

CMS Experiment at the LHC, CERN

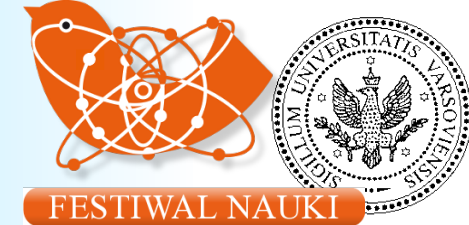
Data recorded: 2011-Jun-25 06:34:20.986785 GMT(08:34:20 CEST)

Run/Event: 167675/876658967

Analiza danych z Wielkiego Zderzacza Hadronów, czyli jak wyglądają bozony



Plan dnia



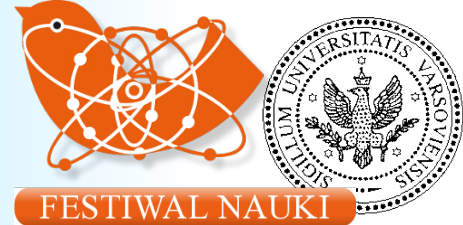
1) Wykład: wprowadzenie do fizyki cząstek – 45 '

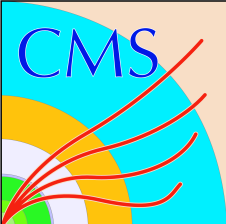
2) Przerwa i czas na dyskusję – 15 '

3) Zajęcia przy komputerach – 60'

