



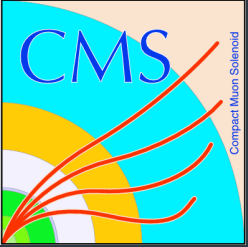
# Детектор КМС (CMS)

Данила Тлисов



# Содержание

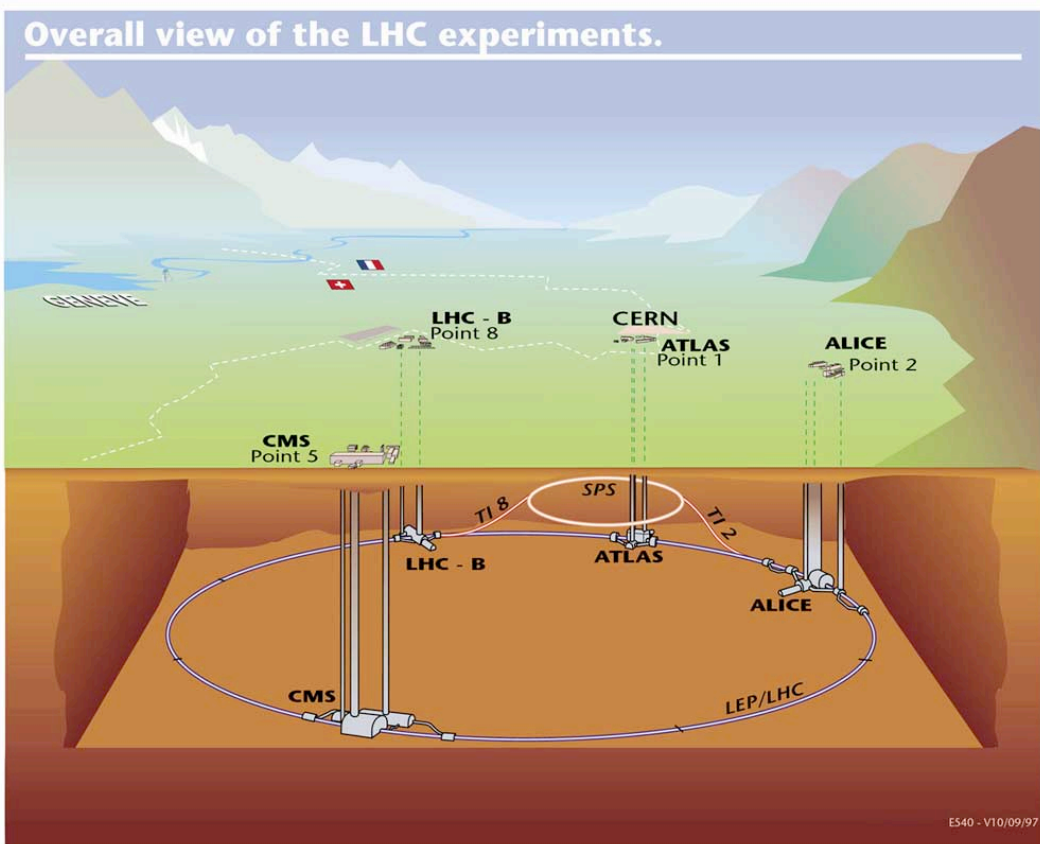
1. Введение
2. Коллаборация КМС
3. Конструкция КМС
4. Детектирование частиц
5. Сбор и обработка данных
6. Анализ данных
7. Заключение



# 1. Введение

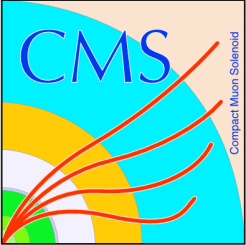
## КМС – Компактный Мюонный Соленоид CMS – Compact Muon Solenoid

Overall view of the LHC experiments.



Один из четырёх детекторов на Большом Адронном Коллайдере (БАК)

Позволяет детектировать, идентифицировать элементарные частицы и измерять их характеристики: импульс, энергию, пространственное расположение



# CM



КВАРКИ				КАЛИБРОВОЧНЫЕ БОЗОНЫ	

Электроны  $e^-$

Позитроны  $e^+$

Мюоны  $\mu^+ \mu^-$

Фотоны  $\gamma$

Протоны  $uud$

Нейтроны  $udd$

Пионы  $ud, uu, dd$

Каоны  $us$

Струи



# 2. Коллаборация

# Коллаборация



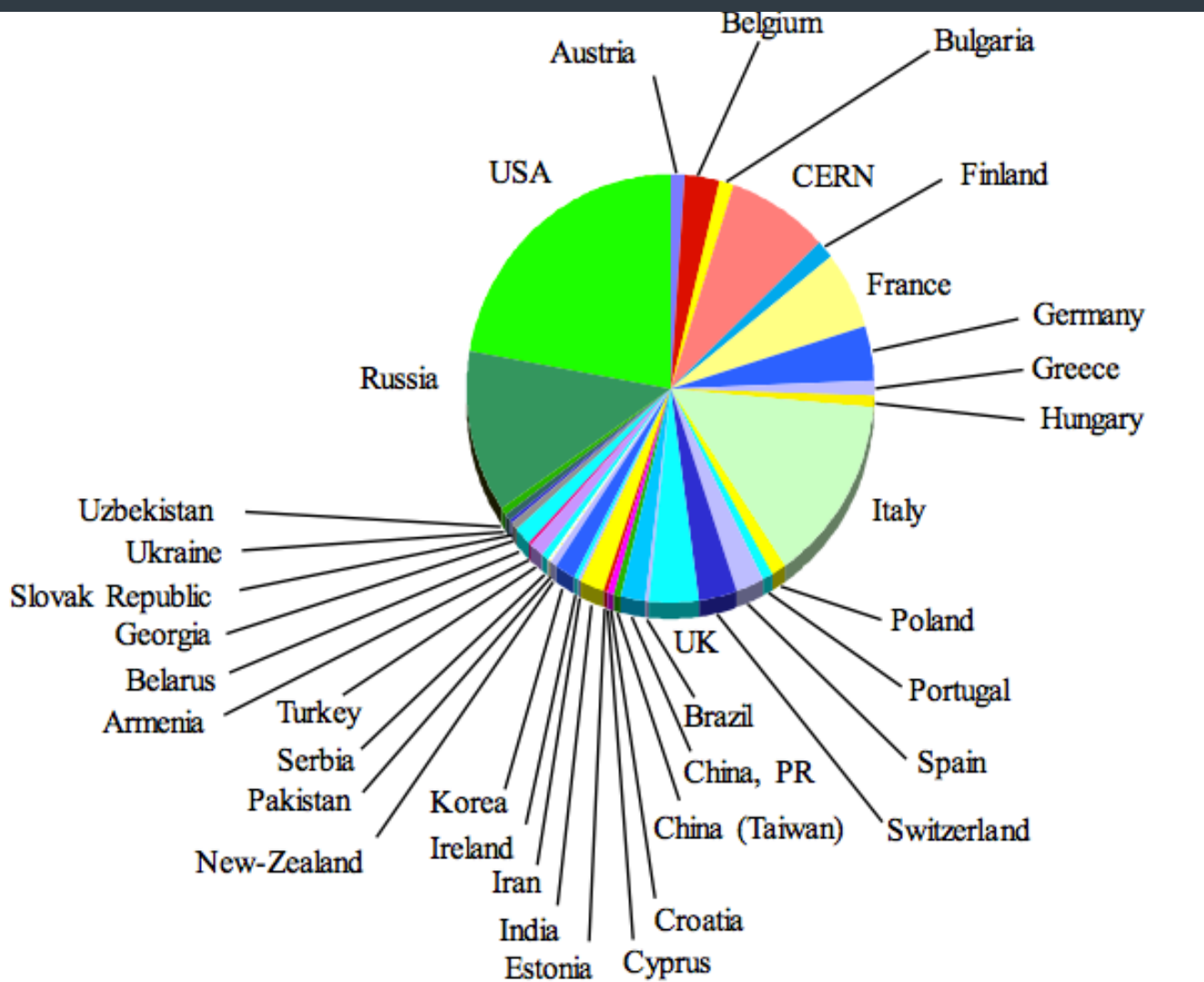
# Коллаборация







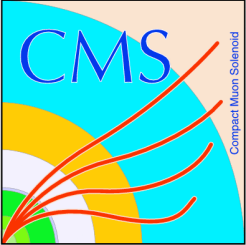
# Коллаборация КМС



36 стран

153 института

1976 физиков и инженеров



# RDMS CMS

## Russia



### Russian Federation

- Institute for High Energy Physics, Protvino
- Institute for Theoretical and Experimental Physics, Moscow
- Institute for Nuclear Research, RAS, Moscow
- Moscow State University, Institute for Nuclear Physics, Moscow
- Petersburg Nuclear Physics Institute, RAS, St.Petersburg
- P.N.Lebedev Physical Institute, Moscow

### Associated members:

- High Temperature Technology Center of Research & Development
- Institute of Power Engineering, Moscow
- Myasishchev Design Bureau, Zhukovsky
- Electron, National Research Institute, St. Petersburg



### JINR

- Joint Institute for Nuclear Research, Dubna

## Dubna Member States



### Armenia

- Yerevan Physics Institute, Yerevan



### Belarus

- Byelorussian State University, Minsk
- Research Institute for Nuclear Problems, Minsk
- National Centre for Particle and High Energy Physics, Minsk
- Research Institute for Applied Physical Problems, Minsk



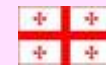
### Bulgaria

- Institute for Nuclear Research and Nuclear Energy, BAS, Sofia
- University of Sofia, Sofia



## Czech Republic

- Charles University, Prague



## Georgia

- High Energy Physics Institute, Tbilisi State University, Tbilisi
- Institute of Physics, Academy of Science, Tbilisi



## Ukraine

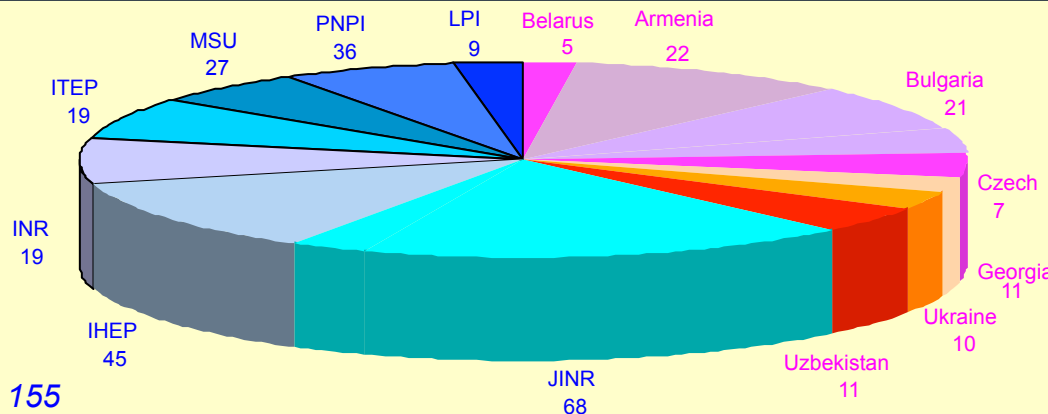
- Institute of Single Crystals of National Academy of Science, Kharkov
- National Scientific Center, Kharkov Institute of Physics and Technology, Kharkov
- Kharkov State University, Kharkov



## Uzbekistan

- Institute for Nuclear Physics, UAS, Tashkent

JINR, Dubna - 68



Russian Federation - 155

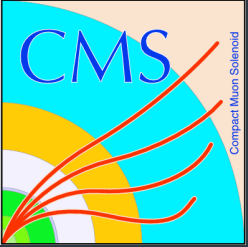
Dubna Member States - 87

### CMS members:

countries	8
institutions	21
scientists	308
students	34

### Associated members:

institutions	3
--------------	---



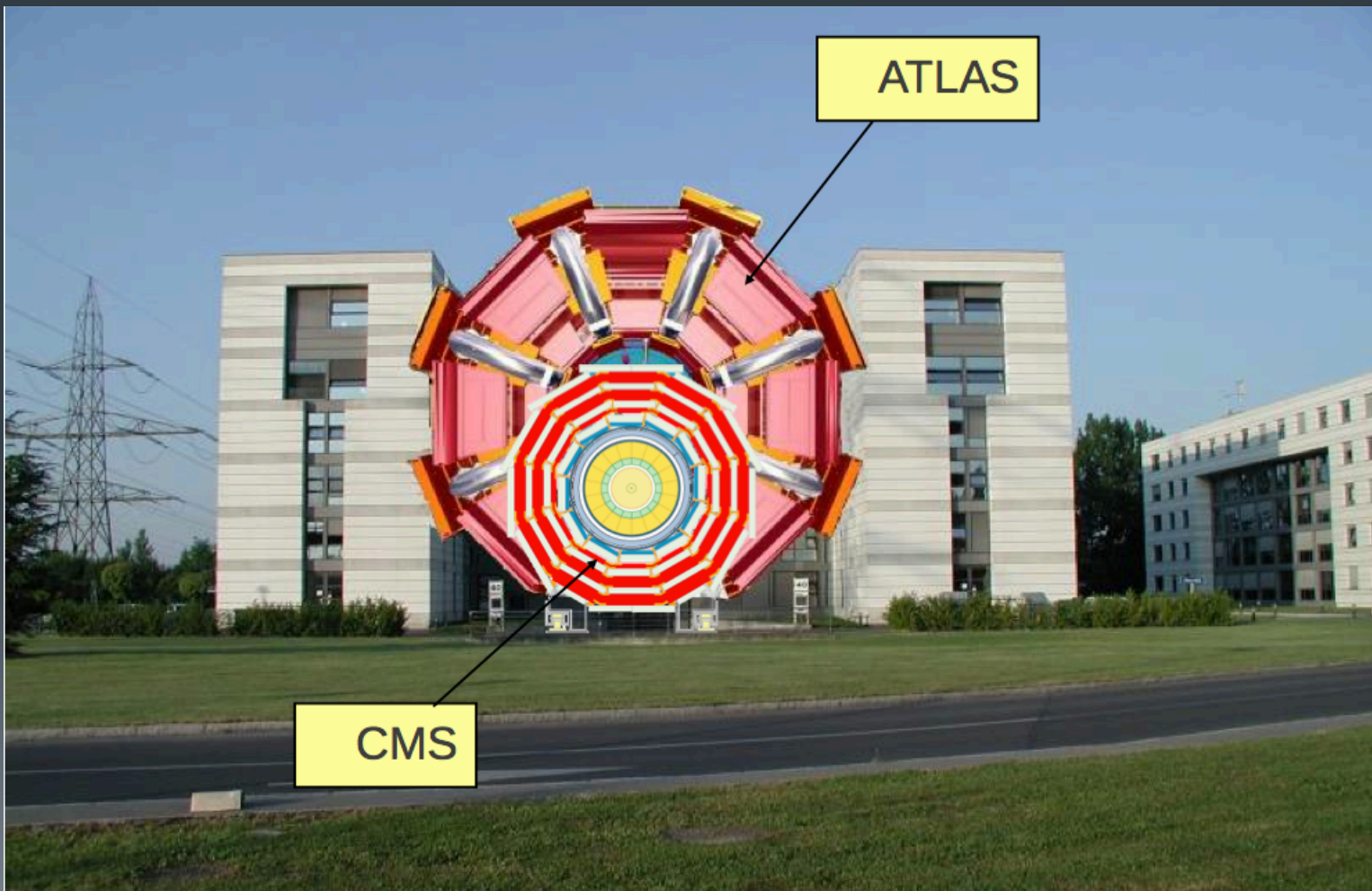
# 3. Конструкция КМС



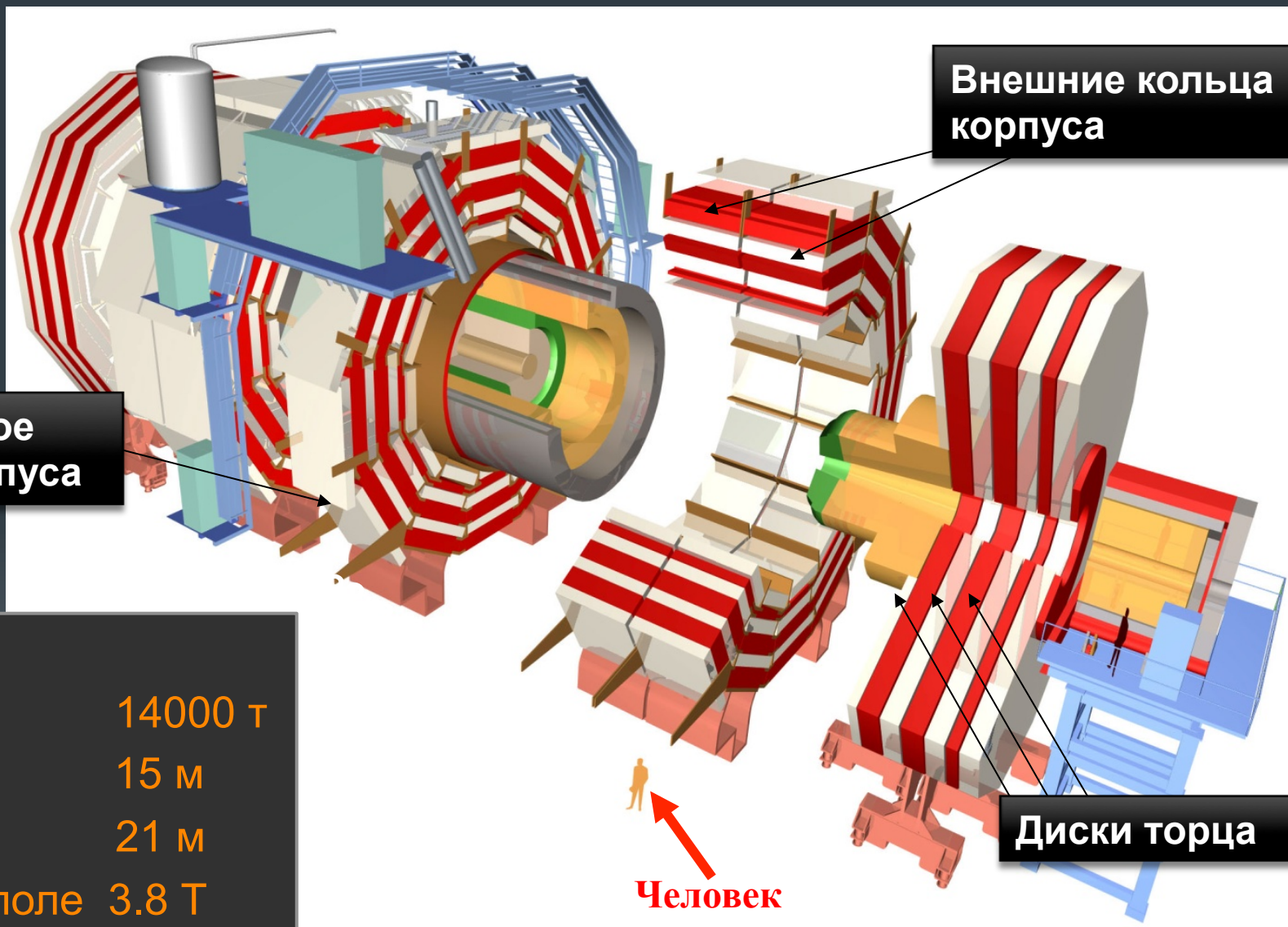
# КМС - размеры

12

КМС – **Компактный** Мюонный Соленоид



# КМС, некоторые числа



Центральное  
кольцо корпуса

Внешние кольца  
корпуса

Диски торца

Человек

Цилиндр	
Общий вес	14000 т
Диаметр	15 м
Длина	21 м
Магнитное поле	3.8 Т

## Компактный Мюонный Соленоид - CMS

### СВЕРХПРОВОДЯЩИЙ СОЛЕНОИД

диаметр **15 м**  
длина **21.6 м**  
поле **4 Тесла**

### ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ КАЛОРИМЕТР

сцинтиллирующие кристаллы  $PbWO_4$   
**76 тыс.каналов**  
кремниевый стриповый предливневый детектор  
18 кв.метров, **144 тыс. каналов**

