



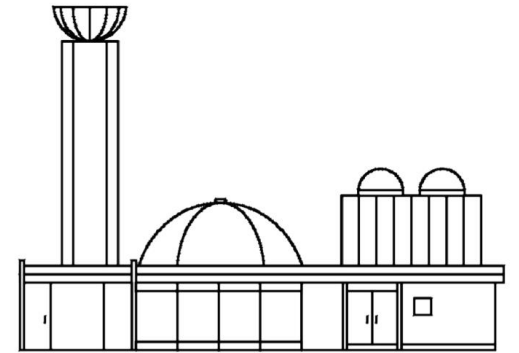
CMS Masterclasses Bulgaria - 2024



The CMS detector, Methodology and Practical work

06.03.2024 – Sofia

Mariana Shopova (CMS)
Plovdiv University "Paisii Hilendarski"
INRNE – Bulgarian Academy of Sciences



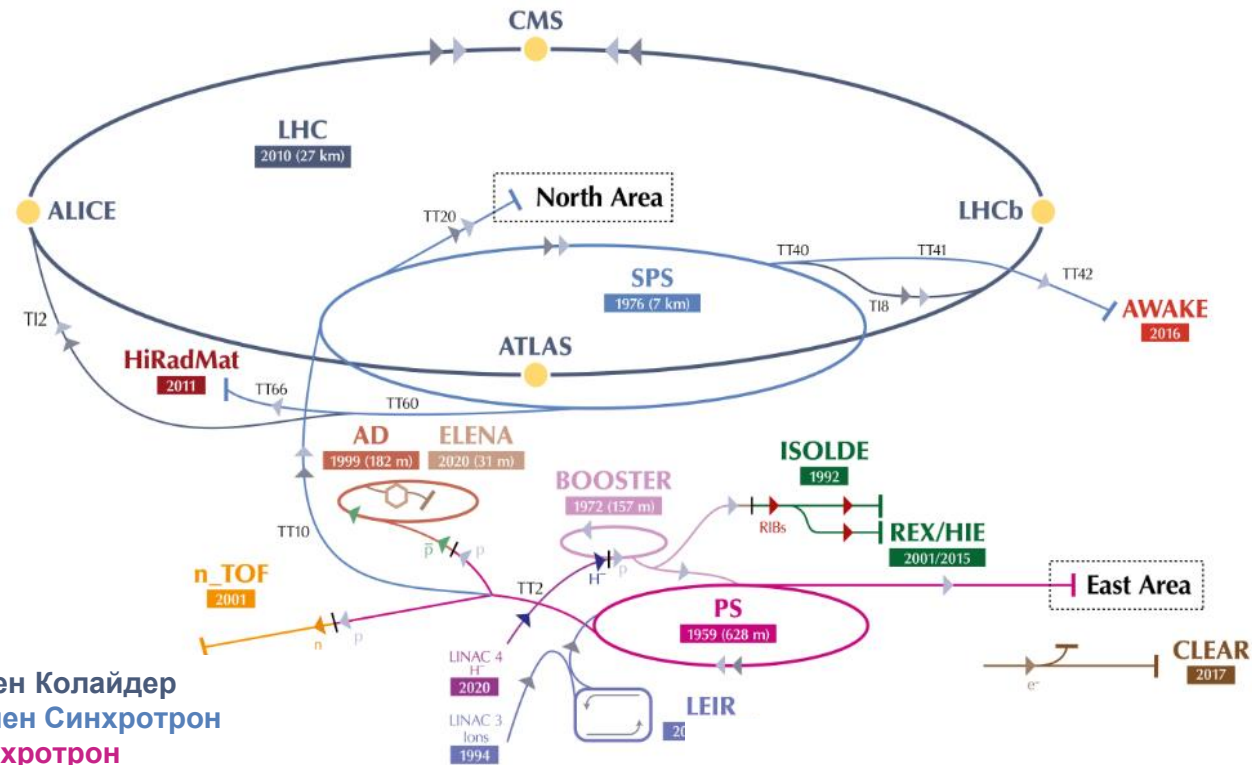
Детектори - експериментът CMS

Голям адронен колайдер LHC



Система от ускорители на ЦЕРН

The CERN accelerator complex
Complexe des accélérateurs du CERN



Ускорители

LHC – Голям Адронен Колайдер

SPS – Супер Протонен Синхротрон

PS – Протонен Синхротрон

AD – Антипротонен деселератор

STF3 – Тестов Стенд за Експеримента CLIC

CNGS – Неутринен сноп от ЦЕРН за Гран

Сасо

ISOLDE – Установа за изучаване на Ядрени

Изотопи

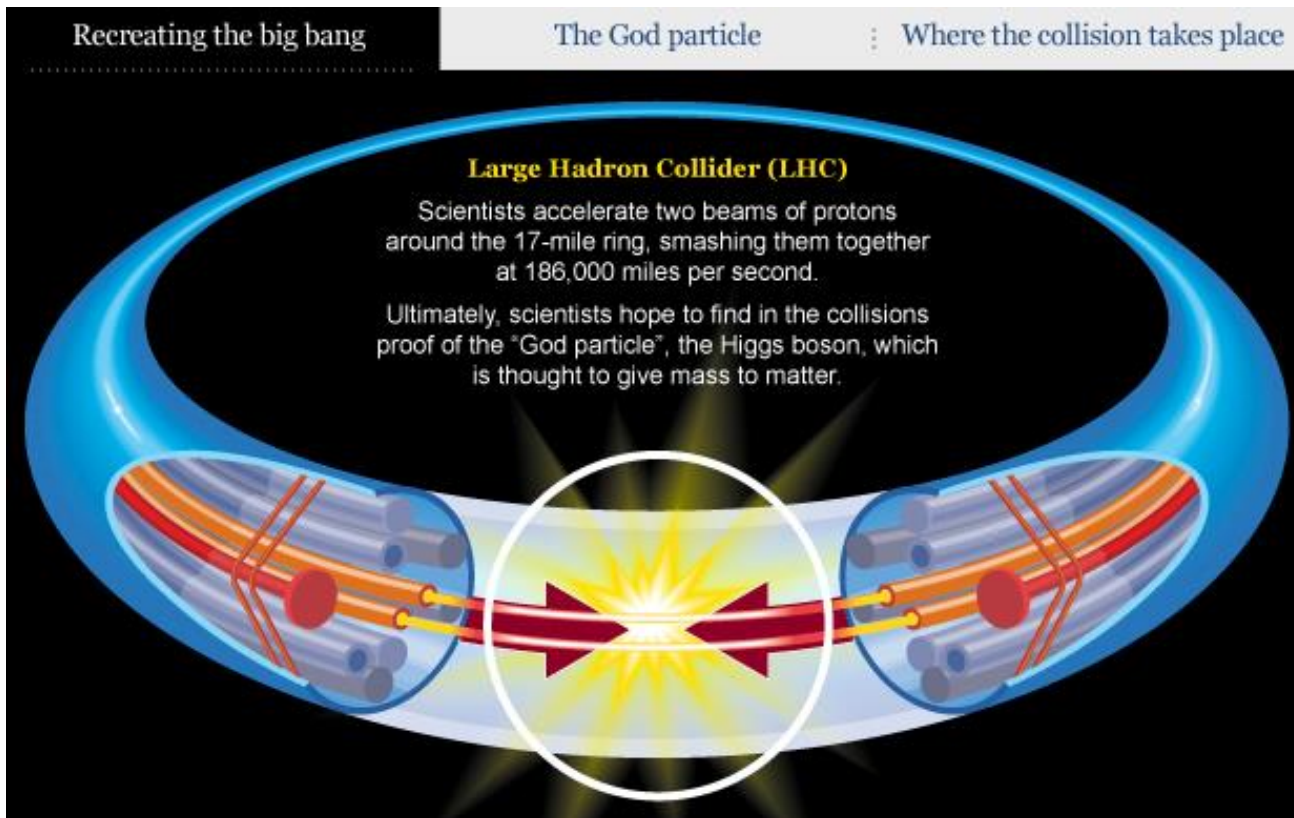
LEIR – Пръстен за Йони с Ниски Енергии

LINAC 2 – Линеен Ускорител 2

N-TOF – Неутрона Установа

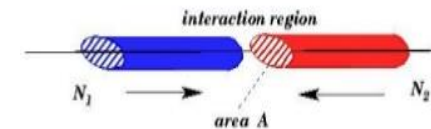
Снопове:

- ▶ Протони
- ▶ Йони
- ▶ Неутрони
- ▶ Антипротони
- ▶ Електрони



- Ускорител на заредени частици - в нашия случай протони
- Сблъскване на частици - енергия на взаимодействието:
 - $E = E(\text{сноп 1}) + E(\text{сноп 2})$
- Най-висока енергия на сблъсъците на LHC досега:
 - $E = 13 \text{ [TeV]} = 2 \times 6.5 \text{ [TeV]}$ (2015 - 2018 г.)
- Проектна енергия на LHC:
 - $E = 14 \text{ TeV}$

- Връзка (превръщане) между енергия и маса: $E = mc^2$
- При сблъсъка на сноповете от протони се раждат много нови частици.
- По-тежките частици са нестабилни и се разпадат бързо до по-леки частици, които можем да измерим.



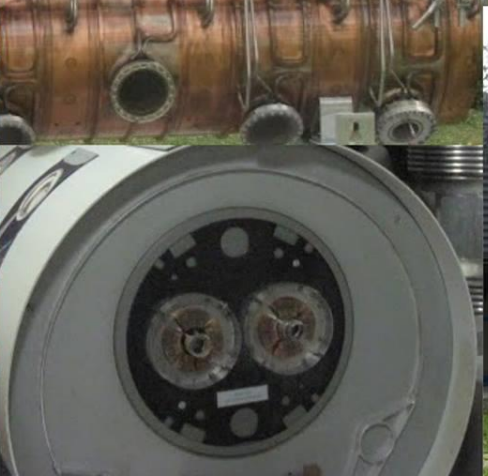
Ако сме създали частици при сблъсък в ускорител, искаме да можем да ги разглеждаме и изучаваме. И тук идват детекторите за частици. Ние ги изграждаме в точките на сблъсък в ускорител и ги използваме, за да идентифицираме колкото се може повече от това, което е произведено при сблъсъка.

Принципът на детектора за частици е прост. Той никога няма да „види“ частица директно, но показва къде е пътувала, какви следи оставя след себе си и ефекта, който има върху детектора, когато бъде спряна, докато излита от сблъсъка.

Детекторите се състоят от слоеве от различни видове материал, които се използват или да ни покажат пътя на частицата, докато се движат, или да я абсорбират, за да накарат частицата да спре.

Можем да идентифицираме различни видове частици в зависимост от това къде спират в детектора и как изглежда пътят им. Това е малко като полицейско разследване след автомобилна катастрофа – ако знаем какви частици са се образували при сблъсъка, в каква посока са летяли и колко енергия са имали, можем да реконструираме какво точно се е случило при сблъсъка.

Как изглежда един детектор?



Експериментът CMS (Run1&2) (Компактен мюонен соленоид)

Електромагнитен калориметър
Кристали от оловен волфрамат

Желязна конструкция (юке) на детектора
През него се затварят магнитните силови линии

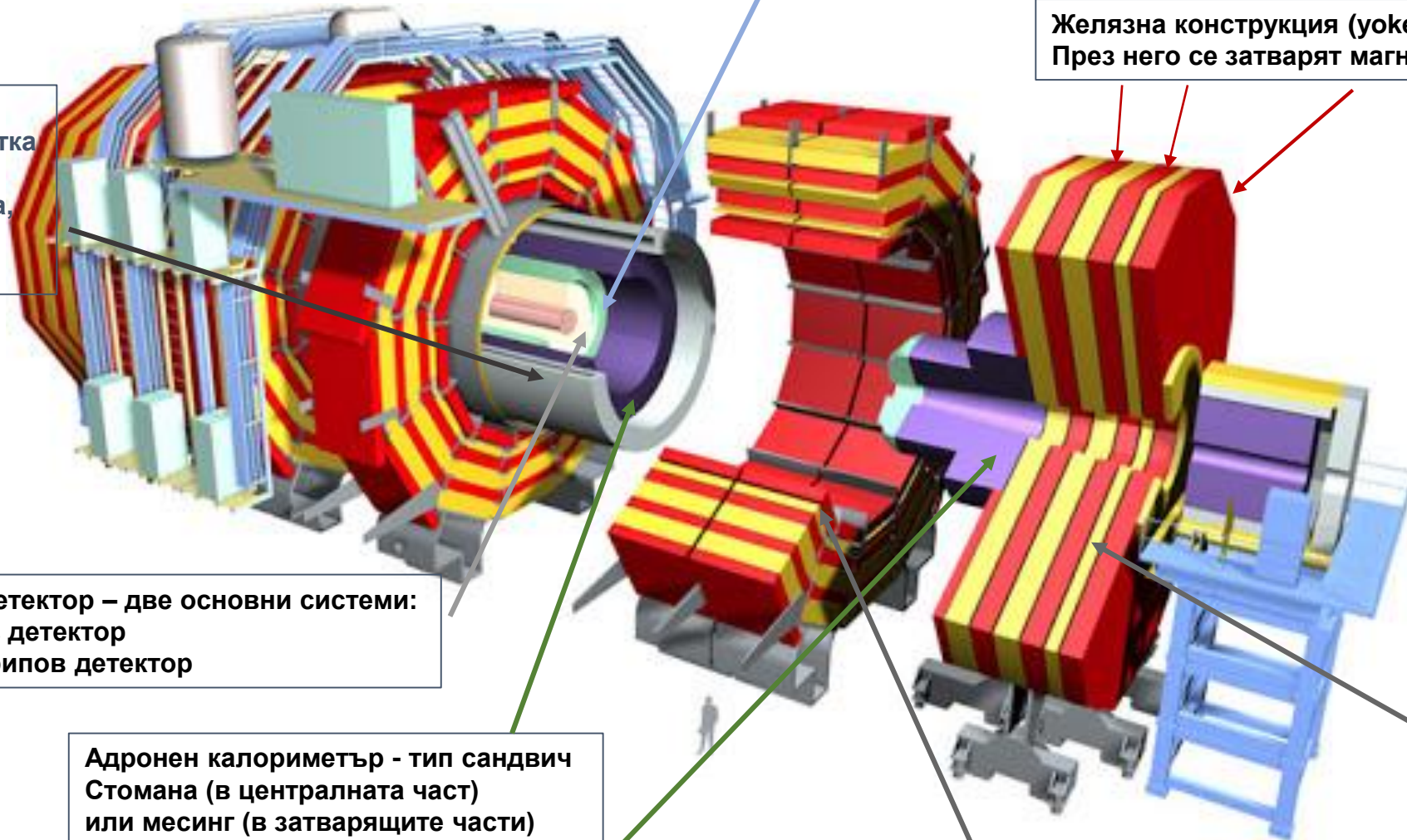
Соленоидален магнит
Суперпроводяща намотка
Магнитно поле:
3.8 T във вътрешността,
затворена от магнита
~1.8 T извън магнита

Вътрешен треков детектор – две основни системи:
Силициев пикселов детектор
Силициев микрострипов детектор

Адронен калориметър - тип сандвич
Стомана (в централната част)
или месинг (в затварящите части)
и пластмасови сцинтилатори

Мюонна система - централна част:
Камери с дрейфови тръби (DT)
Камери със съпротивителна плоскост (RPC)

Мюонна система –
затварящи части:
Катодни стрипови
камери (CSC)
Камери със
съпротивителна
плоскост (RPC)



Цилиндрична геометрия

-z

Y

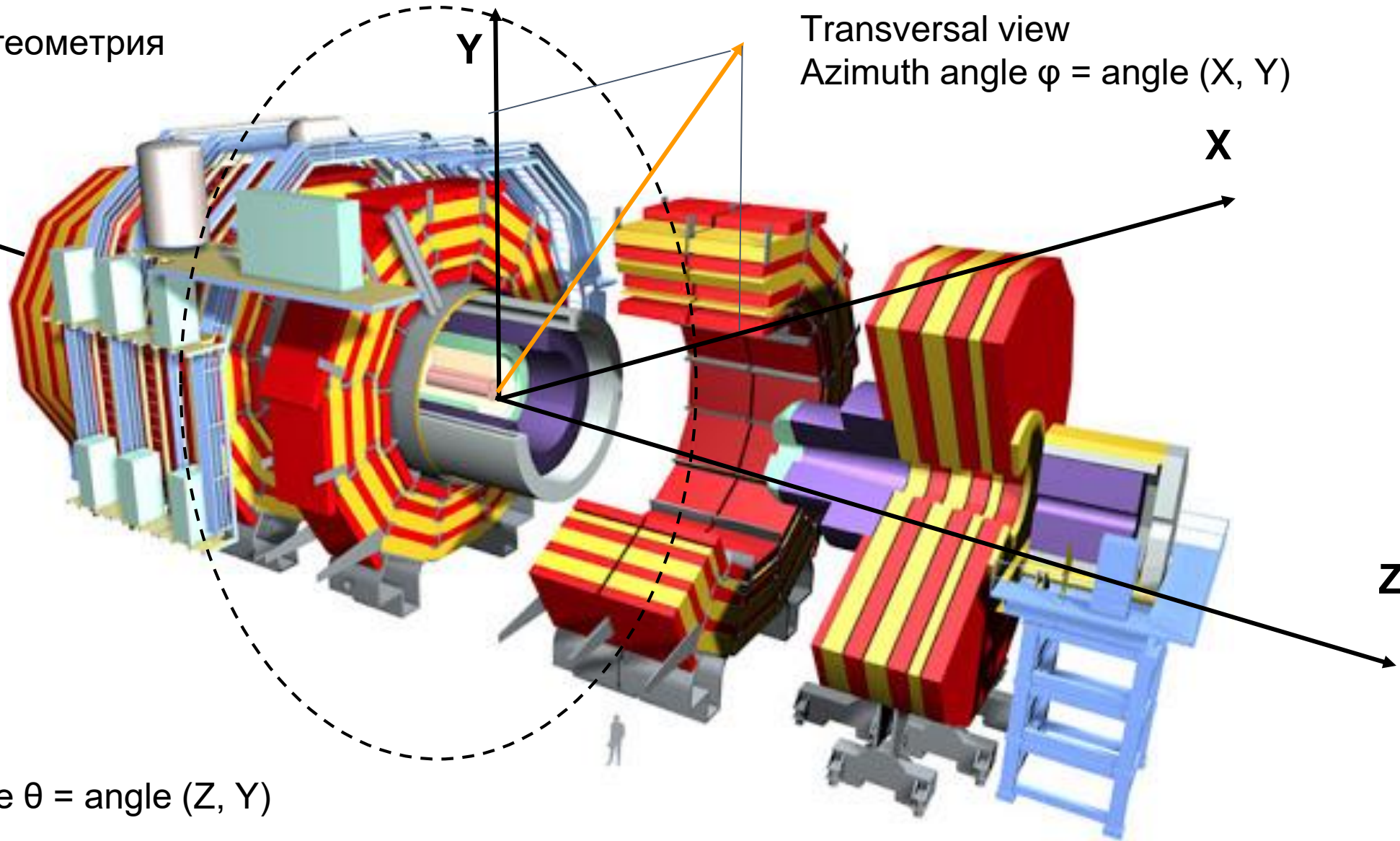
Transversal view
Azimuth angle $\varphi = \text{angle}(X, Y)$

X

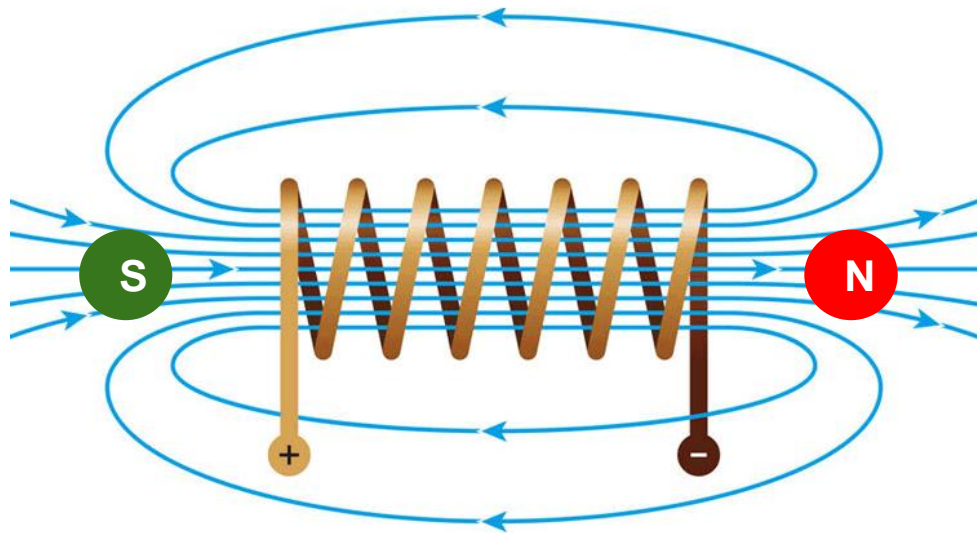
Z

Polar angle $\theta = \text{angle}(Z, Y)$

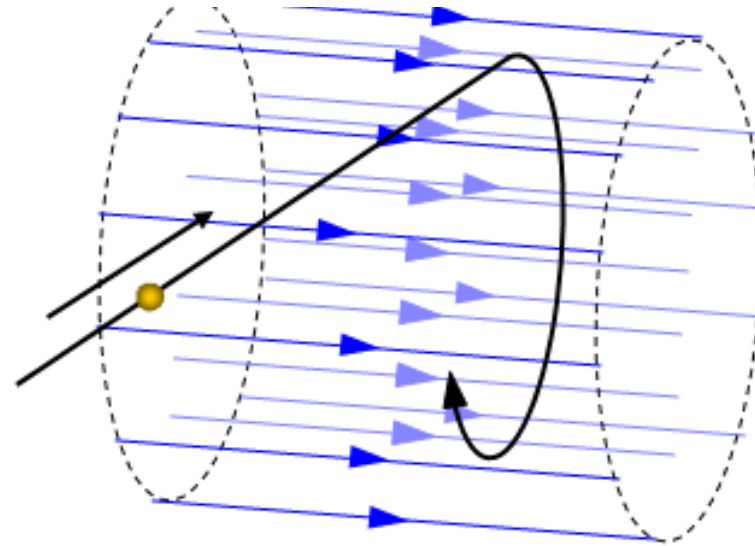
$$-\ln \tan \left(\frac{\theta}{2} \right) = \eta \quad \eta\text{-Pseudorapidity}$$



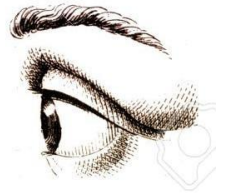
Движение на заредена частица в магнитно поле



Соленоид (магнитно поле)



Траекторията на заредена частица се закривява в магнитно поле.

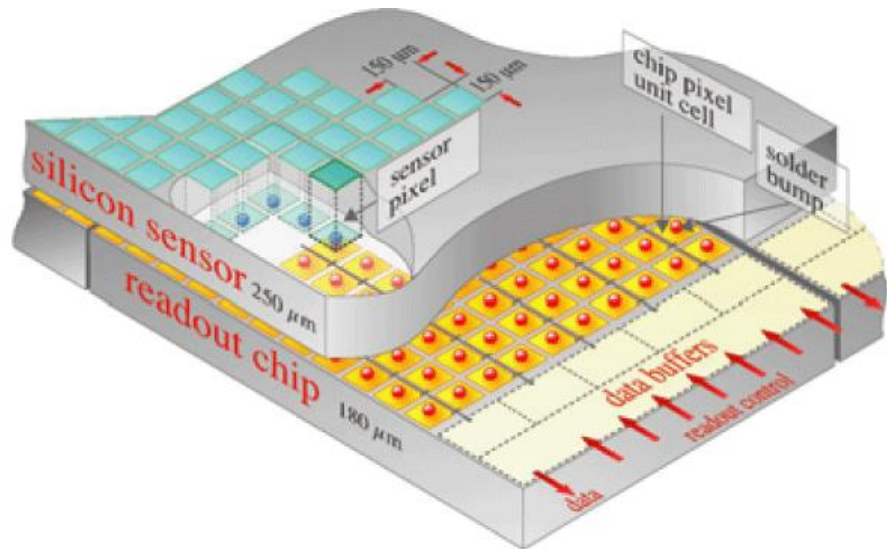


Ако гледаме срещу посоката на магнитното поле, положително заредените частици ще се отклоняват по посока на часовниковата стрелка, а отрицателно заредените в обратна посока.

В приложението iSpyWebGl, посоката на магнитното поле във вътрешността на магнита е по посока на оста Z. В основния XY изглед, оста Z е насочена към наблюдателя.

