

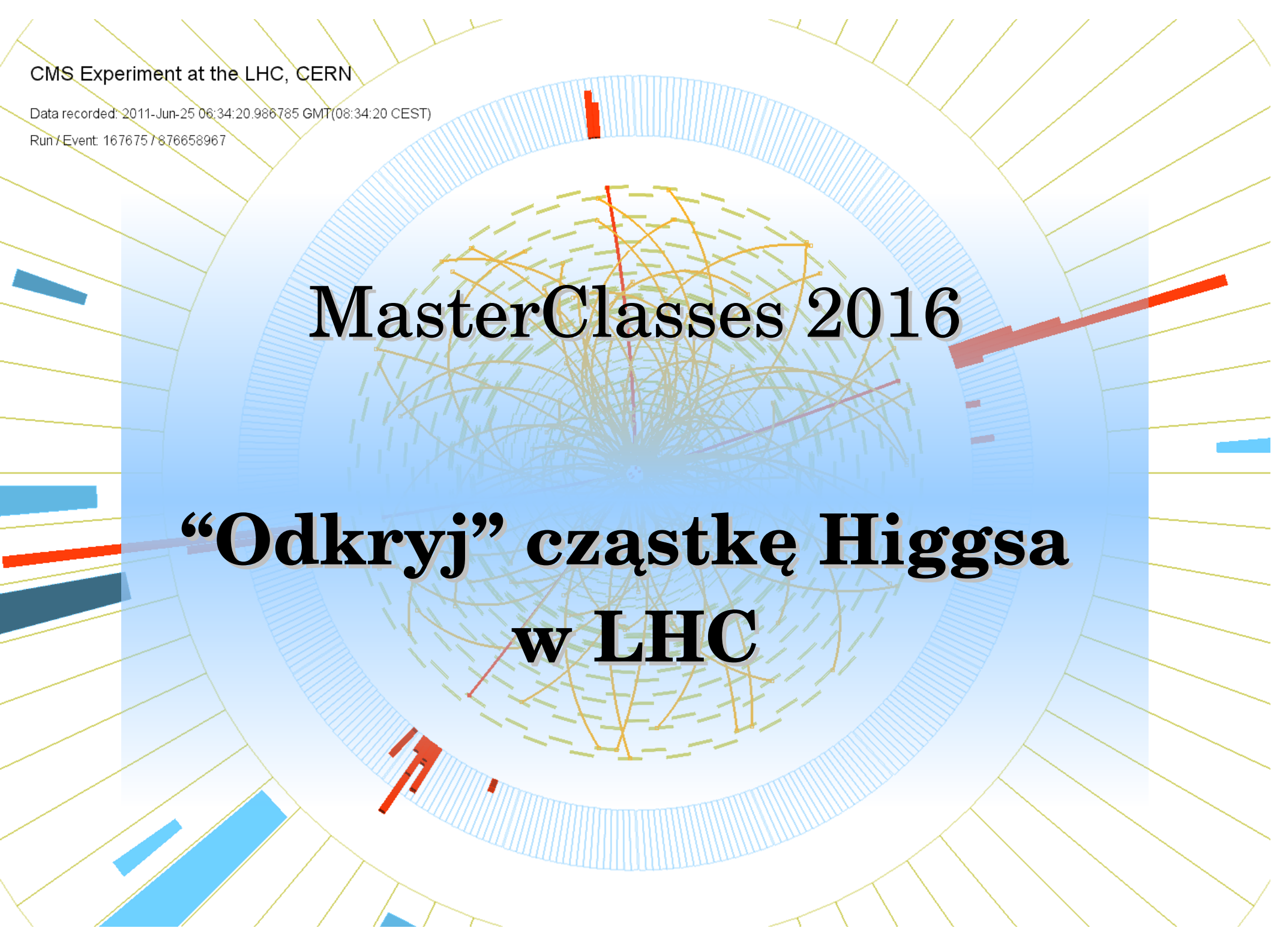
CMS Experiment at the LHC, CERN

Data recorded: 2011-Jun-25 06:34:20.986785 GMT(08:34:20 CEST)

Run/Event: 167675/876658967

MasterClasses 2016

“Odkryj” cząstkę Higgsa w LHC





CERN i LHC

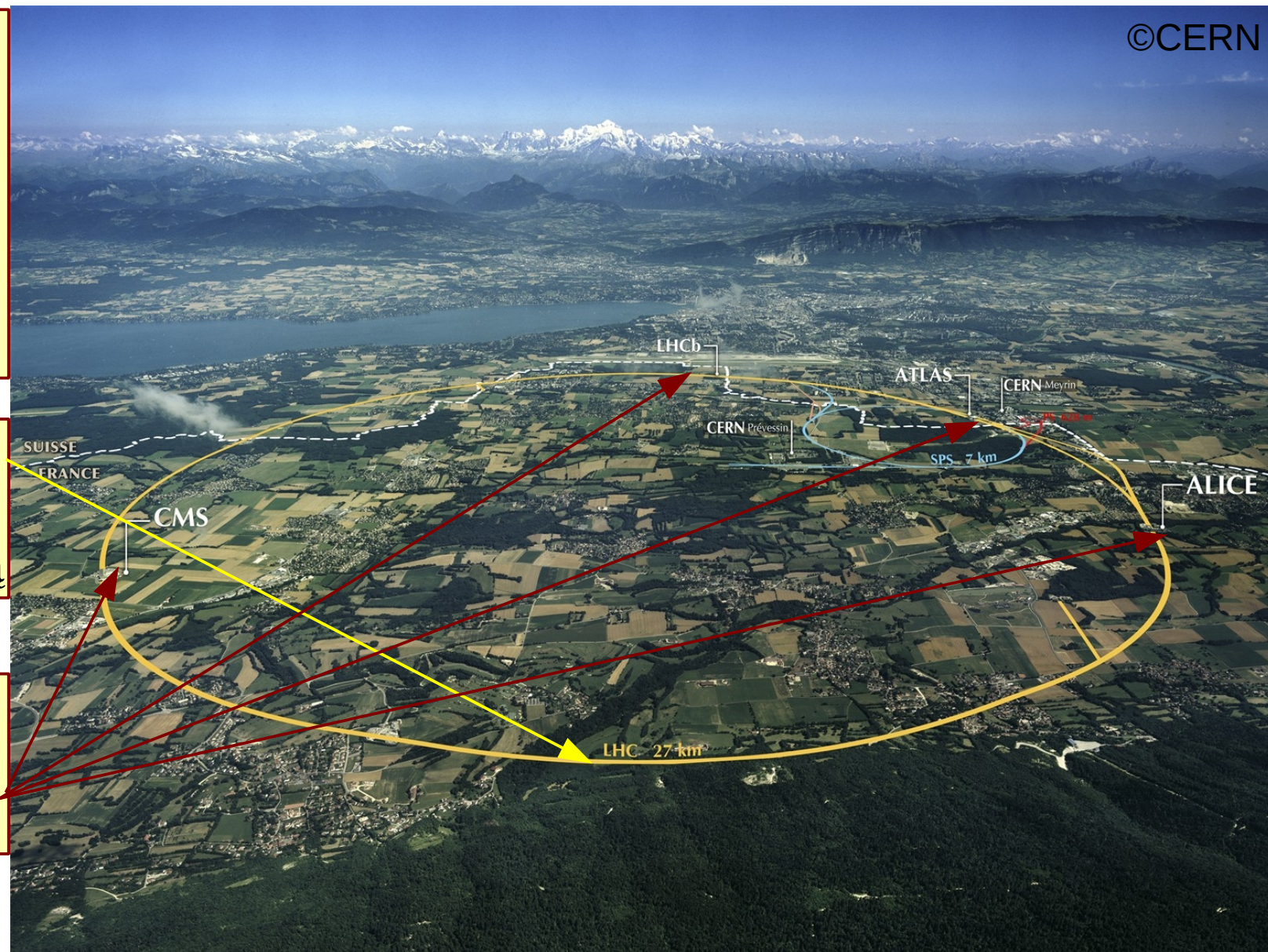


©CERN

CERN: Europejska Organizacja Badań Jądrowych: 20 krajów członkowskich, 2400 pracowników, 10000 użytkowników ze 113 krajów

Large Hadron Collider: 27 km tunel, 100 m pod ziemią

4 wielkie detektory: ATLAS, ALICE, CMS, LHCb

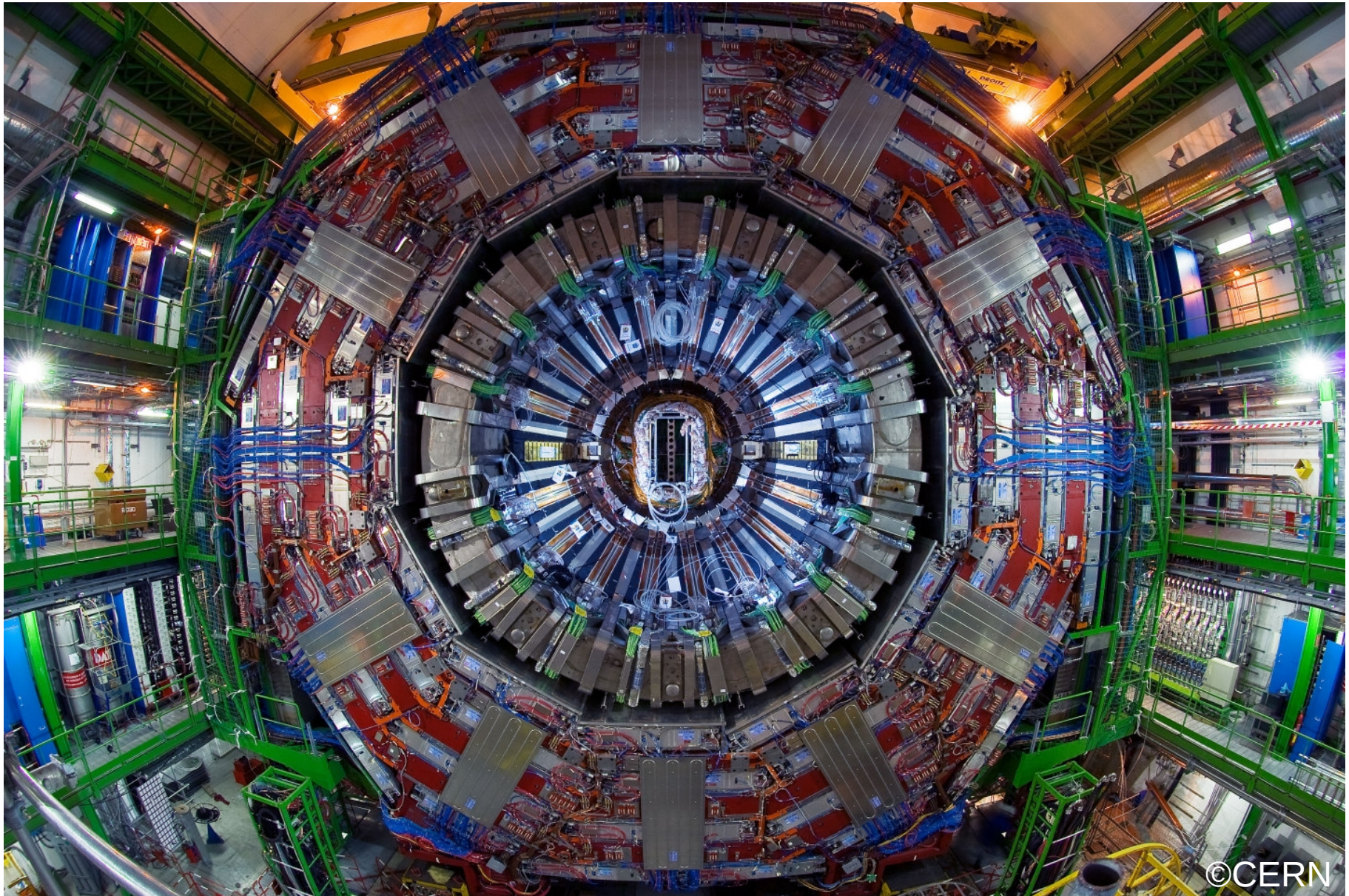




Pusta hala detektora CMS



©CERN





Science

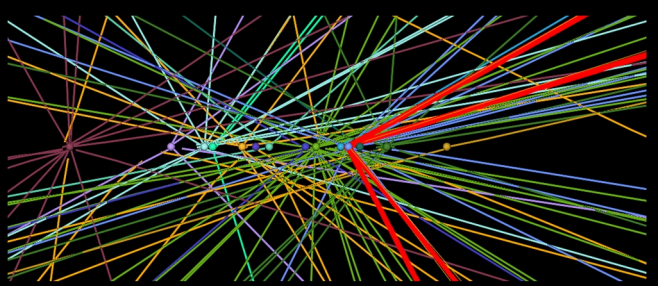
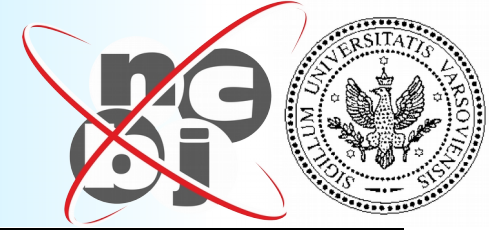
21 December 2012 | \$10

