Въведение във физиката на елементарните частици

Доц. Пламен Яйджиев – ИЯИЯЕ - БАН

1.Стандартен Модел във Физиката на Елементарните Частици

Симетрията като обединяващ принцип

Сили на взаимодействие и симетрии

Спонтанно нарушение на симетриите

2. Отворени въпроси пред Стандартния Модел

Как се определят масите на е.ч.?

Защо имаме 3 генерации на е.ч. и как ароматите на кварките и неутрината се смесват?

Съотношение материя/антиматерия във Вселената?

“Тъмна материя” и “тъмна енергия” във Вселената?

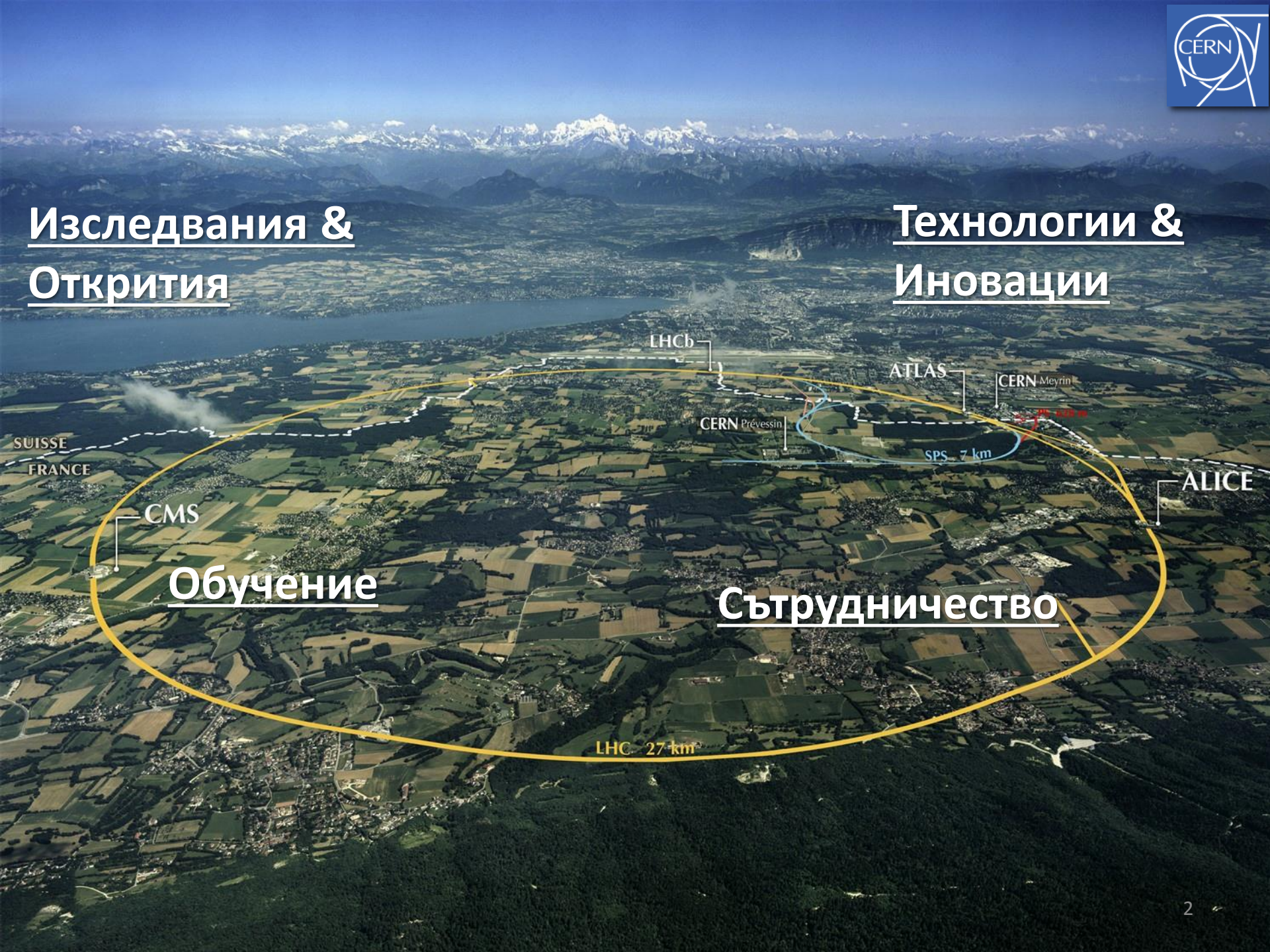
Съществуват ли други видове симетрия на ел.ч. – „Суперсиметрия“?

3. Експериментална проверка на Стандартния Модел –

Детектори на частици на ускорителя LHC в ЦЕРН и

разширение на Стандартния модел

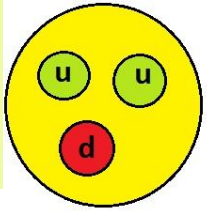
4. Перспективи на развитие на ЦЕРН – LHC


Изследвания &
Открития
Технологии &
Иновации
LHCb
ATLAS
CERN Meyrin
CERN Prévessin
SPS 7 km
SUISSE
FRANCE
CMS
ALICE
Обучение
Сътрудничество
LHC 27 km

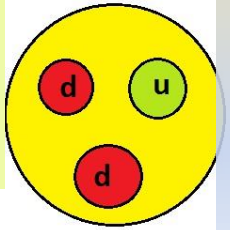
A small fraction of the CMS Collaboration: June 2012

Стандартен Модел във Физиката на Елементарните Частици - (СМ)

Протон
Маса 1.7×10^{-27}кг.
Заряд +1



Неутрон
Маса 1.7×10^{-27}кг.
Заряд 0



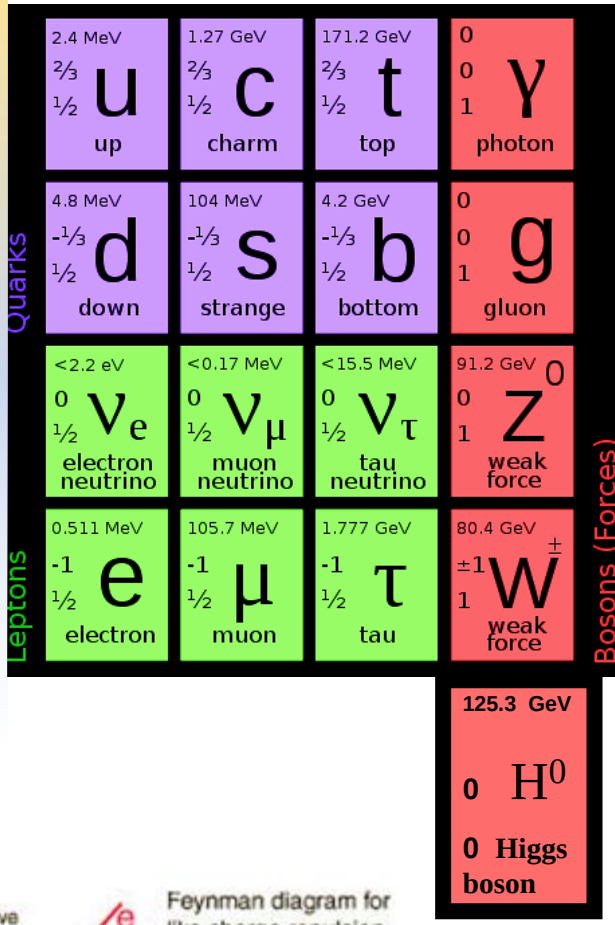
Електрон
Маса 0.0005 от масата на протона,
Заряд –1

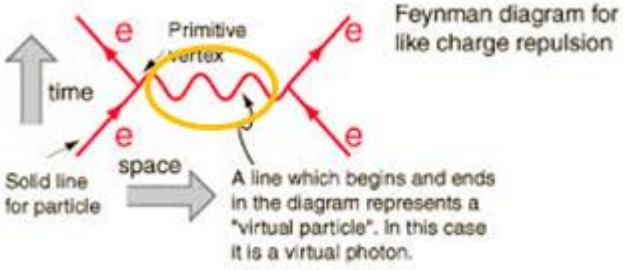
e

Неутрино
Маса 10^{-11} от масата на протона, Заряд 0

ν

СМ описва взаимодействието на елементарните частици
3 двойки кварки - (u,d), (c,s), (t,b)
3 двойки лептони - (e,ν_e), (μ,ν_μ), (τ,ν_τ)
3 сили
- Електромагнитни (γ)
- Слабо Взаимодействие (W,Z),
- Силно Взаимодействие (g)
- Поле на Хигс – чрез взаимодействието с него частиците придобиват маса





Елементарните Частици в нашето всекидневие

1.Стандартен Модел във Физиката на Елементарните Частици - 1.1 Симетрията като обединяващ принцип

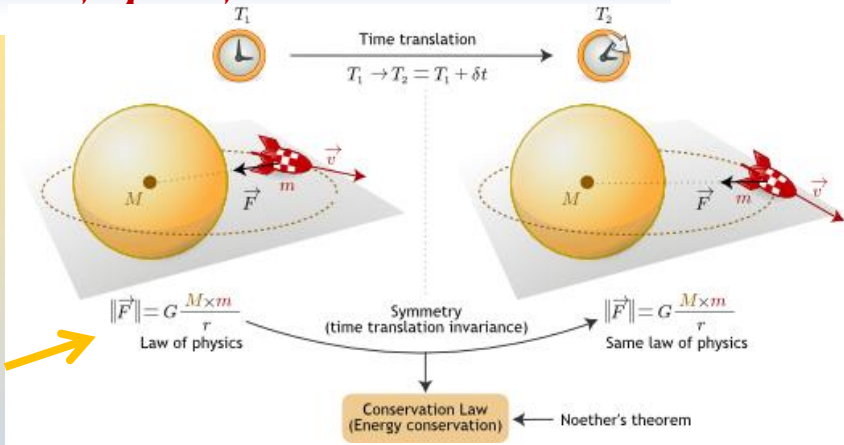
Симетрията е водещ принцип във физиката на елементарните частици - през *1918* г. беше показана връзката на всяка симетрия със закон за запазване *(E.Noether)*.

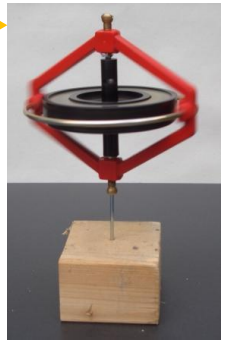
Глобални симетрии:

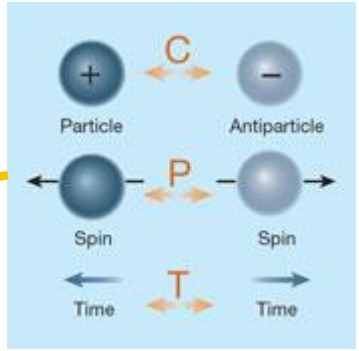
- Транслация във времето - Запазване на енергията
- Транслация в пространството - Запазване на момент на количеството на движение
- Ротация в пространството - Запазване на Ъгловия момент

Дискретни симетрии:

- Координати - „P“- запазване на пространствена четност
- Заряд - „C“- запазване на зарядова четност
- Време - „T“- запазване на временна четност





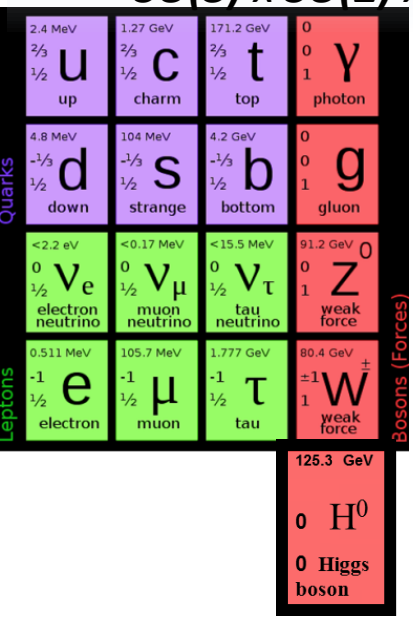


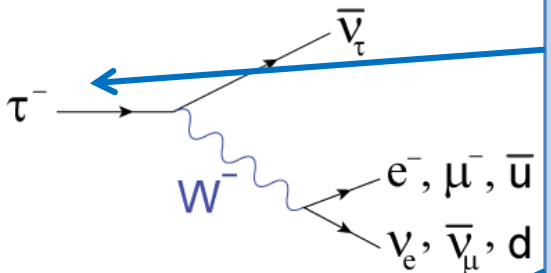
Нарушение на симетриите - *CPT* симетрията се запазва, но *CP*, *P* и *T* се нарушават в слабите взаимодействия

Симетрии
- Глобални - транслации и ротации в пространството и времето
- Дискретни - C, P, T
- Вътрешни - симетрия на Стандартния Модел

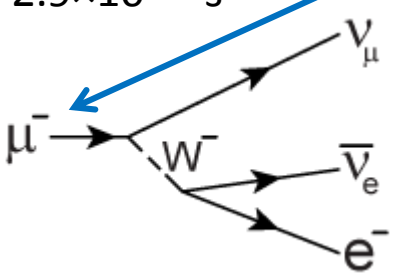
SU(3) x SU(2) x U(1)

Симетрия	Взаимодействие /сила/	Ел. частица	Маса
U(1)	Електромагнитно	Фотон γ	0
SU(3)	Силно	Глуон g	0
SU(2)	Слабо	W, Z бозони	80, 91 GeV



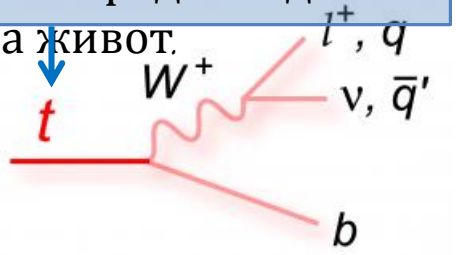


2.9×10^{-13} s



2.1969811±0.0000022 μs

Тежките частици се разпадат на по-леки и в детекторите на елементарни частици се наблюдават крайните продукти. Мюонът може да бъде регистриран директно поради по-дълго време на живот.



5×10^{-25} s

1 протон = 1 GeV
$E=mc^2$

1.Стандартен Модел във Физиката на Елементарните Частици
1.2 Сили на взаимодействие и симетрии

Сила на взаимодействието - Force Strengths:

*Числена оценка чрез константите на взаимодействие "**coupling constants**" a*

Пример:
Електромагнитно взимодействие:

Дефиниция на константата на взаимодействие:

Сила на електромагнитното взаимодействие:

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

$$a = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 \hbar c} = \frac{g^2}{4\pi}$$

$$F = \frac{a}{r^2}$$

Сравнение чрез константите на взаимодействие "**coupling constants**"

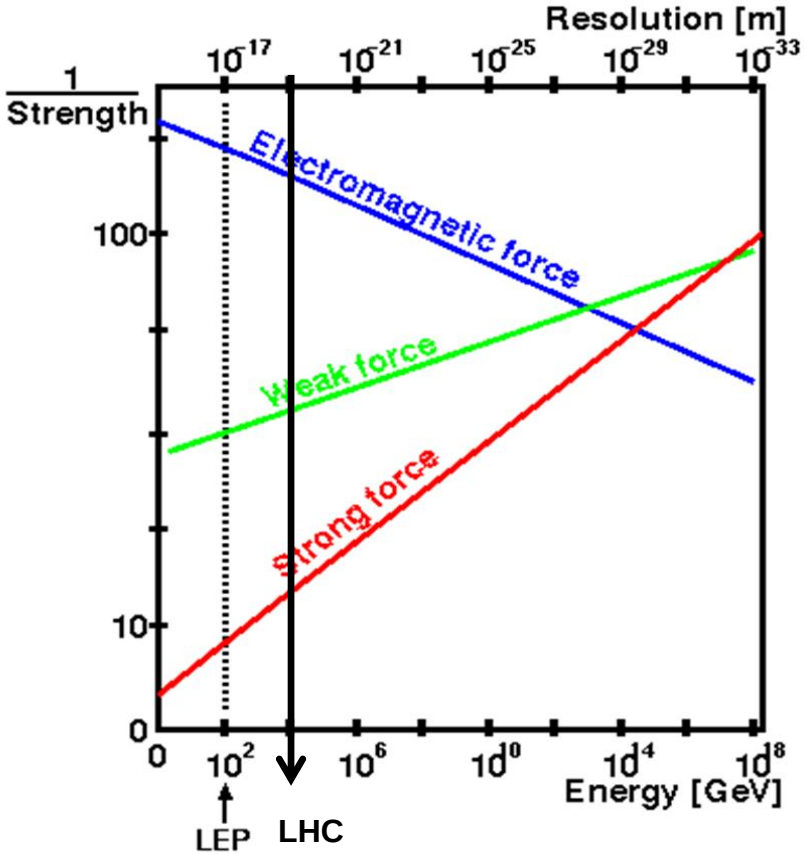
Силно : $a_s \sim 1$

Електромагнитно: $a_{em} \sim 1/137$

Слабо: $a_W \sim 10^{-6}$

Гравитация: $a_g \sim 10^{-40}$

Тези са константите на взаимодействие за ниски енергии/големи разстояния.
Константите се променят с енергията:



Изменение на константите с енергията
1/em намаля с E.
1/weak расте с E.
1/strong расте с E.

Прилики и разлики между видовете взаимодействия:

ЕМ взаимодействие
Електрически заряд (1)
Безмасов фотон
константа g

Слабо взаимодействие
Слаб заряд (2)
Масивни $W^{\pm}$,Z
константа g_W

Силно взаимодействие
Цветен заряд (3)
8 безмасови глюона
константа g_s

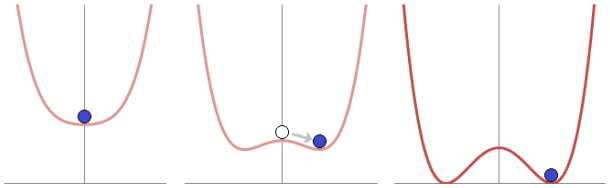
1.Стандартен Модел във Физиката на Елементарните Частици Симетрии и Спонтанно нарушение на симетриите

В съответствие с теоремата на Ньотер от 1918 г., на всяка наблюдавана симетрия в СМ съответства закон за запазване. За ***SU(3)*** *x* ***SU(2)*** *x* ***U(1)*** симетрия в СМ се съхраняват барионното число, лептонното число, електрическият и цветният заряд.

Particle	Baryon number	Lepton number	Charge
Proton	+1	0	+1
Neutron	+1	0	0
Electron	0	+1	-1
Pi-plus	0	0	+1
Muon	0	+1	-1
Neutrino	0	+1	0
Positron	0	-1	+1
Antineutrino	0	-1	0
Up quark	$+^1/_3$	0	$+^2/_3$
Down quark	$+^1/_3$	0	$-^1/_3$

Симетрия	Взаимодействие /сила/	Ел. частица	Маса
U(1)	**Електромагнитно**	**Фотон** γ	0
SU(3)	**Силно**	**Глуон** g	0
SU(2)	**Слабо**	**W, Z бозони**	80, 91 GeV

Масата на елементарните частици и може да бъде измерена, но не и предсказана – налага се въвеждане на спонтанното нарушение на симетрията и въвеждане на полето на Хигс.



Спонтанно нарушение на симетрията – илюстрация:
При по-високи енергии в симетричен потенциал топчето остава в средата и състоянието е симетрично, при по-ниски енергии топчето заема асиметрично състояние на „дъното“ на потенциала „Мексиканската шапка“ – наблюдаваме спонтанно нарушение на симетрията.

В резултат на спонтанното нарушение на симетрията при електрослабото взаимодействие – фотона остава безмасов /не взаимодейства с полето на Хигс/, а W и Z бозони придобиват маса. Маса придобиват и кварките, които като съставна част на атомните ядра чрез протоните и неутроните генерират 99% от масата в света около нас.

Standard Model of
FUNDAMENTAL PARTICLES AND INTERACTIONS

The Standard Model summarizes the current knowledge in Particle Physics. It is the quantum theory that includes the theory of strong interactions (quantum chromodynamics or QCD) and the unified theory of weak and electromagnetic interactions (electroweak). Gravity is included on this chart because it is one of the fundamental interactions even though not part of the "Standard Model."

FERMIONS

matter constituents
spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

Leptons spin = 1/2

Flavor	Mass GeV/c^2	Electric charge
ν_e electron neutrino	$<1\times10^{-8}$	0
e electron	0.000511	−1
ν_μ muon neutrino	<0.0002	0
μ muon	0.106	−1
ν_τ tau neutrino	<0.02	0
τ tau	1.7771	−1

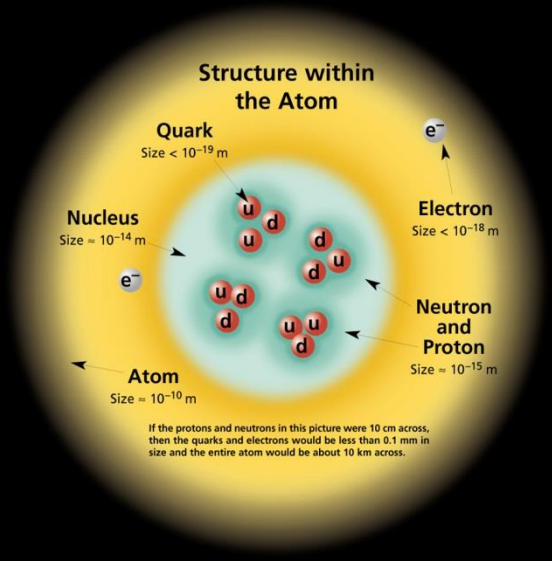
Quarks spin = 1/2

Flavor	Approx. Mass GeV/c^2	Electric charge
u up	0.003	2/3
d down	0.006	−1/3
c charm	1.3	2/3
s strange	0.1	−1/3
t top	175	2/3
b bottom	4.3	−1/3

Spin is the intrinsic angular momentum of particles. Spin is given in units of ħ, which is the quantum unit of angular momentum, where $\hbar = h/2\pi = 6.58\times10^{-25}$ GeV s = 1.05×10^{-34} J s.

Electric charges are given in units of the proton's charge. In SI units the electric charge of the proton is 1.60×10^{-19} coulombs.

The **energy** unit of particle physics is the electronvolt (eV), the energy gained by one electron in crossing a potential difference of one volt. **Masses** are given in GeV/c^2 (remember $E = mc^2$), where 1 GeV = 10^9 eV = 1.60×10^{-10} joule. The mass of the proton is 0.938 GeV/c^2 = 1.67×10^{-27} kg.



BOSONS

force carriers
spin = 0, 1, 2, ...

Unified Electroweak spin = 1

Name	Mass GeV/c^2	Electric charge
γ photon	0	0
W^-	80.4	−1
W^+	80.4	+1
Z^0	91.187	0

Strong (color) spin = 1

Name	Mass GeV/c^2	Electric charge
g gluon	0	0

Color Charge

Each quark carries one of three types of "strong charge," also called "color charge." These charges have nothing to do with the colors of visible light. There are eight possible types of color charge for gluons. Just as electrically-charged particles interact by exchanging photons, in strong interactions color-charged particles interact by exchanging gluons. Leptons, photons, and ***W*** and ***Z*** bosons have no strong interactions and hence no color charge.

Quarks Confined in Mesons and Baryons

One cannot isolate quarks and gluons; they are confined in color-neutral particles called **hadrons**. This confinement (binding) results from multiple exchanges of gluons among the color-charged constituents. As color-charged particles (quarks and gluons) move apart, the energy in the color-force field between them increases. This energy eventually is converted into additional quark-antiquark pairs (see figure below). The quarks and antiquarks then combine into hadrons; these are the particles seen to emerge. Two types of hadrons have been observed in nature: **mesons** $q\bar{q}$ and **baryons** qqq.

Residual Strong Interaction

The strong binding of color-neutral protons and neutrons to form nuclei is due to residual strong interactions between their color-charged constituents. It is similar to the residual electrical interaction that binds electrically neutral atoms to form molecules. It can also be viewed as the exchange of mesons between the hadrons.

PROPERTIES OF THE INTERACTIONS

Property \ Interaction	Gravitational	Weak (Electroweak)	Electromagnetic (Electroweak)	Strong: Fundamental	Strong: Residual
Acts on:	Mass – Energy	Flavor	Electric Charge	Color Charge	See Residual Strong Interaction Note
Particles experiencing:	All	Quarks, Leptons	Electrically charged	Quarks, Gluons	Hadrons
Particles mediating:	Graviton (not yet observed)	W^+ W^- Z^0	γ	Gluons	Mesons
Strength relative to electromag for two u quarks at: 10^{-18} m	10^{-41}	0.8	1	25	Not applicable to quarks
Strength relative to electromag for two u quarks at: 3×10^{-17} m	10^{-41}	10^{-4}	1	60	
for two protons in nucleus	10^{-36}	10^{-7}	1	Not applicable to hadrons	20

Baryons qqq and Antibaryons $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$

Baryons are fermionic hadrons. There are about 120 types of baryons.

Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c^2	Spin
p	proton	uud	1	0.938	1/2
$\bar{p}$	anti-proton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	−1	0.938	1/2
n	neutron	udd	0	0.940	1/2
Λ	lambda	uds	0	1.116	1/2
Ω^-	omega	sss	−1	1.672	3/2

Mesons $q\bar{q}$

Mesons are bosonic hadrons. There are about 140 types of mesons.

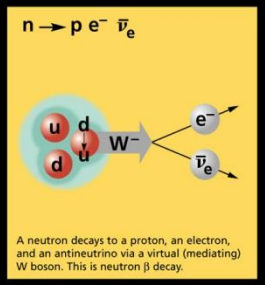
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c^2	Spin
π^+	pion	$u\bar{d}$	+1	0.140	0
K^-	kaon	$s\bar{u}$	−1	0.494	0
ρ^+	rho	$u\bar{d}$	+1	0.770	1
B^0	B-zero	$d\bar{b}$	0	5.279	0
η_c	eta-c	$c\bar{c}$	0	2 .980	0

Matter and Antimatter

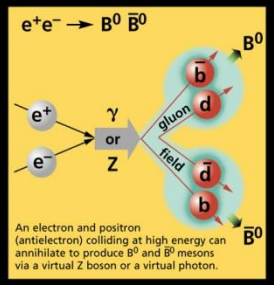
For every particle type there is a corresponding antiparticle type, denoted by a bar over the particle symbol (unless + or – charge is shown). Particle and antiparticle have identical mass and spin but opposite charges. Some electrically neutral bosons (e.g., Z^0, γ, and $\eta_c = c\bar{c}$, but not $K^0 = d\bar{s}$) are their own antiparticles.

Figures

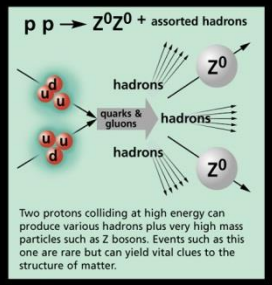
These diagrams are an artist's conception of physical processes. They are ***not*** exact and have ***no*** meaningful scale. Green shaded areas represent the cloud of gluons or the gluon field, and red lines the quark paths.



A neutron decays to a proton, an electron, and an antineutrino via a virtual (mediating) W boson. This is neutron β decay.



An electron and positron (antielectron) colliding at high energy can annihilate to produce B^0 and $\bar{B}^0$ mesons via a virtual Z boson or a virtual photon.



Two protons colliding at high energy can produce various hadrons plus very high mass particles such as Z bosons. Events such as this one are rare but can yield vital clues to the structure of matter.

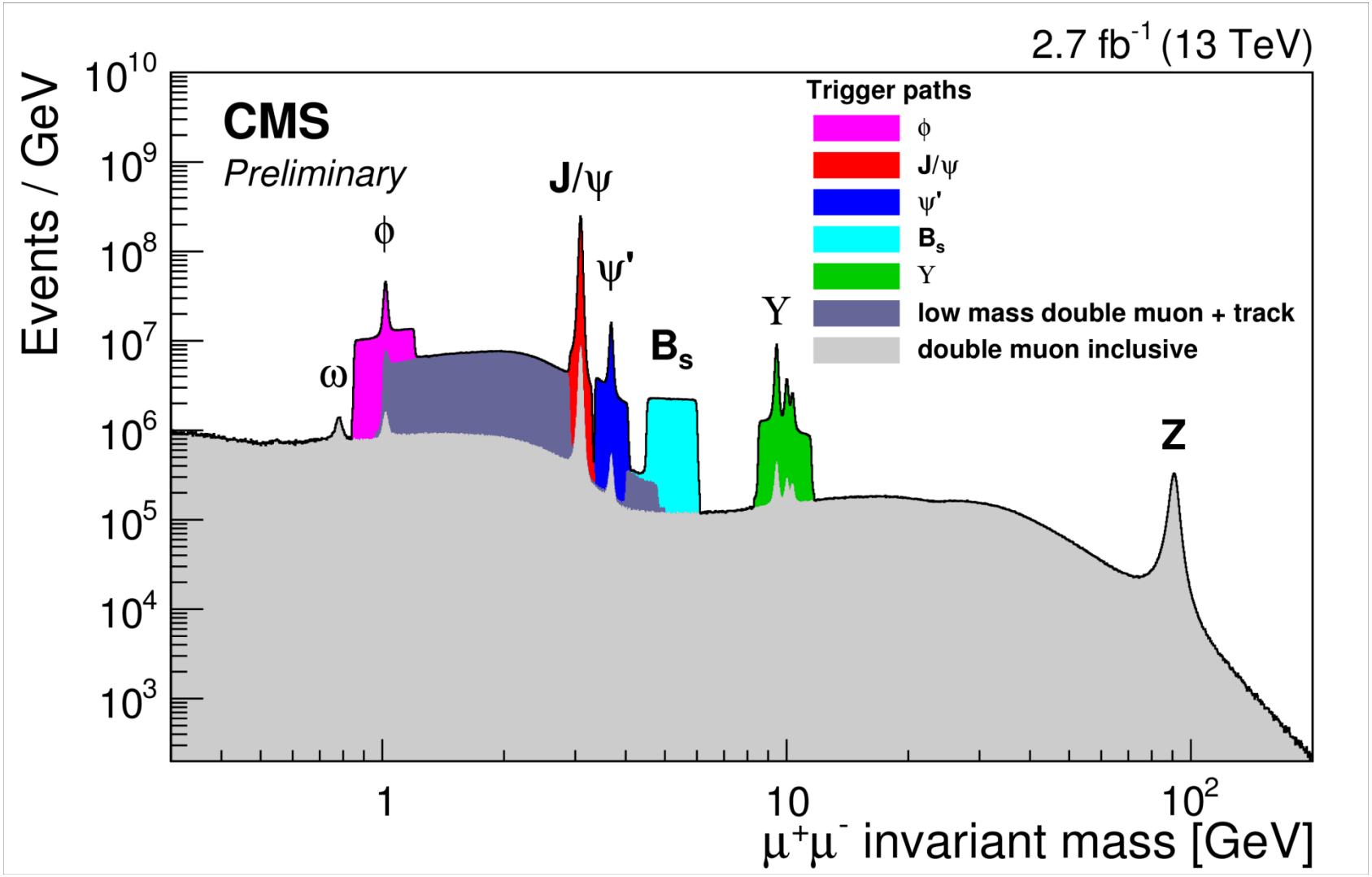
The Particle Adventure

Visit the award-winning web feature *The Particle Adventure* at
http://ParticleAdventure.org

This chart has been made possible by the generous support of:
U.S. Department of Energy
U.S. National Science Foundation
Lawrence Berkeley National Laboratory
Stanford Linear Accelerator Center
American Physical Society, Division of Particles and Fields
BURLE INDUSTRIES, INC.

