



Фестиваль науки 2010



Що нового на великому адронному колайдері?

*Скоренький Юрій Любомирович
кафедра фізики Тернопільського національного
технічного університету ім. І. Пулюя*

ВЕЛИКИЙ АДРОННЫЙ КОЛАЙДЕР

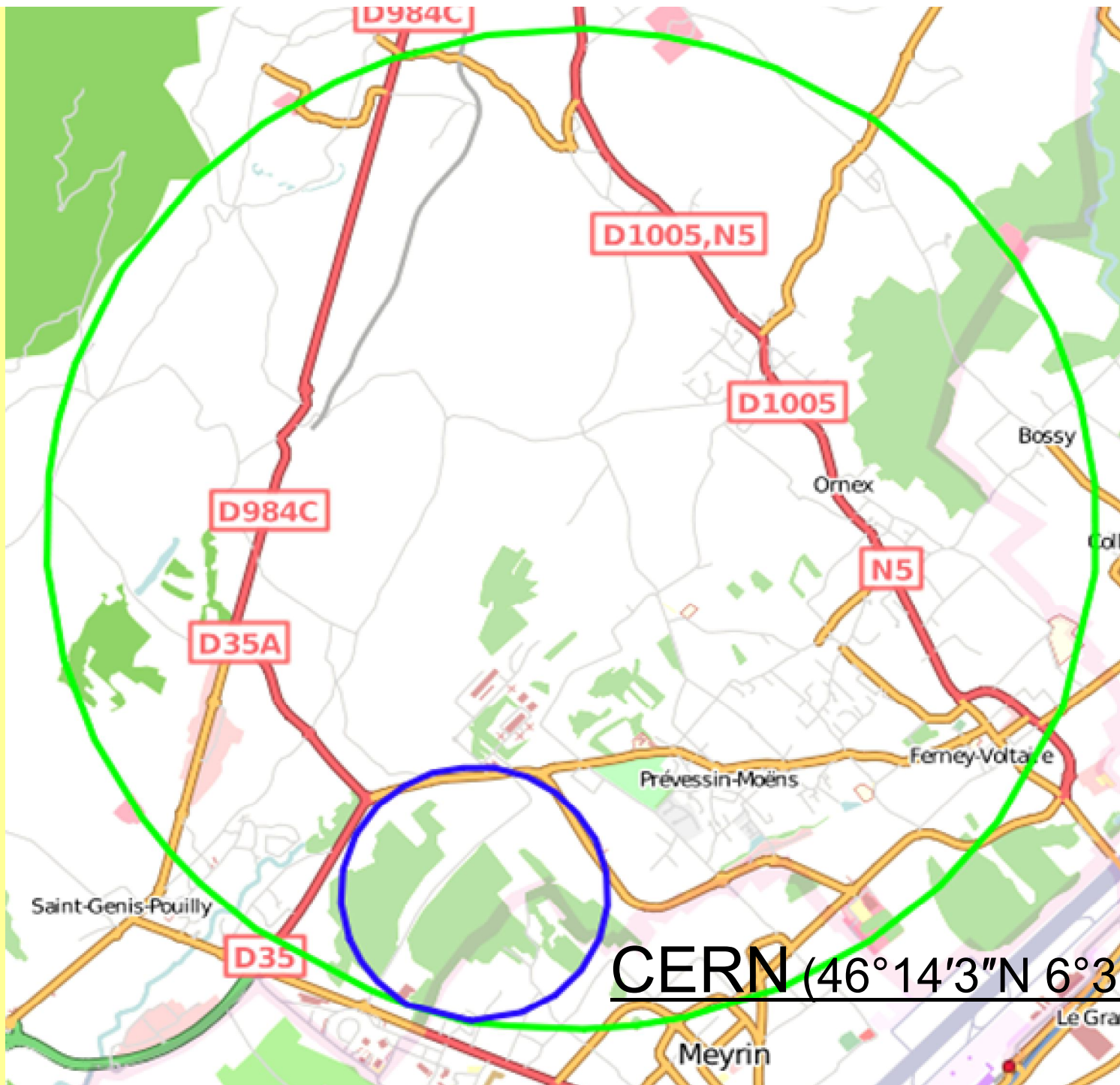
Large Hadron Collider

LHC

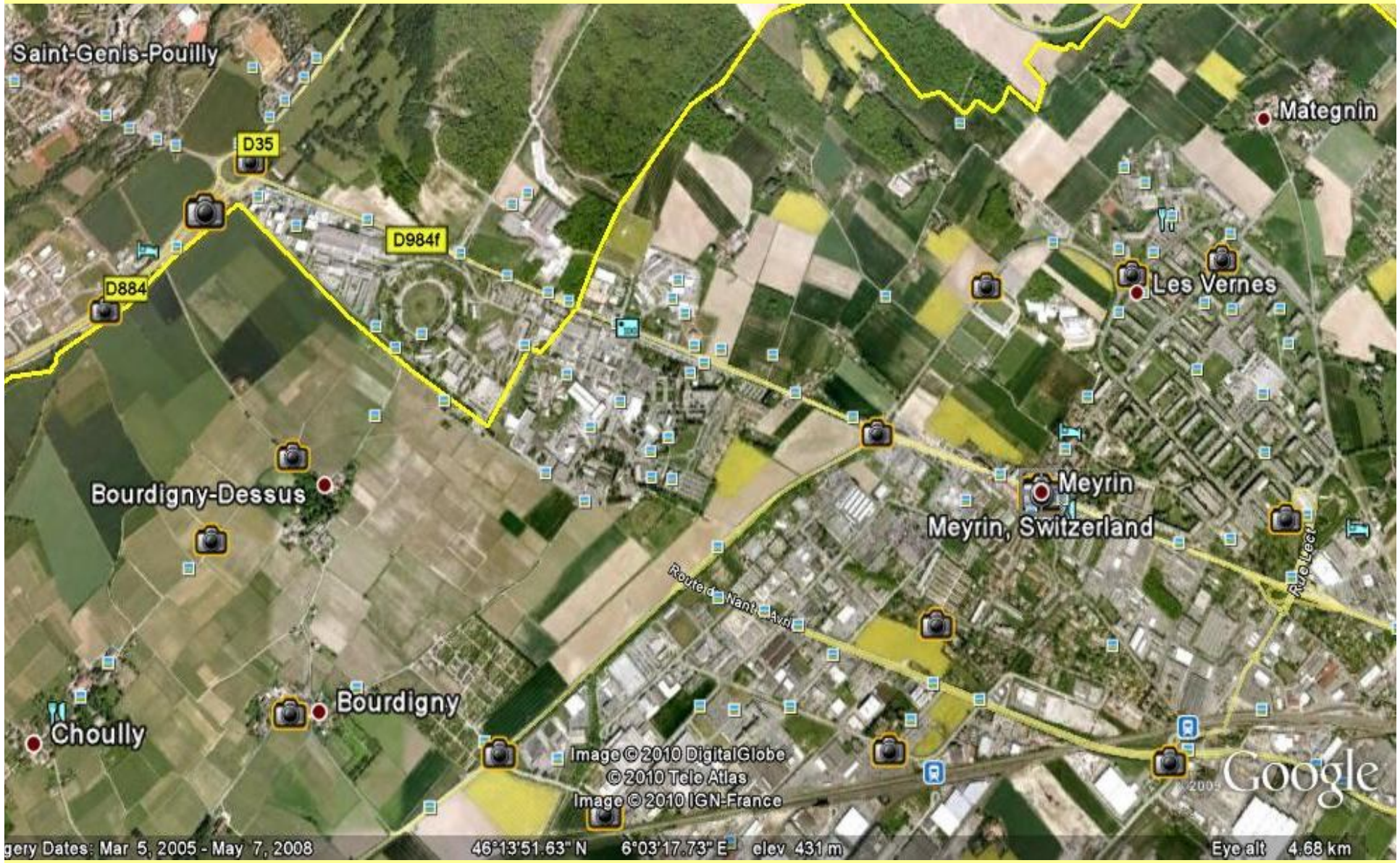
ВЕЛИКИЙ

LARGE





CERN (46°14'3"N 6°3'19"E)



Imagery Dates: Mar 5, 2005 - May 7, 2008

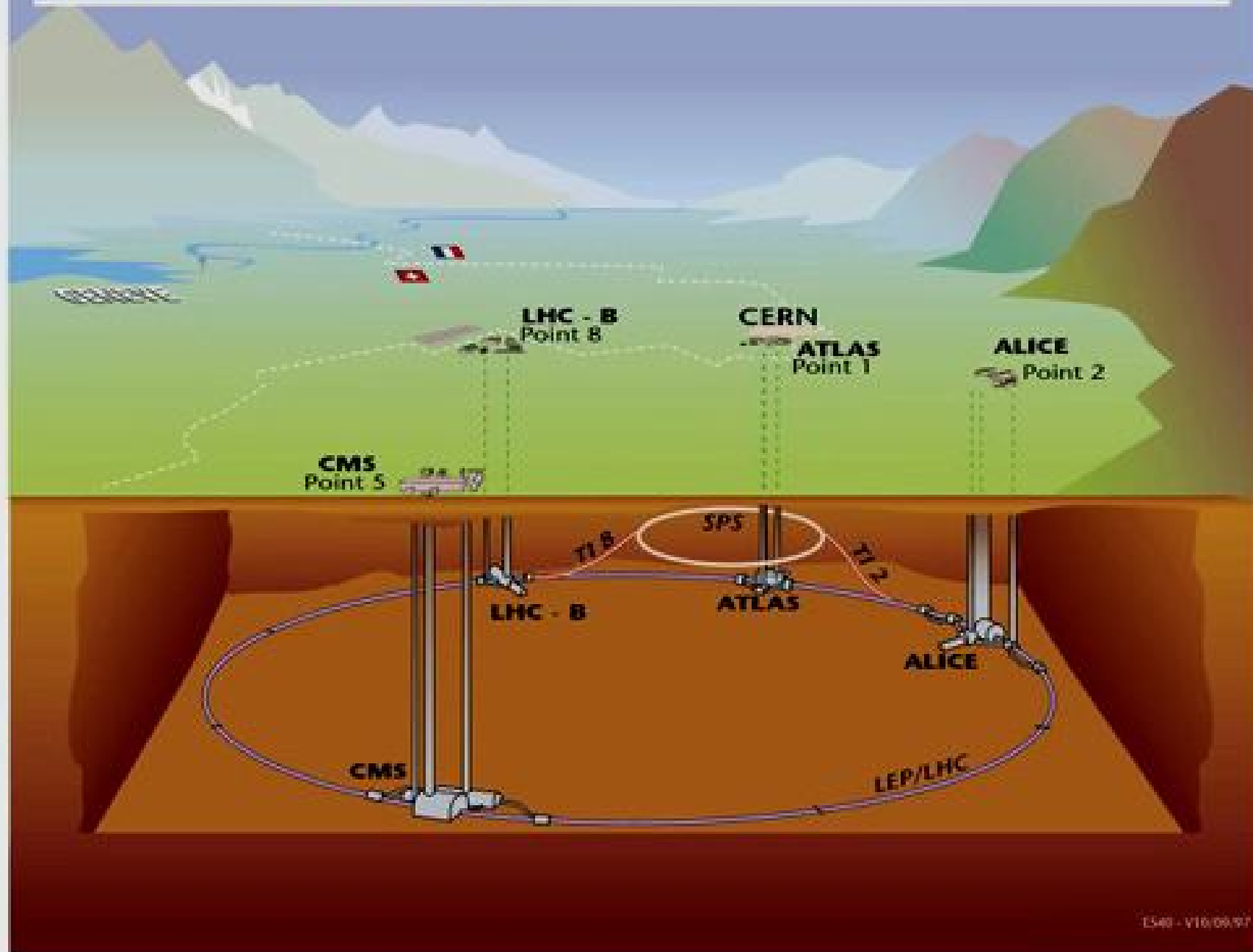
46°13'51.63" N 6°03'17.73" E elev 431 m

Google

Eye alt 4.68 km



Overall view of the LHC

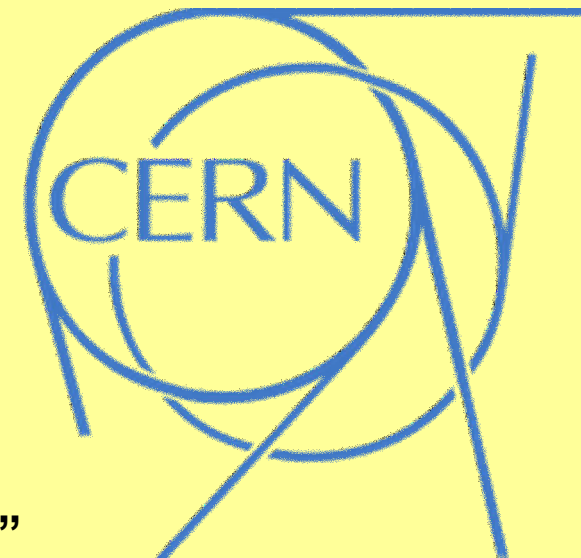


European Organization for Nuclear Research

Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire

Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire

заснований у 1954 році.



1973: Відкриття “нейтральних струмових збуджень”

1983: Відкриття W та Z бозонів – квантів слабкої взаємодії

1989: Визначення кількості видів нейтрино

1995: Утворення першого штучного атому антигідрогену

1999: Відкриття порушення комбінованої CP-симетрії



перший Web сервер (1989)

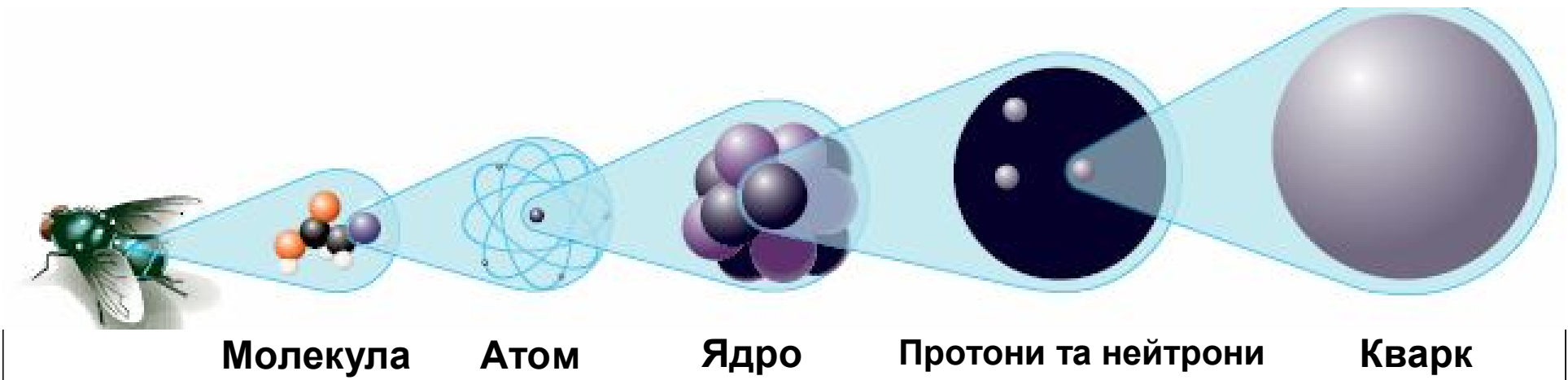


Тім Бернерс-Лі

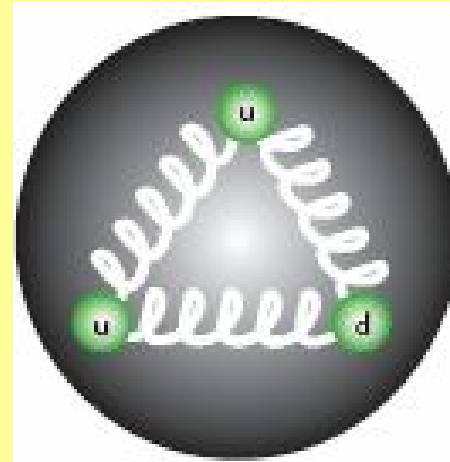


АДРОННЫЙ

HADRON



Кваркова структура протона



	up		down		e - neutrino		electron
	charm		strange		μ - neutrino		muon
	top		bottom		τ - neutrino		tau

Стандартна модель

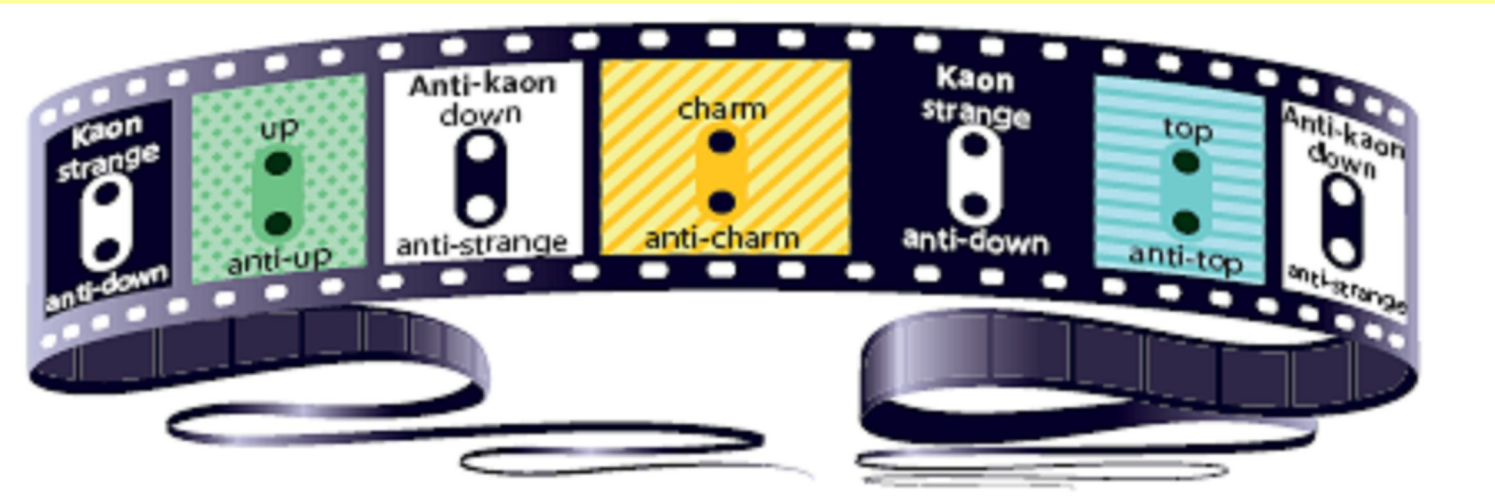
Елементарні частинки

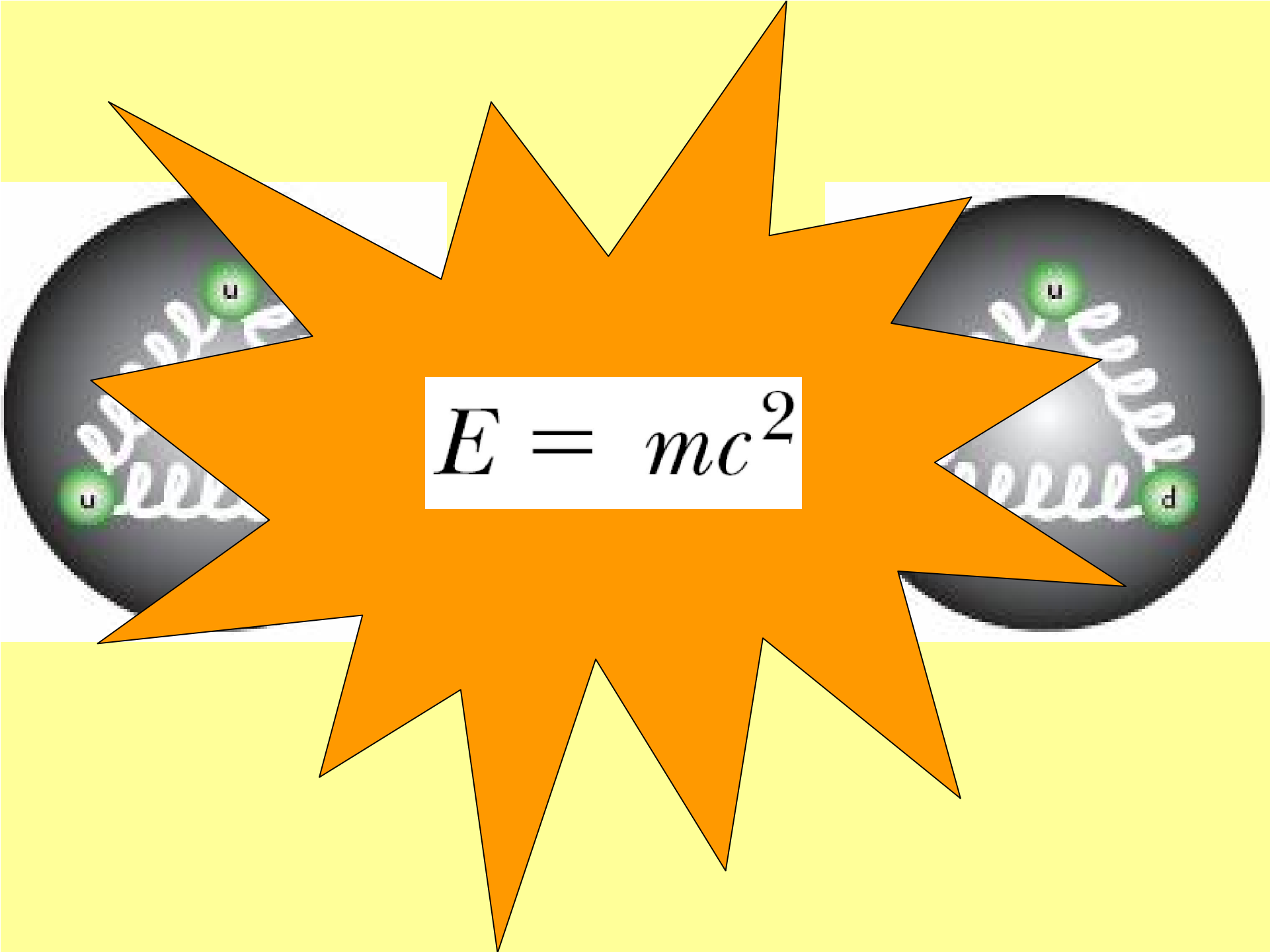
Лептони	електронне нейтрино	мюонне нейтрино	тау нейтрино
	електрон	мюон	тау-мезон
Кварки	верхній	чарівний	істинний
	нижній	дивний	красивий

Хіггс?

Фундаментальні взаємодії

електромагнітна	кванти фотон
слабка	W, Z -бозони
сильна	глюони





The diagram illustrates a nuclear fission reaction. A central orange starburst contains the equation $E = mc^2$. To the left and right are two dark grey spheres representing nuclei. The left sphere contains two green circles labeled 'u' (up quarks) and a white wavy line representing gluons. The right sphere contains two green circles labeled 'u' (up quarks) and one green circle labeled 'd' (down quark), with a white wavy line representing gluons. The entire scene is set against a light yellow background.