BREAKTHROUGH
of the YEAR
The **HIGGS**
BOSON





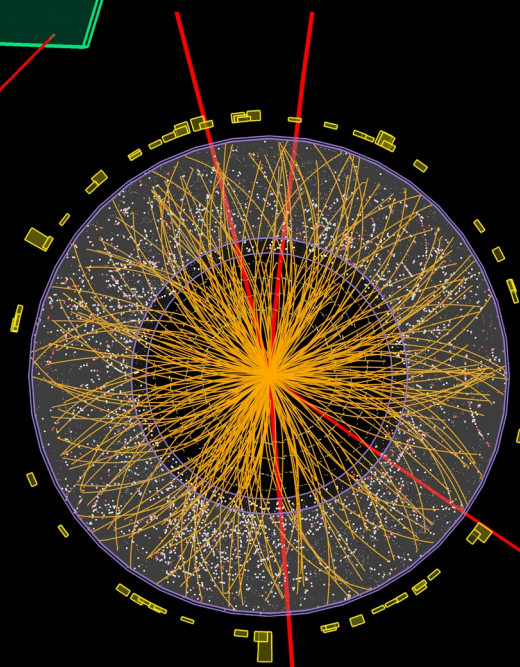
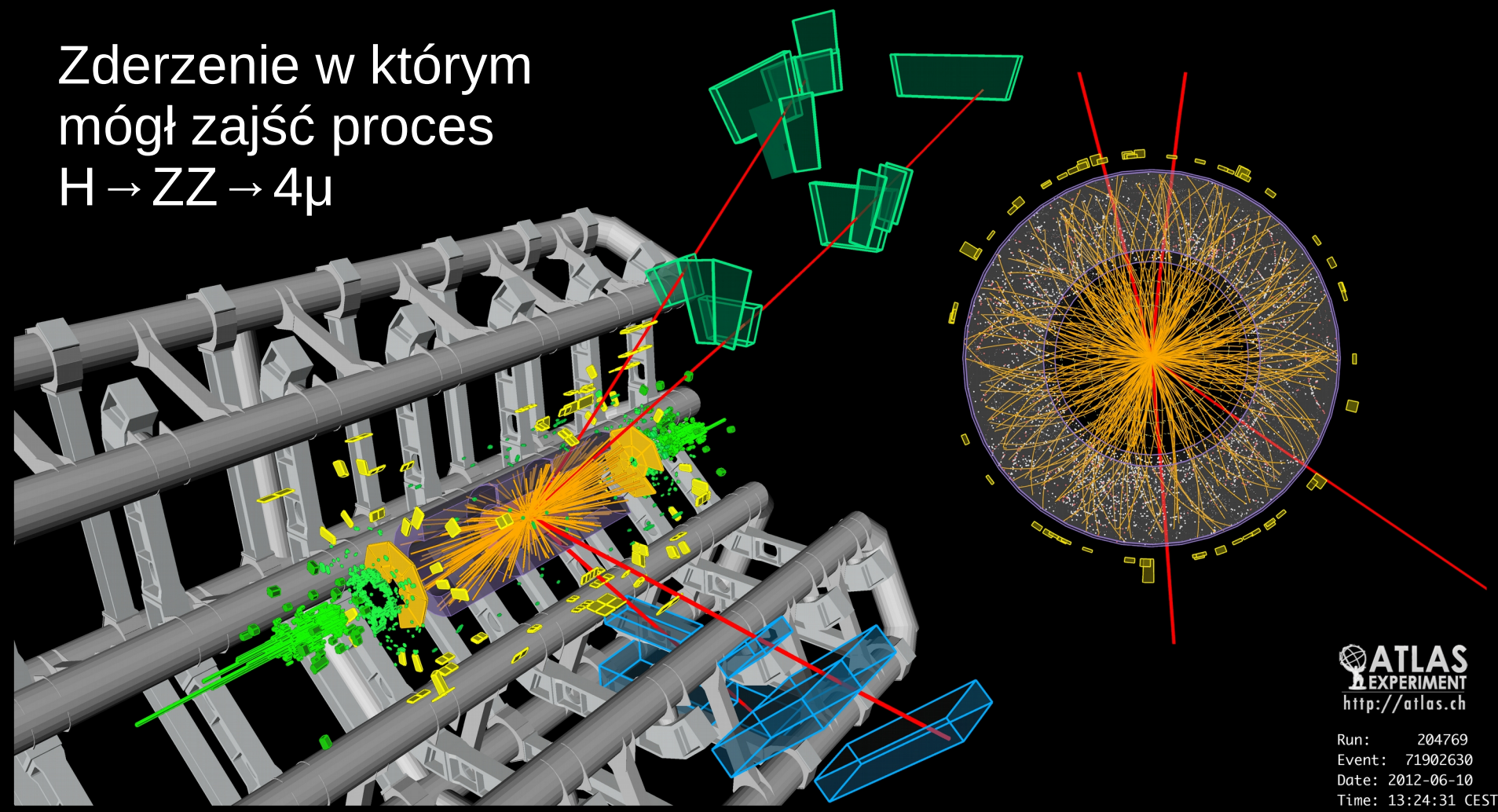
Bozon Higgsa



Higgs Boson Discovery 2012

Higgs to 4μ candidate event

Zderzenie w którym
mógł zajść proces
 $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\mu$

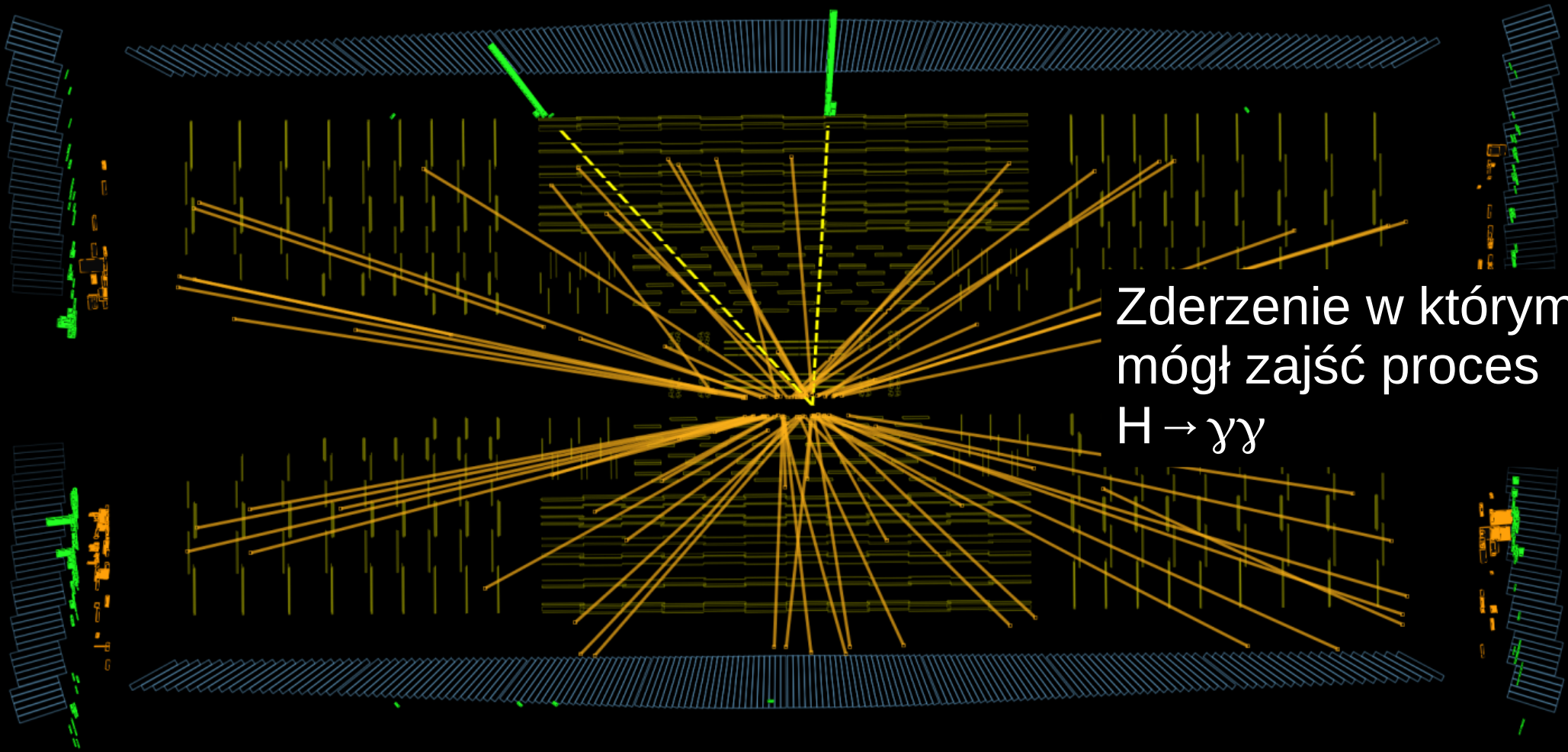
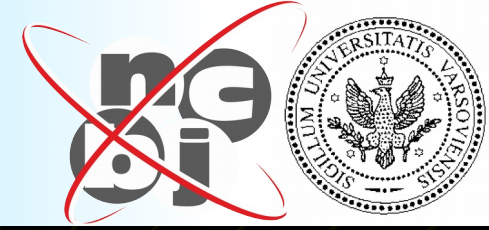


