

CMS Experiment at the LHC, CERN

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

Run/Event: 167675/876658967



# **Master Classes 2013**

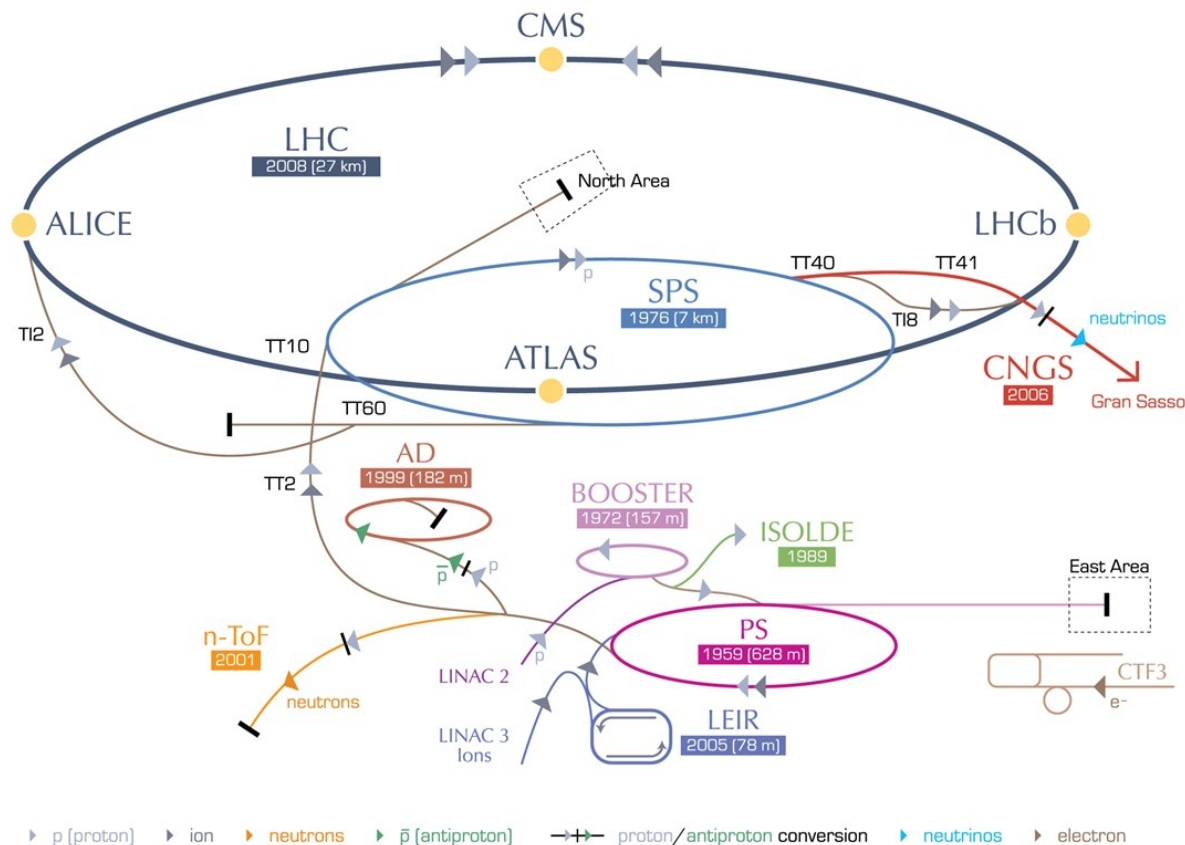
## **Bozony W i Z w danych zebranych przez eksperyment CMS**



# Wielki Zderzacz Hadronów



## CERN's accelerator complex

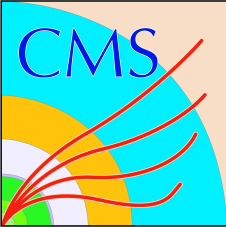


LHC Large Hadron Collider SPS Super Proton Synchrotron PS Proton Synchrotron  
 AD Antiproton Decelerator CTF3 Clic Test Facility CNGS Cern Neutrinos to Gran Sasso ISOLDE Isotope Separator OnLine DEvice  
 LEIR Low Energy Ion Ring LINAC LINear ACcelerator n-ToF Neutrons Time Of Flight



European Organization for Nuclear Research | Organisation européenne pour la recherche nucléaire

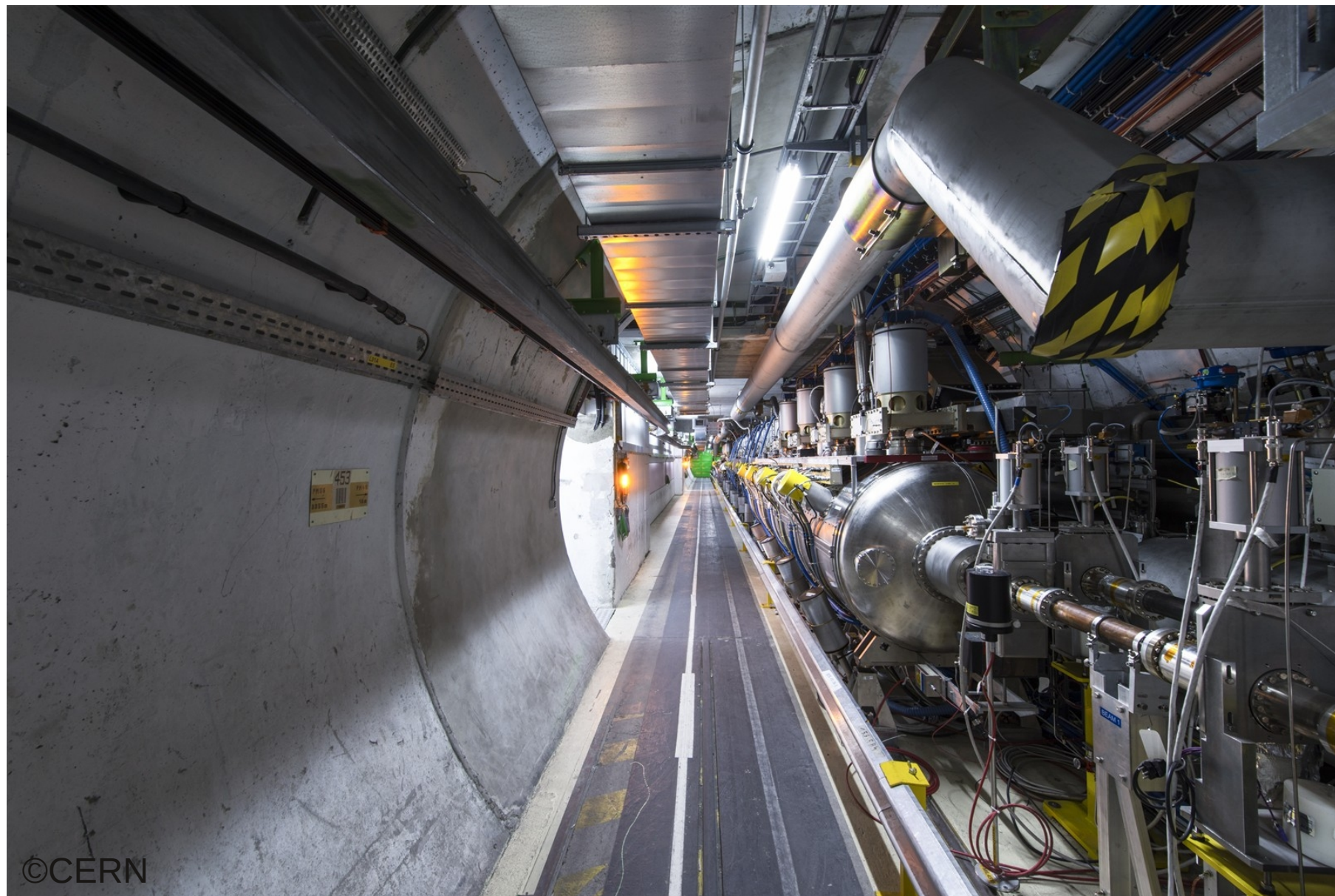
© CERN 2008



# Wielki Zderzacz Hadronów







# 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 ( $100 \times 50 \mu\text{m}$ )  $\sim 16 \text{ m}^2 \sim 66 \text{ M}$  kanałów  
Paskowy ( $80 \times 180 \mu\text{m}$ )  $\sim 200 \text{ m}^2 \sim 9.6 \text{ M}$  kanałów