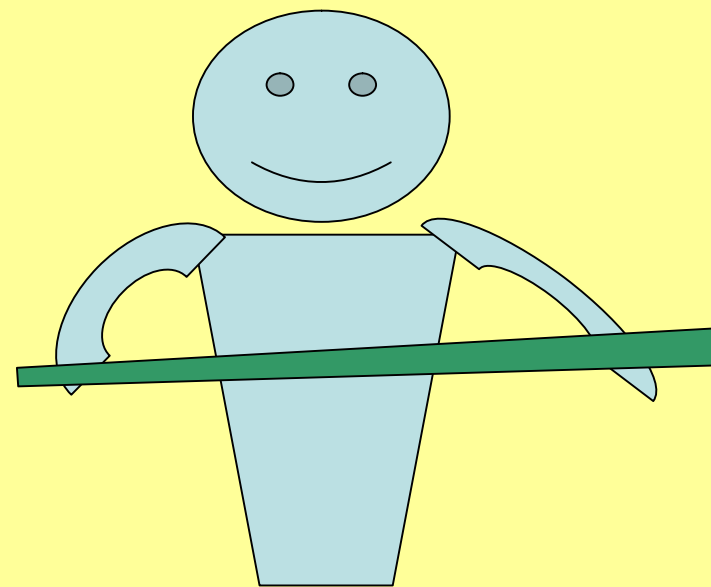
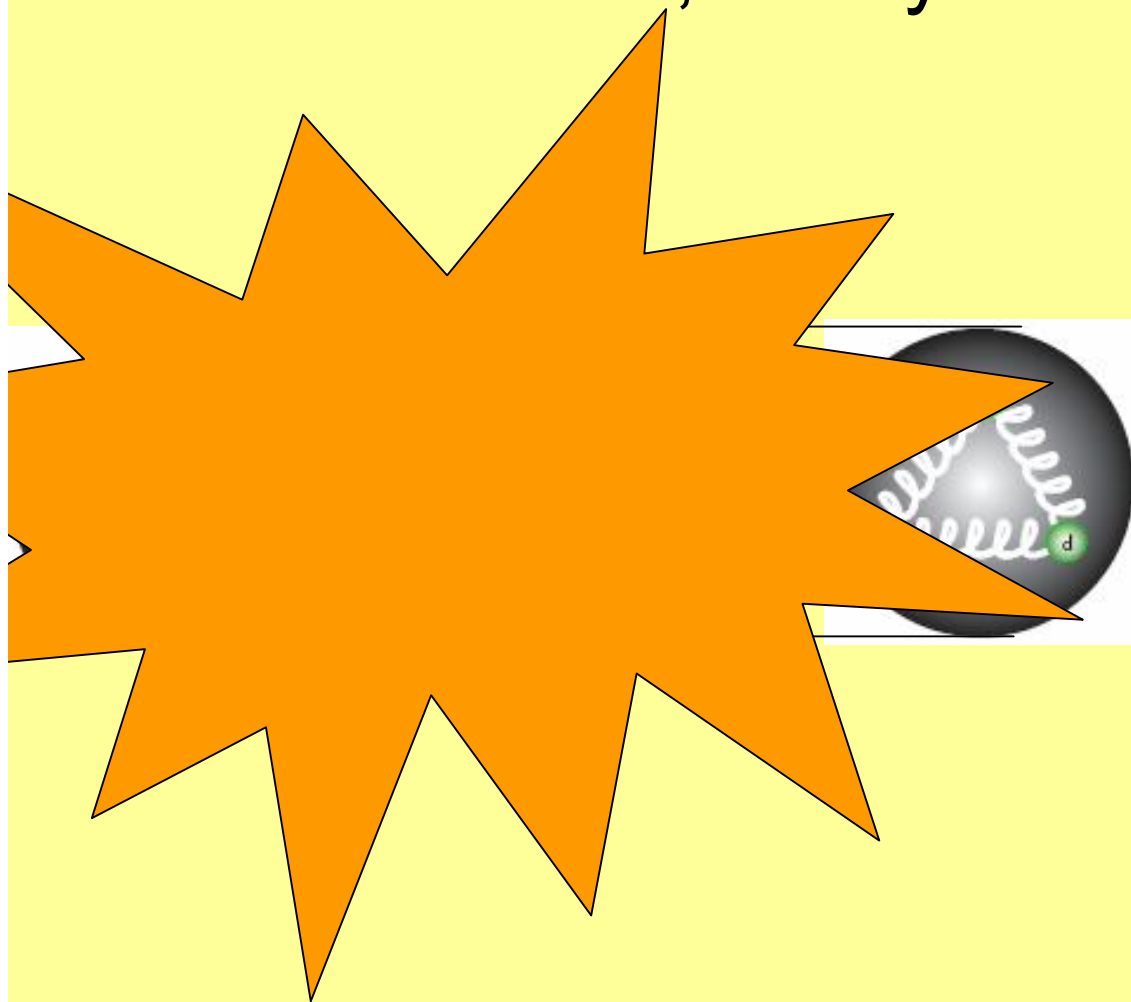
$$E = mc^2$$

КОЛАЙДЕР

COLLIDER

collide [kə'laɪd]

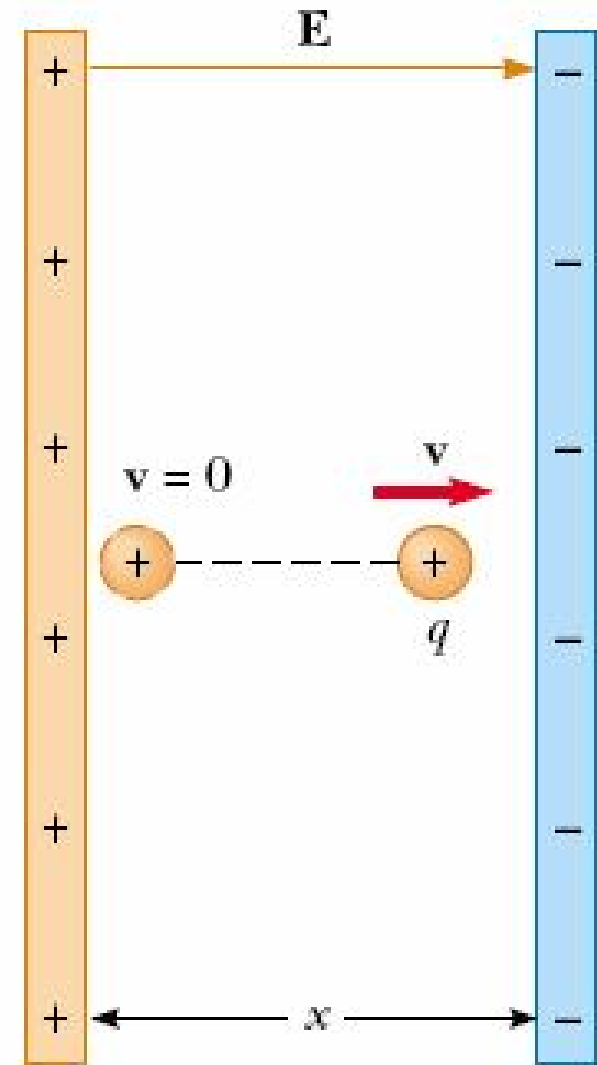
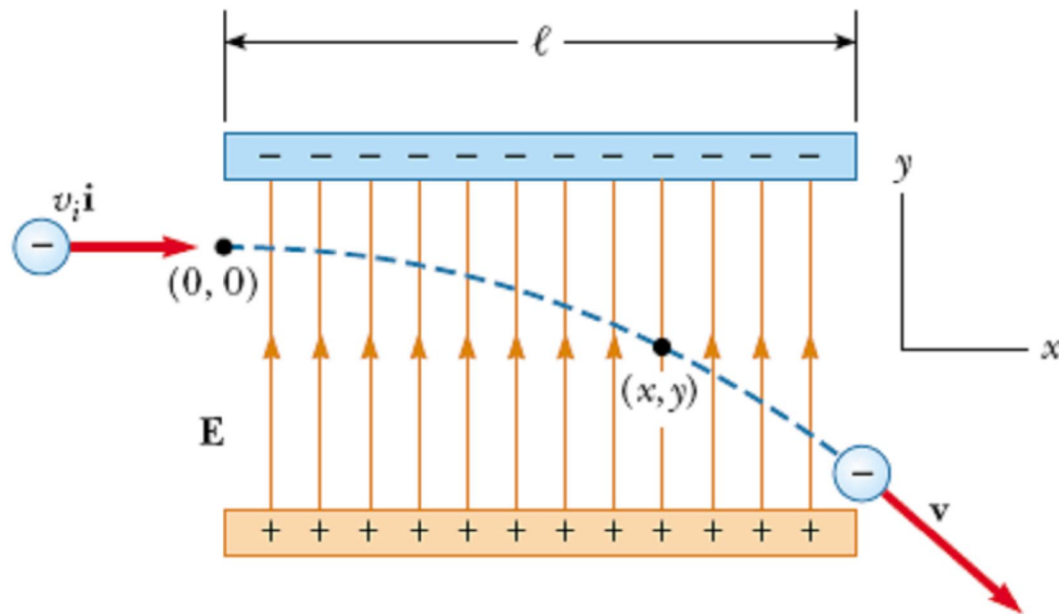
- стикатися, зіткнутися

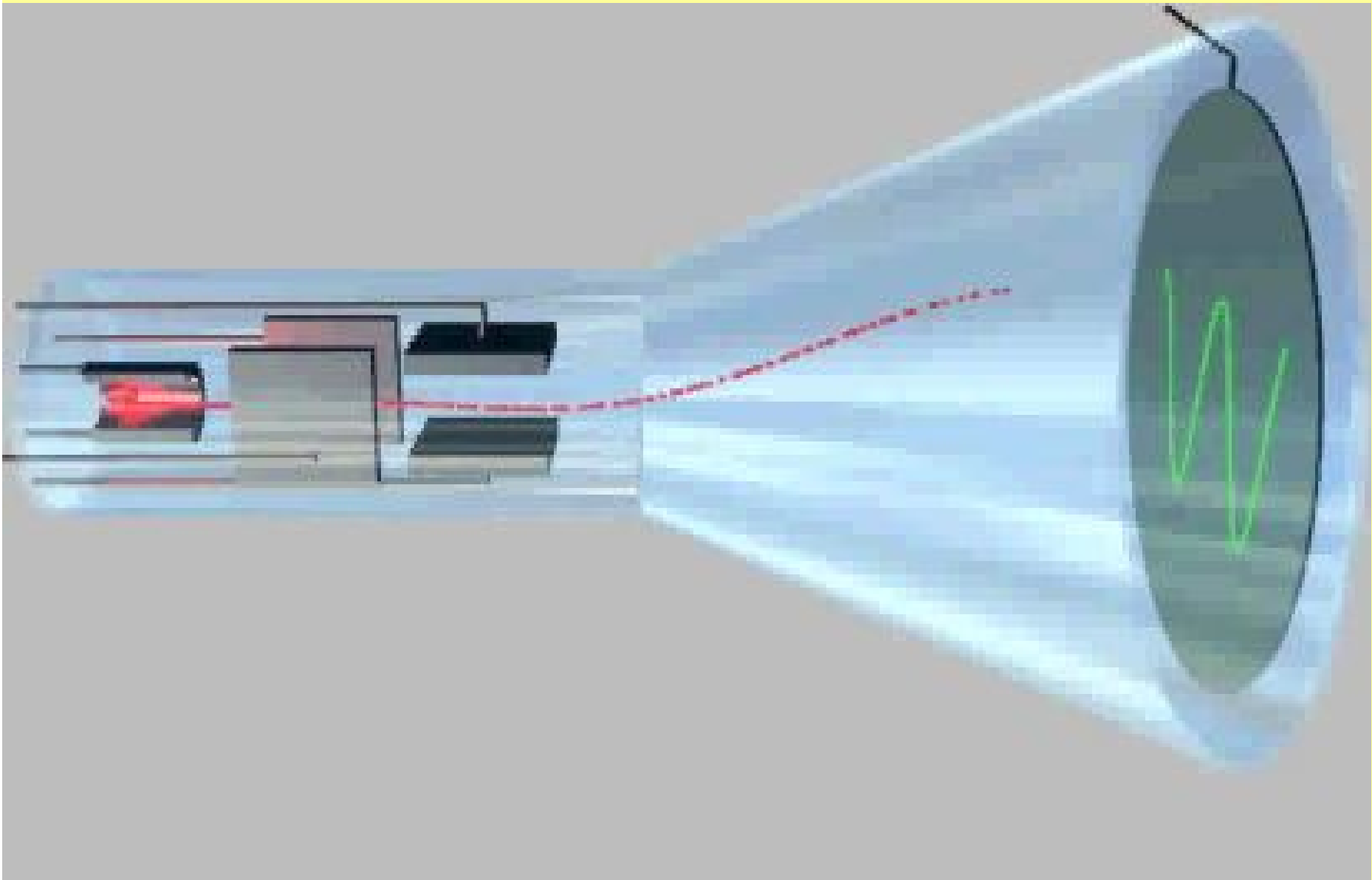




Рух зарядженої частинки у електричному полі

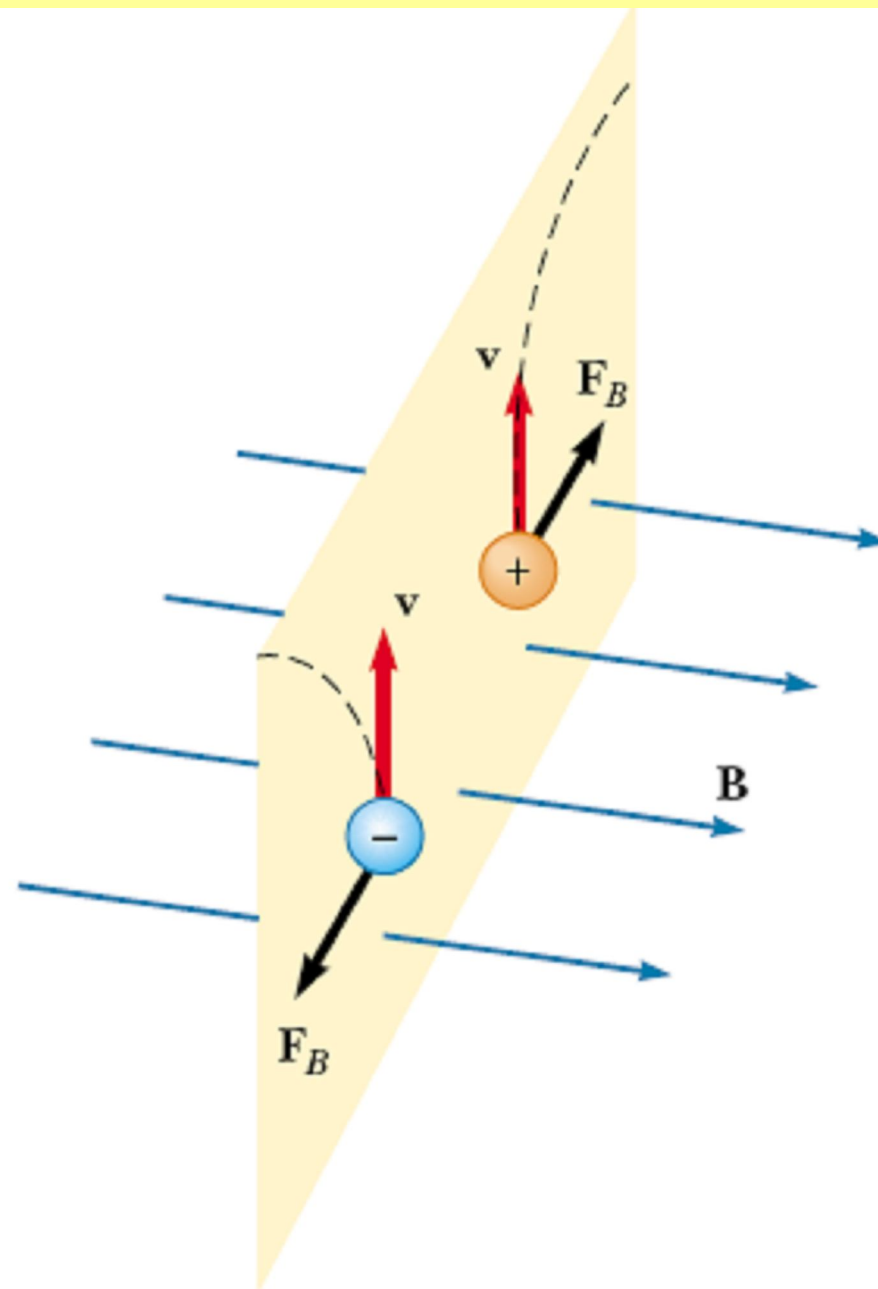
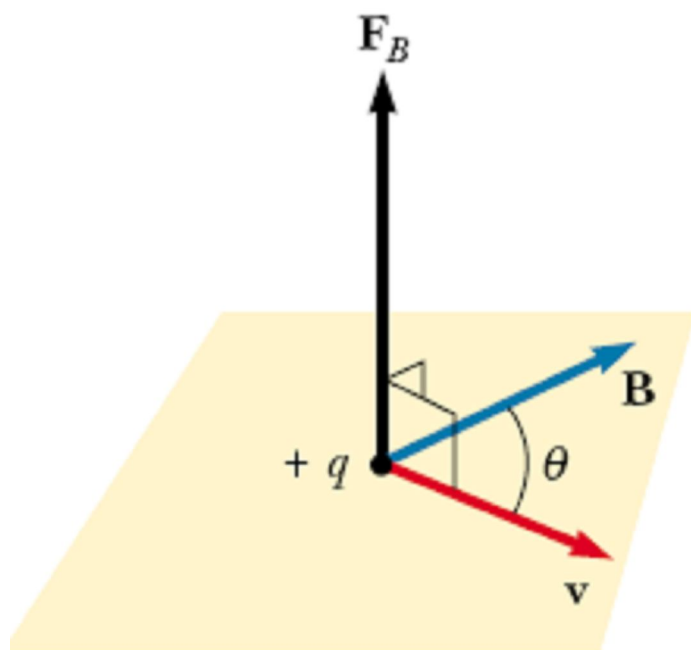
$$\mathbf{F}_e = q\mathbf{E} = m\mathbf{a}$$

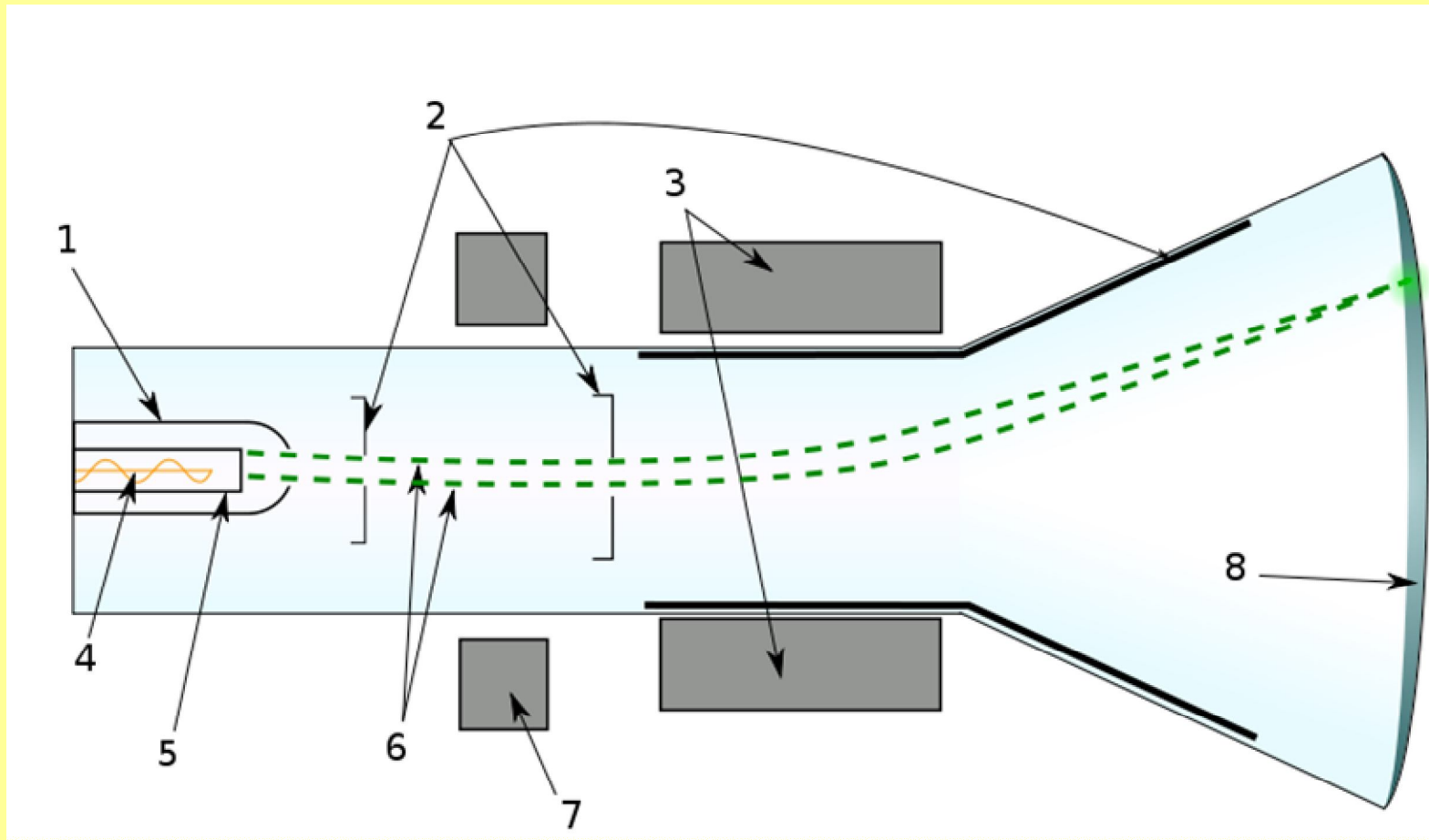


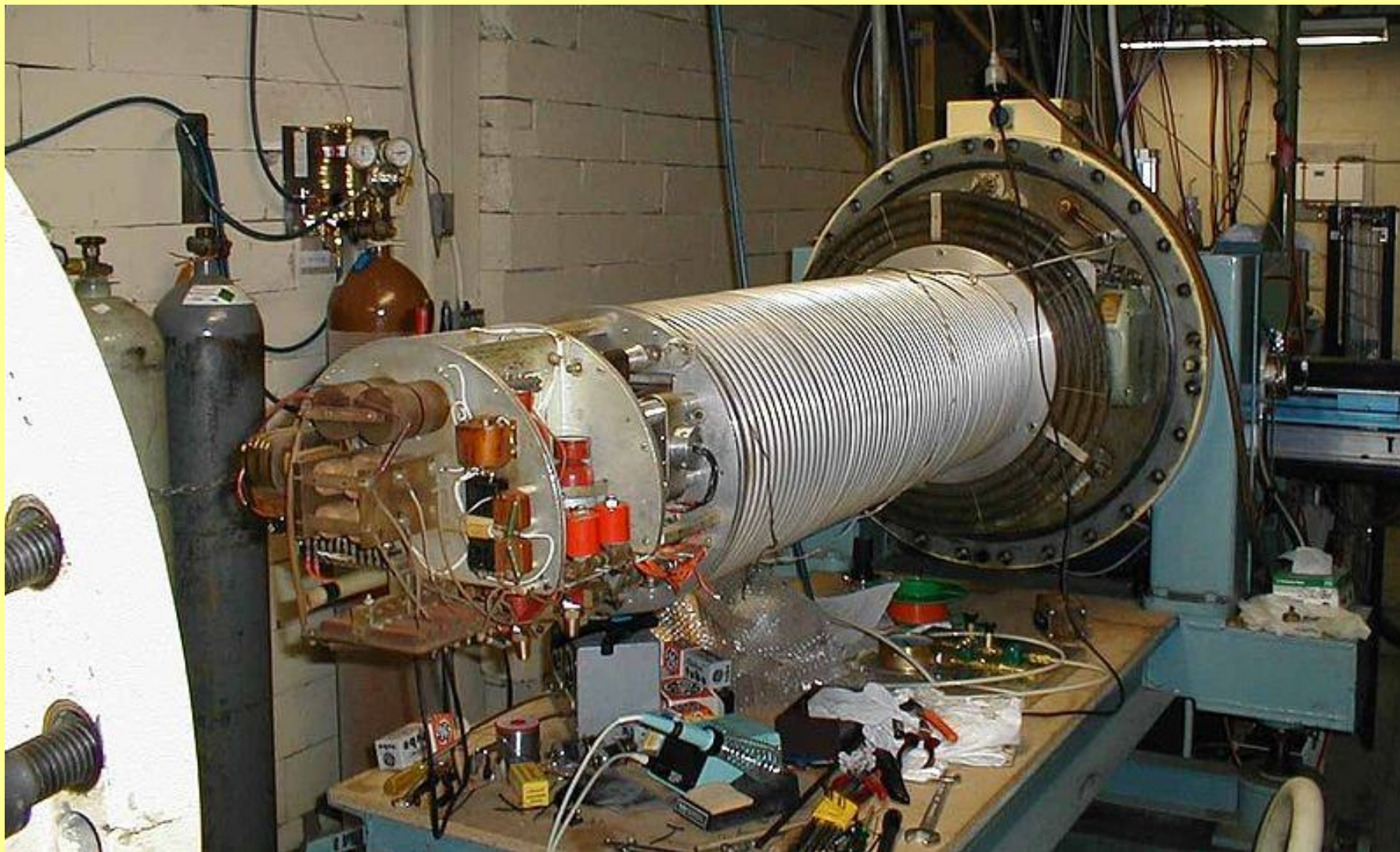


Сила Лоренца

$$F_B = |q|vB \sin \theta$$







лінійний прискорювач Ван де Граафа (2 MeV)

