

Бозон Хиггса... Наука... ОИЯИ

Как он был открыт, что это сегодня значит, и что из этого следует...

Бедняков В.А.

Лаборатория Ядерных Проблем им. В.П. Джелепова,
Объединенный Институт Ядерных Исследований, Дубна

ЦЕРН, Школа учителей физики,
2.10.2015



- 1 Что такое бозон Хиггса?
 - Откуда это слово?
 - Стандартная модель — это основа!?
 - Почему мы знали, что вот-вот должны найти этот хиггс?
 - Где искать бозон Хиггса?
- 2 Большой Адронный Коллайдер и его детекторы
 - Пример — Детектор АТЛАС
- 3 Новая физика за рамками СМ и решающая роль нейтрино
- 4 Что дальше?
 - БАК — фабрика хиггсов и Суперсимметрии
- 5 Что такое Наука?
 - Почему ей надо заниматься?
- 6 ОИЯИ — это уникальная международная организация Науки!
 - Новая 7-летняя программа



Нобелевская премия по физике 2013



Питер Хиггс



Франсуа Энглер

за теоретическое открытие **механизма**, который помогает нам понять **происхождение масс субатомных частиц** и который был недавно подтвержден благодаря открытию на **Большом адронном коллайдере** новой предсказанной частицы.



Питер Хиггс



Предсказал
существование
бозона Хиггса в

1964 году

Прошел не один десяток лет
безуспешных поисков





Питер Хиггс



Предсказал
существование
бозона Хиггса в

1964 году

4 июля 2012 года

Было объявлено, что бозон Хиггса
наконец-то ~~“пойман”~~

Обнаружен!

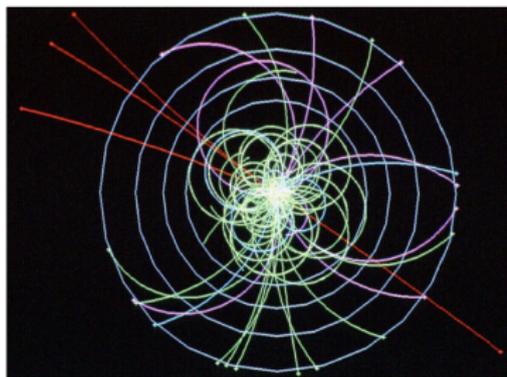




Тимуф Питера Хиггса!

Higgs

Выглядело это примерно так →



И ВОТ ТАК:





- **Higgs. Phys.Lett. 12:132 (1964)**
- **Englert, Brout. PRL 13:321 (1964)**
- **Guralnik, Hagen, Kibble. PRL 13:585 (1964)**



Механизм Энглерта-Браута-Хиггса-Гуральника-Хагена-Киббла



Современная картина (физического) Мира ”в руках” Стандартной Модели

В ней и все (??) ответы ...



Standard Model of FUNDAMENTAL PARTICLES AND INTERACTIONS

The Standard Model is a quantum theory that summarizes our current knowledge of the physics of fundamental particles and fundamental interactions (interactions are manifested by forces and by decay rates of unstable particles).

FERMIONS matter constituents

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 lightest neutrino*	$(0-0.13) \times 10^{-9}$	0	u up	0.002	2/3
e electron	0.000511	-1	d down	0.005	-1/3
ν_{μ} middle neutrino*	$(0.009-0.13) \times 10^{-9}$	0	c charm	1.3	2/3
μ muon	0.106	-1	s strange	0.1	-1/3
ν_{τ} heaviest neutrino*	$(0.04-0.14) \times 10^{-9}$	0	t top	173	2/3
τ tau	1.777	-1	b bottom	4.2	-1/3

*See the neutrino paragraph below.

Spin is the intrinsic angular momentum of particles. Spin is given in units of \hbar , the quantum unit of angular momentum where $\hbar = h/2\pi = 6.58 \times 10^{-25}$ GeV s $\approx 1.05 \times 10^{-34}$ 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 $1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV} \approx 1.60 \times 10^{-10}$ joule. The mass of the proton is $0.938 \text{ GeV}/c^2 = 1.67 \times 10^{-27}$ kg).

Neutrinos

Neutrinos are produced in the sun, supernovae, reactors, accelerator collisions, and many other processes. Any produced neutrino can be described as one of three neutrino flavor states ν_e , ν_{μ} , or ν_{τ} , labeled by the type of charged lepton associated with its production. Each is a defined quantum mixture of the three definite mass neutrinos ν_{1m} , ν_{2m} , and ν_{3m} for which currently allowed mass ranges are shown in the table. Further exploration of the properties of neutrinos may yield powerful clues to puzzles about matter and antimatter and the evolution of stars and galaxy structures.

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., γ , Z^0 , and h_0 or ν_0) are their own antiparticles.

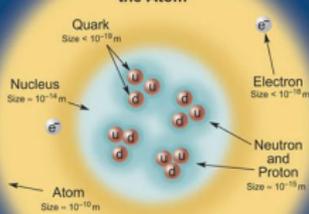
Particle Processes

These diagrams are an artist's conception. Blue-green shaded areas represent the cloud of gluons.

A free neutron (n) decays to a proton (p), an electron (e^-), and an antineutrino ($\bar{\nu}_e$) via a virtual (mediating) W boson. This is neutron β^- (beta) decay.

An electron and positron (e^+e^-) annihilate at high energy. The energy can annihilate to produce B^+ and B^0 mesons via a virtual Z boson or a virtual photon.

Structure within the Atom



If the proton 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

The strengths of the interactions (forces) are shown relative to the strength of the electromagnetic force for two quarks separated by the specified distances.

Property	Gravitational Interaction	Weak Interaction (Electroweak)	Electromagnetic Interaction	Strong Interaction
Acts on:	Mass – Energy	Quarks, Leptons	Electric Charge	Color Charge
Particles experiencing:	All	Flavors, Leptons	Electrically Charged	Quarks, Gluons
Particles mediating:	Graviton (not yet observed)	W^+ W^- Z^0	γ	Gluons
Strength at $\left\{ \begin{array}{l} 10^{-16} \text{ m} \\ 3 \times 10^{-17} \text{ m} \end{array} \right.$	10^{-41} 10^{-41}	0.8 10^{-4}	1 1	25 60

BOSONS force carriers

Unified Electroweak spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0
W^-	80.39	-1
W^+	80.39	+1
Z^0 Z boson	91.188	0

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

Strong (color) spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
g gluon	0	0

Color Charge

Only quarks and gluons carry "strong charge" (also called "color charge") and can have strong interactions. Each quark carries three types of color charge. These charges have nothing to do with the colors of visible light. Just as electrically-charged particles interact by exchanging photons, in strong interactions, color-charged particles interact by exchanging gluons.

Quarks Confined in Mesons and Baryons

Quarks and gluons cannot be isolated – they are confined in color-neutral particles called hadrons. This confinement (and/or) 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. 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). Among the many types of baryons observed are the proton (uud), antiproton ($\bar{u}\bar{u}\bar{d}$), neutron (udd), lambda Λ (uds), and omega Ω^- (sss). Color charges add in such a way as to make the proton have charge +1 and the neutron charge 0. Among the many types of mesons are the pions π^+ ($u\bar{d}$), kaon K^+ ($u\bar{s}$), B^0 ($d\bar{s}$), and J/ψ ($c\bar{c}$). Their charges are +1, -1, 0, or 0, respectively.

Visit the award-winning web feature [The Particle Adventure at ParticleAdventure.org](http://TheParticleAdventure.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, DOE Contemporary Physics Education Project, CPEP is a non-profit organization of teachers, physicists, and educators. For more information see CPEPweb.org

Unsolved Mysteries

Driven by new puzzles in our understanding of the physical world, particle physicists are following paths to new theories and startling discoveries. Experiments may even find extra dimensions of space, mini-black holes, and/or evidence of string theory.

Universe Accelerating?

The expansion of the universe appears to be accelerating. Is this due to Einstein's Cosmological Constant? If not, will experiments reveal a new force of nature or even extra (hidden) dimensions of space?

Why No Antimatter?

Matter and antimatter were created in the Big Bang. Why do we now see only matter except for the tiny amounts of antimatter that we make in the lab and observe in cosmic rays?

Dark Matter?

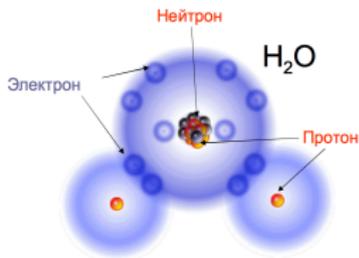
Invisible forms of matter make up much of the mass observed in galaxies and clusters of galaxies. Does this dark matter consist of new types of particles that interact very weakly with ordinary matter?

Origin of Mass?

In the Standard Model, for fundamental particles to have masses, there must exist a particle called the Higgs boson. Will it be discovered soon? Is superstring theory correct in predicting more than one type of Higgs?



Из чего все состоит?



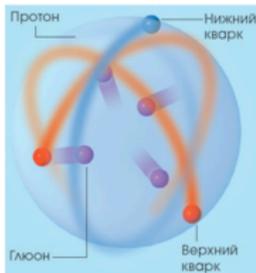
Капля воды содержит около 10^{21} молекул H_2O

Размер ядра примерно $10^{-14} - 10^{-15}$ м

Если диаметр протона был бы 10 см, то размер атома составил бы 10 км!

Электромагнитное взаимодействие удерживает ядро и электроны в атоме.

Что там внутри протона?

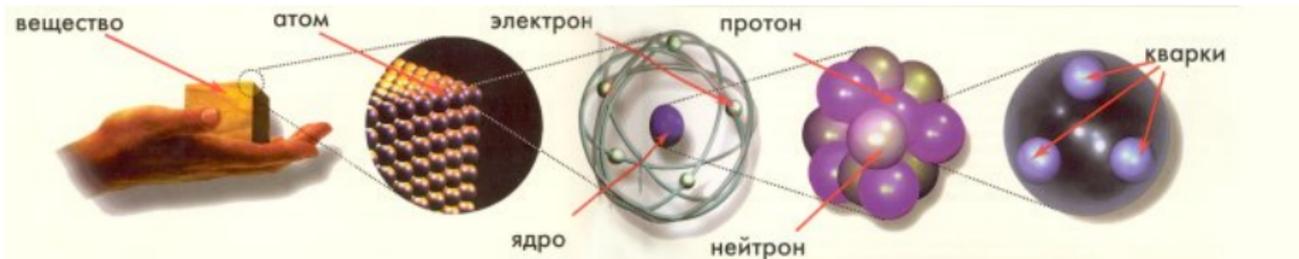


Кварки и глюоны - элементарные частицы, размеры которых $< 10^{-19}$ м.

Бывают трех цветов

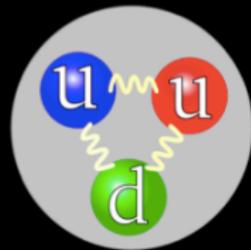
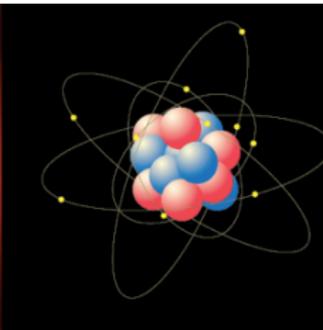
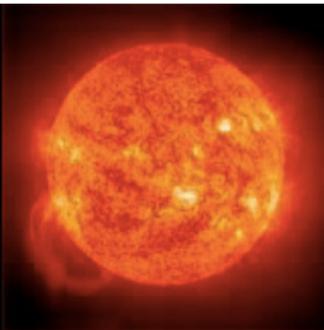
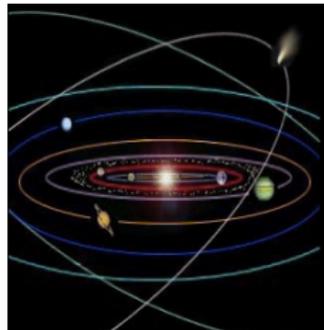
Адроны — частицы, составленные из кварков и подверженные сильному взаимодействию.

Сильное взаимодействие удерживает кварки в протоне (глюоны «склеивают» кварки вместе).





А также к 4-м известным силам Природы

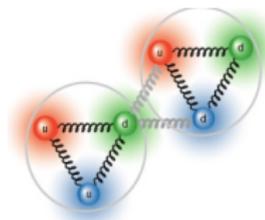
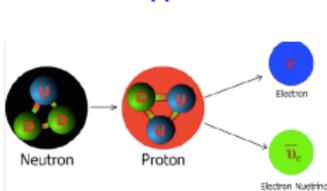
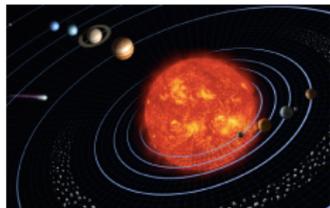


Гравитация

Слабые взаимодействия

Электромагнетизм

Сильные



Сила = 1

Сила = 10^{25}

Сила = 10^{36}

Сила = 10^{38}



Все они "объединились" в одну Стандартную Модель

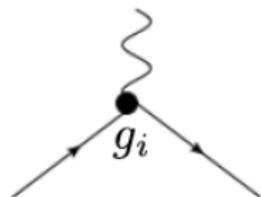
Кварки		Лептоны		Бозоны
 верхний	 нижний	 электрон	 нейтрино e	 фотон
 очарованный	 странный	 мюон	 нейтрино μ	 глюон
 истинный	 прелестный	 тау-лептон	 нейтрино τ	 $Z^0 W^\pm$
				 бозон Хиггса

The Standard Model

A. Pich - CERN Summer Lectures 2003

СМ описывает
локальные
 взаимодействия
 частиц:

- сильное
- слабое (распады)
- электромагнитное
- электро-слабое



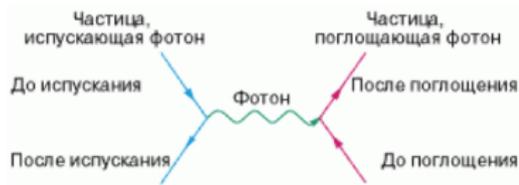
Кварки и лептоны (фермионы, спин = 1/2) — составляющие частицы материи
 Бозоны (спин = 0, 1) — переносчики взаимодействий



Стандартная Модель — это специальным образом организованный **состав полей** (частиц) + строго определенный характер взаимодействия между ними (т.н. $SU(2)_L \times U(1) \times SU(3)$ симметрия) + **механизм Хиггса**.

Квантовая Механика — дальнедействующая, сила (информация?) передается мгновенно. Квантовая теория поля — короткодействующая. Здесь поле — та субстанция (ее кванты), которая локально осуществляет взаимодействие (между частицами материи).

Локально — значит через переносчика взаимодействия в одной точке, т.е. посредством **квантов поля** (после т.н. процедуры вторичного квантования этого поля):



$$\varphi(x) = \int \frac{d^3q}{(2\pi)^3 2E} (e^{-iqx} a(q) + e^{iqx} a^\dagger(q)),$$

$a^\dagger(q)|0\rangle \neq 0 \rightarrow$ образует состояние с одной частицей, импульс q . $|0\rangle$ — вакуум.

Частицы, которые мы ищем и находим — это кванты соответствующего поля, возбужденные состояния около минимума энергии (вакуума).