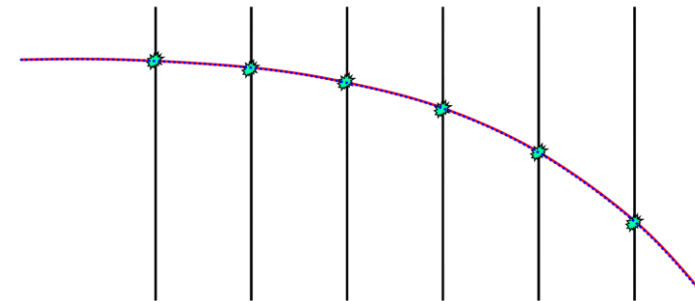
Определяне на импулс и заряд – Вътрешен треков детектор

Полупроводников детектор на трекове



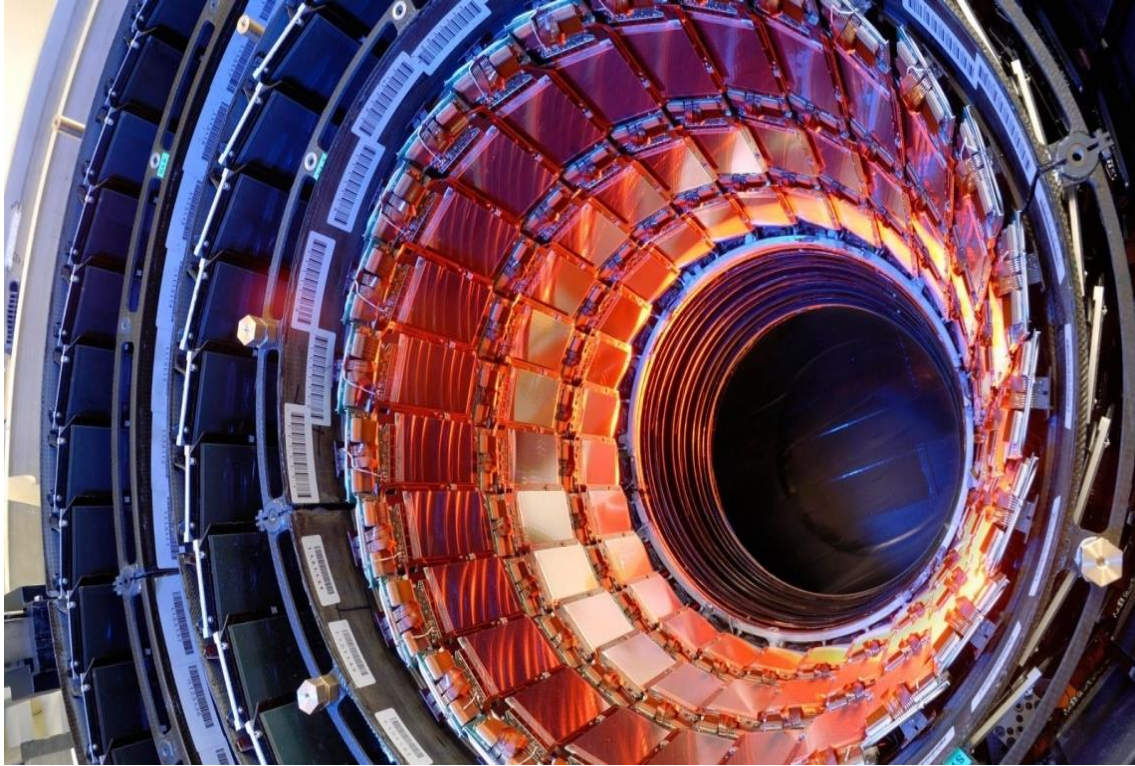
Пикселен детектор на трекове – многослоен полупроводников детектор от тънки пластинки с нанесена върху им електроника

*****Трек** е следата, която оставя заредена частица при преминаването си през детектор



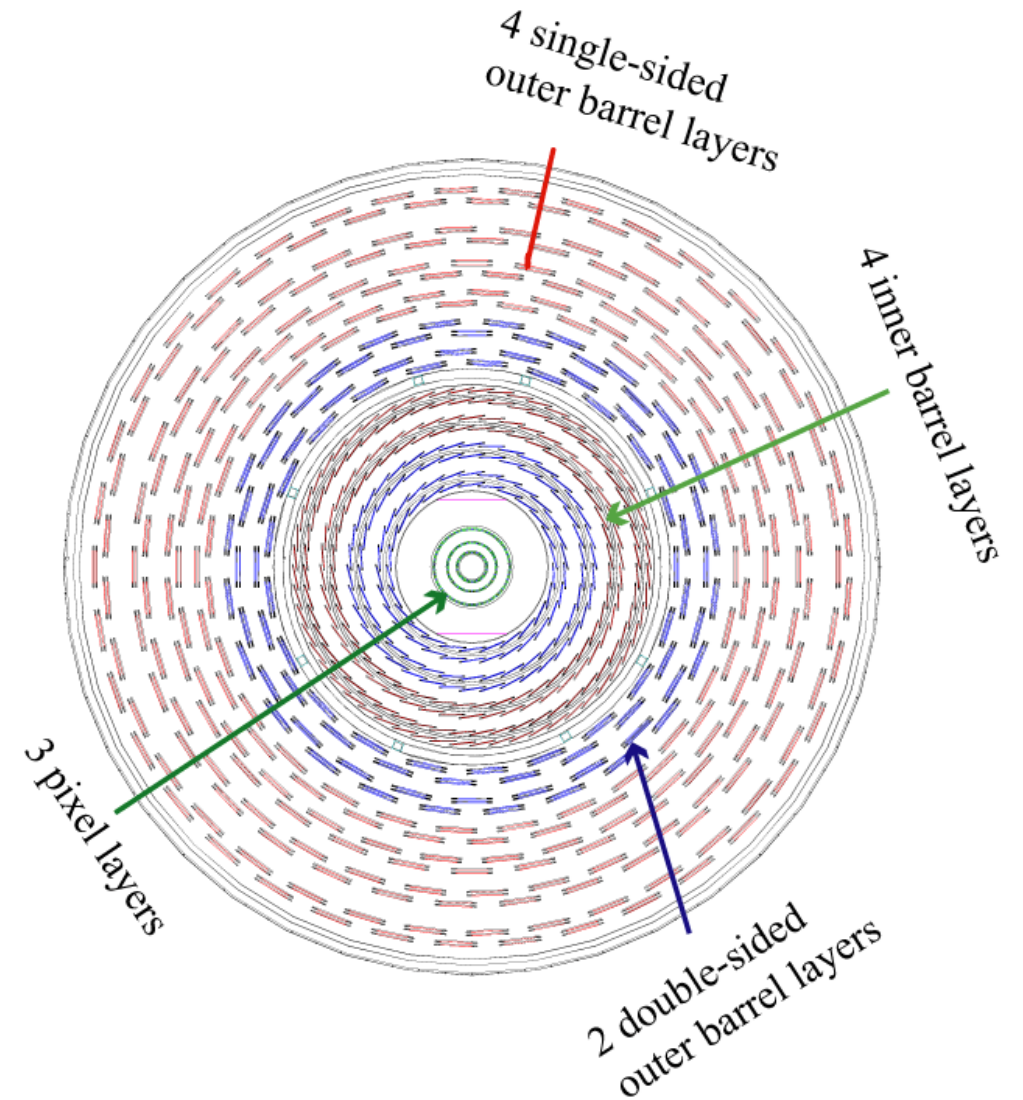
Сигналите от вътрешния треков детектор, позволяват да се реконструират техните траектории. Големината на закривяване на техните траектории позволяват определянето на техния импулс по формулата $r \sim p/B$, където r [m] е радиусът на кривината, p [GeV/c] – импулсът на електрона, а B [T] е магнитното поле.

Определяне на импулс и заряд – Вътрешен треков детектор



10 layers of Silicon Strip Sensors surrounding
2-3 layers of Silicon Pixel Sensors

15k silicon modules containing 76M pixels + strips

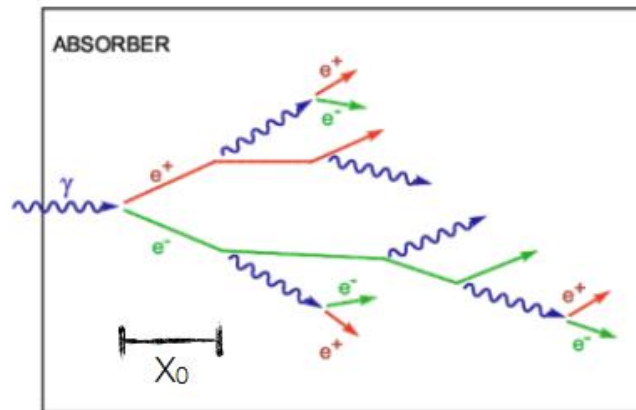
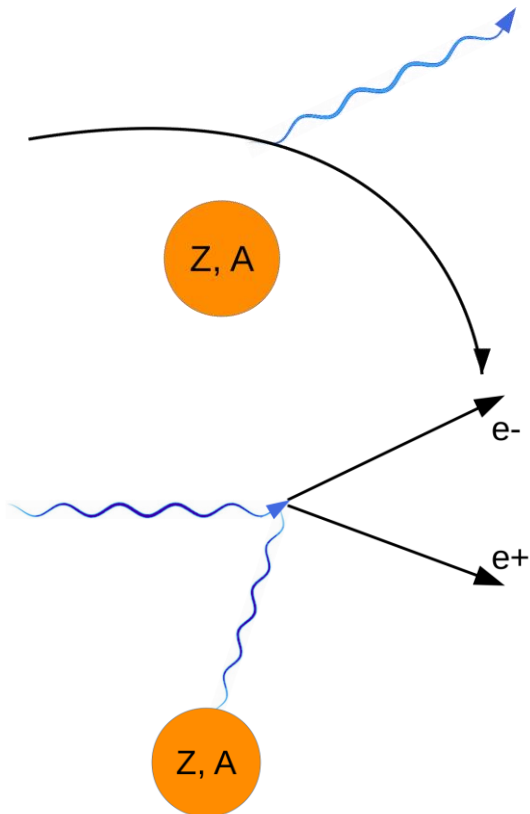


Детектиране на електрони, позитрони и фотони

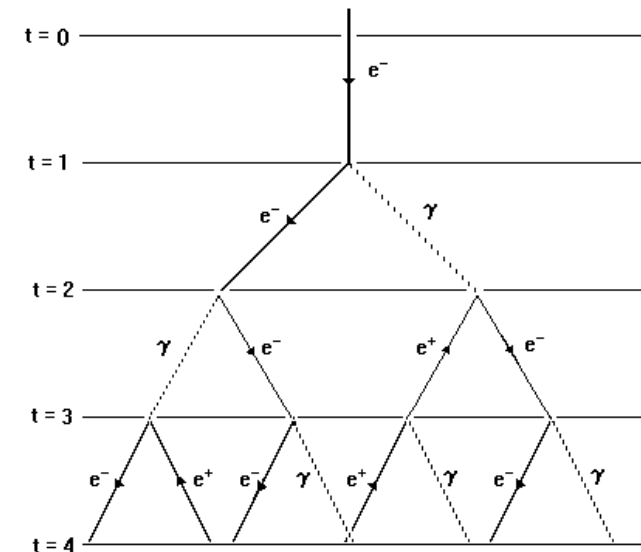
Електромагнитна лавина във вещество

Два процеса на загуба на енергия в плътна среда за e^\pm с $E > 1 \text{ GeV}$ или фотони:

- излъчване на фотон от заредена частица (примерно e^+ или e^-) при движение в полето на ядро от средата
- раждане на e^+e^- двойки от фотон, в полето на ядро от средата

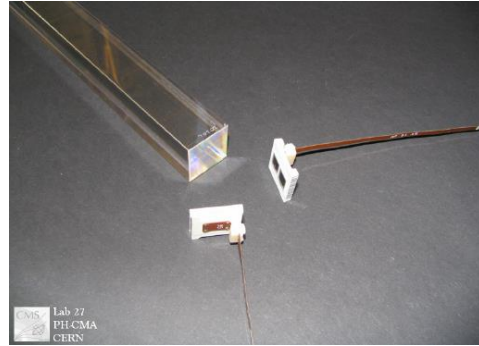


Енергията на частицата, иницирала лавината е пропорционална на броя изсветени фотони

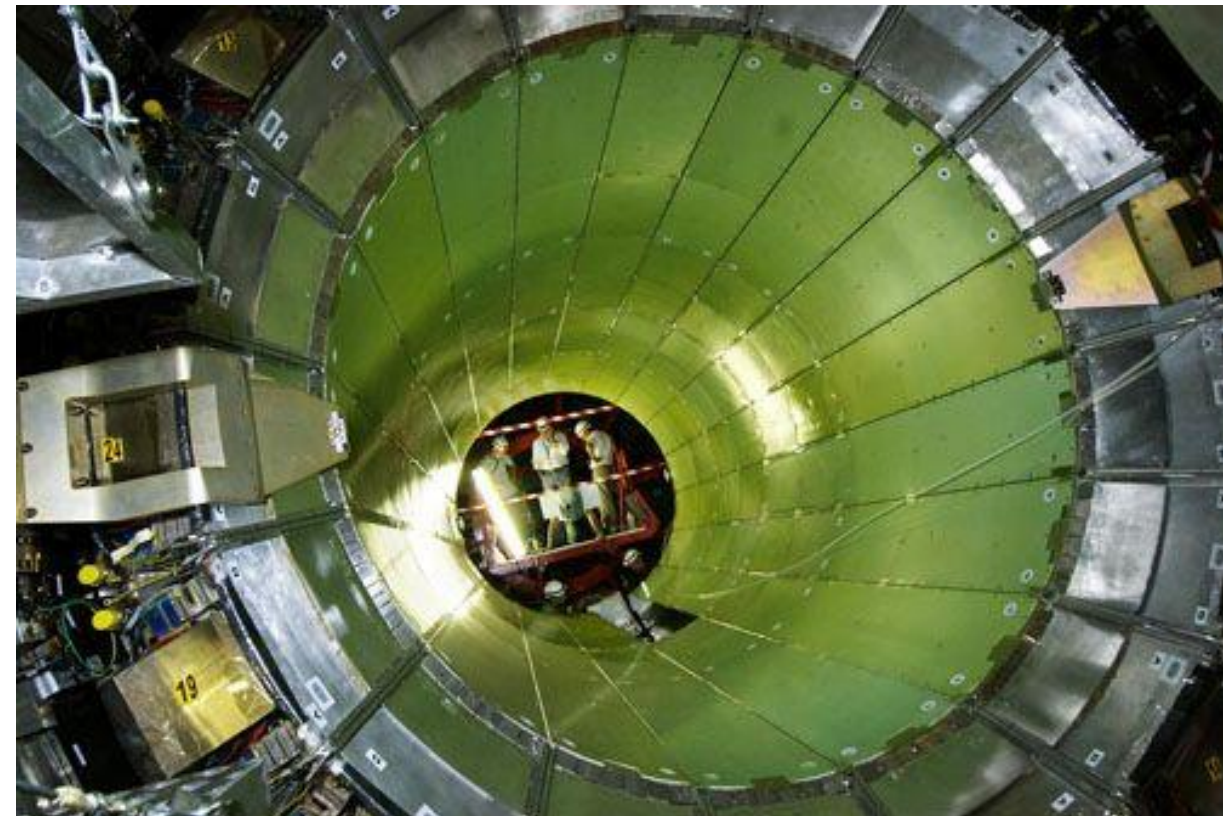
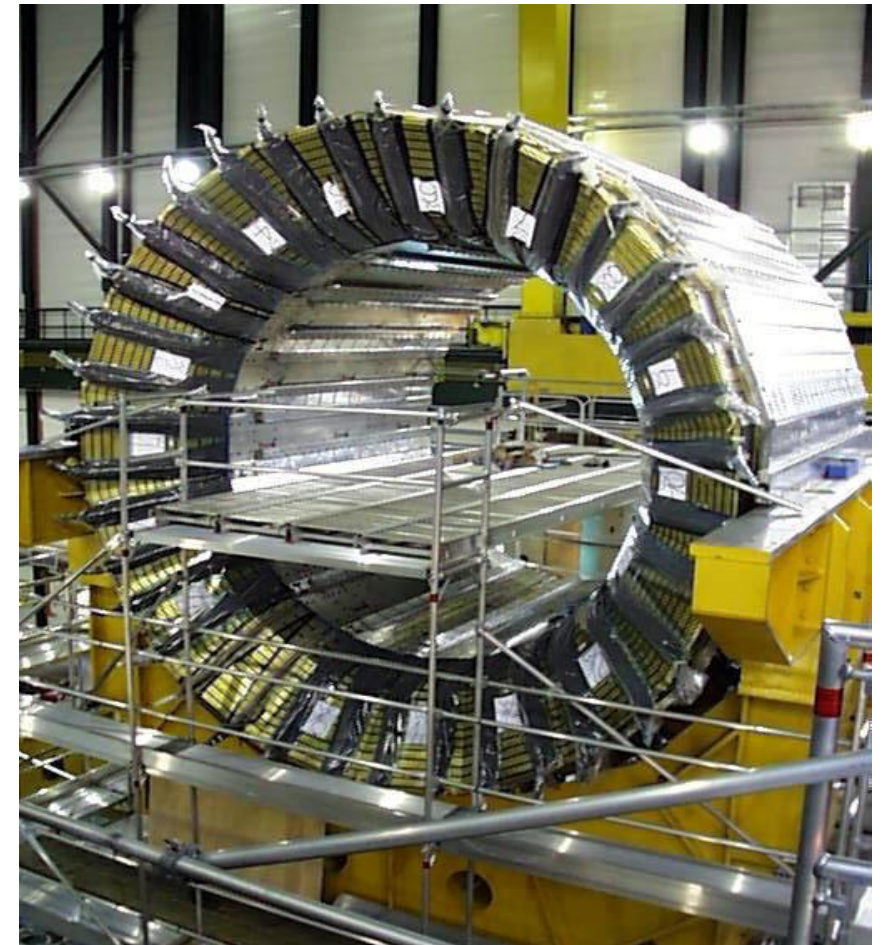
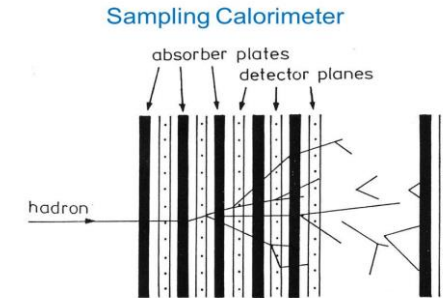


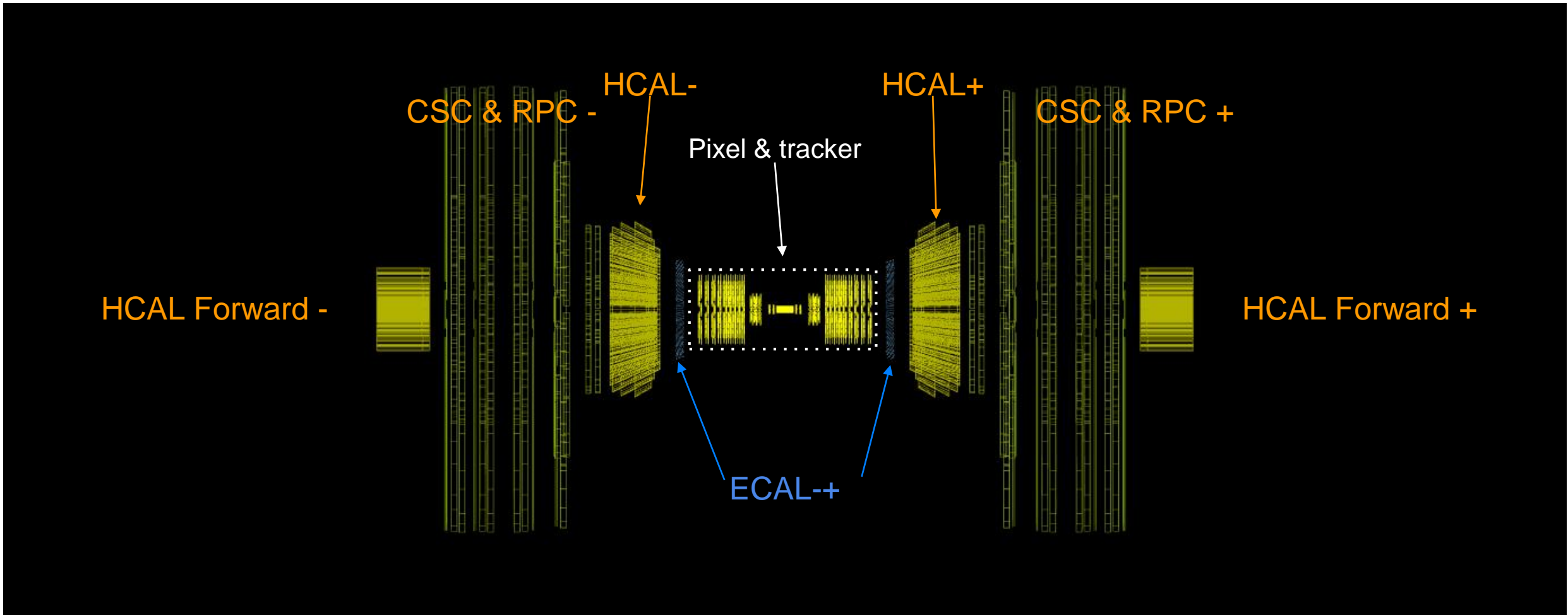
ECAL – електромагнитен калориметър на CMS

Кристал от оловен волфрамат и лавинни фотодиоди, използвани в ECAL на CMS



HCAL – адронен калориметър на CMS

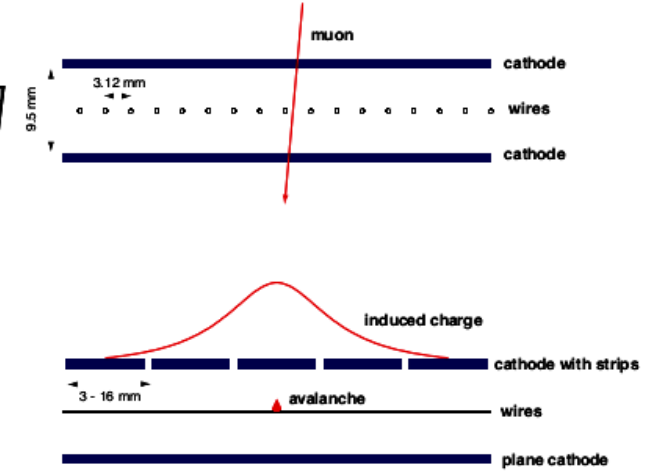
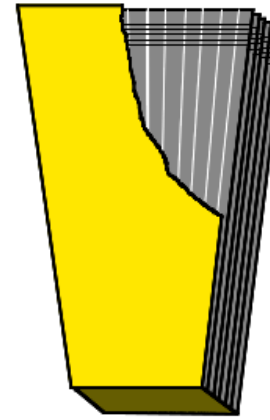
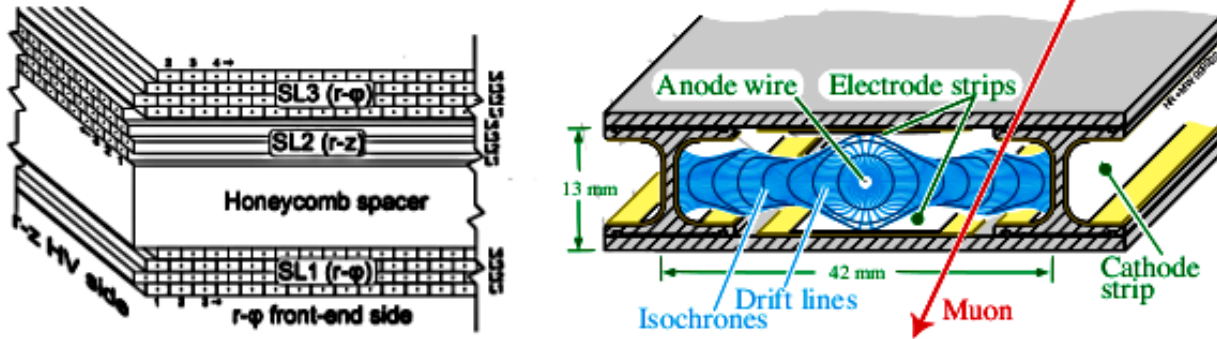




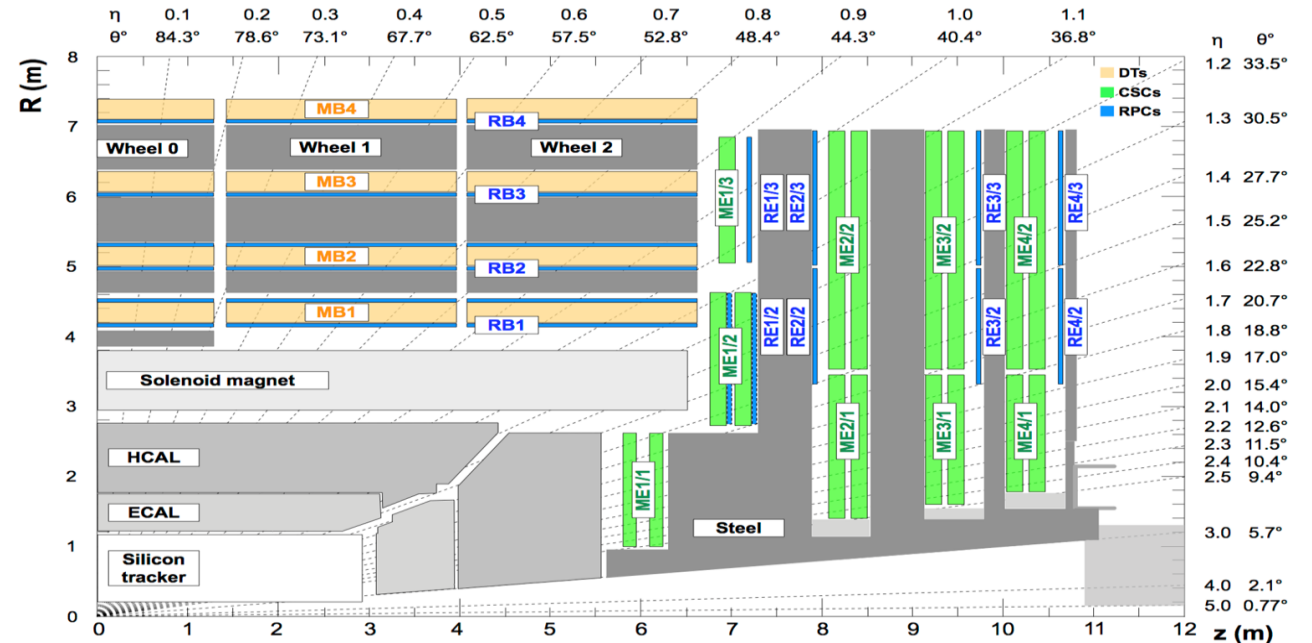
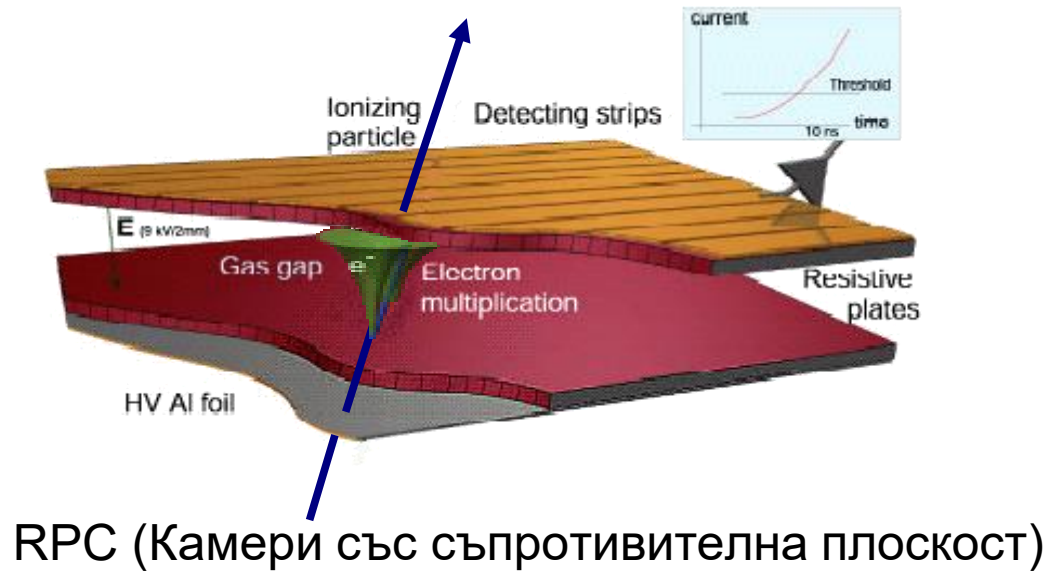
Забележка: не са показани всички детекторни слоеве, за да не се претрупва фигурата.

