

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



Обучение

Сътрудничество

Въведение във физиката на елементарните частици

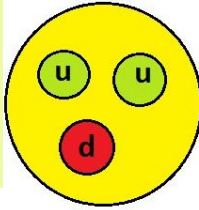
A small fraction of the CMS
Collaboration: June 2012



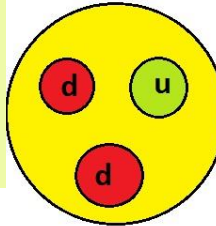
Пламен Яйджиев ИЯИЯЕ БАН Учители
Октомври 2019

Стандартен Модел във Физиката на Елементарните Частичи - (СМ)

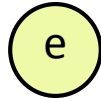
Протон
Маса 1.7×10^{-27} кг.
Заряд +1



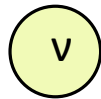
Неутрон
Маса 1.7×10^{-27} кг.
Заряд 0



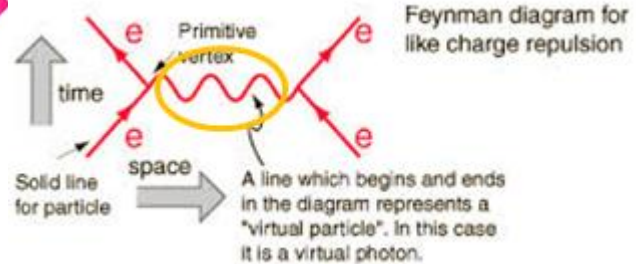
Електрон
Маса 0.0005 от
масата на протона,
Заряд -1



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



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 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
Leptons	<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 Higgs boson

Bosons (Forces)

**Елементарните Частичи
в нашето всекидневие**

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

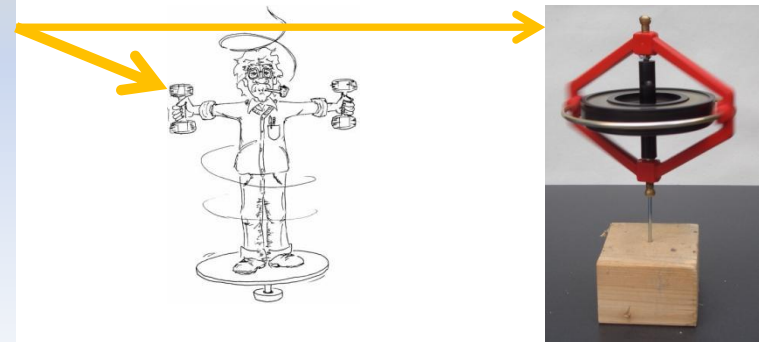
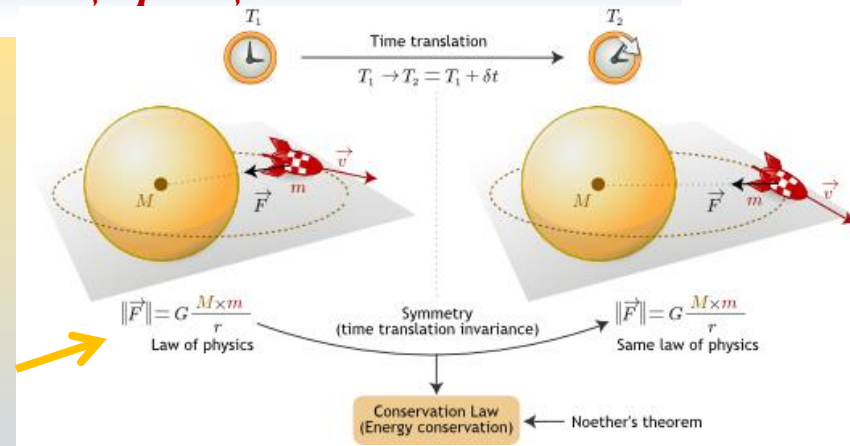
Симетрията е водещ принцип във физиката на елементарните частици - през 1918 г. беше показана връзката на всяка симетрия със закон за запазване (E.Noether).

Глобални симетрии:

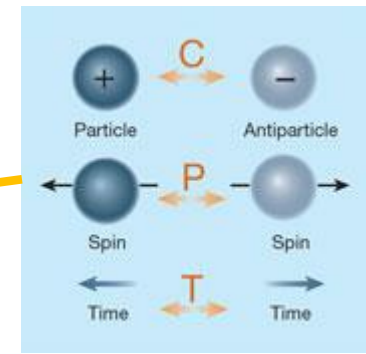
- Транслация във времето - Запазване на енергията
- Транслация в пространството - Запазване на момент на количеството на движение
- Ротация в пространството - Запазване на Ъгловия момент

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**



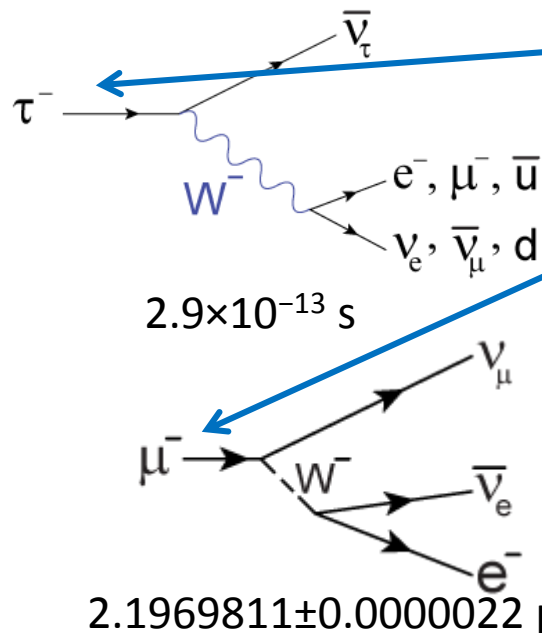
1. Стандартен Модел във Физиката на Елементарните Частички - 1.1 Симетрията като обединяващ принцип

Симетрии

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

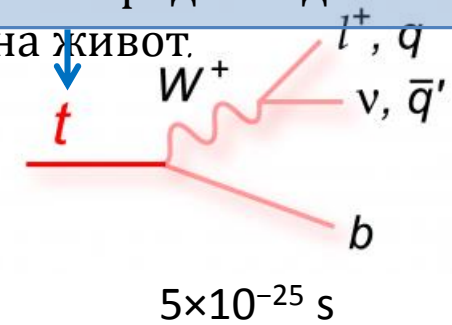
Симетрия	Взаимодействие /сила/	Ел. частица	Маса
U(1)	Електромагнитно	Фотон γ	0
SU(3)	Силно	Глуон g	0
SU(2)	Слабо	W, Z бозони	80, 91 GeV

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 Higgs boson



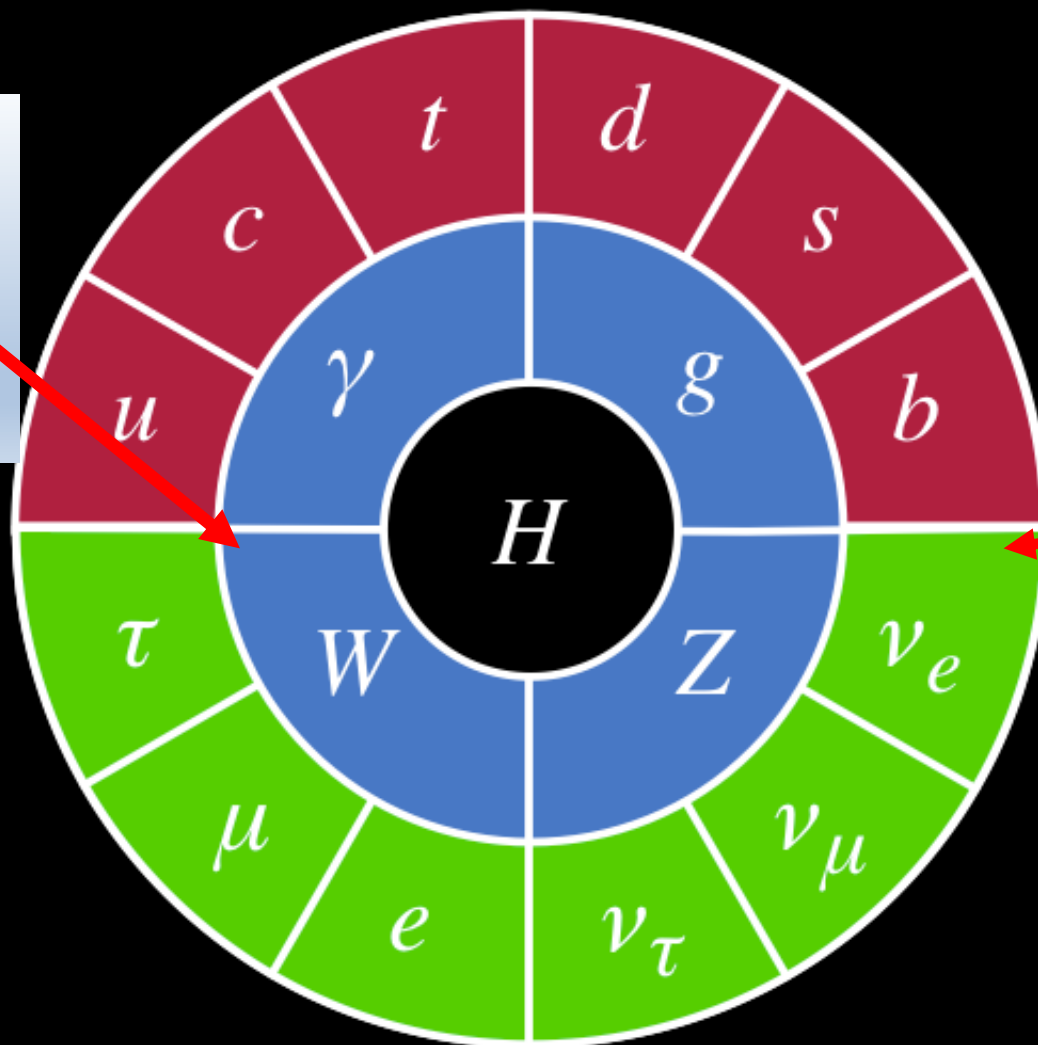
Тежките частици се разпадат на по-леки и в детекторите на елементарни частици се наблюдават крайните продукти. Мюонът може да бъде регистриран директно поради по-дълго време на живот.

1 протон = 1 GeV
 $E=mc^2$



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

Частичи-
пренасящи
взаимодействието
Между
елементарните
частичи



Елементарни
частичи

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:

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

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

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

Дефиниция на константата на взаимодействие:

Сила на електромагнитното взаимодействие:

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:

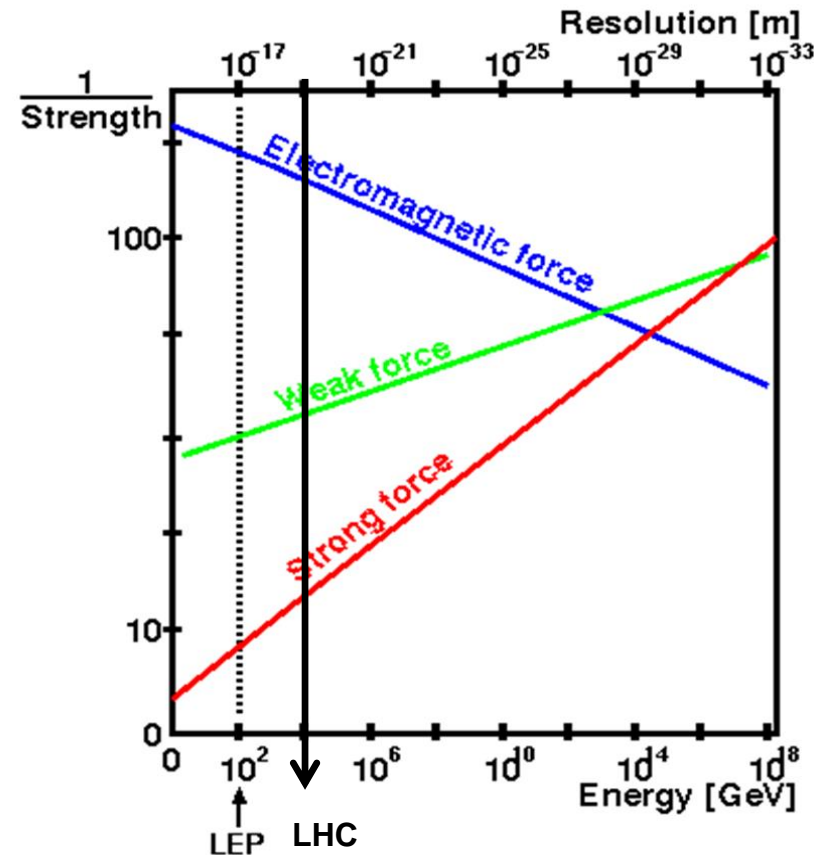
ЕМ взаимодействие
 Електрически заряд (1)
 Безмасов фотон
 константа g

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

$1/e_m$ 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

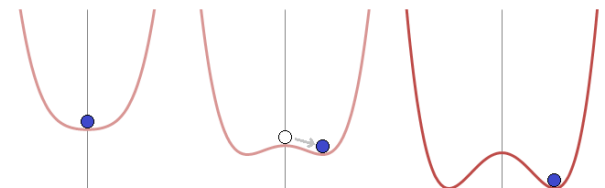
В съответствие с теоремата на Ньотер от 1918 г., на всяка наблюдавана симетрия в СМ съответства закон за запазване. За $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ симетрия в СМ се съхраняват барионното число, лептонното число, електрическият и цветният заряд.

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. 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			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 $\hbar = h/2\pi = 6.58 \times 10^{-25} \text{ GeV s} = 1.05 \times 10^{-34} \text{ J s}$.