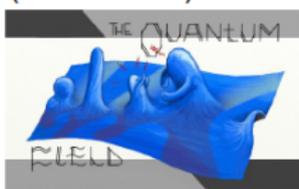


$$\begin{aligned}\mathcal{L}_{GWS} = & \sum_f (\bar{\Psi}_f (i\gamma^\mu \partial_\mu - m_f) \Psi_f - eQ_f \bar{\Psi}_f \gamma^\mu \Psi_f A_\mu) + \\ & + \frac{g}{\sqrt{2}} \sum_i (\bar{a}_L^i \gamma^\mu b_L^i W_\mu^+ + \bar{b}_L^i \gamma^\mu a_L^i W_\mu^-) + \frac{g}{2c_w} \sum_f \bar{\Psi}_f \gamma^\mu (I_f^3 - 2s_w^2 Q_f - I_f^3 \gamma_5) \Psi_f Z_\mu + \\ & - \frac{1}{4} |\partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu - ie(W_\mu^- W_\nu^+ - W_\mu^+ W_\nu^-)|^2 - \frac{1}{2} |\partial_\mu W_\nu^+ - \partial_\nu W_\mu^+ + \\ & - ie(W_\mu^+ A_\nu - W_\nu^+ A_\mu) + ig' c_w (W_\mu^+ Z_\nu - W_\nu^+ Z_\mu)|^2 + \\ & - \frac{1}{4} |\partial_\mu Z_\nu - \partial_\nu Z_\mu + ig' c_w (W_\mu^- W_\nu^+ - W_\mu^+ W_\nu^-)|^2 + \\ & - \frac{1}{2} M_\eta^2 \eta^2 - \frac{g M_\eta^2}{8 M_W} \eta^3 - \frac{g'^2 M_\eta^2}{32 M_W} \eta^4 + |M_W W_\mu^+ + \frac{g}{2} \eta W_\mu^+|^2 + \\ & + \frac{1}{2} |\partial_\mu \eta + i M_Z Z_\mu + \frac{ig}{2c_w} \eta Z_\mu|^2 - \sum_f \frac{g}{2} \frac{m_f}{M_W} \bar{\Psi}_f \Psi_f \eta\end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{GWS} = & \sum_f (\bar{\Psi}_f (i\gamma^\mu \partial_\mu - m_f) \Psi_f - e Q_f \bar{\Psi}_f \gamma^\mu \Psi_f A_\mu) + \\ & + \frac{g}{\sqrt{2}} \sum_i (\bar{a}_L^i \gamma^\mu b_L^i W_\mu^+ + \bar{b}_L^i \gamma^\mu a_L^i W_\mu^-) + \frac{g}{2c_w} \sum_f \Psi_f \gamma^\mu (I_f^3 - 2s_w^2 Q_f - I_f^3 \gamma_5) \Psi_f Z_\mu + \\ & - \frac{1}{4} |\partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu - ie(W_\mu^- W_\nu^+ - W_\mu^+ W_\nu^-)|^2 - \frac{1}{2} |\partial_\mu W_\nu^+ - \partial_\nu W_\mu^+ + \\ & - ie(W_\mu^+ A_\nu - W_\nu^+ A_\mu) + ig' c_w (W_\mu^+ Z_\nu - W_\nu^+ Z_\mu)|^2 + \\ & - \frac{1}{4} |\partial_\mu Z_\nu - \partial_\nu Z_\mu + ig' c_w (W_\mu^- W_\nu^+ - W_\mu^+ W_\nu^-)|^2 + \\ & - \frac{1}{2} M_\eta^2 \eta^2 - \frac{g M_\eta^2}{8 M_W} \eta^3 - \frac{g'^2 M_\eta^2}{32 M_W} \eta^4 + |M_W W_\mu^+ + \frac{g}{2} \eta W_\mu^+|^2 + \\ & + \frac{1}{2} |\partial_\mu \eta + i M_Z Z_\mu + \frac{ig}{2c_w} \eta Z_\mu|^2 - \sum_f \frac{g}{2} \frac{m_f}{M_W} \bar{\Psi}_f \Psi_f \eta \end{aligned}$$

(Квантовое) Поле



Движение воздуха
в комнате



АНАЛОГИЯ



Частица = волна
(квант поля)



Звуковые волны

Исследуя свойства частиц,
мы получаем информацию
о соответствующем поле



Поле Хиггса

А зачем это поле?
Что в нем особенного?

Исследуя свойства
Бозона Хиггса,
мы получаем
информацию
о Поле Хиггса





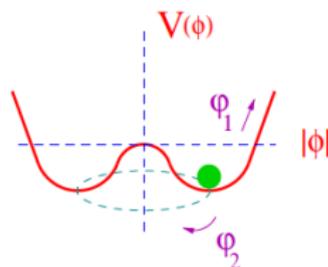
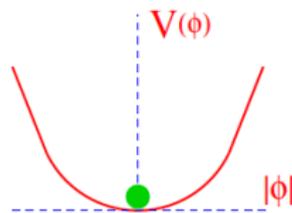
Поле Хиггса играет **важнейшую роль**. Благодаря взаимодействию с ним возникают массы у **элементарных частиц** (т. н. механизм Хиггса).

Симметрия, лежащая в основе Стандартной модели, требует (допускает) **только нулевые массы** у частиц, что, безусловно, противоречит реальности. Поэтому такая симметрия (строго говоря $SU(2)_L$ калибровочная симметрия) должна быть нарушена!

Если напрямую (руками) ввести ненулевые массы — т.е. явно нарушить эту симметрию взаимодействия, то модель не будет работать правильно.



Однако симметрию можно нарушить косвенно, спонтанно — на уровне основного состояния (с минимальной энергией) всей системы, когда симметричное состояние равновесия неустойчиво, а **несимметричное состояние равновесия устойчиво!**



В квантовой теории поля всегда есть основное состояние (вакуум), около которого система "совершает колебательные движения". Возбуждения (над вакуумом) и есть наши частицы, наш Мир!

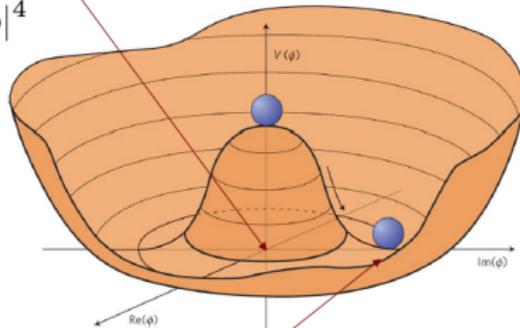
Неустойчивому симметричному состоянию равновесия соответствует ситуация, когда поле Хиггса (в среднем)

равно нулю.

$$V(\phi) = m^2|\phi|^2 - \lambda|\phi|^4$$

$$\left. \frac{\partial V(\phi)}{\partial \phi} \right|_{\phi=\langle \phi \rangle} = 0$$

$$\langle \phi \rangle \neq 0$$

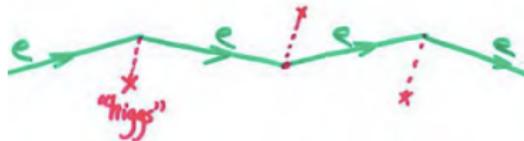


Устойчивому **НЕ**симметричному состоянию равновесия соответствует ситуация, когда поле Хиггса **не равно нулю** во всем пространстве.

Взаимодействие с таким "хитрым" полем (после спонтанного нарушения симметрии, т.е. когда в состоянии равновесия поле Хиггса не равно нулю) и придает частицам массы (инерционные свойства).

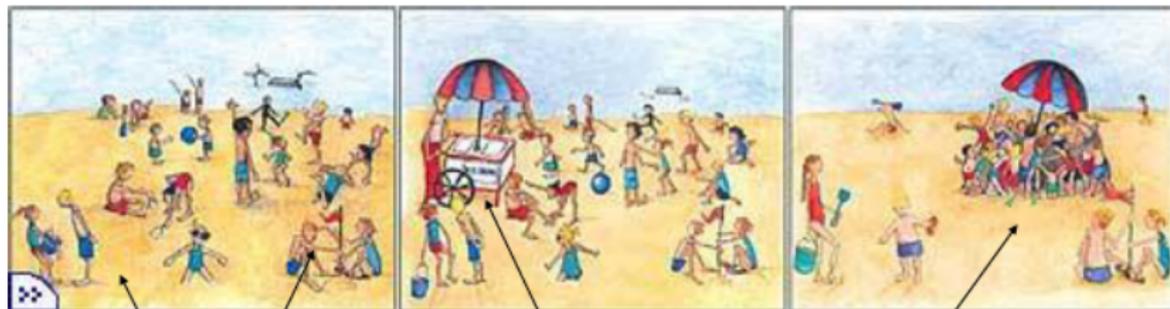
Фермионам: $Y\bar{\psi}\psi\phi \rightarrow [Y\langle\phi\rangle]\bar{\psi}\psi \equiv m_\psi\bar{\psi}\psi$

Бозонам: $g^2 W_\mu^2 \phi^2 \rightarrow [g^2 \langle\phi\rangle^2] W_\mu^2 \equiv m_W^2 W_\mu^2$.





Действующая (на пляже) модель механизма Хиггса – иллюстрирует возникновение сил инерции



Поле Хиггса, пока
невзаимодействующее

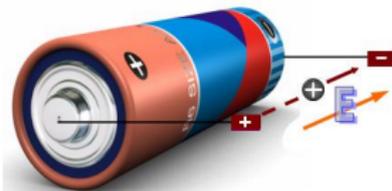
Элементарная частица
попала в зону действия
поля Хиггса

Взаимодействие!
Теперь ей трудно двигаться
(ускоряться) – она стала
массивной!



О единицах измерения в физике высоких энергий

1 эВ (электронвольт) — энергия, приобретаемая электроном при прохождении разности потенциалов в 1 вольт.



$$1 \text{ эВ} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

Тепловая энергия поступательного движения одной молекулы при комнатной температуре	0,025 эВ
Энергия ионизации атома водорода	13,6 эВ
Энергия электрона в лучевой трубке телевизора	Порядка 20 кэВ
Энергии космических лучей	1 МэВ — 1000 ТэВ
Типичная энергия ядерного распада:	
альфа-частицы	2-10 МэВ
бета-частицы и гамма-лучи	0-20 МэВ

Кратные			Дольные				
величина	название	Обозначение	величина	название	обозначение		
10^3 эВ	килоэлектронвольт	кэВ keV	10^{-3} эВ	миллиэлектронвольт	мэВ	meV	
10^6 эВ	мегаэлектронвольт	МэВ MeV	10^{-6} эВ	микроэлектронвольт	мкэВ	μeV	
10^9 эВ	гигаэлектронвольт	ГэВ GeV	10^{-9} эВ	наноэлектронвольт	нэВ	neV	
10^{12} эВ	тераэлектронвольт	ТэВ TeV	10^{-12} эВ	пикоэлектронвольт	пэВ	peV	
10^{15} эВ	петаэлектронвольт	ПэВ PeV	10^{-15} эВ	фемтоэлектронвольт	фэВ	feV	

Единицы измерения массы — $\text{эВ}/c^2$ ($E = mc^2$ и $c = 1$).

Масса протона — $1.67 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 938 \text{ МэВ}/c^2 \equiv 938 \text{ МэВ}$.

Масса электрона — $9.1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} = 0.51 \text{ МэВ}/c^2 \equiv 0.51 \text{ МэВ}$.



Механизм возникновения массы

Именно такое взаимодействие — механизм Хиггса — объясняет весь широкий спектр масс элементарных частиц. От почти "невесомых" нейтрино ($\simeq 0.1$ эВ) до самого тяжелого (элементарного) фермиона — топ-кварка (174 ГэВ).



	масса → заряд → спин →	≈ 2.3 МэВ/c ² u верхний	≈ 1.275 ГэВ/c ² c очарованный	≈ 173.07 ГэВ/c ² t истинный	0 0 1 g глюон	≈ 126 ГэВ/c ² 0 0 0 H бозон Хиггса
КВАРКИ		≈ 4.8 МэВ/c ² -1/3 1/2 d нижний	≈ 95 МэВ/c ² -1/3 1/2 s странный	≈ 4.18 ГэВ/c ² -1/3 1/2 b прекрасный	0 0 1 γ фотон	
		0.511 MeV/c ² -1 1/2 e электрон	105.7 МэВ/c ² -1 1/2 μ мюон	1.777 ГэВ/c ² -1 1/2 τ тау	91.2 ГэВ/c ² 0 1 Z Z бозон	КАЛИБРОВОЧНЫЕ БОЗОНЫ
ЛЕПТОНЫ		< 2.2 эВ/c ² 0 1/2 ν_e электронное нейтрино	< 0.17 МэВ/c ² 0 1/2 ν_μ мюонное нейтрино	< 15.5 МэВ/c ² 0 1/2 ν_τ тау нейтрино	80.4 ГэВ/c ² ±1 1 W W бозон	

Механизм Хиггса генерации масс элементарных частиц должен быть связан (!?) с гравитацией, поскольку в ОТО масса — это одновременно и гравитационный заряд.

Далее, согласно Л.Б.Окуню — векторные поля отвечают за динамику взаимодействия и являются следствием локальной симметрии. Скалярные поля отвечают за инерционные свойства и несут на себе столь же важную функцию нарушения симметрии.

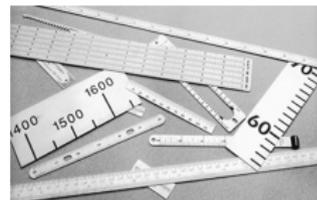
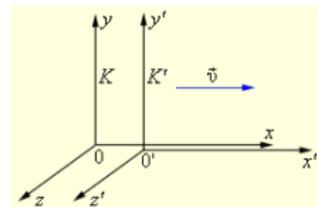
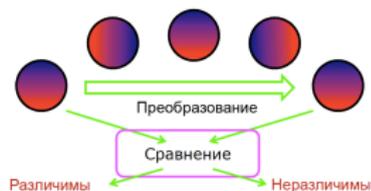


Симметрия (системы, лагранжиана теории, вакуумного состояния и т.п.) означает (их) инвариантность, т.е. **независимость** от определенного сорта проведенных (над ними) преобразований.

Лоренц инвариантность — это почти тоже самое, что и инвариантность относительно преобразований Галилея (**сдвиг системы отсчета**). Фактически — это независимость от вмешательства человека (объективность).

Калибровочная инвариантность — это почти тоже самое, что независимость от того, как мы градуируем (**калибруем**) наш измерительный прибор, например, обычную линейку.

В Стандартной модели (калибровочная) симметрия относительно (SU(2), SU(3)) преобразований определяет динамику (характер) взаимодействия между фермионами (лептонами, кварками) — это, вообще говоря, удивительно.





Где и как искать **ЭТОТ** бозон Хиггса?