електронвольт

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 1 \text{ В} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

кілоелектронвольт

$$1 \text{ кеВ} = 10^3 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-16} \text{ Дж}$$

мегаелектронвольт

$$1 \text{ МеВ} = 10^6 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$$

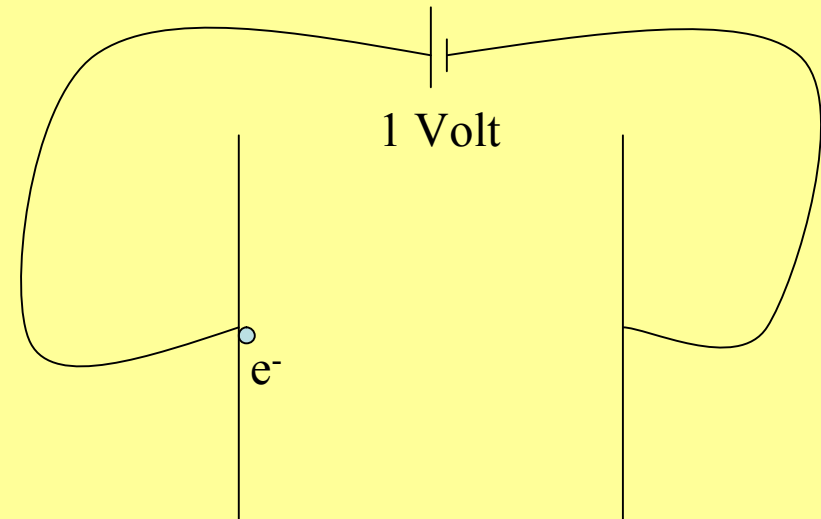
гігаелектронвольт

$$1 \text{ ГеВ} = 10^9 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-10} \text{ Дж}$$

тераелектронвольт

$$1 \text{ ТеВ} = 10^{12} \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-7} \text{ Дж}$$

$$A = q \cdot \Delta\varphi$$

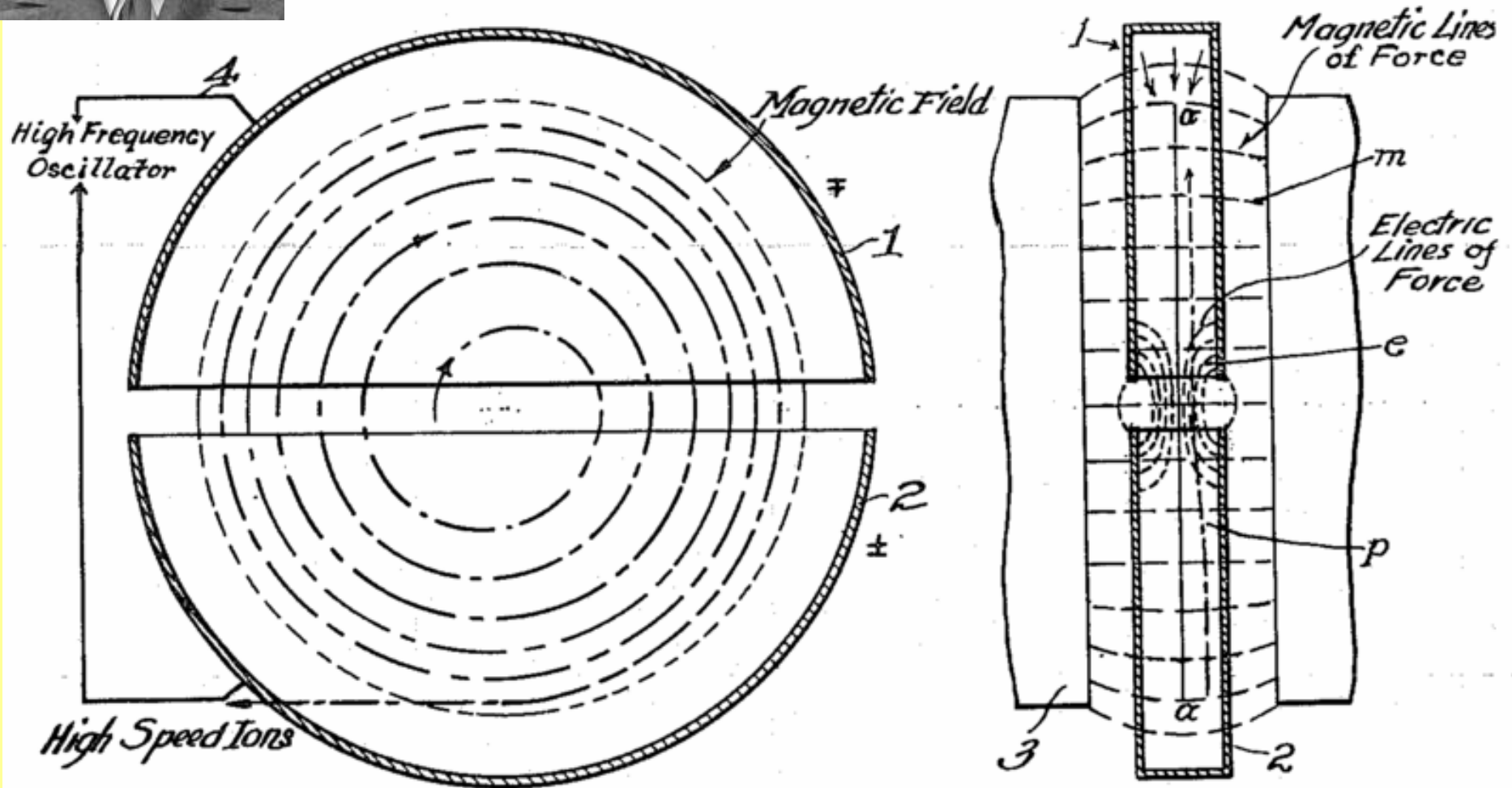




Ернест Лоуренс (Ernest Lawrence)

циклотрон, 1929

2 січня 1931р. Досягнув енергії 80 000 електронвольт

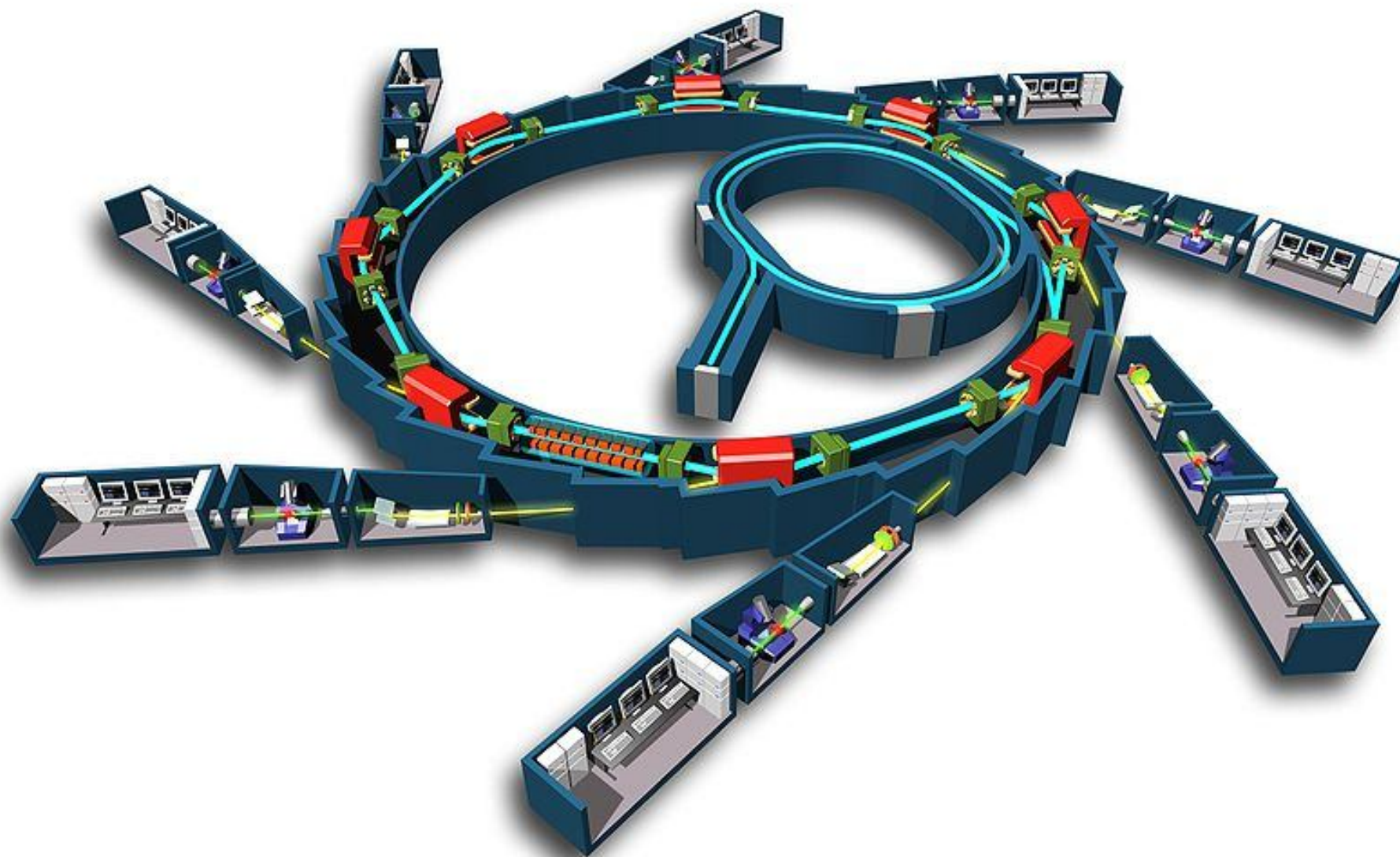


В світі налічується 26,000 діючих прискорювачів

- ~ 1% дослідницькі установки для енергій > 1 GeV,
- ~ 44% використовуються в радіотерапії,
- ~ 41% для іонної імплантації,
- ~ 9% в промисловості,
- ~ 4% для біомедичних досліджень.

Tevatron	<i>Fermilab, 1987–present</i>
Relativistic Heavy Ion Collider	<i>BNL, 2000–present</i>
Large Hadron Collider	<i><u>CERN</u>, 2009–present</i>
<u>Super Large Hadron Collider</u>	<i>Proposed, <u>CERN</u>, 2019–</i>
<u>Very Large Hadron Collider</u>	<i>Theoretical</i>

Синхрофазотрон



Володимир Йосипович Векслер, 1944р.

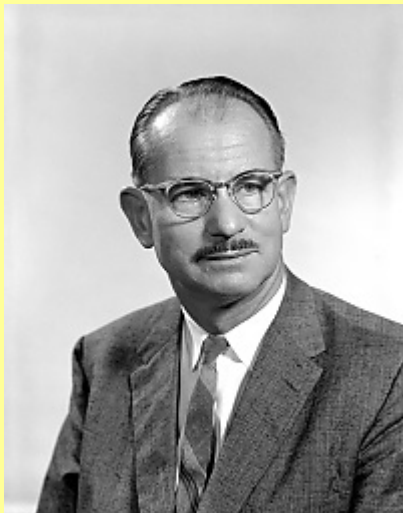


20 МэВ



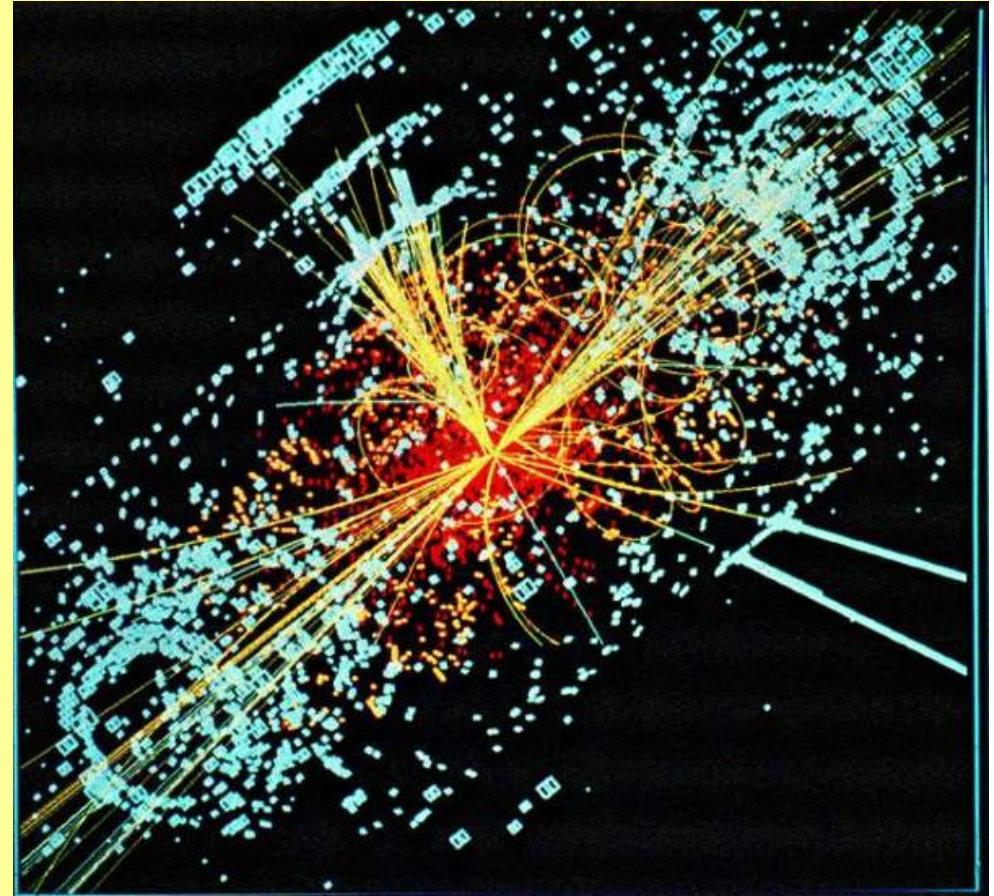
Об'єднаний інститут ядерних досліджень,
м. Дубна, Росія

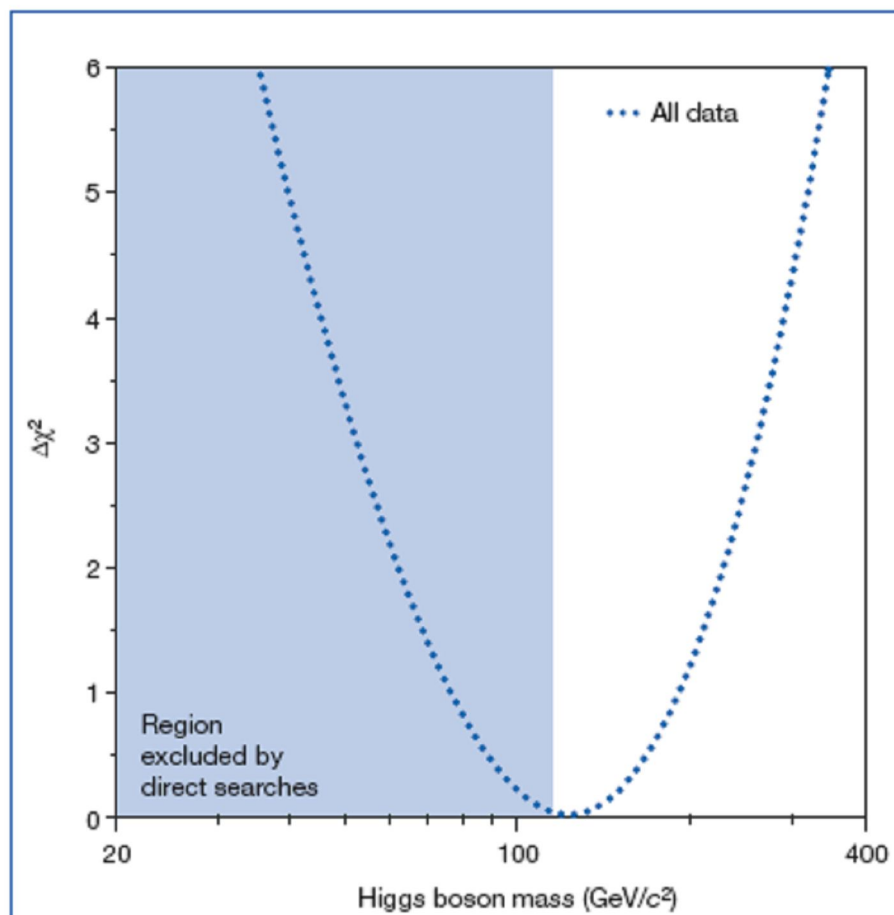
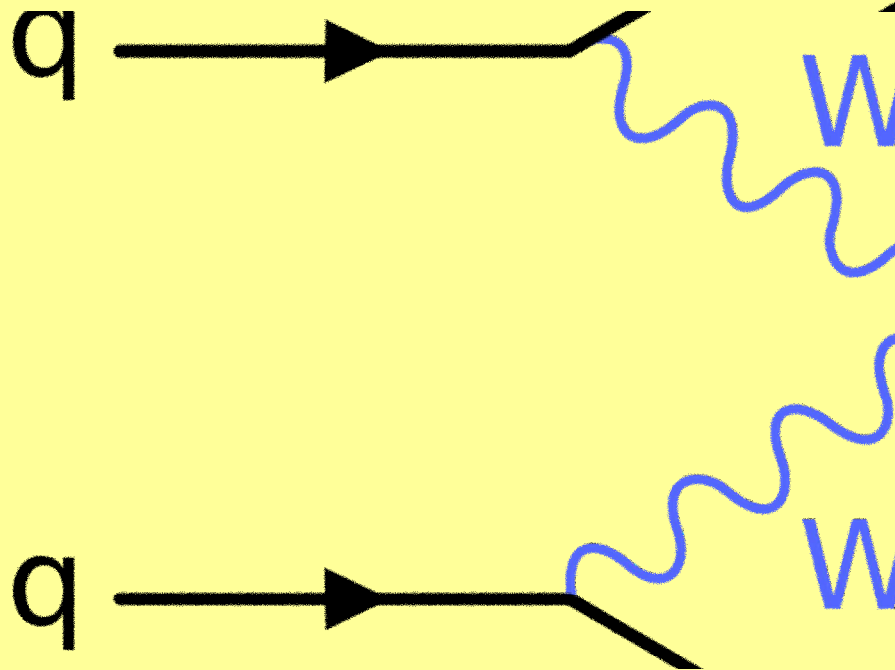
Едвін Макміллан (Edwin Mattison McMillan), 1945р.



Large Hadron Collider (LHC)

**Зіткнення зустрічних пучків
протонів зі швидкостями
99.999999% шв. світла**





Діаграма Фейнмана, яка зображує можливий процес утворення бозона Хіггса. Кожен з двох кварків випромінює W - або Z -бозон, під час реакції яких може виникнути нейтральний бозон Хіггса.

Чи існує бозон Хіггса?

Чи, крім античастинок, існують частинки-суперпартнери?

Яка дійсна вимірність простору?

Яка природа темної матерії?

**Чи є електромагнетизм, слабка та сильна взаємодії
проявом єдиної об'єднаної взаємодії?**

Чому гравітація настільки слабша від інших взаємодій?

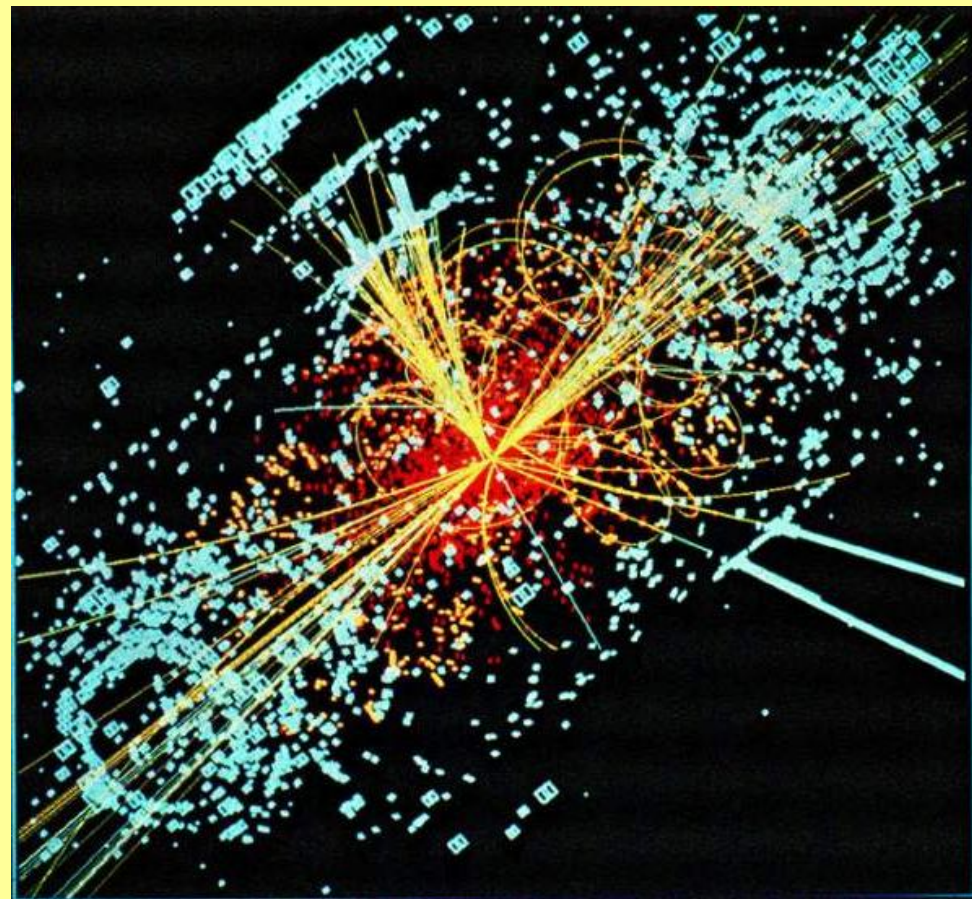
Чим зумовлена несиметрія між матерією та антиматерією?

