



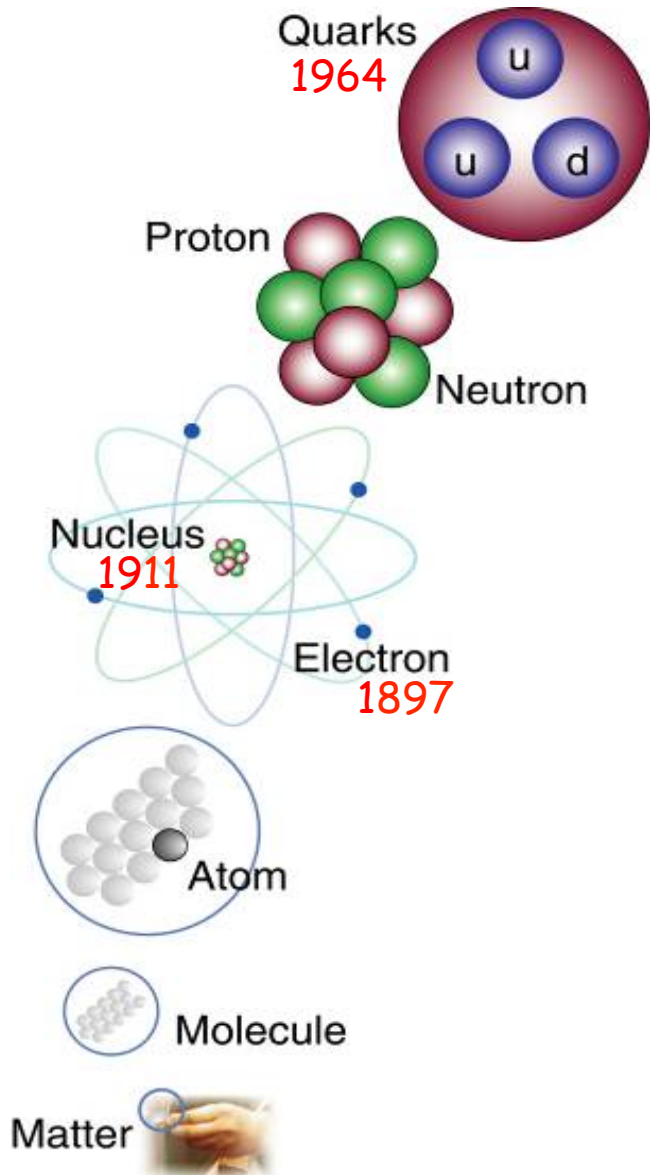
Частицы и как их зарегистрировать

Игорь Алцыбеев,
Санкт-Петербургский государственный
университет

Видеомост ЦЕРН - Гимназия 625 (Москва)
16 февраля 2016

Данное мероприятие поддержано Министерством Образования и науки РФ по договору 14.610.21.0003 от 20 октября 2014.

Элементарные частицы



2015 г.: «Стандартная модель»

mass →	$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 126 \text{ GeV}/c^2$
charge →	2/3	2/3	2/3	0	0
spin →	1/2	1/2	1/2	1	0
	u up	c charm	t top	g gluon	H Higgs boson
QUARKS	$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	0	
	-1/3	-1/3	-1/3	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	d down	s strange	b bottom	γ photon	
	$0.511 \text{ MeV}/c^2$	$105.7 \text{ MeV}/c^2$	$1.777 \text{ GeV}/c^2$	$91.2 \text{ GeV}/c^2$	
	-1	-1	-1	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson	
LEPTONS	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$	$80.4 \text{ GeV}/c^2$	
	0	0	0	± 1	
	1/2	1/2	1/2	1	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	
					GAUGE BOSONS

Трек (track) – видимый след, оставляемый заряженной частицей в веществе и воспроизводящий траекторию её движения.



Рис. Распад ${}^4_2\text{H} \rightarrow {}^1_1\text{H} + {}^1_1\text{H} + {}^2_1\text{H} + \pi^-$ на лету (фотоэмульсия).

Детектор:
Камера Вильсона
(изобретена в 1912 г.)

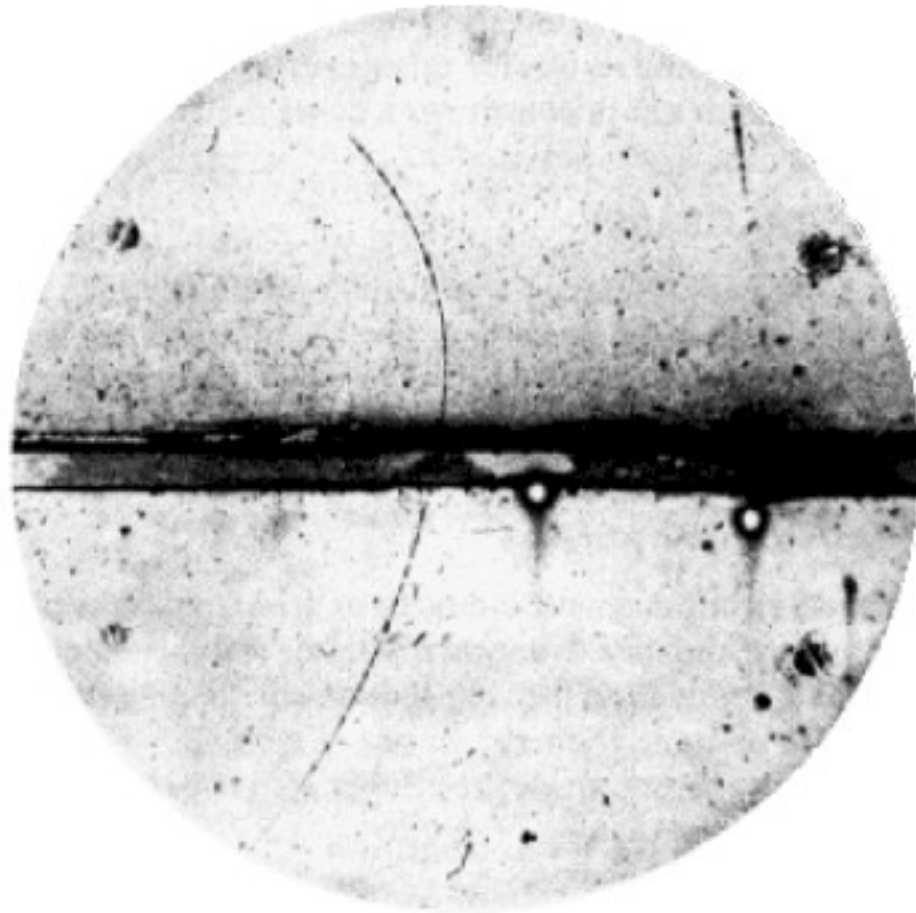


Рис.: наблюдение позитрона в камере Вильсона,
помещенной в магнитное поле (1932 г.).

<http://nuclphys.sinp.msu.ru/enc/e027.htm>



<http://pdg.lbl.gov>

~ 180 Selected Particles

«Зоопарк» частиц:

$\eta, W^{\pm}, Z^0, g, e, \mu, \tau, \nu_e, \nu_{\mu}, \nu_{\tau}, \pi^{\pm}, \pi^0, \eta, f_0(600), g(700),$
 $\omega(782), \eta'(958), f_0(980), a_0(980), \phi(1020), h_1(1170), b_1(1235),$
 $a_1(1260), f_2(1270), f_1(1285), \eta(1295), \pi(1300), a_2(1320),$
 $f_0(1370), f_1(1420), \omega(1420), \eta(1440), a_0(1450), g(1450),$
 $f_0(1500), f_2'(1525), \omega(1650), \omega_3(1670), \pi_2(1670), \phi(1680),$
 $g_3(1690), g(1700), f_0(1710), \pi(1800), \phi_3(1850), f_2(2010),$
 $a_4(2040), f_4(2050), f_2(2300), f_2(2340), K^{\pm}, K^0, K_S^0, K_L^0, K^*(892),$
 $K_1(1270), K_1(1400), K^*(1410), K_0^*(1430), K_2^*(1430), K^*(1680),$
 $K_2(1770), K_3^*(1780), K_2(1820), K_4^*(2045), D^{\pm}, D^0, D^*(2007)^0,$
 $D^*(2010)^{\pm}, D_1(2420)^0, D_2^*(2460)^0, D_2^*(2460)^{\pm}, D_3^{\pm}, D_3^*(\pm),$
 $D_{s1}(2536)^{\pm}, D_{s1}(2573)^{\pm}, B^{\pm}, B^0, B^*, B_S^0, B_c^{\pm}, \eta_c(1s), J/\psi(1s),$
 $\chi_{c0}(1P), \chi_{c1}(1P), \chi_{c2}(1P), \psi(2S), \psi(3770), \psi(4040), \psi(4160),$
 $\psi(4415), \Upsilon(1s), \chi_{b0}(1P), \chi_{b1}(1P), \chi_{b2}(1P), \Upsilon(2S), \chi_{b0}(2P),$
 $\chi_{b2}(2P), \Upsilon(3S), \Upsilon(4S), \Upsilon(10860), \Upsilon(11020), p, n, N(1440),$
 $N(1520), N(1535), N(1650), N(1675), N(1680), N(1700), N(1710),$
 $N(1720), N(2190), N(2220), N(2250), N(2600), \Delta(1232), \Delta(1600),$
 $\Delta(1620), \Delta(1700), \Delta(1905), \Delta(1910), \Delta(1920), \Delta(1930), \Delta(1950),$
 $\Delta(2420), \Lambda, \Lambda(1405), \Lambda(1520), \Lambda(1600), \Lambda(1670), \Lambda(1690),$
 $\Lambda(1800), \Lambda(1810), \Lambda(1820), \Lambda(1830), \Lambda(1890), \Lambda(2100),$
 $\Lambda(2110), \Lambda(2350), \Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-, \Sigma(1385), \Sigma(1660), \Sigma(1670),$
 $\Sigma(1750), \Sigma(1775), \Sigma(1915), \Sigma(1940), \Sigma(2030), \Sigma(2250), \Xi^0, \Xi^-,$
 $\Xi(1530), \Xi(1690), \Xi(1820), \Xi(1950), \Xi(2030), \Omega^-, \Omega(2250)^-,$
 $\Lambda_c^+, \Lambda_c^0, \Sigma_c(2455), \Sigma_c(2520), \Xi_c^+, \Xi_c^0, \Xi_c'^+, \Xi_c'^0, \Xi(2645),$
 $\Xi_c(2780), \Xi_c(2815), \Omega_c^0, \Lambda_b^0, \Xi_b^0, \Xi_b^-, t\bar{t}$

There are Many more

Важное замечание для осознания:

В детекторе мы в основном видим только частицы с достаточно большим временем жизни, позволяющим их зарегистрировать:

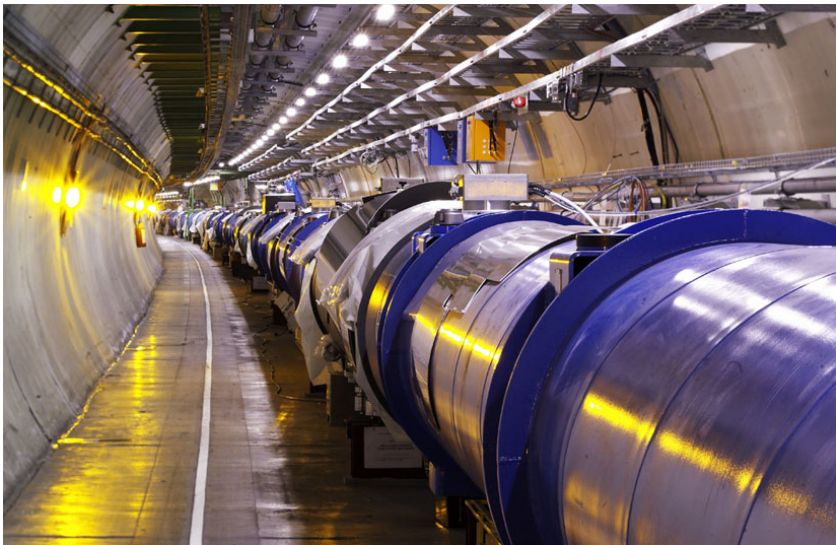
γ , e , μ , π , K , p , n

Частица, что бы быть зарегистрированной, должна испытать какое-то взаимодействие с *Детектором*.