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 $1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-10} \text{ joule}$. The mass of the proton is $0.938 \text{ GeV}/c^2 = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

BOSONS

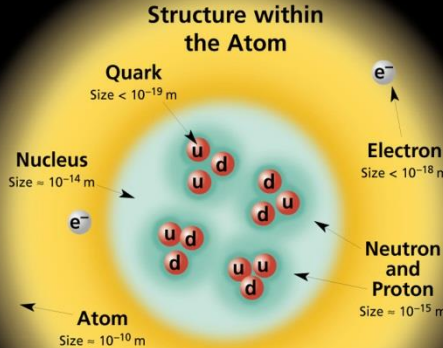
force carriers
spin = 0, 1, 2, ...

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)		Strong	
	Acts on:	Mass - Energy	Flavor	Electric Charge	Fundamental	Residual
Acts on:	Mass - Energy	Mass - Energy	Flavor	Electric Charge	Color Charge	See Residual Strong Interaction Note
Particles experiencing:	All	All	Quarks, Leptons	Electrically charged	Quarks, Gluons	Hadrons
Particles mediating:	Graviton (not yet observed)	Graviton (not yet observed)	W⁺ W⁻ Z⁰	γ	Gluons	Mesons
Strength relative to electromag for two u quarks at:		10^{-41}	0.8	1	25	Not applicable to quarks
		10^{-41}	10^{-4}	1	60	
		10^{-36}	10^{-7}	1	Not applicable to hadrons	20

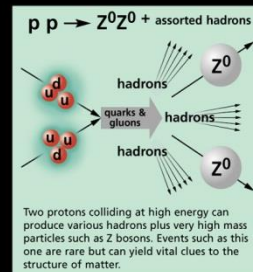
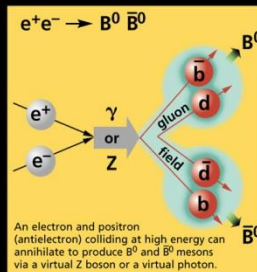
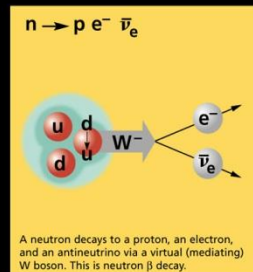
Mesons $q\bar{q}$					
Mesons are bosonic hadrons. There are about 140 types of mesons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c ²	Spin
π^+	pion	u\bar{d}	+1	0.140	0
π^-	anti-pion	$\bar{u}d$	-1	0.140	0
K⁻	kaon	s\bar{u}	-1	0.494	0
ρ^+	rho	u\bar{d}	+1	0.770	1
B⁰	B-zero	d\bar{b}	0	5.279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



The Particle Adventure

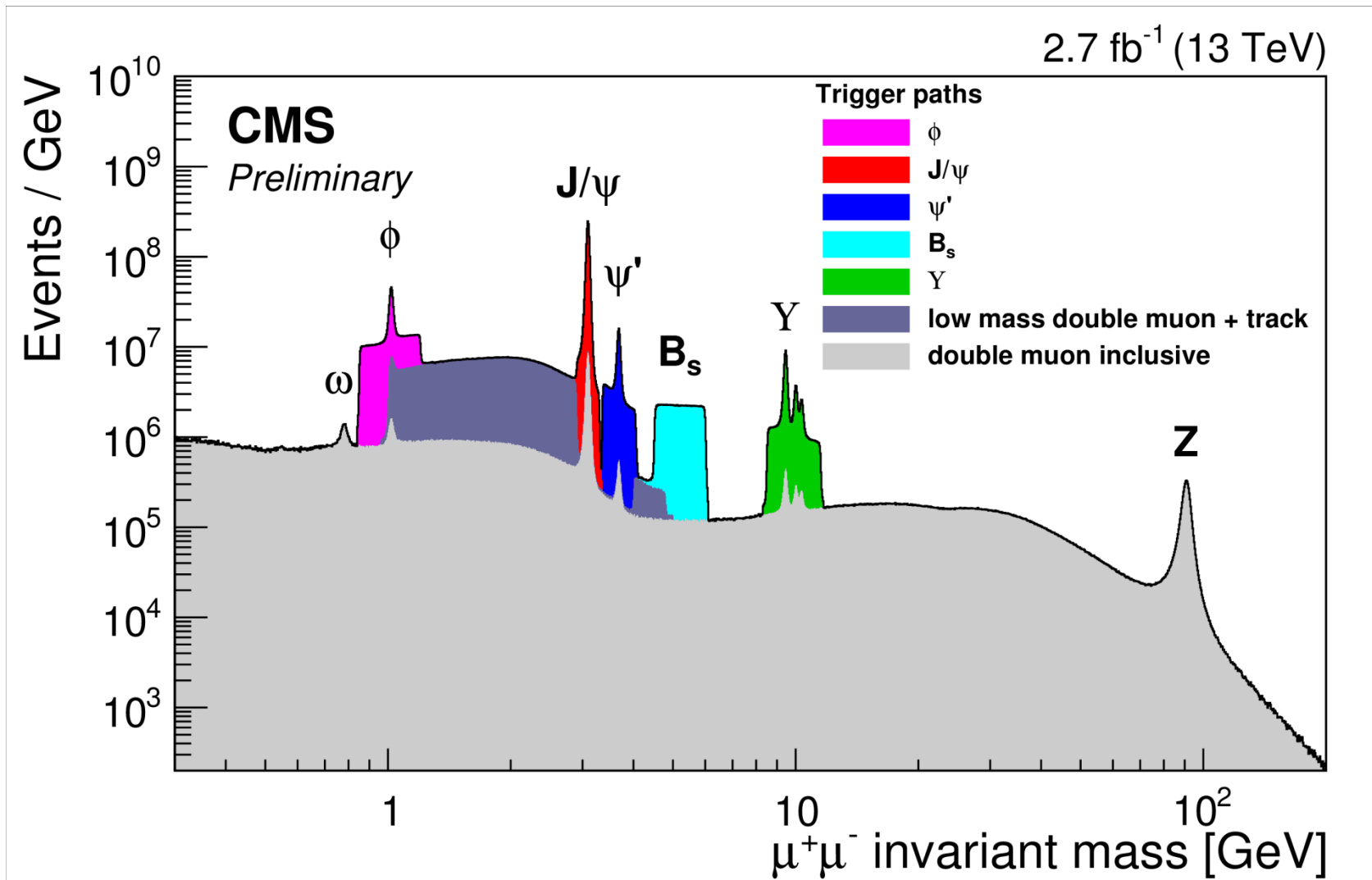
Visit the award-winning web feature *The Particle Adventure* at <http://ParticleAdventure.org>

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.

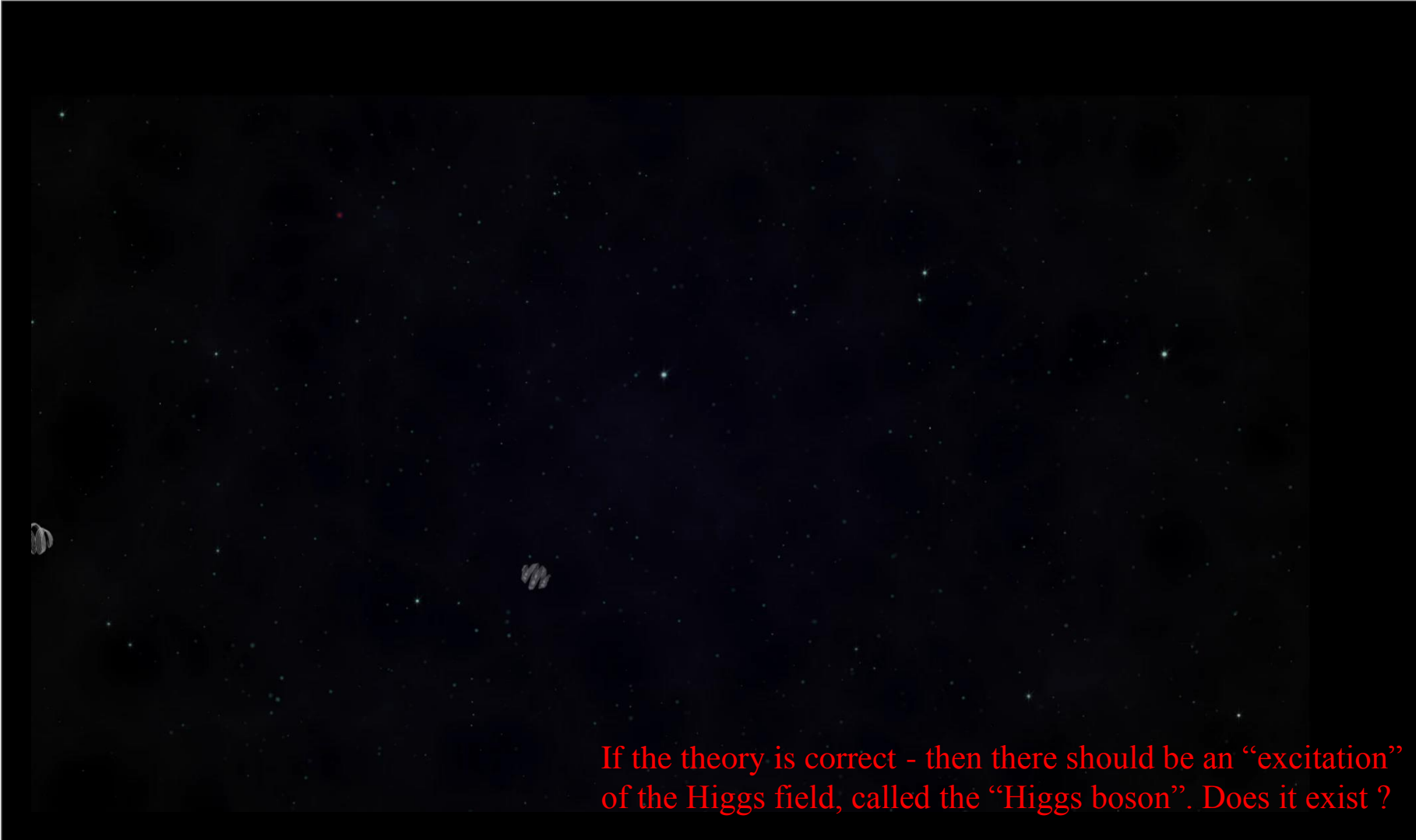
©2000 Contemporary Physics Education Project. CPEP is a non-profit organization of teachers, physicists, and educators. Send mail to: CPEP, MS 50-308, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, 94720. For information on charts, text materials, hands-on classroom activities, and workshops, see:

<http://CPEPweb.org>



$$m = \frac{1}{c^2} \sqrt{E^2 - p^2 c^2},$$

Animation: the Higgs mechanism



If the theory is correct - then there should be an “excitation” of the Higgs field, called the “Higgs boson”. Does it exist ?

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 %

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 персона 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
.....)

Регистриране на Хигс бозон по два канала на разпадане – $H \rightarrow \gamma\gamma$ и $H \rightarrow 4l$

