

Въведение във физиката на елементарните частици П. Яйджиев, ИЯИЯЕ - БАН

A small fraction of the CMS
Collaboration: June 2012



П. Яйджиев – ИЯИЯЕ – БАН, Програма Български Учители - ЦЕРН Окт.2017

1. Стандартен Модел във Физиката на Елементарните Частички

1.1 Симетрията като обединяващ принцип

1.2 Сили на взаимодействие и симетрии

1.3 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?

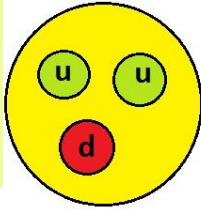
От какво е съставена “тъмната материя” и “тъмната енергия” във Вселената?

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

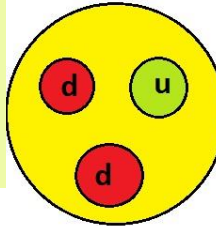
3. Експериментална проверка на Стандартния Модел и нови елементарни частици в експеримента CMS на LHC

Стандартен Модел във Физиката на Елементарните Частички - (СМ)

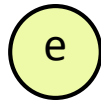
Протон
Маса 1.7×10^{-27} кг.
Заряд +1



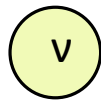
Неутрон
Маса 1.7×10^{-27} кг.
Заряд 0



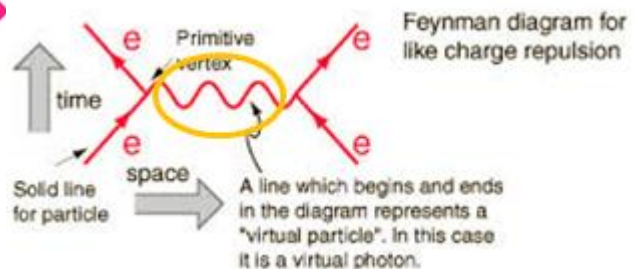
Електрон
Маса 0.0005 от
масата на протона,
Заряд -1



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



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



	2.4 MeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ u up	1.27 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ c charm	171.2 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ t top	0 0 1 γ photon
Quarks	4.8 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d down	104 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s strange	4.2 GeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b bottom	0 0 1 g gluon
	<2.2 eV 0 $\frac{1}{2}$ ν_e electron neutrino	<0.17 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ muon neutrino	<15.5 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ tau neutrino	91.2 GeV 0 1 Z weak force
	0.511 MeV -1 $\frac{1}{2}$ e electron	105.7 MeV -1 $\frac{1}{2}$ μ muon	1.777 GeV -1 $\frac{1}{2}$ τ tau	80.4 GeV ± 1 1 W weak force
Leptons				125.3 GeV 0 0 H Higgs boson

Bosons (Forces)

**Елементарните Частички
в нашето всекидневие**

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

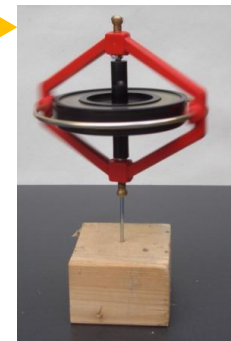
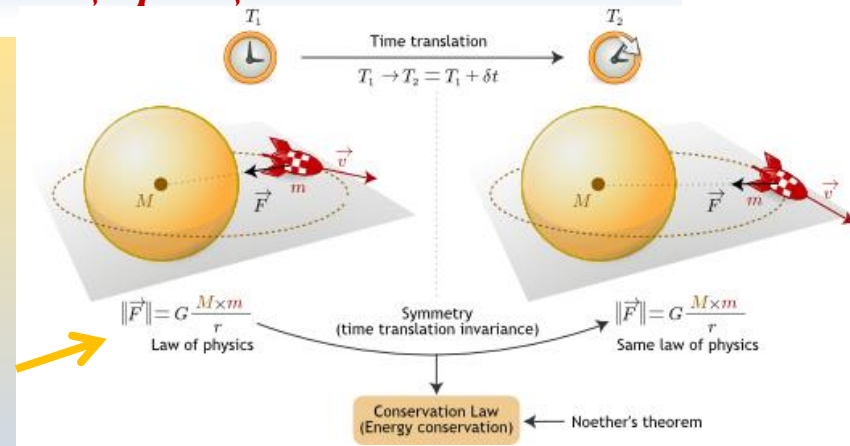
Симетрията е водещ принцип във физиката на елементарните частици - през 1918 г. беше показана връзката на всяка симетрия със закон за запазване (E.Noether).

Глобални симетрии:

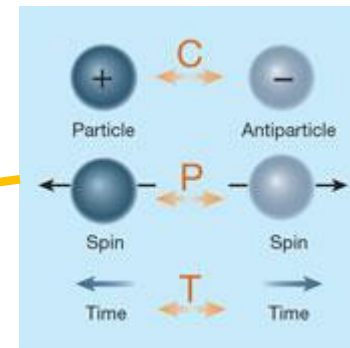
- Транслация във времето - Запазване на енергията
- Транслация в пространството - Запазване на момент на количеството на движение
- Ротация в пространството - Запазване на ъгловия момент

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



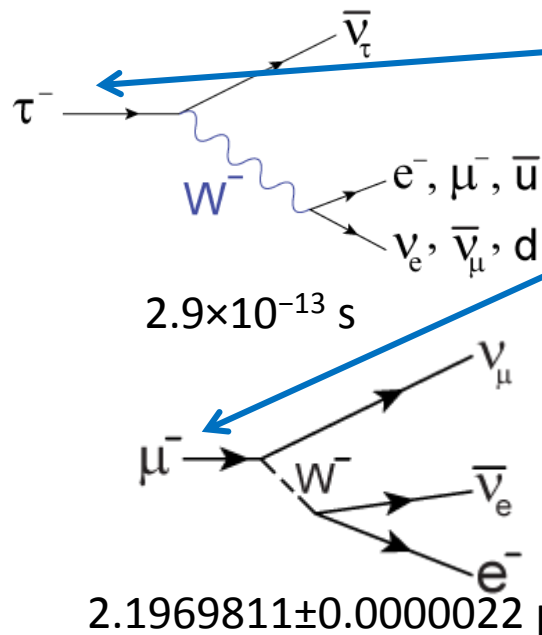
1. Стандартен Модел във Физиката на Елементарните Частичи - 1.1 Симетрията като обединяващ принцип

Симетрии

- Глобални - трансляции и ротации
- В пространството и времето
- Дискретни - C, P, T
- Вътрешни - симетрия на Стандартния Модел
 $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$

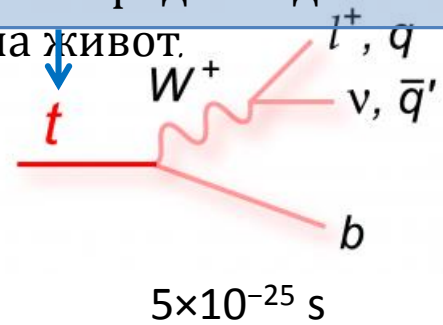
Симетрия	Взаимодействие /сила/	Ел. частица	Маса
U(1)	Електромагнитно	Фотон γ	0
SU(3)	Силно	Глуон g	0
SU(2)	Слабо	W, Z бозони	80, 91 GeV

2.4 MeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ u up	1.27 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ c charm	171.2 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ t top	0 0 1 γ photon
4.8 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d down	104 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s strange	4.2 GeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b bottom	0 0 1 g gluon
<2.2 eV 0 $\frac{1}{2}$ ν_e electron neutrino	<0.17 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ muon neutrino	<15.5 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ tau neutrino	91.2 GeV 0 1 Z weak force
0.511 MeV -1 $\frac{1}{2}$ e electron	105.7 MeV -1 $\frac{1}{2}$ μ muon	1.777 GeV -1 $\frac{1}{2}$ τ tau	80.4 GeV ± 1 1 W weak force
			125.3 GeV 0 0 H ⁰ Higgs boson



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.

1 протон = 1 GeV
 $E=mc^2$



1. Стандартен Модел във Физиката на Елементарните Частичици

1.2 Сили на взаимодействие и симетрии

Сила на взаимодействието - Force Strengths:

Числена оценка чрез константите на взаимодействие "coupling constants" a

Пример:

Електромагнитно взаимодействие:

Дефиниция на константата на взаимодействие:

Сила на електромагнитното взаимодействие:

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

$$a = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 \hbar c} = \frac{g^2}{4\pi}$$

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

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: $a_g \sim 10^{-40}$

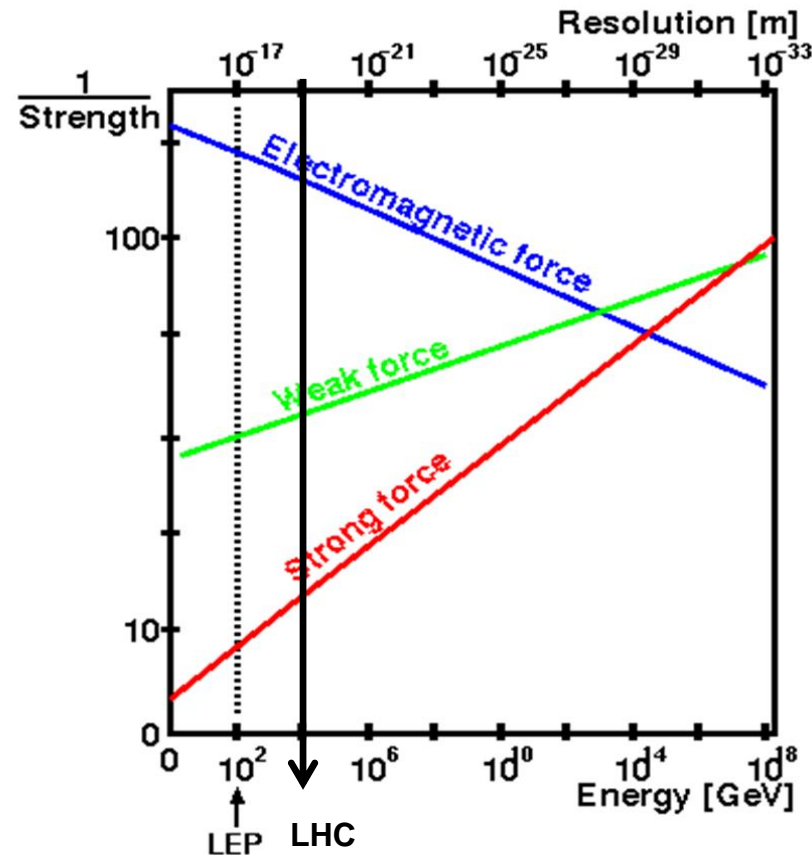
Прилики и разлики между видовете взаимодействия:

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

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.