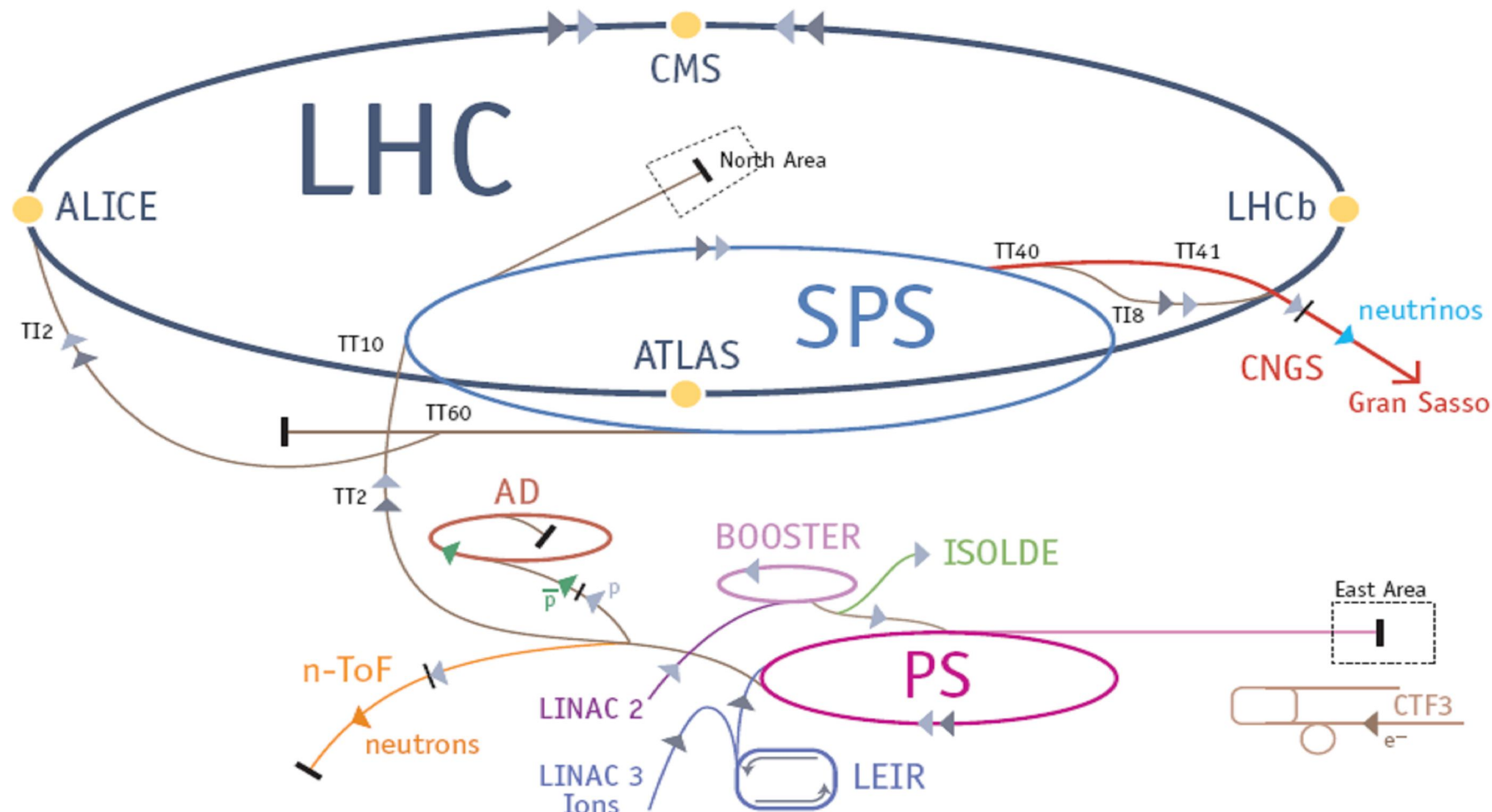
**Якою була кварк-глюонна плазма відразу після Великого
Вибуху?**

Яке походження мають космічні промені?

Large Hadron Collider (LHC)

**Зіткнення зустрічних пучків
протонів зі швидкостями
99.999999% шв. світла**



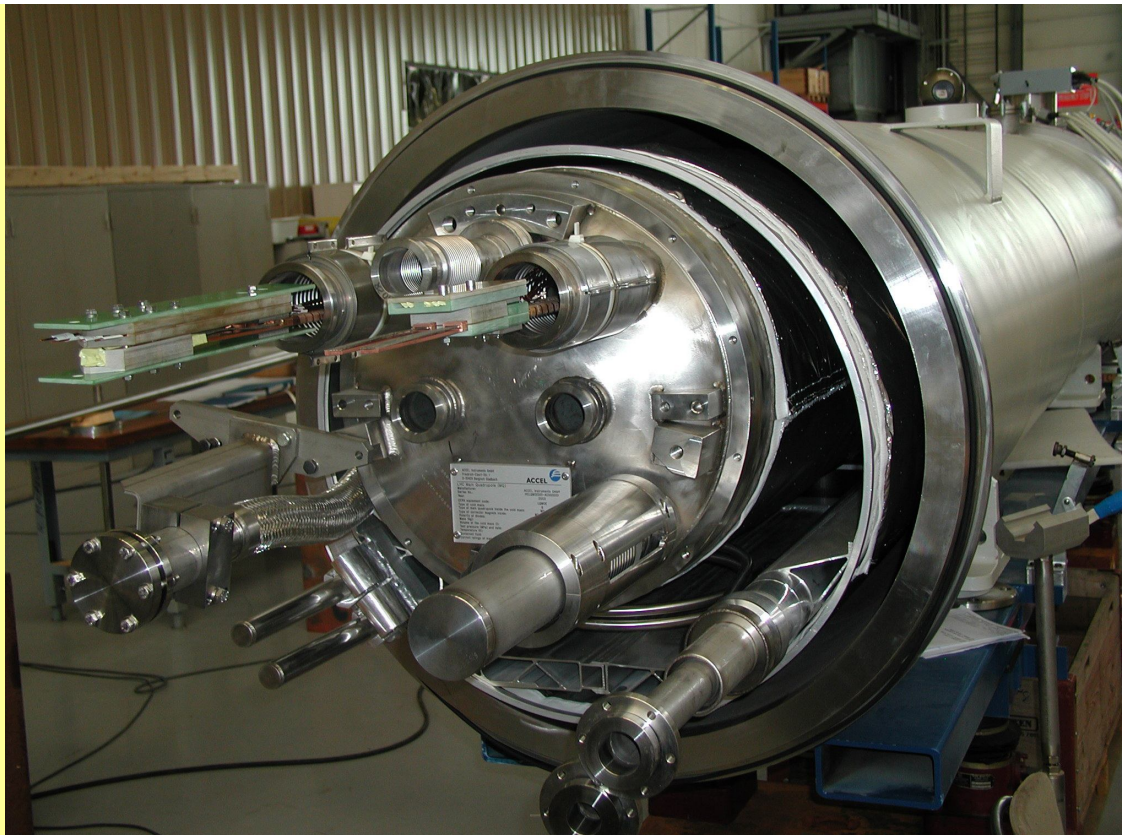


Кінетична енергія протона

Швидкість (% шв. світла)

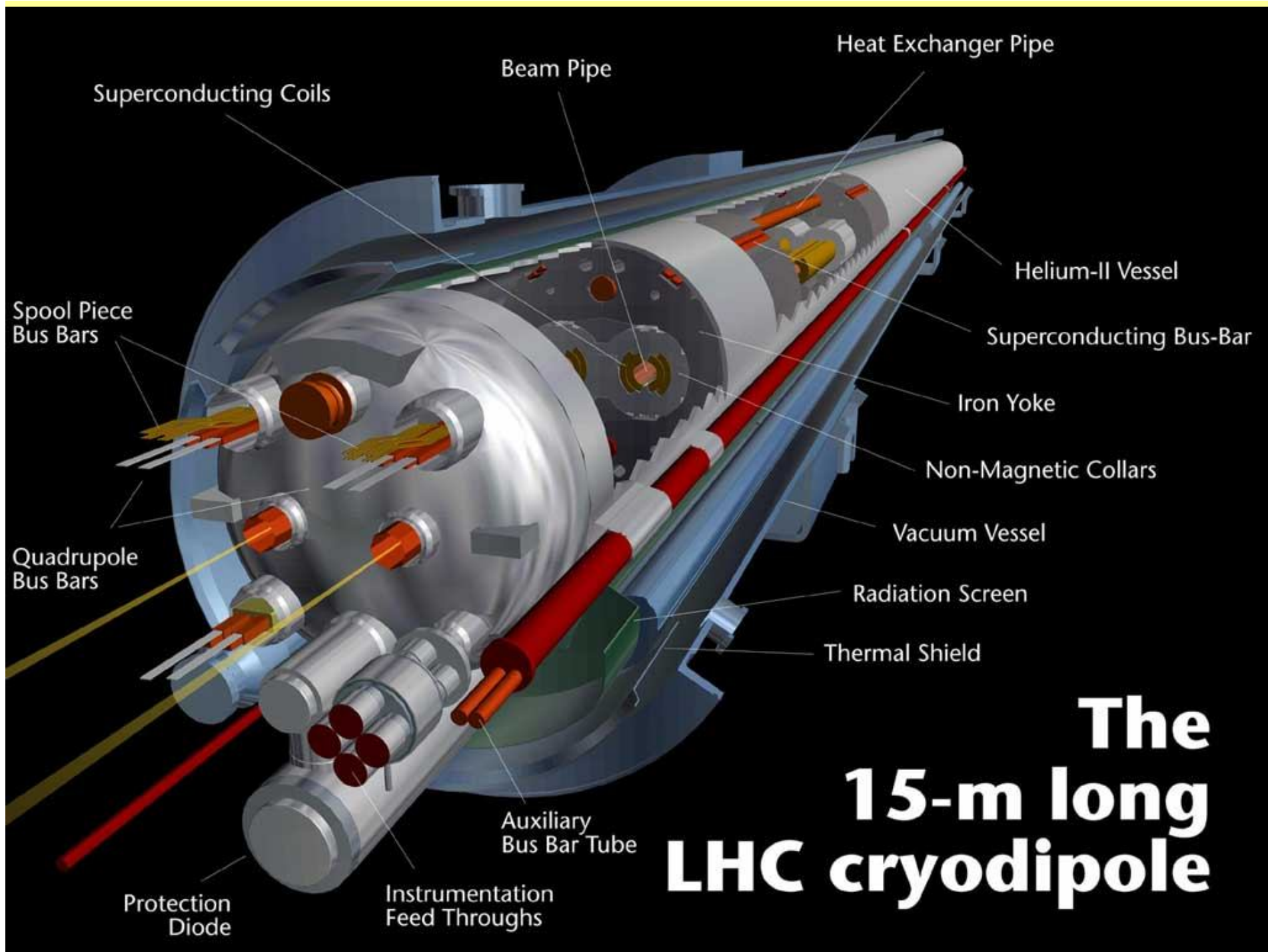
Прискорювач

50 MeV	31.4	Linac 2
1.4 GeV	91.6	PS Booster
25 GeV	99.93	PS
450 GeV	99.9998	SPS
7 TeV	99.99999991	LHC



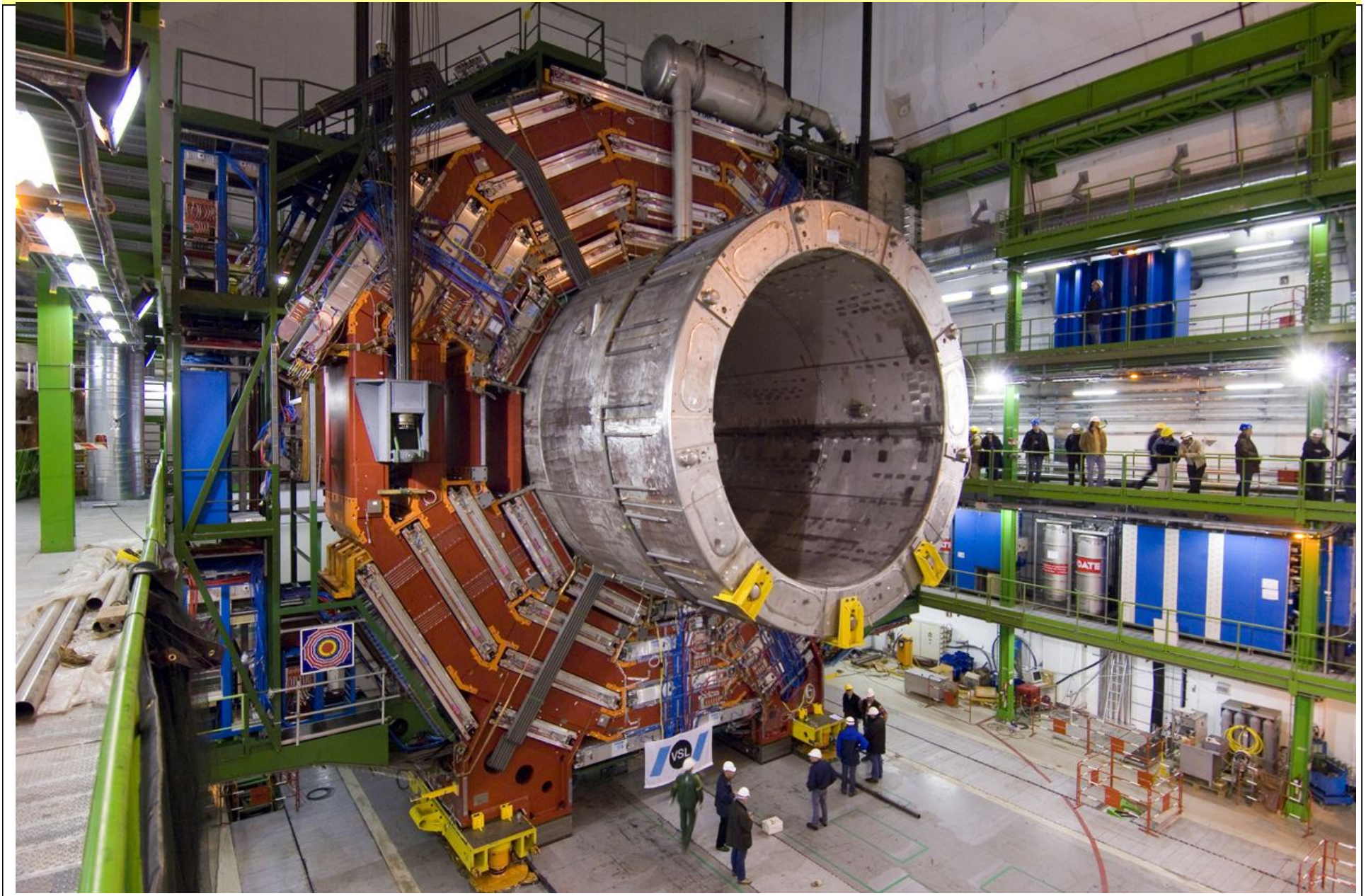
Ширина тунеля – 3,8 м











Повна вартість проекту -- понад 6.4 мільярдів євро

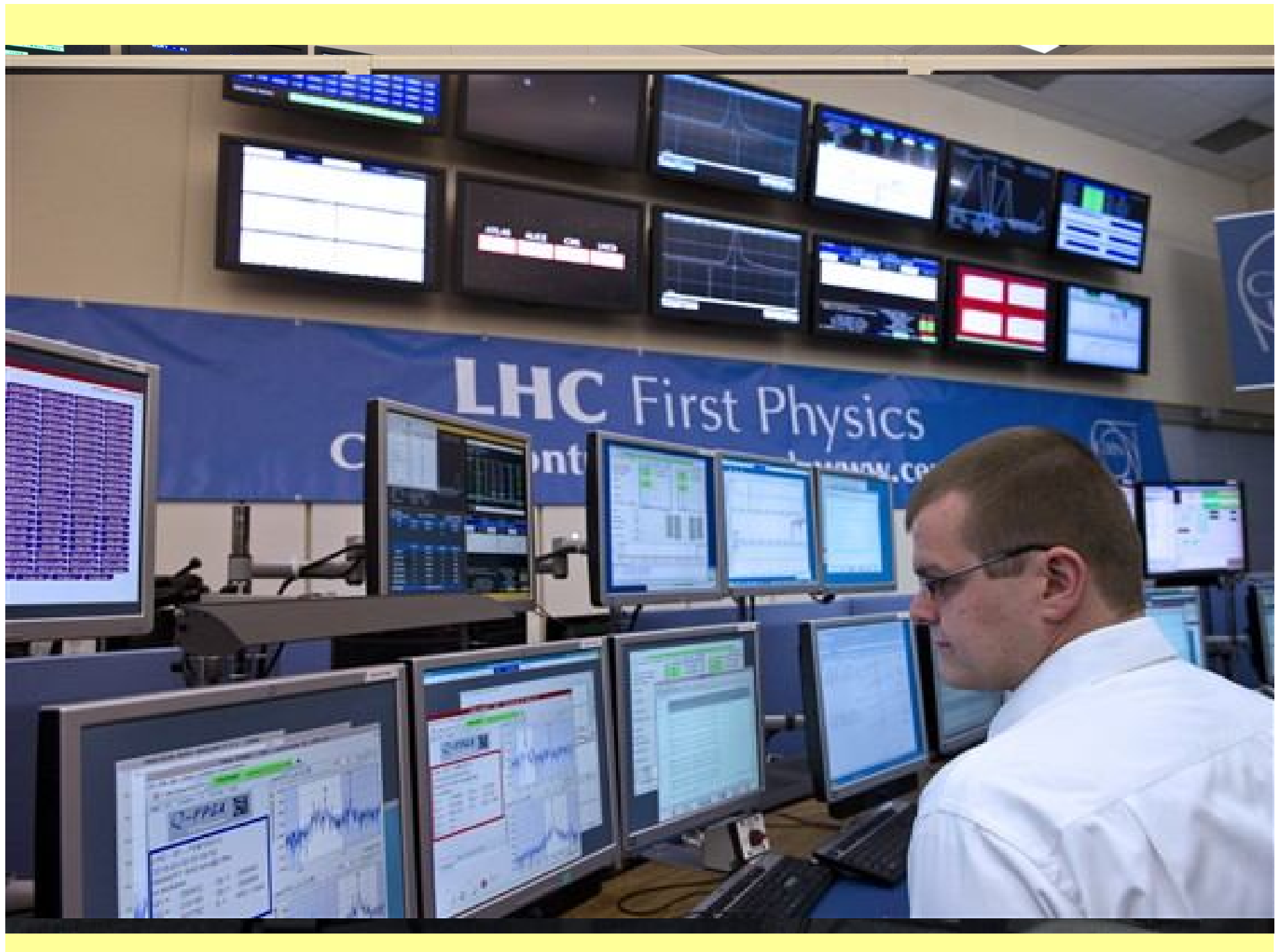
Від задуму до реалізації - 20 років

- Тиск 10^{-13} атм
- 1296 надпровідних магнітів та більше 2500 інших магнітів
- Максимальне магнітне поле 8,36 Тесла
- 96 тон рідкого гелію необхідно, щоб підтримувати магніти при температурі 1.9 K (-271.25 °C)
- Споживає близько 700 ГВт·год електроенергії на рік
- Повна енергія протонних пучків сягає 724 МДж
- 2808 груп протонів у пучку; $1,15 \cdot 10^{11}$ протонів у групі
- максимальна світність (густина потоку) = $12 \cdot 10^{27} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- щосекунди 600 мільйонів зіткнень між протонами
- 500 Mb/s інформації, 15 петабайт на рік

- **7 березня 2005 р. в шахти опустили перші магніти**
- **10 вересня 2008 р. в колайдері почали циркулювати перші пучки протонів**
- **19 вересня 2008 р. у 100 магнітах трапилося коротке замикання, внаслідок цього витекло 6 тон рідкого гелію, температура піднялася на 100 К**
- **21 жовтня 2008 р. ЛНС було урочисто відкрито**
- **30 березня 2010 р. був встановлений рекорд – зіткнулися два пучки протонів на енергії 7 TeV**

