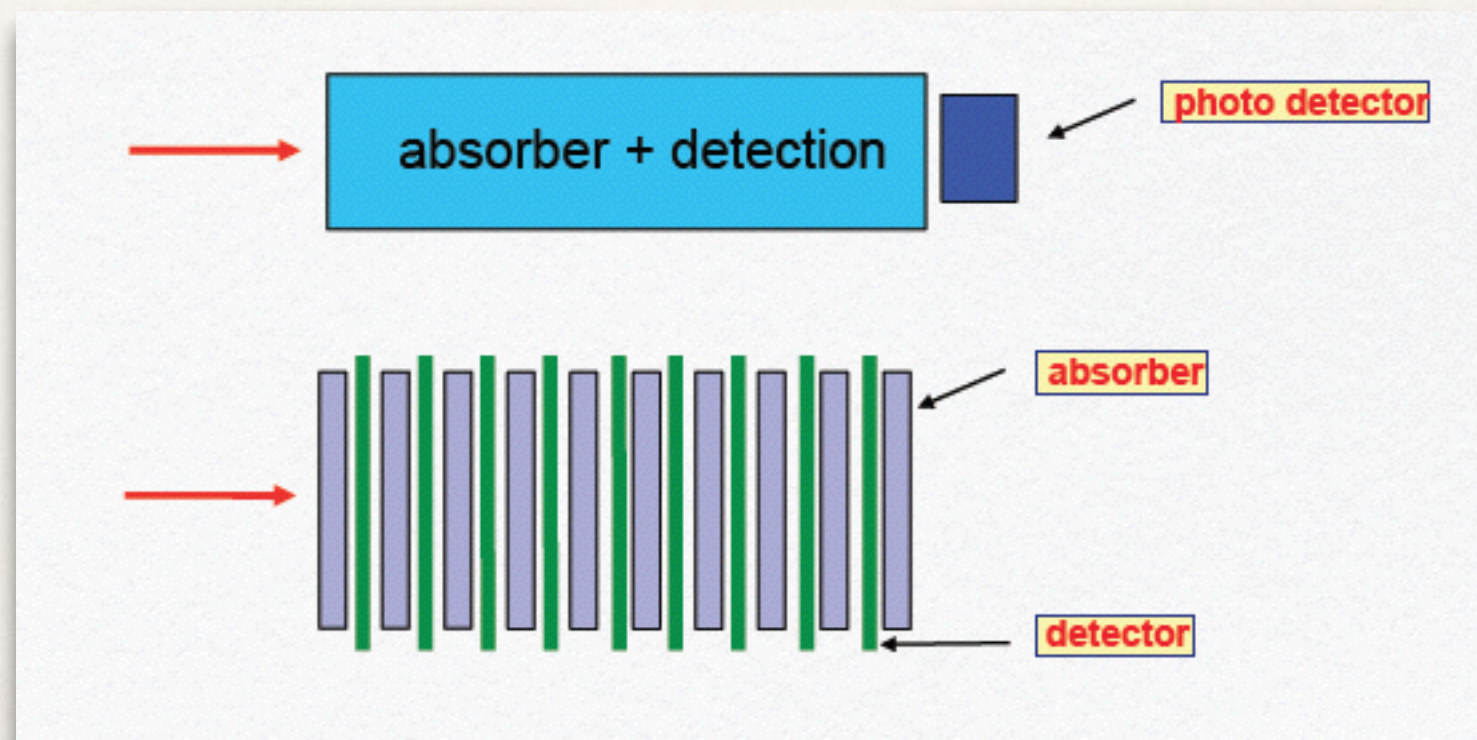


Kalorymetry

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

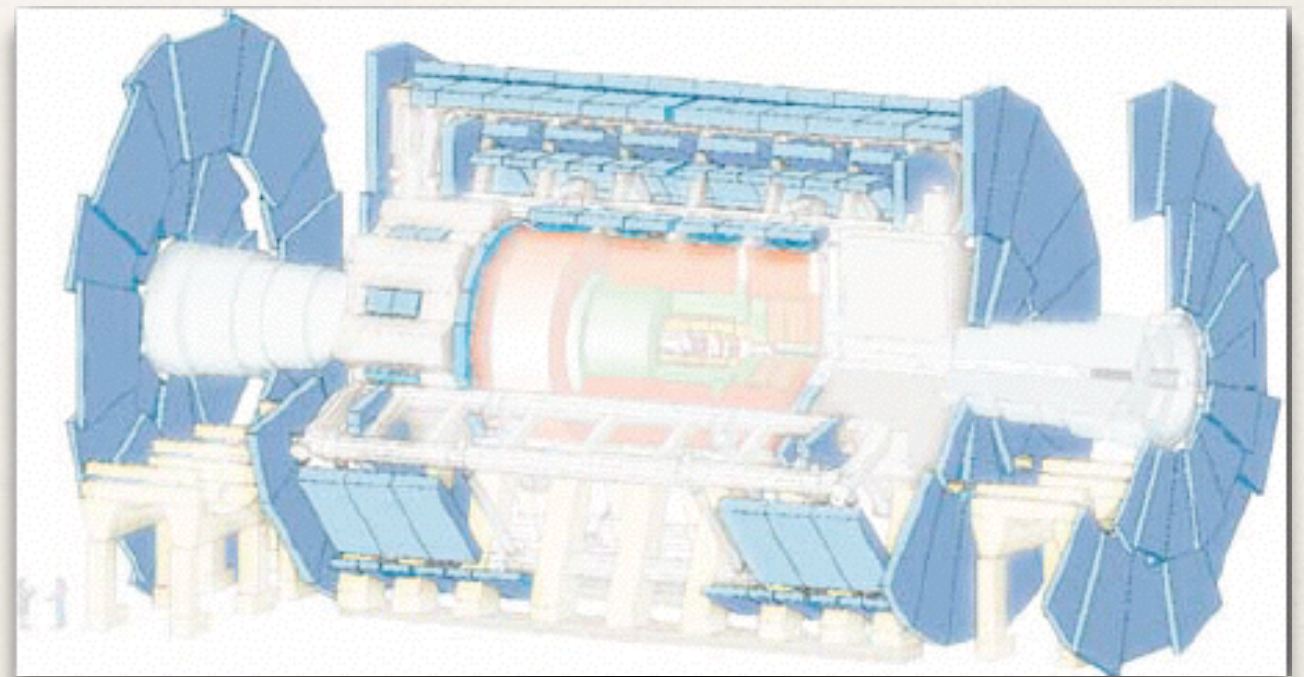
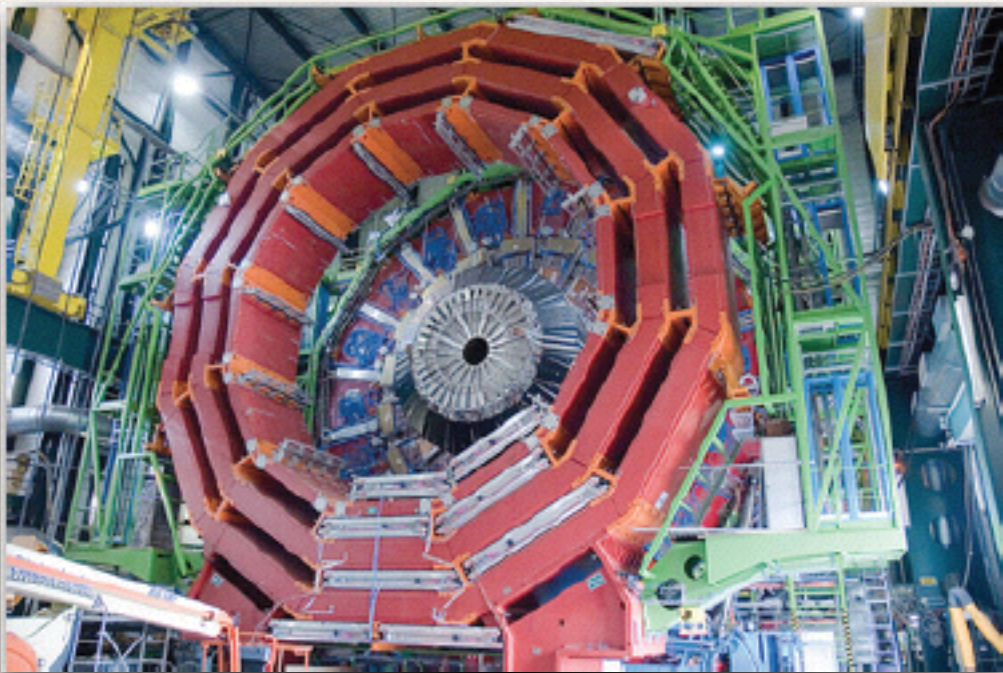
Kalorymetry:

- ❖ Jednородne, próbkujące
- ❖ Elektromagnetyczne, hadronowe



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 kaskady

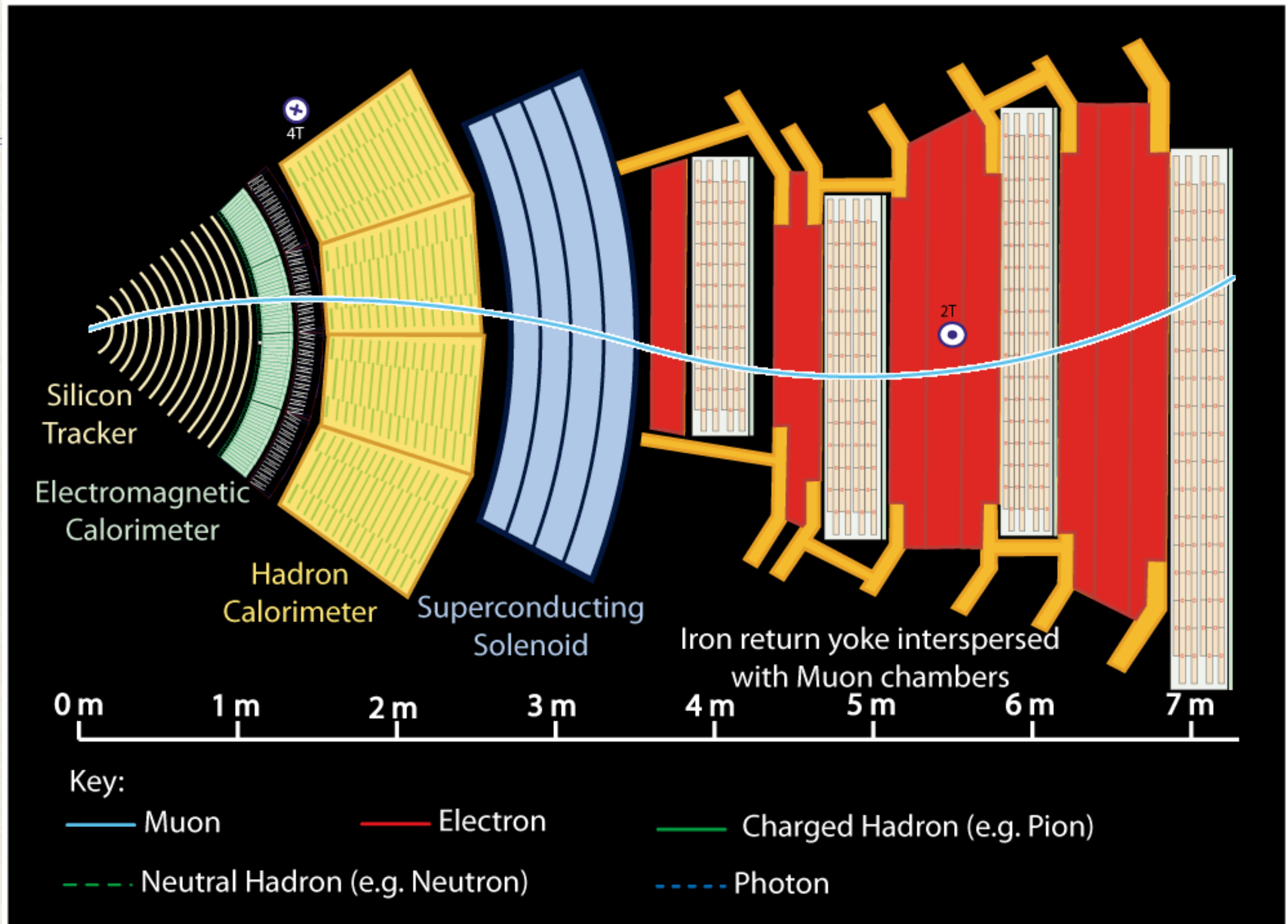


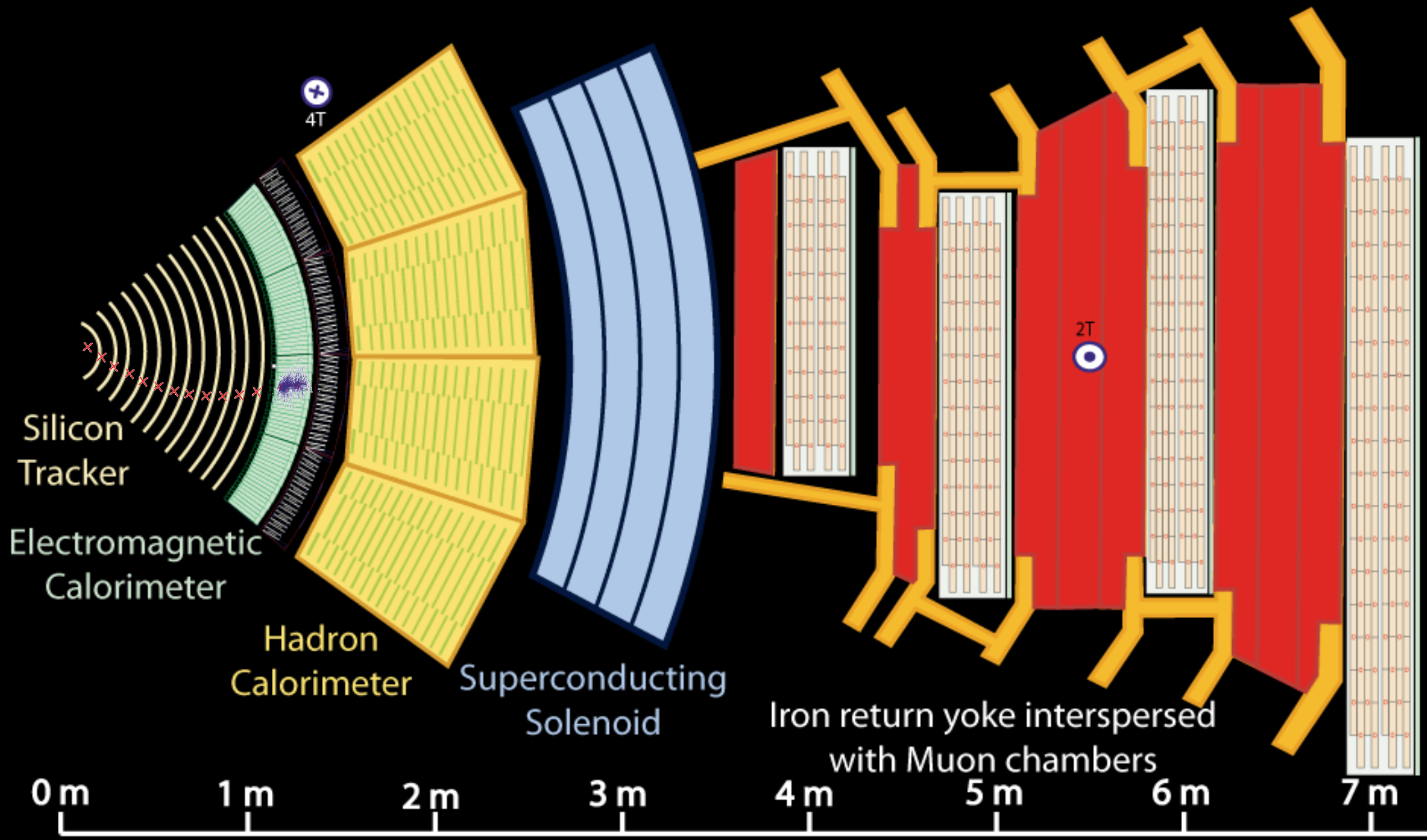
- ❖ Mion o energii 5GeV przeniknie 5m stali, podczas, gdy na zatrzymanie hadronu o niemal dowolnej energii wystarczy zaledwie 1.5m stali
- ❖ Dlatego wiemy, że cząstki zarejestrowane poza kalorymetrem hadronowym to na pewno miony

Jak identyfikować przypadki (CMS)

- ❖ Wiele interesujących nas cząstek żyje bardzo krótko