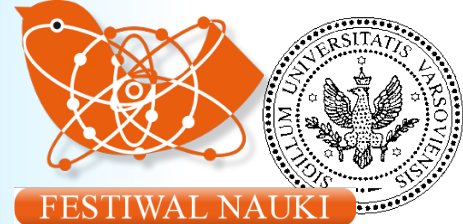


CERN: Europejska Organizacja Badań Jądrowych



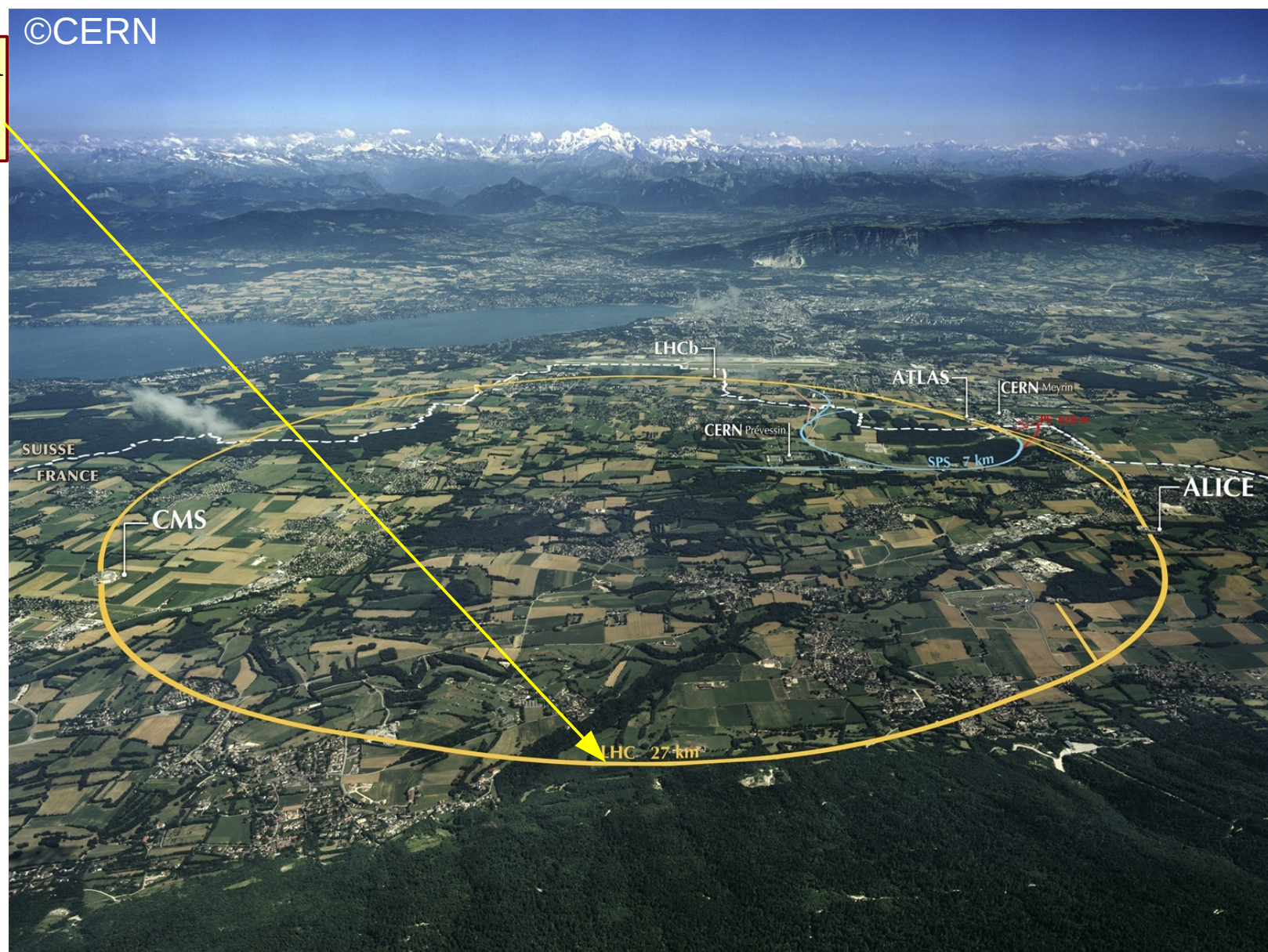


CERN i LHC



27 km tunel, 100 m
pod ziemią

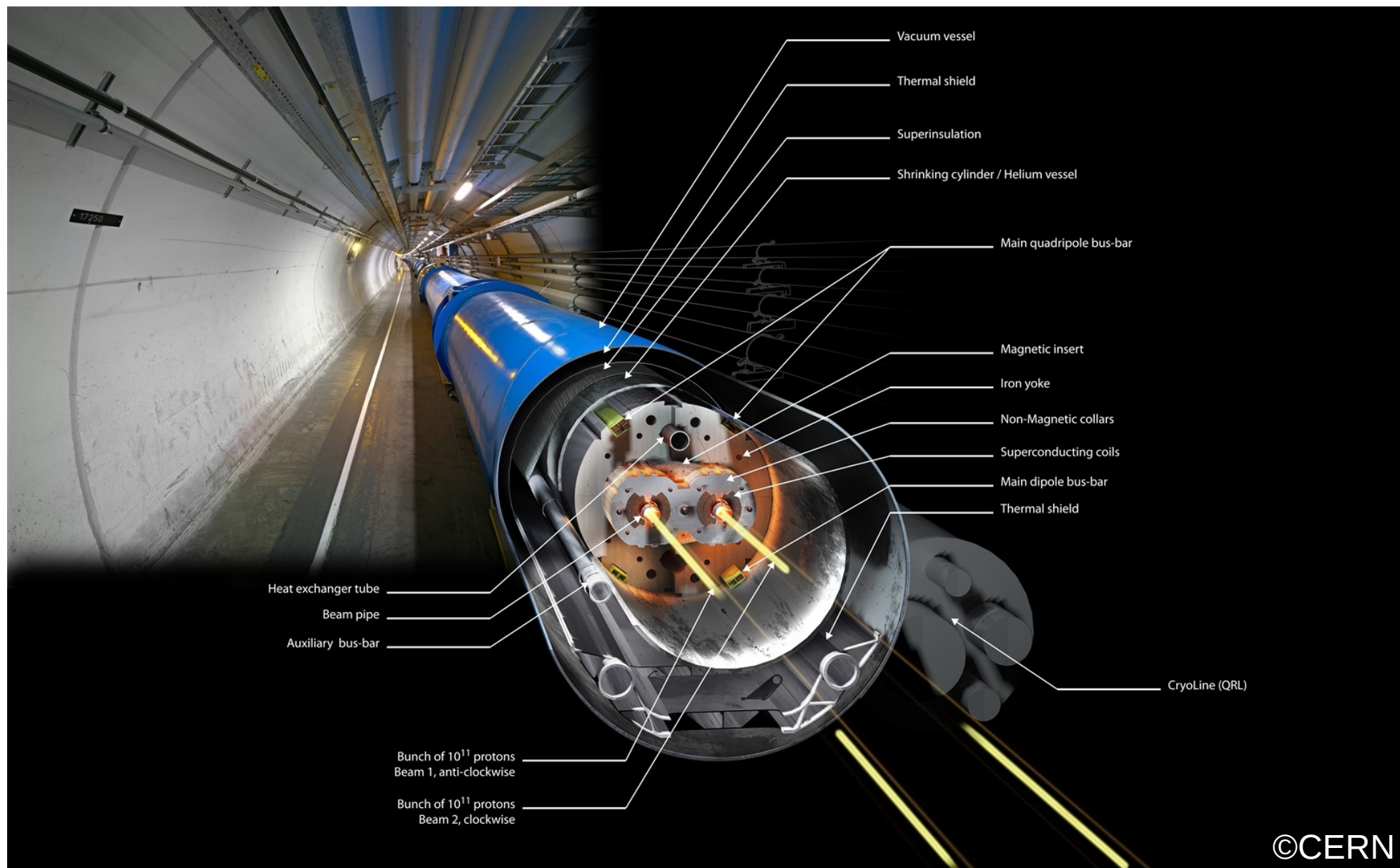
©CERN



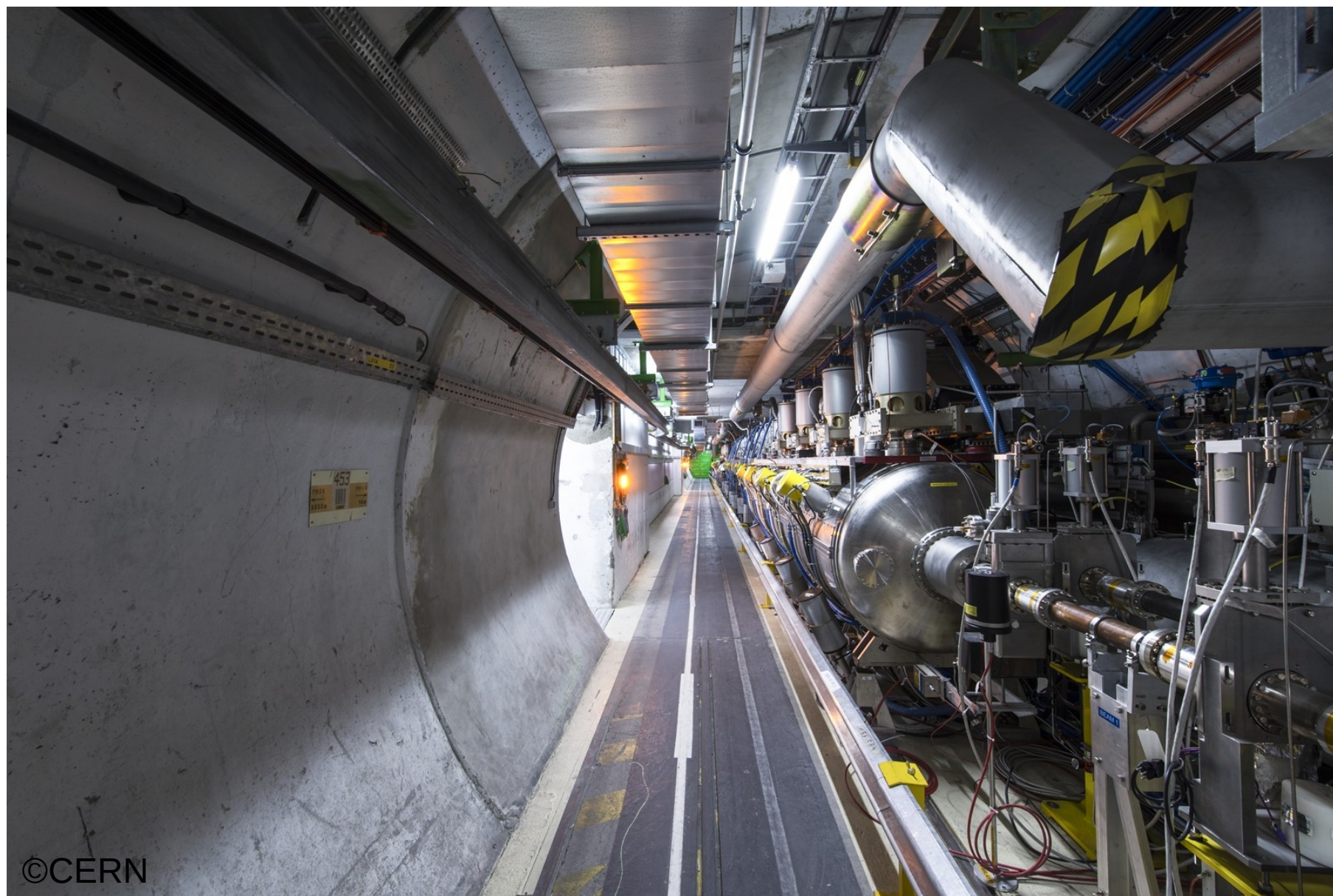
Tunel LHC

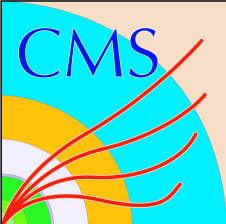


Magnesy LHC i rura wiązki

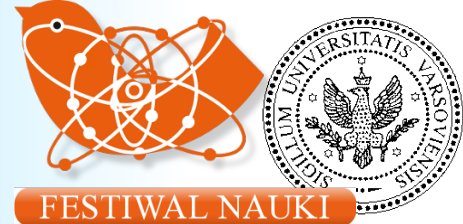


©CERN





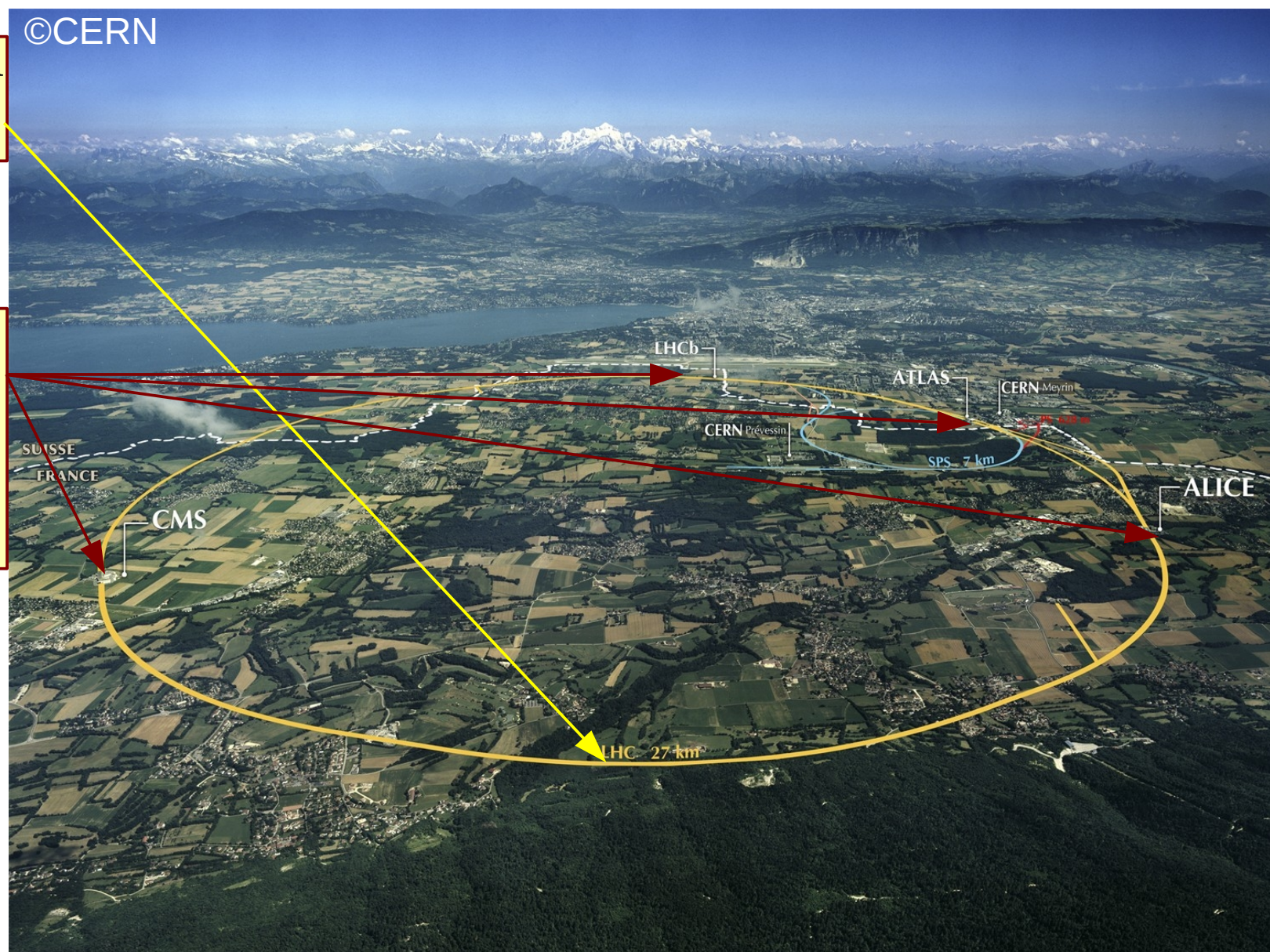
CERN i LHC



©CERN

27 km tunel, 100 m
pod ziemią

4 wielkie
detektory:
ATLAS, ALICE,
CMS, LHCb



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

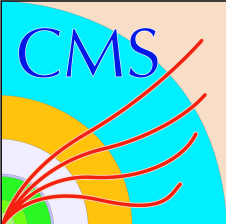
KALORYMETR PRZEDNI

Stal + włókna kwarcowe
 ~ 2000 kanałów

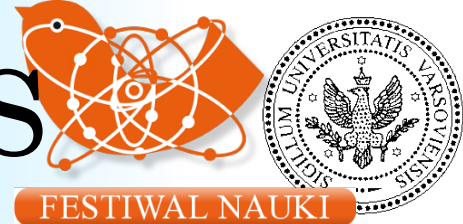
KALORYMETR
ELEKTROMAGNETYCZNY
 $\sim 76\,000$ kryształów PbWO_4

KALORYMETR HADRONOWY
Mosiądz + plastikowy scyntylator
 ~ 7000 kanałów



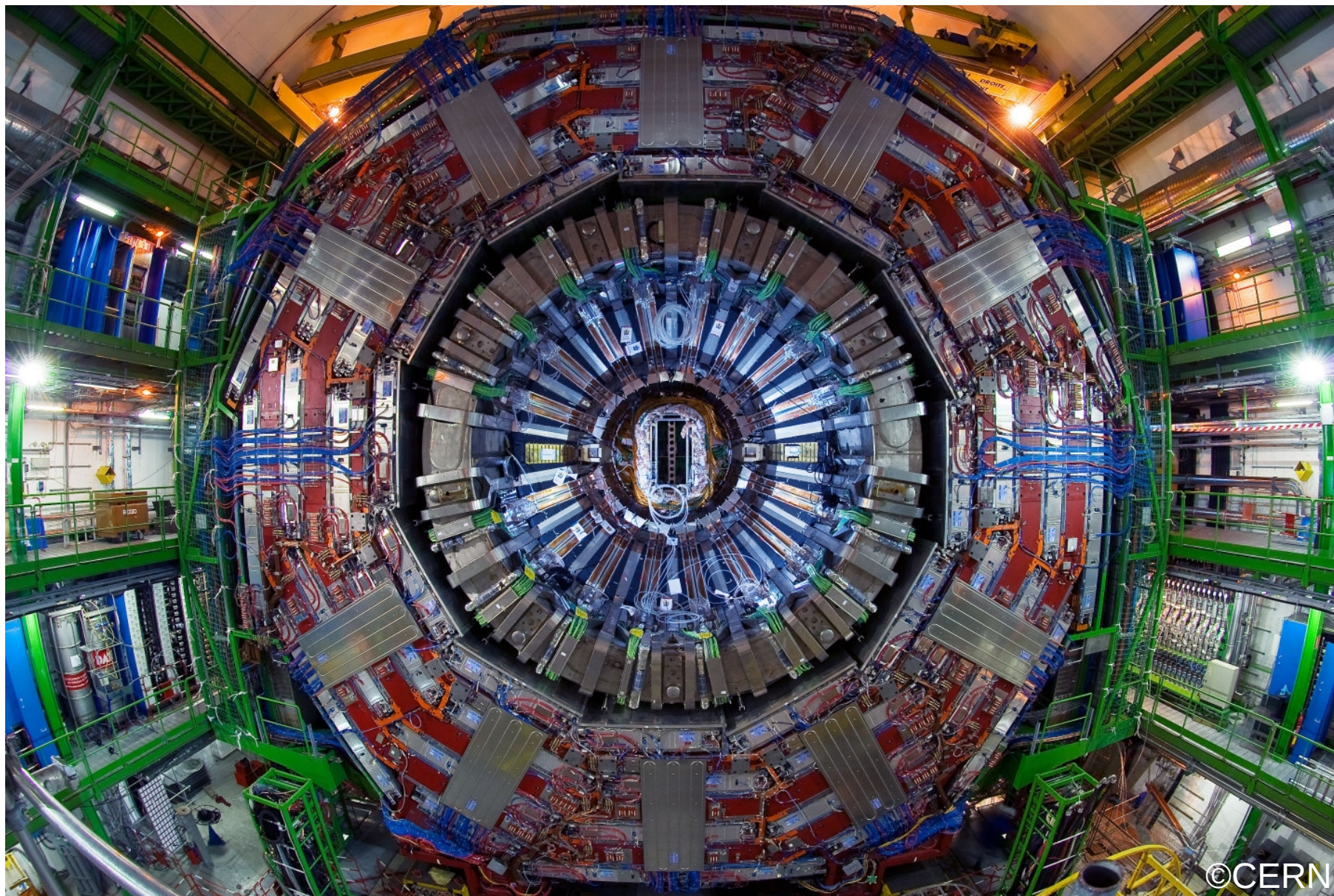


Pusta hala detektora CMS



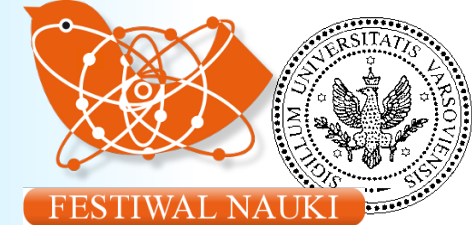
©CERN

Detektor CMS





Model Standardowy

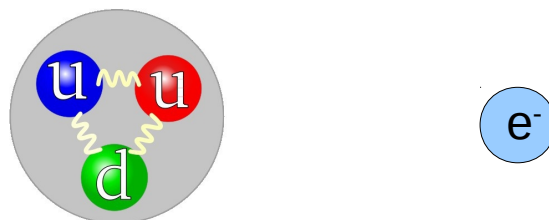


Fizyka cząstek elementarnych poszukuje odpowiedzi na pytania:

1) Jakie są podstawowe składniki materii?

Materia wokół nas składa się z kwarków **u**, **d** oraz **elektronów**

Atom wodoru (proton+elektron):



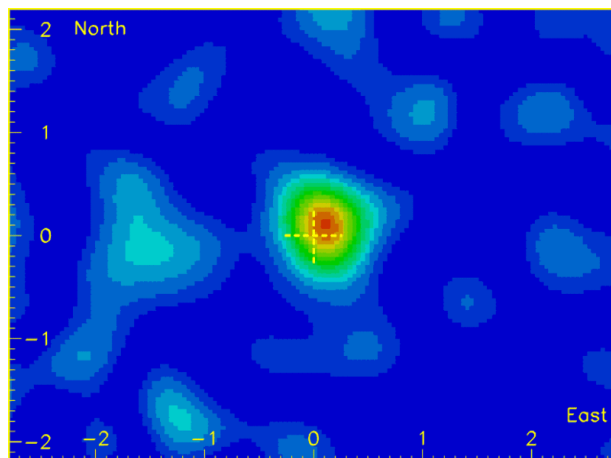
Fizyka cząstek elementarnych poszukuje odpowiedzi na pytania:

1) Jakie są podstawowe składniki materii?