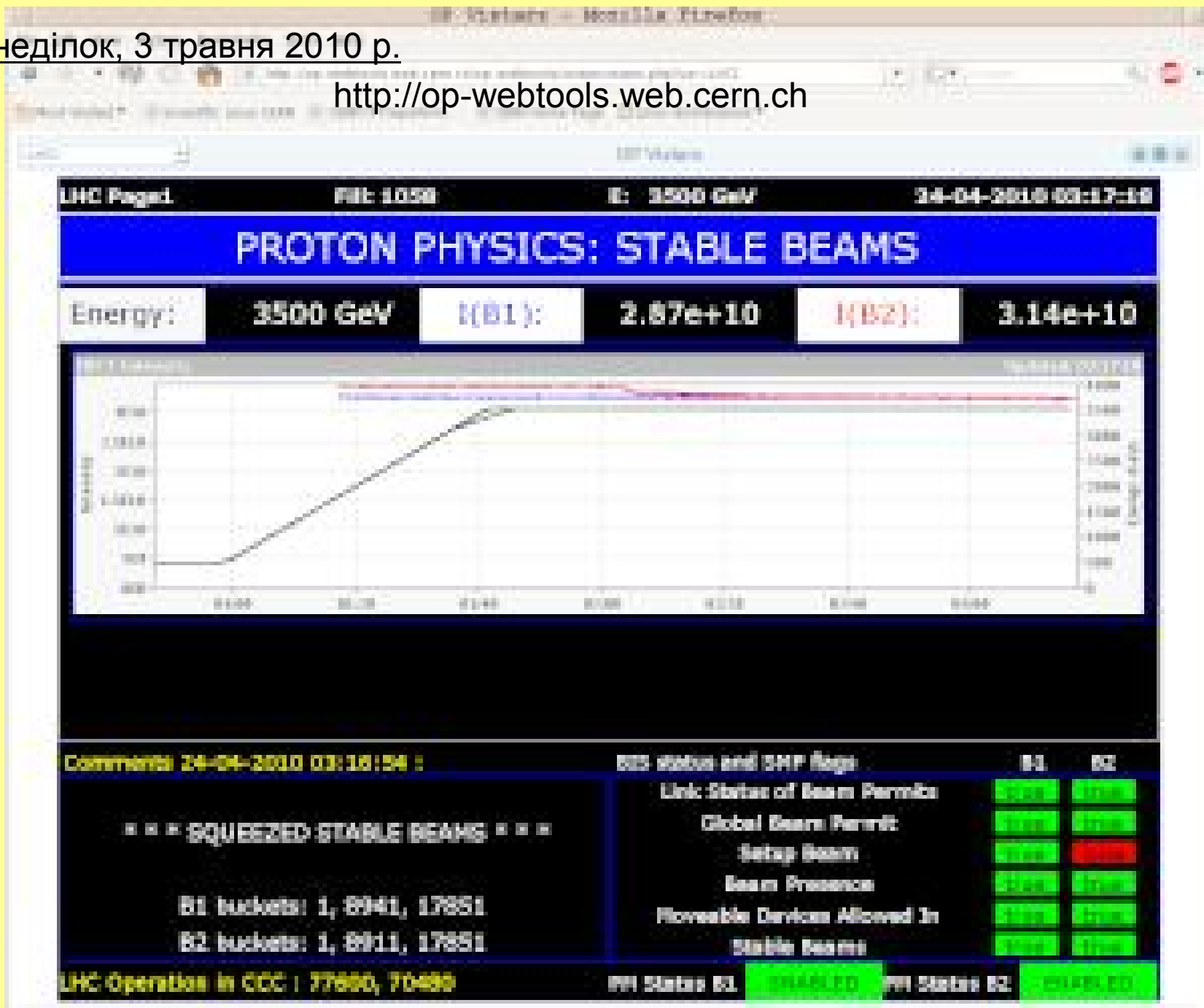
CERN Control Centre



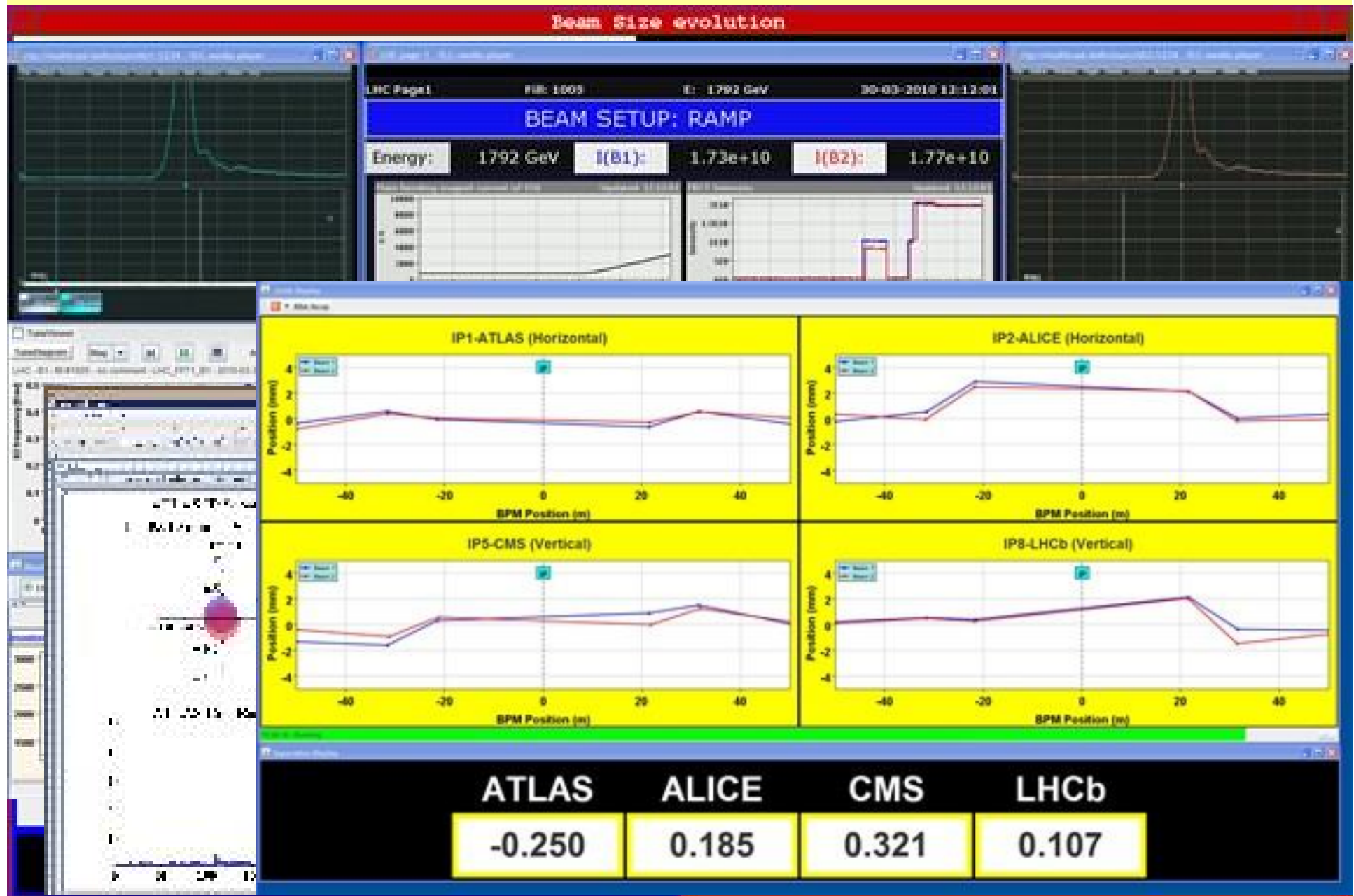


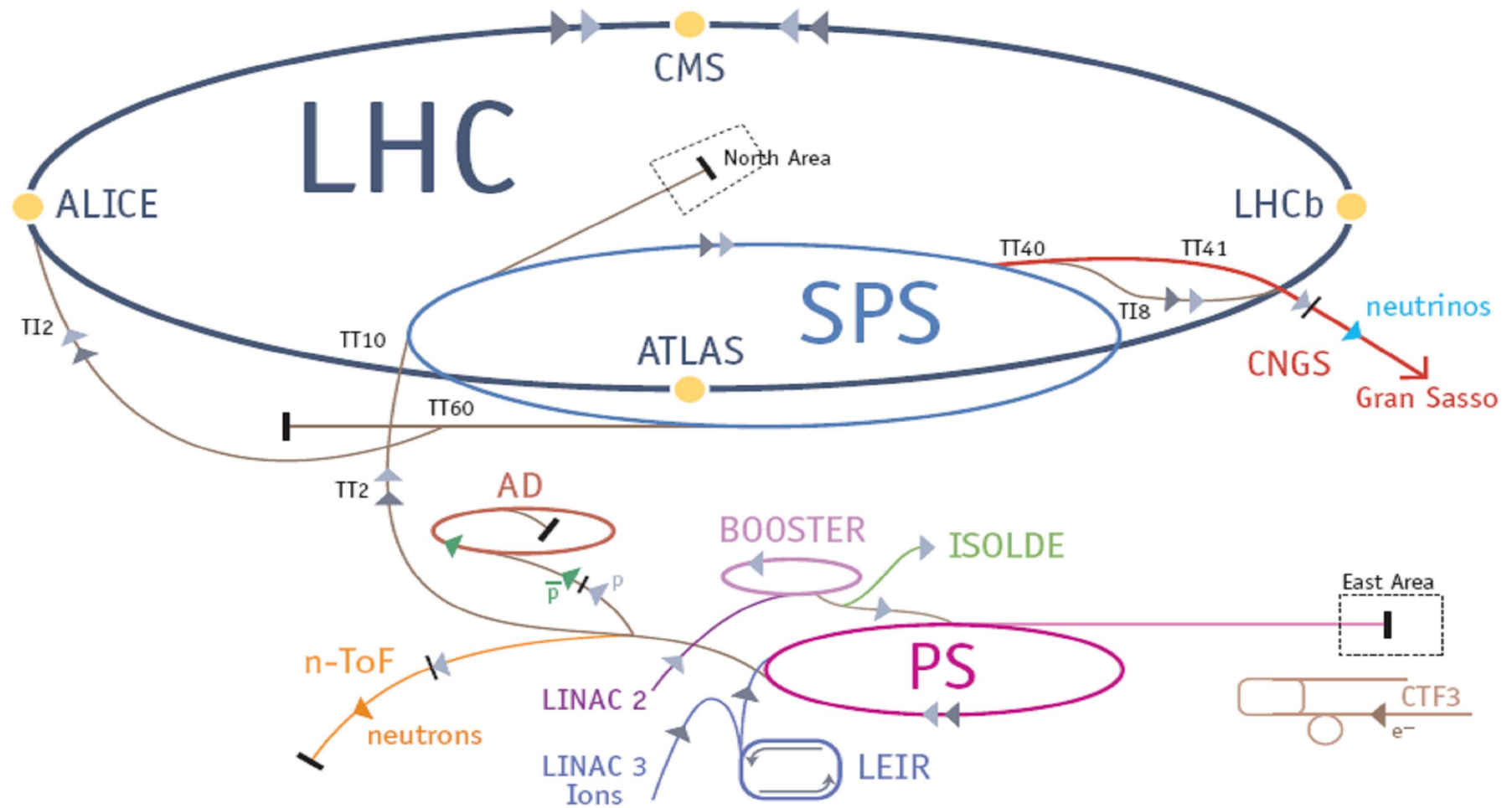
Понеділок, 3 травня 2010 р.

<http://op-webtools.web.cern.ch>



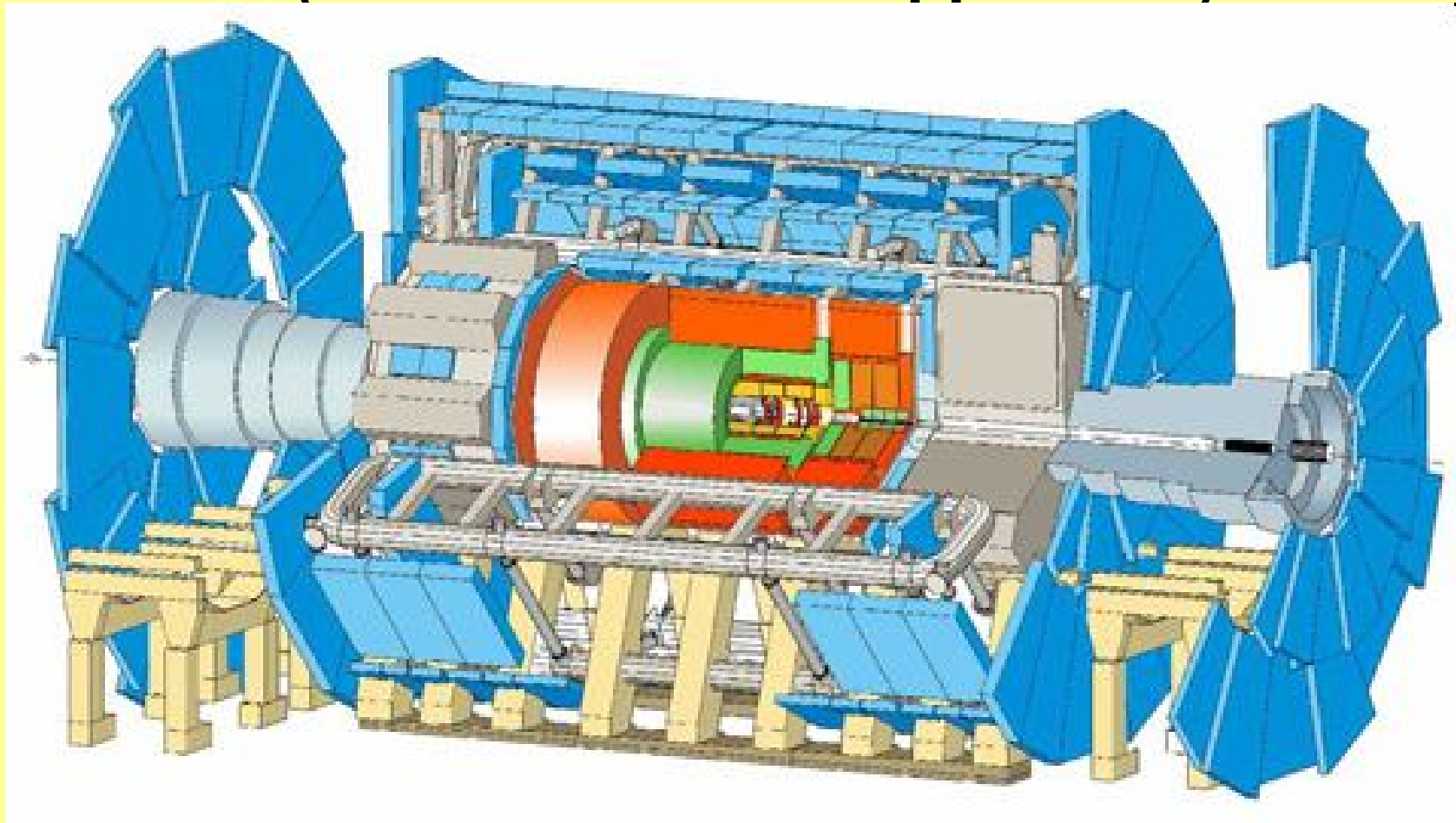
Screen capture done in the CCC during the attempt of 7 TeV collisions.





ATLAS	A Toroidal LHC Apparatus
CMS	Compact Muon Solenoid
LHCb	LHC-beauty
ALICE	A Large Ion Collider Experiment
TOTEM	Total Cross Section, Elastic Scattering and Diffraction Dissociation
LHCf	LHC-forward

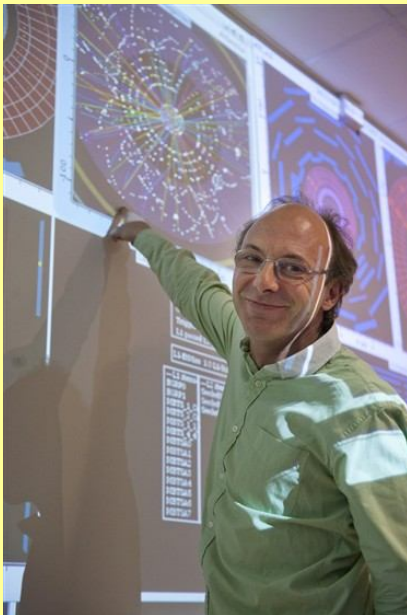
ATLAS(A Toroidal LHC ApparatuS)



46 м довжини, 25 м висоти, 25 м ширини.
Маса 7000 тон, струм 10000 Ампер

ATLAS є найбільшим детектором, створеним людством.

ATLAS Control room



**Енергія зіткнень 7 TeV (3.5 + 3.5)
Всього зіткнень (на 7 TeV) 66 мільйонів**

Більше 2900 науковців із 172 університетів
з 37 країн

Collision Event at 7 TeV



2010-03-30, 12:58 CEST
Run 152166, Event 316199

<http://atlas.web.cern.ch/Atlas/public/EVTDISPLAY/events.html>





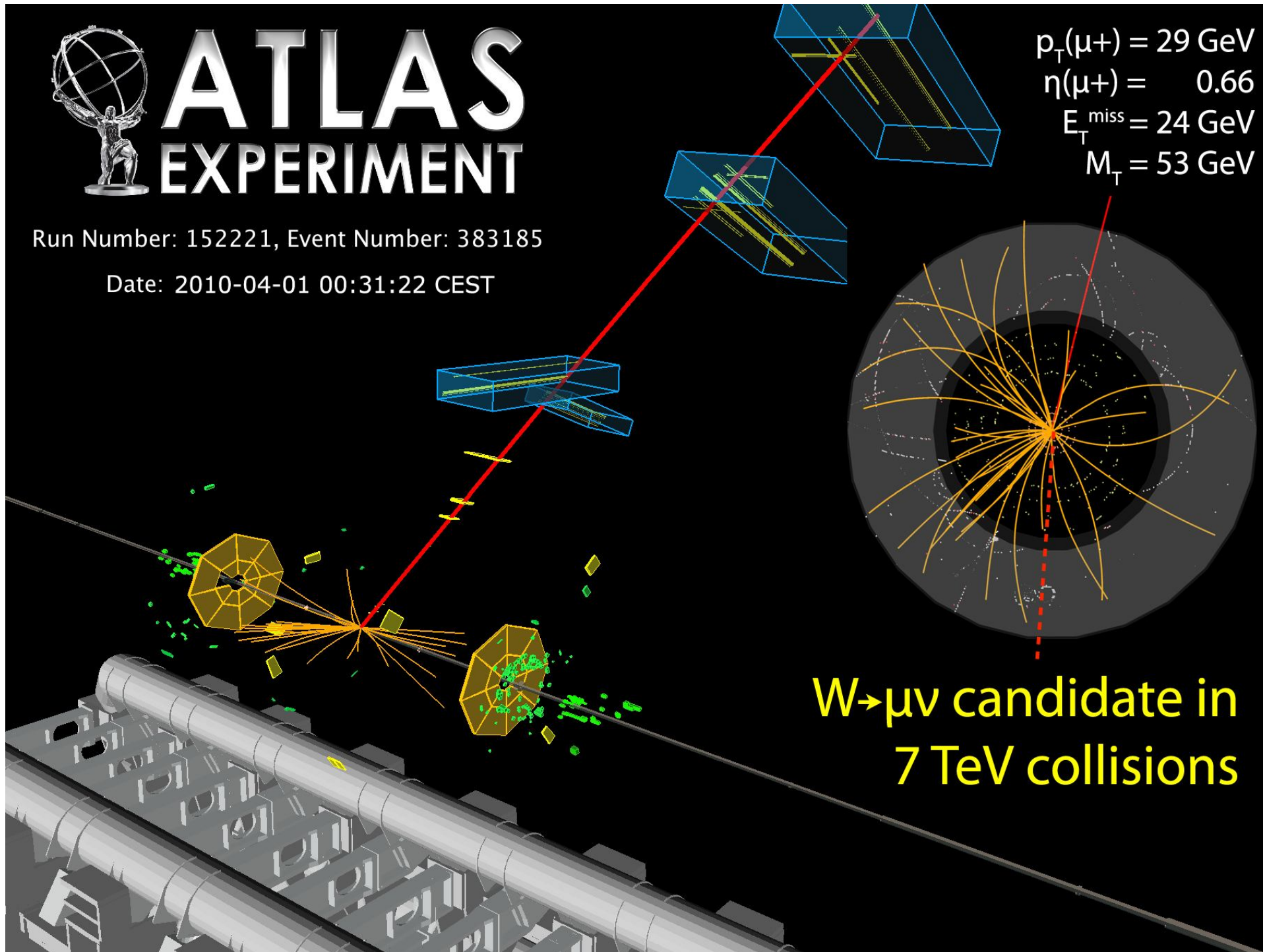
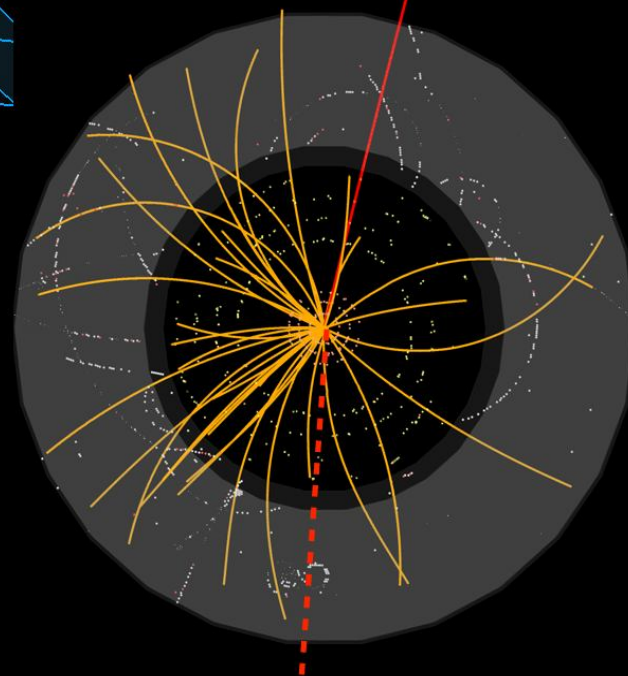
ATLAS EXPERIMENT

Run Number: 152221, Event Number: 383185

Date: 2010-04-01 00:31:22 CEST

$$\begin{aligned} p_T(\mu^+) &= 29 \text{ GeV} \\ \eta(\mu^+) &= 0.66 \\ E_T^{\text{miss}} &= 24 \text{ GeV} \\ M_T &= 53 \text{ GeV} \end{aligned}$$

**$W \rightarrow \mu\nu$ candidate in
7 TeV collisions**

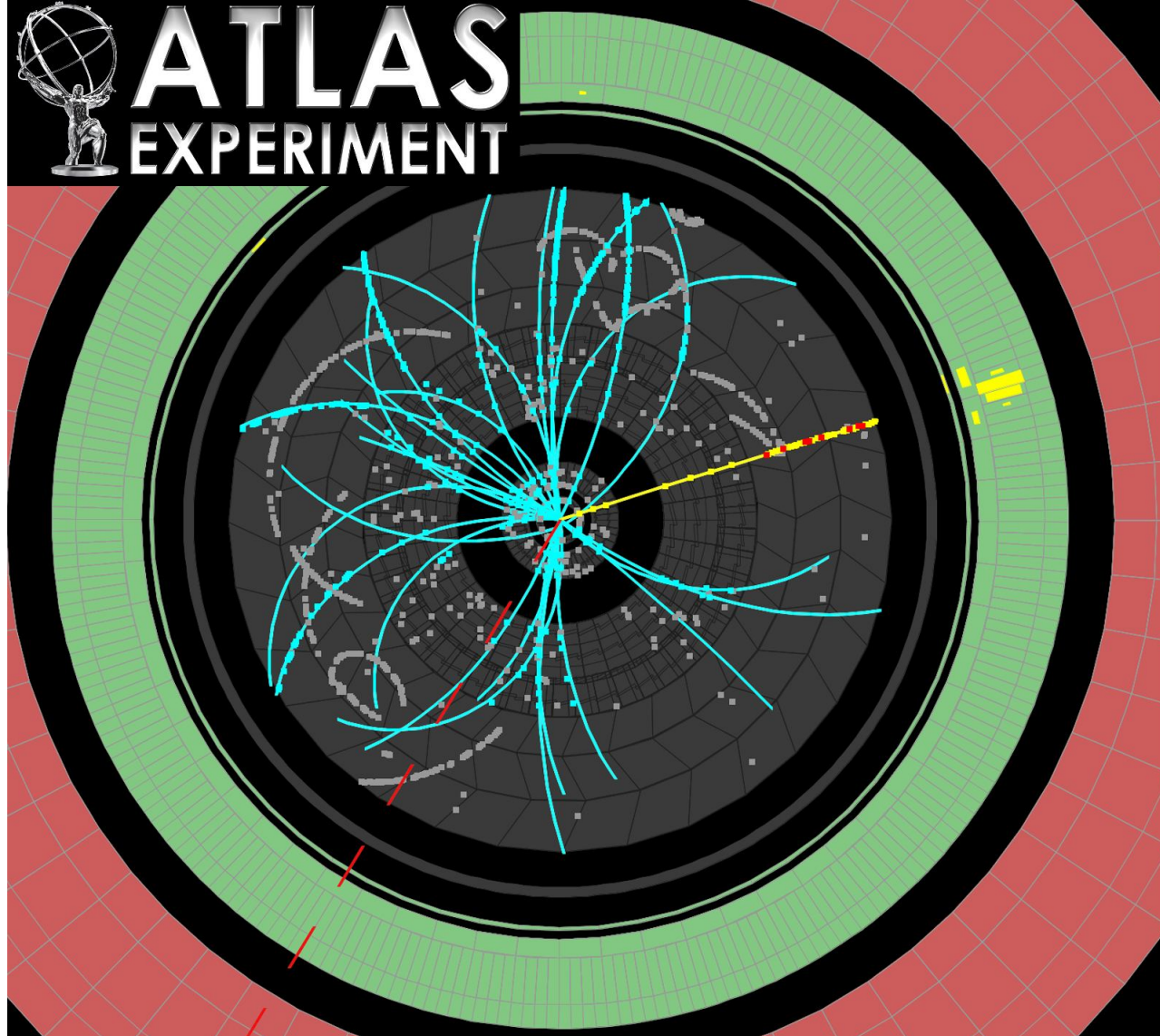
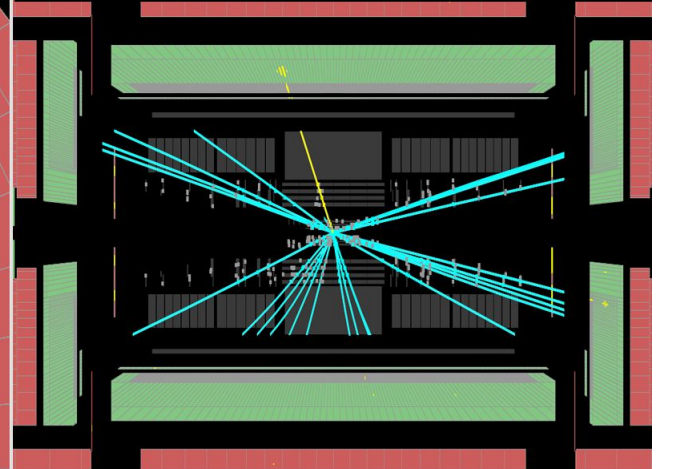