## NADPRZEWODZĄCY SOLENOID

Cewka z niobku tytanu zasilana  $\sim 18\,000 \text{ A}$

## KOMORY MIONOWE

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

## PRESHOWER

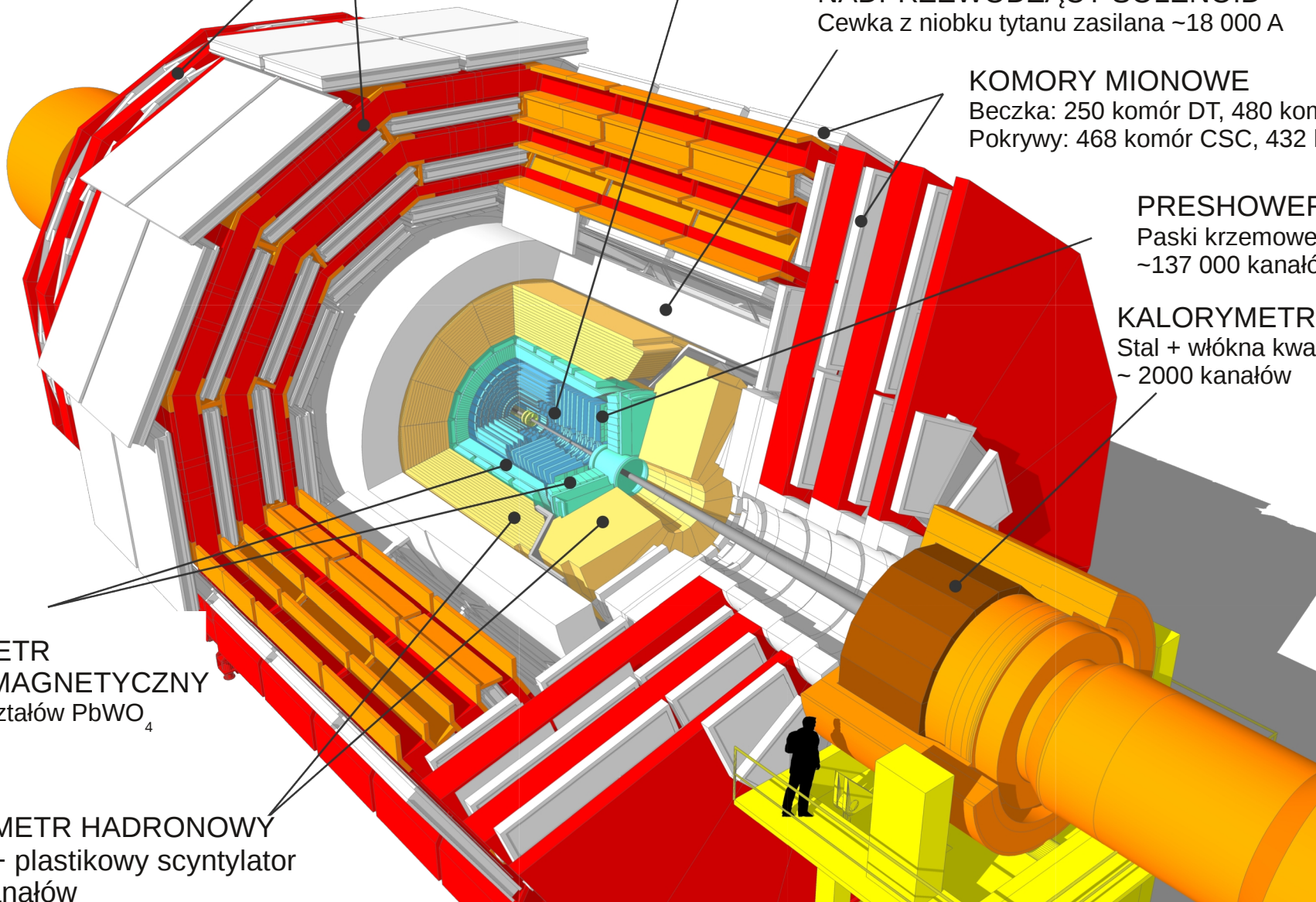
Paski krzemowe  $\sim 16 \text{ m}^2$   
 $\sim 137\,000$  kanałów