Вероятности распадов:

$$\Gamma(H \rightarrow ff) \sim M_H M_f^2$$

$$\Gamma(H \rightarrow WW) \sim M_H^3/2$$

$$\Gamma(H \rightarrow ZZ) \sim M_H^3/4$$

$$\Gamma(H \rightarrow gg) \sim M_H^3 \frac{\alpha_S^2}{9\pi}$$

$$\Gamma(H \rightarrow \gamma\gamma) \sim M_H^3 \frac{49\alpha_{EM}^2}{32\pi}$$

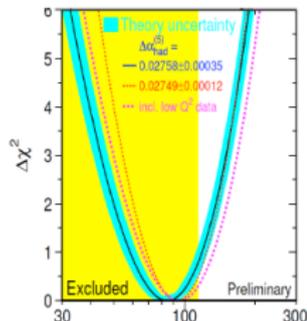
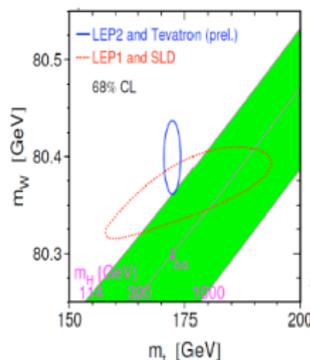
- Ширины фермионных распадов пропорциональны квадрату массы фермиона
- Хиггс-бозон распадается на пару самых тяжёлых фермионов (b-кварки)
- Распады на бозоны WW и ZZ становятся доминирующими, как только $M_H > 2M_{W(Z)}$



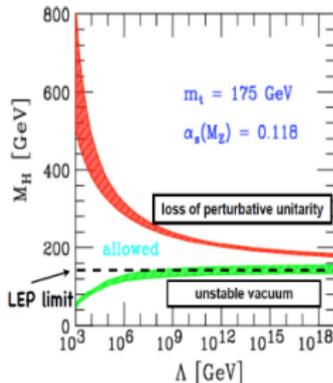
$$\rho = \frac{M_W^2/M_Z^2}{1 - \sin^2\Theta_W} = 1 + \frac{3G_F}{8\pi^2\sqrt{2}} m_t^2 + \frac{\sqrt{2}G_F}{16\pi^2} m_t^2 \left[\frac{11}{3} \ln\left(\frac{M_H^2}{M_W^2}\right) + \dots \right] + \dots$$

Радиационные поправки (квантовые эффекты), чувствительны к массе хиггса

$$M_H = 88 \pm 29 \text{ ГэВ}, \quad M_H < 161 \text{ ГэВ (95\%CL)}$$



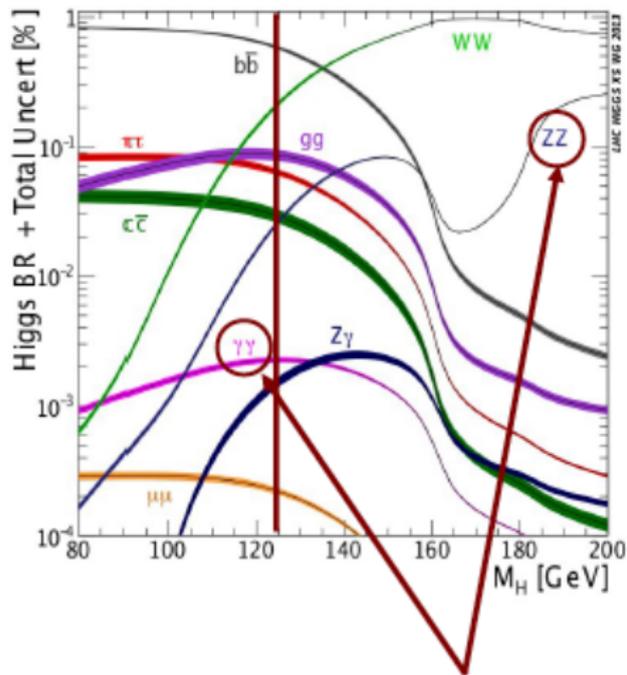
Имеющиеся ограничения



- Если SM выполняется вплоть до 10^{16} ГэВ, то $130 < M_H < 170$ ГэВ
- Если только до 1 ТэВ, тогда $70 < M_H < 700$ ГэВ
- Кроме того, унитарность $WW \rightarrow WW$ рассеяния требует: $M_H < 710$ ГэВ



Где искать? — В продуктах его возможных распадов



Зная **массу хиггса** можно предсказать:

Как он рождается,
на что,
и как часто
Он будет распадаться!

При массе 125-126 ГэВ предпочитает распадаться на пару b-кварков (преlestные)

Да, я такой...

НО с экспериментальной точки зрения легче обнаружить другие следы..

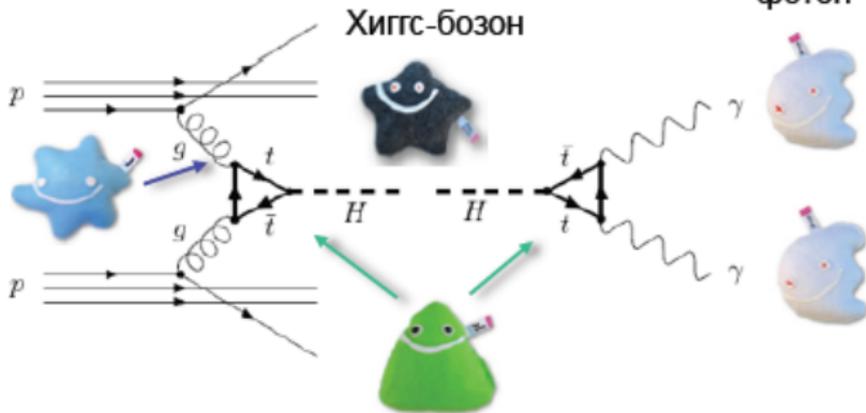


Следы хиггса

протон



ГЛЮОН



Топ-кварк

Диаграммы Фейнмана – способ представления возможных событий в физике высоких энергий. Каждой диаграмме по определенным правилам (Фейнмана) ставится в соответствие некоторое выражение, связанное с вероятностью рассматриваемого события...

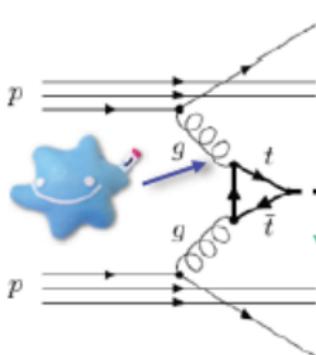


Следы хиггса

протон



ГЛЮОН



Хиггс-бозон



фотон



Топ-кварк



Привет!



Диаграмма описывает событие:

Рождение бозона Хиггса при столкновении двух протонов на Большом адронном коллайдере.

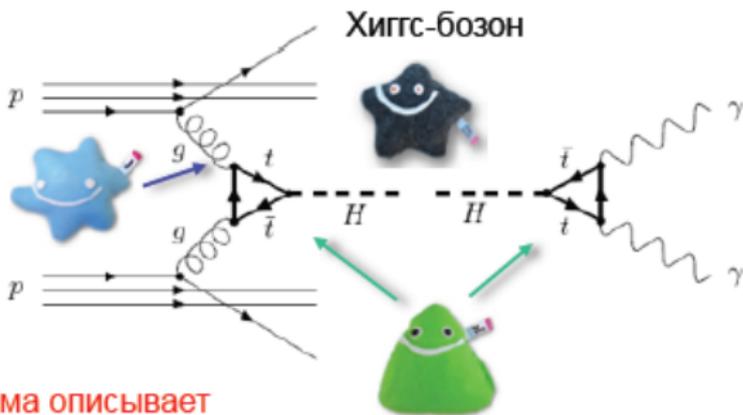


Следы хиггса

протон



ГЛЮОН



фотон



Диаграмма описывает событие:

Топ-кварк

Его (очень-очень-очень) короткую жизнь $\sim 10^{-22}$ сек.



Я лечу!

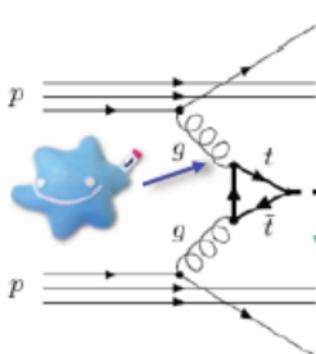


Следы хиггса

протон



ГЛЮОН



Хиггс-бозон



фотон



Топ-кварк



Распад на два фотона

Диаграмма описывает событие:

Это одна из возможных историй с участием бозона Хиггса!



Ой, 10^{-22} сек уже прошло?

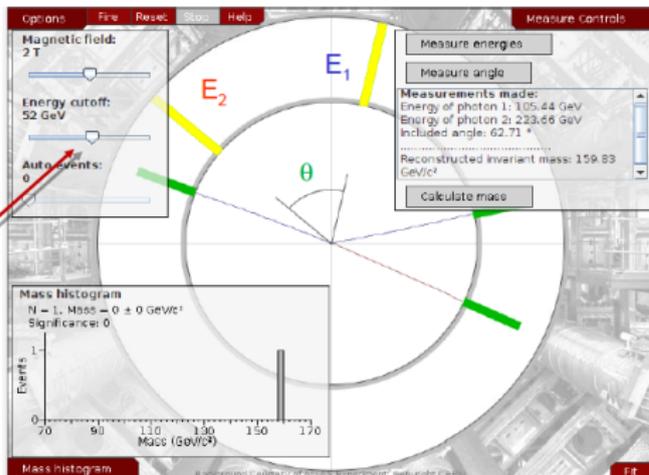


Следы бозона Хиггса — два фотона

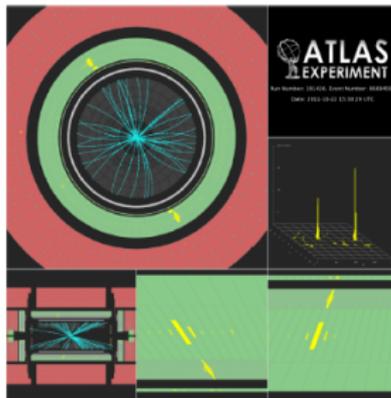
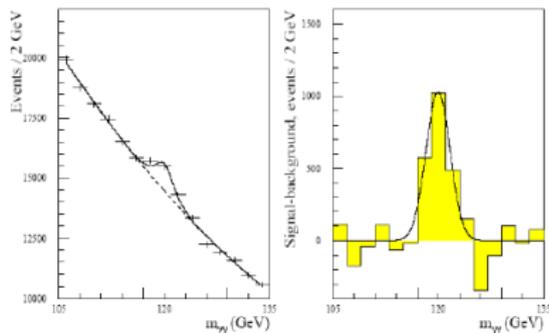
Массы бозона Хиггса вычисляется (реконструируется) из знания энергии фотонов $E_{1,2}$ и угла θ

$$M_H = \sqrt{2E_1E_2(1 - \cos\theta)} / c^2$$

Фотоны с меньшей энергий не рассматриваются



Так событие выглядит на самом деле





Как это выглядит ... в столкновениях протонов

Распад новых частиц



Адронизация



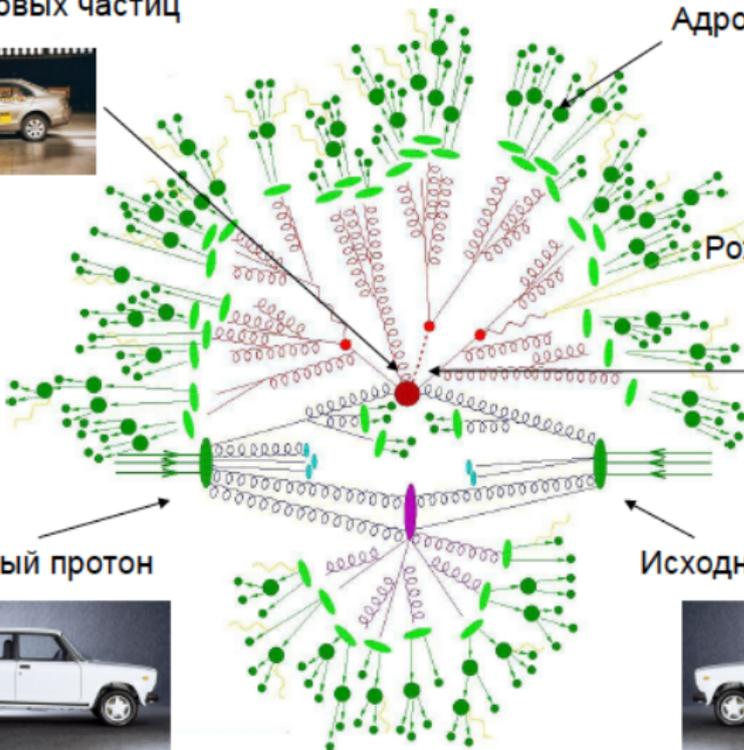
Рождение новых частиц



Исходный протон



Исходный протон





Как это выглядит ... в столкновениях протонов

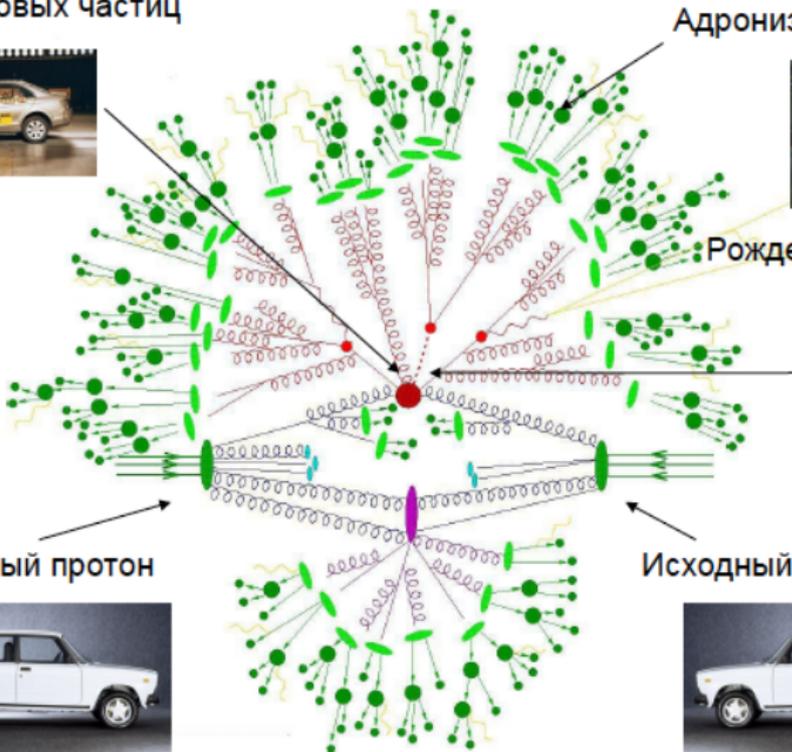
Распад новых частиц



Адронизация



Рождение новых частиц



Исходный протон



Исходный протон





Как это выглядит ... в столкновениях протонов

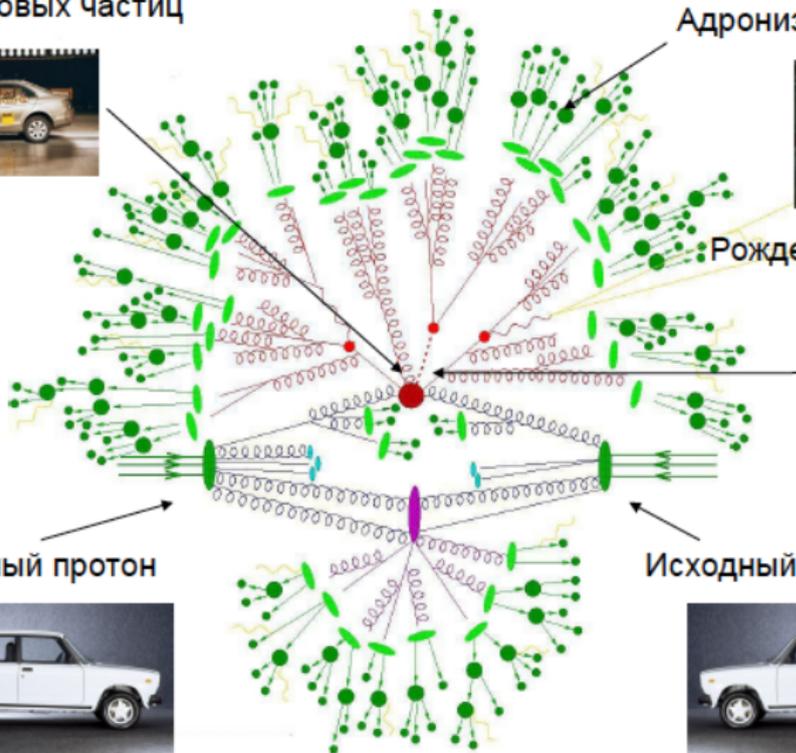
Распад новых частиц



Адронизация



Рождение новых частиц



Исходный протон



Исходный протон





Похоже-таки Он обнаружен!

