

Откритието на бозона на Хигс

Л. Литов
Софийски Университет

4 юли 2012



4 юли 2012

performance of
accelerators – experiments – Grid computing

Observation of a new particle consistent with
a Higgs Boson (but which one...?)

Historic Milestone but only the beginning

Global Implications for the future

R-D Heuer

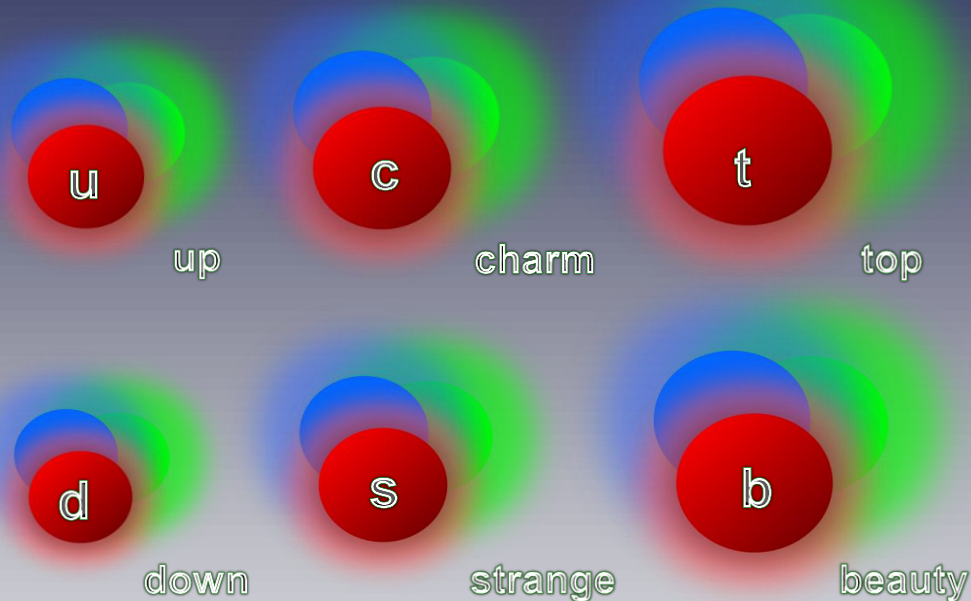


Стандартен модел на електрослабите и силни взаимодействия

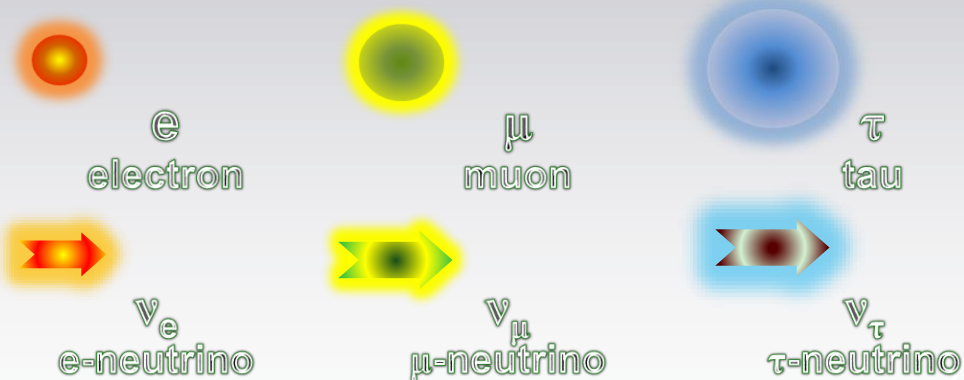


1-st generation 2-nd generation 3-rd generation

quarks

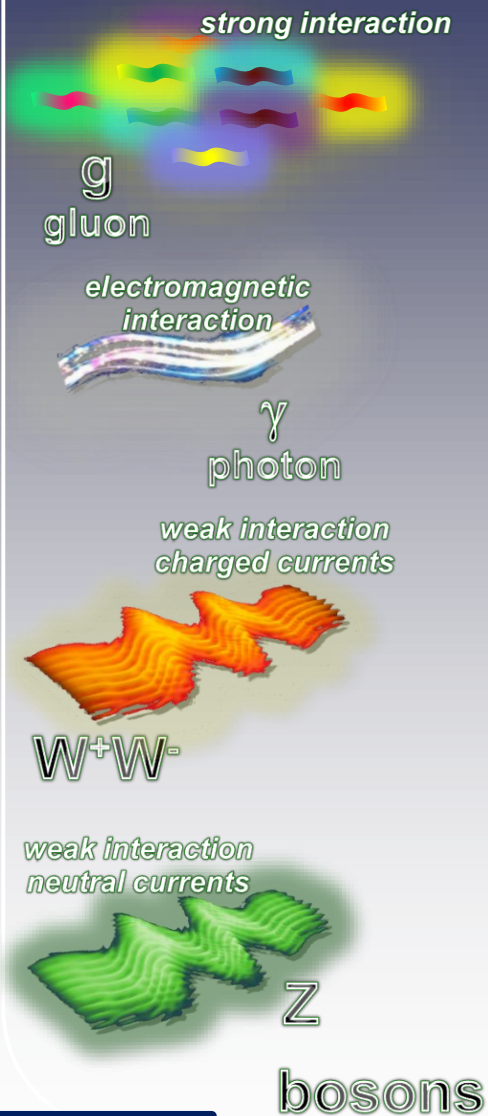


leptons



fermions

force carriers



Основна идея

Поле запълва цялата Вселена.
 Частиците взаимодействат с него,
 като по този начин придобиват маса
 – колкото по силно е

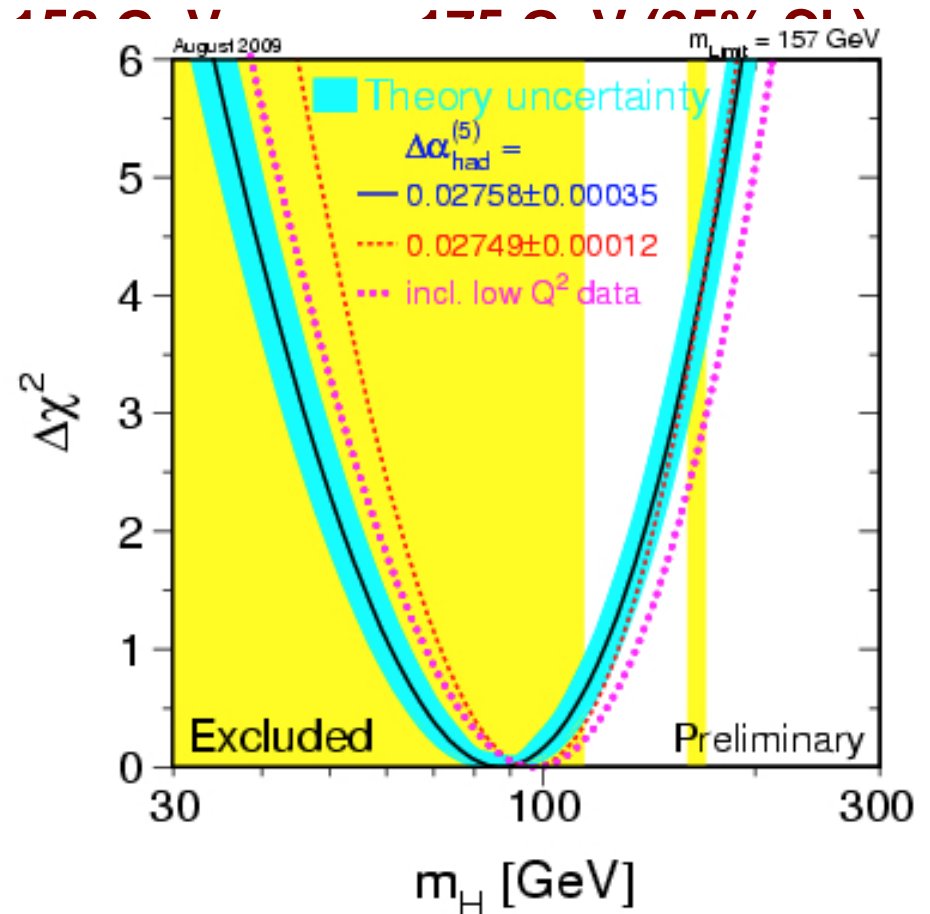
взаимодействието, толкова по-
 голяма е масата

Това е квантово поле – неговите
 кватови възбуждания – Хигс бозон

Наблюдение на Хигс бозона – тест
 за този механизъм

Теорията не предсказва неговата
 маса

$114.4 \text{ GeV} < m_H < 186 \text{ GeV}$ (95% CL)



Основна идея

Поле запълва цялата Вселена.
 Частиците взаимодействат с него,
 като по този начин придобиват маса
 – колкото по силно е

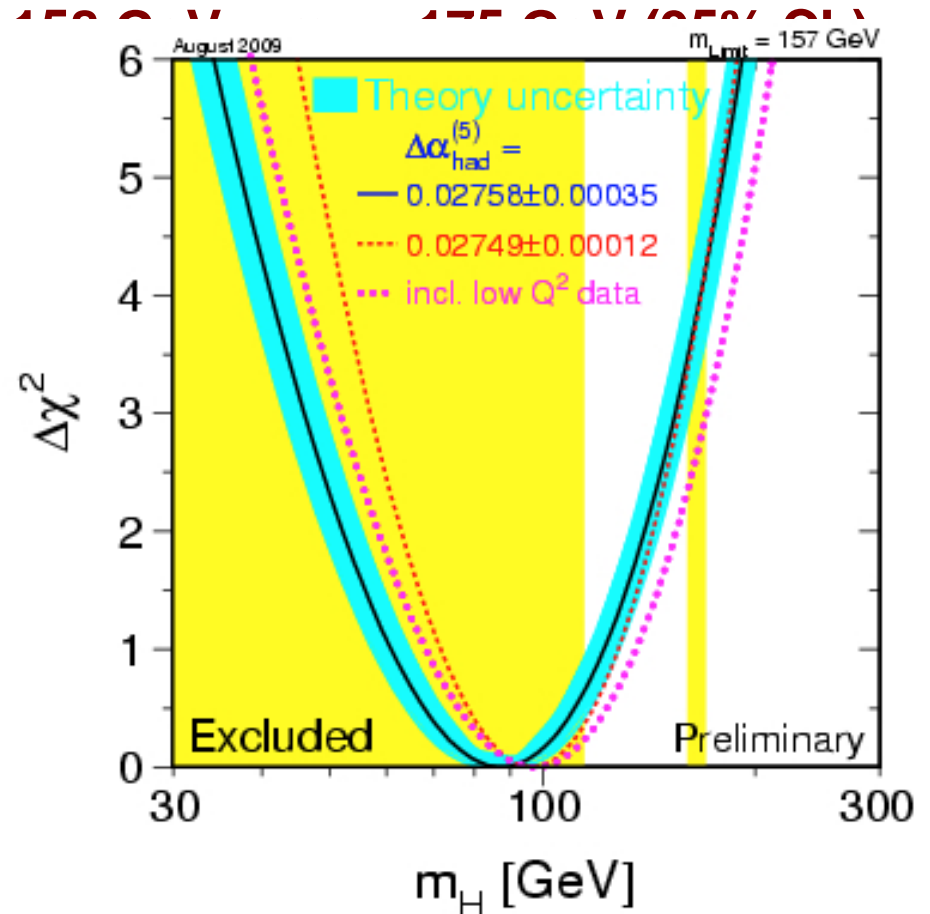
взаимодействието, толкова по-
 голяма е масата

Това е квантово поле – неговите
 кватови възбуждания – Хигс бозон

Наблюдение на Хигс бозона – тест
 за този механизъм

Теорията не предсказва неговата
 маса

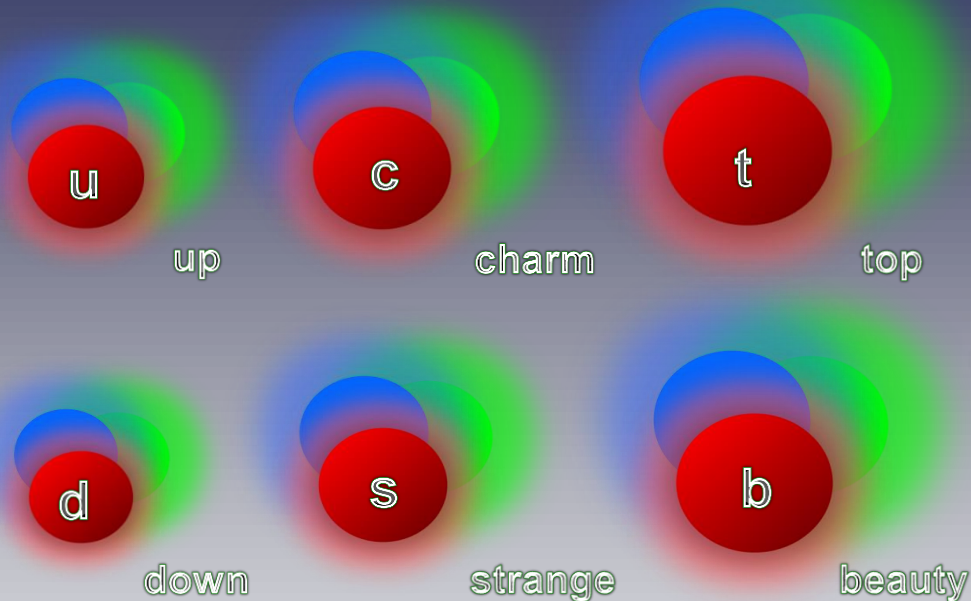
$114.4 \text{ GeV} < m_H < 186 \text{ GeV}$ (95% CL)



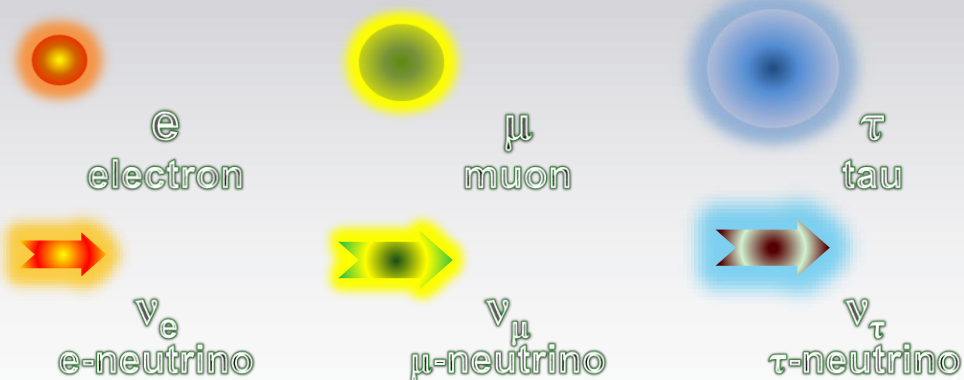


1-st generation 2-nd generation 3-rd generation

quarks

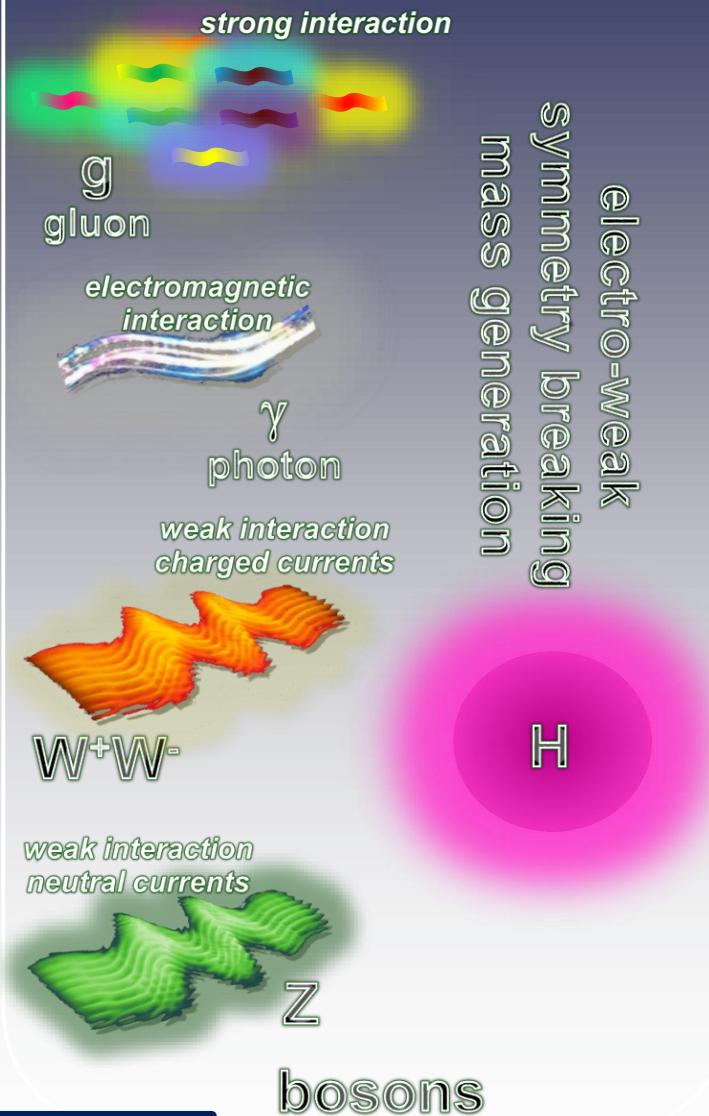


leptons



fermions

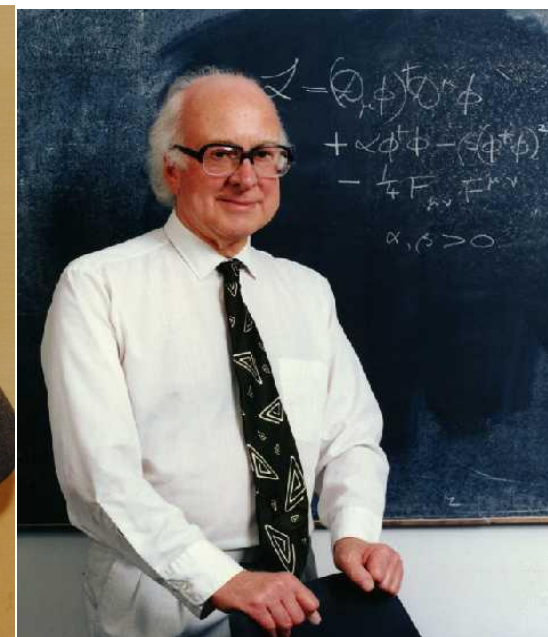
force carriers



bosons

J. J. Sakurai Prize for Theoretical Particle Physics 2010:

(L to R) Kibble, Guralnik, Hagen, Englert, Brout, Higgs



"For elucidation of the properties of spontaneous symmetry breaking in four-dimensional relativistic gauge theory and of the mechanism for the consistent generation of vector boson masses."

- SM е проверен и потвърден експериментално с изключително висока прецизност
- Всички фундаментални частици (кварки и лептони) и преносители на взаимодействия (γ , W, Z , g) са наблюдавани
- техните свойства се изследват
- Но
 - ✓ Хиггс – бозона не е наблюдаван експериментално
 - ✓ Ред основни въпроси нямат отговор



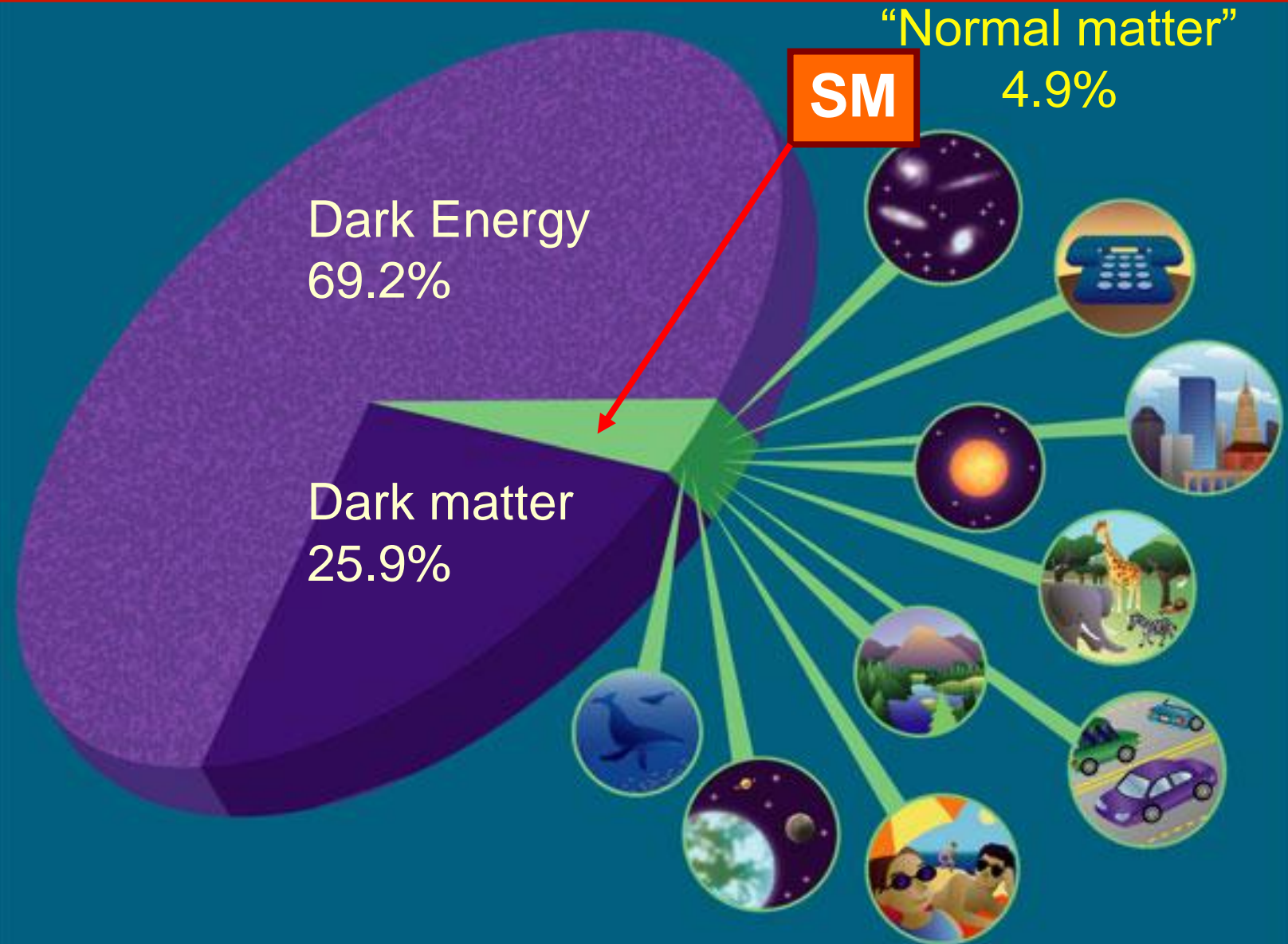
Структура на Вселената



Какво не
знаем?