ATLAS
EXPERIMENT
<http://atlas.ch>

Run: 204769
Event: 71902630
Date: 2012-06-10
Time: 13:24:31 CEST



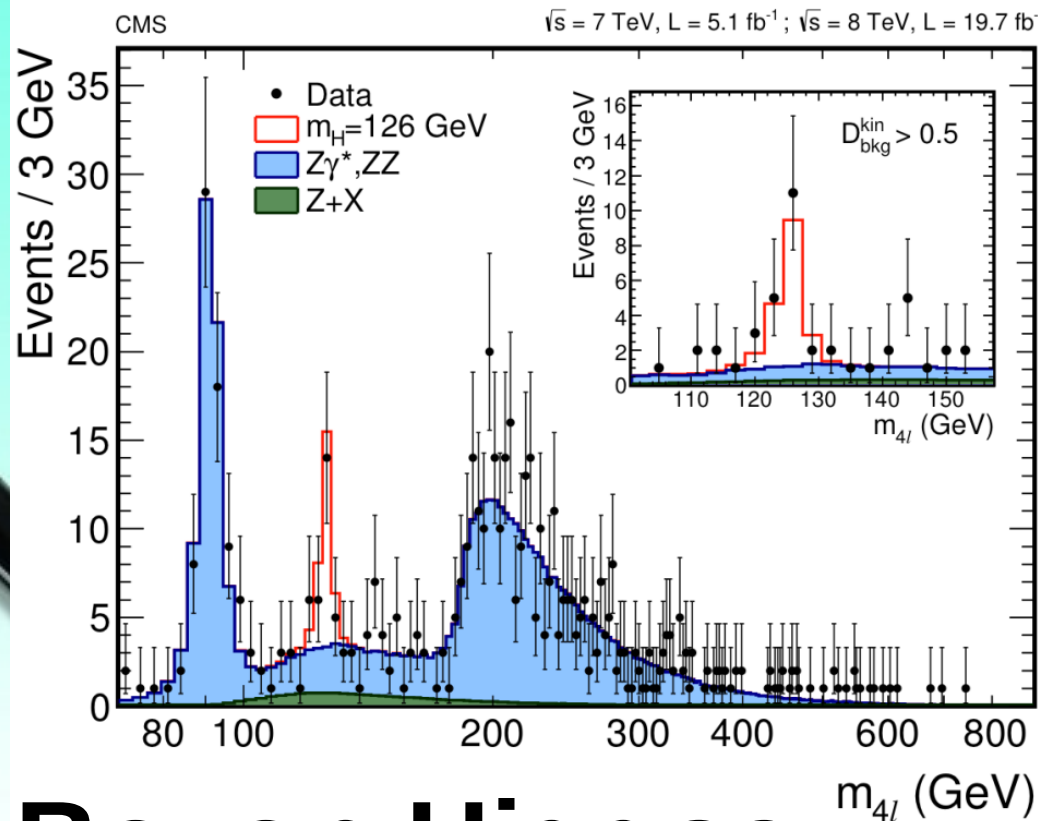
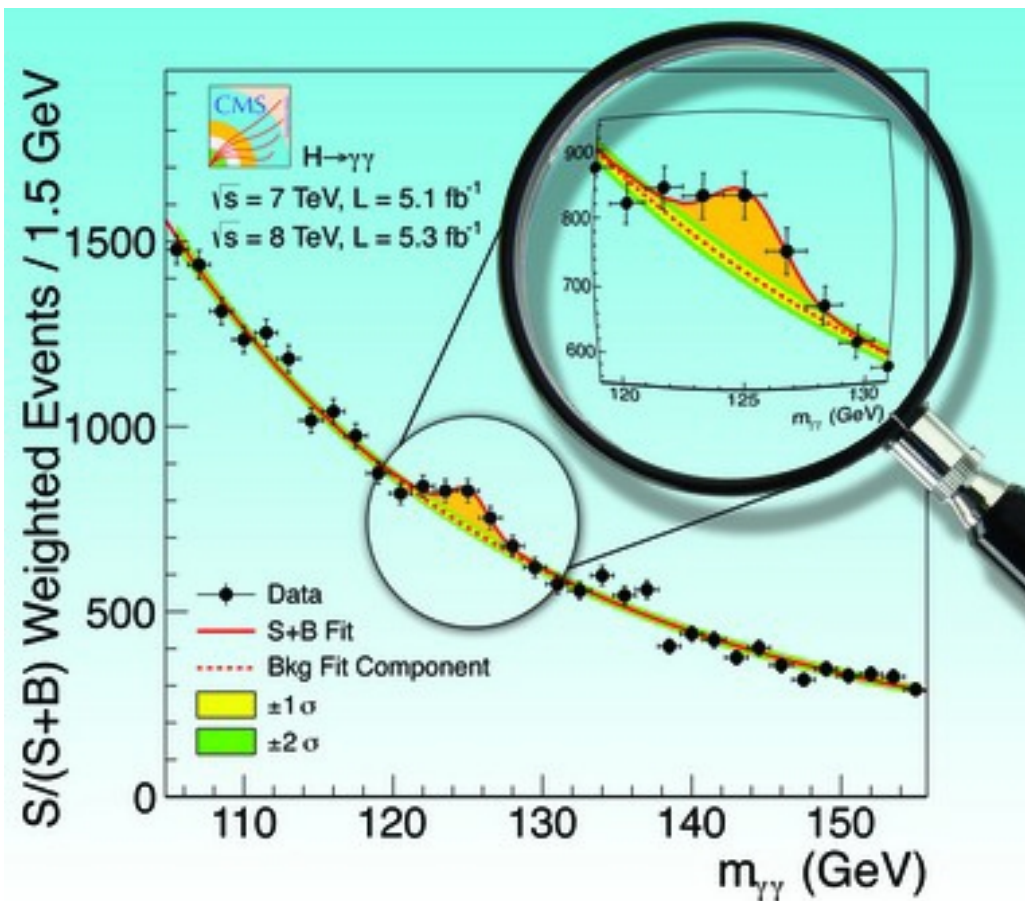
Bozon Higgosa



Zderzenie w którym
mógł zajść proces
 $H \rightarrow \gamma\gamma$



Przełomowe odkrycie

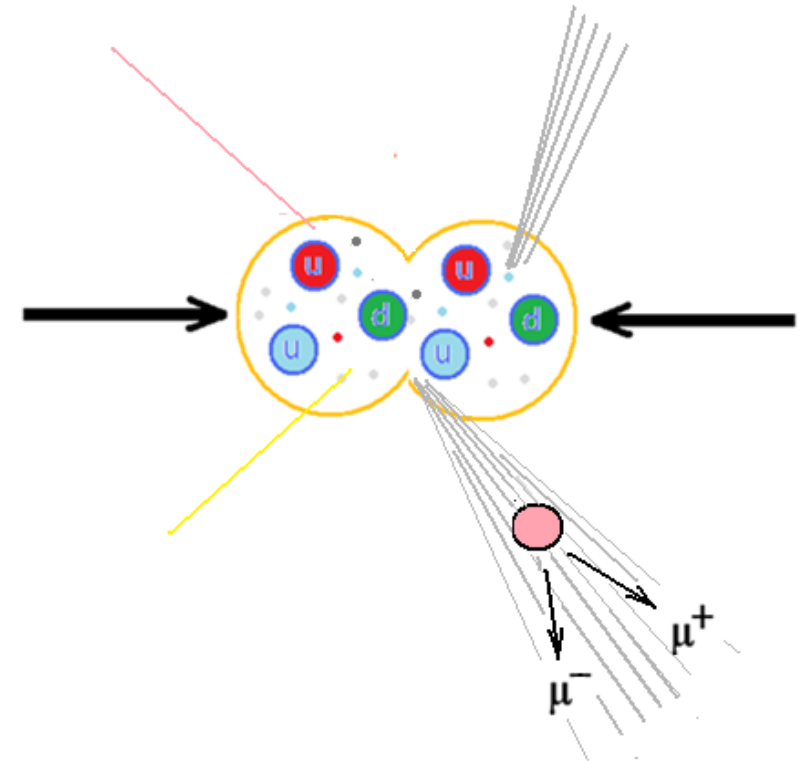


Bozon Higgosa

- Przewidywany 40 lat temu - odkrycie bozonu Higgosa w CERN ogłoszone w dn. 4 lipca 2012
- Nagroda Nobla 2013 dla F. Englerta i P.Higgosa



- Cząstki produkowane w zderzeniach rozpadają się na lżejsze cząstki
- Prawa zachowania energii i pędu, ładunku, itp pozwalają nam określić charakterystyki rozpadów
- Cząstki z rozpadów rozpoznajemy w detektorze





Podstawowe obiekty



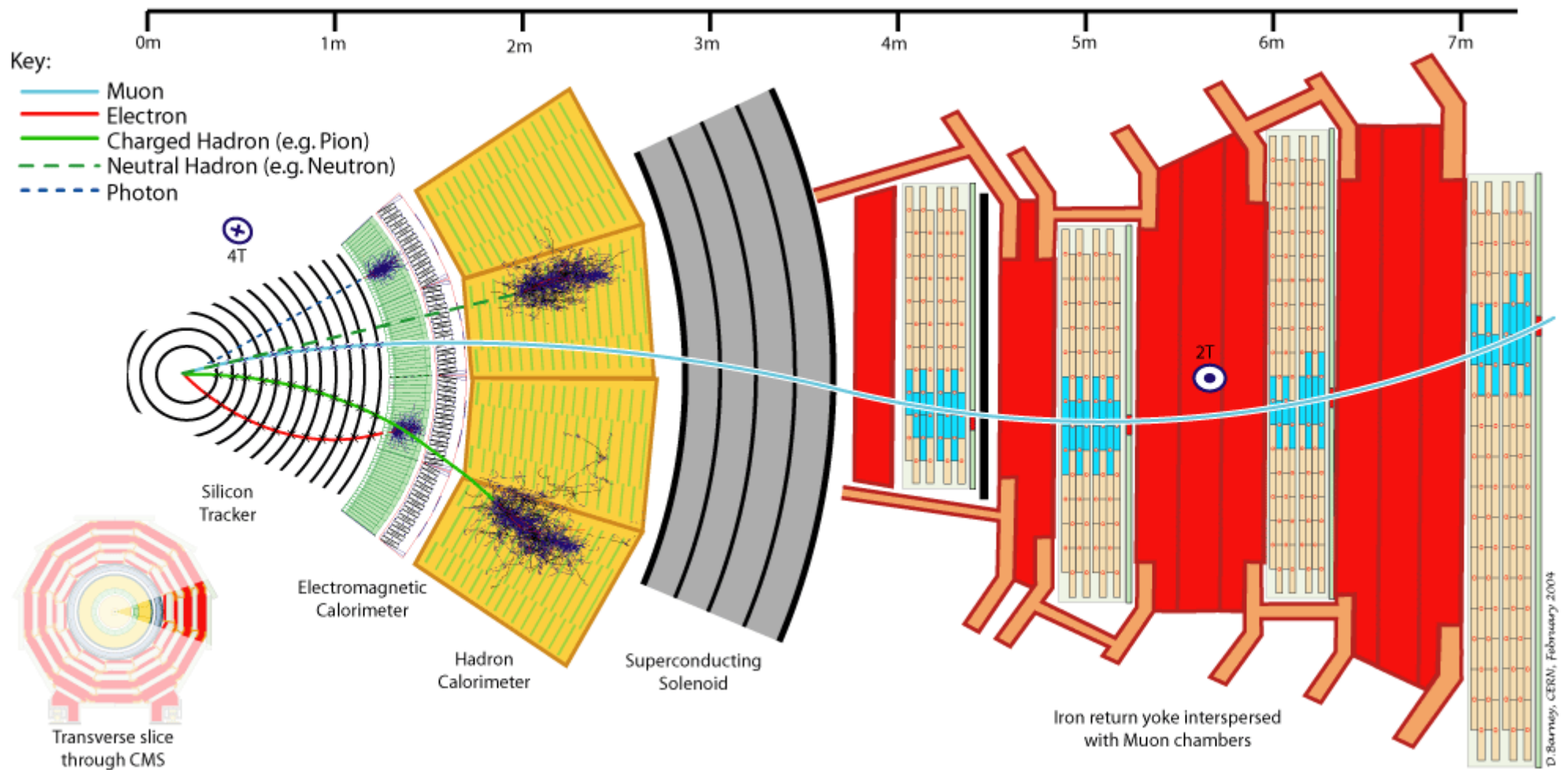
- W detektorze możemy **zidentyfikować** kilka podstawowych typów cząstek które powstały w zderzeniach:

- **Elektrony**
- **Miony**
- **Fotony**
- **Hadrony naładowane** (np. protony)
- **Hadrony neutralne** (np. neutrony)
- **Pośrednio neutrina**

Z tych elementów rekonstruujemy bardziej złożone obiekty. Jakże? To zależy od czego, czego szukamy.

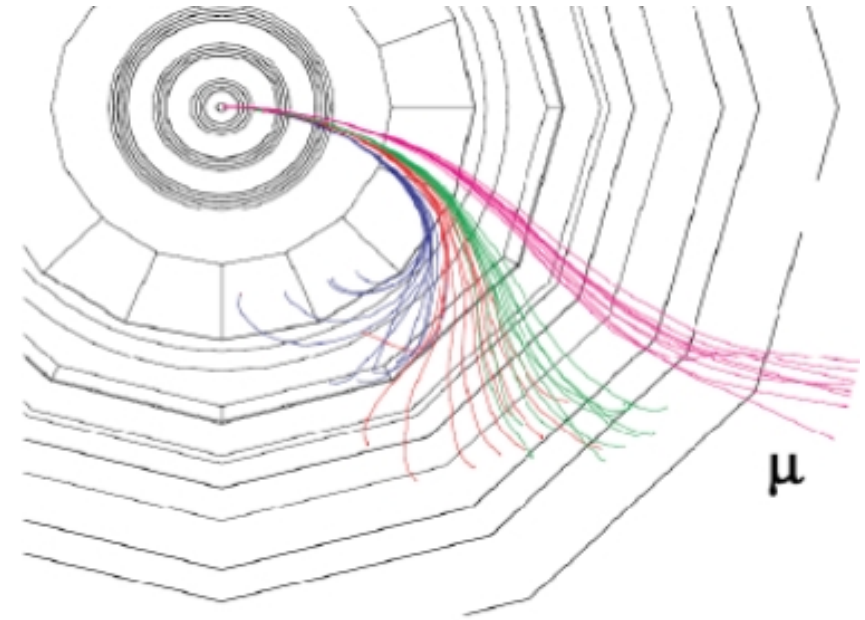


Detektor CMS



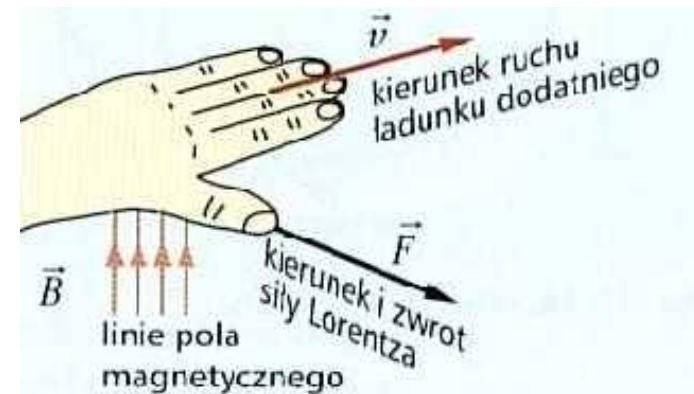
- Klasycznie $\vec{p} = m\vec{v}$
Jednostka eV/c (c=1)
- Relatywistycznie

$$p = \sqrt{\frac{E^2}{c^2} - m^2 c^2}$$



$p_t = 3.5, 4.0, 4.5, 6.0 \text{ GeV}$

- Pomiar dzięki polu mag.
 Siła Lorenzta →
 zakrzywienie toru





Masa niezmiennicza



Masa spoczynkowa ciała w dowolnym układzie odniesienia jest zdefiniowana jako:

$$m_{\text{inv}} = \frac{1}{c^2} \sqrt{E^2 - |\vec{p}|^2 c^2}$$

Dla układu ciał jego masa spoczynkowa jest zdefiniowana jako:

$$m_{\text{inv}} = \frac{1}{c^2} \sqrt{\left(\sum_i E_i \right)^2 - \left| \sum_i \vec{p}_i \right|^2 c^2}$$