Materia wokół nas składa się z kwarków **u**, **d** oraz **elektronów**

Ale mamy także:

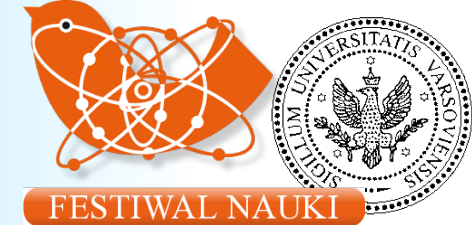
- „ciężkie” cząstki podobne do elektronów: **mion** i **taon**
- elektron, mion i taon mają „towarzyszy”: **neutrino** elektronowe, mionowe, taonowe



← Obraz księżyca w mionach z promieniowania kosmicznego



Model Standardowy



Fizyka cząstek elementarnych poszukuje odpowiedzi na pytania:

1) Jakie są podstawowe składniki materii?

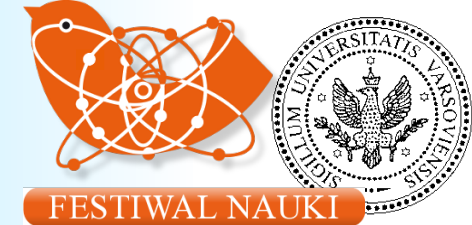
Materia wokół nas składa się z kwarków **u**, **d** oraz **elektronów**

Ale mamy także:

- „ciężkie” cząstki podobne do elektronów: **mion** i **taon**
- elektron, mion i taon mają „towarzyszy”: **neutrina** elektronowe, mionowe, taonowe
- oprócz tego istnieją inne kwarki: **s**, **c**, **b**, **t**



Model Standardowy



Fizyka cząstek elementarnych poszukuje odpowiedzi na pytania:

1) Jakie są podstawowe składniki materii?

Materia wokół nas składa się z kwarków **u**, **d** oraz **elektronów**

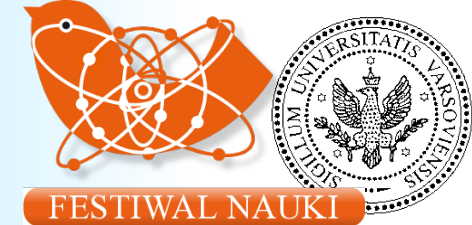
Ale mamy także:

- „ciężkie” cząstki podobne do elektronów: **mion** i **taon**
- elektron, mion i taon mają „towarzyszy”: **neutrina** elektronowe, mionowe, taonowe
- oprócz tego istnieją inne kwarki: **s**, **c**, **b**, **t**

Na dodatek każda z tych cząstek ma swoją anty-cząstkę



Model Standardowy

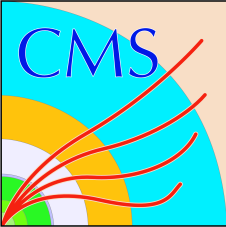


Fizyka cząstek elementarnych poszukuje odpowiedzi na pytania:

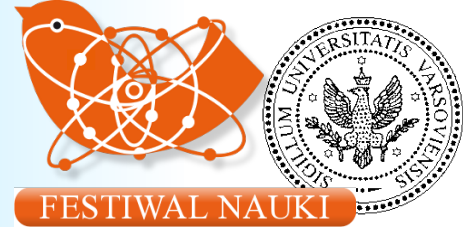
- 1) Jakie są podstawowe składniki materii?
- 2) Jakie siły (oddziaływania) między nimi występują?

Cząstki nie tylko „istnieją”, ale także oddziałują ze sobą. Znamy trzy oddziaływania:

Słabe, silne, elektromagnetyczne i grawitacyjne.



Model Standardowy



Fizyka cząstek elementarnych poszukuje odpowiedzi na pytania:

- 1) Jakie są podstawowe składniki materii?
- 2) Jakie siły (oddziaływania) między nimi występują?

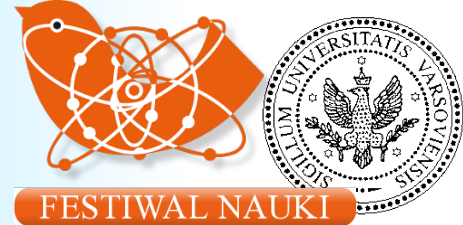
Cząstki nie tylko „istnieją”, ale także oddziałują ze sobą. Znamy trzy oddziaływania:

Słabe, silne, elektromagnetyczne i grawitacyjne.

Grawitacja jest tak słaba, że zanedbuje się ją przy opisie oddziaływań cząstek elementarnych



Model Standardowy

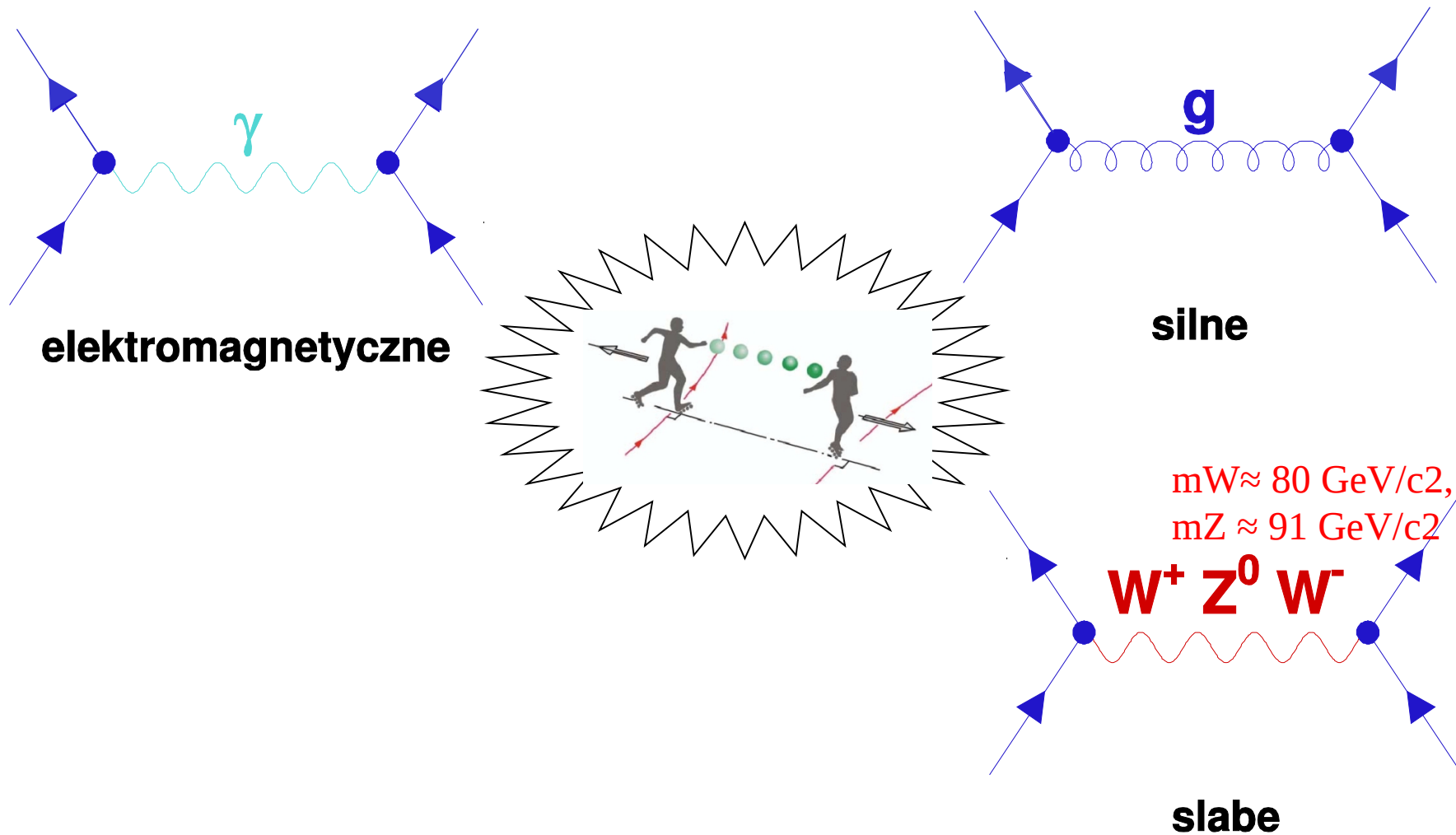


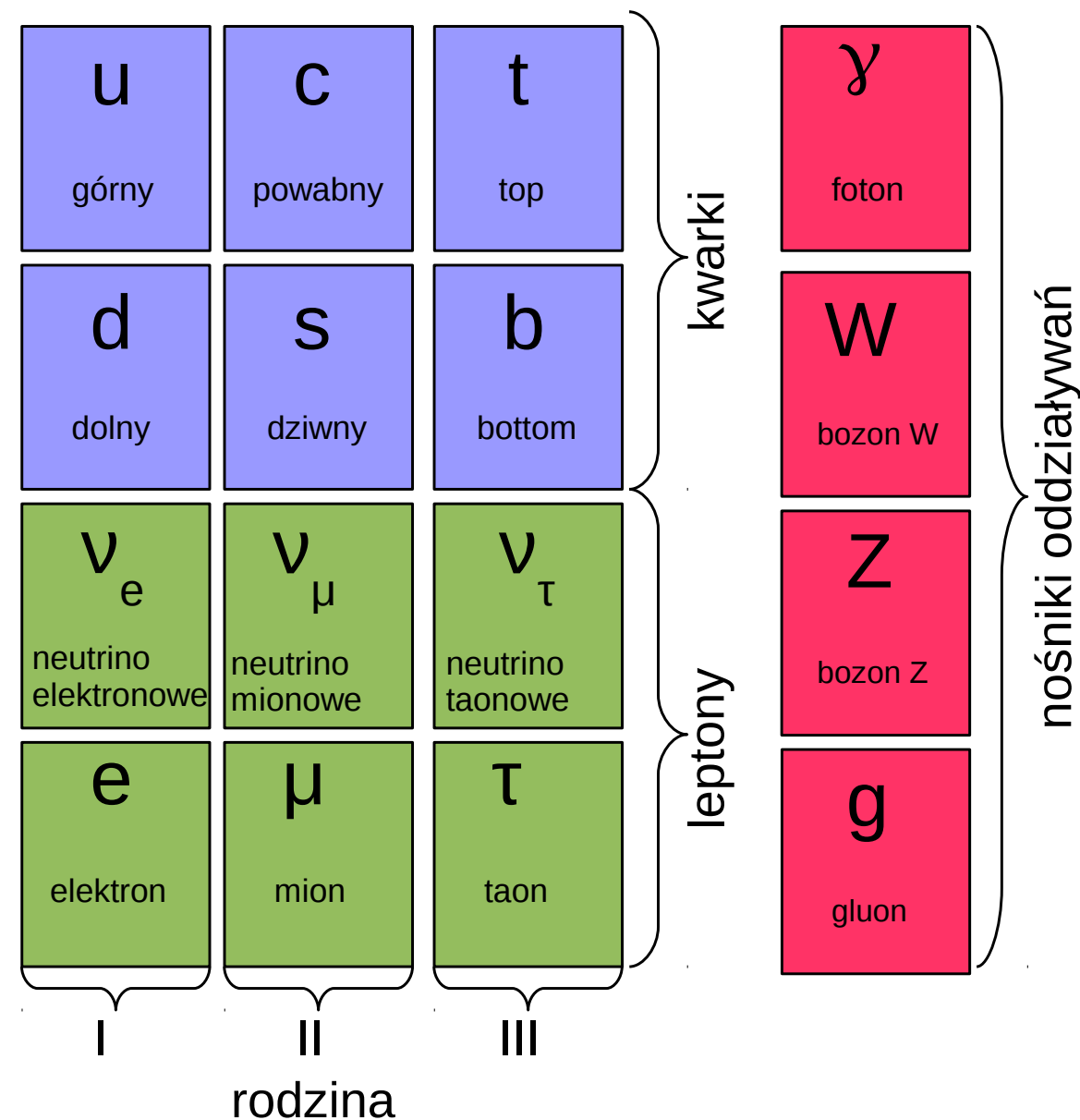
Fizyka cząstek elementarnych poszukuje odpowiedzi na pytania:

- 1) Jakie są podstawowe składniki materii?
- 2) Jakie siły (oddziaływania) między nimi występują?