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

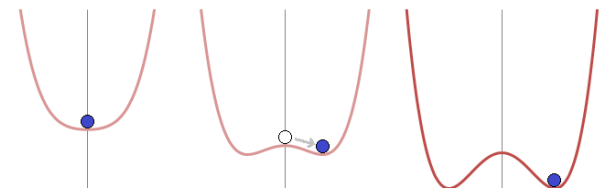
В съответствие с теоремата на Нютер от 1918 г., на всяка наблюдавана симетрия в СМ съответства закон за запазване. За $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ симетрия в СМ се съхраняват барионното число, лептонното число, електрическият и цветният заряд.

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	$+\frac{1}{3}$	0	$+\frac{2}{3}$
Down quark	$+\frac{1}{3}$	0	$-\frac{1}{3}$



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. При силното взаимодействие маса придобиват кварките, които като съставна част на атомните ядра чрез протоните и неутроните генерират 99% от масата в света около нас.

1. Стандартен Модел във Физиката на Елементарните Частичи

1.3 Спонтанно нарушение на симетриите

„Коктейл-парти“ илюстрация на полето на Хигс



Коктейлно парти
Поле на Хигс – изпълва
цялата Вселена



VIP персоната преминава през залата –
Елементарната частица взаимодейства с
полето на Хигс



VIP персоната придобива маса поради
струпването на журналисти и затрудняване
на придвижването – частиците
придобиват маса



VIP персоната не преминава през
залата, а само прави важно
съобщение – LHC концентрира
енергия в точката на
сблъскване на протоните



Журналистите бързат към изхода за
да предадат важното съобщение –
Полето на Хигс генерира
самовъзбуждане – Хигс бозон

Полето на Хигс генерира
собствени възбудени състояния
при концентрация на енергия на
LHC – наблюдава се Хигс – бозон
(регистрират се разпадните
продукти – 2 фотона или 4 лептона
.....)

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			Quarks spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_e electron neutrino	$<1 \times 10^{-8}$	0	u up	0.003	2/3
e electron	0.000511	-1	d down	0.006	-1/3
ν_μ muon neutrino	<0.0002	0	c charm	1.3	2/3
μ muon	0.106	-1	s strange	0.1	-1/3
ν_τ tau neutrino	<0.02	0	t top	175	2/3
τ tau	1.7771	-1	b bottom	4.3	-1/3

Spin is the intrinsic angular momentum of particles. Spin is given in units of \hbar , which is the quantum unit of angular momentum, where $\hbar = h/2\pi = 6.58 \times 10^{-25}$ 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/c² (remember $E = mc^2$), where 1 GeV = 10^9 eV = 1.60×10^{-10} joule. The mass of the proton is 0.938 GeV/c² = 1.67×10^{-27} kg.

BOSONS

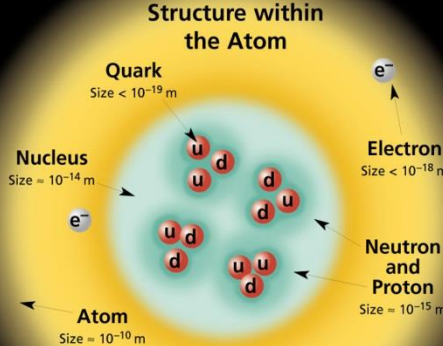
force carriers
spin = 0, 1, 2, ...

Unified Electroweak spin = 1			Strong (color) spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge	Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0	g gluon	0	0
W⁻	80.4	-1			
W⁺	80.4	+1			
Z⁰	91.187	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.



If the protons and neutrons in this picture were 10 cm across, then the quarks and electrons would be less than 0.1 mm in size and the entire atom would be about 10 km across.

PROPERTIES OF THE INTERACTIONS

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
\bar{n}	anti-neutron	$\bar{u}\bar{d}\bar{d}$	0	0.940	1/2
Λ	lambda	uds	0	1.116	1/2
$\bar{\Lambda}$	anti-lambda	$\bar{u}\bar{d}\bar{s}$	0	1.116	1/2
Ω^-	omega	sss	-1	1.672	3/2

Property	Gravitational		Weak (Electroweak)		Electromagnetic		Strong	
	Acts on:	Mass - Energy	Flavor	Electric Charge	Color Charge	Residual	Fundamental	Residual
Acts on:	Mass - Energy	Mass - Energy	Flavor	Electric Charge	Color Charge	See Residual Strong Interaction Note	Fundamental	Residual
Particles experiencing:	All	All	Quarks, Leptons	Electrically charged	Quarks, Gluons	Hadrons	Fundamental	Residual
Particles mediating:	Graviton (not yet observed)	Graviton (not yet observed)	W⁺ W⁻ Z⁰	γ	Gluons	Mesons	Fundamental	Residual
Strength relative to electromag for two u quarks at:								
for two u quarks at:								
for two protons in nucleus								

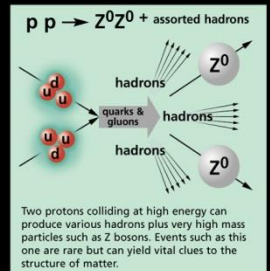
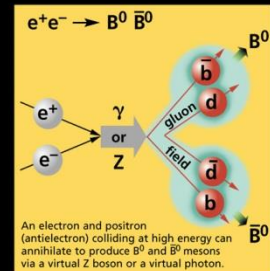
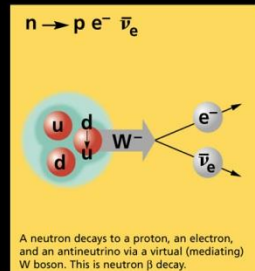
Mesons $q\bar{q}$					
Mesons are bosonic hadrons. There are about 140 types of mesons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c ²	Spin
π^+	pion	u\bar{d}	+1	0.140	0
π^-	pion	d\bar{u}	-1	0.140	0
K⁺	kaon	u\bar{s}	+1	0.494	0
K⁻	kaon	s\bar{u}	-1	0.494	0
ρ^+	rho	u\bar{d}	+1	0.770	1
ρ^-	rho	d\bar{u}	-1	0.770	1
B⁰	B-zero	d\bar{b}	0	5.279	0
\bar{B}^0	B-zero	b\bar{d}	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.



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>

2. Отворени въпроси пред Стандартния Модел

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

Защо имаме 3 генерации на е.ч. ?

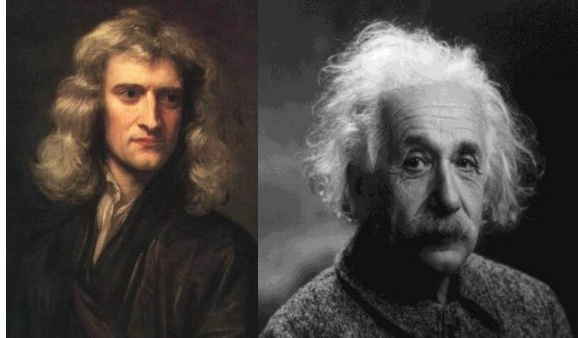
Съотношение материя/антиматерия във Вселената ?

От какво е съставена “тъмната енергия” и “тъмната материя” във Вселената?

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

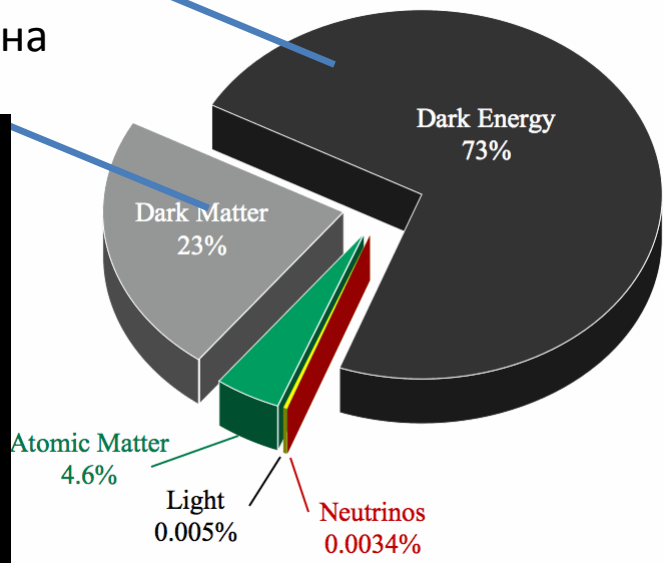
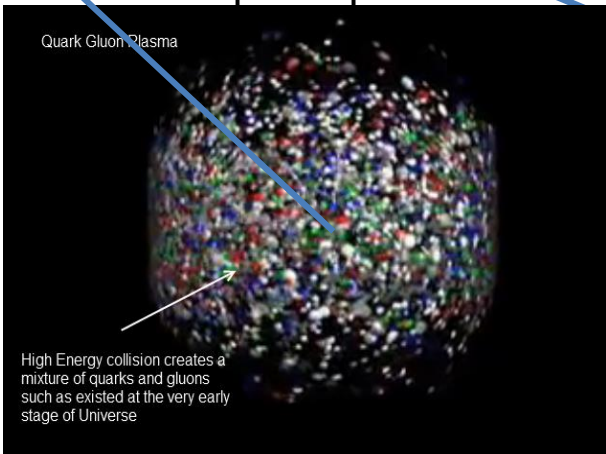
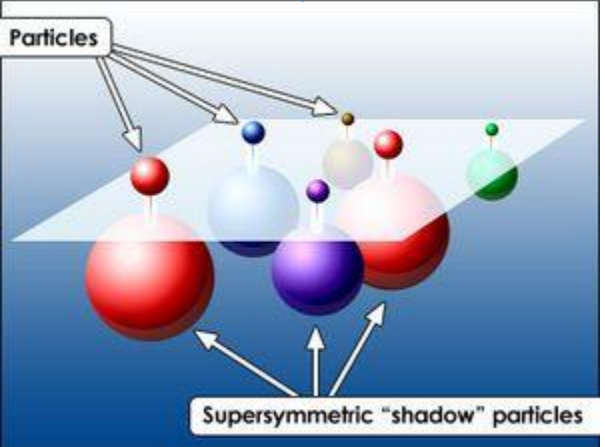
Възможни ли са повече размерности?

Има ли нова симетрия? SUSY?

