



ЦЕРН, 17 Септември 2012

# **Въведение във физика на частиците**

**Владимир Генчев**

**ИЯИЯЕ, БАН, София**

# Съдържание

**Физическа мотивация**

**История**

**Елементарни частици**

**Структура на “елементарните частици”**

**Кварков модел**

**Фундаментални сили**

**Стандартен модел**

**Ускорители и детектори**

**Заключение**

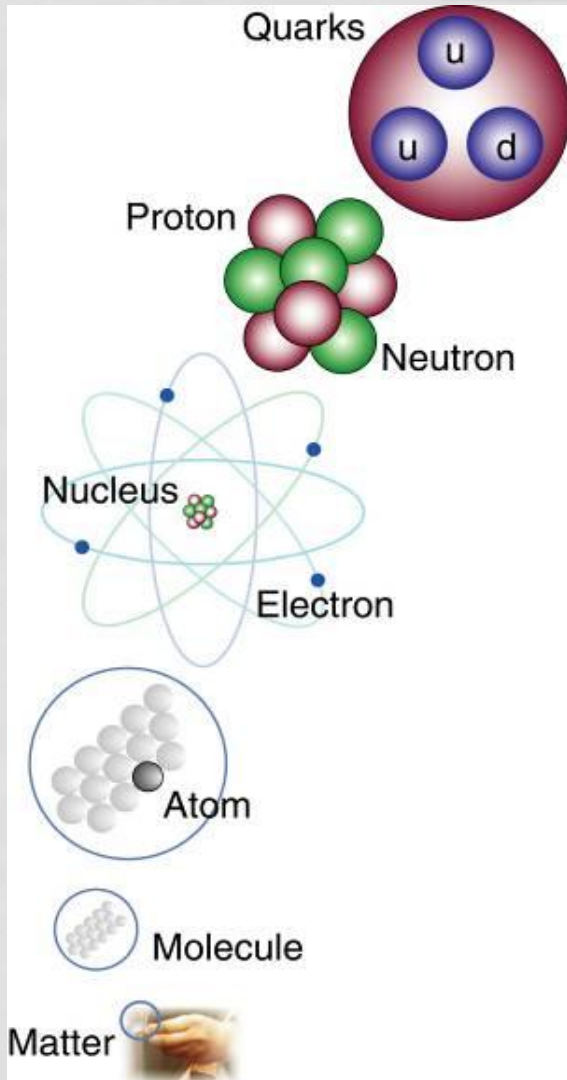
# **Физическа мотивация**

**Основната цел на физиката на елементарните частици е да отговори на два фундаментални въпроса:**

**Кои са елементарните съставни части на материята?**

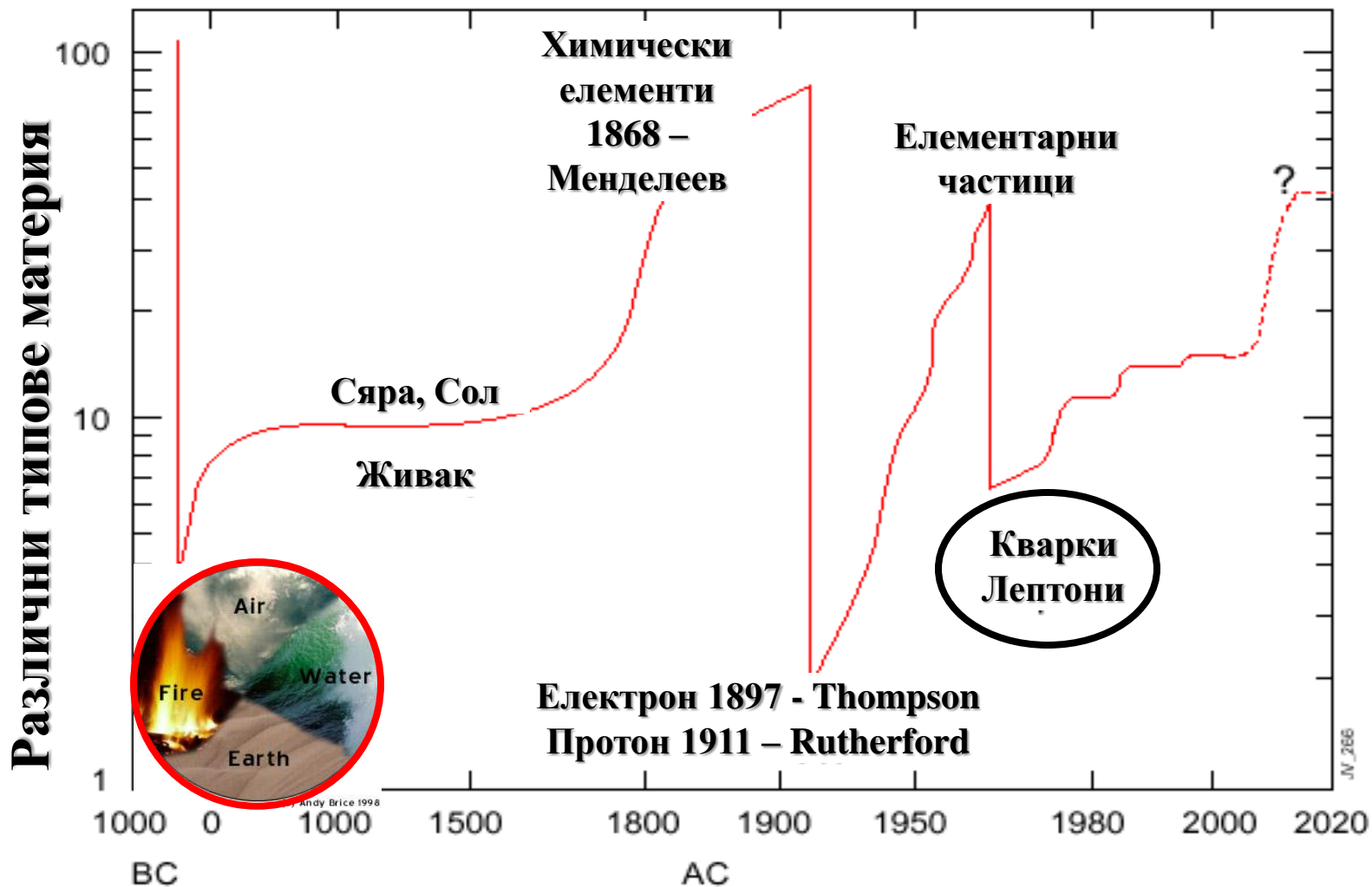
**Какви са силите, които контролират тяхното поведение на най-ниско ниво?**

# Какво прави една частица елементарна?



**Една частица е  
елементарна когато  
няма вътрешна  
структура**

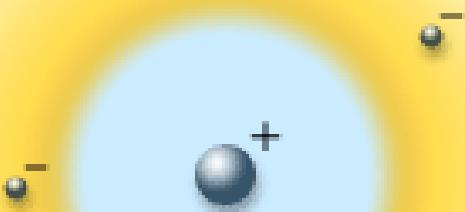
# История на материята



# Структура на атомите



1900



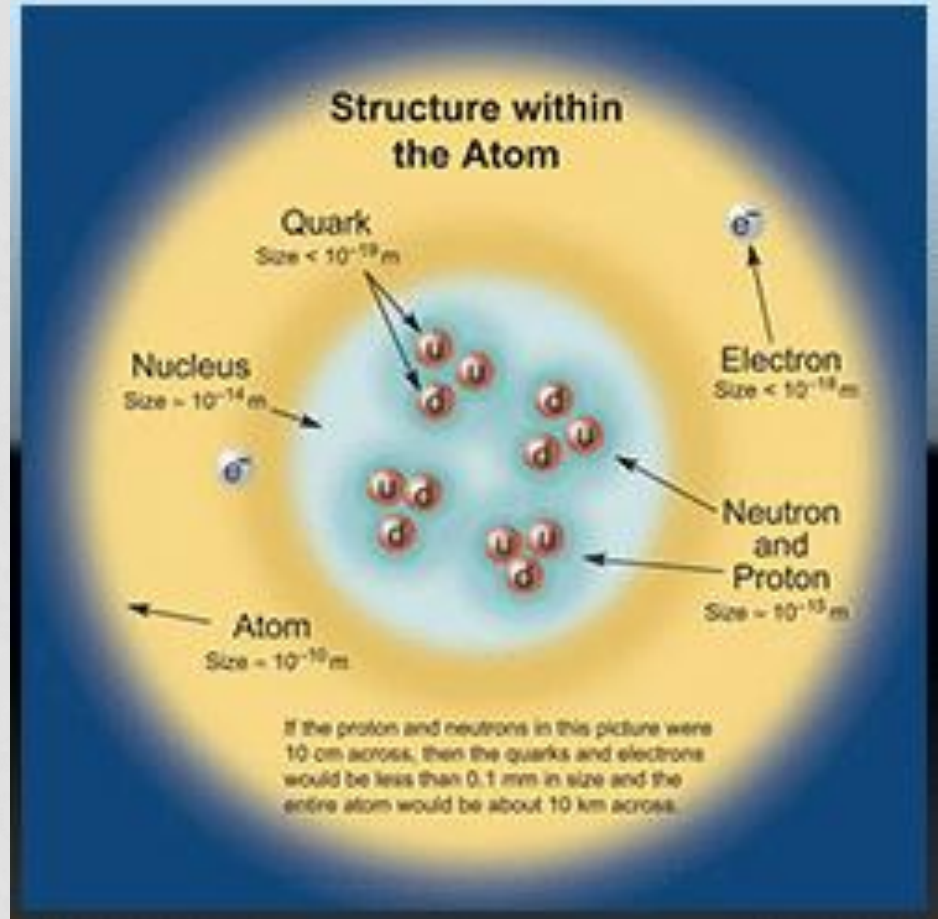
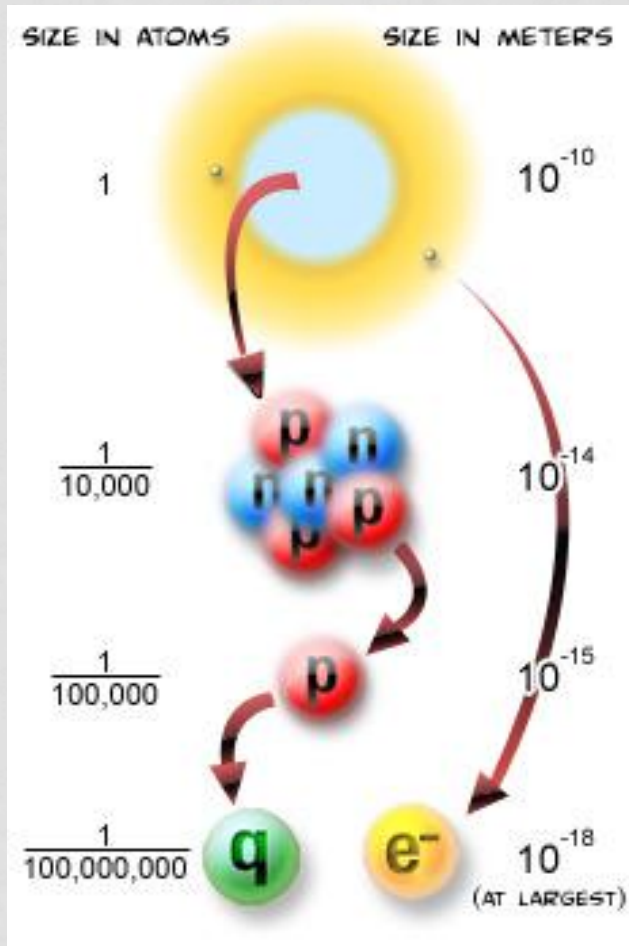
PRESENT DAY