Cząstki nie tylko „istnieją”, ale także oddziałują ze sobą. Znamy trzy oddziaływania:

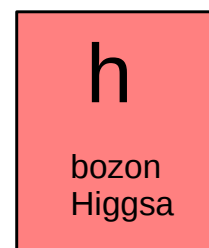
Słabe, silne, elektromagnetyczne i grawitacyjne.
Oddziaływanie między dwie cząstkami zachodzi poprzez wymianę „nośnika oddziaływania” - nowego rodzaju cząstek





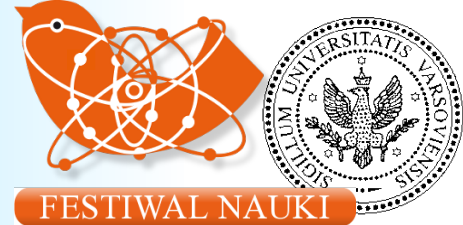
Cząstki dzielimy wg. tego jakim oddziaływaniom podlegają:

- Hadrony (złożone z kwarków): słabym, silnym, elektromagnetycznym i grawitacyjnym
- Leptony: słabym, elektromagnetycznym i grawitacyjnym





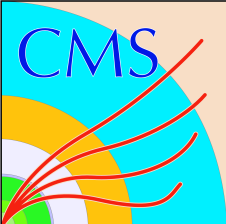
Podstawowe obiekty



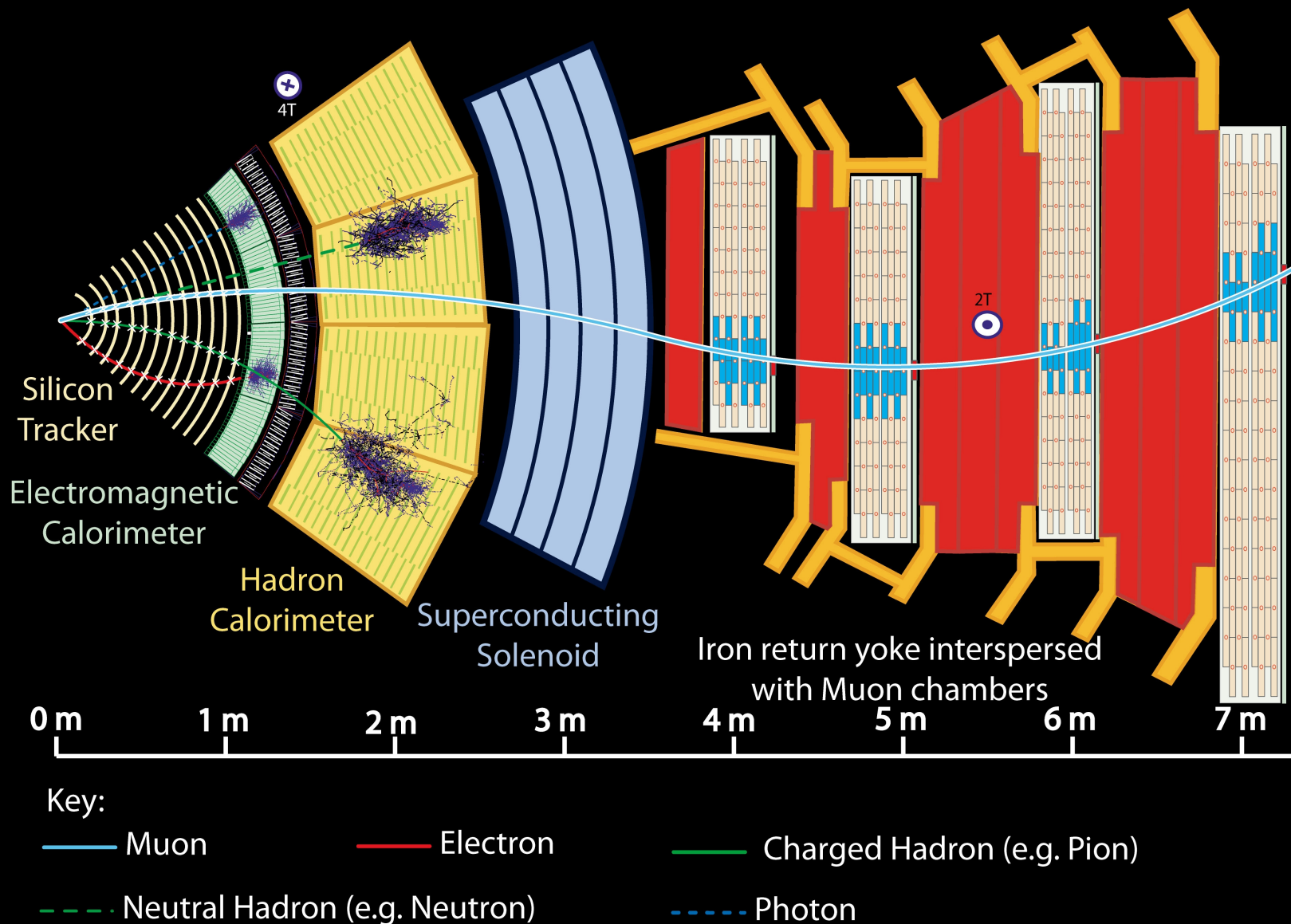
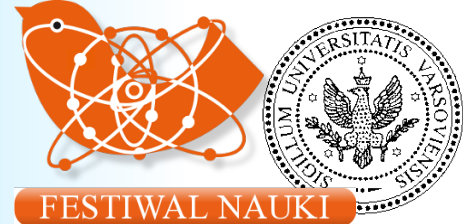
• Korzystając z danych zebranych przez różne elementy detektora CMS możemy zidentyfikować kilka podstawowych typów cząstek które powstały w zderzeniach:

- **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.

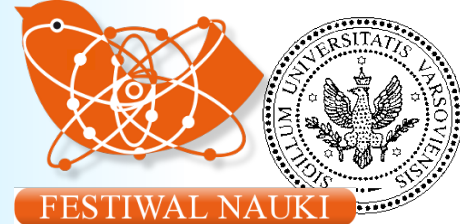


Detektor CMS





Zadania badawcze

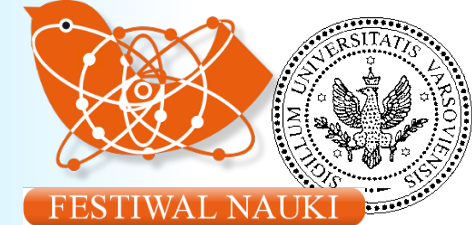


0) Identyfikacja przypadków produkcji i rozpadu bozonów W i Z
(Istnienie bozonów W i Z jest jednym z podstawowych postulatów Modelu Standardowego. Bozon W zaobserwowano po raz pierwszy w CERNie w 1982 w zderzeniach proton-antypoton)

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

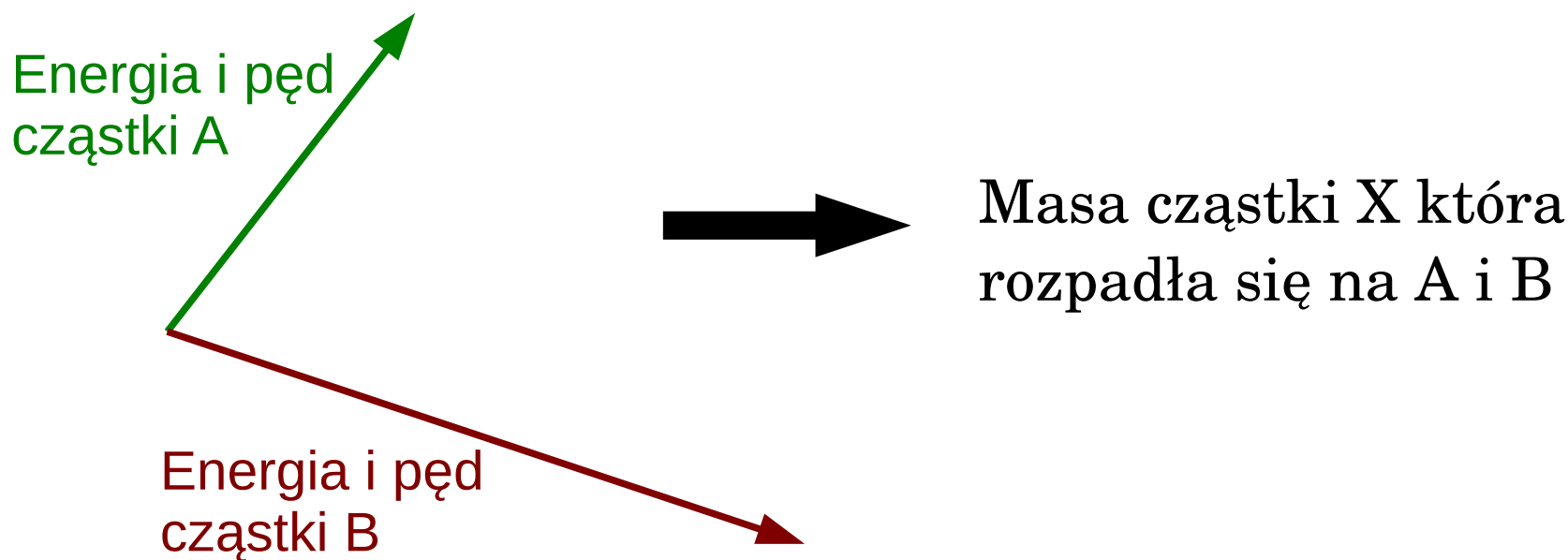
$W^{+/-} \rightarrow \mu^{+/-} \nu$ do rozpadów $W^{+/-} \rightarrow e^{+/-} \nu$: **e/μ**

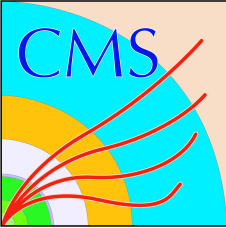
(Model teoretyczny dokładnie przewiduje jak często bozony rozpadają się na miony a jak często na elektrony. Możemy sprawdzić te przewidywania.)

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

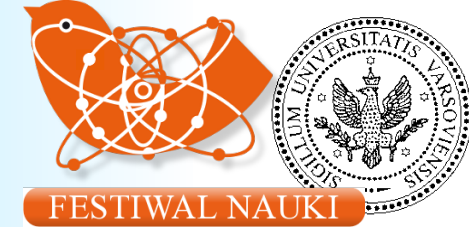
(Zderzamy ze sobą dwa protony - ładunek początkowy to +2. Czy bozony o ładunku „+” będą się pojawiały tak samo często jak te o ładunku „-”?)