- СМ има много произволни параметри
например – защо 6 кварка?
- СМ има “пропуснат основен елемент”
Механизъм за генериране на наблюдаемите маси (Хиггс механизъм)
- Кой е източника на масата
Защо Z-бозона е масивен, но свързания с него фотон е безмасов?
- СМ води до “нонсенс” при много високи енергии
Вероятността за $W_L W_L$ разсейване става > 1 при енергии > 1 TeV
- СМ логически не е пълен
не включва гравитация

Какво е съдържанието на Вселената ?



- ❖ Познаваме само около 4.9% от съдържанието в наблюдаемата Вселена
- ❖ От какво е съставена тъмната материя
- ❖ Защо Вселената се разширява с постоянно ускорение
Кой е източника (каква е природата) на тъмната енергия
- ❖ Защо във Вселената има само материя
Къде и кога е изчезнала антиматерията



Гравитация – свойства на пространство - времето

**Това което не познаваме
структурата на пространство-времето**

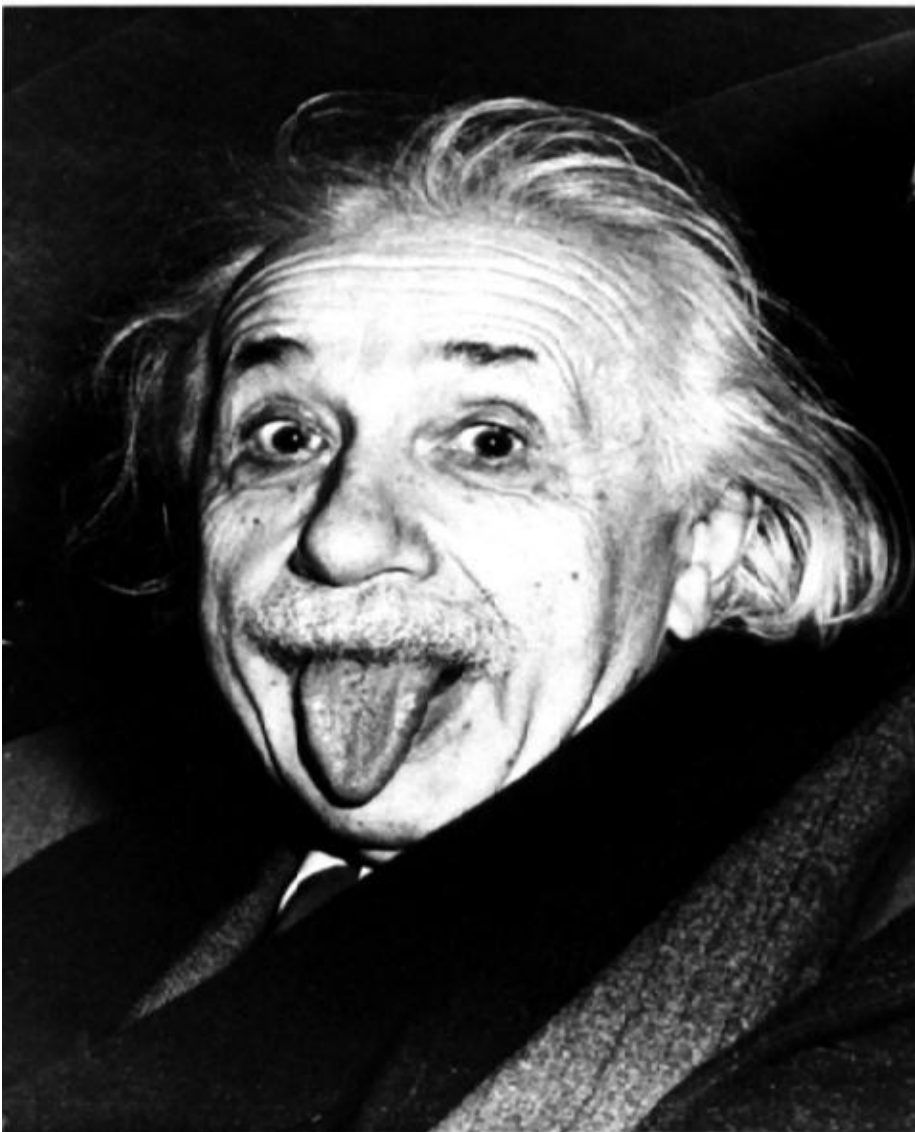
- СМ трябва да се разглежда като нискоенергетичен феноменологичен модел
- Нуждаем се от по-фундаментална теория (модел) който да включва в себе си СМ като ниско енергетично приближение
- Велико обединение
 - ✓ Technicolor
 - ✓ SUSY
 - ✓ Допълнителни измерения
 - ✓ Малък Хиггс
 - ✓ Струнни модели
- Във всички тях се предсказват много нови явления и частици

➤ **Необходимо е:**

Да се намери Хиггс – бозон

Да се намерят указания за физика извън СМ

ЛНС трябва да изпълни тези задачи



$$E = m c^2$$

**Енергията е материя
Материята е енергия**

**Много енергия = много материя
И обратно
Много материя = много енергия**

Как се прави тази магия?





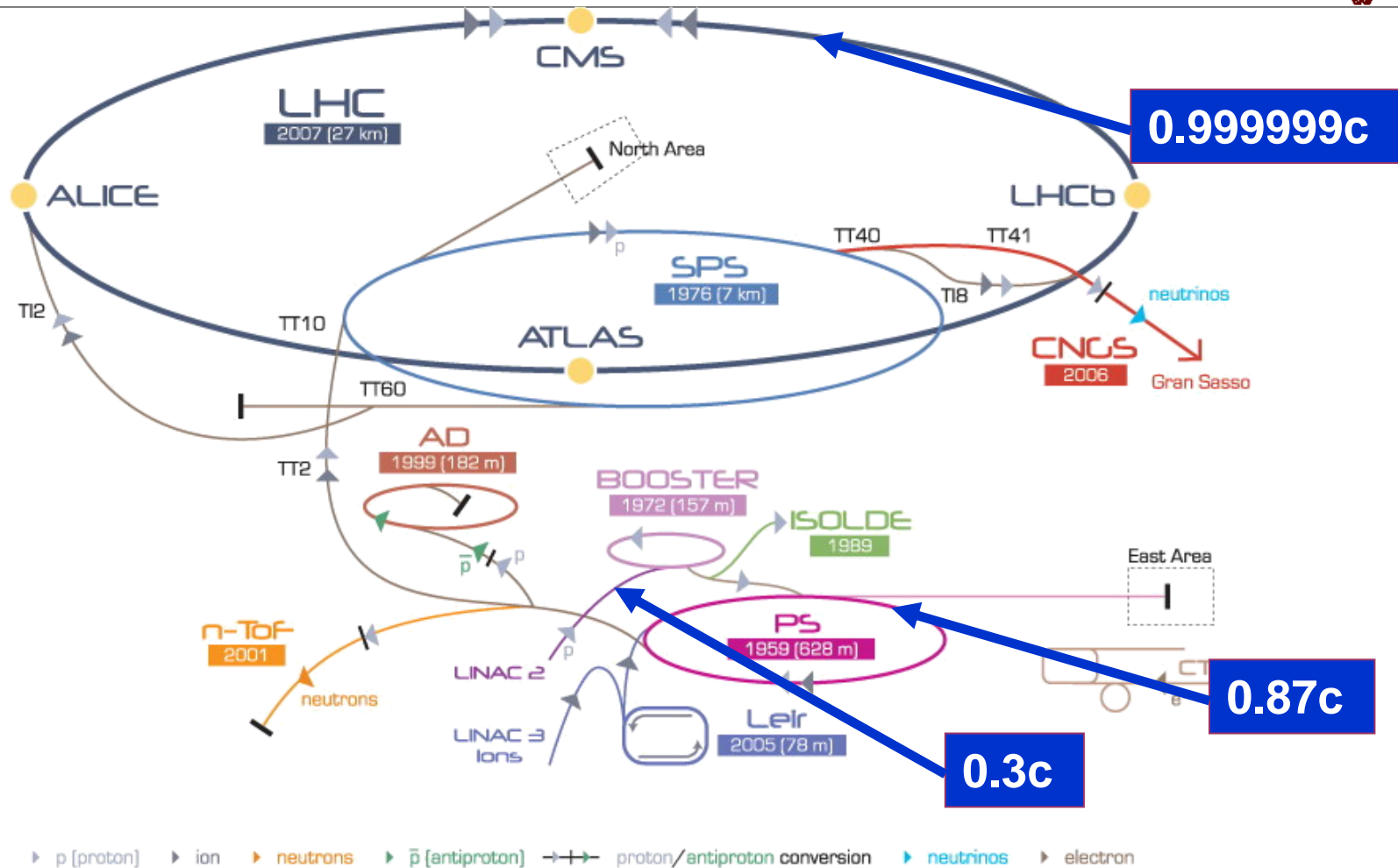
LHC



Какво е LHC ?



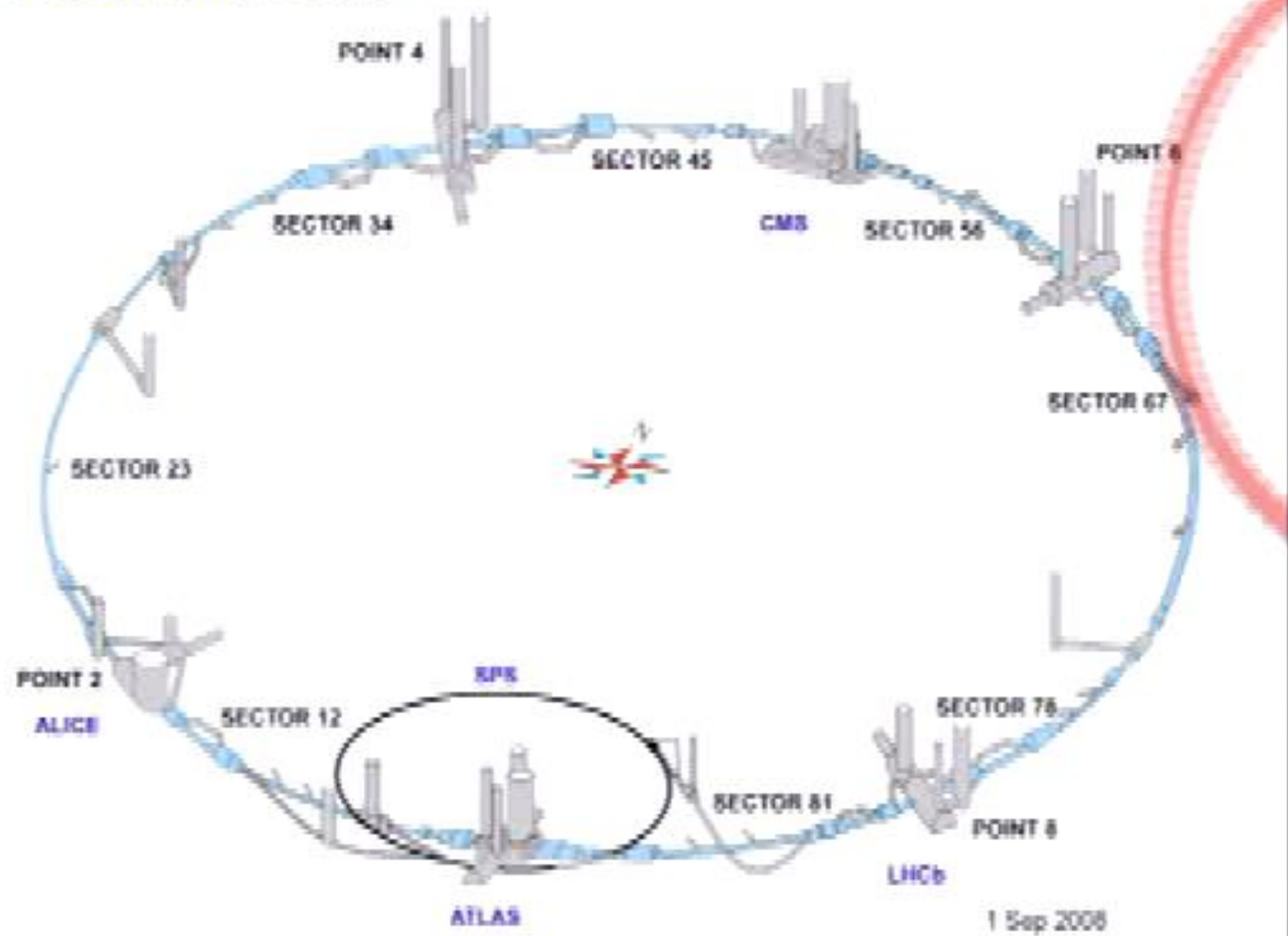
Ускорителен комплекс CERN



LHC Large Hadron Collider SPS Super Proton Synchrotron PS Proton Synchrotron

AD Antiproton Decelerator CTF3 Clic Test Facility CNGS Cern Neutrinos to Gran Sasso ISOLDE Isotope Separator OnLine DEvice

LEIR Low Energy Ion Ring LINAC LINear ACcelerator n-ToF Neutrons Time Of Flight



Открива нова ера в науката

Пуск на Големия адронен колайдер (LHC) 10.09. 2008, един от най-големите истински глобален научен проект, е най-вълнуващото събитие и повратна точка в развитието на ФЕЧ.



Обиколка 27 km

Ускорител с най-висока енергия на частиците
Протон-протонни сблъсъци при $E_{\text{CM}} = 14 \text{ TeV} (14 \cdot 10^{12} \text{ eV})$
Тежки йони: оловно-оловни сблъсъци: Енергия/нуклон = 2.76 TeV/u

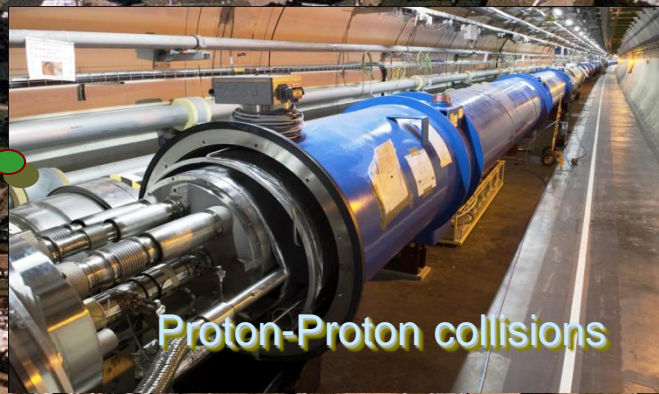
9593 свръхпроводящи магнита
 $T = 1.8 \text{ K}$
16 радиочестотни резонатора
 $T = 4.6 \text{ K}$

$$E = m c^2$$

10^{11} протона в една група
2808 групи
100 x 100 μm , дължина – см

4 точки на пресичане
16 μm , дължина – см
 $40 \cdot 10^6$ пресичания/с
600 милиона взаимодействия/с

Време на живот на снопа
10 часа
1 ng H



Proton-Proton collisions

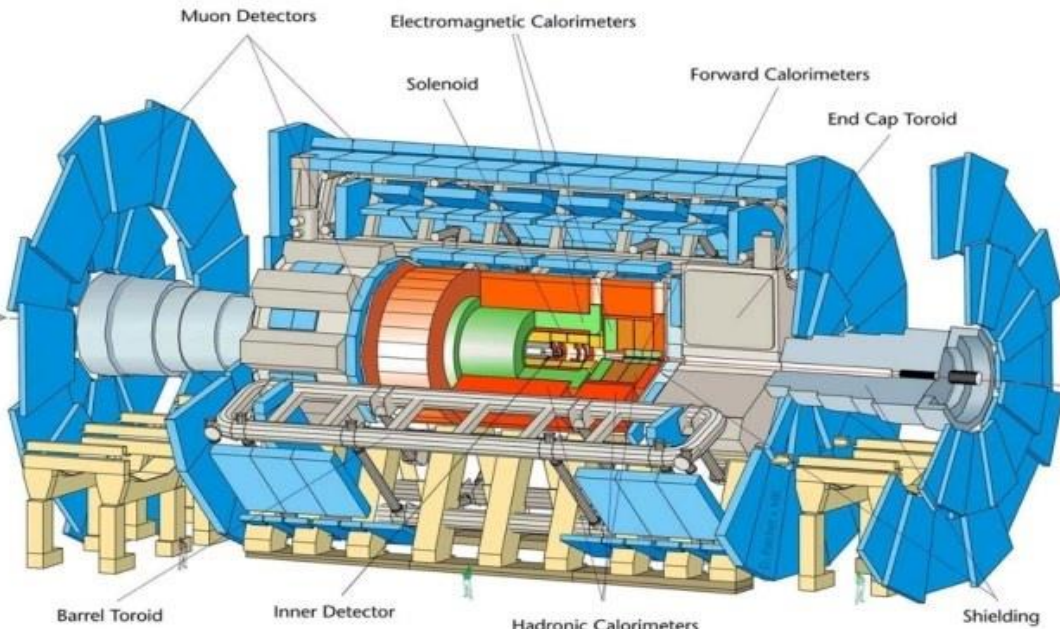
14 TeV
Енергията на комар в полет



LHC



ATLAS, CMS, ALICE and LHCb

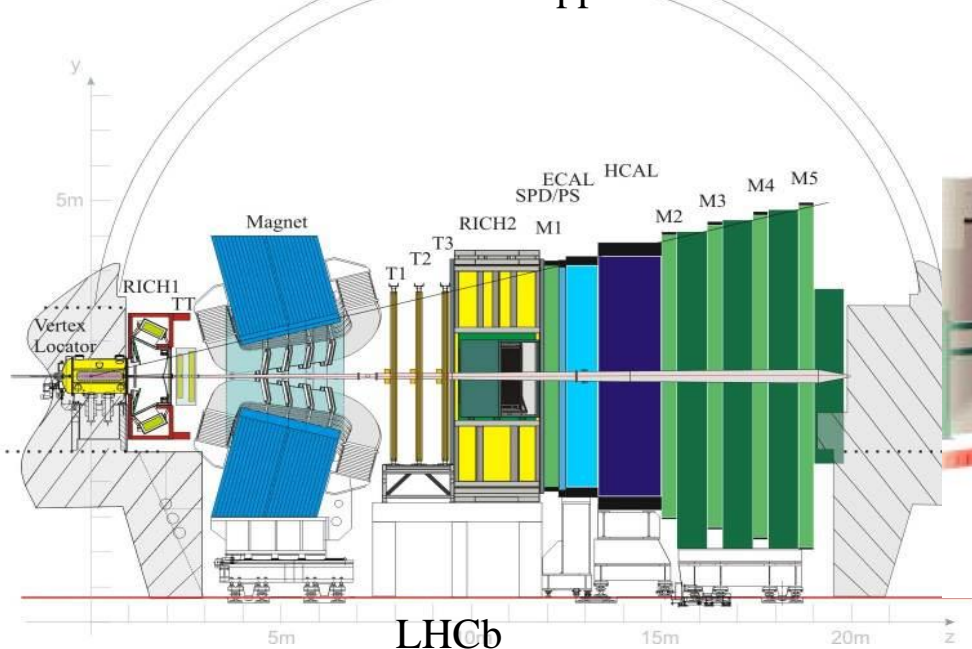


ATLAS – A Toroidal LHC Apparatus



Total Weight : 14,500 t
 Overall diameter : 14.60 m
 Overall length : 21.60 m
 Magnetic field : 4 Tesla