### АДРОННЫЙ КАЛОРИМЕТР

пластический сцинтиллятор/латунь  
**8 тыс. каналов**

### ВОЗВРАТНОЕ ЯРМО

### ТРЕКЕР

Кремниевые микростриповые  
и пиксельные детекторы  
223 кв. метров  
**10 млн. каналов**

### МЮОННАЯ СИСТЕМА: ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ

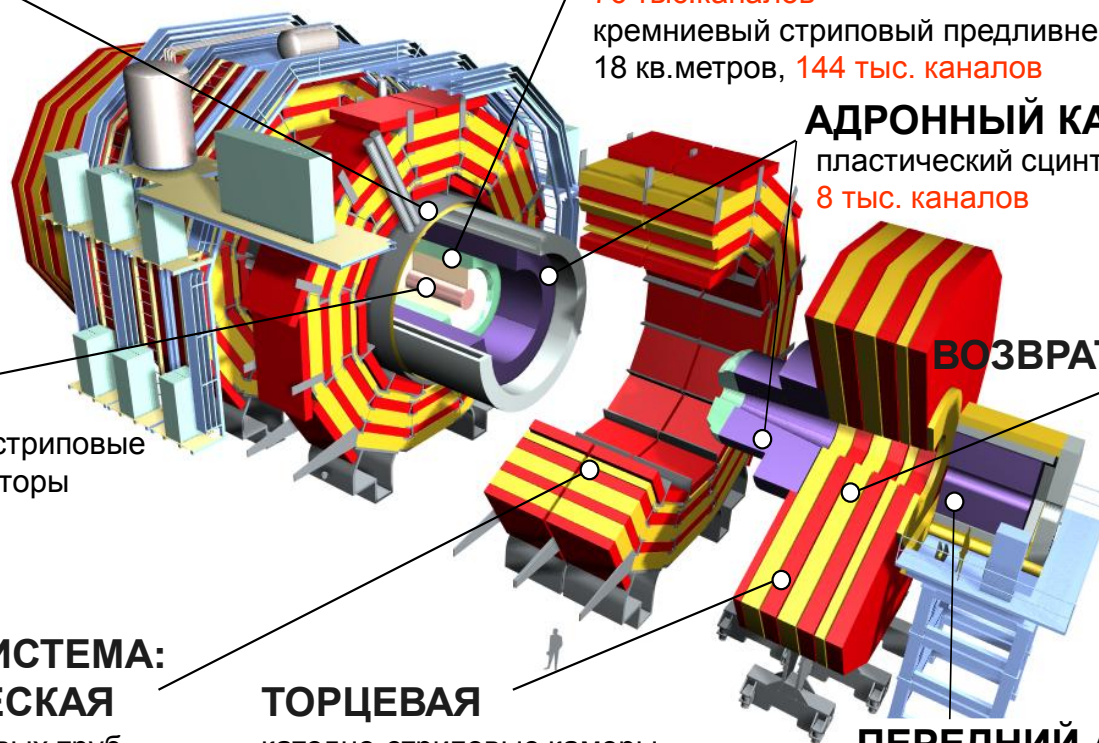
камеры из дрейфовых труб  
250 камер  
**192 тыс. каналов**  
Резистивные планарные камеры для триггера - RPC - 760 камер

### ТОРЦЕВАЯ

катодно-стриповые камеры  
540 камер  
**310 тыс. каналов**

### ПЕРЕДНИЙ АДРОННЫЙ КАЛОРИМЕТР

кварцевое волокно/железо  
**2 тыс. каналов**



# Общий вид КМС

Мюонные камеры

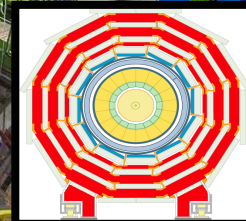
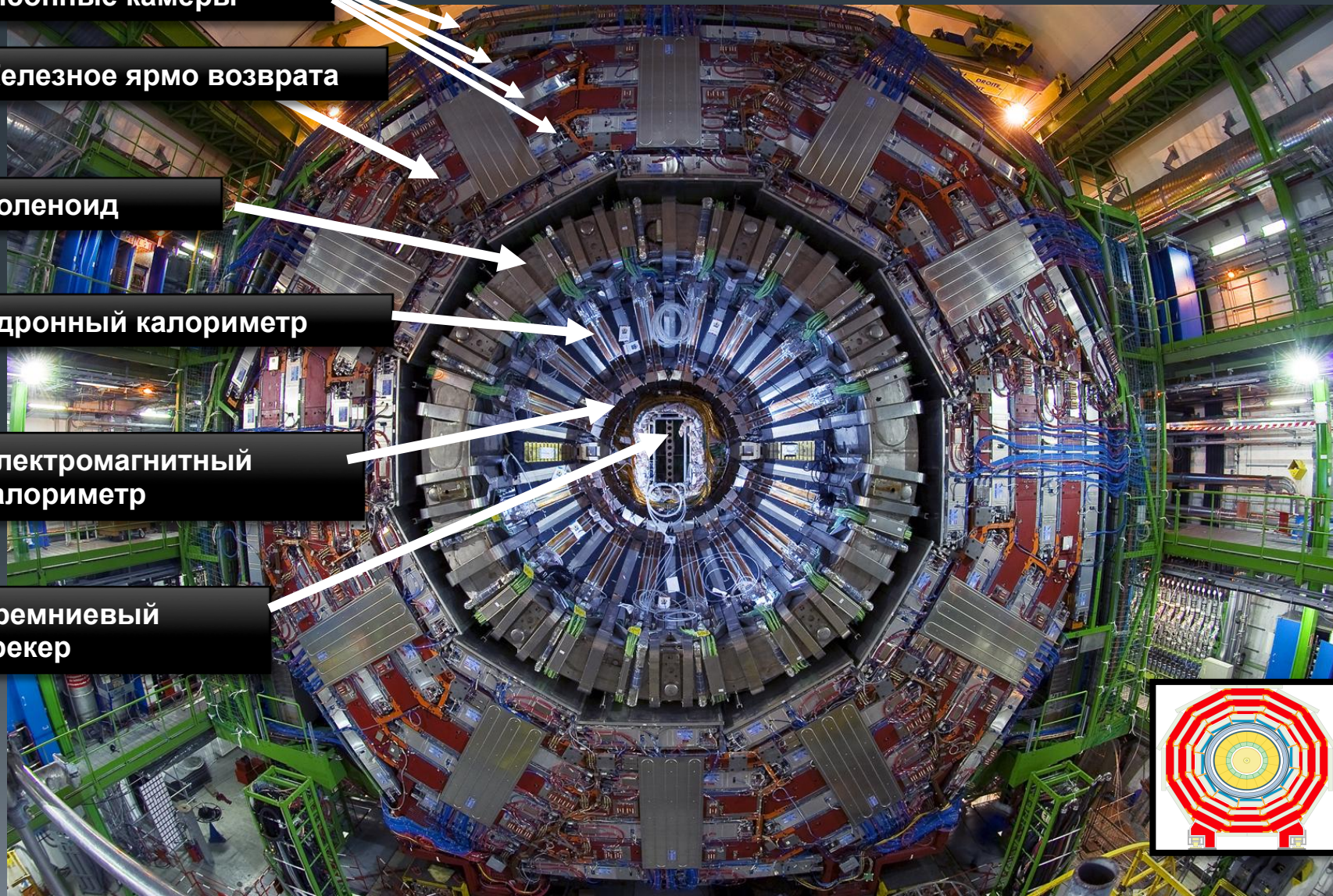
Железное ярмо возврата

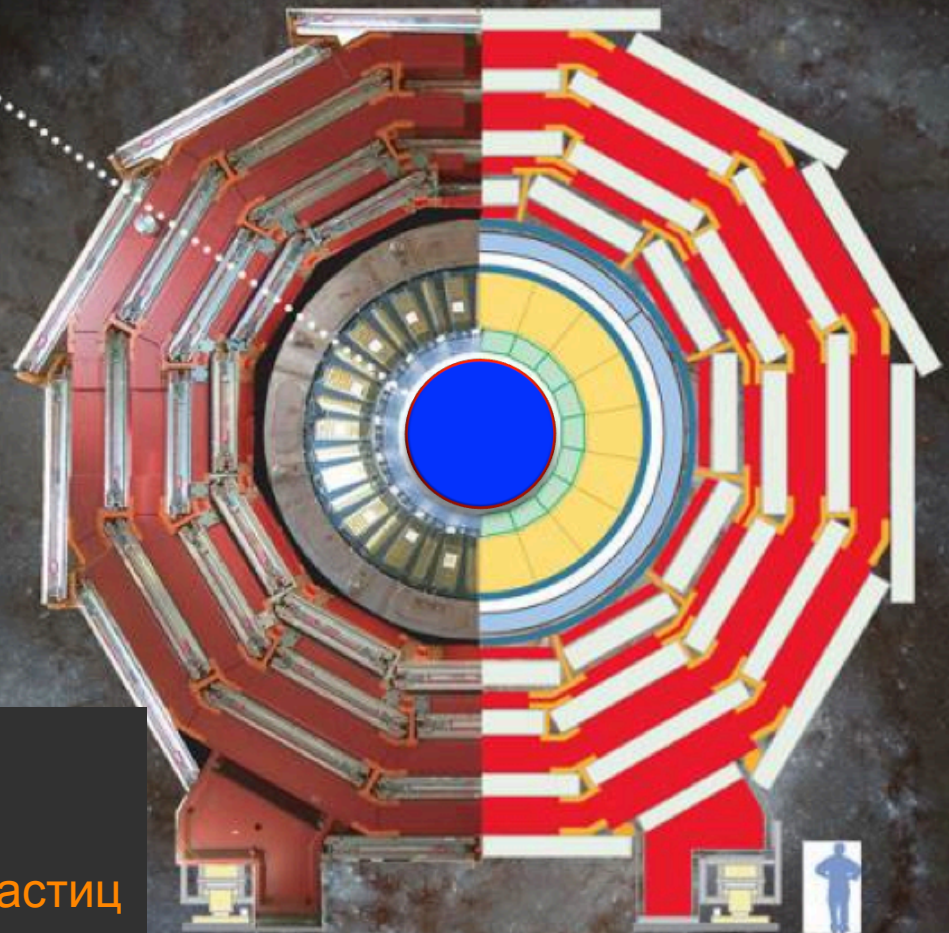
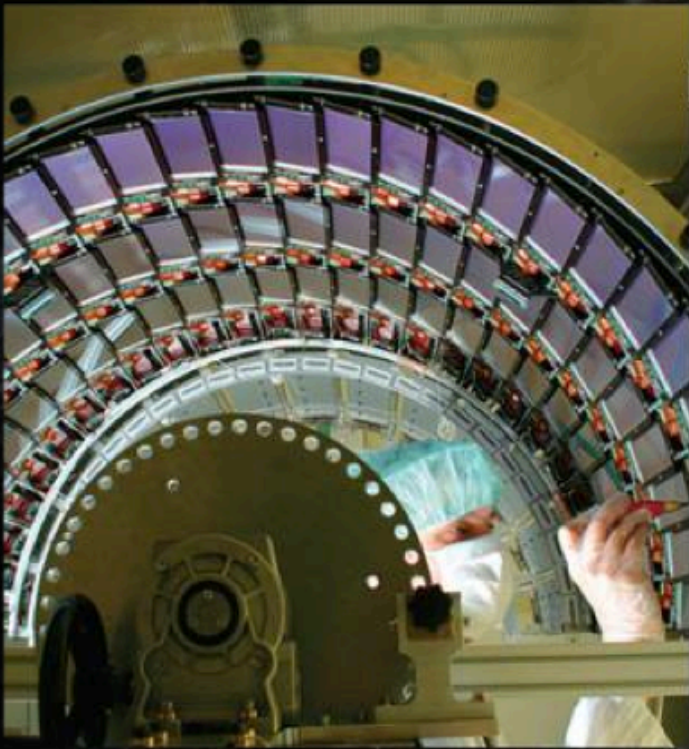
Соленоид

Адронный калориметр

Электромагнитный калориметр

Кремниевый трекер





Кремниевый трэкер:

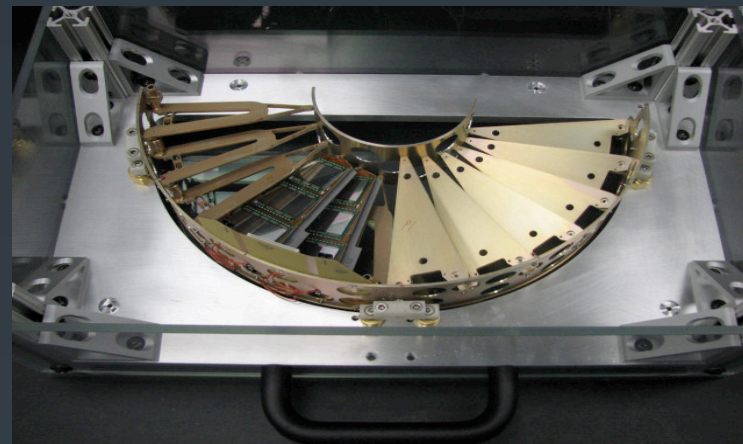
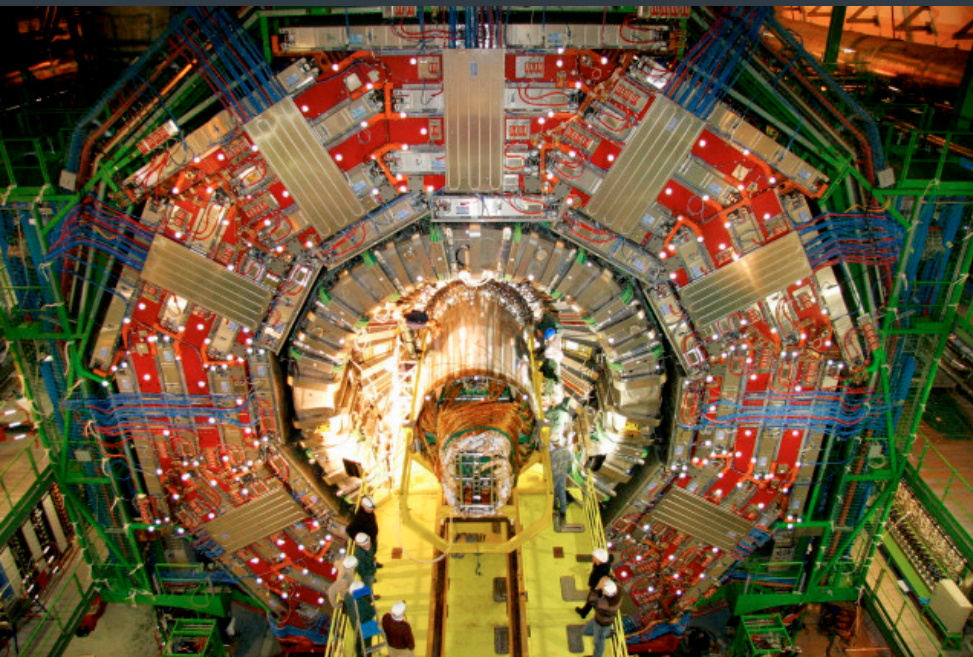
Трэки заряженных частиц