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)





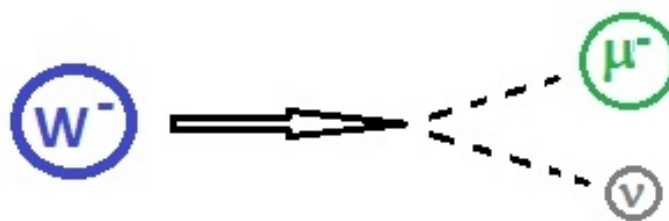
Zadania badawcze: podsumowanie



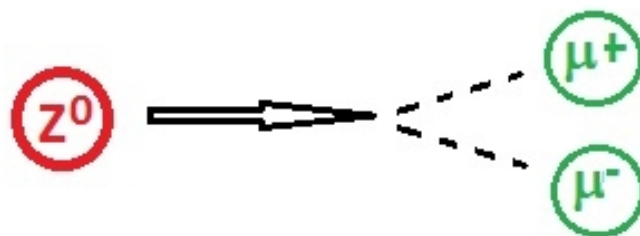
- 0) Identyfikacja: bozon W, Z lub „tło”
- 1) Obliczenie stosunku W/Z
- 2) Bozon W: identyfikacja kanału rozpadu: elektronowy lub mionowy
- 3) Bozon W: identyfikacja ładunku: „+” lub „-”
- 4) Bozon Z (lub dwa bozony Z): wyznaczenie masy

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

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



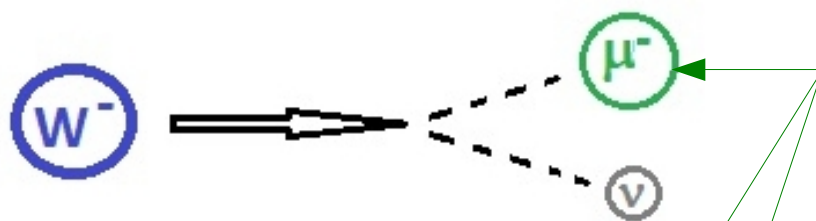
lub $Z^0 \rightarrow \mu^- \mu^+$:



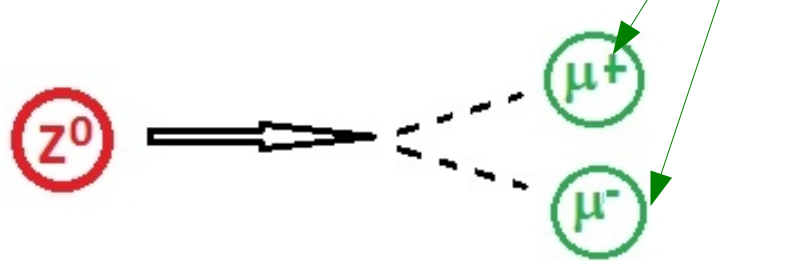
- Cząstki W i Z mogą się rozpadać na wiele sposobów.
Dziś nas będą interesowały tylko rozpady
 $Z^0 \rightarrow \mu^- \mu^+$, $Z^0 \rightarrow e^- e^+$, $W \rightarrow \mu \nu$ oraz $W \rightarrow e \nu$

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

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



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

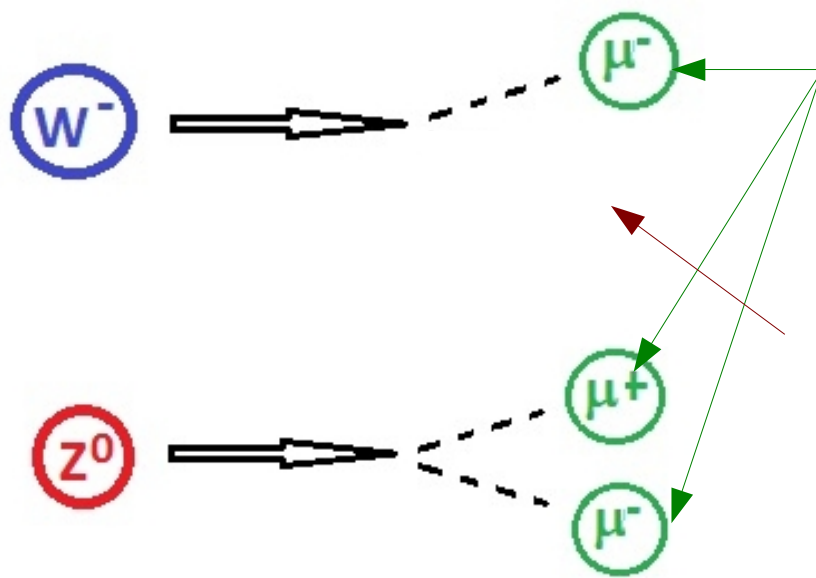


- Cząstki naładowane - obserwujemy ich tory
- Miony: dolatują aż do komór mionowych

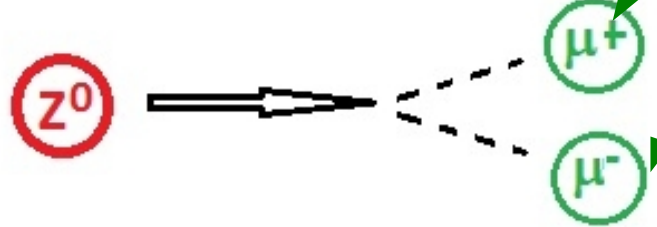
- Cząstki W i Z mogą się rozpadać na wiele sposobów.
Dziś nas będą interesowały tylko rozpady
 $Z^0 \rightarrow \mu^- \mu^+$, $Z^0 \rightarrow e^- e^+$, $W \rightarrow \mu \nu$ oraz $W \rightarrow e \nu$

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

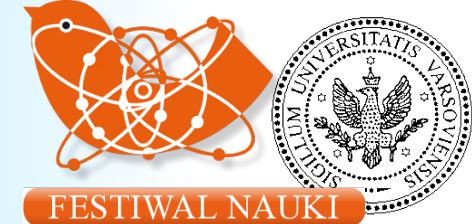


- Cząstki naładowane - obserwujemy ich tory
- Miony: dolatują aż do komór mionowych
- Neutrino – oddziałują bardzo słabo z materią – nie obserwujemy ich bezpośrednio.

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



Neutrino

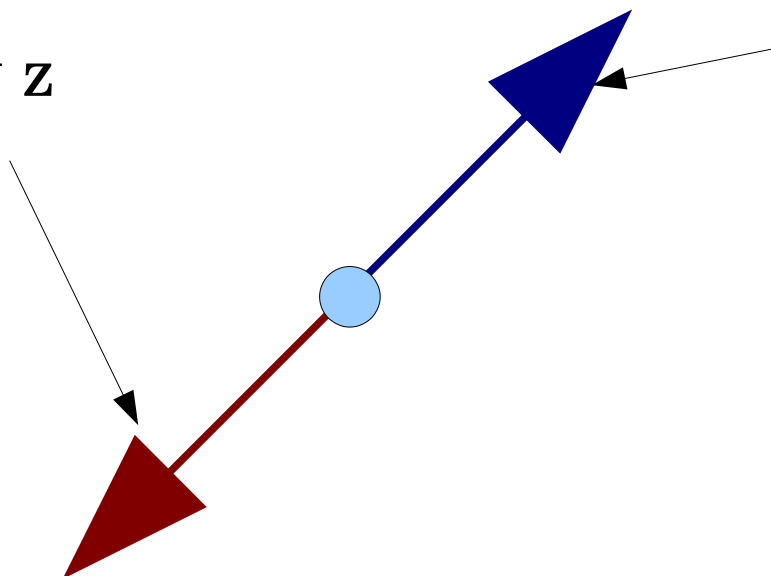


W płaszczyźnie poprzecznej do osi wiązki protonów wektorowa suma pędu wynosi 0.

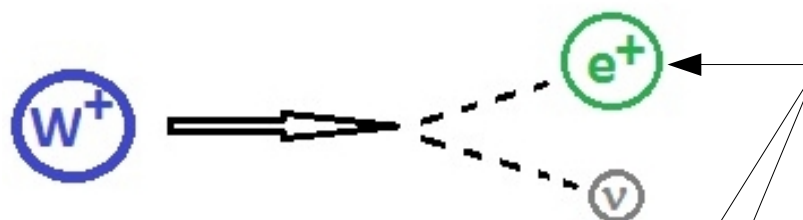
Brakująca energia - wektor, który musimy dodać, by z widzialną częścią sumował się do 0.

Wektorowa suma pędu wszystkich „widzialnych” cząstek

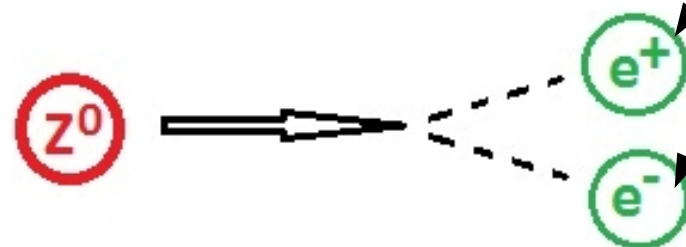
Zakładamy, że brakująca energia to suma pędu neutrin



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

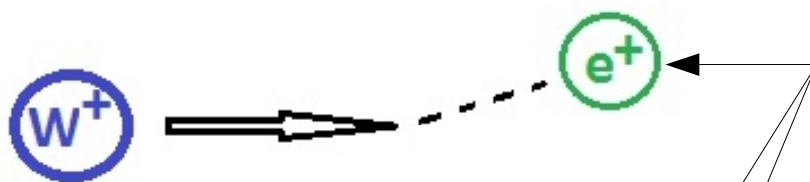


lub $Z^0 \rightarrow e^- e^+$:

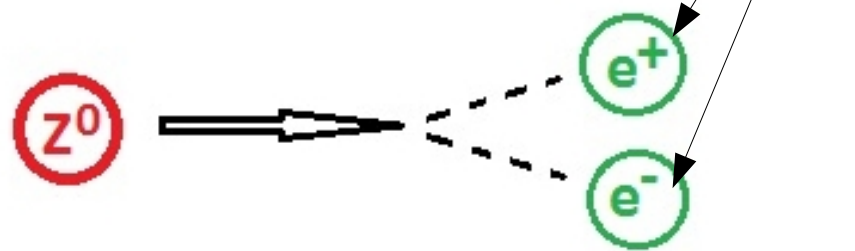


- Cząstki naładowane - obserwujemy ich tory
- Elektrony: zatrzymują się w kalorymetrze elektromagnetycznym i dają tam sygnał

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

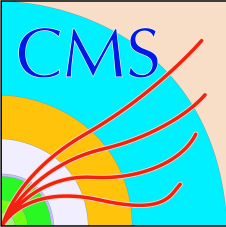


lub $Z^0 \rightarrow e^- e^+$:

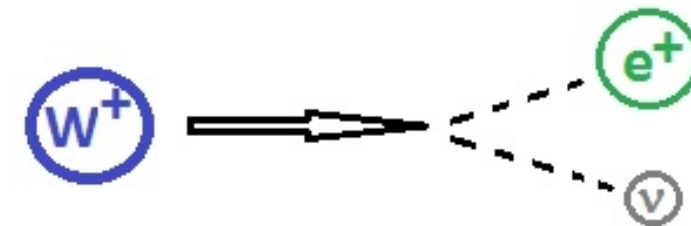
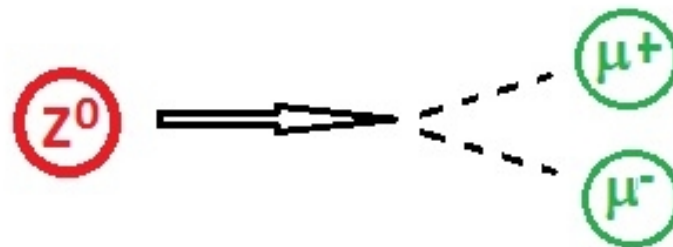
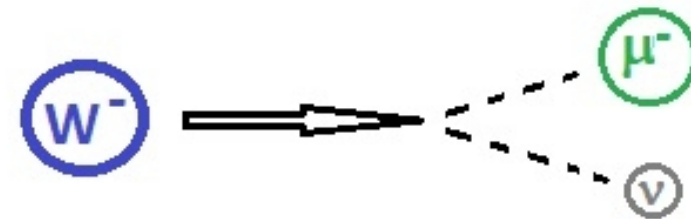
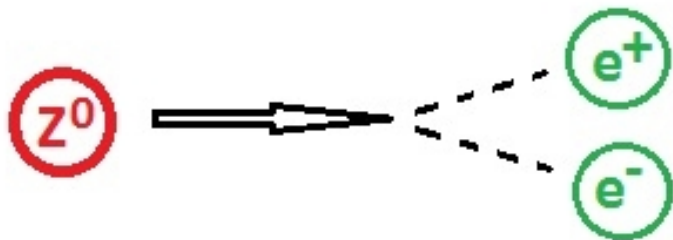
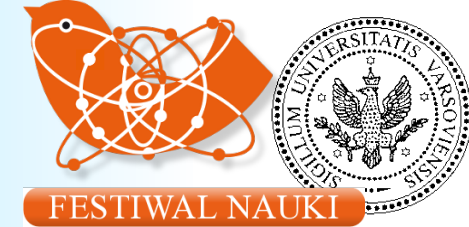