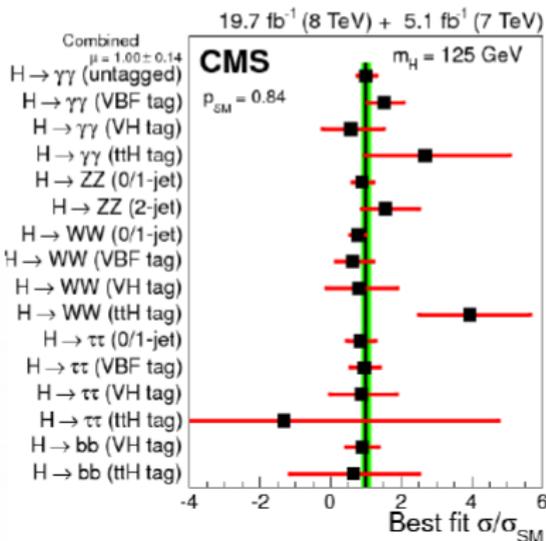
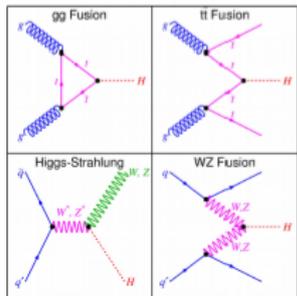
В течение 2013-2014 было потрачено много сил, чтобы подтвердить, что найденная частица **ОЧЕНЬ-ОЧЕНЬ** похожа на **Бозон Хиггса СМ**.



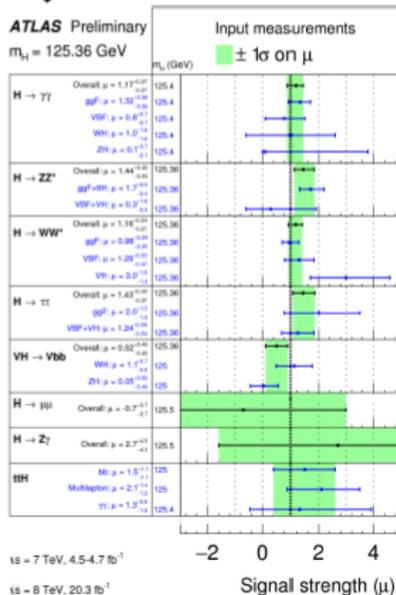
Сегодня в этом практически нет сомнения!

CMS-HIG-14-009

ATLAS-CONF-2015-00



ATLAS Preliminary
 $m_H = 125.36 \text{ GeV}$





С помощью прибора
Large Hadron Collider (LHC),
что означает по-русски
Большой Адронный Коллайдер (БАК)



Коллайдер "закопан" в ЦЕРНе на глубине 100 м

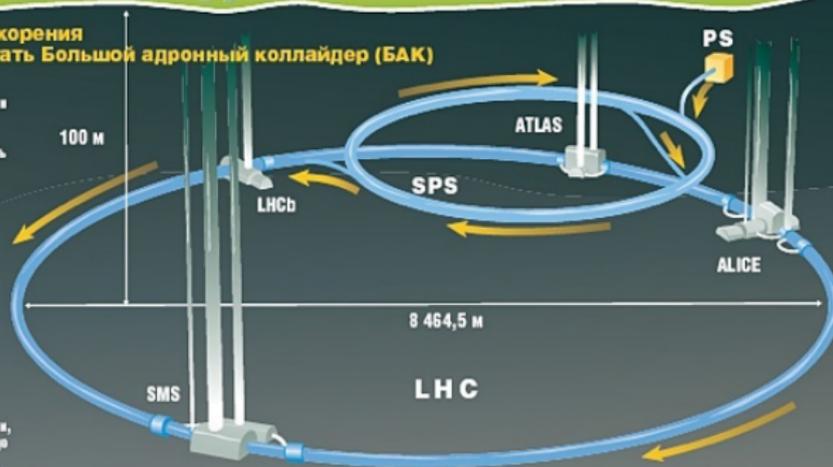
CERN В РАЗРЕЗЕ



Перестройка ускорения Как будет работать Большой адронный коллайдер (БАК)

Детектор LHCb предназначен для исследования частиц, называемых «кварк В». Цель эксперимента — выявить различия между материей и антиматерией.

Детектор CMS — та же задача, что и у ATLAS. Различно в ряде технических характеристик.



Детектор ATLAS — один из двух мегатоннажных детекторов (второй — CMS). Здесь будут осуществляться исследования в ряде областей физики, в частности поиск бозона Хиггса и исследование частиц, из которых может состоять темная материя.

Детектор ALICE. Для этих экспериментов БАК воссоздает условия, которые существовали сразу после Большого взрыва; полученные данные позволят изучать экзотическую материю в сверхгорячей Вселенной.

Перед тем как попасть в БАК, протоны будут разогнаны сначала инжекционным синхротроном (PS), затем суперсинхротроном (SPS). Попад в БАК, протоны будут циркулировать в нем порядка 20 минут, чтобы выйти на максимальный скоростной и энергетический уровень. То, что произойдет с ними дальше, будет замеряться на четырех супердетекторах (по сути, суперлабораториях)



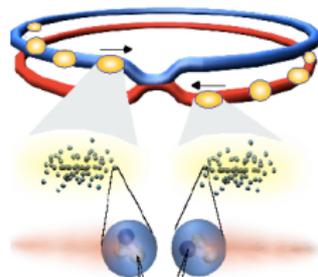
БАК — комплекс ускорителей, способный разогнать протоны до энергий 7 ТэВ. Энергия насекомого весом 60 мг (комар?), летящего со скоростью 20 см/с!

В БАК протоны летят навстречу друг другу в виде сгустков (0.000016 м), содержащих около 10^{11} частиц каждый. 600 миллионов столкновений в секунду. Энергия сгустка сравнима с кинетической энергией мотоцикла весом 150 кг, летящего по дороге со скоростью 150 км/ч!

Хотя в пучке около 3000 сгустков, а в сгустке около 100 миллиардов протонов, столкновения между ними также маловероятны, как и попадание одной иглки в другую с расстояния 10 км. Лишь 20 частиц из 200 миллиардов столкнутся!

Столкновение — это событие. Что именно произойдет при столкновении - никто не знает!

Однако, проследив за большим количеством событий, мы обнаружим, что некоторые события возникают чаще других. И надо понять почему?



$$\mathcal{L} \propto \frac{N_1 N_2 n_b}{\sigma^2}$$

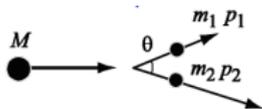
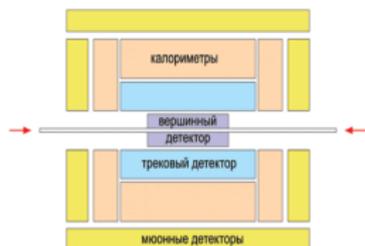
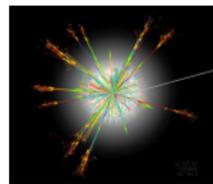
N_i — число сгустков/сек

n_b — полное число сгустков

σ — сечение пучка



В столкновениях протонов рождаются новые частицы. Чтобы понять, что именно произошло, необходимо проследить за ними и измерить их энергию и импульс. Этим занимаются детекторы, регистрирующие долгоживущие заряженные ($e^\pm, \mu^\pm, \pi^\pm, K^\pm, p$) и нейтральные (γ, n) частицы.

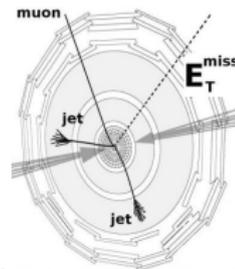


Трекеры — “видят” траектории частиц. Калориметры — измеряют энергию, полностью останавливая частицу.

Интрига в том, что не все частицы оставляют след в детекторе. Кроме того, частицы могут распадаться. Более того именно этим они и занимаются практически по-головно!

В двухчастичном распаде для восстановления массы первичной частиц надо знать импульсы, энергии и массы вторичных частиц: $M^2 = m_1^2 + m_2^2 + 2(E_1 E_2 - p_1 p_2 \cos\theta)$.

Восстановление события похоже на детективное расследование, поскольку мы “видим” только фотоны, мюоны, электроны и струи (сгустки долгоживущих частиц) ... и больше НИЧЕГО хорошего! Из закона сохранения энергии-импульса имеем E_T^{missing} — недостающую поперечную энергию. Наконец изощренный анализ данных дает физический результат.





General purpose – все с большим p_T

Нарушение электрослабой симметрии: бозон Хиггса или Новая физика?

Пространственно-временные симметрии: дополнительные измерения, черные дыры, КК-состояния?



Суперсимметрия: суперпартнеры? Темная материя?



Загадка аромата

CP-нарушение: новые источники?
Барионная асимметрия.
Непрямой поиск суперпартнеров.



Новое состояние материи

Киральная симметрия: картина восстановления.
Деконфайнмент.
Нарушение P-четности в сильных магнитных полях?



Детектор АТЛАС на Большом Адронном Коллайдере



Размер установки АТЛАС не уступает по высоте 6-и этажному дому в ЦЕРН.

Это самая большая **компактная** установка! (телескопы?)

ATLAS и CMS – многоцелевые экспериментальные установки, изначально нацеленные на решение всего спектра возможных физических задач ЛХС (бозон Хиггса, Суперсимметрия, Новая физика и т.д.).

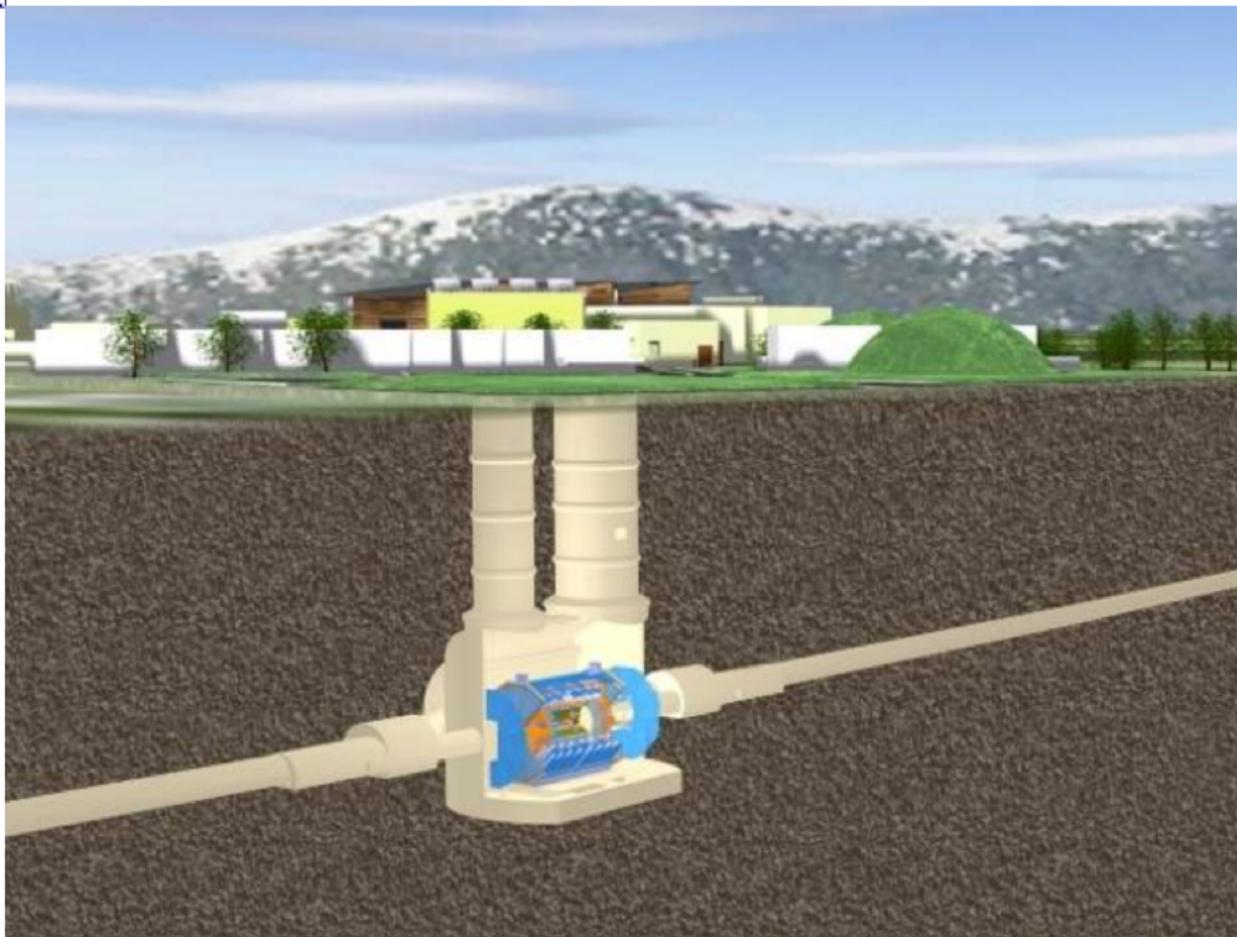


Вид сверху на место расположения АТЛАС



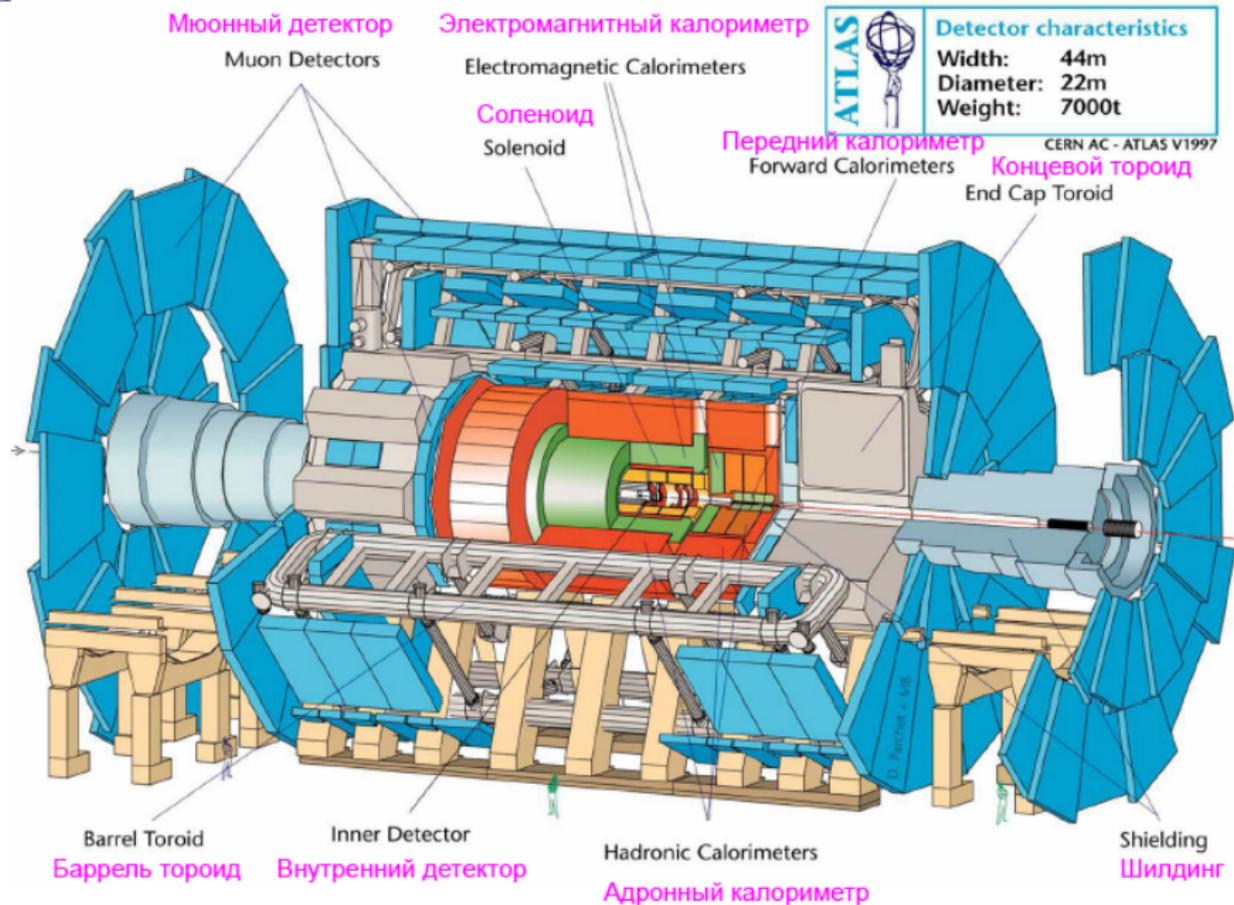


Подземное расположение детектора ATLAS в Pit-I





Из чего состоит детектор ATLAS?