©2000 Contemporary Physics Education Project. CPEP is a non-profit organization of teachers, physicists, and educators. Send mail to: CPEP, MS 50-308, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, 94720. For information on charts, text materials, hands-on classroom activities, and workshops, see:
http://CPEPweb.org

Параметри на Стандартния модел – наблюдавани на CMS

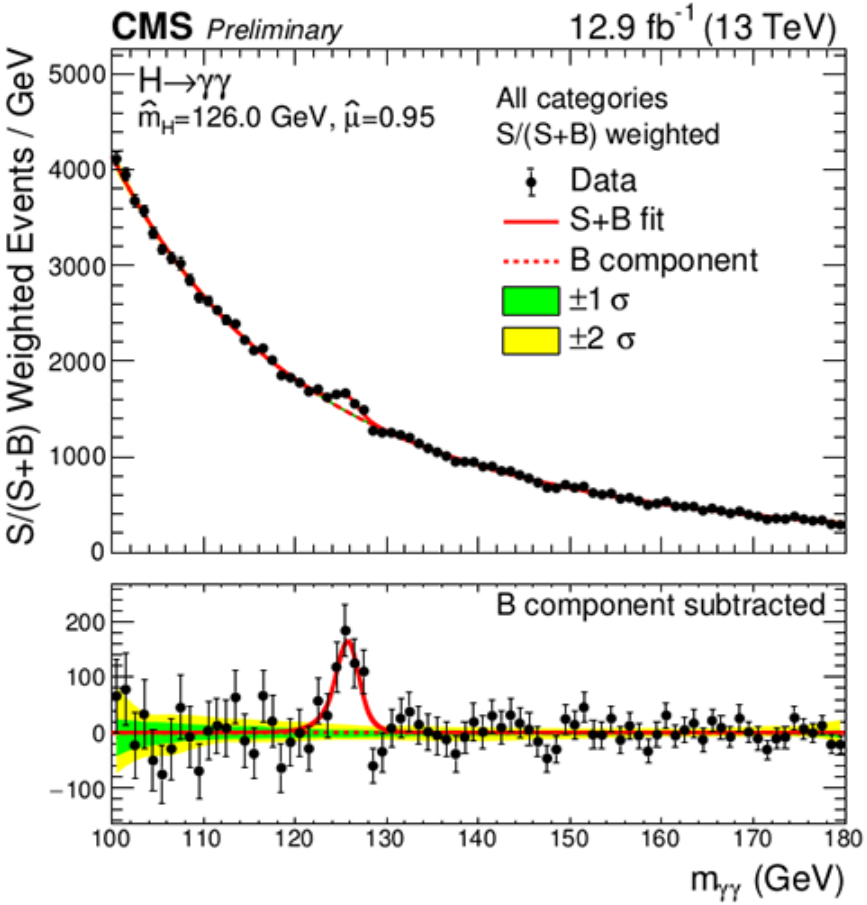


Animation: the Higgs mechanism

Exciting the Brout-Englert-Higgs field: the “Higgs boson”

The Higgs boson can decay in two photons ...

but only with a probability of 0.2 %



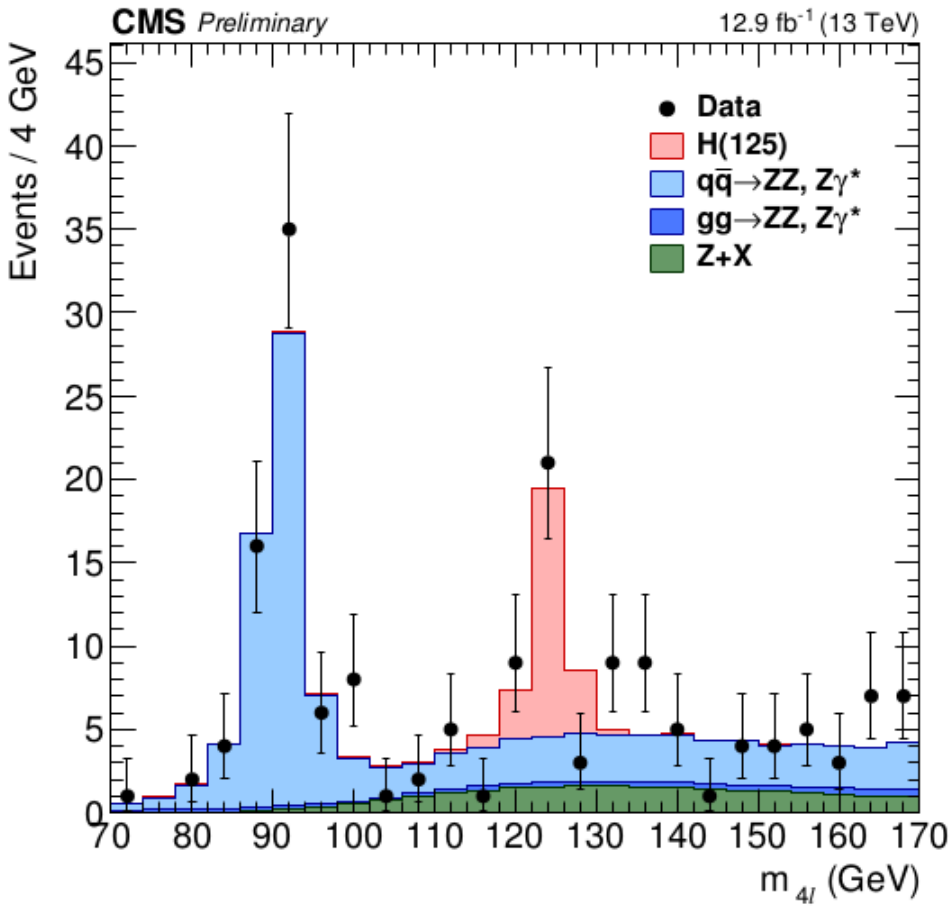
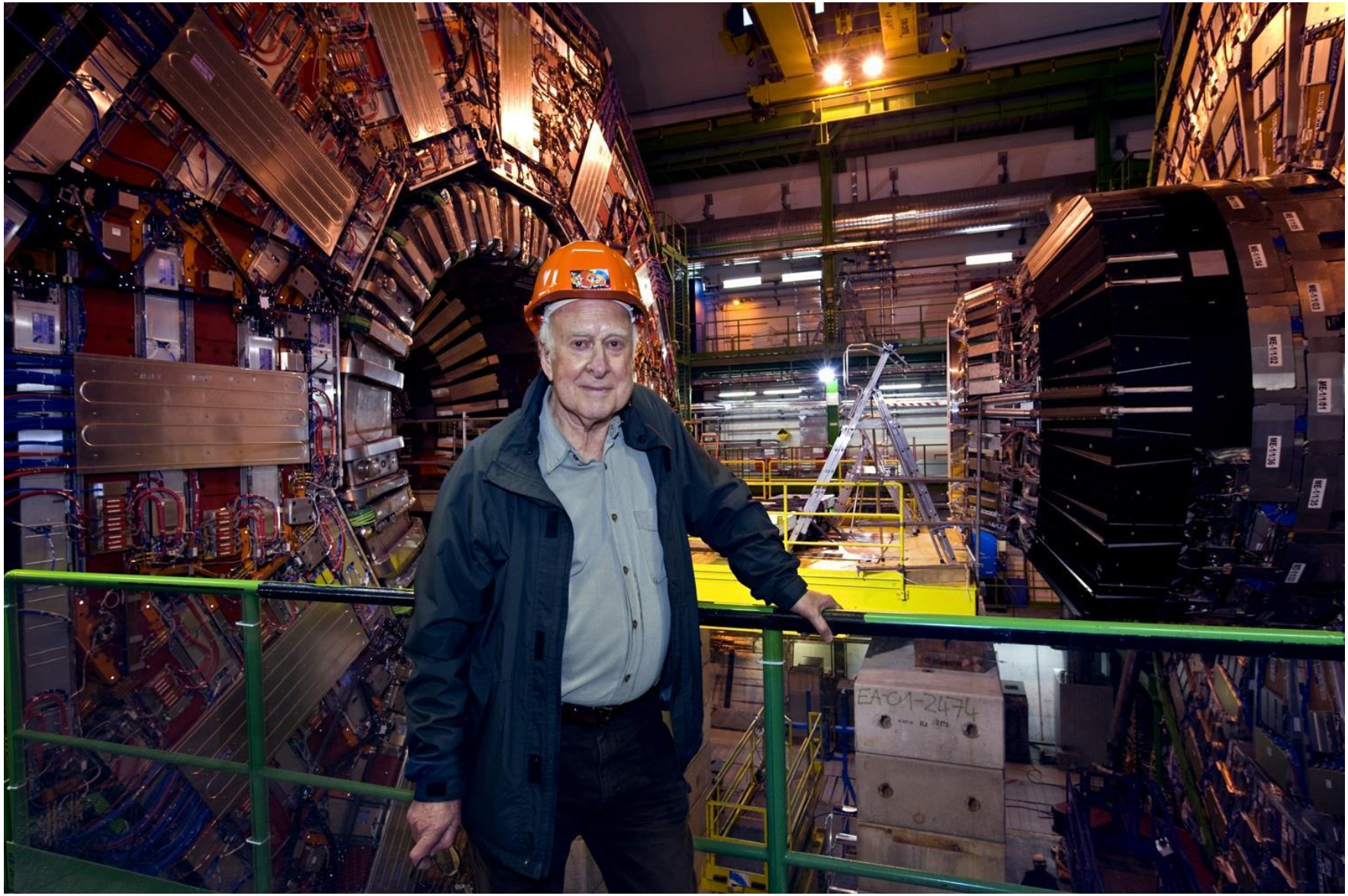


Figure 1: Mass spectra obtained in the 2016 CMS Higgs search using the di-photon (left) and four-lepton (right) decays channels. The significance of the observed signals around 125 GeV is larger than 5 standard deviations in both channels. The analysed data correspond to an integrated luminosity of 13 fb^{-1}, collected with the CMS detector at a centre-of-mass energy of 13 TeV.

2010 - Higgs на CMS



2. Отворени въпроси пред Стандартния Модел

Как се определят масите на е.ч.? – Механизъм на Хигс

Защо имаме 3 генерации на е.ч. ?

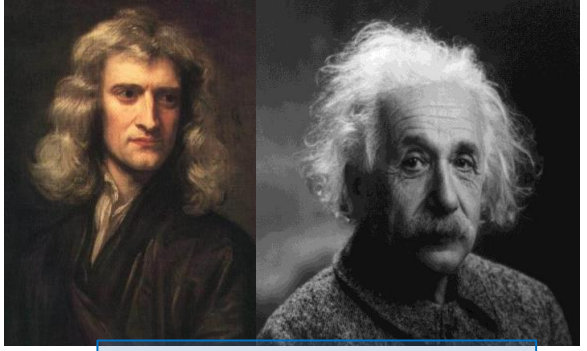
Съотношение материя/антиматерия във Вселената ?

От какво е съставена "тъмната енергия" и "тъмната материя" във Вселената?

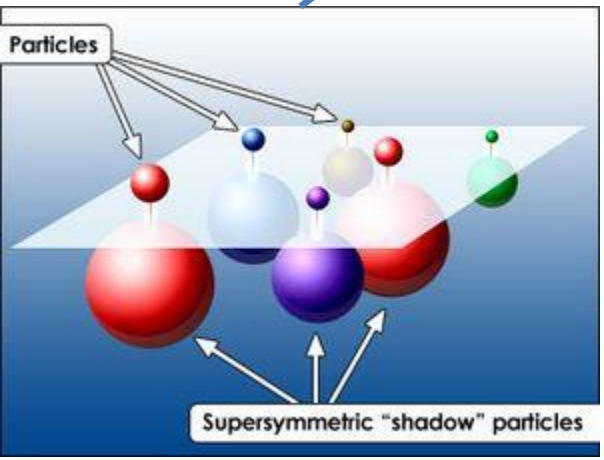
На какво е приличала материята в първите мигове на Вселената? (кварк-глюонна плазма?)

Възможни ли са повече размерности?

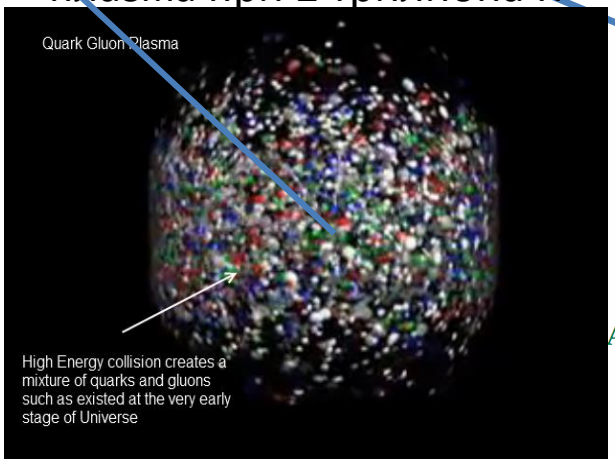
Има ли нова симетрия? SUSY?

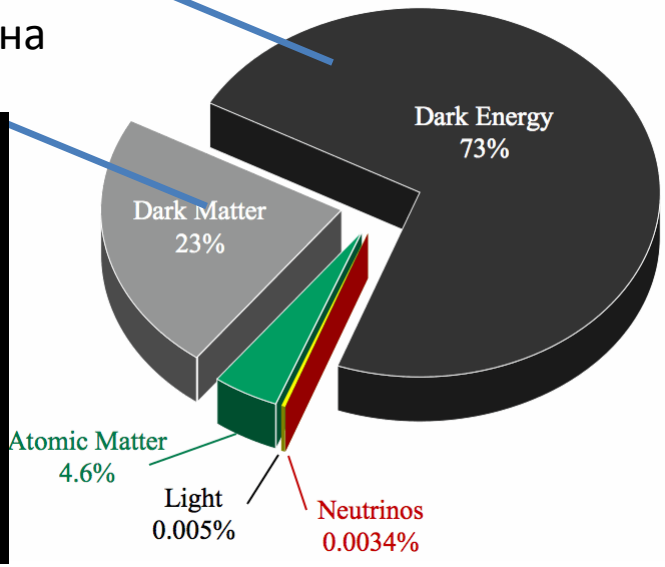


F= ma $E = mc^2$
Всичко това е правилно.
Но как един обект става масивен?

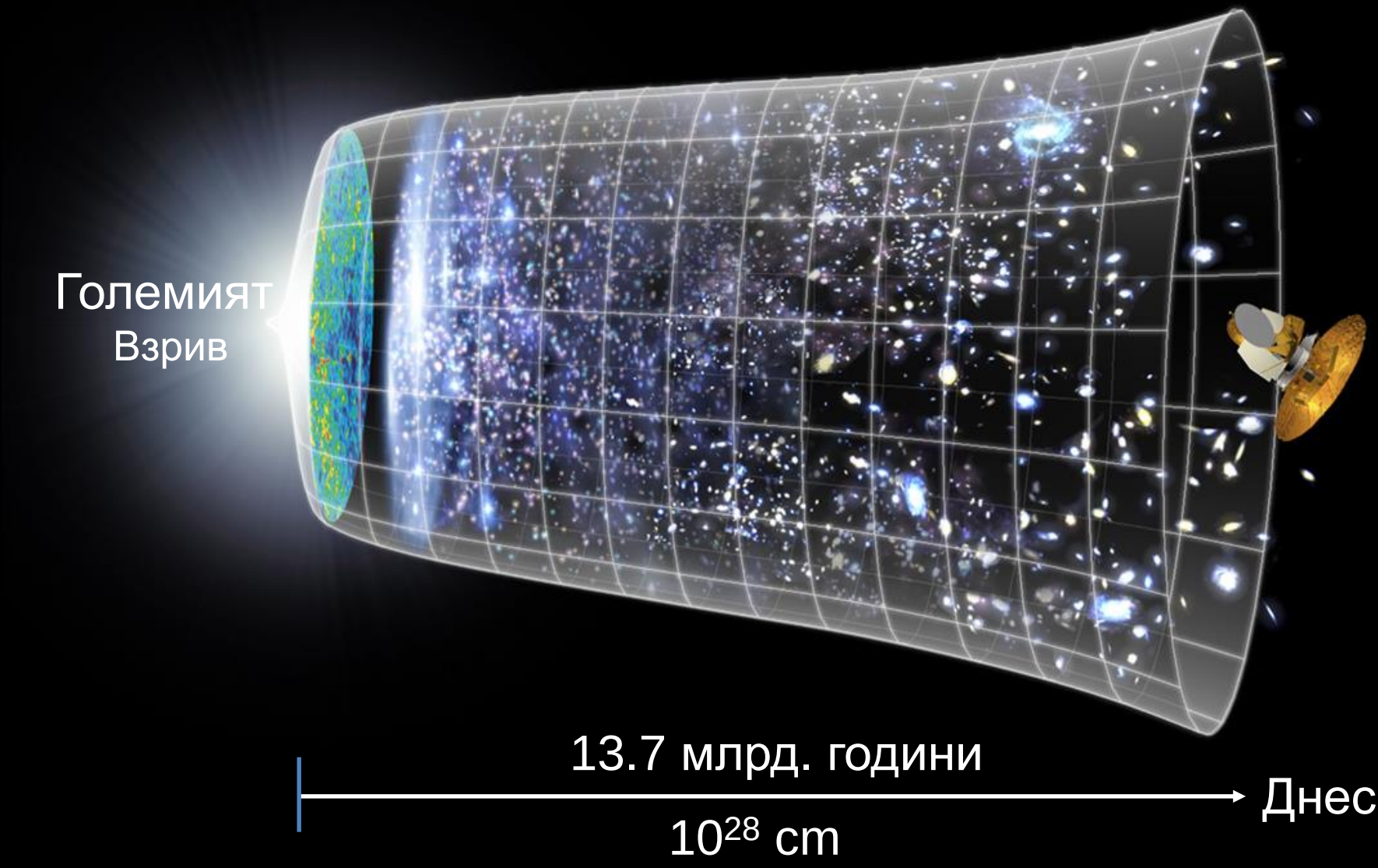


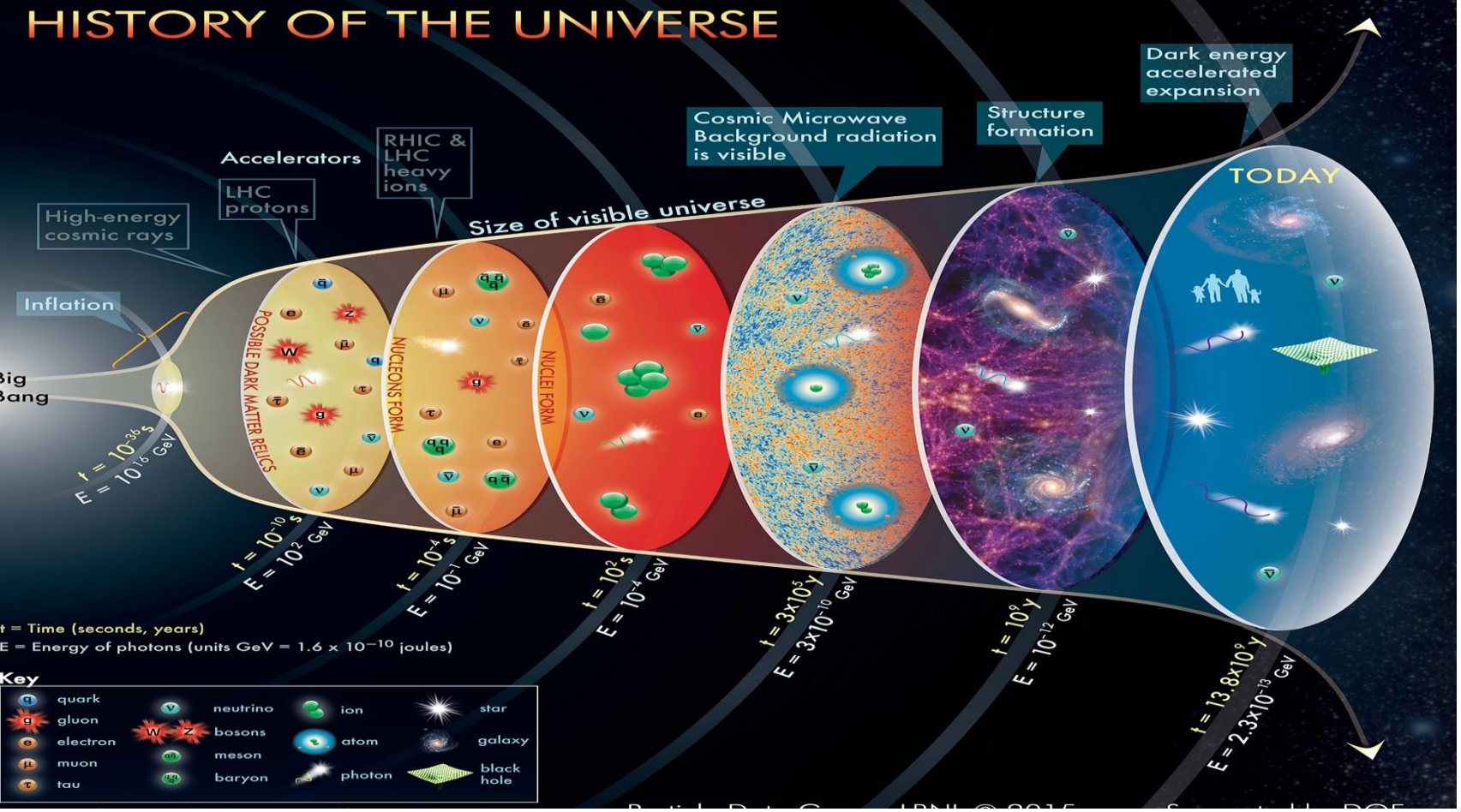
Симулация на кварк глюонна плазма при 2 трилиона К





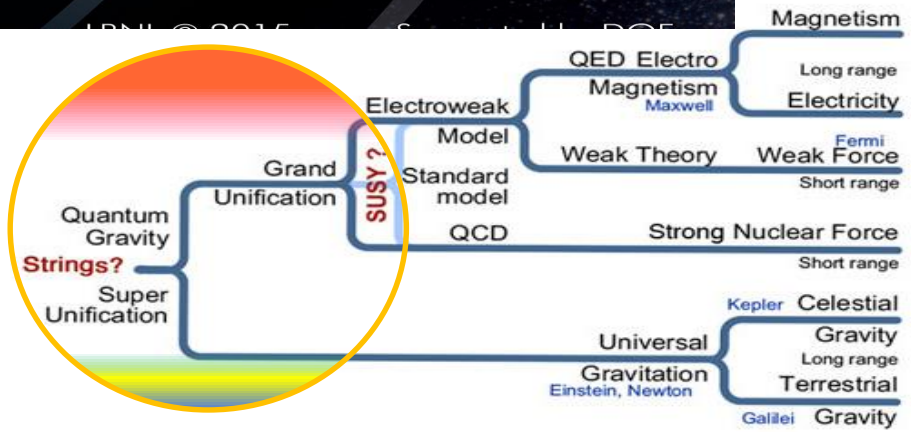
Ново предизвикателство пред науката:
да разберем първите мигове от създаването на Вселената след Големия Взрив





3. Експериментална проверка на Стандартния Модел и нови елементарни частици в експеримента CMS на LHC

Граница на нашето познание до днес



1.Стандартен Модел във Физиката на Елементарните Частици

Проверен много точно и в завършен вид с откриването на Хигс бозона.

2. Отворени въпроси пред Стандартния Модел – развитие на физиката на елементарните частици и космологията – историята на Вселената.

Как се определят масите на е.ч.?

Защо имаме 3 генерации на е.ч.?

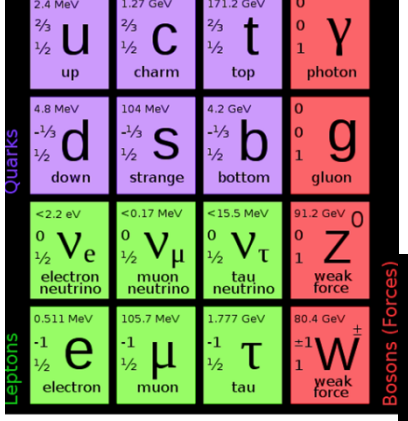
Съотношение материя/антиматерия във Вселената?

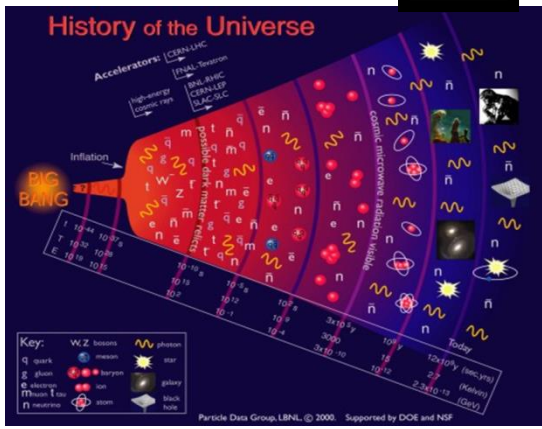
От какво е съставена "тъмната материя" и "тъмната енергия" във Вселената?

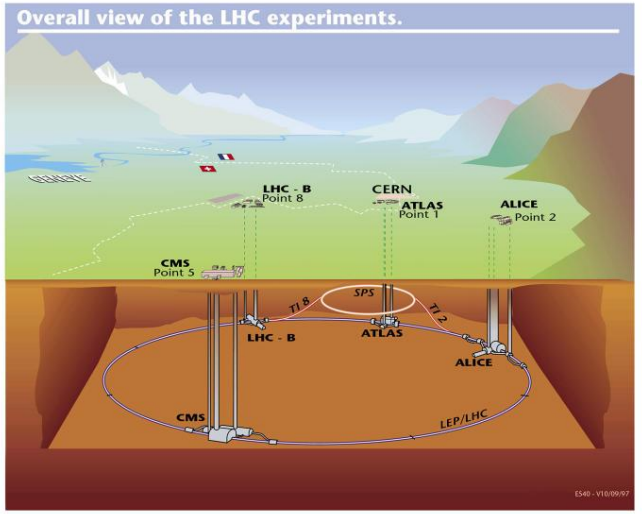
Съществуват ли други видове симетрия на ел.ч. – „Суперсиметрия"?

??

3. Експериментална проверка на Стандартния Модел и нови елементарни частици на LHC







3. Експериментална проверка на Стандартния Модел – детектори на частици на ускорителя LHC в ЦЕРН и разширение на Стандартния модел

1. Програма на LHC
2. Преминаване на частици през веществото на детектора
3. Елементи на детекторите на елементарни частици на LHC: Трекови детектори, Калориметри, Мюонни детектори
4. Детекторни комплекси на LHC: CMS, ATLAS, LHCb, ALICE

Програма на LHC

Да се намерят нови частици/ нови симетрии/ нови сили?
Произход на масата – Higgs бозон;
Суперсиметрични частици – частици на тъмната материя?
Допълнителни размерности пространство-време: гравитон?
Изучаване на CP нарушението;
Изучаване на кварк-глюонна плазма;
Неочаквани резултати.
Да се излезе извън SM

Инструментариум

Ускорители - мощни машини, които ускоряват частици до екстремно високи енергии и ги сблъскват с други частици;
Детектори - гигантски инструменти, които записват информацията от родените в точката на сблъскване нови частици;
Компютърни системи – да събират, съхраняват, анализират и разпространяват огромното количество данни, произведени от тези детектори;
Научни колективи – учени и инженери, които да построят, поддържат и използват тези комплексни машини.