- ❖ Nie widzimy ich w detektorze, bo rozpadają się “natychmiast”
- ❖ W detektorze widać cząstki stabilne, które są produktami rozpadu cząstek poszukiwanych:
 - ❖ $W^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$, $W^+ \rightarrow e^+ + \nu$, $Z^0 \rightarrow e^+ + e^-$, $Z^0 \rightarrow \mu^+ + \mu^-$ (to nie są jedyne rozpady!)
 - ❖ $H \rightarrow Z^0 + Z^0$, $H \rightarrow \gamma + \gamma$
- ❖ Takimi cząstkami stabilnymi są:
 - ❖ e^+ , e^- , μ^+ , μ^- , γ , niektóre hadrony (proton), neutrina

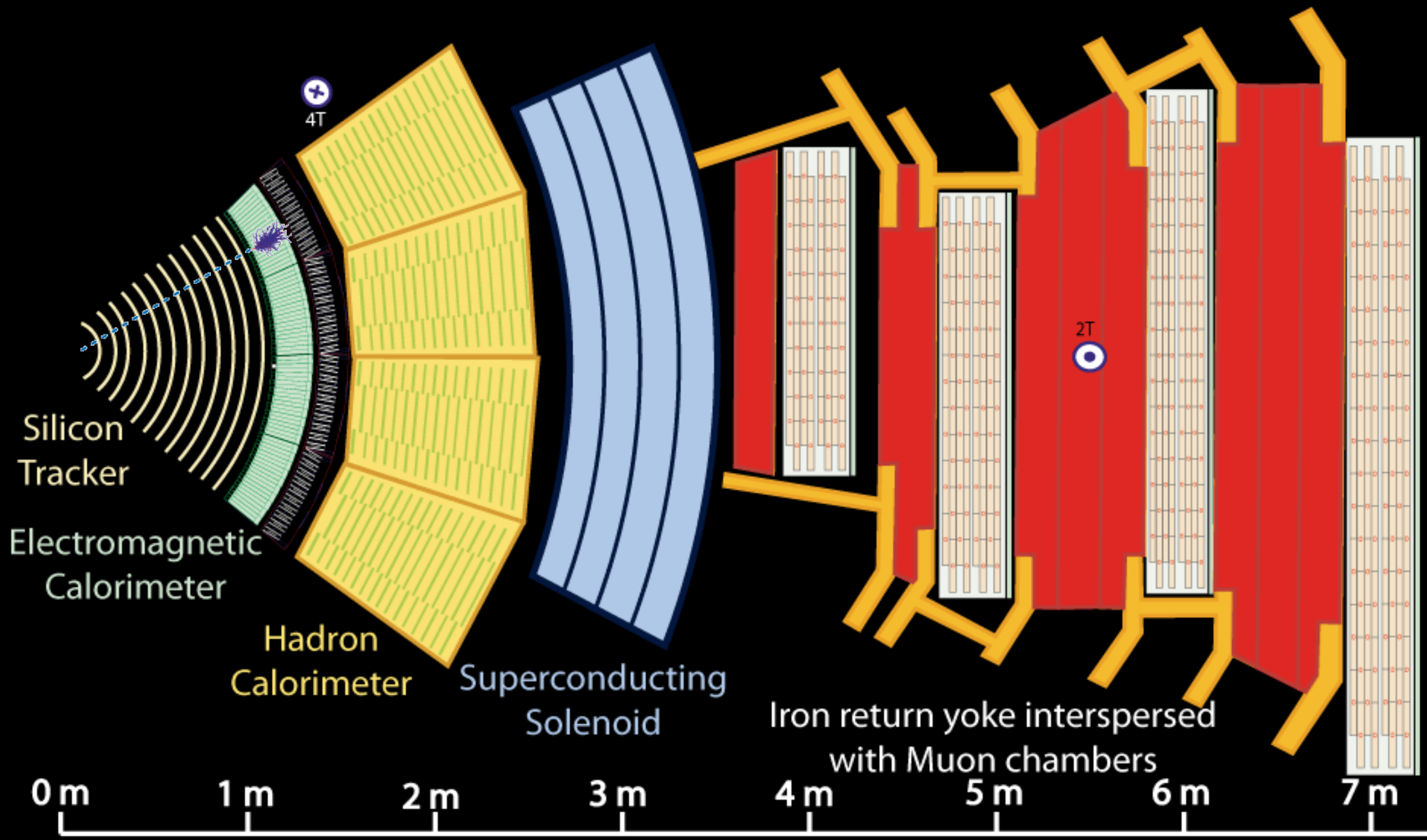
Jak rozpoznawać cząstki w detektorze?