Мюонна система на CMS (Run1 & Run2)

DT (Камери с дрейфови тръби)

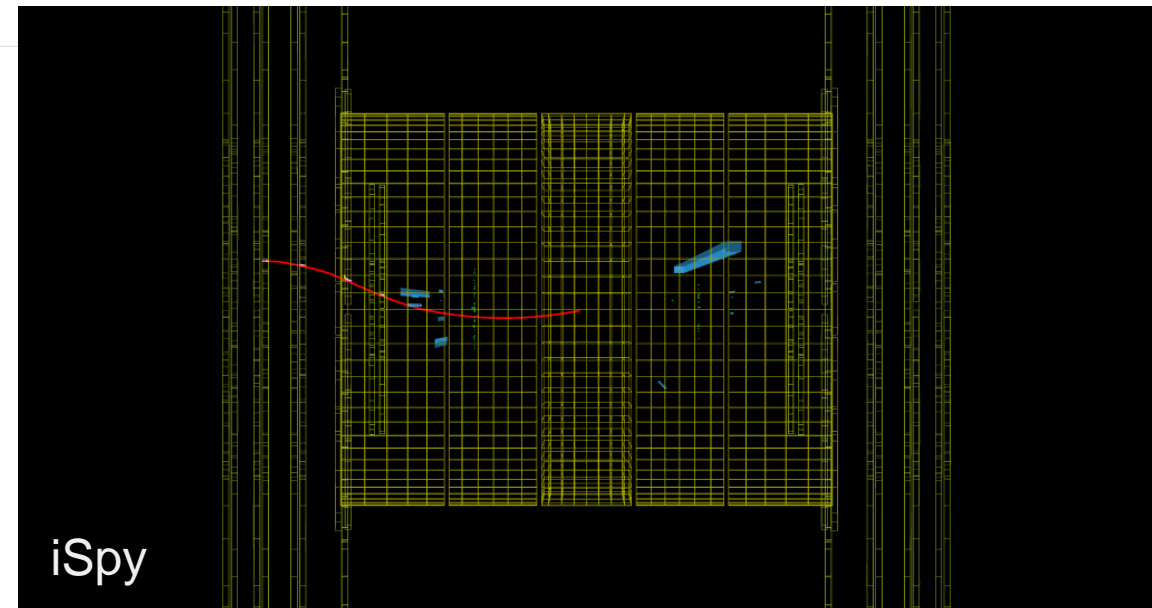
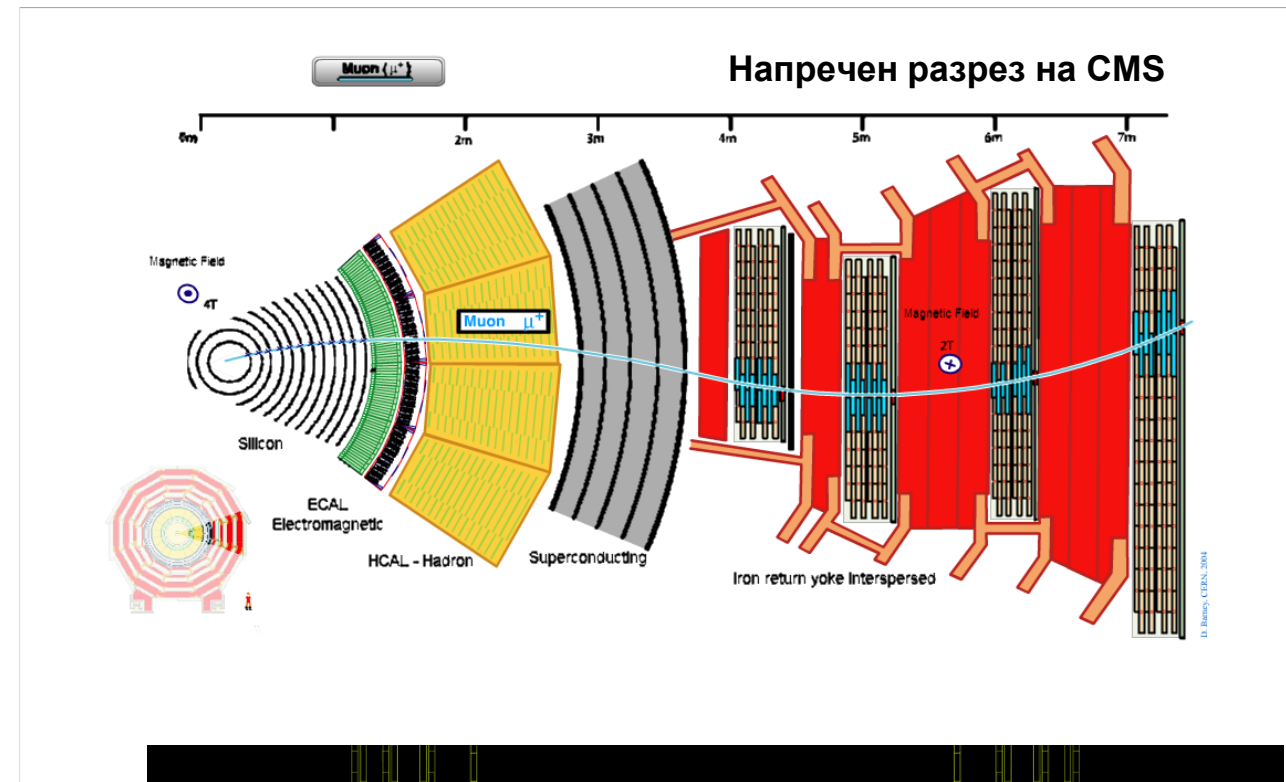


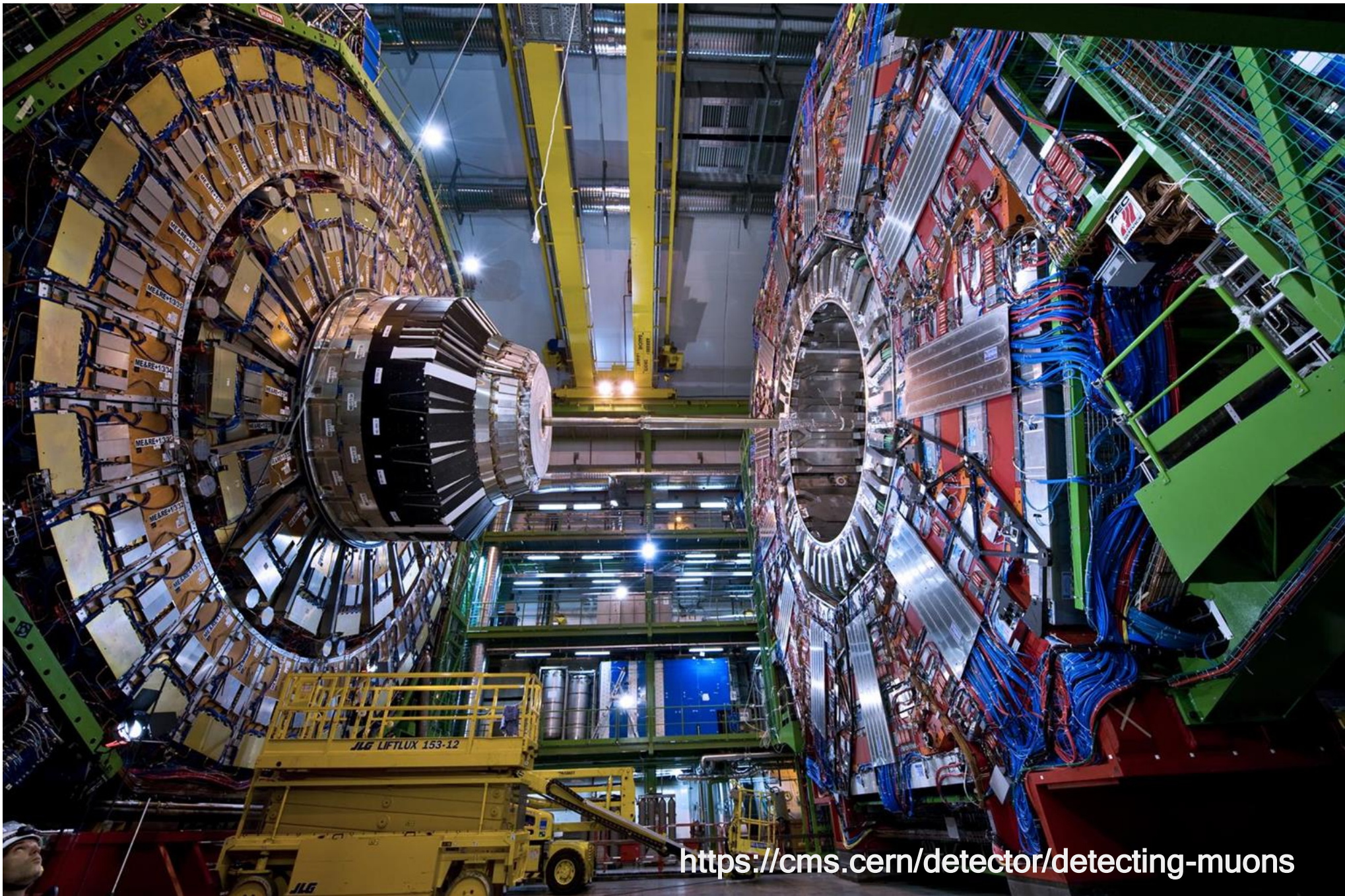
CSC (Катодно стрипови камери)



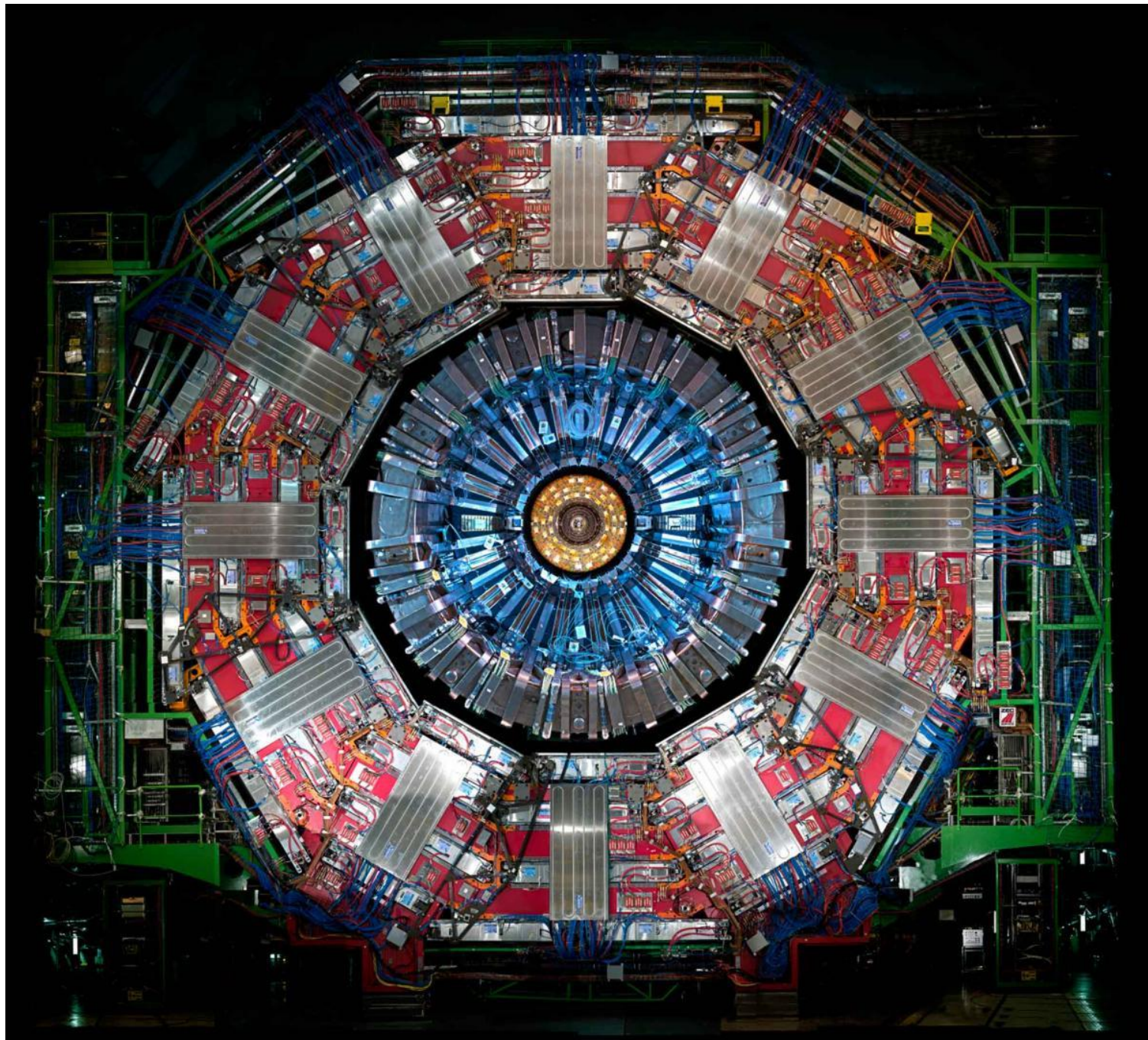
Регистриране на мюон

- Сигнали във вътрешния треков детектор и в мюонните камери;
- Почти не се наблюдават взаимодействия в калориметричната система;
- Имат електрически заряд и техните траектории се изкривяват в магнитното поле - измерване на импулс и определяне на заряд;
- Голяма проникваща способност, преминават през магнита и целия детектор;
- Раждат се в резултат от разпадането на по-тежки частици и носят информация за случването на интересни събития – примерно раждане и разпад на Хигс бозон.

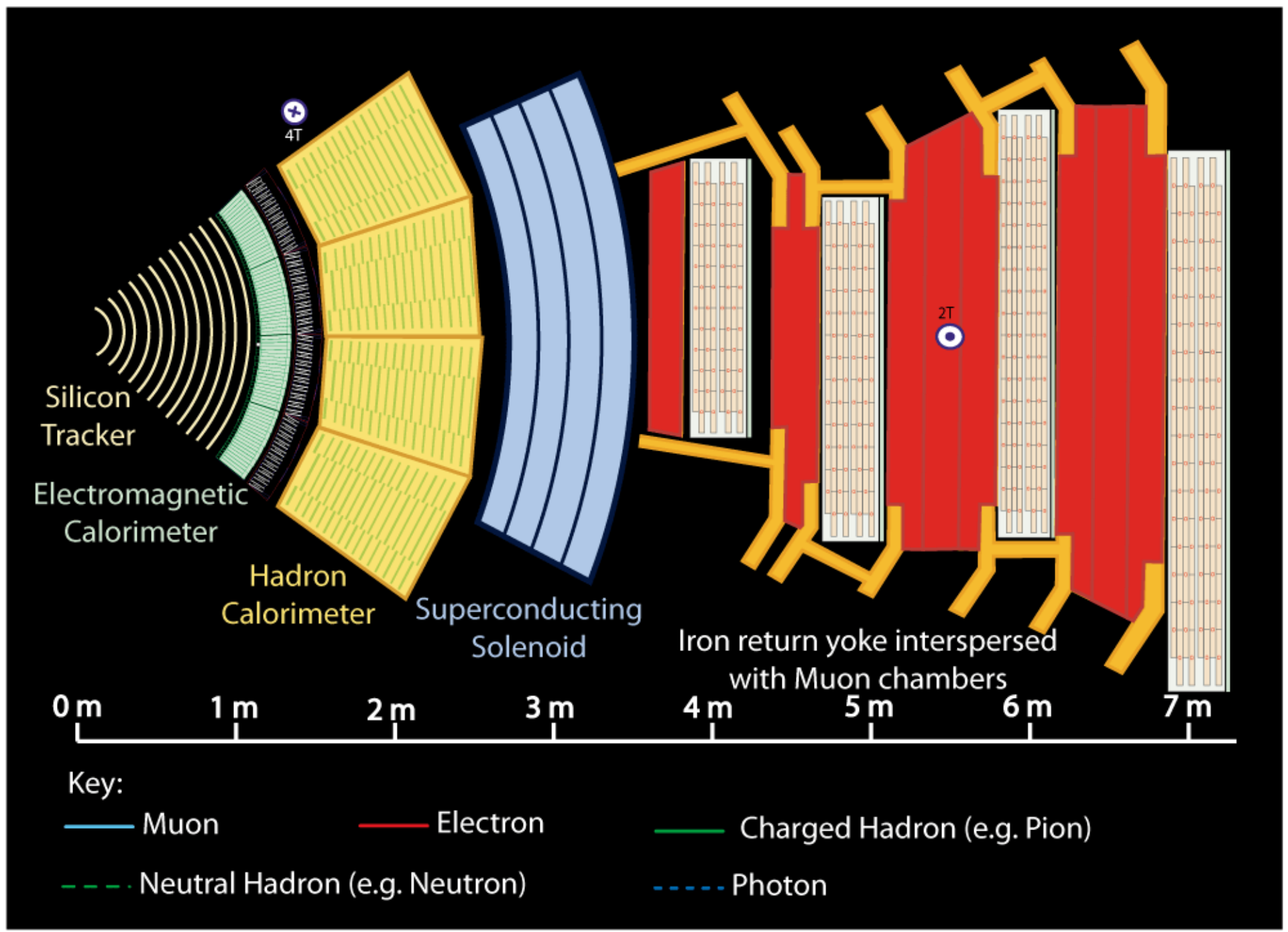


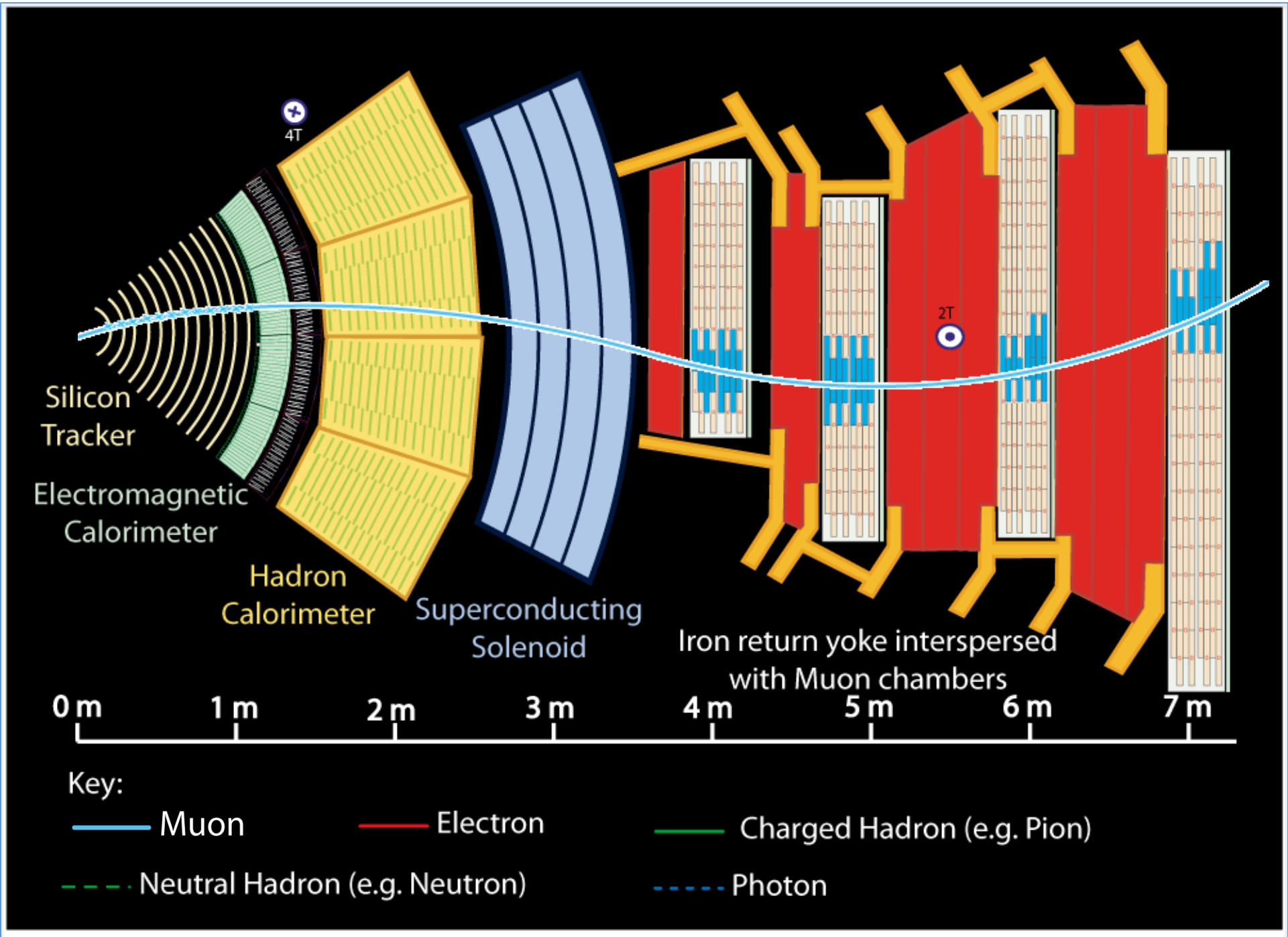


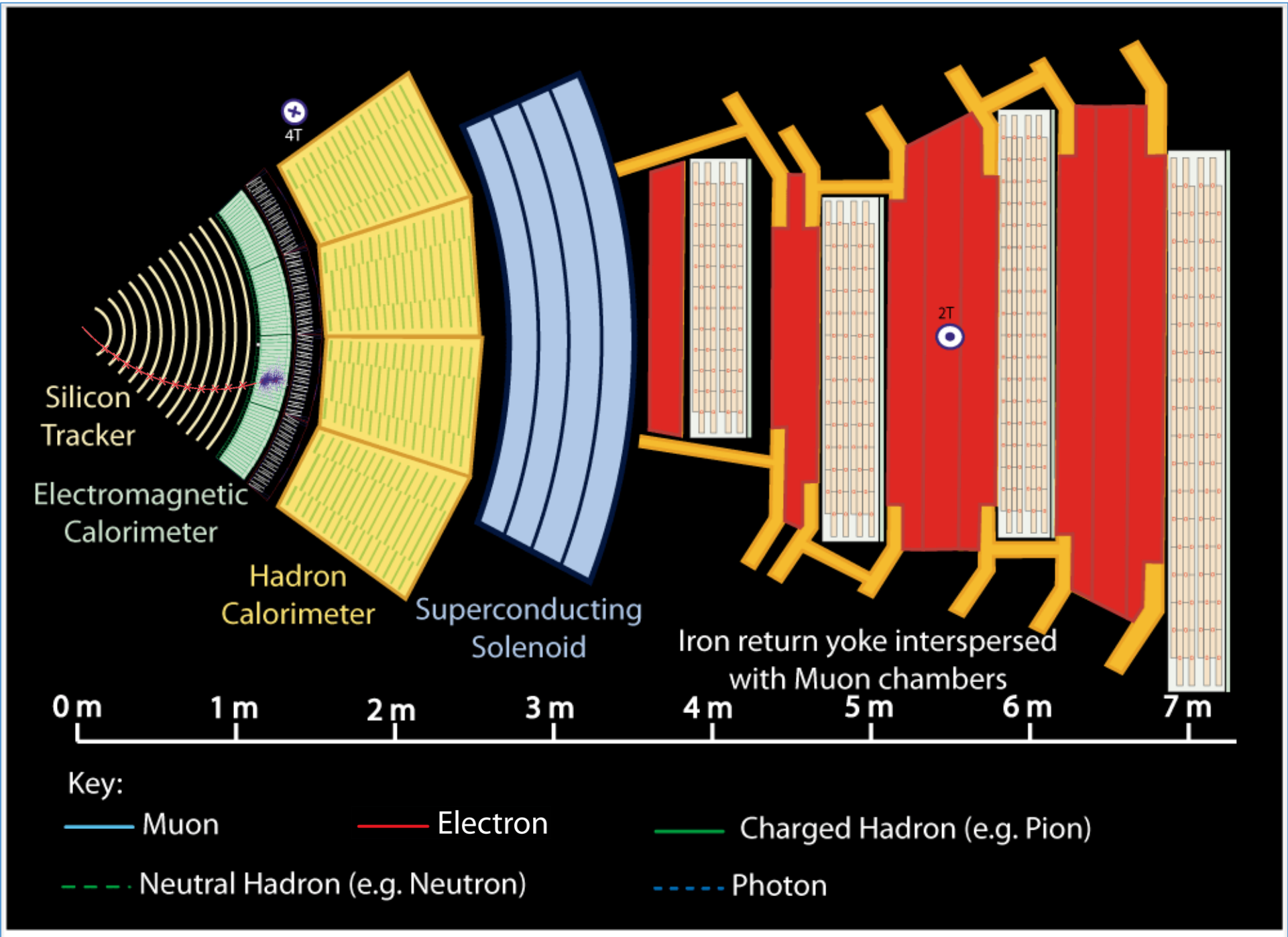
<https://cms.cern/detector/detecting-muons>