(I AM THE VERY MODEL OF  
A MODERN MAJOR ATOM)

**Всички атоми на  
елементите  
от нашата Вселена са  
съставени  
от три типа частици:  
протон, неутрон и електрон**

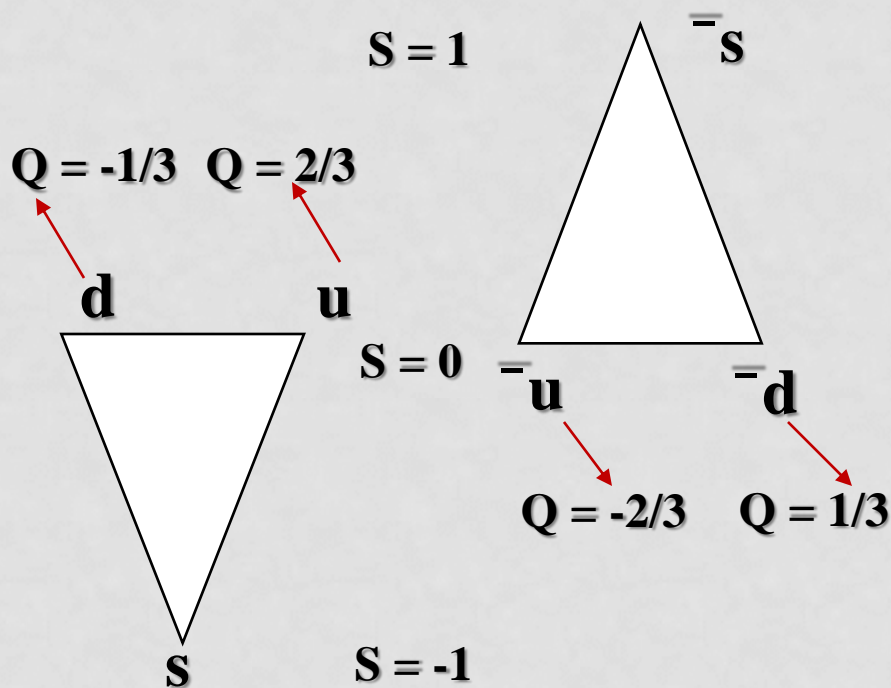


# Структура на ядрото



# Структура на “елементарните частици”

1964 г. Gell Mann: **Кварков модел**



Съществуването на кварките е потвърдено експериментално 1968 г. SLAC

- 1974 - “charm” кварк
- 1983 - “bottom” кварк
- 1995 - “top” кварк



# Шест кварка + 6

## Барион: 3 кварка

$\left(\frac{2}{3}\right)$   
up



$\left(\frac{2}{3}\right)$   
charm



$\left(\frac{2}{3}\right)$   
top



$\left(-\frac{1}{3}\right)$

down



$\left(-\frac{1}{3}\right)$

strange

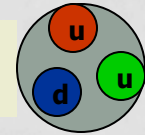


$\left(-\frac{1}{3}\right)$

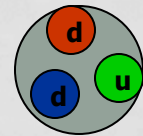
bottom



$$P = (+2/3e + 2/3e - 1/3e = +1)$$



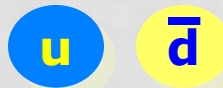
$$n = (+2/3e - 1/3e - 1/3e = 0)$$



## Мезон: кварк + антикварк



$$\pi^0 \quad (+2/3 e - 2/3 e = 0)$$



$$\pi^+ \quad (+2/3 e + 1/3 e = +1)$$



$$\pi^- \quad (-1/3 e - 2/3 e = -1)$$



$$K^+ \quad (+2/3 e + 1/3 e = +1)$$

# Фамилии частици

Над 200 частици са обединени във фамилии по някои свойства

- Неутрина -  $\nu$
- Лептони (leptos = леки) –  $e, \mu$
- Мезони (mesos = средни) –  $\pi, K$
- Бариони (baryos = тежки) –  $p, n$
- Хиперони –  $\Lambda, \Sigma, \Omega$
  
- Фермиони (спин =  $1/2, 2/3, 5/2, \dots$ )
- Бозони (спин =  $0, 1, 2, \dots$ )
  
- Странни (s – кварк)
- Очаровани (c – кварк)

# Антиматерия

**1928 – Dirac – предсказва съществуване на антиматерия**

**1932 – открит е антиелектрон (позитрон). При преминаване на енергията в материя се произвежда еднакво количество материя и антиматерия -  $\gamma \rightarrow e^+ + e^-$**

**Обратен процес – аниhilация -  $e^+ + e^- \rightarrow \gamma$**

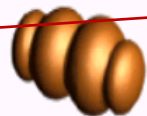
**1995 – CERN – открит е антиводород, състоящ се от антипротон и позитрон**

**По принцип антисвят може да се построи от антиматерия  
Антиматерия се произвежда засега само в лабораторни условия**

# Фундаментални сили

## Силни

Gluons (8)



Quarks  $\sim 1$



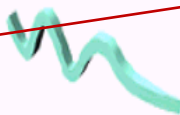
Mesons  
Baryons



Nuclei

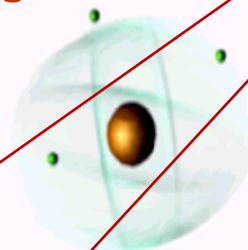
## Електромагнитни

Photon



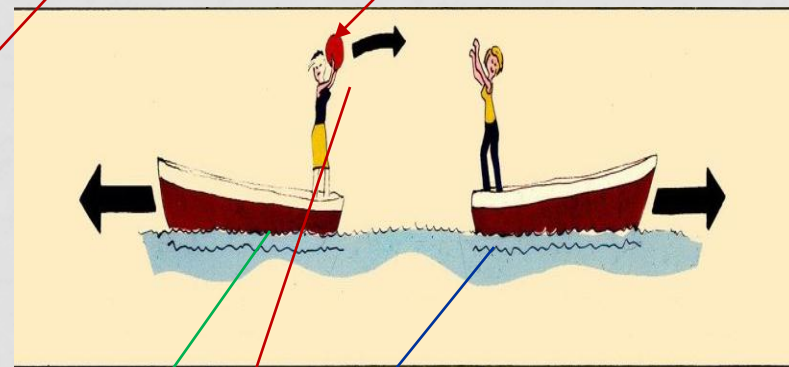
$\sim 10^{-3}$

Atoms  
Light  
Chemistry  
Electronics



## Носители на

## взаимодействието



## Гравитационни

Graviton ?



$\sim 10^{-38}$

Solar system  
Galaxies  
Black holes



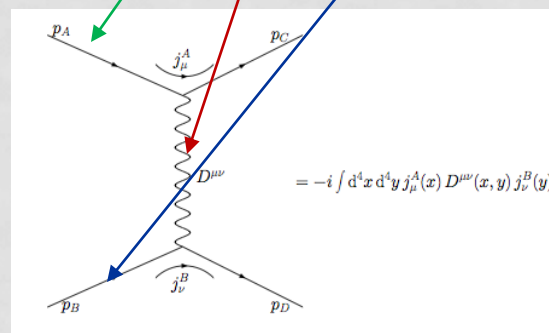
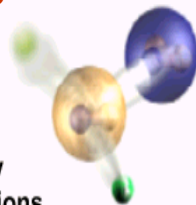
## Слаби

Bosons (W,Z)

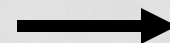


$\sim 10^{-5}$

Neutron decay  
Beta radioactivity  
Neutrino interactions  
Burning of the sun



време



Диаграма на Феунман

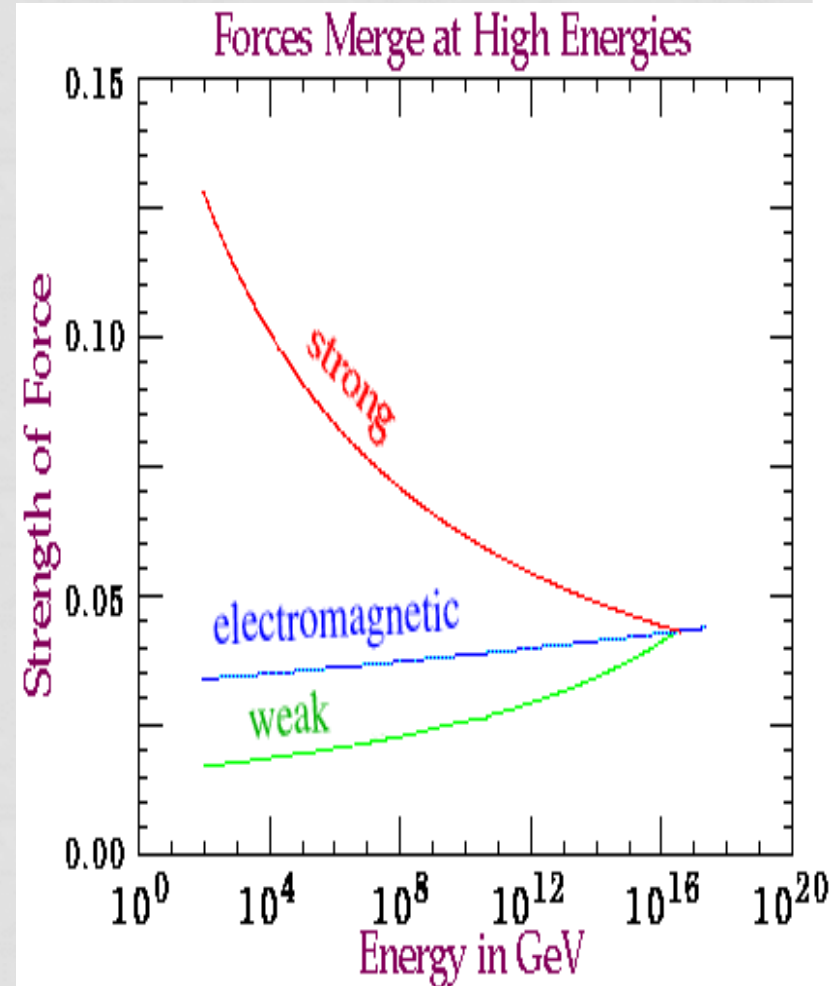
# Единно описание на взаимодействията

**1873 - Maxwell - Обединение на  
електрическо и магнитно поле**

**1979 - Нобелова награда -  
GLASHOW, SALAM и WEINBERG  
за Обединение на слабото и  
електромагнитното взаимодействие**

