



# **Введение в физику элементарных частиц - I**

**В.Т. Ким**

**Петербургский Институт Ядерной Физики НИЦ КИ, Гатчина  
Санкт-Петербургский Политехнический Университет**



# План лекций

Удивительный мир элементарных частиц

Единицы измерений и масштабы

Кинематика реакций

Зоопарк частиц Стандартной Модели

Квантовая хромодинамика: кварки и конфайнмент

Стандартная Модель электрослабых взаимодействий

Спонтанное нарушение симметрии и бозон Хиггса

Физика за пределами Стандартной Модели

Поиски новой физики на Большом адронном коллайдере

# Удивительный мир элементарных частиц

Из чего сделан и как устроен мир?

Фундаментальные составляющие материи?

Физика микромира < - > Элементарные частицы

↙  
Большой Взрыв (Big Bang)

↘  
Физика макромира < - > Космология

LHC - Большой адронный коллайдер (БАК):

энергии частиц  $\sim$  время  $10^{-10}$ с после Большого Взрыва



# Удивительный мир Элементарных частиц

Из чего сделан и как устроен мир?

Физика элементарных частиц

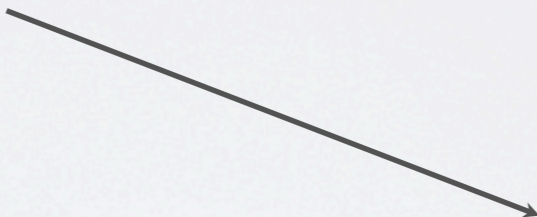
Квантовая механика

СТО

Теория поля

Релятивистская квантовая механика

Квантовая теория поля





# Единицы измерений и масштабы

1 нм =  $10^{-9}$  м                    молекула

1 ФМ =  $10^{-15}$  м                    протон

$10^{-3}$  ФМ =  $10^{-18}$  м            ≥            электрон

$3 \cdot 10^{-19}$  м            ≥            кварки (БАК: CMS & ATLAS)

возможность проверить на БАК

структуру частиц до:     $\sim 10^{-5}$  ФМ =  $10^{-20}$  м

# Единицы измерений и масштабы

характерное время реакций =  $3 \cdot 10^{-24}$  с

- свет проходит  $l_{\text{Фм}} = 10^{-15}$  м (размер протона)

время жизни адронов в слабых распадах  $\sim 10^{-12} - 10^{-9}$  с

характерные энергии:

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

молекулы  $\sim 0.02$  эВ

фотоны  $\sim 2$  эВ

ядерные реакции:  $1 \text{ МэВ} = 10^6$  эВ

структура протона:  $1 \text{ ГэВ} = 10^9$  эВ

БАК (1 стадия):

$3.5 \text{ ТэВ} \times 3.5 \text{ ТэВ}$

$1 \text{ ТэВ} = 10^{12}$  эВ



# Немного кинематики

релятивистская кинематика СТО

$$E = \gamma m c^2 = \gamma m$$

здесь и далее  $c = 1$

масса протона = 0.94 ГэВ

масса электрона = 0.5 МэВ

преобразования Лоренца



4D-вращения в пространстве Минковского

длина 4-вектора: инвариант

псевдоэвклидовое пространство:  $p = (E, \vec{p})$

$$p^2 = E^2 - \vec{p}^2 = m^2$$

угол  $\longrightarrow$  быстрота

cos, sin  $\longrightarrow$  ch, sh

# Масса в СТО

релятивистская кинематика СТО  $E = \gamma m c^2 = \gamma m$

здесь и далее  $c = 1$

масса (покоя)

→ Лоренц-инвариант (длина 4-вектора)

$$p^2 = E^2 - p_{\vec{r}}^2 = m^2$$

преобразования Лоренца:

$$E \rightarrow \gamma (E + \beta p_z) \quad p_z \rightarrow \gamma (p_z + \beta E)$$

псевдо-евклидовое пространство:  $p = (E, \vec{p})$

Понятия релятивистской массы и массы покоя не нужны –  
есть только инвариантная масса, полная энергия, энергия  
покоя:

Л. Б. Окунь УФН (2004)





# Масса в СТО



При переходе из одной инерциальной системы в другую:  
энергия – меняется  
масса – не меняется

**Но!**

В каждой инерциальной системе:  
энергия – сохраняется  
масса – не сохраняется

распад частиц

# Измерение массы частицы по распаду на две частицы



$$1 \rightarrow 2 + 3$$

$$\begin{aligned} p_1 &= p_2 + p_3 \\ &= (E_2 + E_3, p_{2x} + p_{3x}, p_{2y} + p_{3y}, p_{2z} + p_{3z}) \end{aligned}$$

масса  $\leftarrow$  Лоренц-инвариант (длина 4-вектора)

$$p^2 = E^2 - \vec{p}^2 = m^2$$

$$m_1^2 = p_1^2 = (E_2 + E_3)^2 - (\vec{p}_2 + \vec{p}_3)^2$$

# ПОЧЕМУ КОЛЛАЙДЕРЫ?

Г.И. Будкер (ИЯФ СО АН): встречные пучки

$$p_1 + p_2 = (E_1 + E_2, p_{1x} + p_{2x}, p_{1y} + p_{2y}, p_{1z} + p_{2z})$$

СЦМ

ЛС

$$(E_1 + E_2, \vec{p}_1 + \vec{p}_2) = (2E, \vec{0})$$

$$(E^L + m, \vec{p}^L + \vec{0})$$

$$p^2 = 4(E)^2$$

$$p^2 = (E^L + m)^2 - (\vec{p}^L)^2 =$$

$$= 2mE^L + 2m^2 \approx 2mE^L$$

$$E \approx \sqrt{(E^L m)/2}$$

$$E^L \approx 2(E)^2 / m$$

Фермилаб: 1 ТэВ x 1 ТэВ  $\longrightarrow$   $E^L = 2 \cdot 10^3$  ТэВ  $2 \cdot 10^3$