Цел на физиката на високите енергии

1. Да се надникне дълбоко в Природата (E ~ 1/размера) (мощен микроскоп)

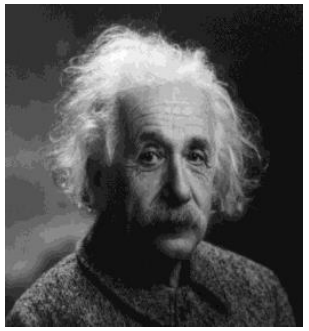
2. Да се открият нови частици с по висока маса ($E = mc^2$)

3. Да се изучи младата Вселена ($E = кT$)

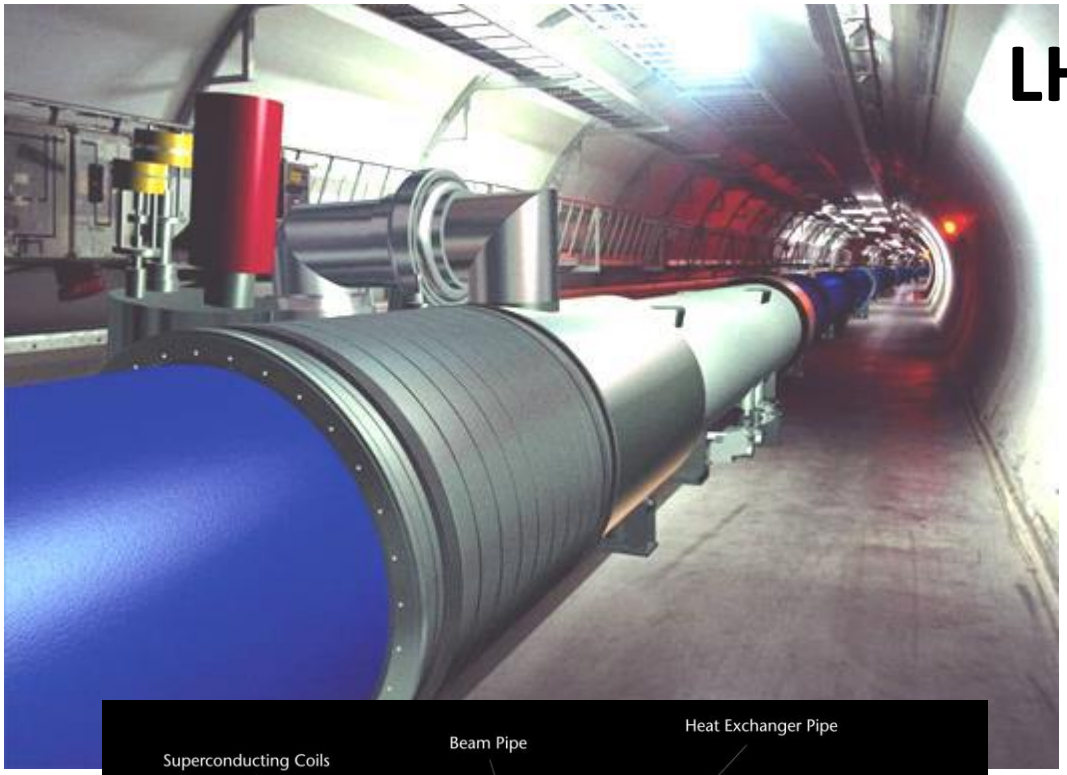
И всичко това в Лаборатория – LHC-CERN

de Broglie

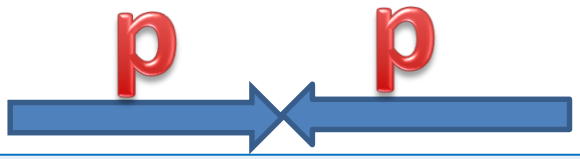
Einstein



Boltzmann



LHC



7 TeV + 7 TeV

E(TeV) = 0.3 B(T) R(km)

12 kA – ток на свръхпроводящият магнит

Светимост:

$L = N^2 k f / 4\pi\sigma_x\sigma_y \sim 10^{34}\ \mathrm{cm}^{-2}\ \mathrm{s}^{-1}$

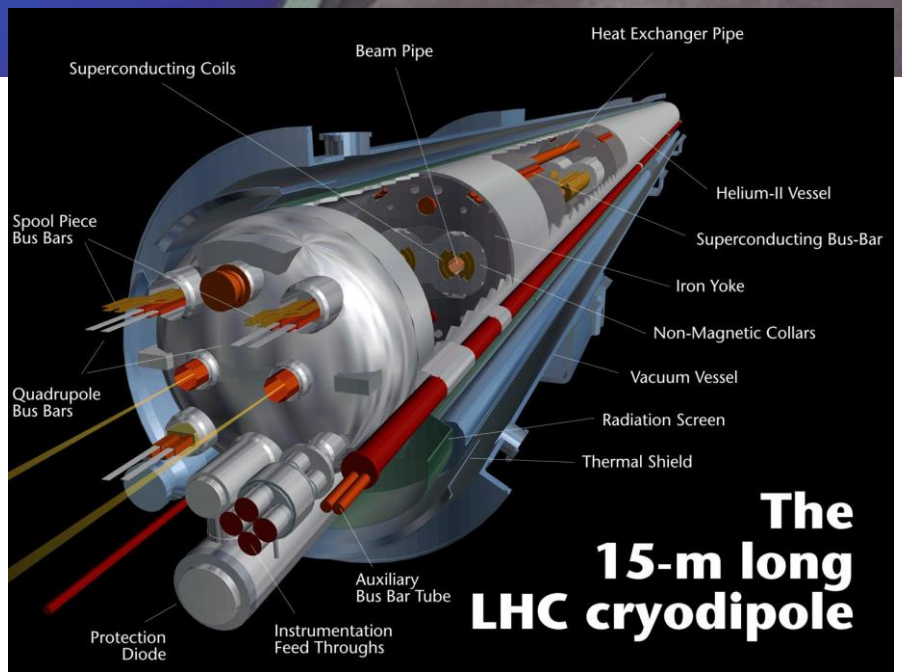
N – брой на протоните в един пакет 1.5×10^{11} протони

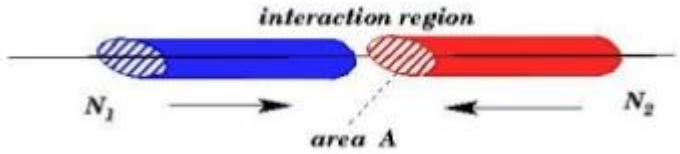
f – честота на обиколки на пакетите от протони

k – брой на пакетите от протони = 2808

σ – размер на точката на взаимодействие на пакетите

$\sigma_x = \sigma_y \sim 16\ \mu m$





Единици на измерване

Вероятност и интензивност на взаимодействието:
Сечение на разсейване ~ r^2
барн: 1 б = 10^{-24} $см^2$
1 мб = 10^{-27} $см^2$
1 пб = 10^{-36} $см^2$
Светимост (интензивност на сноповете протони): $см^{-2}\cdot с^{-1}$
LHC 2010: ~ 10^{32} $см^{-2}\cdot с^{-1}$
2011: ~ 10^{33} $см^{-2}\cdot с^{-1}$
2012: ~ 10^{34} $см^{-2}\cdot с^{-1}$

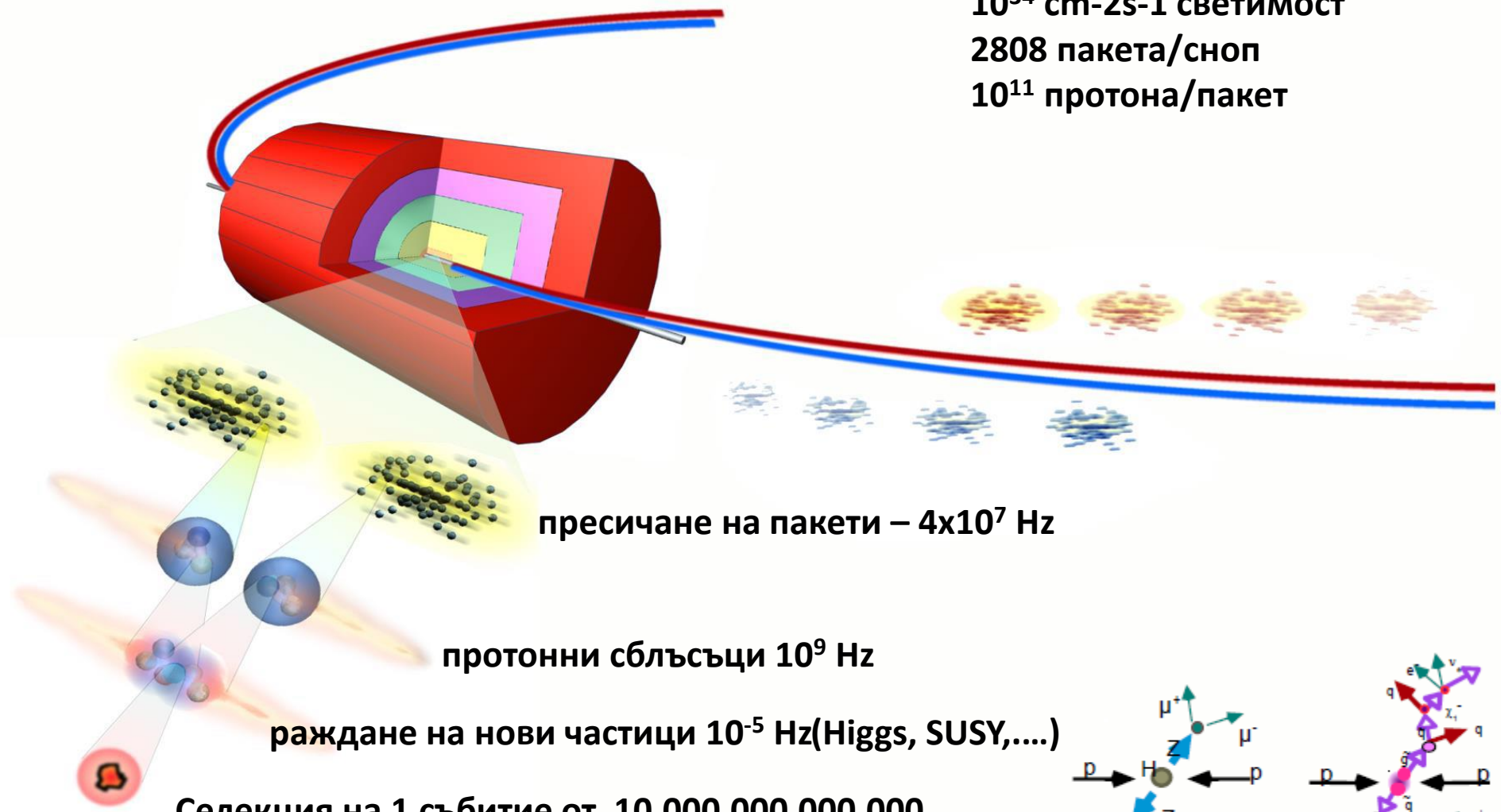
Честотата на взаимодействията при сблъскване на сноповете от протони = светимостта X сечението
Пример:
Бозон на Хигс:
сечение (m = 125 ГэВ при 8 тэВ) ≈ 10 пб
1 събитие за 10 сек.

Сравнение на енергиите

	Система на центъра на масите(СЦМ)	Лабораторна система(ЛС)
Лаборатория Фермилаб ,Чикаго	**1 TeB X 1 TeB**	**2.10^3 TeB**
LHC	**3.5 TeB X 3.5 TeB**	**2.10^4 TeB**
LHC	**7 TeB X 7 TeB**	**10^5 TeB**
LHC PbPb – 5.5 TeB нуклон/нуклон		

LHC

$7x10^{12}$ eV енергия на снопа
10^{34} cm-2s-1 светимост
2808 пакета/сноп
10^{11} протона/пакет

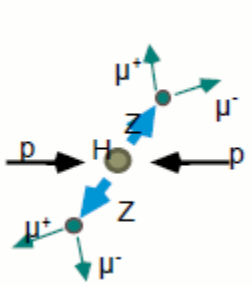


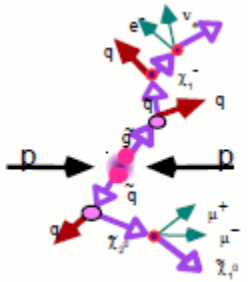
пресичане на пакети – $4x10^{7}$ Hz

протонни сблъсъци 10^{9} Hz

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

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



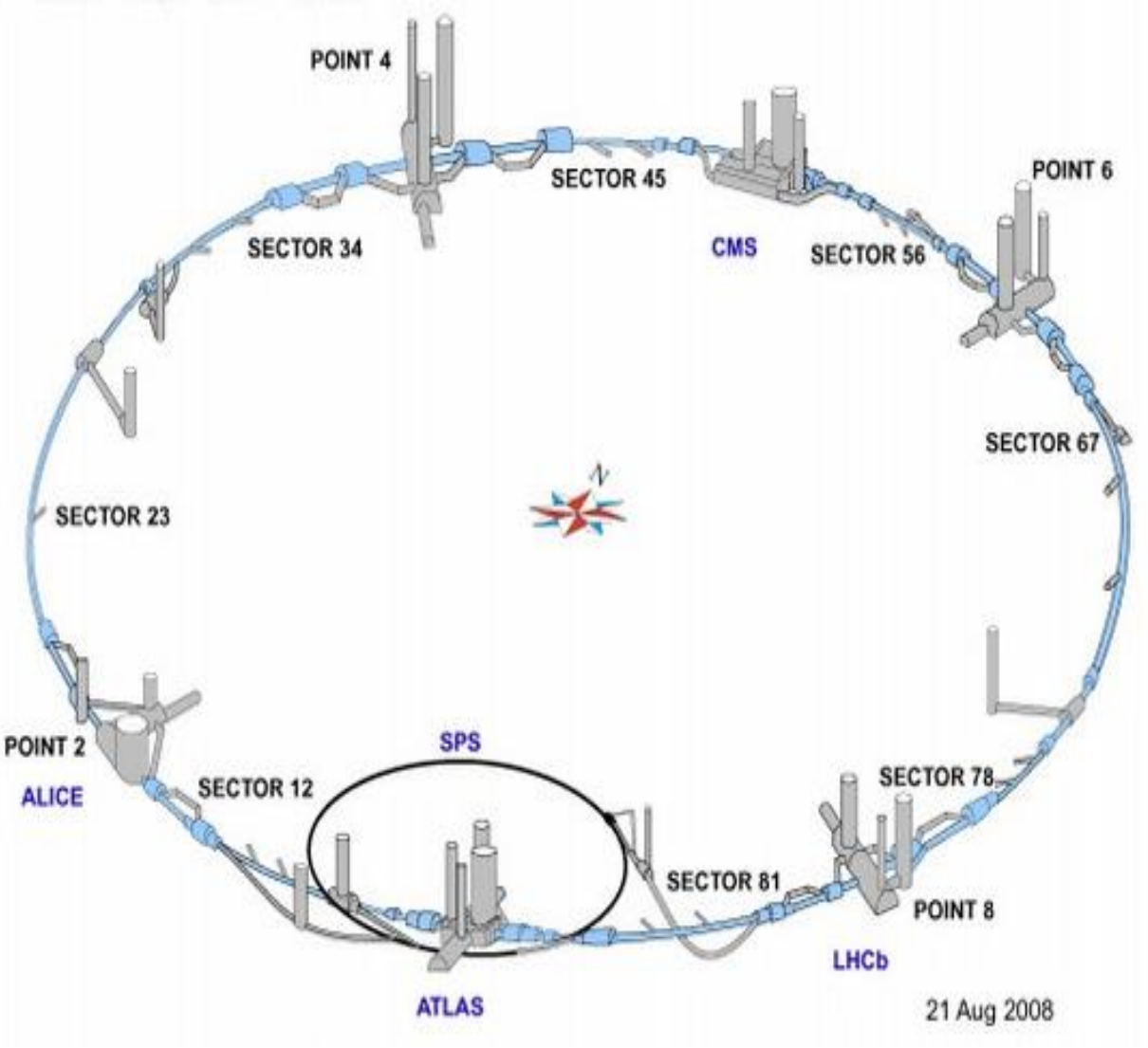


LHC :

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

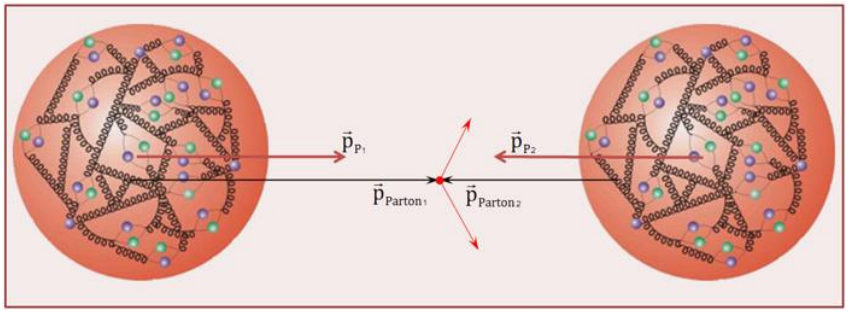
…за да се ускорят протони близо до скоростта на светлината се изисква вакуум по-дълбок от междузвездното пространство. Има 10 пъти по-плътна атмосфера на Луната, отколкото в LHC.

…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.

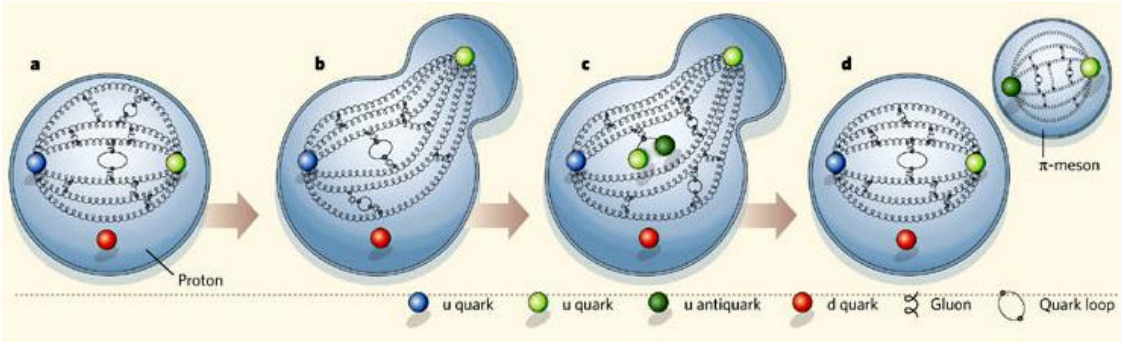


Пример на основни процеси при взаимодействието на протоните в LHC

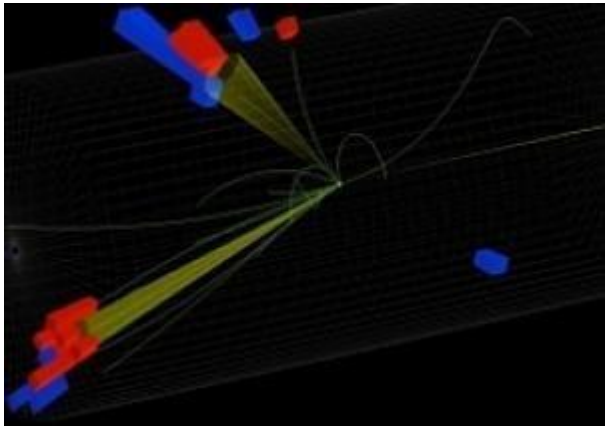
Протонът се състои от 3 кварка и глюонно поле което ги задържа – това твърдение е в сила за протон с ниска енергия. При скорост близка до скоростта на светлината, в протона се появяват множество частици – кварки, антикварки и глюони – „партони“.



При достатъчно висок импулс един отделен кварк може да се отдели от протона, при това силата на привличане нараства с разстоянието и глюонното поле ражда допълнителни кварк-антикваркови двойки – ражда се пион или различни видове адрони /пиони, каони и др./ при многократното разкъсване на струната свързваща кварка с протона.



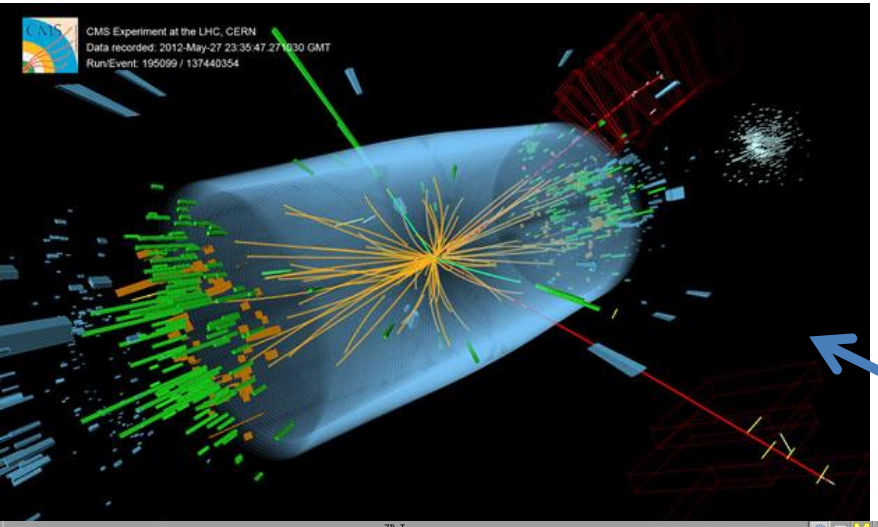
Адроните предпочитат да се групират по направление на импулса на високо енергетичните кварки – образуват се „адронни струи“ които се регистрират в детектора



LHC

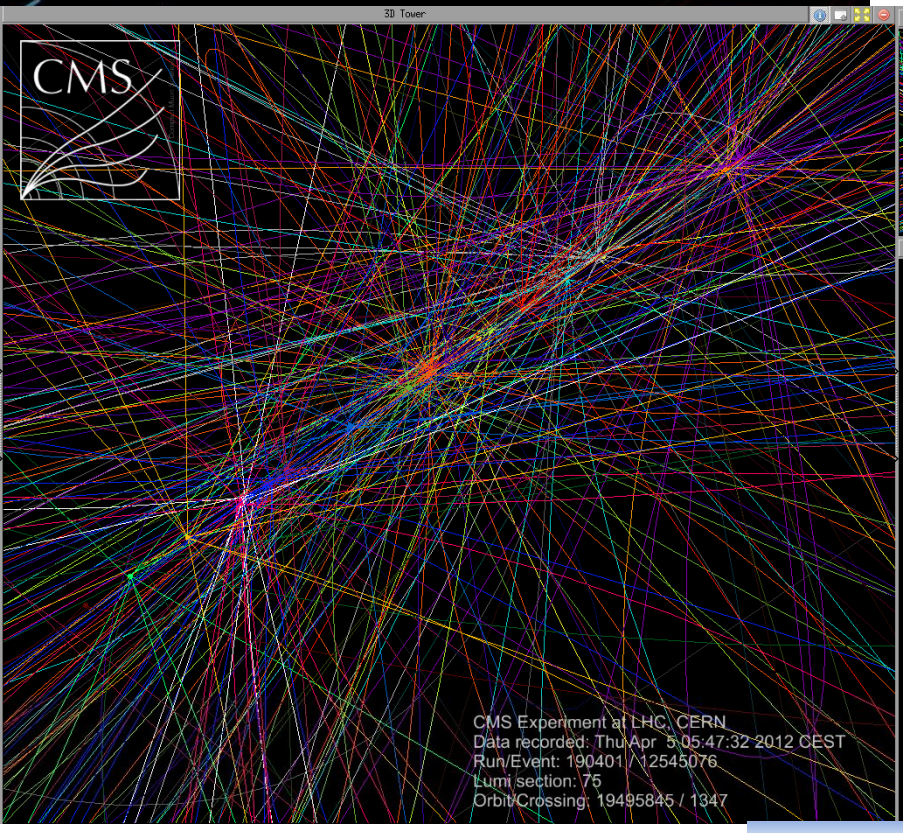
pp взаимодействие при 7 + 7 TeV, 2 насрещни снопа
k = 2808 пакета от протони в сноп
N = 10^{11} протона в пакет
f = пресичане на сноповете = 40 MHz

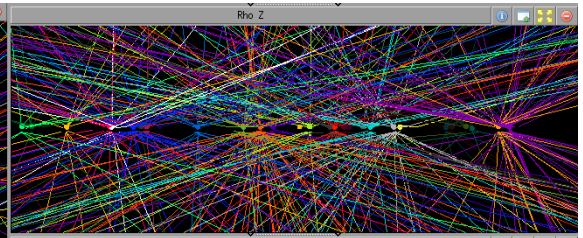
LHC – CMS – запис на 1 събитие

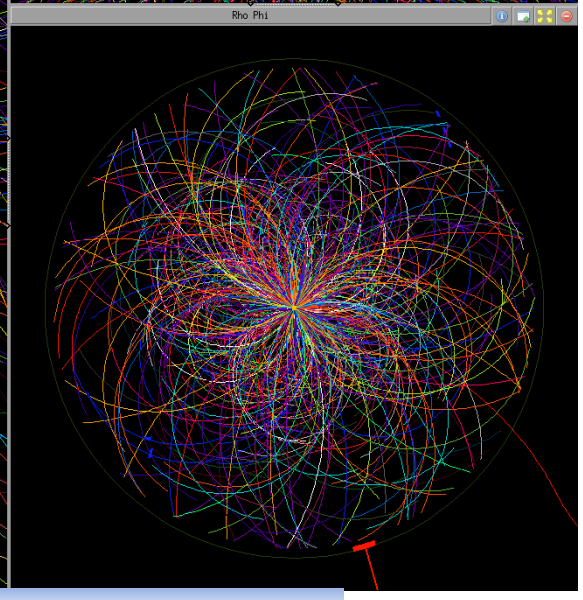


CMS има около 100 милиона канала и прави „ цифрови“ снимки 40 милиона пъти в секунда!
/цифрова камера ~ 20 милиона пиксела/

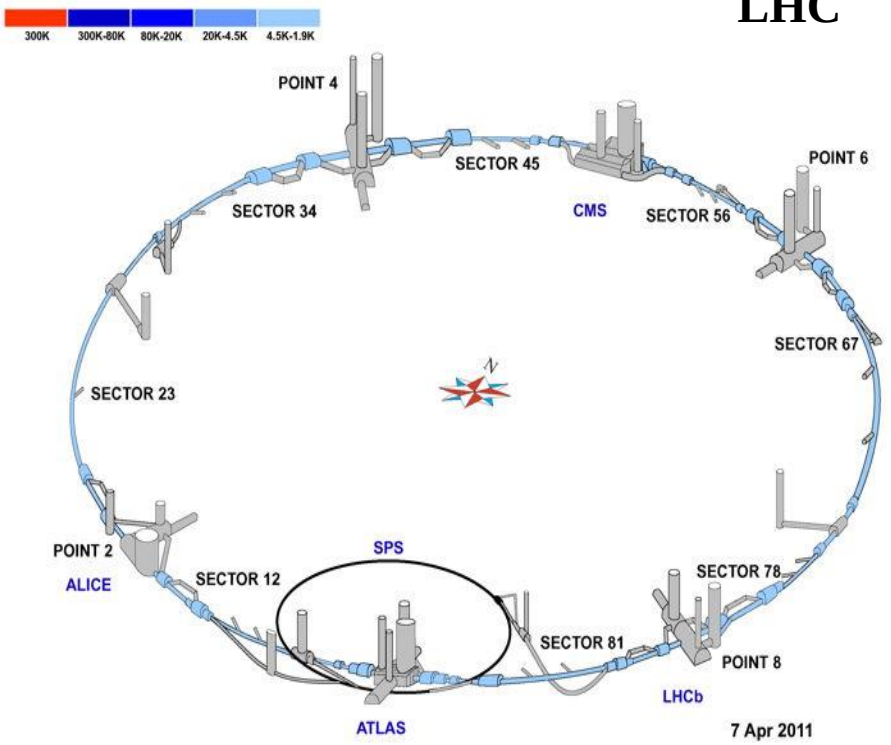
1 събитие







С повишаване на светимостта броят на събития по време на един интервал на сблъскване на протоните /25 наносекунди/ расте до 50



Технологично предизвикателство

1. ~ 1 милиард протон-протонни взаимодействия за 1 s

Пакети, съдържащи 10^{11} протона, се пресичат 40 милиона пъти в центъра на всеки експеримент

2. Огромни потоци от вторични частици

Хиляди частици пресичат детектора всеки 25 ns

Голям брой канали ~ 100 милиона

Голям брой информация (1 MB / 25 ns = 40 TB за 1 s)

3. Висока радиация от n и γ

Изисквания към детекторите

Многоканален детектор

Да покрива целия телесен ъгъл 4π

Херметична калориметрична система

Да регистрира направлението и идентифицира заряда и масата на всички частици

Да измери техния импулс и енергия

Мощна вътрешна трекова система

Висока разделителна способност на електромагнитния калориметър

Много добра мюонна идентификация и измерване на импулса

Високо радиационно устойчиви материали

2. Преминаване на частици през веществото на детектора

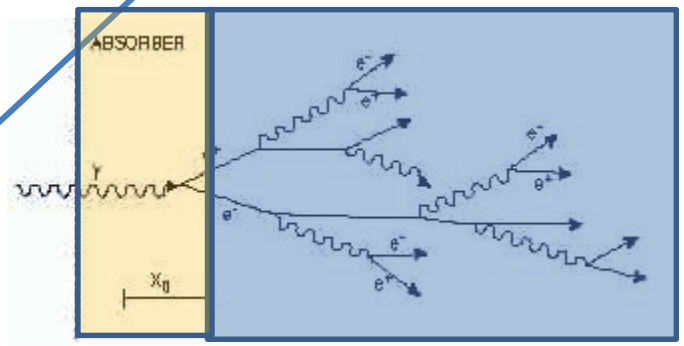
Понастоящем за регистрация на частици се използват следните процеси при тяхното взаимодействие с веществото на детектора:

1. Електромагнитно взаимодействие (всички заредени + γ)
2. Силно взаимодействие (адрони, включително и неутралните – n)
3. Слабо взаимодействие (неутрино - ν)

Основни процеси при преминаване на ел. частици през веществото на детекторите

Електромагнитна лавина

Чувствителен елемент



X0 - Радиационна дължина – средната дължина на проникване във веществото преди да се предизвика ЕМ лавина само от електрони, позитрони и фотони

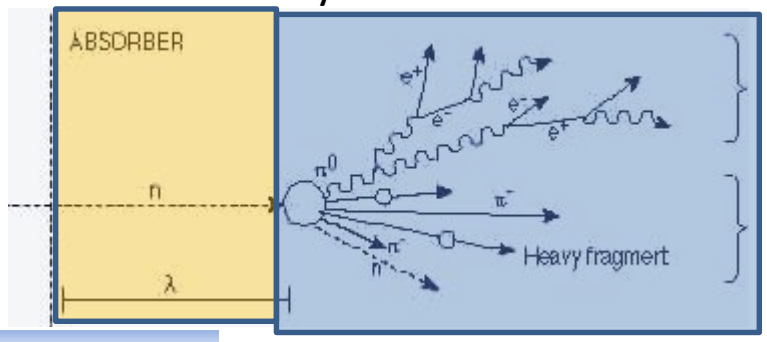
1. Масата (e) конвертира в енергия (γ)
2. Раждат се e+e- двойки