Key:

- Muon
- Electron
- Charged Hadron (e.g. Pion)
- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)
- - - Photon



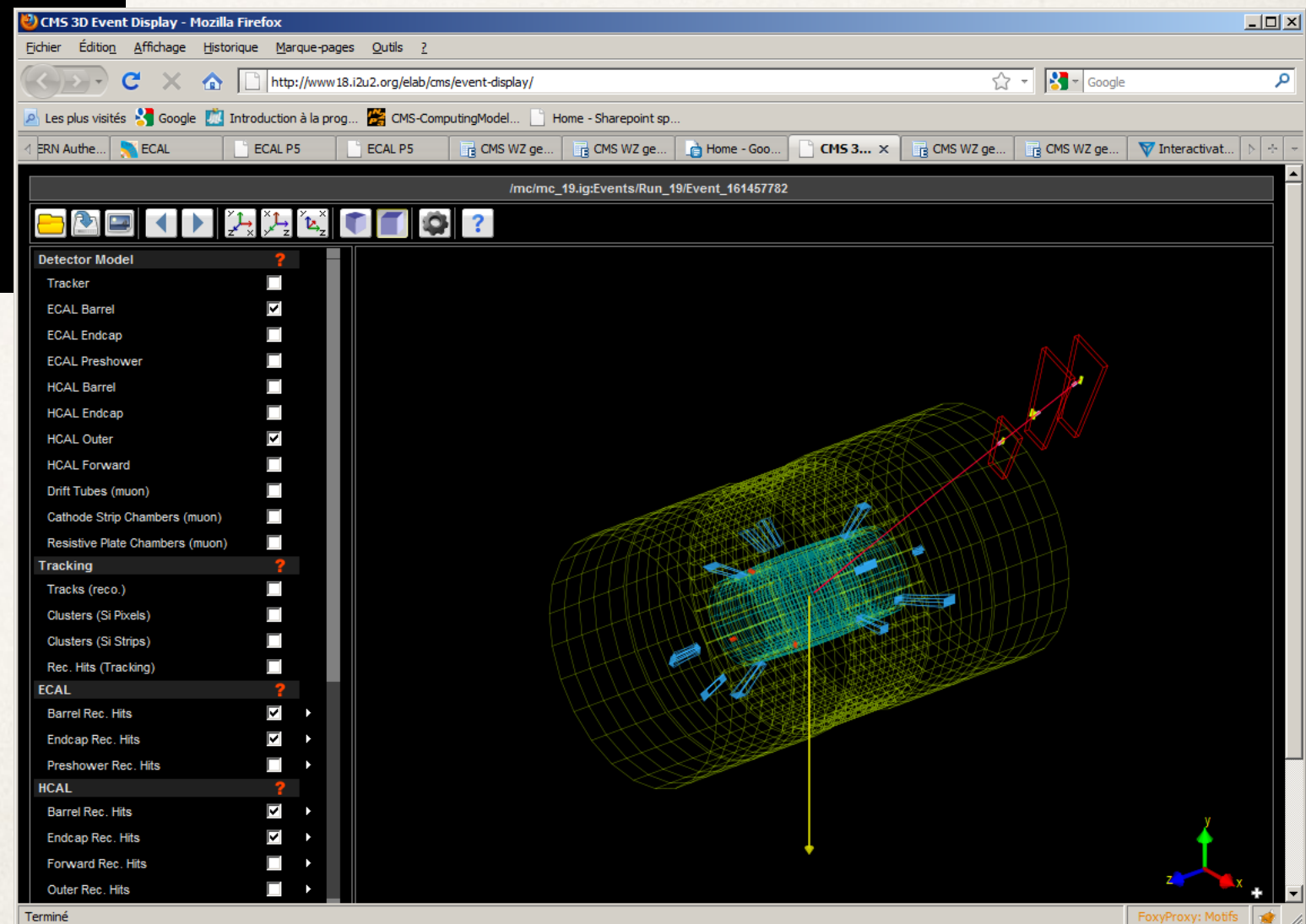
Key:

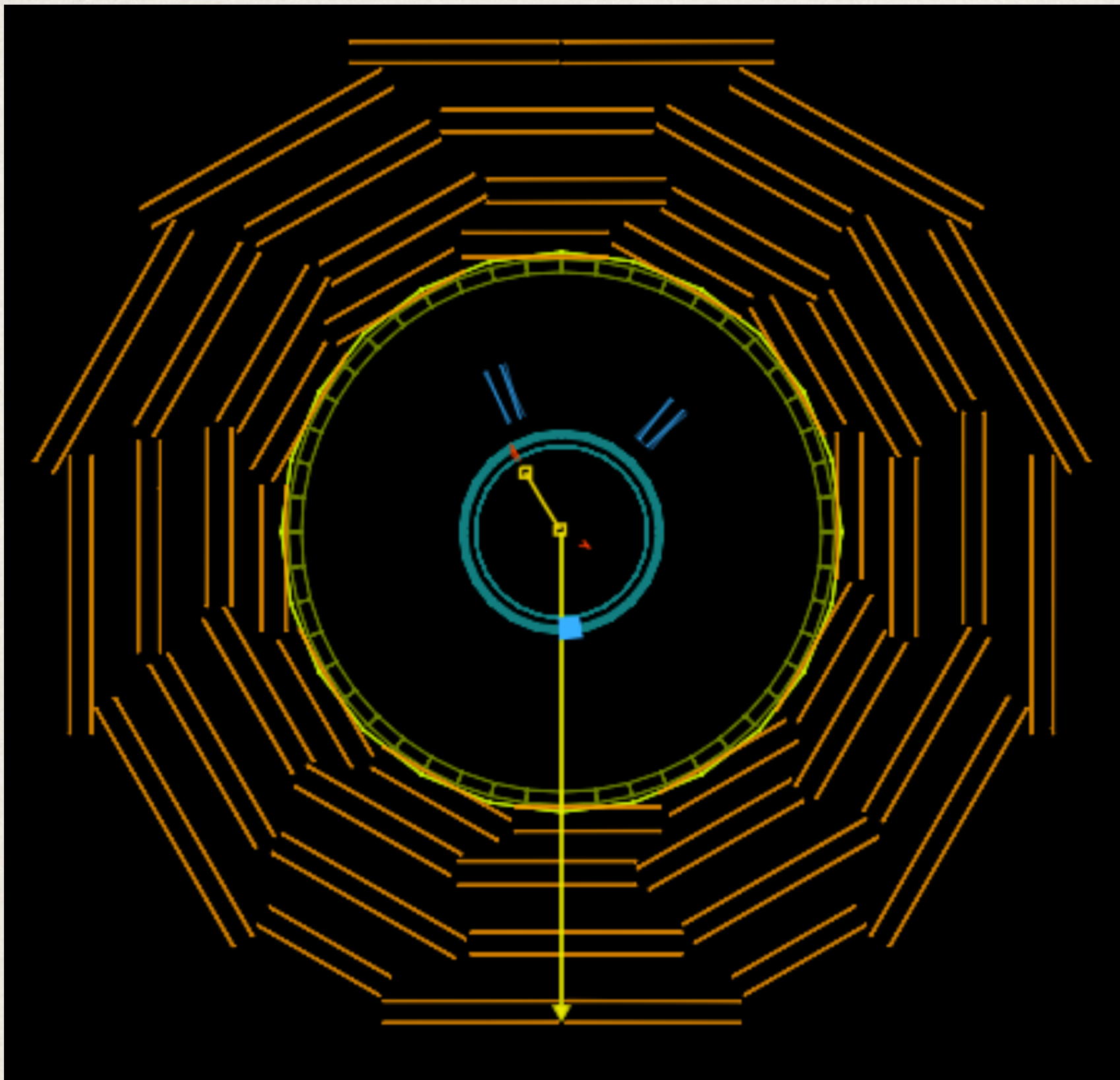
- Muon
- Electron
- Charged Hadron (e.g. Pion)
- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)
- - - Photon