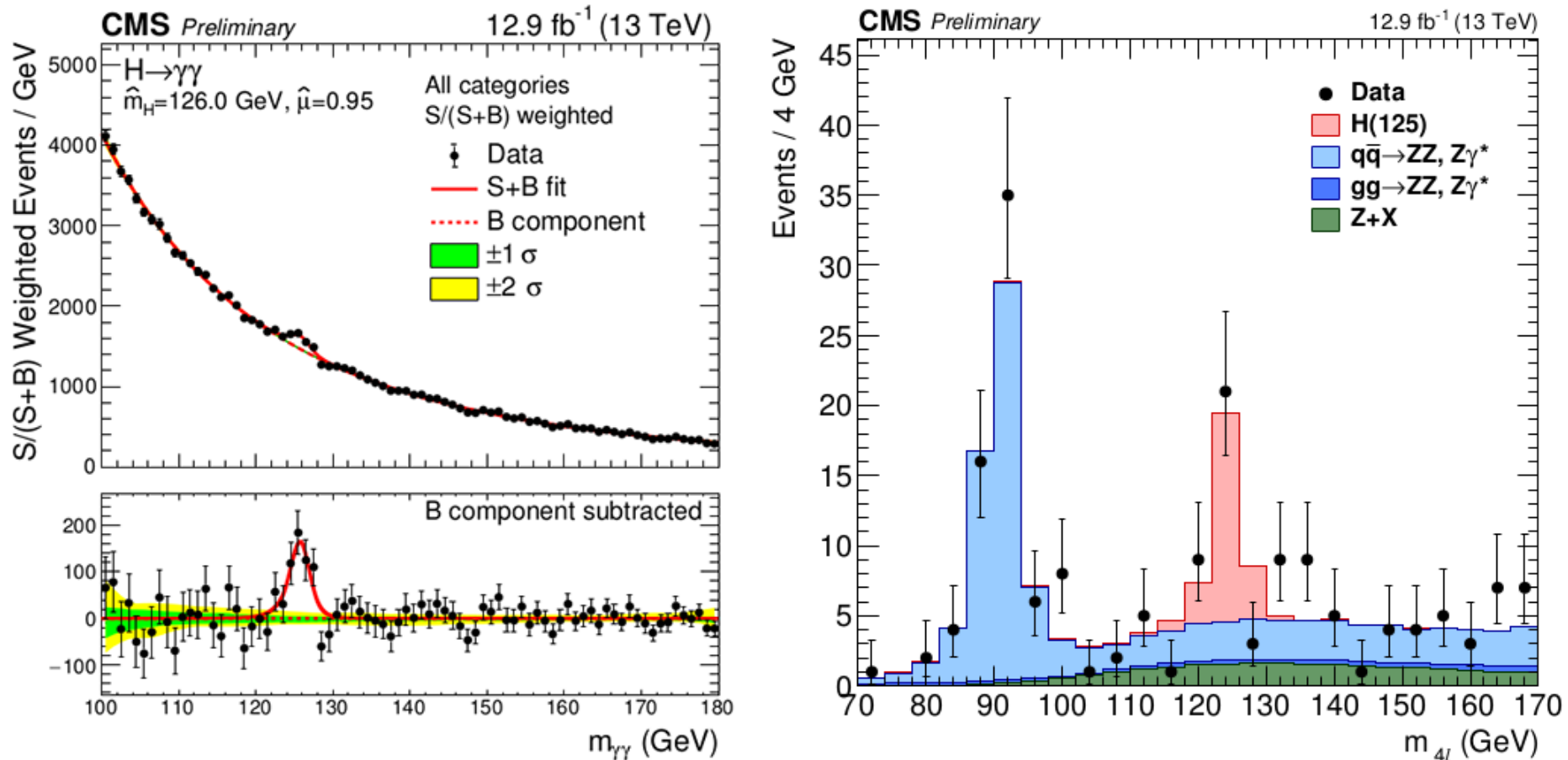
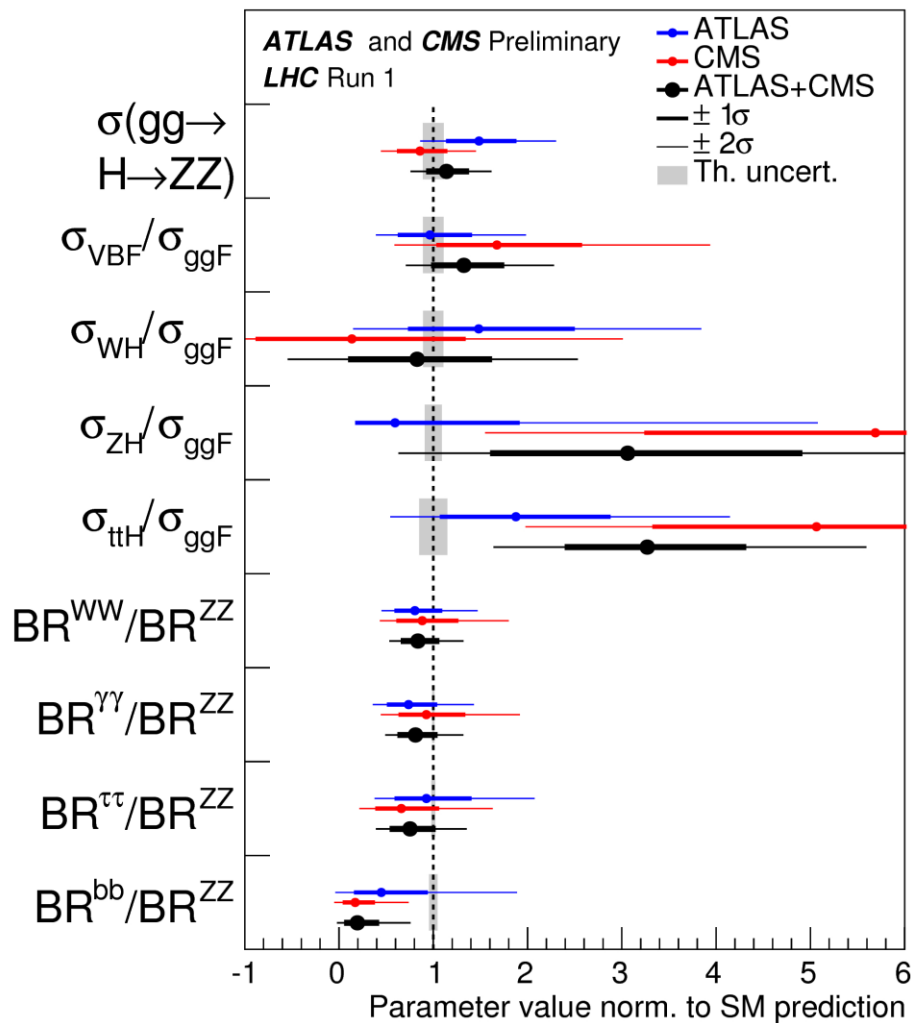


Figure 1: Mass spectra obtained in the 2016 CMS Higgs search using the di-photon (left) and four-lepton (right) decays channels. The significance of the observed signals around 125 GeV is larger than 5 standard deviations in both channels. The analysed data correspond to an integrated luminosity of 13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

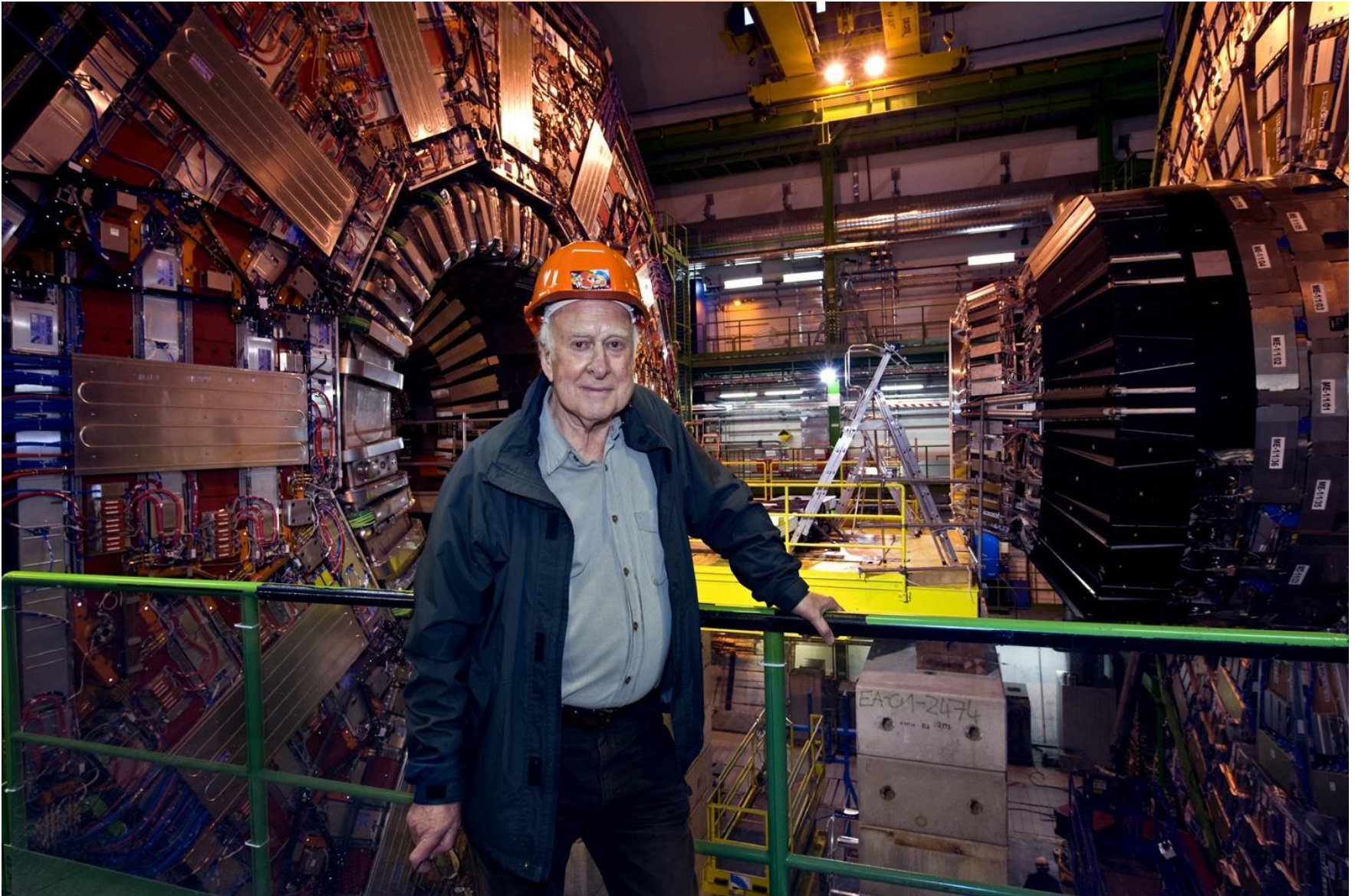
1. Стандартен Модел във Физиката на Елементарните Частичи

Сравнение на масата на наблюдаваният Хигс бозон с предсказаната от Стандартната теория маса



Откритият Хигс бозон съответства на предсказаната от Стандартната теория частица /поле/, не носи информация за разширение на теорията

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. ?

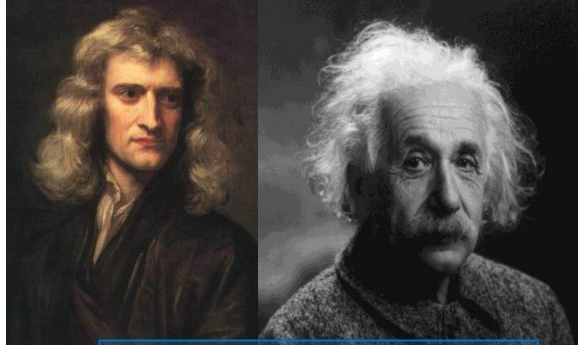
Съотношение материя/антиматерия във Вселената ?

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

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

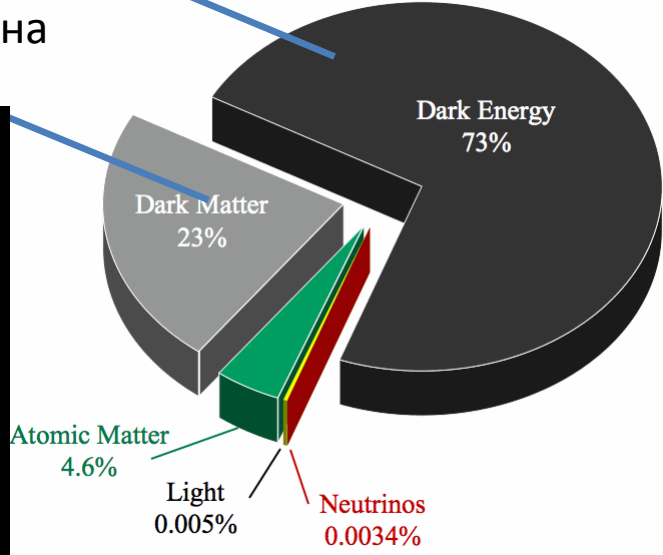
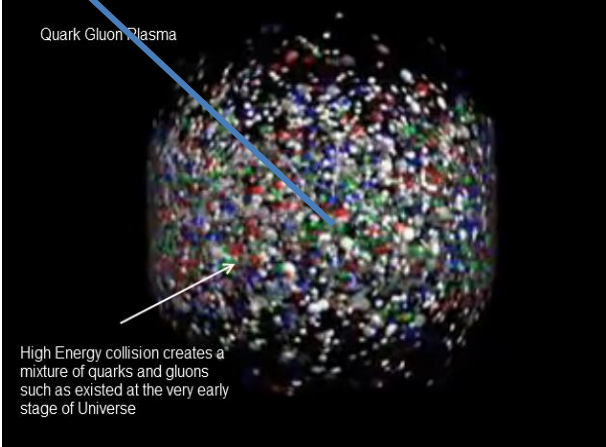
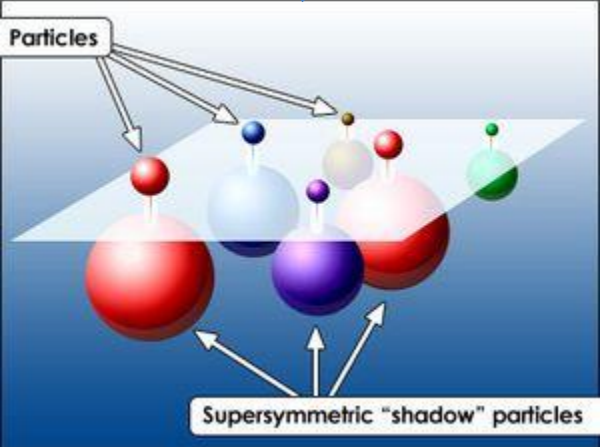
Възможни ли са повече размерности?

Има ли нова симетрия? SUSY?