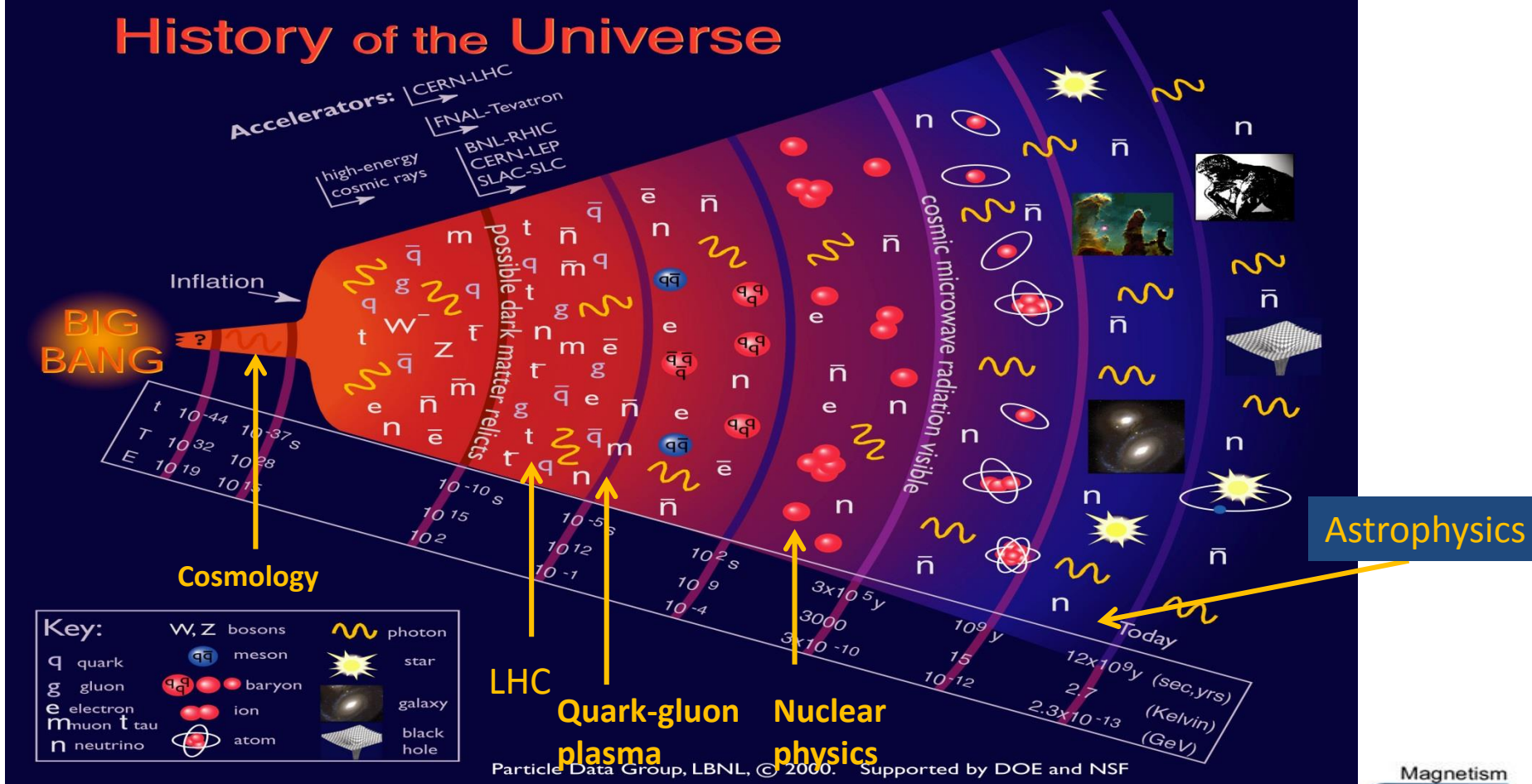


$F = ma$ $E = mc^2$
 Всичко това е правилно.
 Но как един обект става масивен?

Симулация на кварк глюонна плазма при 2 трилиона К

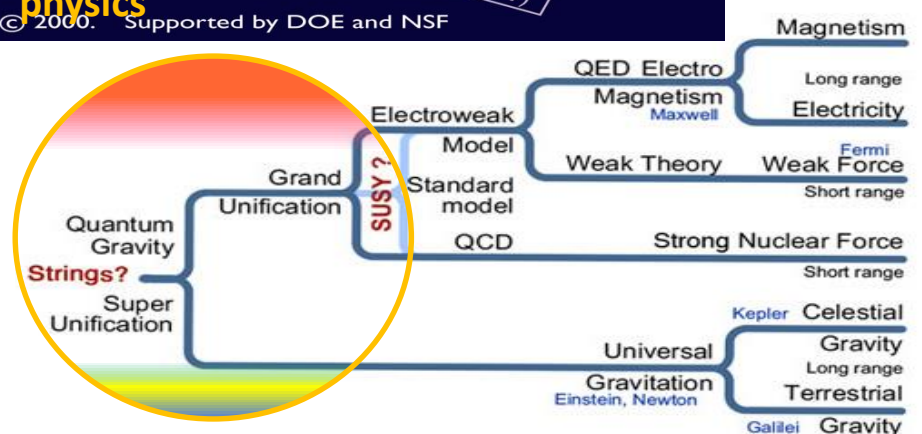


History of the Universe



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

Граница на нашето познание до днес



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

Цел на физиката на високите 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 ($E = mc^2$)

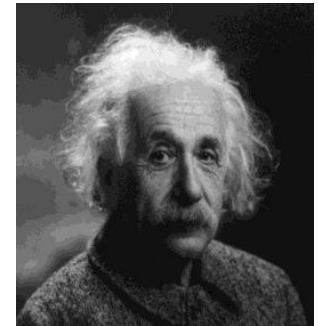
3. Да се изучи младата Вселена ($E = kT$)

И всичко това в Лаборатория – LHC-CERN

de Broglie

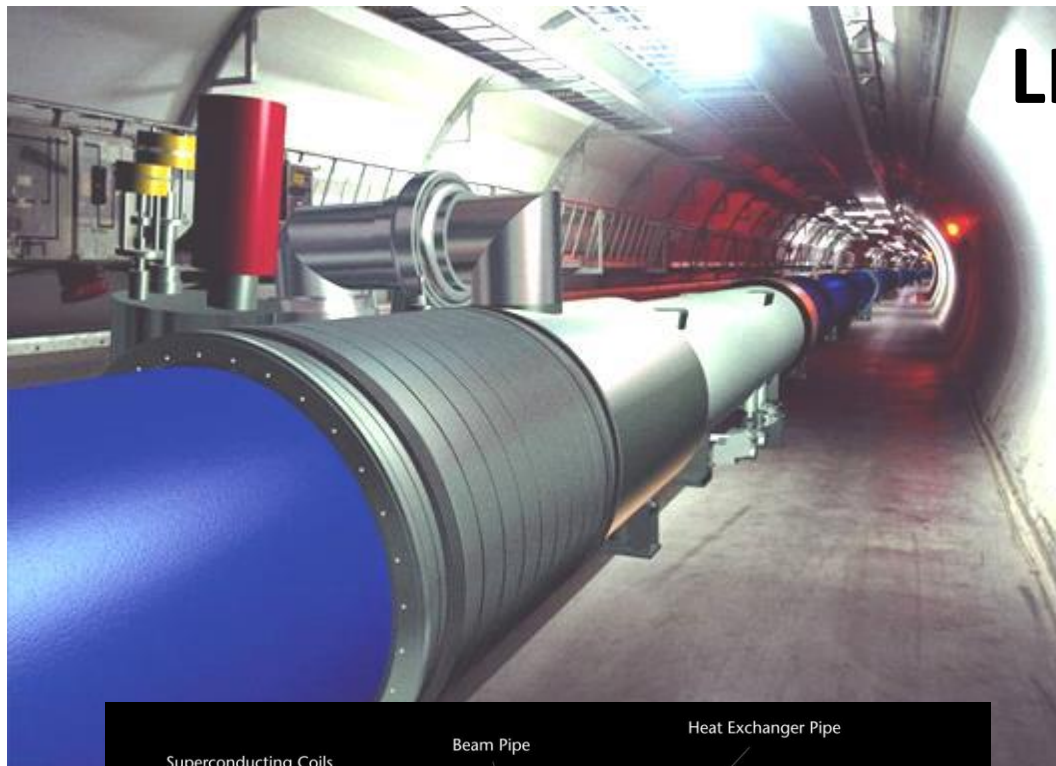


Einstein

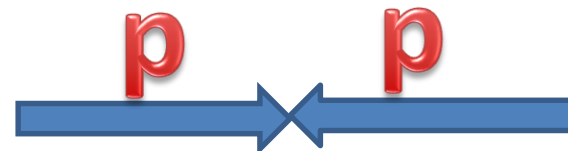


Boltzmann





LHC



7 TeV + 7 TeV

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

12 kA – ток на свръхпроводящият магнит

Светимост:

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

N – брой на протоните в един пакет

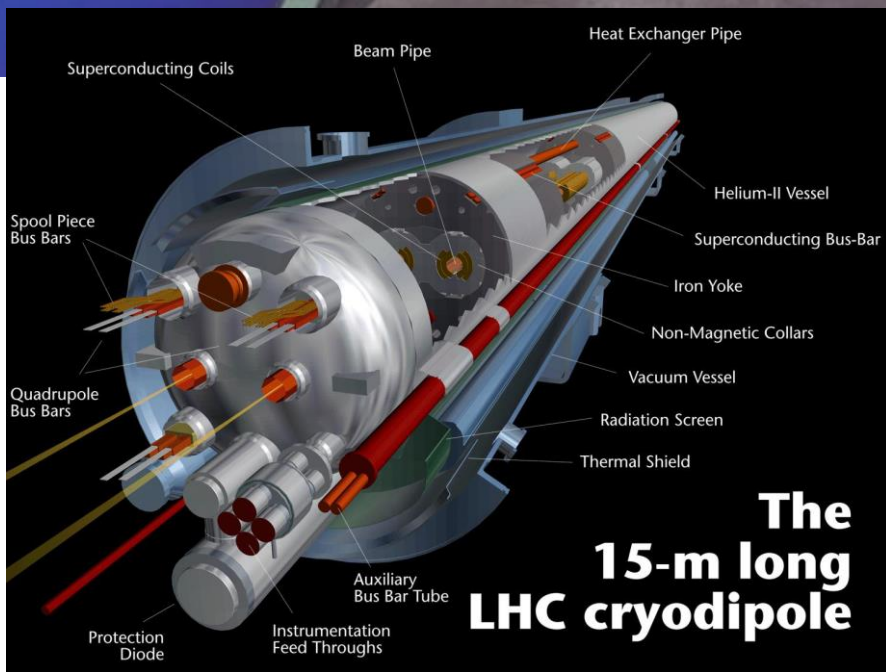
1.5×10^{11} протони

f – честота на обиколки на пакетите от протони

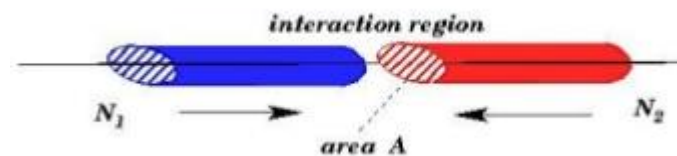
k – брой на пакетите от протони = 2808

σ – размер на точката на взаимодействие на пакетите

$$\sigma_x = \sigma_y \sim 16 \mu\text{m}$$



The
15-m long
LHC cryodipole



Единици на измерване

Вероятност и интензивност на взаимодействието:

Сечение на разсейване $\sim r^2$

барн: $1 \text{ б} = 10^{-24} \text{ см}^2$

$1 \text{ мб} = 10^{-27} \text{ см}^2$

$1 \text{ пб} = 10^{-36} \text{ см}^2$

Светимост (интензивност на сноповете протони): $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$

LHC 2010: $\sim 10^{32} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$

2011: $\sim 10^{33} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$

2012: $\sim 10^{34} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$

Честотата на взаимодействията при сблъскване на сноповете от протони = светимостта \times сечението

Пример:

Бозон на Хигс:

сечение ($m = 125 \text{ ГэВ}$ при 8 тэВ) $\approx 10 \text{ пб}$

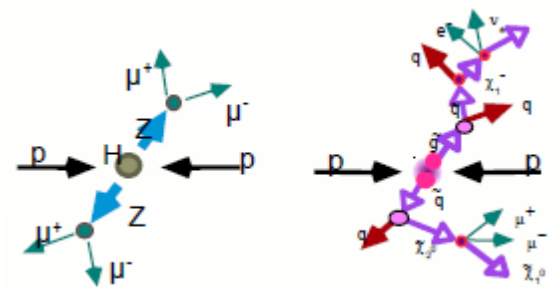
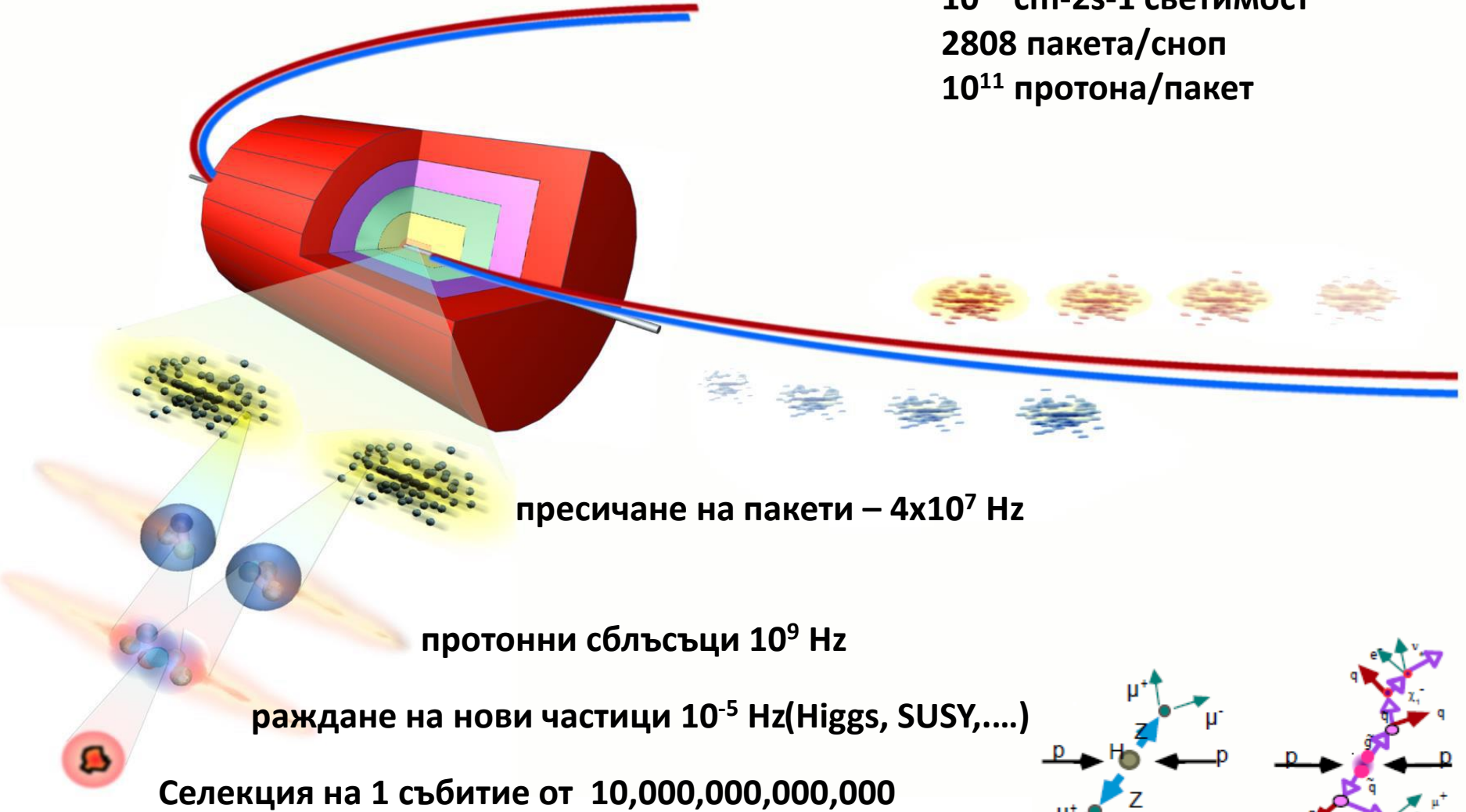
1 събитие за 10 сек.

Сравнение на енергиите

	Система на центъра на масите(СЦМ)	Лабораторна система(ЛС)
Лаборатория Фермилаб ,Чикаго	1 TeV X 1 TeV	$2 \cdot 10^3 \text{ TeV}$
LHC	3.5 TeV X 3.5 TeV	$2 \cdot 10^4 \text{ TeV}$
LHC	7 TeV X 7 TeV	10^5 TeV
LHC PbPb	– 5.5 TeV нуклон/нуклон	

LHC

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

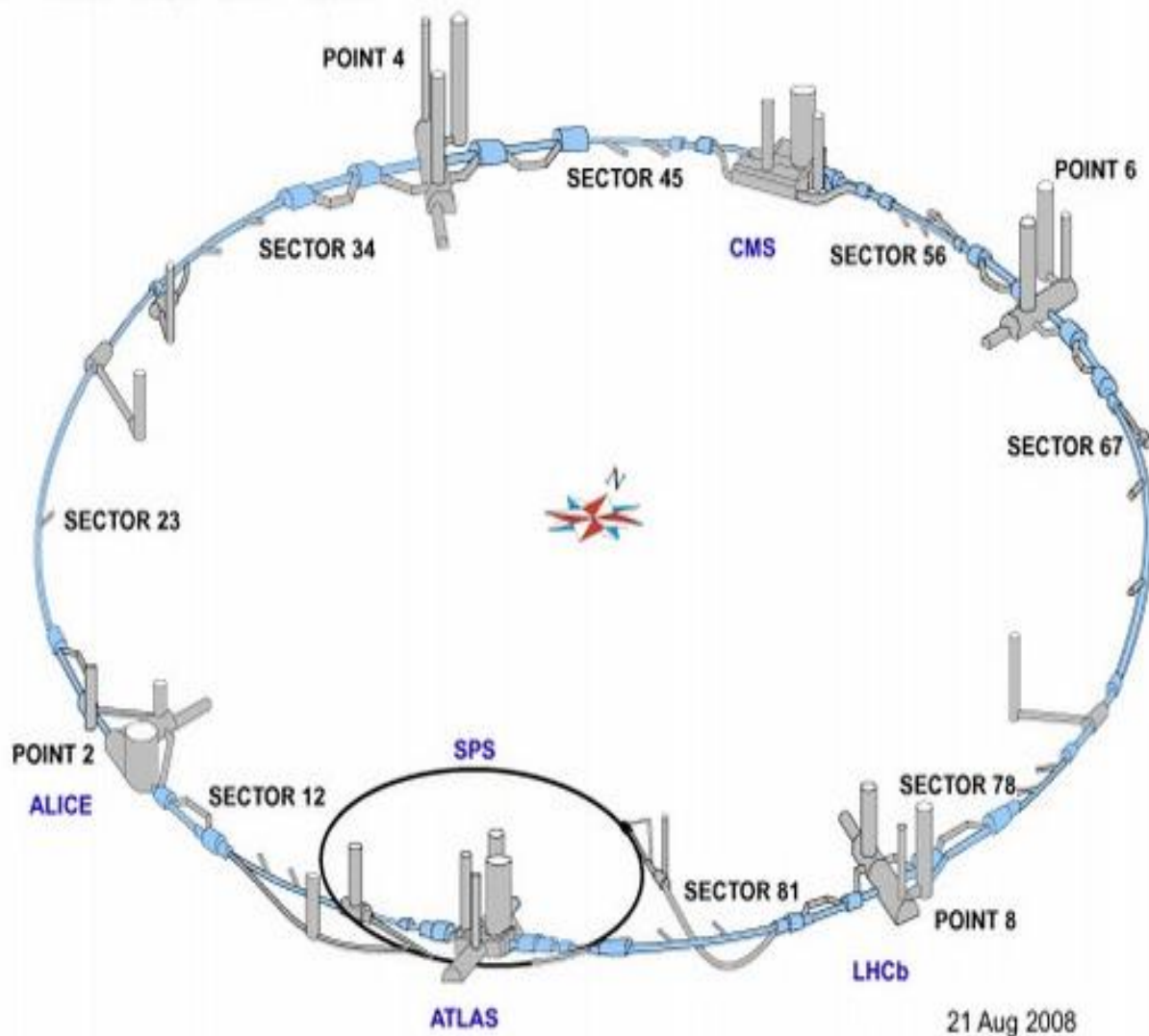


LHC :

...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 поплътна атмосфера на Луната, отколкото в LHC.

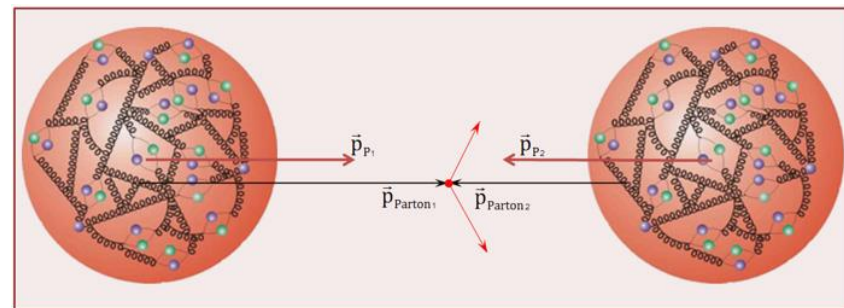
...когато двата ускорени снопа протони се ударят, това ще генерира температура 100,000 пъти по-голяма отколкото в ядрото на Слънцето, но в микроскопично пространство.