Как се регистрират частици със CMS







4T

Silicon Tracker

Electromagnetic Calorimeter

Hadron Calorimeter

Superconducting Solenoid

Iron return yoke interspersed with Muon chambers

2T

0 m 1 m 2 m 3 m 4 m 5 m 6 m 7 m

Key:

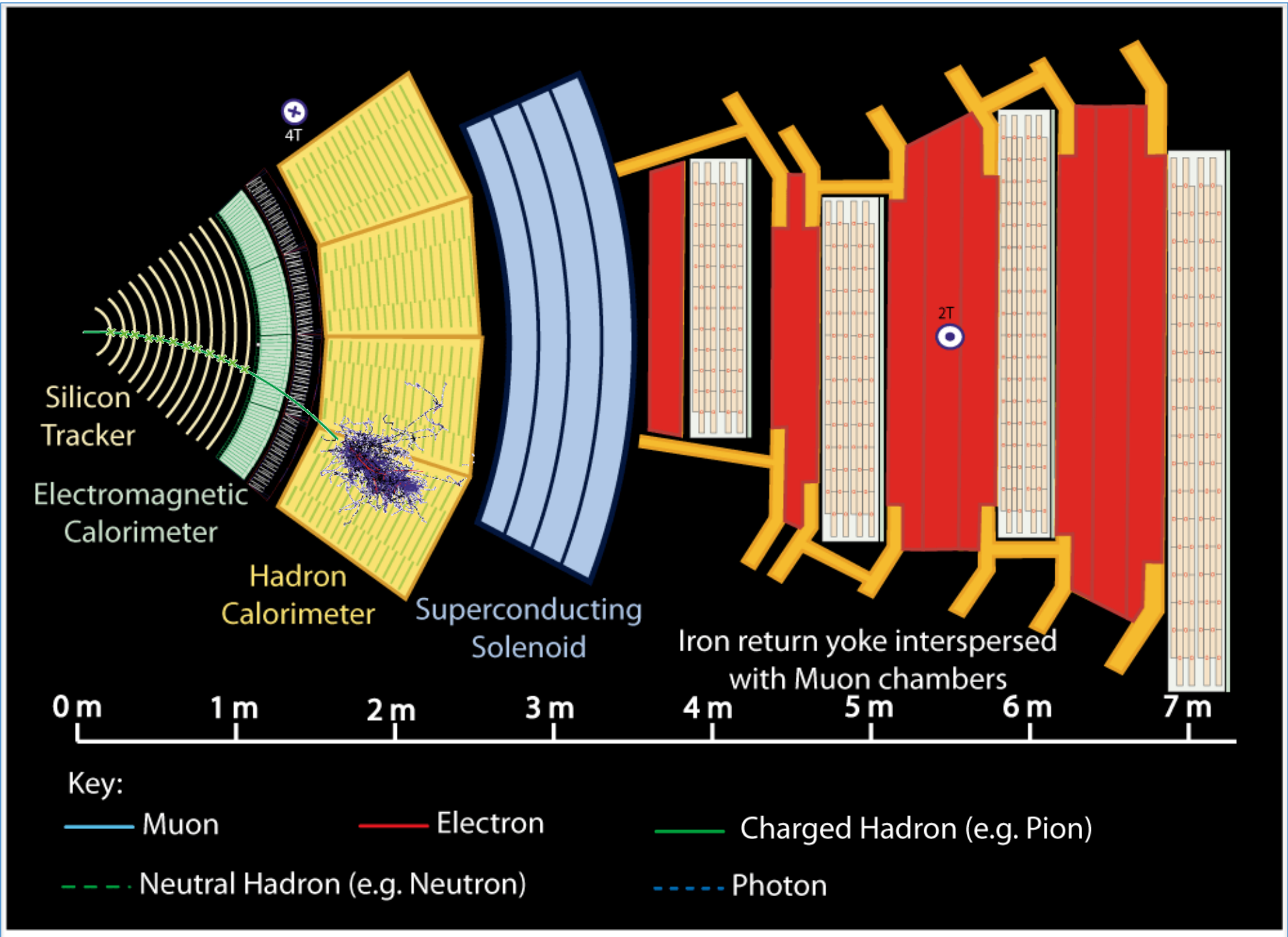
— Muon

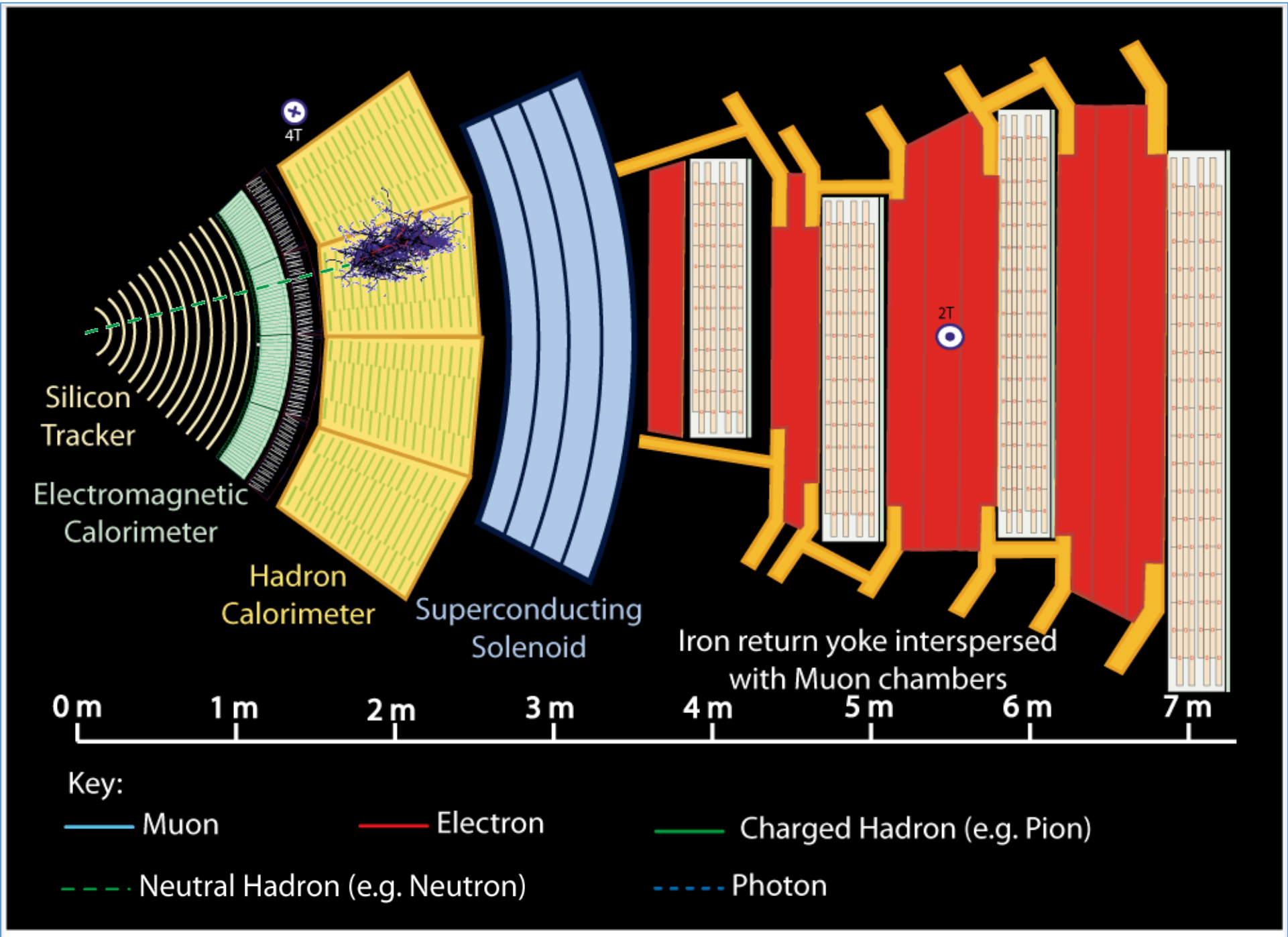
— Electron

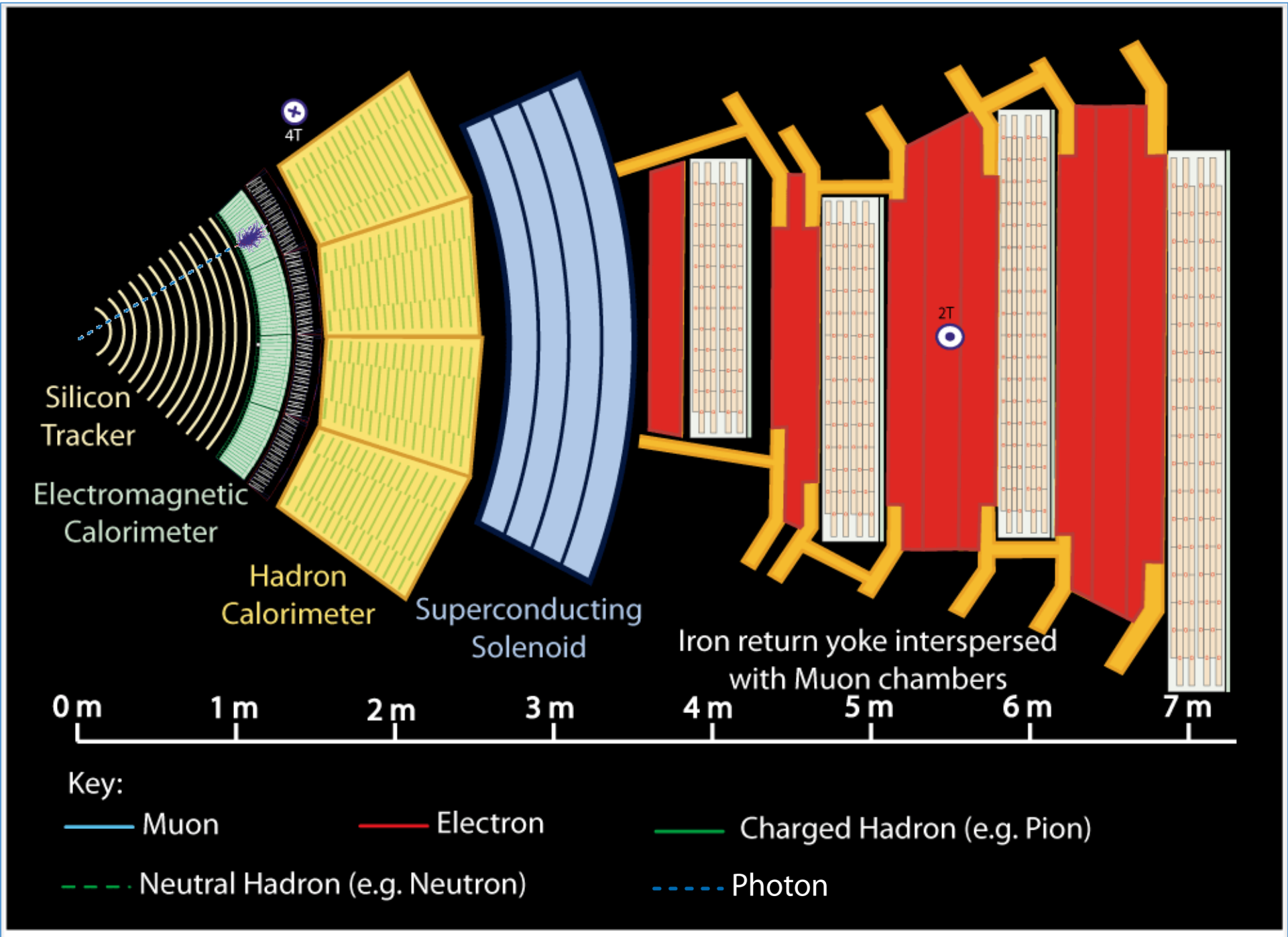
— Charged Hadron (e.g. Pion)

- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)

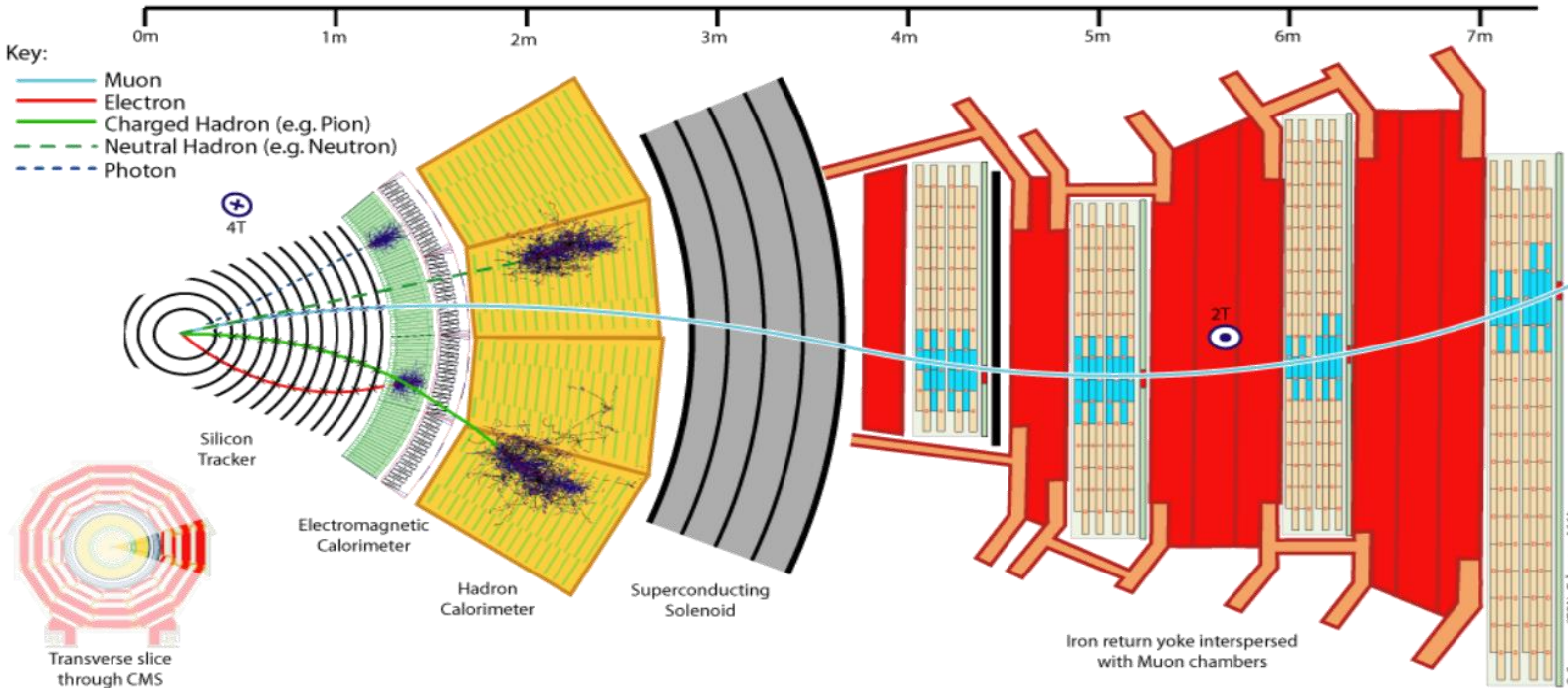
- - - Photon







Как се регистрира частица със CMS



- Силициев детектор:
 - Регистрира попадения на електрически заредени частици.
- Електромагнитен калориметър:
 - Регистрира електрони, позитрони и фотони
 - Те отлагат пълната си енергия в него
- Адронен калориметър
 - Регистрира адрони, които отлагат пълната си енергия в него

- Мюонна система:
 - Регистрира електрически заредени частици, преминали през всички останали системи и магнита.
 - Ние предполагаваме, че такива могат да бъдат само мюоните.

Комбиниране информацията от отделните детекторни системи!

Липсваща енергия

- Частици, които не могат да бъдат регистрирани с нашия детектор
 - Неутрино - трябва ни много по-голям детектор
 - Частици, които не познаваме
- Но ние може да направим оценка какво количество енергия или импулс са отнесли тези частици!

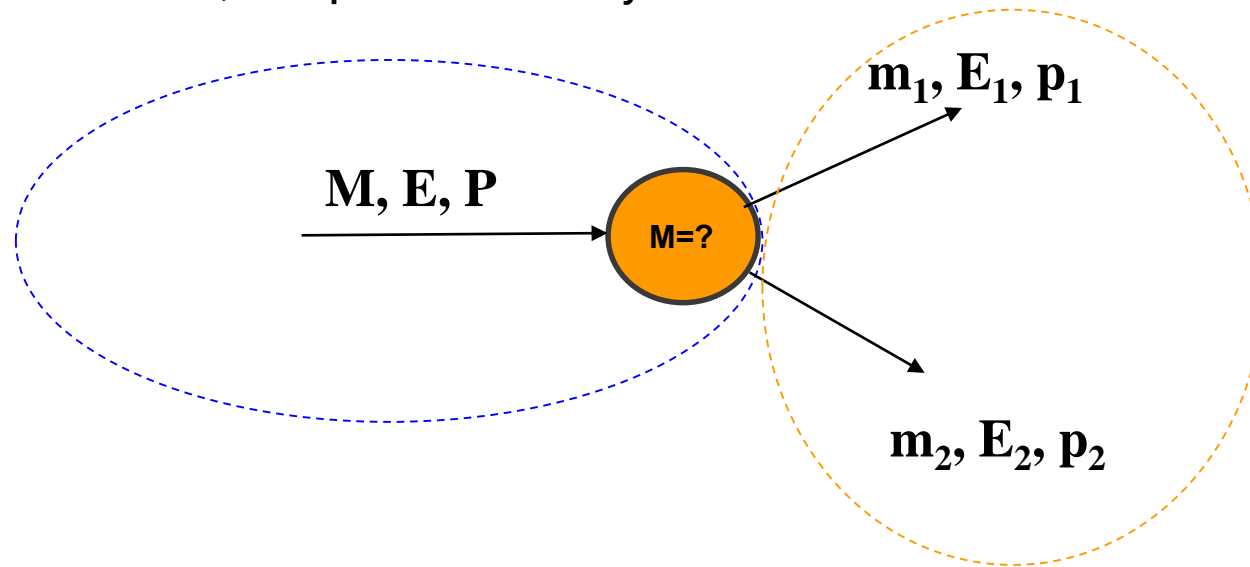
Величината, която ще използваме в нашия анализ се нарича **Missing Energy** и съдържа в себе си сумата от енергиите, отнесени от всички частици, които не сме успели да регистрираме и измерим. А също и информация за посоката, в която е отнесена тази енергия.

- Забележете, липсващата енергия може да е отнесена от повече от една частица!

Разпадане на частица → идентифициране

Начално състояние (**НЕИЗВЕСТНО**):

Частичка с маса M , енергия E и импулс P



Краино състояние (**ИЗВЕСТНО**):

Частичката се е разпаднала на две други частици в маси, енергии и импулси, съответно m_i , E_i , p_i , които са се разлетели една спрямо друга на ъгъл α

Използваме закона за запазване на енергията и импулса.

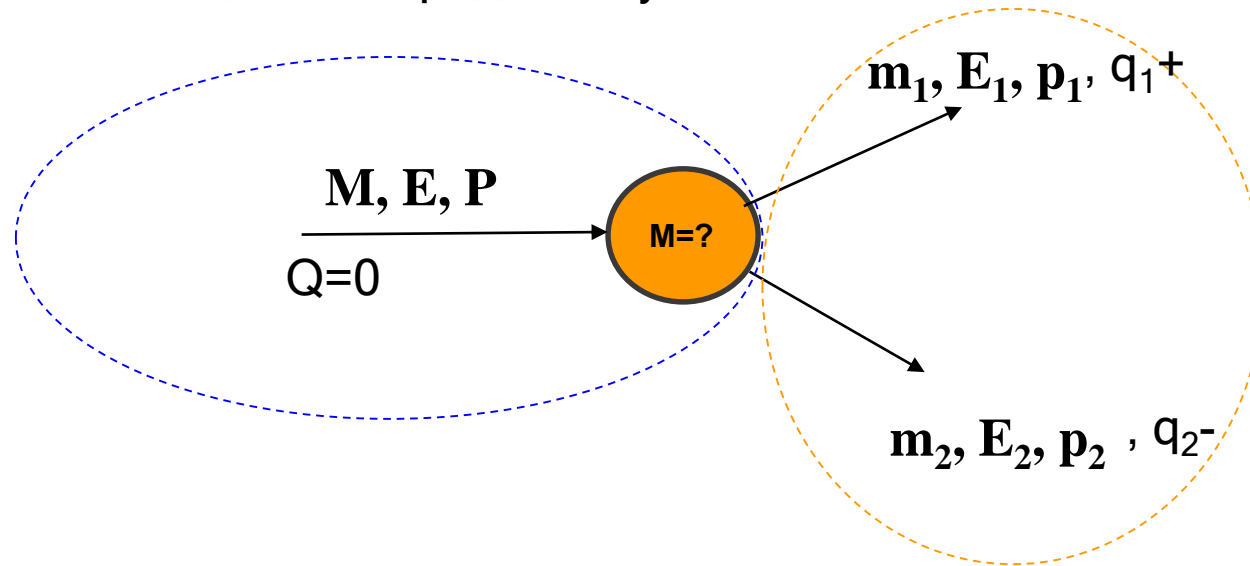
$$M^2 = m_1^2 + m_2^2 + 2(E_1 \cdot E_2 - p_1 \cdot p_2 \cos \alpha)$$

Маса на частицата-майка

Закон за запазване на електрическия заряд

Начално състояние:

Примерно: Частица със заряд $Q = 0$.



Краино състояние:

Сборът на електрическите заряди на дъщерните продукти в крайното състояние, трябва да бъде колкото е зарядът в началното състояние.

В конкретния пример трябва да имаме две частици едната с положителен, а другата с отрицателен електрически заряд.