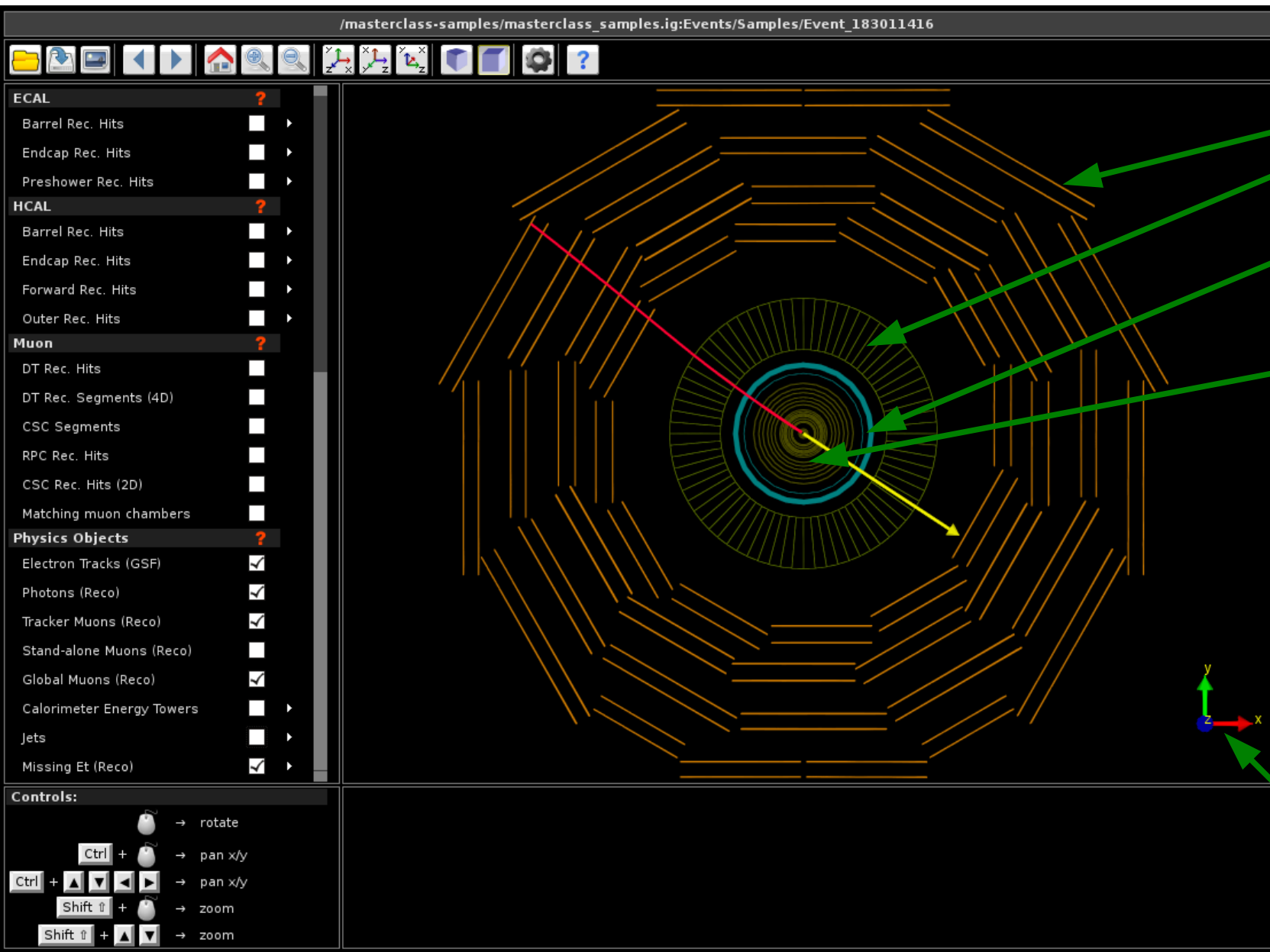
- Cząstki naładowane - obserwujemy ich tory
- Elektrony: zatrzymują się w kalorymetrze elektromagnetycznym i dają tam sygnał
- Neutrino – oddziałują bardzo słabo z materią – nie obserwujemy ich bezpośrednio

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



Rozpady W i Z: podsumowanie

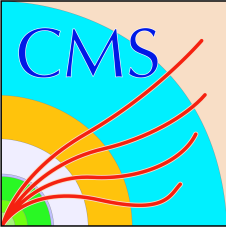




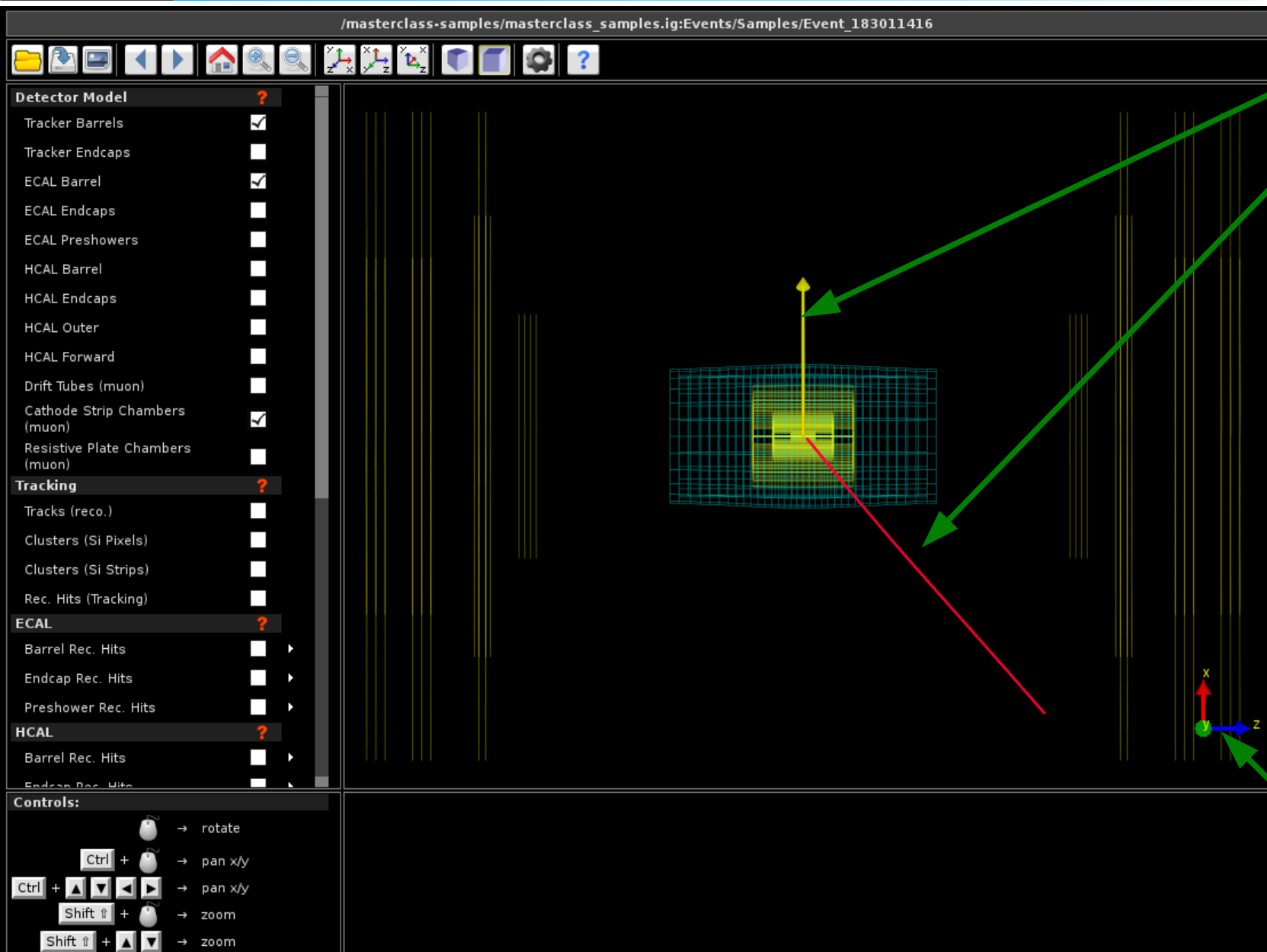
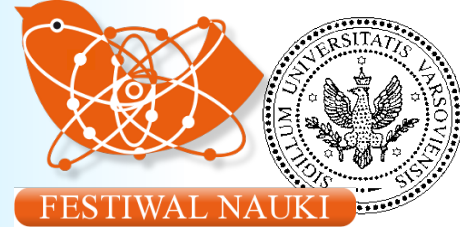
Elementy detektora:

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

Rzut X-Y: w płaszczyźnie prostopadłej do osi wiązki



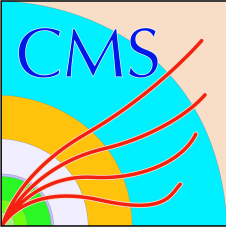
ISpy - wizualizacja



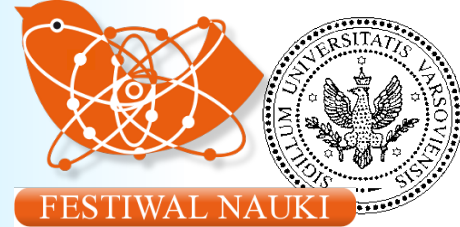
Obiekty fizyczne:

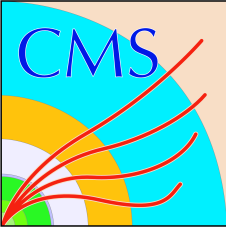
- brakująca energia
- mion

Rzut X-Z: w płaszczyźnie wiązki

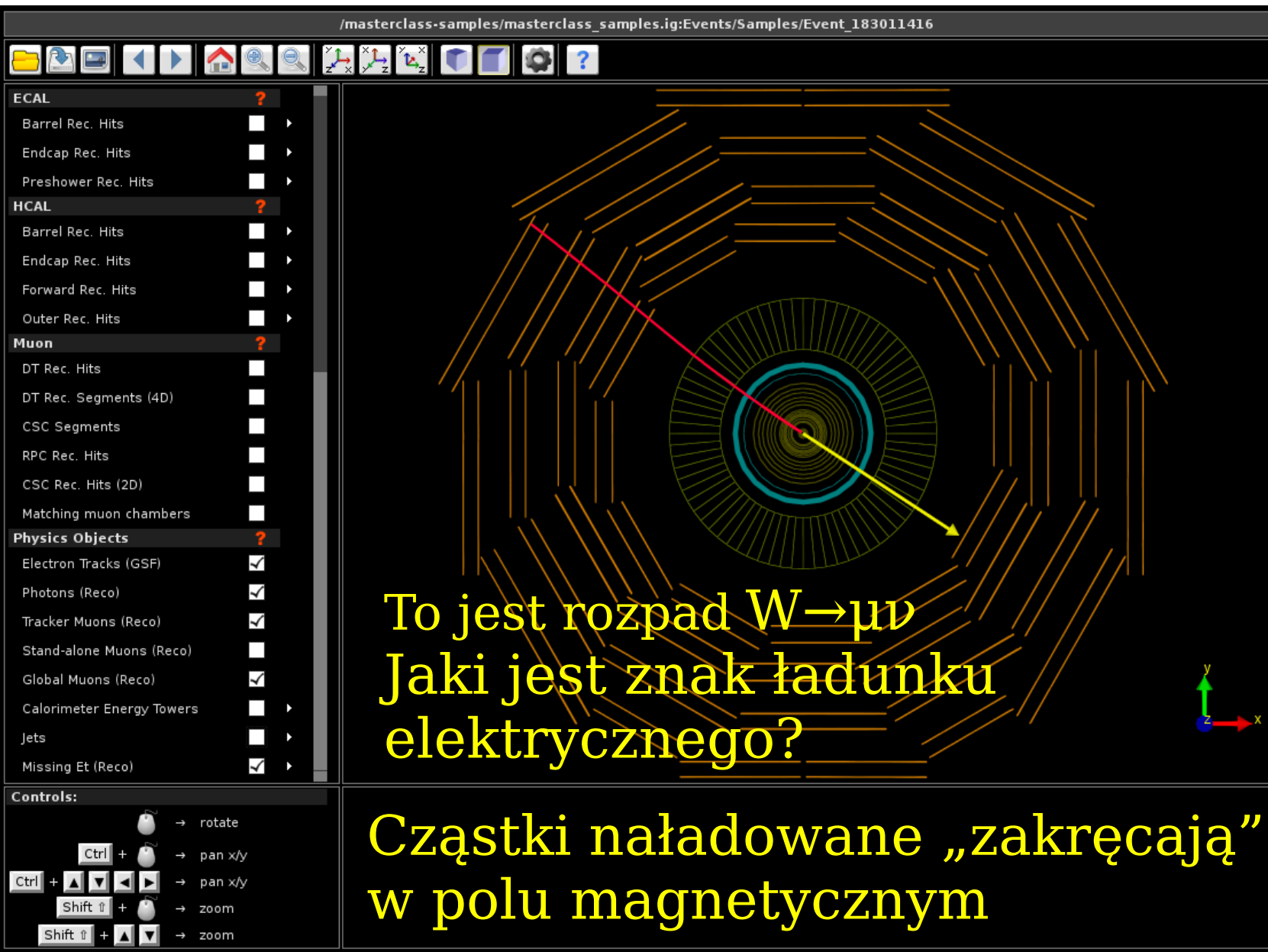
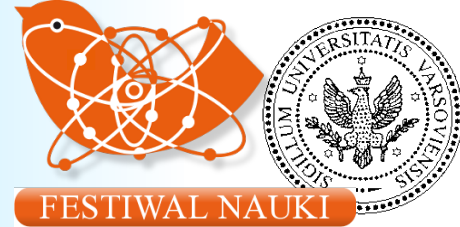