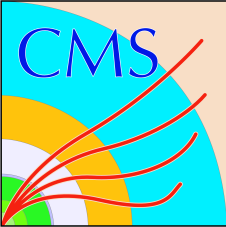
## KALORYMETR PRZEDNI

Stal + włókna kwarcowe  
 $\sim 2000$  kanałów

KALORYMETR  
ELEKTROMAGNETYCZNY  
 $\sim 76\,000$  kryształów  $\text{PbWO}_4$

KALORYMETR HADRONOWY  
Mosiądz + plastikowy scyntylator  
 $\sim 7000$  kanałów

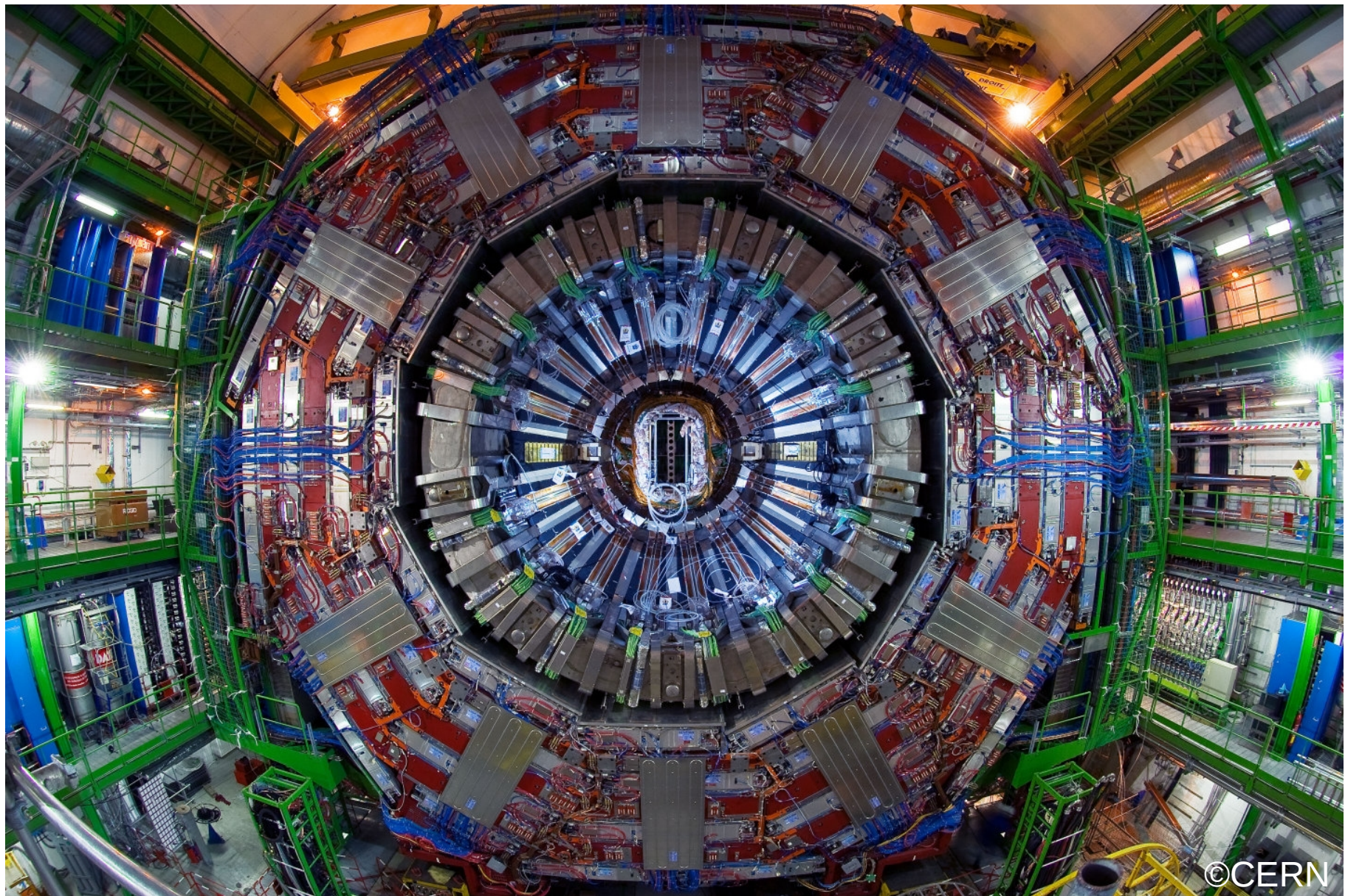




# Pusta hala detektora CMS



©CERN



©CERN



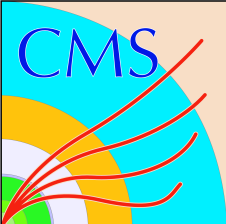
# Podstawowe obiekty



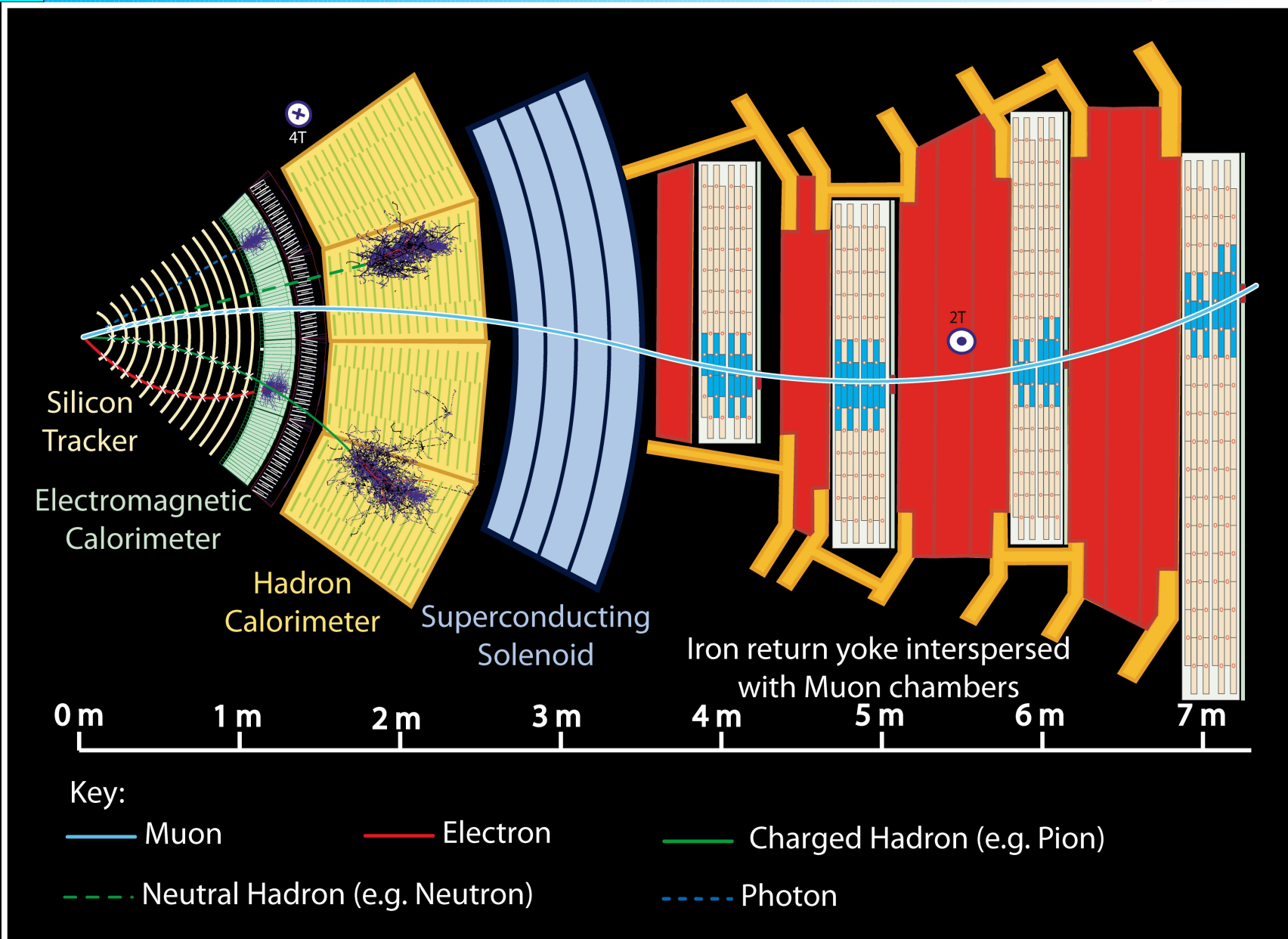
• Korzystając z danych zebranych przez różne elementy detektora CMS możemy zidentyfikować kilka podstawowych typów cząstek które powstały w zderzeniach:

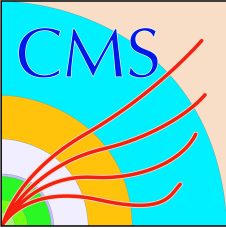
- **Elektrony**
- **Miony**
- **Fotony**
- **Hadrony naładowane** (np. protony)
- **Hadrony neutralne** (np. neutrony)
- **Pośrednio neutrina**

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



# Detektor CMS





# Zadania badawcze



0) 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-antyproton)**

1) Wyznaczenie stosunku liczby przypadków produkcji W do liczby przypadków produkcji Z: **W/Z**  
**(Pomiar stosunków wielkości przewidywanych przez teorię pozwala na jej dokładne testowanie. Często stosunki dwóch liczb można wyznaczyć z mniejszym błędem doświadczalnym niż dla każdej z osobna)**



# Zadania badawcze



2) Wyznaczenie stosunku liczby przypadków rozpadów

$W^{+/-} \rightarrow \mu^{+/-} \nu$  do rozpadów  $W^{+/-} \rightarrow e^{+/-} \nu$ :  **$e/\mu$**

**(Model teoretyczny dokładnie przewiduje jak często bozony rozpadają się na miony a jak często na elektrony. Możemy sprawdzić te przewidywania.)**

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 „-”?)**



# Zadania badawcze



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)**



# Zadania badawcze: podsumowanie



- 0) Identyfikacja: bozon W, Z lub „tło”
- 1) Obliczenie stosunku W/Z
- 2) Bozon W: identyfikacja kanału rozpadu: elektronowy lub mionowy
- 3) Bozon W: identyfikacja ładunku: „+” lub „-”
- 4) Bozon Z (lub dwa bozony Z): wyznaczenie masy