Jednostka masy eV/c^2 ($c=1$)

- **Masa, energia i pęd są wyrażane GeV**

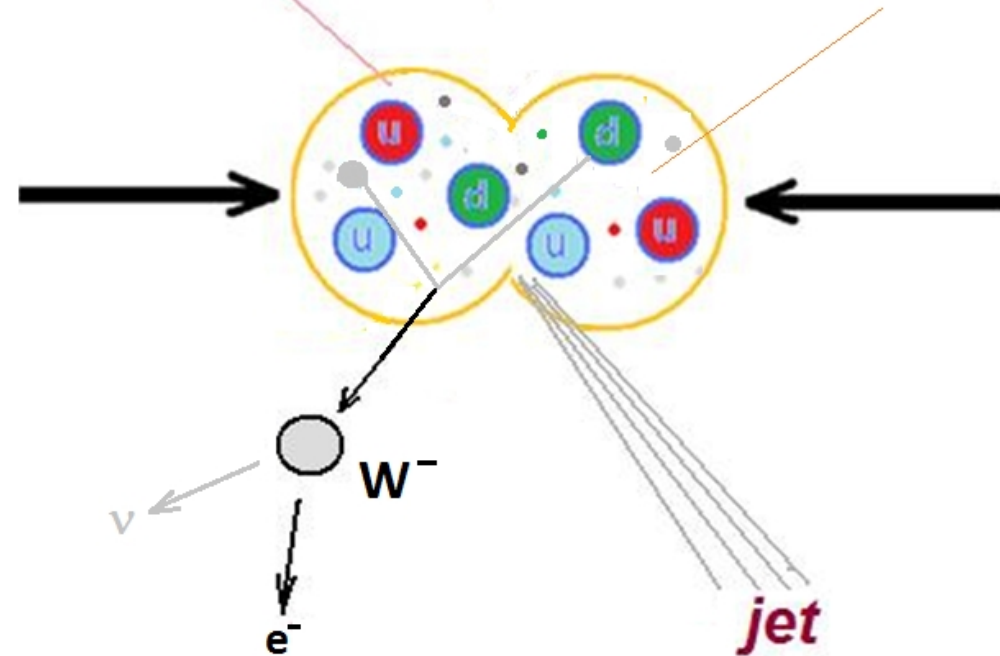


Analiza danych z eksperymentu CMS

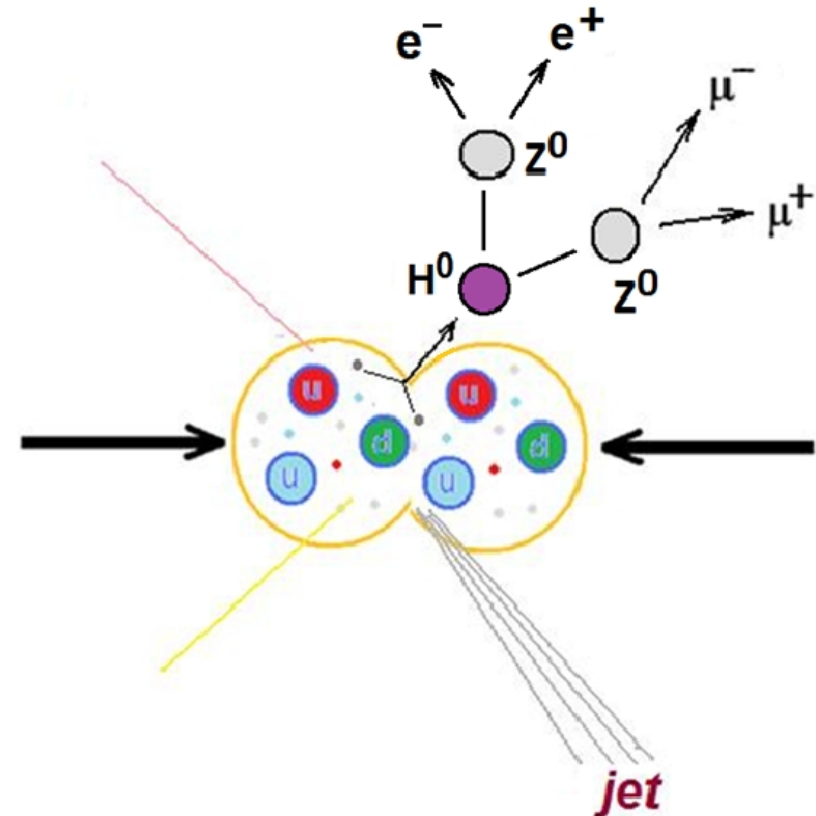
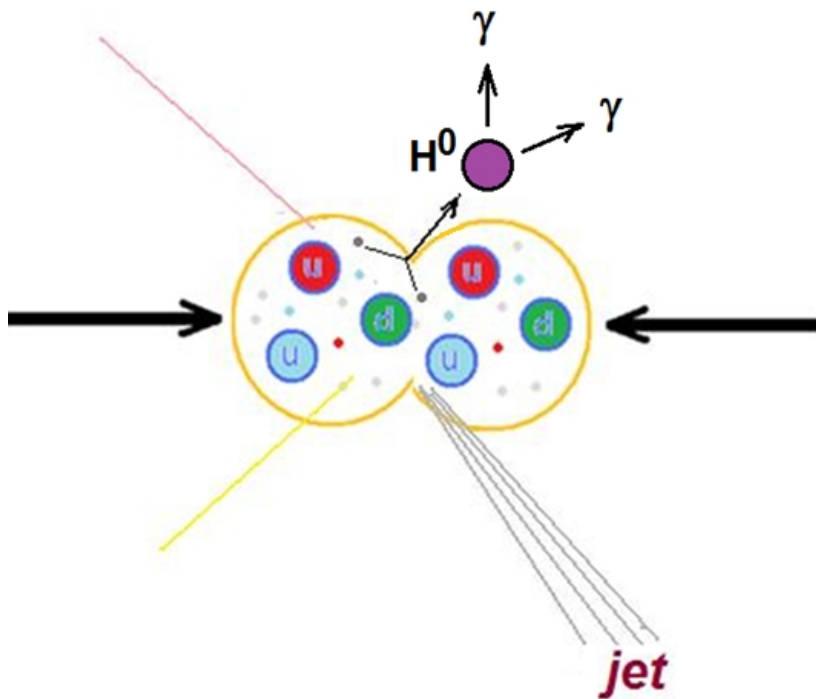
Jeśli energia zderzenia jest wystarczająca możemy wyprodukować bozony **W** lub **Z**.

Będziemy szukać bozonów:

- W^+ lub W^-
- Z^0
- H^0



- Bardzo rzadko
(**Higgs** pojawi się raz na $\sim 10^{10}$ pp zderzeń)
może zostać wyprodukowany bozon Higgosa



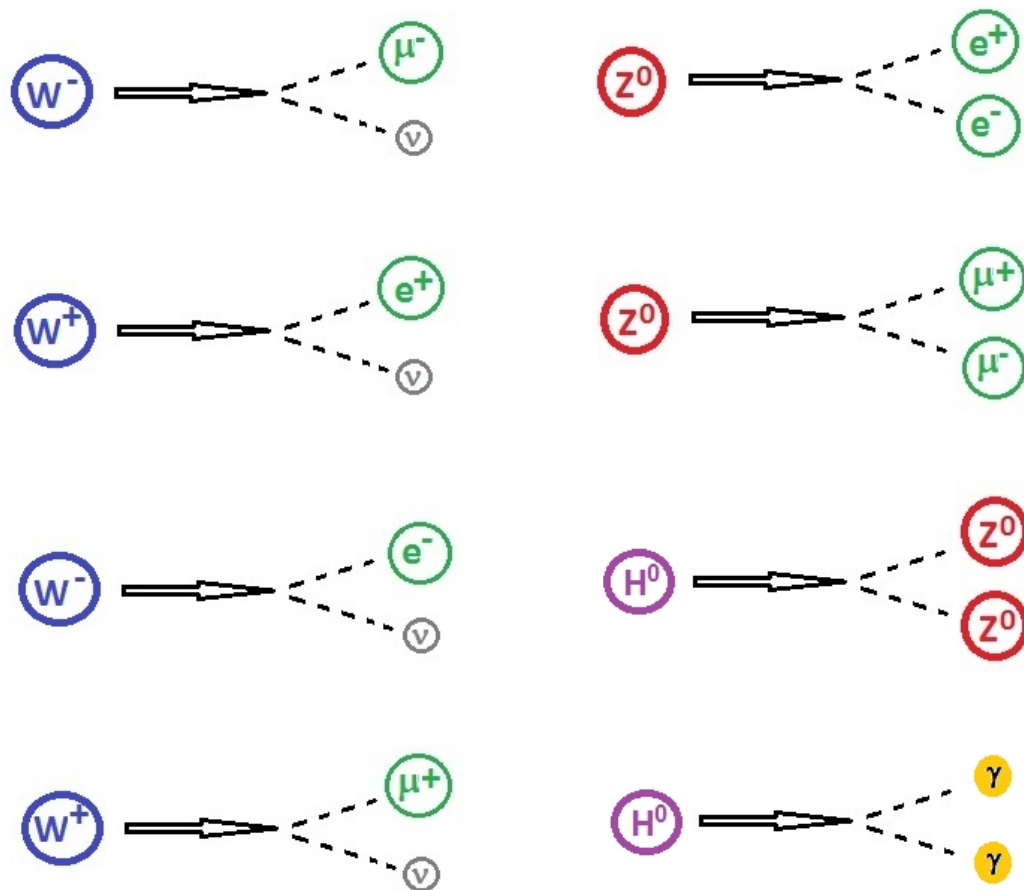


Detekcja bozonów W, Z, H



- Bozony W, Z i H bardzo szybko rozpadają się
- W detektorze CMS możemy zaobserwować tylko produkty ich rozpadu:

- Elektryony
- Miony
- Fotony
- Pośrednio neutrina





Zadania badawcze 1



1) Identyfikacja przypadków produkcji i rozpadu bozonów W i Z

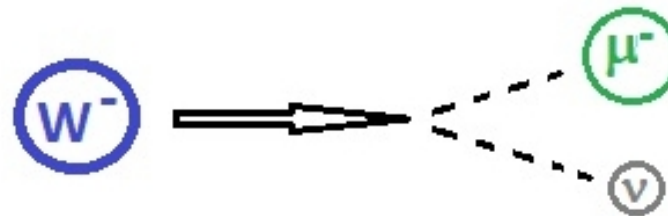
(Istnienie bozonów W i Z jest jednym z podstawowych postulatów Modelu Standardowego.)