CMS – Compact Muon Solenoid



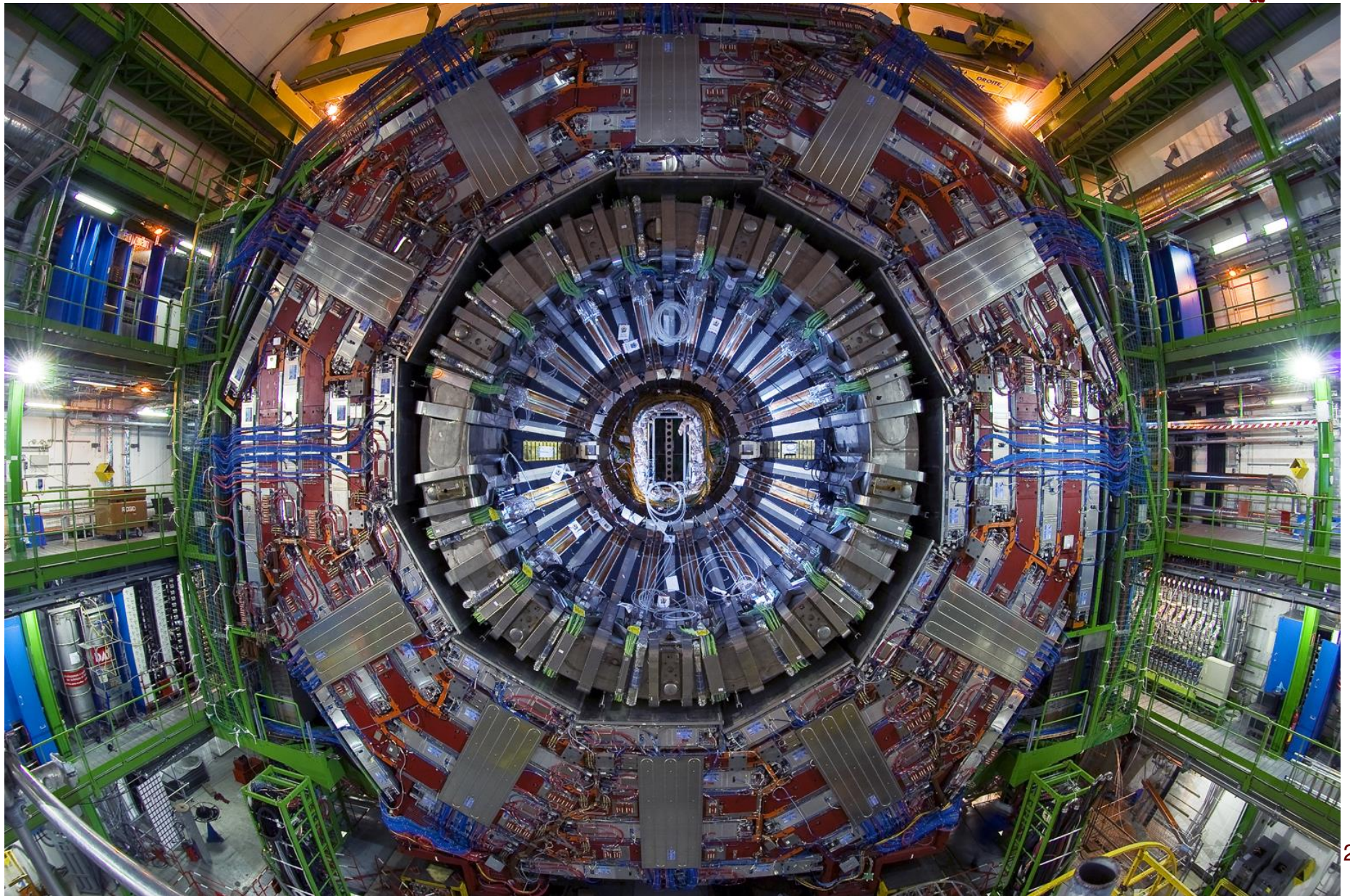
LHCb



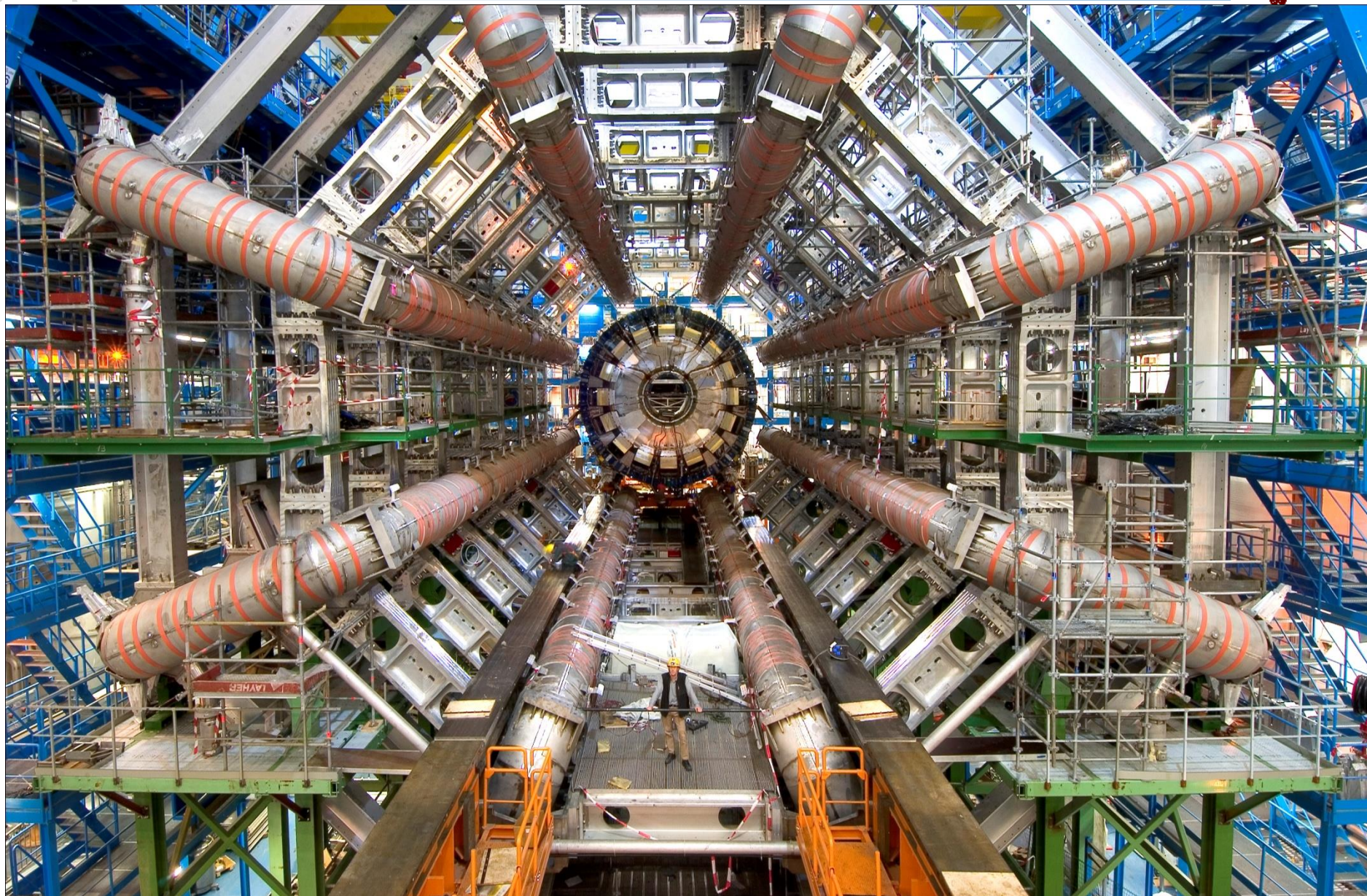
ОЗОНА НА ЛИПС

ALICE – A Large Ion Collider Experiment

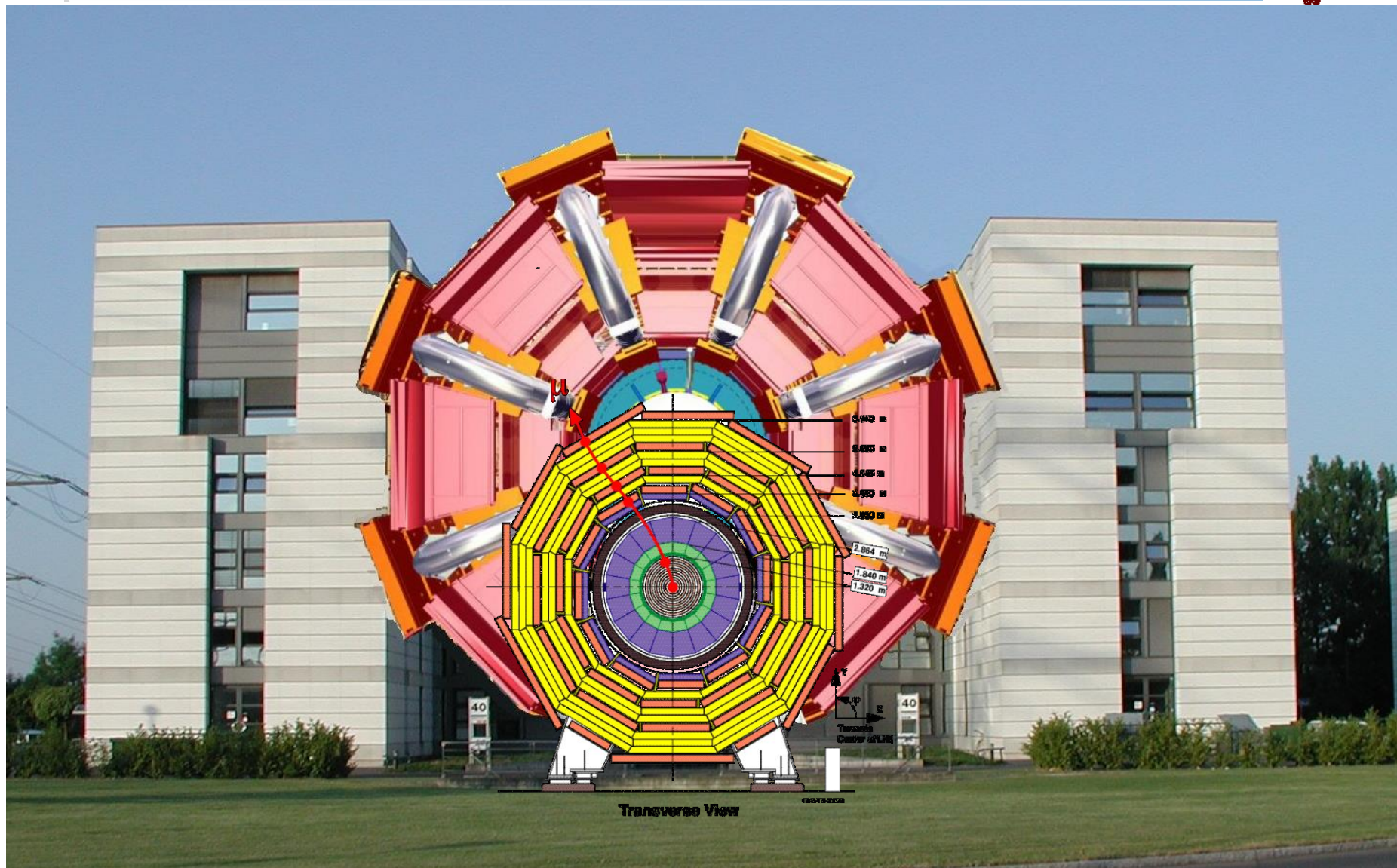
ЦЕРН, 19 септември 2023

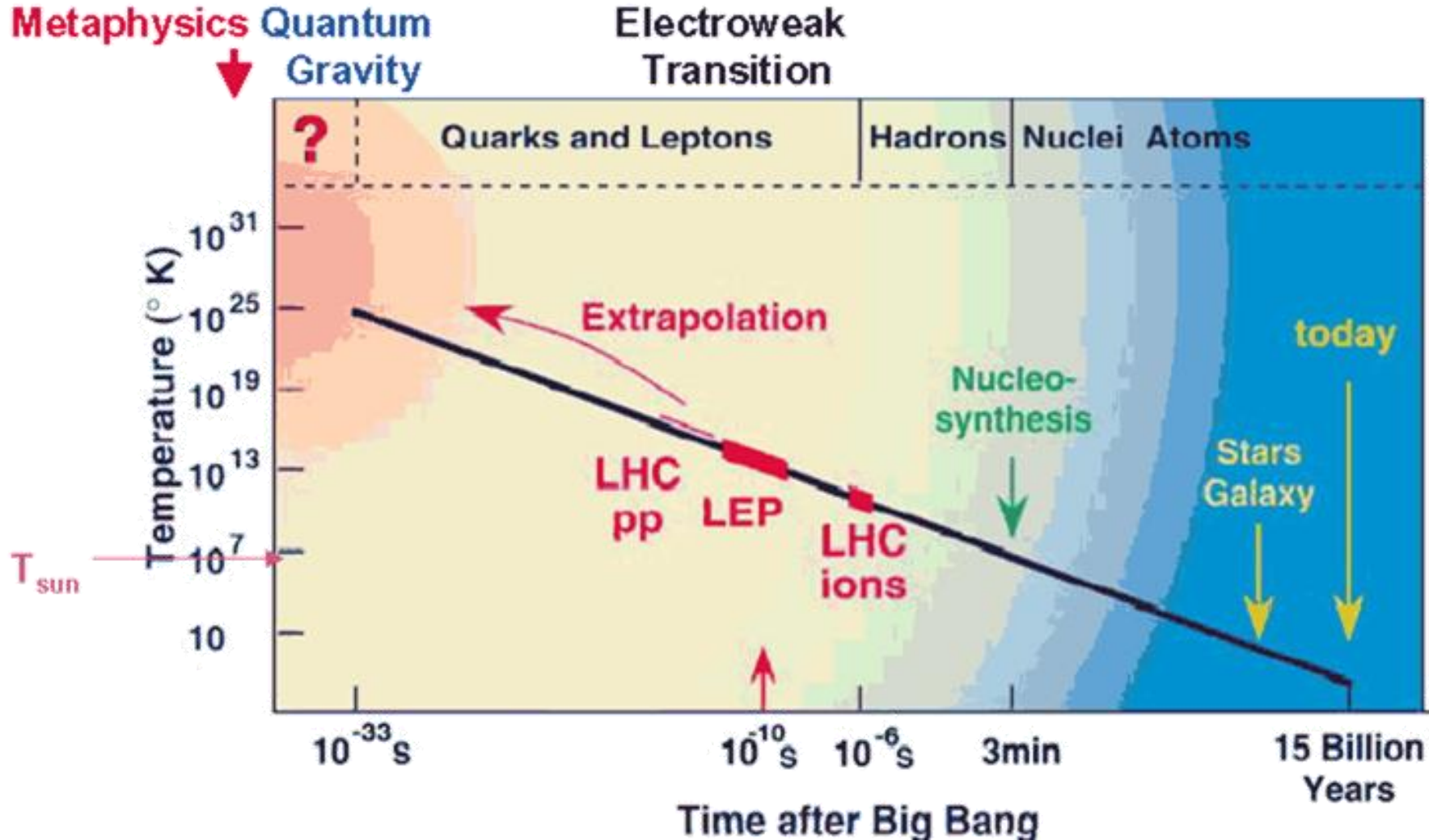


Тороидална магнитна система на ATLAS



Сграда 40 в CERN







Експериментът CMS

Superconducting Coil
4 Tesla

CALORIMETERS

ECAL
76000 scintillating
PbWO₄ crystals

HCAL
Plastic scintillator/brass
sandwich

IRON YOKE



CMS Detector
Weight: 14'500 t
Diameter: 15 m
Length: 21.6 m
Magnetic field: 4 T

~ 100 million individual
detecting elements
43000 cables of
1200 km total length

TRACKER

Pixels
Silicon Microstrips
210 m² of silicon sensors

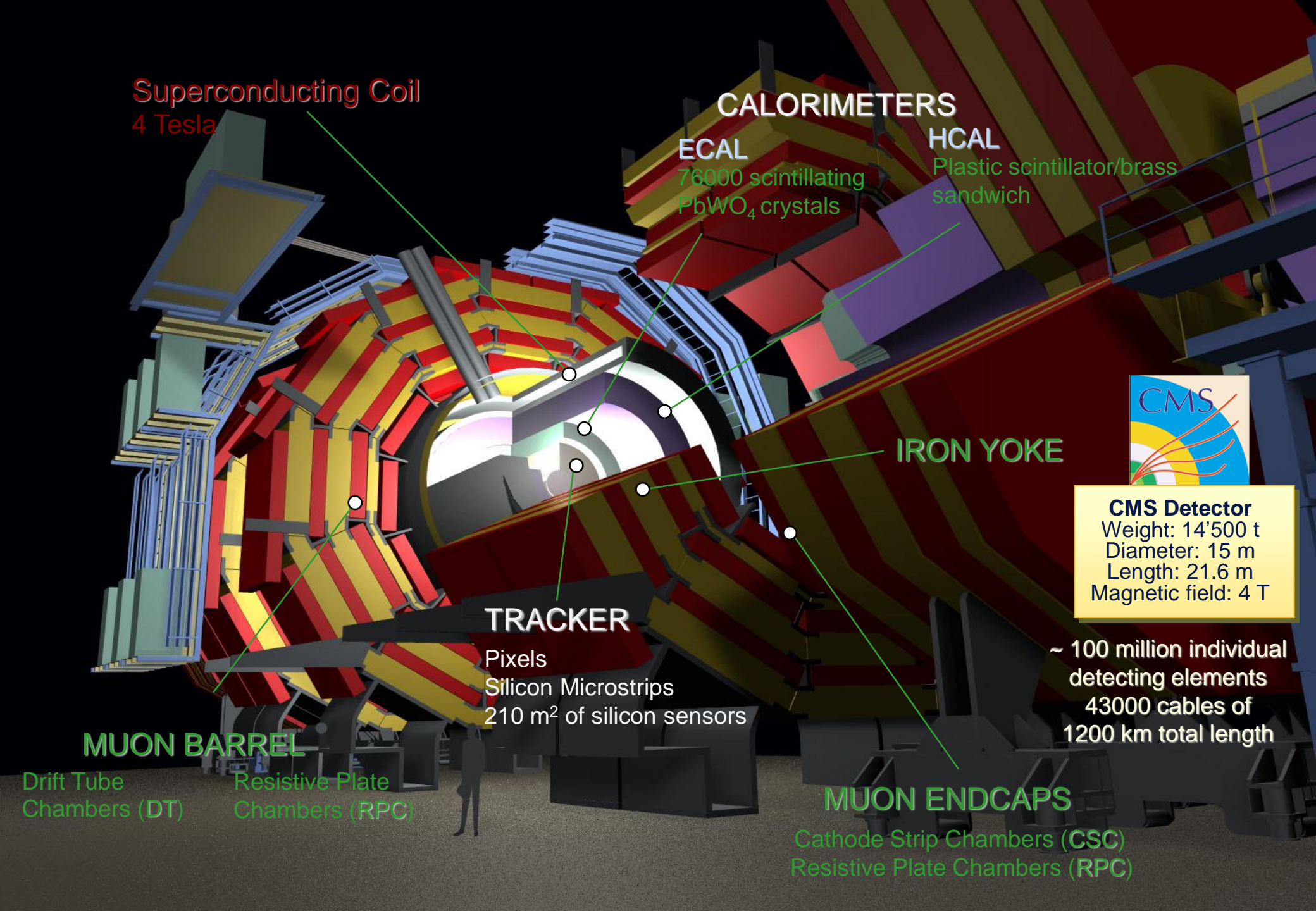
MUON BARREL

Drift Tube
Chambers (DT)

Resistive Plate
Chambers (RPC)

MUON ENDCAPS

Cathode Strip Chambers (CSC)
Resistive Plate Chambers (RPC)



CMS DETECTOR

Total weight : 14,000 tonnes
Overall diameter : 15.0 m
Overall length : 28.7 m
Magnetic field : 3.8 T

STEEL RETURN YOKE
12,500 tonnes

SILICON TRACKERS
Pixel ($100 \times 150 \mu\text{m}$) $\sim 16\text{m}^2 \sim 66\text{M}$ channels
Microstrips ($80 \times 180 \mu\text{m}$) $\sim 200\text{m}^2 \sim 9.6\text{M}$ channels