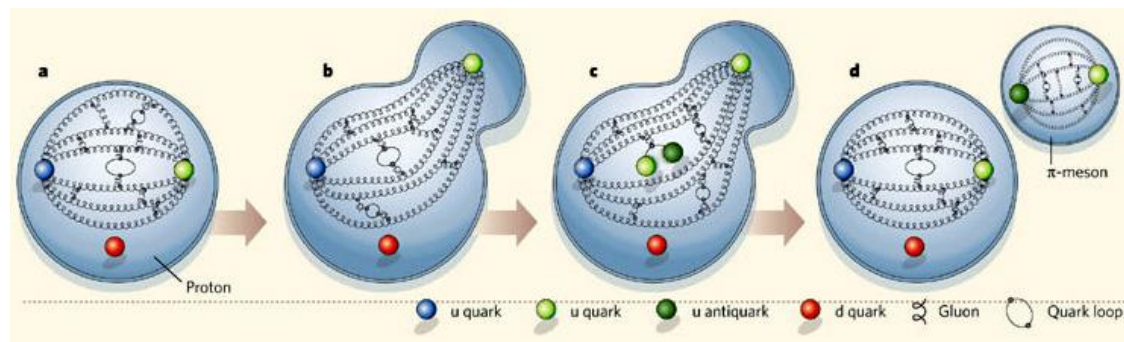
3. Експериментална проверка на Стандартния Модел и нови елементарни частици в експеримента CMS на LHC

Пример на основни процеси при взаимодействието на протоните в LHC

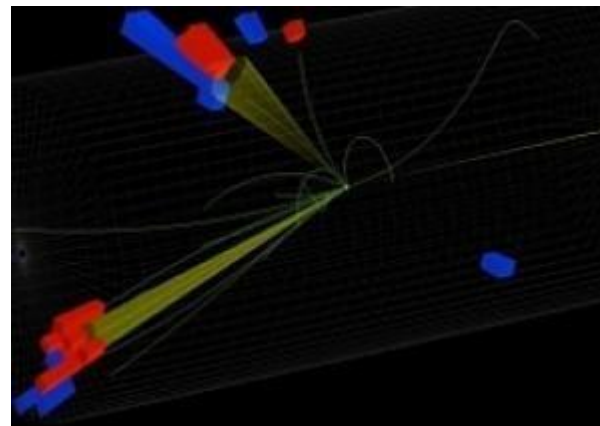
Протонът се състои от 3 кварка и глюонно поле което ги задържа – това твърдение е в сила за протон с ниска енергия. При скорост близка до скоростта на светлината, в протона се появяват множество частици – кварки, антикварки и глюони – „партони“.