Bozon W zaobserwowano po raz pierwszy w CERNie w 1982 w zderzeniach proton-antypoton,

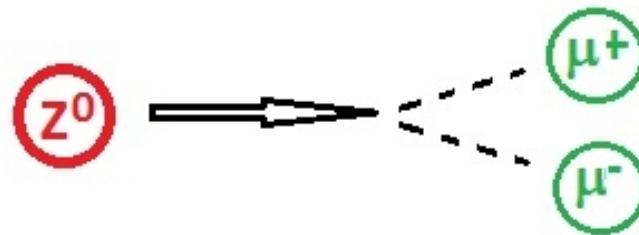
bozon Z został znaleziony kilka miesięcy później w 1983 również w CERNie)

- cząstki W i Z rozpadają się natychmiast po utworzeniu
- **w detektorze obserwujemy tylko (niektóre) ich produkty rozpadu:**

np. $W^- \rightarrow \mu^- \nu$:



lub $Z^0 \rightarrow \mu^- \mu^+$:

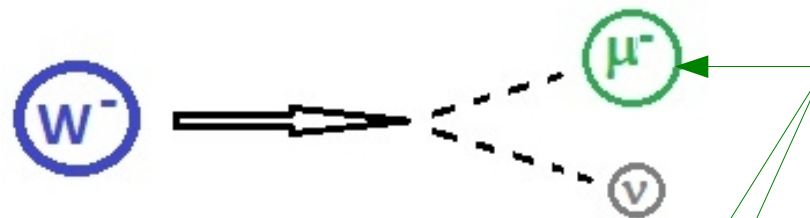


- Cząstki W i Z mogą się rozpadać na wiele sposobów.
Dziś nas będą interesowały tylko rozpady
 $Z^0 \rightarrow \mu^- \mu^+$, $Z^0 \rightarrow e^- e^+$, $W \rightarrow \mu \nu$ oraz $W \rightarrow e \nu$

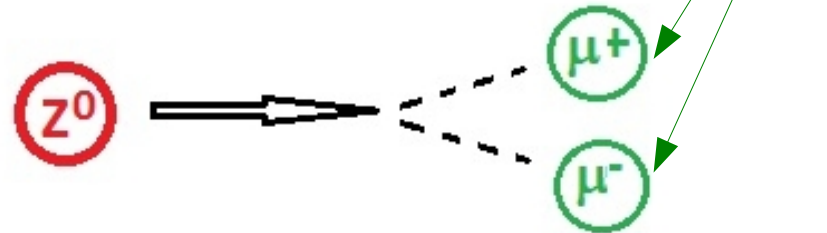
- cząstki W i Z rozpadają się natychmiast po utworzeniu
- **w detektorze obserwujemy tylko (niektóre) ich produkty**

rozpadu:

np. $W^- \rightarrow \mu^- \nu$:



lub $Z^0 \rightarrow \mu^- \mu^+$:



- Cząstki naładowane - obserwujemy ich tory
- Miony: dolatują aż do komór mionowych

- Cząstki W i Z mogą się rozpadac na wiele sposobów.
- **Dziś nas będą interesowały tylko rozpady**

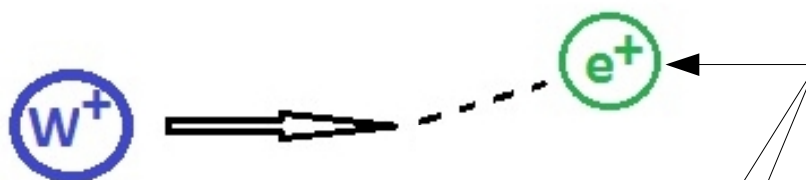
$Z^0 \rightarrow \mu^- \mu^+$, $Z^0 \rightarrow e^- e^+$, $W \rightarrow \mu \nu$ oraz $W \rightarrow e \nu$



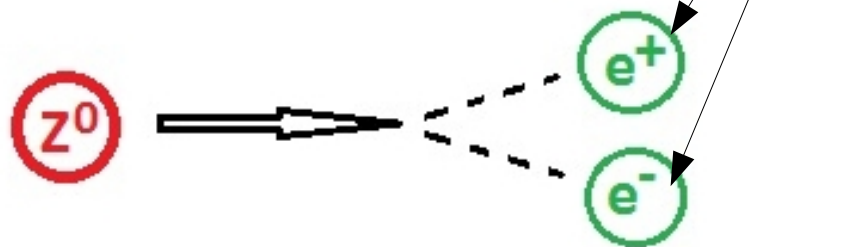
Rozpady cząstek W i Z



np. $W^+ \rightarrow e^+ \nu$:



lub $Z^0 \rightarrow e^- e^+$:



O obecności neutrin wnioskujemy na podstawie bilansu pędu w płaszczyźnie prostopadłej wo wiązki – tzw. brakującej energii

- Cząstki naładowane - obserwujemy ich tory
- **Elektrony:** zatrzymują się w kalorymetrze elektromagnetycznym i deponują w nim swoją energię
- Neutrino – oddziałują bardzo słabo z materią – nie obserwujemy ich bezpośrednio.



Rozpady cząstek W i Z



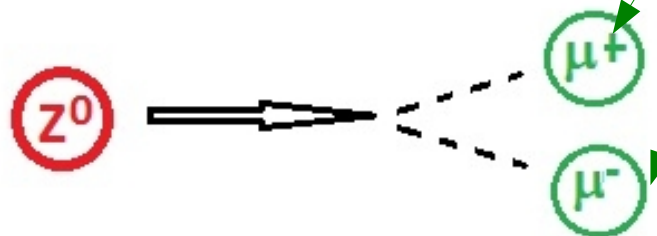
- cząstki W i Z rozpadają się w czasie około 10^{-8} s po utworzeniu
- **w detektorze obserwujemy tylko (niektóre) ich produkty**

rozpadu:

np. $W^- \rightarrow \mu^- \nu$:



lub $Z^0 \rightarrow \mu^- \mu^+$:



- **Cząstki naładowane - obserwujemy ich tory**
- **Miony: dolatują aż do komór mionowych**
- Neutrino – oddziałują bardzo słabo z materią – nie obserwujemy ich bezpośrednio.

O obecności neutrino wnioskujemy na podstawie bilansu pędu w płaszczyźnie prostopadłej do wiązki – tzw. brakującej energii



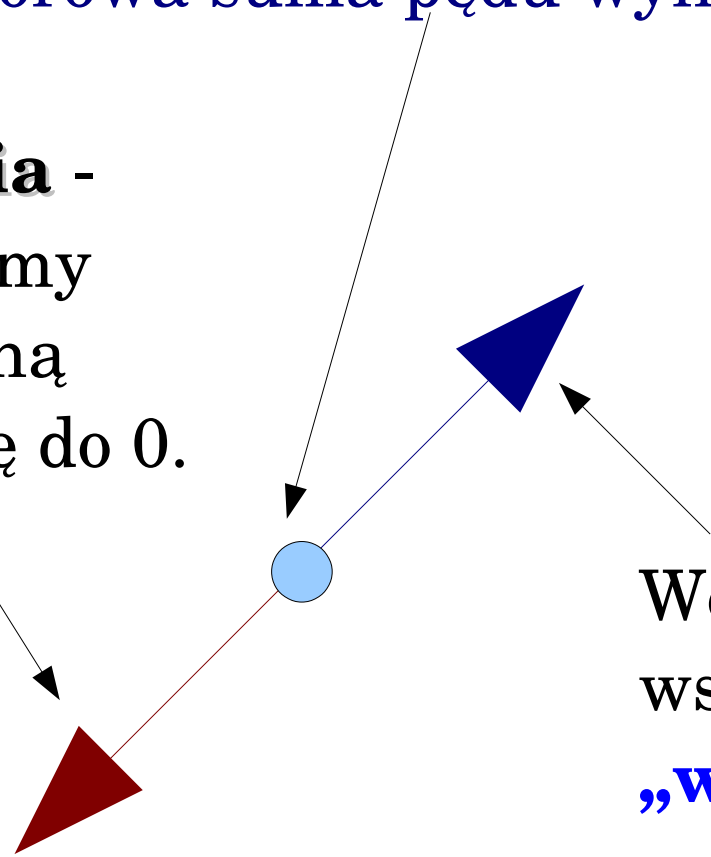
Neutrino



W płaszczyźnie poprzecznej do osi wiązki protonów wektorowa suma pędu wynosi 0.

Brakująca energia - wektor, który musimy dodać, by z widzialną częścią sumował się do 0.

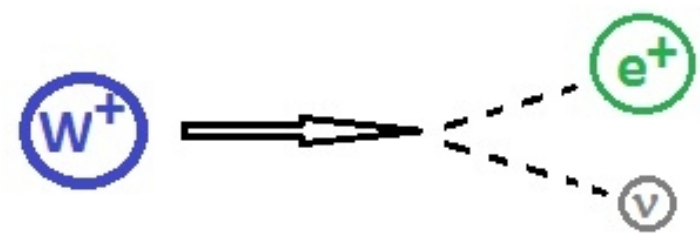
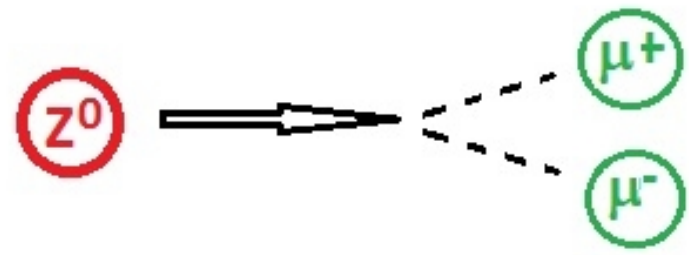
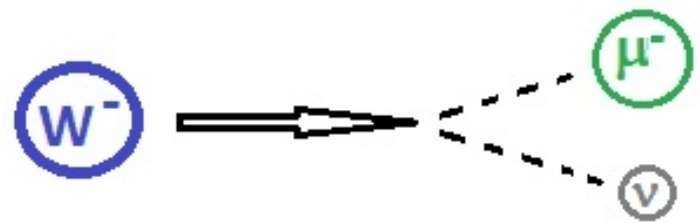
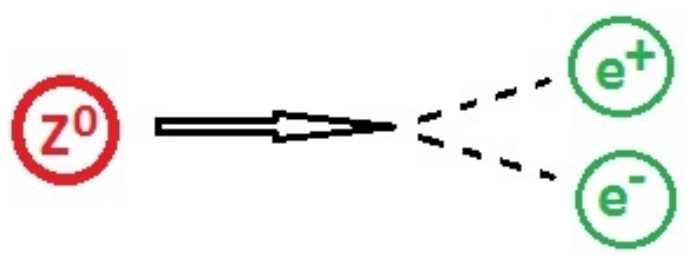
Zakładamy, że **brakująca energia** to **suma pędu neutrin**



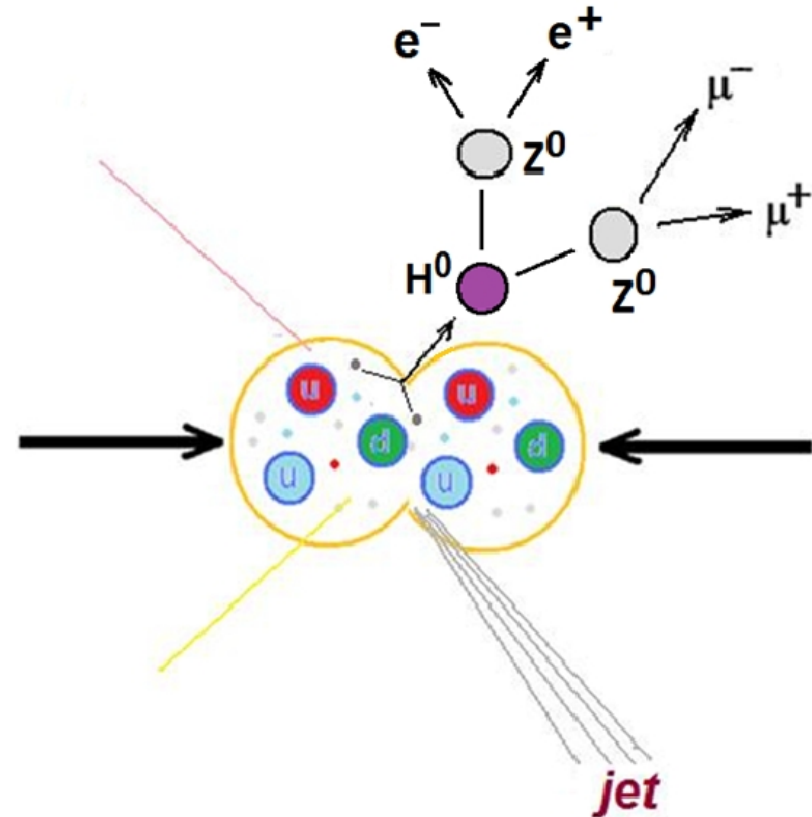
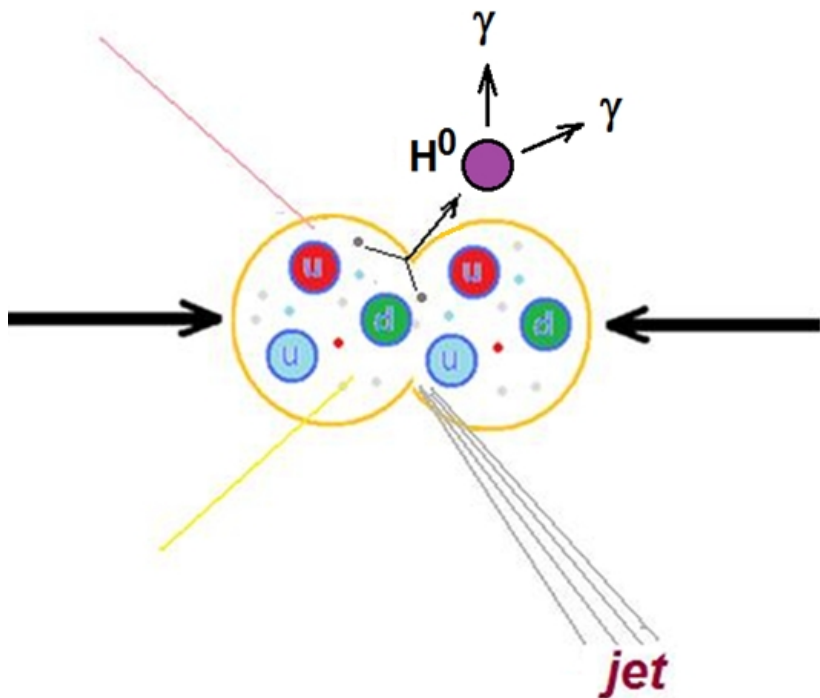
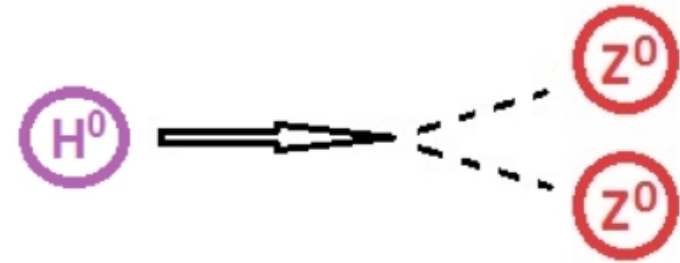
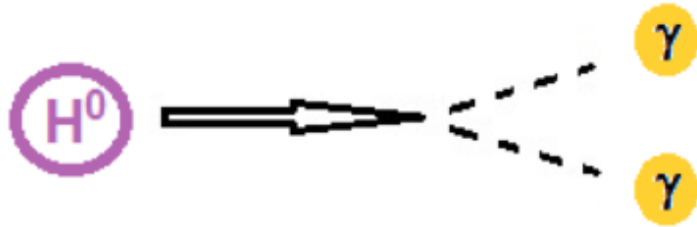
Wektorowa suma pędu wszystkich **„widzialnych”** cząstek, którą mierzymy w detektorze