Вершины распадов долгоживущих частиц

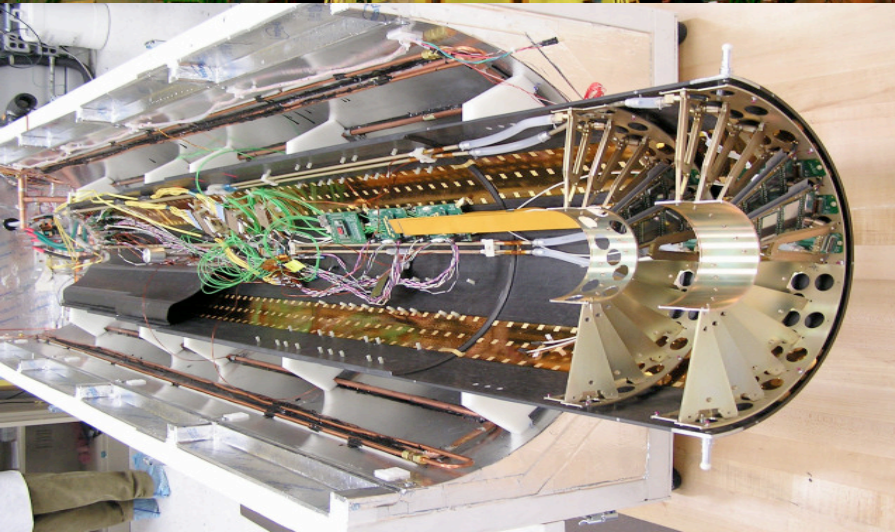
Импульс заряженных частиц



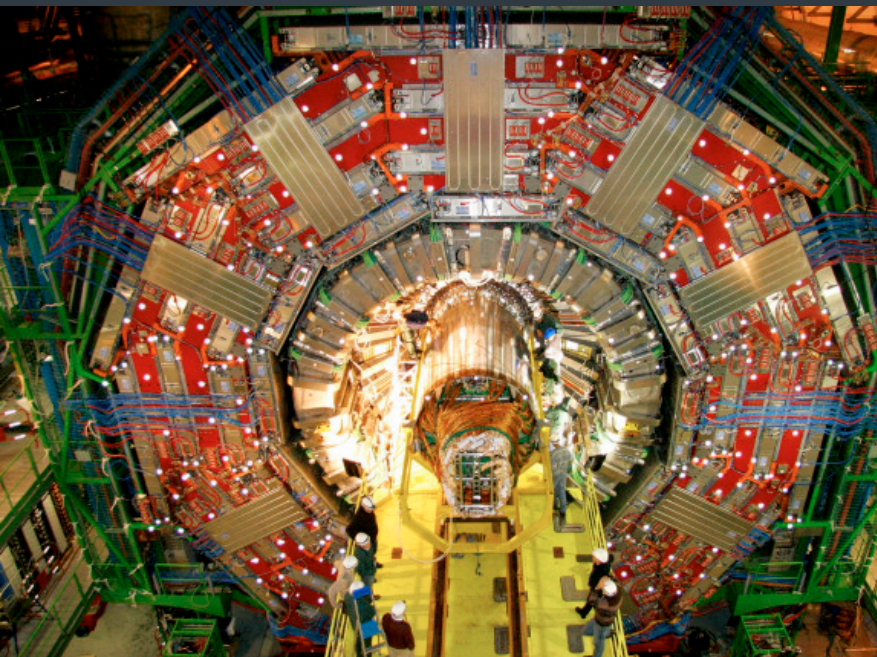
# Трэкер КМС - Пиксели



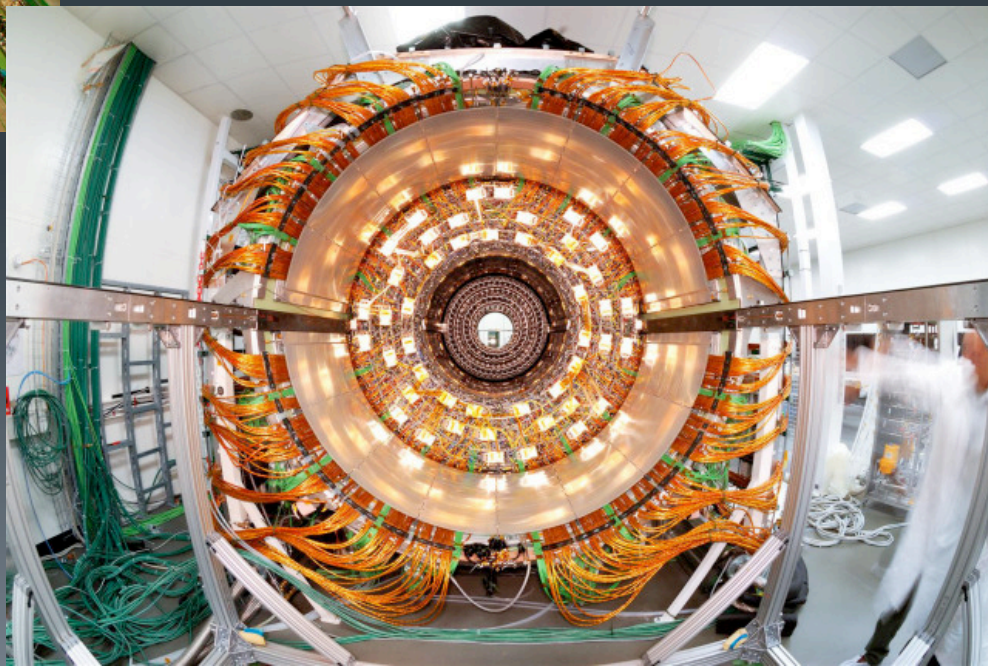
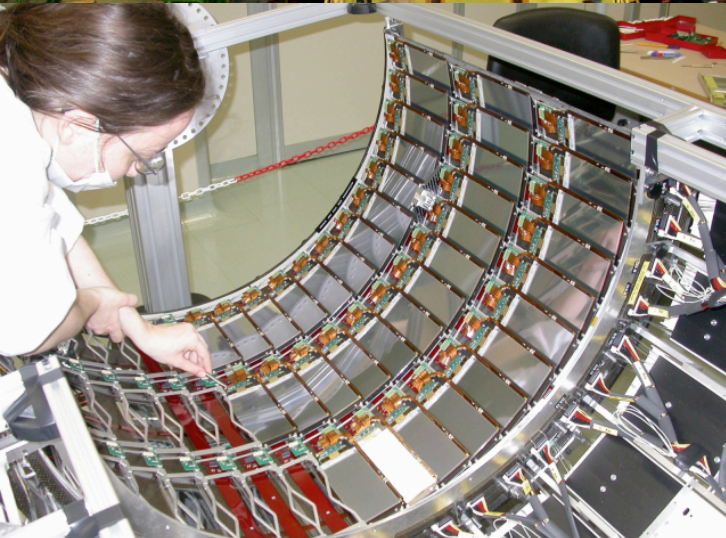
1,06 м<sup>2</sup> кремниевых сенсоров  
6 м длиной, 0,5 м диаметр  
66 млн. электронных каналов

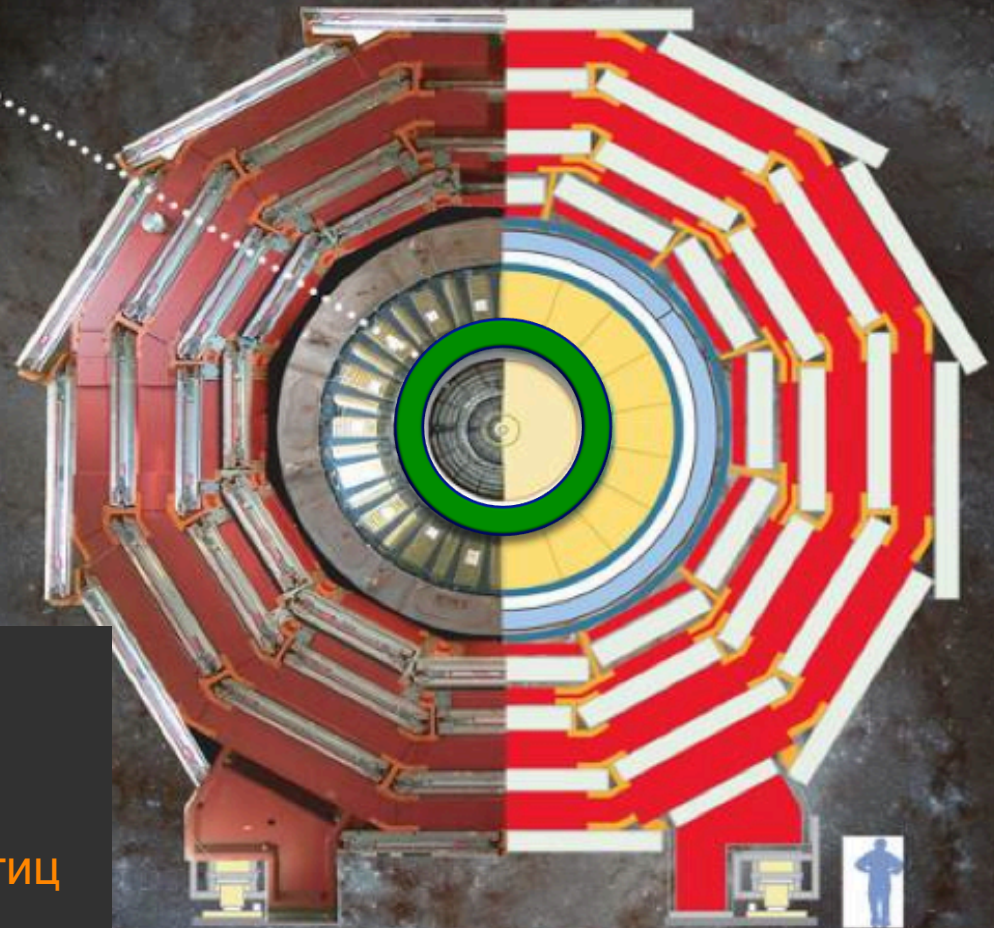


# Трэкер КМС - Стрипы



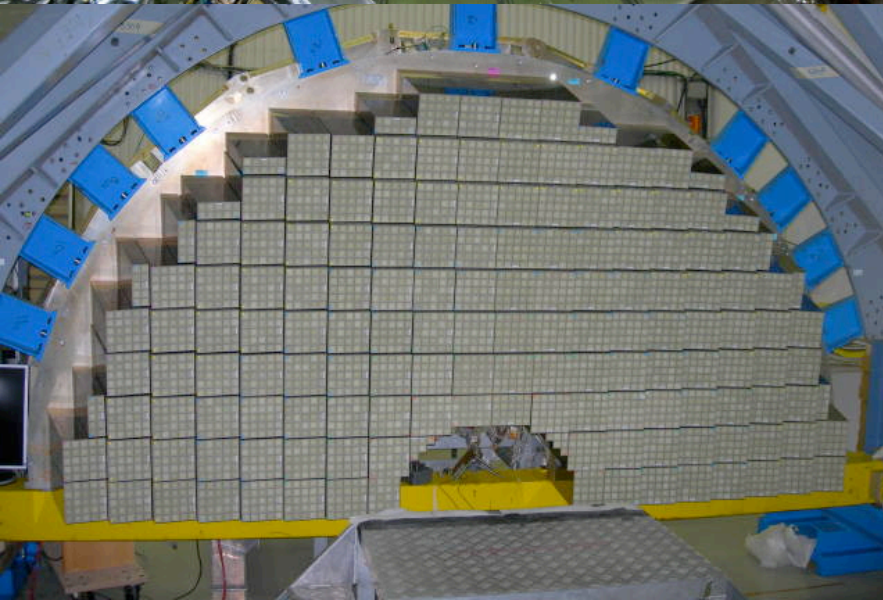
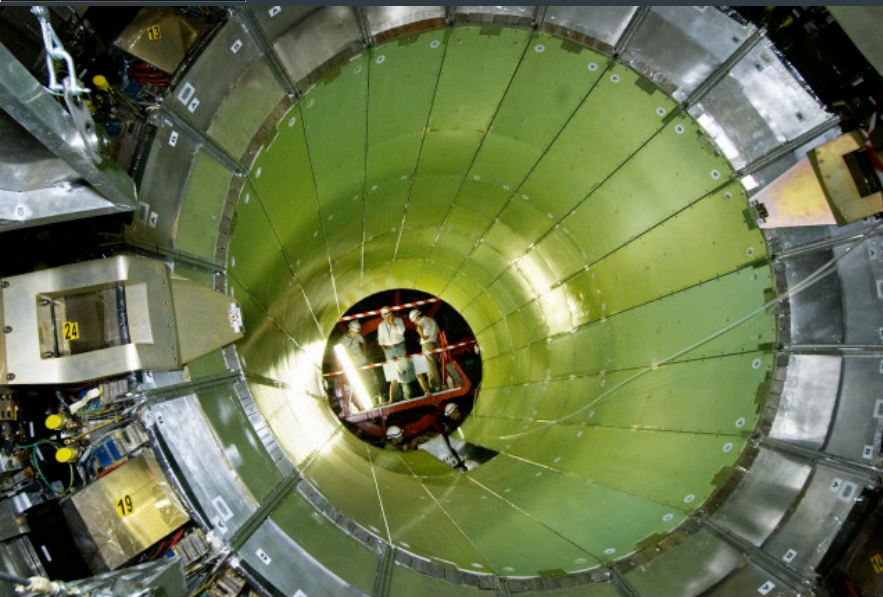
198 м<sup>2</sup> кремниевых сенсоров  
6 м длиной, 2,2 м диаметр  
-10<sup>0</sup> С рабочая температура  
9,3 млн. электронных каналов



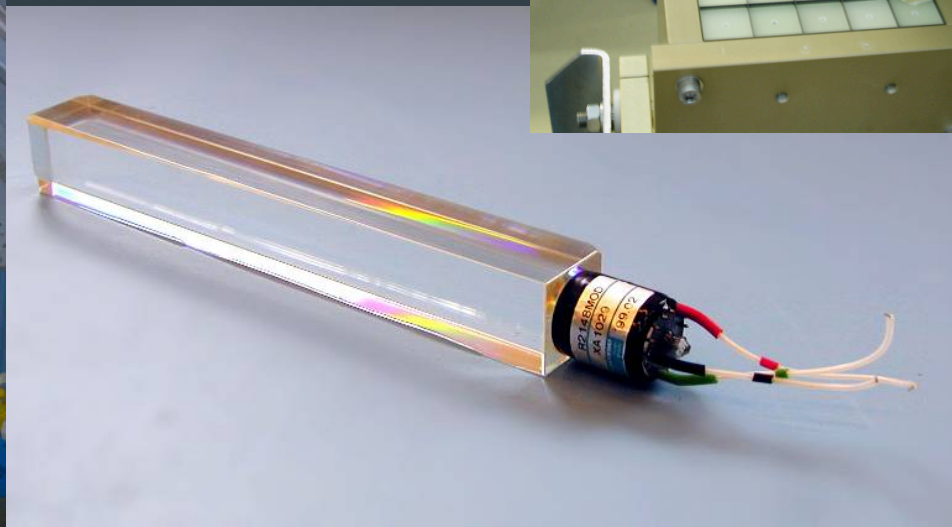
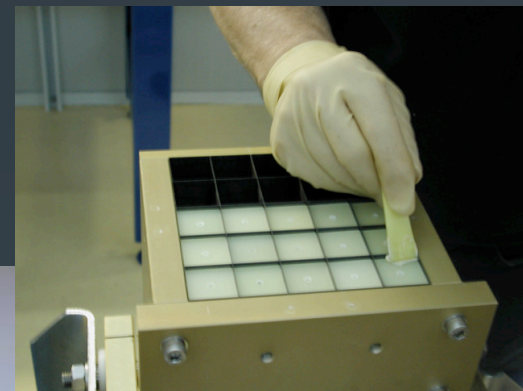


Электромагнитный калориметр:  
Энергии электронов и фотонов  
Кремниевый предливневый детектор  
(торец) улучшает идентификацию частиц

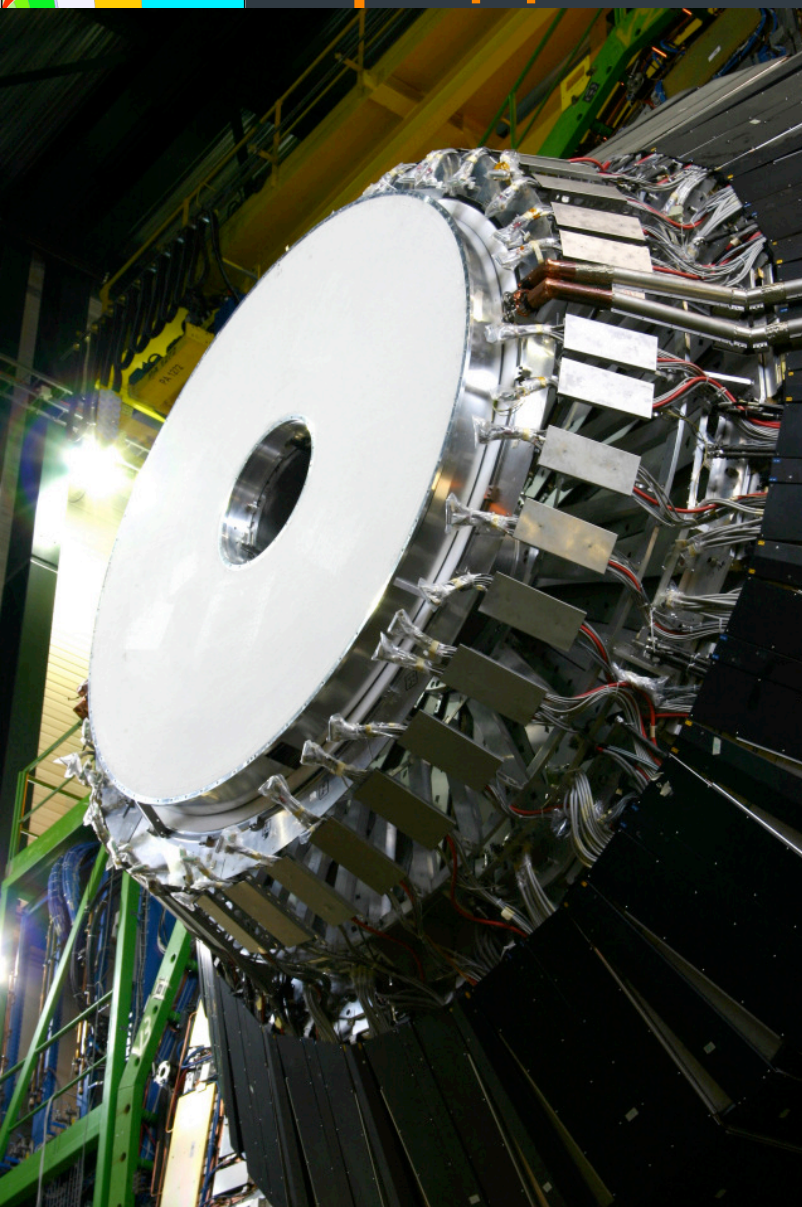
# Э/м калориметр КМС



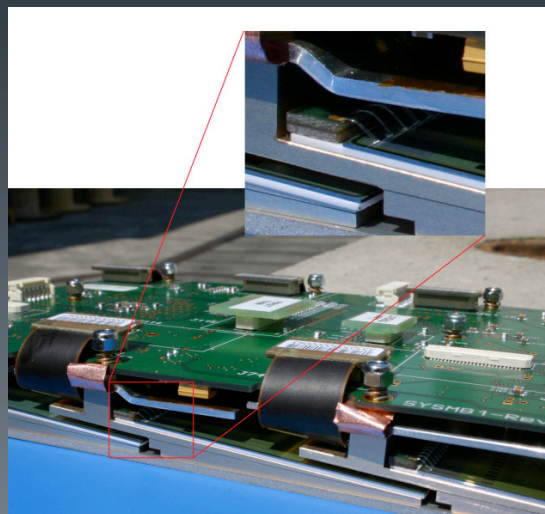
80000 кристаллов  $\text{PbWO}_4$   
С каждого кристалла свет собирается лавинным фотодиодом (бочка) или вакуумным триодом (торец)  
80 тыс. электронных каналов