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



38 Countries, 183 Institutes, 3000 scientists and engineers (including 400 students)

CMS

Compact Muon Solenoid

TRIGGER, DATA ACQUISITION & OFFLINE COMPUTING

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

TRACKER

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

CRYSTAL ECAL

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

PRESHOWER

Armenia, CERN, Greece,
India, Russia, Taiwan

RETURN YOKE

Barrel: Estonia, Germany, Greece, Russia
Endcap: Japan*, USA

SUPERCONDUCTING MAGNET

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

FEET

Pakistan
China

FORWARD CALORIMETER

Hungary, Iran, Russia, Turkey, USA

HCAL

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

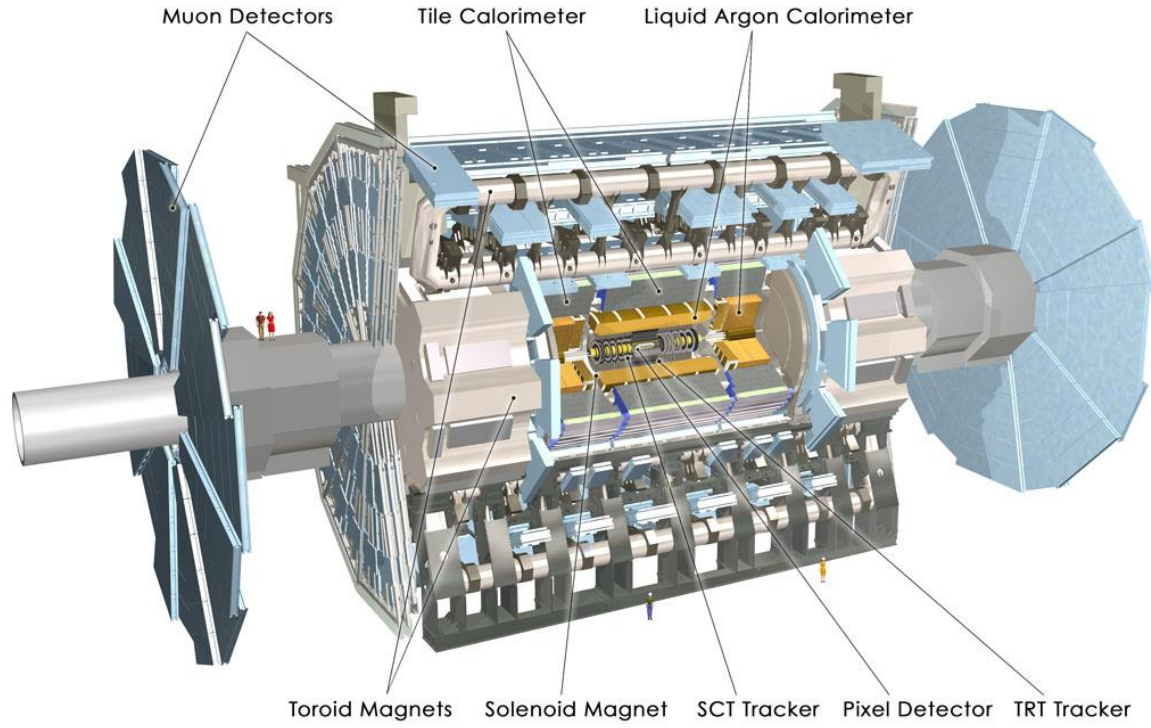
MUON CHAMBERS

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

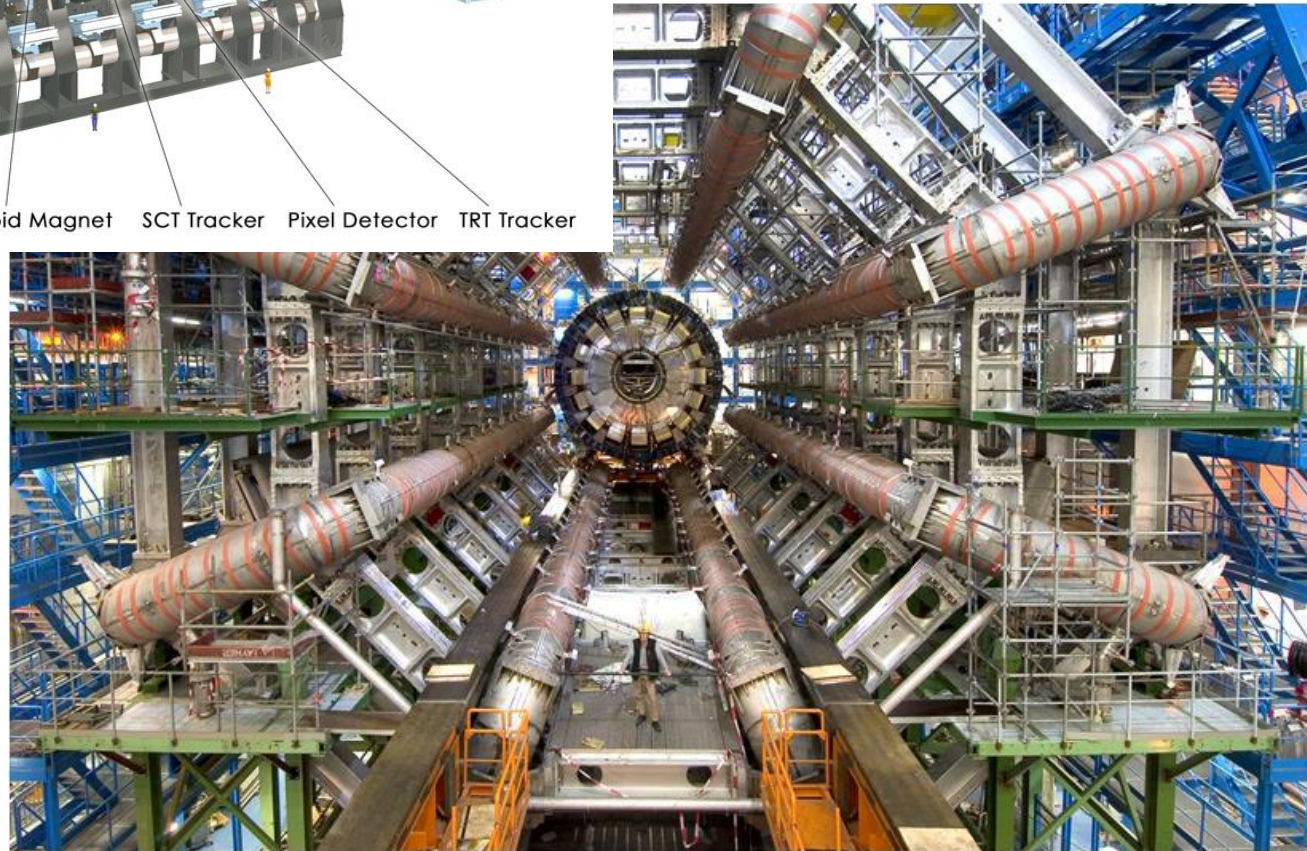
* Only through
Industrial contracts

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

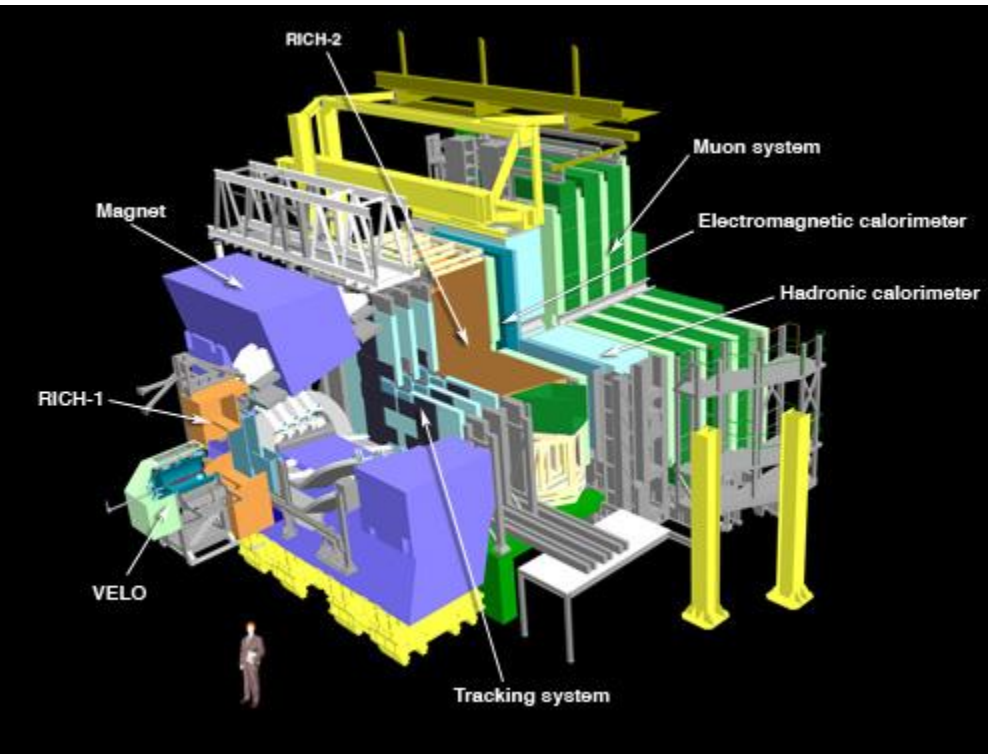




ATLAS
A
Toroidal
LHC
Apparatus

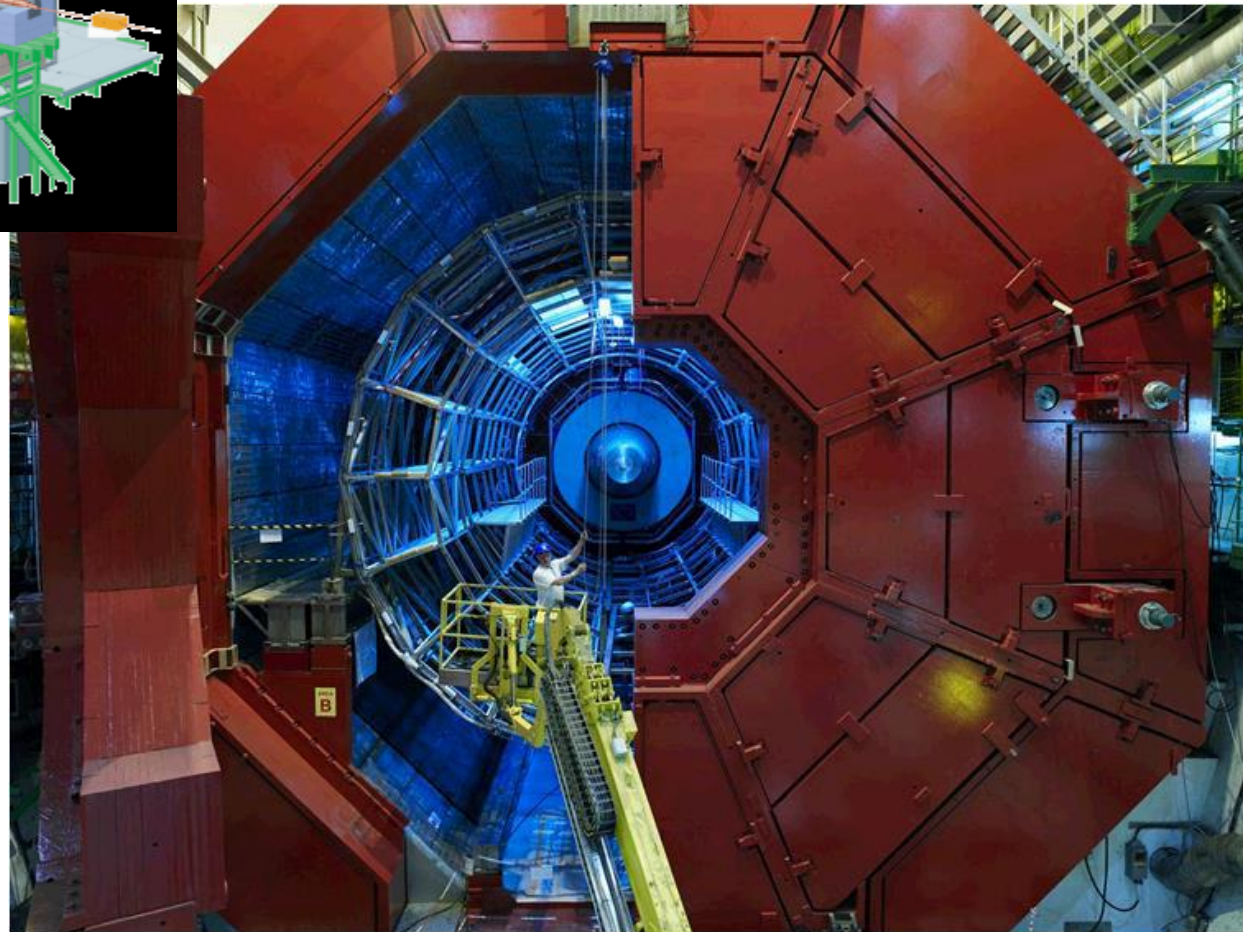
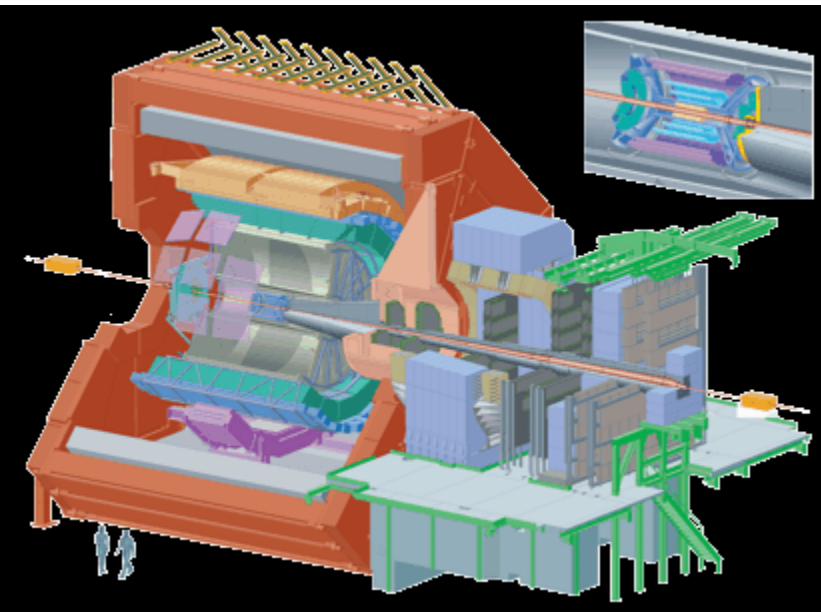


LHCb
Large
Hadron
Collider
beauty

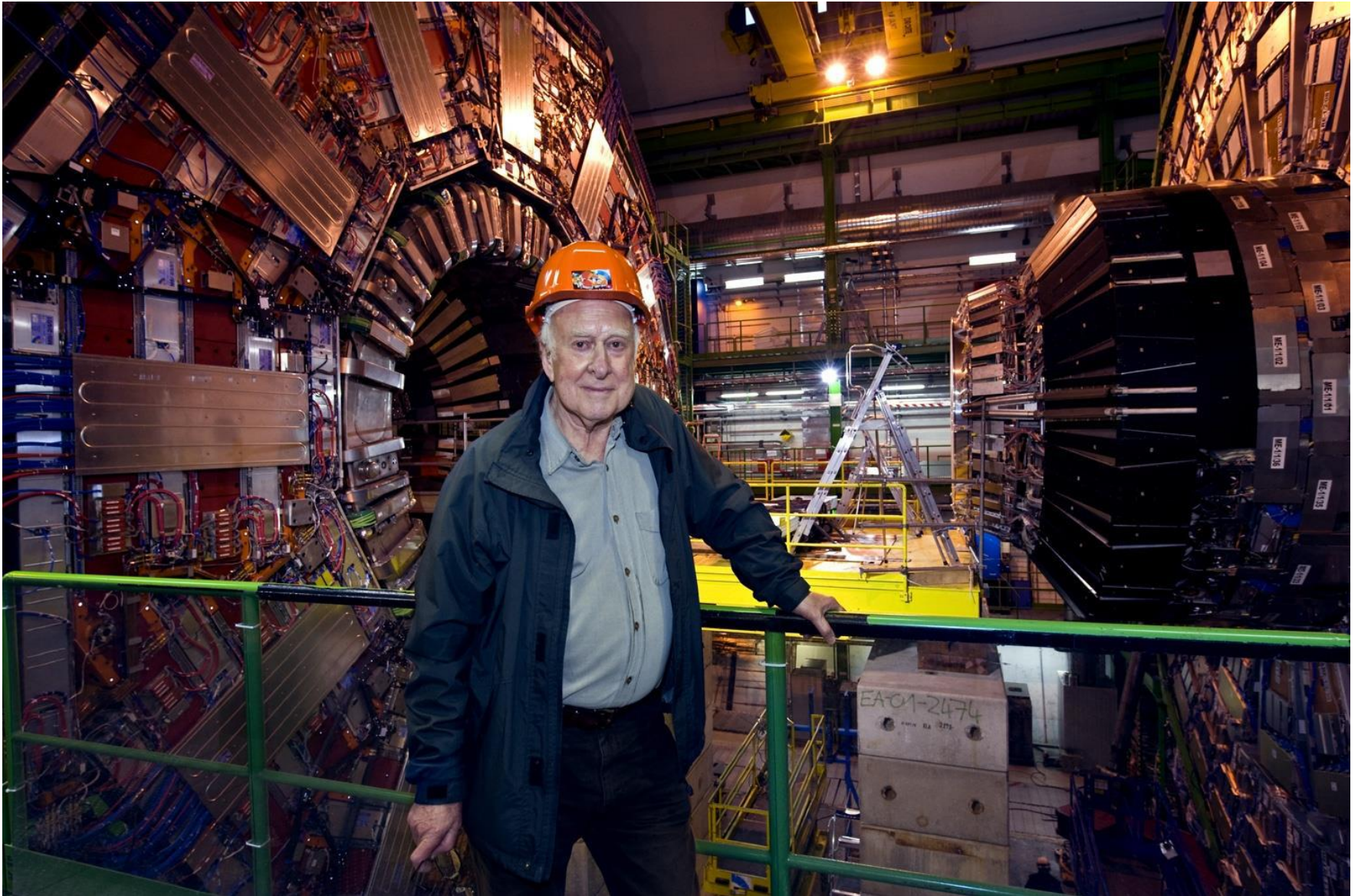


ALICE

A
Large
Ion
Collider
Experiment



2010 - Higgs на CMS



1. Стандартен Модел във Физиката на Елементарните Частиици

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?