Что делают эти составные части детектора ATLAS?

The ATLAS detector

Для измерения импульсов мюонов

Inner Detector ($|\eta| < 2.5$):
Si pixel, SCT, TRT
Tracking and vertexing. e/π separation
 $\sigma/p_T \sim 0.038\% p_T$ (GeV) $\oplus 1.5\%$

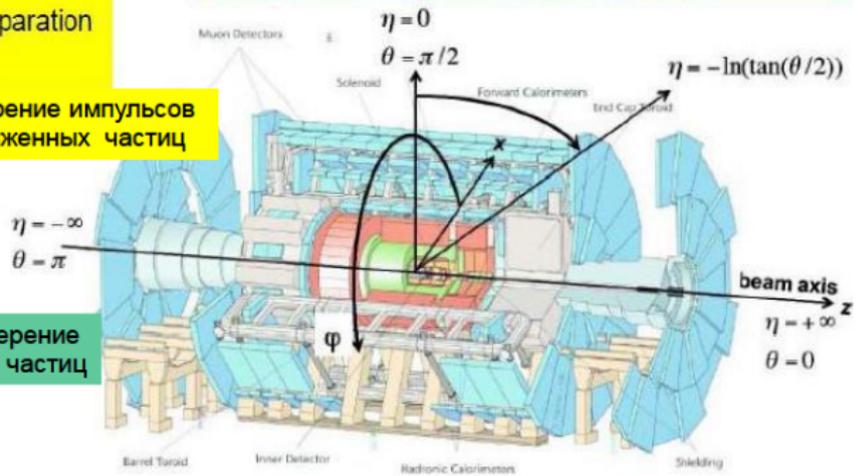
Для измерения импульсов всех заряженных частиц

EM calorimeter ($|\eta| < 3.2$):
Pb/LAr accordion
Trigger and e/γ reco and id
 $\sigma/E \sim 10\%/\sqrt{E}$ (GeV) $\oplus 0.7\%$

Для измерения энергий частиц

Muon spectrometer ($|\eta| < 2.7$): air-cores toroids with gas-based chambers. Trigger and measurement. Momentum resolution $< 10\%$ up to $E_{\mu} \sim 1$ TeV

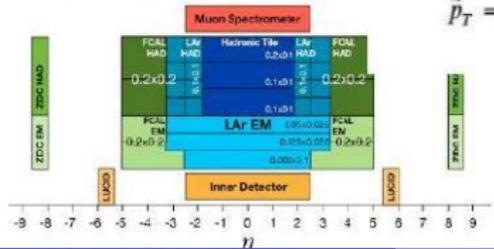
ZDC ($|\eta| > 8.3$):
Zero Degree Calorimeter for Heavy Ions studies



$$\vec{p}_T = (p_x, p_y)$$

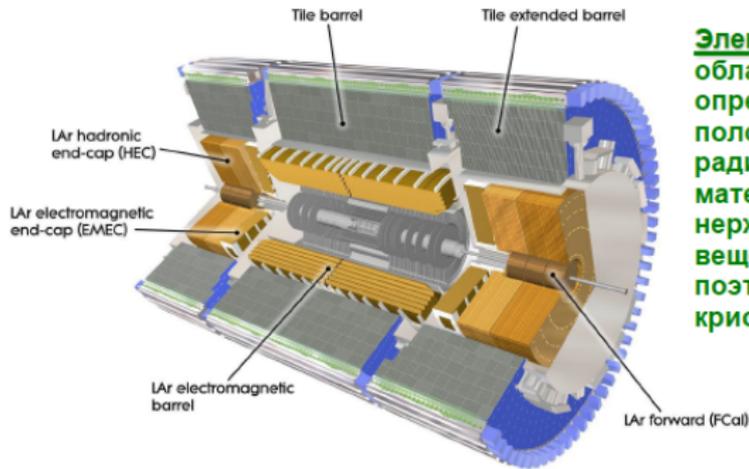
$$p_T = p \sin\theta, \quad E_T = E \sin\theta$$

$$\vec{E}_T^{miss} = - \sum_{clusters i} E_i \hat{n}_i$$



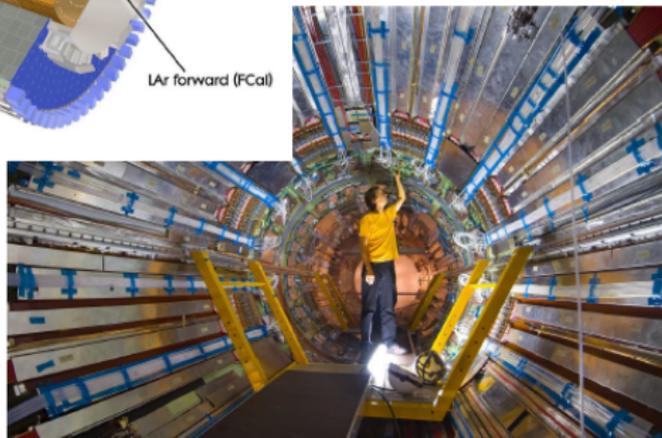
HAD calorimeter ($|\eta| < 5$):
Fe/scintillator tiles (central), Cu/W Lar (fwd), Trigger, jets and E_{miss} .
 $\sigma/E \sim 50\%/\sqrt{E}$ (GeV) $\oplus 3\%$

Для измерения энергий частиц



Электромагнитный калориметр обладает высокой точностью определения энергии и положения этой энергии (0,025 радиан). Поглощающие энергию материалы — свинец и нержавеющая сталь, а активное вещество — жидкий аргон, поэтому он находится в криостате.

Адронный калориметр обладает меньшей точностью в определении энергии и положения этой энергии (0,1 радиан). Поглощающие энергию материалы — нержавеющая сталь, а активное вещество — сцинтилляционные пластинки.



Это позволяет наиболее точно измерять выделившуюся энергию, а следовательно, и дисбаланс энергии E_T^{missing} — сигнал Новой Физики (Суперсимметрии)!



Проект	Современная оценка
Manhattan Project	16 млрд €
Apollo Program	70 млрд €
Hubble Space Telescope (HST)	4 млрд €
International Space Station (ISS)	70 млрд €
Human Genome Project (HGP)	2 млрд €
International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER)	13 млрд €
Large Hadron Collider (LHC)	4-6 млрд €
8-км мост, соединяющий Данию и Швецию	4 млрд €
40-км мост (оценка), между Сицилией и Италией	6 млрд €
2012 Олимпийские Игры в Лондоне (оценка)	> 10 млрд €

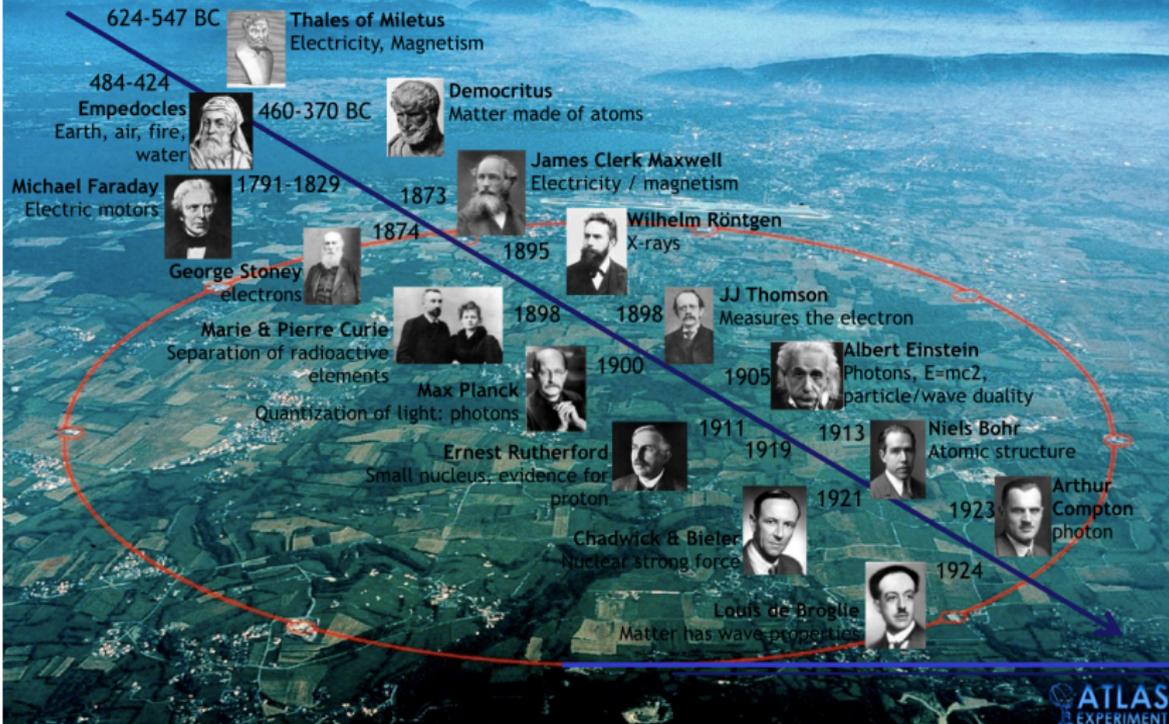
Таблица: Из статьи “BIG SCIENCE AND THE LHC”, автор G.F. Giudice, arXiv:1106.2443



Открытие и формулировка Стандартной Модели — **самый выдающийся результат** человеческого интеллекта за всю его историю

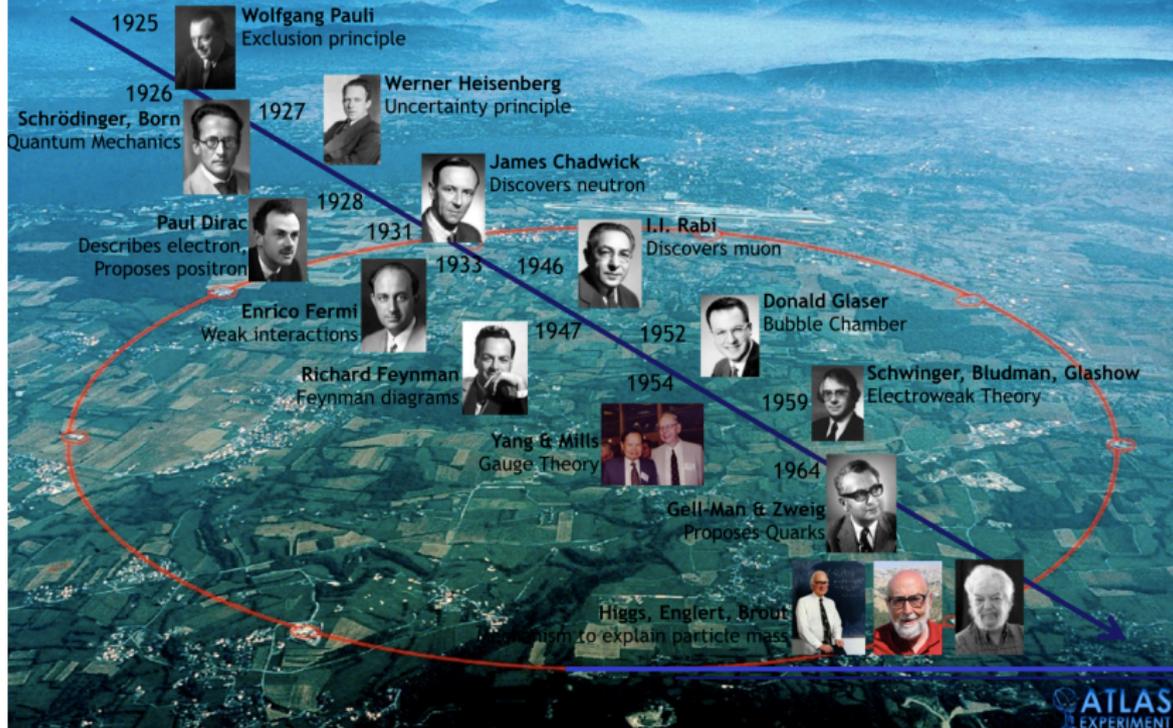


Particle Physics Timeline





Particle Physics Timeline II





Particle Physics Timeline III





Standard Model of FUNDAMENTAL PARTICLES AND INTERACTIONS

The Standard Model is a quantum theory that summarizes our current knowledge of the physics of fundamental particles and fundamental interactions (interactions are manifested by forces and by decay rates of unstable particles).

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*	(0-0.13) $\times 10^{-6}$	0	u up	0.002	2/3
e^- electron	0.000511	-1	d down	0.005	-1/3
ν_μ muon neutrino*	(0.009-0.13) $\times 10^{-6}$	0	c charm	1.3	2/3
μ^- muon	0.106	-1	s strange	0.1	-1/3
ν_τ tau neutrino*	(0.04-0.14) $\times 10^{-6}$	0	t top	173	2/3
τ^- tau	1.777	-1	b bottom	4.2	-1/3

*See the neutrino paragraph below.

Spin is the intrinsic angular momentum of particles. Spin is given in units of \hbar , which is the quantum unit of angular momentum where $\hbar = 3.16 \times 10^{-34} \text{ GeV} \cdot \text{s} = 1.054 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

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 = mc²) where 1 GeV = 10^9 eV = 6.02×10^{23} joules. The mass of the proton is $0.938 \text{ GeV}/c^2 = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

Neutrinos

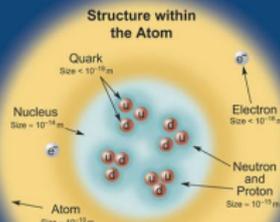
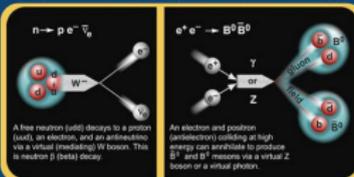
Neutrinos are produced in the sun, supernovae, reactors, accelerator collisions, and many other processes. Any produced neutrino can be described as one of three neutrino flavor states: ν_e , ν_μ , or ν_τ , which by the type of charged lepton associated with its production. Each is a defined quantum mixture of the three definite mass neutrinos ν_1 , ν_2 , and ν_3 for which current allowed mass ranges are shown in the table. Further exploration of the properties of neutrinos may yield powerful clues to puzzles about matter and antimatter and the evolution of stars and galaxy structures.

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 charge. Some electrically neutral bosons (e.g., Z^0 , γ , and H^0 , c.f. but not K^0) are their own antiparticles.

Particle Processes

These diagrams are an artist's conception. Blue-shaded areas represent the cloud of gluons.



If the proton 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

The strengths of the interactions (forces) are shown relative to the strength of the electromagnetic force for two quarks separated by the specified distances.

Property	Gravitational Interaction	Weak Interaction (Electroweak)	Electromagnetic Interaction	Strong Interaction
Acts on:	Mass - Energy	Flavor	Electric Charge	Color Charge
Particles experiencing:	All	Quarks, Leptons	Electrically Charged	Quarks, Gluons
Particles mediating:	Graviton (not yet observed)	W^+ W^- Z^0	γ	Gluons
Strength at $r = 10^{-16} \text{ m}$	10^{-41}	0.8	1	25
Strength at $r = 3 \times 10^{-17} \text{ m}$	10^{-41}	10^{-4}	1	60

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

Unified Electroweak spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0
W^+	80.39	-1
W^-	80.39	+1
Z^0 boson	91.188	0

Strong (color) spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
g gluon	0	0

Color Charge
Only quarks and gluons carry "strong charge" (also called "color charge") and can have strong interactions. Each quark carries three types of color charge. These charges have nothing to do with the colors of visible light. Just as electrically-charged particles interact by exchanging photons, in strong interactions, color-charged particles interact by exchanging gluons.