ATLAS EXPERIMENT

Run Number: 152409, Event Number: 5966801

Date: 2010-04-05 06:54:50 CEST



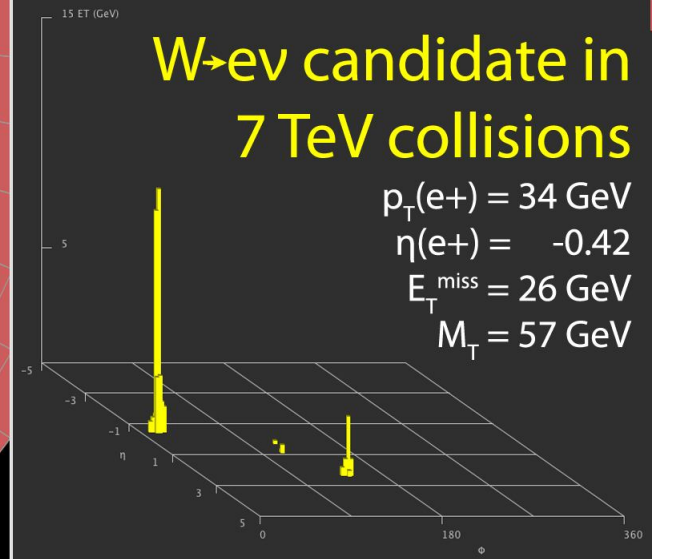
W \rightarrow ev candidate in 7 TeV collisions

$$p_T(e^+) = 34 \text{ GeV}$$

$$\eta(e^+) = -0.42$$

$$E_T^{\text{miss}} = 26 \text{ GeV}$$

$$M_T = 57 \text{ GeV}$$



CMS –compact muon solenoid



Більше 2000 науковців співпрацюють в проекті CMS (155 установ з 37 країн)

TRIGGER, DATA ACQUISITION & OFFLINE COMPUTING

Austria, Brazil, CERN, Finland, France, Greece, Hungary, Ireland, Italy, Korea, Poland, Portugal, Switzerland, UK, USA

TRACKER

Austria, Belgium, CERN, Finland, France, Germany, Italy, Japan*, Mexico, New Zealand, Switzerland, UK, USA

CRYSTAL ECAL

Belarus, CERN, China, Croatia, Cyprus, France, Italy, Japan*, Portugal, Russia, Serbia, Switzerland, UK, USA

PRESHOWER

Armenia, CERN, Greece, India, Russia, Taiwan

RETURN YOKE

Barrel: Czech Rep., Estonia, Germany, Greece, Russia
Endcap: Japan*, USA

SUPERCONDUCTING MAGNET

All countries in CMS contribute to Magnet financing in particular: Finland, France, Italy, Japan*, Korea, Switzerland, USA

FEET

Pakistan
China

FORWARD CALORIMETER

Hungary, Iran, Russia, Turkey, USA

HCAL

Barrel: Bulgaria, India, Spain*, USA
Endcap: Belarus, Bulgaria, Georgia, Russia, Ukraine, Uzbekistan
HO: India

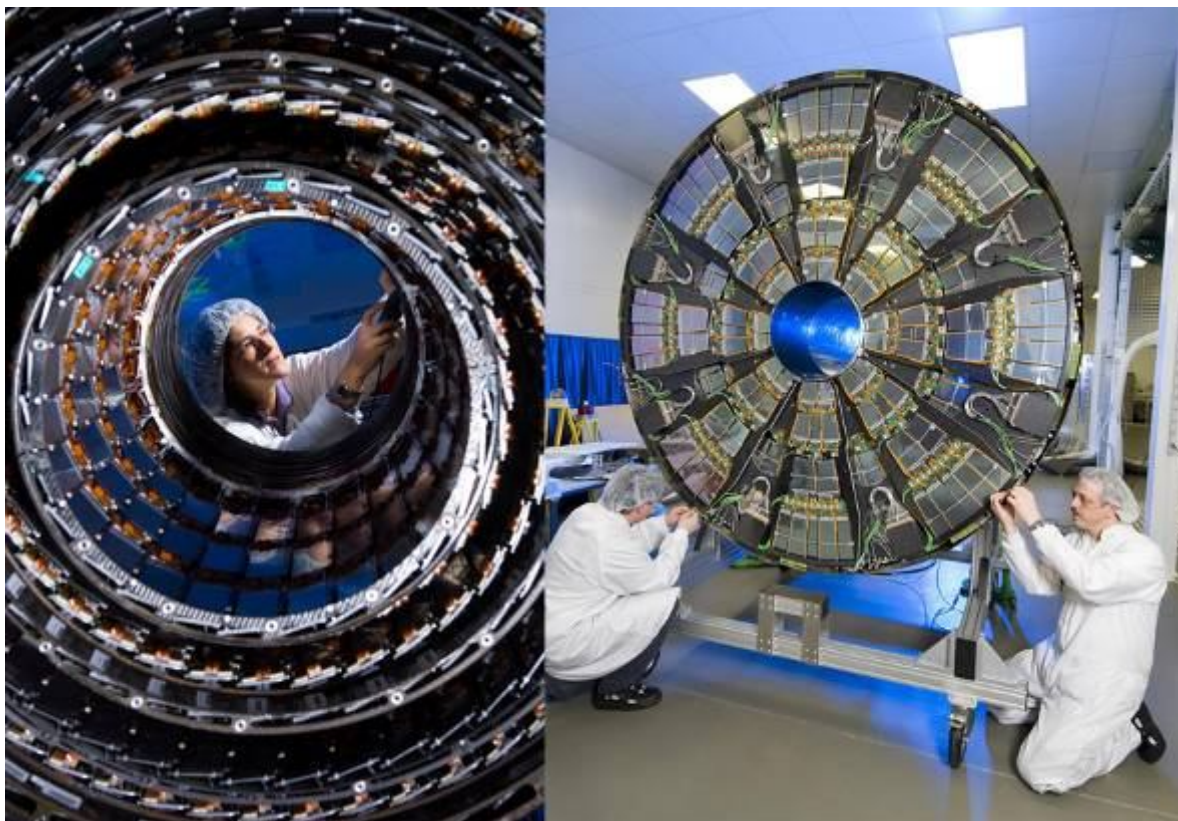
MUON CHAMBERS

Barrel: Austria, Bulgaria, CERN, China, Germany, Hungary, Italy, Spain
Endcap: Belarus, Bulgaria, China, Colombia, Korea, Pakistan, Russia, USA

Total weight : 12500 T
Overall diameter : 15.0 m
Overall length : 21.5 m
Magnetic field : 4 Tesla

* Only through industrial contracts

Silicon Tracker



Finely segmented silicon sensors (strips and pixels) enable charged particles to be tracked and their momenta to be measured

Similar to a 70 Megapixel digital camera taking 40 million pictures per second!

Purpose: measure trajectories & momenta of charged particles

Electromagnetic Calorimeter (ECAL)

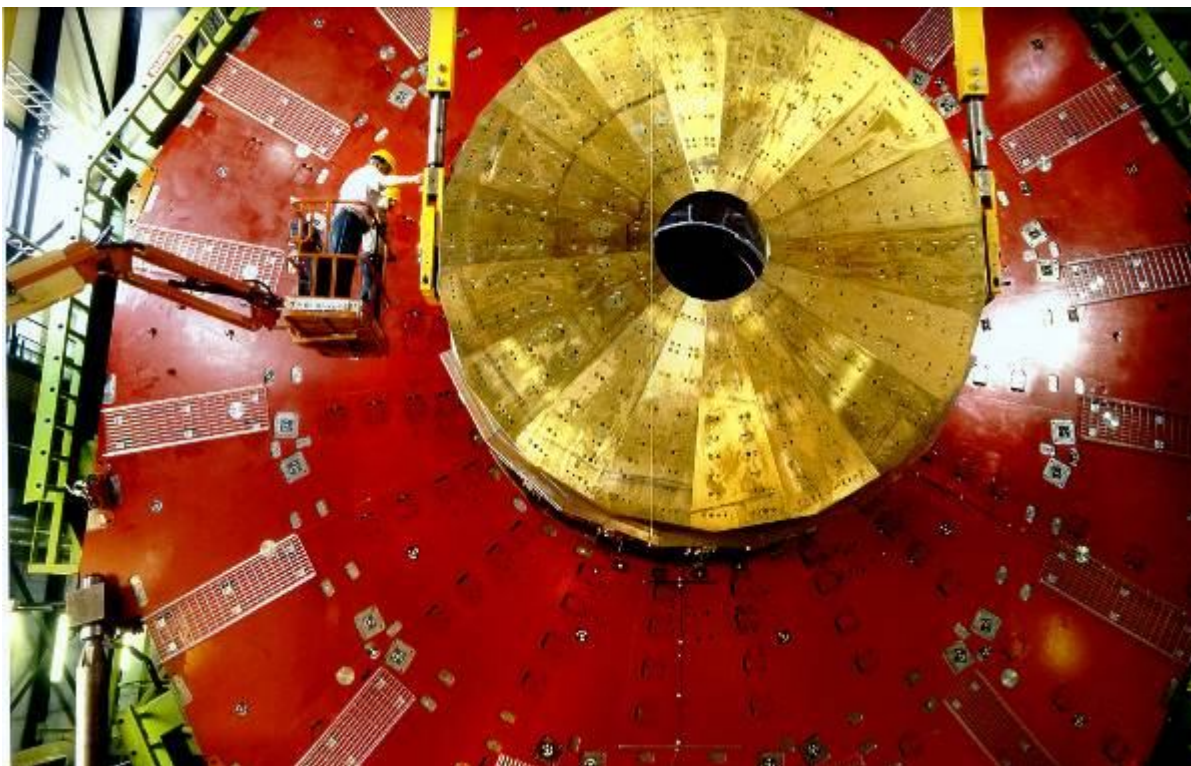


80000 crystals of PbWO_4 (lead tungstate) produce light from incident particles. The amount of light depends on the energy of the incoming particle

~80% metal – transparent!

Purpose: measure energy of electrons, positrons and photons

Hadron Calorimeter (HCAL)

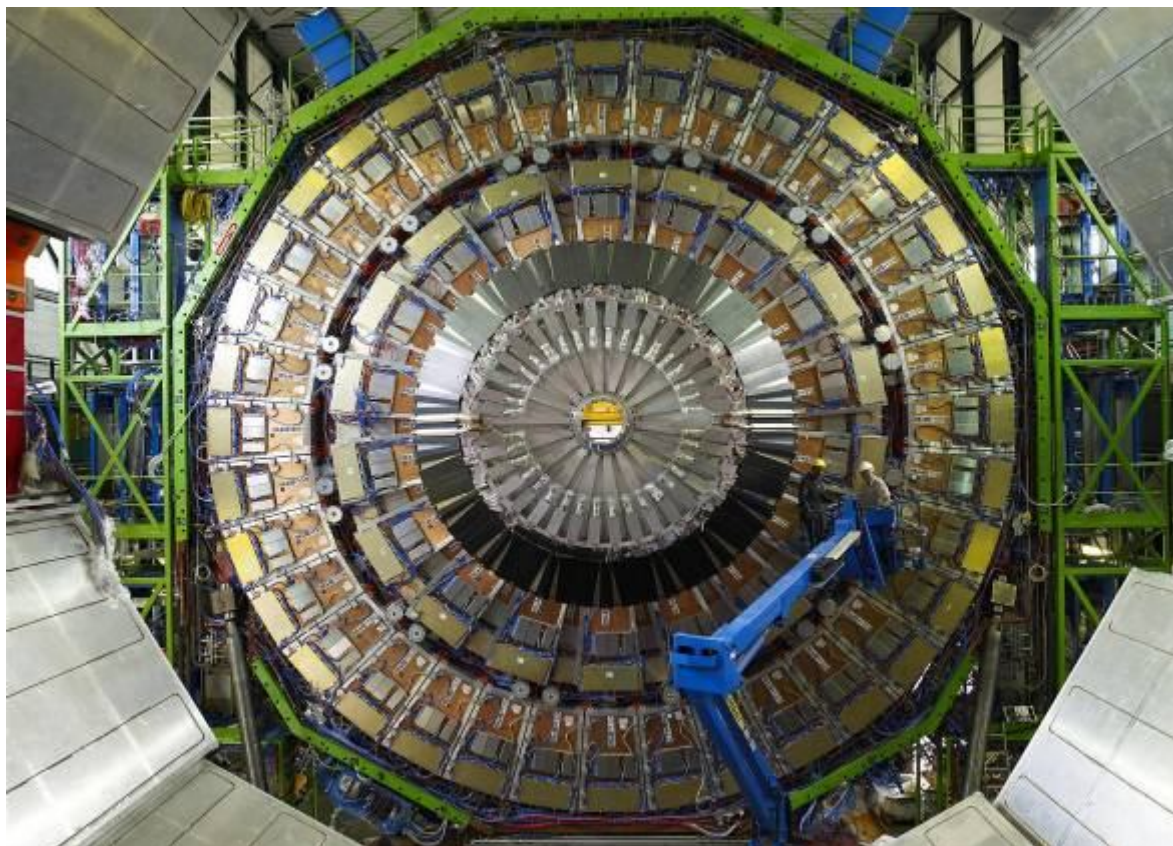


Layers of dense material (brass or steel) interleaved with plastic scintillators or quartz fibres.

Weapons to ploughshares:
Brass for endcap HCAL
recuperated from Russian
warships!

Purpose: measure energy of hadrons (e.g. protons, neutrons..)

Muon Detectors



CMS uses three types of muon detector: drift tubes, cathode strip chambers and resistive plate chambers.

Total area of detectors is about the same as a football pitch – 6000m^2

Purpose: identify muons and measure their momenta

Superconducting Solenoid

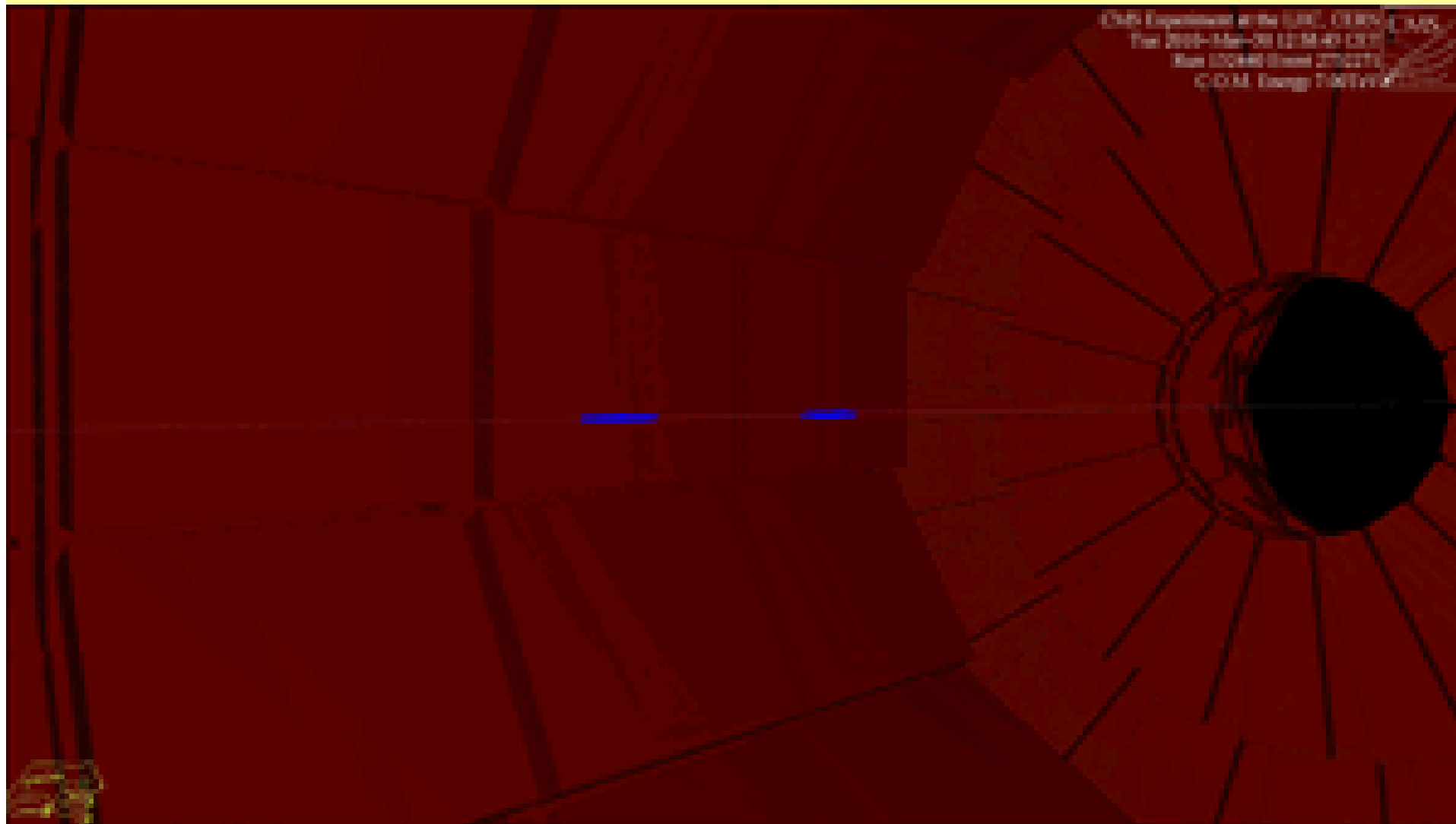


13m long, 6m inner diameter
largest superconducting
solenoid ever made.

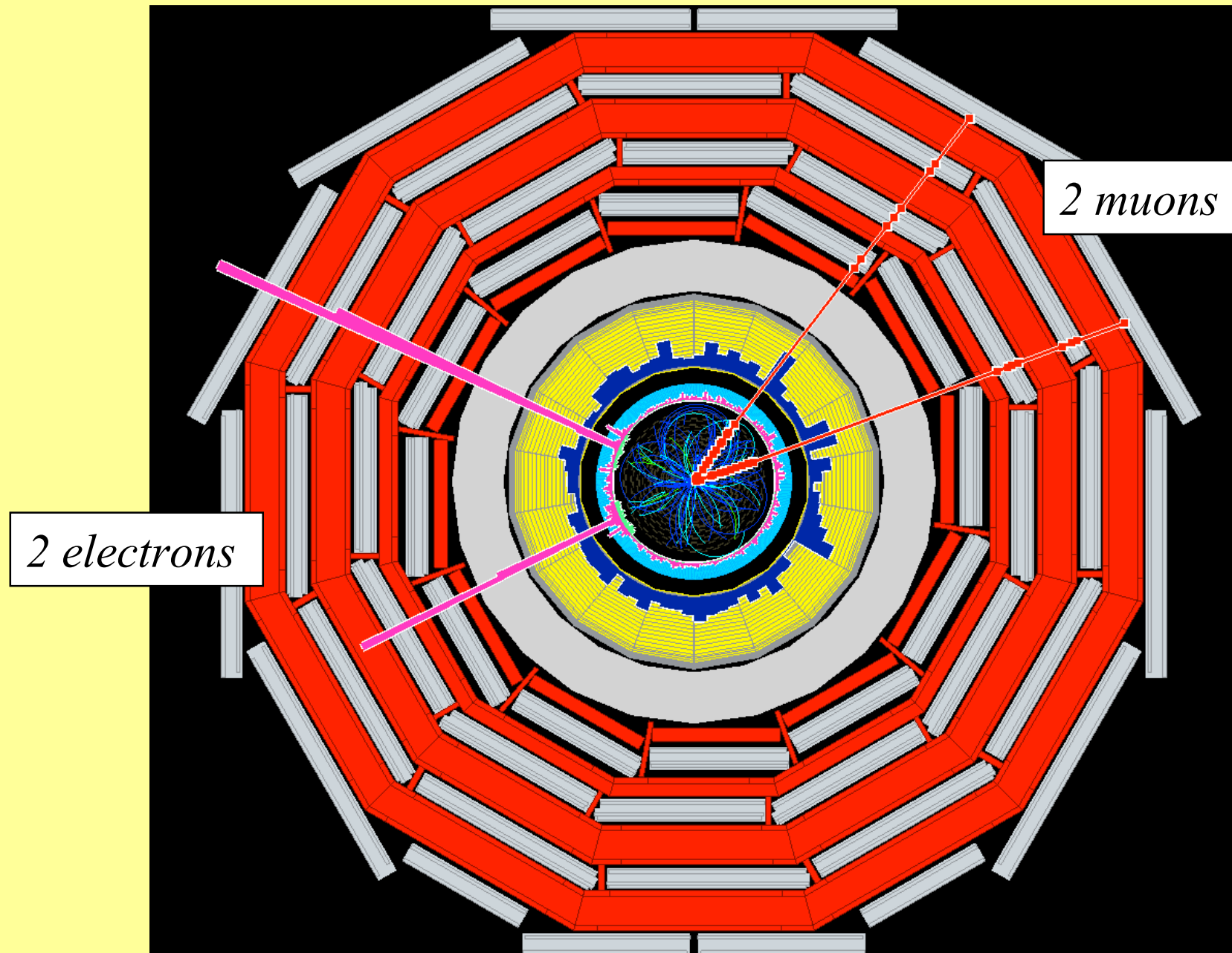
Niobium-Titanium wires
cooled to -271°C carry 20000
Amps to provide a 4 teslas
magnetic field – about
100000 times stronger than
that of the earth

Purpose: Provide a magnetic field for bending charged particles

CMS event

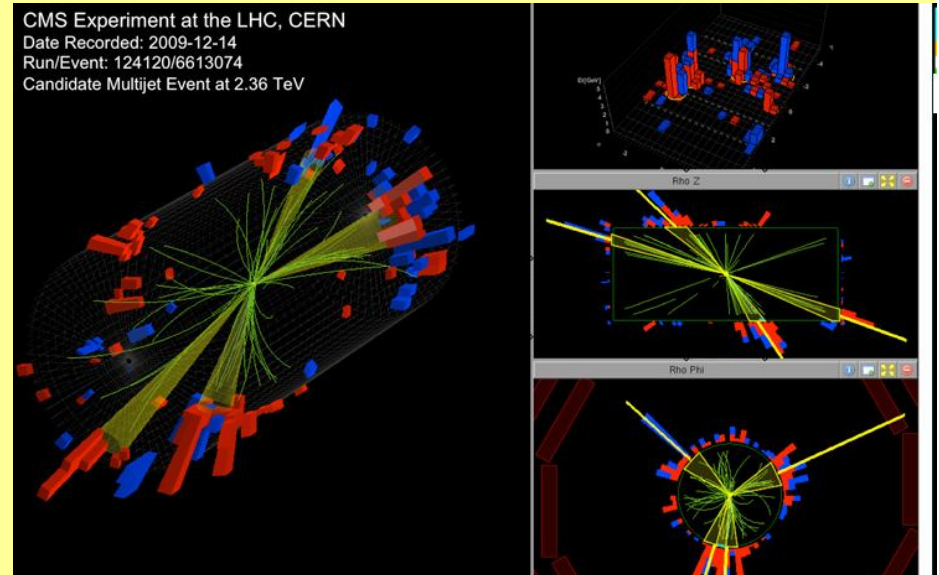
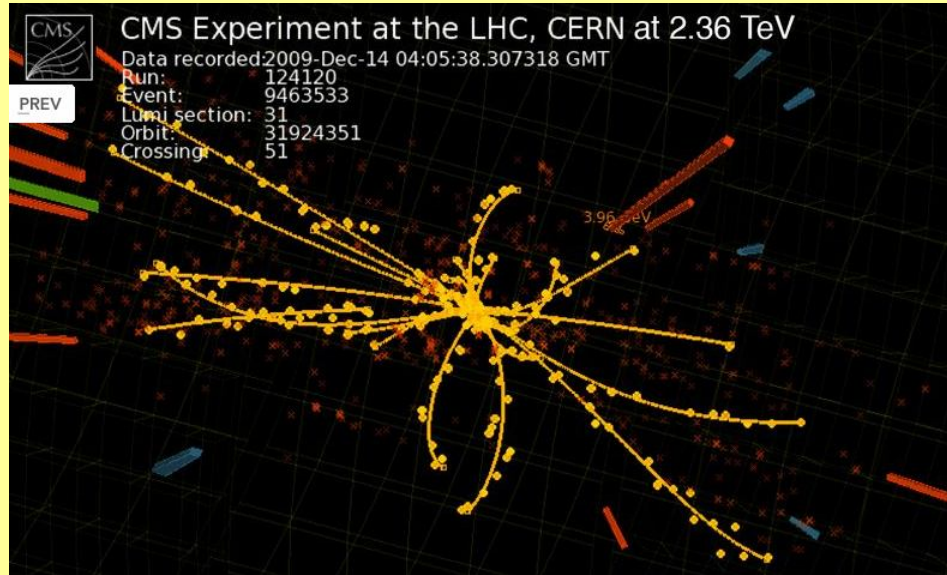