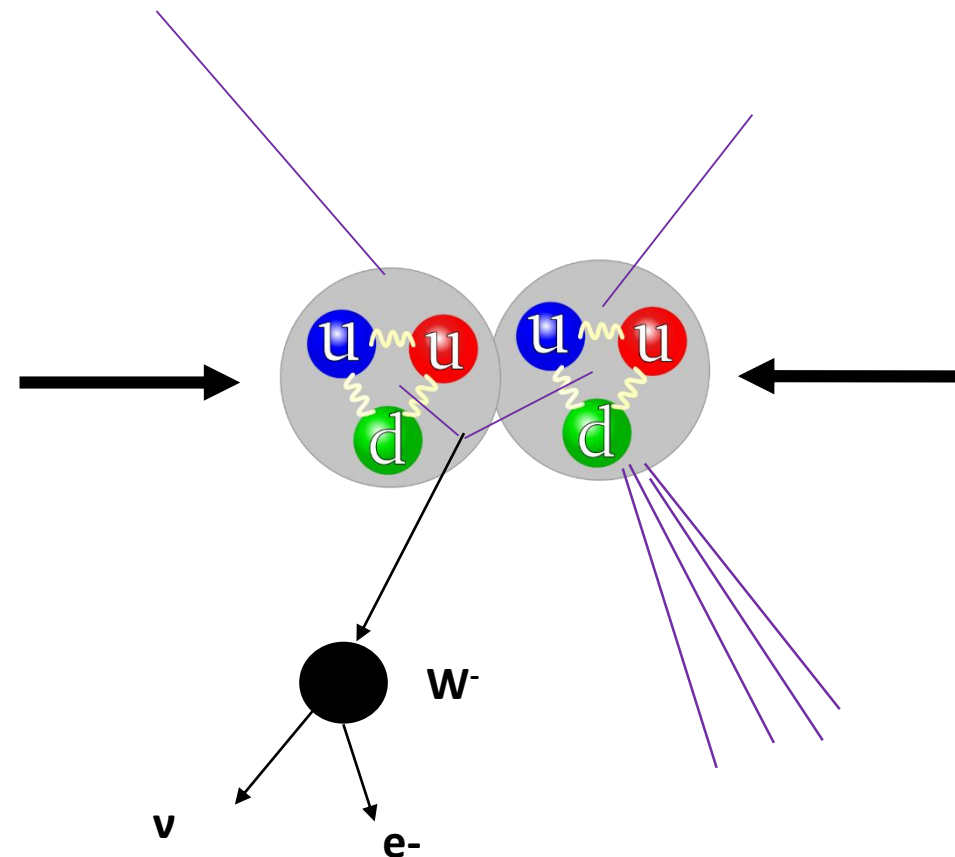
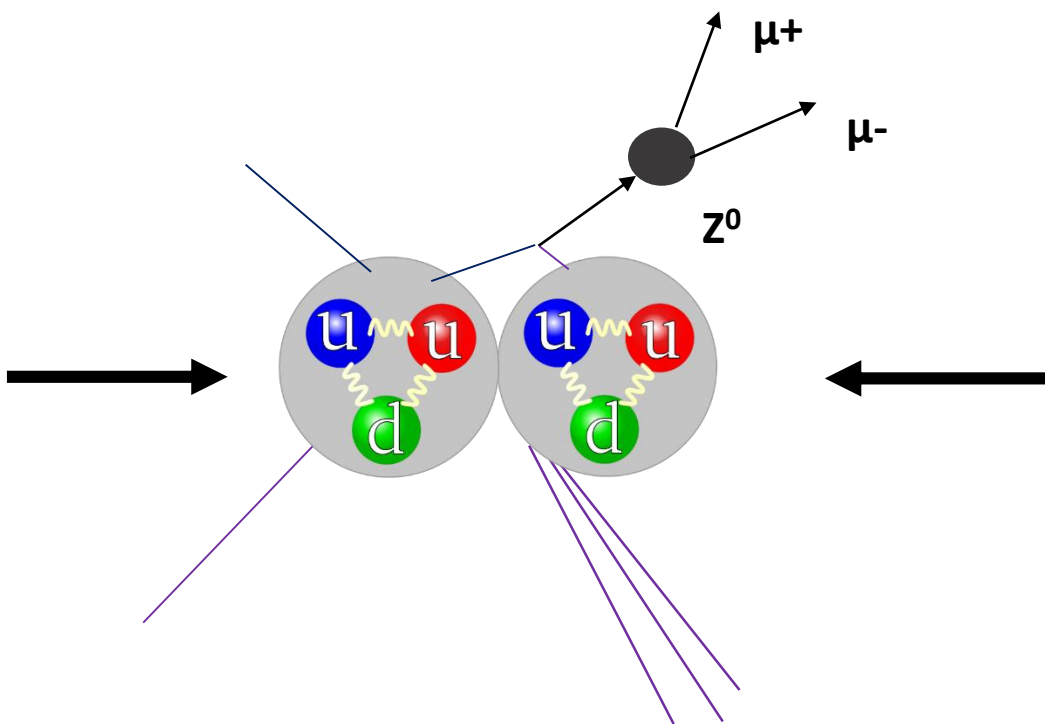
Теоретична част на практическата задача

Цели на практическата част:

- Да се разбере научния процес на анализ на експериментални данни
- Да се направи анализ на реални измервания
- Да се разбере какво се наблюдава (значението на анализираното събитие)
- Да се разбере къде се вписват тези измервания и каква е ролята им за разбиране на познатата ни Вселена

За разлика от електромагнитните сили, които са пренасяни на големи разстояния от безмасовите фотони, **слабите взаимодействия се пренасят от тежки (масивни) частици, което ги ограничава до много малки разстояния.**

Ние търсим **медиаторите на слабите взаимодействия:**
електрически заредените **W^\pm** бозони & неутралният **Z** бозон.



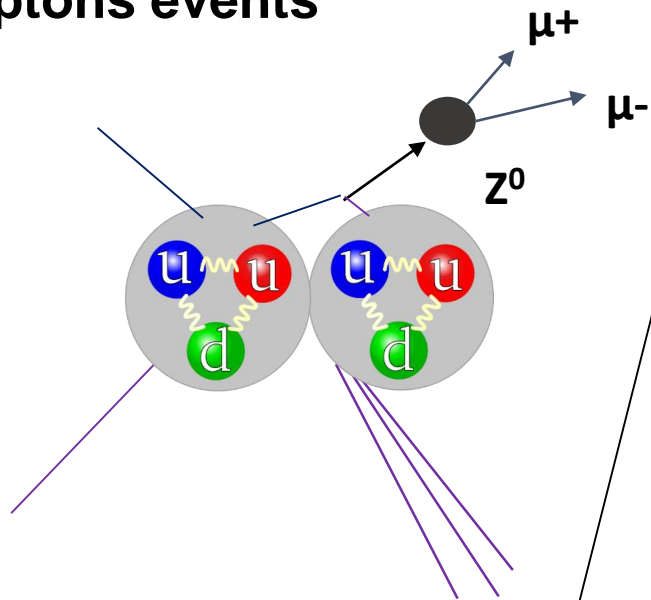
Сблъсъци с достатъчно голяма енергия могат да създадат W и Z или други частици.

Ще се ограничим само с няколко вида разпада!

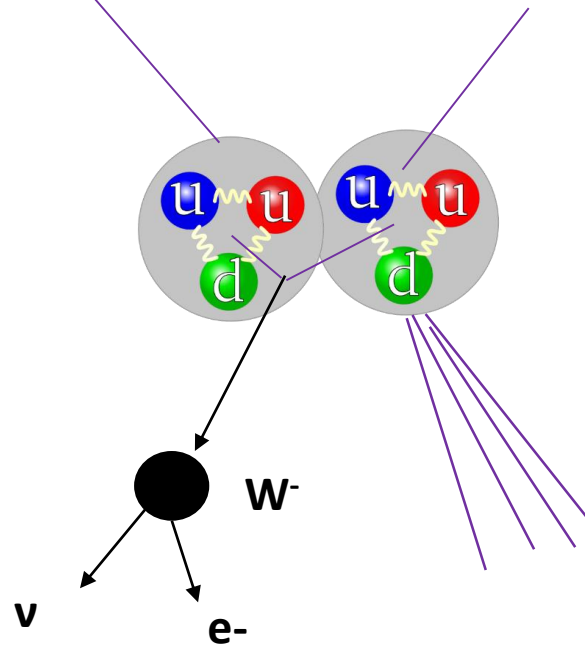
Ще анализираме само събития с един, два или четири лептона
в крайното състояние.

Ще се ограничим върху събитията с мюони и електрони.

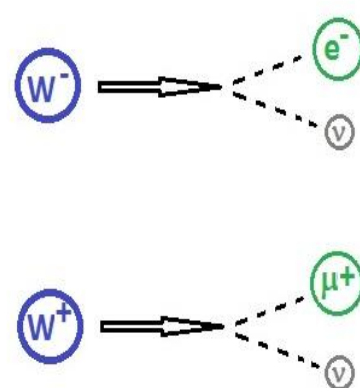
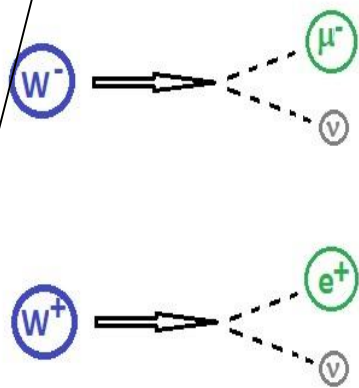
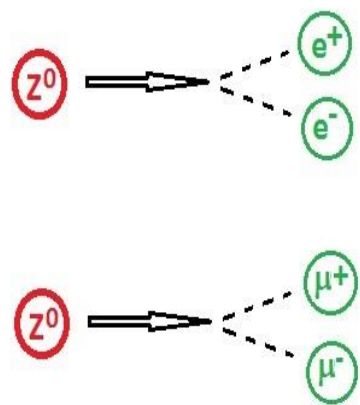
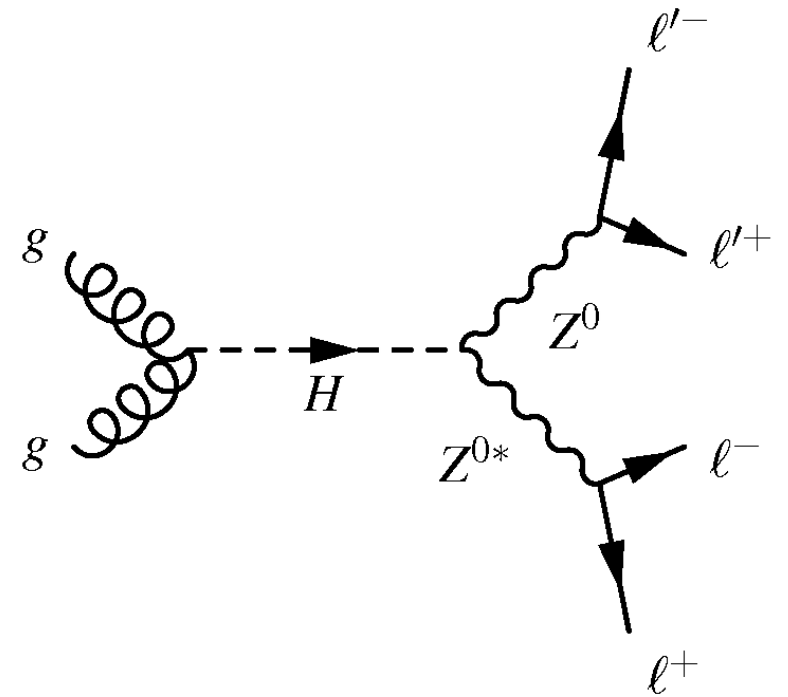
2 leptons events



1 leptons event



4 leptons events

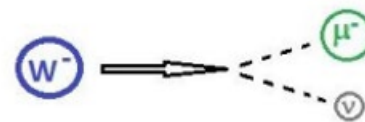
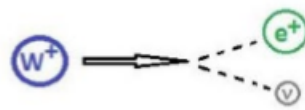
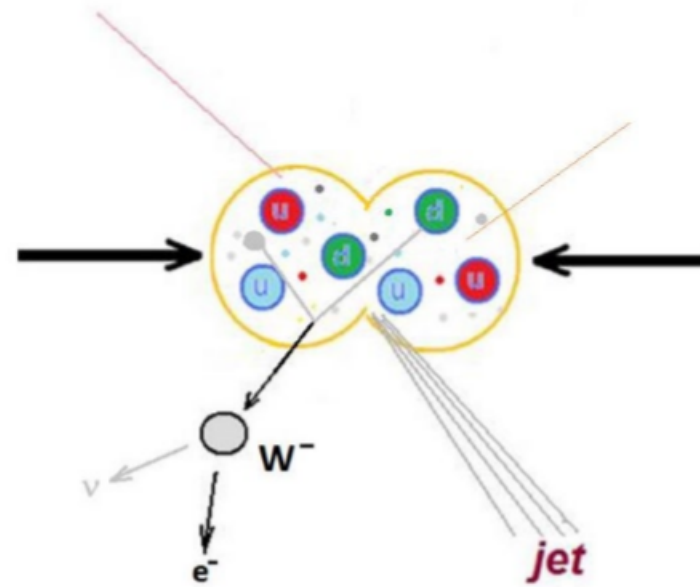


? $H \rightarrow Z Z \rightarrow \mu^+ \mu^- \mu^+ \mu^-$
 or
 ? $H \rightarrow Z Z \rightarrow (e^+ e^- e^+ e^-)$
 or
 ? $H \rightarrow Z Z \rightarrow (\mu^+ \mu^- e^+ e^-)$

Събития с 1 лептон в крайното състояние

Положително и отрицателно заряденият W бозон позволява радиоактивно разпадане чрез превръщане на неутрони в протони.

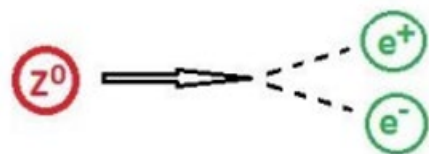
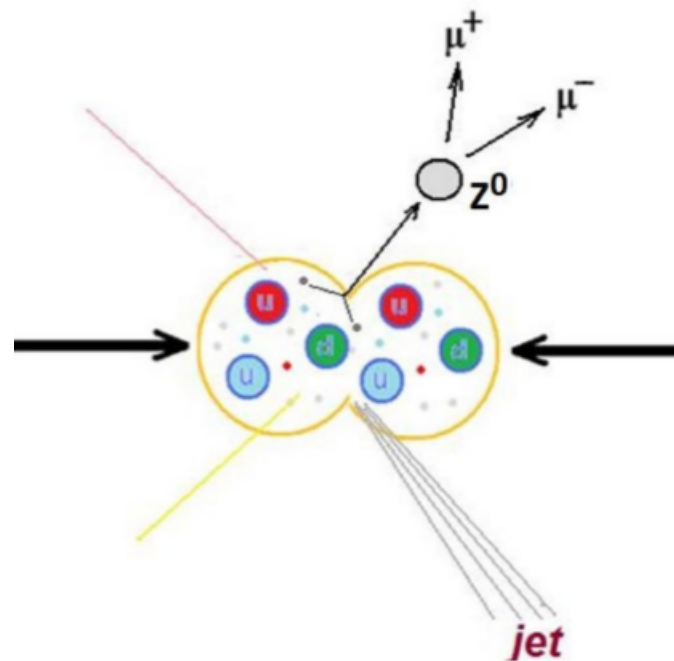
Този бозон се разпада на неутрино и друг лептон. Тъй като CMS не може да измери директно неутриното, може да приемем, че в крайното състояние има само 1 лептон.



Събития с 2 лептона в крайното състояние

Z бозона е неутралния братовчед на W. Той позволява „слабият неутрален поток“.

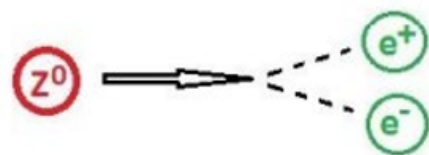
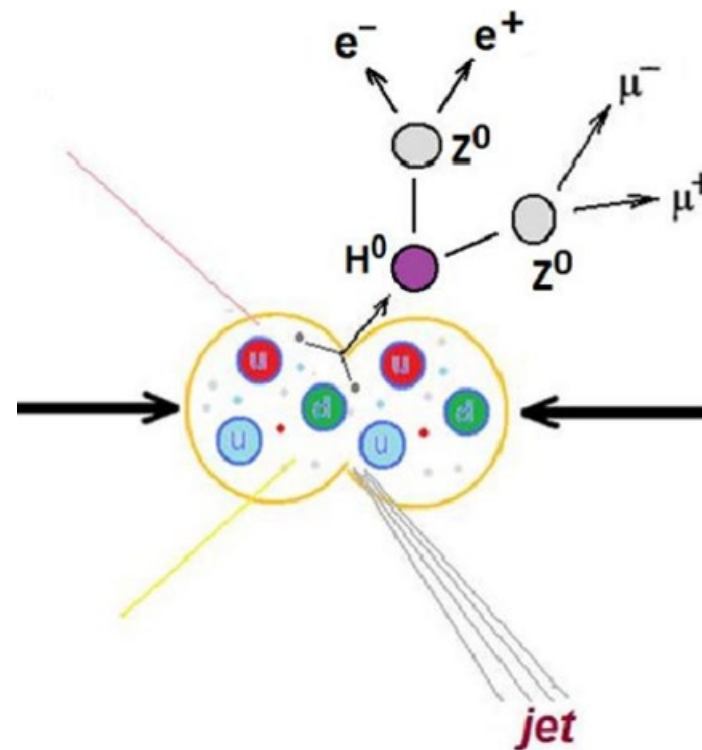
Този бозон се разпада на два лептона от един и същи вид, но с различни заряди – електрон и позитрон или мюон и анти-мюон. Той има и други процеси, по които се разпада, но в това упражнението разглеждаме само тези начини за неговото разпадане.



Събития с 4 лептона в крайното състояние

Хигс бозона е частицата преносител на полето, което задава масата на всички останали частици.

Един от начините за разпад на Хигс е на два Z бозона, които след това се разпадат по вече разгледаните начини. Така в крайното състояние, което наблюдаваме може да получим 2 мюона и 2 електрона *или* 4 мюона *или* 4 електрона.



Обобщение

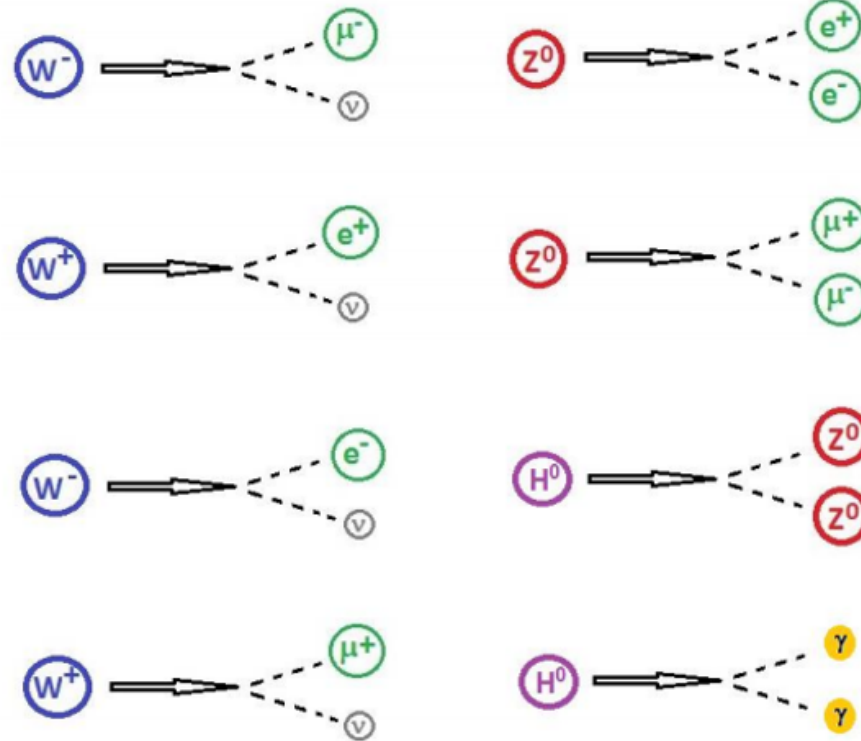
Тъй като бозоните могат да изминат изключително малко разстояние преди да се разпаднат, CMS не може да ги „види“ директно.

CMS може да разпознае:

- Електрони
- Мюони
- Фотони

CMS може да определи:

- Нейтроните по „липсващата енергия“



Разпади на елементарни частици, разгледани в този урок

$$W^+ \rightarrow \mu^+ \nu$$

$$W^+ \rightarrow e^+ \nu$$

$$W^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}$$

$$W^- \rightarrow e^- \bar{\nu}$$

Събития с 1 лептон в крайното състояние

X^0 - електрически неутрална частица
Може да бъде Хигс бозон или Z бозон или друга частица

$$X^0 \rightarrow \mu^+ \mu^- \quad (\text{или } X^0 \rightarrow 2\mu)$$

$$X^0 \rightarrow e^+ e^- \quad (\text{или } X^0 \rightarrow 2e)$$

Събития с 2 лептона в крайното състояние

$$X^0 \rightarrow \mu^+ \mu^- \mu^+ \mu^- \quad (\text{или } X^0 \rightarrow 4\mu)$$

$$X^0 \rightarrow e^+ e^- e^+ e^- \quad (\text{или } X^0 \rightarrow 4e)$$

Събития с 4 лептона в крайното състояние

$$X^0 \rightarrow \mu^+ \mu^- e^+ e^- \quad (\text{или } X^0 \rightarrow 2\mu 2e)$$

$$? \rightarrow Z \text{ or } \dots$$

Събития, които не асоциираме с нито една от горните схеми

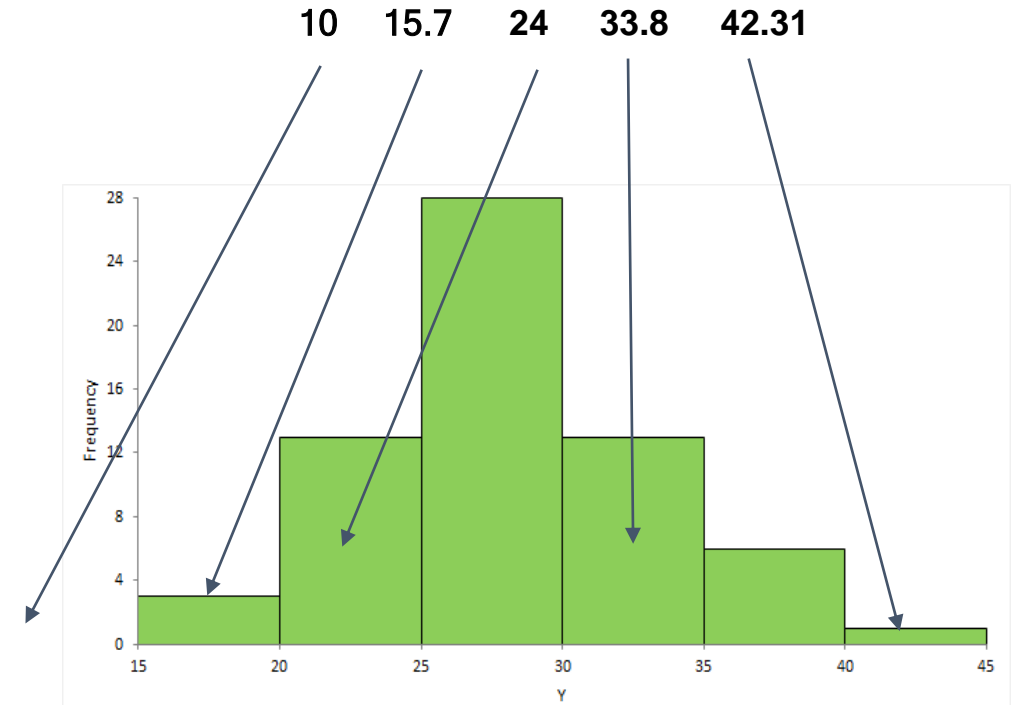
Достатъчно ли е само едно измерване?

Едно събитие (event) не е достатъчно.

- То може да бъде случайно.
- Освен това различните частици се раждат с различна вероятност.
- Колкото по-рядко се ражда една частица, толкова по-голям брой събития е необходимо да анализираме за да я открием.