БАК: 3.5 ТэВ x 3.5 ТэВ  $\longrightarrow$   $E^L = 2 \cdot 10^4$  ТэВ  $6 \cdot 10^3$

БАК: 7 ТэВ x 7 ТэВ  $\longrightarrow$   $E^L = 10^5$  ТэВ  $1.4 \cdot 10^4$



# Современные коллайдеры



Фермилаб Тэватрон (Чикаго)

pp: 1 ТэВ x 1 ТэВ

$$E^L = 2 \cdot 10^3 \text{ ТэВ}$$

BNL RHIC (Нью-Йорк)

AA: 100 ГэВ/н x 100 ГэВ/н

$$E^L = 20 \text{ ГэВ/н}$$

AuAu

ЦЕРН БАК (Женева)

pp: 3.5 ТэВ x 3.5 ТэВ

$$E^L = 2 \cdot 10^4 \text{ ТэВ}$$

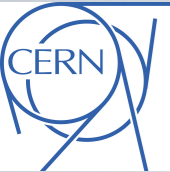
7 ТэВ x 7 ТэВ

$$E^L = 10^5 \text{ ТэВ}$$

AA: 5.5 ТэВ/нуклон-нуклон

PbPb

БАК: 27км 11000 оборотов/с



# Масса в Квантовой Механике



$S \gg \hbar \rightarrow$  классическая теория

$S \sim \hbar \rightarrow$  квантовая теория

$\hbar$  – квант действия

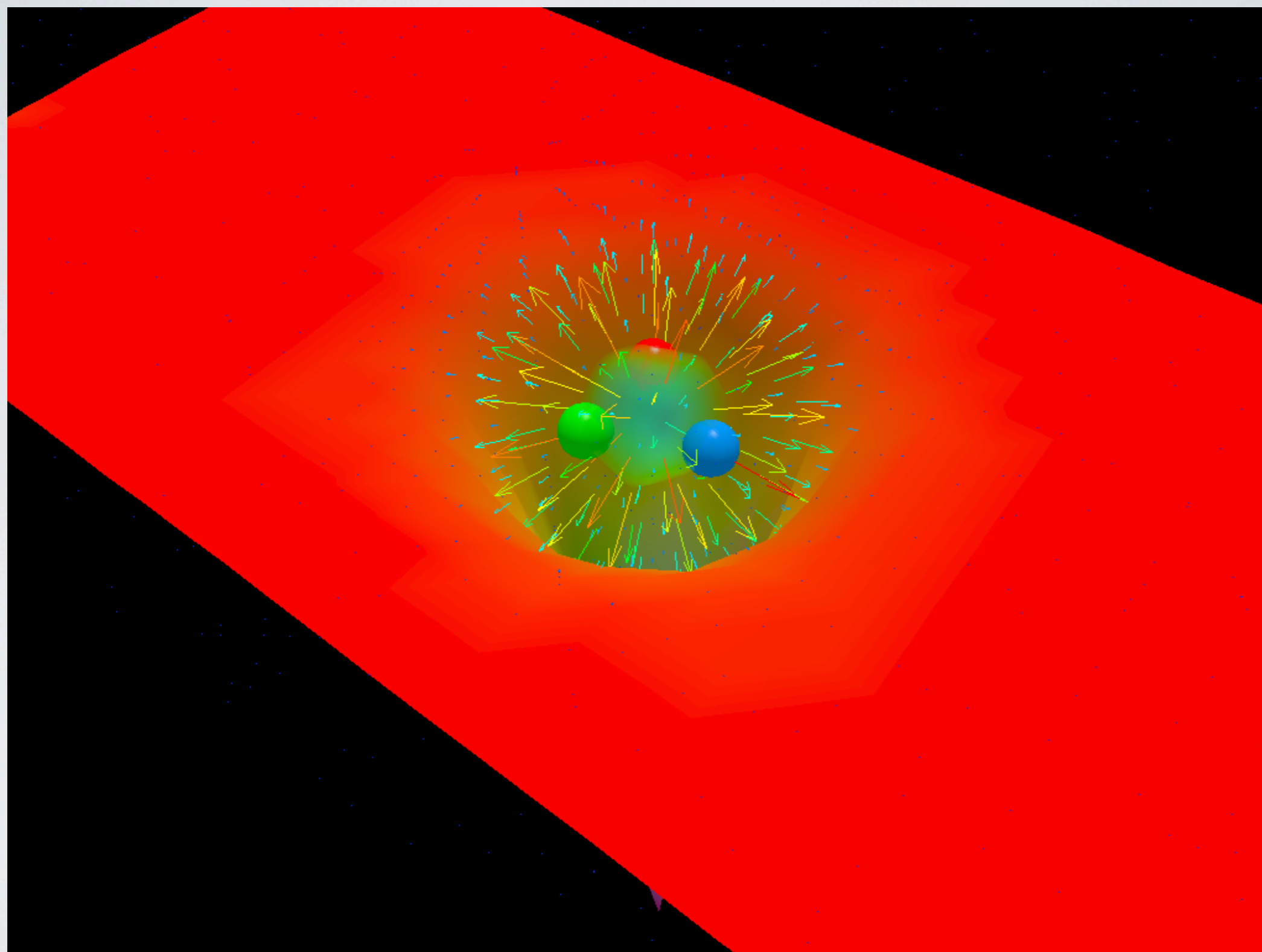
далее  $\hbar = 1$

Стабильные и нестабильные частицы

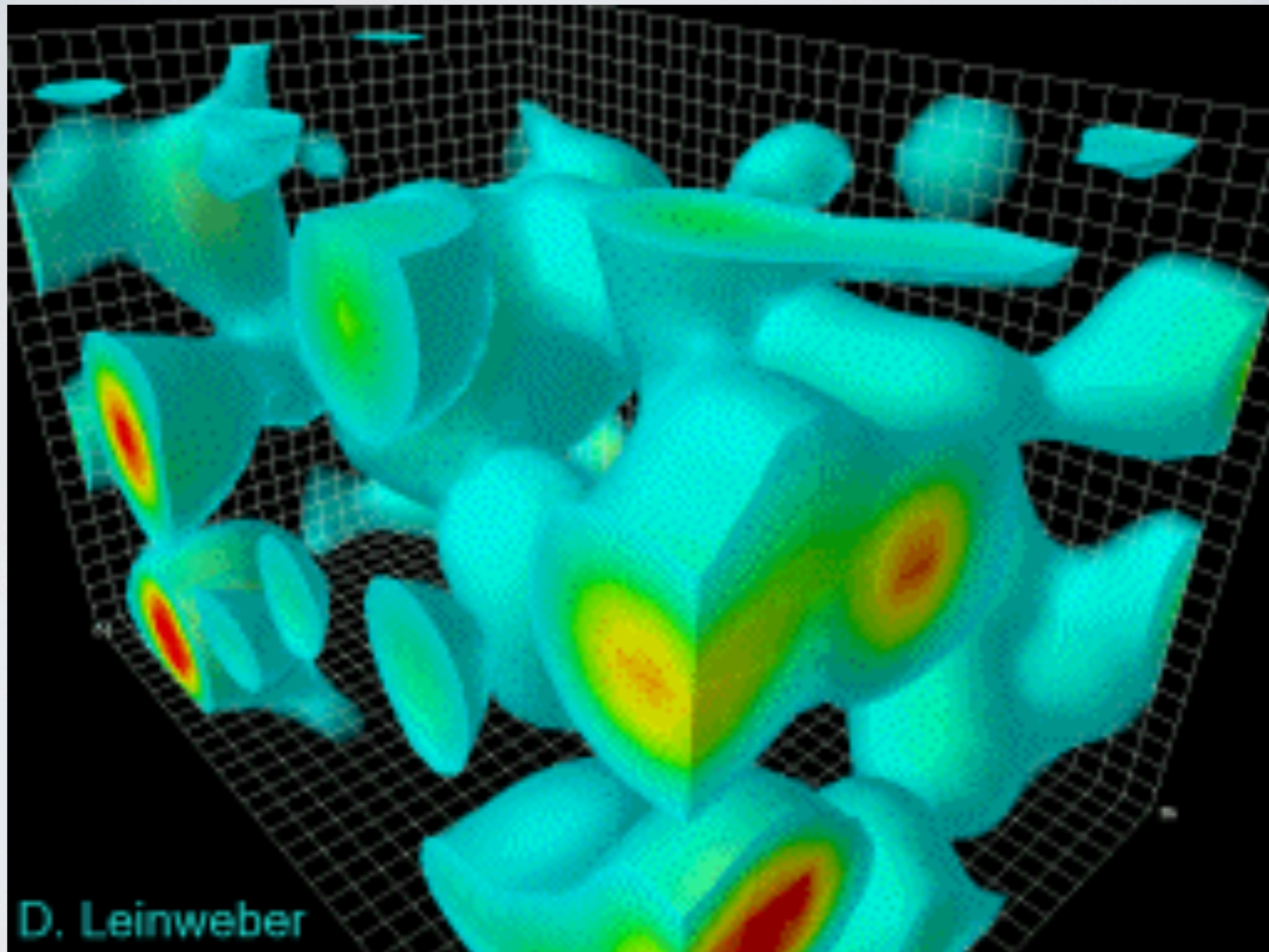
Реальные и виртуальные частицы

R. Фейнман: « ...Только виртуальные частицы могут быть наблюдаемыми ...»

# Частица в вакууме



# Физический вакуум





# (Поперечное) сечение рассеяния



Вероятность и интенсивность взаимодействия:  
сечение рассеяния  $\sim r^2$

контактное взаимодействие  $\rightarrow$  площадь мишени  
точка с кулоновским взаимодействием  $\rightarrow \infty$

[сечение рассеяния (Квантовая Механика)]  
= 2 x [сечение рассеяния (Классическая Механика)]

**Задача:** объяснить множитель 2



# Единицы измерений и масштабы

Вероятность и интенсивность взаимодействия:  
сечение рассеяния  $\sim r^2$

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

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

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

Светимость (интенсивность пучков):  $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$

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

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

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

Частота реакций = светимость  $\times$  сечение

Бозон Хиггса:

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

$1 \text{ событие за } 10 \text{ сек.}$

# Квантовая физика

Соотношение неопределенности Гейзенберга:

$$\Delta p \cdot \Delta x \simeq \hbar$$

Высокие энергии  $\longleftrightarrow$  малые расстояния

$$\Delta x \sim \frac{\hbar}{E}$$

Спин (внутренний угловой момент): квантуется

фермионы: полуцелый спин (принцип Паули)

бозоны: целый спин (возможна конденсация)

Уравнение Дирака для релятивистских частиц:

существуют античастицы



# Физика элементарных частиц: симметрии и их нарушения

## Принципы:

наименьшего действия

относительности

локальной калибровочной инвариантности

...