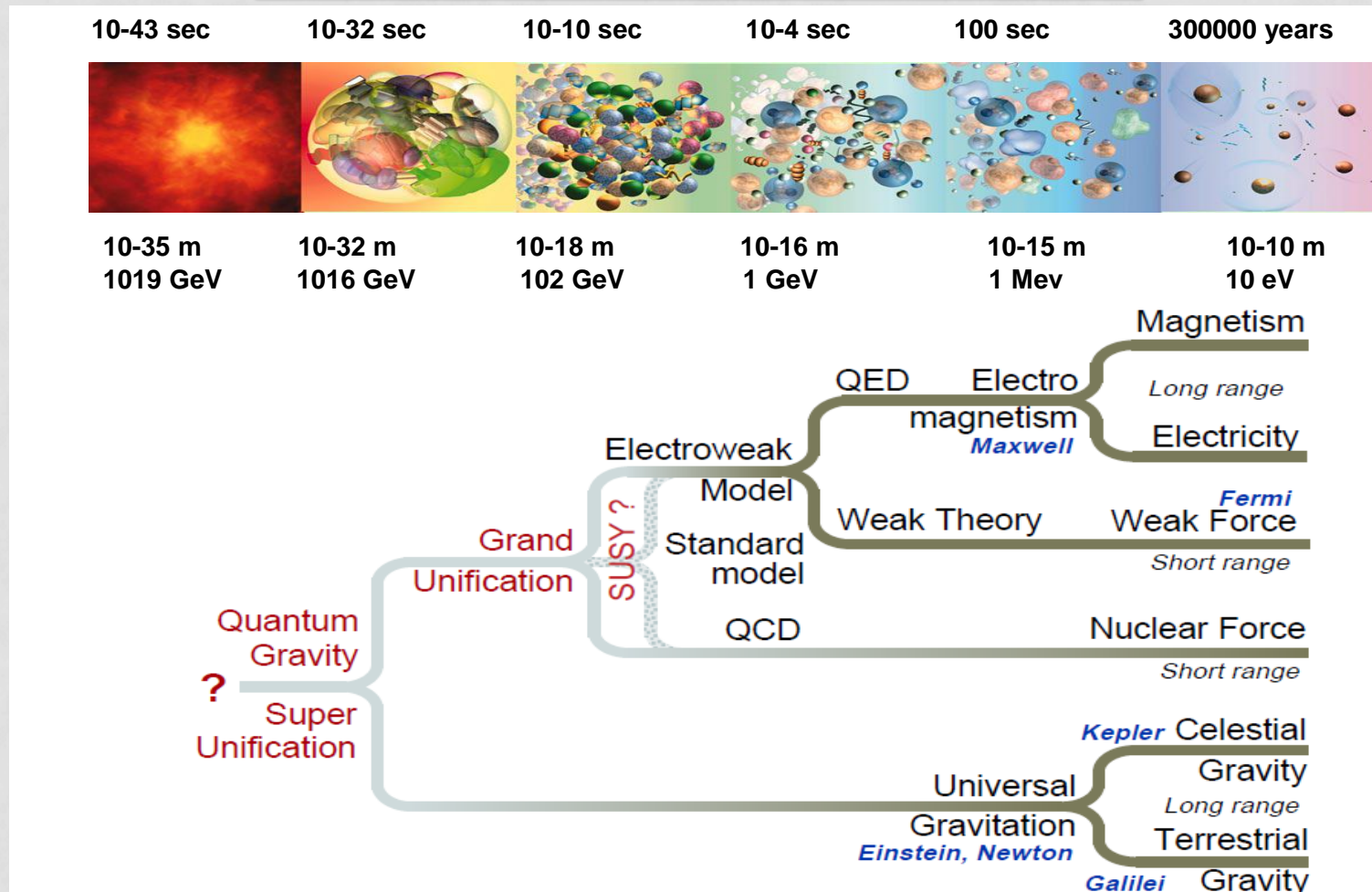
**1984 - Нобелова награда - Rubbia и  
Van Der Meer за Откриване на W и  
Z бозоните**

**1991 – експериментите на LEP – има  
само три леки неутрина**





# Единно описание на взаимодействията



Теории:

струни

релятивистки/квантови

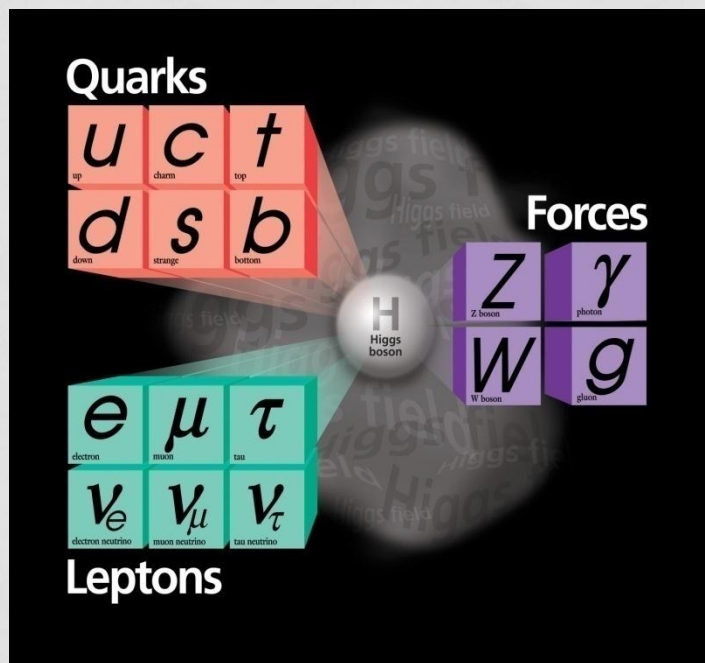
класически



# Стандартен модел (SM)

През последните 100 години: Комбинация от Квантовата механика и Специалната теория на относителността заедно с откриването на нови частици доведе до SM на Физика на Частиците – Нова периодична таблица на фундаменталните елементи

Материални частици

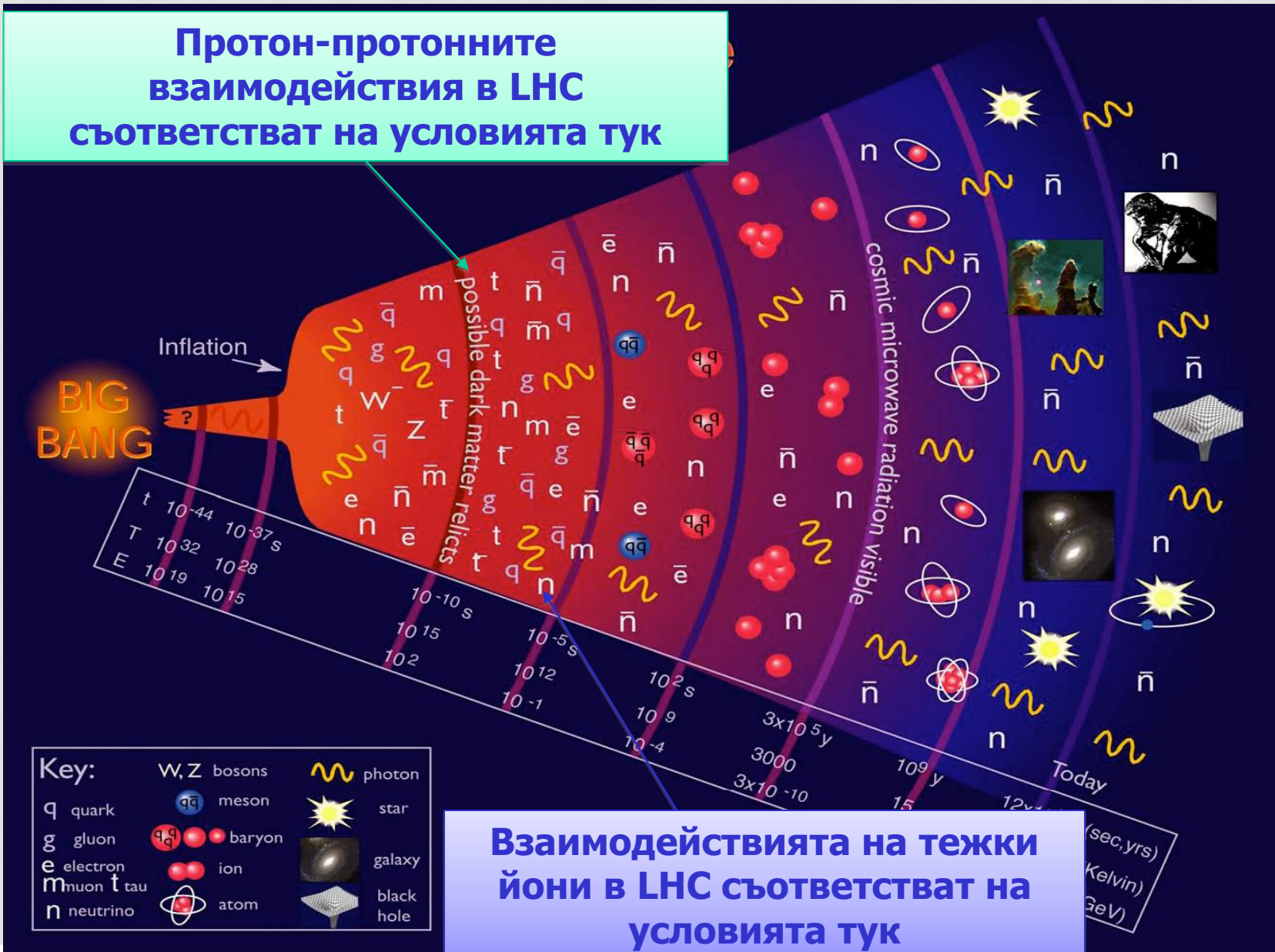


Носители на взаимодействията

SM бе тестван хиляди пъти до висока прецизност. Но основният механизъм, който придава маса на частиците все още липсва – Higgs бозон

# Еволюция на Вселената

Протон-протонните взаимодействия в LHC съответстват на условията тук



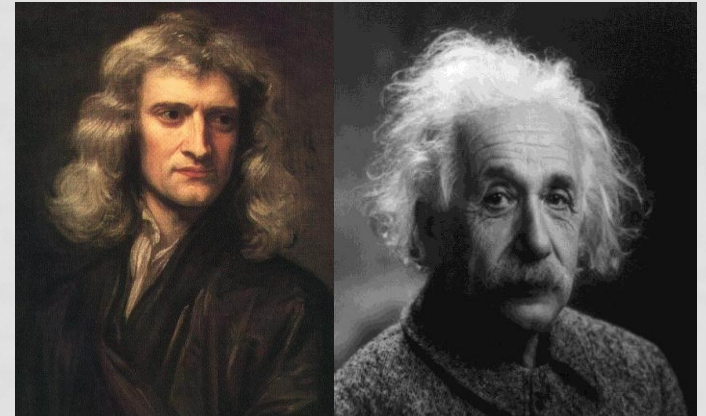
# Основни проблеми

SM съдържа явно спорни моменти

(защо има 6 кварка? защо има само 3 фамилии кварки и лептони?)

SM има липсващи елементи  
(механизъм за генериране на масите на познати частици)

SM е логически незавършен  
(гравитацията не е инкорпорирана)



$$F = ma \quad E = mc^2$$

Всичко това е правилно.

Но как един обект става масивен?



# Основни въпроси

Какво е масата? Защо някои частици нямат маса?