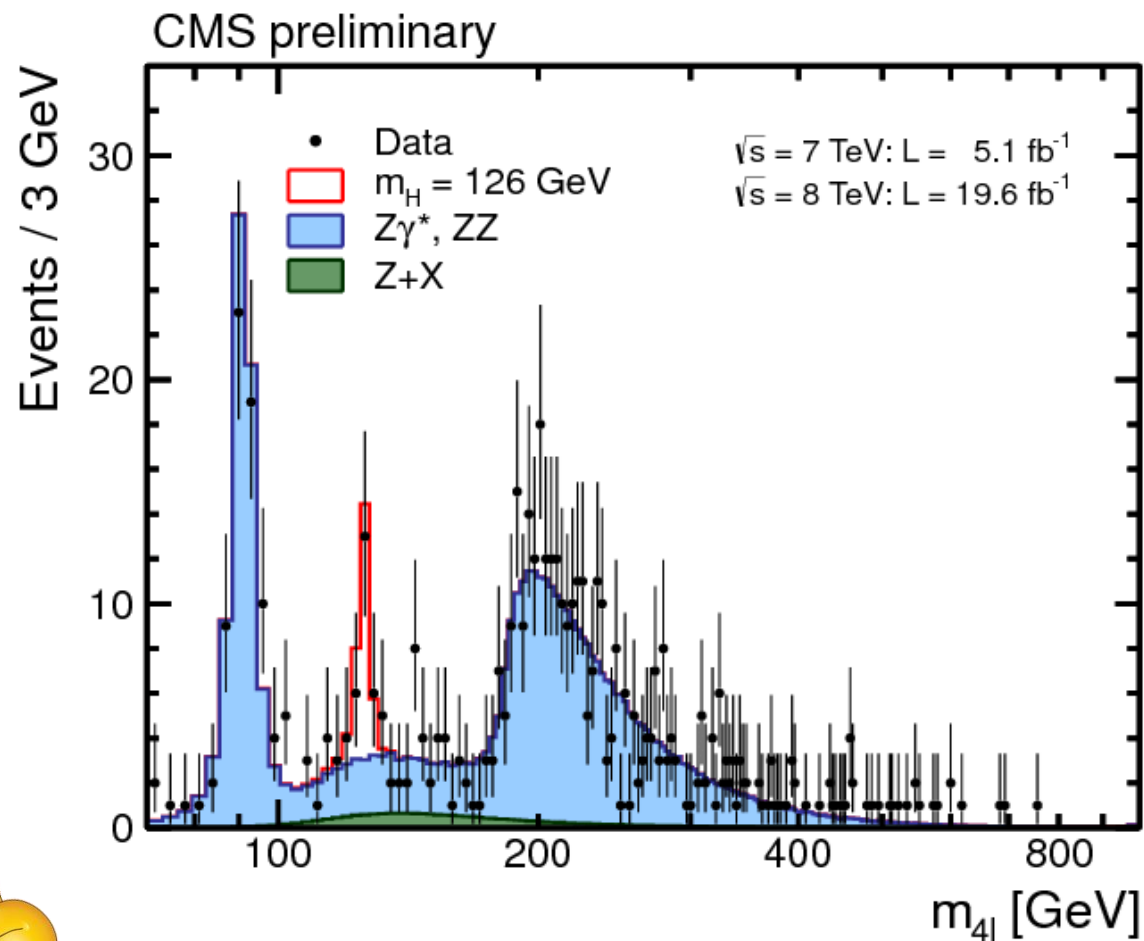
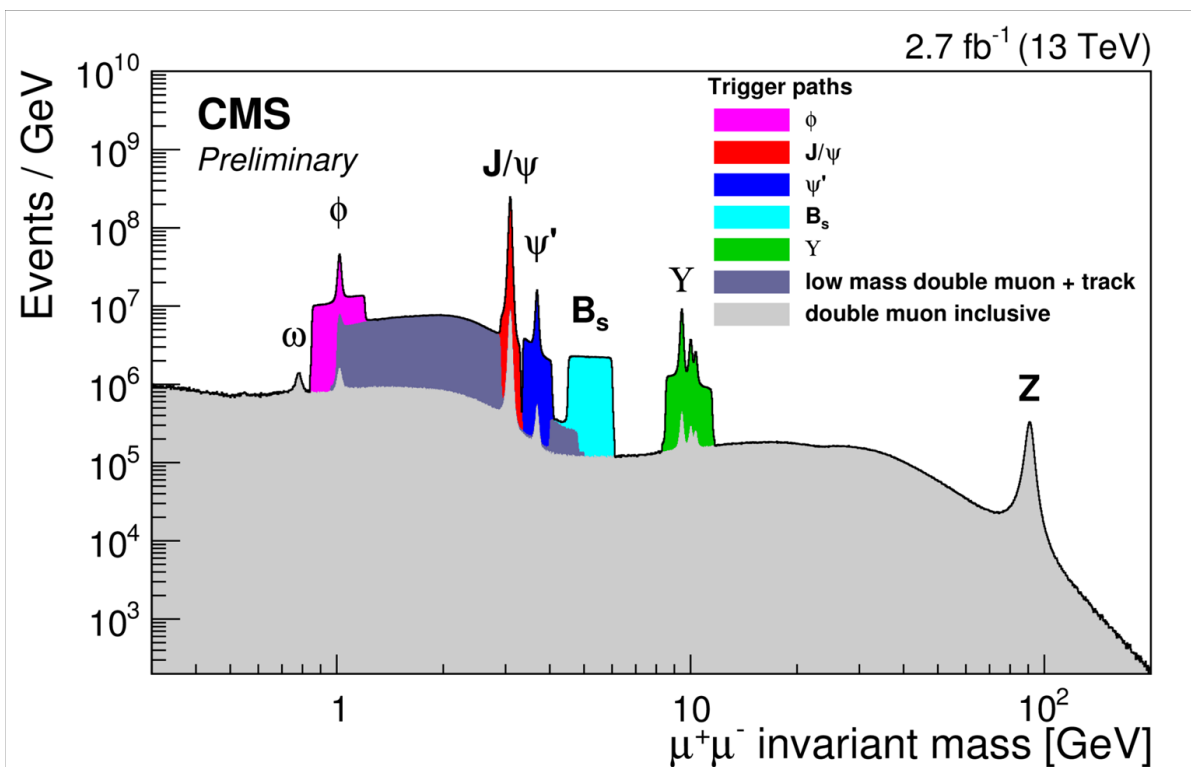
Хистограмата ни показва с каква честота (колко често) се случва дадено събитие.

- В нашия случай - как са разпределени масите на частиците, които сме определили.
- Наличието на пик в хистограмата е указание за частица с маса, равна на стойността, при която имаме пик.



Хистограма

Пример за разпределение по инвариантна маса на дву- и четири лептонни събития с данни на CMS

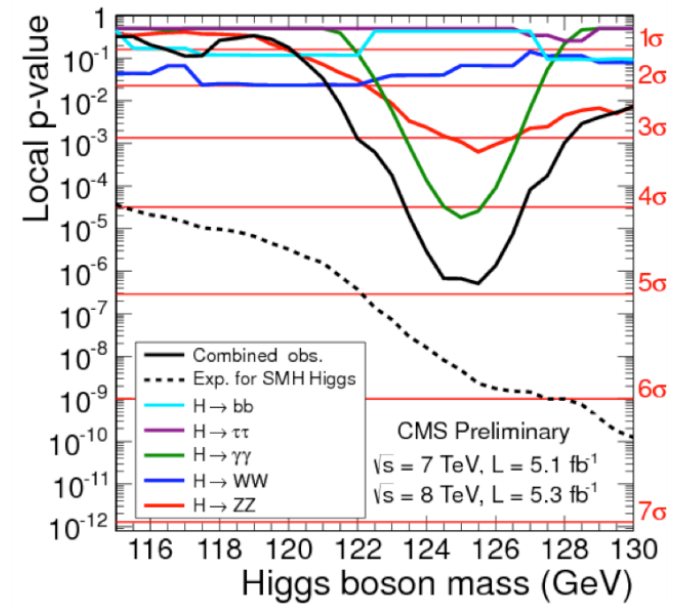
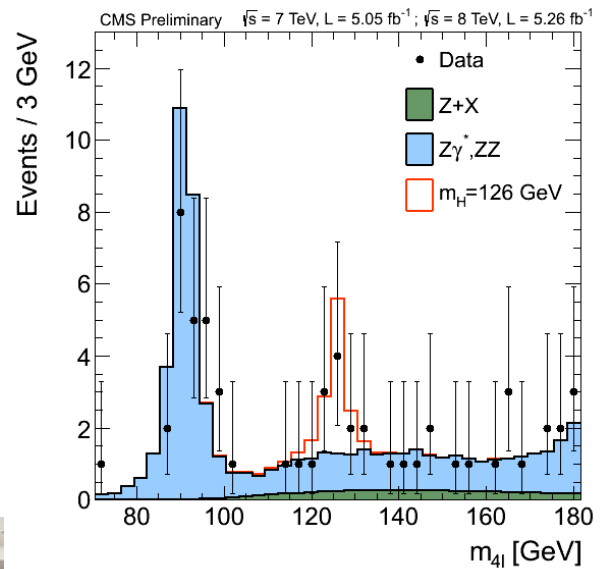
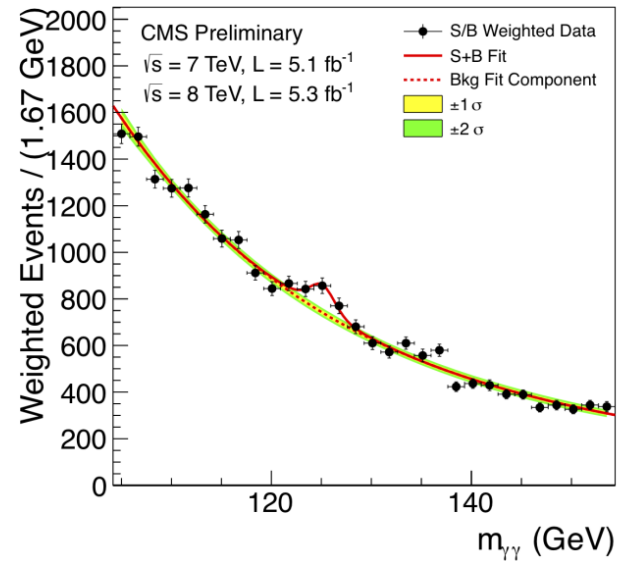


Да видим какво ще получите вие.



Higgs Boson Discovery – 2012

CMS & ATLAS




Credit: Weforum.org

Практическа част

Данни - Кои са моите данни за анализ и къде да ги намеря





← ↻ 🏠 🔒 <https://www.i2u2.org/elab/cms/cima-wzh/> 🔍 A★ 📄 ⚙️ 🗑️ 🌐 ⋮

CIMA






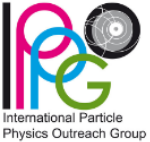
CMS Instrument for Masterclass Analysis

Основно приложение:
CIMA - [link](#)

Choose your Masterclass	Choose your location	Choose your data file
TestEvents-01Jan2022	Constantine2024-B	100.41
Santander-13May2024	Pisa2024	100.42
CERN-27Nov2023	BudapestELTE2024	100.43
Salo-07Dec2023	SofiaBAS2024	100.44
Sofia-13Dec2023	SofiaTexPark2024	100.45
CERN-LAMAP-08Dec2023		100.46
MP-15Jan2024		100.47
Cakovec-24Jan2024		100.48
Bristol-27Mar2024		100.49
CERN-09Feb2024		100.51
Sandbox-31Dec2023		100.52
CERN-20Feb2024		100.53
CERN-26Feb2024		100.54
CERN-29Feb2024		100.55
CERN-22Feb2024		100.56
CERN-01Mar2024		100.57
CERN-04Mar2024		100.58
CERN-06Mar2024		100.59
CERN-08Mar2024		100.61
CERN-11Mar2024		100.62
CERN-13Mar2024		100.63
CERN-19Mar2024		100.64
CERN-22Mar2024		100.65
CERN-27Mar2024		100.66
FNAL-01Mar2024		100.67
FNAL-08Mar2024		5.3
FNAL-09Mar2024		5.4
FNAL-13Mar2024		5.5
FNAL-14Mar2024		
FNAL-15Mar2024		

CERN-06Mar2024 - София

Данни - Кои са моите данни за анализ и къде да ги намеря

Choose your data file

100.41
100.42
100.43
100.44
100.45
100.46
100.47
100.48
100.49
100.51
100.52
100.53
100.54
100.55
100.56
100.57
100.58
100.59
100.61
100.62
100.63
100.64
100.65
100.66
100.67
5.3
5.4
5.5

клик!



Извадки с данни:

- Всяка извадка е номерирана с два числа, примерно 100.55
- Всяка извадка съдържа 100 събития;
- Една извадка се използва от двама ученика, примерно:
 - Марин обработва събития от 1 до 50;
 - Габриела събития - събития от 51 до 100

За всяко събитие учениците трябва:

1. Да определят дали разпада е електронен или мюонен, както и дали той отговаря на:
 - W^+ или W^- кандидат (може да се запише като "W" ако заряда не може да бъде определен);
 - NP (Z или друг кандидат за „неутрална частица“);
 - Кандидат за Хигс бозон;
 - zoo събитие (необикновено или такова, което не може да се категоризира).
2. Да направят запис в таблицата на СИМА.

Таблица за данни

За конкретната индивидуална извадка от данни, прим. 100.55

Общи хистограми на класа - маси на реконструираните частици

Общи резултати на класа (ключови отношения и обобщение)

← ↻ 🏠 🔒 https://www.i2u2.org/elab/cms/cima-wzh/DataTable.php 🔍 🔊 ☆ 📄 ⌵ 🗺️ 🌐

Back Events Table (Group 100.55) Mass Histogram (SofiaBAS2024) Results (SofiaBAS2024) → Event Display

Masterclass: CERN-06Mar2024
Location: SofiaBAS2024
Group: 100.55

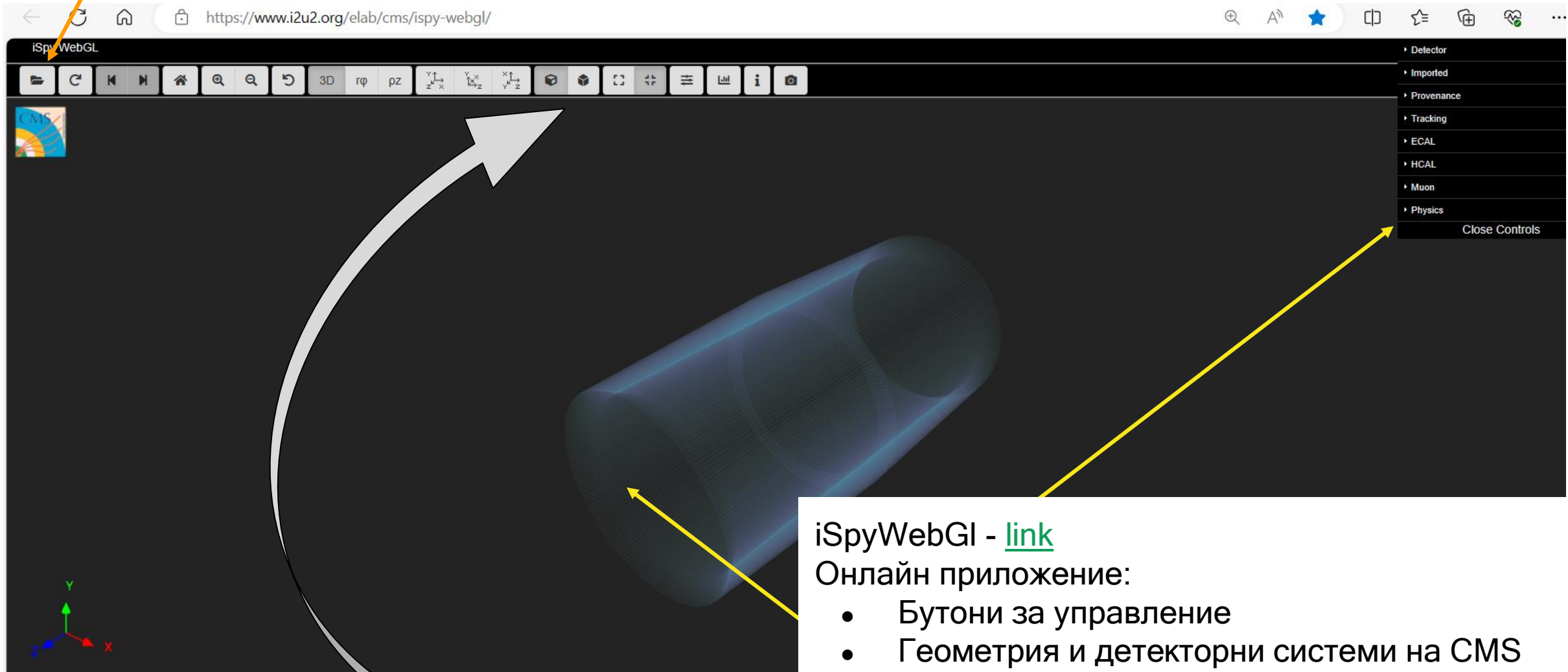
Линк към event display.

Select Event Event index: <input type="text" value="1"/> Event number: 100.55-1	Final State <input type="radio"/> e ν <input type="radio"/> μ ν <input type="radio"/> e e <input type="radio"/> μ μ <input type="radio"/> 4e <input type="radio"/> 4μ <input type="radio"/> 2e 2μ	Primary State Charged Particle: <input type="radio"/> W ⁺ <input type="radio"/> W ⁻ <input type="radio"/> W [±] <input type="radio"/> Neutral Particle (Z, H) <input type="radio"/> Zoo	Enter Mass <input type="text"/> GeV/c ² <input type="button" value="Next"/>
--	--	---	---

Event index	Event number	Final state	Primary state	Mass

Зареждане на данни

Основно приложение - iSpyWebGL



iSpyWebGL - [link](#)

Онлайн приложение:

- Бутони за управление
- Геометрия и детекторни системи на CMS
- Реконструирани обекти
- Измерени физични величини

Основно приложение - iSpyWebGl

Реконструирани обекти и цвятова конвенция

- Мюонни (мюонни трекове) - червени
- Електрони и позитрони (електронни трекове) - зелено
- Липсваща енергия - лилаво (розово)
- Фотони - зелено (без попадения в централния треков детектор)
- Адрони - жълти конуси

iSpyWebGl - [link](#)

Електрически заряд

“+” Ако траекторията се закривява по посока на часовниковата стрелка

“-” Ако траекторията се закривява **обратно** на посоката на часовниковата стрелка

Липсваща енергия (в крайното състояние) - **Missing energy transverse (MET)**

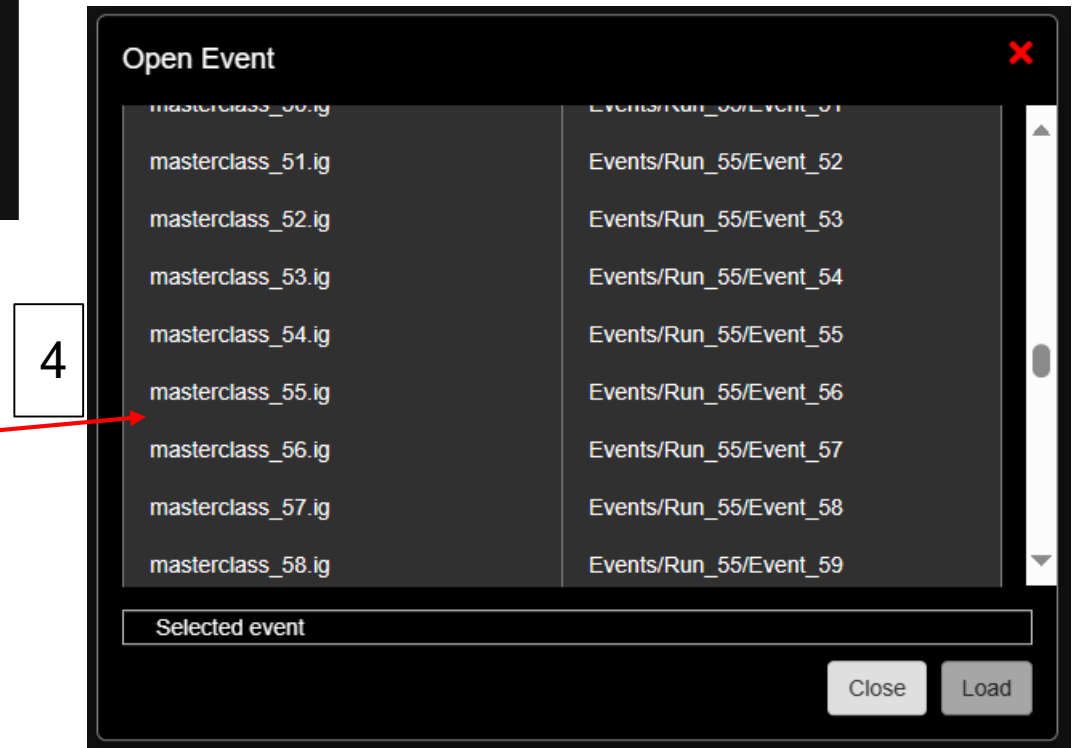
Определя се от закона за запазване на енергията и импулса.

Изглед в различни равнини, 3D изглед

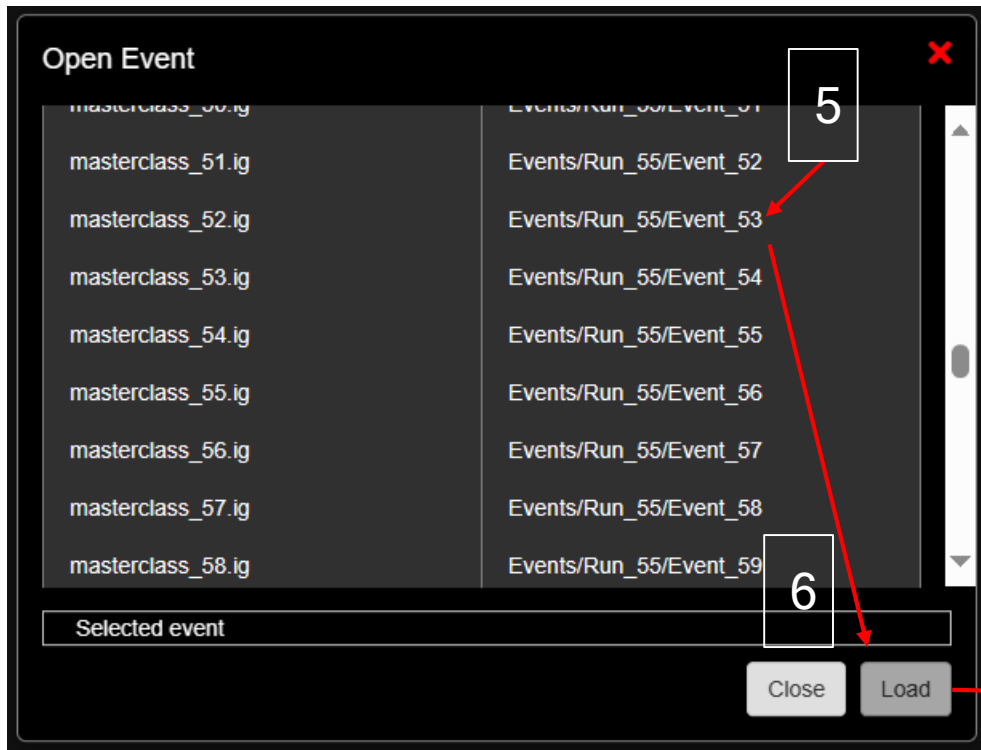
Таблица с измерените физични величини - енергия, импулс, ъгли.