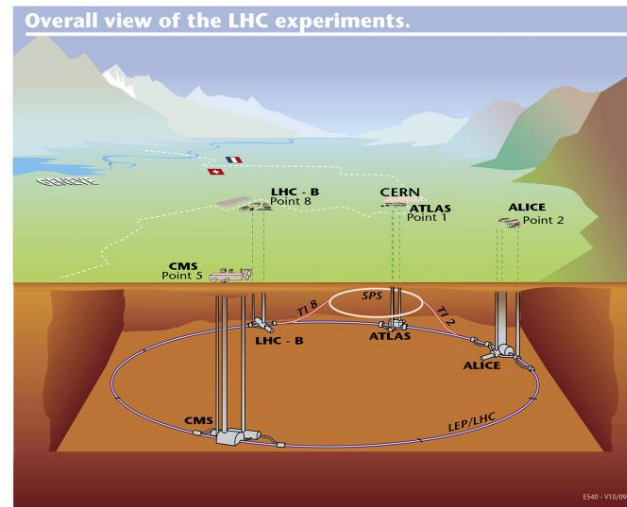
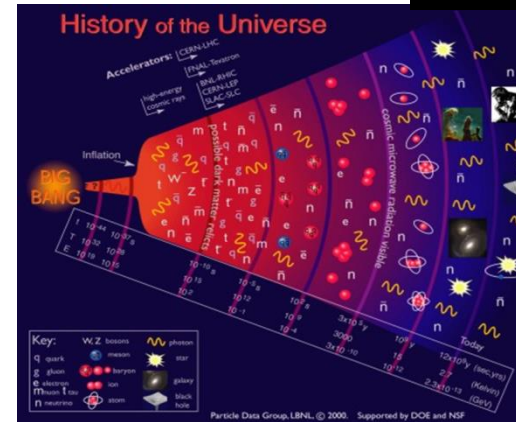
Съществуват ли други видове симетрия на ел.ч. –

„Суперсиметрия“?

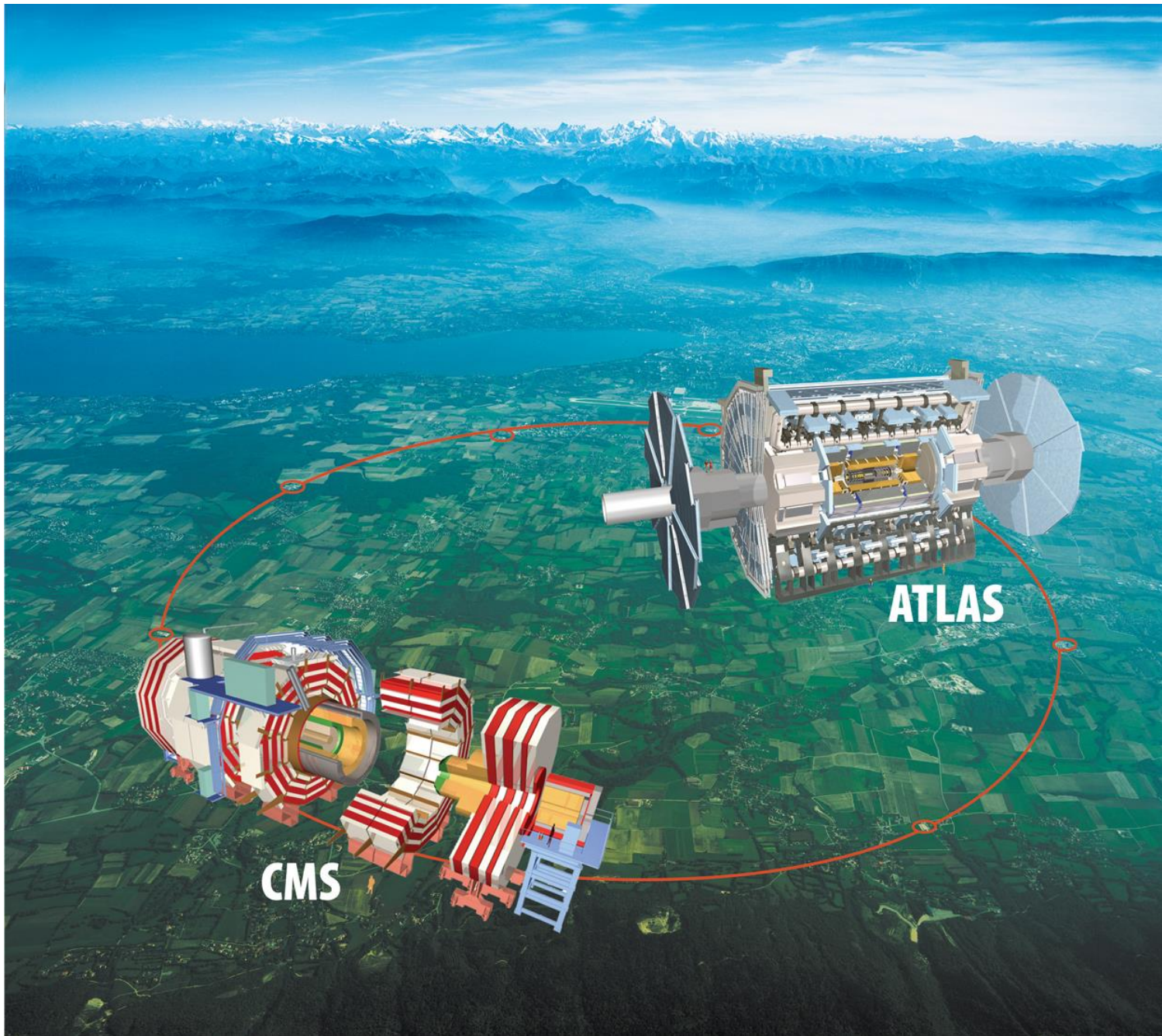
??

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

Quarks	2.4 MeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ u up	1.27 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ c charm	171.2 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ t top	0 0 1 Y photon
	4.8 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d down	104 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s strange	4.2 GeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b bottom	0 0 1 g gluon
Leptons	<2.2 eV 0 $\frac{1}{2}$ e electron neutrino	<0.17 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ muon neutrino	<15.5 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ tau neutrino	91.2 GeV 0 1 Z weak force
	0.511 MeV -1 $\frac{1}{2}$ e electron	105.7 MeV -1 $\frac{1}{2}$ μ muon	1.777 GeV -1 $\frac{1}{2}$ τ tau	80.4 GeV ± 1 W [±] weak force
				Bosons (Forces)
				125.3 GeV 0 0 H ⁰ Higgs boson