От какво е направена 95% от Вселената (невидима енергия/материя)?

Предпочитание на Природата... защо няма антиматерия?

На какво е приличала материята в първите мигове на Вселената? (кварк-глюонна плазма?)

Възможни ли са повече размерности?

Има ли нова симетрия? SUSY?

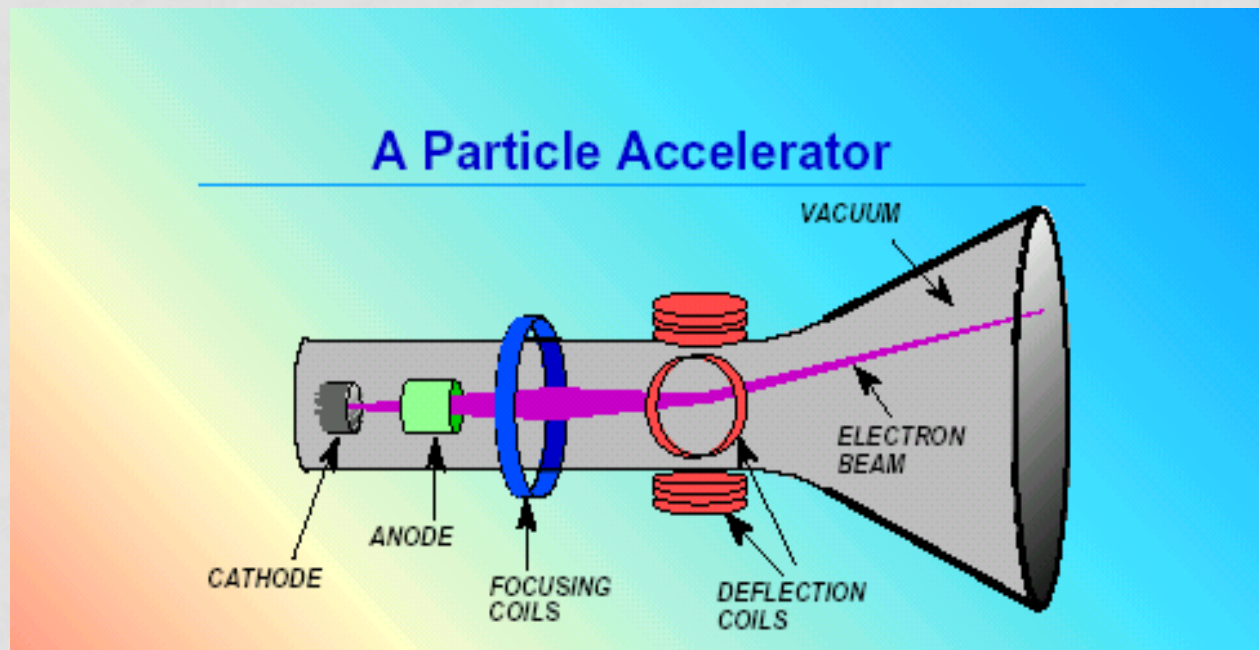


# Къде сме ние?

- ✓ **Частици и структура**
  - ✓ **Антиматерия**
  - ✓ **Стандартен модел**
  - ✓ **Фундаментални сили**
  - ✓ **Единно описание**
  - ✓ **Теория на “Големия взрив”**
- Проблем – как възниква масата?**

**КАК ДА ГО РЕШИМ?**

# Ускорители на частици



напрежението в TV е  $\sim 20$  kV

т.е. енергията на електроните е 20 KeV

LEP	$e+e-$	200 GeV
LHC	pp	14000 GeV
LHC	PbPb	1312000 GeV



# Високи енергии

1. Да се надникне дълбоко в

Природата ( $E \sim 1/\text{размера}$ )

(мощен микроскоп)

2. Да се открият нови частици

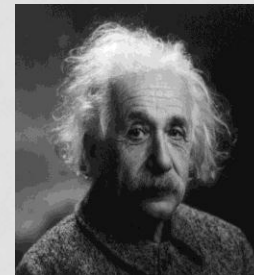
с по висока маса ( $E = mc^2$ )

3. Да се изучи младата Вселена

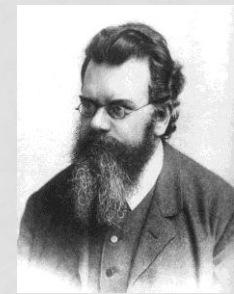
( $E = kT$ )



de Broglie



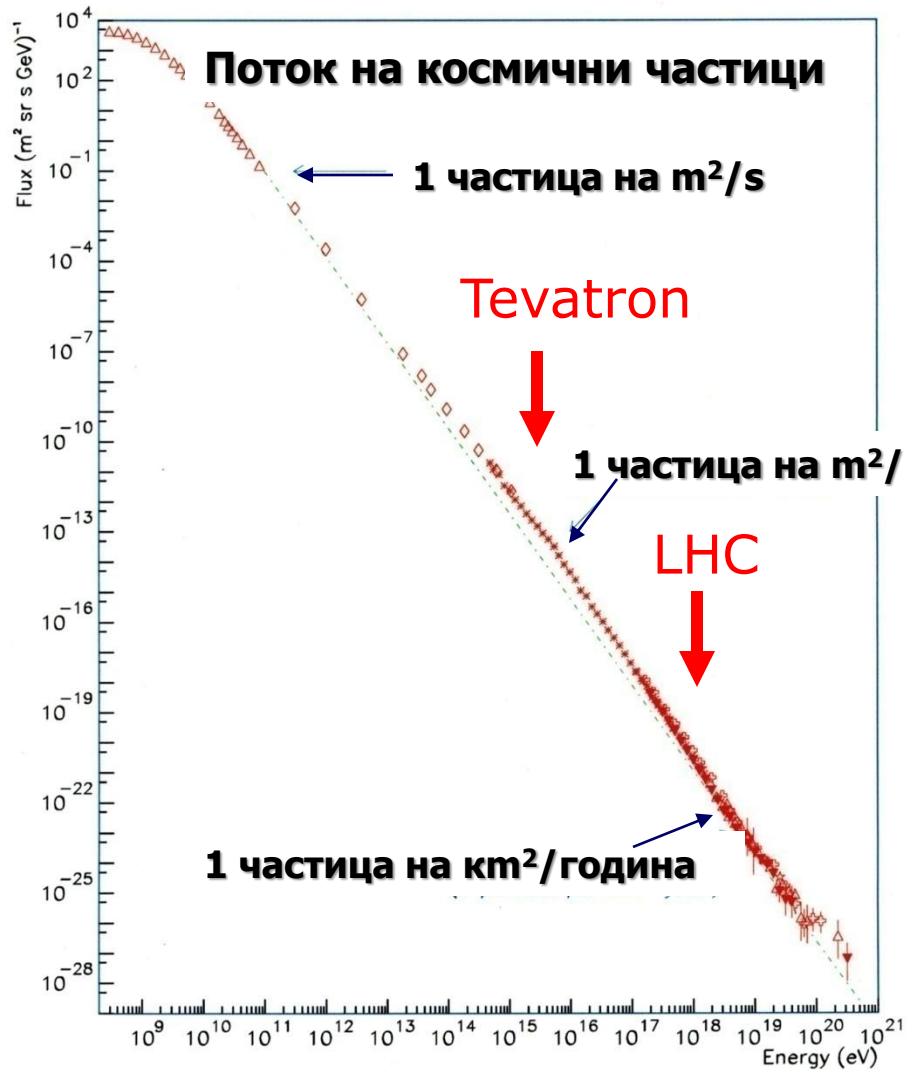
Einstein



Boltzmann

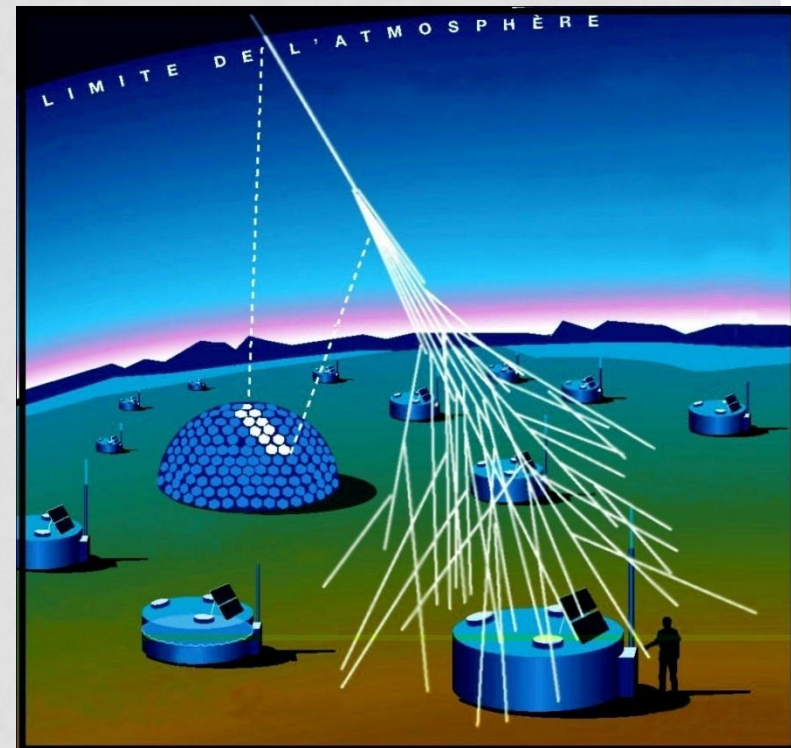
**И всичко това в Лаборатория!**

# Космични лъчи

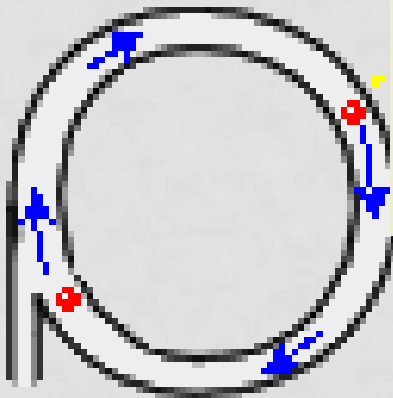
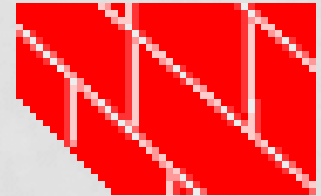


pp взаимодействието на LHC  
съответства на  $\sim 10^{17}$  eV;

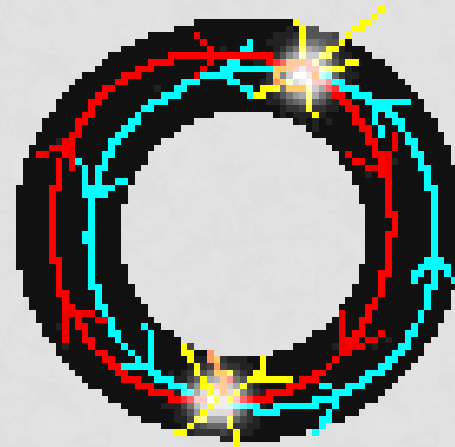
Космичните лъчи достигат  
енергии  $\sim 10^{20}$  eV