Зареждане на данни в iSpyWebGL - пример с извадка 100.55

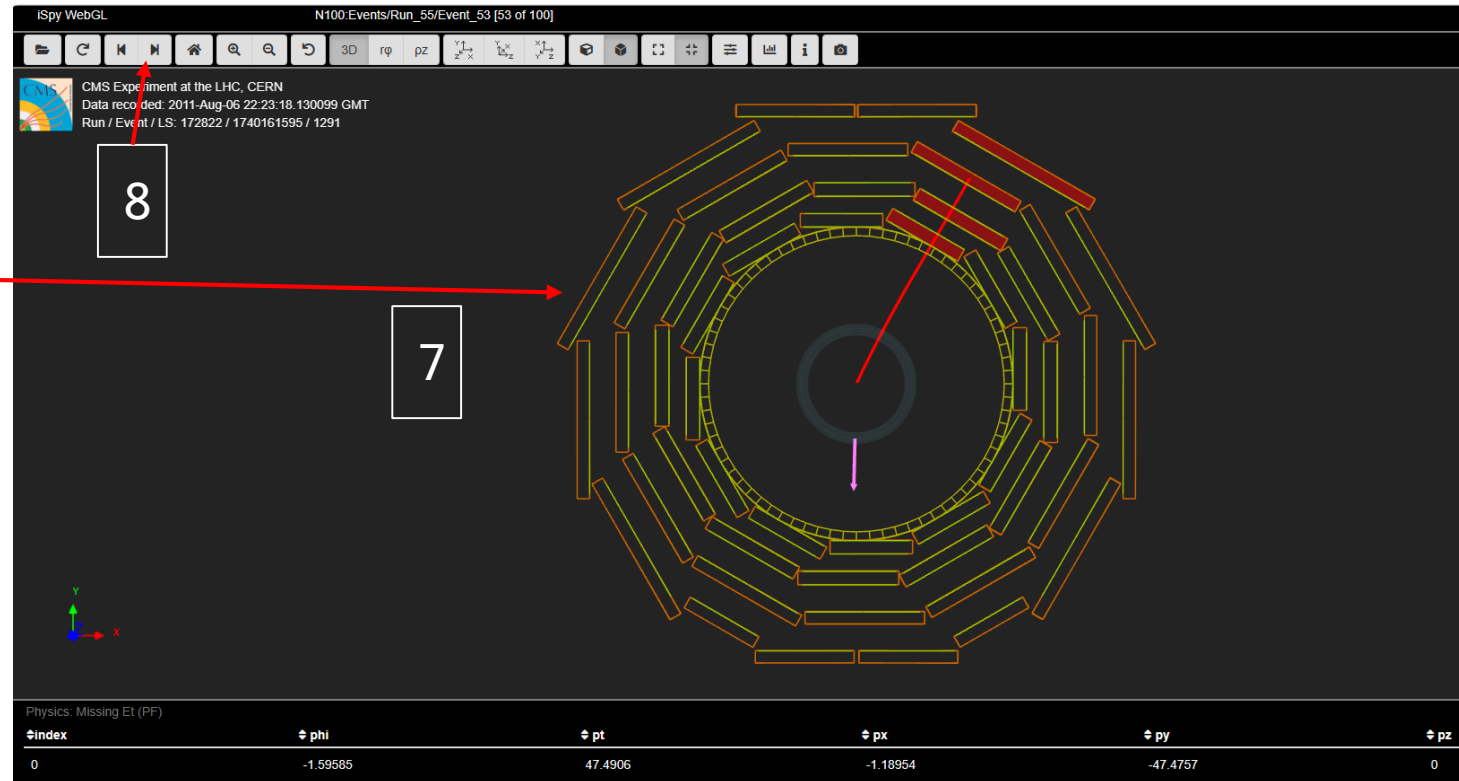
1. Зареждане на данни
2. Избираме данни от Web
3. Избираме извадка 100
4. Избираме данни с номер 55



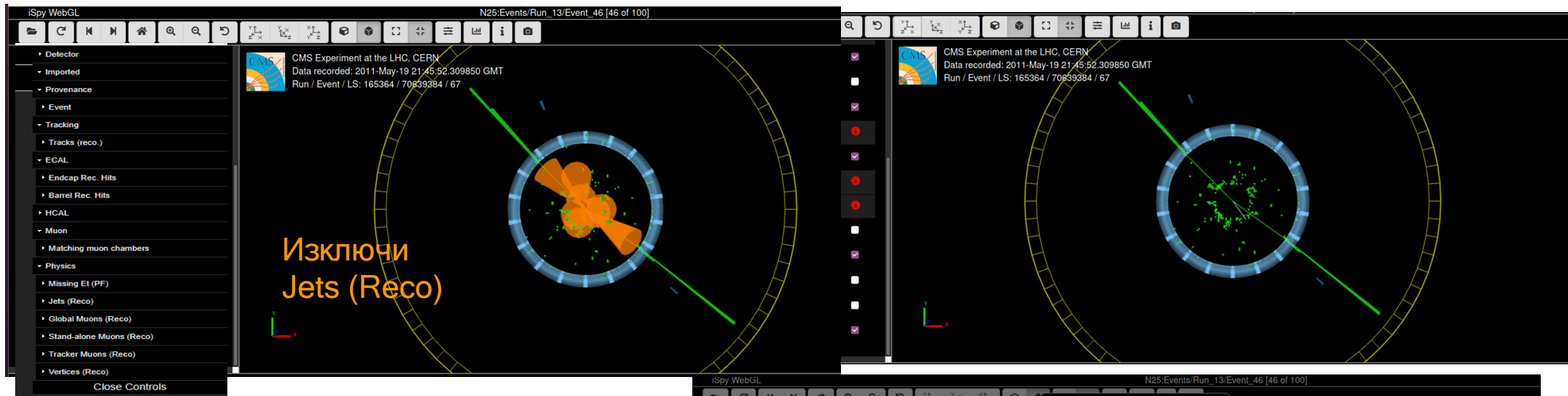
Зареждане на данни в iSpyWebGL - пример с извадка 100.55



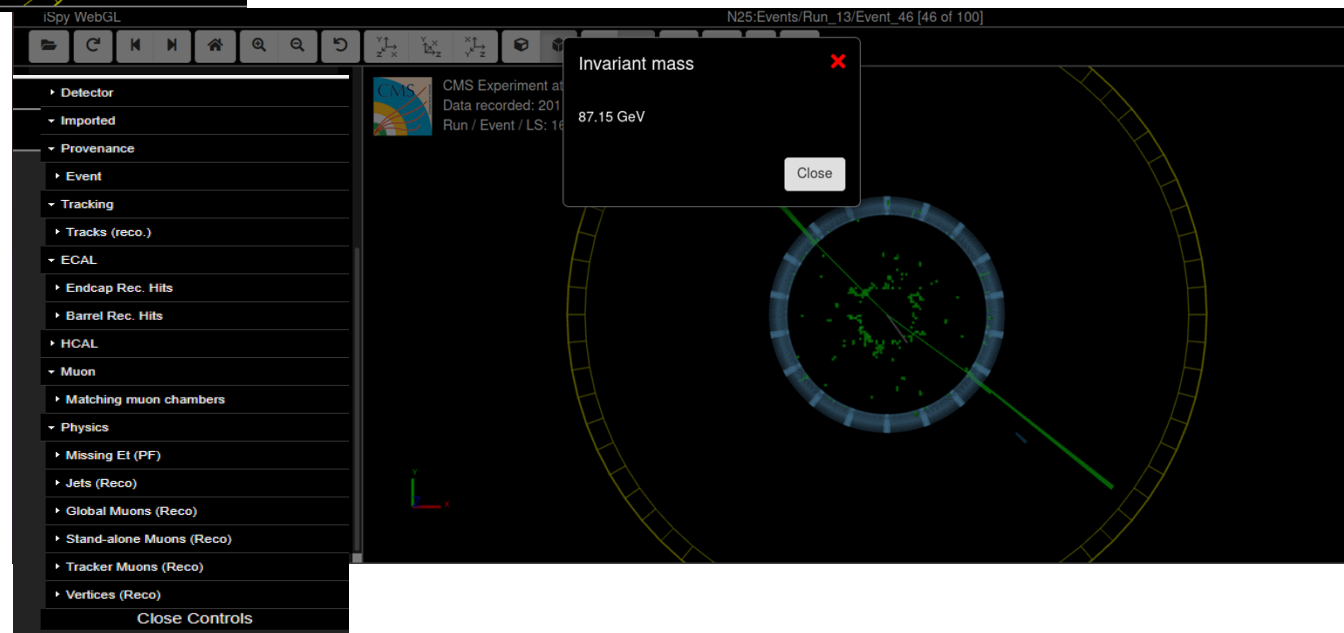
5. Избираме събитие № 1 (или № 50 за втората половина от данните);
6. Зареждаме;
7. Визуализиране на събитие;
8. За зареждане на следващото събитие използвайте бутоните на приложението



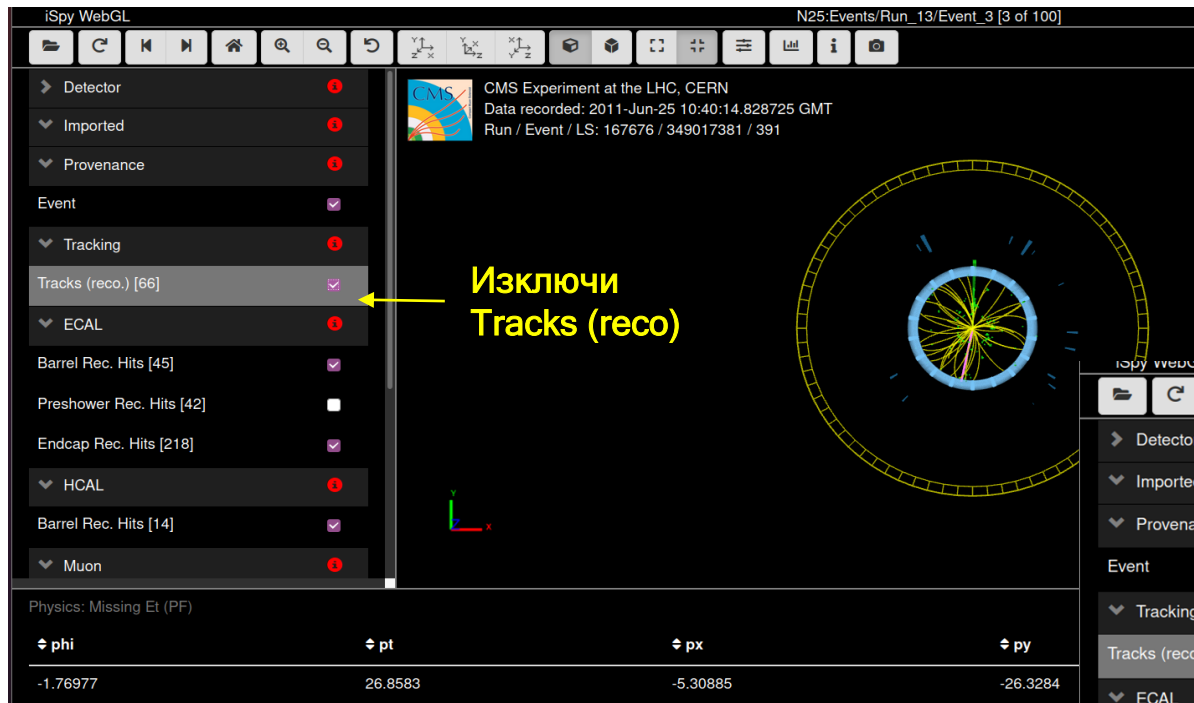
“Изчистване” на събитието - разглеждаме само необходимото



- Оранжеви конуси - Адронна активност в калориметричната система;
- Не се разглежда в това упражнение;
- След като се изключат от анализа, се вижда събитие кандидат за разпад на $Z \rightarrow \mu\mu$



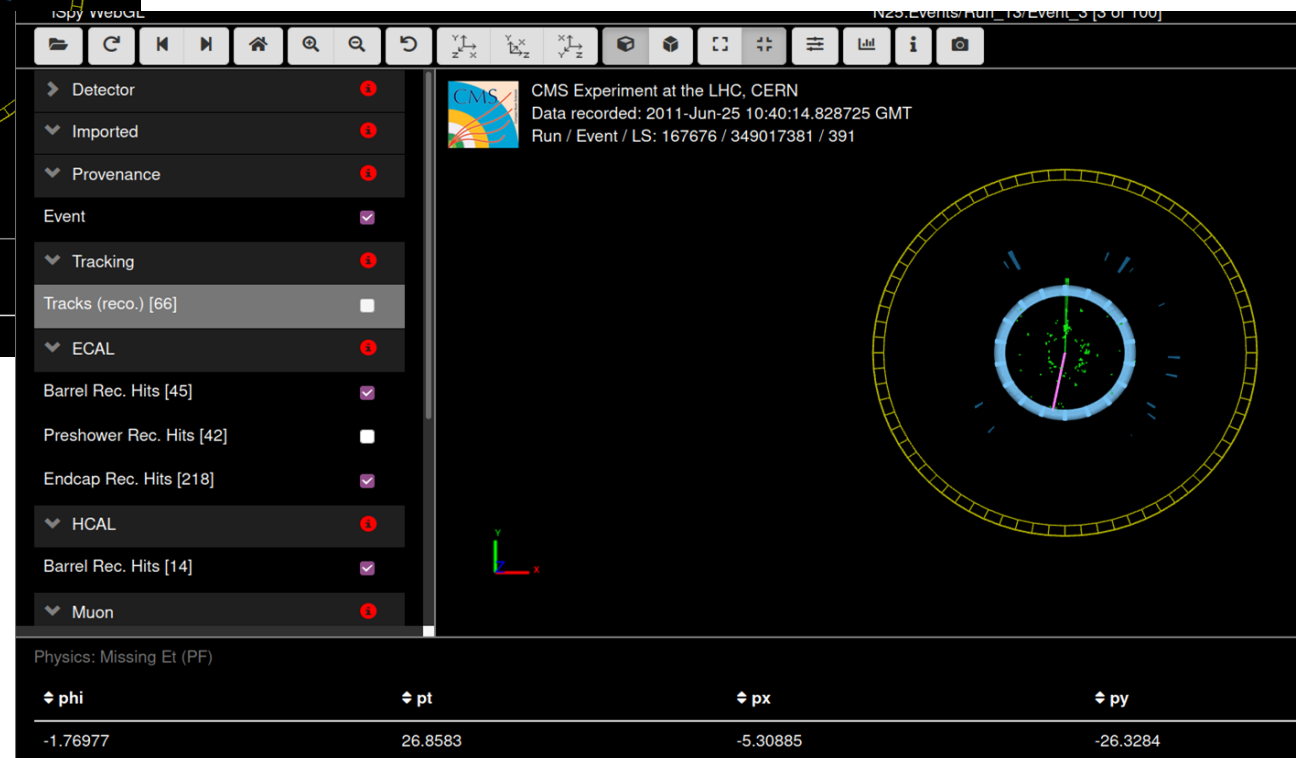
“Изчистване” на събитието - разглеждаме само необходимото



След изключване на излишните обекти, се вижда чисто събитие, кандидат за разпад на $W^- \rightarrow e^- \nu$

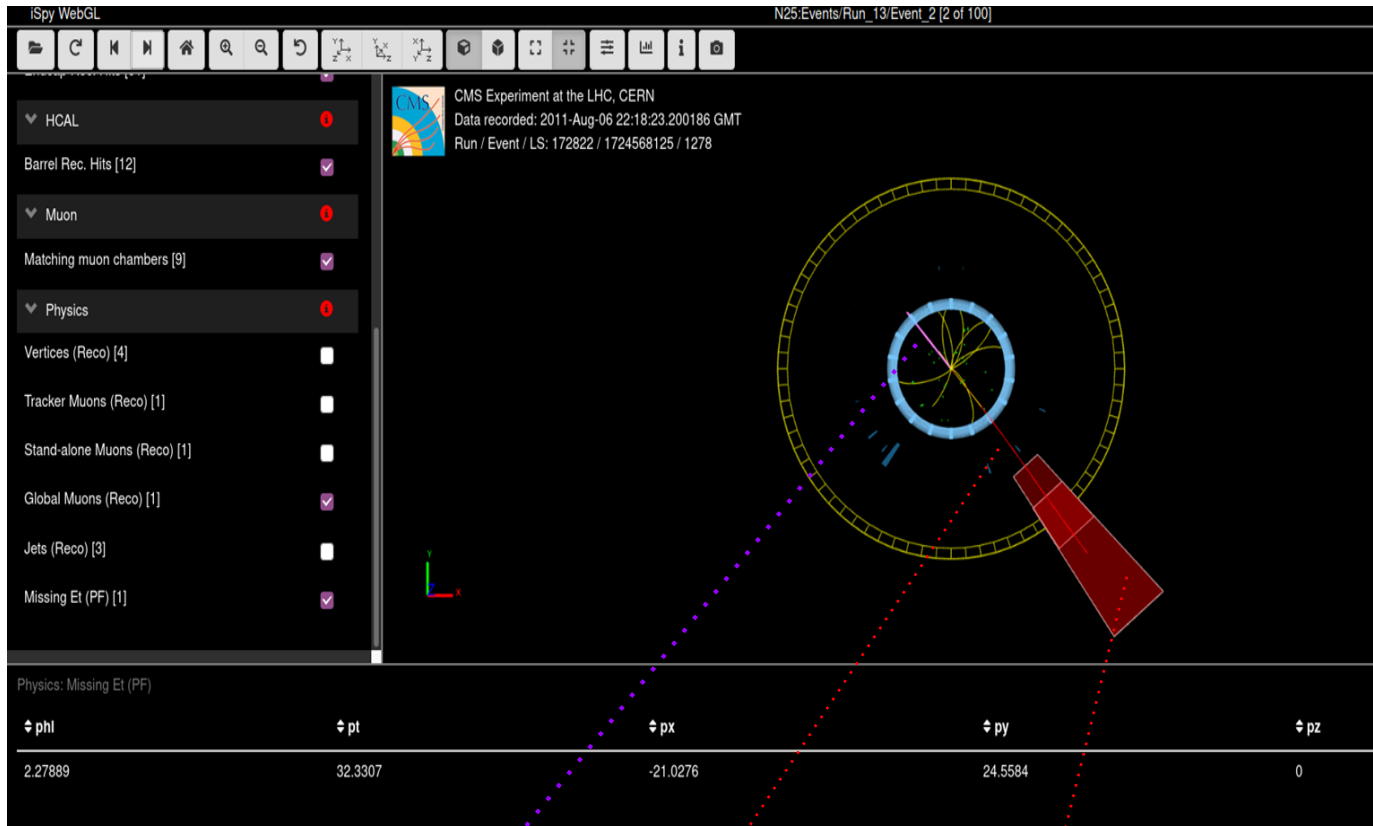
Електронните трекове са показани в зелено.

В лилаво - липсващата енергия.



Трековете на заредени частици (в жълто) във вътрешния треков детектор припокриват трековете, които ни интересуват. Просто ги изключете.

Анализ - видове събития - един мюон в крайното състояние ($W \rightarrow \mu\nu$)



Липсваща енергия

Мюонна станция

Мюонна траектория (трек)

Мюонните траектории (трекове) са оцветени в червено.

В червено са показани и мюонните станции, в които са засечени мюоните.

В лилаво(розово) е показана липсващата (неизмерена) енергия, определена в напречната равнина (X, Y)

1. Открили сме един мюон и голямо количество липсваща енергия ;
2. Проверяваме електрическия заряд на мюона
 - a. Положителен, ако траекторията се закривява по часовниковата стрелка.
3. Кандидат за разпад на W на два мюон и неутрино
 - a. Електрическият заряд (на мюона) в крайното състояние = електрическият заряд на W .
 - i. (Запазване на електрическия заряд).
 - b. В този случай не се пресмята реконструираната маса.

Анализ - видове събития - един мюон в крайното състояние ($W^- \rightarrow \mu \nu$)

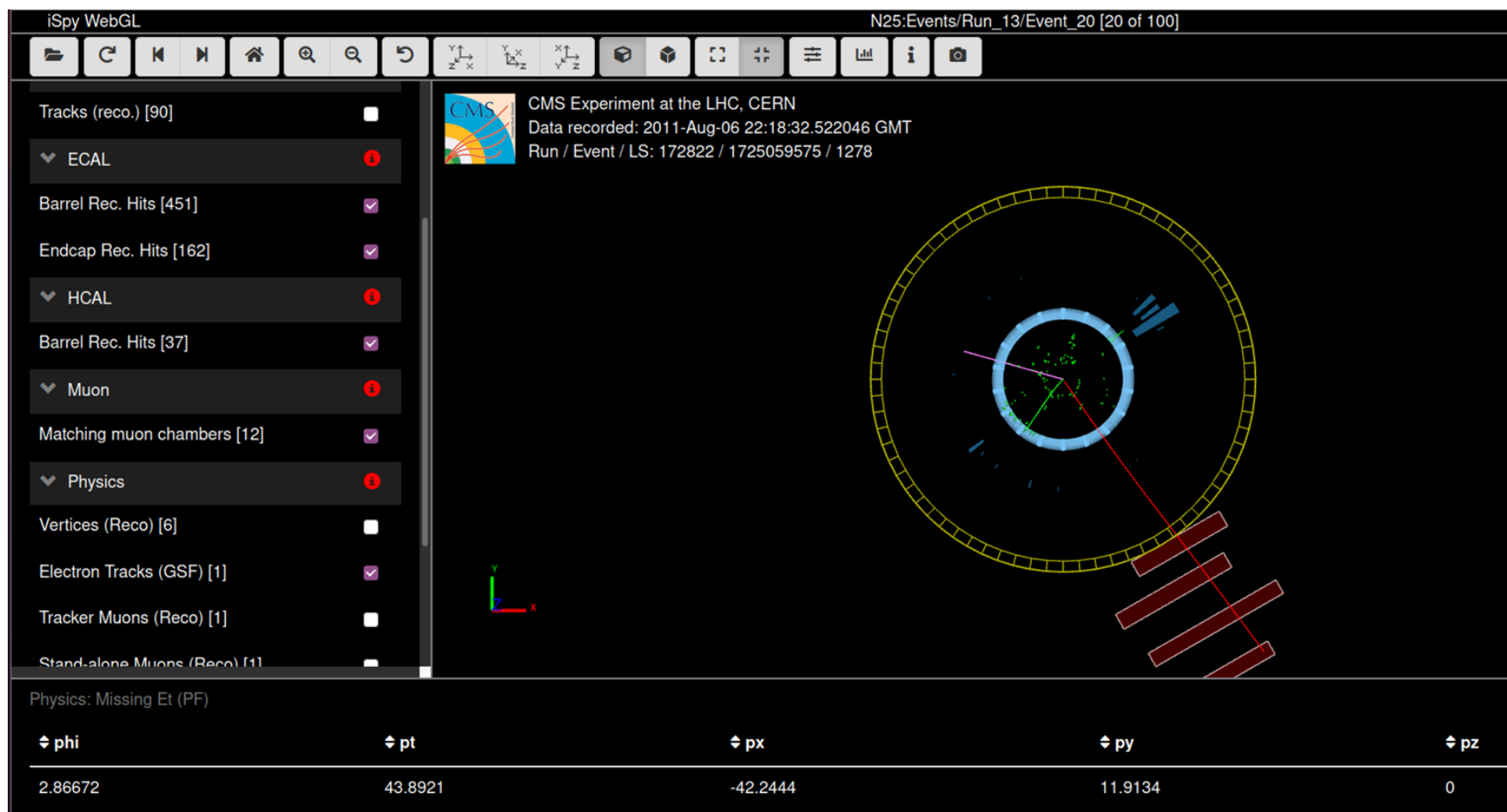
Нанасяне на резултатите в таблицата

Select Event Event index: <input type="text" value="1"/> <input type="button" value="v"/> Event number: 25.13-1	Final State <input type="radio"/> e ν <input checked="" type="radio"/> $\mu \nu$ <input type="radio"/> e e <input type="radio"/> $\mu \mu$ <input type="radio"/> 4e <input type="radio"/> 4 μ <input type="radio"/> 2e 2 μ	Primary State Charged Particle: <input checked="" type="radio"/> W ⁺ <input type="radio"/> W ⁻ <input type="radio"/> W [±] <input type="radio"/> Neutral Particle (Z, H) <input type="radio"/> Zoo	Enter Mass <input type="text"/> GeV/c ² <input type="button" value="Next"/>
--	---	--	---

Red annotations: 1 points to $\mu \nu$ in Final State; 2 points to W⁺ in Primary State; 3* points to W[±] in Primary State; 4 points to the Next button.

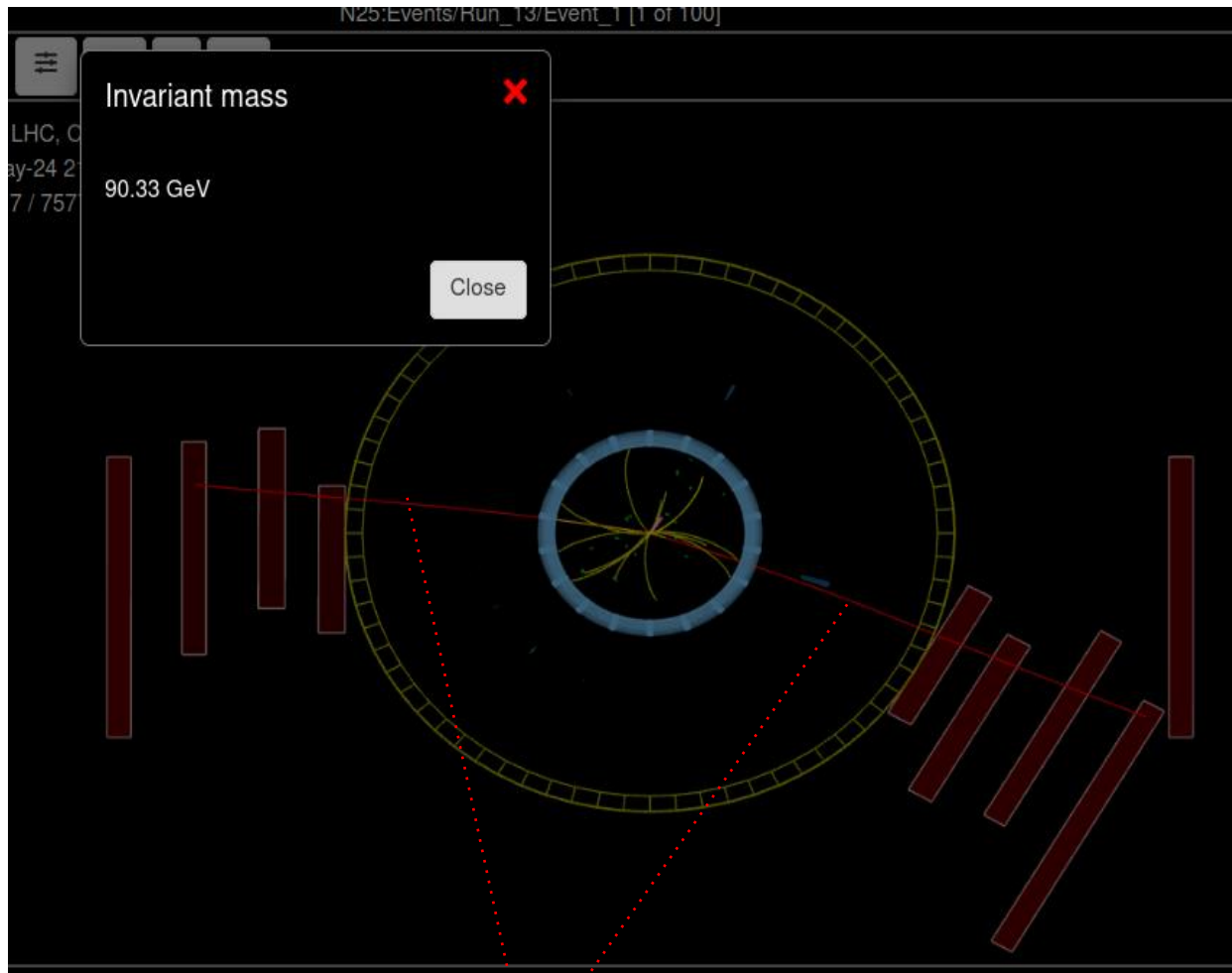
1. Отбелязваме мюон и неутрино в крайното състояние
2. Отбелязваме W⁺ началното състояние
 - a. + е определен от заряда на мюона
3. (*)Ако не сме сигурни за заряда, посочваме W^{+/-}
4. Въвеждаме "Next"
5. И към следващото събитие ...