Cząstka W:

Mion (czerwony ślad) przechodzi przez cały detektor, zostawiając sygnał w zewnętrznych warstwach detektora (komorach mionowych)

Brakująca energia została zaznaczona żółtą strzałką



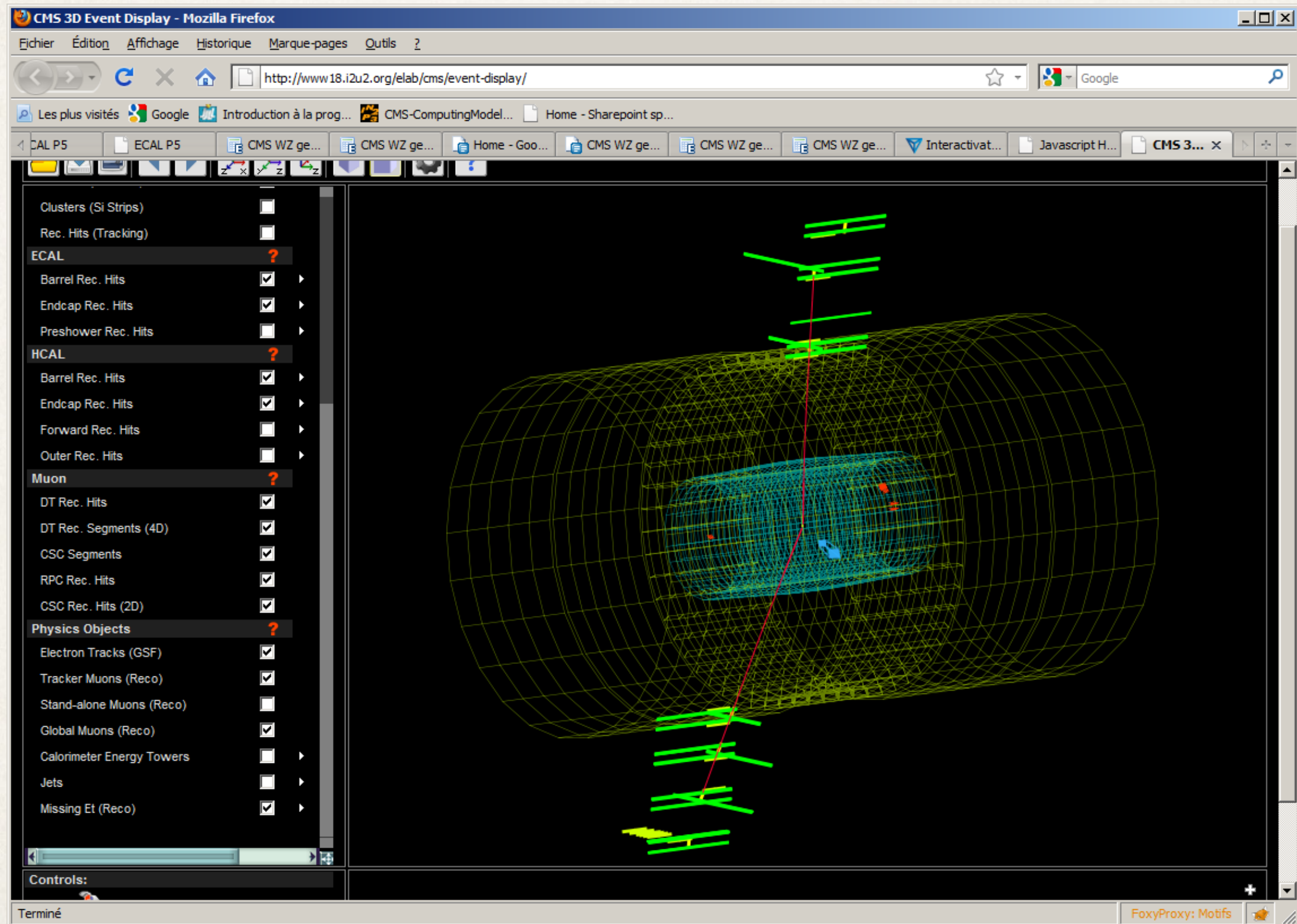


Cząstka W:

Elektron (żółty, krótki ślad) zostaje zatrzymany (pochłonięty) w kalorymetrze elektromagnetycznym (ECAL).

Brakująca energia została zaznaczona żółtą strzałką

Cząstka Z: 2 x sygnał w komorach mionowych



Znak cząstki naładowanej

The image shows a screenshot of the CMS 3D Event Display web application running in Mozilla Firefox. The browser window title is "CMS 3D Event Display - Mozilla Firefox". The address bar shows the URL "http://www.18.i2u2.org/elab/cms/event-display/". The browser's menu bar includes "Fichier", "Édition", "Affichage", "Historique", "Marque-pages", and "Outils". The address bar contains a search engine (Google) and a star icon. The browser's toolbar shows "Les plus visités", "Google", "Introduction à la prog...", "CMS-ComputingModel...", and "Home - Sharepoint sp...". The browser's tab bar shows several tabs, including "CAL P5", "ECAL P5", "CMS WZ ge...", "Home - Goo...", "CMS WZ ge...", "CMS WZ ge...", "CMS WZ ge...", "Interactivat...", "Javascript H...", and "CMS 3...".