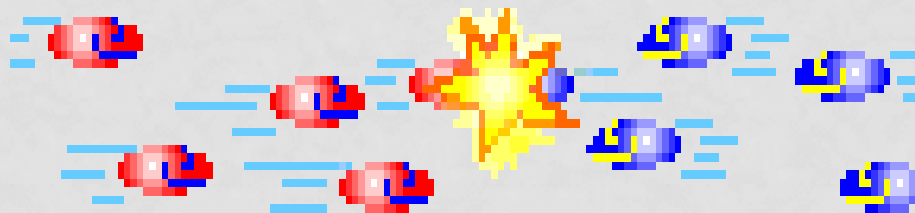
# Видове ускорители



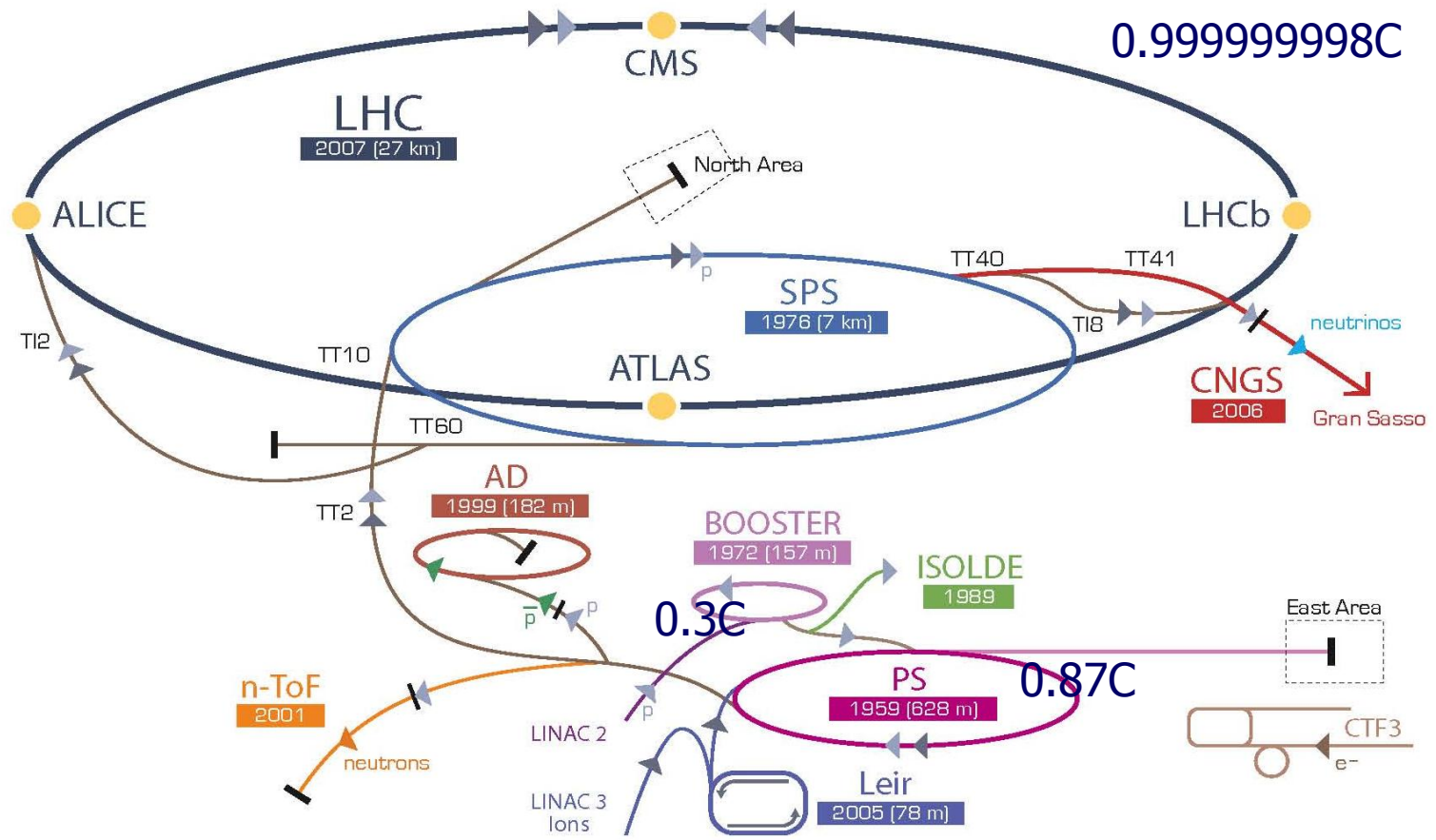
синхротрон  
фазотрон  
синхрофазотрон



колайдер



# CERN: Ускорителен комплекс



▶ p (proton)   ▶ ion   ▶ neutrons   ▶  $\bar{p}$  (antiproton)    $\leftrightarrow$  proton/antiproton conversion   ▶ neutrinos   ▶ electron

LHC Large Hadron Collider   SPS Super Proton Synchrotron   PS Proton Synchrotron

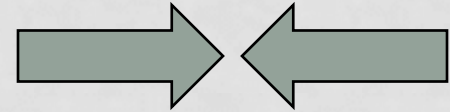
AD Antiproton Decelerator   CTF3 Clic Test Facility   CNGS Cern Neutrinos to Gran Sasso   ISOLDE Isotope Separator OnLine DEvice

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



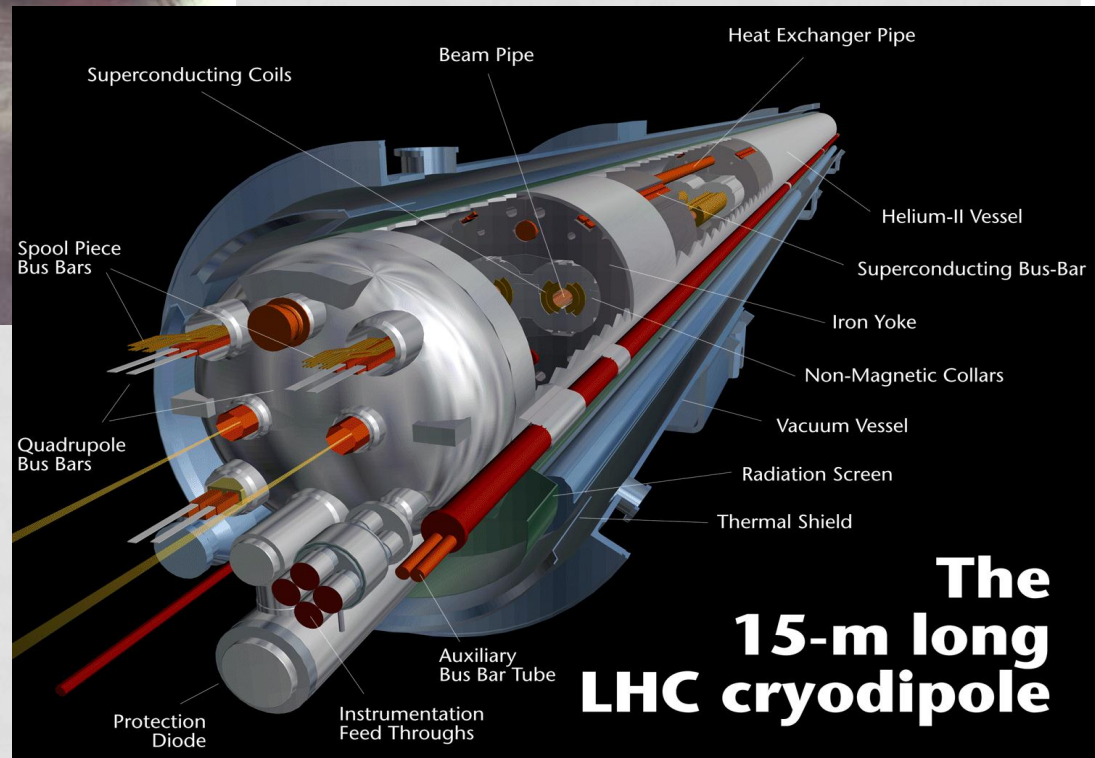
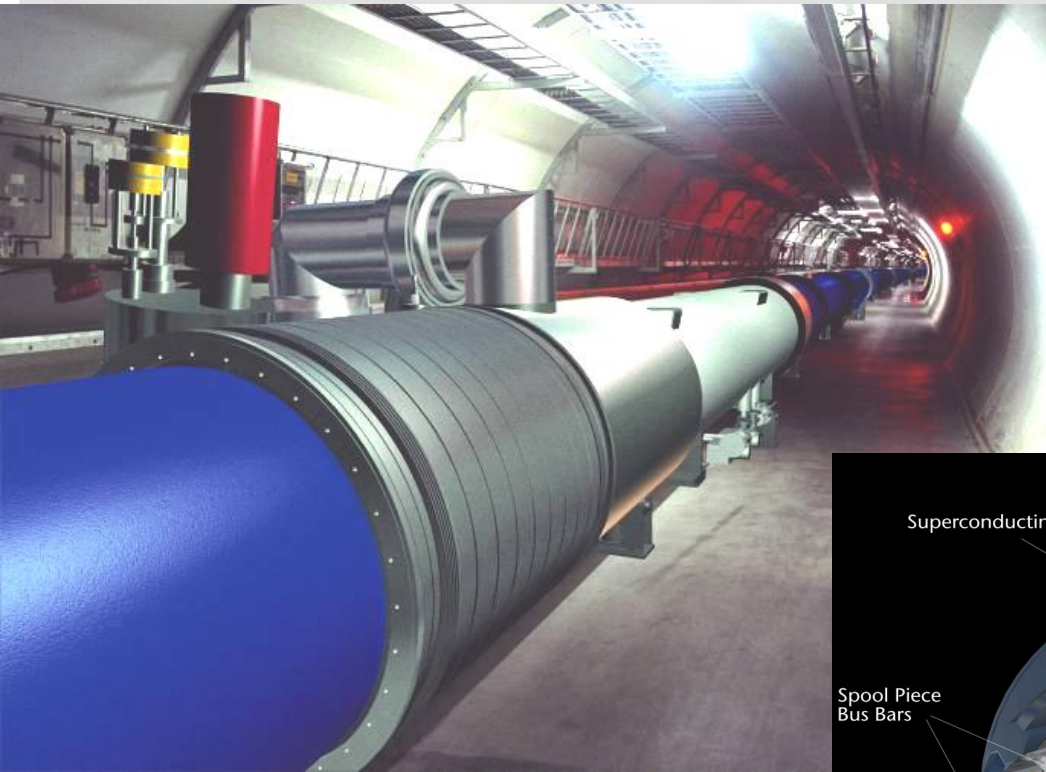
# LHC