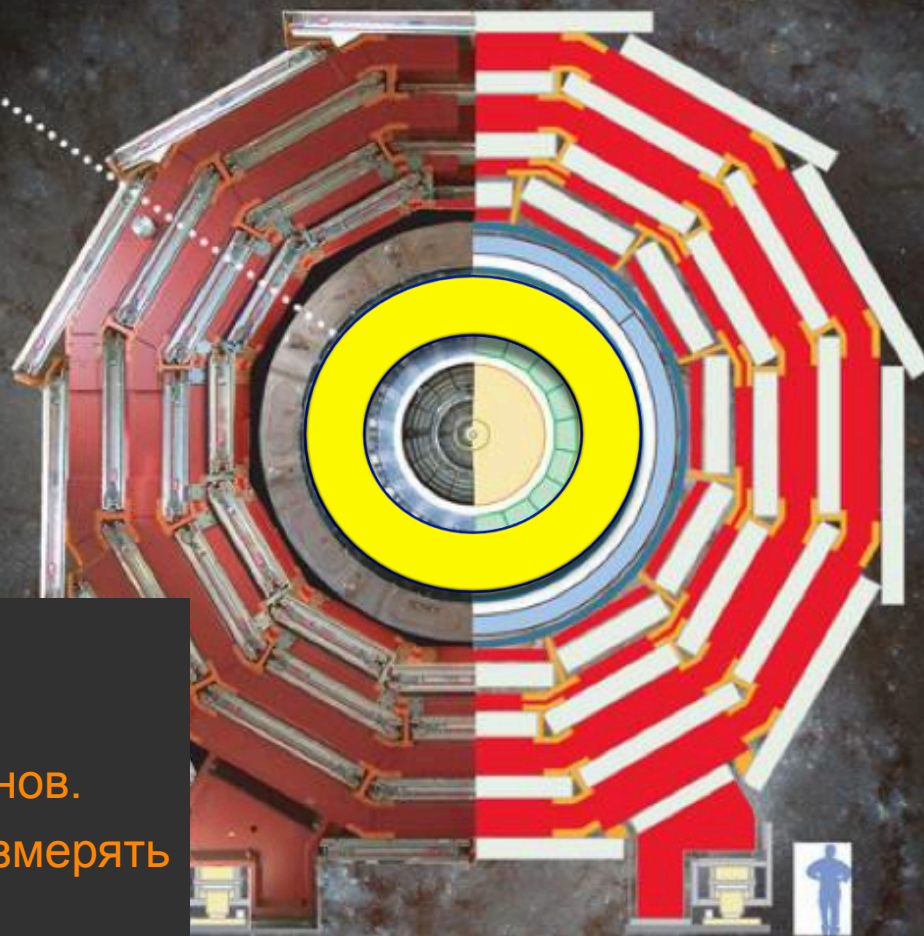
# Предливниевый детектор



18 м<sup>2</sup> кремниевых пластин  
144 тыс. электронных каналов



# Адронный калориметр



Адронный калориметр:

Энергии адронов:

протонов, нейтронов, пионов и каонов.

Передний калориметр позволяет измерять светимость.

# Адронный калориметр

Торец

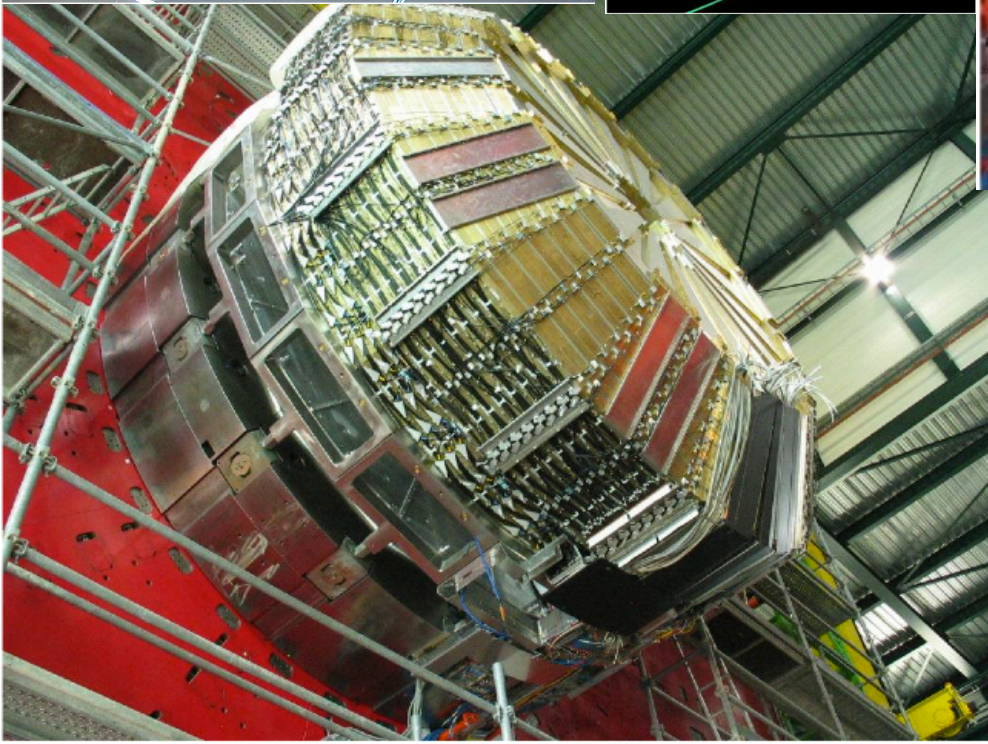
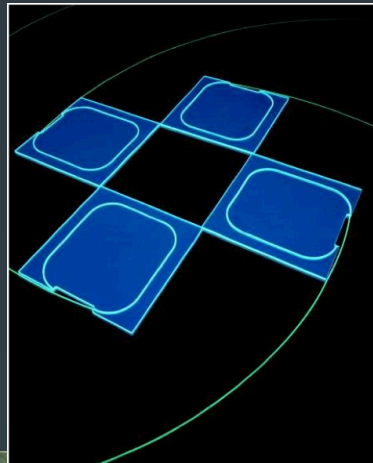


Бочка



Слоистый детектор  
Слои латуни из советских  
морских гильз  
Около 2000 тонн

# Адронный калориметр



Слоистый детектор

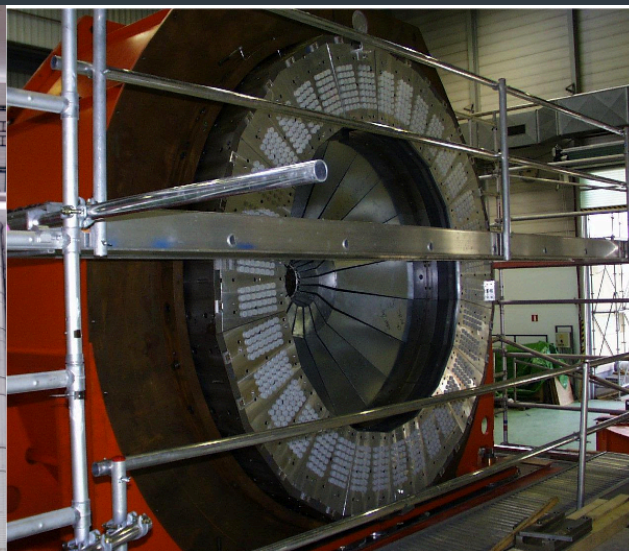
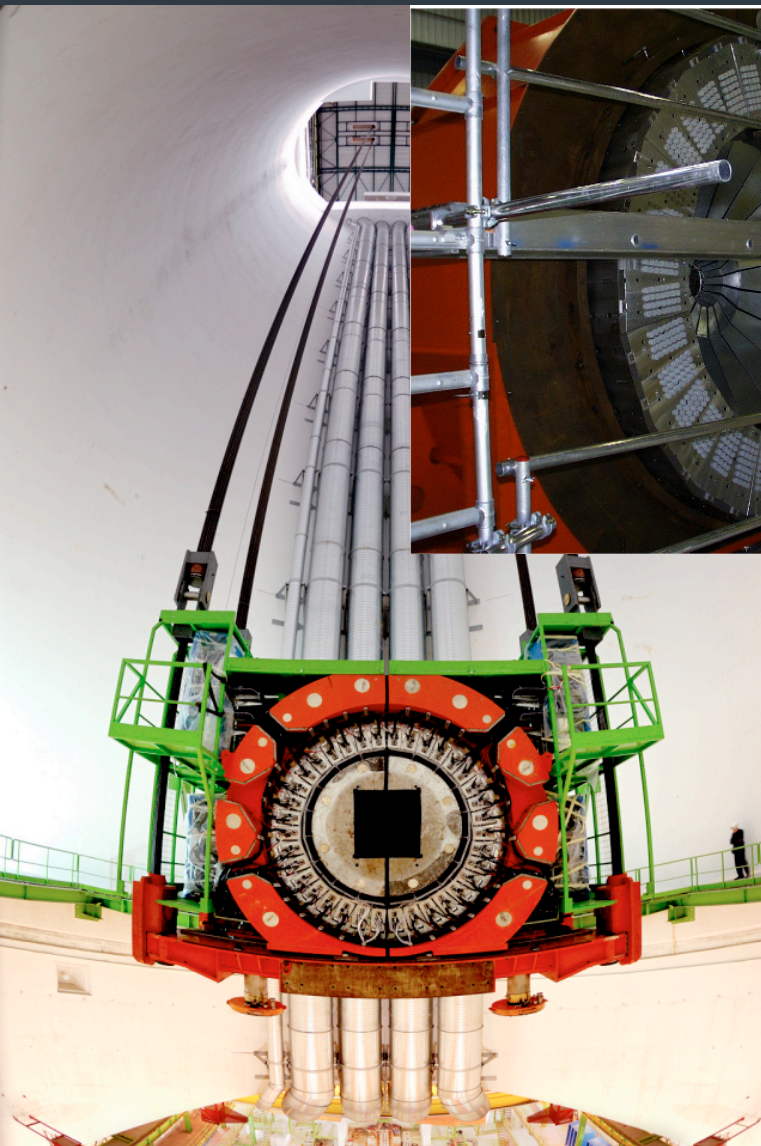
Слои пластикового сцинтиллятора с собирающим светосмещающим оптоволоконном.

Лавинные фотодиоды

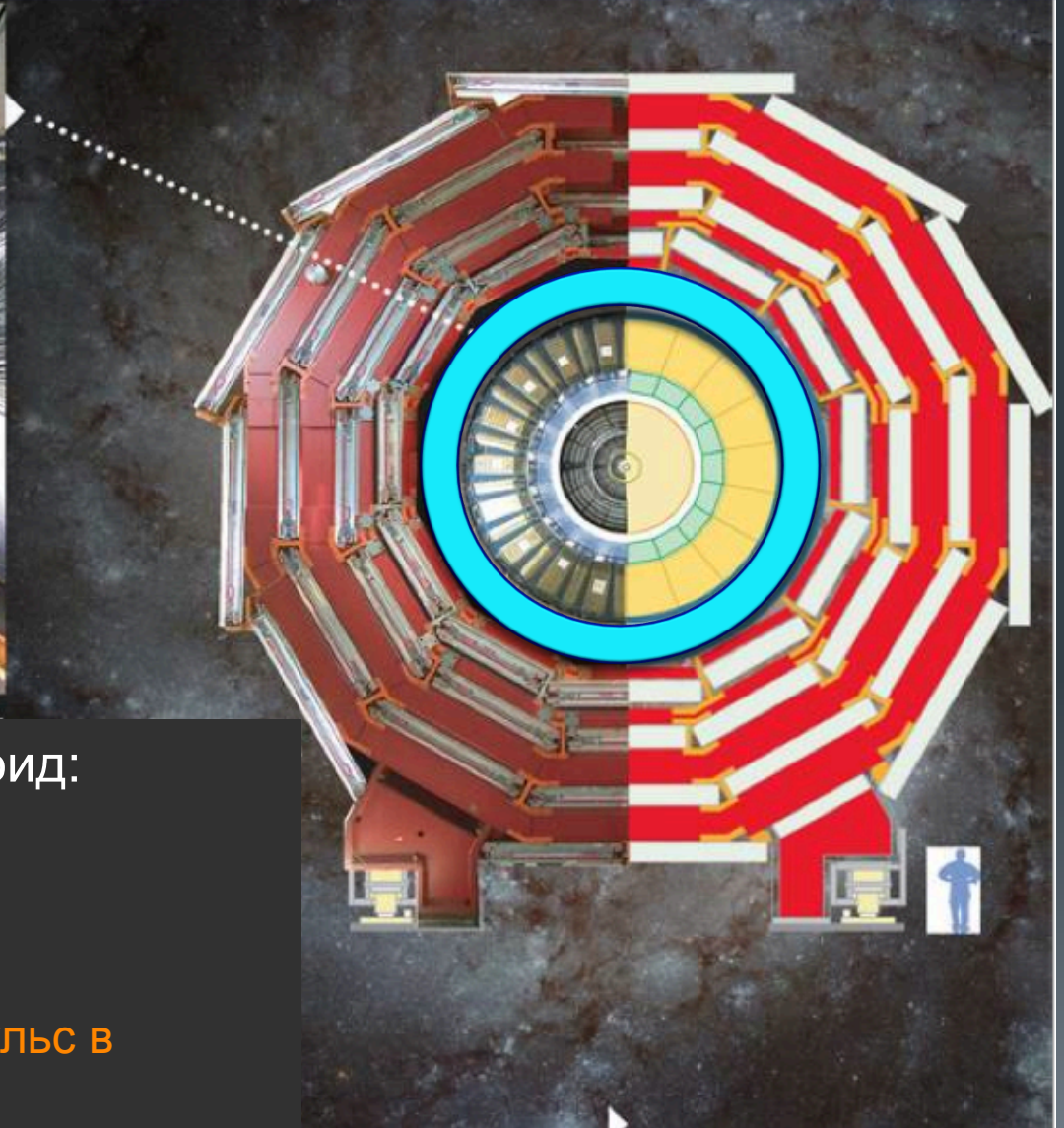
6 тыс. электронных каналов



# Передний адронный калориметр



Сталь с кварцевыми волокнами,  
Черенковское излучение  
собирается фотоумножителями  
2 тыс. электронных каналов



Сверхпроводящий соленоид:

Магнитное поле 3.8 Тесла

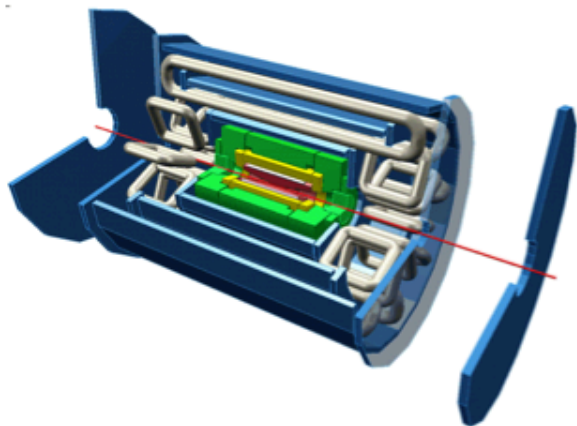
Искривляет трэки частиц

Позволяет измерить их импульс в трэкере

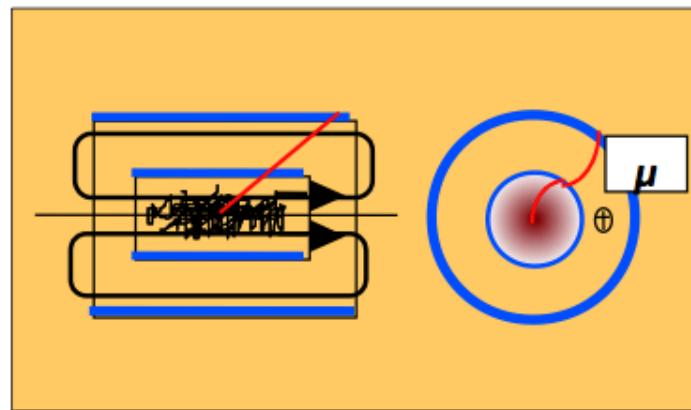
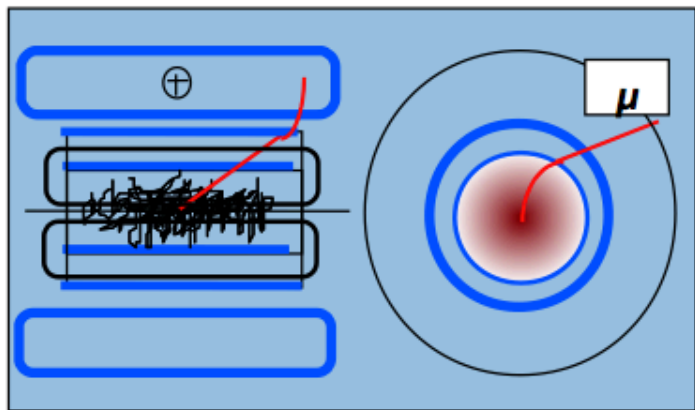
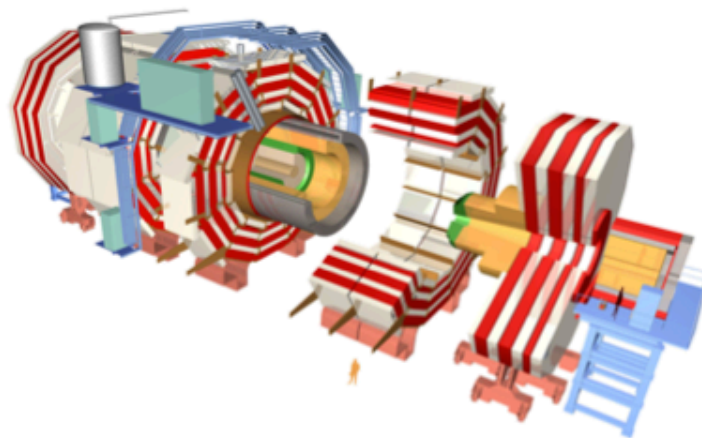
# Адронный калориметр