## Законы:

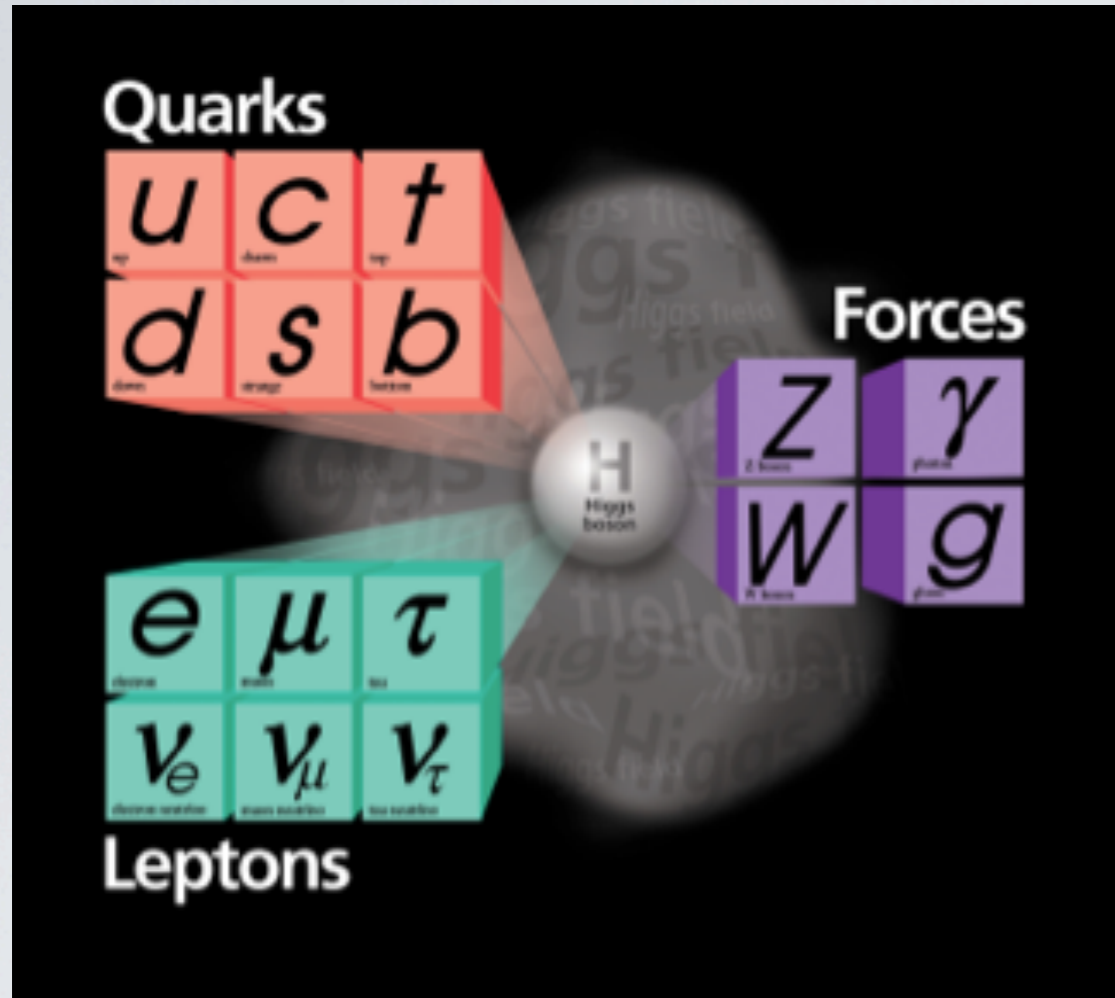
сохранение энергии-импульса

сохранение электрического заряда

сохранение барионного заряда

...