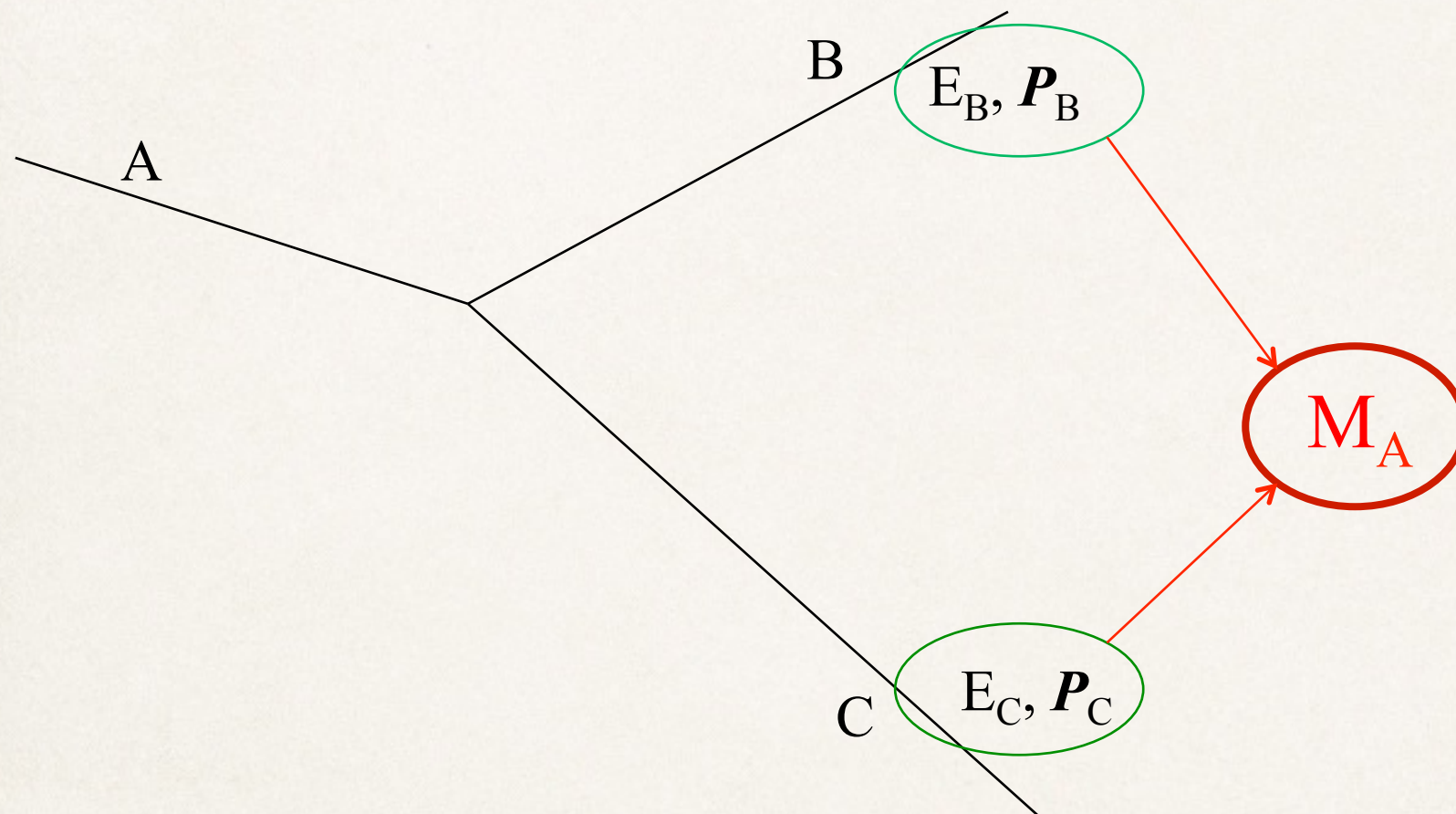
The main content area displays a 3D visualization of the CMS detector components. A central vertical white line represents the beam axis. A red line represents a particle track passing through the detector. The track is labeled with "naładowana ujemnie" (negatively charged) on the left and "naładowana dodatnio" (positively charged) on the right. The track is shown as a red line with a yellow outline. The detector components are shown as concentric circles and rings. The innermost circle is blue, and the outermost ring is yellow. The track is shown as a red line with a yellow outline. The track is shown as a red line with a yellow outline. The track is shown as a red line with a yellow outline.

The left sidebar contains a list of detector components with checkboxes and expand/collapse arrows:

- Clusters (Si Strips)
- Rec. Hits (Tracking)
- ECAL
- Barrel Rec. Hits
- Endcap Rec. Hits
- Preshower Rec. Hits
- HCAL
- Barrel Rec. Hits
- Endcap Rec. Hits
- Forward Rec. Hits
- Outer Rec. Hits
- Muon
- DT Rec. Hits
- DT Rec. Segments (4D)
- CSC Segments
- RPC Rec. Hits
- CSC Rec. Hits (2D)
- Physics Objects
- Electron Tracks (GSF)
- Tracker Muons (Reco)
- Stand-alone Muons (Reco)
- Global Muons (Reco)
- Calorimeter Energy Towers
- Jets
- Missing Et (Reco)