Адронна лавина

λ - Интеракционна дължина – средната дължина на проникване във веществото преди да се предизвика адронна лавина

Раждат се различни частици - p, n,П,ν,λ,K,Θ

Чувствителен елемент



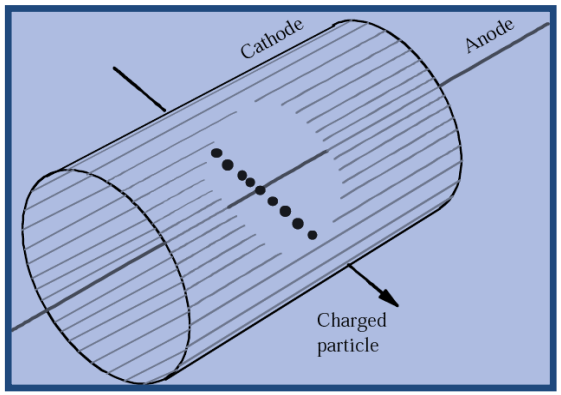
ЕМ каскад

Адронен каскад

Йонизация

Първична йонизация

Тотална йонизация

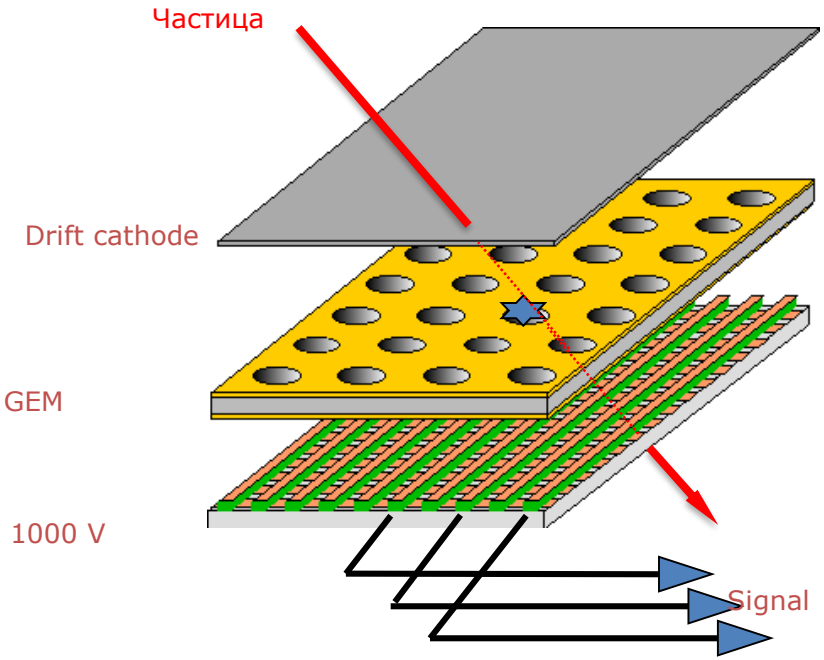


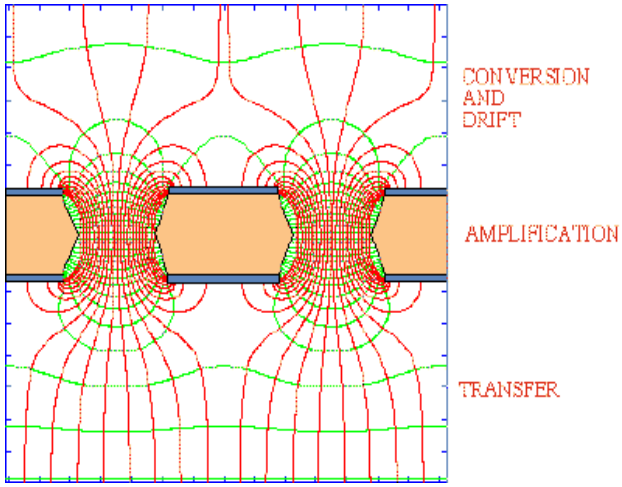
$\sigma(ionization) = f(E, gas)$ → Газово усилване

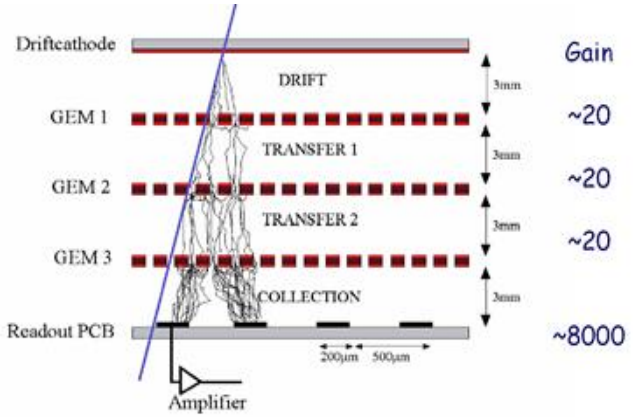
2. Преминаване на частици през веществото на детектора - йонизация

Камера с газово-електронно усилване(GEM)

(умножаване на броя на електроните и йоните чрез по-висок градиент на електрическото поле)

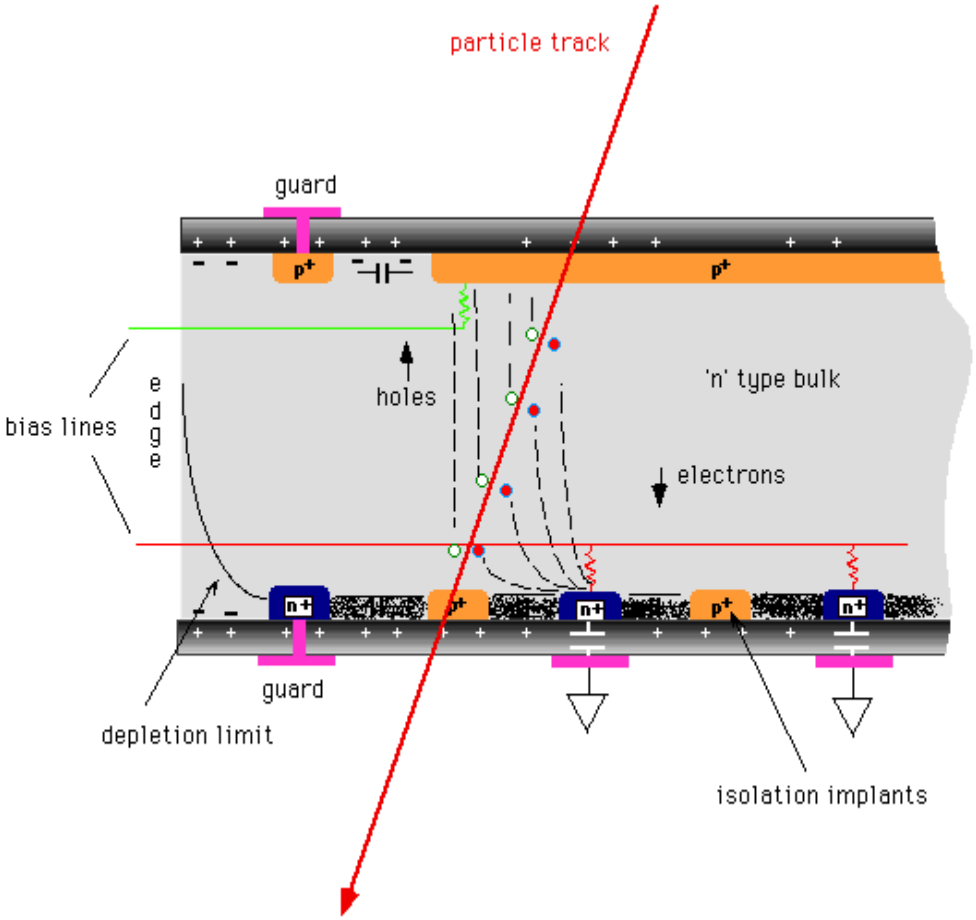




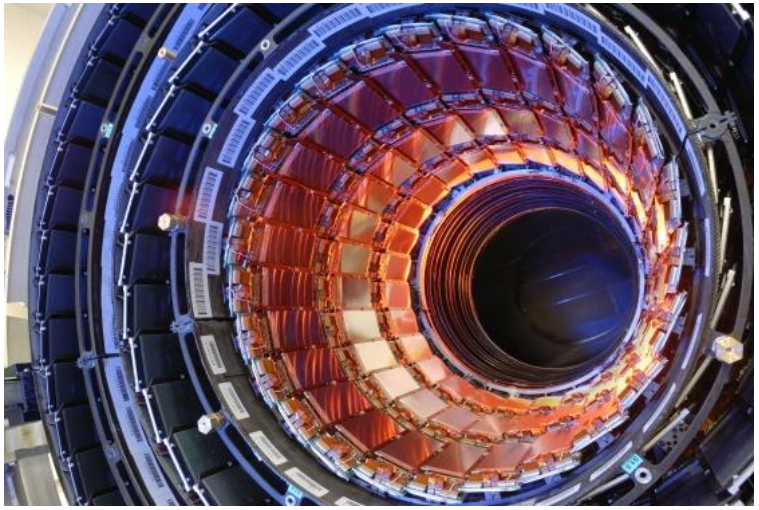


2. Преминаване на частици през веществото на детектора - йонизация

Силициев детектор



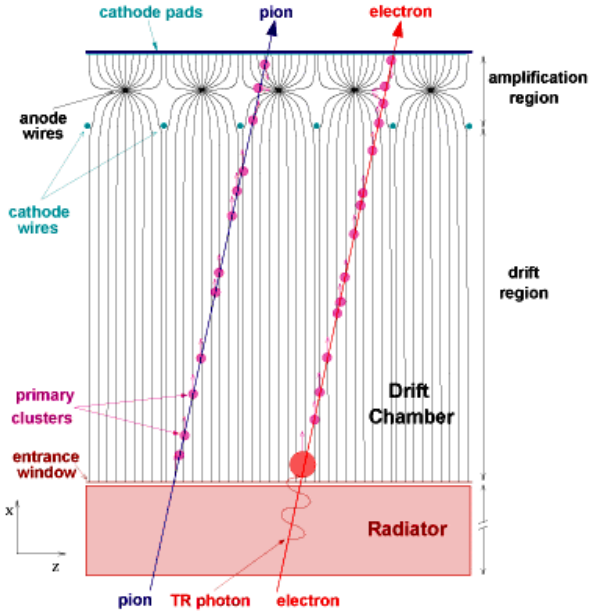
2. Преминаване на частици през веществото на детектора - йонизация



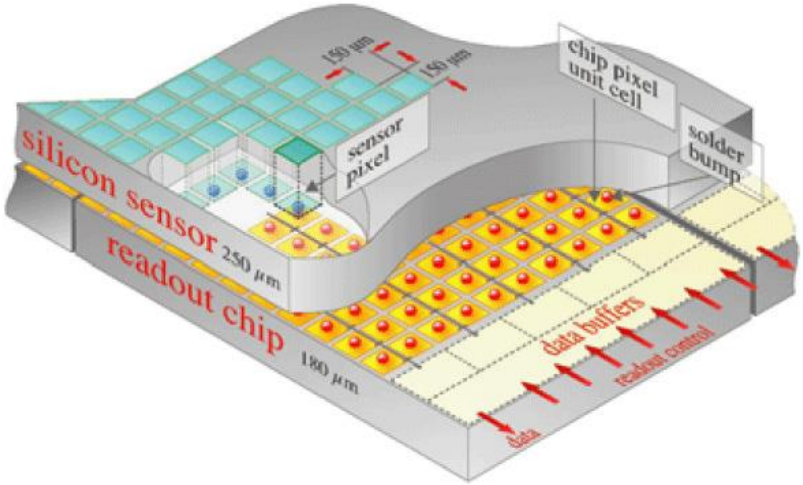
10 layers of Silicon Strip Sensors surrounding 2-3 layers of Silicon Pixel Sensors.

15k silicon modules containing 76M pixels + strips

The World's largest Silicon Tracker = 250 m2 !

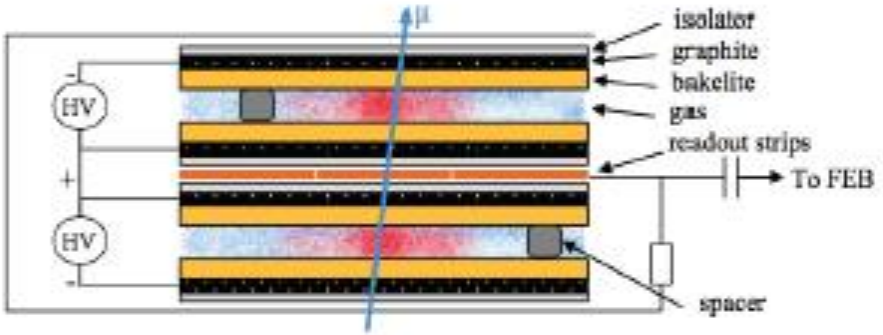


Полупроводников детектор на трекове



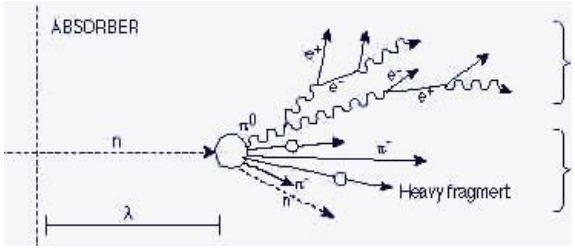
Пикселен детектор на трекове – многослоен полупроводников детектор от тънки пластинки с нанесена върху им електроника

Дрейфова камера – сигнал от времето на „дрейф“ на електроните



Мюонни камери със съпротивителна плоскост – 2 наносекунди сигнал за преминал мюон

3. Елементи на детекторите на елементарни частици на LHC: Адронен калориметър



ЕМ каскад

Адронен каскад

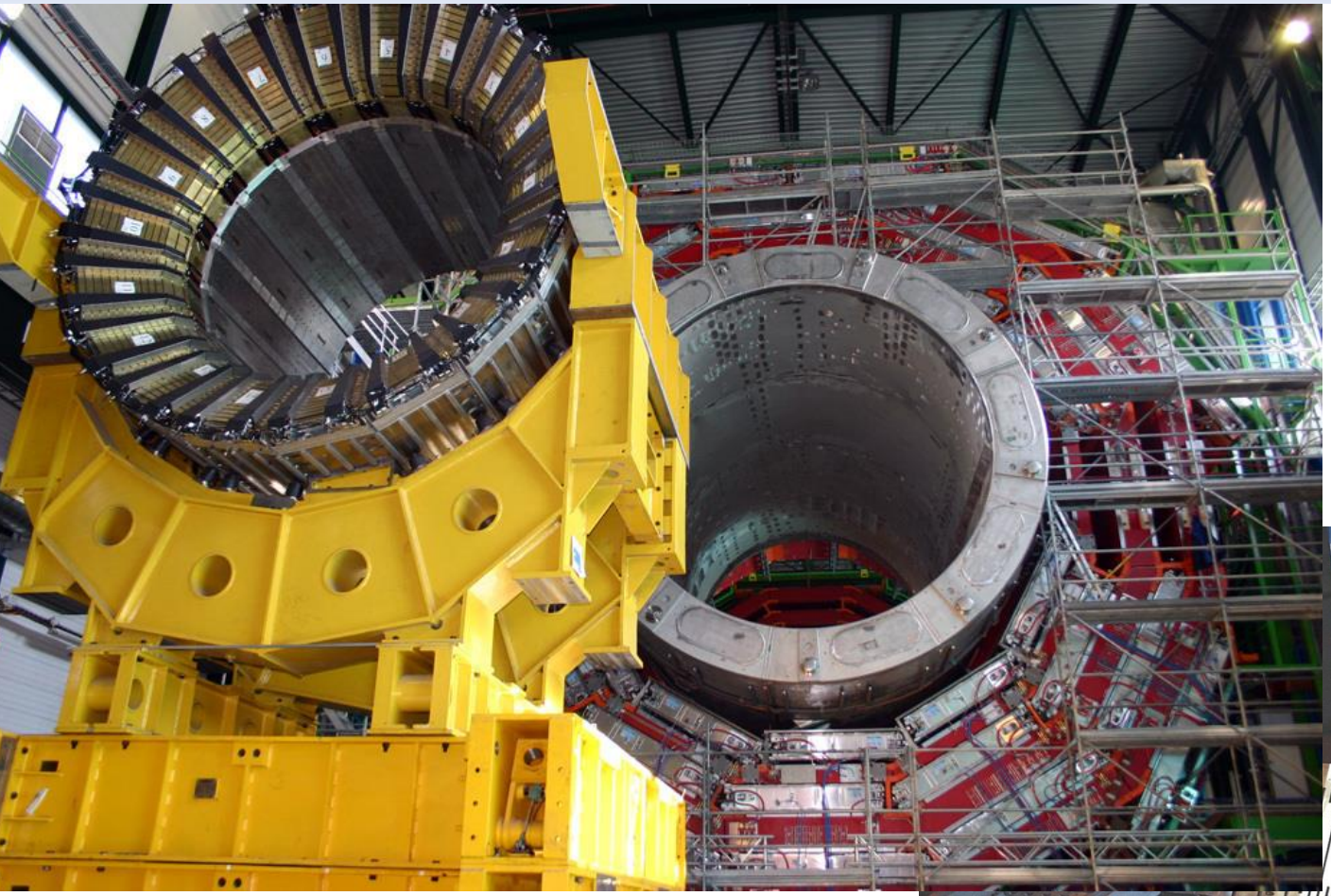
В адронният калориметър се получава отдаване на енергията от адрони, като има и част от енергията свързана с електромагнитната компонента на взаимодействие с веществото на детектора.
Отдадената от заредени пиони енергия може да бъде описана като

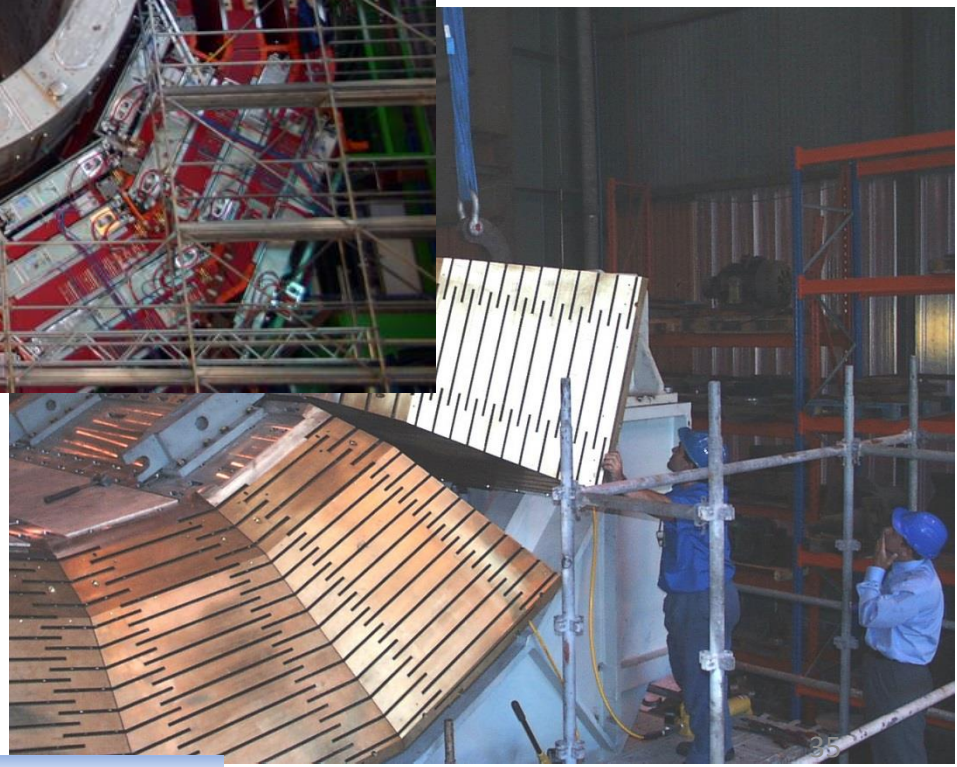
$$\pi^{\pm} = f_{em} e + f_h h$$
$$f_h = 1 - f_{em}$$

Където $\pi^{\pm}$ **е енергията от заредените пиони,**
***e* – енергията от електромагнитното взаимодействие,**
***h* – енергията на адроните,**
f_h **– част от енергията на свързана с адроните,**
f_{em} **– част от енергията свързана с електромагнитното взаимодействие - около 30% от общата енергия,**
Електромагнитната част флуктуира значително и е зависима от енергията на началната частица,
в следствие на тези особености на отдадената енергия в адронния калориметър
-> $\frac{\sigma(E)}{E}$ **не е пропорционална на** $\frac{1}{\sqrt{E}}$ **,**

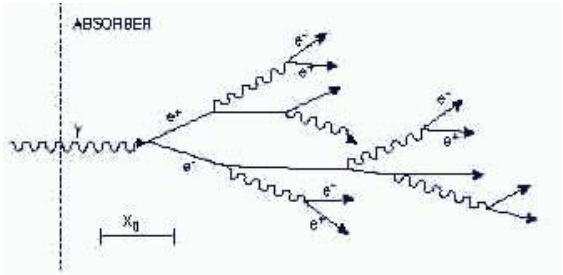
-> отдадената от адроните енергия не е линейно зависима от енергията на частиците,
-> разпределението на енергията не е поасоново.

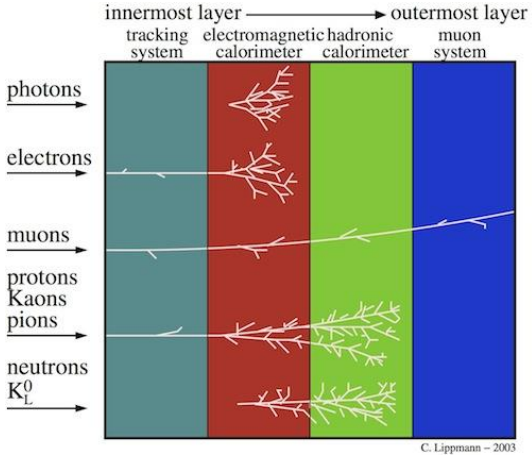
3. Елементи на детекторите на елементарни частици на LHC: Адронен калориметър

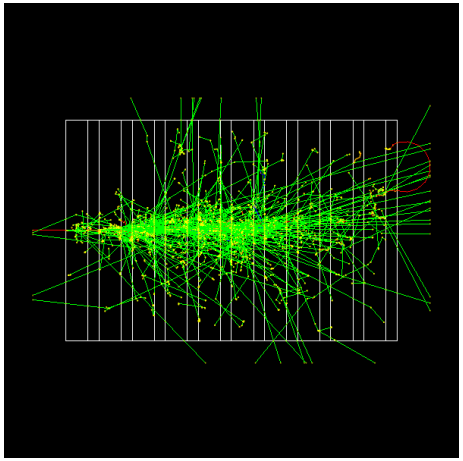




3. Елементи на детекторите на елементарни частици на LHC: Електромагнитен калориметър







1 GeV енергия в ЕМ калориметър

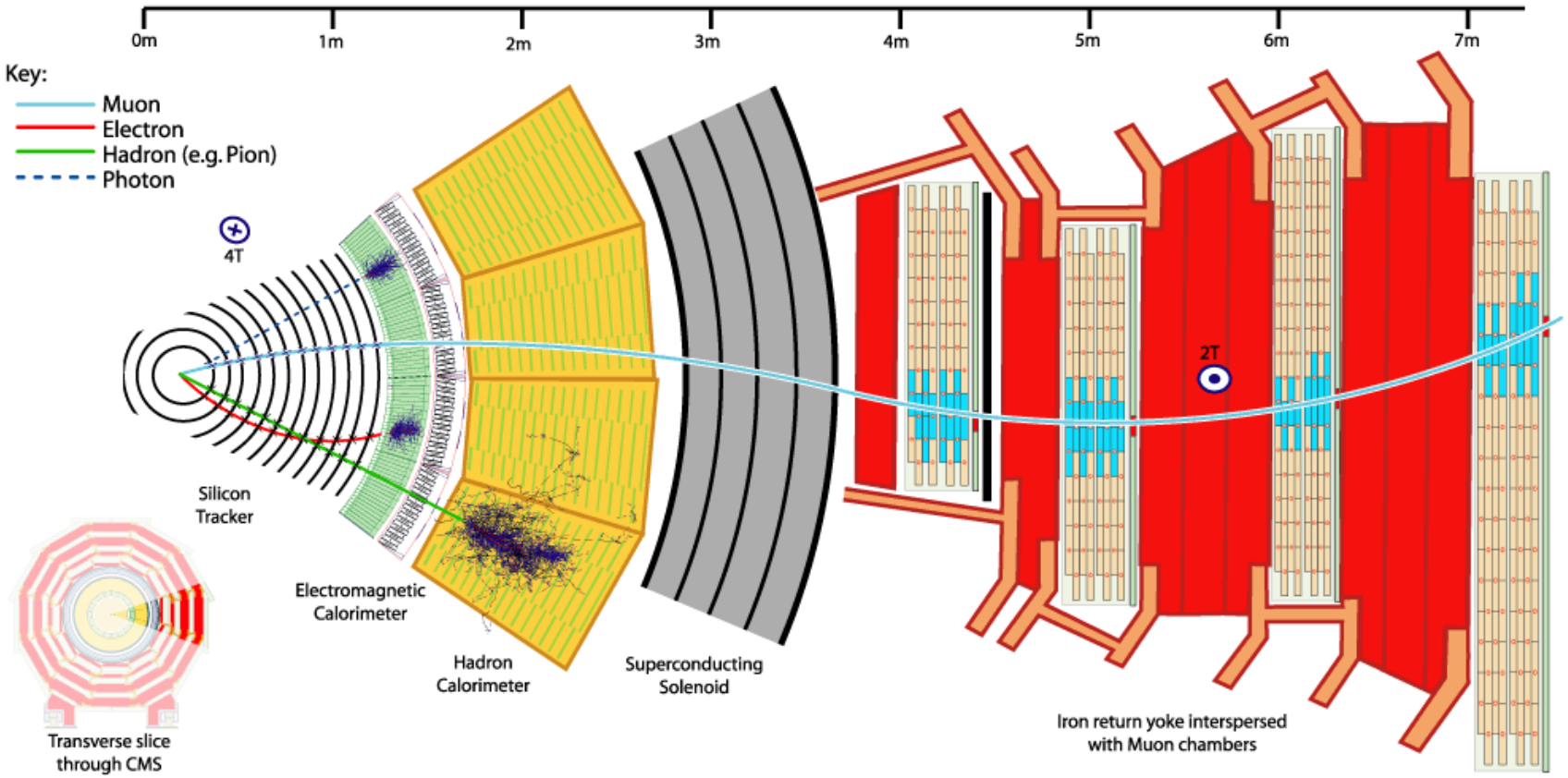
Енергията на ЕМ струя се отделя на максималното разстояние на развитие на струята – t_{max} , броят на йоните N_{max} е пропорционален на отделената енергия. Отдадената в ЕМ калориметър енергия е пропорционална на $\sqrt{E}$ от енергията на началната частица.

$$t_{max} = \frac{\ln(E_0/E_c)}{\ln 2}$$

$$N_{max} = e^{t_{max}\ln 2} = E_0/E_c$$

$$\frac{\sigma(E)}{E} \propto \frac{1}{\sqrt{E}}$$

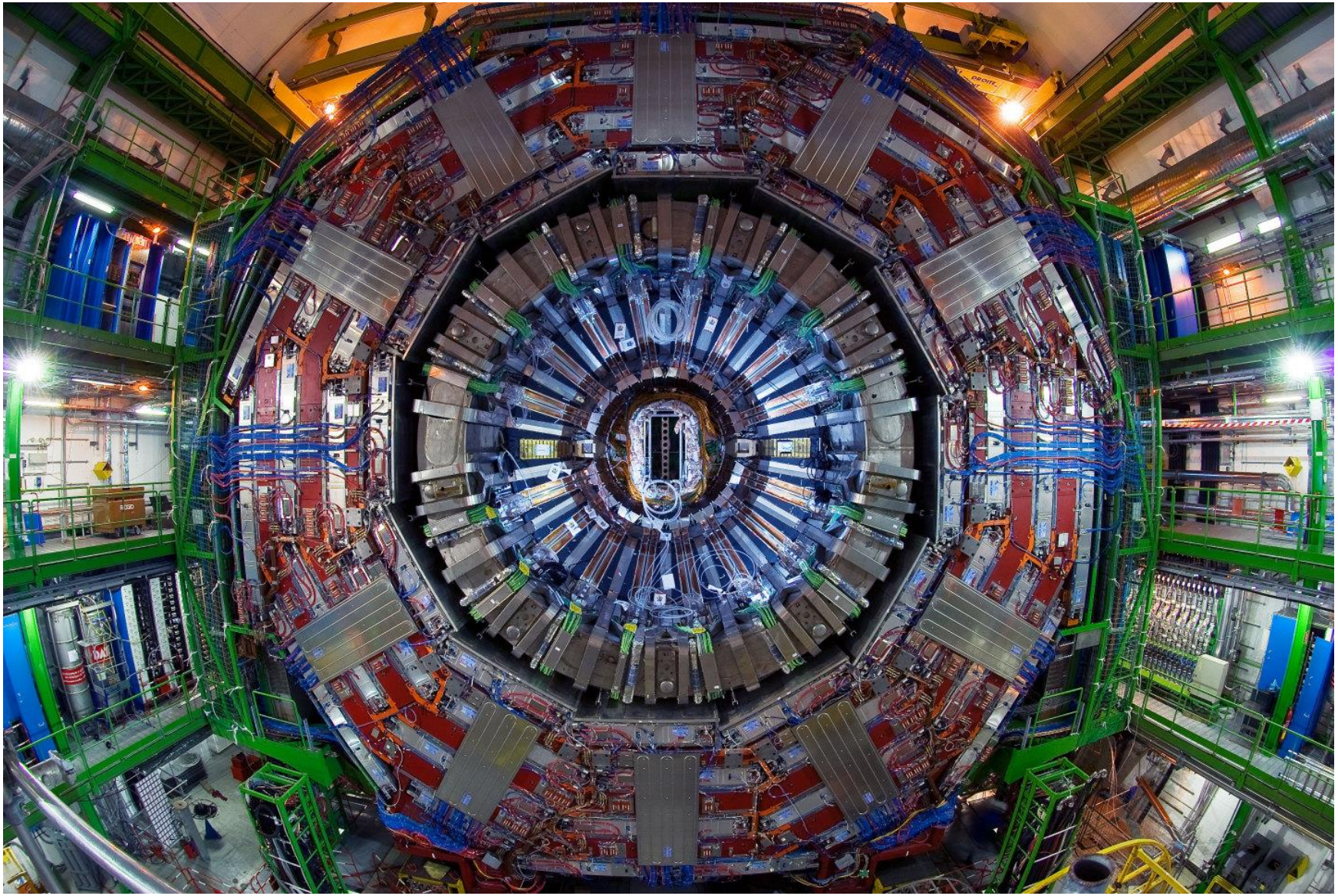
Елементи на детектор за елементарни частици на Compact Muon Solenoid - CMS LHC