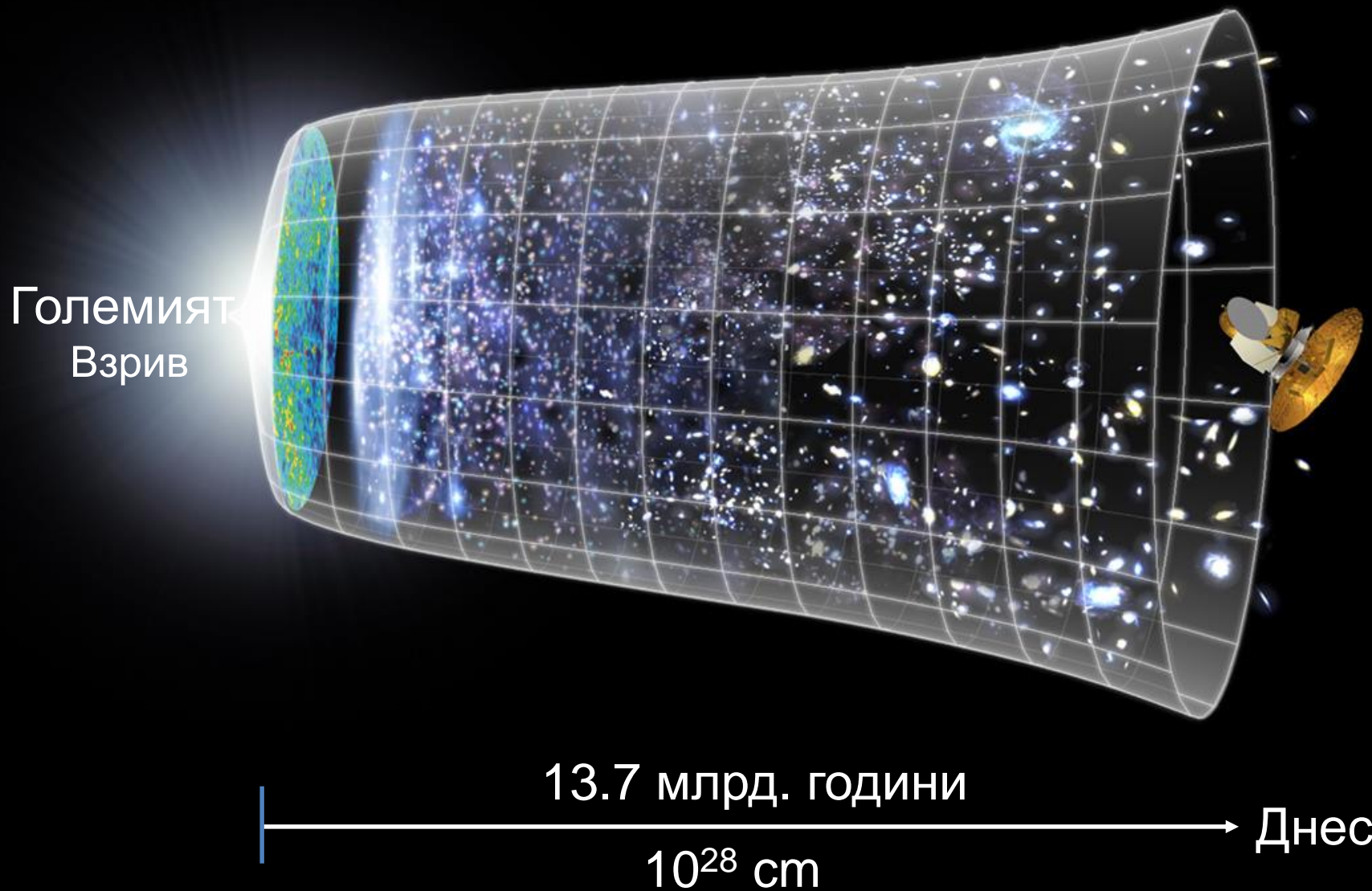


$F = ma$ $E = mc^2$
 Всичко това е правилно.
 Но как един обект става масивен?

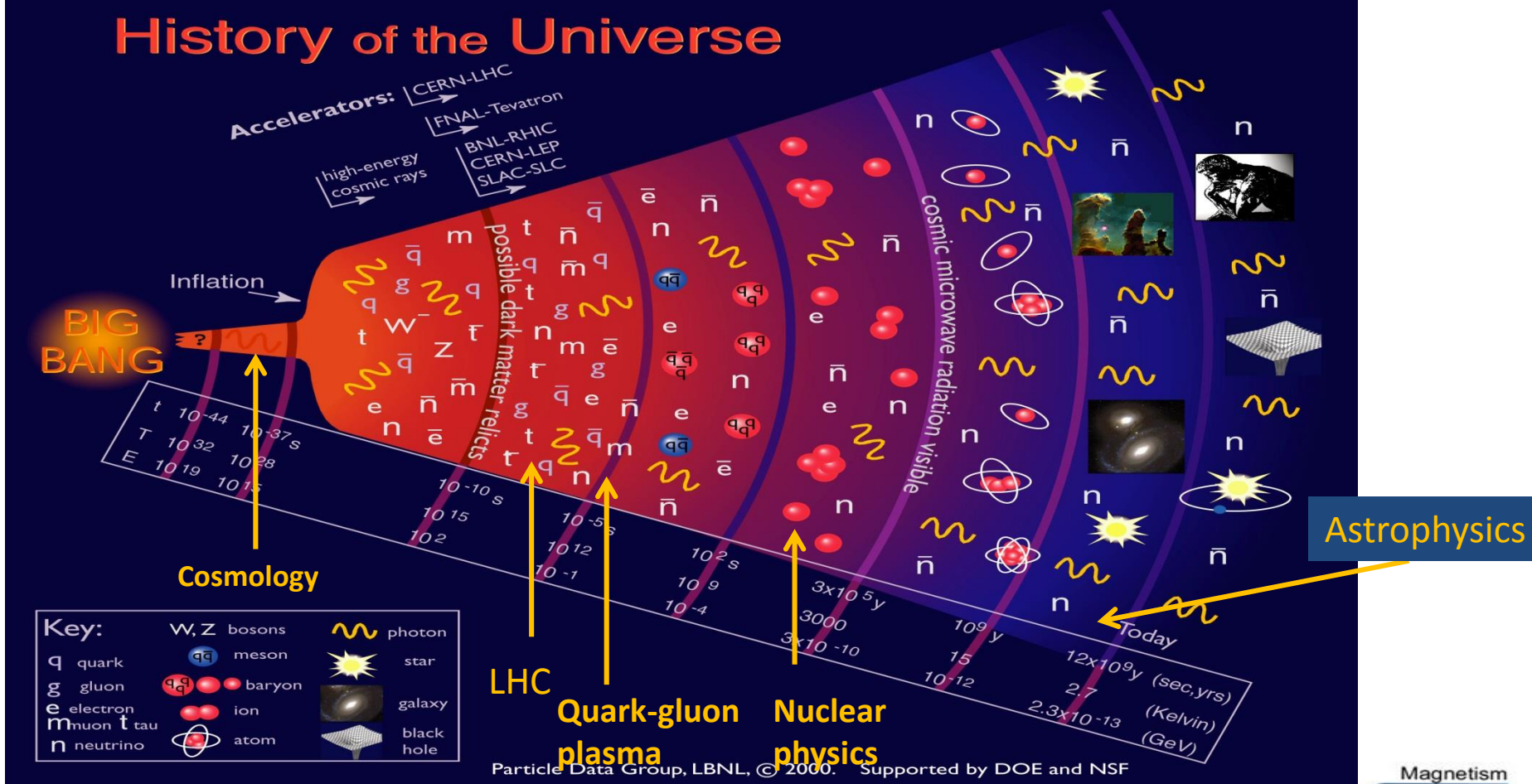
Симулация на кварк глюонна плазма при 2 трилиона К



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

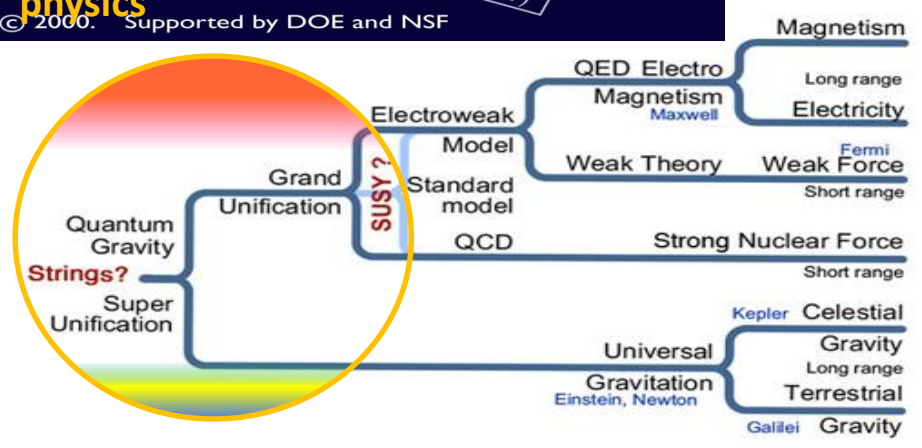


History of the Universe



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 – 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

Инструментариум

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

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

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

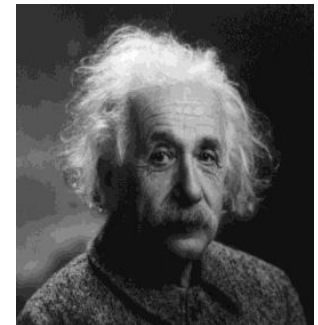
3. Да се изучи младата Вселена ($E = kT$)

И всичко това в Лаборатория – LHC-CERN

de Broglie

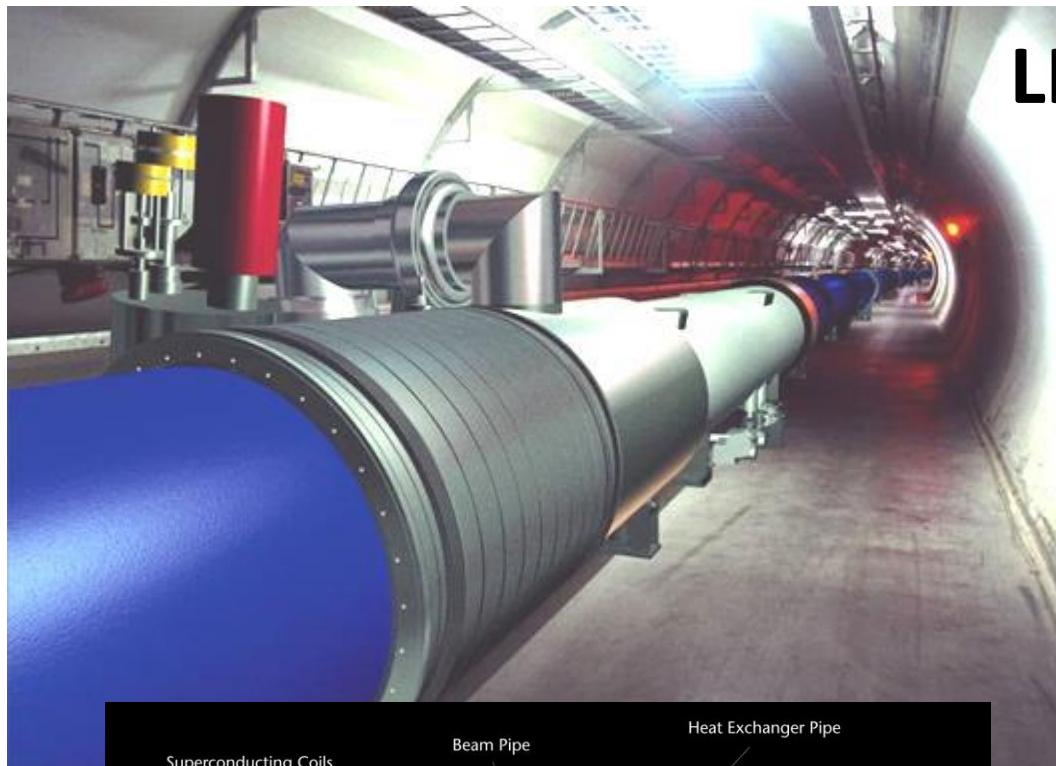


Einstein

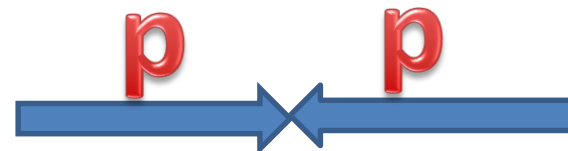


Boltzmann





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

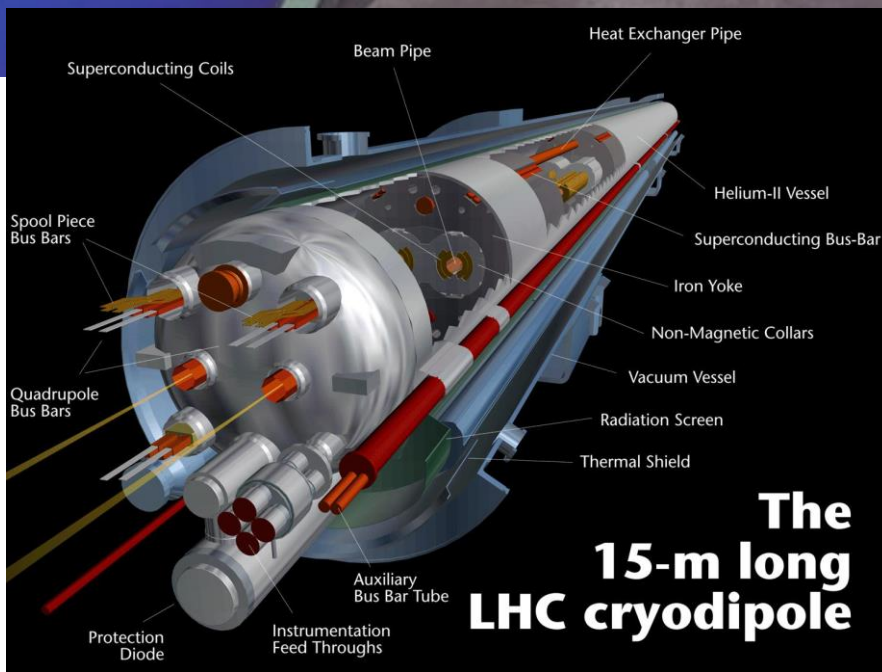
1.5×10^{11} протони

f – честота на обиколки на пакетите от протони

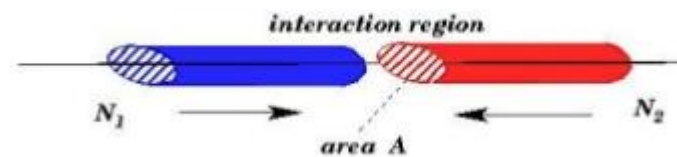
k – брой на пакетите от протони = 2808

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

2021: $\sim 5 \times 10^{34} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ HL-LHC