SUPERCONDUCTING SOLENOID
Niobium titanium coil carrying $\sim 18,000\text{A}$

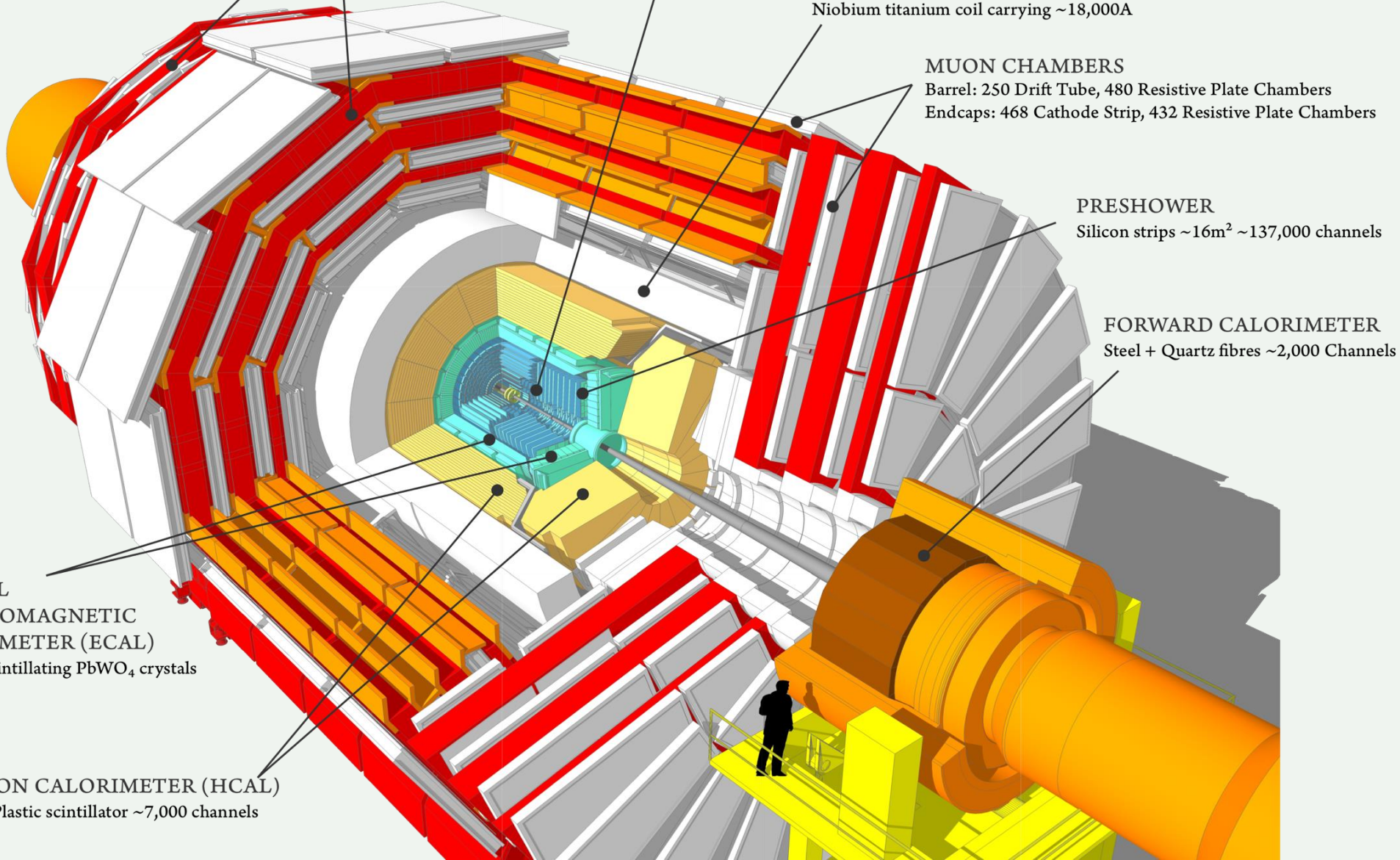
MUON CHAMBERS
Barrel: 250 Drift Tube, 480 Resistive Plate Chambers
Endcaps: 468 Cathode Strip, 432 Resistive Plate Chambers

PRESHOWER
Silicon strips $\sim 16\text{m}^2 \sim 137,000$ channels

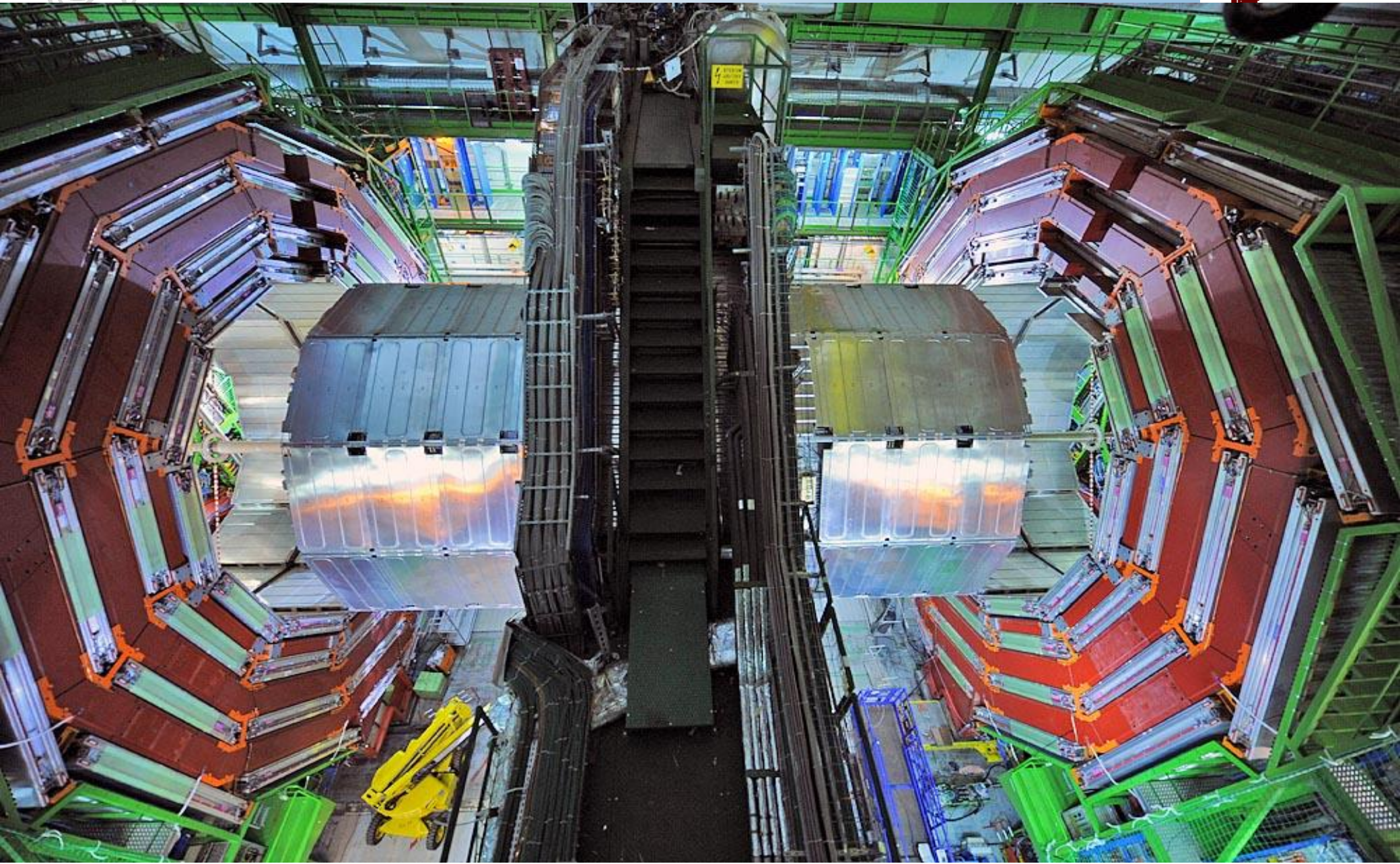
FORWARD CALORIMETER
Steel + Quartz fibres $\sim 2,000$ Channels

CRYSTAL
ELECTROMAGNETIC
CALORIMETER (ECAL)
 $\sim 76,000$ scintillating PbWO_4 crystals

HADRON CALORIMETER (HCAL)
Brass + Plastic scintillator $\sim 7,000$ channels





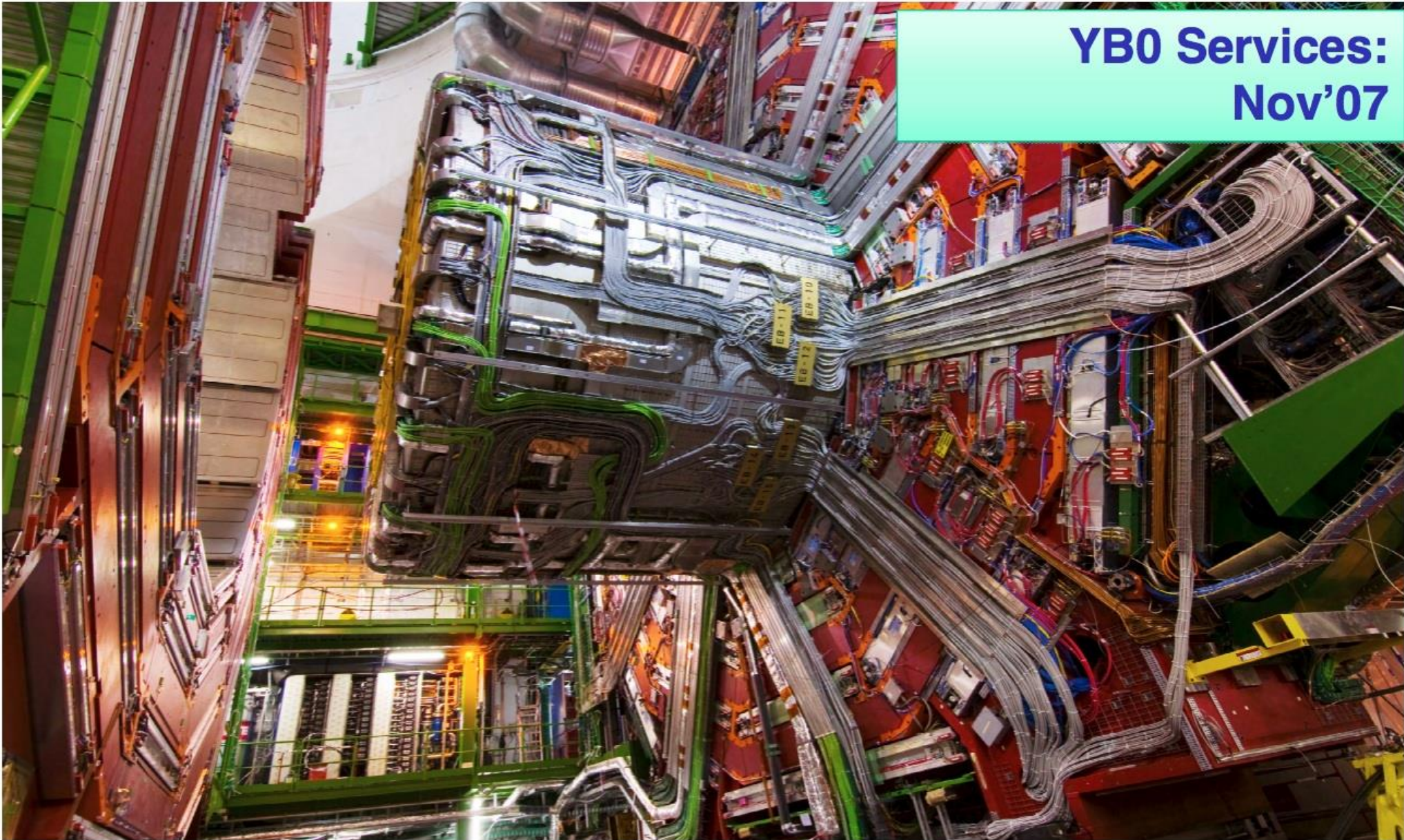




CMS



**YB0 Services:
Nov'07**





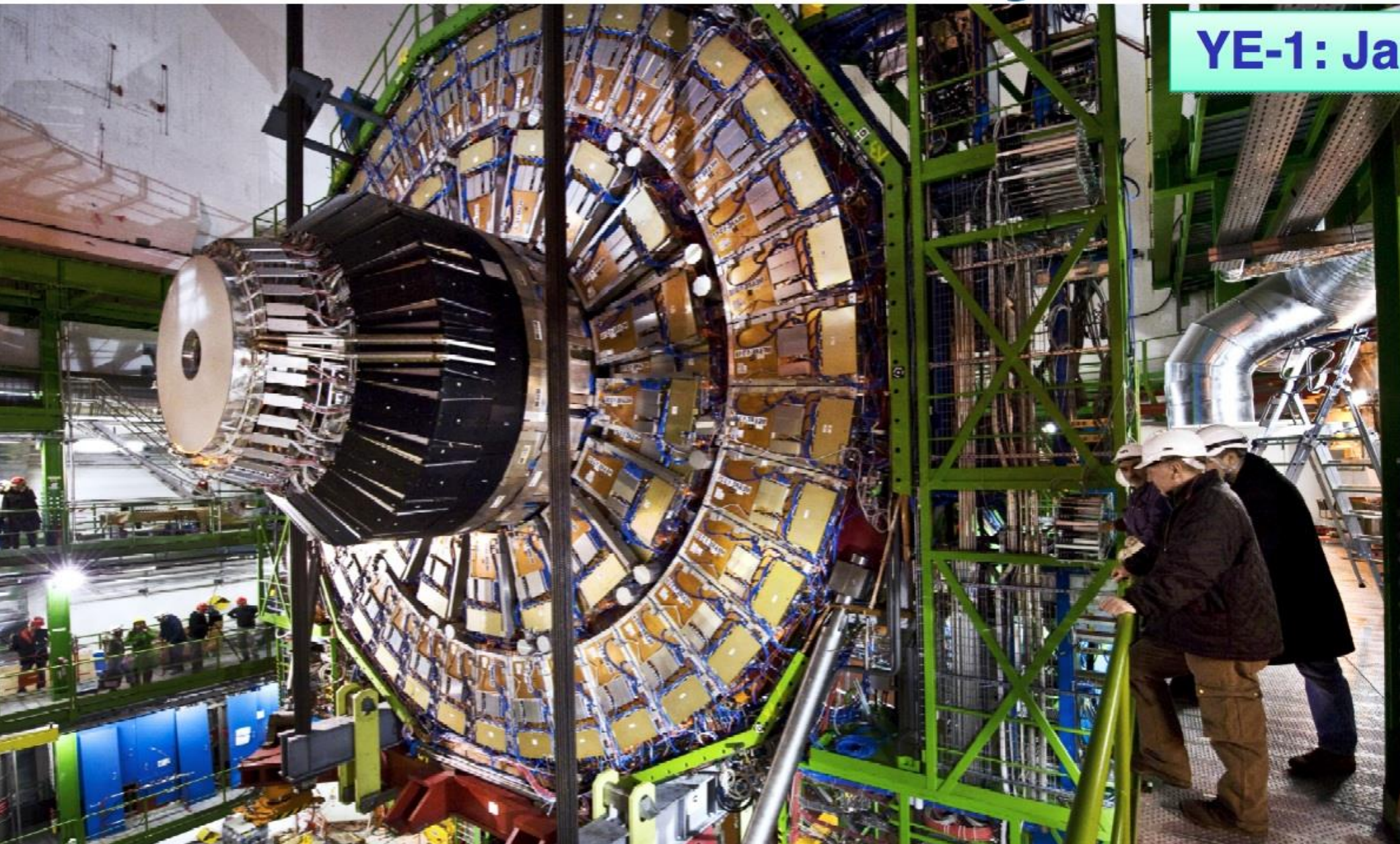
CMS



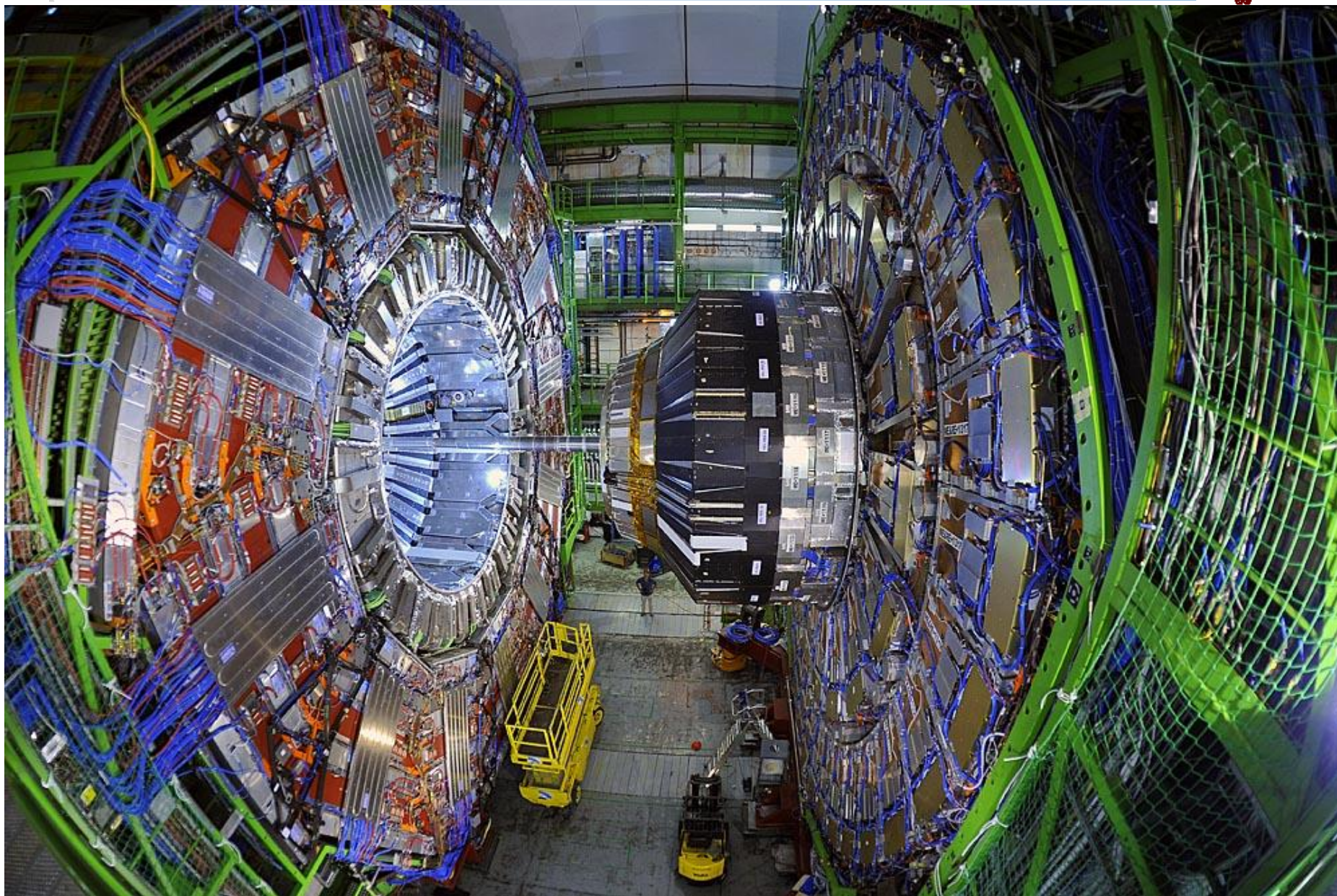
Tracker Insertion: Dec'07

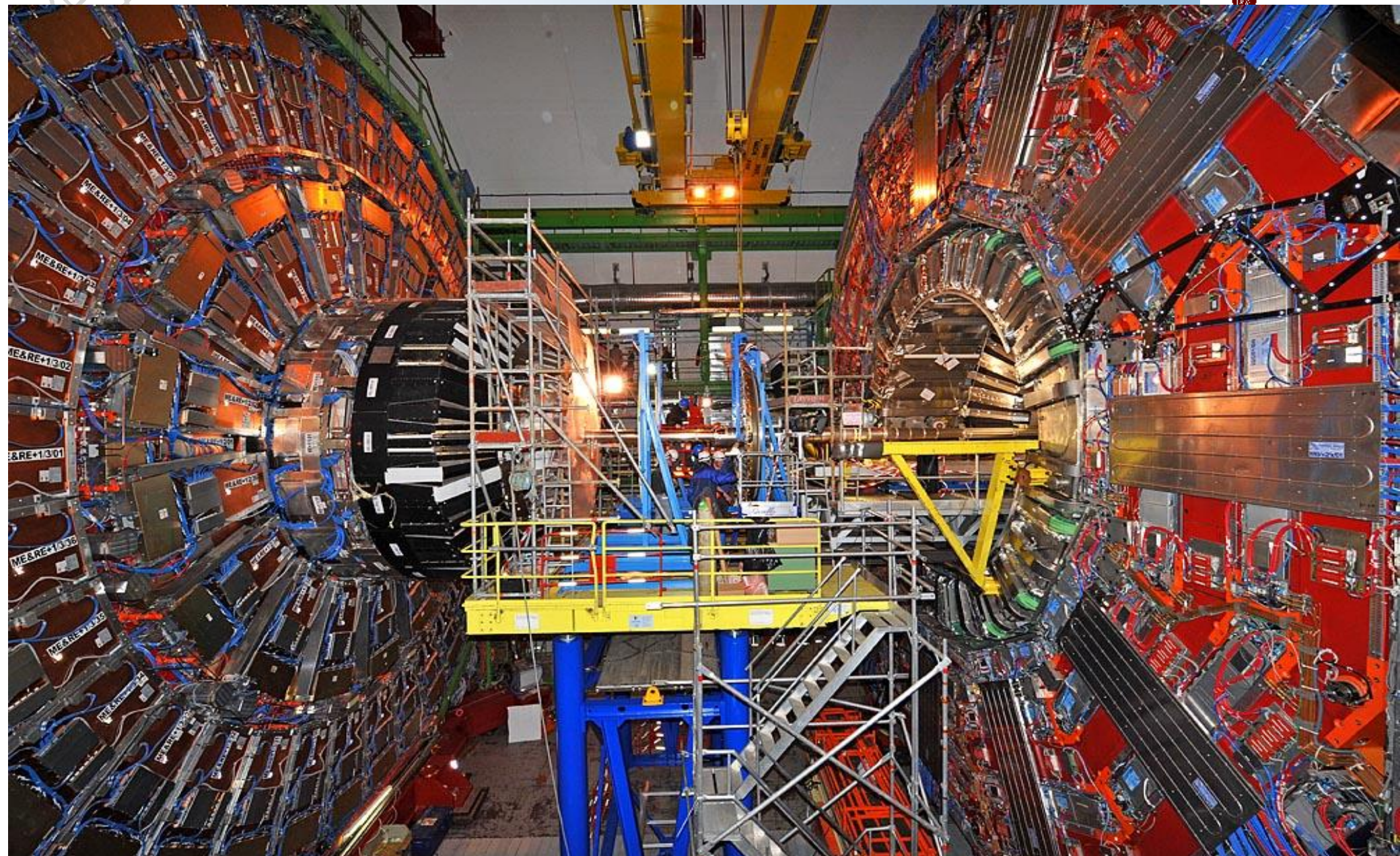


YE-1: Ja



Отваряне на CMS (Nov.08)