Елементи на детектора CMS :

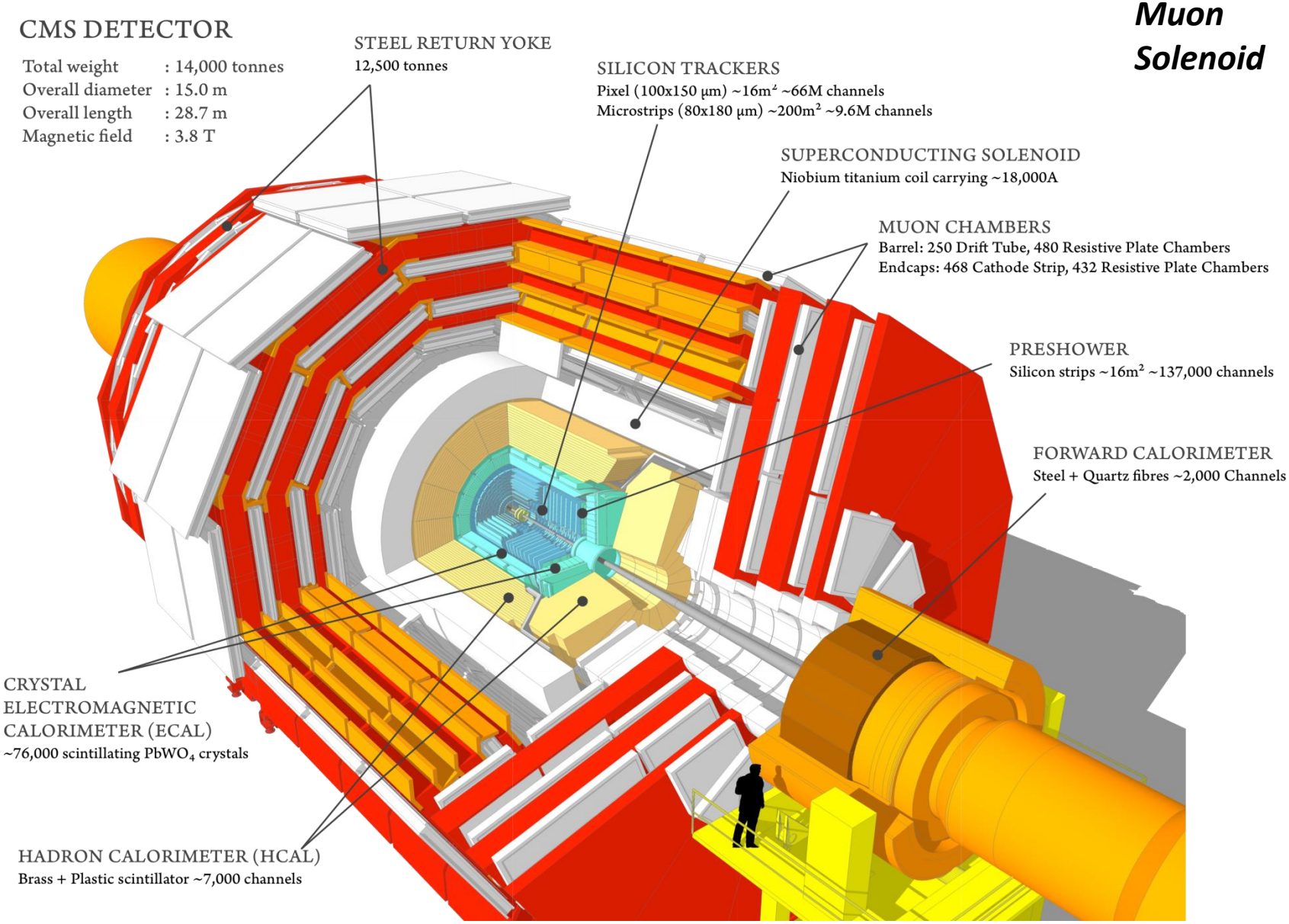
1. Трекoв детектор /траектория на заредените частици/
2. Електромагнитен калориметър /ЕМ компонента на енергията на заредени частици и фотони/
3. Адронен калориметър /енергия на заредени и неутрални частици/
4. Мюонен детектор / траектория и време на прелитане на мюони /.

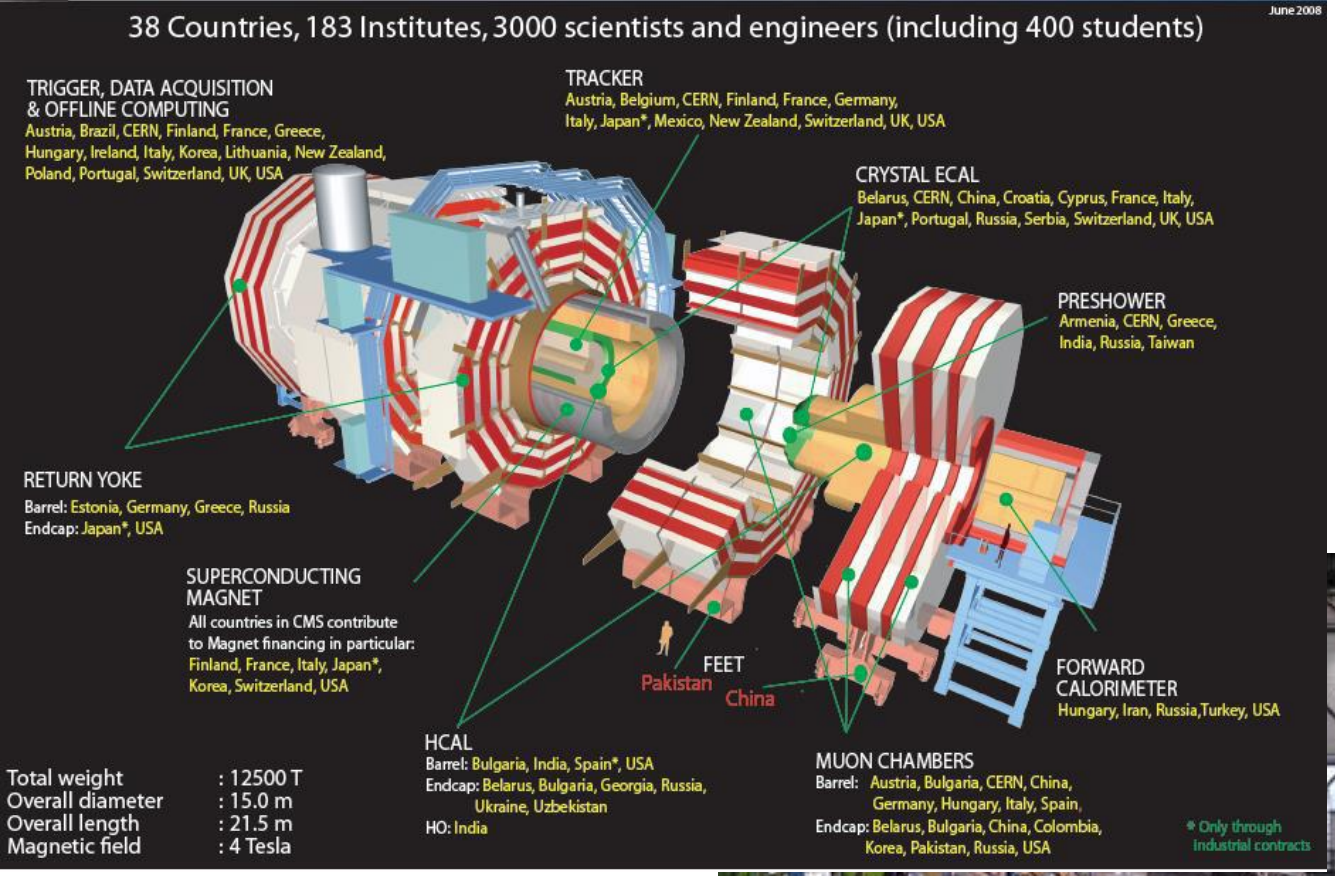
CMS - Compact Muon Solenoid



4. Детекторни комплекси на LHC: CMS, ATLAS, LHCb, ALICE

CMS
Compact Muon Solenoid



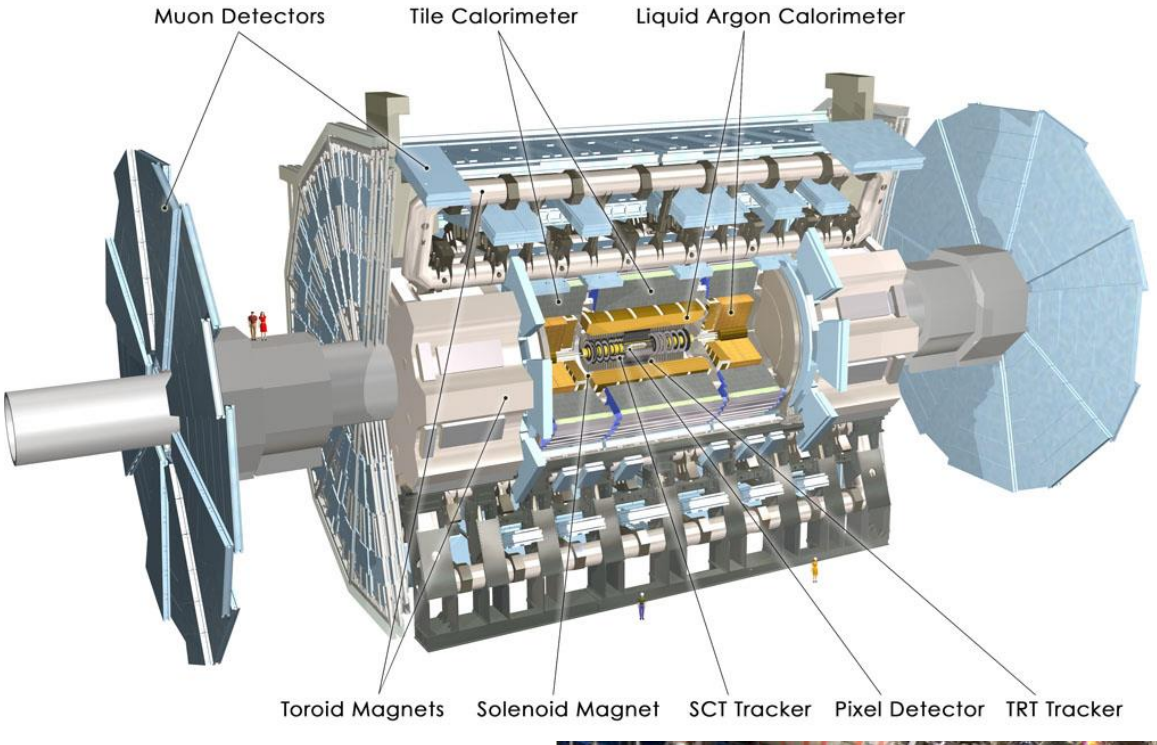


CMS

Compact

Muon

Solenoid



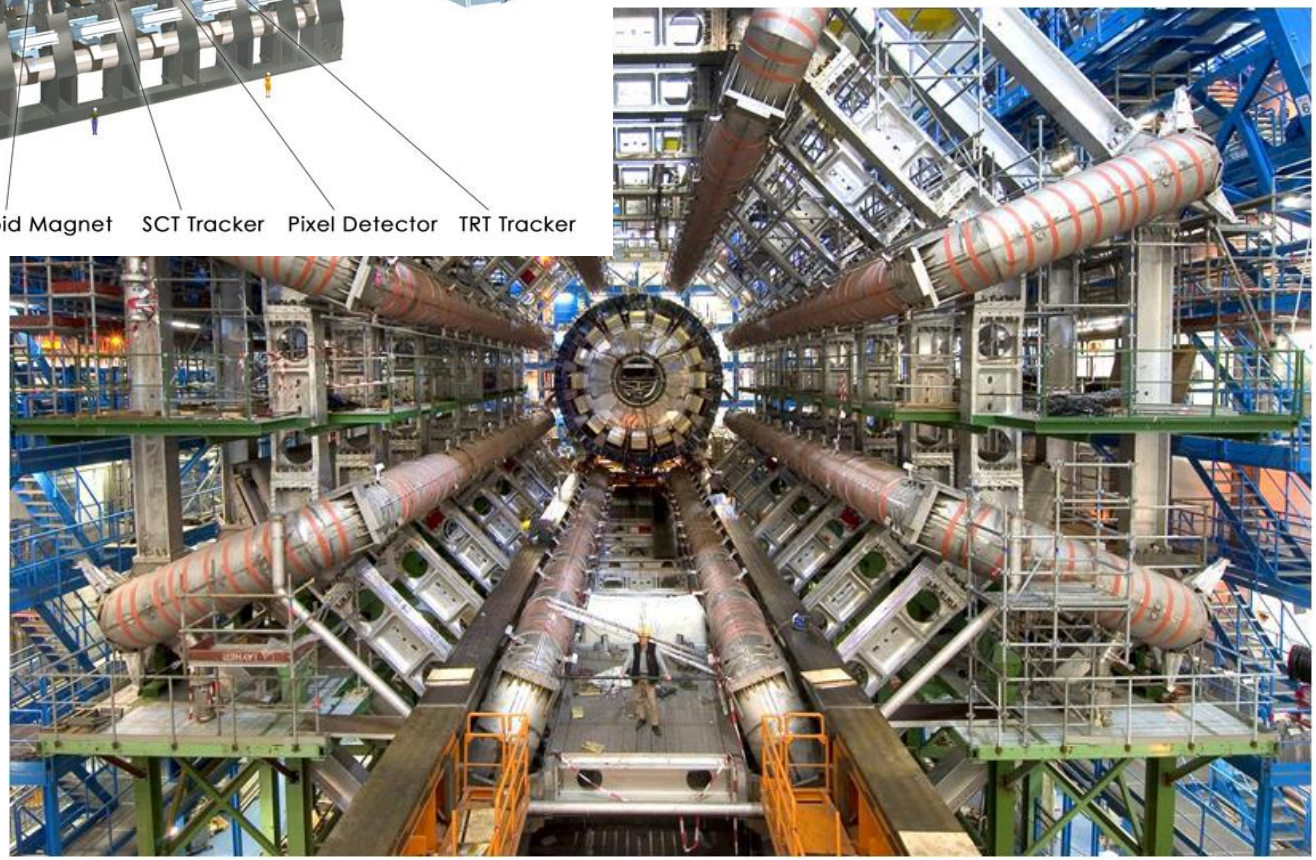
ATLAS

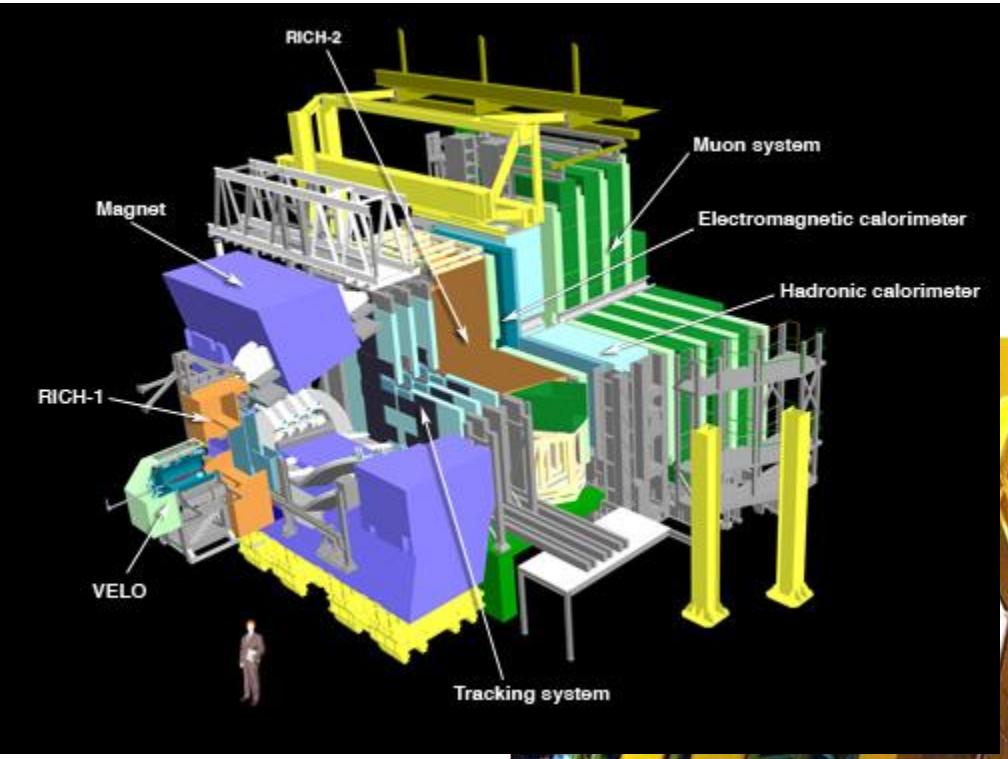
A

Toroidal

LHC

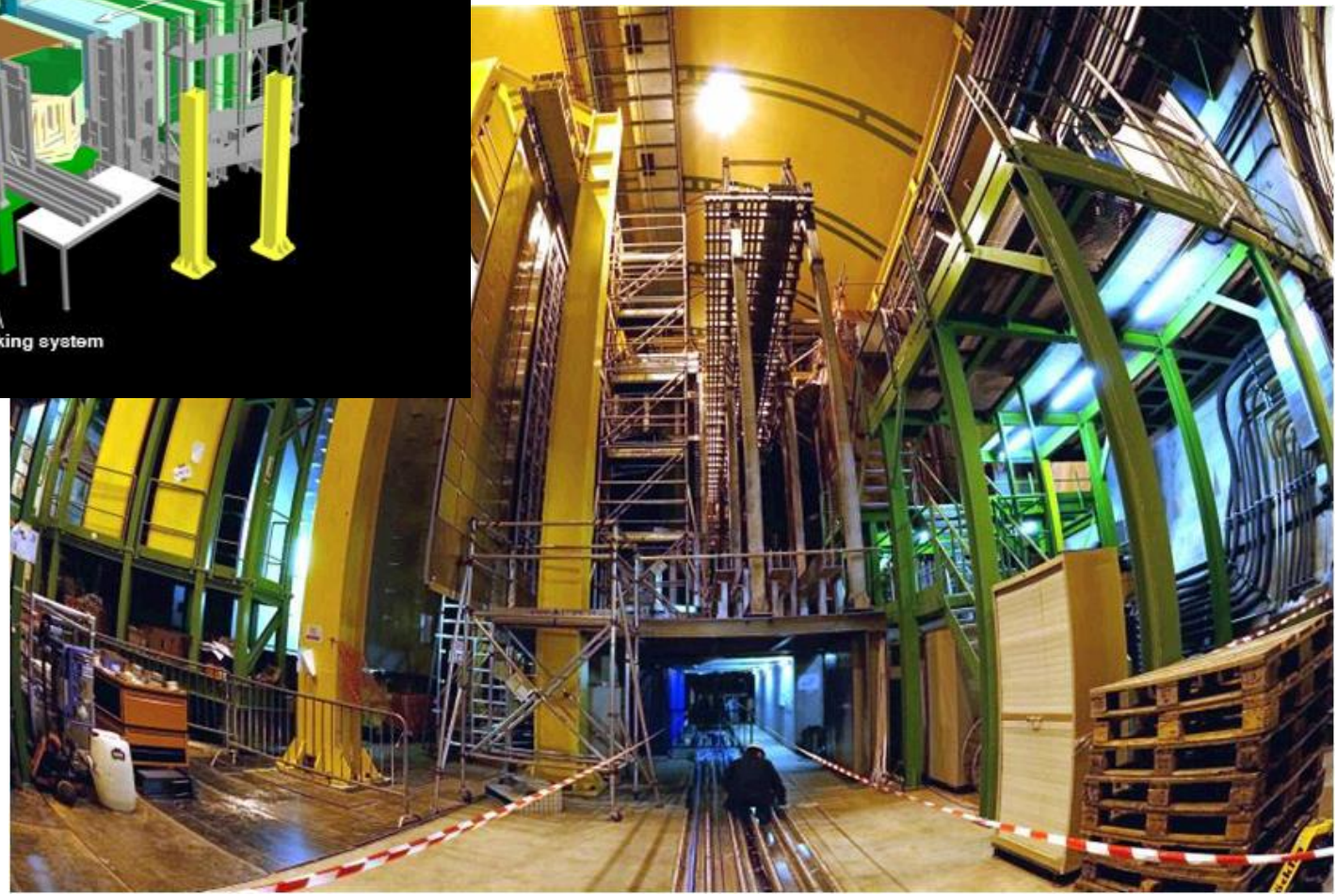
ApparatuS

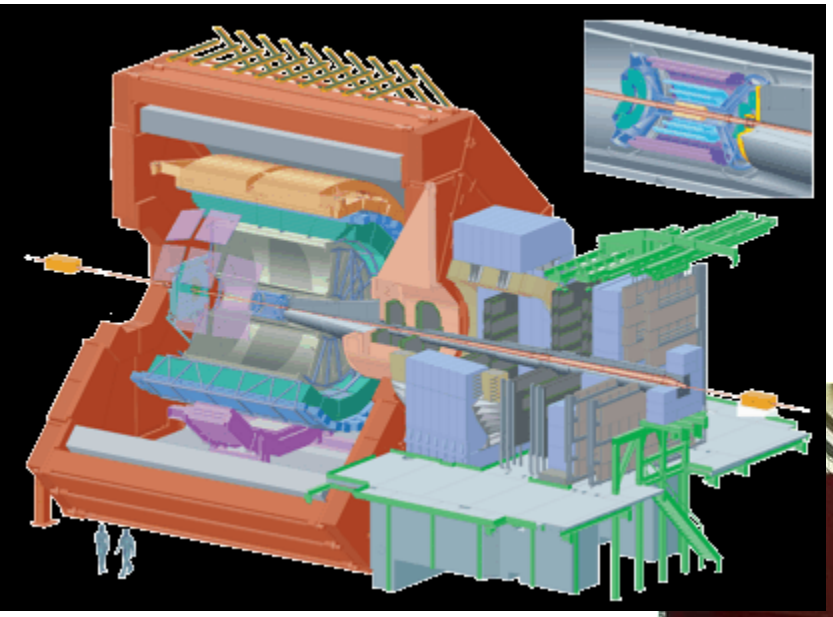




LHCb

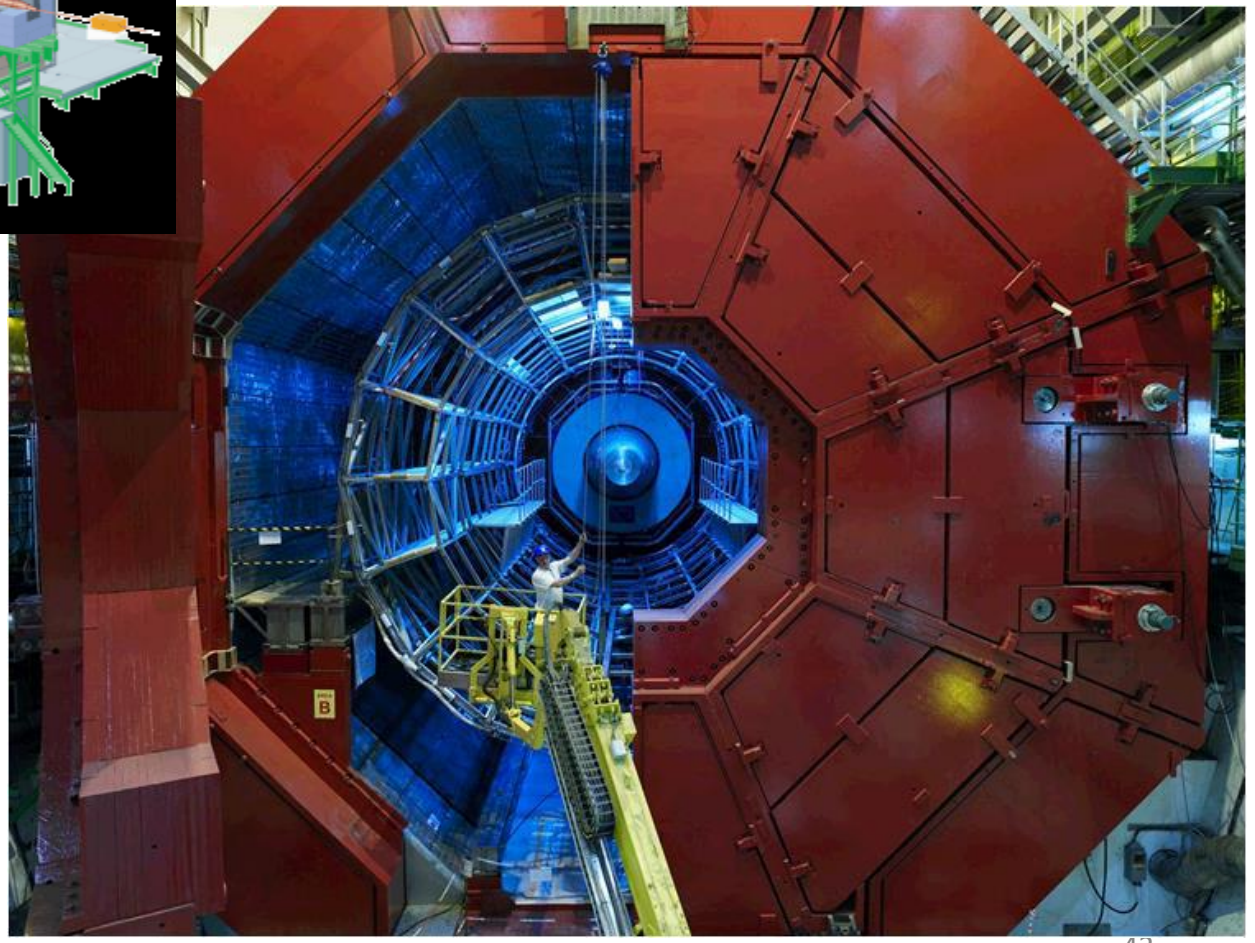
Large Hadron Collider beauty





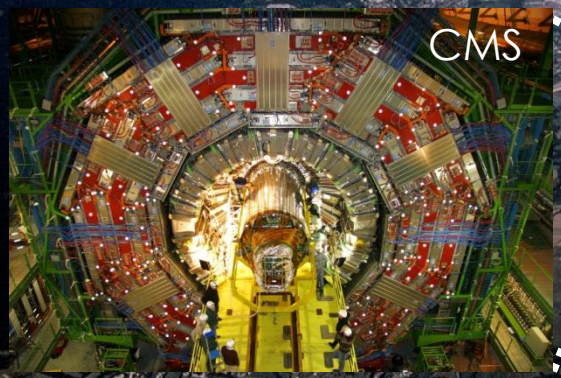
ALICE

A
Large
Ion
Collider
Experiment

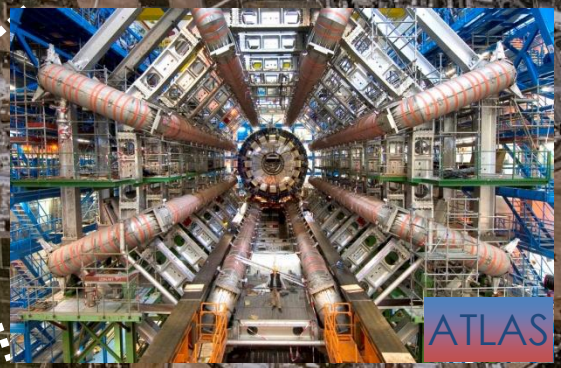


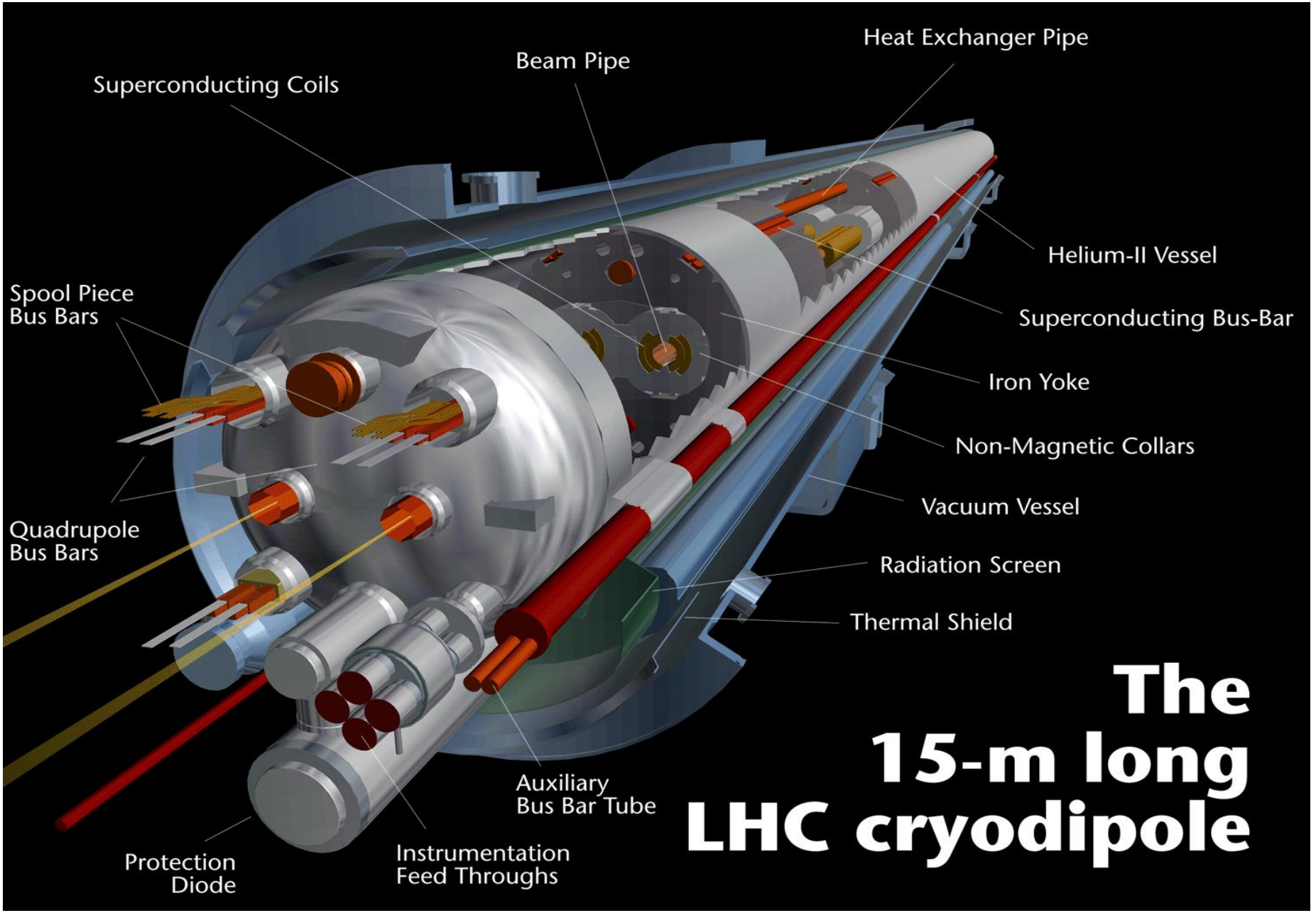
Навлиза нова ера във фундаменталната наука

Пуска на Големия Адронен Колайдер (LHC), един от най-големите и глобални научни проекти, е най-вълнуващата повратна точка във физиката на елементарните частици.