Quarks Confined in Mesons and Baryons

Quarks and gluons cannot be isolated - 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. 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). Among the many types of baryons observed are the proton (uud), antiproton ($\bar{u}\bar{u}\bar{d}$), neutron (udd), antineutron ($\bar{u}\bar{d}\bar{d}$), and Omega (Ω^-) ($s\bar{s}\bar{s}$). Quark charges add in such a way as to make the proton have charge 1 and the neutron charge 0. Among the many types of mesons are the pions ($u\bar{d}$, $d\bar{u}$, $u\bar{u}$, $d\bar{d}$), B^+ ($u\bar{b}$), and B^0 ($d\bar{b}$). Their charges are +1, -1, 0, 0 respectively.

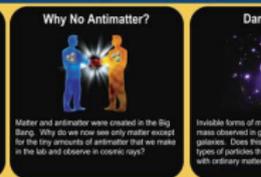
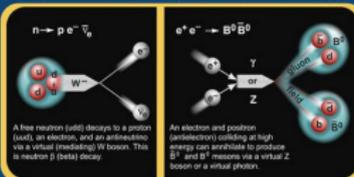
Visit the award-winning web feature [The Particle Adventure at ParticleAdventure.org](http://TheParticleAdventure.atParticleAdventure.org)

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

©2006 Corporation Physics Education Project (PEP) is a non-profit organization of scientists, parents, and educators. For more information, visit www.CPEPweb.org

Unsolved Mysteries

Driven by new puzzles in our understanding of the physical world, particle physicists are looking for new answers and startling discoveries. Experiments may even find extra dimensions of space, mini-black holes, or other evidence of string theory.





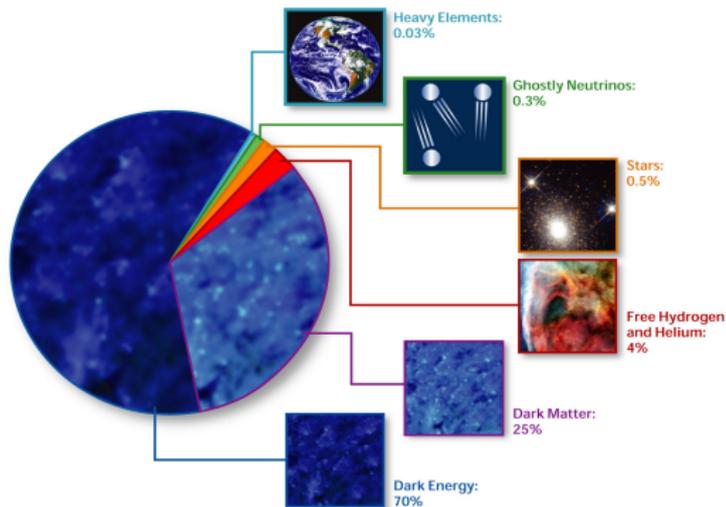
- Каковы границы применимости СМ?
- Каково происхождение свободных параметров СМ, почему их так много?
- Как фундаментальные частицы приобретают массы и почему они так различны (топ-кварк и нейтрино)?
- Почему масса бозона Хиггса “не убегает” на массу Планка?
- Кто подарил это “Сомбреро” полю бозона Хиггса?
- Куда подевалось анти-вещество и реликтовые нейтрино из Ранней Вселенной?
- Что делать с Гравитацией, какова Геометрия Вселенной, существуют ли дополнительные измерения?
- Нет объединения констант взаимодействия — существуют ли новые частицы и взаимодействия?
- Что происходит с адронами (КХД-материей) при больших плотностях энергии, существует ли кварк-глюонная плазма?
- Какова природа нейтрино?
- Астрофизика – Какова природа темной материи и темной энергии?
- и так далее ...



Физика частиц и астрофизика на рубеже великих перемен и открытий – есть интересная работа для молодежи!

Один только пример:

Привычная нам Вселенная, состоящая из кварков и лептонов – это только лишь ничтожная часть Всего. На 95% Вселенная заполнена темной материей и темной энергией — **совершенно мистическими субстанциями.**



Столько неизвестного ждет своего открытия. Благодаря совместным усилиям БАК, Нейтринной физики, Астрофизики и др. мы все ближе приближаемся к новой революции в нашем фундаментальном представлении о Мире.



Нобелевская премия по физике 2015

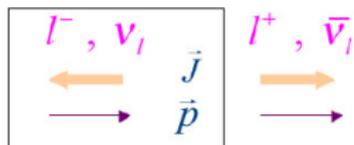


109-я премия вручена **Артуру МакДональду** и **Такааки Кадзита** «за открытие осцилляций нейтрино, что показывает, что у нейтрино есть **масса**».



Сегодня мы знаем, что нейтрино —

- фермион (имеет спин $j = 1/2$)
- не участвует в сильном взаимодействии
- не участвует в электромагнитном тоже (электро-нейтрально)
- участвует в слабом взаимодействии (если активное)
- подвержено гравитации (если массивно)
- импульс \vec{p} антипараллелен спину \vec{j} : ν_L — **ключевой момент!**



Left-handed / Дублеты:

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e^- \end{pmatrix}_L, \quad \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu^- \end{pmatrix}_L, \quad \begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau^- \end{pmatrix}_L$$

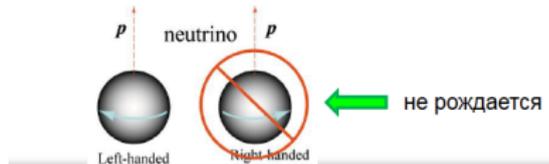
P-четность в мире элементарных частиц



T.D.Lee, C.N.Yang, 1956



C.S.Wu, 1957



Фактически, механизм Хиггс необходим нам поскольку в СМ имеет место $SU(2)_L \times U(1)$ калибровочная симметрия. Или V–A структура слабого взаимодействия, или отсутствие правого нейтрино ν_R , или безмассовость нейтрино ($m_\nu \equiv 0$).



Нейтрино сегодня актуально и многолико

- Наличие ненулевых масс у нейтрино важно для построения теорий элементарных частиц, понимания строения Вселенной и образования в ней крупномасштабных структур типа скоплений галактик. Здесь легкие массивные нейтрино играют роль горячей темной материи.
- Исследование свойств нейтрино (в том числе и электромагнитных) необходимо для решения проблемы дефицита солнечных нейтрино, выяснения механизмов взрыва сверхновых и образования энергии в звездах (Солнце) и в недрах Земли, для понимания причин возникновения космических лучей сверхвысоких энергий.
- Только благодаря исследованию потоков космических нейтрино можно будет получить информацию о самых отдаленных уголках космоса.
- До сих пор не решена проблема реликтовых нейтрино, существование которых следует из современной концепции ранней Вселенной.
- Считается, что наряду с фотонами нейтрино — самые распространенные частицы во Вселенной, и что нейтрино — ключ к объяснению барионной асимметрии Вселенной — за счет нарушения CP симметрии в лептонном секторе с участием массивных нейтрино.

Таким образом, без понимания свойств нейтрино невозможно даже приблизиться к ответу на вопрос о том, почему окружающий нас мир именно так устроен.

”По степени фундаментальности, мировоззренческой важности, потенциалу новых непредсказуемых открытий исследования по нейтринной физике и астрофизике — среди **беспорных лидеров** в современной науке” (из решения совета РАН).

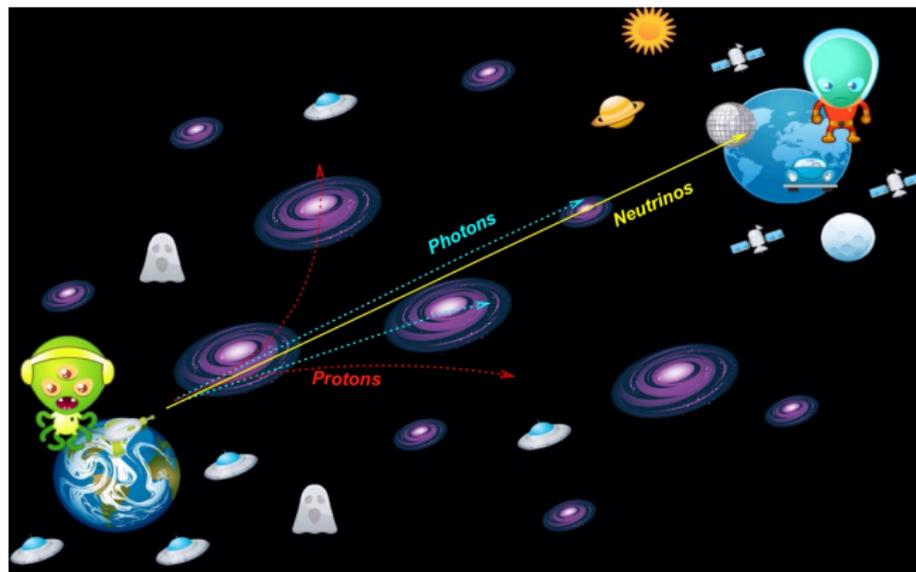


2012 год — начало эры новых прецизионных исследований → физика осцилляций, реакторная аномалий, стерильные и внегалактические нейтрино. Очень скоро нейтрино займут ведущее место в исследованиях на ускорителях (LHC, ILC, ...).

Благодаря новым источникам и новым детекторам нейтрино стали единственным поставщиком уникальной информации (сквозь сверхплотные среды и сверхдальние расстояния, от 10^{-33} до 10^{28} см).

Нет другого способа сегодня узнать, что именно происходит внутри Солнца, Земли, Сверхновой звезды, кора ядерного реактора или в самом отдаленном уголке Космоса.

Только нейтринный сигнал инопланетян наверняка достигнет нас!

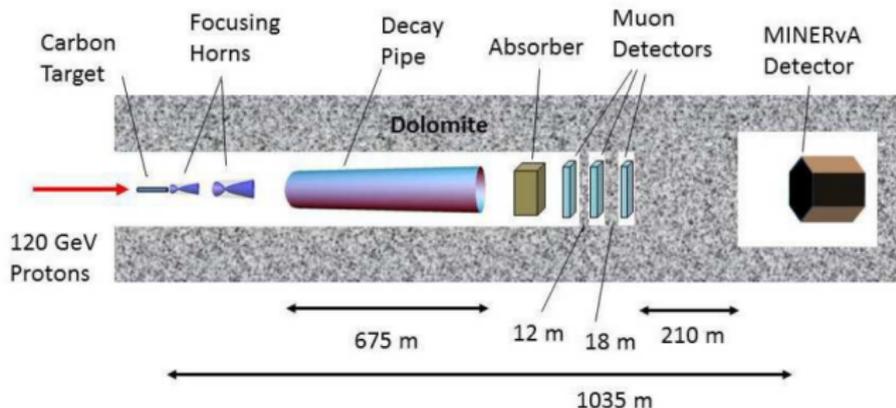




Пример: Кодировка сигнала в нейтринном пучке

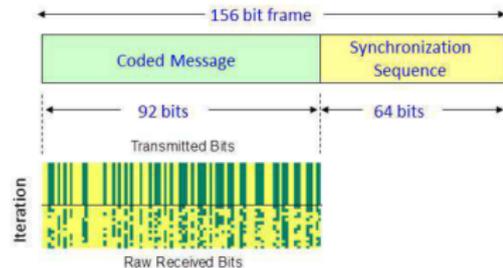
Пучки нейтрино (искусственного происхождения) уже предлагались в качестве носителей информации в таких исключительных ситуациях, как прямой точка-в-точку контакт сквозь всю землю, связь с подводными лодками, особо секретные каналы связи, межзвездные коммуникации и т.п.

В 2012 г. нейтринный пучок NuMI (ФНАЛ) был использован вместе с нейтринным детектором MINERvA для демонстрации возможности передачи цифрового сигнала на большое расстояние с помощью нейтрино.



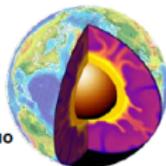
”Нейтрино” было закодировано и декодировано →

Продемонстрирована сама возможность такой передачи, однако, очевидно, что для практического применения этого метода еще далеко. [arXiv:1203.2847v1](https://arxiv.org/abs/1203.2847v1)



Недавно были зарегистрированы нейтрино из недр Земли (**геонейтрино**). Не говоря уж о фундаментальности этого явления, исследование потоков геонейтрино крайне важно для геофизики – понимания процессов, протекающих внутри нашей планеты, предсказания землетрясений, экстремальных природных явлений и т.п.

Геонейтрино – антинейтрино от β -распадов радиоактивных элементов в

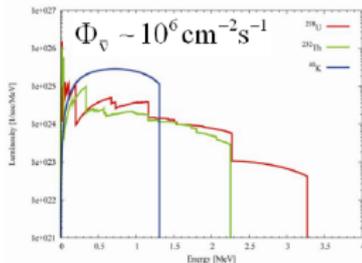


Земле

^{238}U , ^{232}Th и ^{40}K (^{87}Rb , ^{235}U) в Земле \rightarrow тепло (H) + антинейтрино в известной пропорции

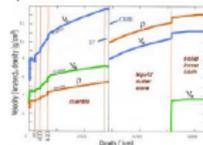
Decay	$T_{1/2}$ [10^9 yr]	E_{max} [MeV]	Q [MeV]	ϵ_p [$\text{kg}^{-1}\text{s}^{-1}$]	ϵ_H [W/kg]
$^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb} + 8\ ^4\text{He} + 6e + 6\bar{\nu}$	4.47	3.26	51.7	7.46×10^7	0.95×10^{-4}
$^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb} + 6\ ^4\text{He} + 4e + 4\bar{\nu}$	14.0	2.25	42.7	1.62×10^7	0.27×10^{-4}
$^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ca} + e + \bar{\nu}$ (89%)	1.28	1.311	1.311	2.32×10^8	0.22×10^{-4}

- Земля, в отличие от Солнца, излучает гл.обр. антинейтрино.
- Часть антинейтрино из цепочек распадов U и Th имеют энергию выше порога обратного β -распада на протоне: 1.8 MeV
- Вклад от U и Th различим



Геонейтрино – источник информации о строении Земли

- Самая глубокая шахта – 12 км
- Геохимический анализ производится по образцам из коры и верхней мантии
- Сейсмология воспроизводит профиль плотности, но не состав пород

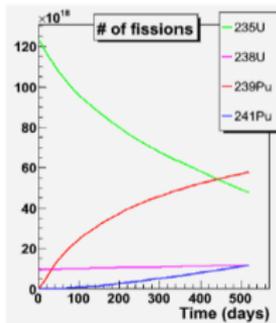
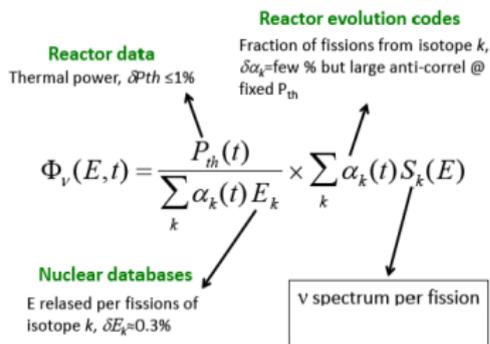


Регистрация геонейтрино позволит исследовать глубинный состав земных пород

На новый уровень сегодня выходят прикладные нейтринные исследования на (промышленных) ядерных реакторах — это изучение процессов внутри реакторов с помощью потоков антинейтрино для задач ядерной энергетики.