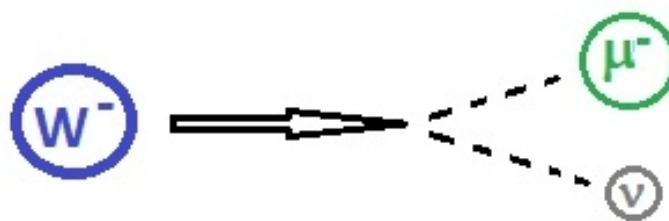


# Rozpady cząstek W i Z

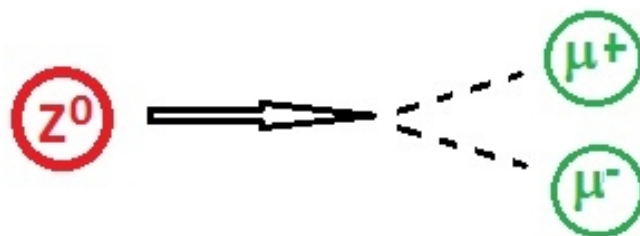


- cząstki W i Z rozpadają się natychmiast po utworzeniu
- **w detektorze obserwujemy tylko (niektóre) ich produkty rozpadu:**

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



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

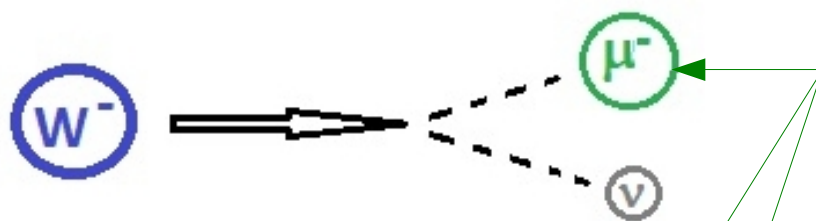


- Cząstki W i Z mogą się rozpadać na wiele sposobów.  
**Dziś nas będą interesowały tylko rozpady**  
 **$Z^0 \rightarrow \mu^- \mu^+$ ,  $Z^0 \rightarrow e^- e^+$ ,  $W \rightarrow \mu \nu$  oraz  $W \rightarrow e \nu$**

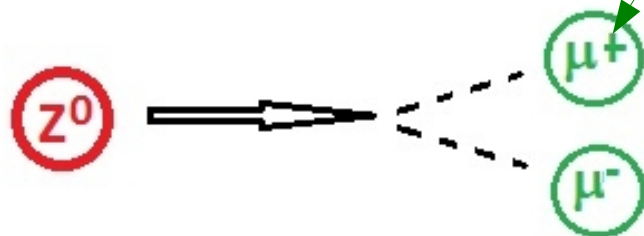
- cząstki W i Z rozpadają się natychmiast po utworzeniu
- **w detektorze obserwujemy tylko (niektóre) ich produkty**

**rozpadu:**

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



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

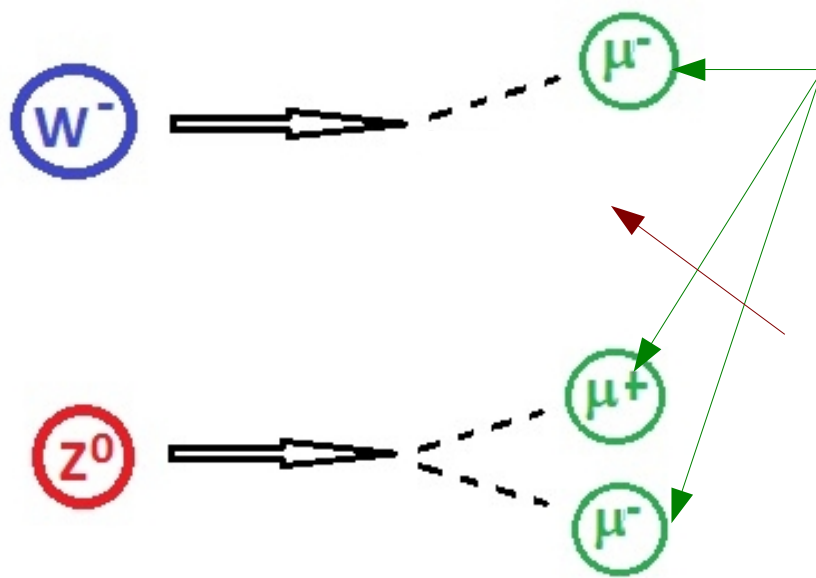


- Cząstki naładowane - obserwujemy ich tory
- Miony: dolatują aż do komór mionowych

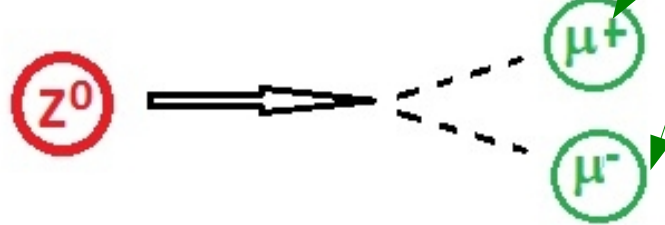
- Cząstki W i Z mogą się rozpadać na wiele sposobów.  
**Dziś nas będą interesowały tylko rozpady**  
 **$Z^0 \rightarrow \mu^- \mu^+$ ,  $Z^0 \rightarrow e^- e^+$ ,  $W \rightarrow \mu \nu$  oraz  $W \rightarrow e \nu$**

- cząstki W i Z rozpadają się 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 neutrin wnioskujemy na podstawie bilansu pędu w płaszczyźnie prostopadłej wo wiązki – tzw. brakującej energii



# Neutrina

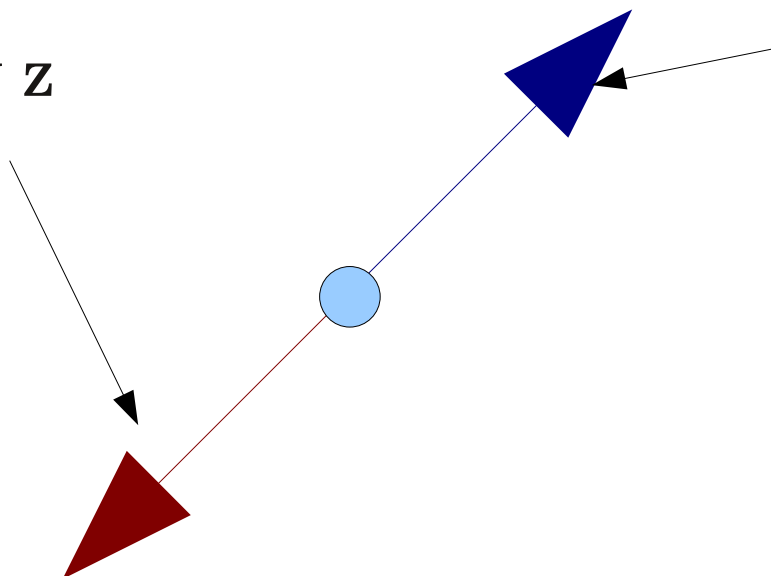


W płaszczyźnie poprzecznej do osi wiązki protonów wektorowa suma pędu wynosi 0.