7 TeV + 7 TeV



$$P(\text{TeV}) = 0.3 B(\text{T}) R(\text{km})$$

12 kA

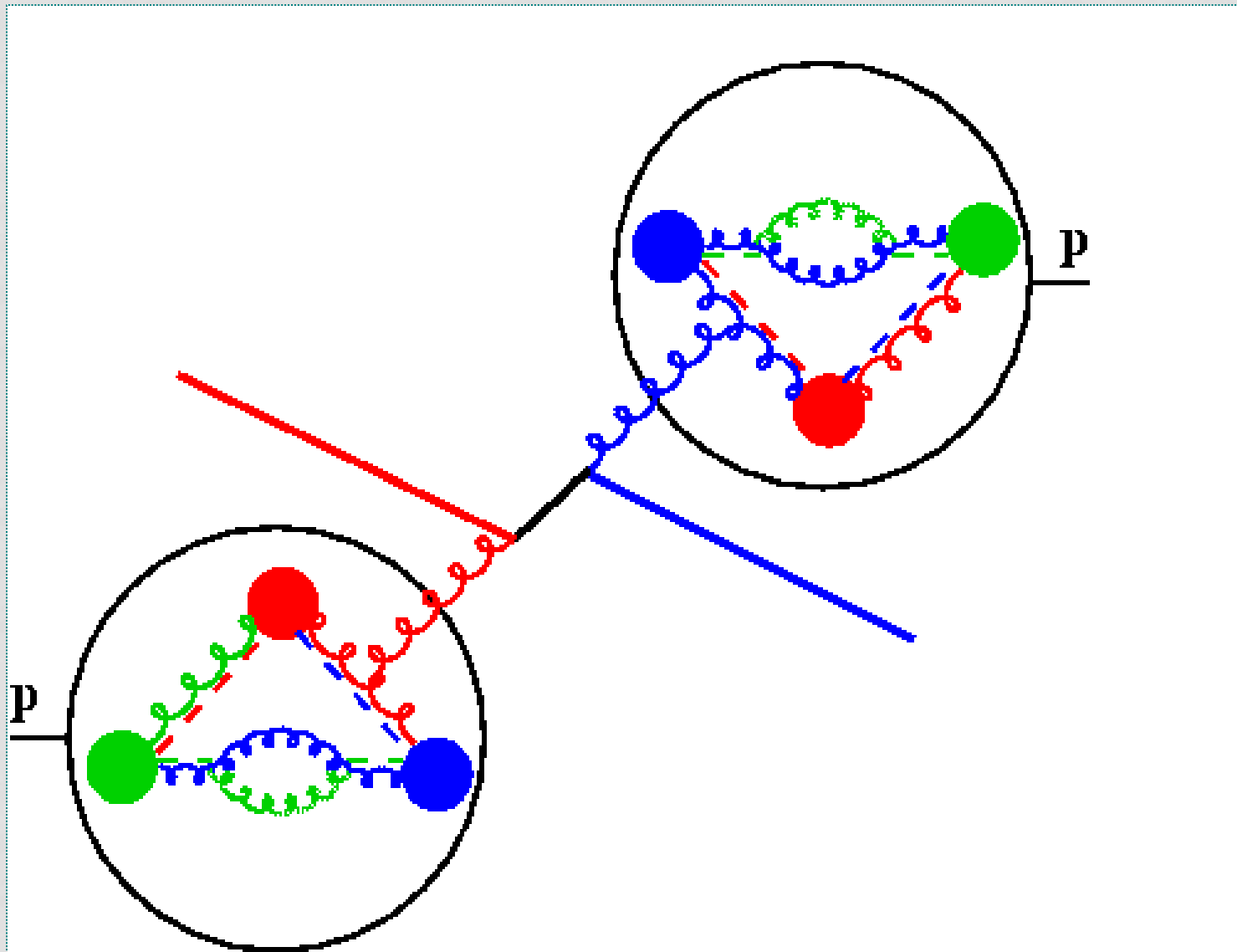


Светимость

$$L = N^2 k f \gamma / 4 \pi \epsilon \beta = 10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$$

The  
15-m long  
LHC cryodipole

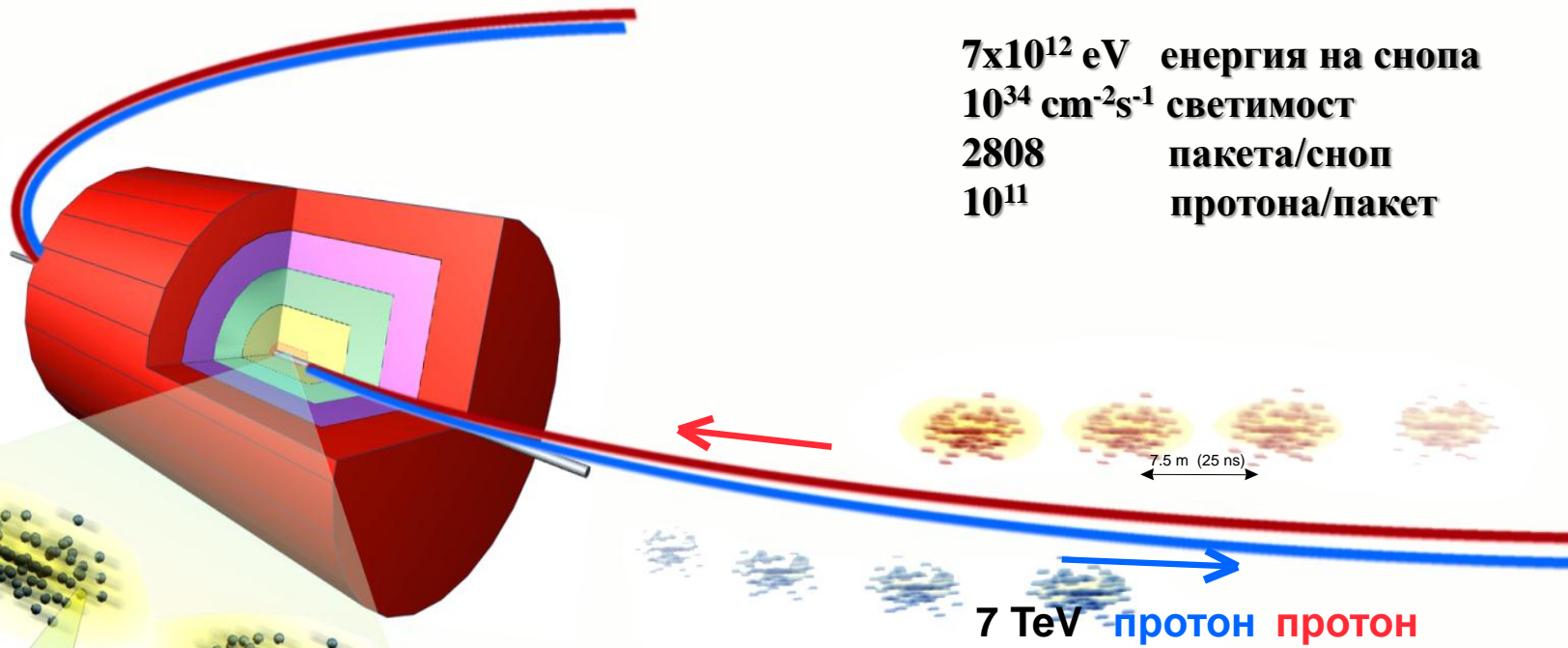
# ПРОТОННИ СБЛЪСЪЦИ





# LHC

$7 \times 10^{12}$  eV енергия на снопа  
 $10^{34}$  cm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> светимост  
2808 пакета/сноп  
 $10^{11}$  протона/пакет

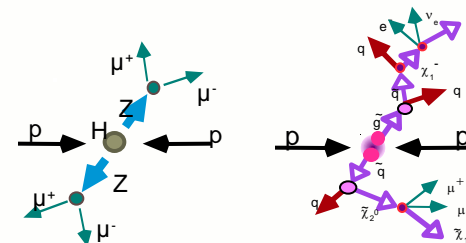


пресичане на пакети -  $4 \cdot 10^7$  Hz

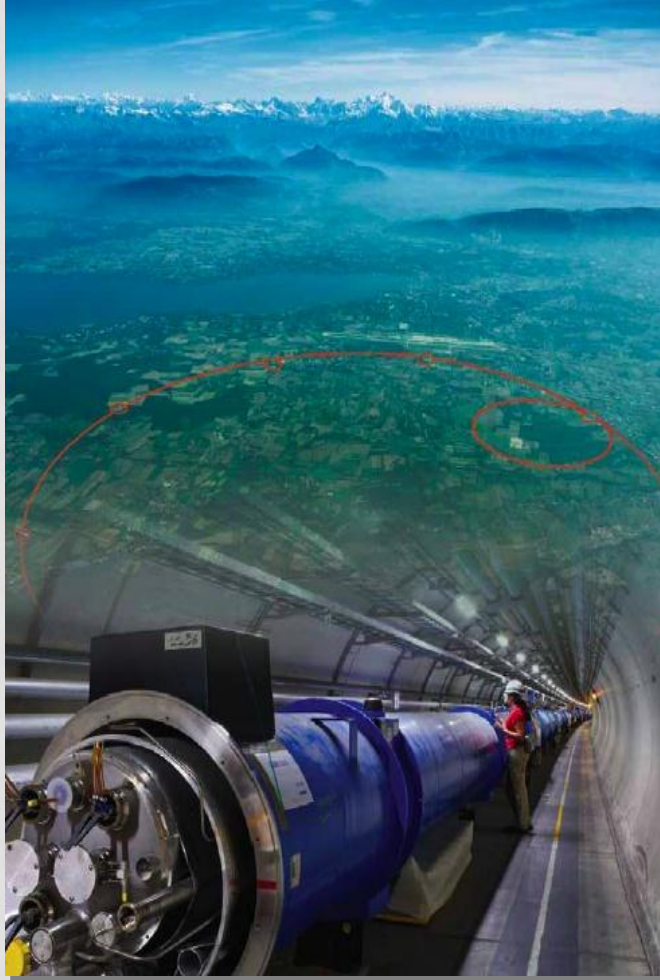
протонни сблъсъци  $10^9$  Hz

раждане на нови частици  $10^{-5}$  Hz  
(Higgs, SUSY,...)