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. при светимост $10^{34} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$

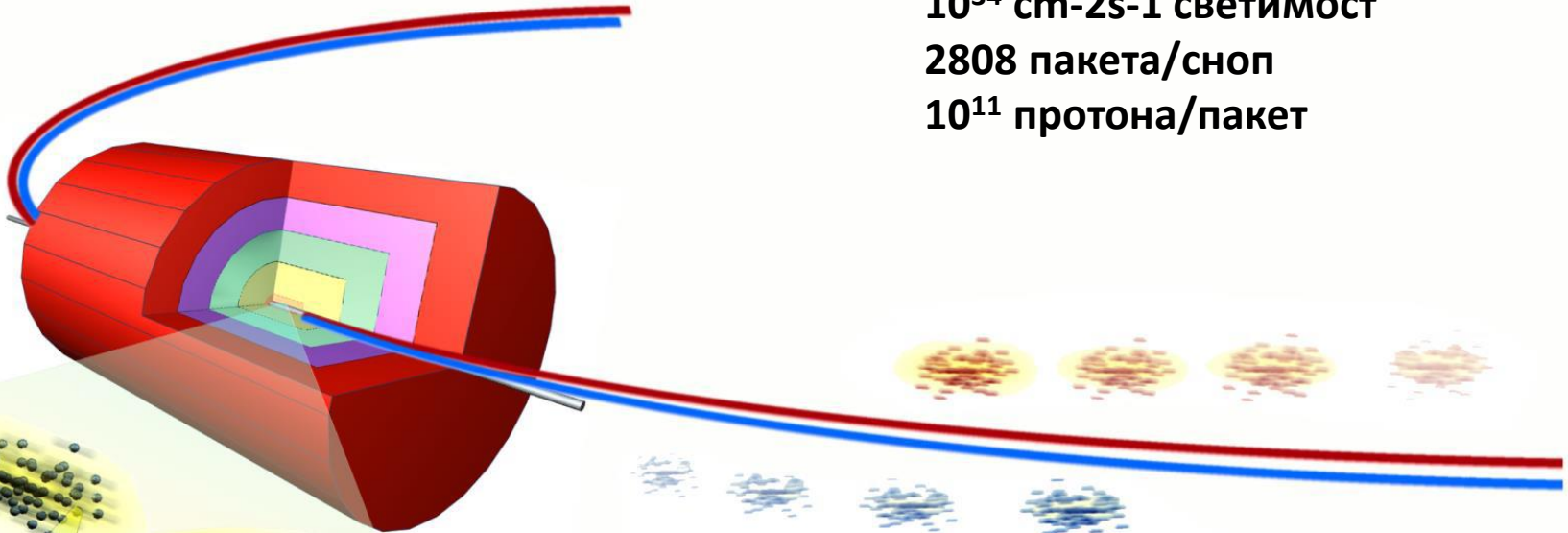
Сравнение на енергиите

	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	

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

LHC

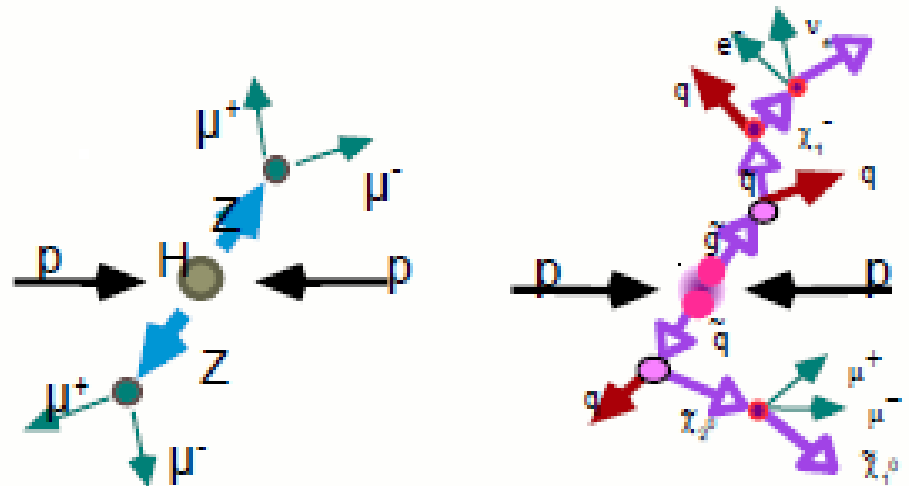
7×10^{12} eV енергия на снопа
 10^{34} cm⁻²s⁻¹ светимост
 2808 пакета/сноп
 10^{11} протона/пакет



пресичане на пакети – 4×10^7 Hz

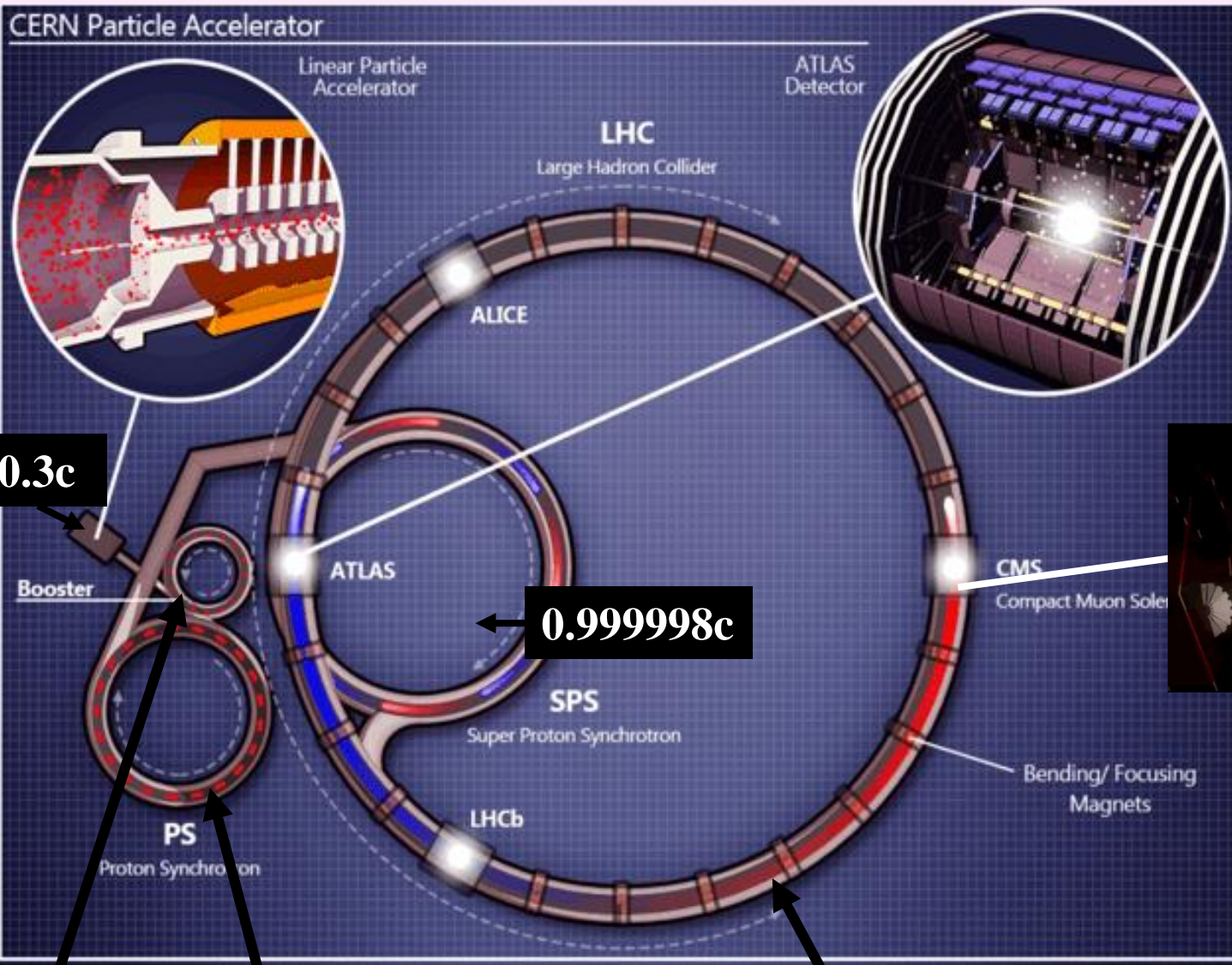
протонни сблъсъци 10^9 Hz
 раждане на нови частици 10^{-5} Hz
 (Higgs, SUSY,...)

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



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

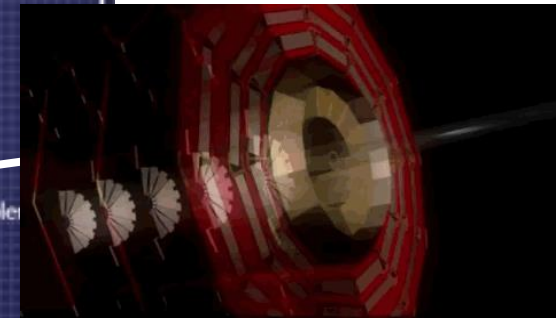
CERN Particle Accelerator



LHC :

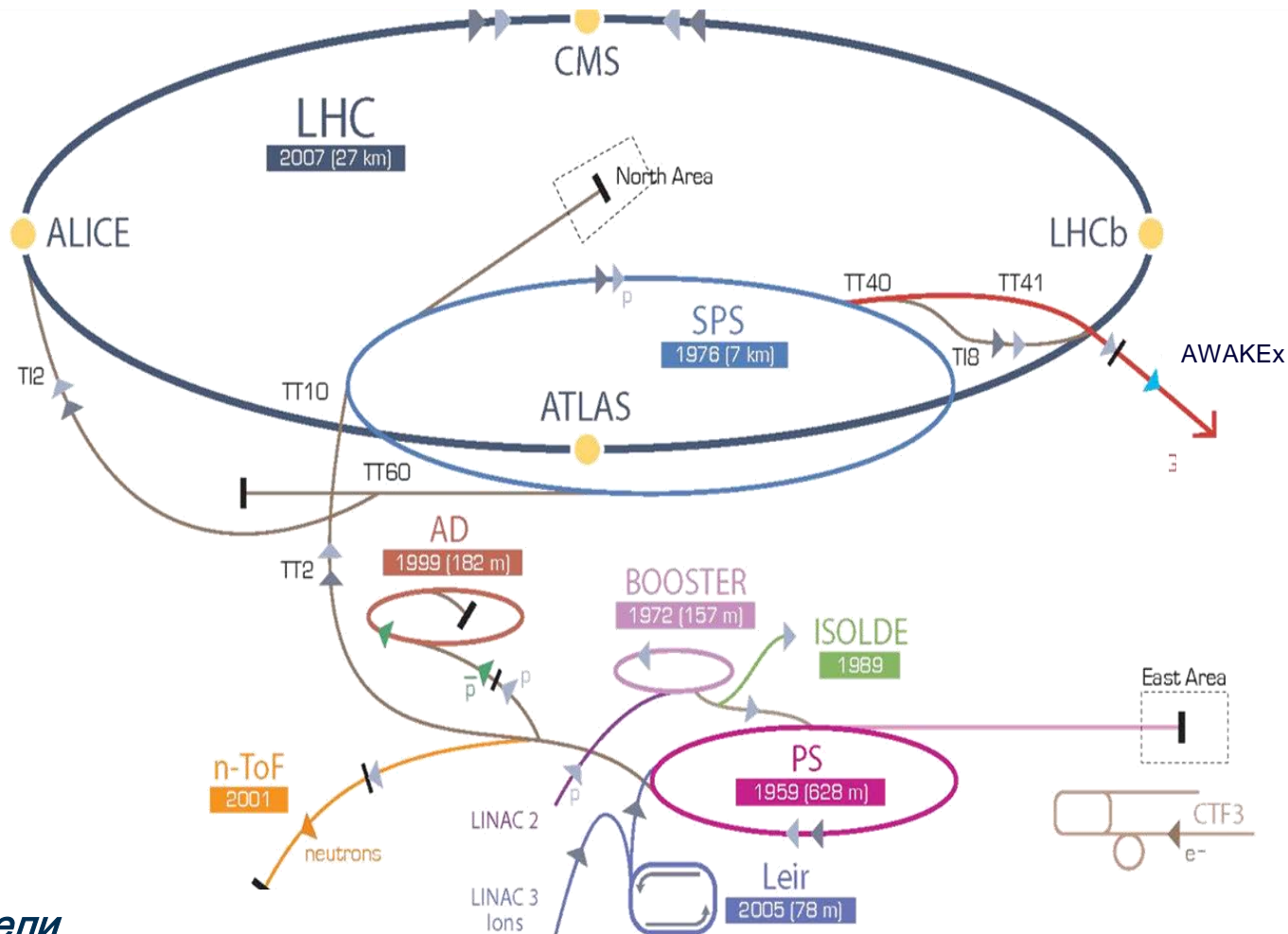
...протоните обикалят със светлинна скорост 27 км тунел в противоположни посоки 11,000 пъти в секунда.

...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.