Изследване на нова енергийна граница
p-p и Pb-Pb сблъсъци

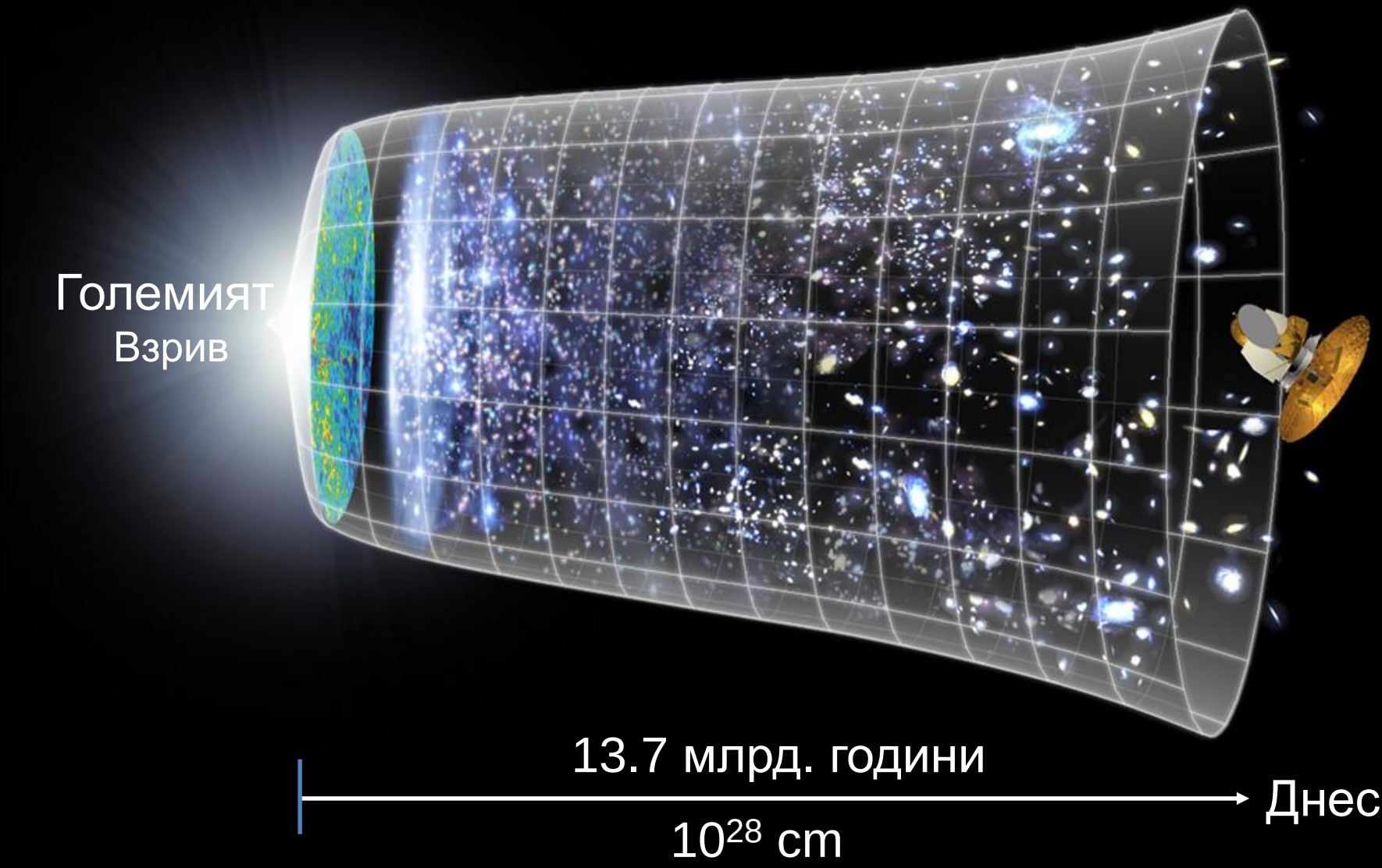


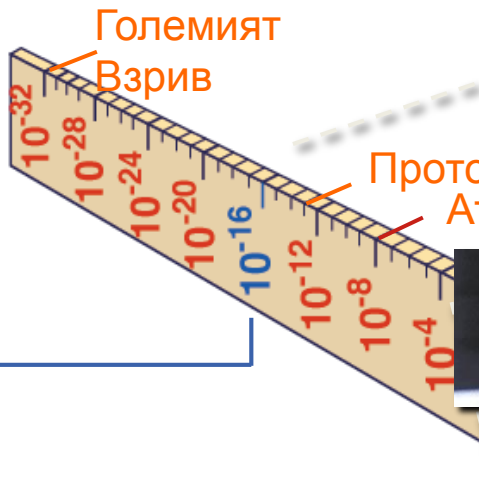

Heat Exchanger Pipe
Beam Pipe
Superconducting Coils
Helium-II Vessel
Spool Piece
Bus Bars
Superconducting Bus-Bar
Iron Yoke
Non-Magnetic Collars
Quadrupole
Bus Bars
Vacuum Vessel
Radiation Screen
Thermal Shield
The
15-m long
LHC cryodipole
Auxiliary
Bus Bar Tube
Protection
Diode
Instrumentation
Feed Throughs

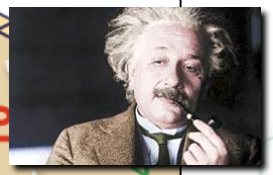
Магнитно – Криостатен монтаж & Тест

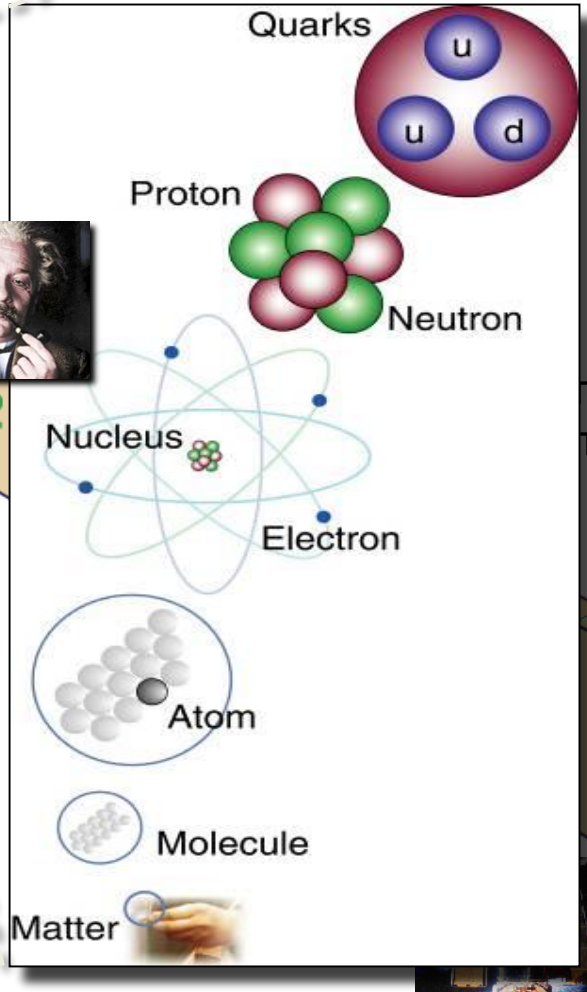
Магнитна инсталация

Ново предизвикателство пред науката:
да разберем първите мигове от създаването на Вселената след Големия Взрив

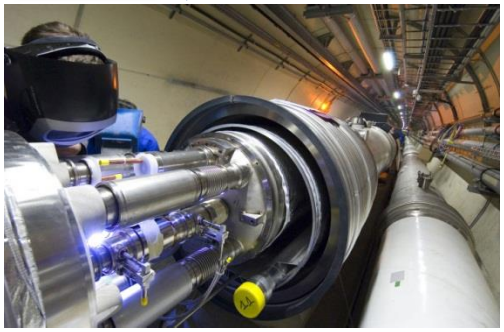






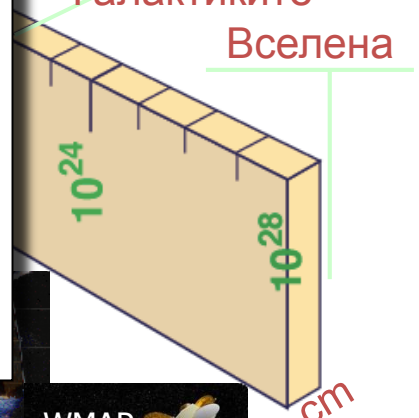


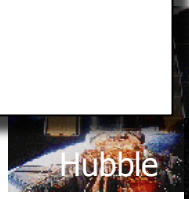
ънцето



LHC

Свръх Микроскоп

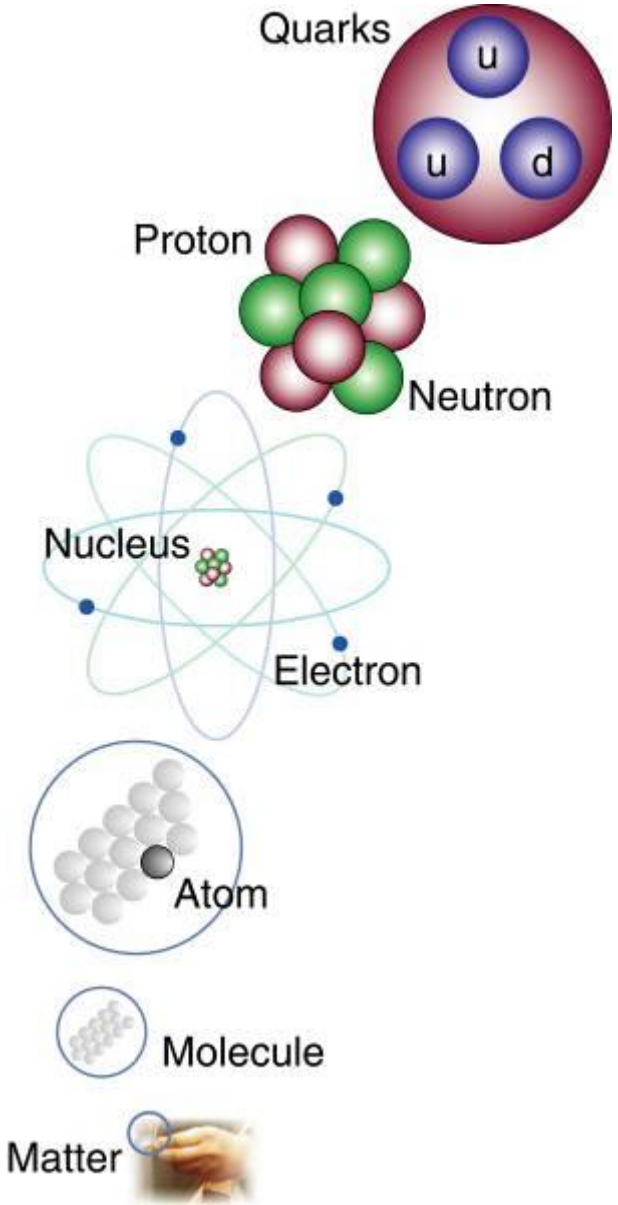


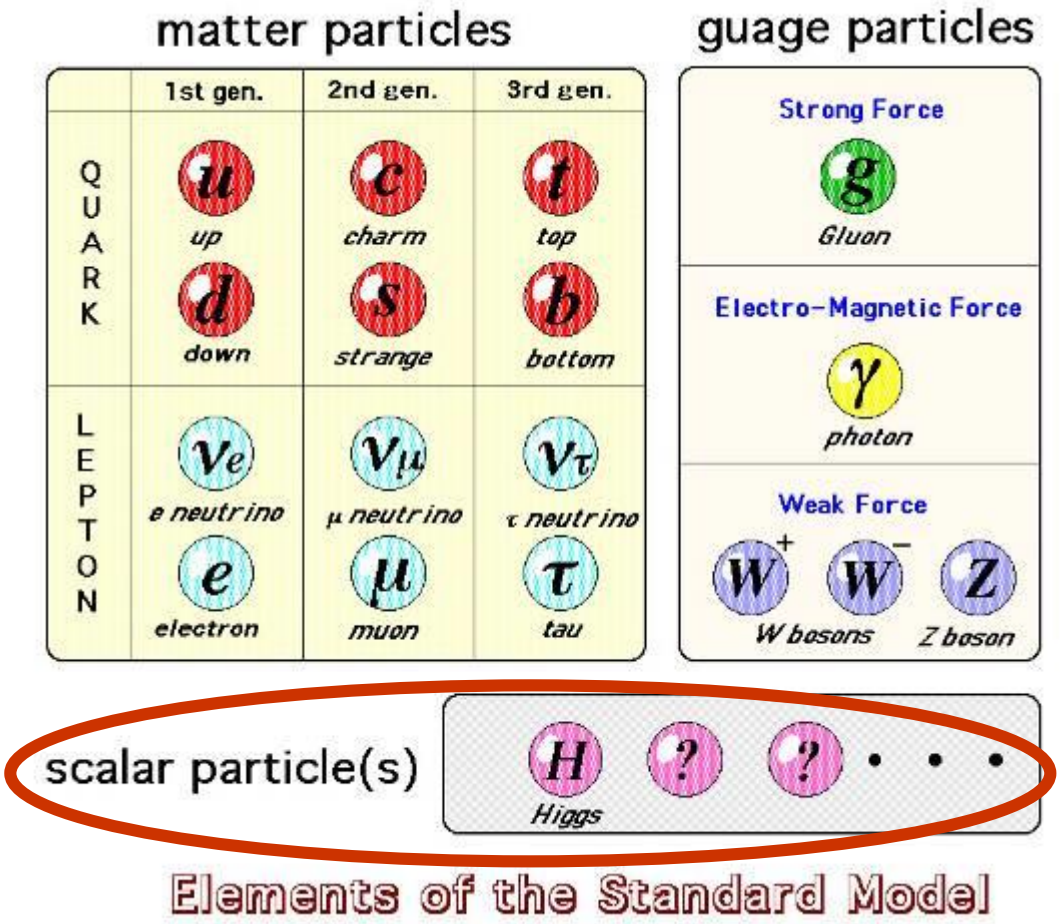


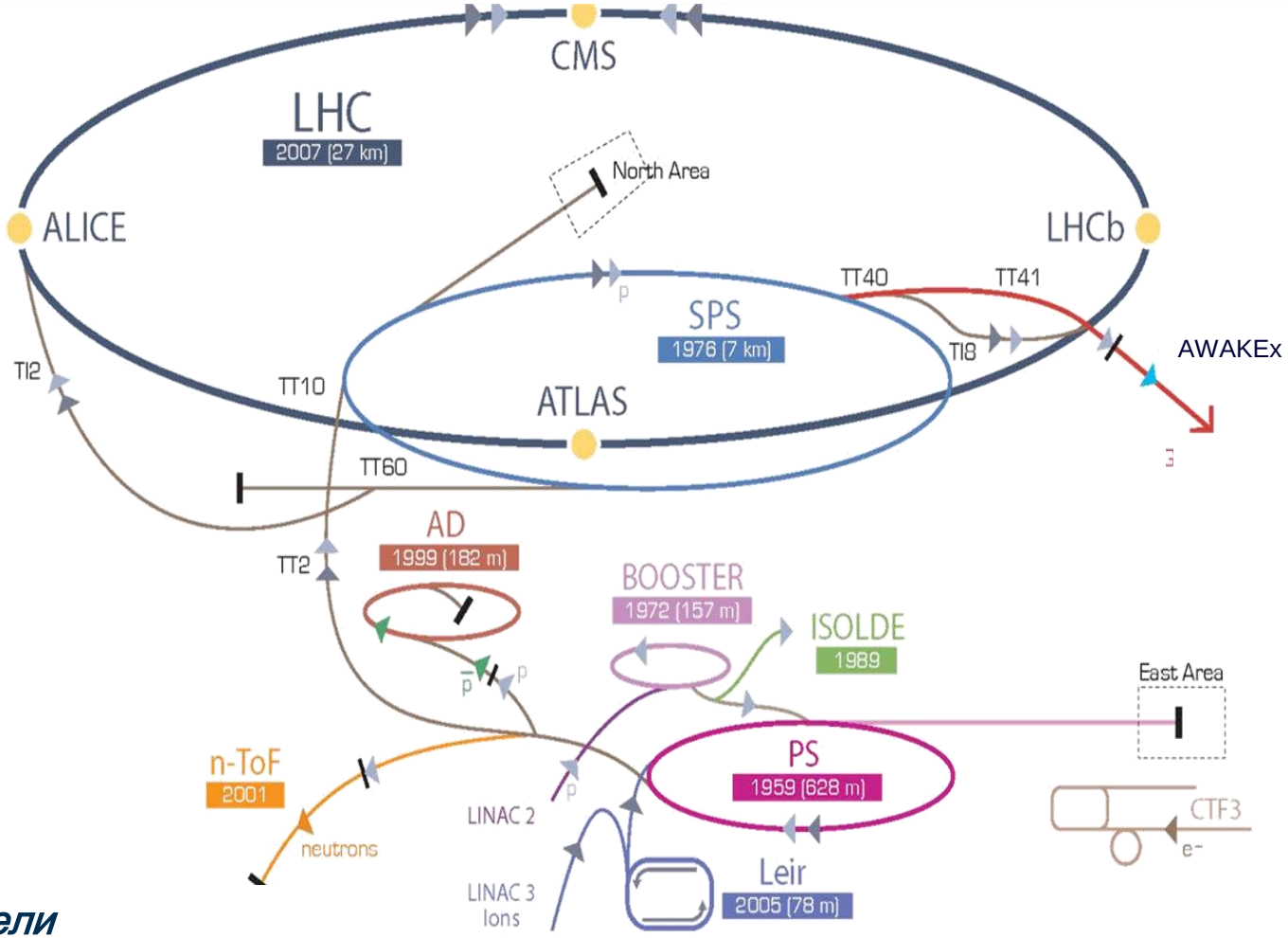
- Изучаване физичните закони от първия момент след Големият Взрив
- Симбиоза между Физика на елементарните частици,Астрофизика и Космология

49

Изучаване на елементарните частици и техните взаимодействия







Ускорители

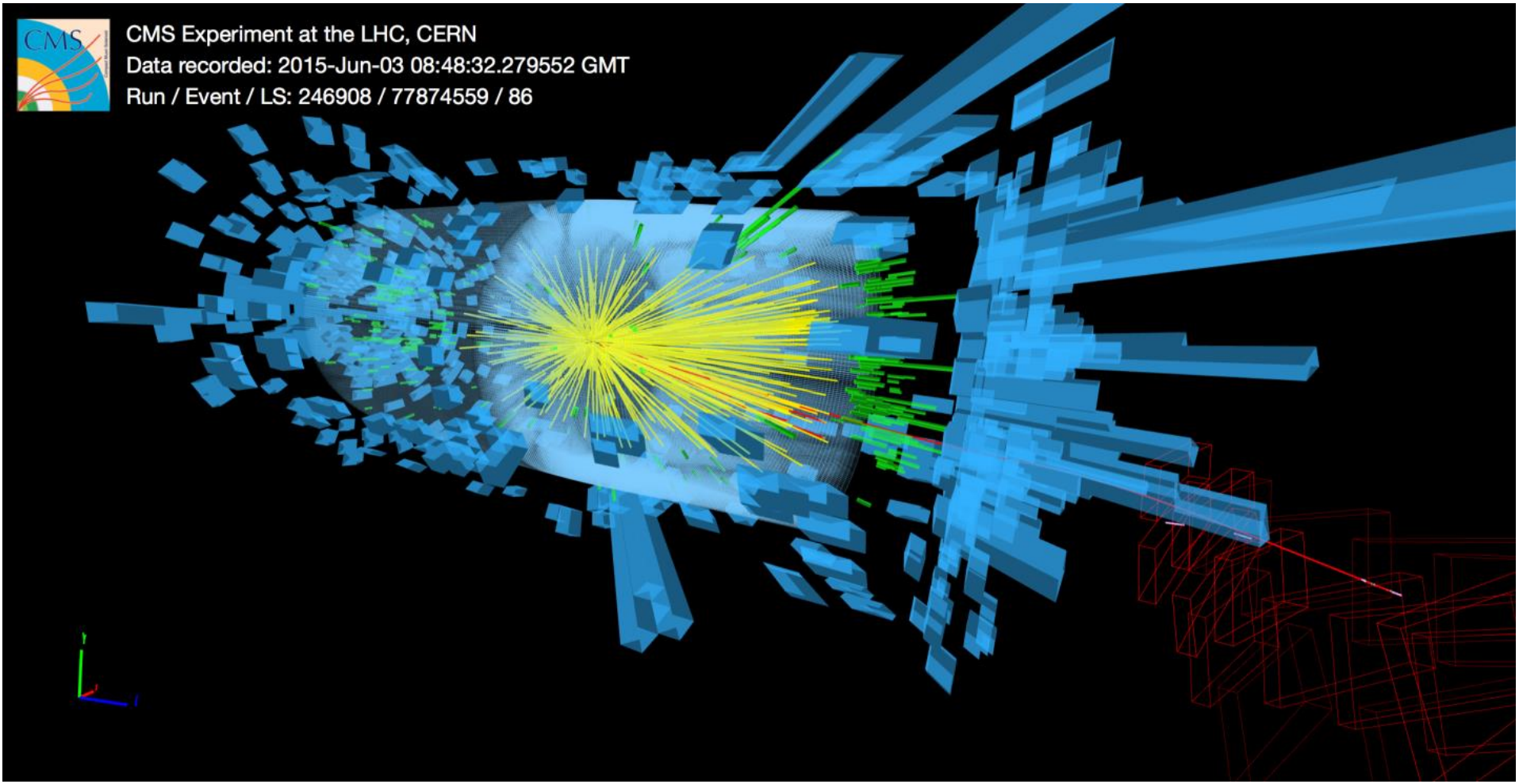
LHC – Голям Адронен Колайдер
SPS – Супер Протонен Синхротрон
PS – Протонен Синхротрон
AD – Антипротонен деселератор
CTF3 – Тестов Стенд за Експеримента CLIC
CNGS – Неутринен сноп от ЦЕРН за Гран Сасо
ISOLDE – Установка за изучаване на Ядрени Изотопи
LEIR – Пръстен за Йони с Ниски Енергии
LINAC 2 – Линеен Ускорител 2
N-TOF – Неутрона Установка

Снопове:

- **Протони**
- **Йони**
- **Неутрони**
- **Антипротони**
- **Електрони**

4. Детекторни комплекси на LHC: CMS, ATLAS, LHCb, ALICE

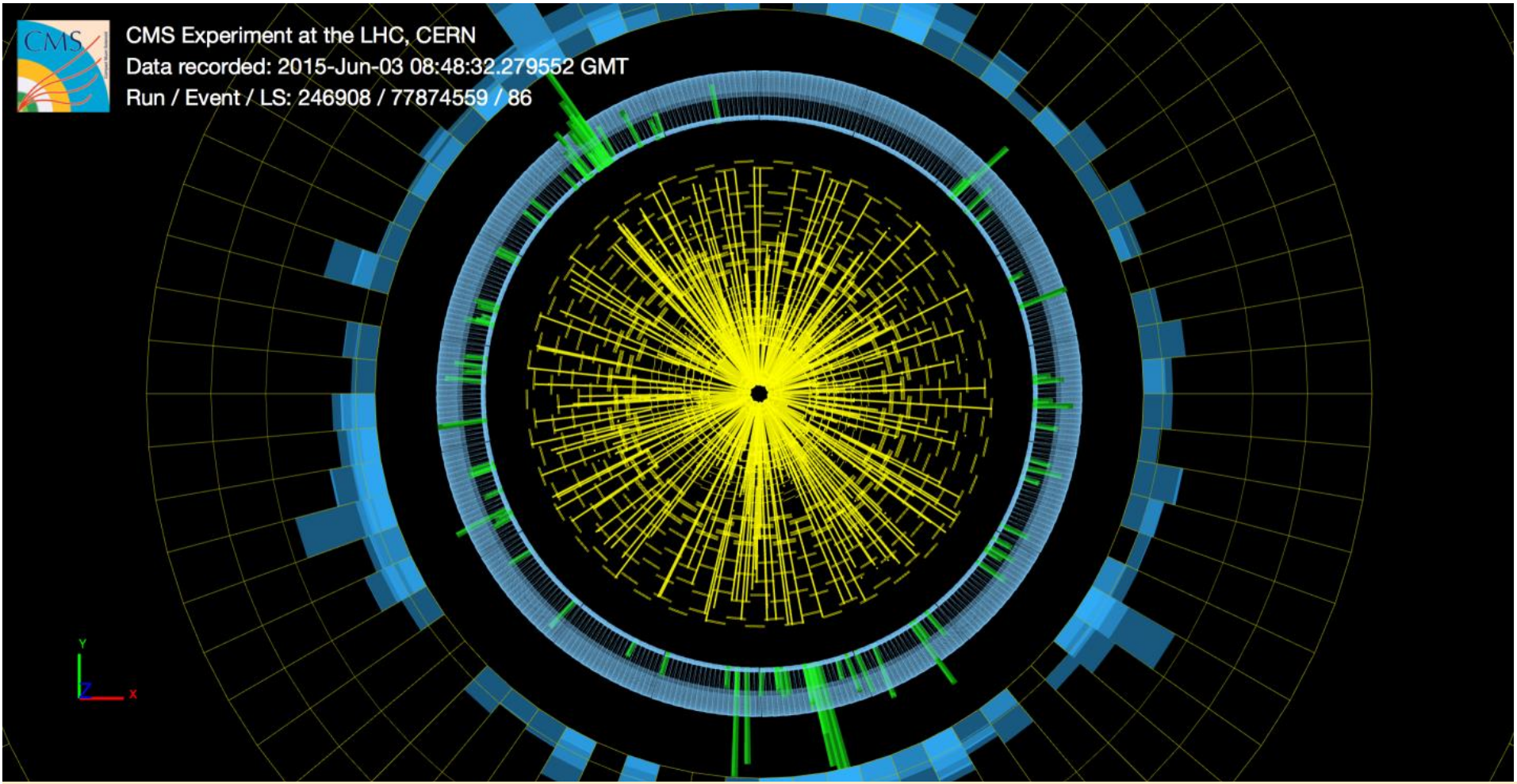
Регистрация на събития в CMS при 13 TeV – 2015 г.



Частиците, създадени при сблъскването на протоните в снопа, излизат от центъра на CMS детектора. Те първо се регистрират от Силиконовия тракер, чиито данни се използват за реконструкция на траекторията на частиците /жълти линии/. Електромагнитният калориметър регистрира енергията, натрупана от електрони и фотони, които могат да се видят като зелени следи. Дължината на следата е пропорционална на отдадената енергия. Енергията, регистрирана в Адронния калориметър /основен компонент на струи/, се представя със сини следи. Частиците, достигащи до най-външните участъци на детектора, се регистрират от Мюонните детектори и са показани в червено.