Селекция на 1 събитие от 10,000,000,000,000



# ЛНС е...



**...протоните обикалят със светлинна скорост 27 км тунел в противоположни посоки 11,000 пъти в секунда.**

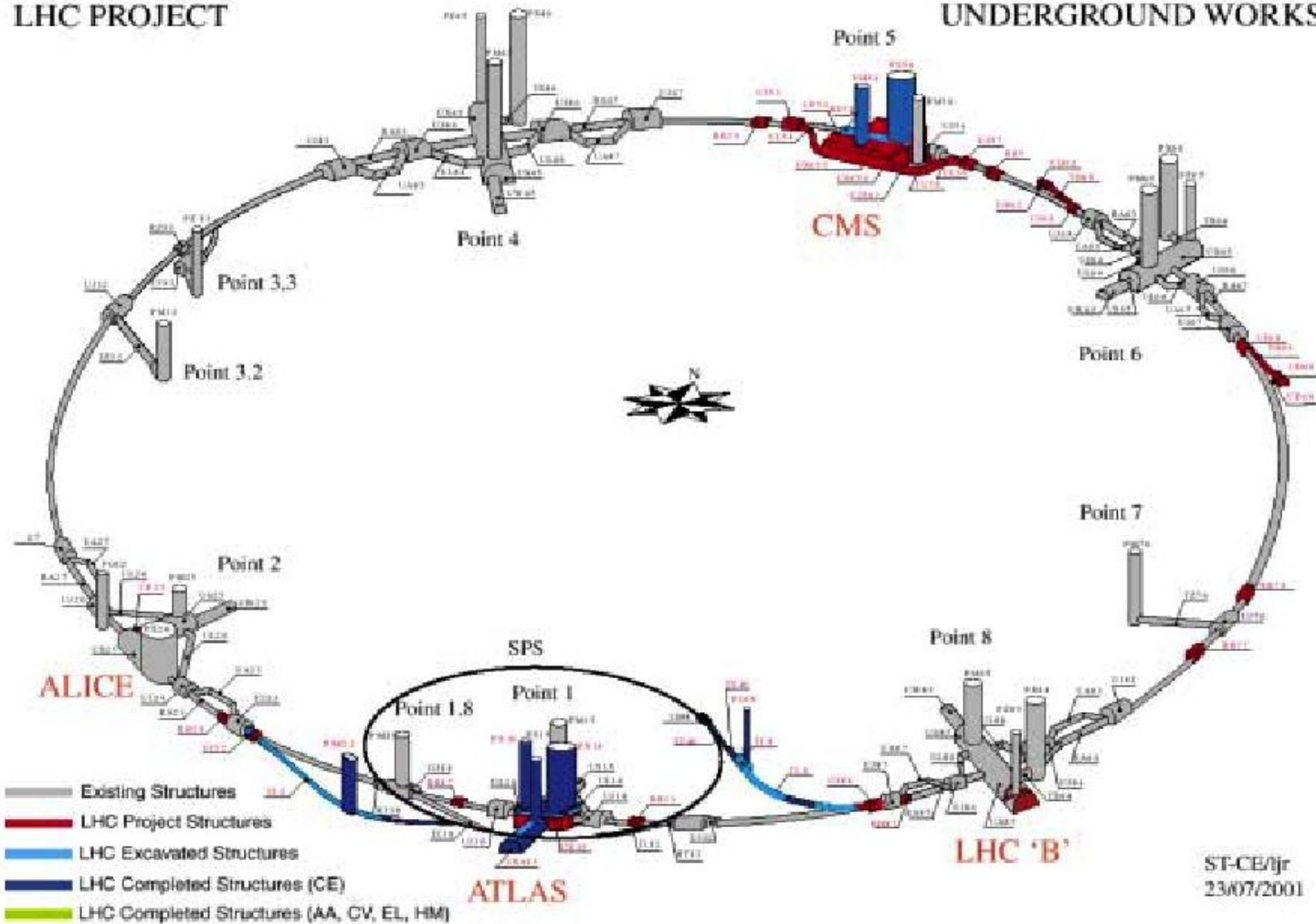
**...за да се ускорят протони близо до скоростта на светлината се изисква вакуум по-дълбок от междузвездното пространство. Има 10 пъти по-голяма атмосфера на Луната, отколкото в ЛНС.**

**...когато двата ускорени снопа протони се ударят, това ще генерира температура 100,000 пъти по-голяма отколкото в ядрото на Слънцето, но в микроскопично пространство.**