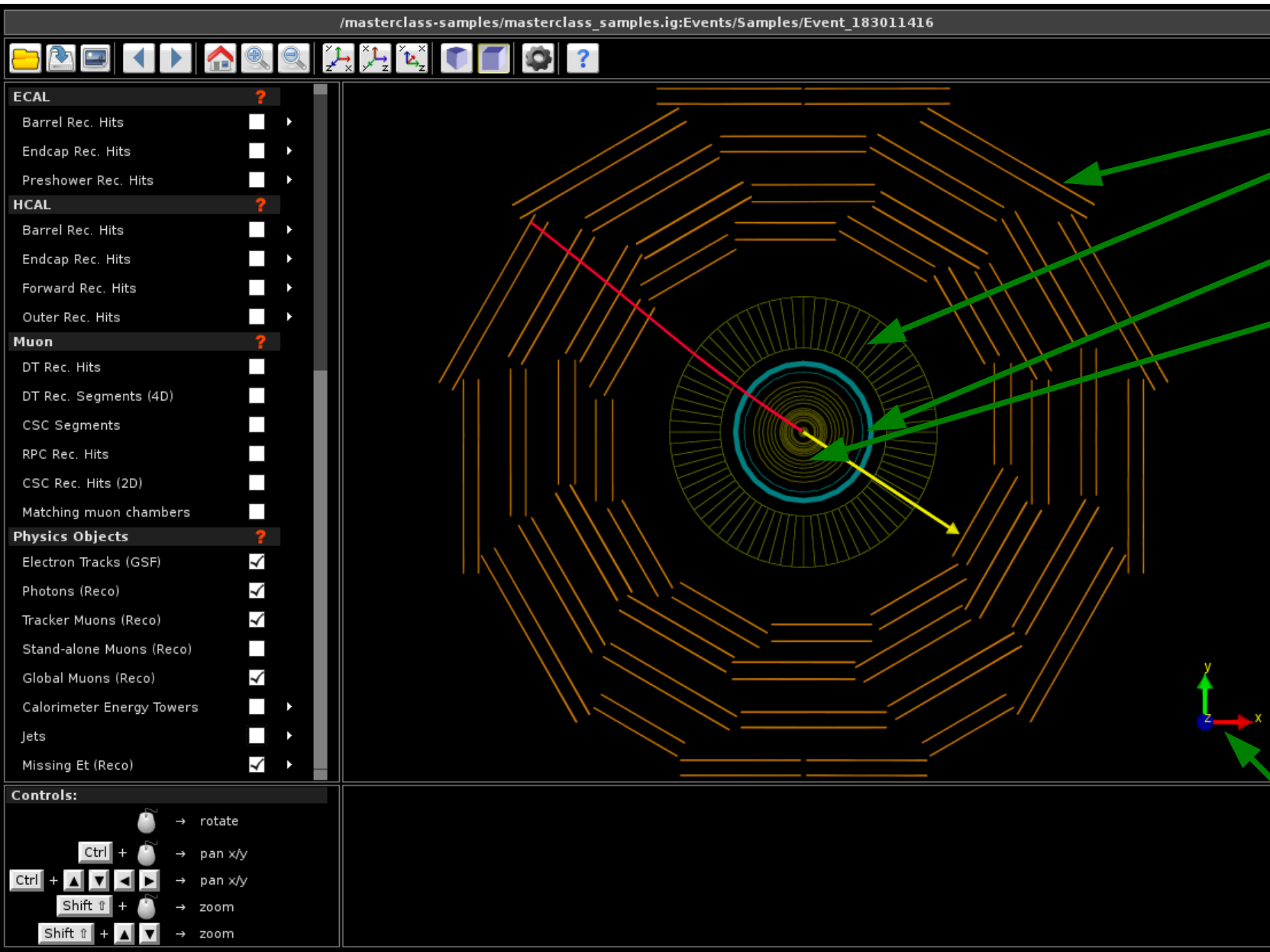


Rozpady W i Z: podsumowanie



Rozpady H





- Elementy detektora:
- komory mionowe
 - kalorymetr hadronowy
 - kalorymetr elektromagnetyczny
 - detektor śladowy

Rzut X-Y: w płaszczyźnie prostopadłej do osi wiązki



ISpy - wizualizacja



/masterclass-samples/masterclass_samples.ig:Events/Samples/Event_183011416

Detector Model

- Tracker Barrels
- Tracker Endcaps
- ECAL Barrel
- ECAL Endcaps
- ECAL Preshowers
- HCAL Barrel
- HCAL Endcaps
- HCAL Outer
- HCAL Forward
- Drift Tubes (muon)
- Cathode Strip Chambers (muon)
- Resistive Plate Chambers (muon)

Tracking

- Tracks (reco.)
- Clusters (Si Pixels)
- Clusters (Si Strips)
- Rec. Hits (Tracking)

ECAL

- Barrel Rec. Hits
- Endcap Rec. Hits
- Preshower Rec. Hits

HCAL

- Barrel Rec. Hits
- Endcap Rec. Hits

Controls:

- rotate
- Ctrl** + → pan x/y
- Ctrl** + → pan x/y
- Shift** + → zoom
- Shift** + → zoom

Obiekty fizyczne:

- brakująca energia
- mion

Rzut X-Z: w płaszczyźnie wiązki



ISpy - wizualizacja



/masterclass-samples/masterclass_samples.ig:Events/Samples/Event_183011416

Detector Model

- Tracker Barrels
- Tracker Endcaps
- ECAL Barrel
- ECAL Endcaps
- ECAL Preshowers
- HCAL Barrel
- HCAL Endcaps
- HCAL Outer
- HCAL Forward
- Drift Tubes (muon)
- Cathode Strip Chambers (muon)
- Resistive Plate Chambers (muon)

Tracking

- Tracks (reco.)
- Clusters (Si Pixels)
- Clusters (Si Strips)
- Rec. Hits (Tracking)

ECAL

- Barrel Rec. Hits
- Endcap Rec. Hits
- Preshower Rec. Hits

HCAL

- Barrel Rec. Hits
- Endcap Rec. Hits

Controls:

- rotate
- Ctrl** + → pan x/y
- Ctrl** + → pan x/y
- Shift** + → zoom
- Shift** + → zoom

**Mamy jeden mion i brakującą energię.
Co to za przypadek?**

W? Z? H?



ISpy - wizualizacja



/masterclass-samples/masterclass_samples.ig:Events/Samples/Event_44208170

ECAL ?

- Barrel Rec. Hits
- Endcap Rec. Hits
- Preshower Rec. Hits

HCAL ?

- Barrel Rec. Hits
- Endcap Rec. Hits
- Forward Rec. Hits
- Outer Rec. Hits

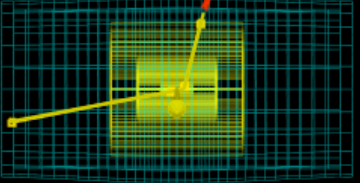
Muon ?

- DT Rec. Hits
- DT Rec. Segments (4D)
- CSC Segments
- RPC Rec. Hits
- CSC Rec. Hits (2D)

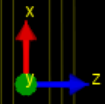
Physics Objects ?

- Electron Tracks (GSF)
- Photons (Reco)
- Tracker Muons (Reco)
- Stand-alone Muons (Reco)
- Global Muons (Reco)
- Calorimeter Energy Towers
- Jets
- Missing Et (Reco)

Mamy dwa elektrony.
Co to za przypadek?



W? Z? H?

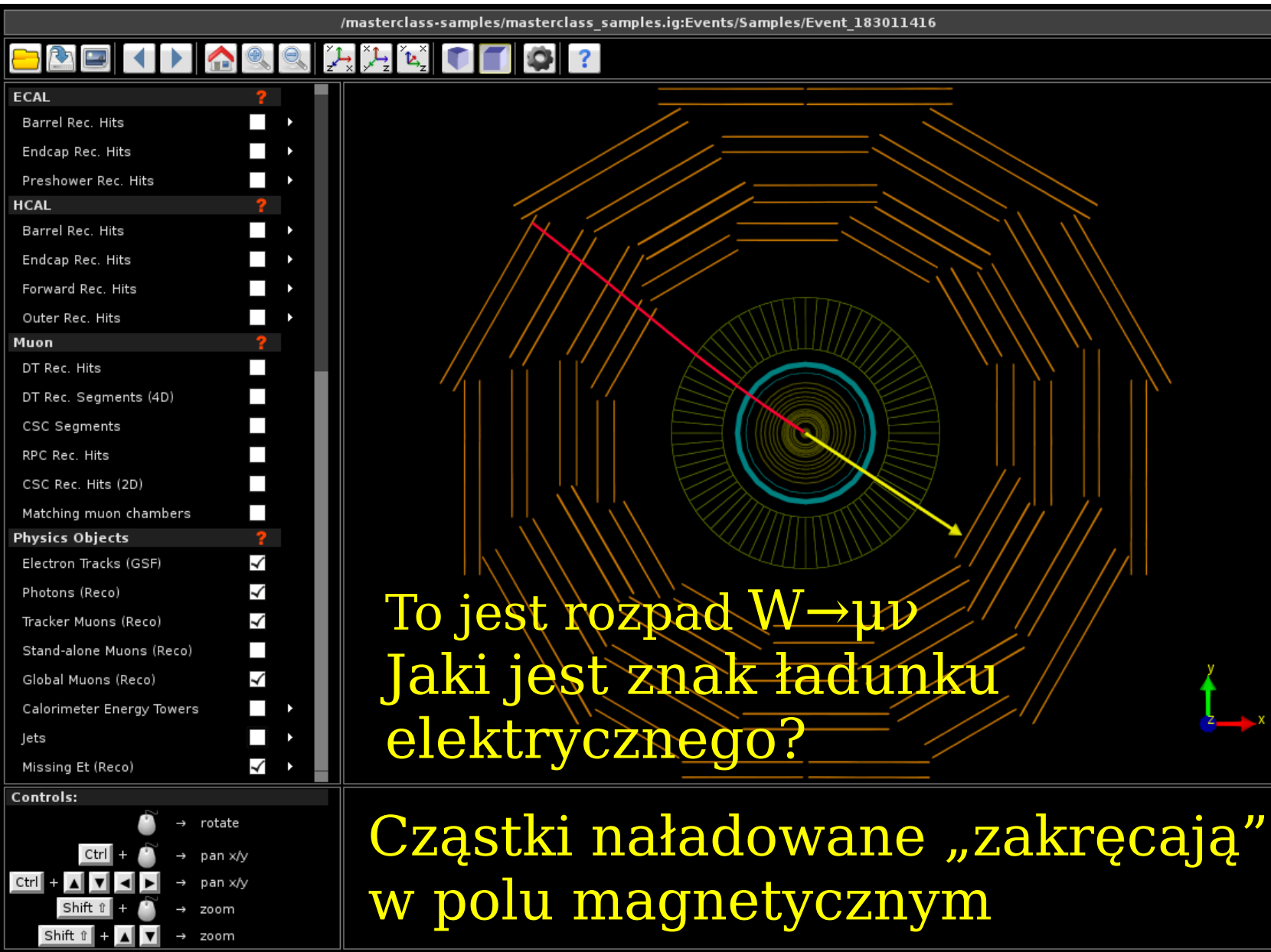


Controls:

- rotate
- Ctrl** + → pan x/y
- Ctrl** + → pan x/y
- Shift** ↑ + → zoom
- Shift** ↑ + → zoom



/masterclass-samples/masterclass_samples.ig:Events/Samples/Event_183011416



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)
- Matching muon chambers

Physics Objects ?