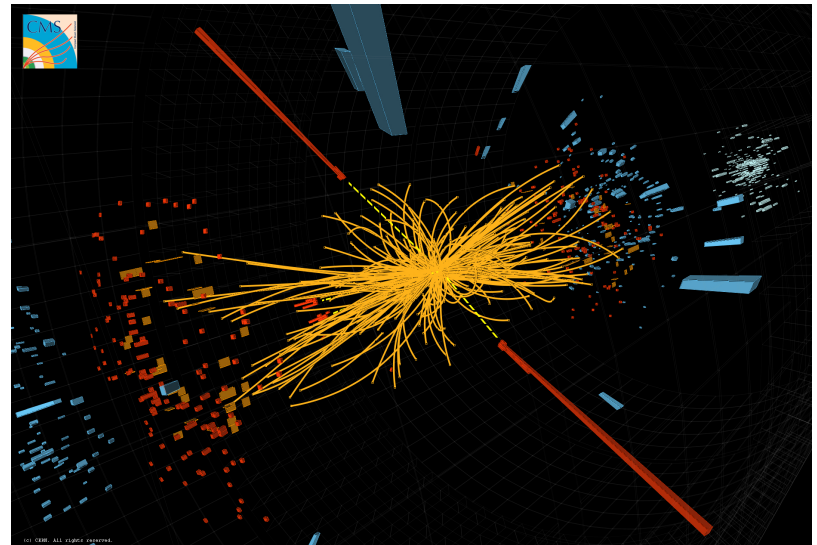
Как можно рождать и изучать частицы?

1. Разогнать и столкнуть → ускоритель
2. Зарегистрировать рожденные частицы → детектор

Коллайдер LHC в туннеле:



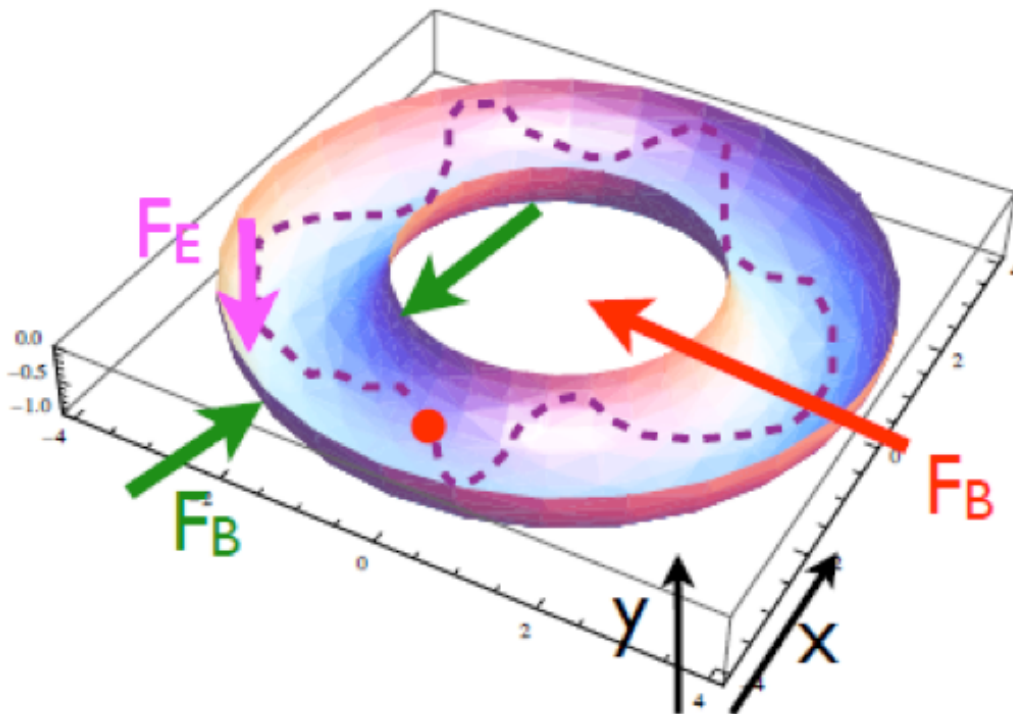
Частицы от столкновения протонов, зарегистрированные в детекторе:



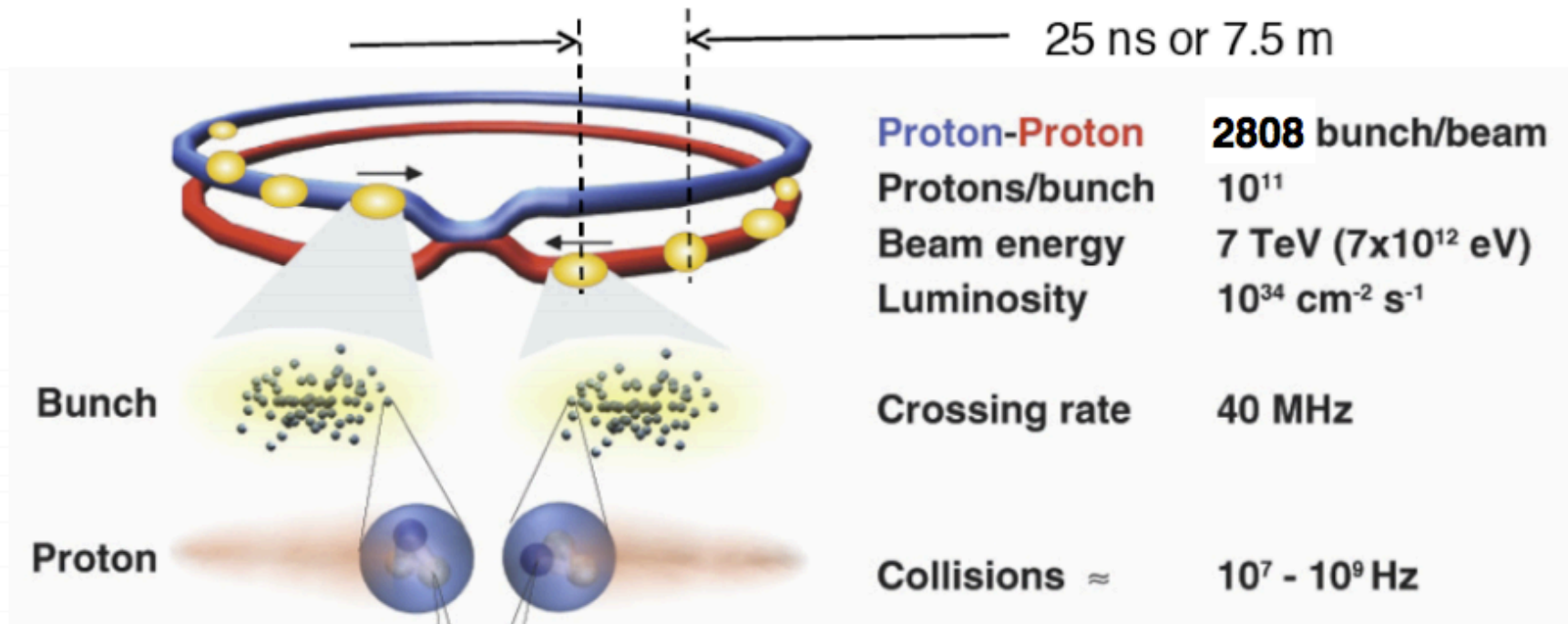
Что ускоряет частицы удерживает их в кольце ускорителя?

Сила Лоренца:

$$\overline{F}(t) = q \left(\underbrace{\overline{E}(t)}_{F_E} + \underbrace{\overline{v}(t) \otimes \overline{B}(t)}_{F_B} \right)$$

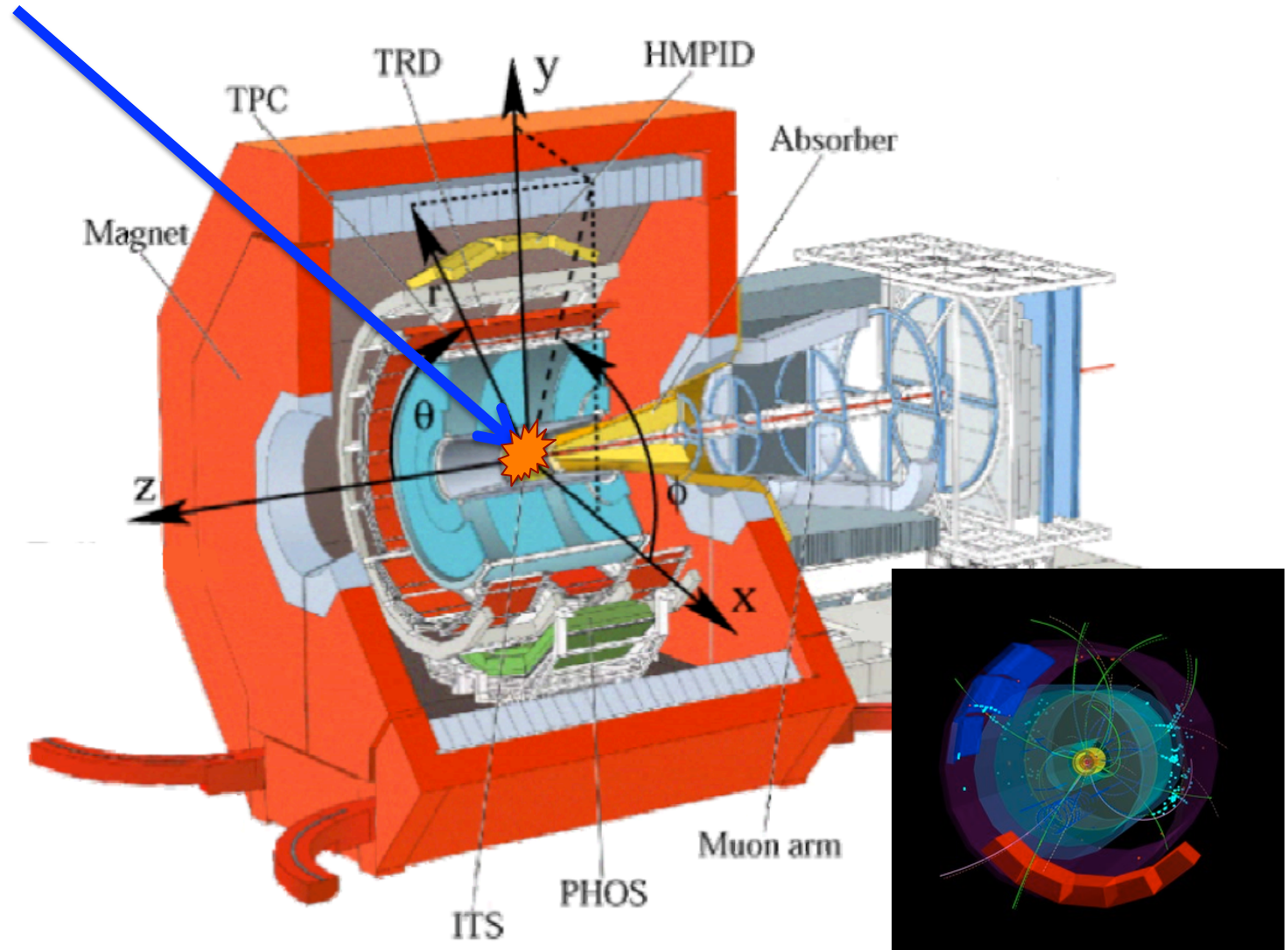


В LHC летят встречные **сгустки** частиц



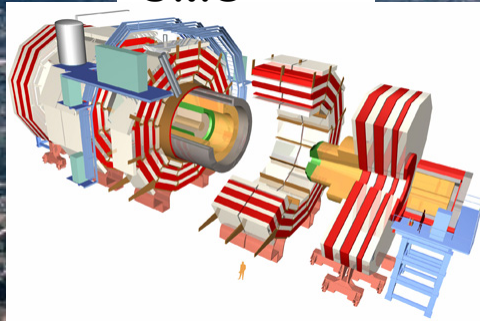
Энергия, запасенная в пучках LHC: **~300 МДж**
– достаточно, чтобы расплавить 500 кг меди
– энергия садящегося Airbus A320

Столкновение частиц происходит
в *точке взаимодействия* (interaction point, IP)