Анализ - видове събития: ($W \rightarrow \mu\nu$) или ($W \rightarrow e\nu$)



За крайното състояние (мюон и липсваща енергия) или (електрон и липсваща енергия) избираме лептона с по-голям напречен импулс (p_T).

Анализ - видове събития - два мюона в крайното състояние



Мюонни траектории (трекове)

Мюонните траектории (трекове) са оцветени в червено.

В червено са показани и мюонните станции, в които са засечени мюоните.

1. Открили сме два мюона
2. Проверяваме дали са с противоположен електрически заряд
3. Ако да, значи имаме събитие, кандидат за разпад на електрически неутрална частица на два мюона (Закон за запазване на електрическия заряд)
4. Пресмятане масата на тази частица:
 - a. Последователно избираме с мишката по веднъж върху двата мюонни трека
 - b. Натискаме клавишът M (на латиница) и се отваря прозорец с изчислената маса.

3. Ако в даденият случай, зарядите на двата мюона не са с противоположен знак, значи имаме някакво друго събитие, което не познаваме или не изследваме в момента - отбелязваме го в таблицата като Zoo.*

Анализ - видове събития - два мюона в крайното състояние

Нанасяне на резултатите в таблицата

Select Event

Event index: 1

Event number: 25.13-1

Final State

e ν μ ν

e e μ μ

4e 4μ

2e 2μ

Primary State

Charged Particle:

W+ W- W±

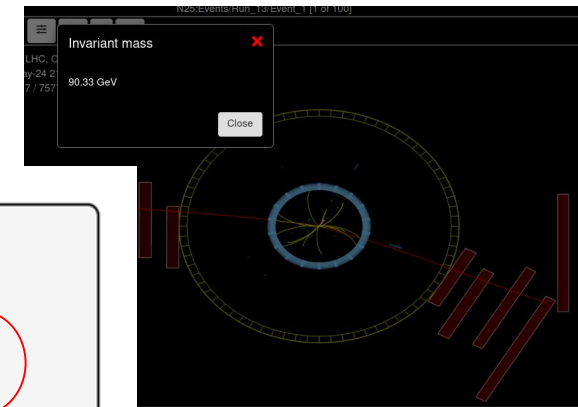
Neutral Particle (Z, H)

Zoo

Enter Mass

90.33 GeV/c²

Next

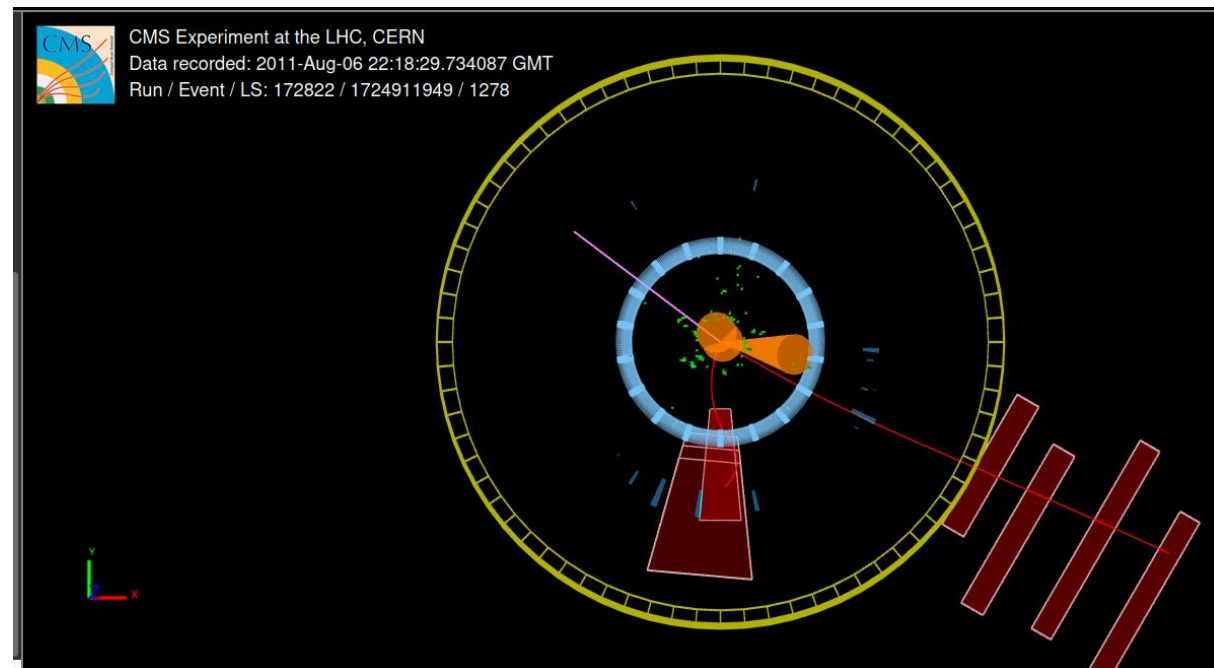
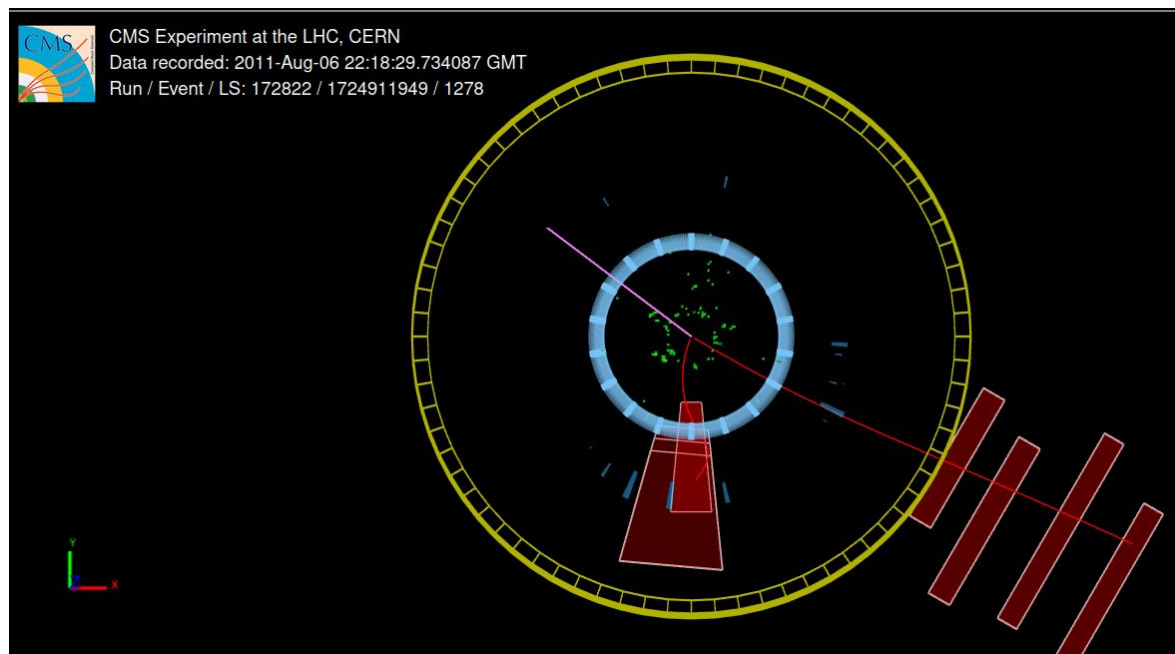


Event index	Event number	Final state	Primary state	Mass
28001	25.13-1	μμ	neutral	90.33

1. Отбелязваме 2 мюона
2. Отбелязваме, че се е разпаднала неутрално електрическа частица
3. Въвеждаме нейната маса
4. Въвеждаме "Next"
5. Записът се появява в таблицата и преминаваме към следващото събитие

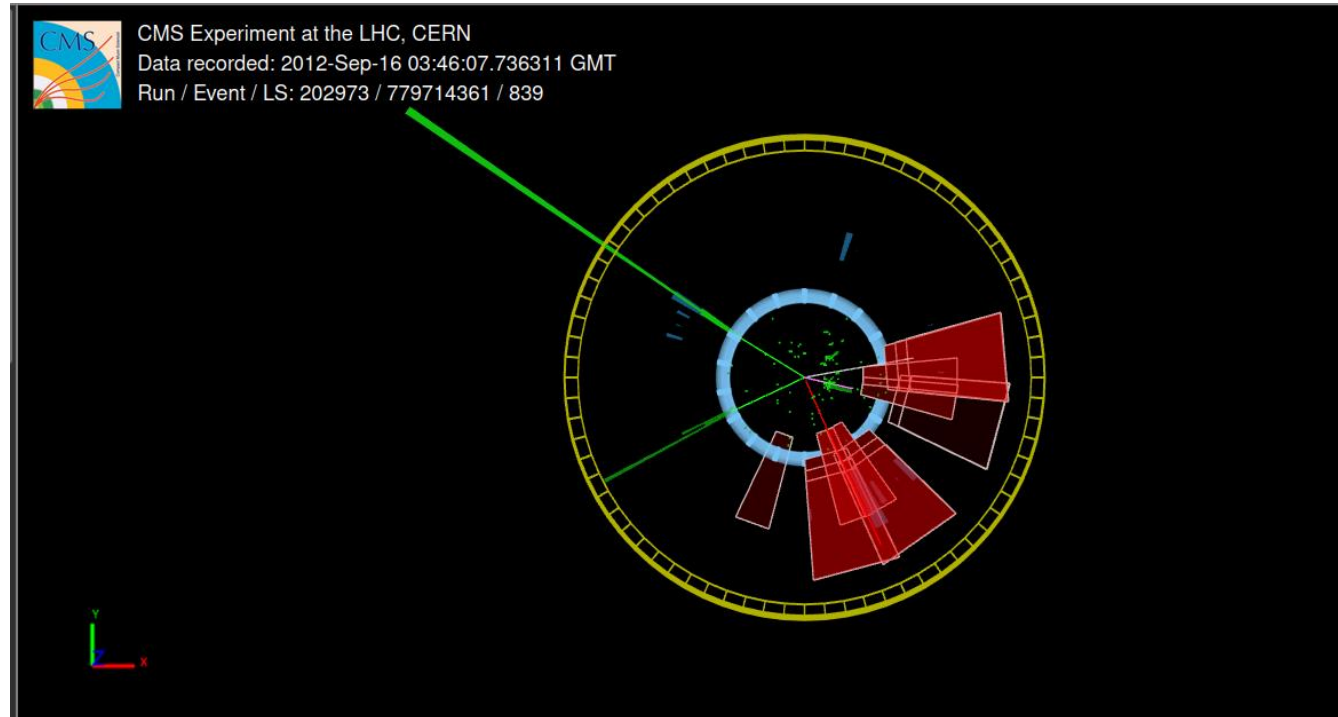
W, Z или Zoo?

Zoo - събития, които не може да класифицираме към нито една от схемите на разпад, които изследваме



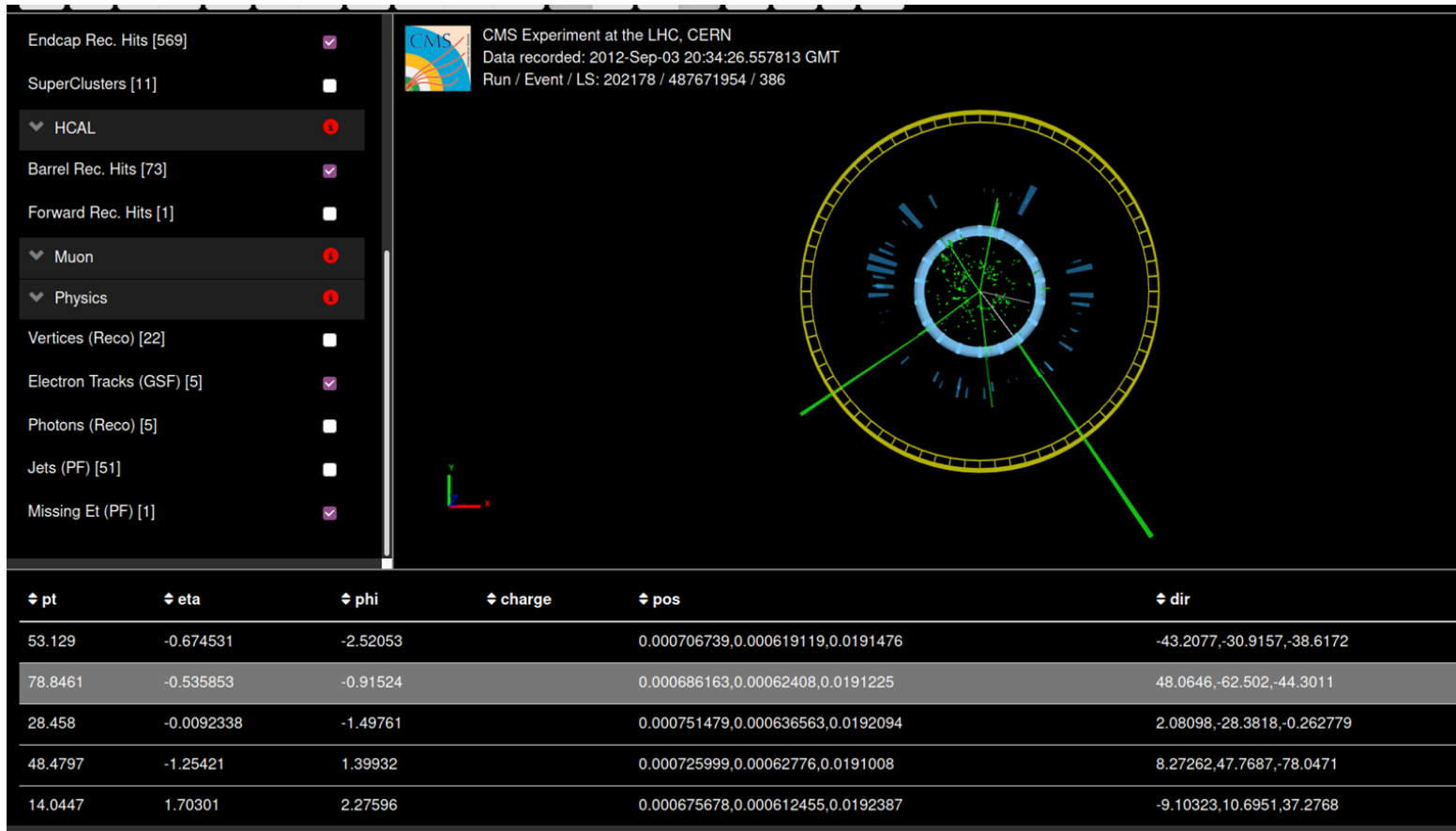
- Проверява се заряда на мюоните - и двата изглеждат с отрицателен заряд!
- Проверяваме напречните импулси на мюоните и липсващата енергия.
- Проверяваме за наличие на силна адронна активност.
- Взимаме решение - ако не сме сигурни, в таблицата с резултатите отбелязваме събитието като Zoo

Анализ - видове събития - 4 мюона - ($X^0 \rightarrow 2e2\mu$)



- Проверяваме поотделно дали общия заряд на двойката електрони и двойката мюони е нула. Ако да - пресмятаме масата на частицата-майка:
 - Избираме (кликваме) последователно четирите трека (2-та зелени на електроните и 2-та червени на мюоните) и натискаме клавиша M от клавиатурата (на латиница).
- Нанасяме резултатите в таблицата.

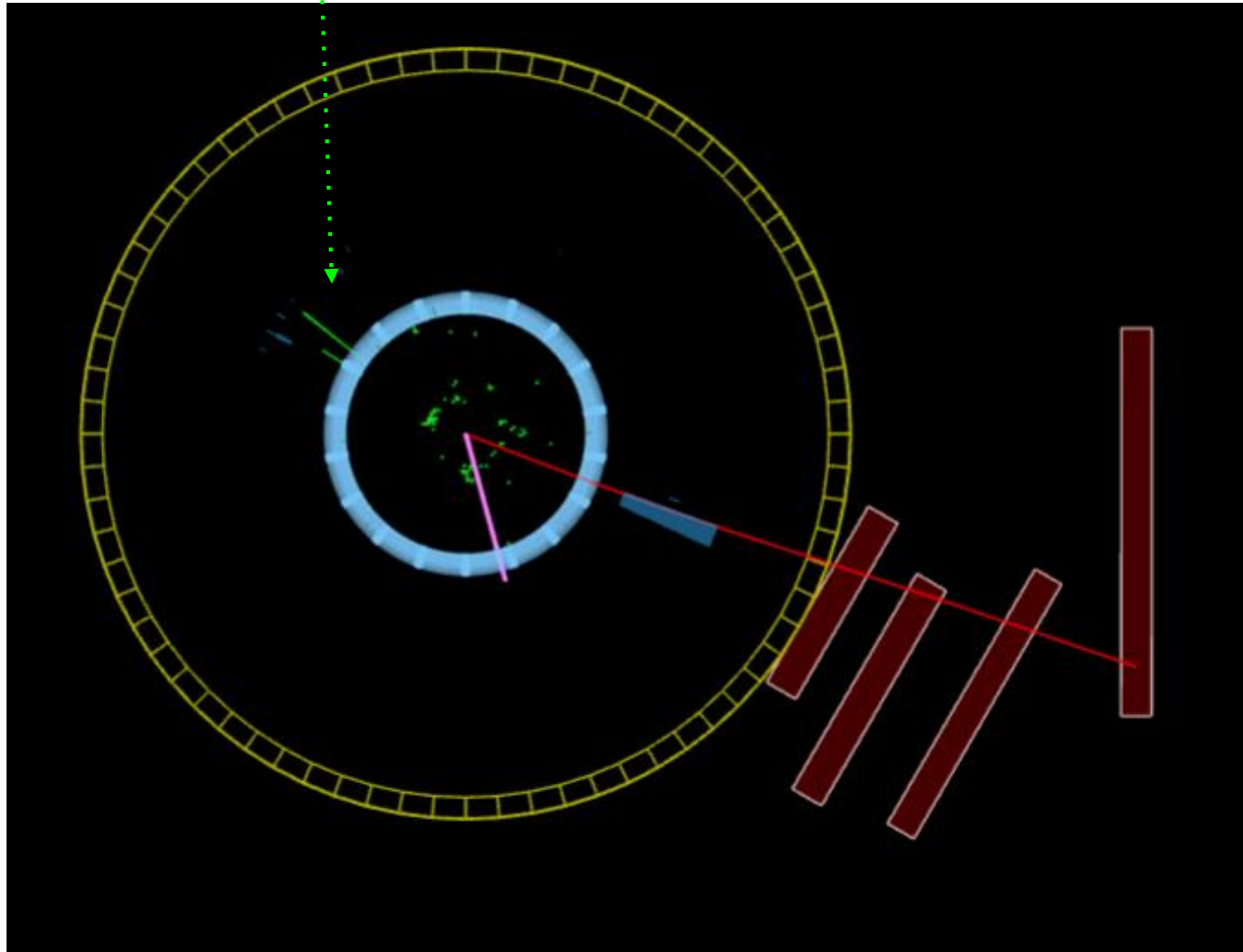
Анализ - видове събития - 4 мюона - ($X^0 \rightarrow 4e$)



- В конкретния случай има 5 реконструирани електрона.
- Определянето на техния заряд не винаги е лесно.
- Кои точно 4 електронни трека да изберем?
- Друг критерий - избираме първите 4 с най-висок напречен импулс (pT).

- Импулсите на частиците се показват в таблицата под събитието, или ако кликнете върху съответния трек.
- Масата на частицата-майка се пресмята по вече обяснения начин.

ФОТОНИ



- Анализът на събития с фотони не влиза в това упражнение.
- Но е добре да се знае, какво не разглеждаме.
- Фотоните са визуализирани като зелени трекове, които обаче не са регистрирани във вътрешния треков детектор.
- Примерът от ляво показва два фотонни, един мюонен трек и липсваща енергия.

Полезни връзки

[Видео](#) - как се анализират данните в този урок (4 минути - на английски)

Таблица [CIMA](#)

[iSpyWebGl](#)

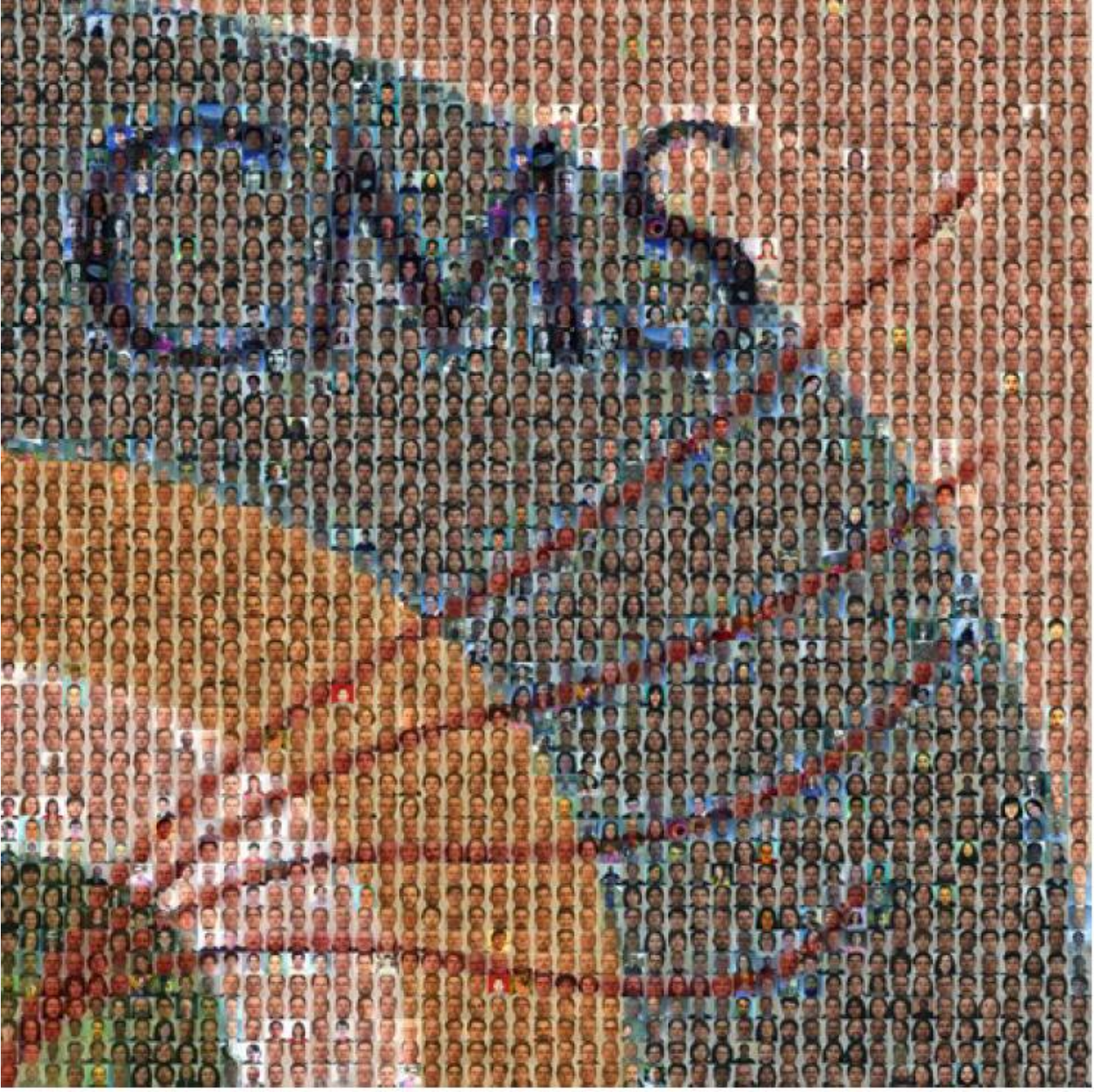
[WZH measurement](#)

[IPPOG](#)

[International Masterclasses](#)

[Quarknet](#)

[CERN Open Data Portal](#)



*Б
Л
А
Г
О
Д
А
Р
Я*