- Electron Tracks (GSF)
- Photons (Reco)
- Tracker Muons (Reco)
- Stand-alone Muons (Reco)
- Global Muons (Reco)
- Calorimeter Energy Towers
- Jets
- Missing Et (Reco)

Controls:

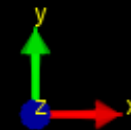
- rotate
- Ctrl + → pan x/y
- Ctrl + → pan x/y
- Shift + → zoom
- Shift + → zoom

To jest rozpad $W \rightarrow \mu\nu$
 Jaki jest znak ładunku elektrycznego?

Cząstki naładowane „zakręcają”
 w polu magnetycznym

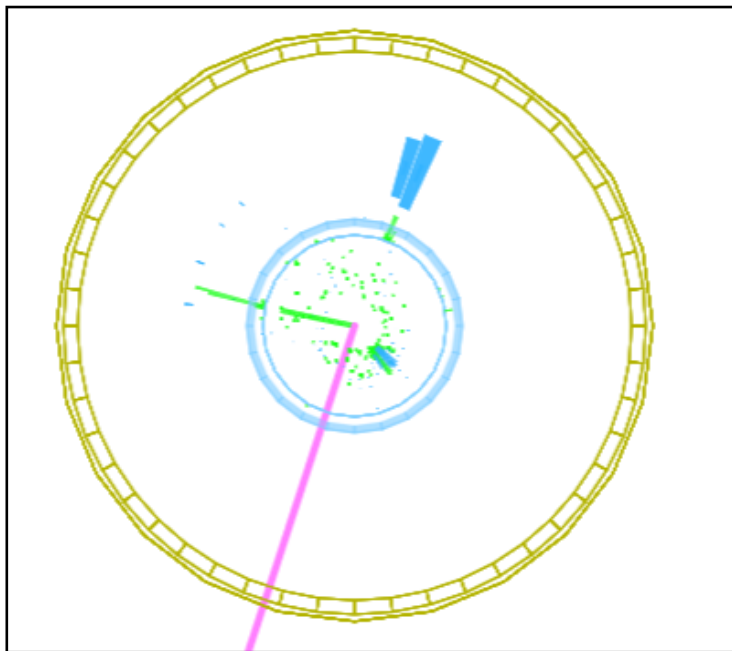
Z ustawienia pola magnetycznego detektora CMS wynika kierunek zakrzywienia torów cząstek:

- zgodnie ze wskazówkami zegara → „+”
- przeciwnie do wskazówek zegara → „-”

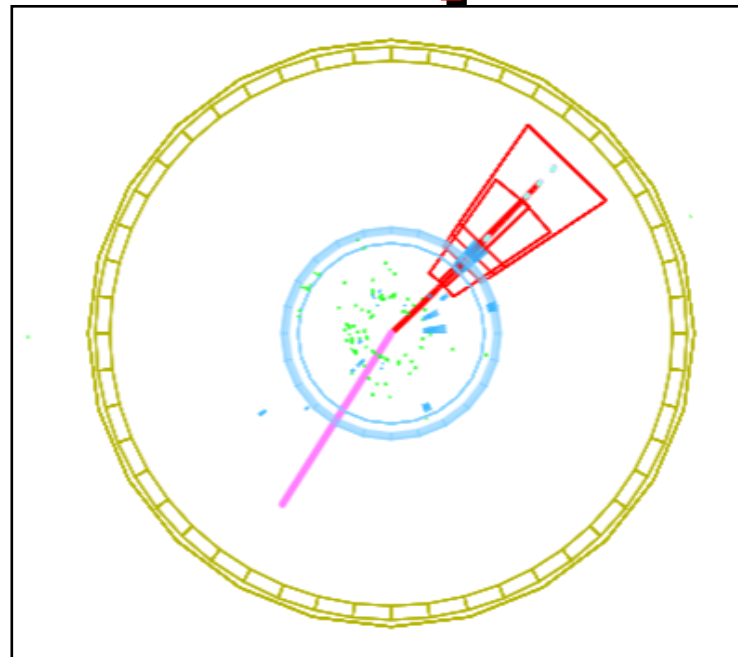


2) Wyznaczenie stosunku liczby przypadków rozpadów $W^{+/-} \rightarrow \mu^{+/-} \nu$ ($Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$) do rozpadów $W^{+/-} \rightarrow e^{+/-} \nu$ ($Z \rightarrow e^+ e^-$): **e/μ**
(Model teoretyczny dokładnie przewiduje jak często bozony rozpadają się na miony a jak często na elektrony. Możemy sprawdzić te przewidywania.)

$W^{+/-} \rightarrow e^{+/-} \nu$



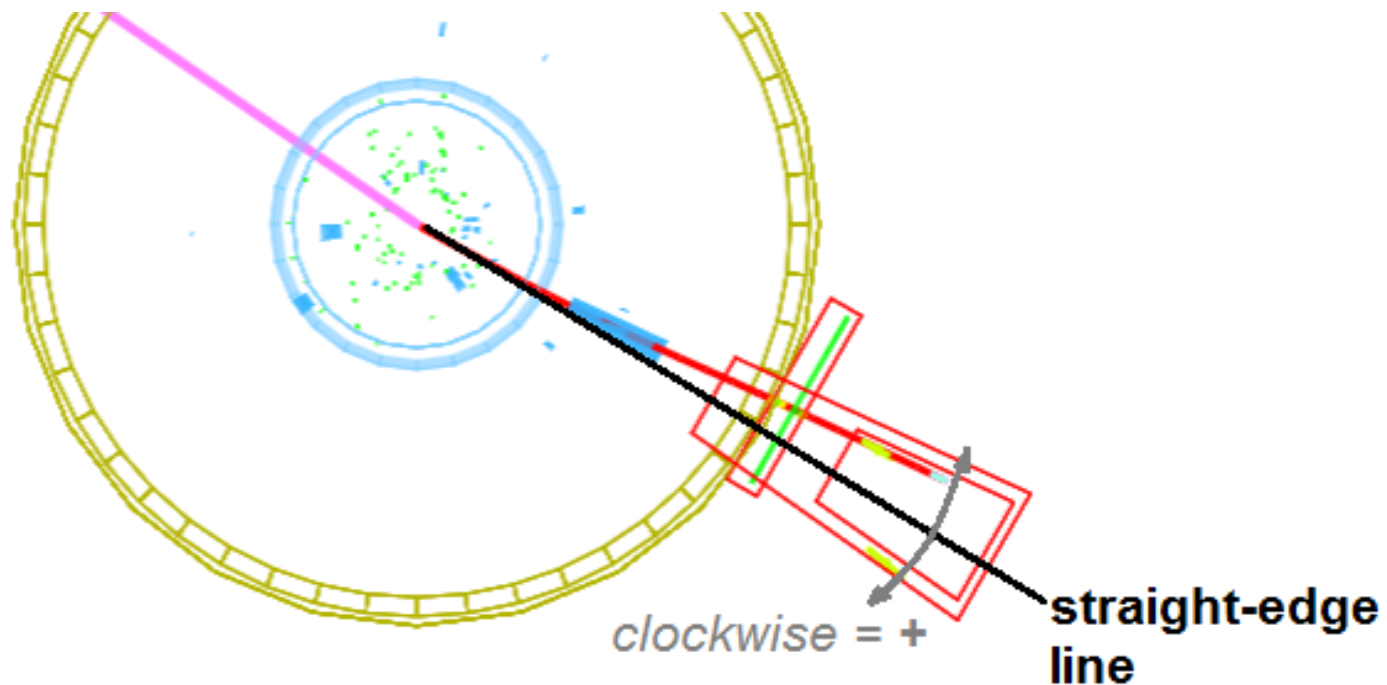
$W^{+/-} \rightarrow \mu^{+/-} \nu$



Zadanie badawcze 3

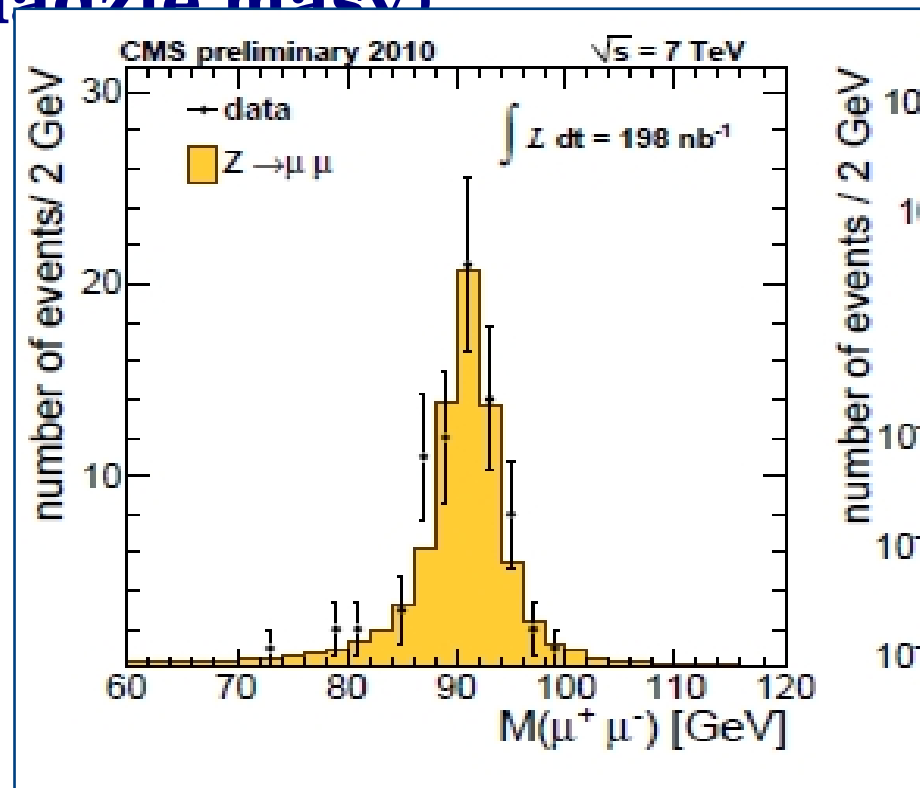
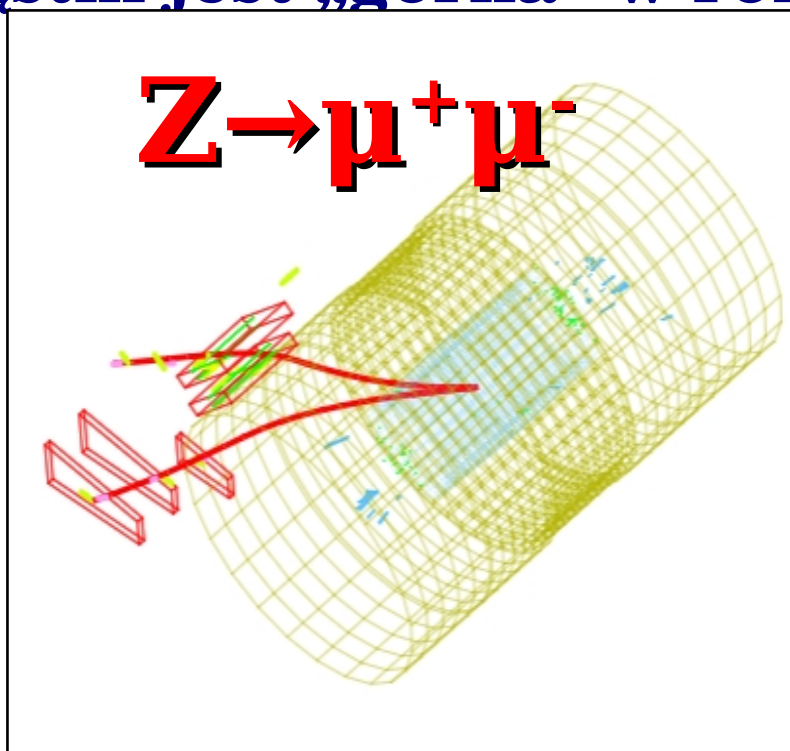
3) Wyznaczenie stosunku liczby przypadków W^+ do W^- : **W^+/W^-**

(Zderzamy ze sobą dwa protony - ładunek początkowy to +2. Czy bozony o ładunku „+” będą się pojawiały tak samo często jak te o ładunku „-”?)