$\bar{\nu}$ spectrum emitted by a reactor

The prediction of reactor $\bar{\nu}$ spectrum is the dominant source of systematic error for single detector experiments



$$k = {}^{235}\text{U}, {}^{238}\text{U}, {}^{239}\text{Pu}, {}^{241}\text{Pu}$$



Они включают непрерывное измерение мощности реактора, степени и "геометрии" выгорания топлива в реальном времени, создание компактных детекторов антинейтрино для дистанционного контроля наработки и несанкционированного отбора плутония в процессе работы реактора (для предотвращения распространения ядерного оружия) и т.п.



- Модернизированный БАК — это
- фабрика для изучения хиггсов (!)
- фабрика для изучения топ-кварков
- фабрика для изучения глюонов
- ”открывашка” (?) **Суперсимметрии**
- ”открывашка” (?) **Темной материи**
- и/или еще чего-то ...



Почему фабрика хиггсов?

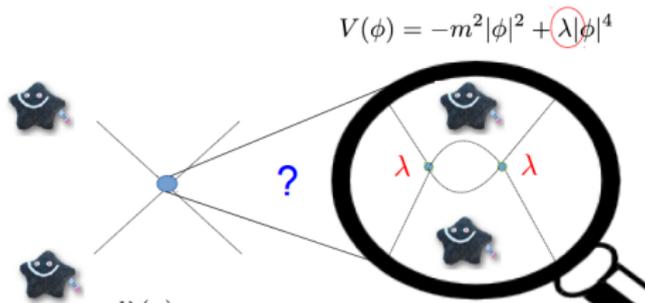
Переход от 300/фб к 3000/фб при 14 ТэВ

- позволяет увеличить статистику по распадам $H \rightarrow ZZ$ на порядок
- улучшить значения вероятностей распадов по ZZ и $\gamma\gamma$
- позволить обнаружить недостающие распады $H \rightarrow \mu\mu$ и $Z\gamma$
- улучшить значения вероятностей распадов в $WW, bb, \tau\tau$.

Все это необходимо для прецизионной проверки "стандарт-модельной" принадлежности обнаруженного в 2012 году бозона Хиггса. — А если НЕТ?

— Например, если подтвердится эффект нарушения закона сохранения лептонного числа в распадах хиггсов: $H \rightarrow \mu\tau$?

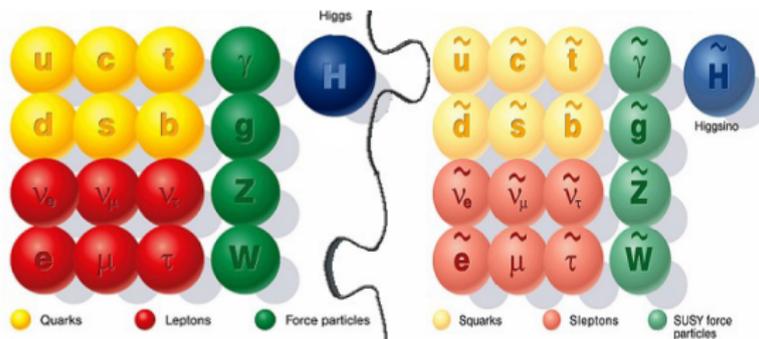
Еще более важно — определение интенсивности самодействия λ бозонов Хиггса, скажем по распадам их в $bb\gamma\gamma$ и $bb\tau\tau$ конечные состояния.





Суперсимметрия — лучший кандидат на замену СМ!

Идея Суперсимметрии — эквивалентность между бозонами (спин=0 или 1) и фермионами (спин=1/2). Каждому элементу СМ (электрону, мюону, кварку, фотону и т.п.) ставится в соответствие единственный супер-партнер (электрон — супер-электрон или скалярный-электрон или С-электрон т.д.), который взаимодействует совершенно эквивалентным образом (неразличимы — это и есть симметрия). Число частиц удваивается — это расплата.



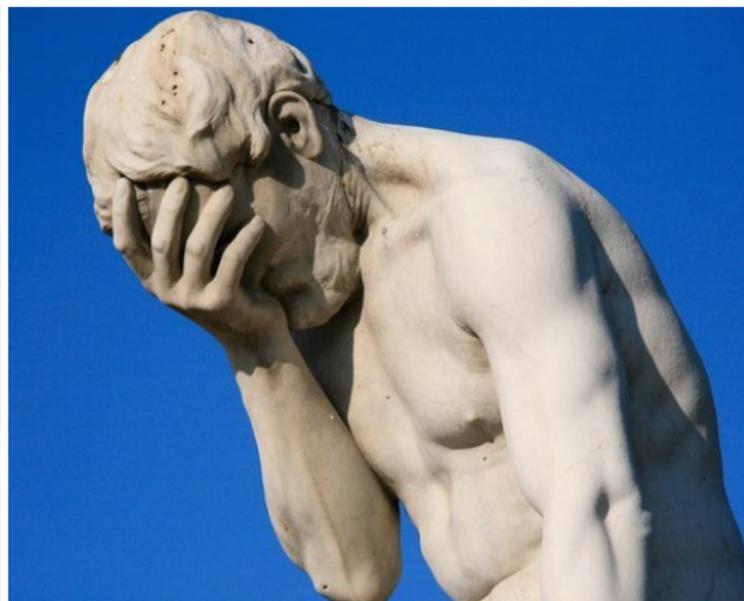
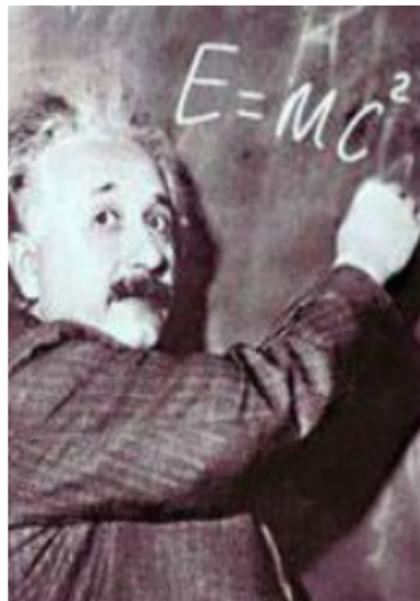
Суперсимметрия должна быть нарушена — нет в Природе пока наблюдаемых супер-партнеров. И если они есть на самом деле, то должны быть заметно тяжелее своих элегантных СМ-сестер.

Будучи корректно математически оформлена, идея Суперсимметрии лучше всех "спасает" Стандартную Модель.

Осталось только обнаружить эти неуловимые супер-партнеры!



Что такое (фундаментальная) наука?





Что такое (фундаментальная) наука?

Главной, отличительной чертой Науки является **поиск и исследование Нового**, именно нового с Большой Буквы, того, что было ранее абсолютно неизвестно.



Поскольку само Новое (в виде знания, умения, устройства, сервиса, или мировоззрения в целом) – это свойство отнюдь не настоящего (иначе оно не было бы Новым), а исключительно будущего, то очевидно, что **Наука** – это именно та сфера деятельности человека, прерогативой которой является **исследование, прогнозирование, создание и обеспечение Будущего**.

Понятно, что такого типа деятельность необходима для любого нормально развивающегося социального организма (семьи, общества, страны и т.п.). *Понятно также, что не все планы сбываются ...*





Почему надо заниматься наукой?

Наука как реальная производительная сила уже известна нам давно. Однако, есть еще несколько интересных и менее известных ее особенностей.

Наука — это своего рода армия, ведущая защиту Родины в особой сфере высокого интеллекта, на передовой границе неизведанного. К сожалению, производя Новое знание, Наука нередко порождает и новое оружие. Очевидно, что победу одерживает не только мужество солдат и мудрость полководцев, но и интеллект и знания ученых и инженеров, способных создать (или обезвредить) новое оружие неприятеля.





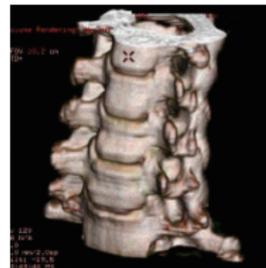
Наука всегда была и будет востребована

Фундаментальная Наука, решая свои внутренние задачи, исключительно эффективно “напрягает” инженерную мысль, сферу технологии и промышленное производство. Все это приводит к практическим “побочным” результатам общего пользования (IP телефония, холодильники, интернет и т.п.).

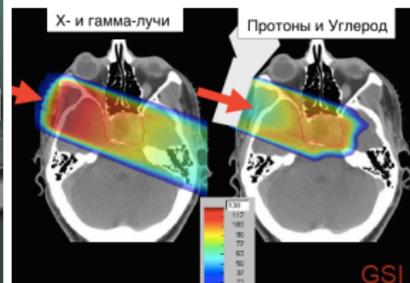
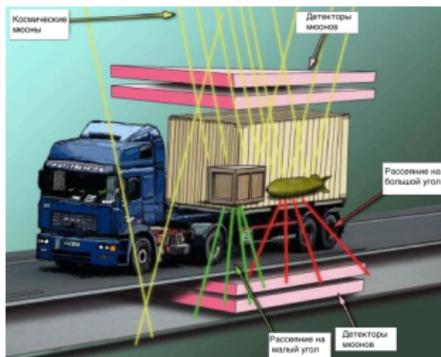
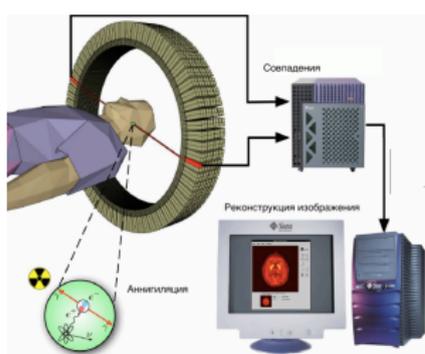




Это свойство “напрягать” особенно присуще современной физике элементарных частиц. Проводя поиски бозонов Хиггса, суперсимметрии, темной материи, новых явлений, она **вынуждена** придумывать, производить невиданные ранее приборы и методы познания (интернет, грид, прецизионные приборы, уникальные технологии и т.п.), что потом превращается в побочные продукты.



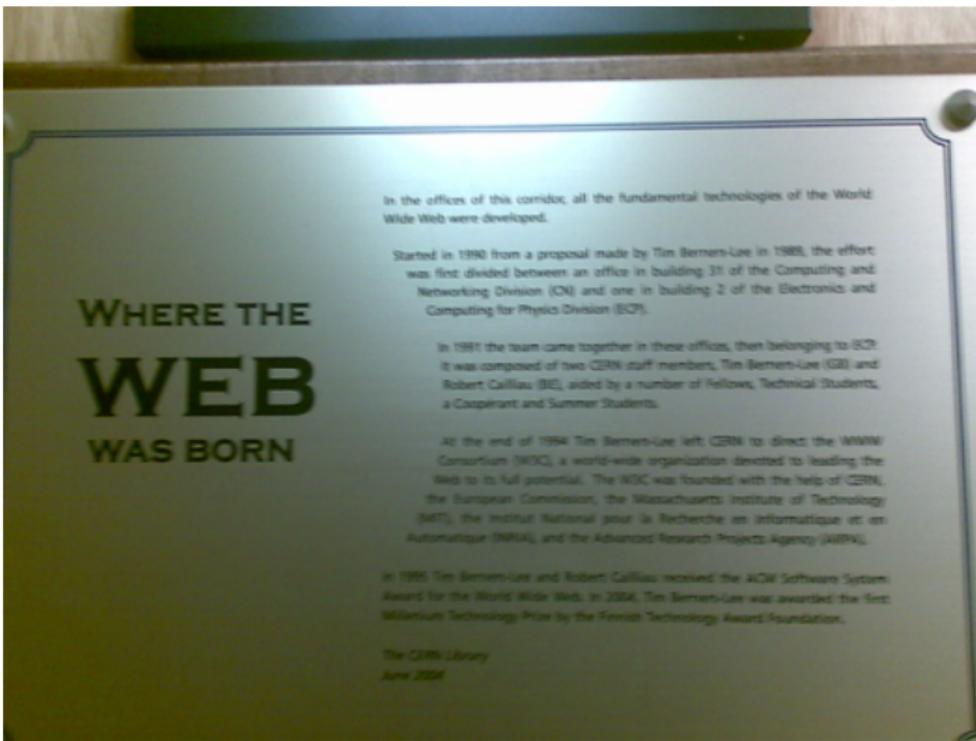
Визуализация



Именно это оказываются крайне востребованным, именно эти “продукты” кардинально изменяют качество жизни людей — диагностика, безопасность, лечение ...



... весит такая скромная табличка ...



... все ВСЁ говорящая про пользу Науки !



Зачем Государству нужна наука?

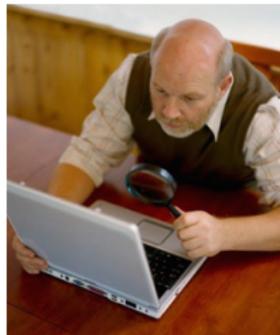
- Она позволяет Государству быть в курсе того, что происходит вокруг, в том числе и в области еще не познанного (откуда возможны неприятные сюрпризы для безопасности).
- Высокий уровень развития фундаментальной науки позволяет вовремя принимать правильные (упреждающие, и не только военные) решения.
- Она престижна для Государства – “Мы первые открыли то-то ...”. “Мы первые вышли в космос” и т.п.
- Все это говорил о силе Государства, а значит, опять повышает безопасность, упреждая, останавливая потенциального агрессора.





Зачем еще нам нужна наука?

Она напрямую имеет дело с Научной истиной, с установлением законов Природы, она создает современное мировоззрение и позволяет понять место человека в Мире ...



Она питает квалифицированными кадрами сферу образования и создает новые рабочие места.



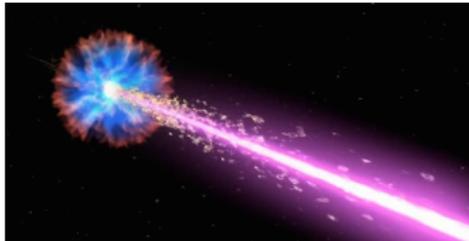
Она систематически открывает совершенно новые, неизвестные ранее, области прикладной науки и технологии, она обогащает их новыми идеями. В частности, посредством все новых более изощренных физических приборов она позволяет **визуализировать** предметы исследования других науки (медицины, астрофизики, биологии, геофизики и т.п.)





Наука интернациональна!

Она сближает народы ради единой цели. Только на глобальном, интернациональном уровне современная наука позволит человечеству выжить на планете Земля в условиях холодного Космоса, постоянно таящего в себе всевозможные угрозы и абсолютно равнодушного к нам (у него таких нас много ...).



Понять, предугадать, и упредить его разнообразные “сюрпризы” может только Наука!



Несколько слов про ОИЯИ



Объединённый Институт Ядерных Исследований – международная межправительственная организация в области фундаментальной науки



ОИЯИ образован в 1956 г.
Членами ОИЯИ являются 18 государств

На правительственном уровне заключены соглашения о сотрудничестве с Германией, Венгрией, Италией Южно-Африканской Республикой, Сербией ...