## КМС – Компактный Мюонный Соленоид

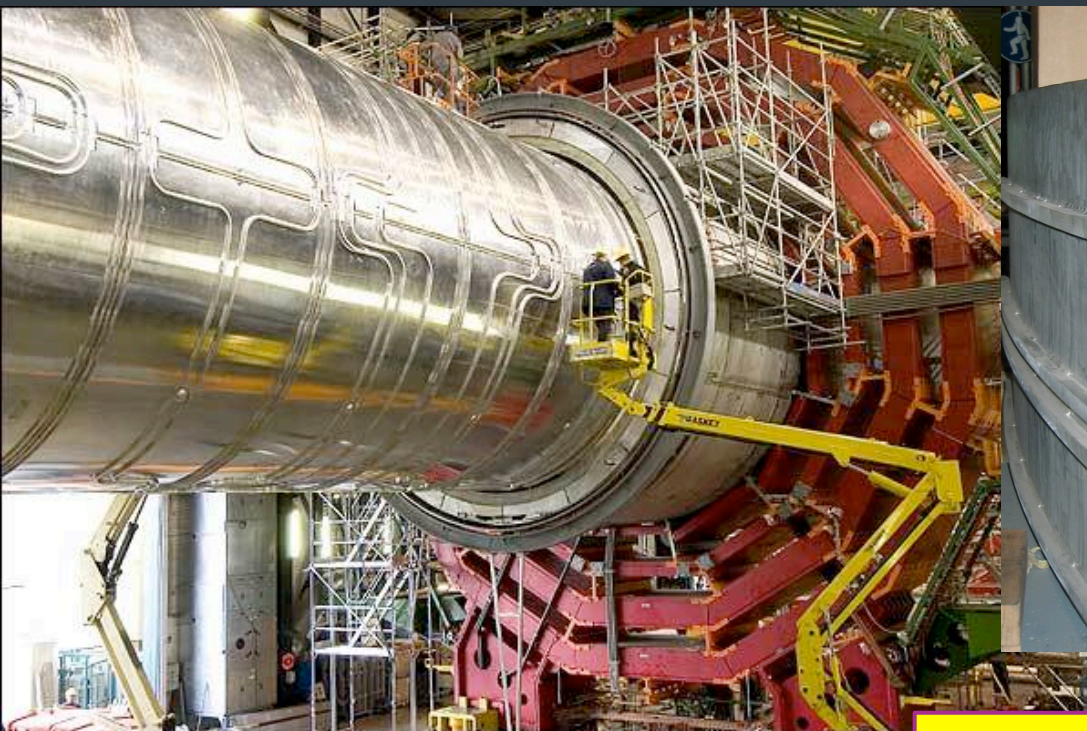
**ATLAS A Toroidal LHC Apparatus**



**CMS Compact Muon Solenoid**



# Адронный калориметр

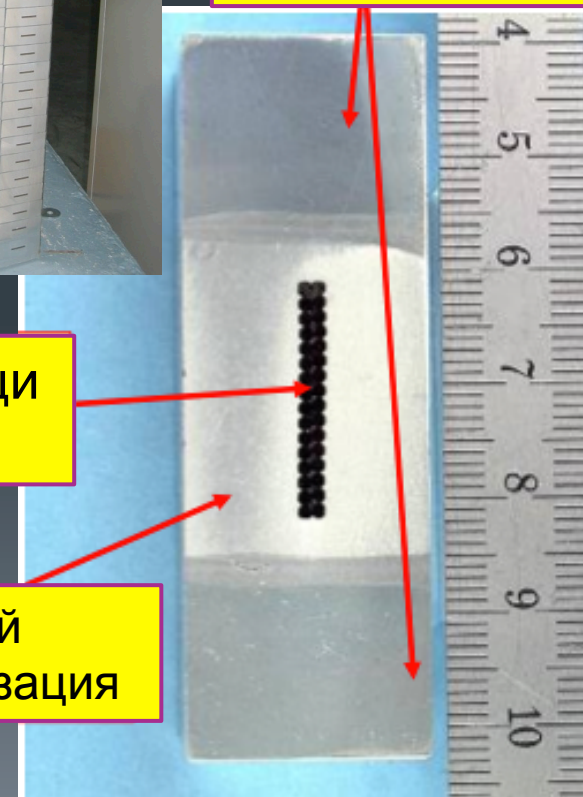


Алюминиевый сплав  
механическая стабилизация

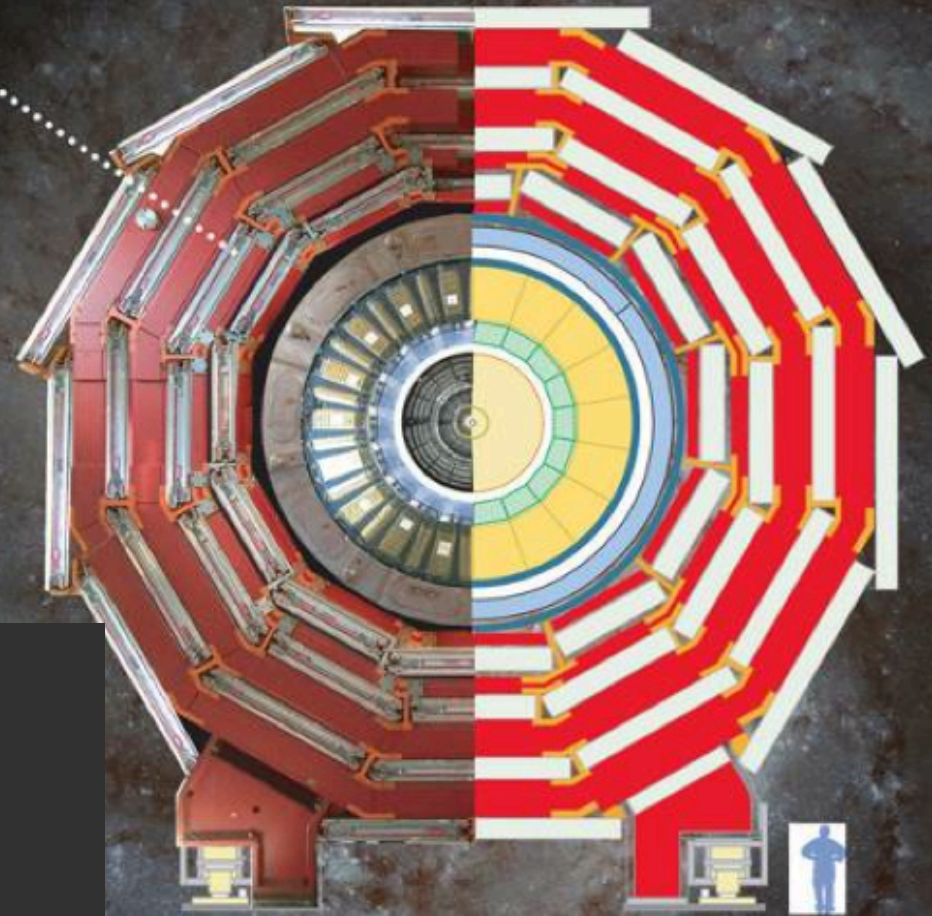
Сверхпроводящий соленоид  
13 м длиной 6 м диаметр  
40 км NbTi кабеля  
20000 Ампер рабочий ток  
3° K рабочая температура  
Однородное 3.8 Тесла внутри  
Однородное 2 Тесла снаружи

Сверхпроводящий кабель NbTi

Ультрочистый алюминий  
Термо/электро стабилизация



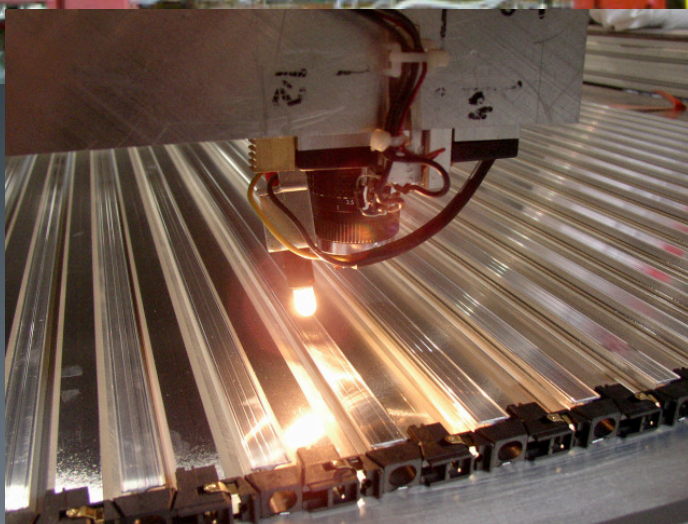
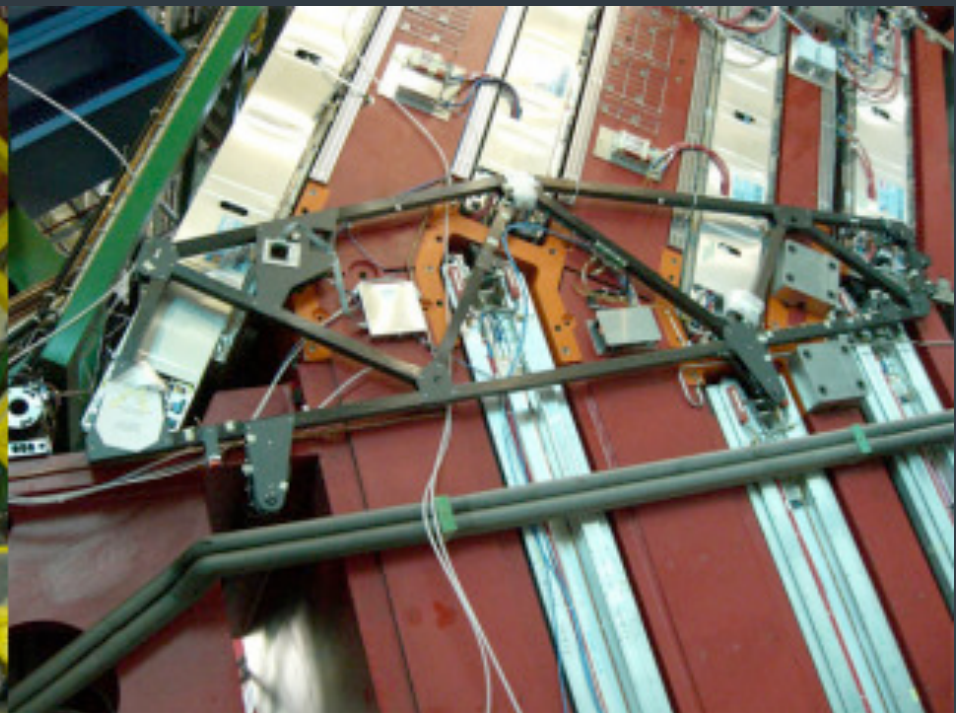
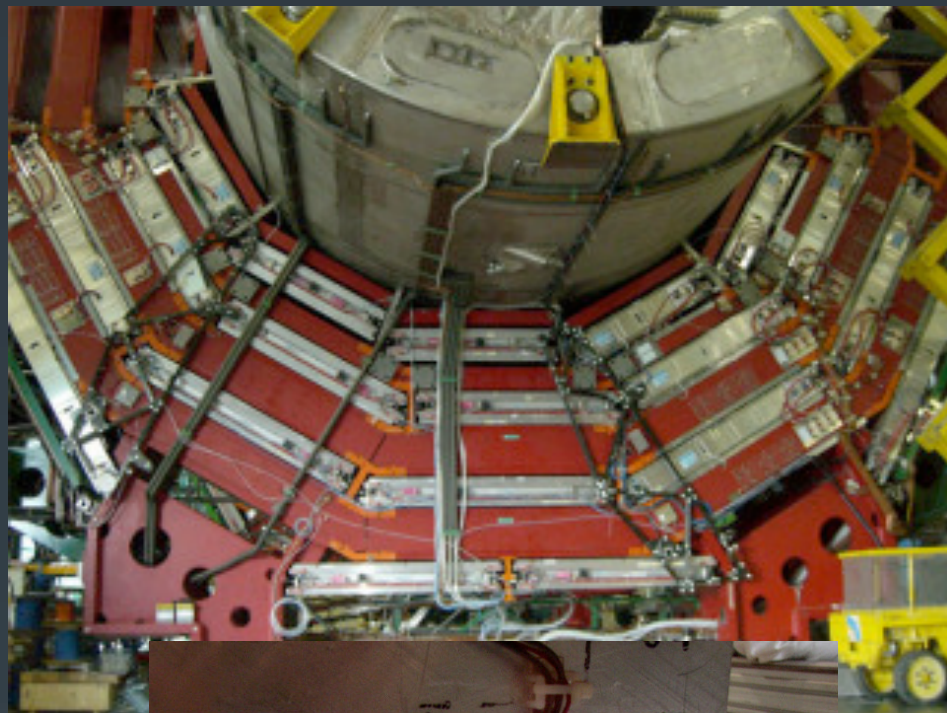
# Мюонная система



Мюонный детектор  
и возвратное ярмо магнита

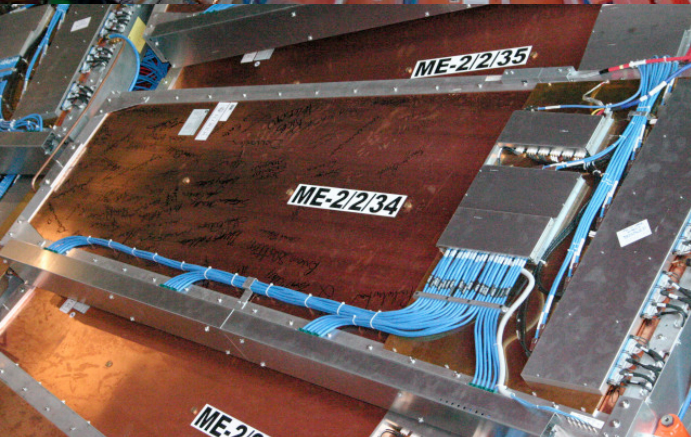
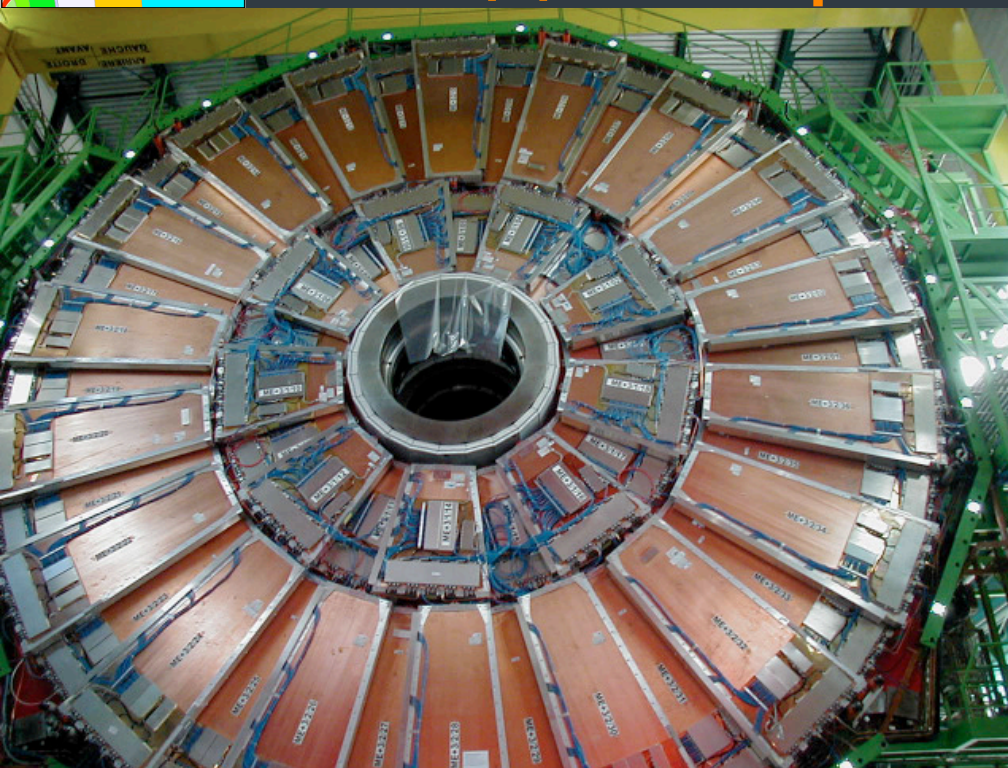
Идентифицирует мюоны  
Измеряет импульс мюонов

# Дрифтовые трубки



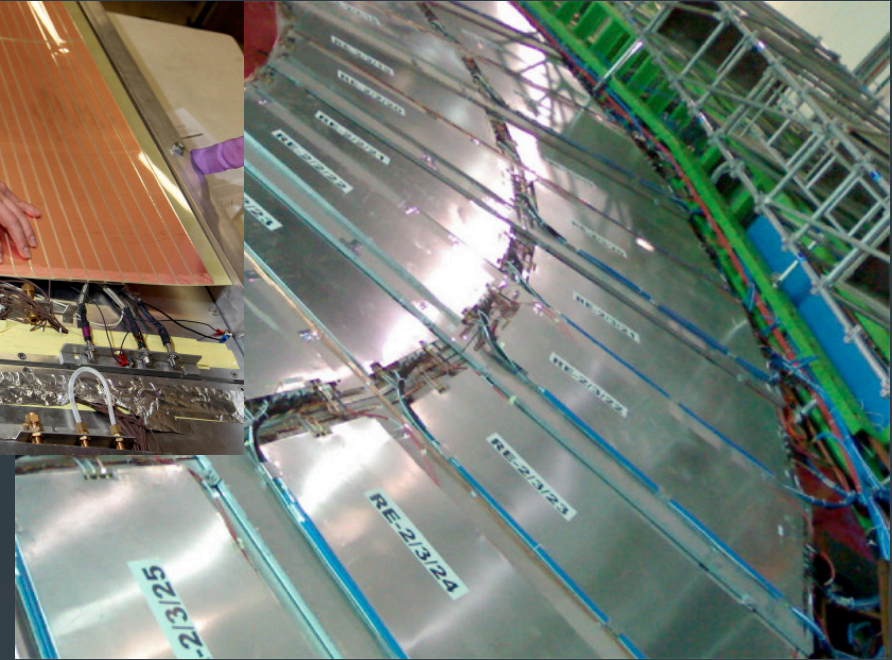
Дрифтовые трубки  
Пространственное разрешение  
Бочка  
172 тыс. Электронных каналов