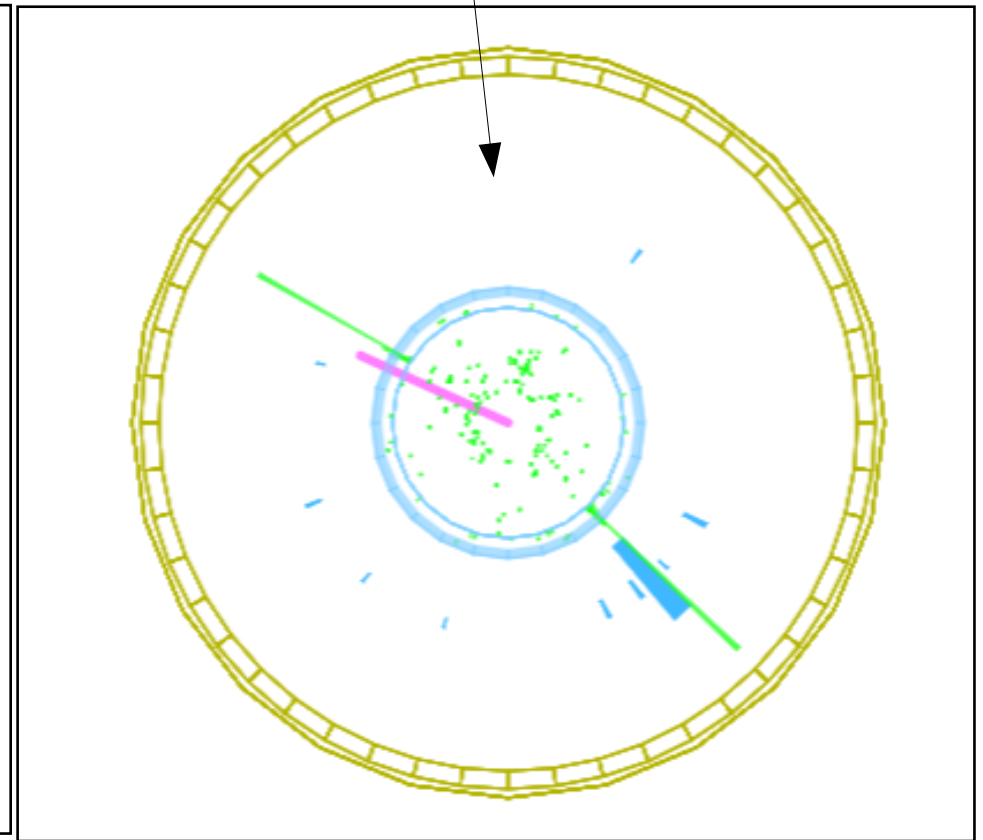
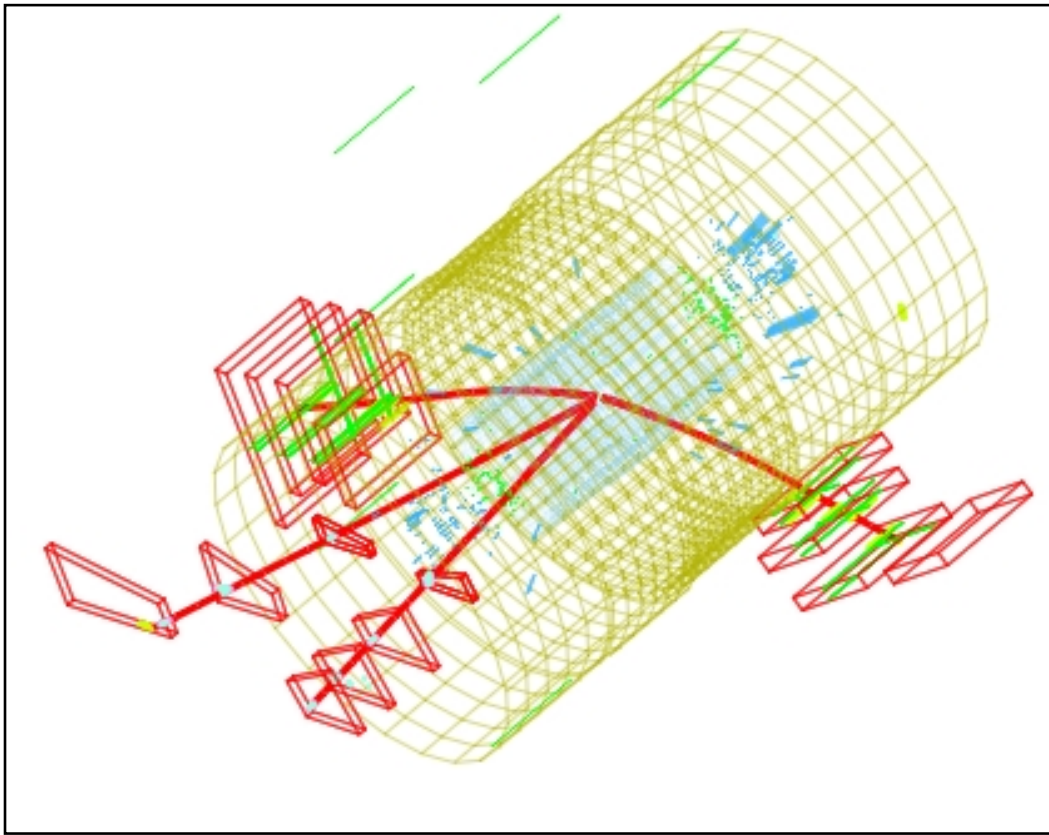


4) Utworzenie rozkładu masy dla przypadków zidentyfikowanych jako produkcja i rozpad bozonu Z lub pary bozonów Z

(Analiza rozkładu masy jest podstawowym sposobem poszukiwania nowych cząstek. Objawem obecności nowej cząstki jest „górką” w rozkładzie masy)



5) Znaleźć rzadkie rozpady: **H** \rightarrow **Z Z** lub **H** \rightarrow **2 fotony**





Zadania badawcze: podsumowanie



- 1) Identyfikacja: bozon W, Z, Higgs lub tło = „zoo”
- 2) Bozon W i Z : identyfikacja kanału rozpadu: elektronowy lub mionowy
- 3) Bozon W: identyfikacja ładunku: „+” lub „-”
- 4) Bozon Z (lub dwa bozony Z): wyznaczenie masy
- 5) Bozon H (Czy uda się go nam zaobserwować ?)



Rejestracja wyników



CIMA
CMS Instrument for Masterclass Analysis

Choose your Masterclass

test
Test2
31Jan2015

Choose your location

Buffalo
MexicoCity
Quito

Choose your group

6
7
8
9
10

Choose the date of your masterclass, the institute, and your dataset.

Dla przypadków Z lub H wartość masy pojawia się automatycznie

Back Events Table (Group 6) Mass Histogram (T6) Results (T6)

Masterclass: test
location: T6
Group: 6

Instructions (also available as [screencast](#)):
For each event, choose primary and final state. For Higgs or Zoo candidate, no final state is chosen. If you cannot decide between W+ and W-, choose W instead. If you have selected everything, click "Submit". If a mass shows up (for Z or Higgs), enter it by hand in the mass histogram after you clicked "Submit". In the case of an error, double clicking the data line will reload it; you can then try it again.

Event index:

Event number: 6-7

final state

Electron
 Muon

primary

W-
 W+

special

Z
 Higgs
 Zoo

Mass:

Submit

Event index	Event number	Chosen Values	Mass
6	6-6	e;W-	
5	6-5	Z;mu	124.444
4	6-4	H	8.609
3	6-3	Zoo	
2	6-2	mu;W+	
1	6-1	e;Z	75.868

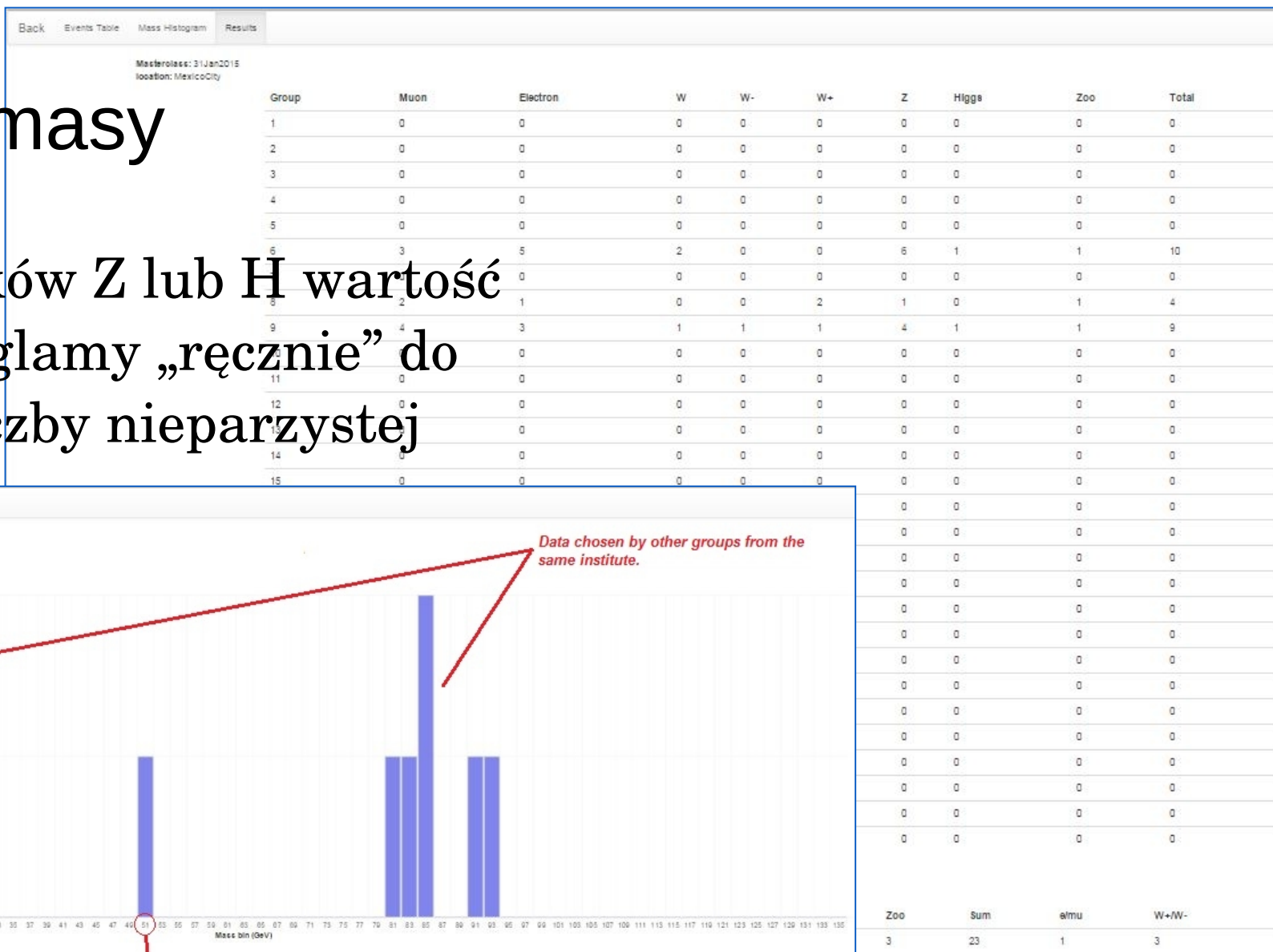


Rejestracja wyników



Wyniki Rozkład masy

Dla przypadków Z lub H wartość masy zaokrąglamy „ręcznie” do najbliższej liczby nieparzystej





- Każda para do przeanalizowania 100 przypadków.

Do dzieła!

DETEKTOR CMS

Masa całkowita : 14 000 ton
Średnica : 15 m
Długość : 28.7 m
Pole magnetyczne : 3.8 T

JARZMO ZWROTNE
12 500 ton

DETEKTORY ŚLADOWE

Pikselowy (100x50 μm) ~16 m² ~ 66 M kanałów
Paskowy (80x180 μm) ~200 m² ~ 9.6 M kanałów

NADPRZEWODZĄCY SOLENOID

Cewka z niobku tytanu zasilana ~18 000 A

KOMORY MIONOWE

Beczka: 250 komór DT, 480 komór RPC
Pokrywy: 468 komór CSC, 432 komory RPC

PRESHOWER

Paski krzemowe ~16 m²
~137 000 kanałów

KALORYMETR PRZEDNI

Stal + włókna kwarcowe
~ 2000 kanałów

KALORYMETR ELEKTROMAGNETYCZNY

~76 000 kryształów PbWO₄

KALORYMETR HADRONOWY

Mosiądz + plastikowy scyntylator
~ 7000 kanałów