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

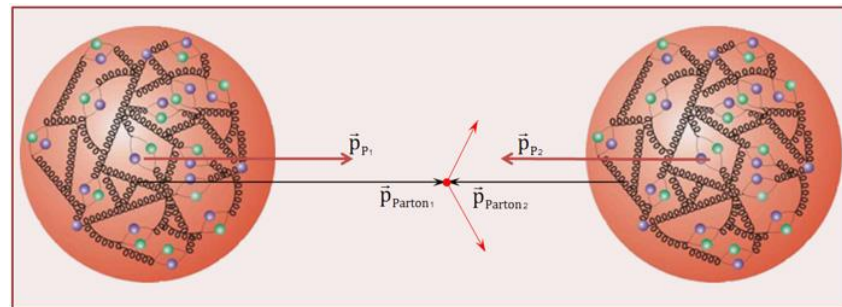
Снопове:

- Протони
- Йони
- Неутрони
- Антипротони
- Електрони

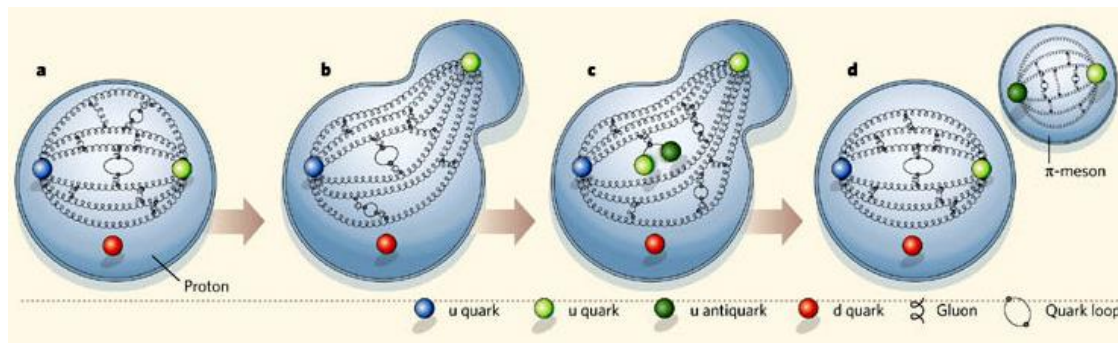
3. Експериментална проверка на Стандартния Модел и нови елементарни частици в експеримента CMS на LHC

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“.

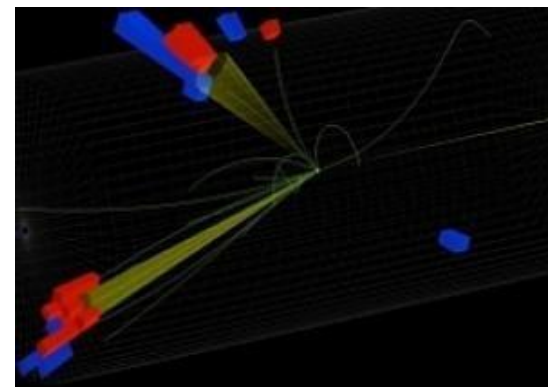
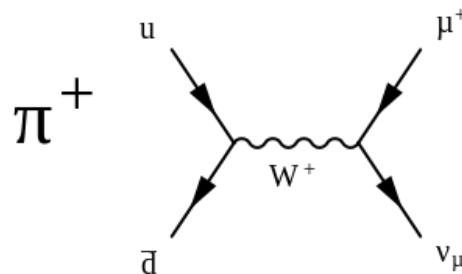


При достатъчно висок импулс един отделен кварк може да се отдели от протона, при това силата на привличане нараства с разстоянието и глюонното поле ражда допълнителни кварк-антикваркови двойки – ражда се пион или различни видове адрони /пиони, каони и др./ при многократното разкъсване на струната свързваща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



Пи мезоните π^\pm имат маса $139.6 \text{ MeV}/c^2$ и време на живот около $2.6033 \times 10^{-8} \text{ s}$, като се разпадат в резултат на слабото взаимодействие. Основният канал на разпад - $99,9877\%$, е лептонен разпад на мюон и мюонно неутрино.

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



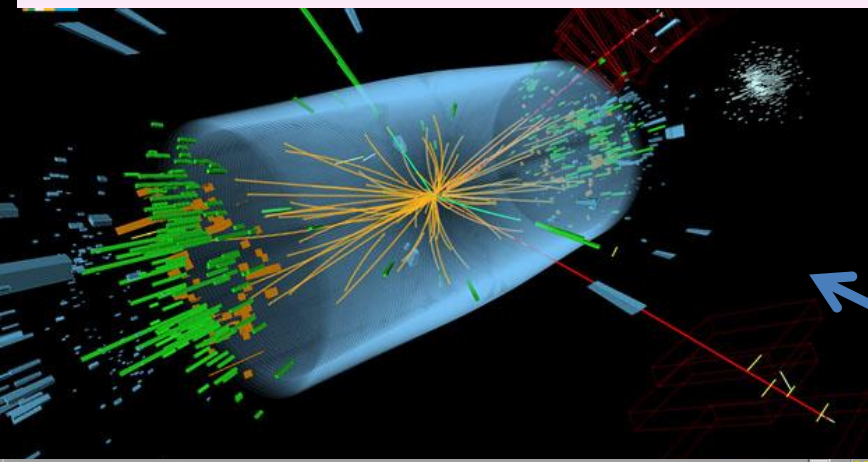
3. Експериментална проверка на Стандартния Модел и нови елементарни частици в експеримента CMS на LHC



LHC

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

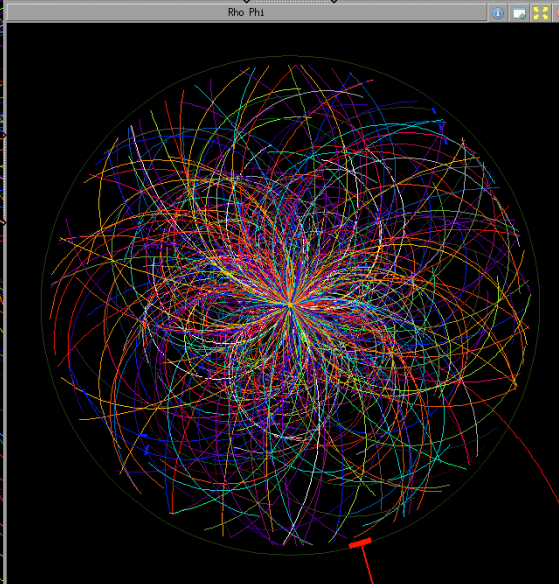
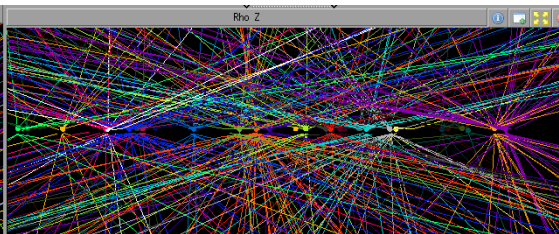
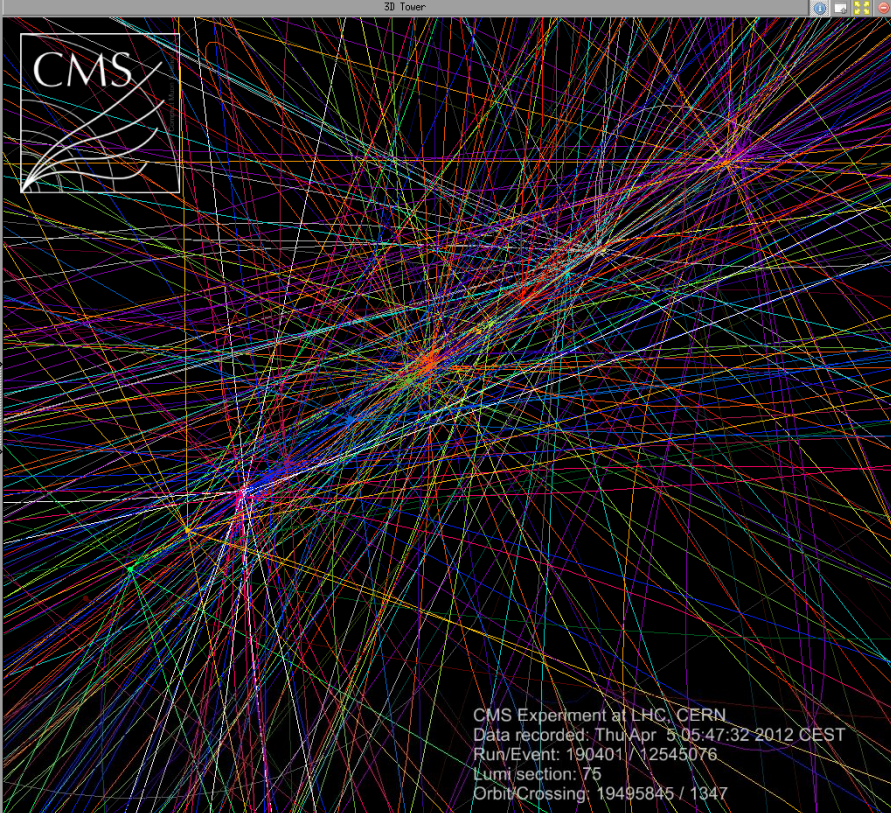
3. Експериментална проверка на Стандартния Модел и нови елементарни частици в експеримента CMS на LHC



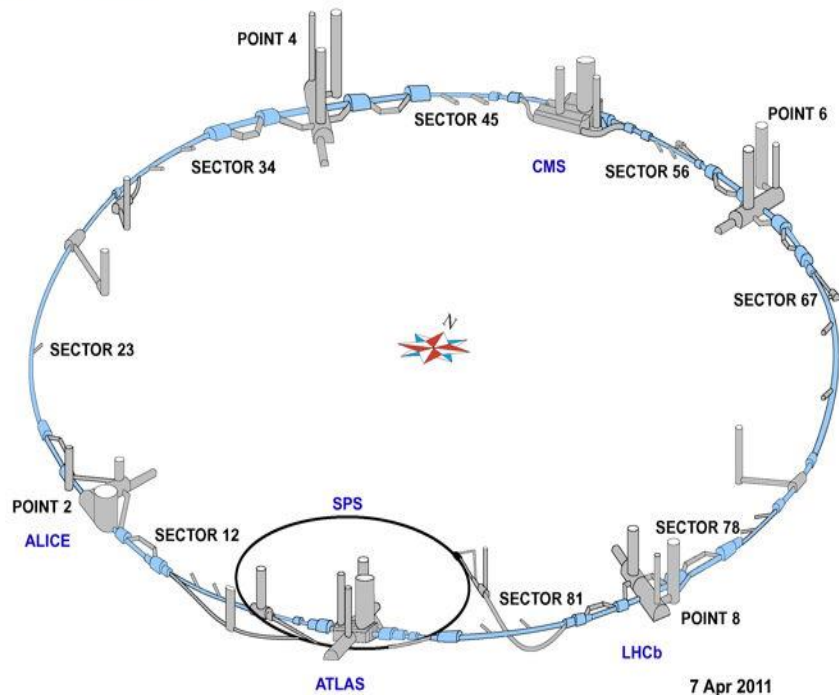
LHC – CMS – запис на 1 събитие

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, през 2020 /HL-LHC/ до 200.



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 4 π

Херметична калориметрична система

Да регистрира направлението и идентифицира заряда и масата на всички частици

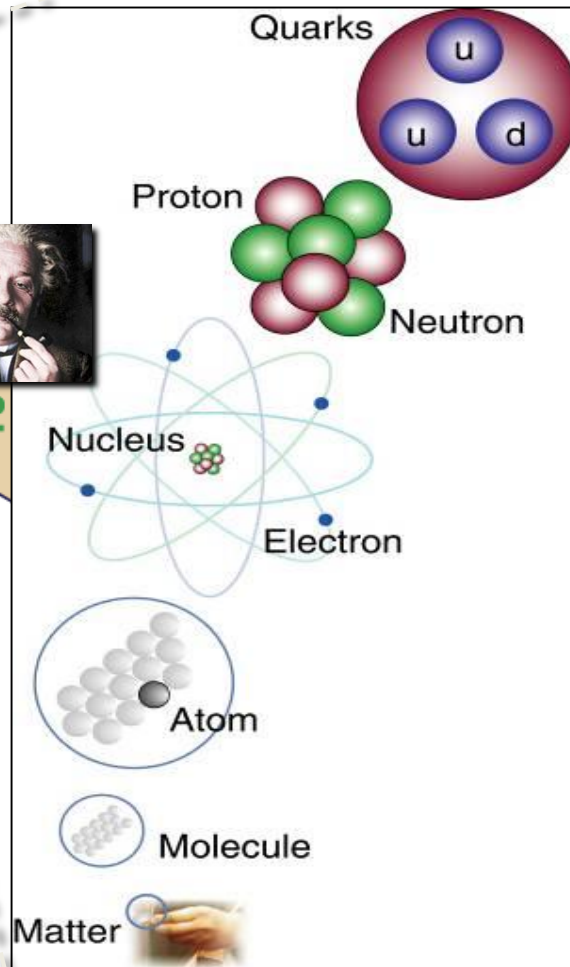
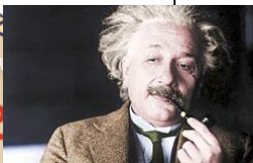
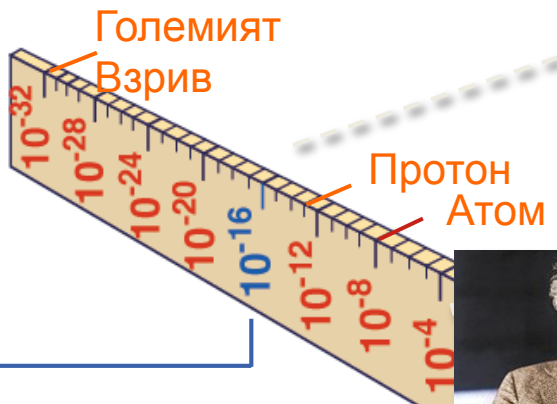
Да измери техния импулс и енергия