# Катодно-стриповые камеры



Катодно-стриповые камеры  
Пространственное разрешение  
На торцах  
180 тыс. электронных каналов

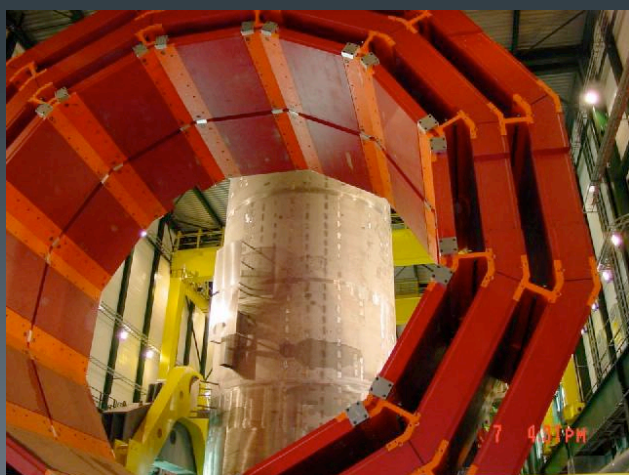
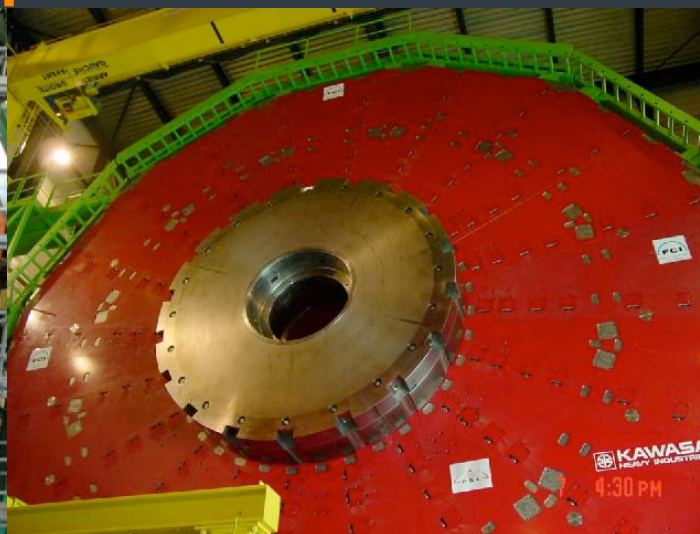
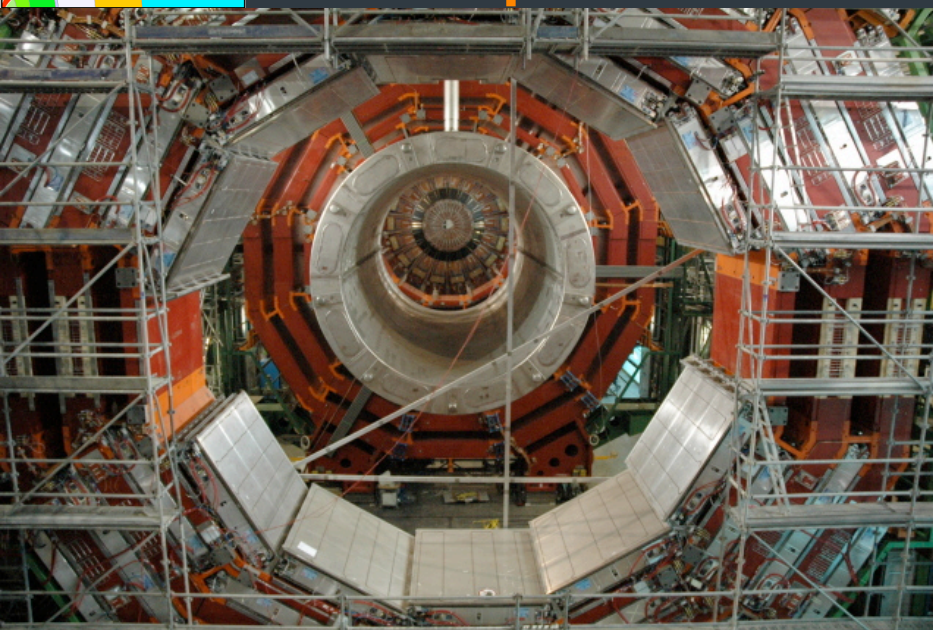
# Резистивные платы



Резистивные платы  
Временное разрешение  
Бочка – 480 станций  
Торец – 216 станций  
30 тыс. электронных каналов



# Возвратное ярмо магнита



Возвратное ярмо  
10500 тонн стали  
Скелет КМС  
5 колец бочки и 6 торцевых дисков  
2 Тл однородного магнитного поля



Сборочный цех с мастерской  
Комната управления



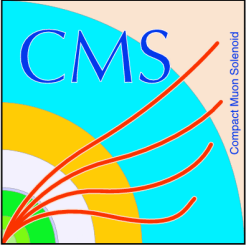
Резервуары с газообразным гелием (8 бар) – два для соленоида КМС (5000 литров жидкого азота), остальные для охлаждения БАК



ИБП на 40 мин работы  
Дизельный генератор на 1 МВт



# 4. Детектирование частиц



# SM



	верхний	очарованный	истинный	глюон	бозон Хиггса
КВАРКИ					
	нижний	странный	прелестный	фотон	
	электрон	мюон	тау	Z бозон	
ЛЕПТОНЫ					
	электронное нейтрино	мюонное нейтрино	тау нейтрино	W бозон	КАЛИБРОВОЧНЫЕ БОЗОНЫ

Электроны  $e^-$

Позитроны  $e^+$

Мюоны  $\mu^+ \mu^-$

Фотоны  $\gamma$

Протоны  $uud$

Нейтроны  $udd$

Пионы  $ud, uu, dd$

Каоны  $us$

Струи

# Общий вид КМС

Мюонные камеры

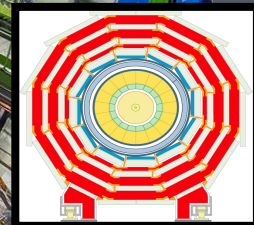
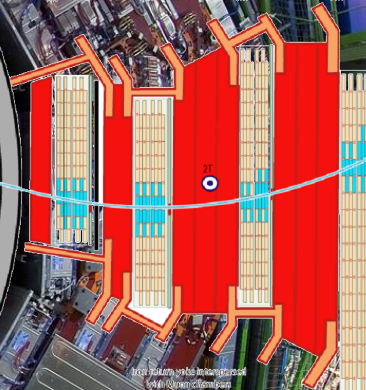
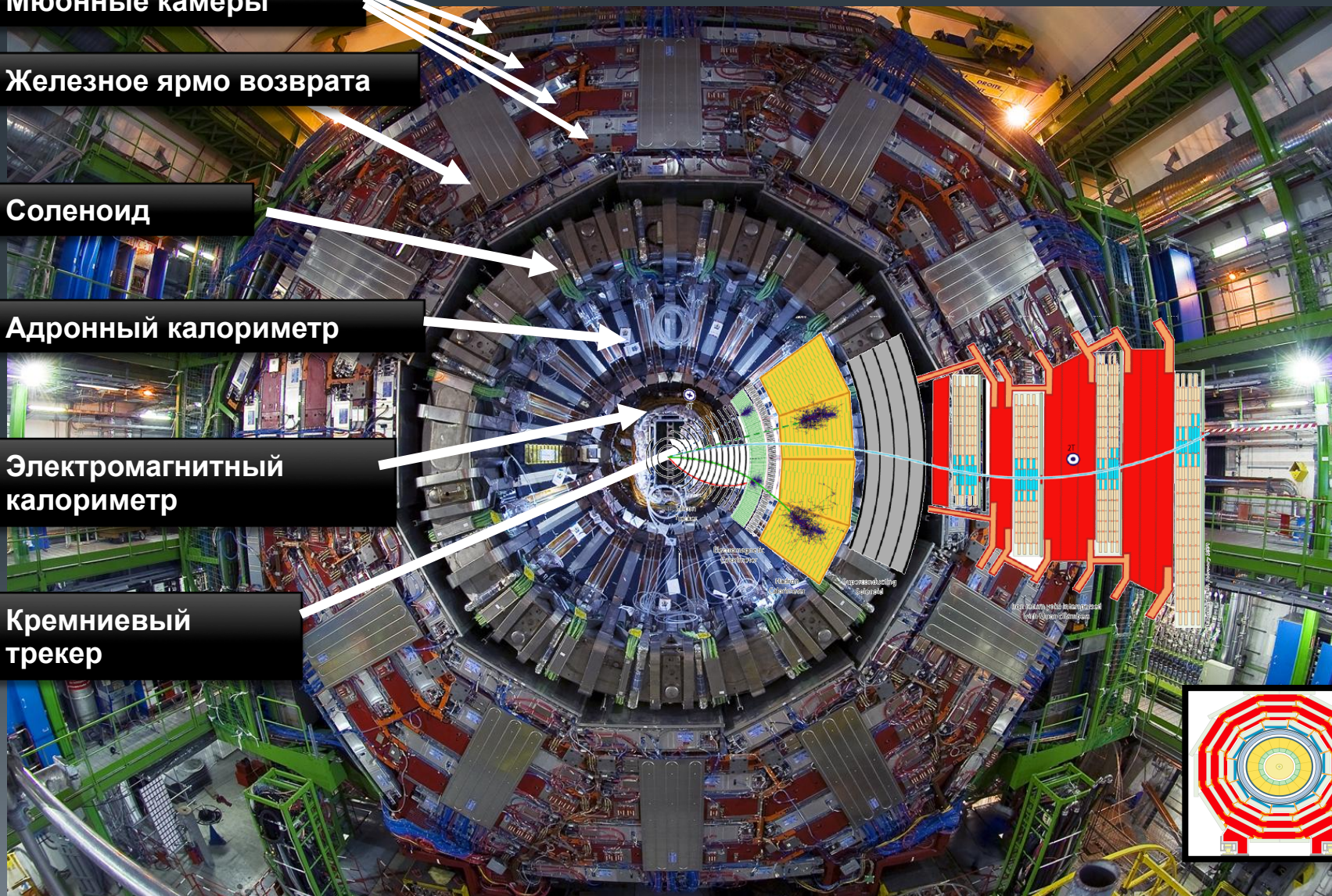
Железное ярмо возврата

Соленоид

Адронный калориметр

Электромагнитный калориметр

Кремниевый трекер





4T

Silicon Tracker

Electromagnetic Calorimeter

Hadron Calorimeter

Superconducting Solenoid

2T

Iron return yoke interspersed with Muon chambers



Key:

— Muon

— Electron

— Charged Hadron (e.g. Pion)

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

- - - Photon



4T

Silicon Tracker

Electromagnetic Calorimeter

Hadron Calorimeter

Superconducting Solenoid

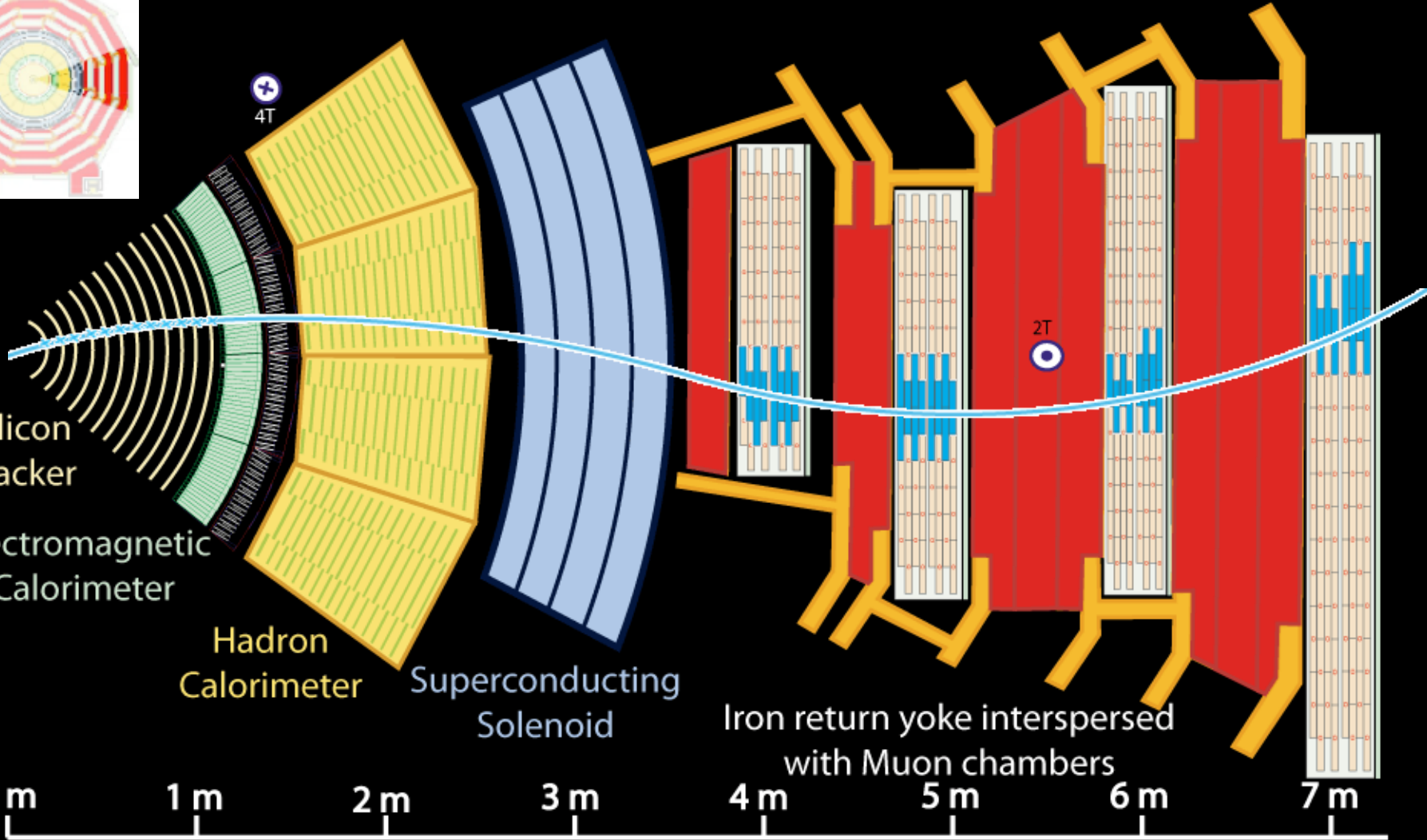
2T

Iron return yoke interspersed with Muon chambers



Key:

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





4T

Silicon Tracker

Electromagnetic Calorimeter

Hadron Calorimeter

Superconducting Solenoid

2T

Iron return yoke interspersed with Muon chambers



Key:

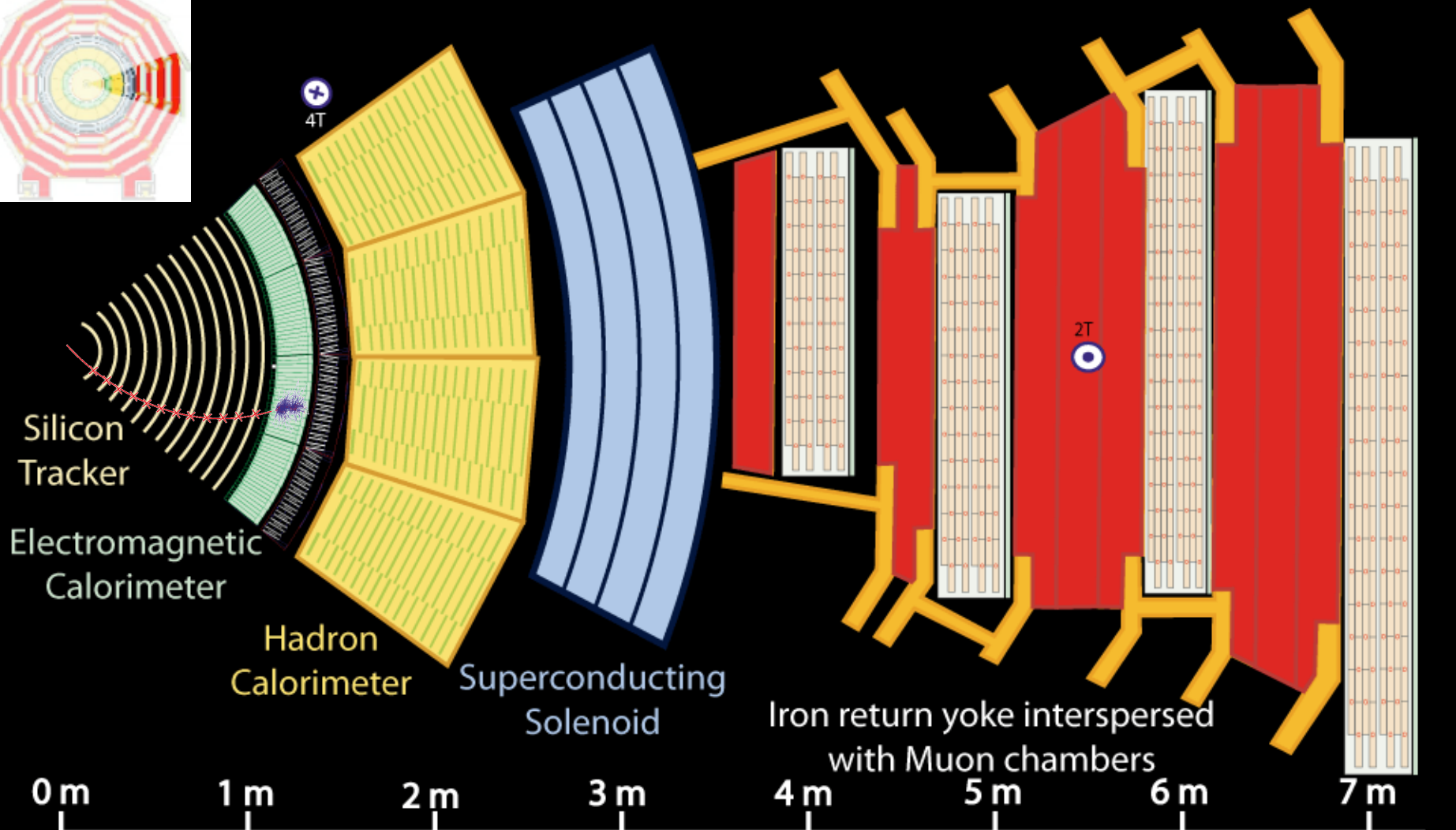
— Muon

— Electron

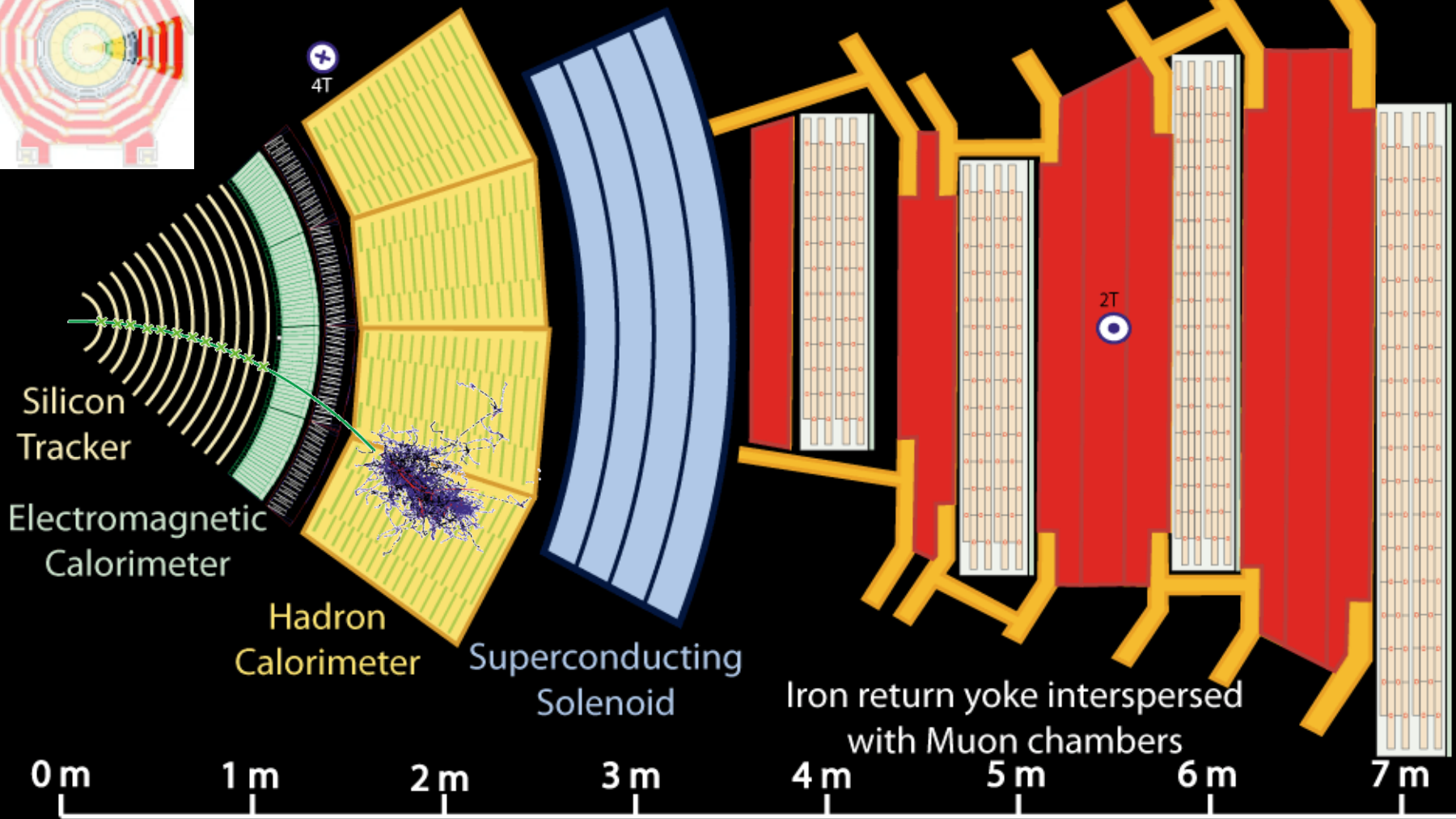
— Charged Hadron (e.g. Pion)

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

- - - Photon

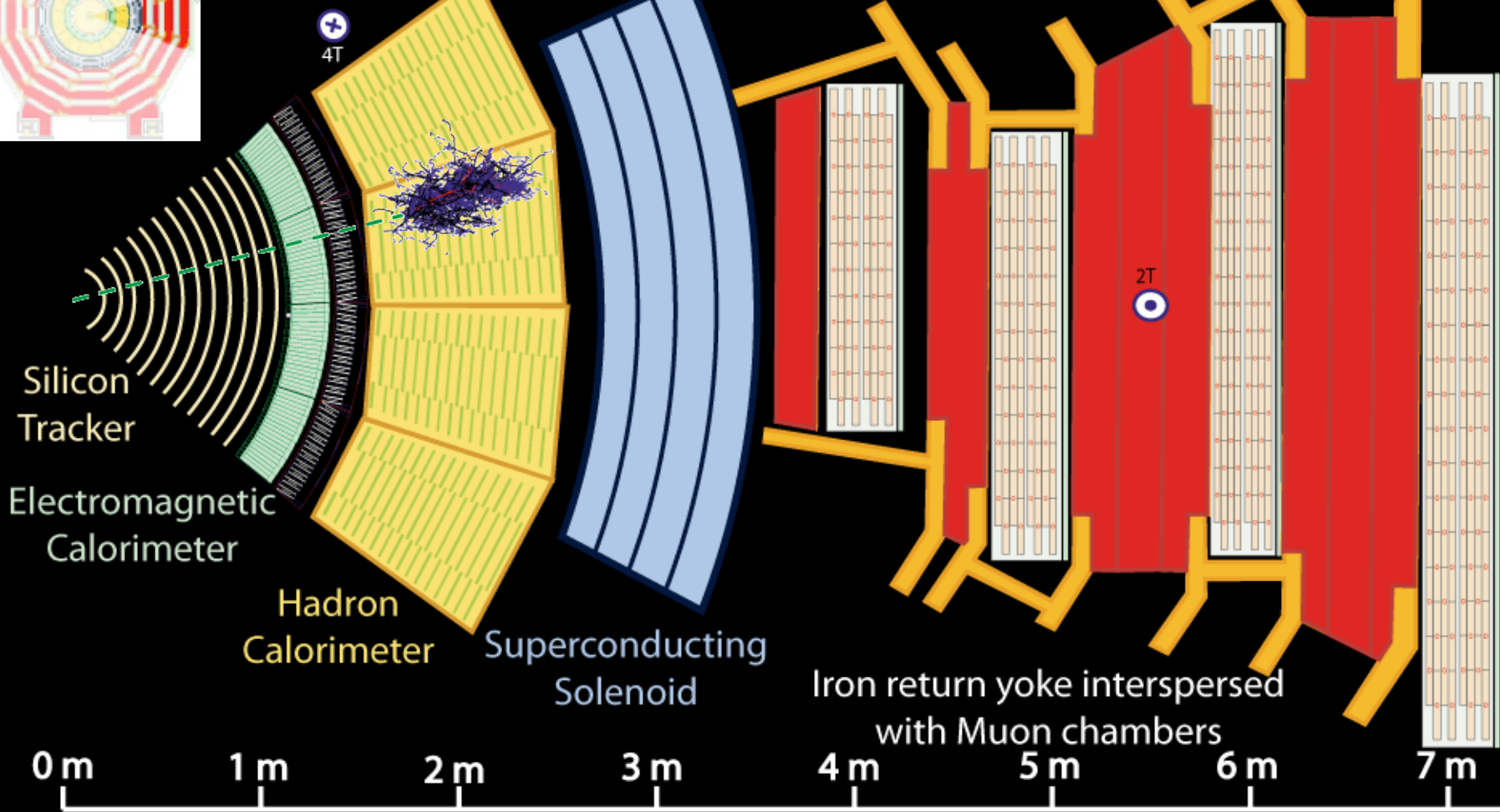




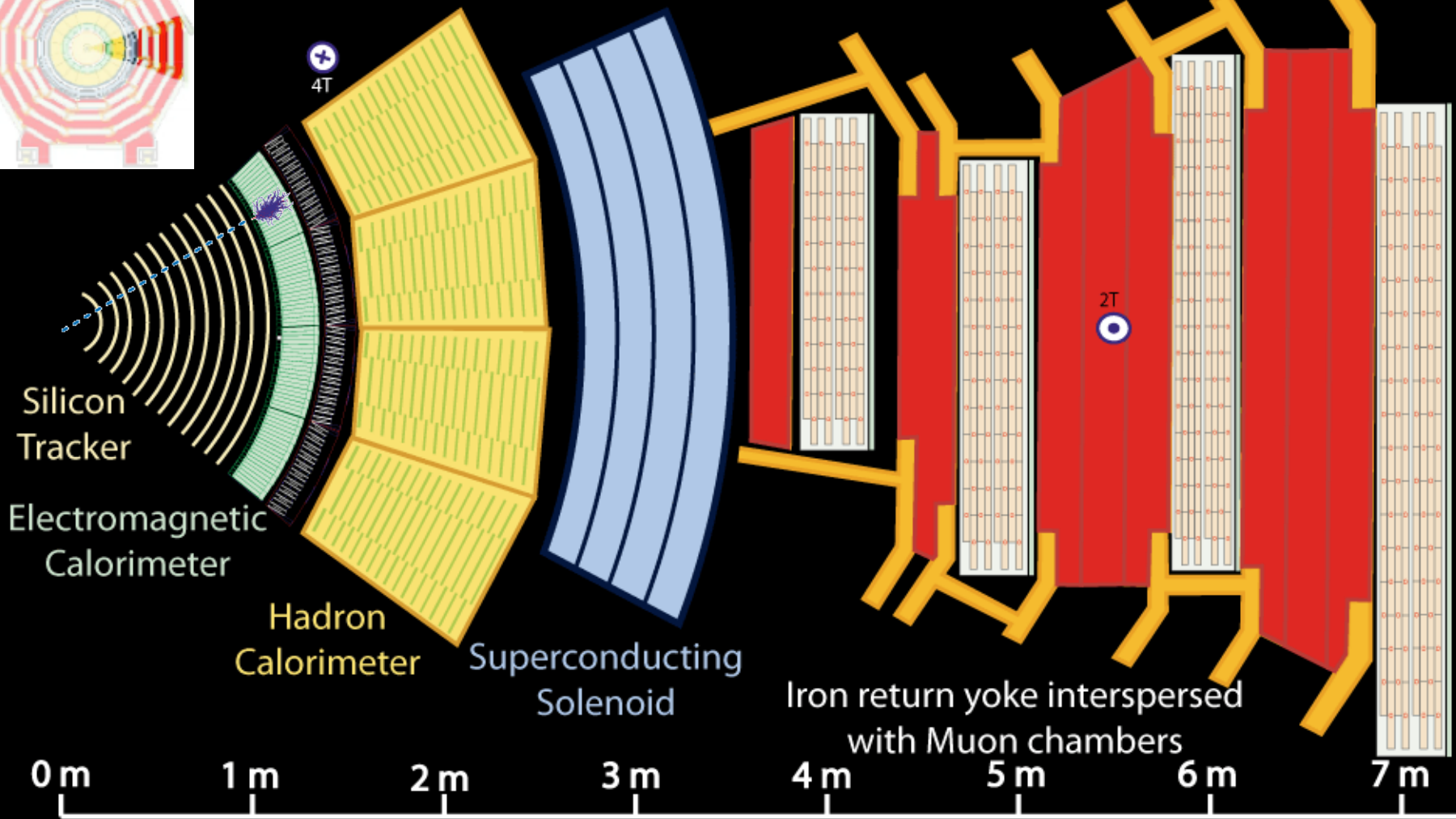


Key:

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



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



Key:

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



LHC Beam Pipe  
27Km Long

# Одно событие в КМС

44

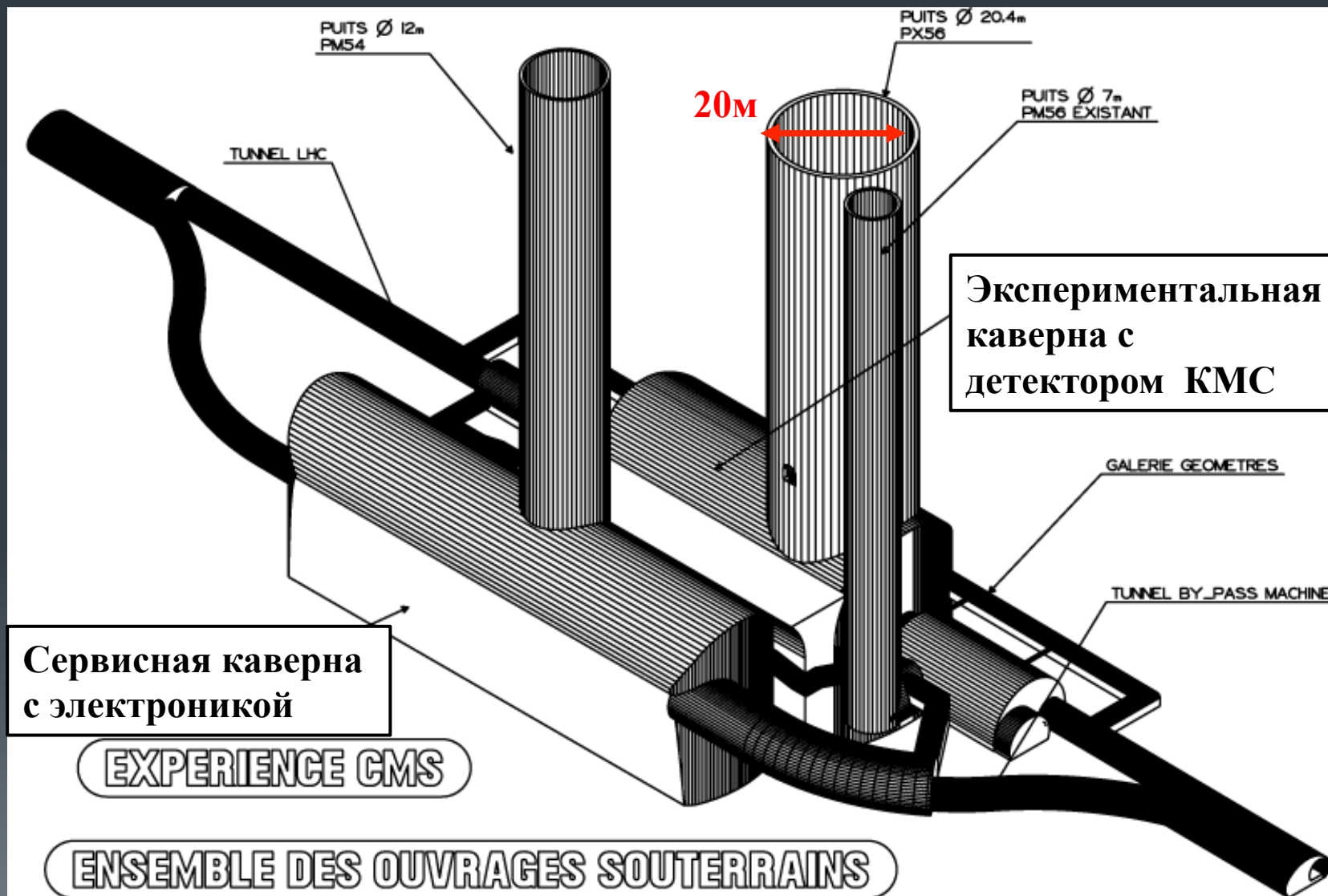


<http://cds.cern.ch/record/1256538>



# 5. Сбор и обработка данных

# Шахты и каверны КМС



# Сервисная каверна



Электроника в сервисной каверне  
Высоквольтные источники питания  
Низковольтные в экспериментальной каверне

Данные от детектора идут с частотой столкновений 20 МГц (при 50 нс между сгустками) 120 ТБ/мин  
Фильтруются L1 триггером до 100 кГц  
Далее данные идут на поверхность



Триггер высокого уровня

Около 2600 Linux ПК с двумя материнскими платами каждый, 2-8 процессоров на каждой материнской плате

Обработывают события с частотой 100 кГц от триггера L1

Выбирают интересные события с частотой 100 - 200 Гц 100 МБ/сек





# Триггер

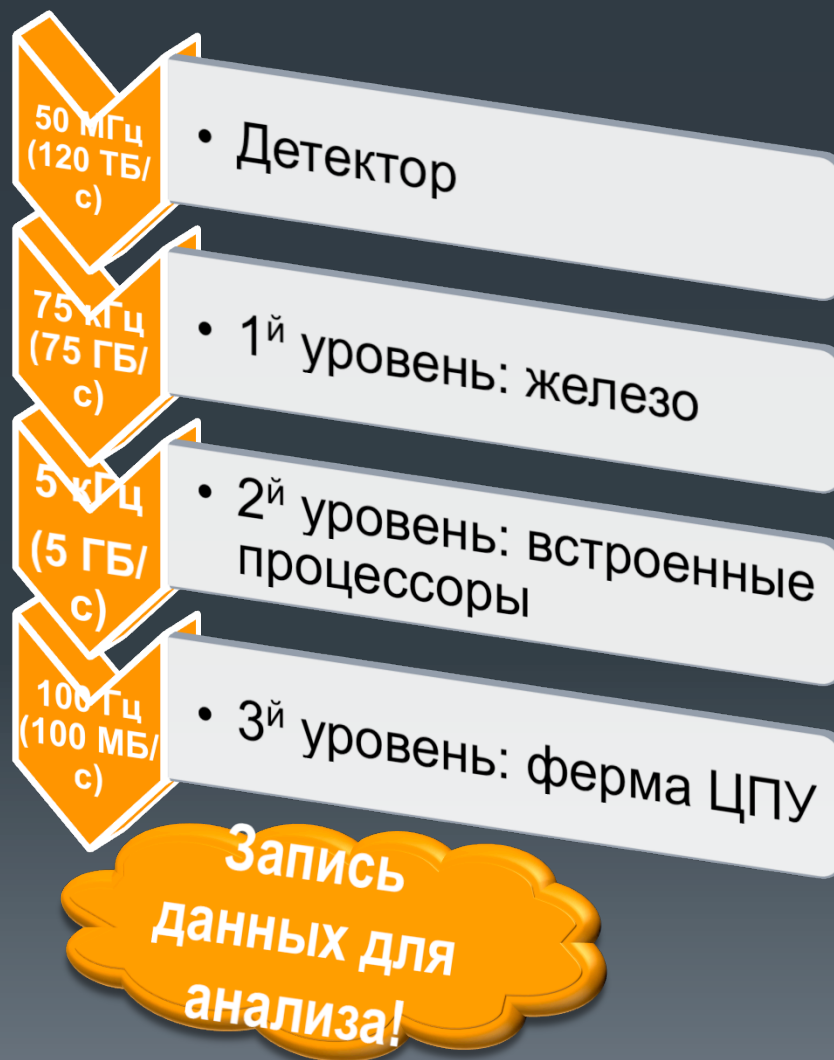
## Уровень 1 (Level 1):