A "Higgs" event in CMS

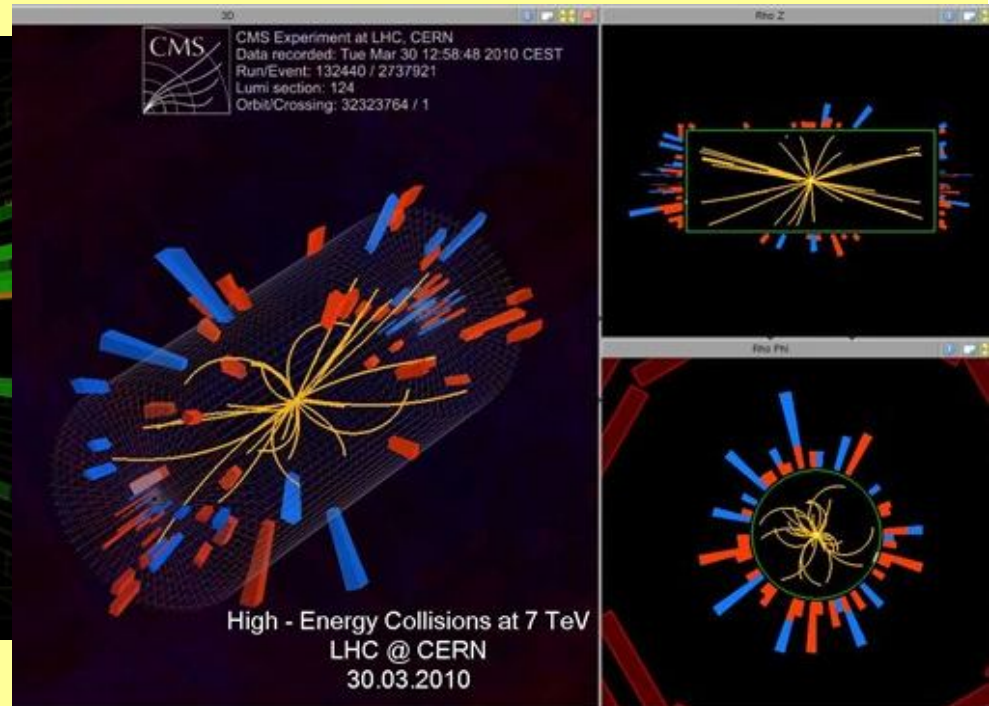
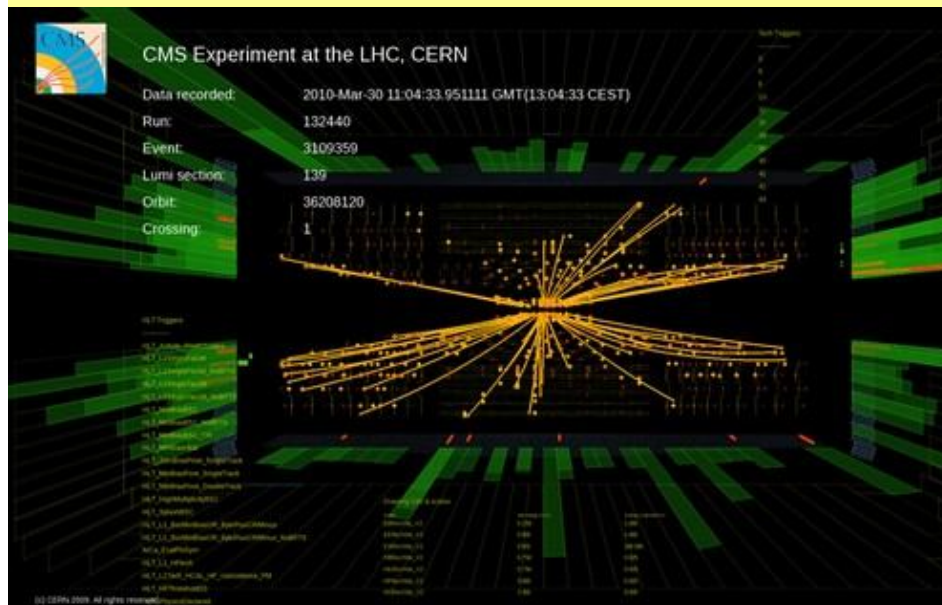


CMS Events

14 грудня 2009р. Зіткнення на 2.36 ТеВ.

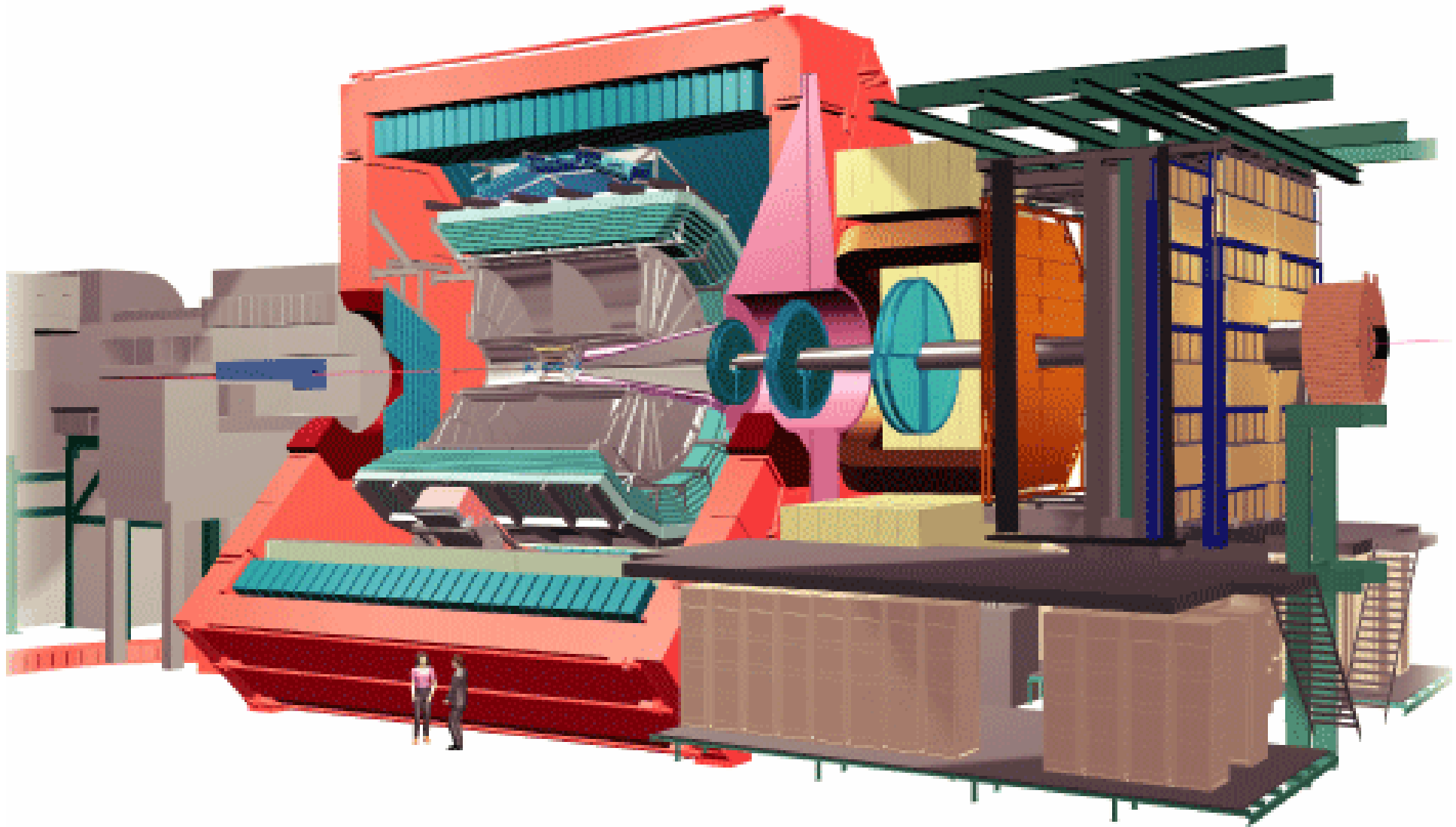


30 березня 2010р. Зіткнення на 7 ТеВ



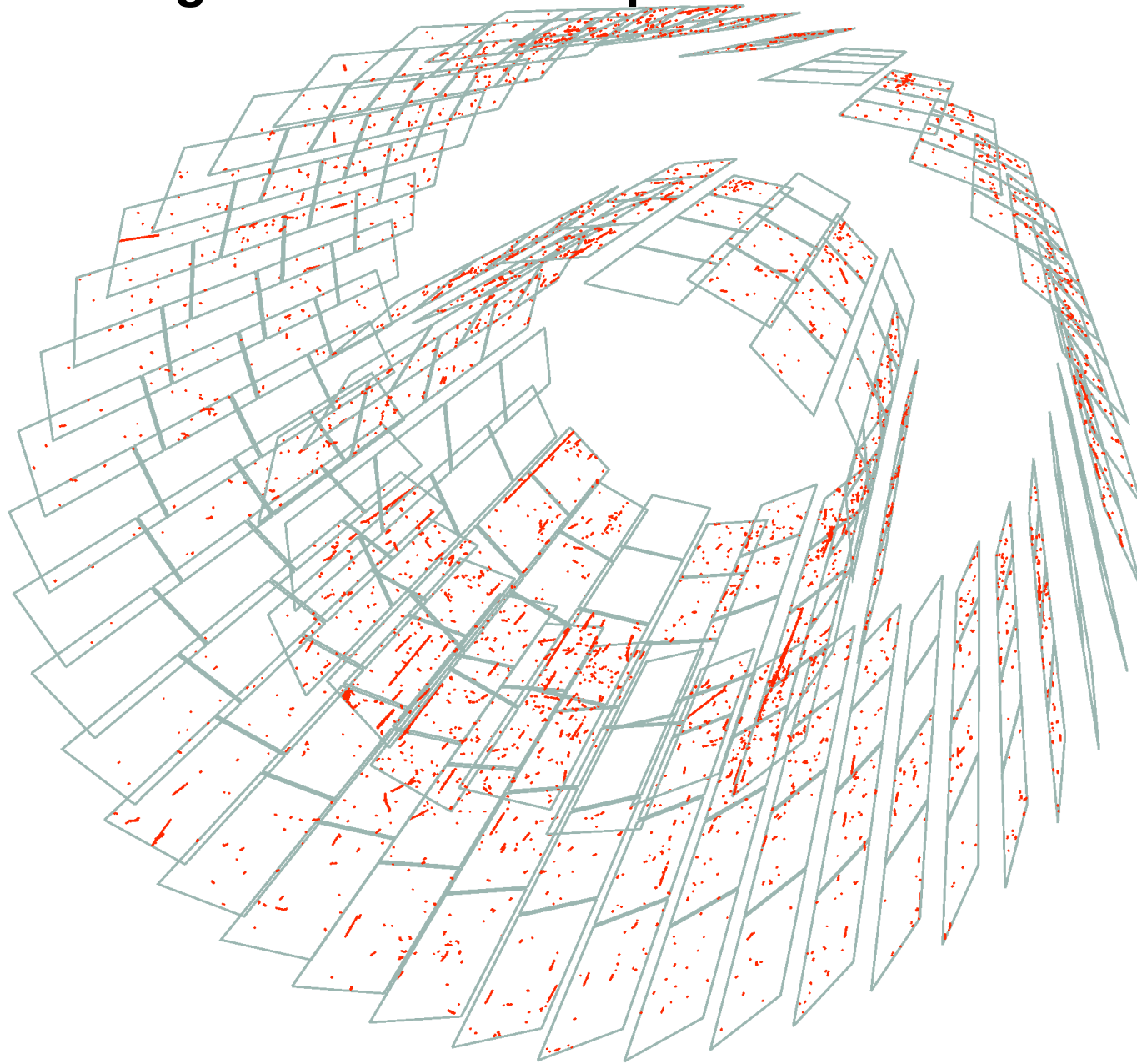
Джерело: cms.web.cern.ch/cms/Media/

ALICE – A Large Ion Collider Experiment

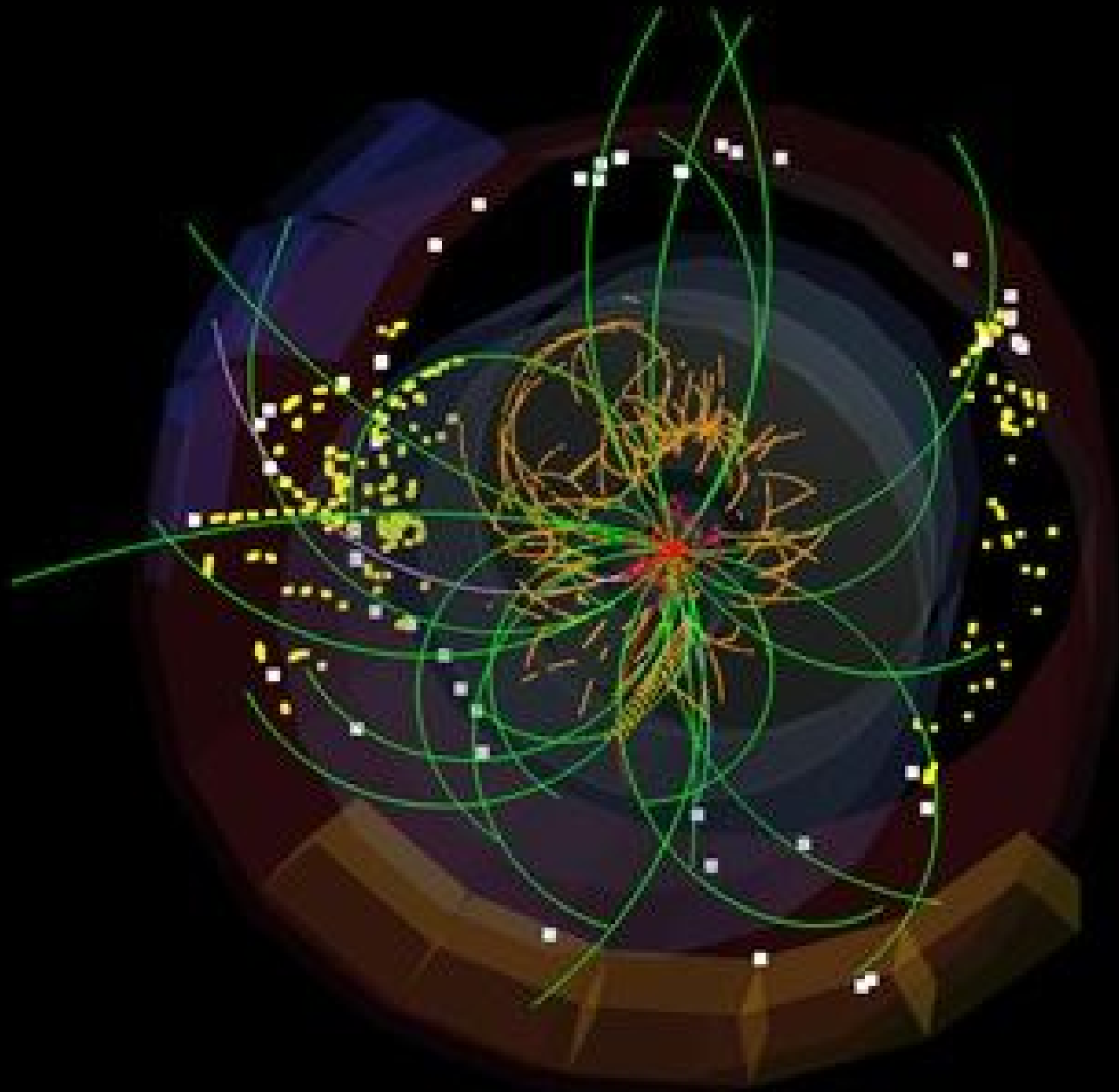


1000 науковців, 94 установ, 28 країн

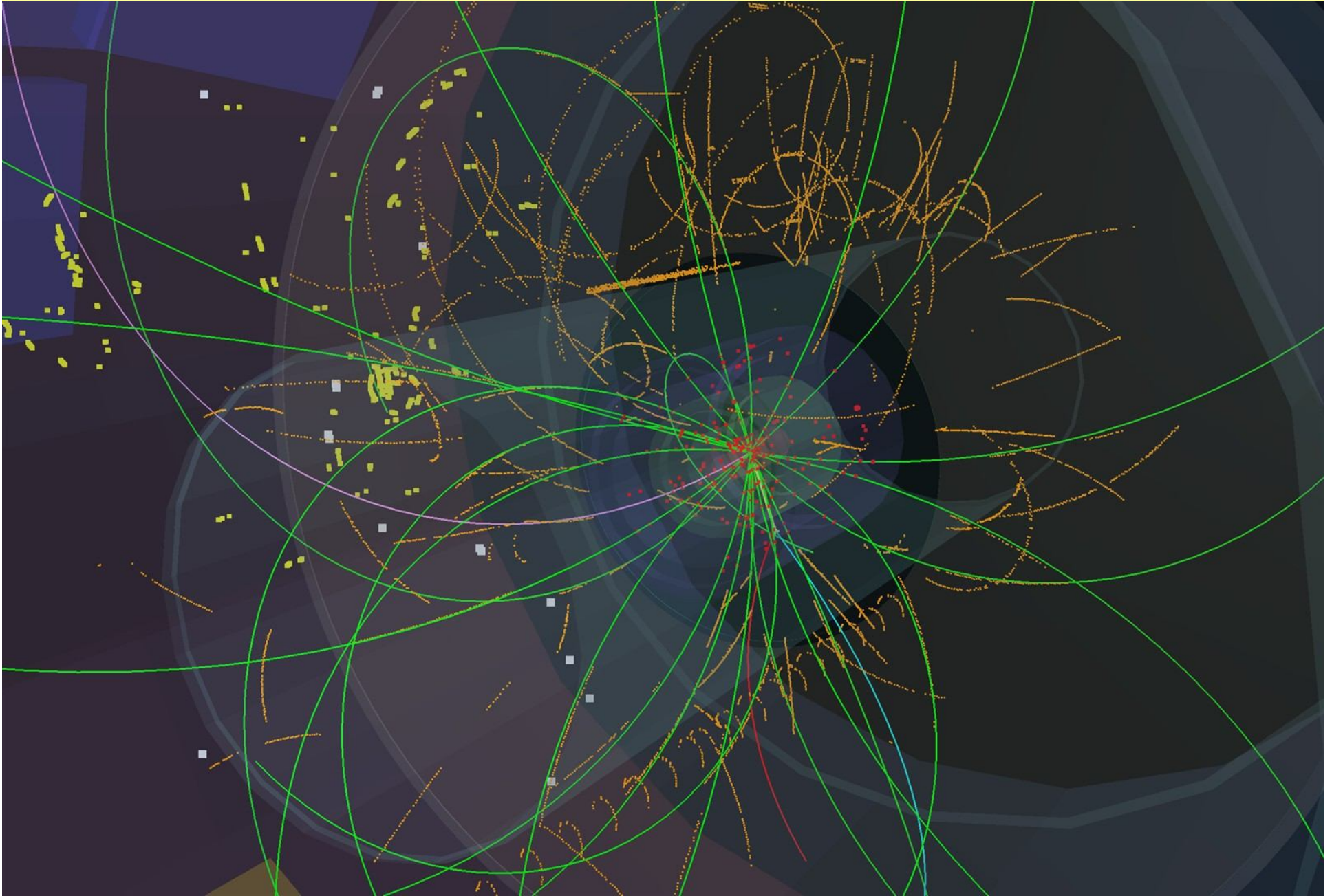
ALICE – A Large Ion Collider Experiment



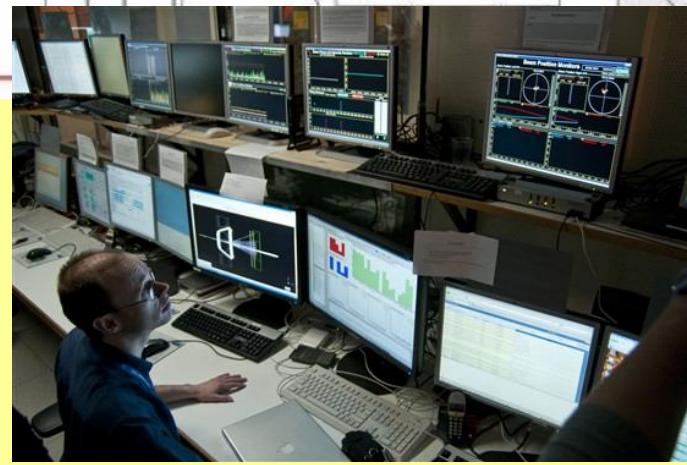
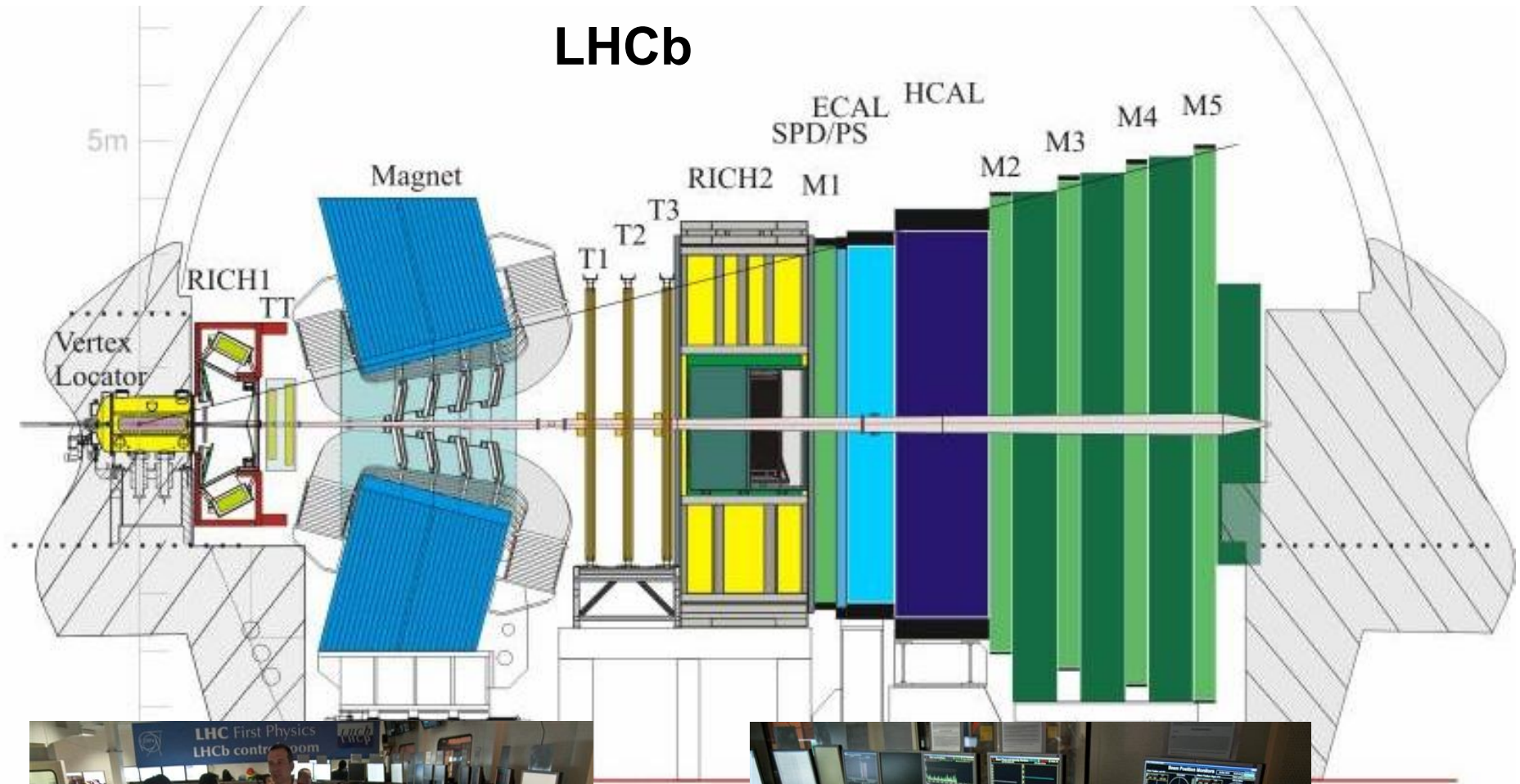
ALICE – A Large Ion Collider Experiment