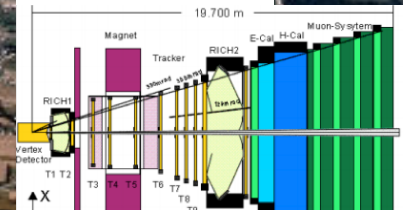


LHC Experiments

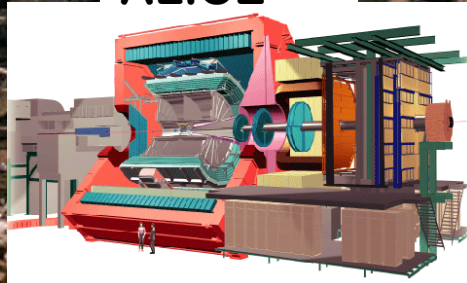
CMS



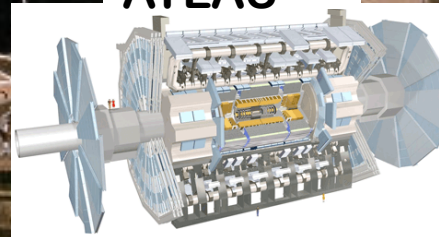
LHCb



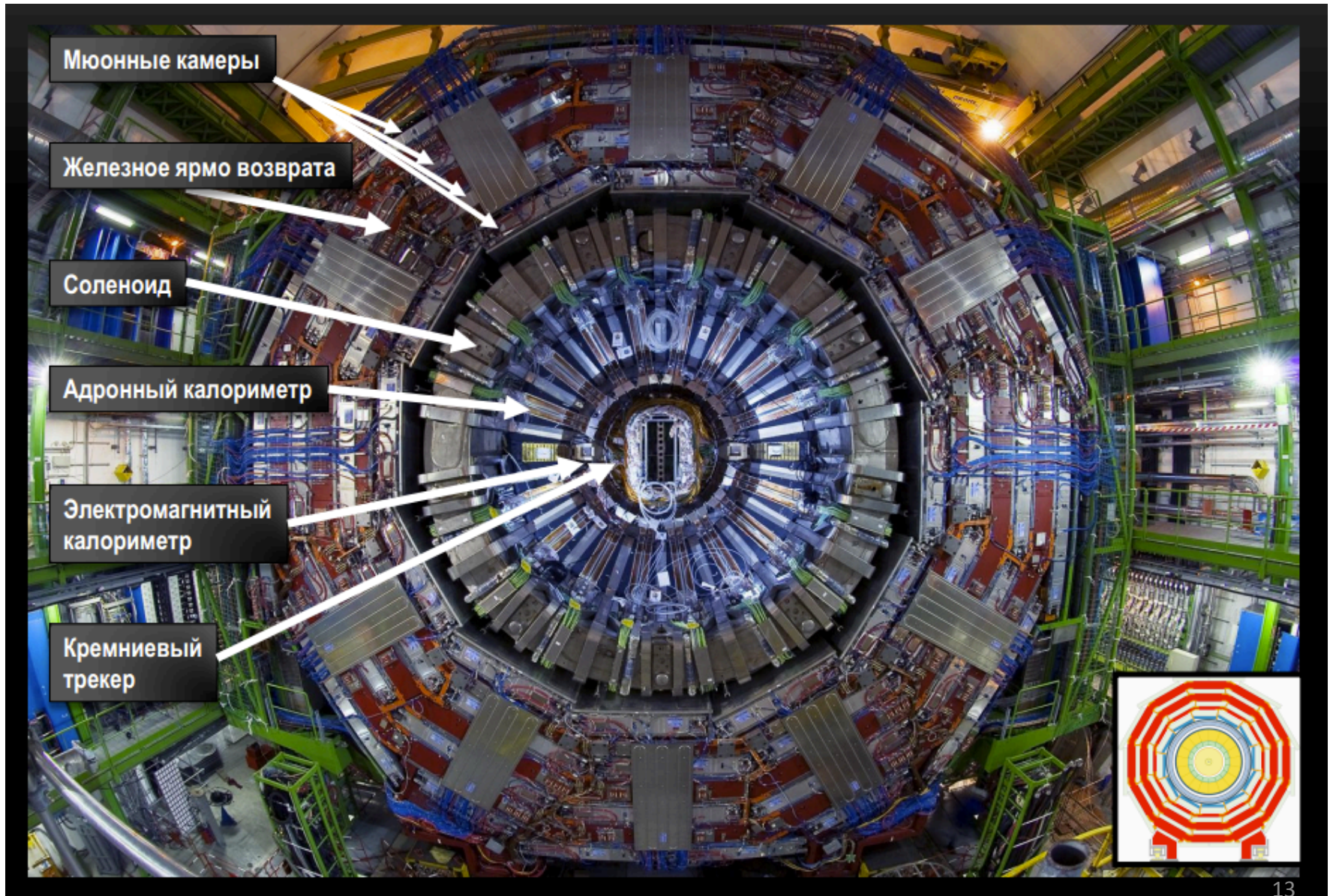
ALICE



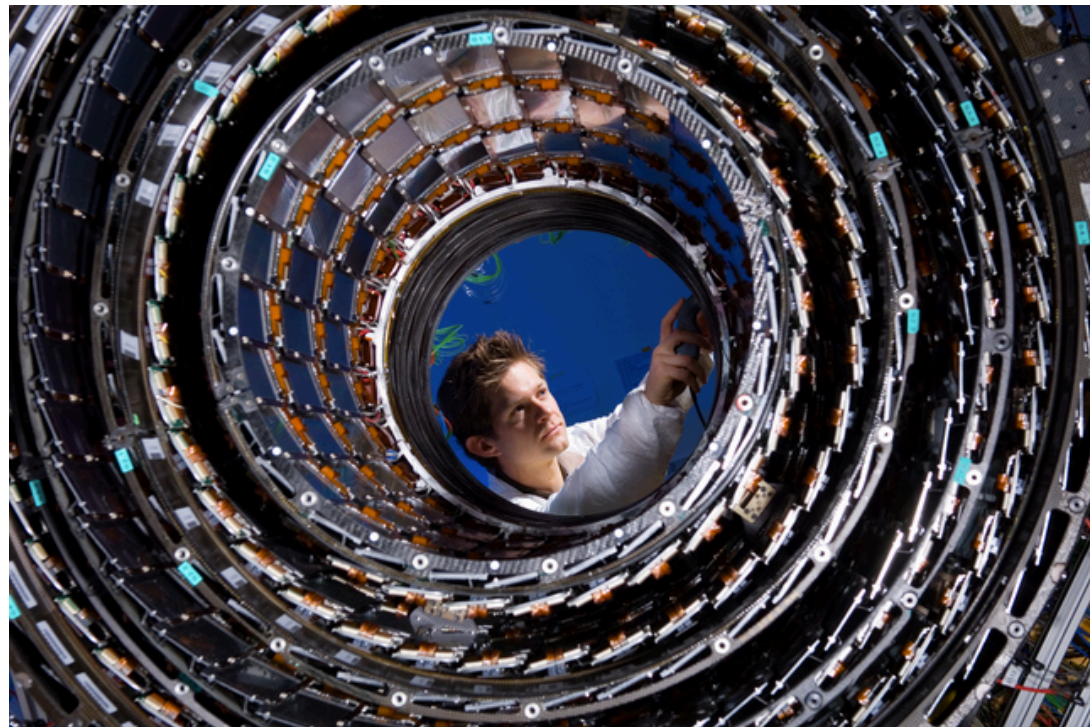
ATLAS



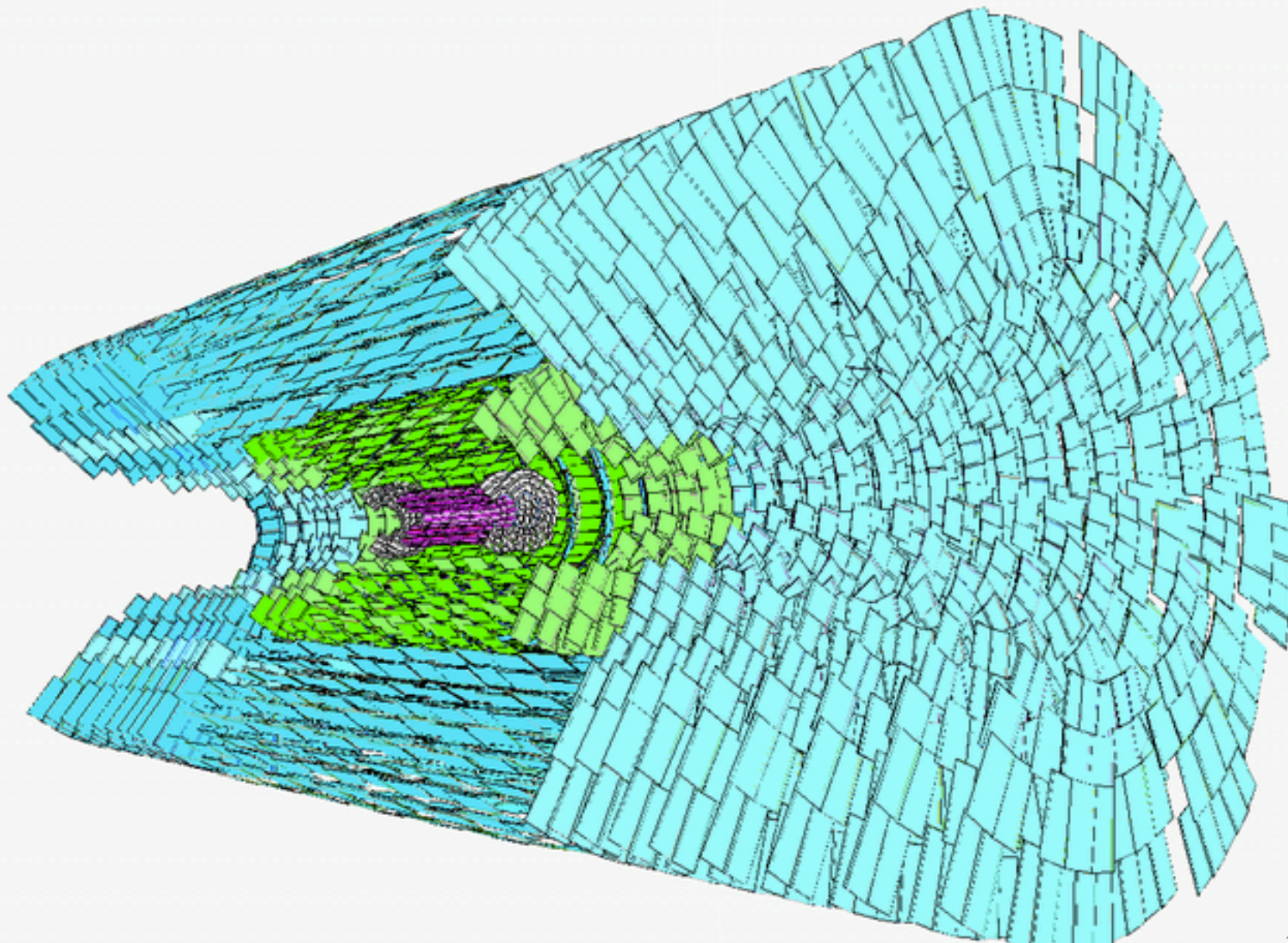
Поперечный «разрез» детектора CMS (типичный пример современного эксперимента физики частиц)