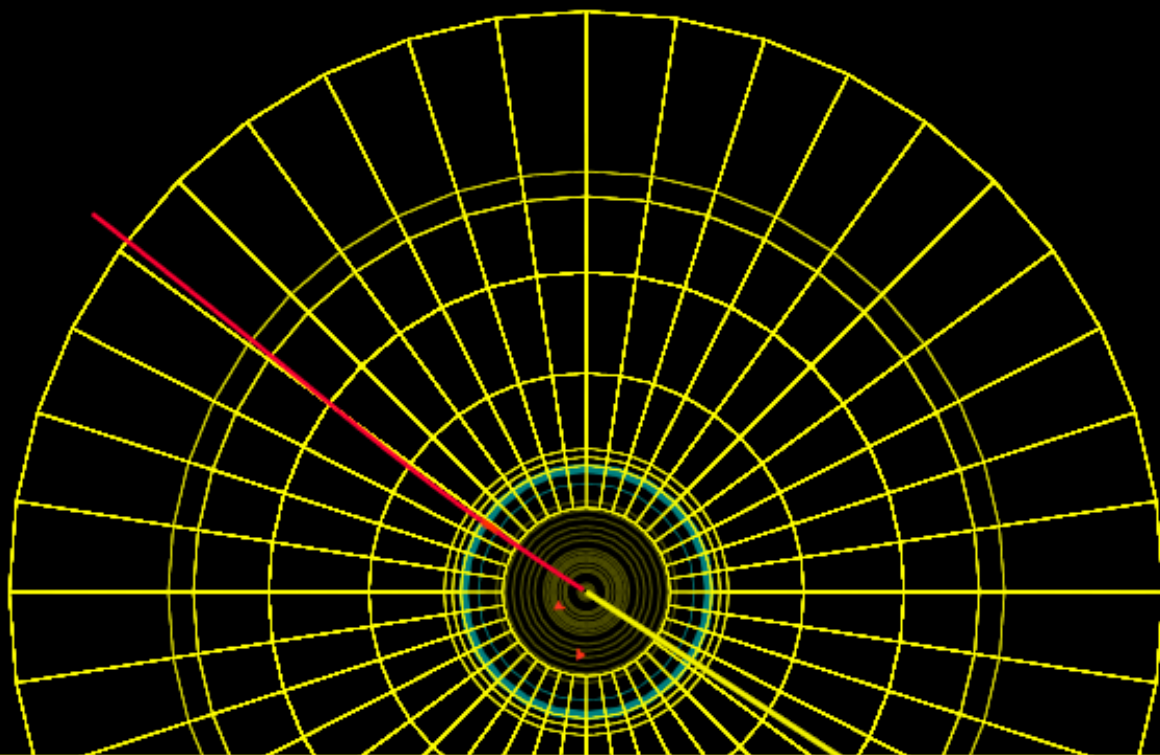
ISpy - wizualizacja





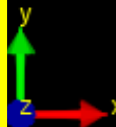
ISpy - wizualizacja

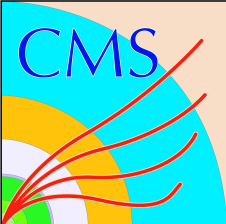




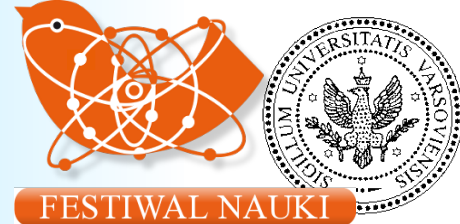
Z ustawienia pola magnetycznego detektora CMS wynika kierunek zakrzywienia torów cząstek:

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





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:

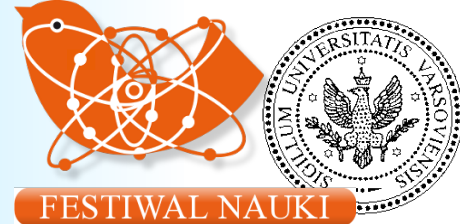
- rotate
- Ctrl** + → pan x/y
- Ctrl** + → pan x/y
- Shift** + → zoom
- Shift** + → zoom

Mamy dwa elektrony.
Co to za przypadek?

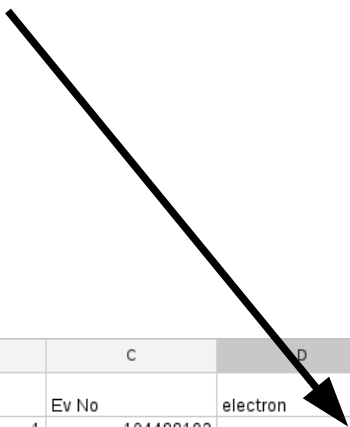
W? Z? ZZ?



Rejestracja wyników



Stawiamy „1” w odpowiednim polu



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Dataset	Ord No	Ev No	electron	muon	W+ cand	W- cand	W cand	Z cand	zoo	ZZ cand	Mass
2	masterclass_1	1	104488192	1								
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									
20	masterclass_1	19	203283410									
21	masterclass_1	20	210795650									
22	masterclass_1	21	220772227									

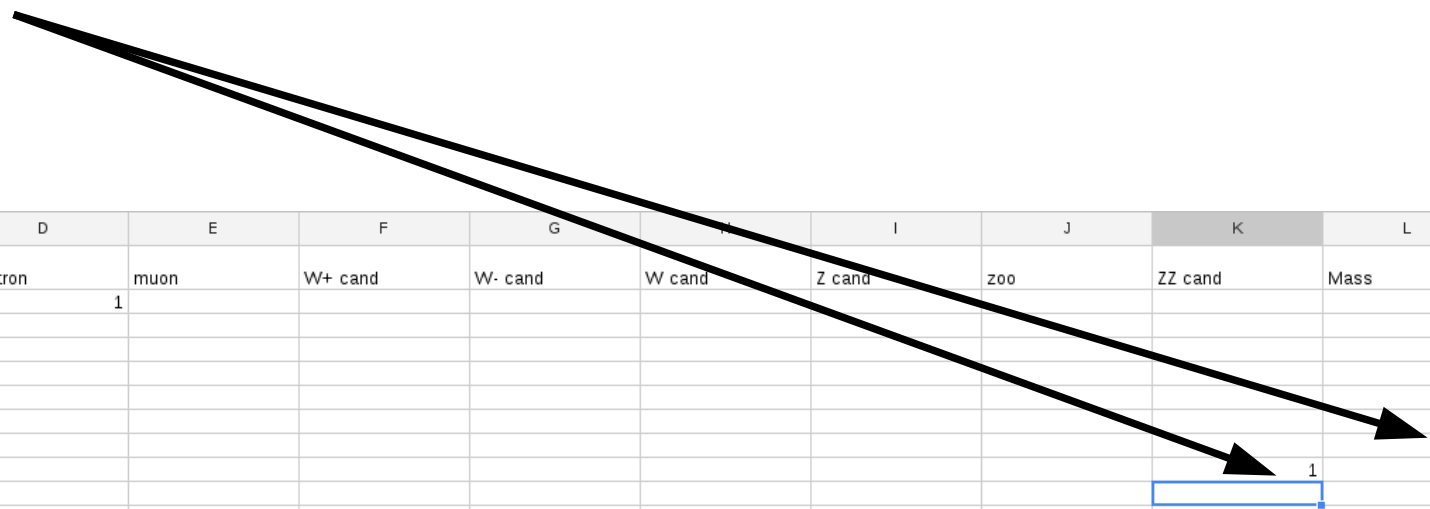


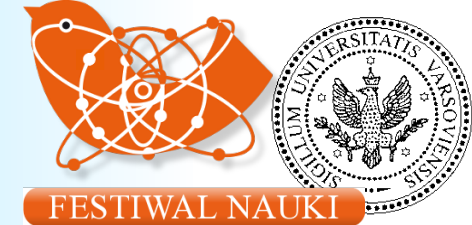
Rejestracja wyników



Dla przypadków Z lub ZZ wartość masy pojawia się automatycznie

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Dataset	Ord No	Ev No	electron	muon	W+ cand	W- cand	W cand	Z cand	zoo	ZZ cand	Mass
2	masterclass_1		1	104488192	1							
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								