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

Wektorowa suma pędu wszystkich „widzialnych” cząstek

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

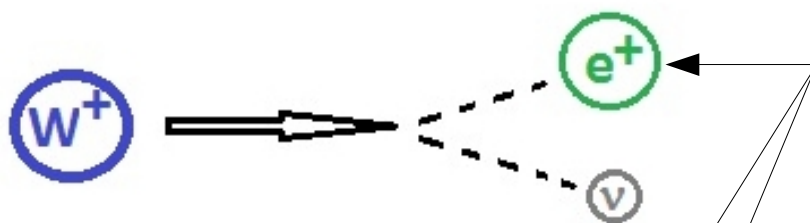




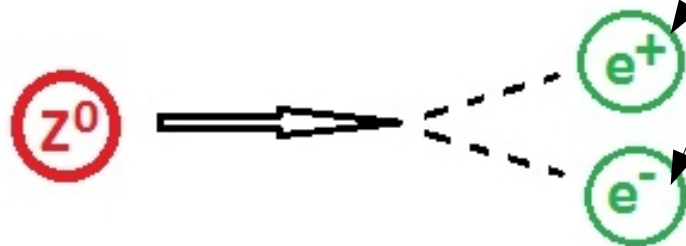
# Rozpady cząstek W i Z



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

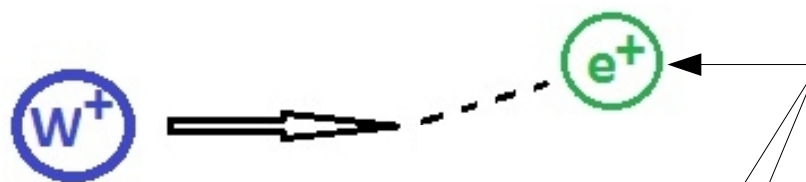


lub  $Z^0 \rightarrow e^- e^+$ :

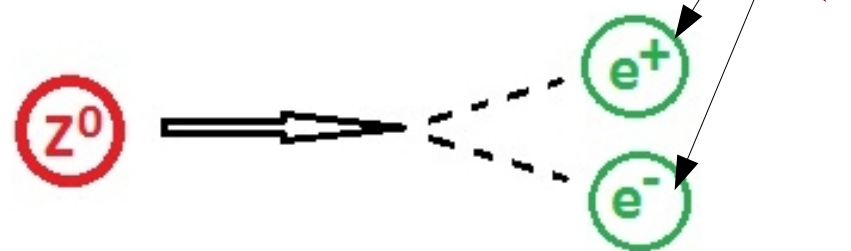


- Cząstki naładowane - obserwujemy ich tory
- Elektrony: zatrzymują się w kalorymetrze elektromagnetycznym i dają tam sygnał

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



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

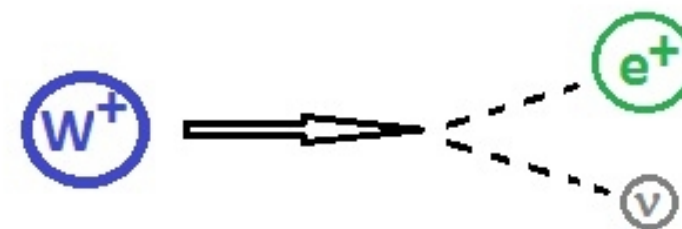
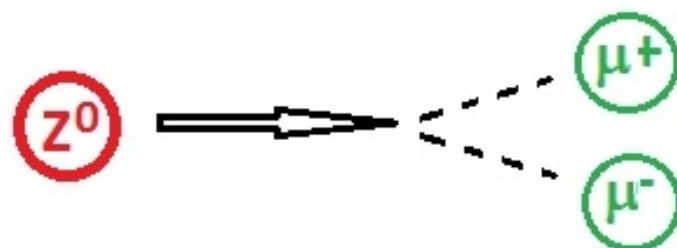
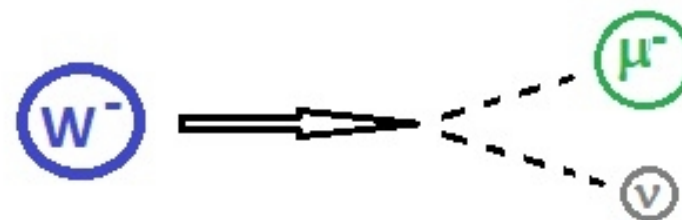
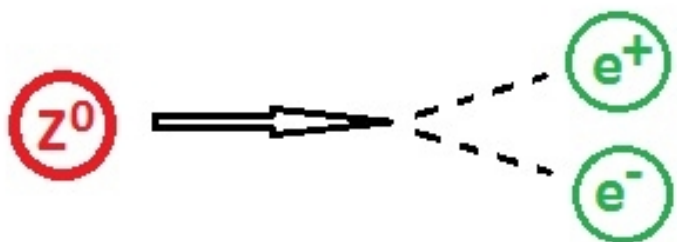


- Cząstki naładowane - obserwujemy ich tory
- Elektrony: zatrzymują się w kalorymetrze elektromagnetycznym i dają tam sygnał
- Neutrino – oddziałują bardzo słabo z materią – nie obserwujemy ich bezpośrednio