Старт на LHC



- ❖ Първи опит – 10.09.2008
- ❖ 19.09.2008 – инцидент– изпуснати 6 т. течен He
- ❖ 2009 – ремонт
- ❖ Ноември 2009 – рестарт
- ❖ Декември 2009
 - Първи сблъсъци при 900 GeV
 - Първи сблъсъци при 2.36 TeV
- ❖ Март 2010 – рестарт
 - 30 Март – Първи взаимодействия при 7 TeV
 - Набор на данни 2011 – 5 fb⁻¹)
 - Набор на данни 2012 – 8 TeV, цел – 10 fb⁻¹
- ❖ 2013 - 2014 – добавяне на магнити и система за сигурност – готовност за 13 TeV
- ❖ Юни 2015 - 2018 – Рестарт – 3 години набор на данни
- ❖ До май 2022 – техническо спиране
- ❖ Юни 2022 – рекордна енергия 13.6 TeV

CMS July 2013



CMS July 2013



CMS July 2013





13.6 TeV Run3



Л. Литов

Откритието на бозона на Хиггс

ЦЕРН, 19 септември 2023

На лов за бозона на Хигс

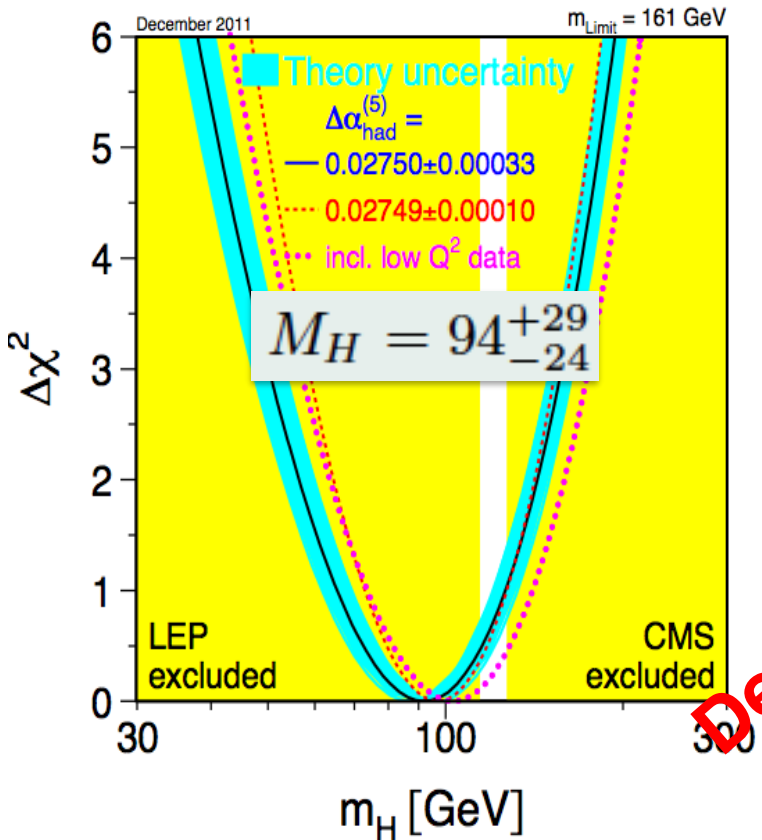


CMS



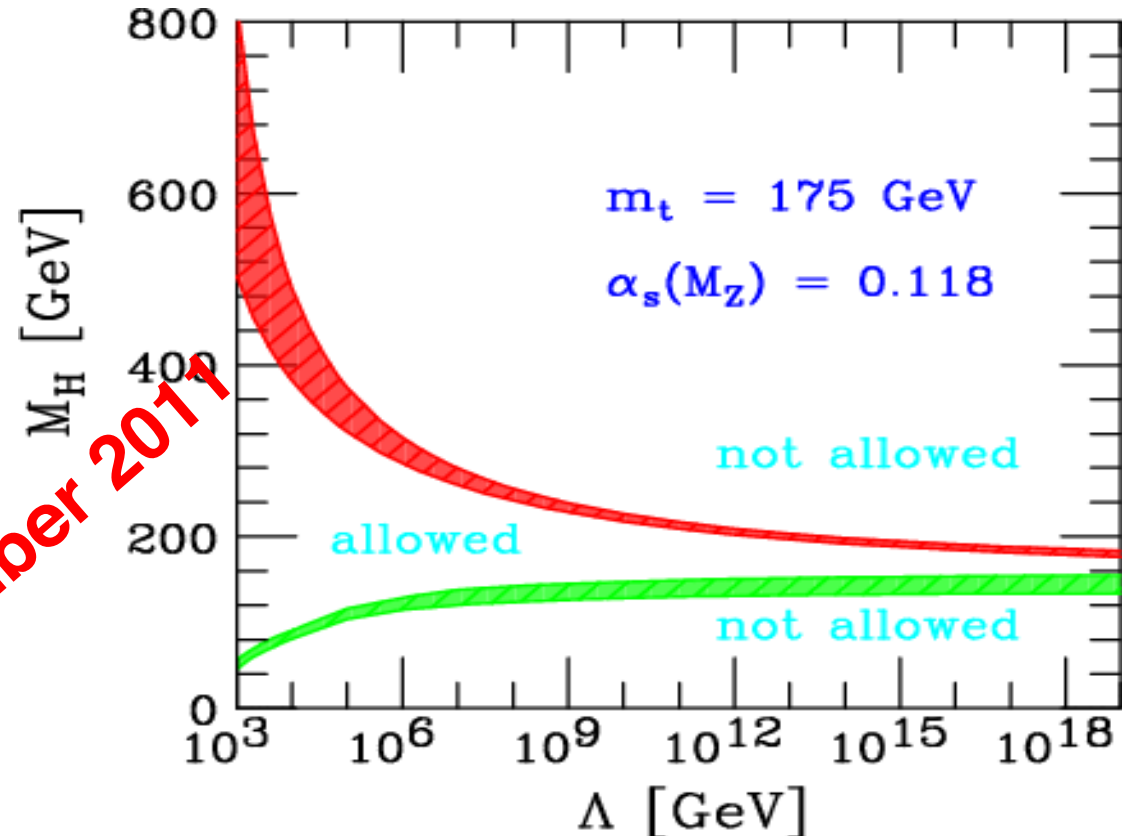
ATLAS

Experiment



Direct limit from LEP:
 $M_H > 114.4 \text{ GeV}$

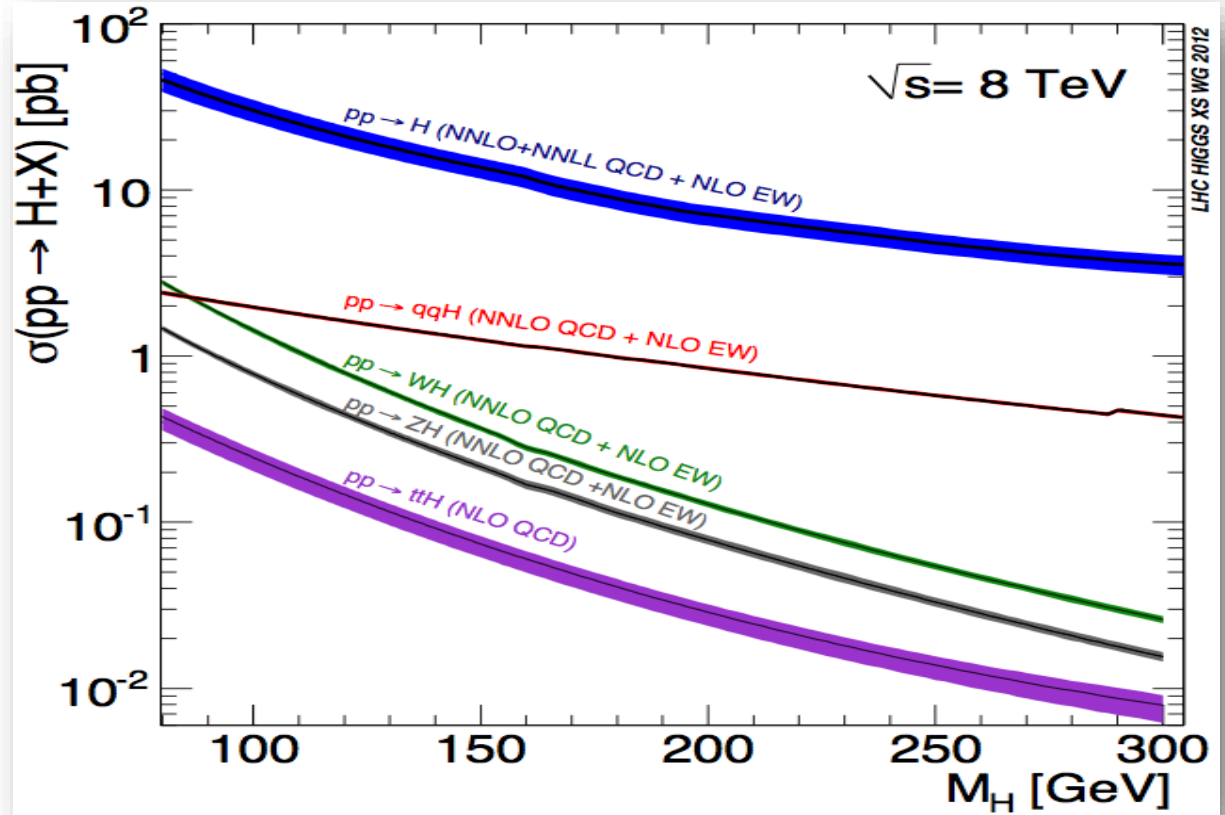
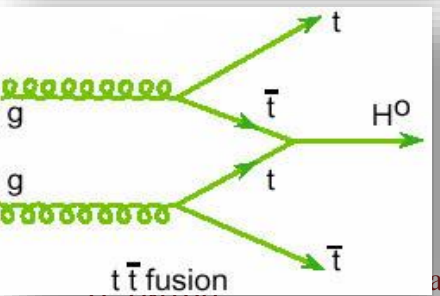
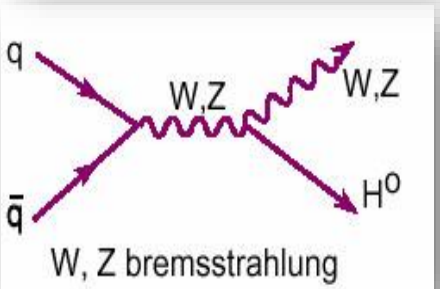
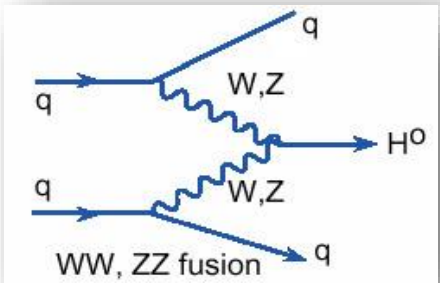
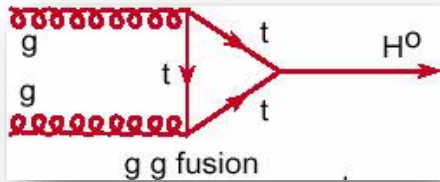
SM theory



December 2011

95% CL: obs 127-600, exp:117-543
 99% CL: obs 128-525, exp:125-500

Раждане на Хигс бозони



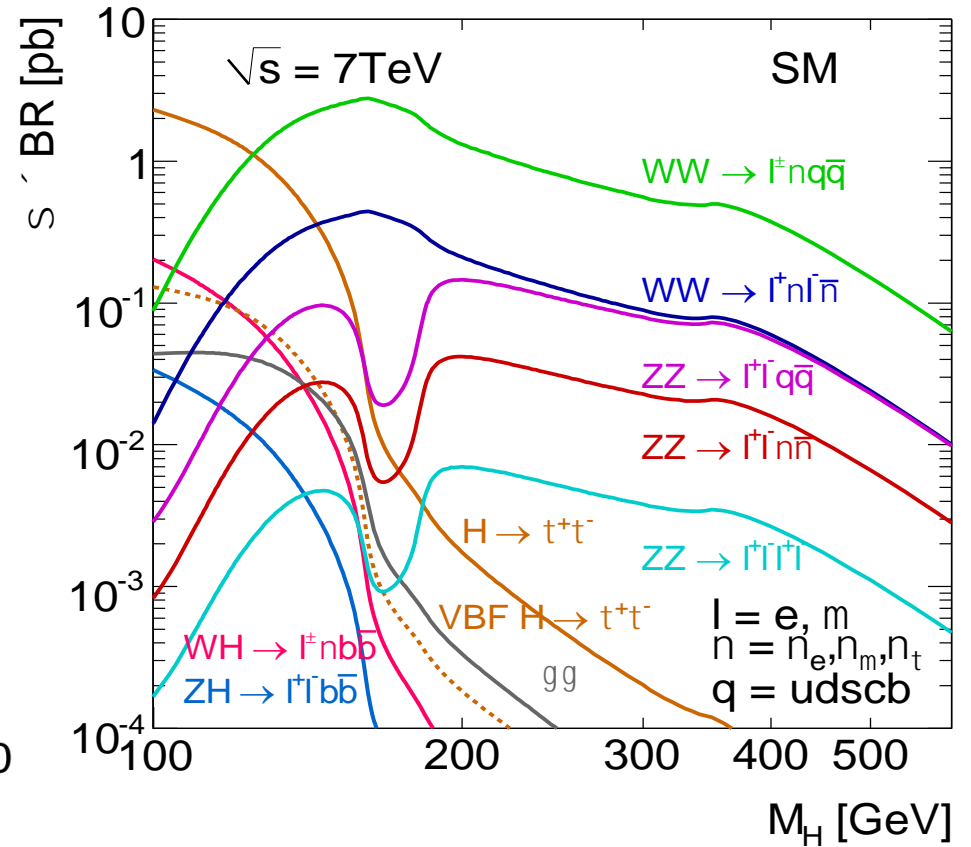
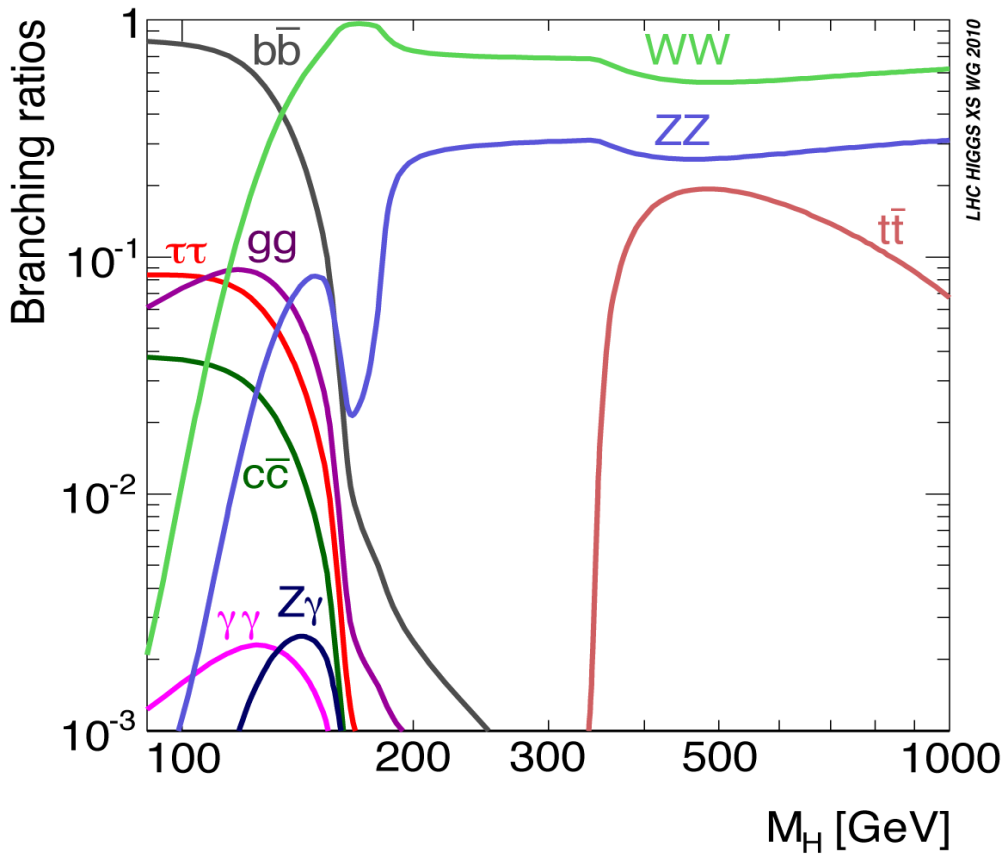
$\sqrt{s}=8 \text{ TeV}$: 25-30% higher σ than $\sqrt{s}=7 \text{ TeV}$ at low m_H

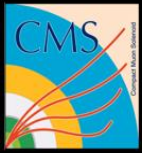
All production modes to be exploited

gg VBF VH ttH

Latter 3 have smaller cross sections but better S/B in many cases

Канали на разпад

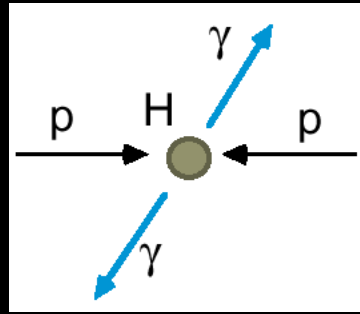
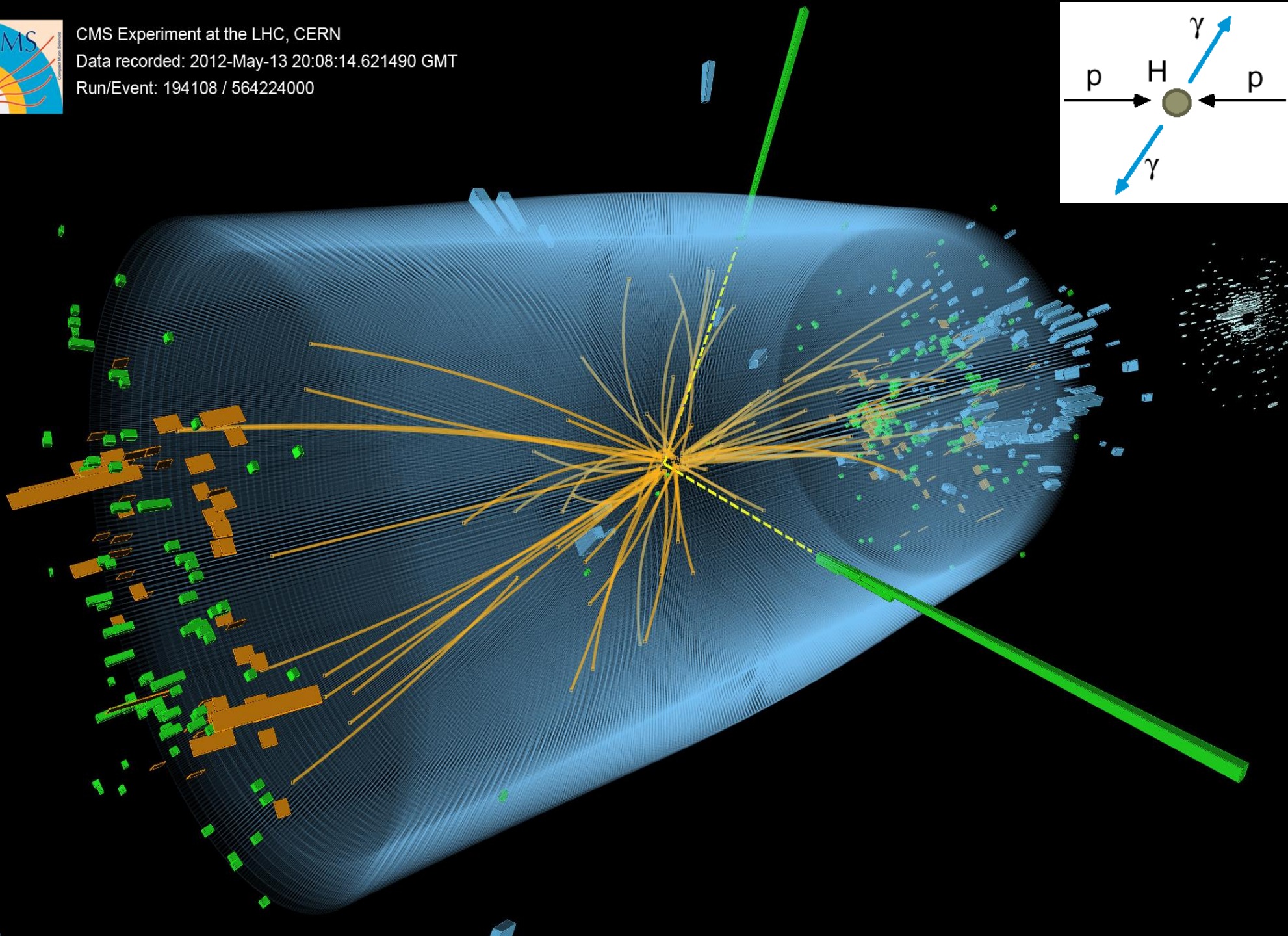