# Детектори

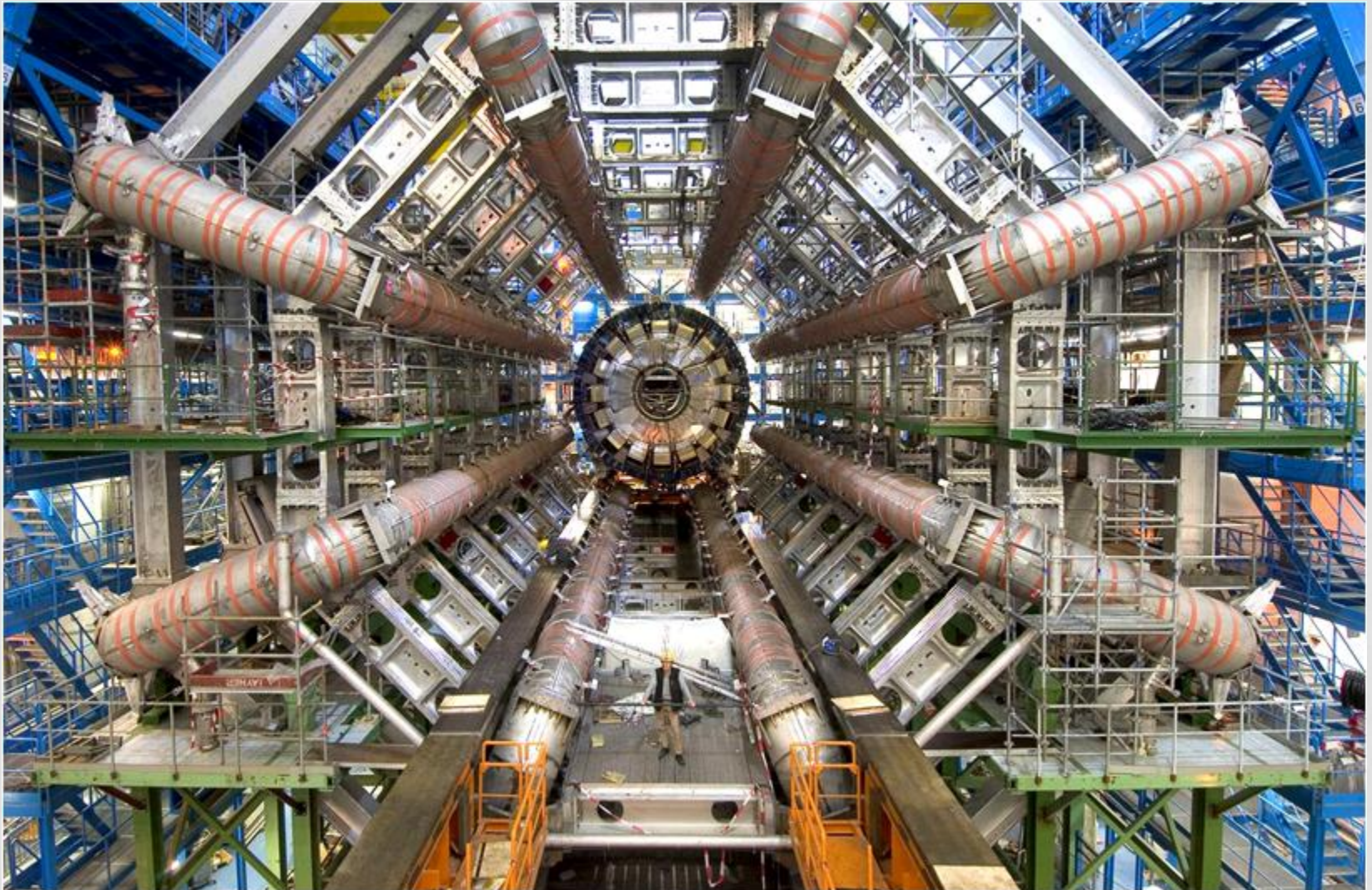
LHC PROJECT

UNDERGROUND WORKS



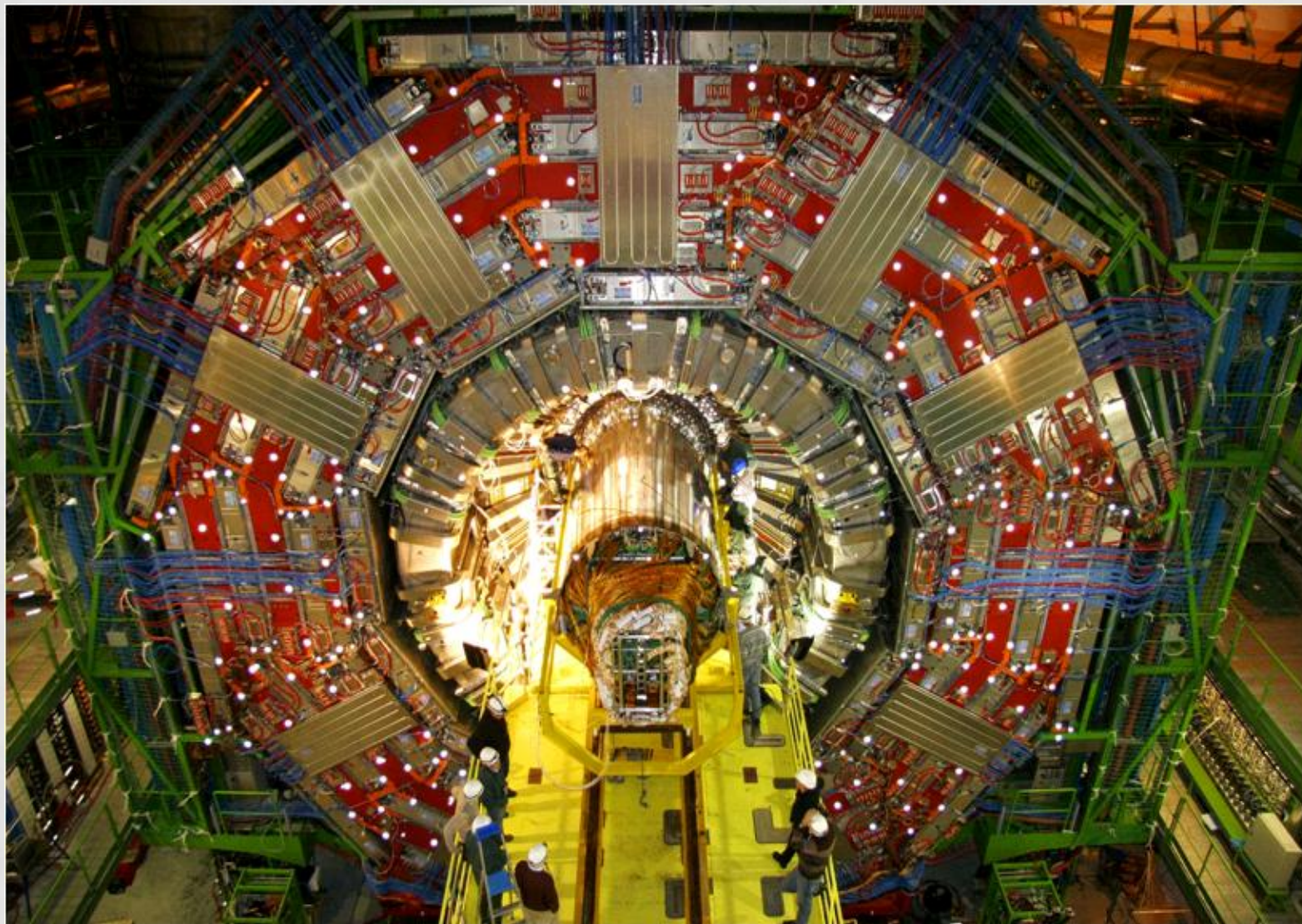


# ATLAS



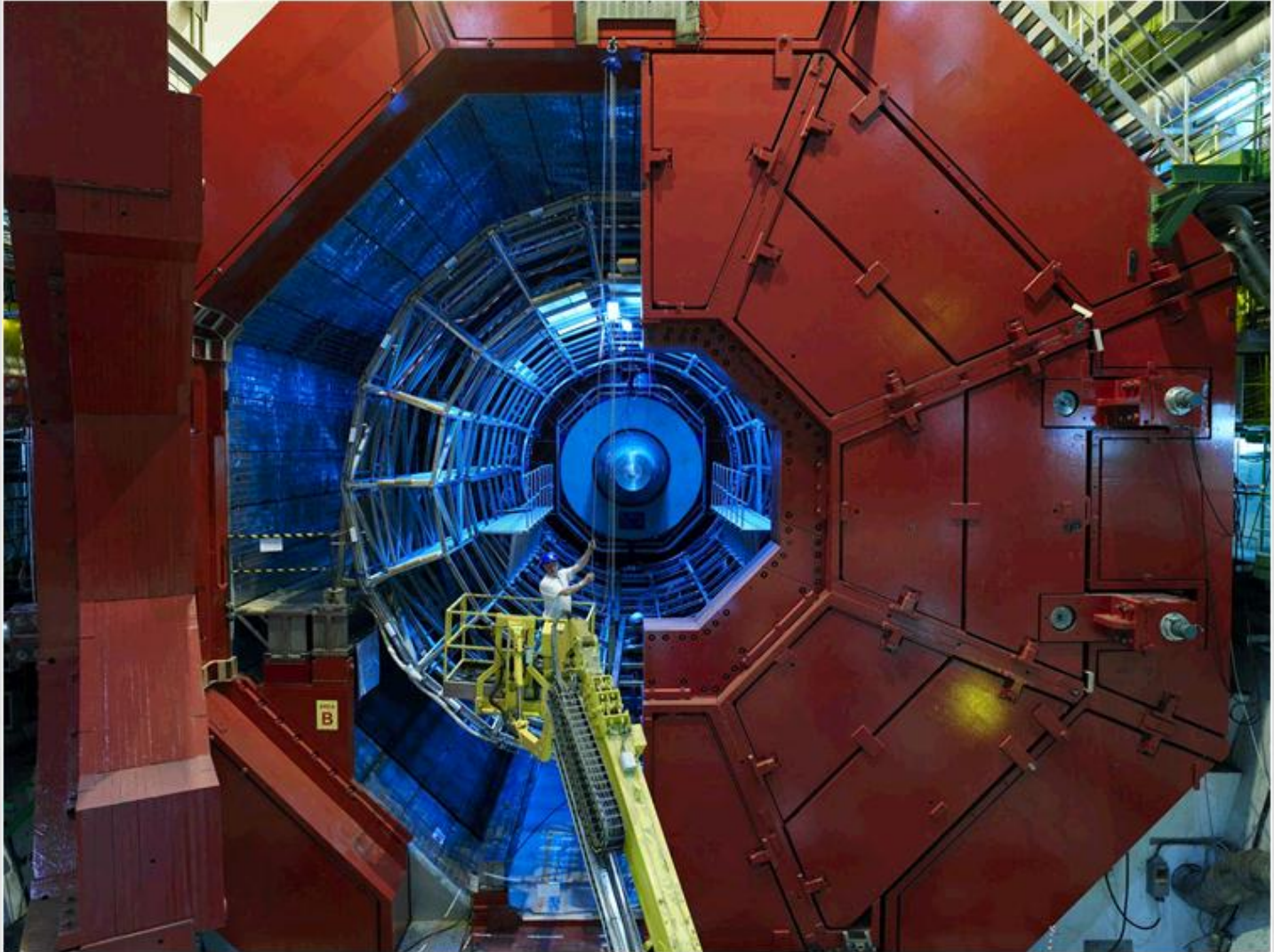


# CMS





# ALICE

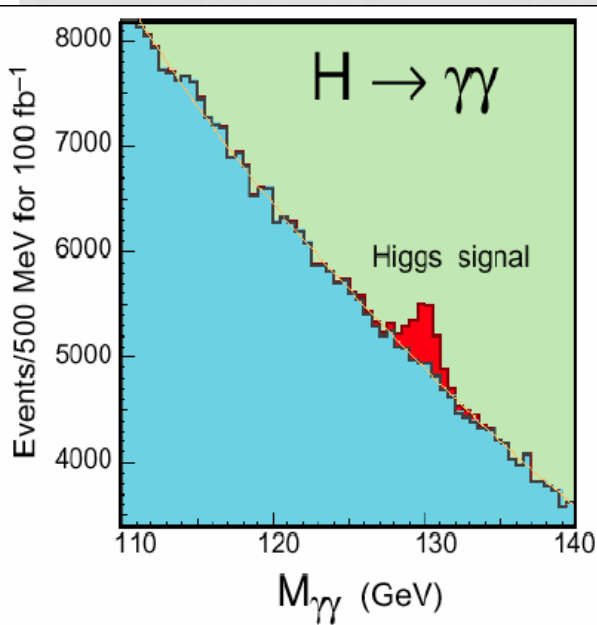




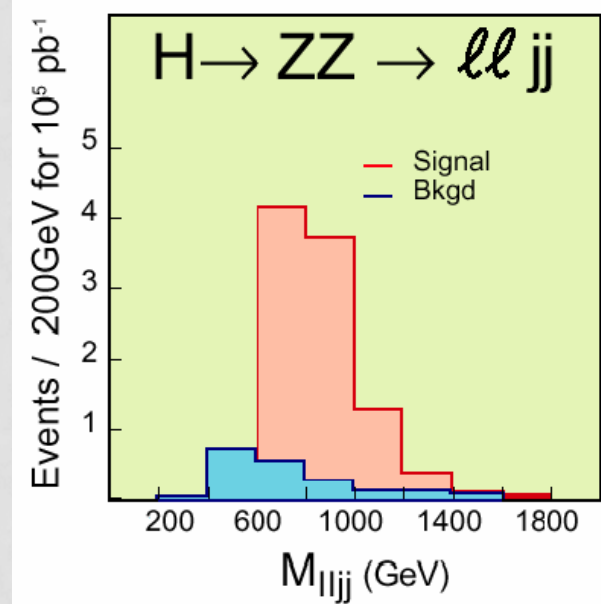
# LHCb



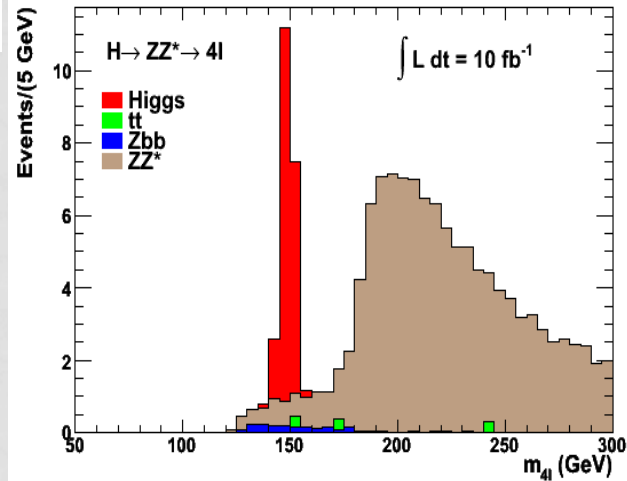
# Higgs – канали на разпад



**$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4$  leptons**



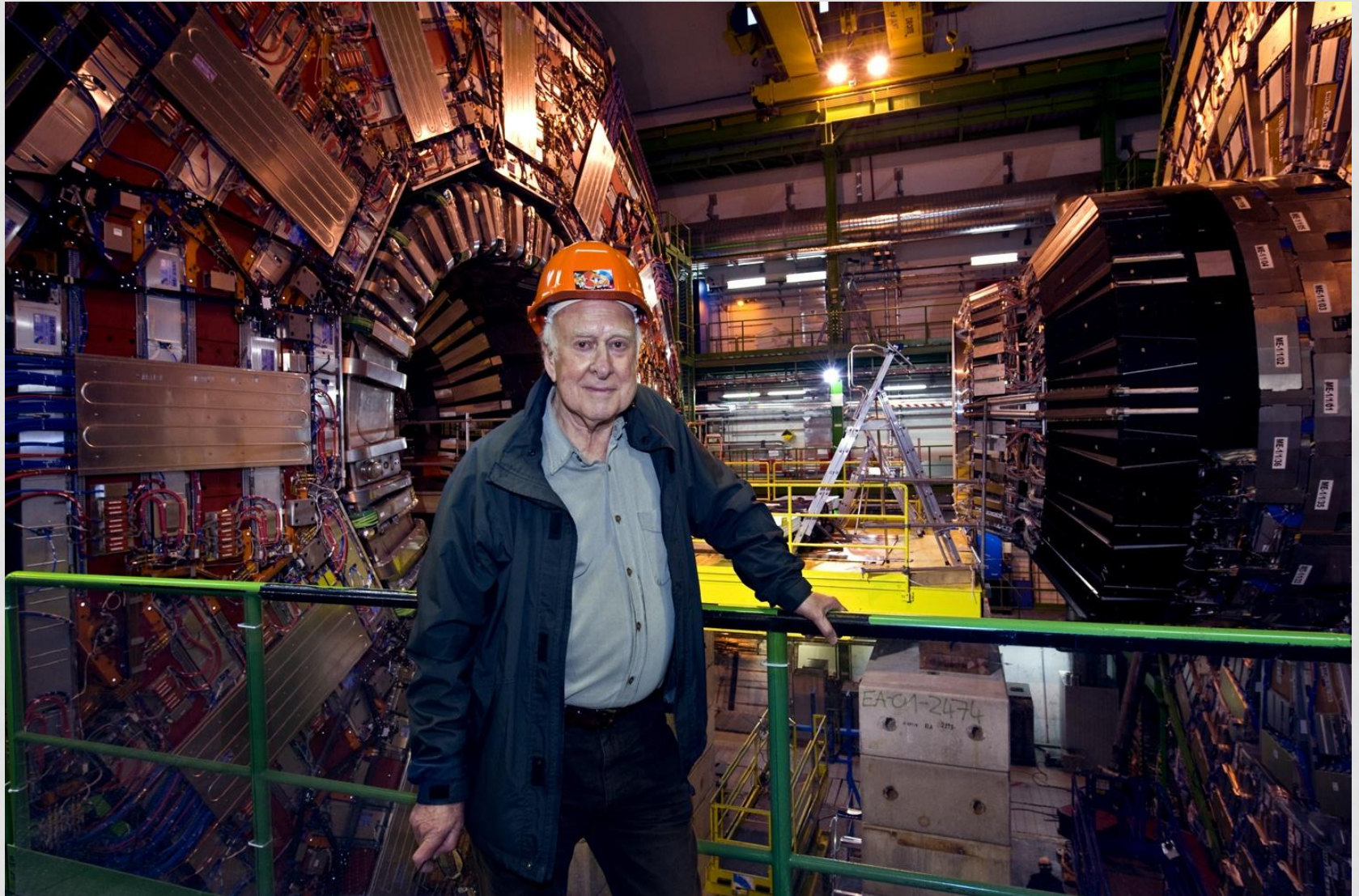
**$H \rightarrow 2$  gammas**



**$H \rightarrow ZZ \rightarrow 2$  leptons  
+ 2 jets**



# Higgs na CMS



# Заклучение

**Няма никаква причина броят  
на кварките да бъде 6  
и те да бъдат безструктурни**

**Все още се провеждат експерименти  
за търсене вътрешна  
структура на електрона**

**Новият ускорител LHC ще ни  
позволи да открием нови  
“елементарни” частици**