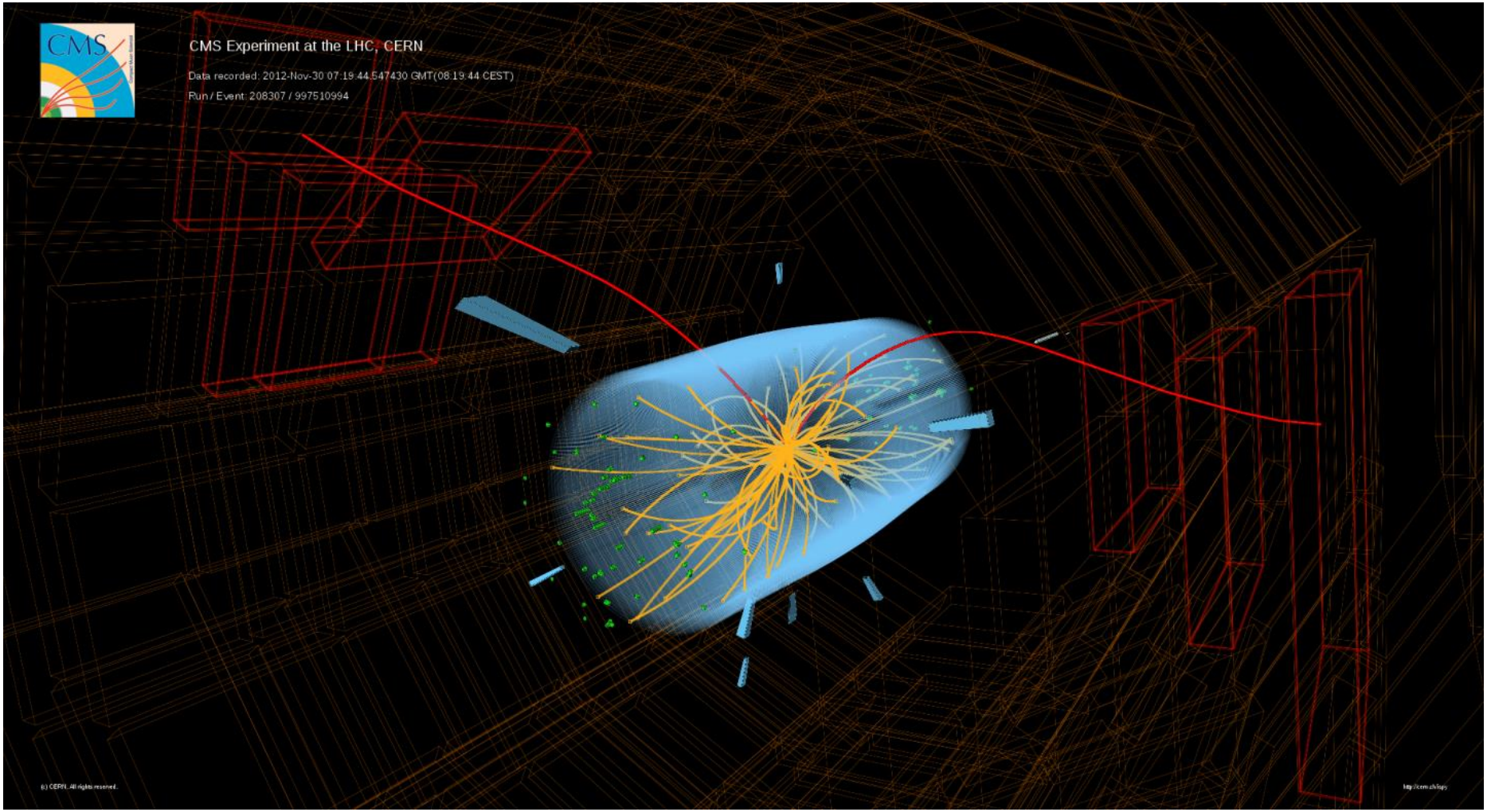
4. Детекторни комплекси на LHC: CMS, ATLAS, LHCb, ALICE

Регистрация на събития в CMS при 13 TeV

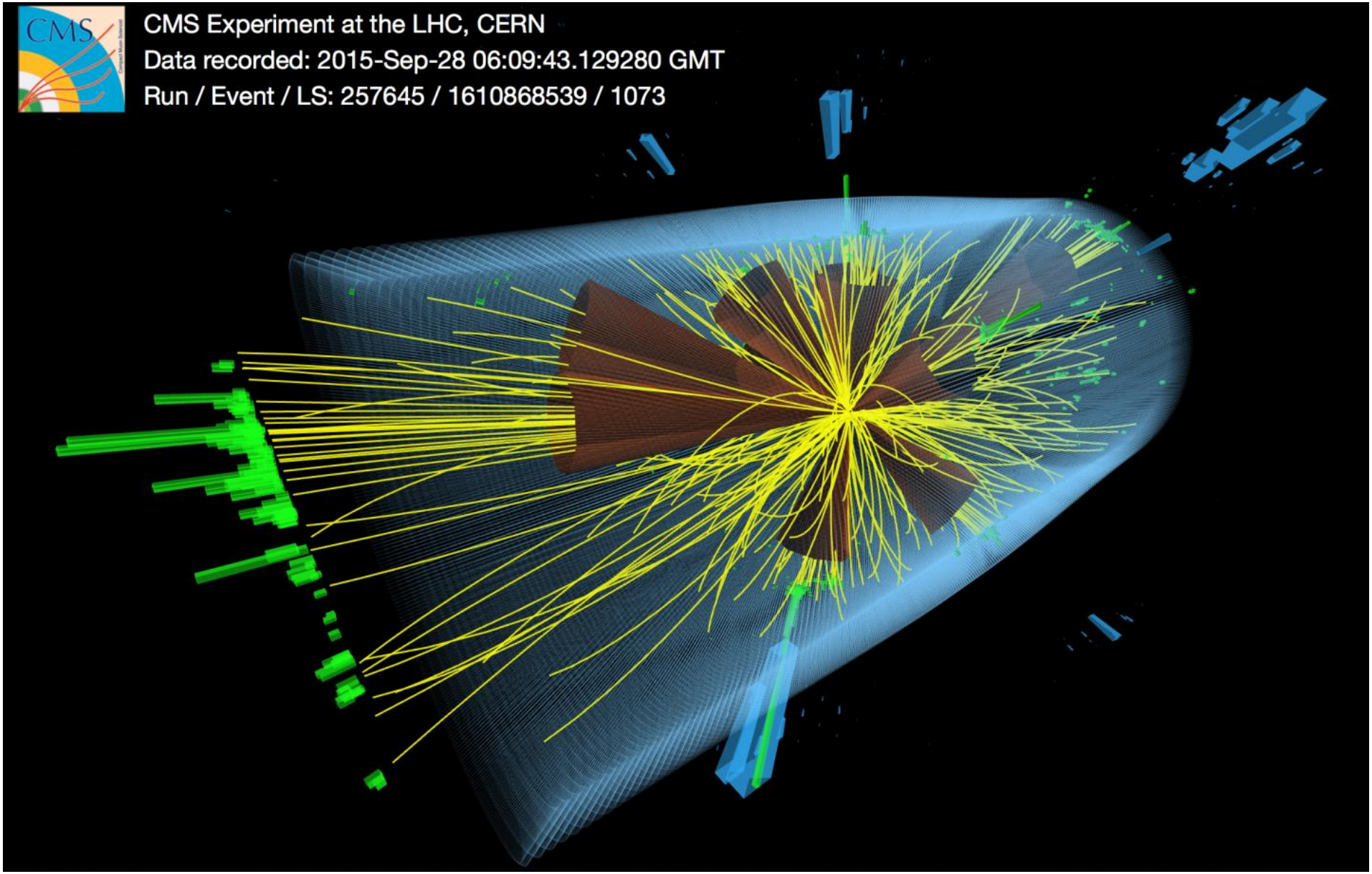


Particles created from the proton collision stream out from the center of the CMS detector. They are first detected by the Silicon Tracker, whose data can be used to reconstruct the particle trajectories as indicated by yellow lines. An Electromagnetic Calorimeter detects energy deposited by electrons and photons which can be seen as the green boxes. The length of the box represents the energy deposit. The energy detected by the Hadronic Calorimeter, the primary component of jets, is represented by the blue boxes. The particles reaching the outermost reaches of the detector are detected by the Muon Detectors, and are indicated in red.

Регистрация на събития в CMS при 8 TeV 2010 – 2012 г. Илюстрация на работата на мюонния детектор



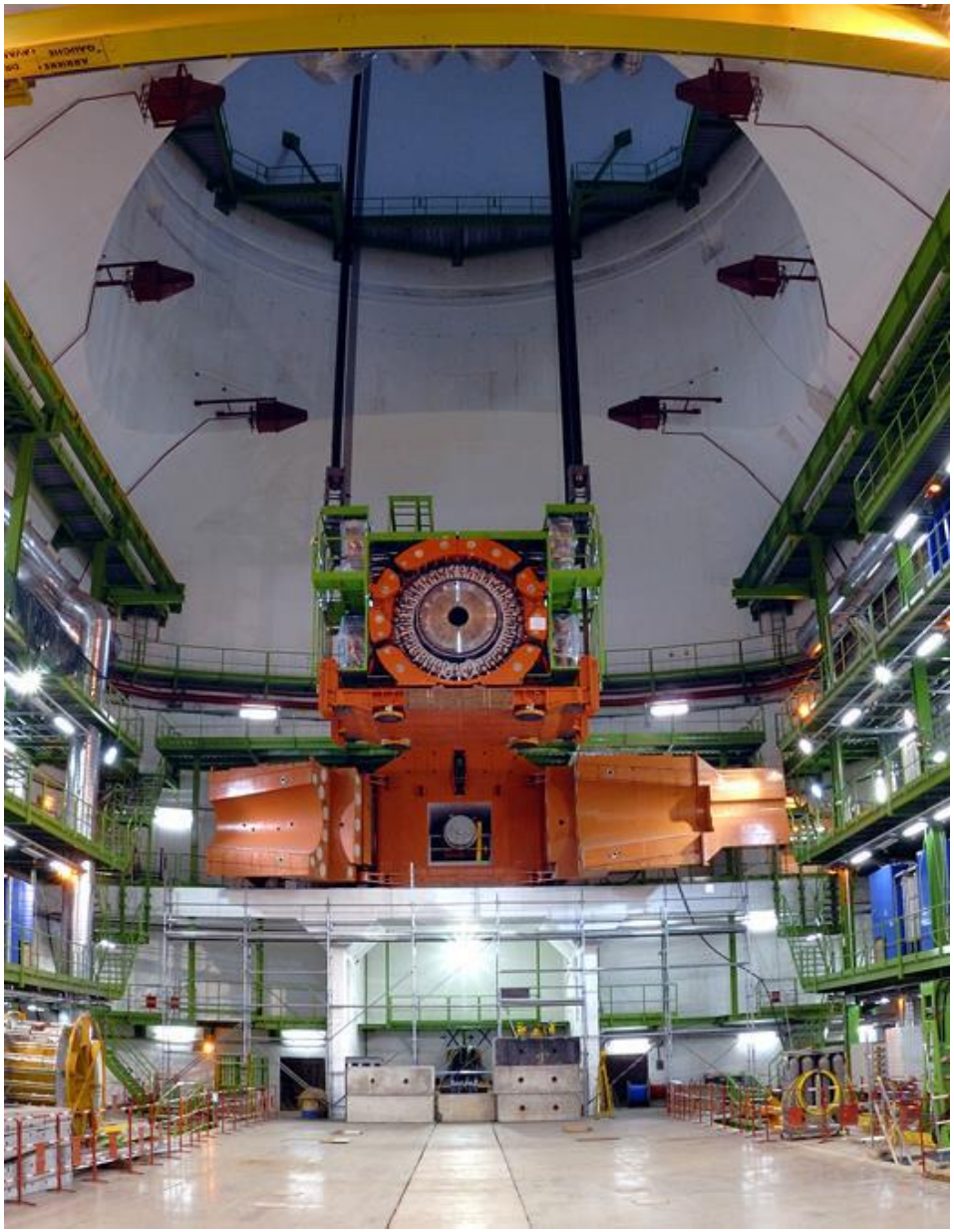
A candidate "B_s → μμ" event recorded in the CMS detector in 2012, produced in proton-proton collisions at 8 TeV

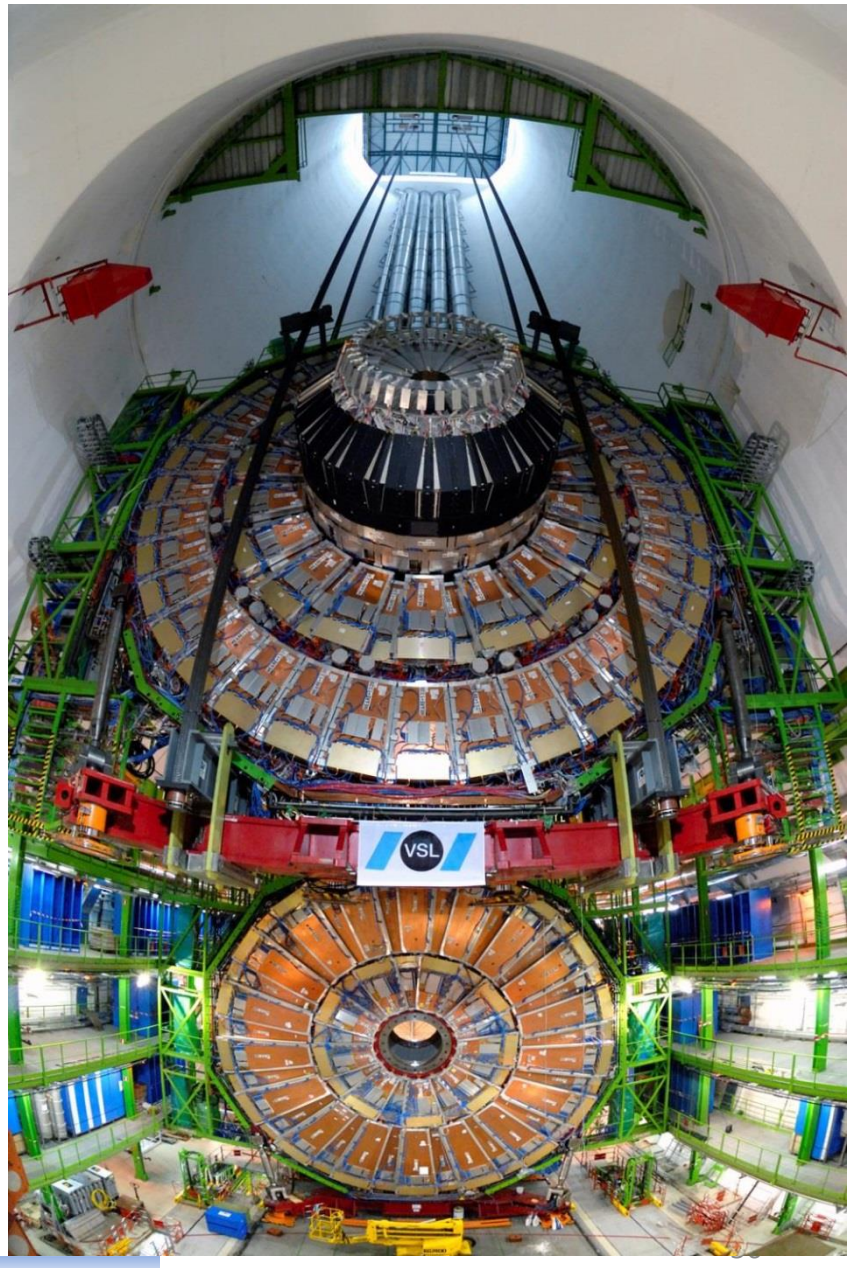


This image shows a multi-jet collision event observed by the CMS detector in the search for microscopic **black holes**, in collision data recorded in 2015. The event contains 12 jets with transverse momenta greater than 50 GeV each, and the mass of this system is 6.4 TeV.

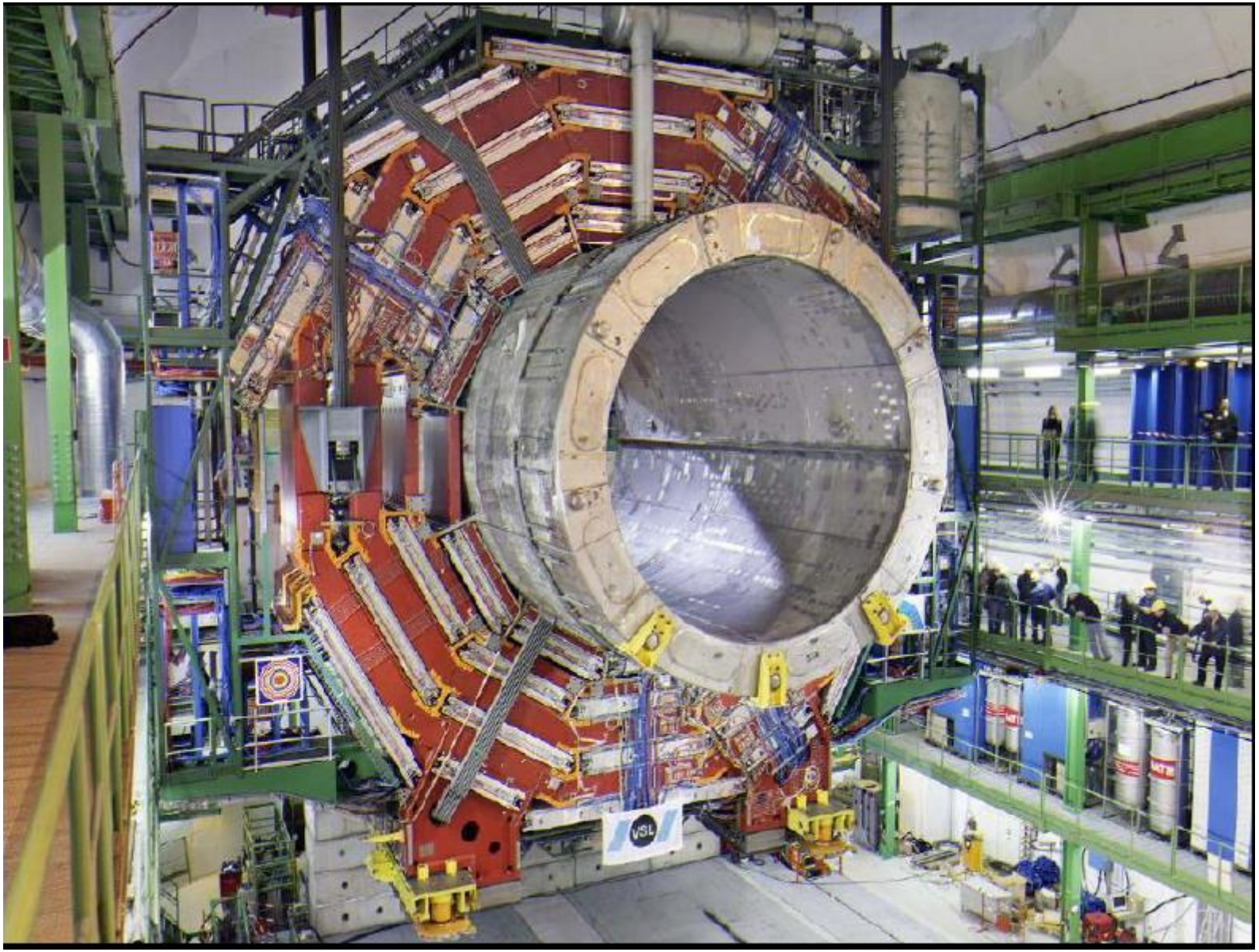
4. Детекторни комплекси на LHC: CMS, ATLAS, LHCb, ALICE

Инсталиране на детектора CMS

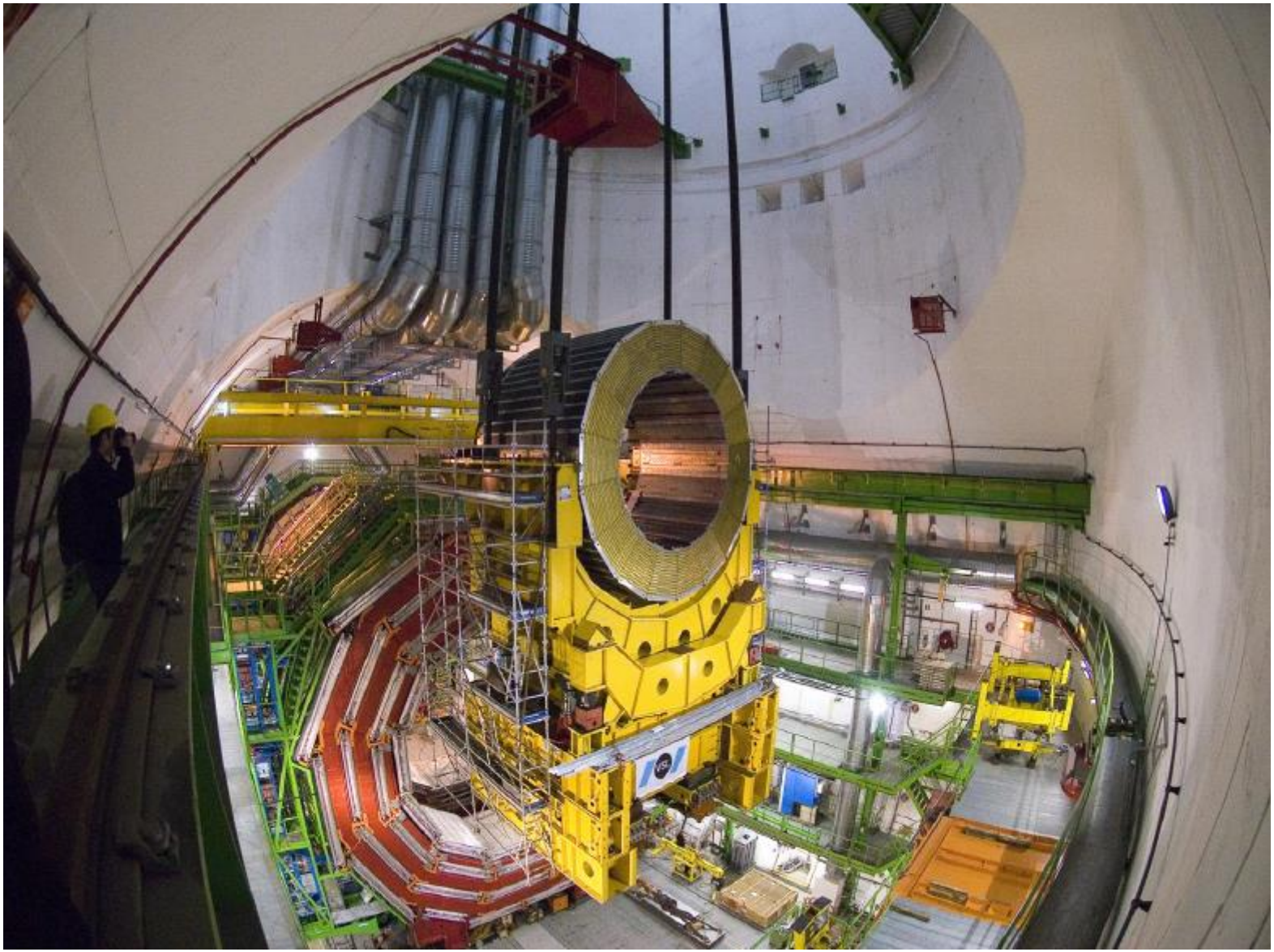




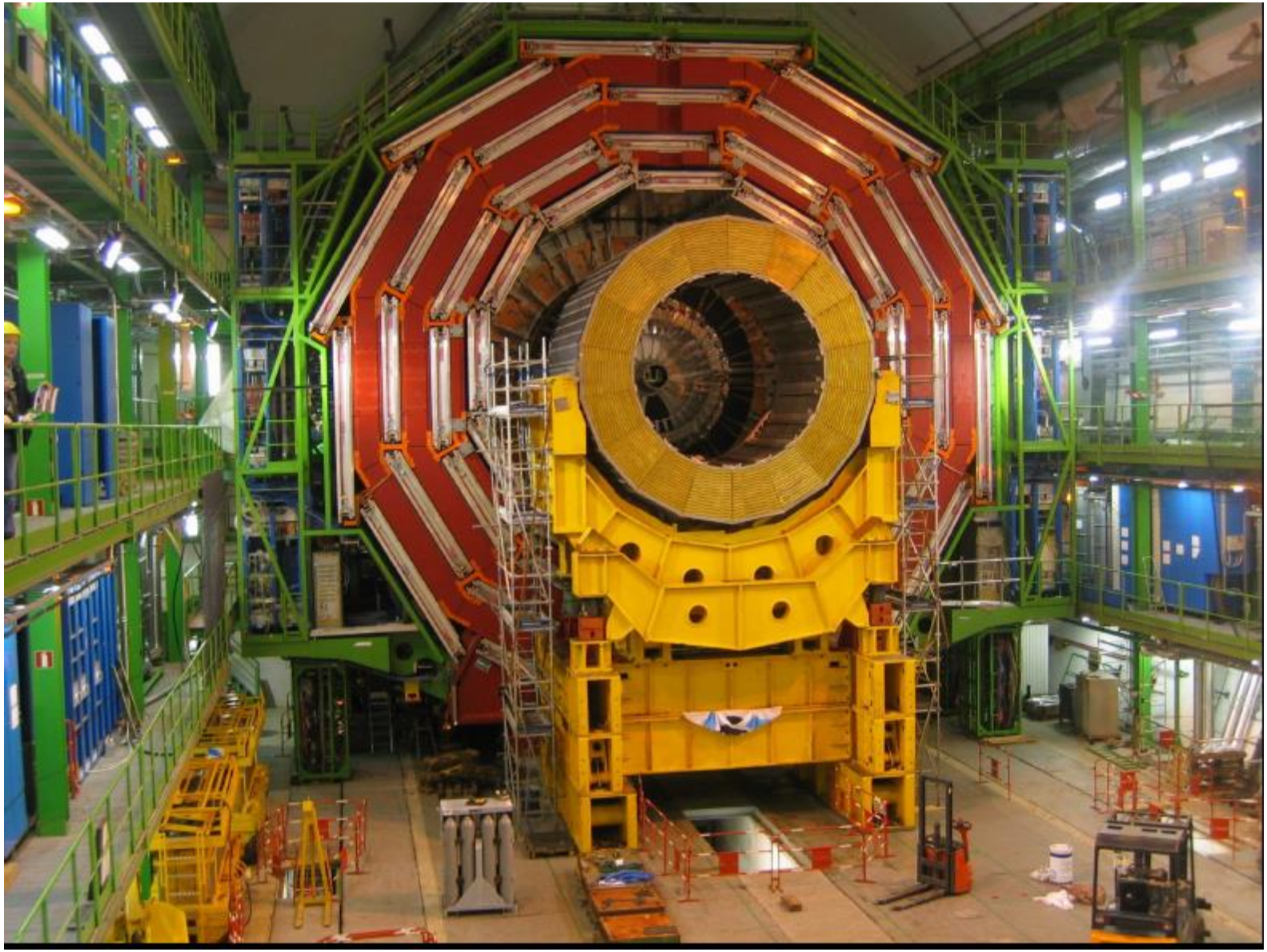
Инсталиране на детектора CMS



Инсталиране на детектора CMS

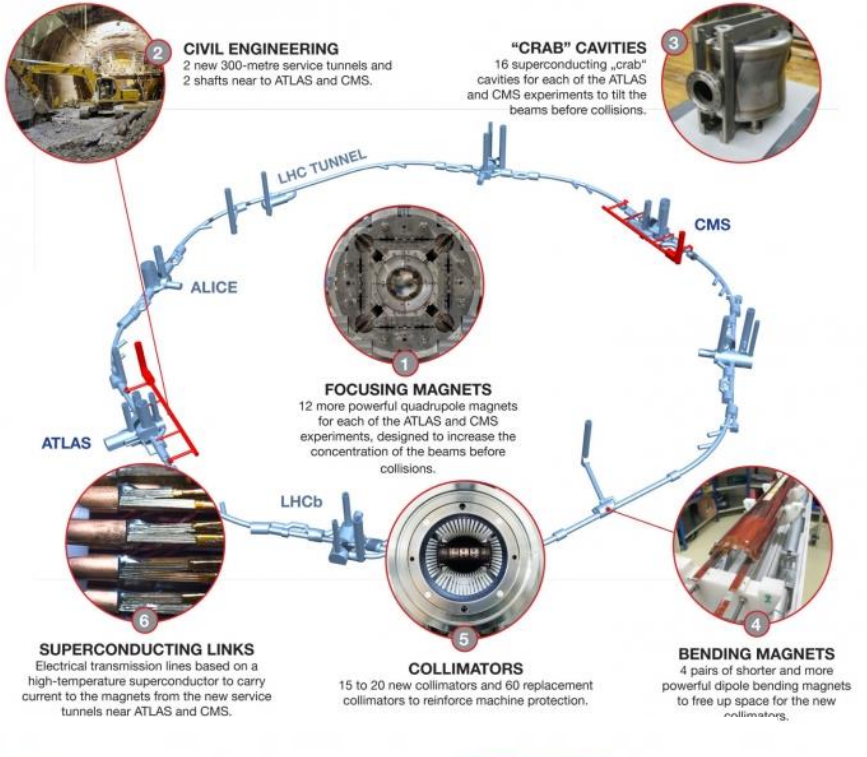


Инсталиране на детектора CMS

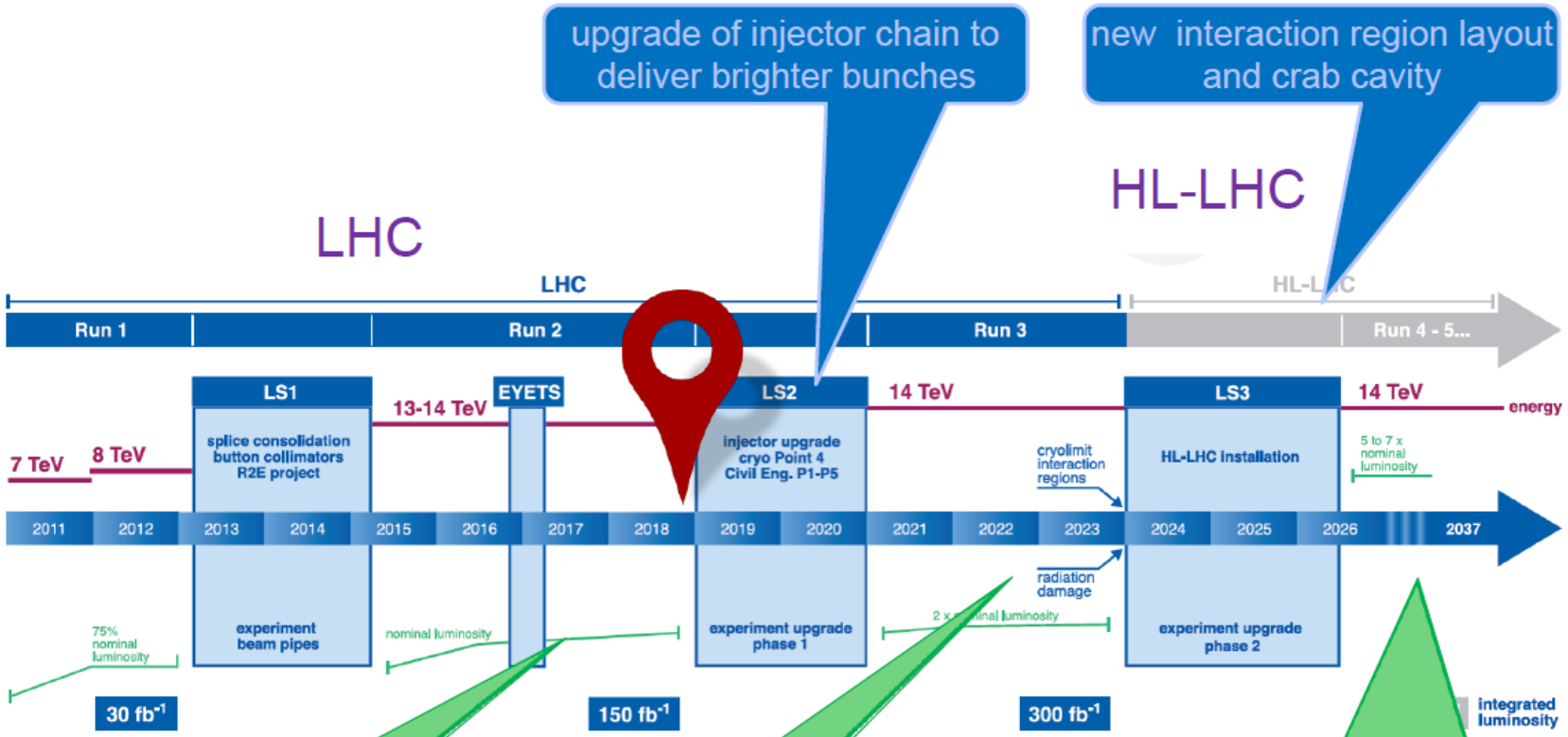


4. Перспективи на развитие на ЦЕРН – LHC

За да се повиши чувствителността на оценка на различните хипотези за разширение на Стандартния модел е необходимо да се модернизира LHC за работа при висока светимост – $5x10^{34}\,cm^{-2}\,c^{-1}$ – HL-LHC



4. Перспективи на развитие на ЦЕРН – LHC



Run 2:
Design $\mathcal{L} = 10^{34}/\mathrm{cm}^2/s$

Run 3:
$\mathcal{L} = 2\times10^{34}/\mathrm{cm}^2/s$
for 300/fb

HL-LHC: Peak $\mathcal{L} = 2 \times 10^{35}/\mathrm{cm}^2/s$
level luminosity to
Nominal scenario: $\mathcal{L} = 5 \times 10^{34}/\mathrm{cm}^2/s$
for 3000/fb; Pile-up $<\mu>$ = 140
Ultimate Scenario: $\mathcal{L} = 7.5 \times 10^{34}/\mathrm{cm}^2/s$
for 4000/fb; Pile-up $<\mu>$ = 200
⇒25% increase in integrated lum.