CMS Experiment at the LHC, CERN

Data recorded: 2012-May-13 20:08:14.621490 GMT

Run/Event: 194108 / 564224000

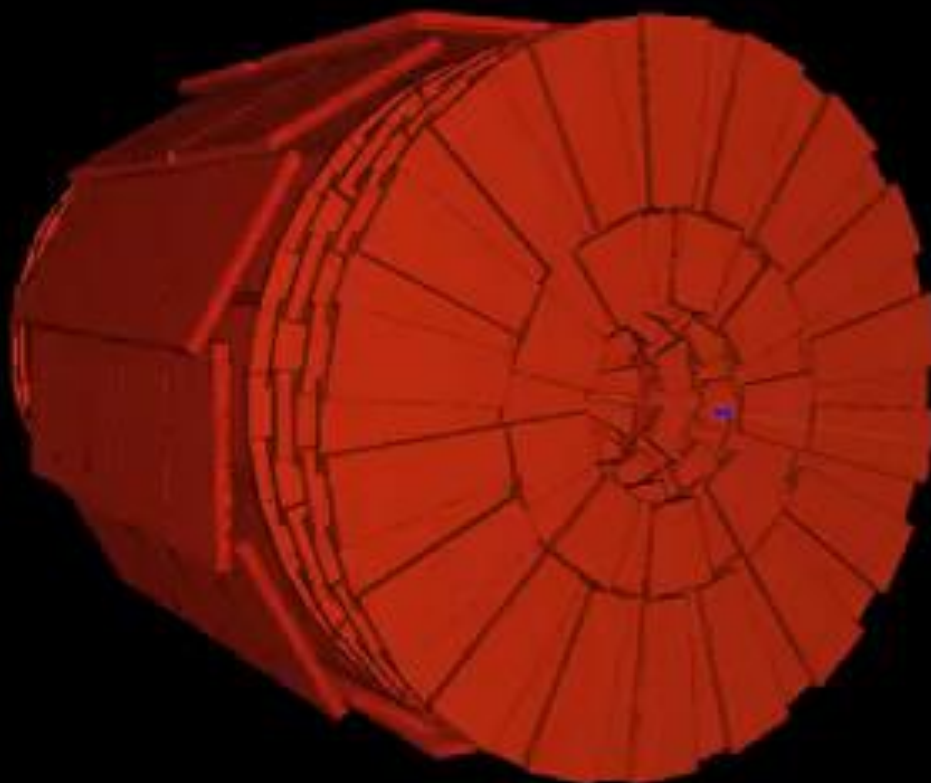


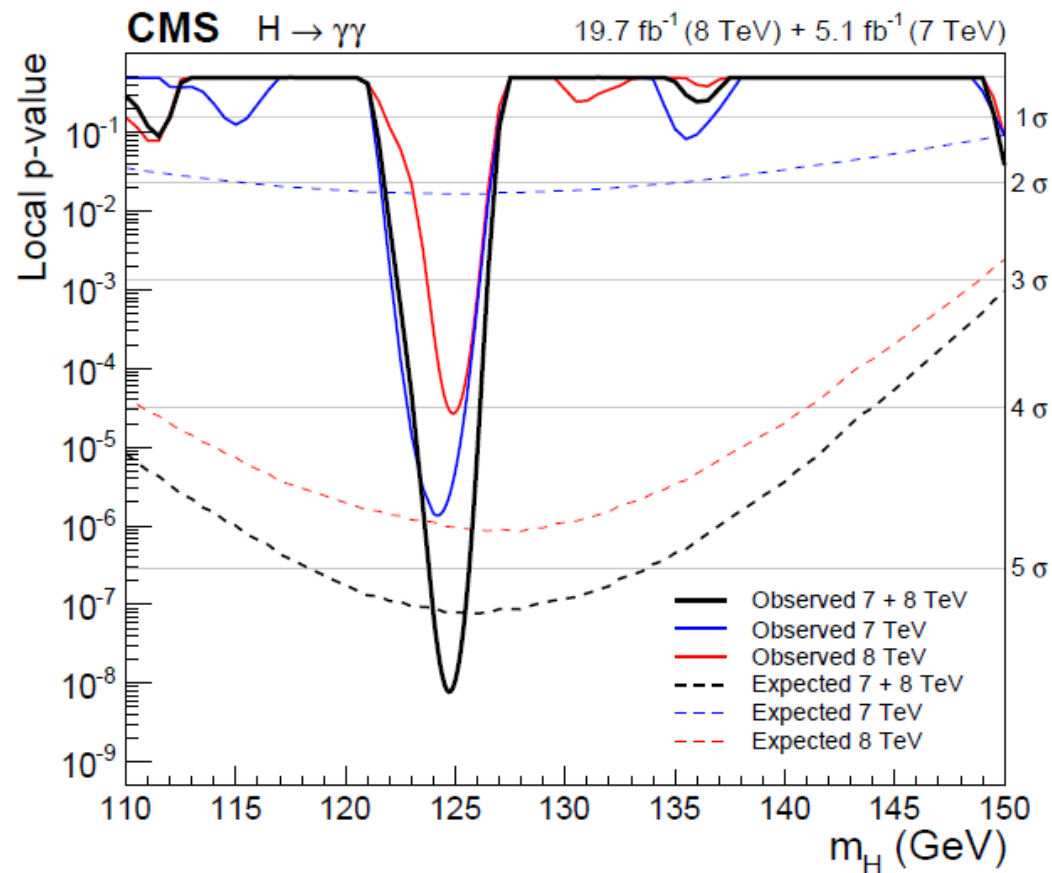
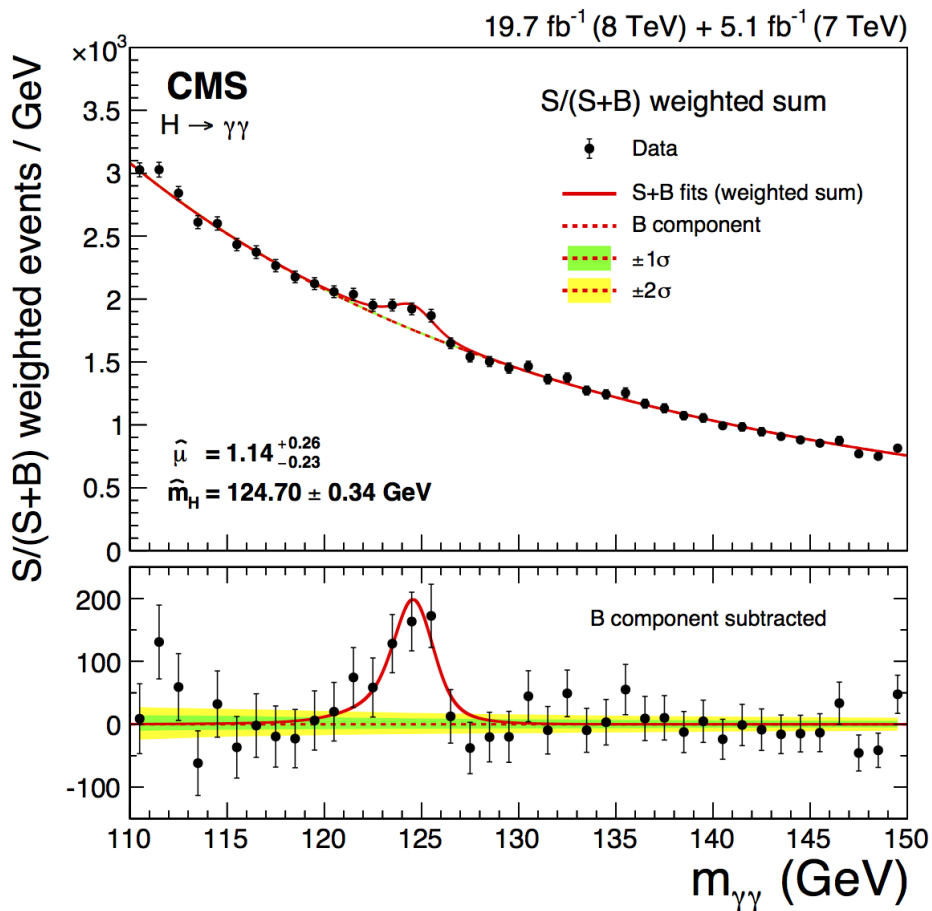


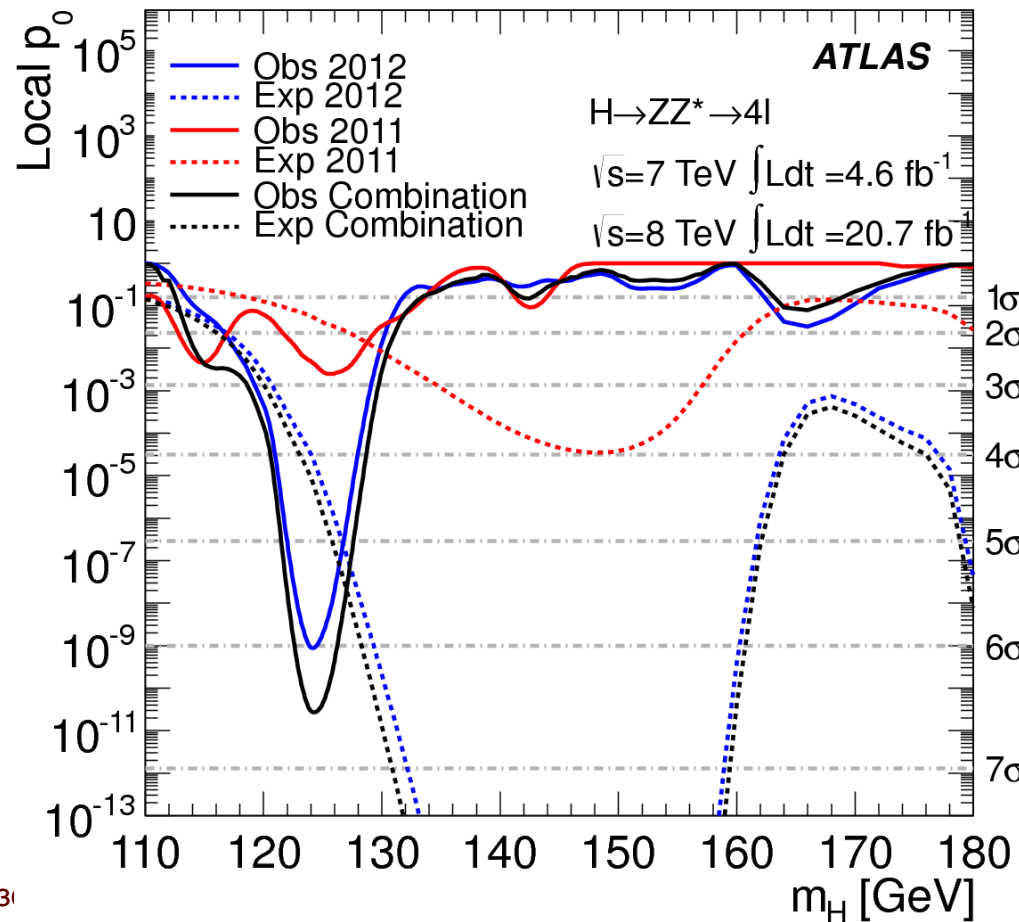
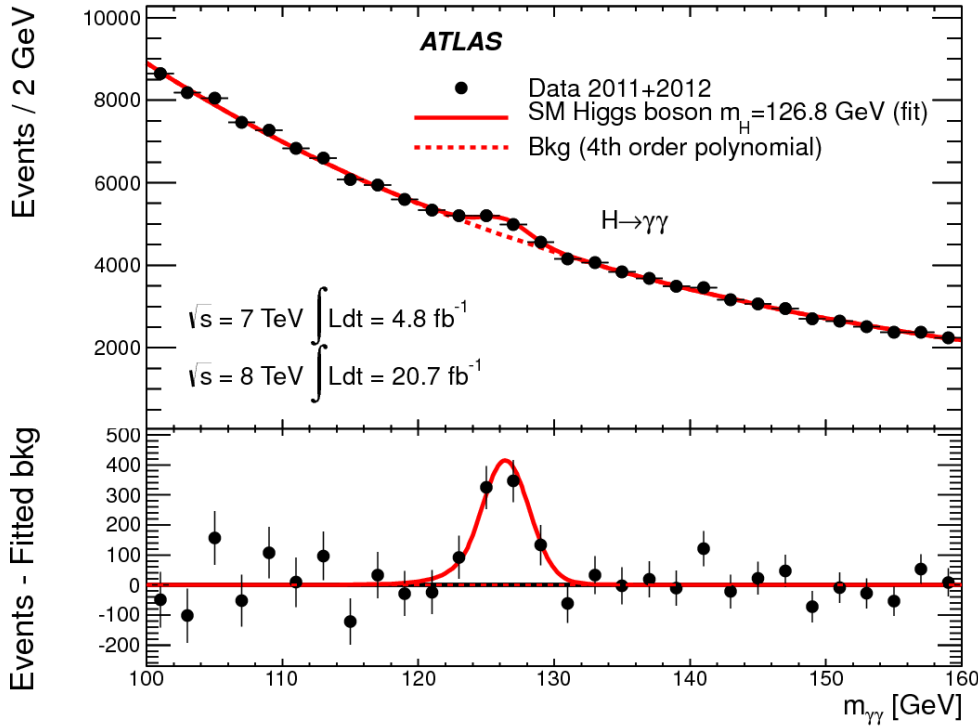
$H \rightarrow \gamma\gamma$



CMS Experiment at the LHC, CERN
Sat 2011-Apr-23 06:05:17 CET
Run 163302 Event 27907479
C.O.M. Energy 7.00TeV
Hb-GammaGamma candidate







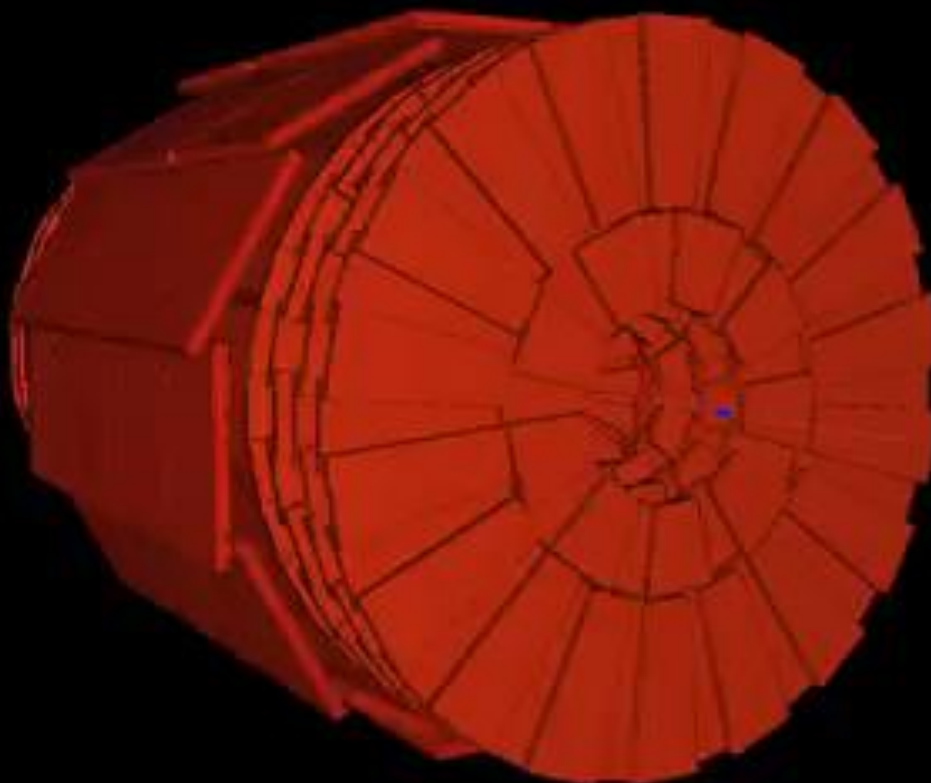
ATLAS Coll. CERN-PH-EP-2013-103
 e-Print: [arXiv:1307.1427](https://arxiv.org/abs/1307.1427) [hep-ex]



H \rightarrow 4e



CMS Experiment at the LHC, CERN
Sat 2011-Jun-25 08:34:20 CET
Run 167675 Event 876658967
C.O.M. Energy 7.00TeV
H \rightarrow ZZ \rightarrow 4e candidate