Внутренний трековый детектор = «слойка» из модулей с пикселями



Компьютерная модель кремниевого трекера CMS

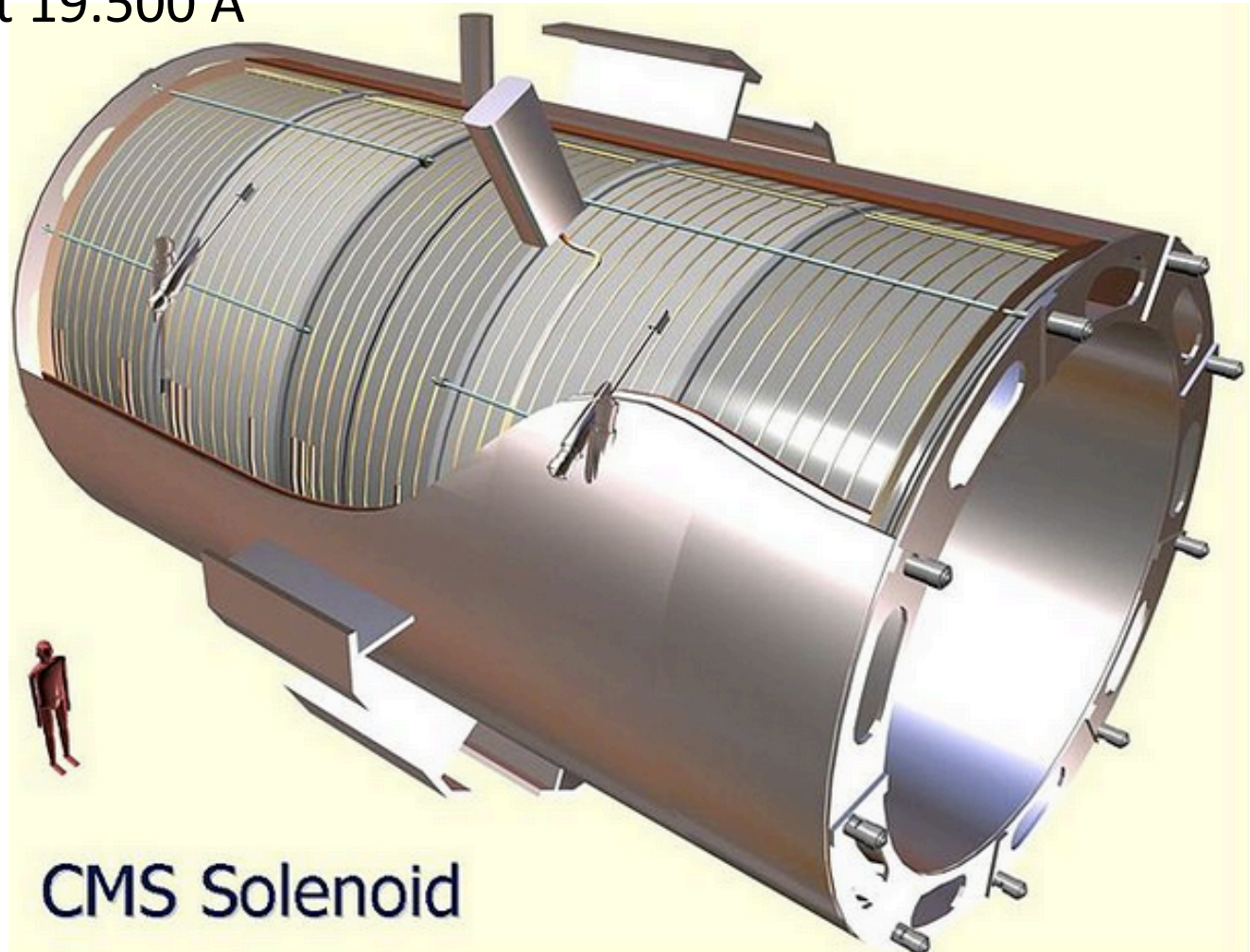


Магнит – важнейший элемент современного детектора!

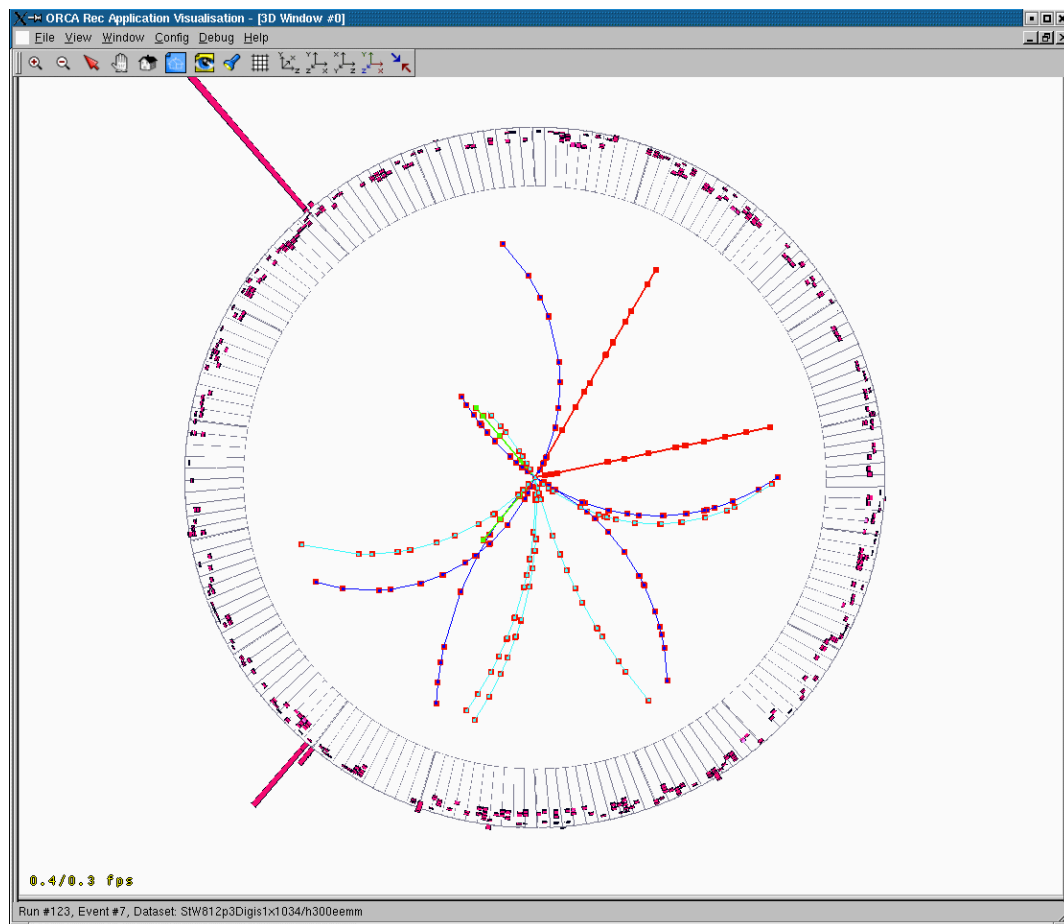
магнит CMS: поле 4 Тесла

length 13 m, diameter 6 m

nominal current 19.500 A



100,000 times stronger magnetic field than the Earth's



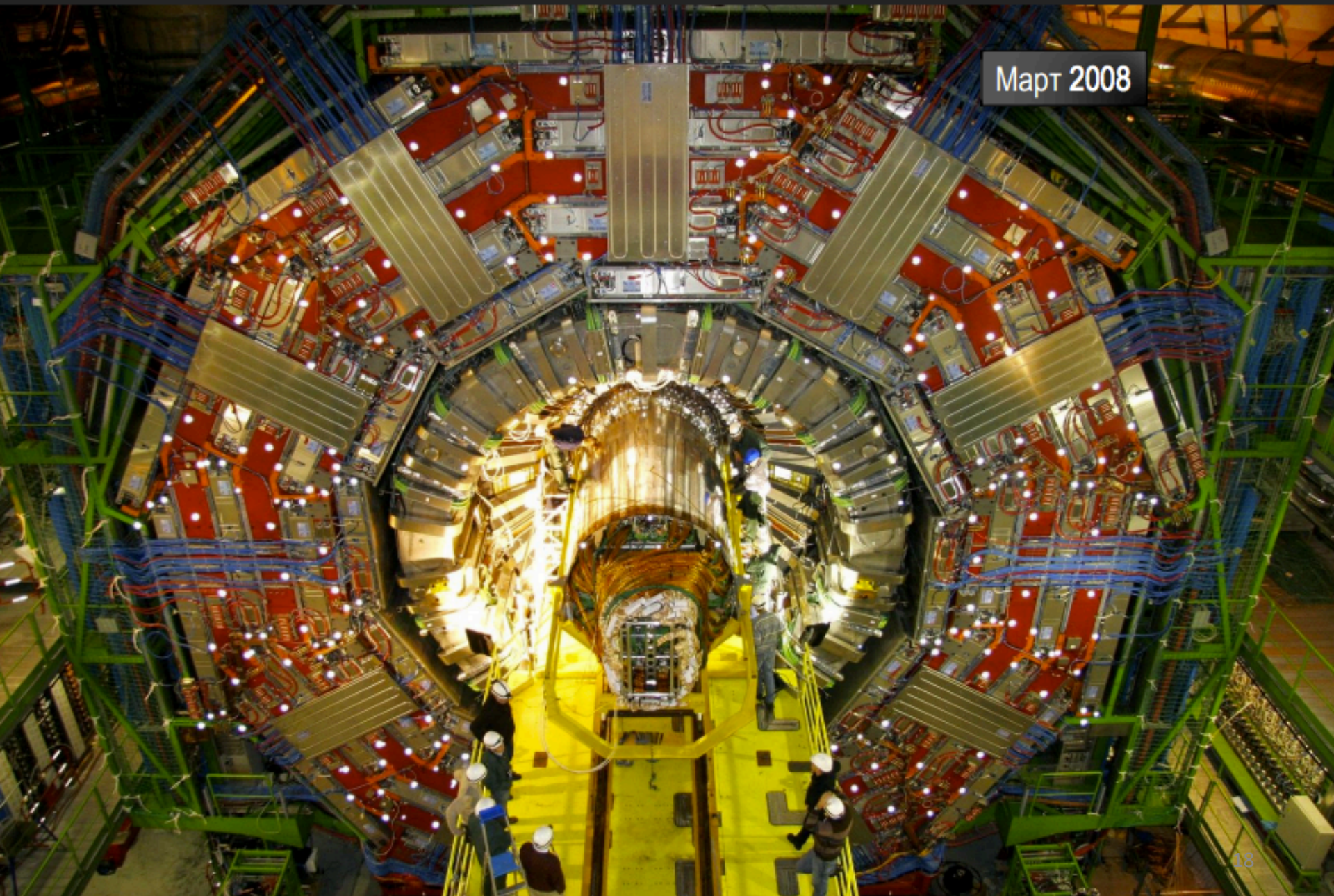
Кластеры = измеренные точки траектории частицы.
Треки **реконструируются** по хитам.

Загибание траекторий заряженных частиц
– благодаря **магнитному полю соленоида!**

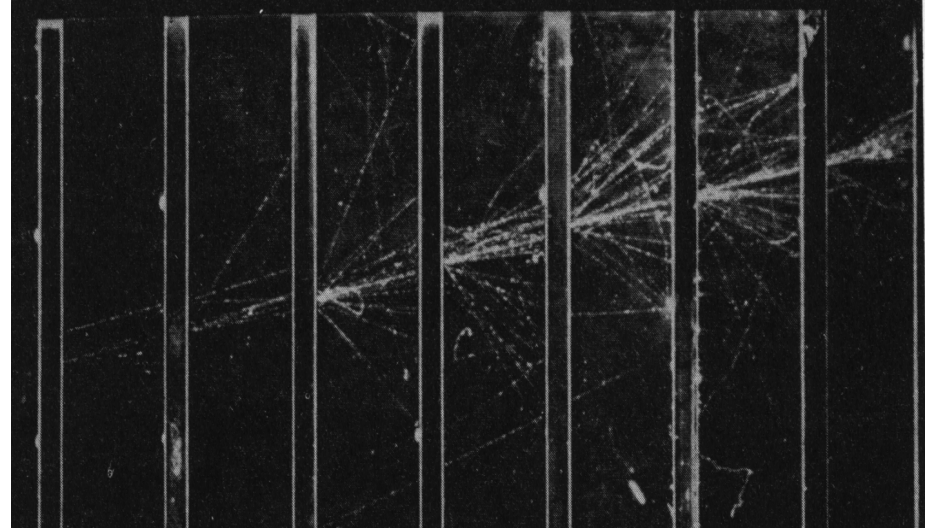
→ определяем **поперечный импульс** и **заряд** частиц!