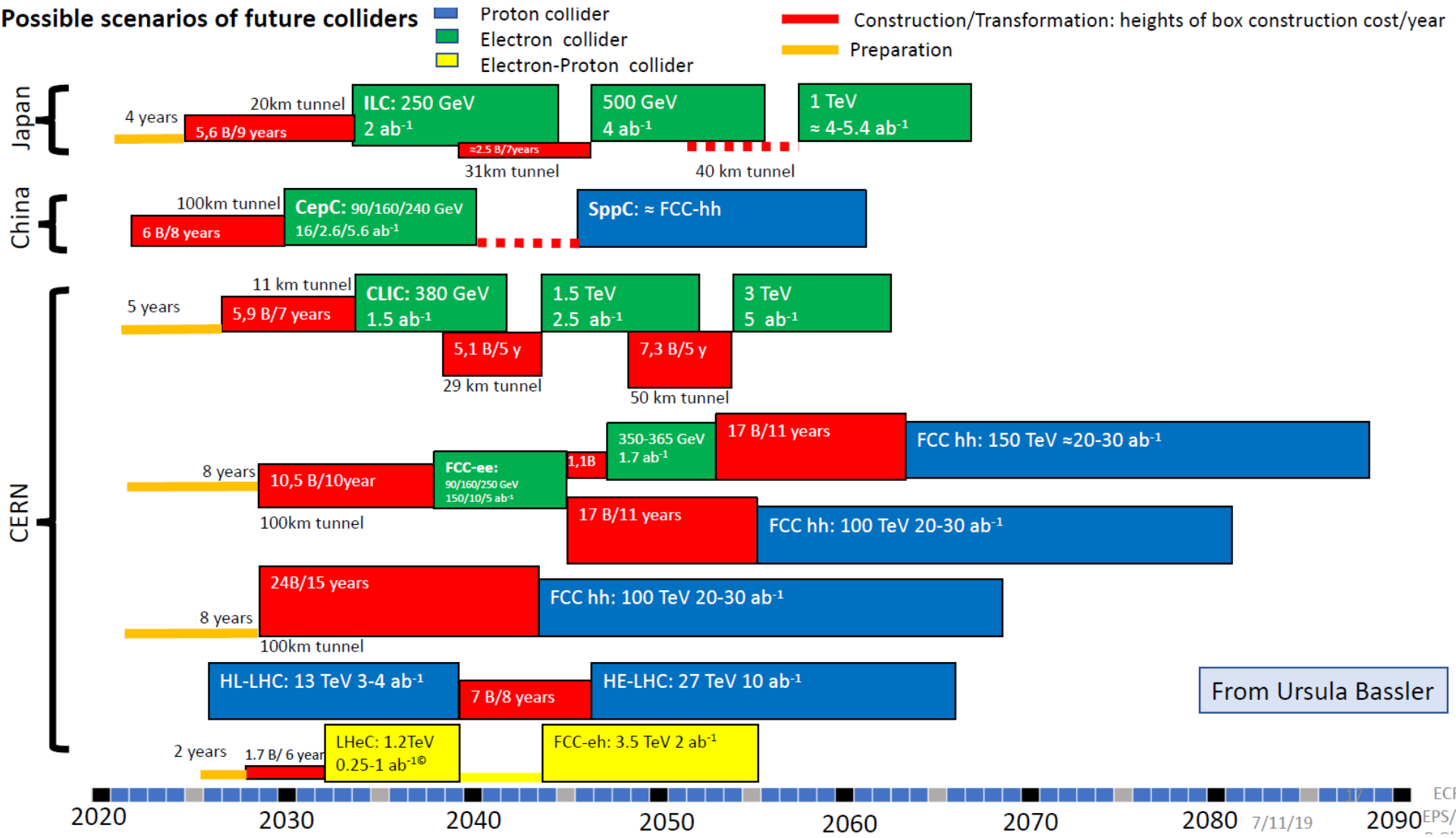
HL-LHC PLAN

PATRIZIA AZZI - INFN PADOVA

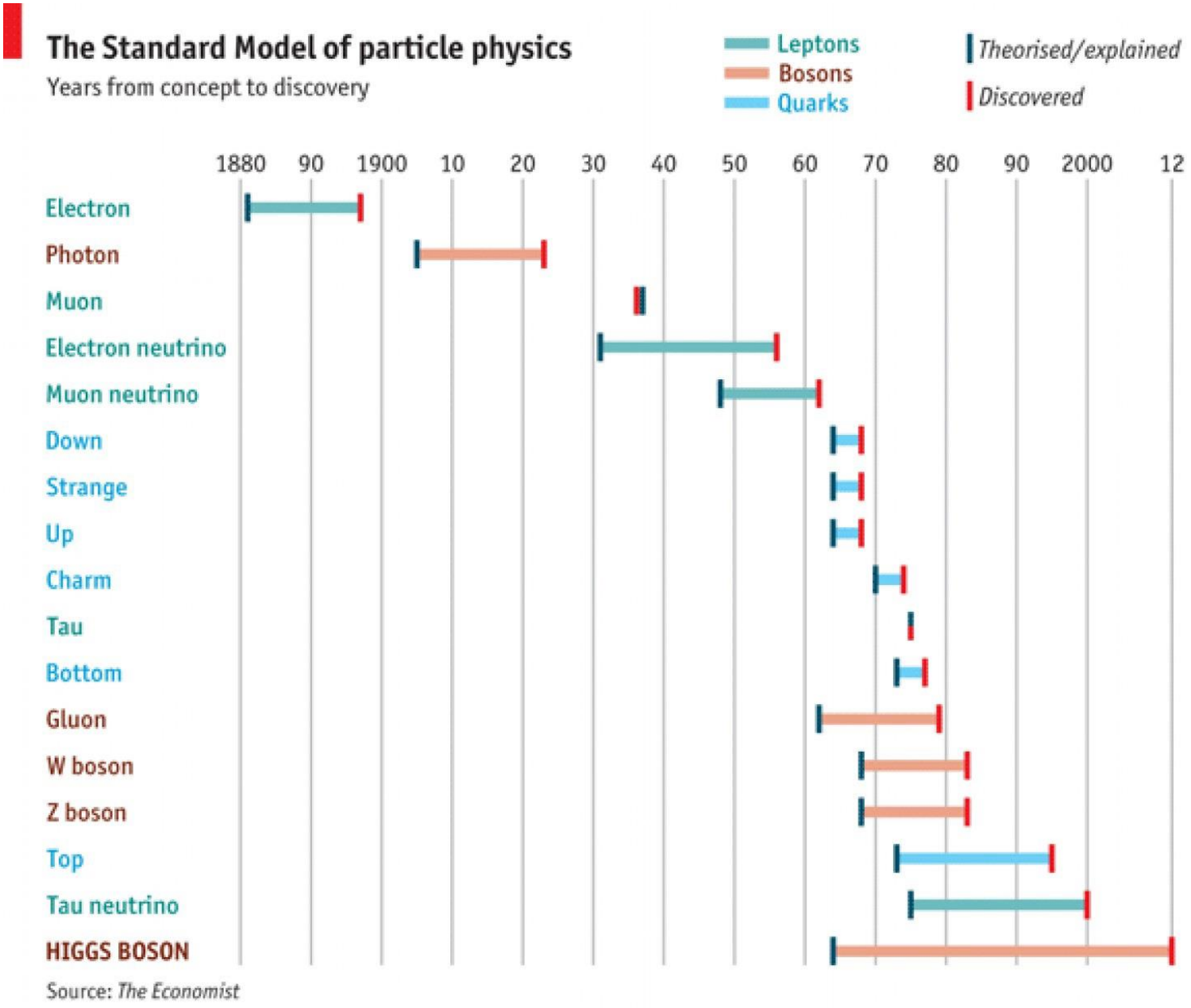
INFN

4. Перспективи на развитие на ЦЕРН – LHC

Развитие на проектите за следващите ускорителни комплекси

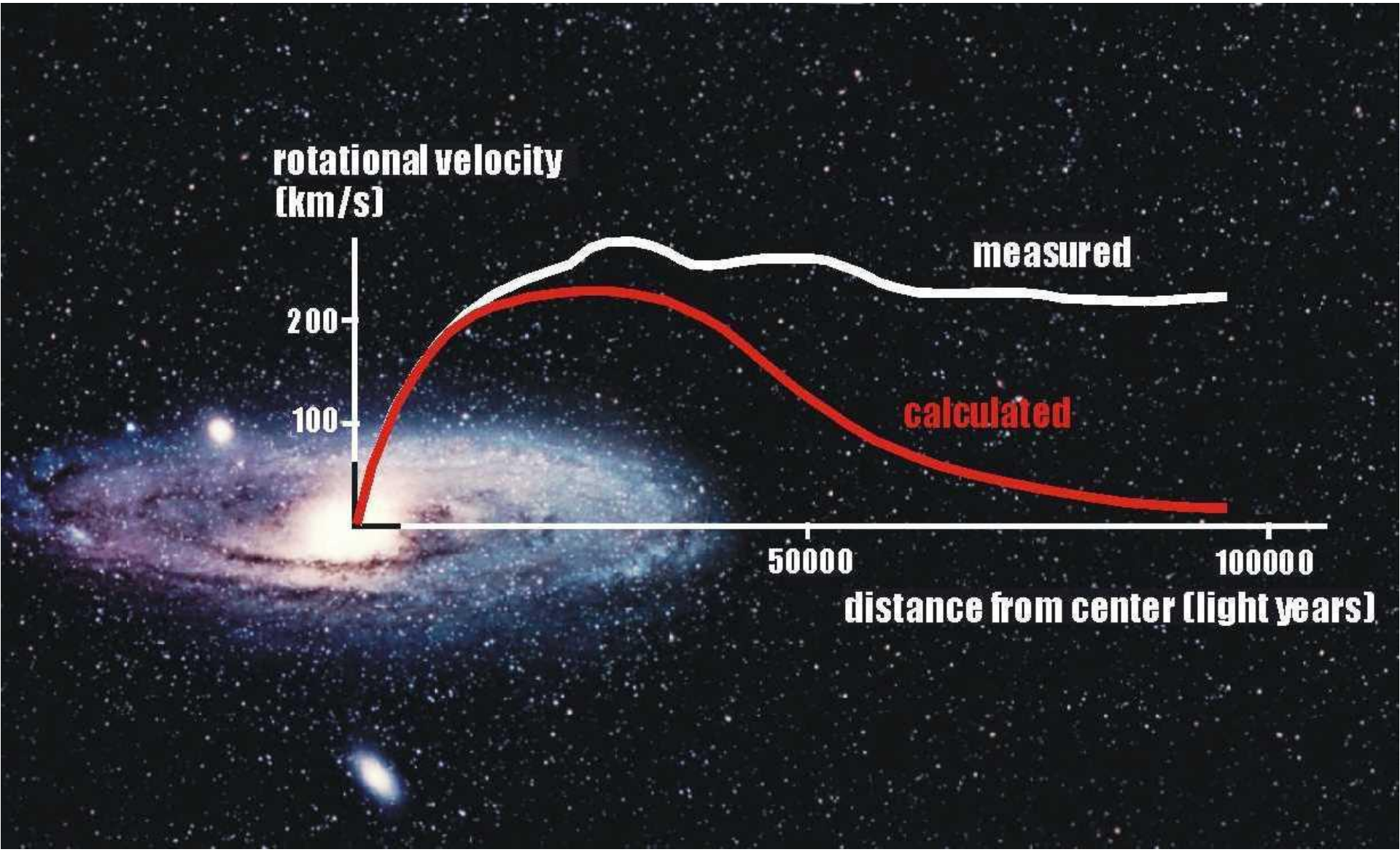


From Ursula Bassler

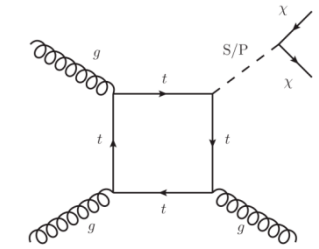

The Standard Model of particle physics
Years from concept to discovery
Leptons
Bosons
Quarks
Theorised/explained
Discovered
1880
90
1900
10
20
30
40
50
60
70
80
90
2000
12
Electron
Photon
Muon
Electron neutrino
Muon neutrino
Down
Strange
Up
Charm
Tau
Bottom
Gluon
W boson
Z boson
Top
Tau neutrino
HIGGS BOSON
Source: The Economist

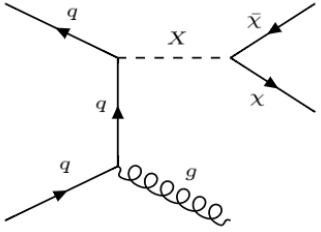
Благодаря за вниманието!

Backup slides

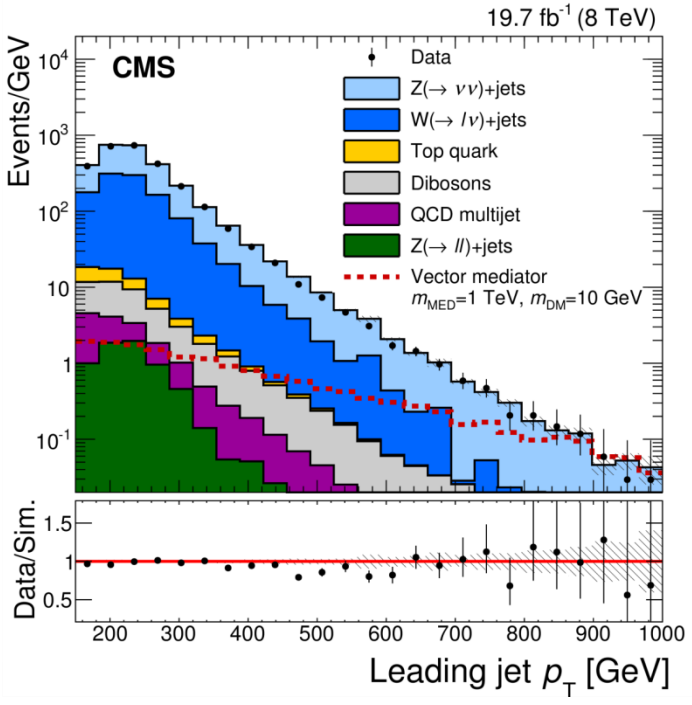

rotational velocity
(km/s)
200
100
measured
calculated
50000
100000
distance from center (light years)

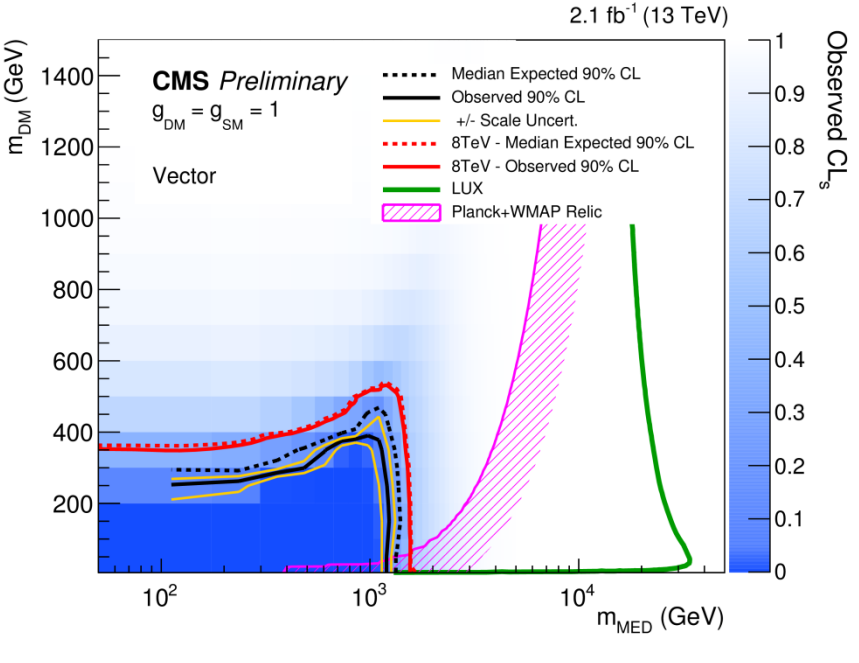
Изследване на раждане на частици „тъмна материя“съпроводено с поне една високоенергетична „струя“в CMS



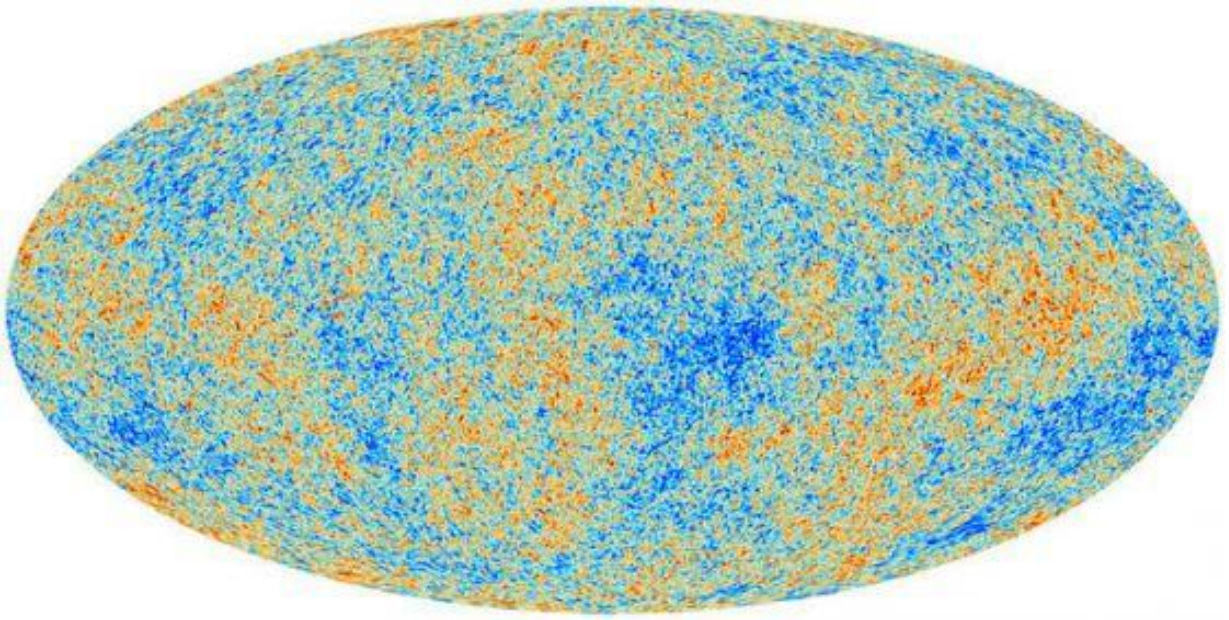


Production diagrams for the monojet for a spin-0 mediator (scalar or pseudoscalar) (a) and a spin-1 mediator (vector or axial) (b)

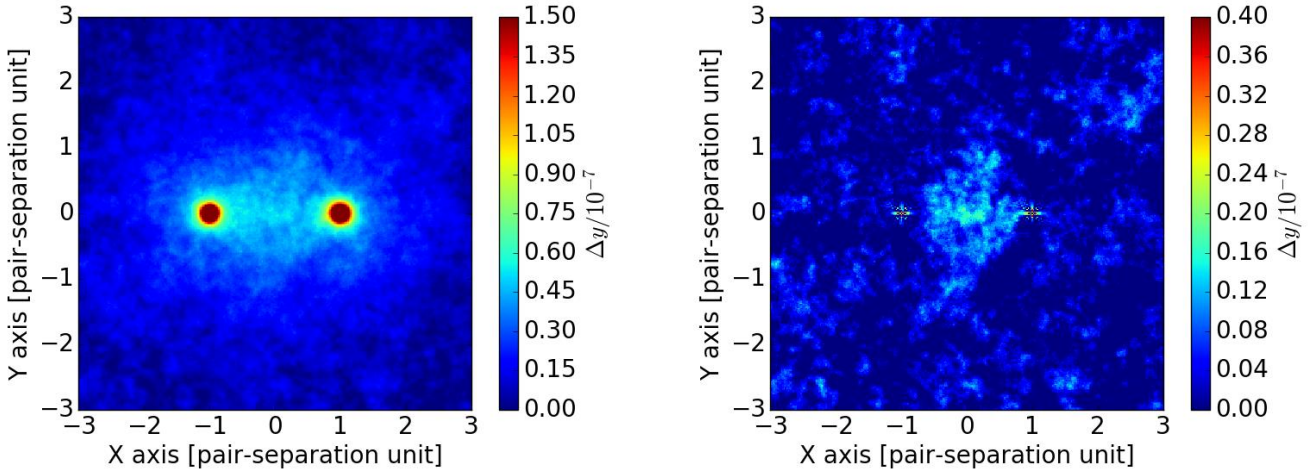




Спътникът Планк, стартирал през 2009 г., осигури най-детайлното изображение на микровълновия фон на Вселената, такава, каквато е била само на 380 хиляди години след Големия взрив

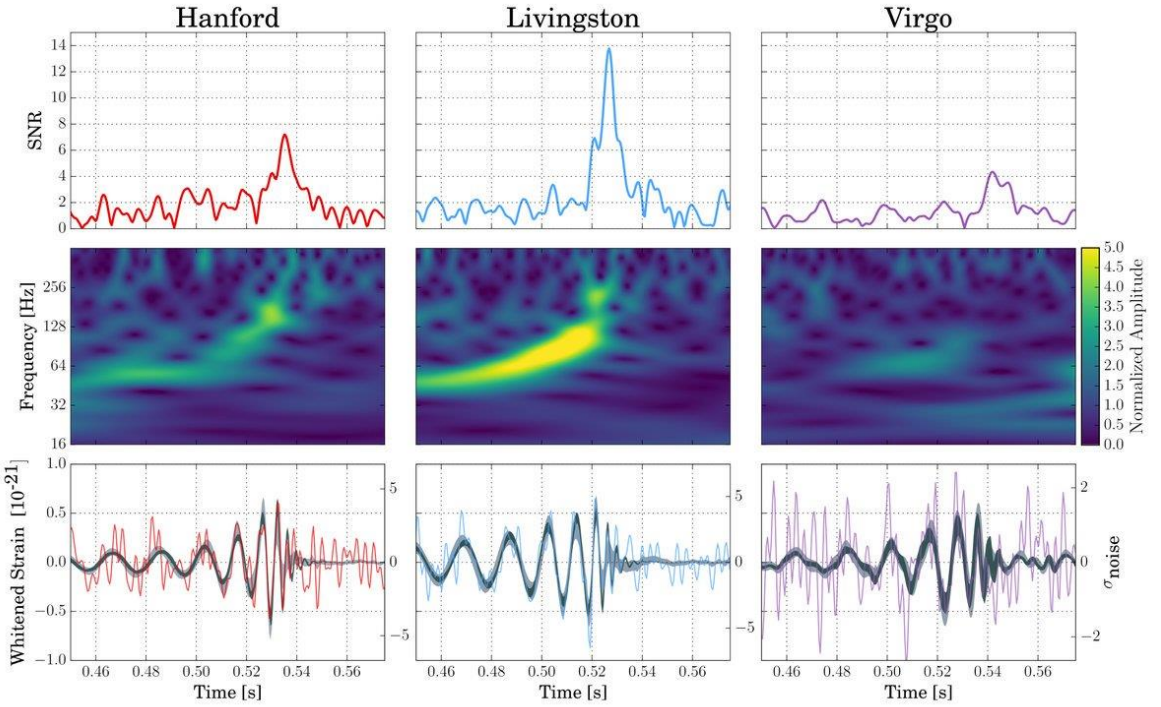


Липсващата материя е от частици, наречени бариони, а не тъмна материя. Тя свързва галактиките заедно чрез нишки от горещ дифузен газ

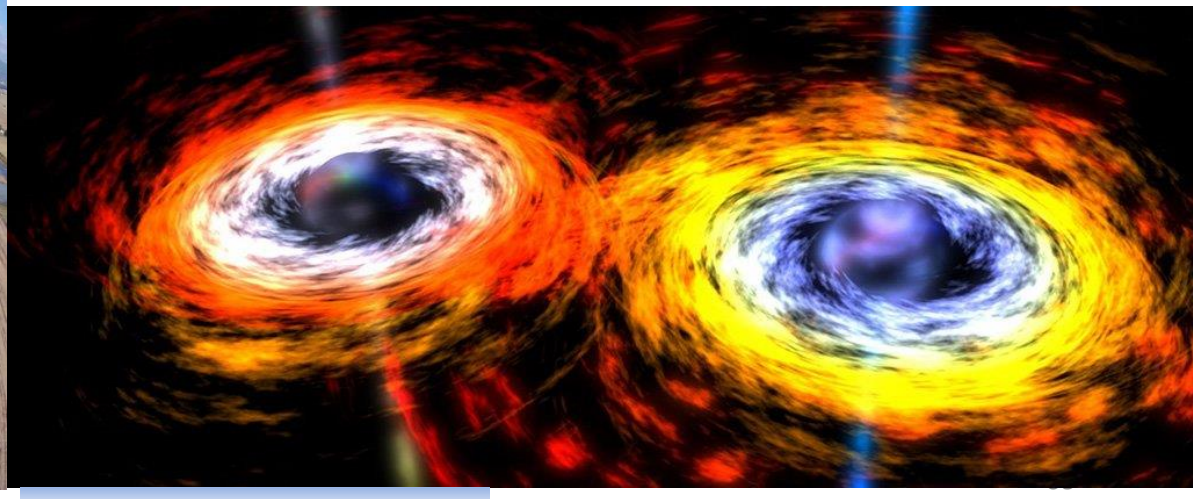


The stacked y map of the central galaxy pairs from the BAHAMAS simulations, at 10 arcsecond angular resolution. Top right: The same y map after the best-fit circular halos are subtracted

LIGO Livingston



Virgo detector (aerial photo)



Съдържание на програмата за учители в ЦЕРН:

Лекции:
Въведение във физиката на елементарните частици
Детектори и ядрена електроника
Въведение в ускорителите ,
Въведение в комплекса ускорители на ЦЕРН и тяхното управление
Медицинска физика
Антиматерия
Атомни ядра: основни градивни клетки на материята
Тежки йони: Въведение в ALICE
Физика на неутриното
Откритието на Хигс бозона

Посещения на лаборатории и експерименти:
CMS – Compact Muon Solenoid
ATLAS - A Toroidal LHC Apparatus
ALICE - A Large Ion Collider Experiment
LEIR - Low Energy Ion Ring
ISOLDE - Isotope Separator on Line
AMS - Alpha Magnetic Spectrometer
CCC - *CERN* Control Centre
SM-18 Superconducting Magnets test facility
Idea Square
Cloud Chamber Workshop
Microcosm + GLOBE

Открий Женева
Българската учителска програма – уроци, постижения и перспективи
Въпросници и оценка на програмата