**Принципы и законы связаны с симметриями!**



## e.g. LEP and SM

Quantity	Value	Standard Model	Pull
$m_t$ [GeV]	$172.7 \pm 2.9 \pm 0.6$	$172.7 \pm 2.8$	0.0
$M_W$ [GeV]	$80.450 \pm 0.058$	$80.376 \pm 0.017$	1.3
	$80.392 \pm 0.039$		0.4
$M_Z$ [GeV]	$91.1876 \pm 0.0021$	$91.1874 \pm 0.0021$	0.1
$\Gamma_Z$ [GeV]	$2.4952 \pm 0.0023$	$2.4968 \pm 0.0011$	-0.7
$\Gamma(\text{had})$ [GeV]	$1.7444 \pm 0.0020$	$1.7434 \pm 0.0010$	—
$\Gamma(\text{inv})$ [MeV]	$499.0 \pm 1.5$	$501.65 \pm 0.11$	—
$\Gamma(\ell^+\ell^-)$ [MeV]	$83.984 \pm 0.086$	$83.996 \pm 0.021$	—
$\sigma_{\text{had}}$ [nb]	$41.541 \pm 0.037$	$41.467 \pm 0.009$	2.0
$R_e$	$20.804 \pm 0.050$	$20.756 \pm 0.011$	1.0
$R_\mu$	$20.785 \pm 0.033$	$20.756 \pm 0.011$	0.9
$R_\tau$	$20.764 \pm 0.045$	$20.801 \pm 0.011$	-0.8
$R_b$	$0.21629 \pm 0.00066$	$0.21578 \pm 0.00010$	0.8
$R_c$	$0.1721 \pm 0.0030$	$0.17230 \pm 0.00004$	-0.1
$A_{FB}^{(0,e)}$	$0.0145 \pm 0.0025$	$0.01622 \pm 0.00025$	-0.7
$A_{FB}^{(0,\mu)}$	$0.0169 \pm 0.0013$		0.5
$A_{FB}^{(0,\tau)}$	$0.0188 \pm 0.0017$		1.5
$A_{FB}^{(0,b)}$	$0.0992 \pm 0.0016$	$0.1031 \pm 0.0008$	-2.4
$A_{FB}^{(0,c)}$	$0.0707 \pm 0.0035$	$0.0737 \pm 0.0006$	-0.8
$A_{FB}^{(0,s)}$	$0.0976 \pm 0.0114$	$0.1032 \pm 0.0008$	-0.5
$s_\tau^2(A_{FB}^{(0,q)})$	$0.2324 \pm 0.0012$	$0.23152 \pm 0.00014$	0.7
	$0.2238 \pm 0.0050$		-1.5
$A_e$	$0.15138 \pm 0.00216$	$0.1471 \pm 0.0011$	2.0
	$0.1544 \pm 0.0060$		1.2
	$0.1498 \pm 0.0049$		0.6
$A_\mu$	$0.142 \pm 0.015$		-0.3
$A_\tau$	$0.136 \pm 0.015$		-0.7
	$0.1439 \pm 0.0043$		-0.7
$A_b$	$0.923 \pm 0.020$	$0.9347 \pm 0.0001$	-0.6
$A_c$	$0.670 \pm 0.027$	$0.6678 \pm 0.0005$	0.1
$A_s$	$0.895 \pm 0.091$	$0.9356 \pm 0.0001$	-0.4
$g_b^2$	$0.30005 \pm 0.00137$	$0.30378 \pm 0.00021$	-2.7
$g_b^2$	$0.03076 \pm 0.00110$	$0.03006 \pm 0.00003$	0.6
$g_V^e$	$-0.040 \pm 0.015$	$-0.0396 \pm 0.0003$	0.0
$g_A^e$	$-0.507 \pm 0.014$	$-0.5064 \pm 0.0001$	0.0
$A_{PV}$	$-1.31 \pm 0.17$	$-1.53 \pm 0.02$	1.3
$Q_W(\text{Cs})$	$-72.62 \pm 0.46$	$-73.17 \pm 0.03$	1.2
$Q_W(\text{Ti})$	$-116.6 \pm 3.7$	$-116.78 \pm 0.05$	0.1
$\frac{\Gamma(b \rightarrow s\gamma)}{\Gamma(b \rightarrow \text{had})}$	$3.35^{+0.50}_{-0.44} \times 10^{-3}$	$(3.22 \pm 0.09) \times 10^{-3}$	0.3
$\frac{1}{2}(g_\mu - 2 - \frac{g}{2})$	$4511.07 \pm 0.82$	$4509.82 \pm 0.10$	1.5
$\tau_\tau$ [fs]	$290.89 \pm 0.58$	$291.87 \pm 1.76$	-0.4

Стандартная Модель:  
замечательная и  
хорошо проверенная  
экспериментально теория

# Адроны и Кварки

лептоны - “лептос” (легкий)

адроны - “хадрос” (тяжелый)

барион: три кварка

мезон: кварк-антикварк

Квантовая Хромодинамика (КХД)

кварки: 6 флейворов (ароматов)

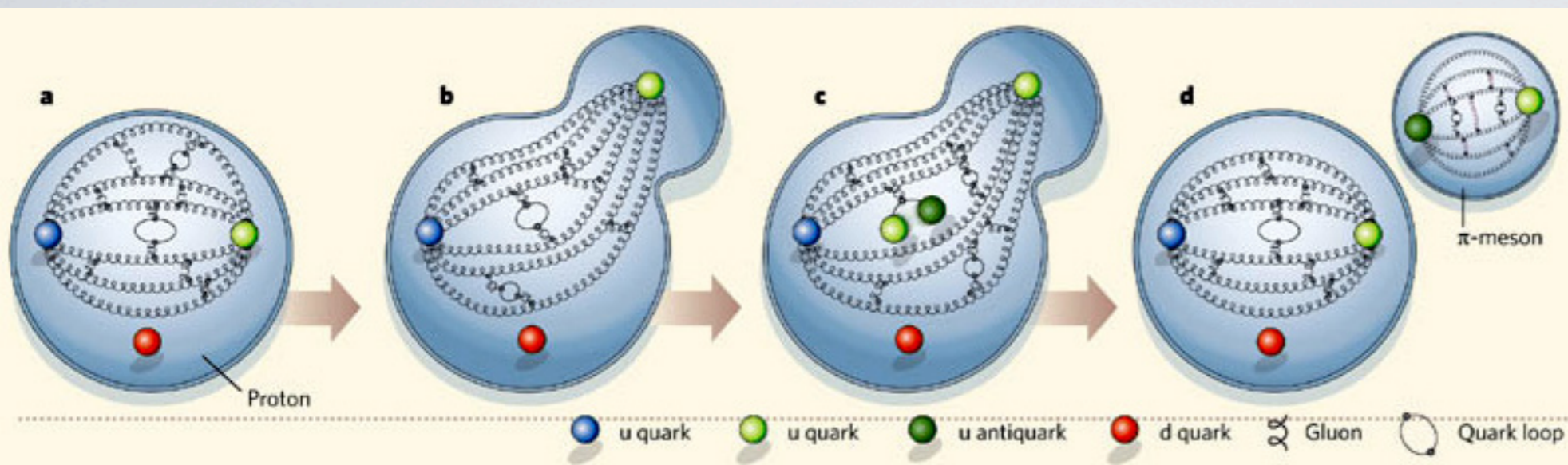
три цвета (сильный заряд)