УСТАНОВКА СИ ТРЕКЕРА L=6 M, S=200 M²

Март 2008



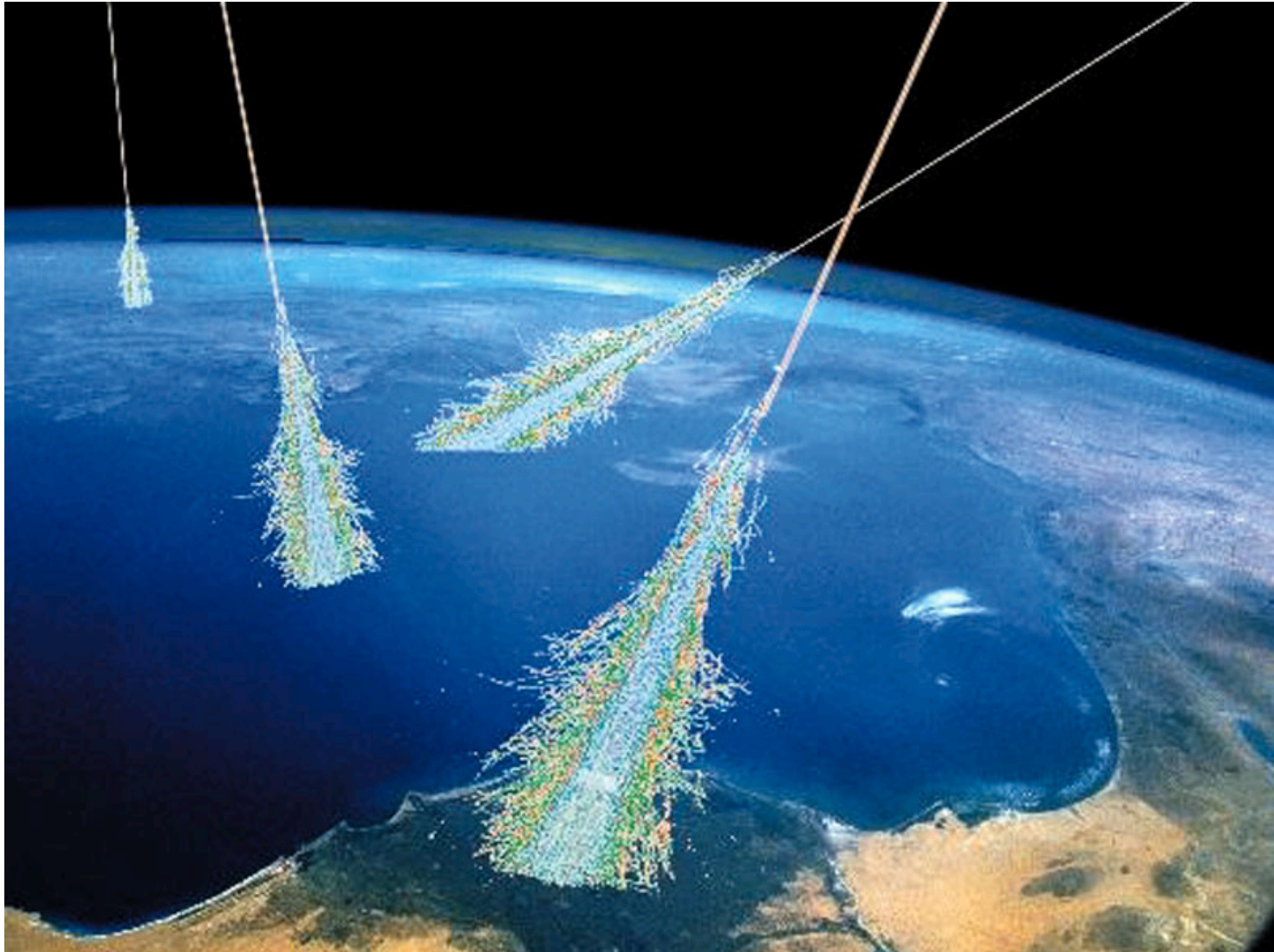
Калориметры



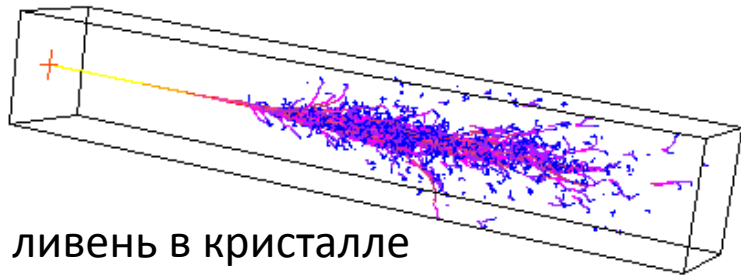
Калориметры предназначены главным образом для **измерения полной энергии** высокоэнергичных (в том числе и нейтральных) частиц.

Попав в вещество калориметра, частица рождает **ливень вторичных частиц**. Ливень поглощается в объеме калориметра и его энергия измеряется.

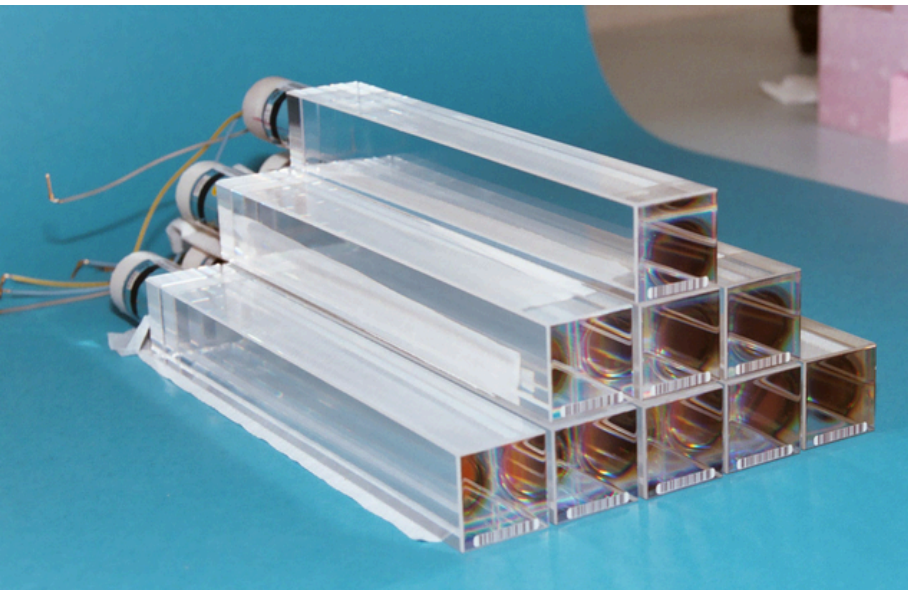
«Широкие атмосферные ливни», порождаемые космическими частицами



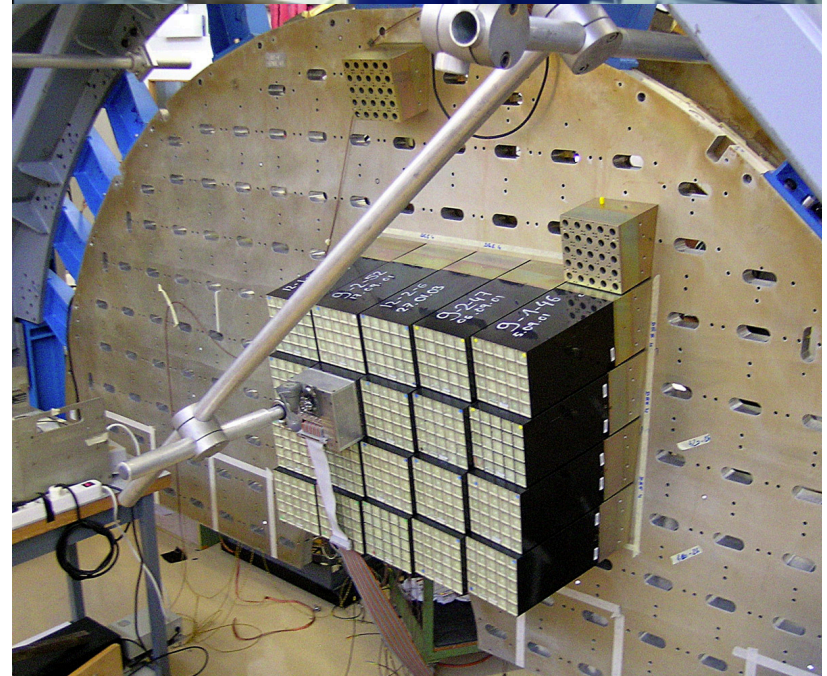
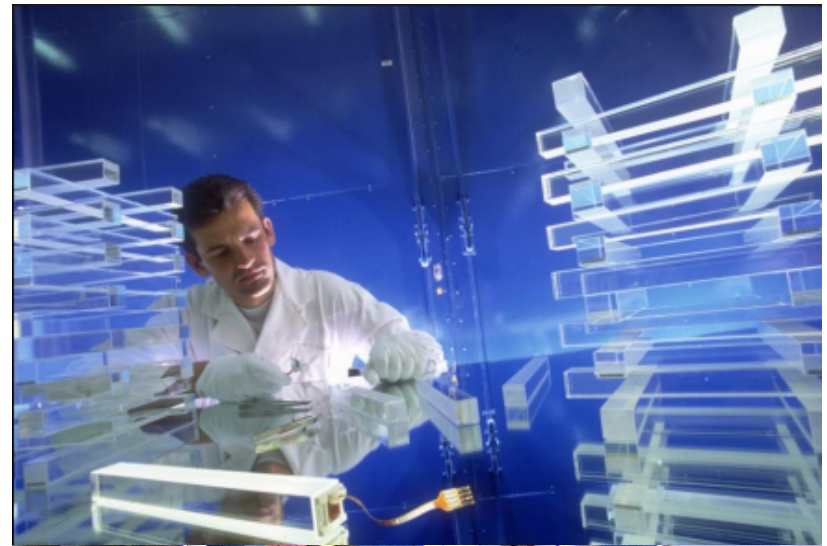
Электромагнитный калориметр CMS: кристаллы вольфрамата свинца ($PbWO_4$)