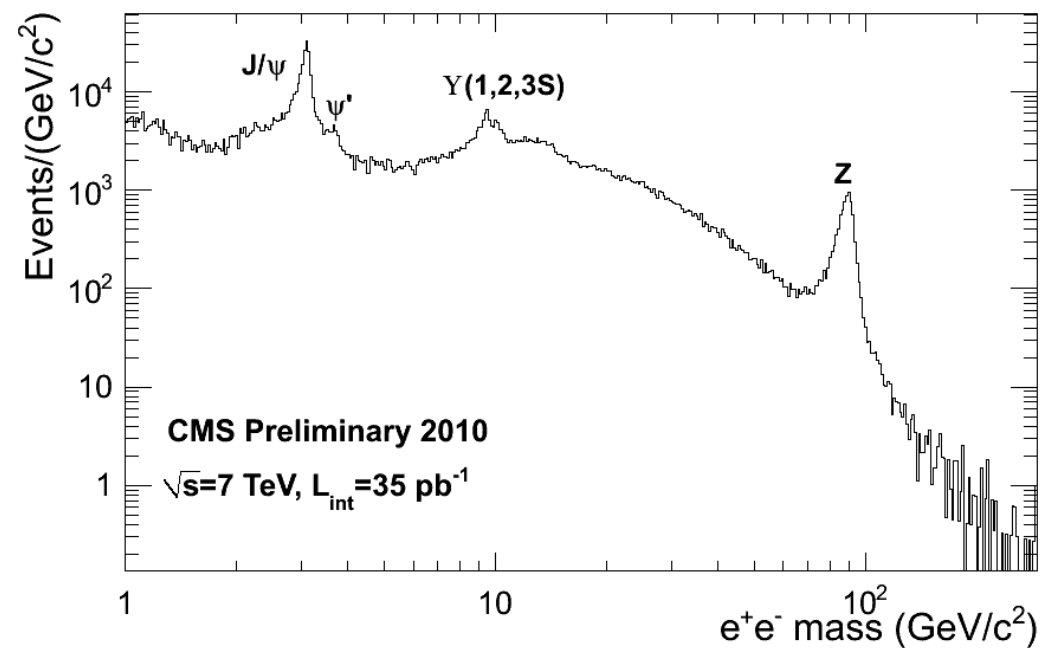
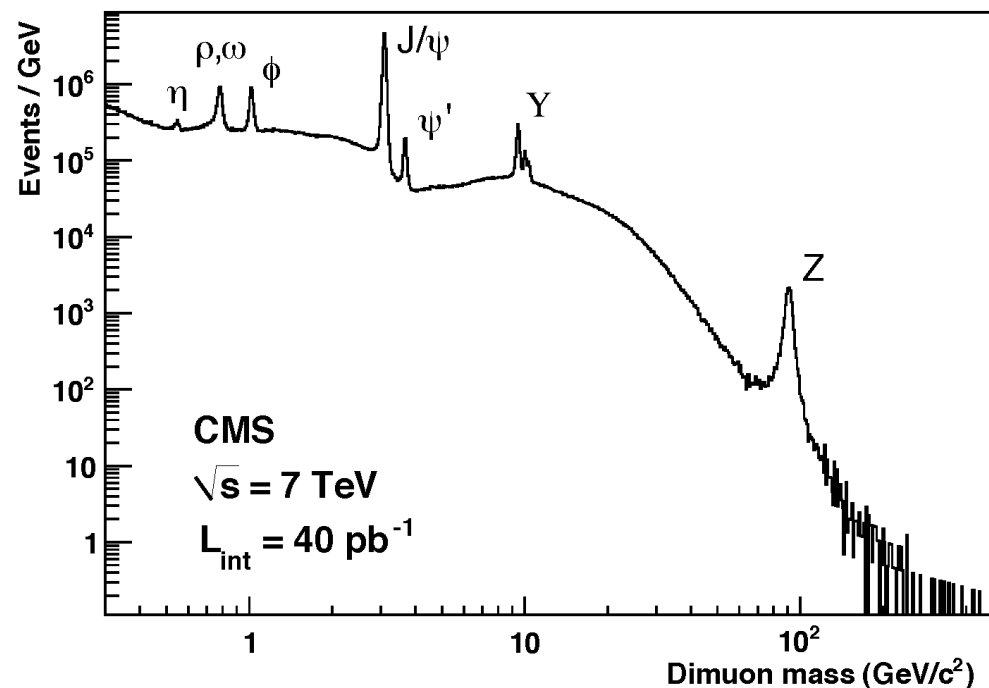
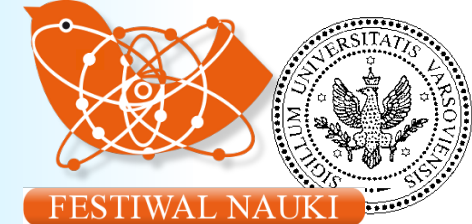


- Każda para ma do przeanalizowania 100 przypadków.
- Najpóźniej o (14:00)17:00 kończymy analizę i podsumowujemy wyniki

Do dzieła!



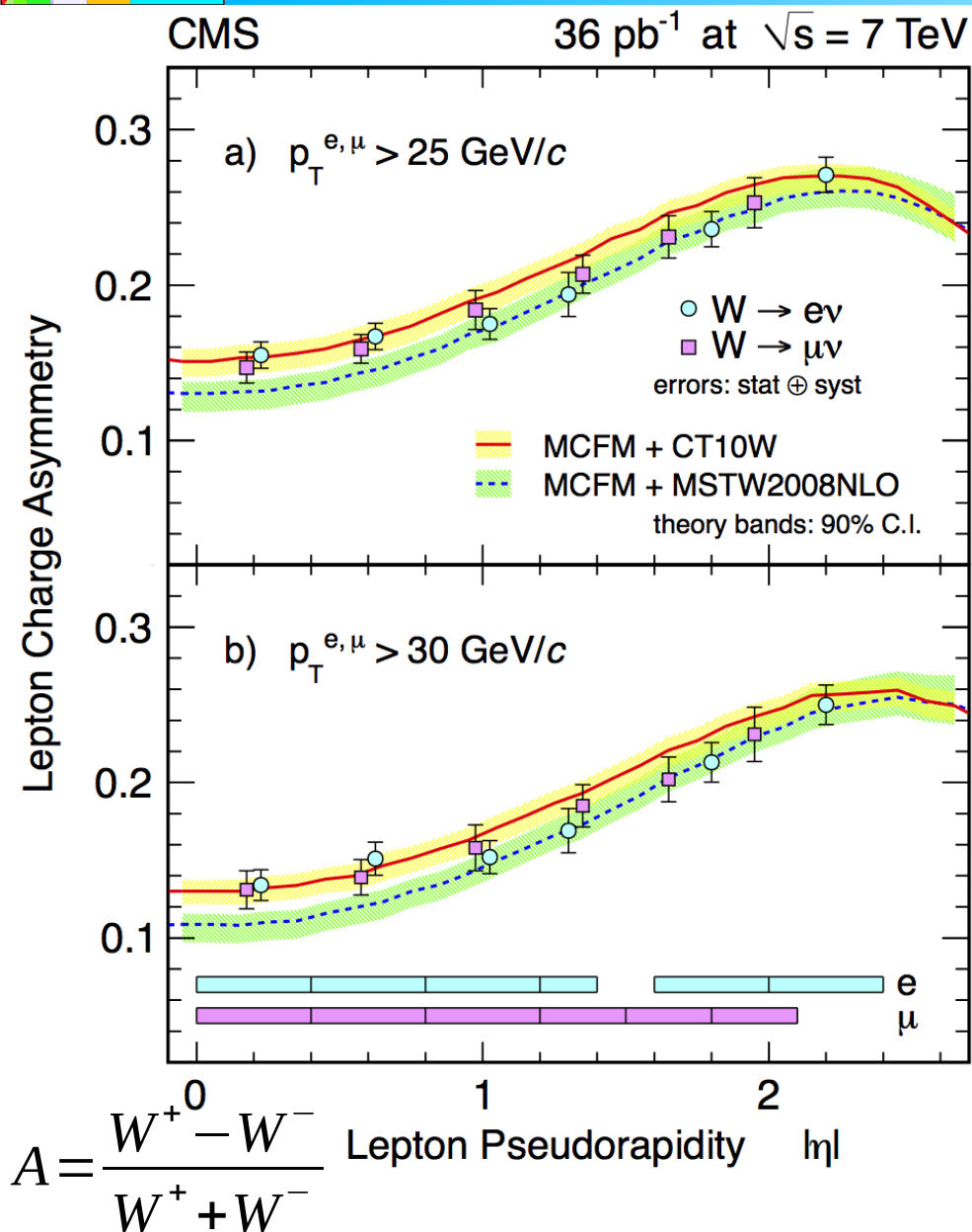
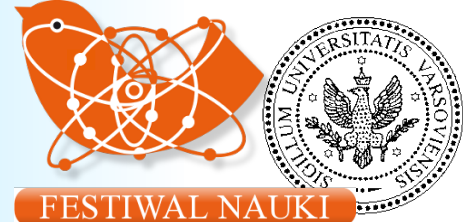
Rozkład masy niezmiennicznej dwu mionów



- istnieje wiele cząstek które mogą się rozpaść na parę elektronów lub mionów.
- obecność tych cząstek objawia się jako piki na rozkładzie masy niezmiennicznej pary mion-mion lub elektron-elektron



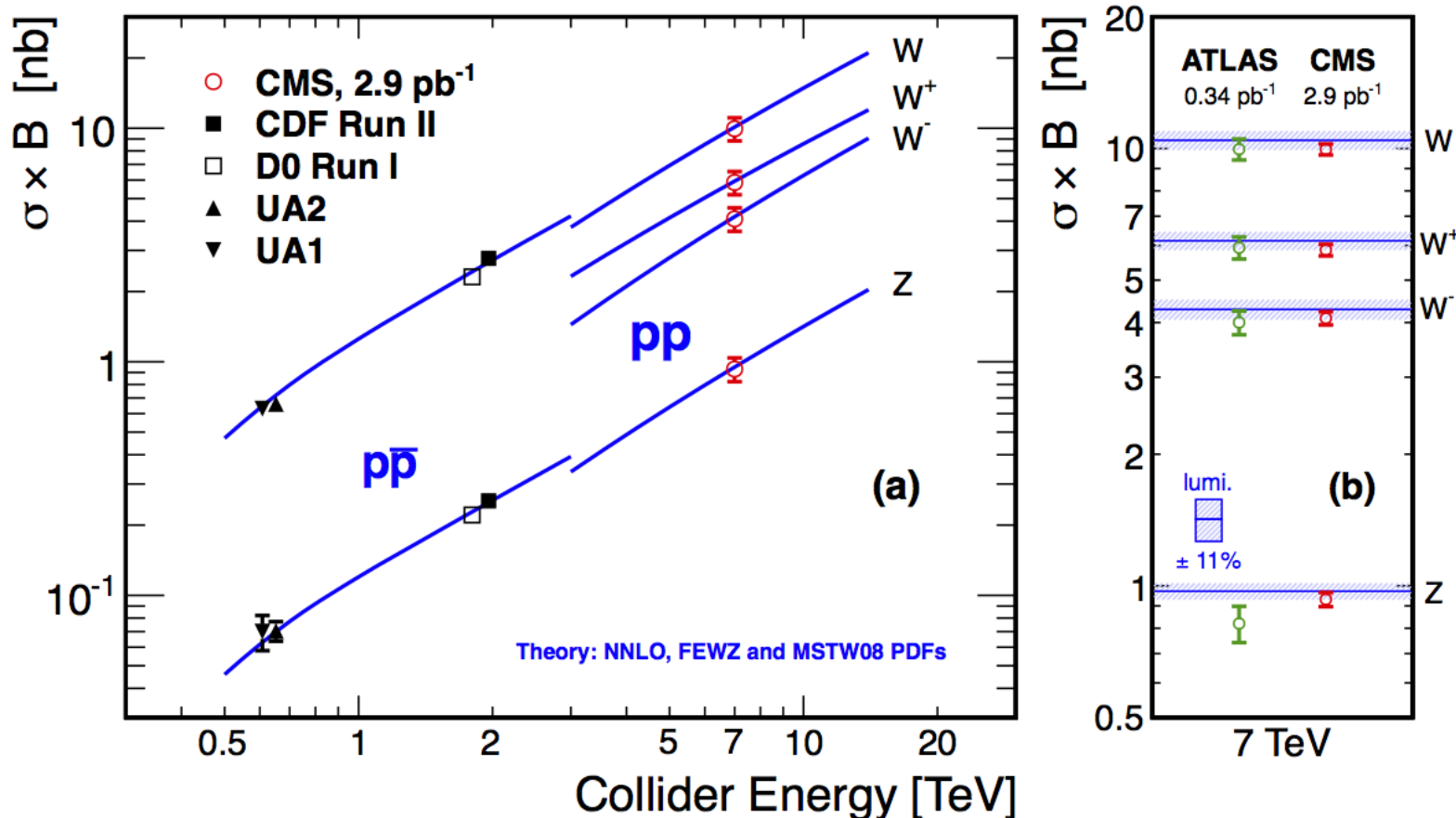
Stosunek W^+/W^-



Przekroje czynne na produkcję bozonów W^+ lub W^- rozpadających się na elektrony lub miony:

- W^+ : $\sigma = 5.86 \pm 0.06 \pm 0.17 \pm 0.64 \text{ [nb]}$
- W^- : $\sigma = 4.09 \pm 0.05 \pm 0.14 \pm 0.45 \text{ [nb]}$

$$R_{W^+/W^-} = 1.433 \pm 0.020 \pm 0.050$$



Przekroje czynne na produkcję bozonów W lub Z rozpadających się na elektrony lub miony:

- bozon W: $\sigma = 9.95 \pm 0.07 \pm 0.28 \pm 1.09$ [nb]
- bozon Z: $\sigma = 0.931 \pm 0.026 \pm 0.023 \pm 1.02$ [nb]

$$R_{W/Z} = 10.64 \pm 0.028 \pm 0.029$$