дробные электрические заряды

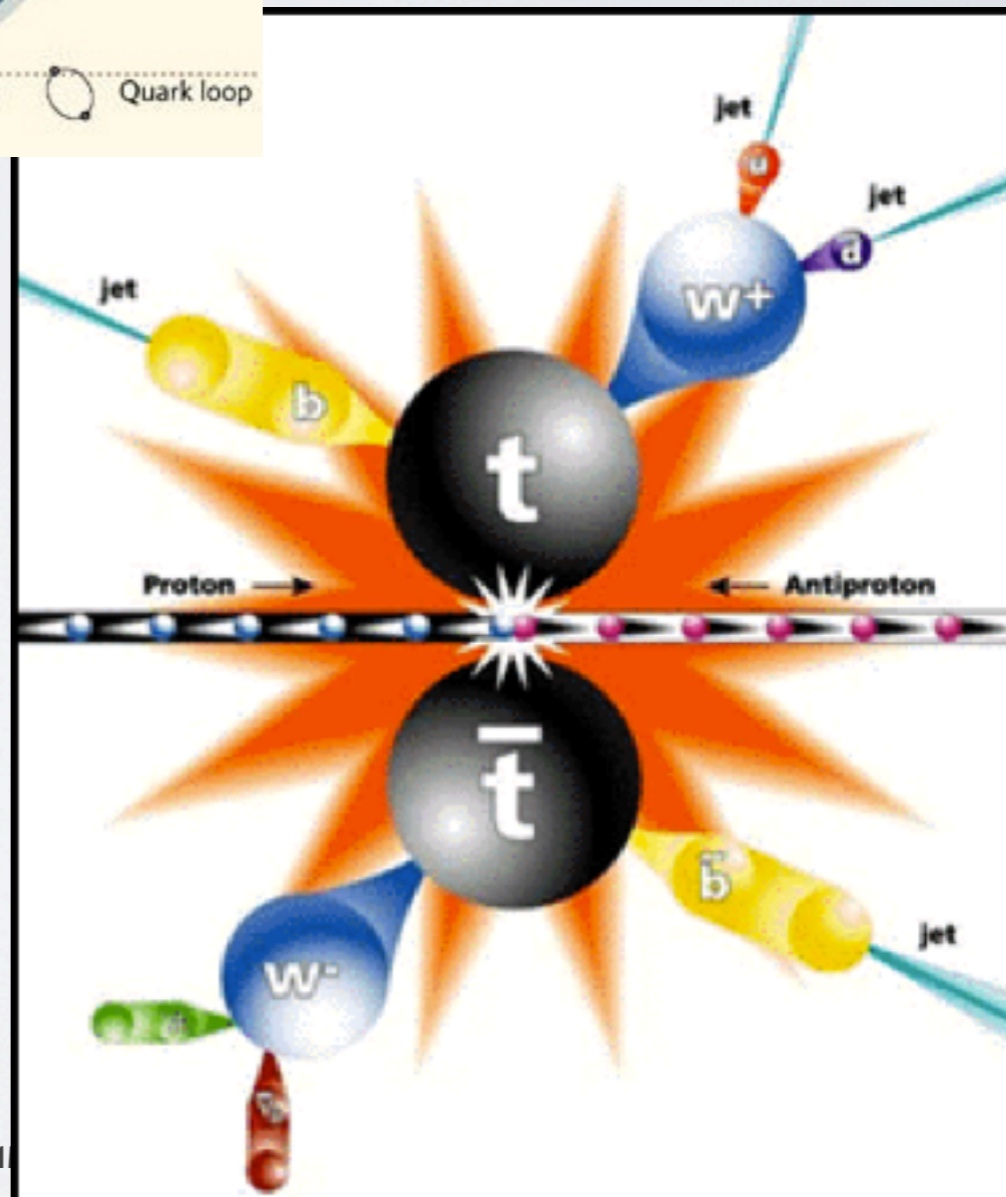
глюоны: 8 цветов

электрически нейтральны

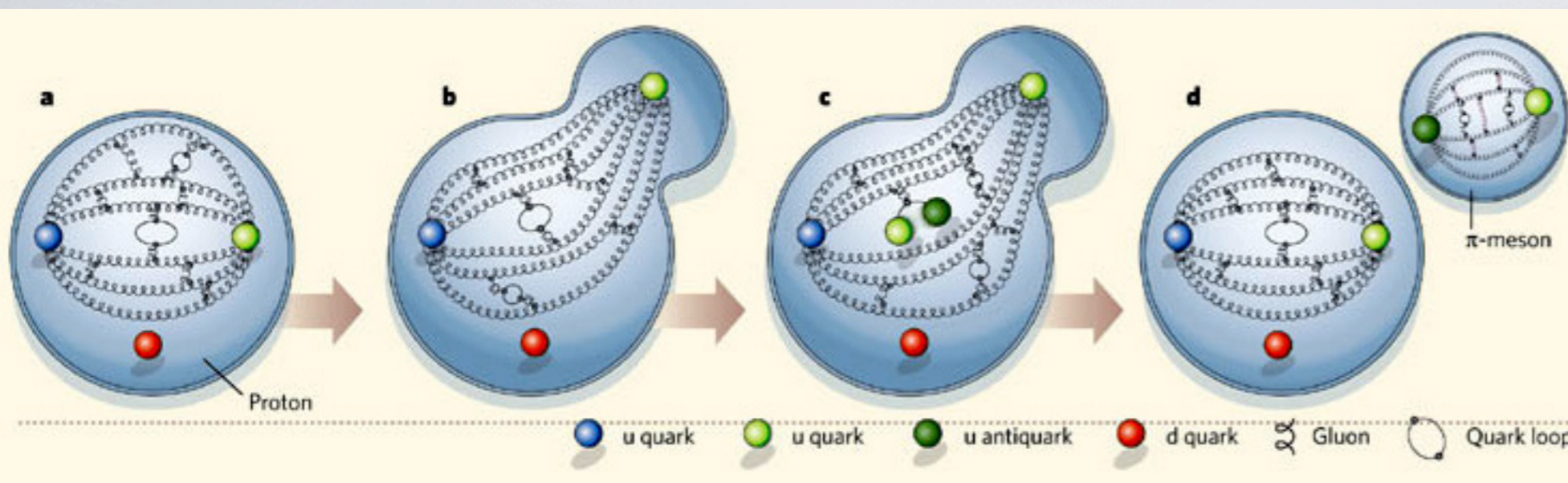
# Квантовая хромодинамика: Конфайнмент



Адроны при реакциях:  
 - похожи на магниты при разломе  
 - очень твердые,  
 но очень хрупкие как стекло



# Квантовая хромодинамика: Асимптотическая свобода



Адроны в соударениях при высоких энергиях:  
похожи на газ слабо взаимодействующих  
партонов (кварков и глюонов)

Асимптотическая свобода: взаимодействие кварков и  
ГЛЮОНОВ



# Квантовая хромодинамика: Асимптотическая свобода

Асимптотическая свобода: взаимодействие кварков и глюонов ослабевает с уменьшением расстояния

Вакуум: среда виртуальных заряженных частиц

Вакуум может поляризоваться (экранировать взаимодействие)  
и/или антиполяризоваться (антиэкранировать взаимодействие)

Кварки имеют сильный заряд (цвет) => экранировка

**Глюоны также имеют сильный заряд (цвет)! => антиэкранировка!**

Ваняшин, Терентьев (1966)

Хриплович (1969)

Политцер (1973), Гросс, Вильчек (1973): Нобелевская премия (2004)





# Кварки: Этимология



М. Гелл-Манн: “quarks” (1964)