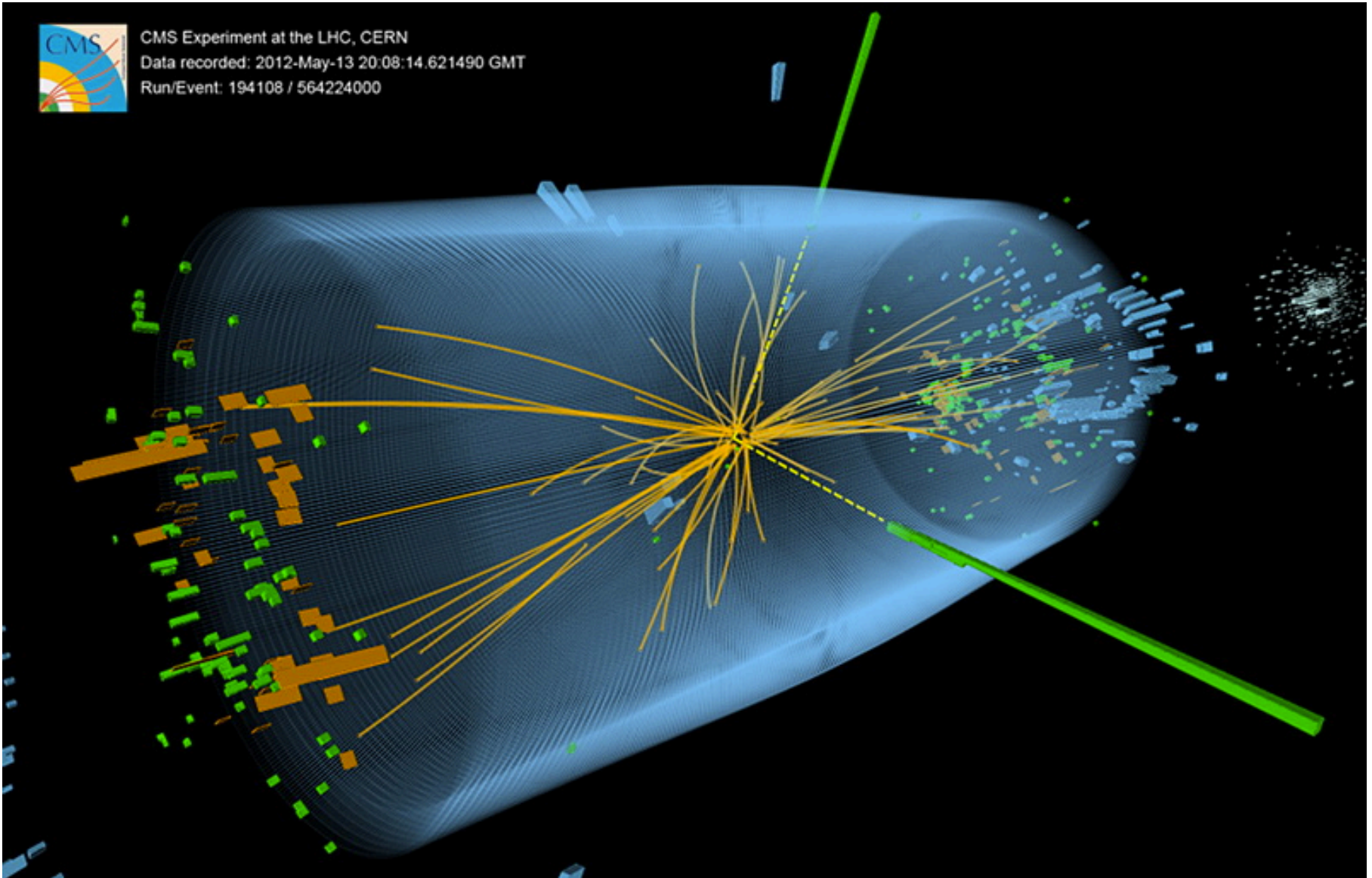
ливень в кристалле



Количество кристаллов – 82,000

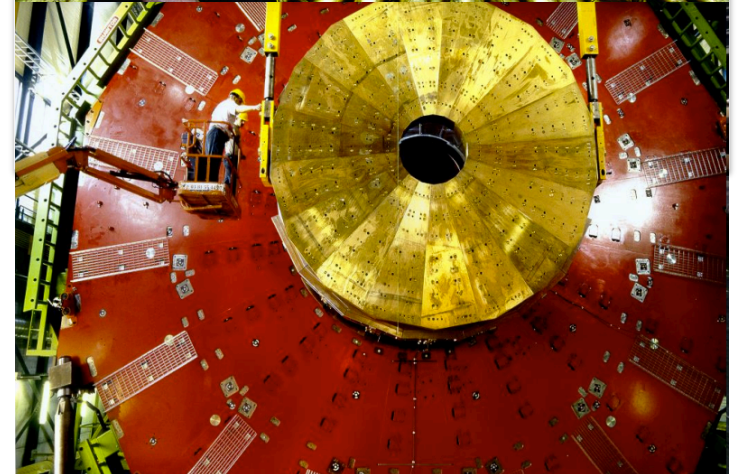
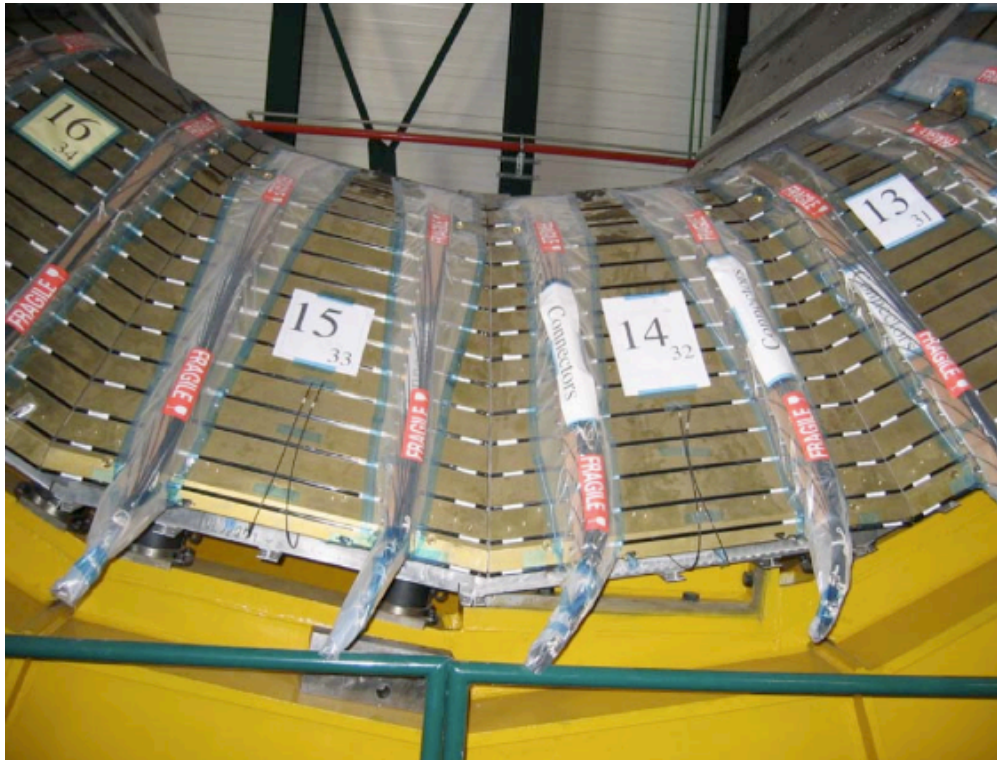
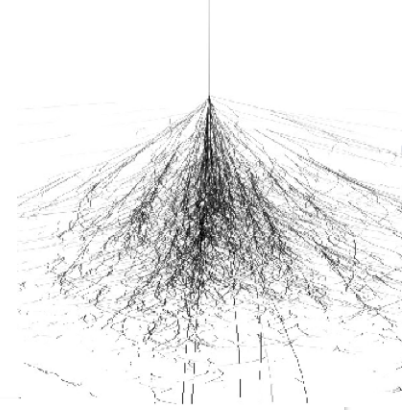


Использование калориметра: регистрация распада бозона Хиггса на два гамма-кванта ($H \rightarrow \gamma\gamma$)



Адронный калориметр CMS

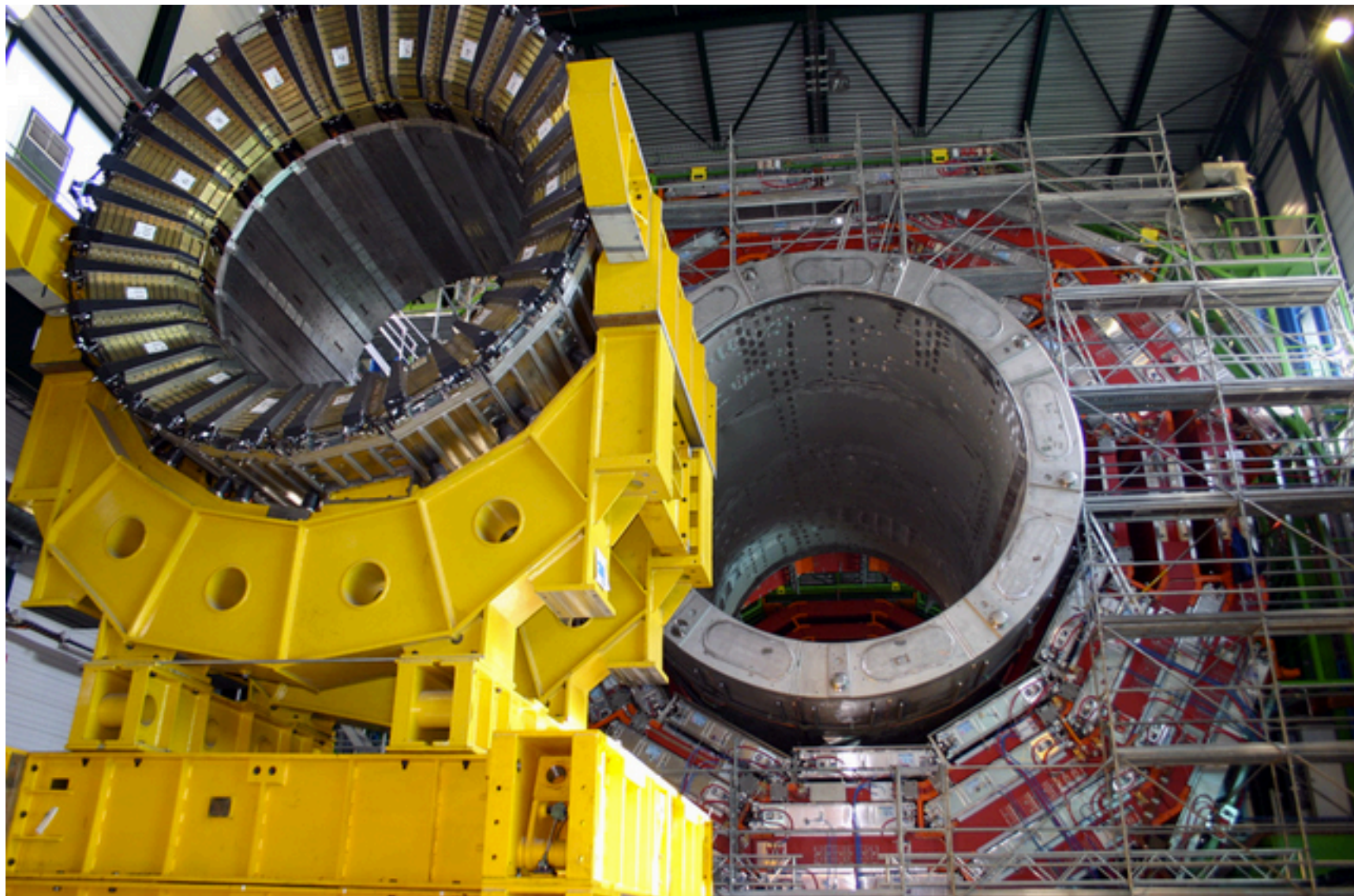
слои латуни чередуются с слоями **сцинтиллятора**, в которых **ливень вторичных частиц** «высвечивает» свою энергию



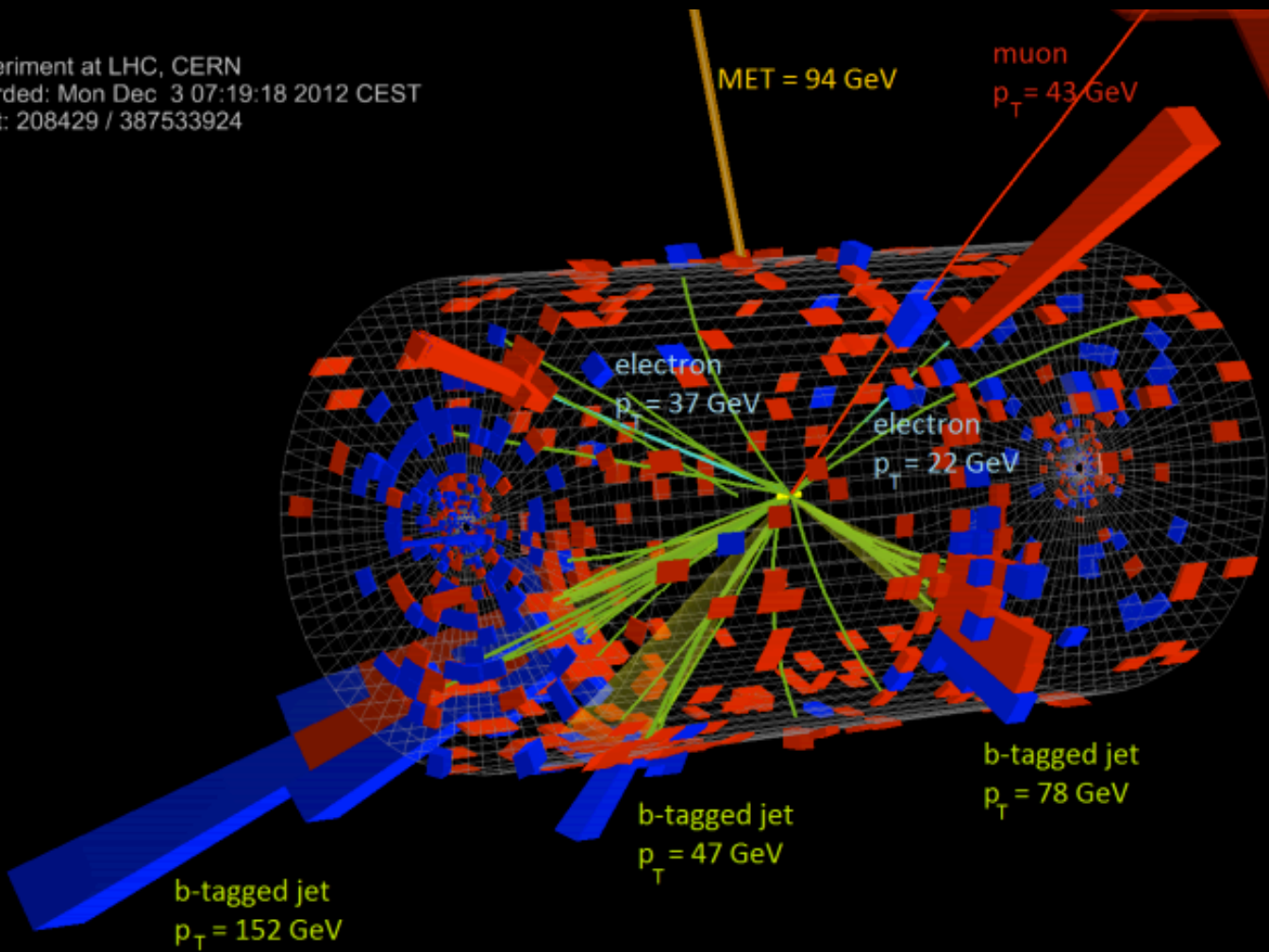
Переотлитые латунные гильзы для
адронного калориметра