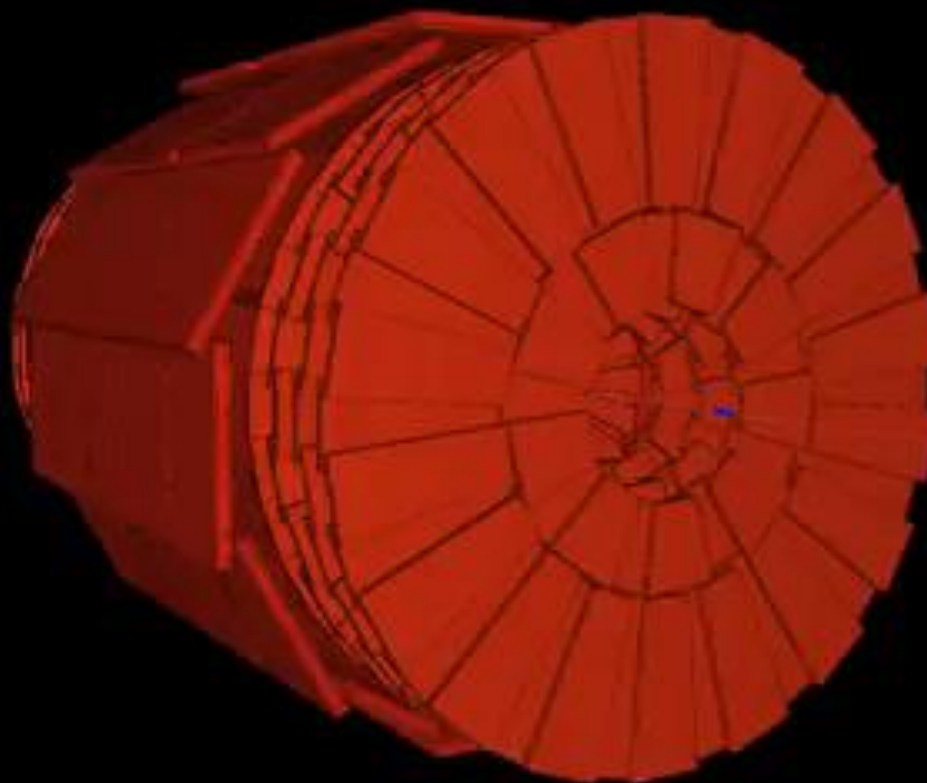


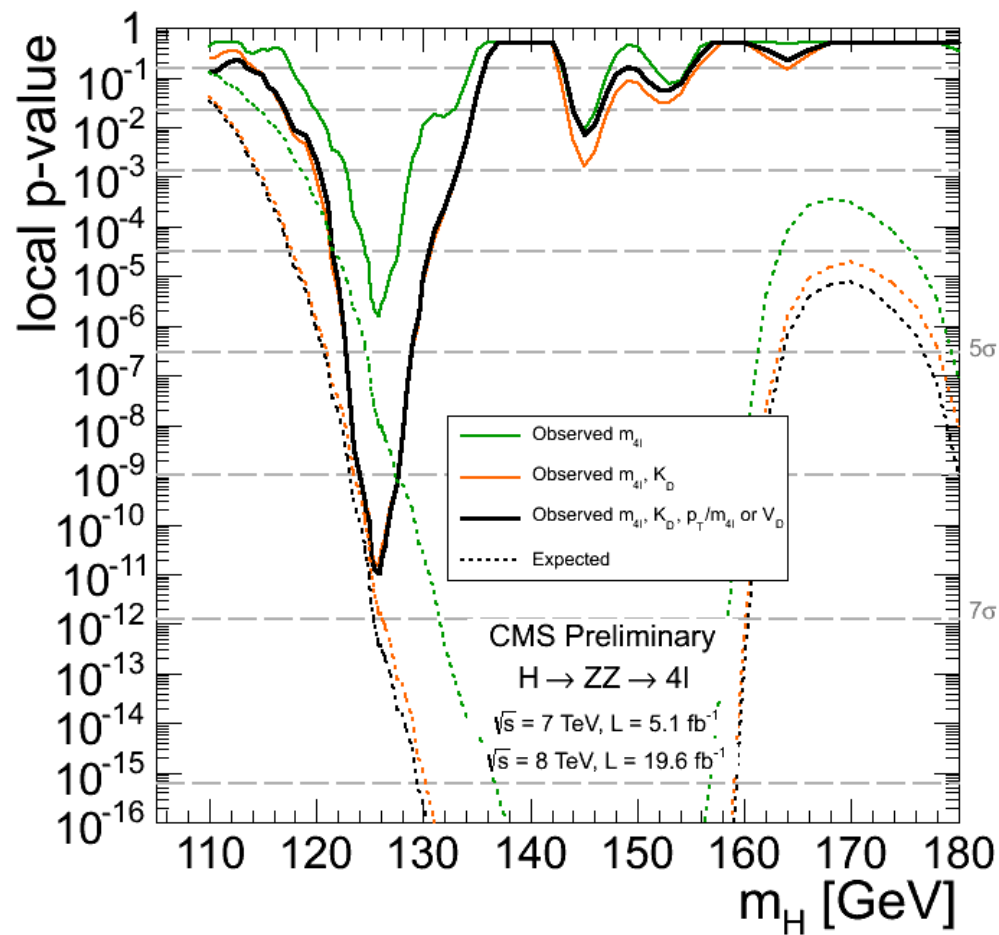
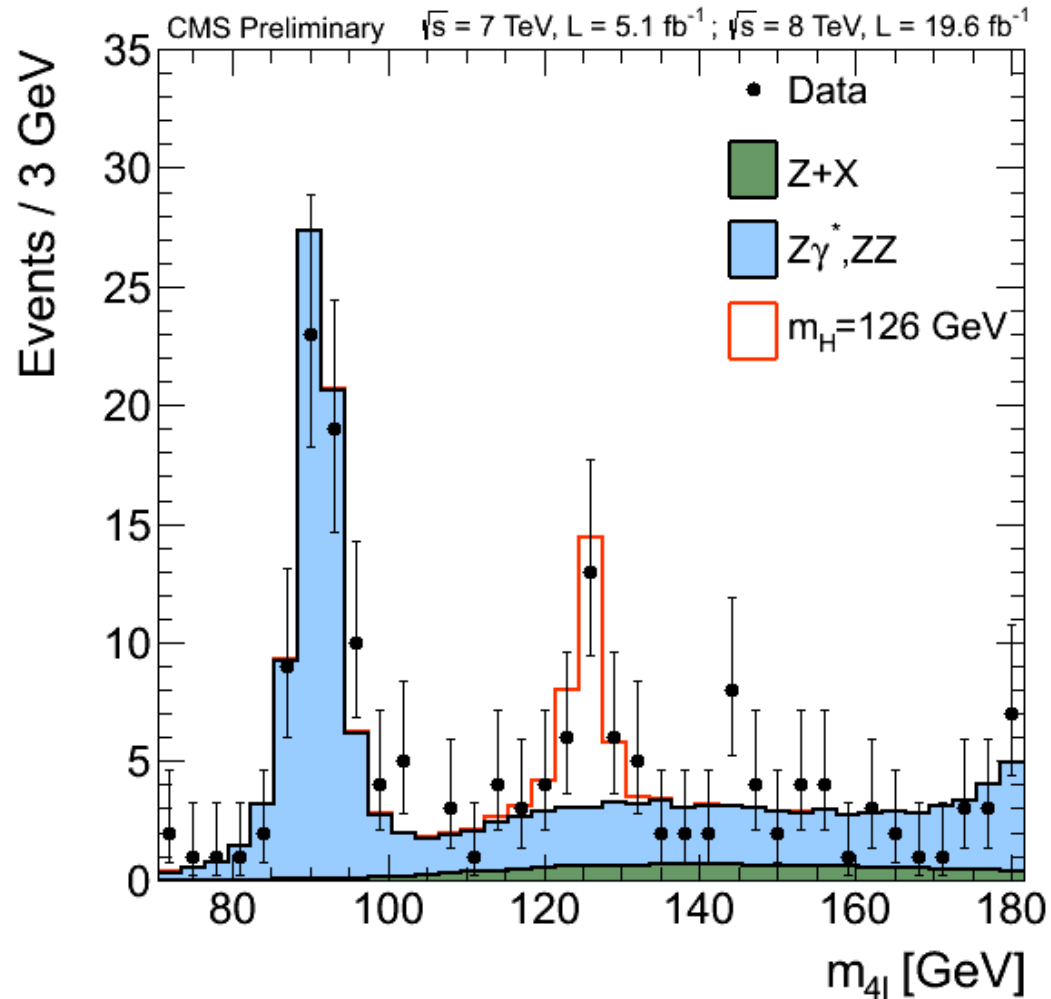


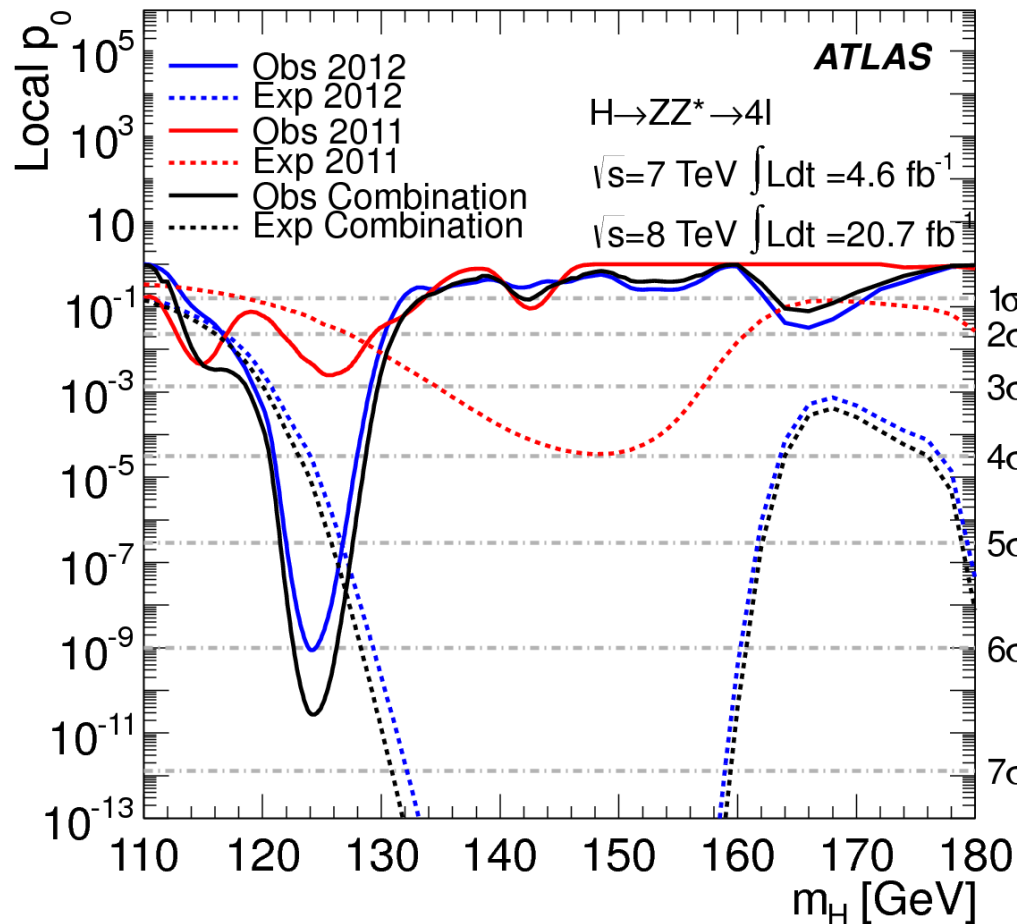
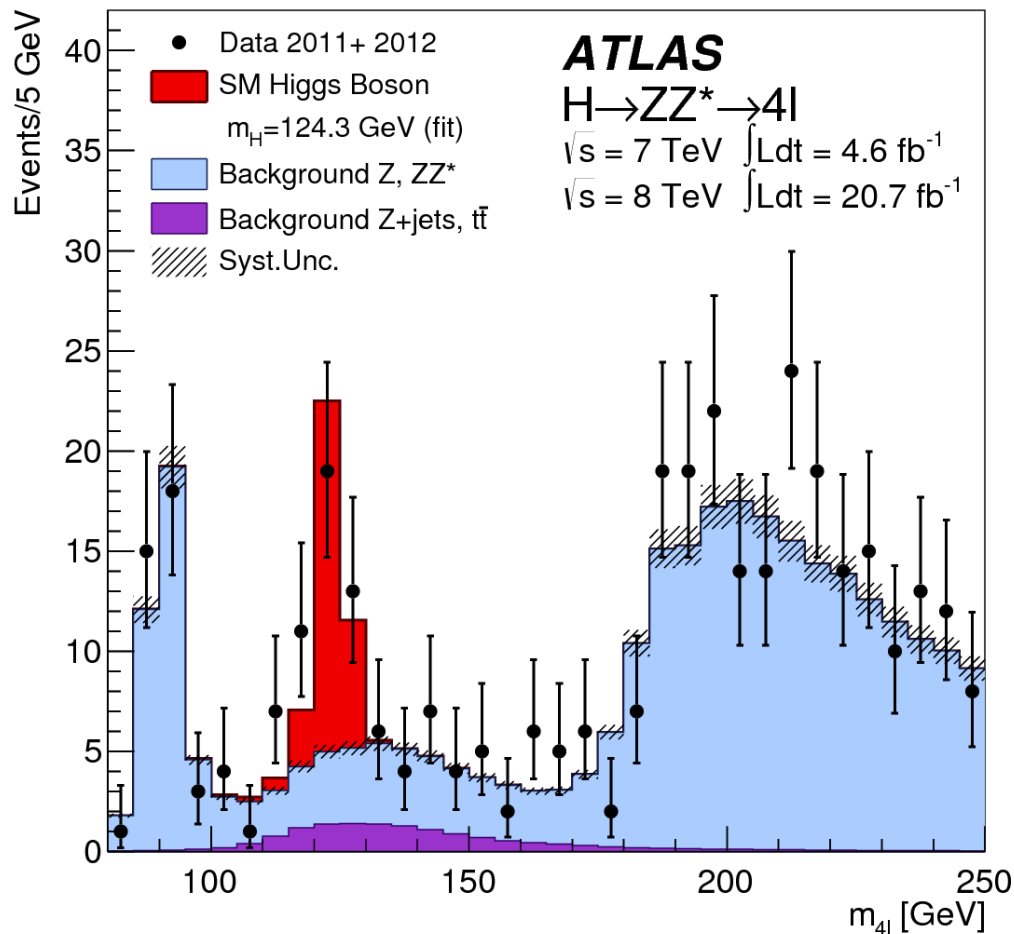
$H \rightarrow 4\mu$



CMS Experiment at the LHC, CERN
Sun 2011-Aug-07 05:00:32 CET
Run 172822 Event 255493033
C.O.M. Energy 7.00TeV
Hb-ZZ>4mu candidate







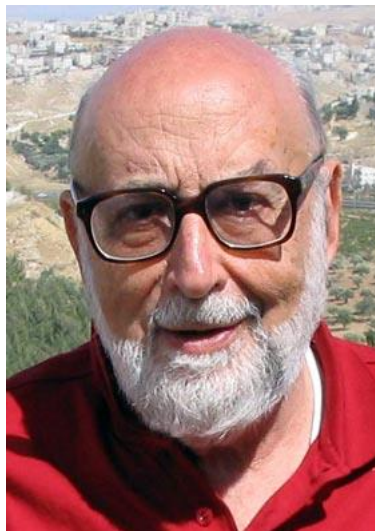
ATLAS Coll. CERN-PH-EP-2013-103
 e-Print: [arXiv:1307.1427](https://arxiv.org/abs/1307.1427) [hep-ex]



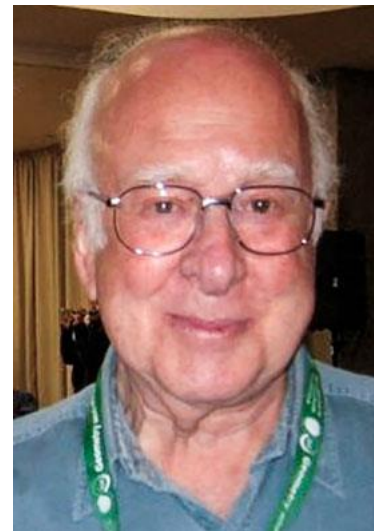
In summary



**We have observed a new
boson with a mass of
 $125.3 \pm 0.6 \text{ GeV}$
at
 5σ significance !**



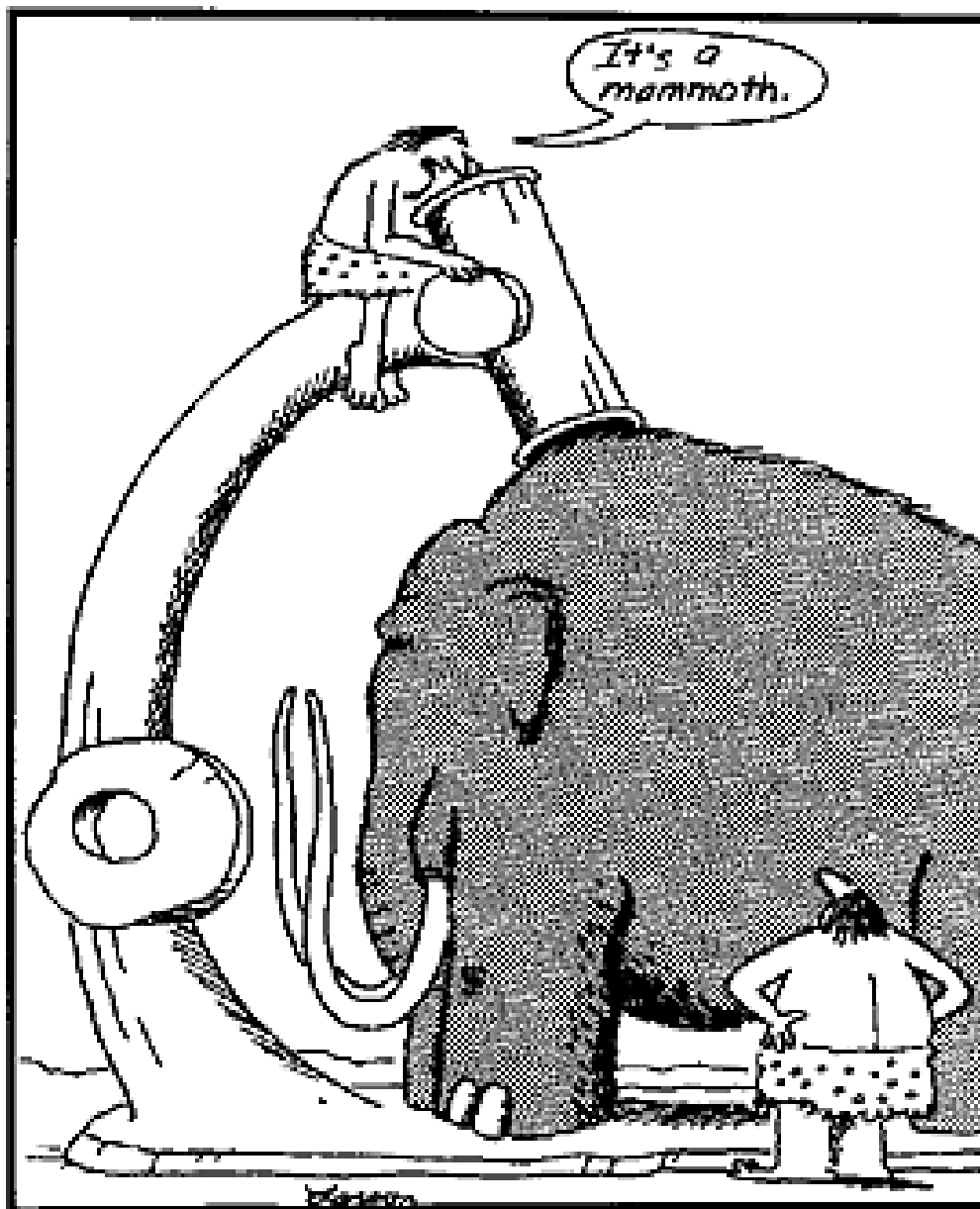
Francois Englert



Peter Higgs

For the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN's Large Hadron Collider"

Открихме ли Хигс бозона?





Открихме ли Хигс бозона?



За да отговорим на този въпрос трябва да определим:

спина, сеченията за раждане и вероятности за разпад на новата частица

Окомплектован ли е Стандартния модел? Дали тази частица е Хигс бозона от СМ?

Дали това не е “първи братовчед” на Хиггс бозона от СМ предсказан от някое от неговите разширения?

Наблюдаваме ли за първи път сигнали за физика извън СМ?



SM Higgs boson?



Наблюдаван в $H \rightarrow \gamma\gamma$ и $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$ $s = 0, 2$

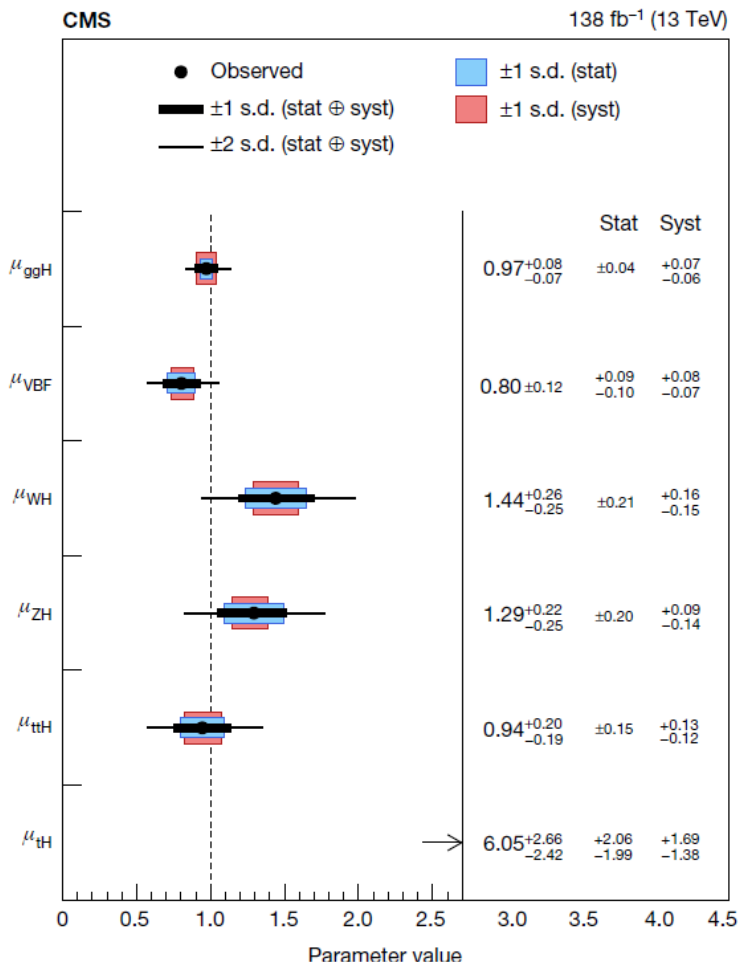
Наблюдаван в $H \rightarrow bb, \tau\tau$ $s = 0, 1$

Новите резултати на CMS и ATLAS

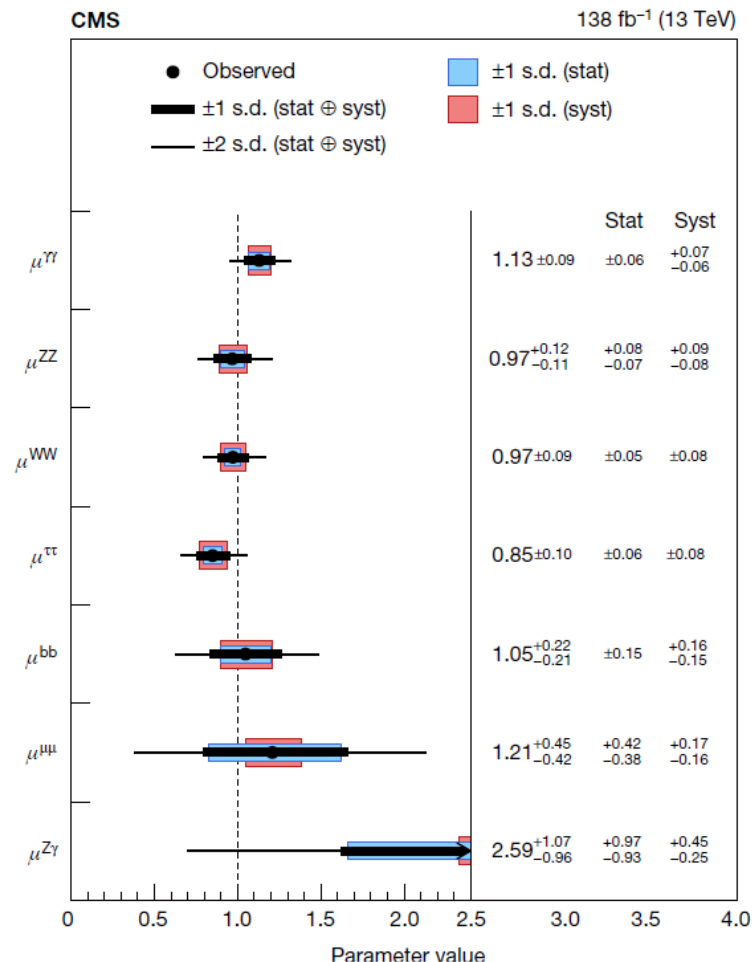
Новата частица е скаларна $s = 0^+$

Сечения за раждане? Вероятности за разпад?