С. Цвейг: “aces”

(Загадка Гелл-Манна ?)

James Joyce “Поминки по Финнегану”:  
“Три кварка для мистера Марка! ...”

(Отгадка ?) В.М. Шехтер

«За что мы любим кварки» (1975)



# Неускорительная физика: нейтрино



Физика нейтрино:

- нейтрино от солнца
- нейтрино сверхвысоких энергий
- осцилляции нейтрино

Россия (СССР):

Баксанская нейтринная обсерватория

Байкальская нейтринная обсерватория

Фермилаб -> Миннесота

CERN -> Grand Sasso

T2K (Tsukuba -> Kamiokande)

Daya Bay (Китай), RENO (Ю. Корея):

Нарушение CP в нейтринном секторе!

Стерильное нейтрино ?



# Основные цели Большого адронного коллайдера

Главные цели БАК:

- бозон Хиггса СМ
- новые частицы и взаимодействия за пределами Стандартной Модели

а также:

- проверка СМ при новых энергиях
- поиски новой динамики СМ

# Спонтанное нарушение симметрии В Стандартной модели (СМ) электрослабых взаимодействий

СМ – теория с (нарушенной) локальной калибровочной инвариантностью

Проблема: калибровочная инвариантность требует безмассовость калибровочных векторных бозонов?

Проблема: перенормируемость физических теорий с массивными калибровочными векторными бозонами ?