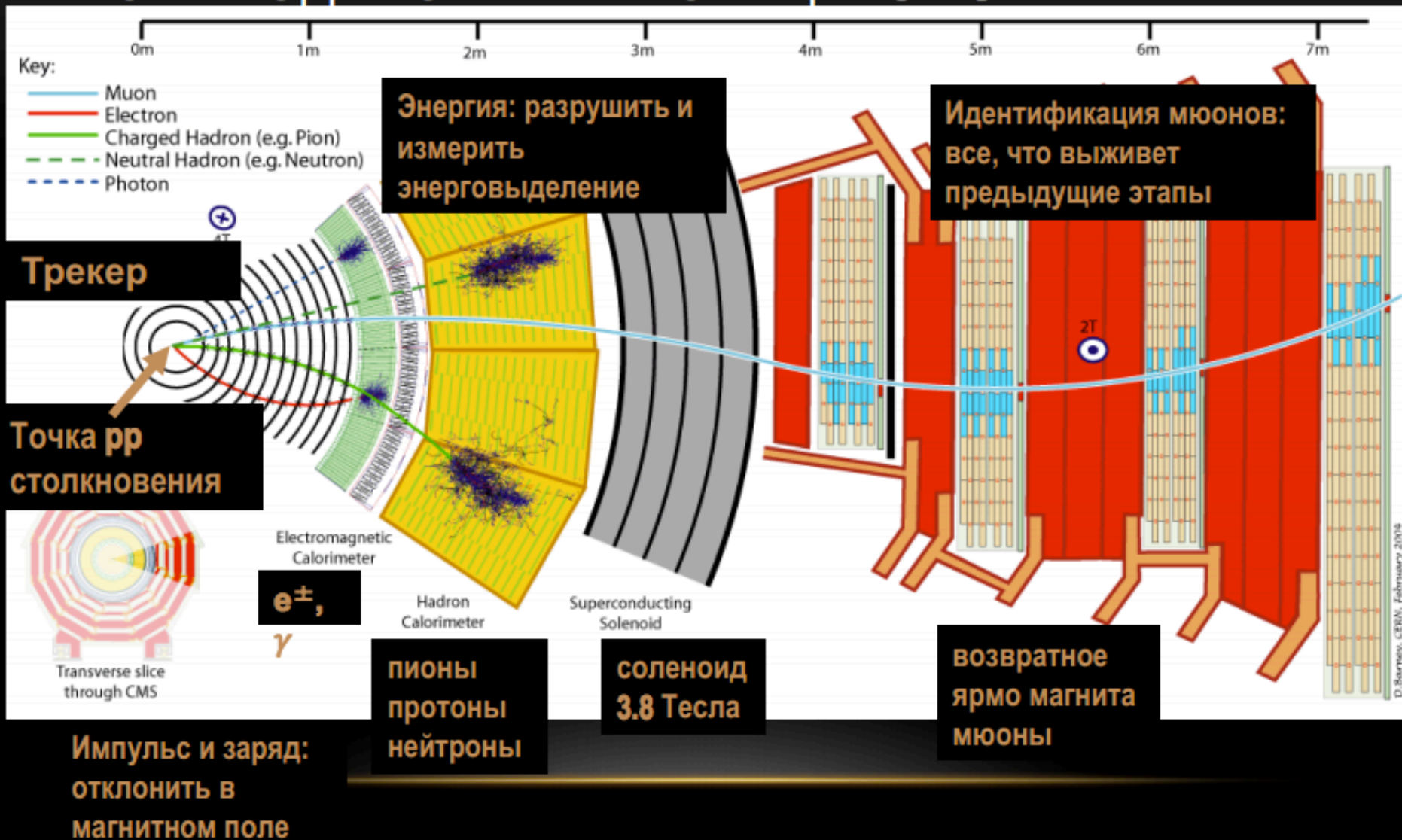
Вид торцевой части Адронного калориметра CMS на фоне магнита



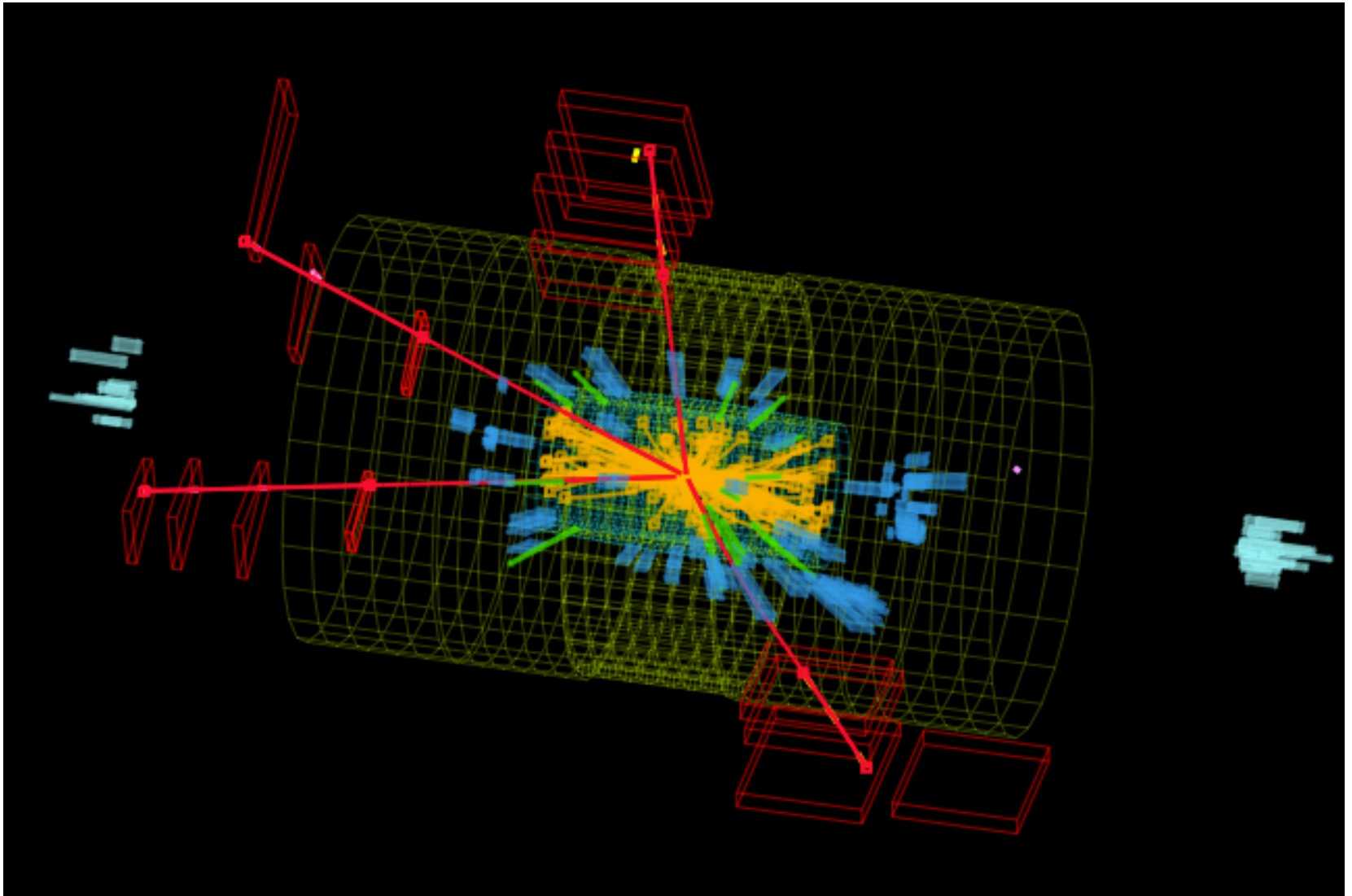
CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Mon Dec 3 07:19:18 2012 CEST
Run/Event: 208429 / 387533924



ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧАСТИЦ В CMS



Распад бозона Хиггса на **четыре мюона** в установке CMS



<http://cms.web.cern.ch/news/lhc-data-be-made-public-open-access-initiative>

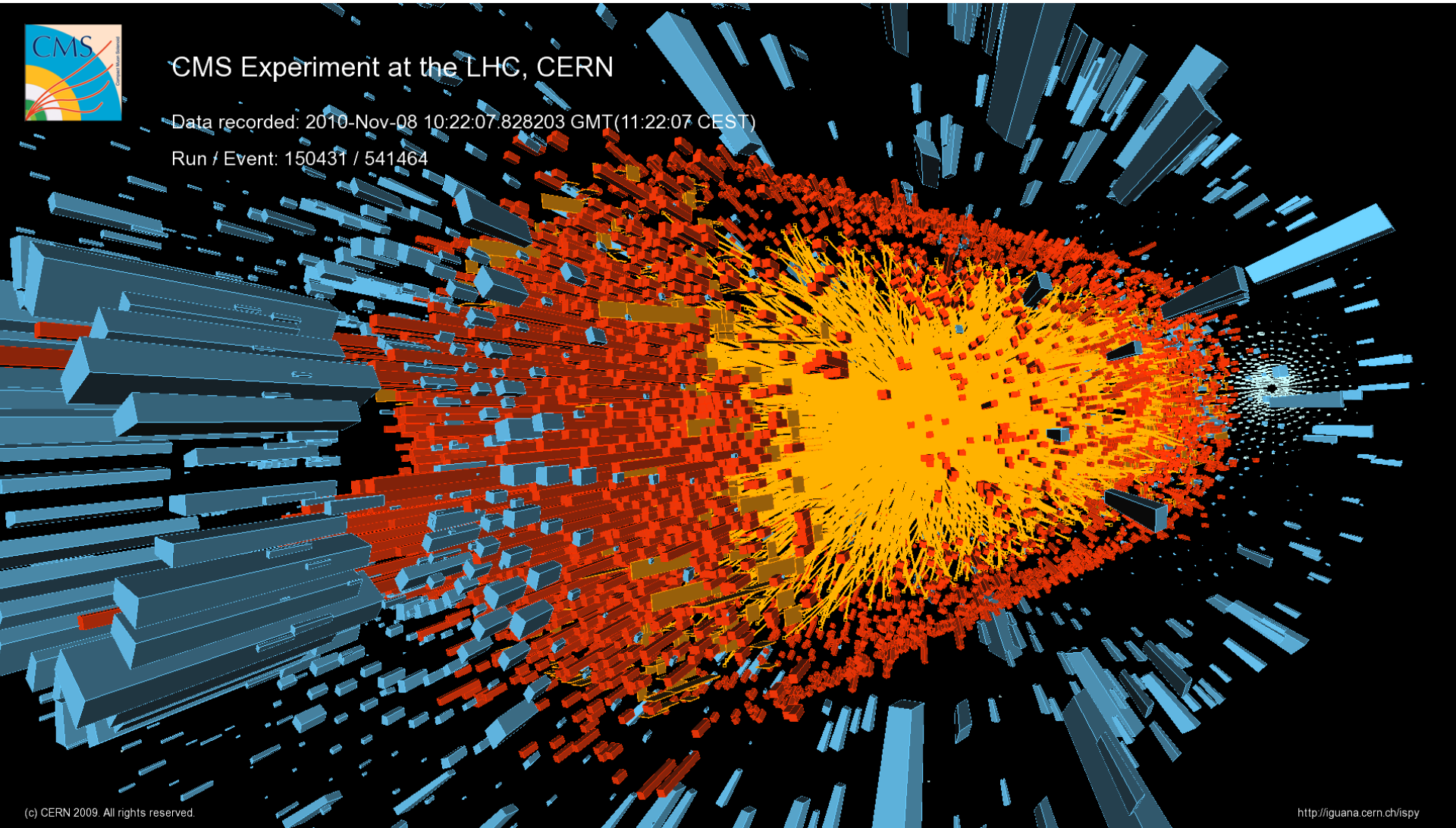
Столкновение двух ядер свинца в установке CMS