Мощна вътрешна трекова система

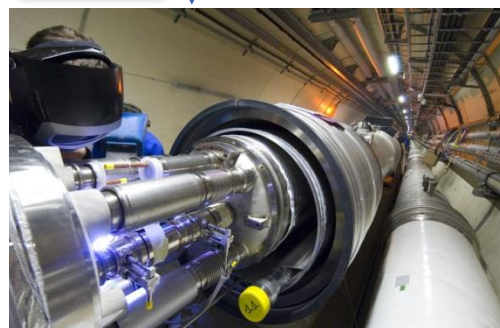
Висока разделителна способност на електромагнитния калориметър

Много добра мюонна идентификация и измерване на импулса

Високо радиационно устойчиви материали



Галактиките



LHC

Свръх Микроскоп



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



Hubble



WMAP

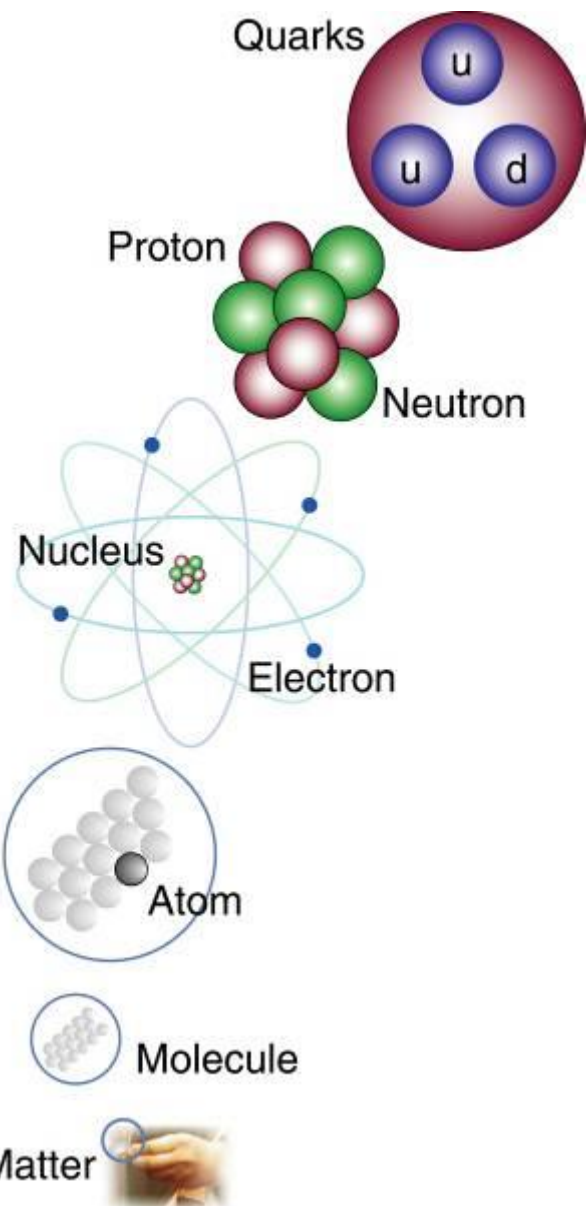


VLT



ALMA

Изучаване на елементарните частици и техните взаимодействия



matter particles

	1st gen.	2nd gen.	3rd gen.
Q U A R K	<i>u</i> <i>up</i>	<i>c</i> <i>charm</i>	<i>t</i> <i>top</i>
	<i>d</i> <i>down</i>	<i>s</i> <i>strange</i>	<i>b</i> <i>bottom</i>
L E P T O N	<i>ν_e</i> <i>e neutrino</i>	<i>ν_μ</i> <i>μ neutrino</i>	<i>ν_τ</i> <i>τ neutrino</i>
	<i>e</i> <i>electron</i>	<i>μ</i> <i>muon</i>	<i>τ</i> <i>tau</i>

guage particles

Strong Force	<i>g</i> <i>Gluon</i>
Electro-Magnetic Force	<i>γ</i> <i>photon</i>
Weak Force	<i>W⁺</i> <i>W⁻</i> <i>Z</i> <i>W bosons</i> <i>Z boson</i>

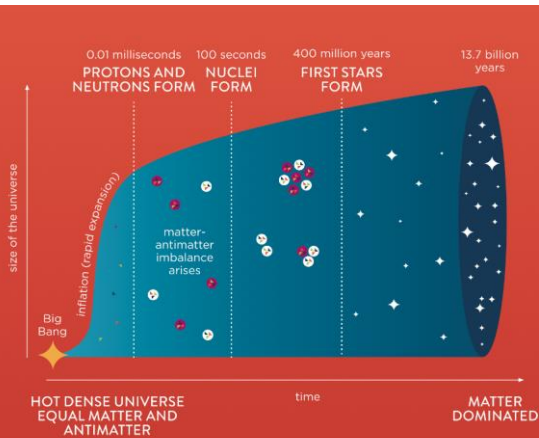
scalar particle(s)

<i>H</i> <i>Higgs</i>			•	•	•
--------------------------	--	--	---	---	---

Elements of the Standard Model

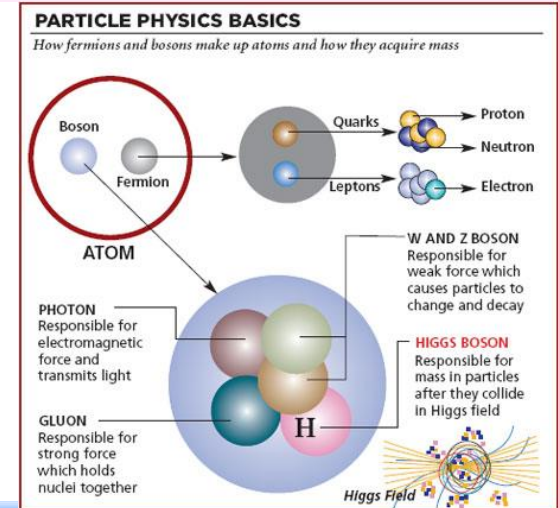
2. Отворени въпроси пред Стандартния Модел

Съотношение материя антиматерия във Вселената?



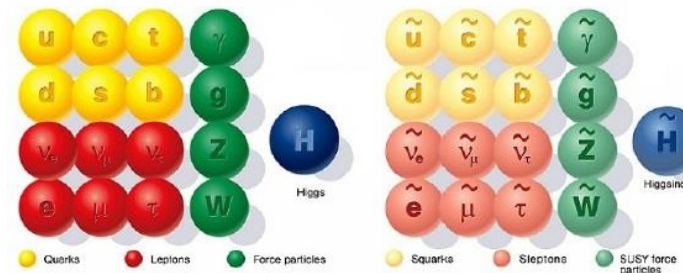
Quarks		Anti-quarks	
u up	d down	\bar{u}	\bar{d}
t top	b bottom	\bar{t}	\bar{b}
s strange	c charm	\bar{s}	\bar{c}
Leptons		Anti-leptons	
e electron	ν_e electron neutrino	e^+	$\bar{\nu}_e$
μ muon	ν_μ muon neutrino	$\bar{\mu}$	$\bar{\nu}_\mu$
τ tau	ν_τ tau neutrino	$\bar{\tau}$	$\bar{\nu}_\tau$

Как се определят масите на е.ч.?
 Съществува ли Хитс бозон извън рамките на Стандартния модел?



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

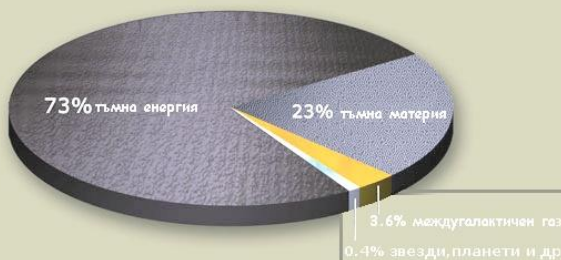
SUPERSYMMETRY



Standard particles

SUSY particles

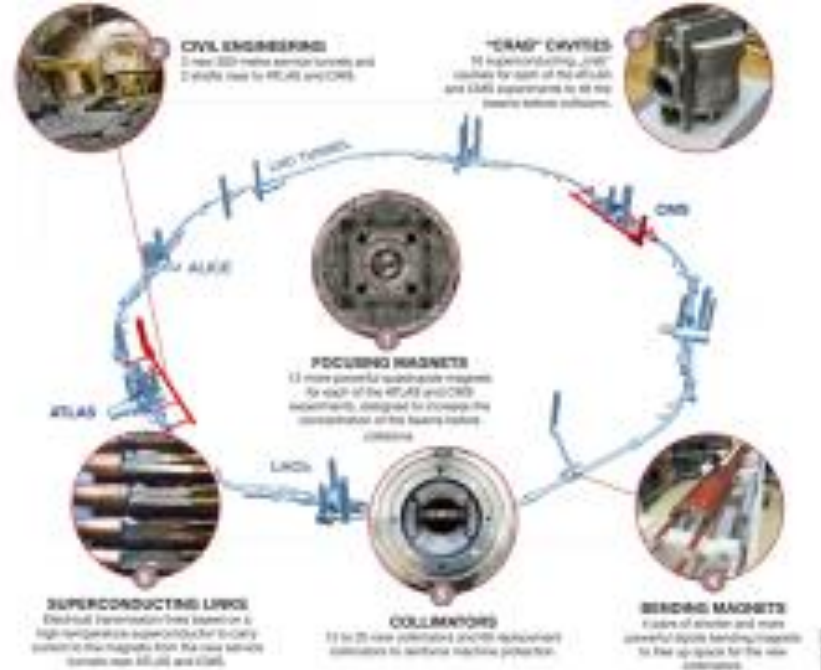
“Тъмна материя” и “тъмна енергия” във Вселената?



Защо имаме 3 генерации на е.ч.?

4. Перспективи на развитие на ЦЕРН – LHC

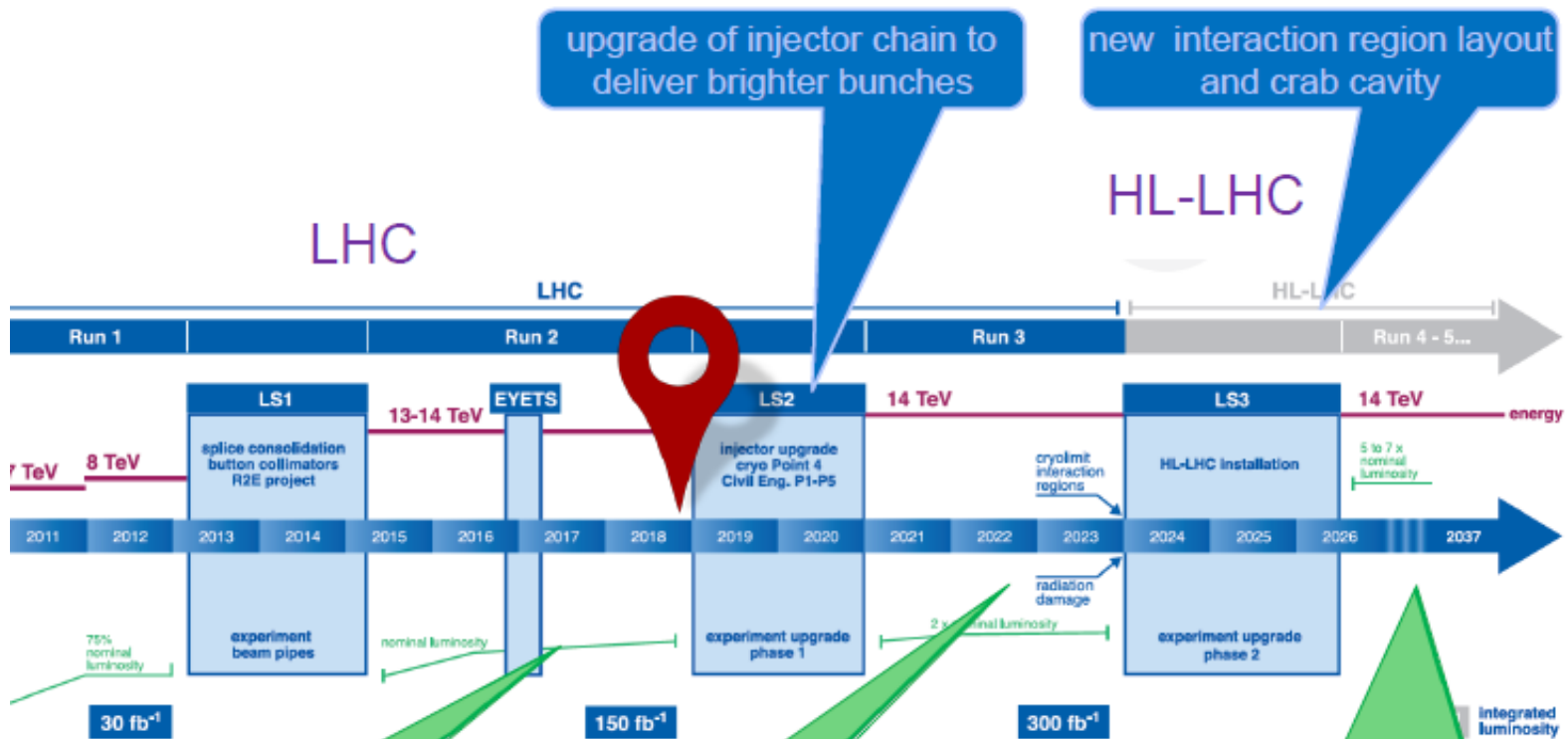
За да се повиши чувствителността на оценка на различните хипотези за разширение на Стандартния модел е необходимо да се модернизира LHC за работа при висока светимост – $5 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ – HL-LHC



LHC / HL-LHC Plan



Перспективи на развитие на LHC -> HL-LHC (до 2037 г.)