уровень детекторов, отбор по одновременному наличию сигналов в тех или иных считывающих каналах, идентификация частиц и отбор по грубым оценкам координат и энергии

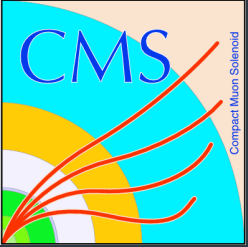
## Триггер высокого уровня (High Level Trigger – HLT):

вычислительные фермы для быстрой реконструкции и анализа событий, отбор по заданным порогам на кинематические характеристики частиц (энергия, импульс, угол, изолированность и т.д.), топологии событий

- **Результат:** 120 ТБ/с ⇨ 100 МБ/с
- **Одно событие:** ~1 МБ
- **Поток:** ~8 ПБ/год ( $8 \times 10^{15}$ )





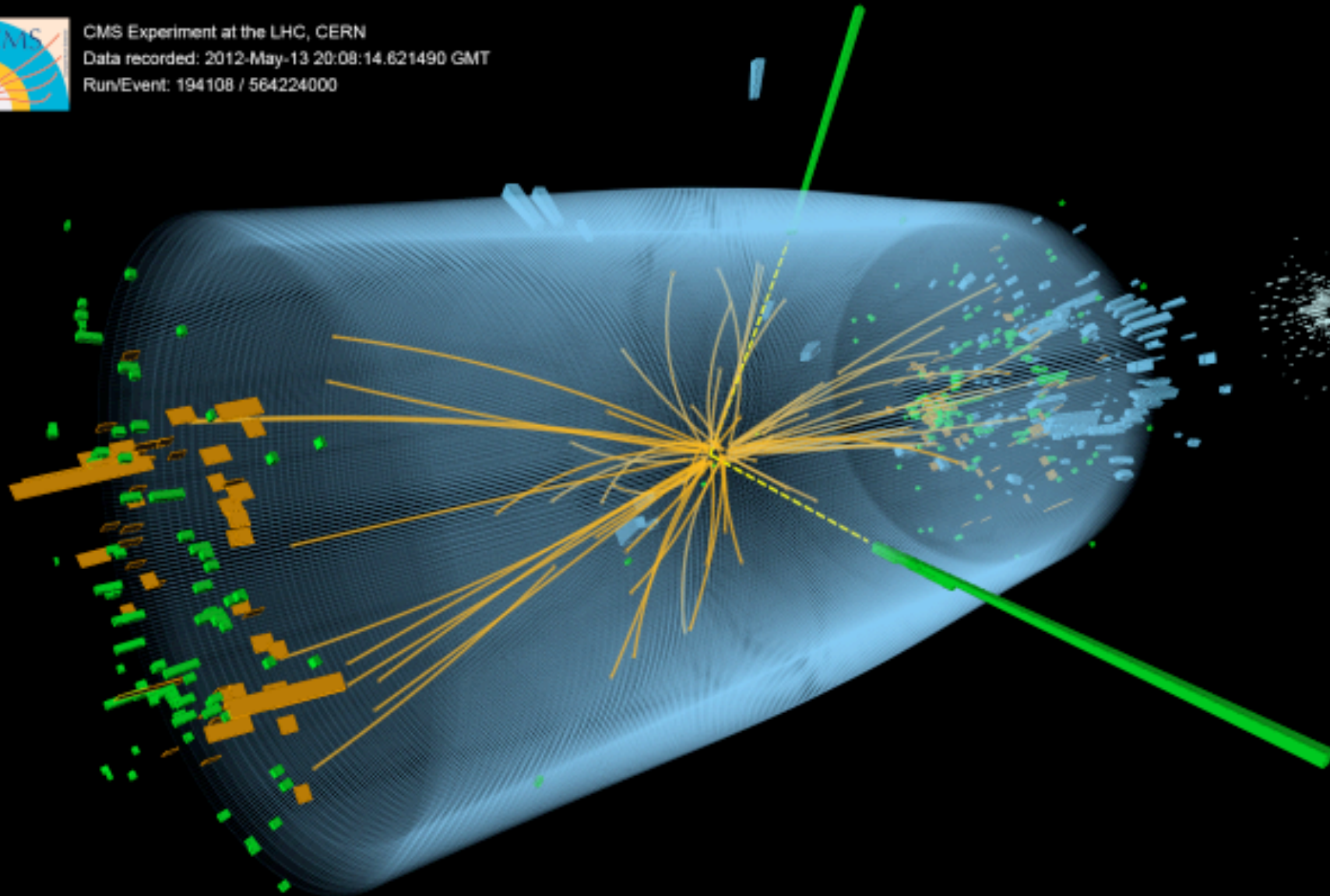


# 6. Анализ данных

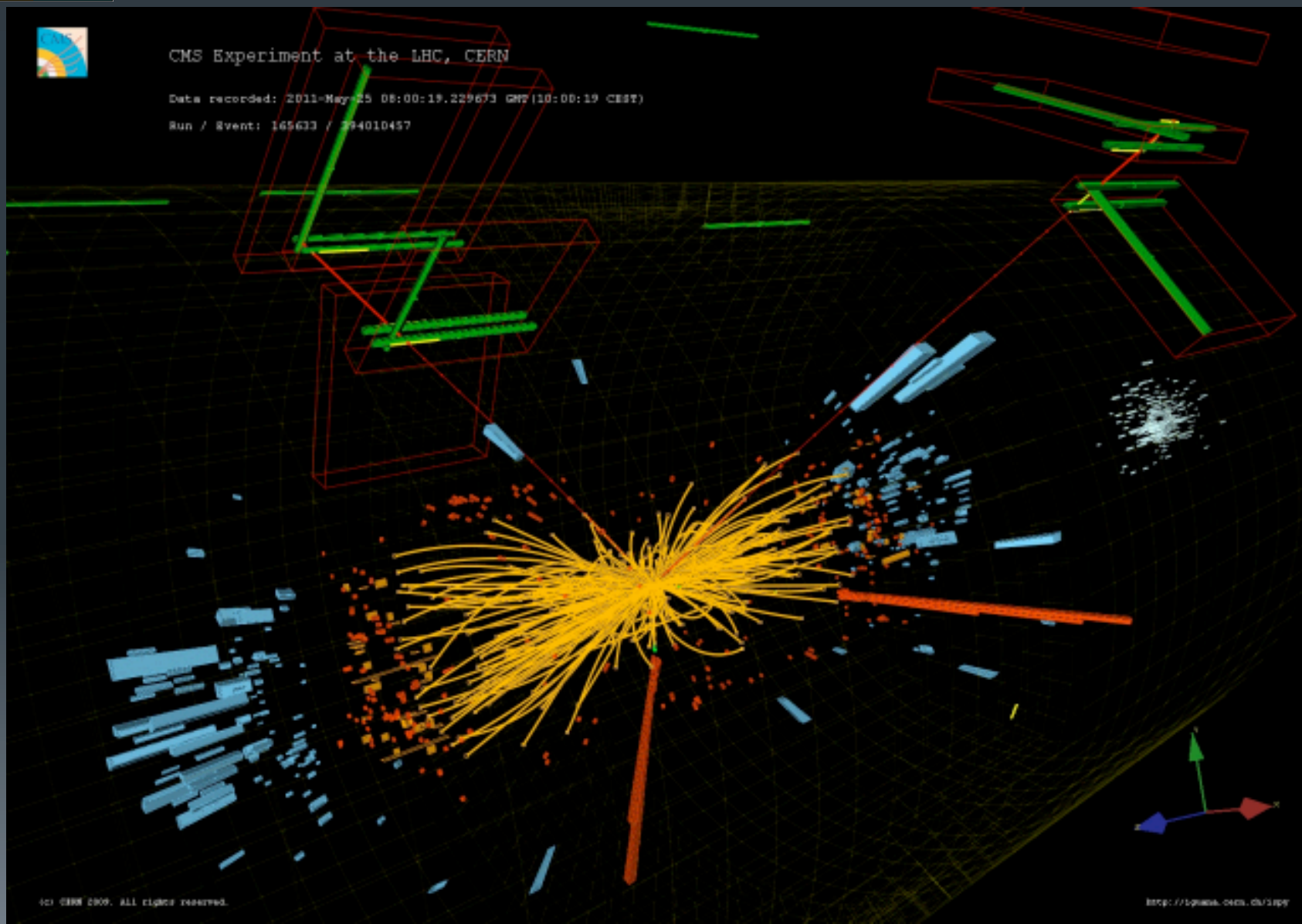
# $pp \rightarrow H \rightarrow 2\gamma$



CMS Experiment at the LHC, CERN  
Data recorded: 2012-May-13 20:08:14.621490 GMT  
Run/Event: 194108 / 564224000



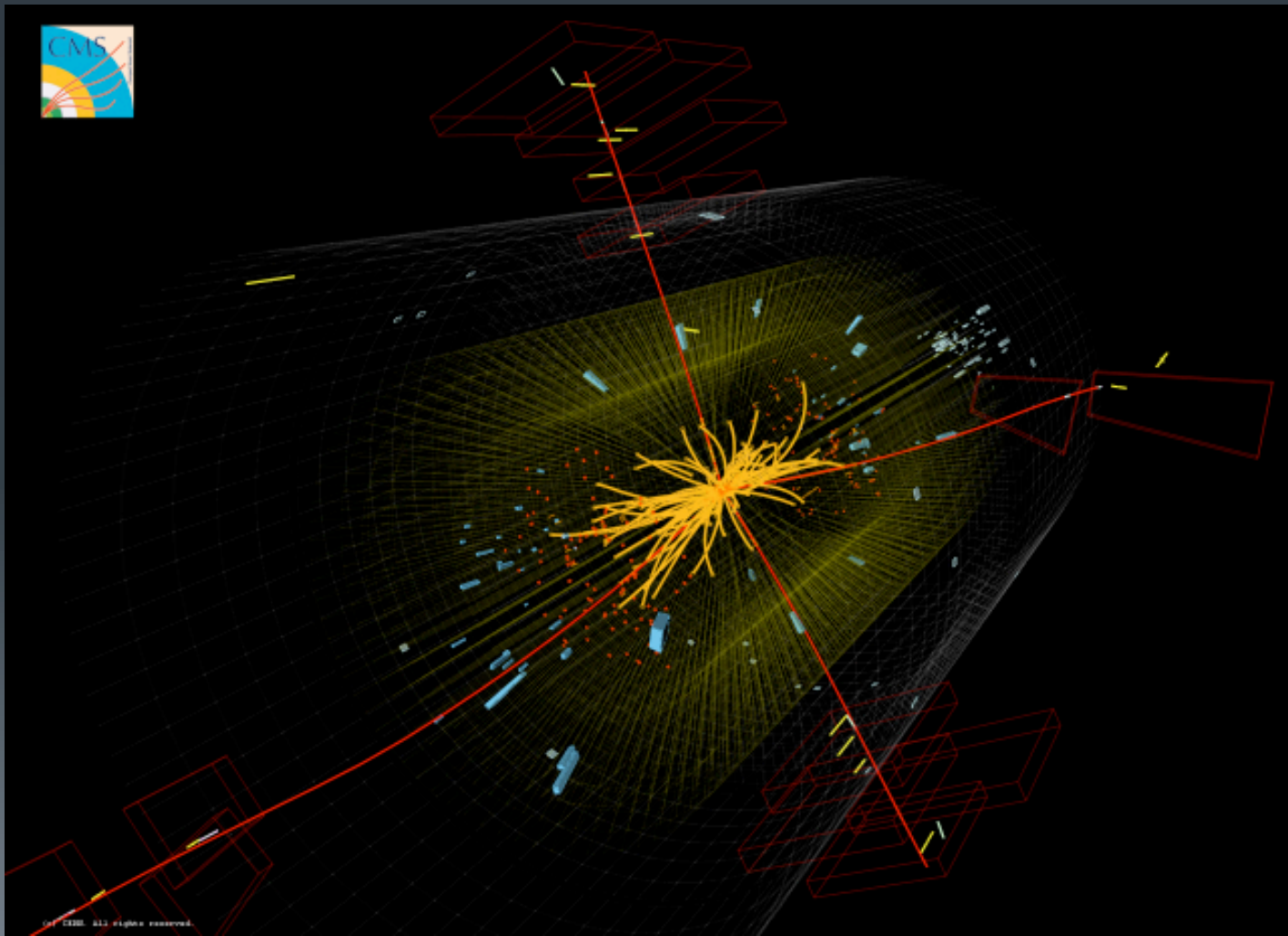
# $pp \rightarrow H \rightarrow ZZ \rightarrow 2e2\mu$





$pp \rightarrow H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\mu$

# КМС – Компактный Мюонный Соленоид

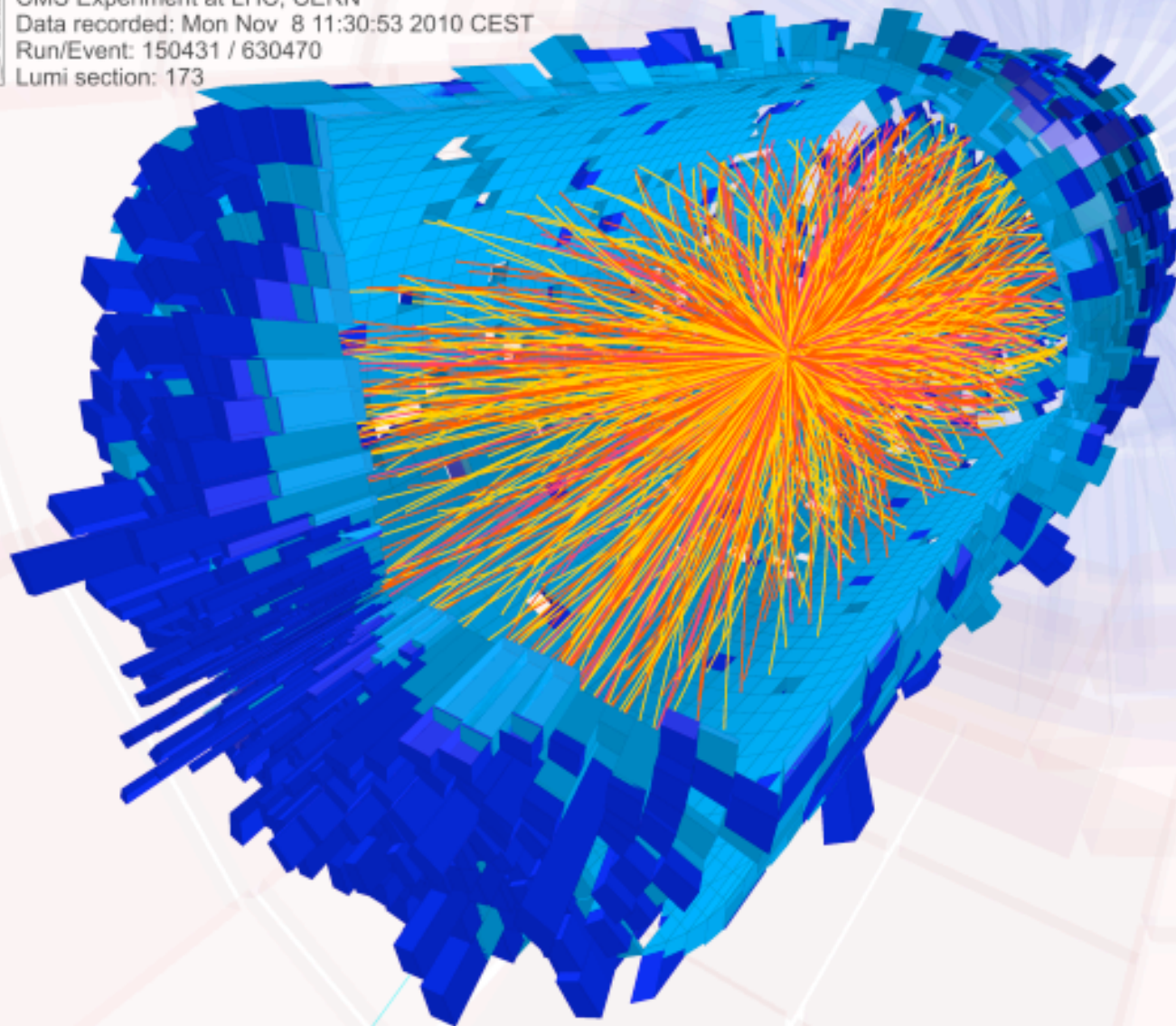




# Тяжелые ионы свинца



CMS Experiment at LHC, CERN  
Data recorded: Mon Nov 8 11:30:53 2010 CEST  
Run/Event: 150431 / 630470  
Lumi section: 173





# 7. Заключение





# Заключение

57

- Компактный мюонный соленоид детектор элементарных частиц СМ высокой энергии.
- Состоит из 4 поддетекторов: Трэкера, Э/М калориметра, Адронным калориметра, Мюонной системы
- Сверхпроводящий магнит создаёт поле 4 Тесла
- Система сбора, хранения и обработки данных позволяет вычлениить интересующие нас события
- Позволяет обнаруживать новую физику



# Спасибо за внимание

58

Ждём вас на экскурсию в CMS  
завтра в пятницу 8 ноября в 14.00