Константи на взаимодействие?

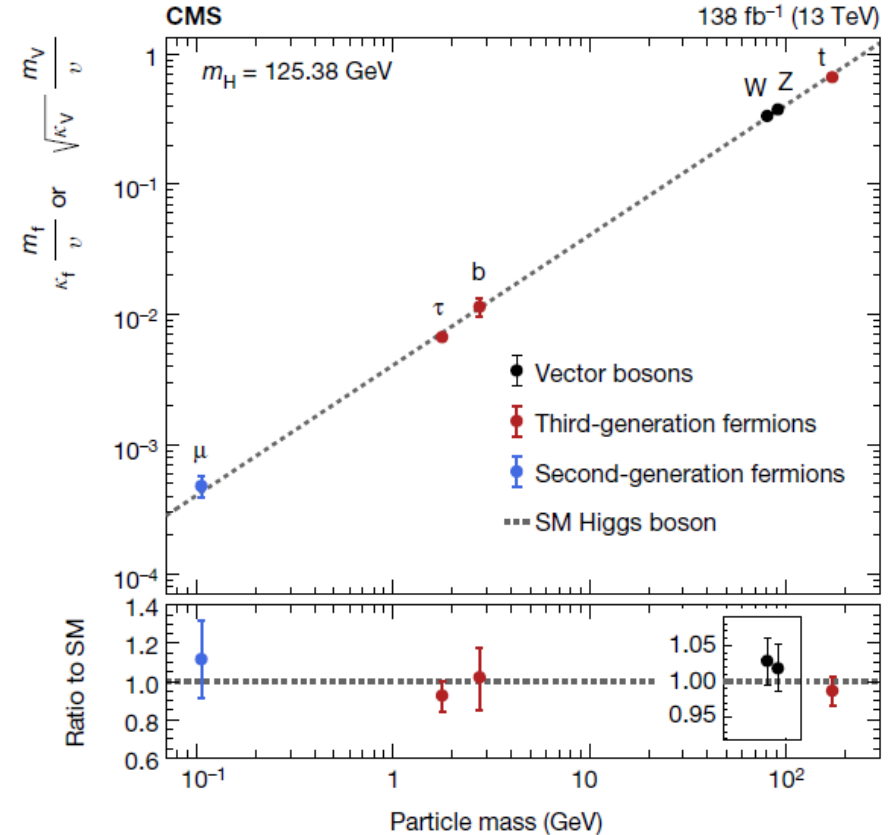
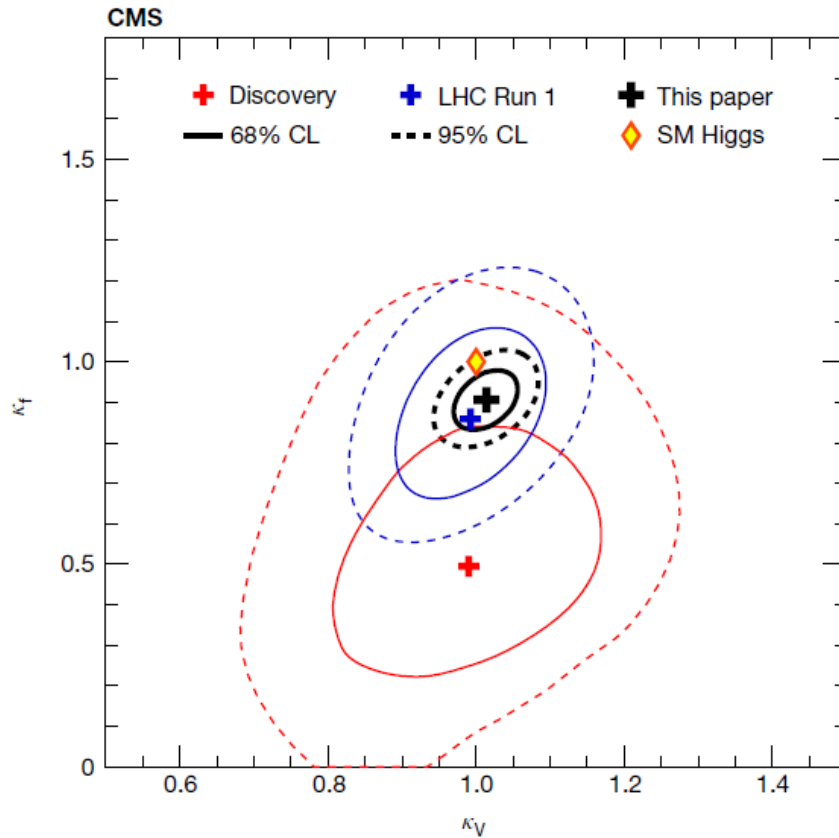


Раждане на бозони на Хиггс
Хиггс



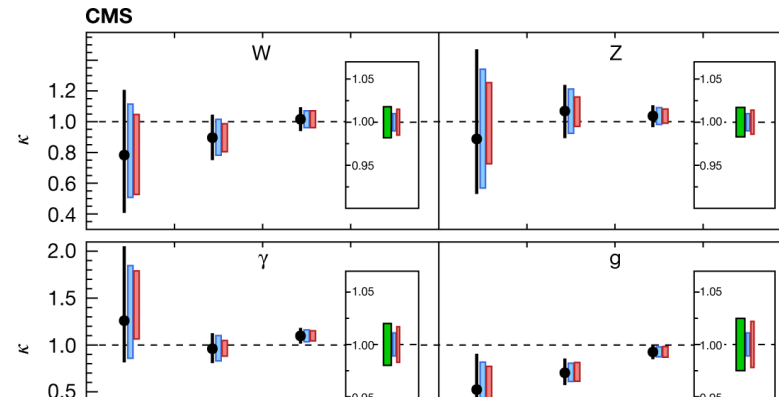
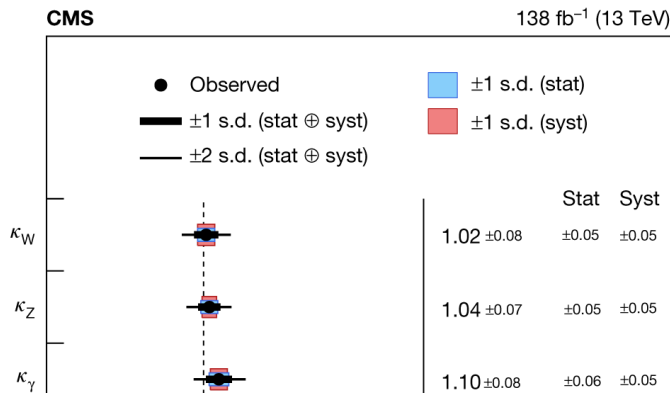
Разпади на бозони на

<https://www.nature.com/articles/s41586-022-04892-x>

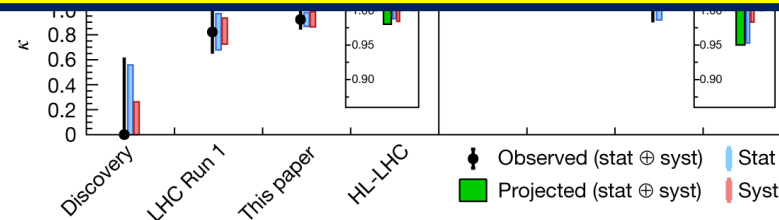
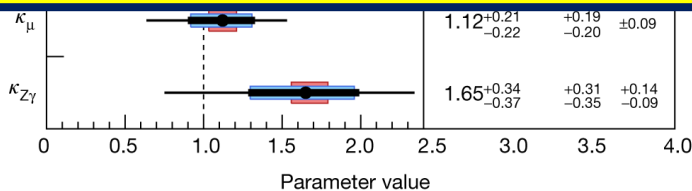


Взаимодействия на бозони на Хиггс с фермиони и тежки векторни бозони

<https://www.nature.com/articles/s41586-022-04892-x>



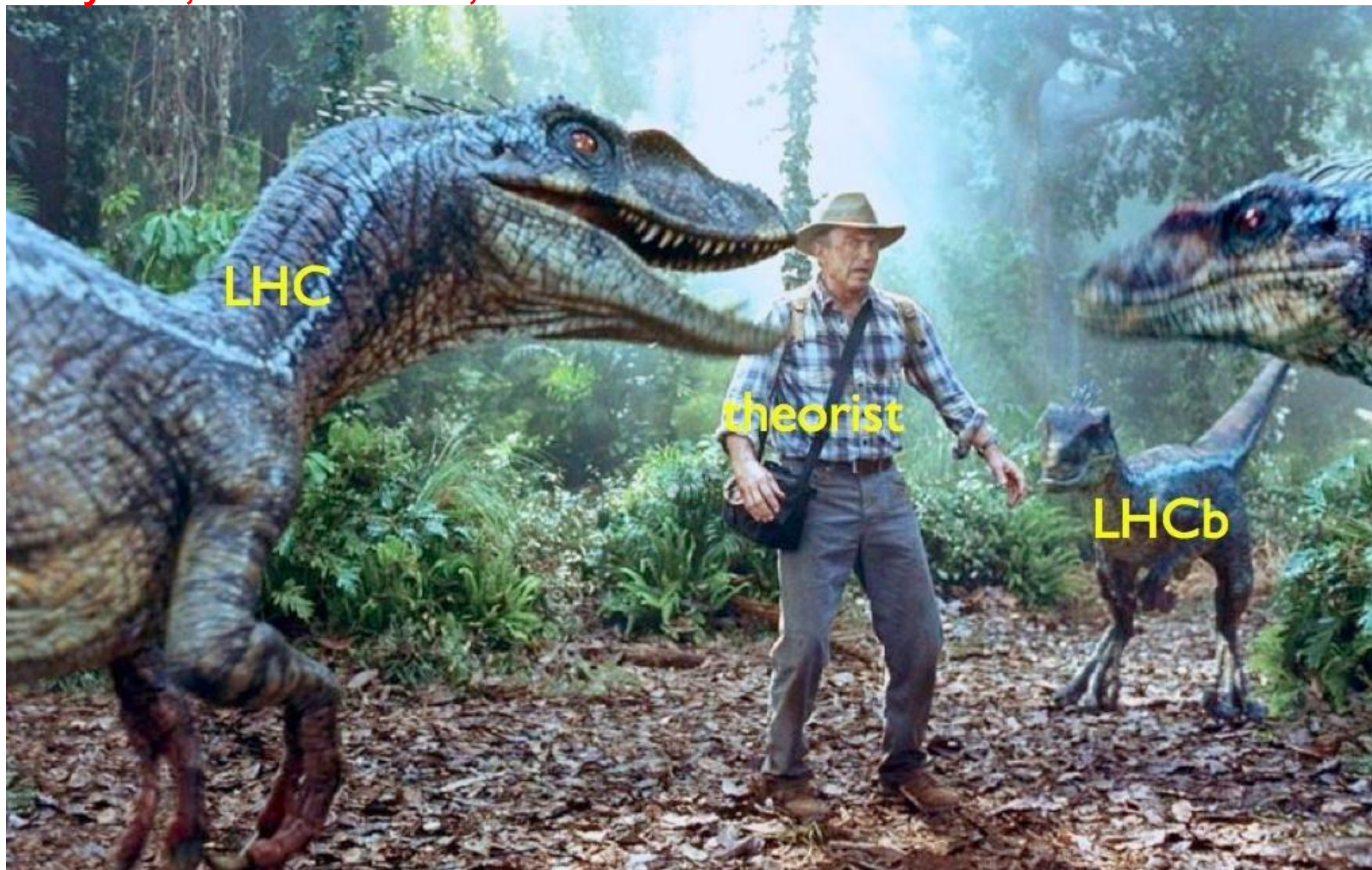
Свойствата на новата частица са съвместими с тези на бозонът на Хиггс предсказан в рамките на СМ!



Константи на взаимодействие на Хиггс бозона

<https://www.nature.com/articles/s41586-022-04892-x>

Murayama, ICFA Seminar, 2011 CERN





**Познаваме само
4%
от съдържанието
на Вселената**



**Познаваме само
4%
от съдържанието
на Вселената**



**Познаваме само
4%
от съдържанието
на Вселената**



**Познаваме само
4%
от съдържимоето
на Вселената**



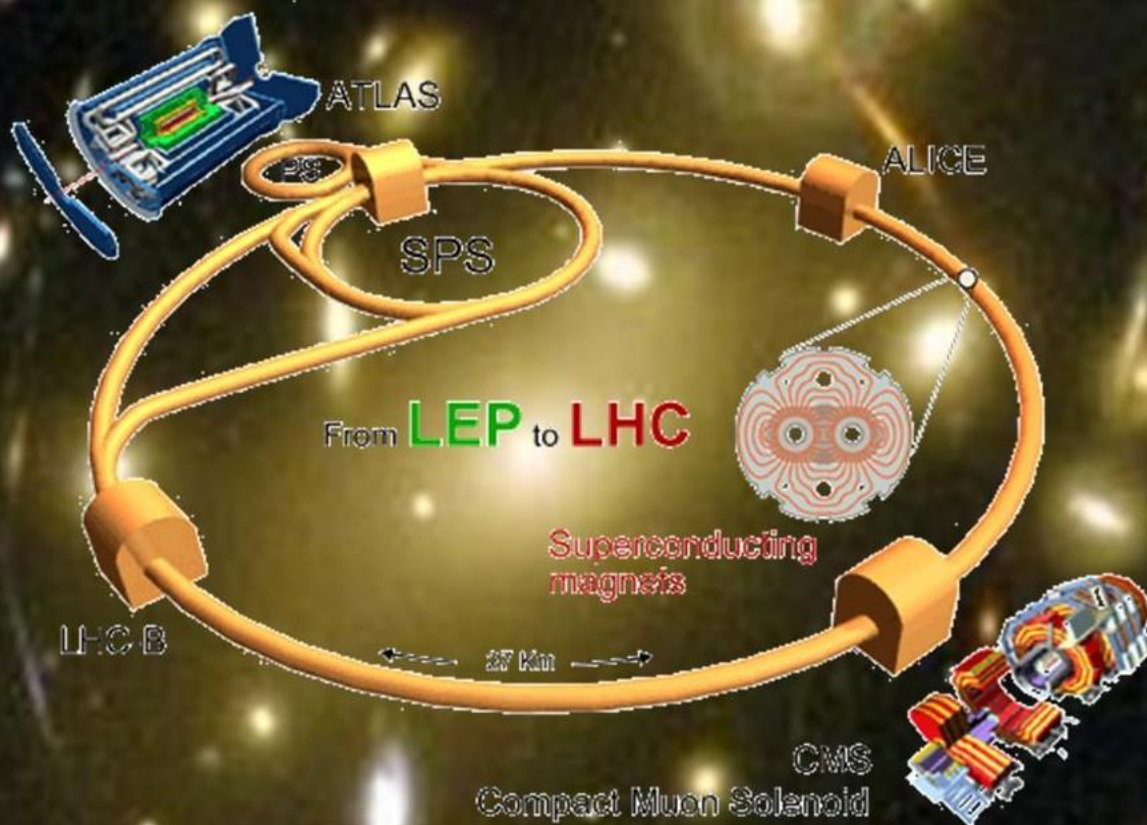
Какво знаем?



**Направихме само първата
историческа стъпка от един
дълъг път към опознаване на
структурата на Вселената**

Голямото търсене

на тайните на Вселената



продължава





Благодаря за вниманието!



Bulgarian participation

❖ Участват две групи

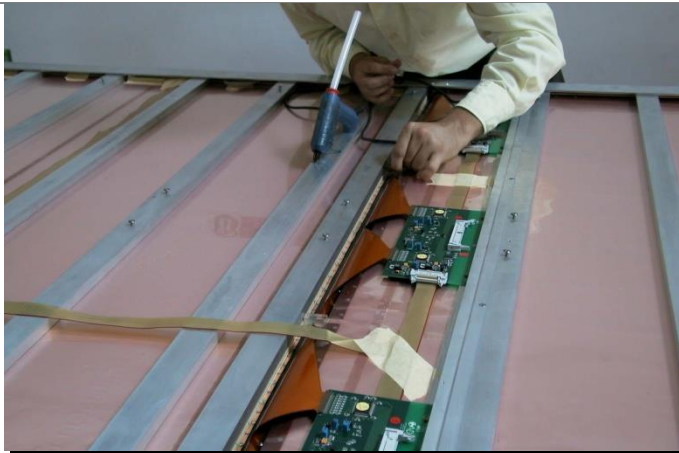
- Софийски Университет
- ИЯИЯЕ

Основатели на колаборацията CMS (1991)

- Разработване на конструкцията на детектора
- Софтуер за симулация на детектора
- Производство на прототипи и техни тестове
 - ✓ адронен калориметър
 - ✓ Камери със съпротивителна плоскост
- Разработване и производство на HV захранвания
- Разработване на софтуер за нализ на данни
- Разработване на физическата програма

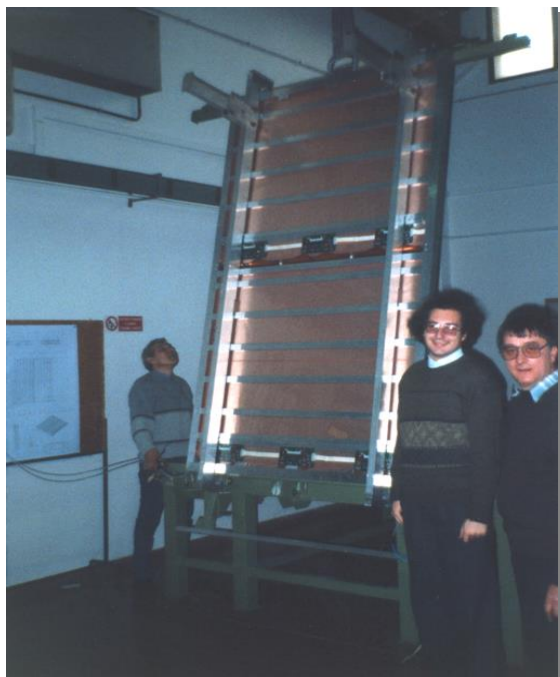


Българско участие RPCs (след 1999)



Производство на алуминиеви рамки за RPCs (> 20 tons) at *Stilmet in Sofia*

В София: Сглобяване на 125 RPC



Л. Литов

Откритието на бозона на хигс

ЦЕРН, 19 септември 2023



Инсталиране на мюонните камери (DTs, RPCs)



Инсталация на RPC с участието на български специалисти от Софийския Университет и ИЯИЯЕ на БАН

Адрония калориметър



Инсталация на първата половина на адрония калориметър (350 tons) в магнита на CMS- April 2006

Производство на месингови плочи в България
КЦМ г. Искър



Дизаин , производство и тестове на HV захранвания

Изучаване на свойствата на детектора







CMS център София





CMS център София

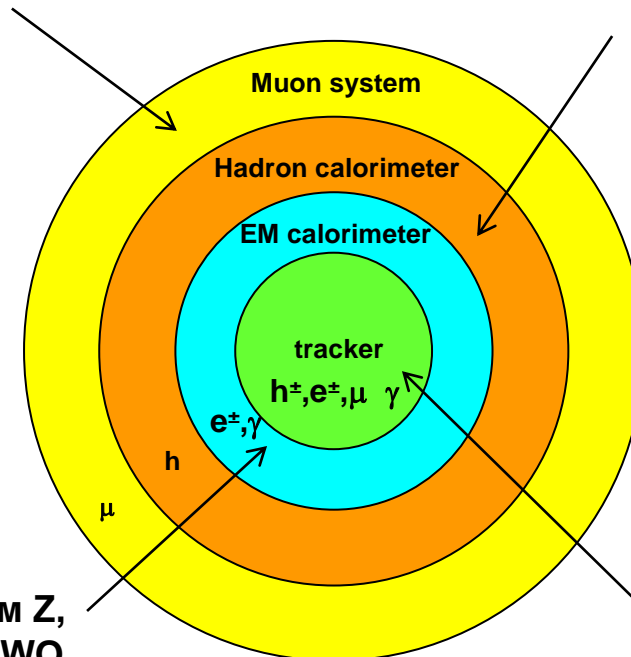


Тежък абсорбер

Тежки материали
Fe, Cu

Материал с голям Z,
Pb, кристали (PbWO_{4+})

Леки материали



Всеки слой идентифицира или измерва частици, които не са измерени от по-вътрешен слой

Единичен детектор не може да измери енергията/импулса на всички частици

Йонен източник, линеен ускорител





Йонен източник, линеен ускорител



Л. Литов

Откритието на бозона на Хиггс

ЦЕРН, 19 септември 2023

LHC е ...

най-бързата писта в света..

Трилиони протони ще се движат по това 27 километрово трасе със скорост близка до скоростта на светлината в противоположни посоки, правейки 11000 обиколки в секунда.

най-празното място в слънчевата система...

За да се ускорят протоните до толкова висока скорост е необходим вакуум като този в междупланетното пространство.

На луната има 10 пъти по-плътна атмосфера отколкото в LHC.

най-горещата точка в галактиката...

Когато два протона се сблъскват те ще генерират температура 1000 000 пъти по-висока от тази в центъра на Слънцето.

най-студеното място във Вселената , 120 t течен He при 1.9 K

машина на предния фронт на **физиката** и на предния фронт на **технологията**