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

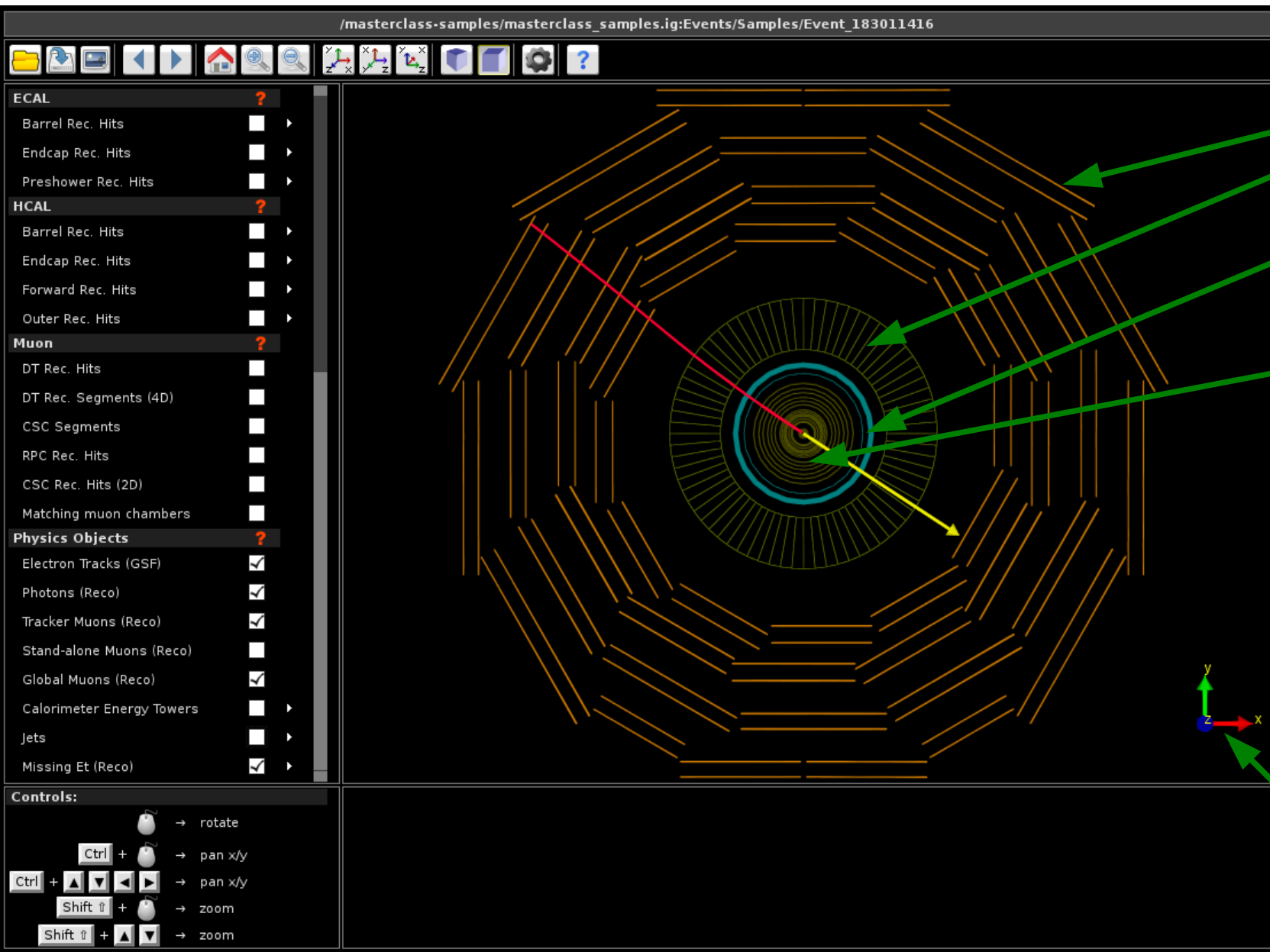


# Rozpady W i Z: podsumowanie





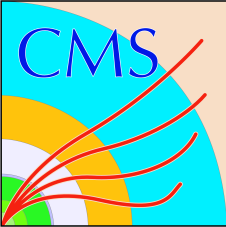
# ISpy - wizualizacja



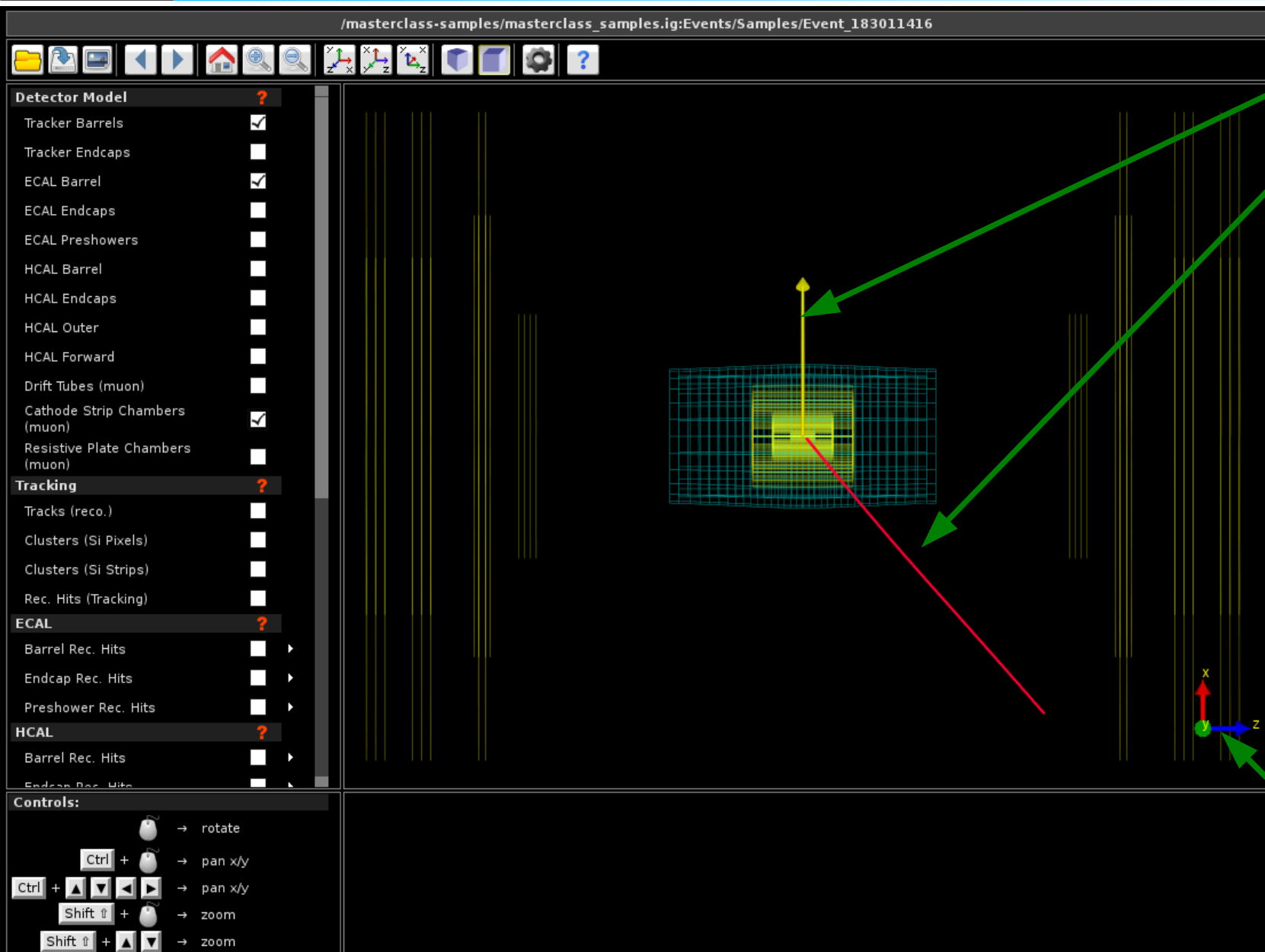
Elementy detektora:

- komory mionowe
- kalorymetr hadronowy
- kalorymetr elektromagnetyczny
- detektor śladowy

Rzut X-Y: w płaszczyźnie prostopadłej do osi wiązki



# ISpy - wizualizacja



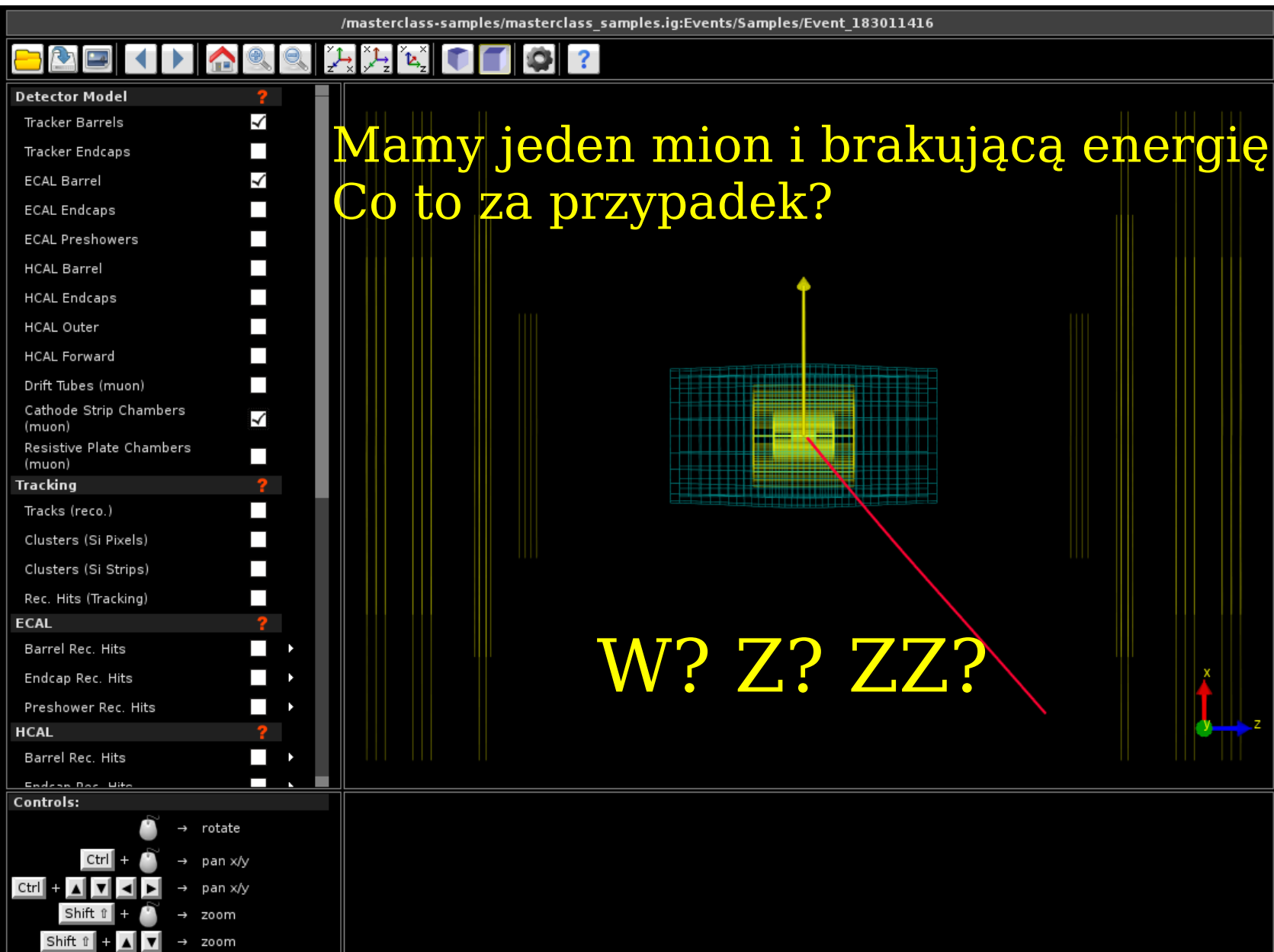
Obiekty fizyczne:

- brakująca energia
- mion

Rzut X-Z: w płaszczyźnie wiązki

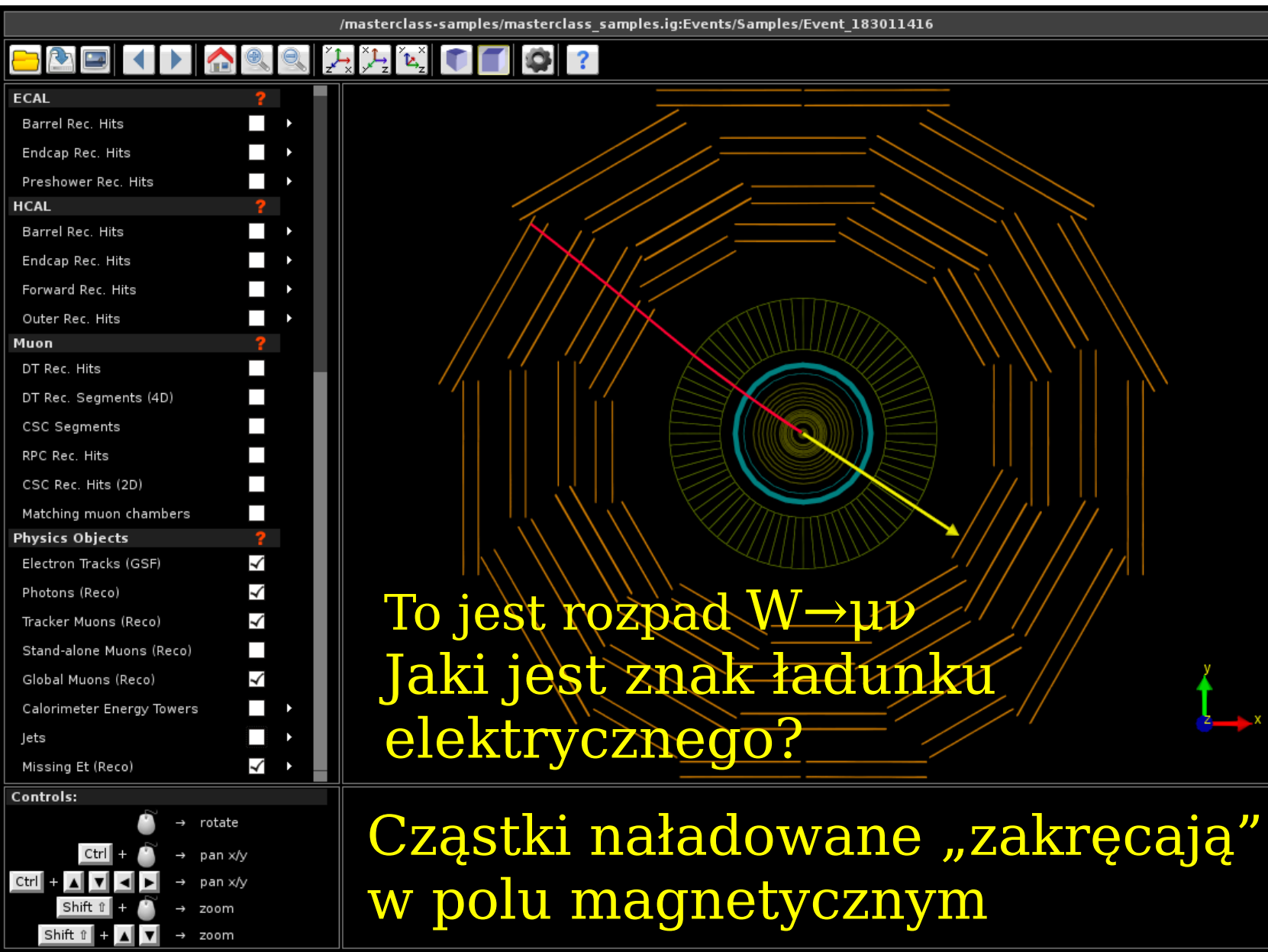


# ISpy - wizualizacja



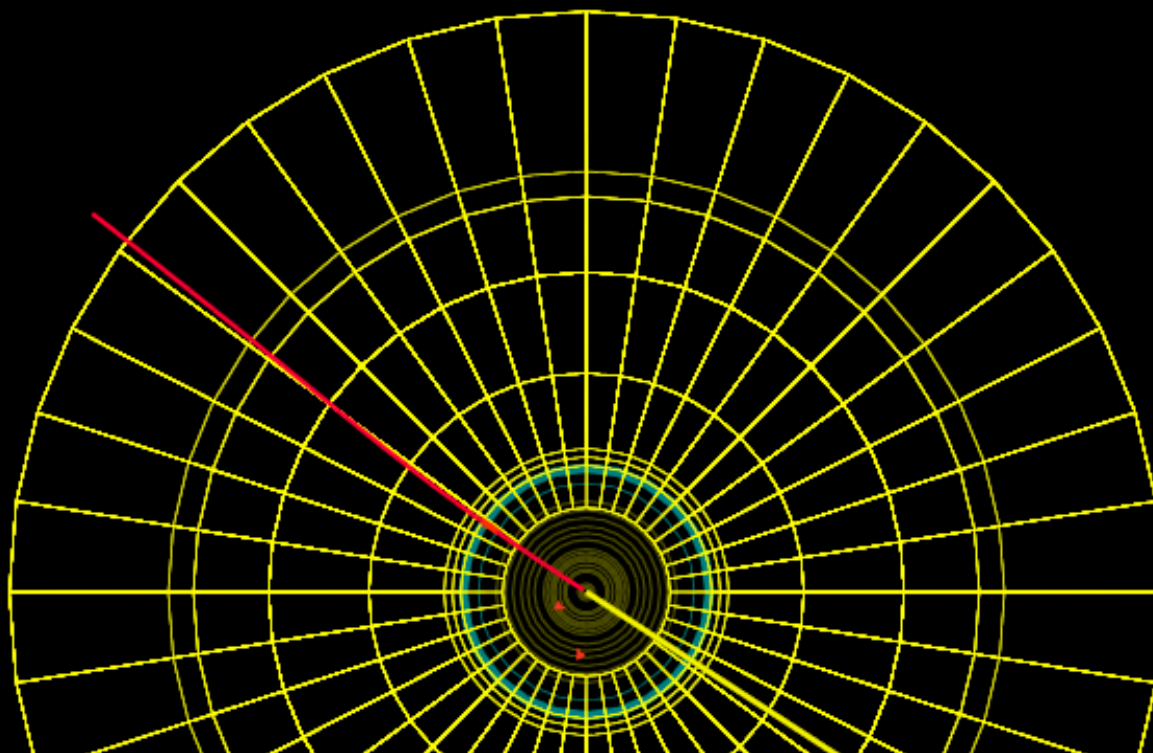


# ISpy - wizualizacja

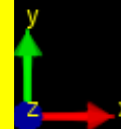


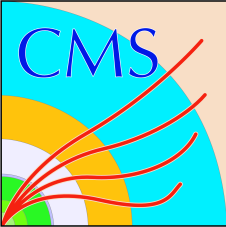


# ISpy - wizualizacja



- Z ustawienia pola magnetycznego detektora CMS wynika kierunek zakrzywienia torów cząstek:
- zgodnie ze wskazówkami zegara  $\rightarrow$  „+”
  - przeciwnie do wskazówek zegara  $\rightarrow$  „-”





# 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) ☒

**Controls:**

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

Mamy dwa elektrony.  
Co to za przypadek?