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

Run 3:
 $\mathcal{L} = 2 \times 10^{34} / \text{cm}^2 / \text{s}$
for 300/fb

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

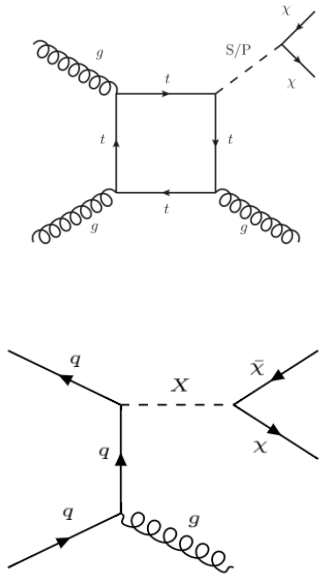
HL-LHC PLAN



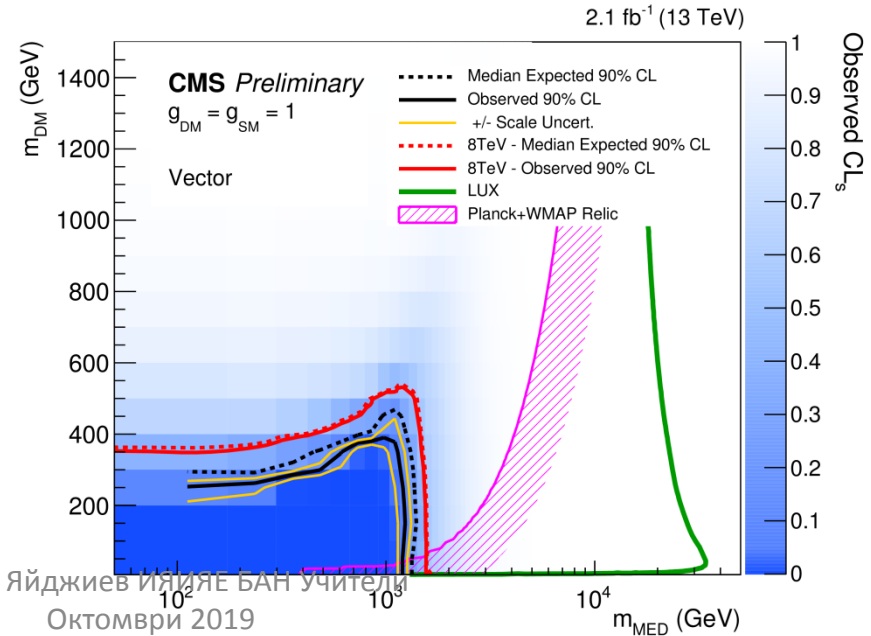
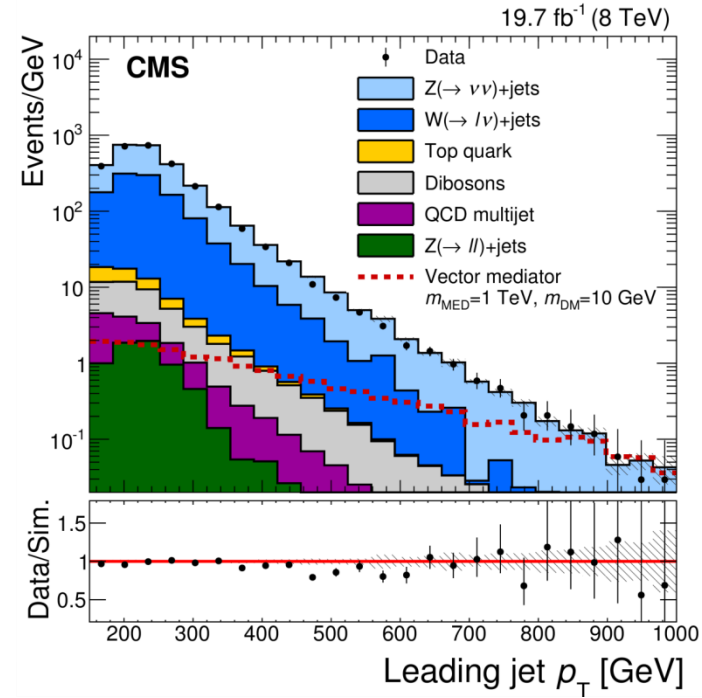
Благодаря Ви за вниманието!



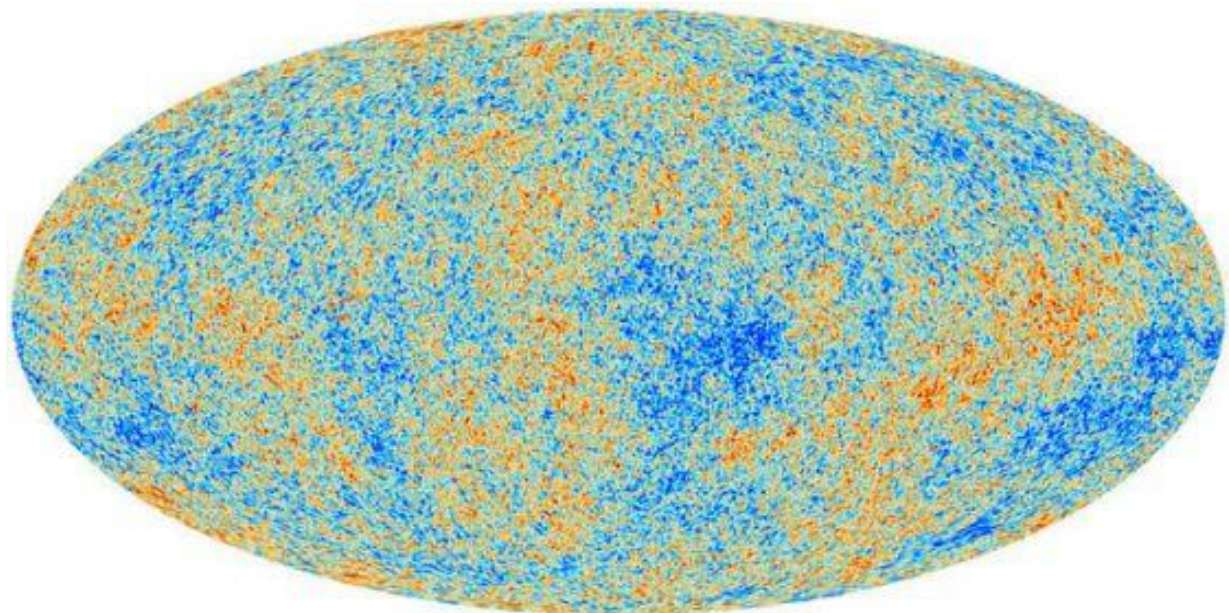
Back up slides



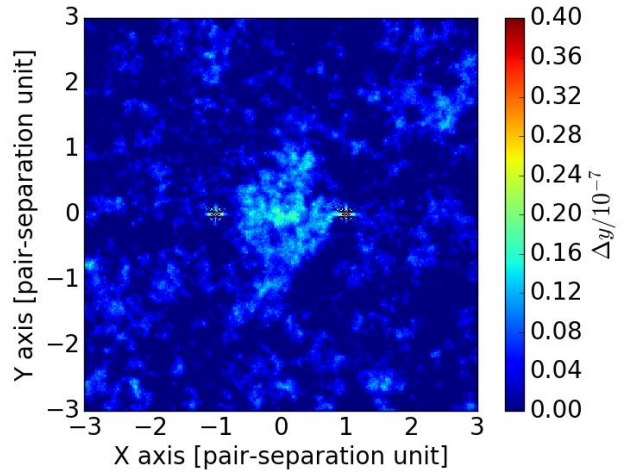
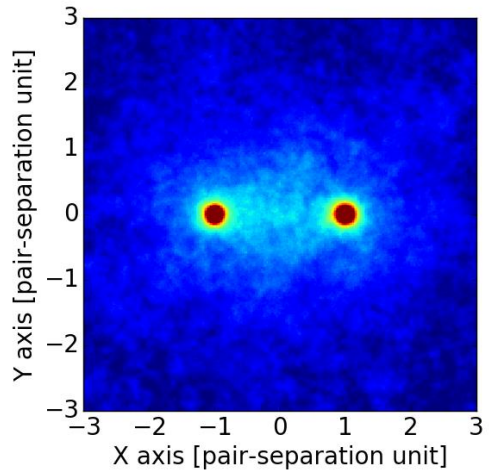
Production diagrams for the monojet for a spin-0 mediator (scalar or pseudoscalar) (a) and a spin-1 mediator (vector or axial) (b)



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



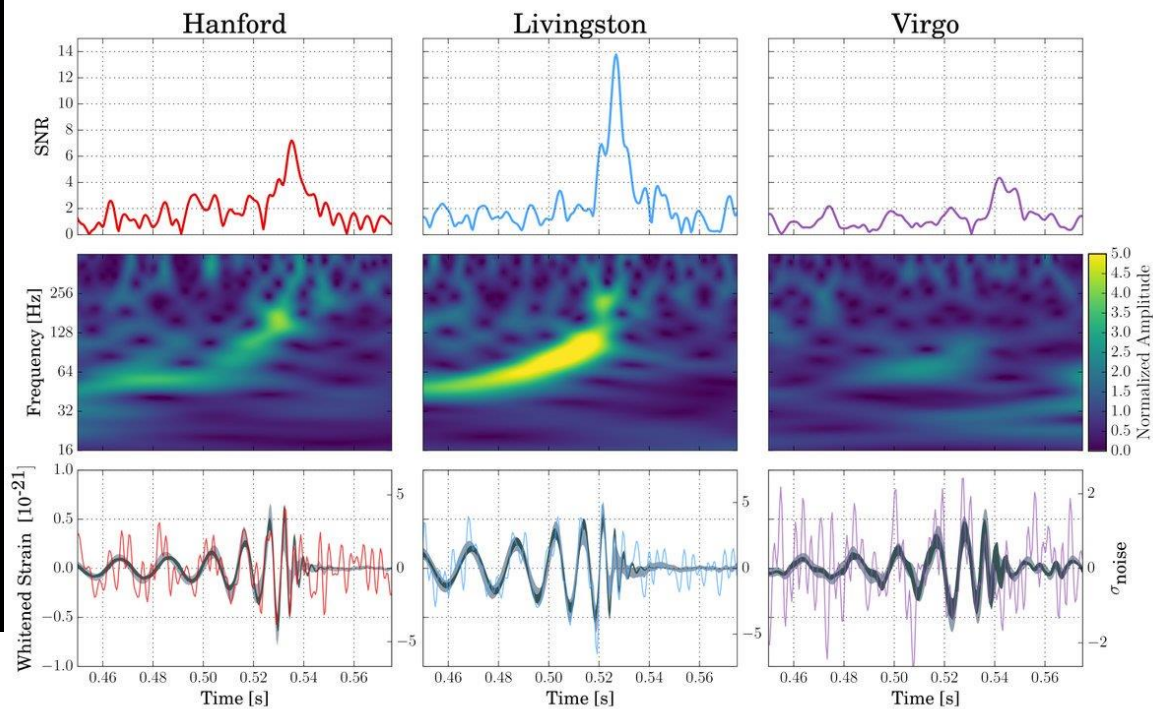
Липсващата материя е от частици, наречени бариони, а не тъмна материя. Тя свързва галактиките заедно чрез нишки от горещ дифузен газ



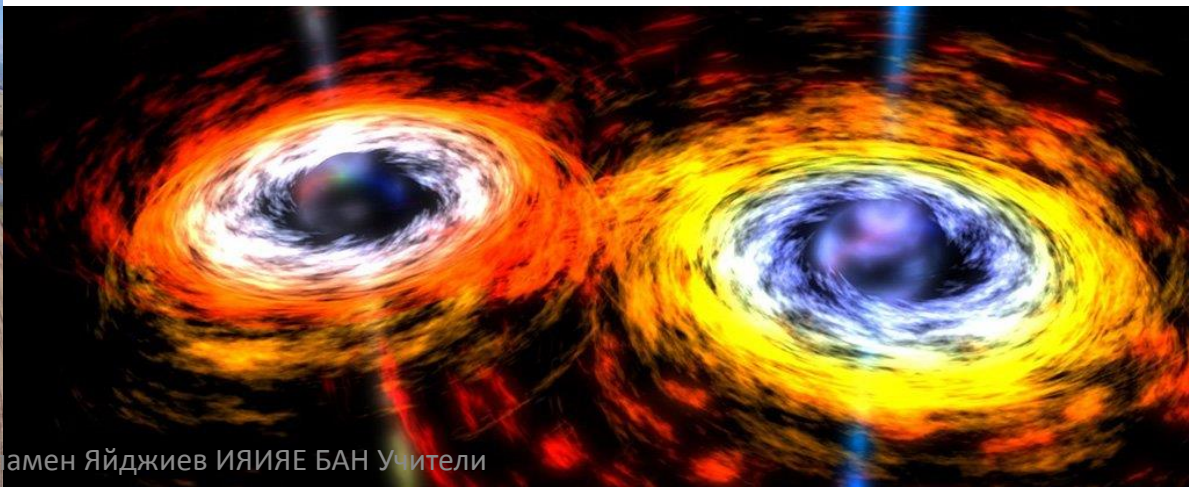
The stacked y map of the central galaxy pairs from the BAHAMAS simulations, at 10 arcsecond angular resolution. Top right: The same y map after the best-fit circular halos are subtracted



LIGO Livingston



Virgo detector (aerial photo)



Пламен Яйджиев ИЯИЯЕ БАН Учители

Октомври 2019
П.Яйджиев – ИЯИЯЕ – БАН

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 94 уроци, постижения и перспективи

Въпросници и оценка на програмата

Октомври 2019



CMS Masterclass in Bulgaria



INTERNATIONAL MASTERCLASSES
HANDS ON PARTICLE PHYSICS
26.03.2018
от 10:00 до 18:00