CMS Experiment at the LHC, CERN

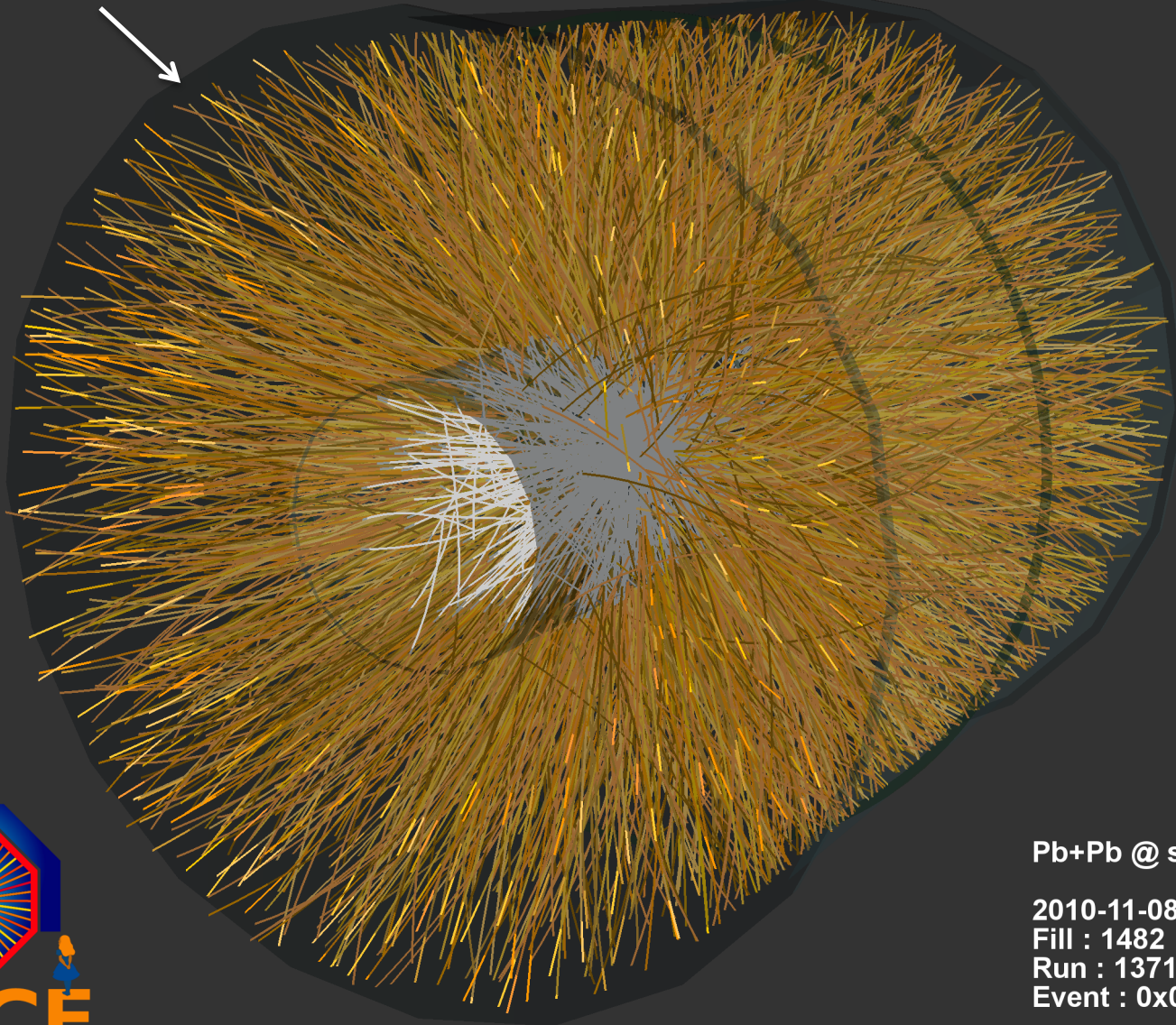
Data recorded: 2010-Nov-08 10:22:07.828203 GMT(11:22:07 CEST)

Run / Event: 150431 / 541464



Базовые объекты в НЕР-данных: **событие (event)** и **трек частицы (track)**.

Это – реконструированные треки частиц, которые родились в одном «событии» – столкновении двух ядер свинца.



Pb+Pb @ sqrt(s) = 2.76 ATeV

2010-11-08 11:30:46

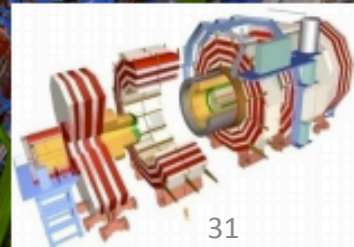
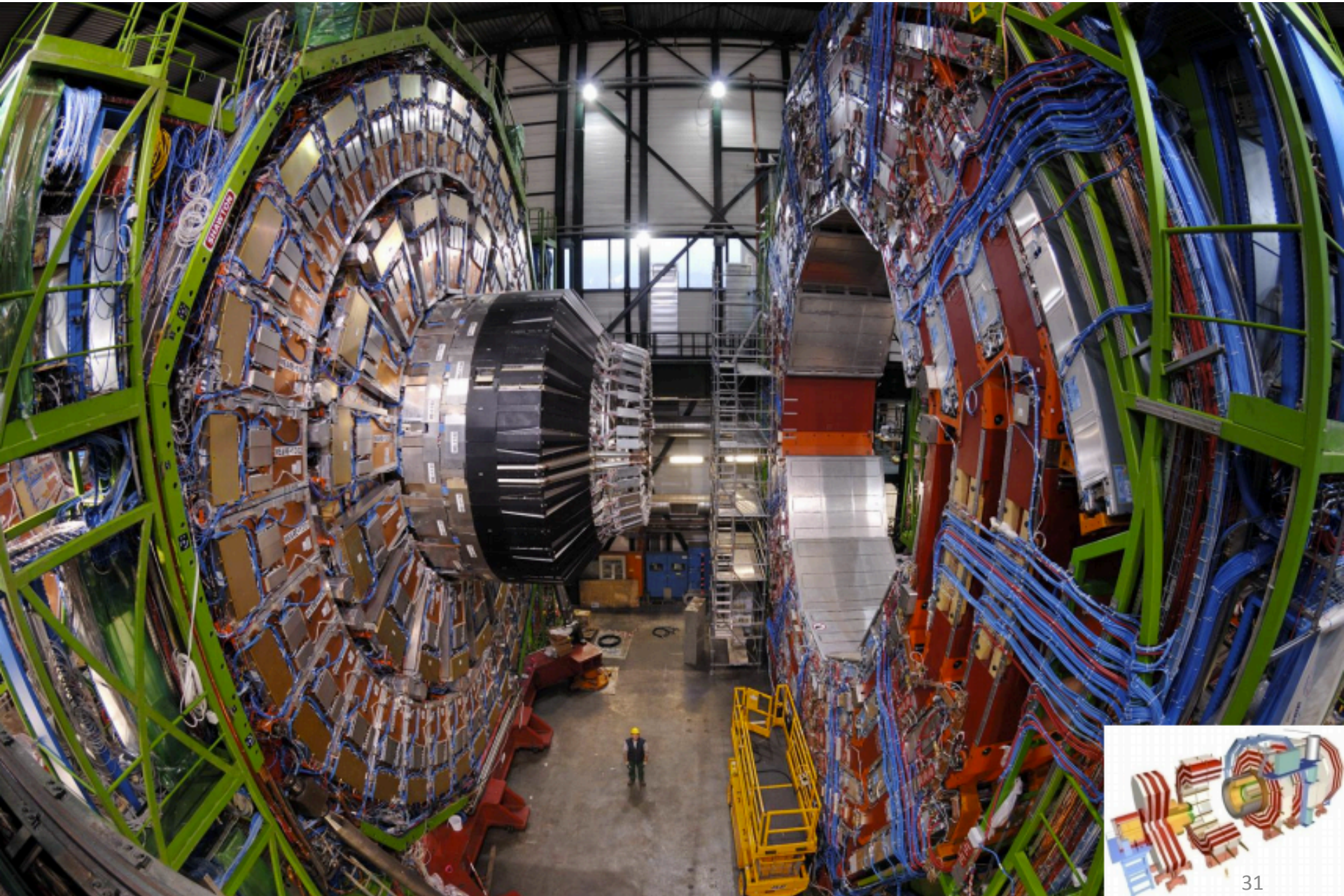
Fill : 1482

Run : 137124

Event : 0x00000000D3BBE693

Some pictures

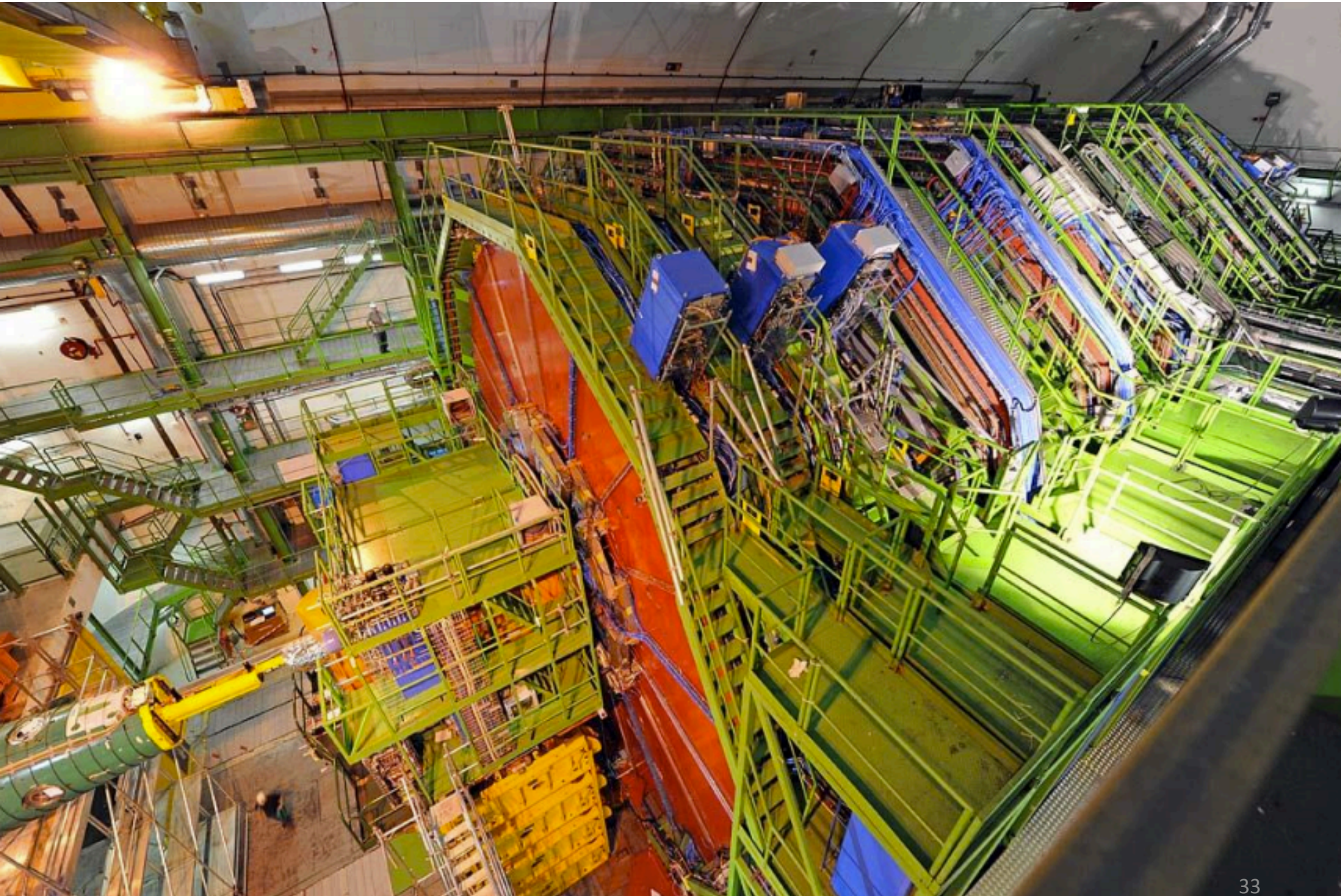
Завершение сборки детектора CMS



ПЕРЕД ЗАКРЫТИЕМ



CMS ГОТОВ К ПУЧКУ



The picture shows a zoomed view of an event in the centre of the CMS detector where **78 proton-proton collisions took place simultaneously** (the bright dots on the horizontal axis). The scale here is a few centimetres.