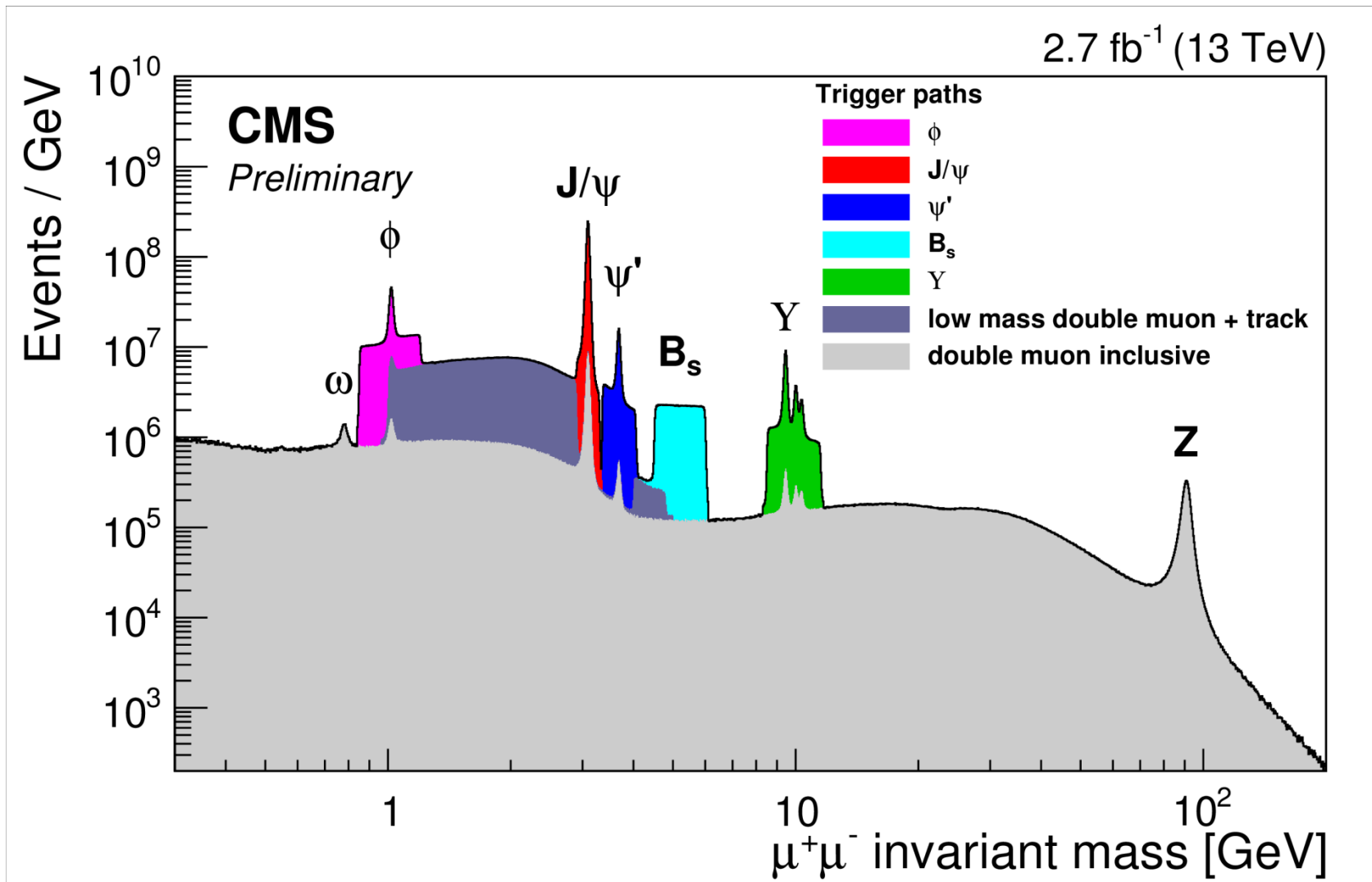
CMS

ATLAS

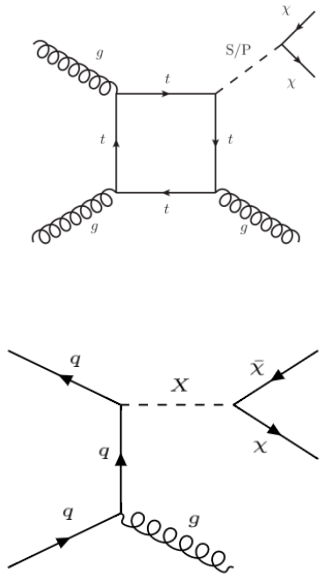


Pieter Bruegel de Oude "Babylon tower" 1563

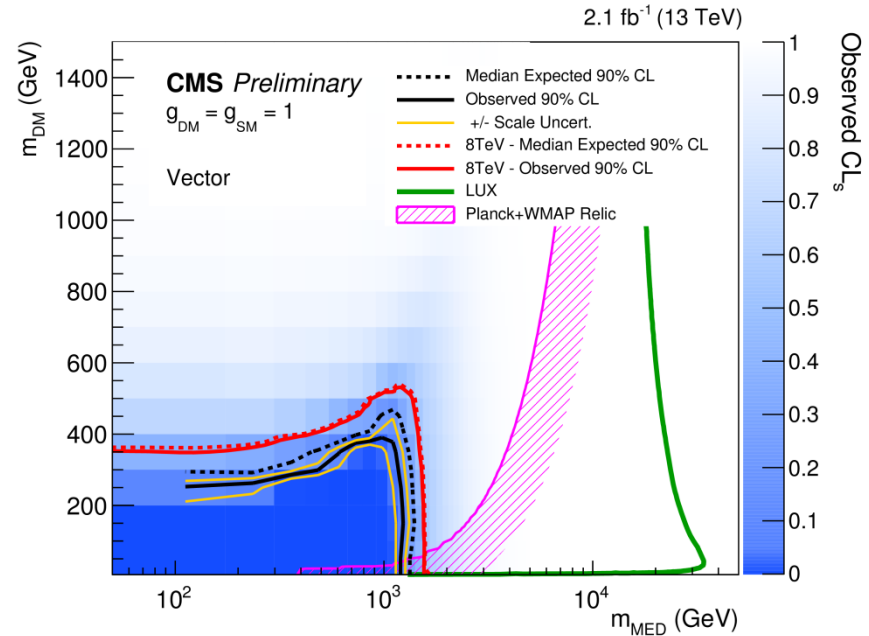
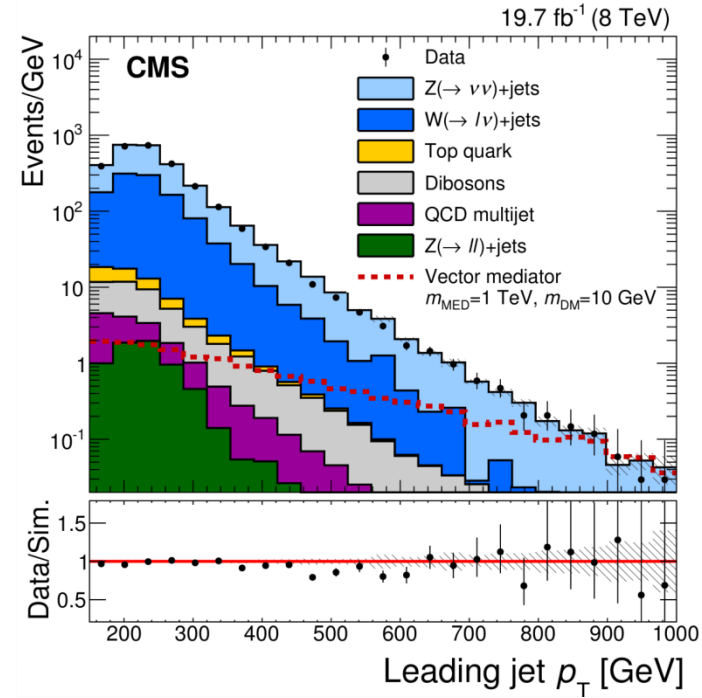
Допълнителни примери



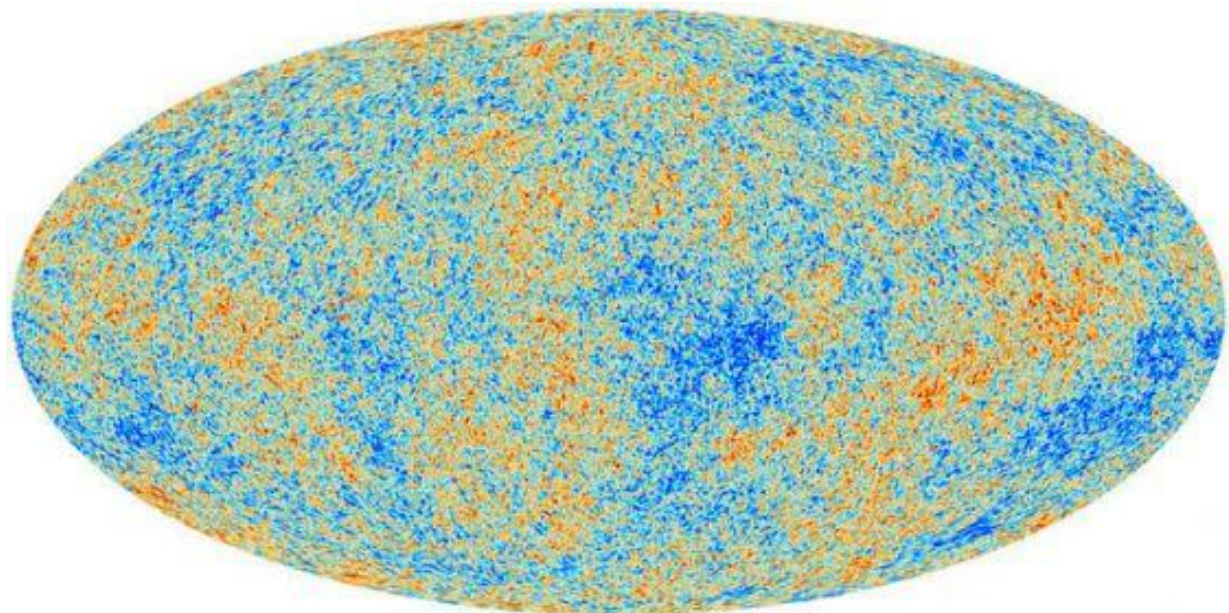
Изследване на раждане на частици „тъмна материя“ съпроводено с поне една високоенергетична „струя“ в CMS



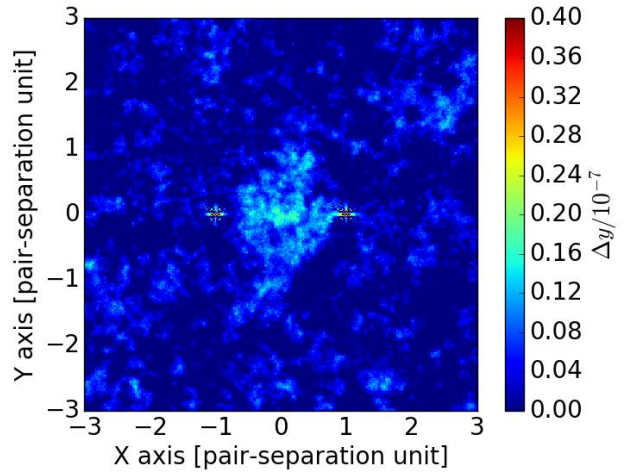
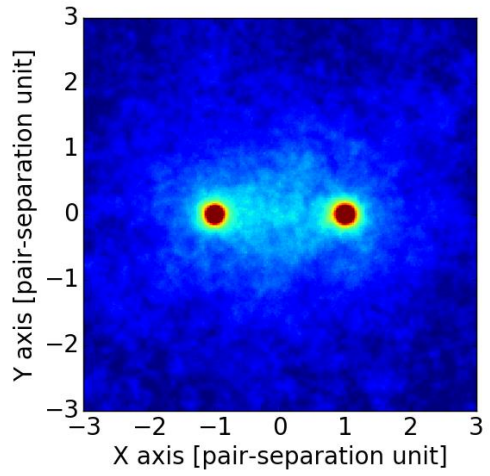
Production diagrams for the monojet for a spin-0 mediator (scalar or pseudoscalar) (a) and a spin-1 mediator (vector or axial) (b)



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



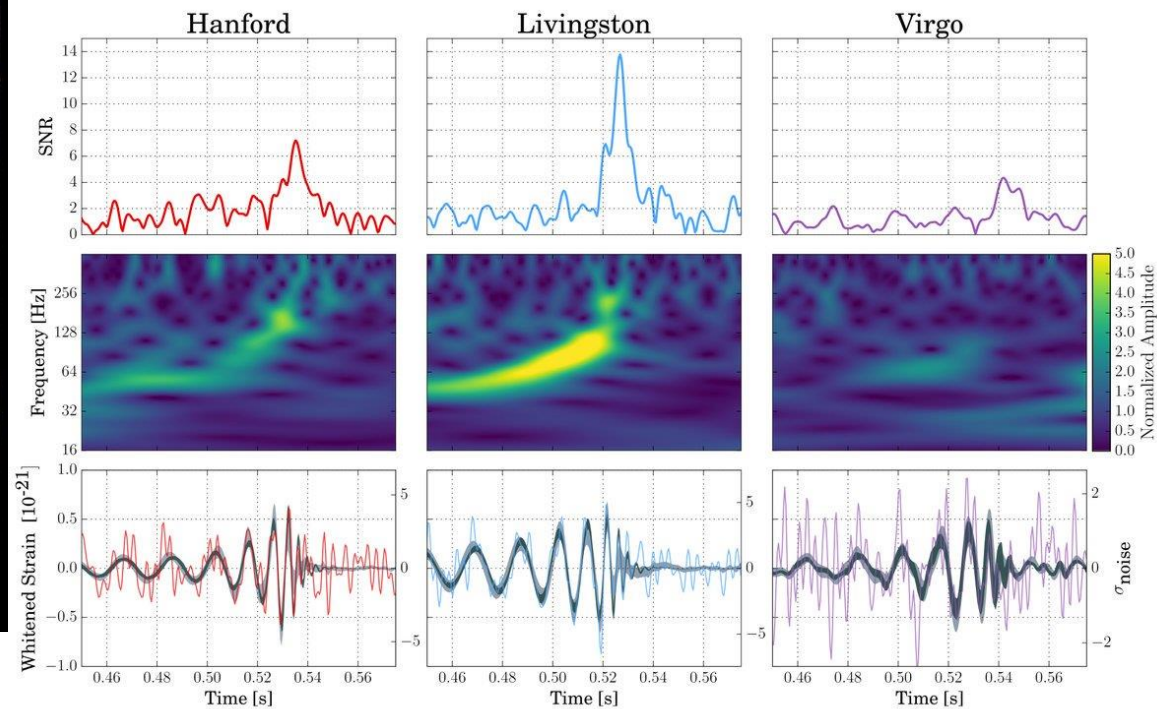
Липсващата материя е от частици, наречени бариони, а не тъмна материя. Тя свързва галактиките заедно чрез нишки от горещ дифузен газ



The stacked y map of the central galaxy pairs from the BANAMAS 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)