Главные направления фундаментальных исследований —
Физика элементарных частиц,
Ядерная физика и Физика конденсированного состояния

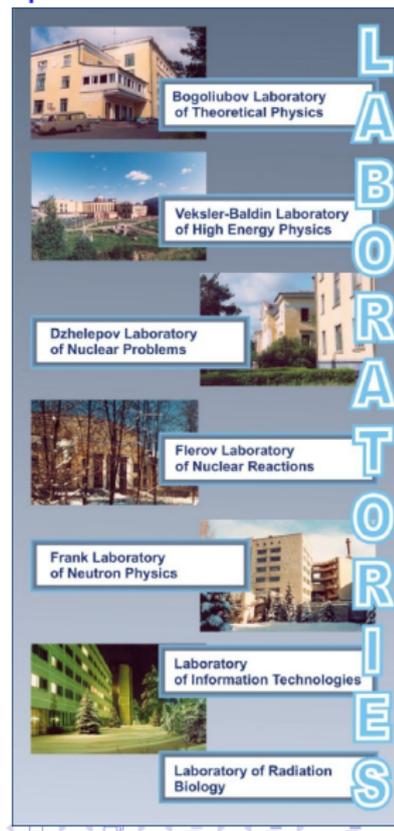


ОИЯИ состоит из 7 Лабораторий

и проводит исследования по следующим основным направлениям:

- теоретическая физика
- физика элементарных частиц
- релятивистская ядерная физика
- физика тяжелых ионов
- физика низких и промежуточных энергий
- ядерная физика с нейтронами
- физика конденсированных сред
- радиационная биология
- современные информационные технологии.

ОИЯИ — это передовая физика сверхтяжелых элементов, прецизионная ядерная спектроскопия, физика материалов и конденсированного состояния, фундаментальные работы с нейтронами, физика элементарных частиц сверх-высоких энергий, прецизионная нейтринная физика и астрофизика, теоретическая и математическая физика, информационные технологии и компьютеринг, передовая техника и методика экспериментов, биофизика и радиобиология и т.д. **В этом уникальность и существенное отличие от ЦЕРН!**





Каждая Лаборатория ОИЯИ представляет собой полноценный Научно-Исследовательский институт, как по составу, так и по вполне специализированному спектру решаемых задач.



**Лаборатория Ядерных Проблем
им. Джелепова**



**Лаборатория Физики Высоких Энергий
им. Векслера и Балдина**



**Лаборатория Теоретической
Физики им. Боголюбова**



**Лаборатория Ядерных Реакций
им. Флерова**



**Лаборатория Нейтронной Физики
им. Франка**



**Лаборатория
Информационных
Технологий.
Университетский Центр
ОИЯИ**



Лаборатория Радиационной Биологии



В ЛЯР ОИЯИ за 10 лет синтезировано 6 новых элементов и новых 49 изотопов

группы элементов

Д.И. Менделеев
1834 - 1907

105
Dubnium
1965

113	114	115	116	117	118
Открыт в ОИЯИ в 2003	Открыт в ОИЯИ в 1999 флеровий	Открыт в ОИЯИ в 2003	Открыт в 2000 ливерморий	Открыт в ОИЯИ в 2009	Открыт в ОИЯИ в 2001



“JINR Dubna and teams from JINR Member States have made many crucial contributions to ATLAS, both technically and scientifically” – P.Jenni (ATLAS spokesperson)

Группа участников коллаборации ATLAS из ОИЯИ была основательно вовлечена в разработку, проектирование, тестовые испытания и сборку всех основных систем установки ATLAS:

Inner Detector

Tile Calorimeter

Liquid Argon End Cap Calorimeter

Muon detector

Common Items (Toroid Warm Structure and others)

Только США, ЦЕРН, ОИЯИ и Италия участвовали в создании ВСЕХ главных подсистем детектора ATLAS!

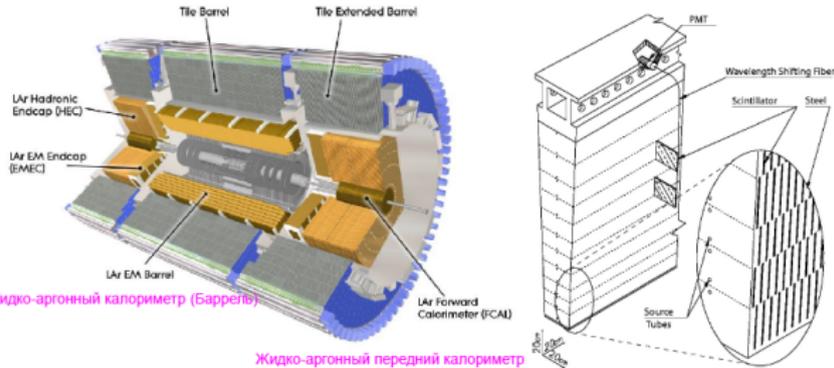




Создавался Баррельный модуль адронного калориметра:

Схема расположения калориметрической системы АТЛАС (слева); модуль баррельной части Адронного Калориметра (справа)

Адронный тайл-калориметр (Баррель) Адронный тайл-калориметр (Дополнительный Баррель)



Жидко-аргонный калориметр (Баррель)

Жидко-аргонный передний калориметр

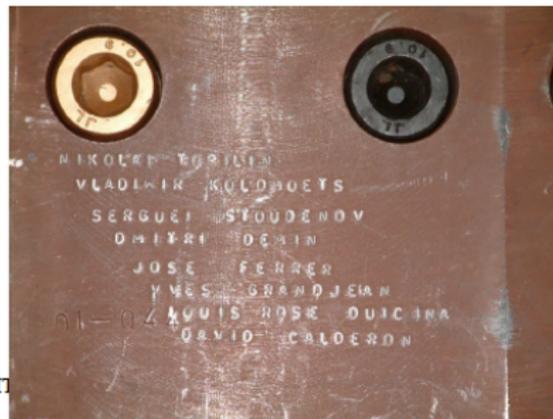
Адронный калориметр содержит около 600 тысяч прецизионных стальных пластин (более 1000000 деталей в целом)

8

- Массовое производство суб-модулей в ОИЯИ
- Массовая транспортировка их в ЦЕРН и наладка
- Тестовый монтаж тайл-калориметра на поверхности
- Разборка, проверка, наладка
- Высокоточный монтаж на месте работы установки (глубина 100 м)

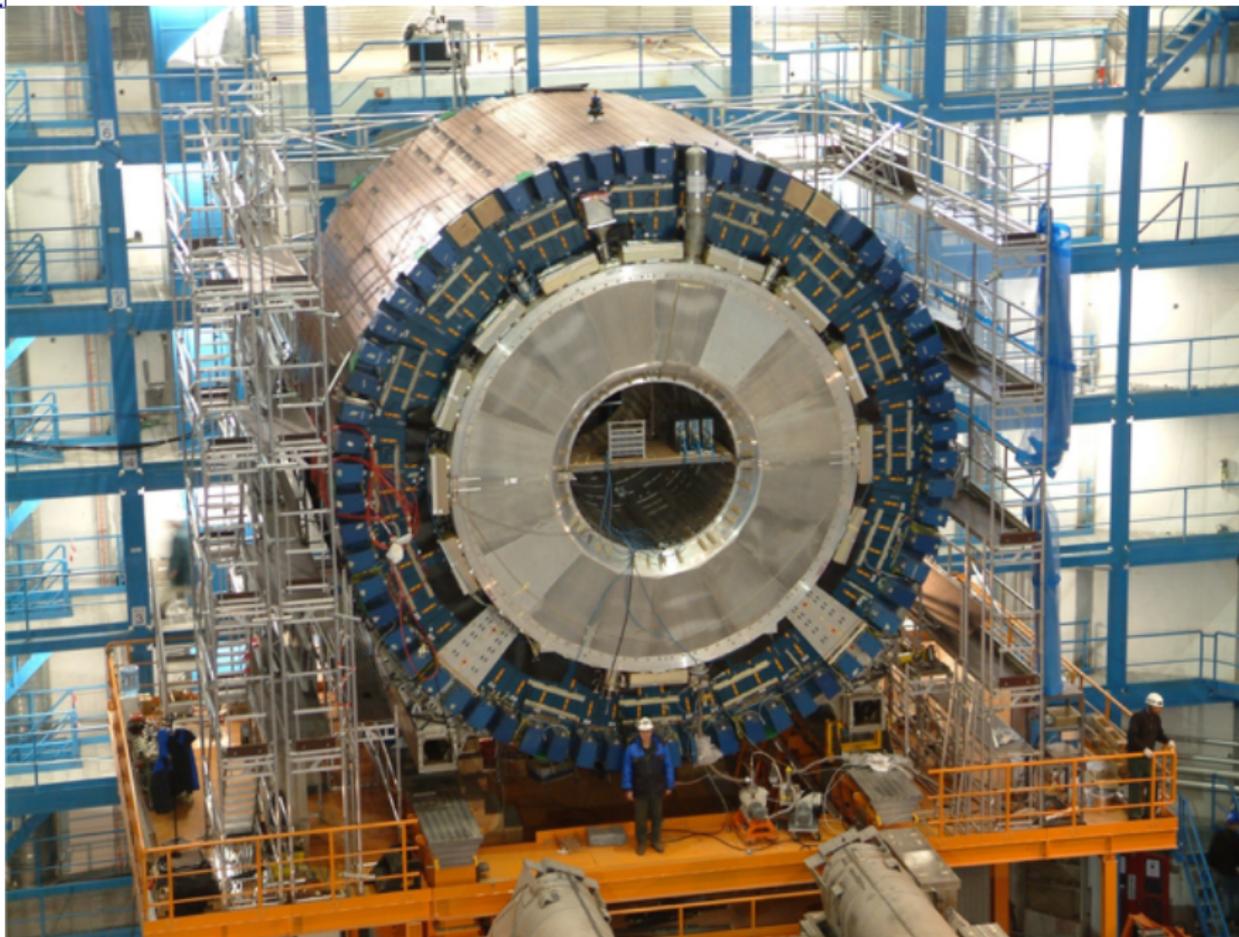


Последний,
64-й Модуль
помещен на свое
рабочее место!





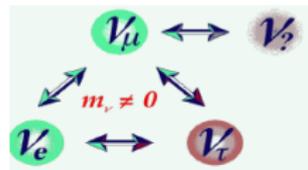
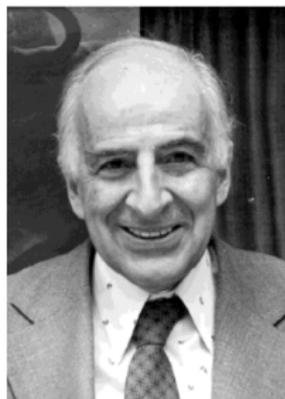
Полностью собранный калориметр





НЕЙТРИНО – ключ к ФЭЧ

Бруно Понтекорво: “Осцилляциии – это простой фокус. 1-2-3 и ... готово!”

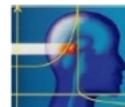


Бруно Понтекорво

Более 50 лет назад в Дубне впервые была рождена идея ν осцилляций!

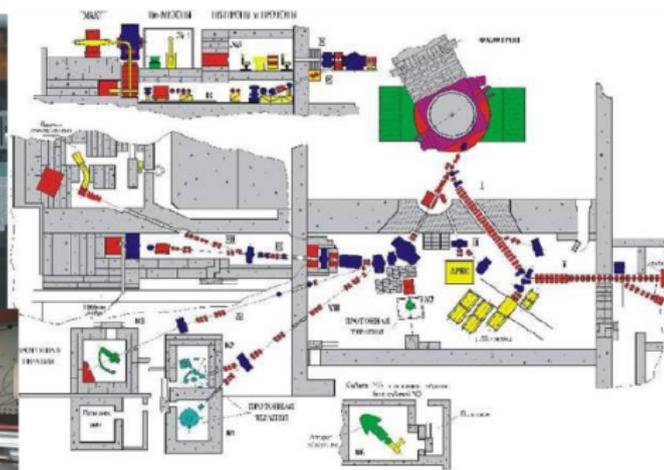
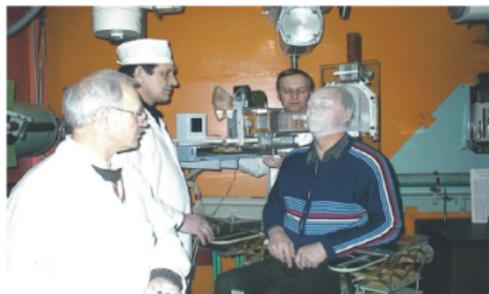
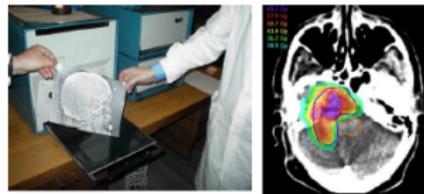


Протонная терапия в ОИЯИ – яркий пример практической роли фундаментальной науки!



Протонная терапия на Фазотроне ОИЯИ:

- Уникальный в России опыт применения адекватного форме опухоли 3D метода лечения онкологии
- Более 100 пациентов в год начиная с 2000 г.
- Разработка нового Центра Протонной терапии





ОИЯИ — это единственная в Мире организация, где уже 60 лет на самом высоком международном уровне успешно проводятся фундаментальные исследования в беспрецедентно широком спектре актуальных научных направлений.



Уникальность ОИЯИ состоит в конструктивном три-единстве **фундаментальности, международности и широкой мультидисциплинарности исследований.**

Многолетняя стабильность успешной научно-исследовательской работы обеспечивает **богатый опыт и высокую квалификацию исполнителей.** Как следствие — возможность наиболее эффективной передачи знаний молодому поколению, а также непревзойденный **потенциал научно-прикладной и инновационной деятельности** в широком спектре возможных применений.

Отсюда — **привлекательность ОИЯИ для молодых исследователей** разной национальности — каждый может для себя всегда найти интересное дело самой высокой научной значимости. И в этом гарантия успешного будущего развития ОИЯИ.

Мультидисциплинарность обеспечивает **стабильность** получения новых научных результатов. Она в глубоком и традиционном сотрудничестве между подразделениями ОИЯИ, в постоянном обмене опытом, оборудованием, идеями. Она связывает воедино все направления исследований путем единого для всех **стандарта ценностей и отношения к работе,** единого стремления к фундаментальным знаниям, в рамках открытого международного сотрудничества, **необходимость и обязательность** которого изначально записана была в основополагающих документах ОИЯИ.

Опыт прошедших трудных лет и логика развития науки показывает, что залог успеха — в сохранении и приумножении наших уникальных традиций, в нашем плодотворном единстве.



Новая 7-летняя Программа развития ОИЯИ — широкий
и уверенный взгляд в будущее ...
полное новых неожиданных открытий !

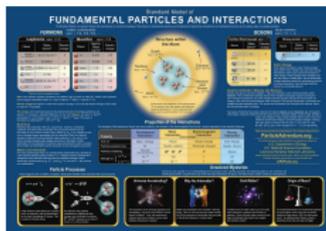
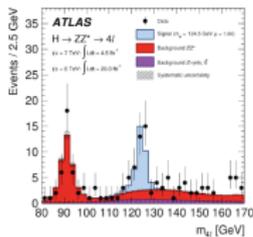
Стратегическая задача Новой научной программы развития ОИЯИ состоит в обеспечении постоянного производства уникальных новых знаний о Природе на основе проверенных временем общих принципов фундаментальности, международной и мультидисциплинарности.



2017 – 2023



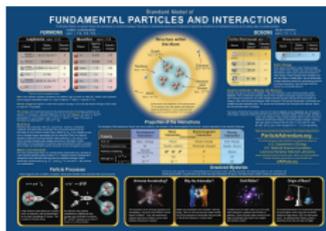
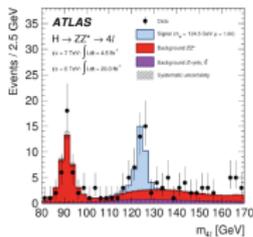
- 1 Бозон Хиггса и его история — триумф интеллекта!
- 2 Стандартная Модель — очень хороша, но надо двигаться дальше.
- 3 Наука — это наше Будущее, во всех смыслах.
- 4 ОИЯИ — передовой фронт современной физической науки.



Огромное СПАСИБО за внимание и ... терпение!



- 1 Бозон Хиггса и его история — триумф интеллекта!
- 2 Стандартная Модель — очень хороша, но надо двигаться дальше.
- 3 Наука — это наше Будущее, во всех смыслах.
- 4 ОИЯИ — передовой фронт современной физической науки.



Огромное СПАСИБО за внимание и ... терпение!