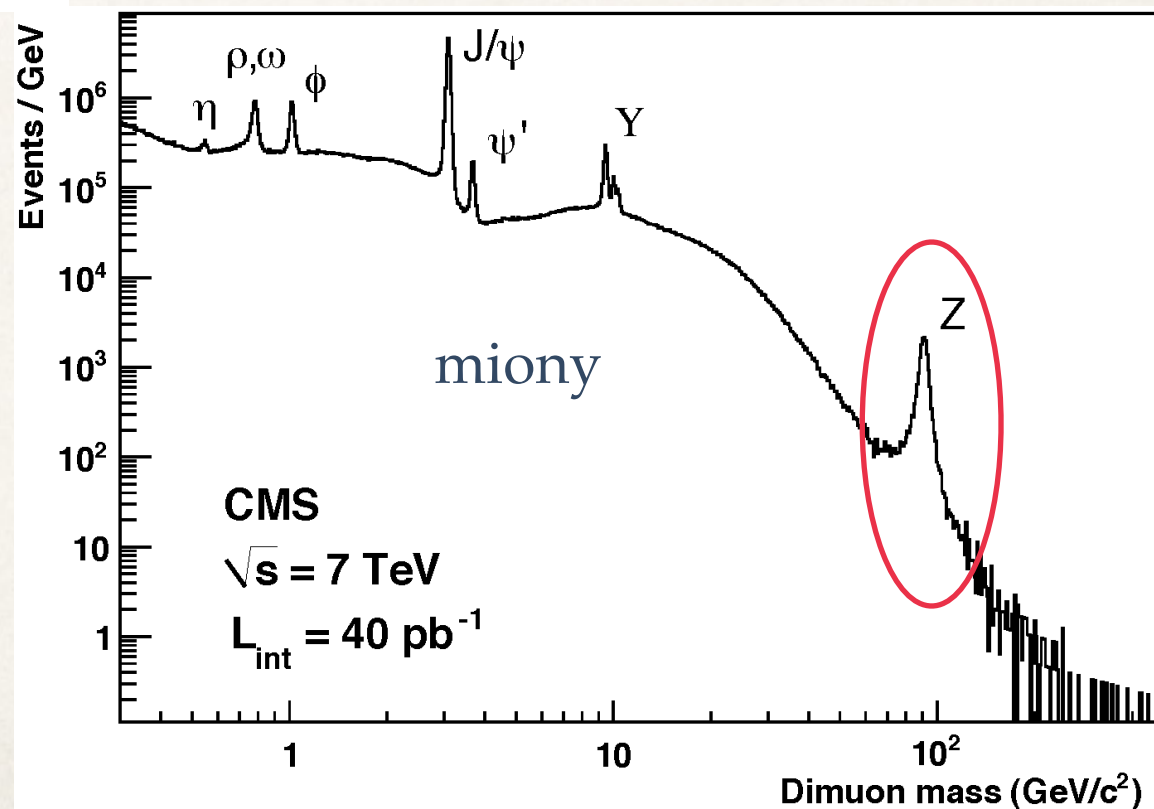
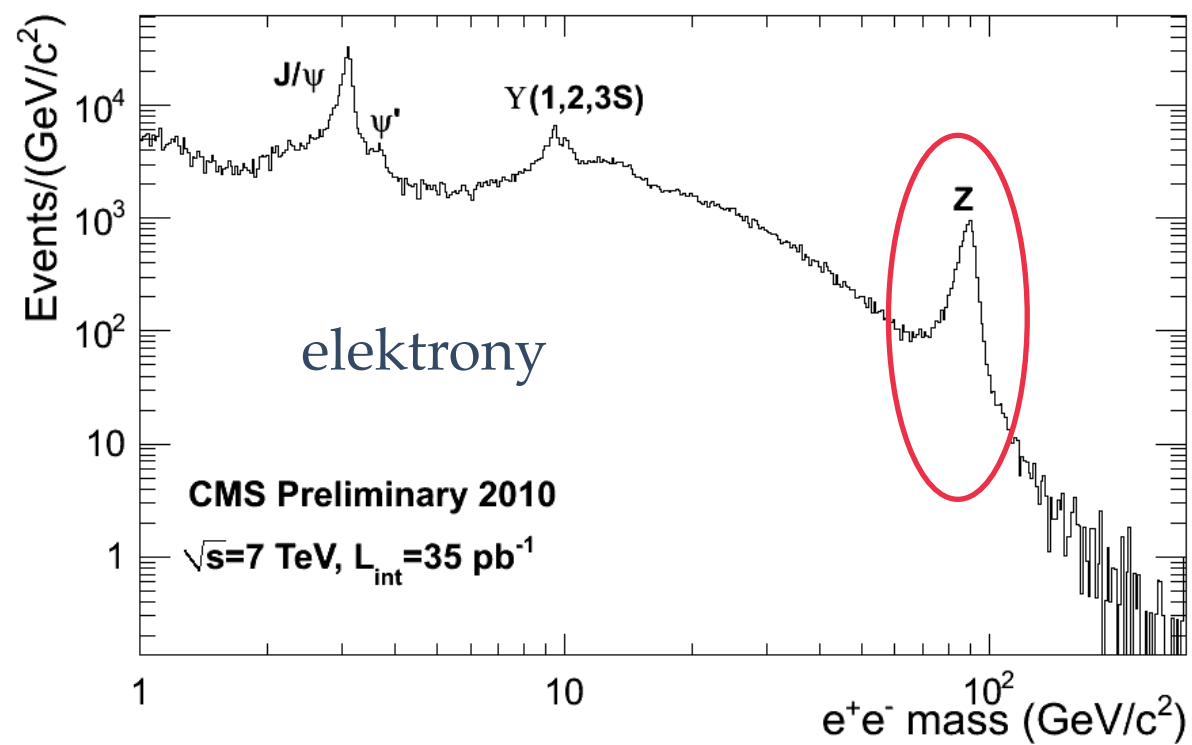
The bottom of the window shows a "Controls:" section and a status bar with "Terminé" and "FoxyProxy: Motifs".