W? Z? ZZ?



# Rejestracja wyników



Stawiamy „1” w odpowiednim polu

**EditGrid**

Spreadsheet / qnmasterclasses / CMSWZ2012cern1603

File Edit View Format Insert Data Share Publish Collaborate Macro Help

T14 f00

|    | A             | B      | C         | D        | E    | F       | G       | H      | I      | J     | K       | L      | M          |
|----|---------------|--------|-----------|----------|------|---------|---------|--------|--------|-------|---------|--------|------------|
|    | Dataset       | Ord No | Ev No     | electron | muon | W+ cand | W- cand | W cand | Z cand | "zoo" | ZZ cand | Mass   | Mass-->odd |
| 1  | masterclass_1 | 1      | 104488192 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |
| 2  | masterclass_1 | 2      | 104883322 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |
| 3  | masterclass_1 | 3      | 106817913 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |
| 4  | masterclass_1 | 4      | 109019570 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |
| 5  | masterclass_1 | 5      | 110202776 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |
| 6  | masterclass_1 | 6      | 111147144 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |
| 7  | masterclass_1 | 7      | 137440354 |          |      |         |         |        |        |       | 1       | 127.05 |            |
| 8  | masterclass_1 | 8      | 143928422 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |
| 9  | masterclass_1 | 9      | 145942990 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |
| 10 | masterclass_1 | 10     | 149498854 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |
| 11 | masterclass_1 | 11     | 150447432 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |
| 12 | masterclass_1 | 12     | 151909513 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |
| 13 | masterclass_1 | 13     | 152676268 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |
| 14 | masterclass_1 | 14     | 155762440 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |
| 15 | masterclass_1 | 15     | 157942843 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |
| 16 | masterclass_1 | 16     | 169927245 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |
| 17 | masterclass_1 | 17     | 174571372 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |
| 18 | masterclass_1 | 18     | 183011416 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |



# Rejestracja wyników



Dla przypadków Z lub ZZ wartość masy pojawia się automatycznie

## EditGrid

Spreadsheet / qnmasterclasses / CMSWZ2013cern1603

File Edit View Format Insert Data Share Publish Collaborate Macro Help



T14 fwo

|    | A             | B      | C         | D        | E    | F       | G       | H      | I      | J     | K       | L    | M          |
|----|---------------|--------|-----------|----------|------|---------|---------|--------|--------|-------|---------|------|------------|
| 1  | Dataset       | Ord No | Ev No     | electron | muon | W+ cand | W- cand | W cand | Z cand | "zoo" | ZZ cand | Mass | Mass-->odd |
| 2  | masterclass_1 | 1      | 104488192 |          |      |         |         |        |        |       |         |      |            |
| 3  | masterclass_1 | 2      | 104883322 |          |      |         |         |        |        |       |         |      |            |
| 4  | masterclass_1 | 3      | 106817913 |          |      |         |         |        |        |       |         |      |            |
| 5  | masterclass_1 | 4      | 109019570 |          |      |         |         |        |        |       |         |      |            |
| 6  | masterclass_1 | 5      | 110202776 |          |      |         |         |        |        |       |         |      |            |
| 7  | masterclass_1 | 6      | 111147144 |          |      |         |         |        |        |       |         |      |            |
| 8  | masterclass_1 | 7      | 137440354 |          |      |         |         |        |        |       |         |      |            |
| 9  | masterclass_1 | 8      | 143928422 |          |      |         |         |        |        |       |         |      |            |
| 10 | masterclass_1 | 9      | 145942990 |          |      |         |         |        |        |       |         |      |            |
| 11 | masterclass_1 | 10     | 149498854 |          |      |         |         |        |        |       |         |      |            |
| 12 | masterclass_1 | 11     | 150447432 |          |      |         |         |        |        |       |         |      |            |
| 13 | masterclass_1 | 12     | 151909513 |          |      |         |         |        |        |       |         |      |            |
| 14 | masterclass_1 | 13     | 152676268 |          |      |         |         |        |        |       |         |      |            |
| 15 | masterclass_1 | 14     | 155762440 |          |      |         |         |        |        |       |         |      |            |
| 16 | masterclass_1 | 15     | 157942843 |          |      |         |         |        |        |       |         |      |            |
| 17 | masterclass_1 | 16     | 169927245 |          |      |         |         |        |        |       |         |      |            |
| 18 | masterclass_1 | 17     | 174571372 |          |      |         |         |        |        |       |         |      |            |
| 19 | masterclass_1 | 18     | 183011416 |          |      |         |         |        |        |       |         |      |            |



# Rejestracja wyników



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

EditGrid

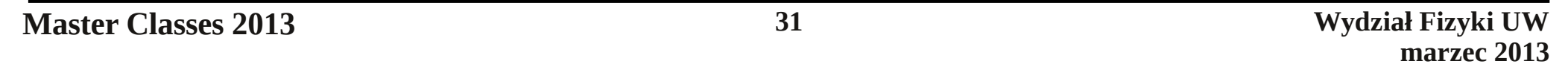
Spreadsheet / qnmasterclasses / CMSWZ2013cern1603

File Edit View Format Insert Data Share Publish Collaborate Macro Help

M8  $f_{\infty}$  127

|    | A             | B      | C         | D        | E    | F       | G       | H      | I      | J     | K       | L      | M          | N | O | P |
|----|---------------|--------|-----------|----------|------|---------|---------|--------|--------|-------|---------|--------|------------|---|---|---|
| 1  | Dataset       | Ord No | Ev No     | electron | muon | W+ cand | W- cand | W cand | Z cand | "zoo" | ZZ cand | Mass   | Mass-->odd |   |   |   |
| 2  | masterclass_1 | 1      | 104488192 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |   |   |   |
| 3  | masterclass_1 | 2      | 104883322 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |   |   |   |
| 4  | masterclass_1 | 3      | 106817913 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |   |   |   |
| 5  | masterclass_1 | 4      | 109019570 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |   |   |   |
| 6  | masterclass_1 | 5      | 110202776 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |   |   |   |
| 7  | masterclass_1 | 6      | 111147144 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |   |   |   |
| 8  | masterclass_1 | 7      | 137440354 |          |      |         |         |        |        |       | 1       | 127.05 | 127        |   |   |   |
| 9  | masterclass_1 | 8      | 143928422 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |   |   |   |
| 10 | masterclass_1 | 9      | 145942990 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |   |   |   |
| 11 | masterclass_1 | 10     | 149498854 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |   |   |   |
| 12 | masterclass_1 | 11     | 150447432 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |   |   |   |
| 13 | masterclass_1 | 12     | 151909513 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |   |   |   |
| 14 | masterclass_1 | 13     | 152676268 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |   |   |   |
| 15 | masterclass_1 | 14     | 155762440 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |   |   |   |
| 16 | masterclass_1 | 15     | 157942843 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |   |   |   |
| 17 | masterclass_1 | 16     | 169927245 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |   |   |   |
| 18 | masterclass_1 | 17     | 174571372 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |   |   |   |
| 19 | masterclass_1 | 18     | 183011416 |          |      |         |         |        |        |       |         |        |            |   |   |   |

<-- enter in massplot tab





- Każda para ma do przeanalizowania 100 przypadków.
- Najpóźniej o 15:00 kończymy analizę i podsumowujemy wyniki

# Do dzieła!