ALICE – A Large Ion Collider Experiment



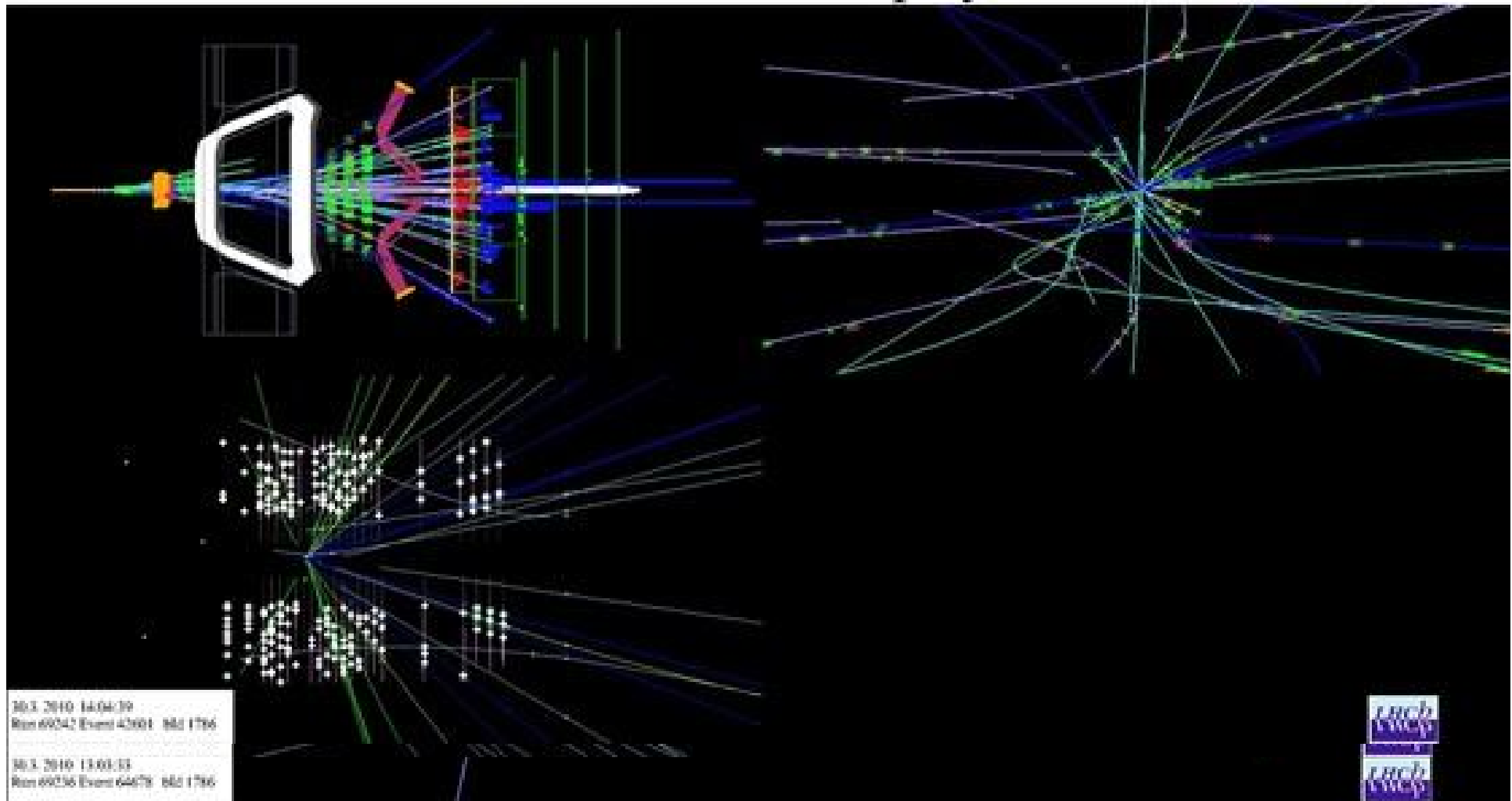
LHCb



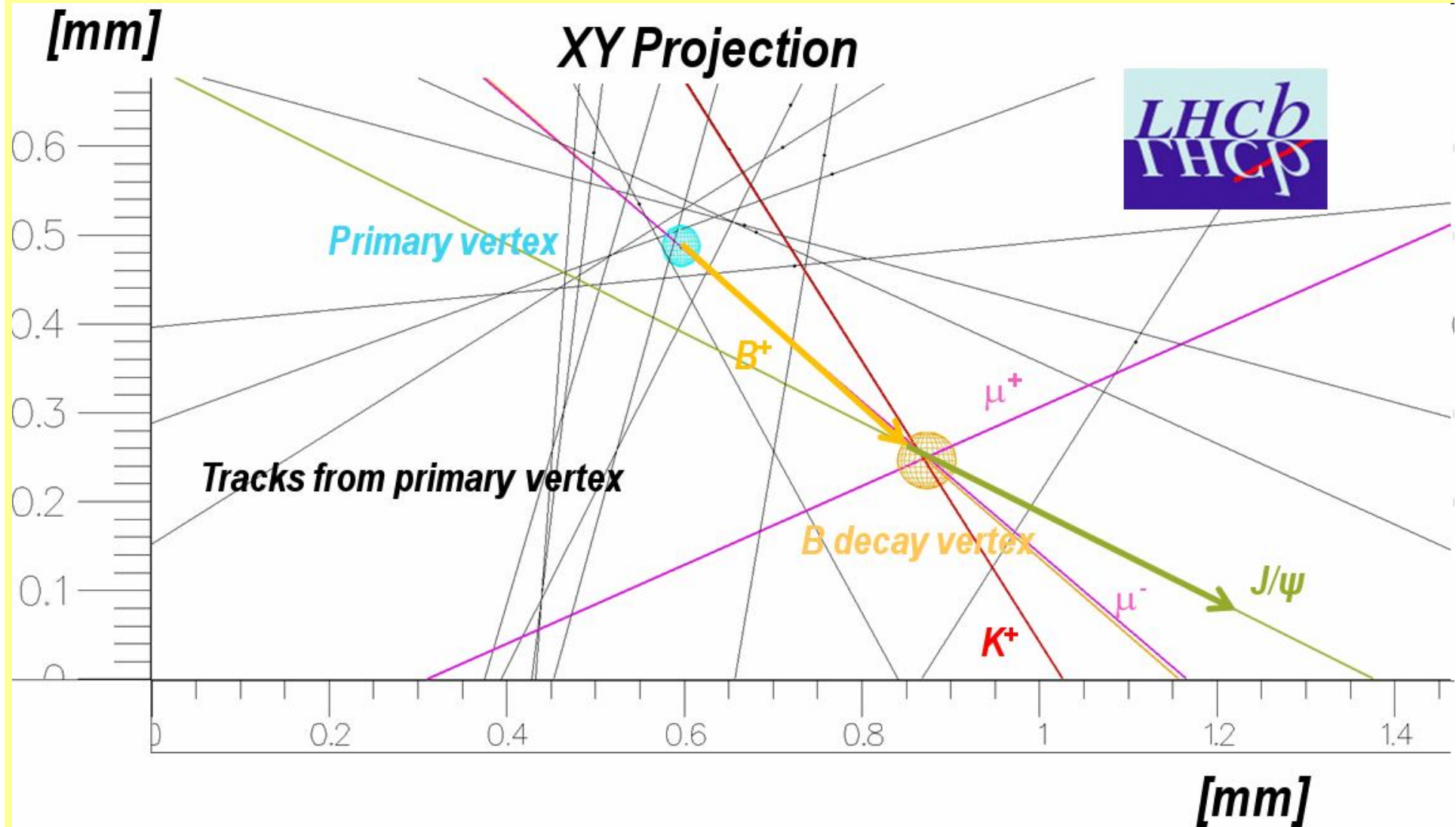
650 науковців, 48 університетів, 13 країн

LHCb events

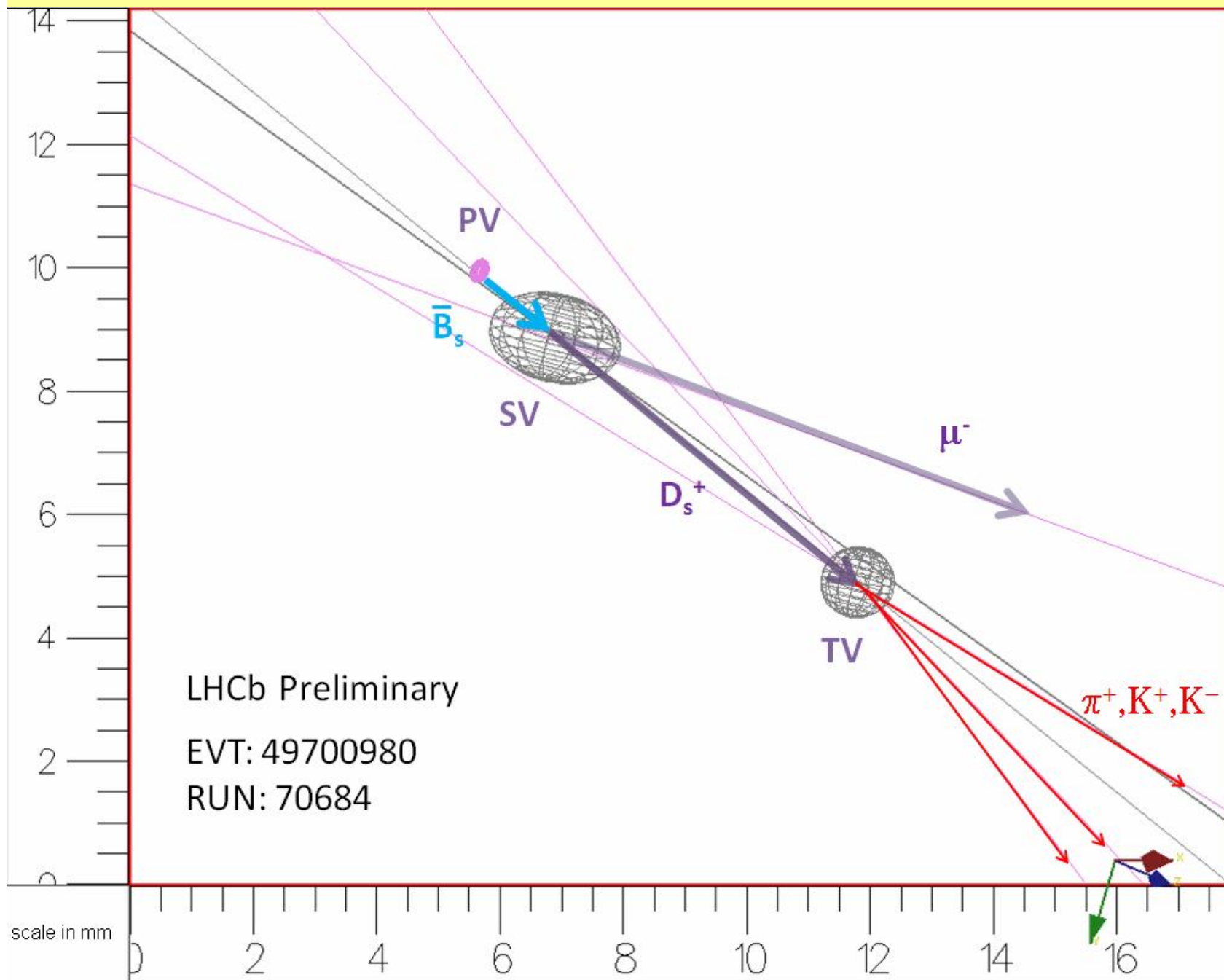
LHCb Event Display



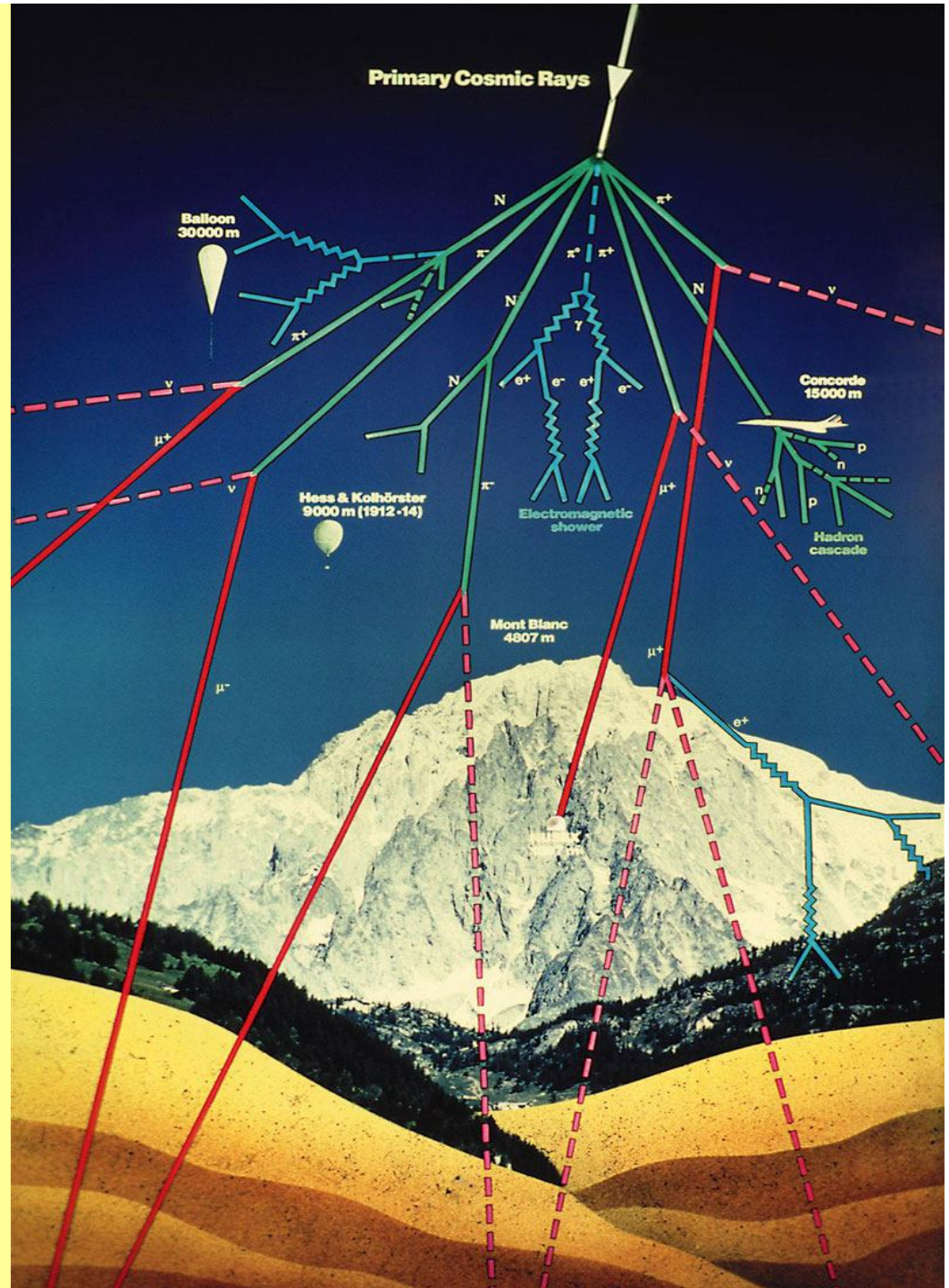
21 April 2010: First reconstructed Beauty Particle



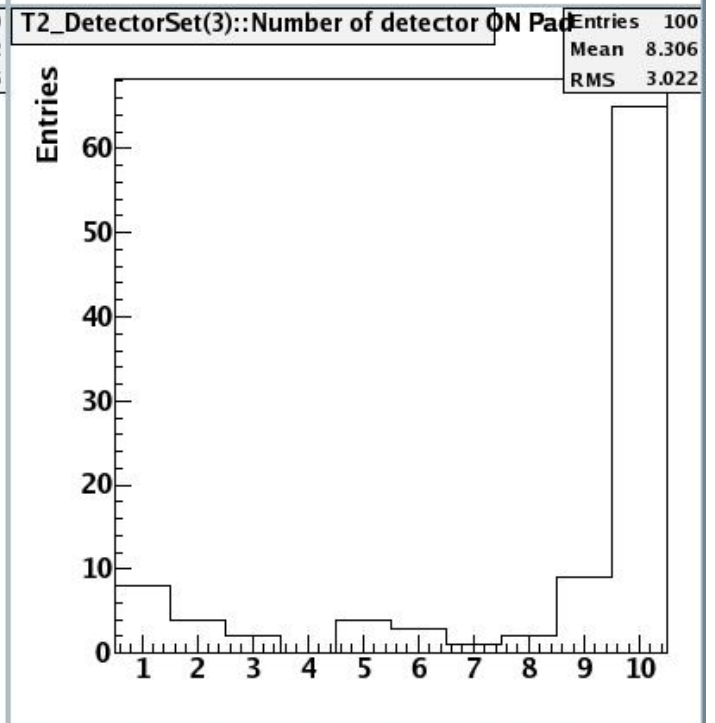
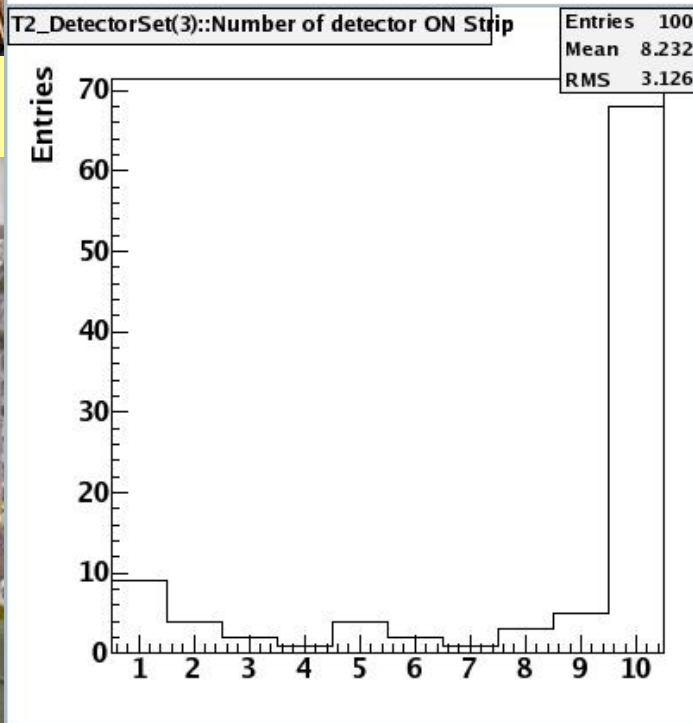
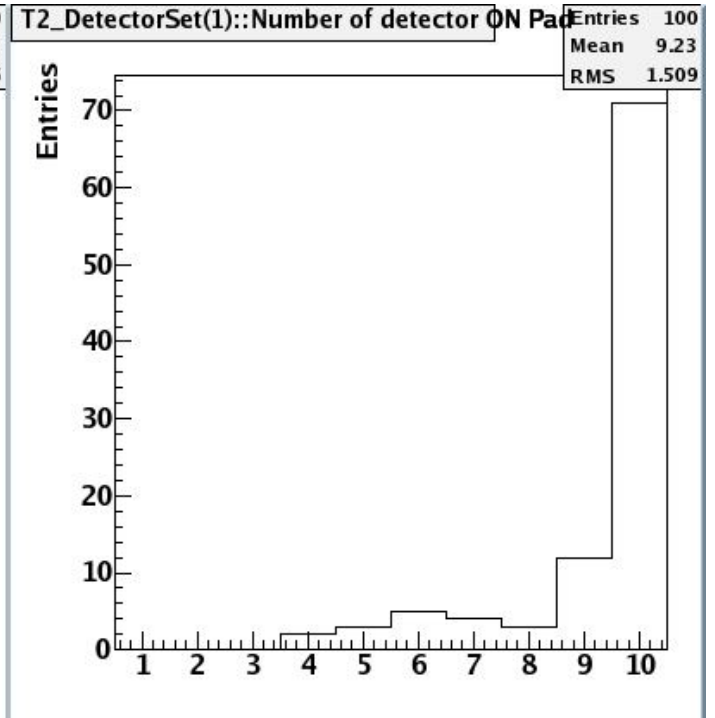
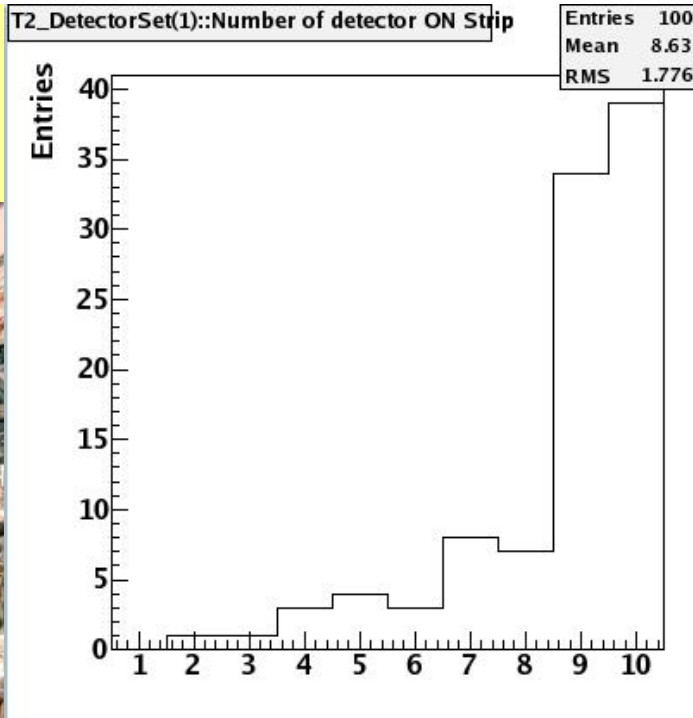
7 May 2010: Strange Beauty and Charm



LHCf ("Large Hadron Collider forward")



TOTEM



18–24 місяців необхідно, щоб зібрати та опрацювати дані експериментів

Створено найбільший науковий проект в історії

Розвинуто технології, які вже сьогодні застосовуються в промисловості

Світове співтовариство отримало поштовх до науки та інновацій.

Використані джерела

lhc.web.cern.ch

www.europhysicsnews.org

en.wikipedia.org

www.symmetrymagazine.org

exploratorium.edu

physicsworld.com

NATURE | VOL 433 | 20 JANUARY 2005 | www.nature.com/nature