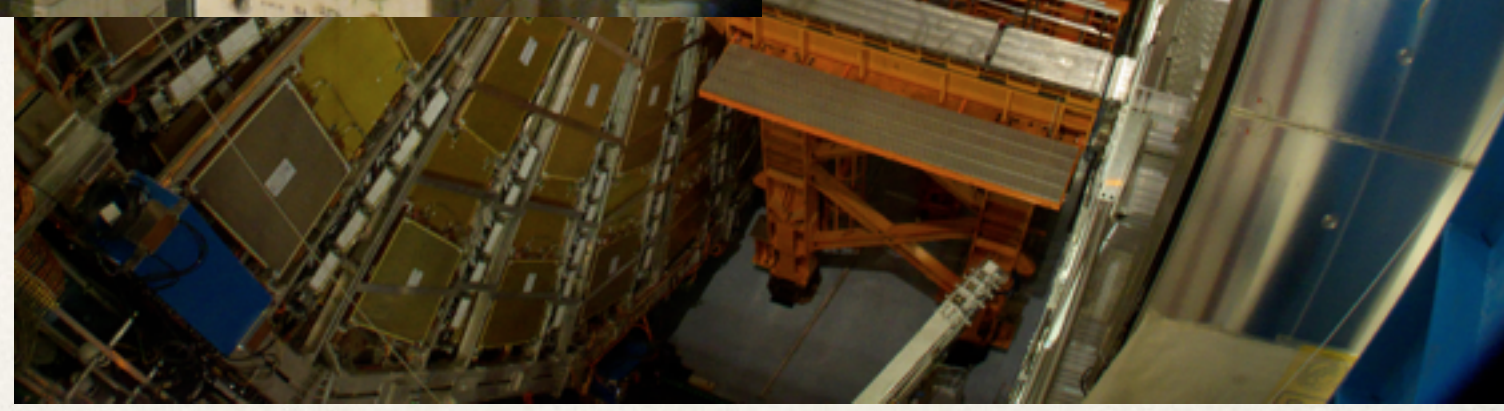
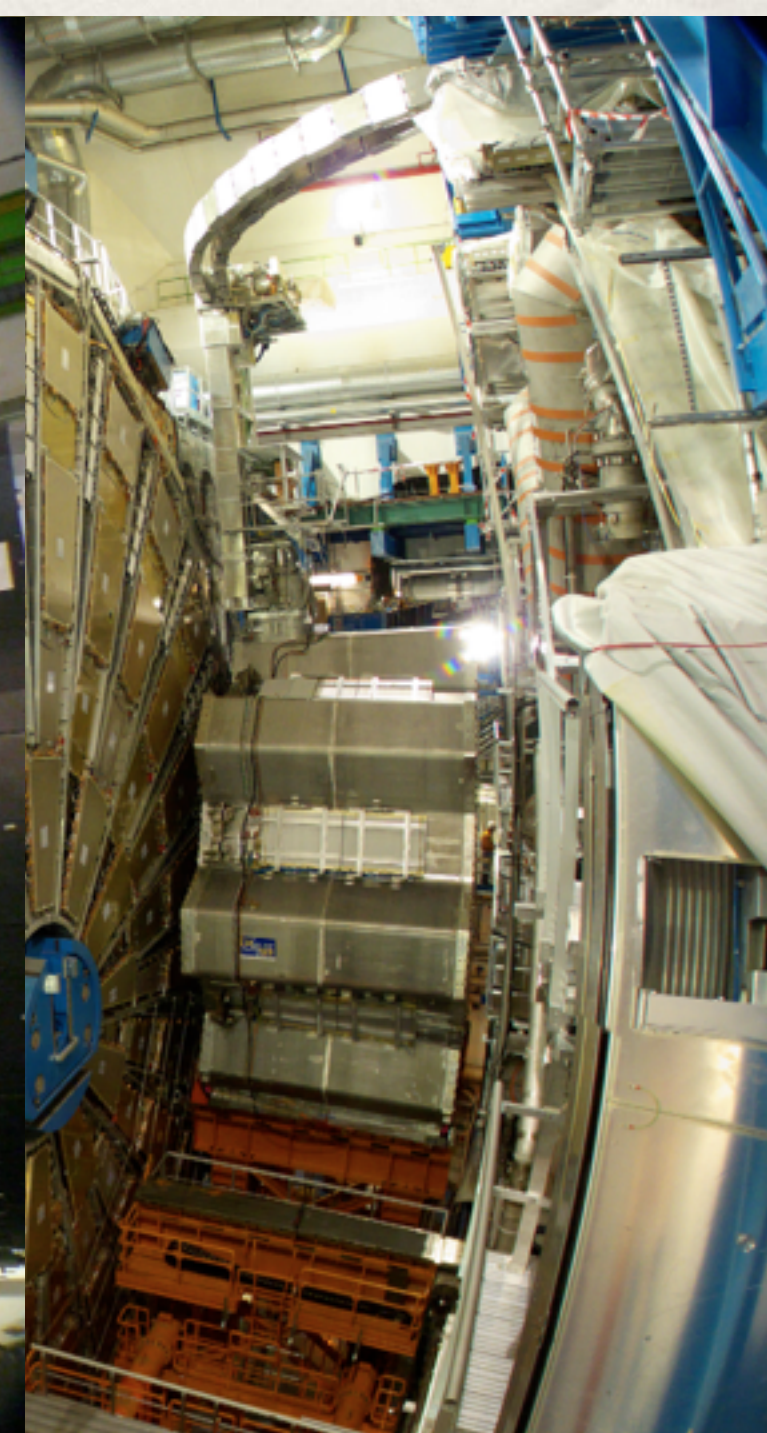
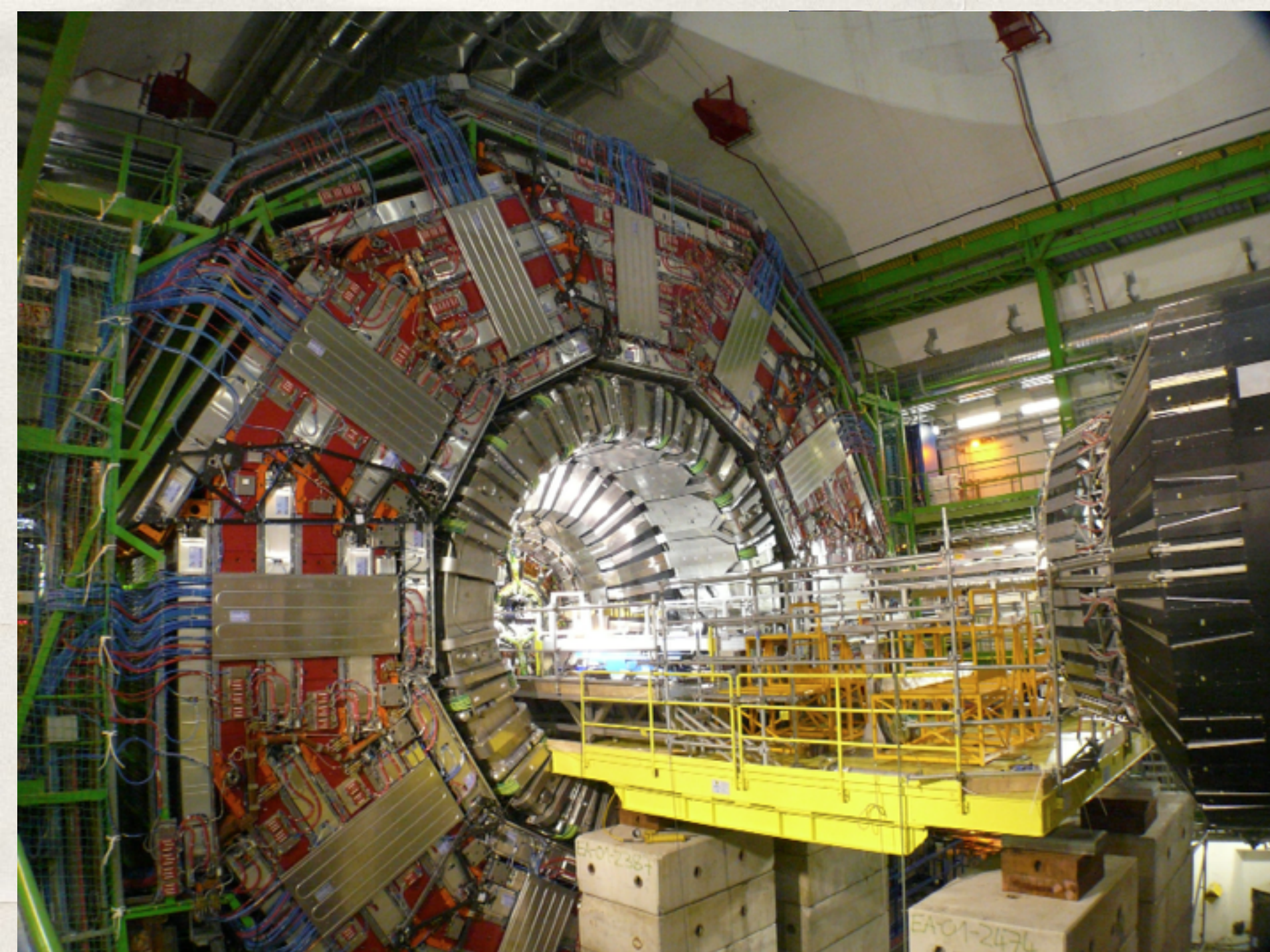
Jak obliczyć masę szukanej cząstki, skoro ta się już rozpadła?



- ❖ Pomiar pędów i energii cząstek B i C pomagają policzyć masę macierzystej cząstki A

Masa niezmiennicza





Koniec 😊