С. Вайнберг (1967) и А. Салам (1967) применили механизм Хиггса к электрослабой теории Ш. Глэшоу (1962) ->

Стандартная Модель с тяжелыми векторными бозонами  $W$  и  $Z$   
Нобелевская премия (1979)

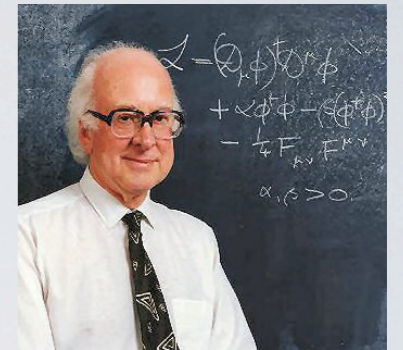
Перенормируемость Стандартной Модели:  
Нобелевская премия: Ж.т'Хуфт, М.Велтман (1999)

# Спонтанное нарушение симметрии

идея: В.Л. Гинзбург, Л.Д. Ландау

концепция: Н.Н. Боголюбов - конденсированные среды

Й. Намбу (1960), Дж.Голдстоун (1961) - физика частиц



Механизм Хиггса образования массивных частиц:

- нерелятивистский вариант: Ф. Андерсон (1962)

- релятивистский вариант:

Р. Брут, Ф.Энглерт (1964)

П. Хиггс (1964)

Дж.Гуралник, К.Хаген, Т. Киббл (1964)



С. Вайнберг (1967) и А. Салам (1968) применили механизм Хиггса к электрослабой теории Ш. Глэшоу (1962)

->

Стандартная Модель с тяжелыми векторными бозонами  $W$  и  $Z$



# Спонтанное нарушение симметрии: конденсированные среды

Nobel Lecture: Spontaneous symmetry breaking in particle physics:  
A case of cross fertilization\*

Yoichiro Nambu

Physical system	Broken symmetry
Ferromagnets	Rotational invariance (with respect to spin)
Crystals	Translational and rotational invariance (modulo discrete values)
Superconductors	Local gauge invariance (particle number)

Й. Намбу: Применение методов теории конденсированных сред к физике элементарных частиц

Вакуум как «конденсированная среда»



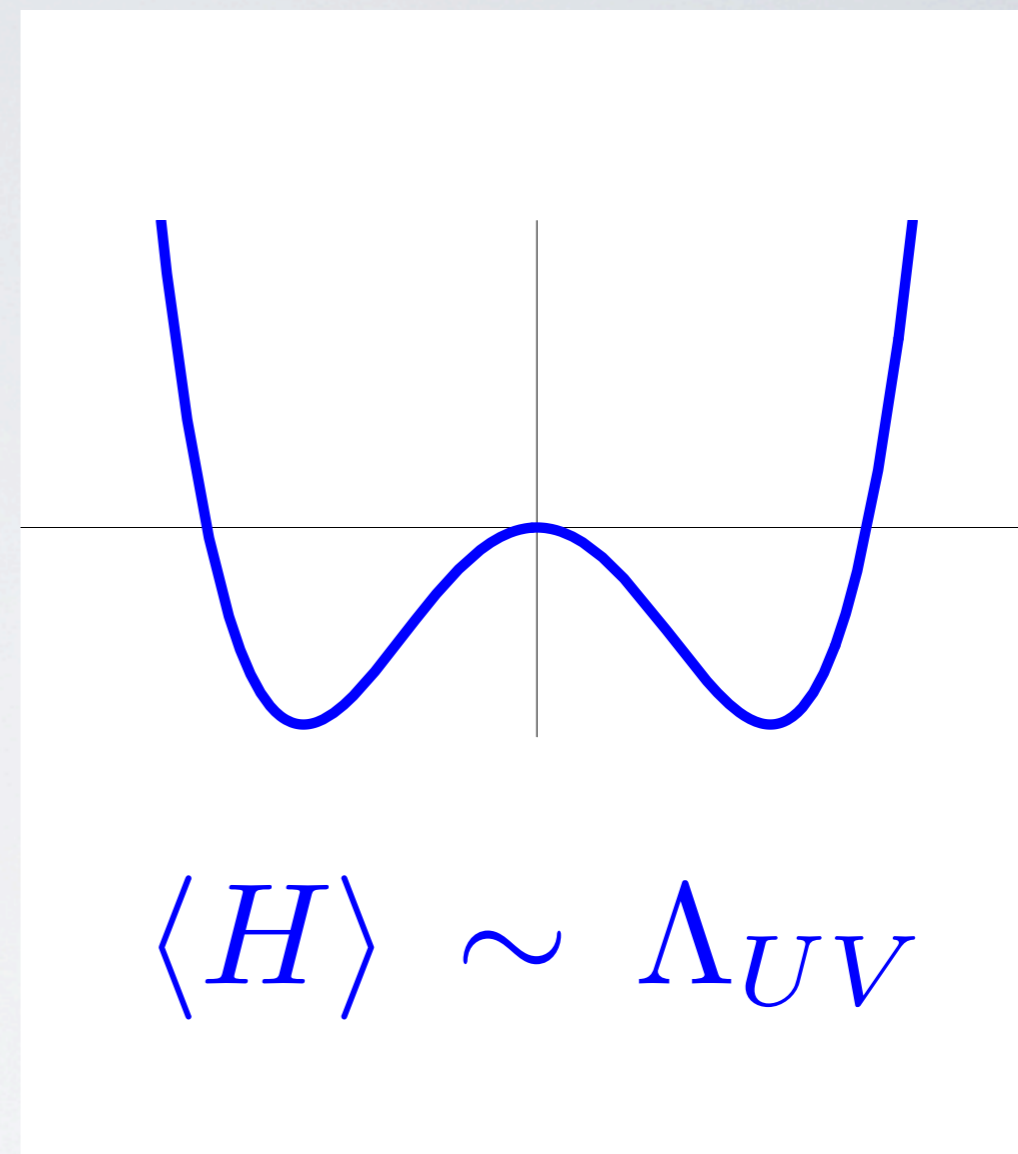
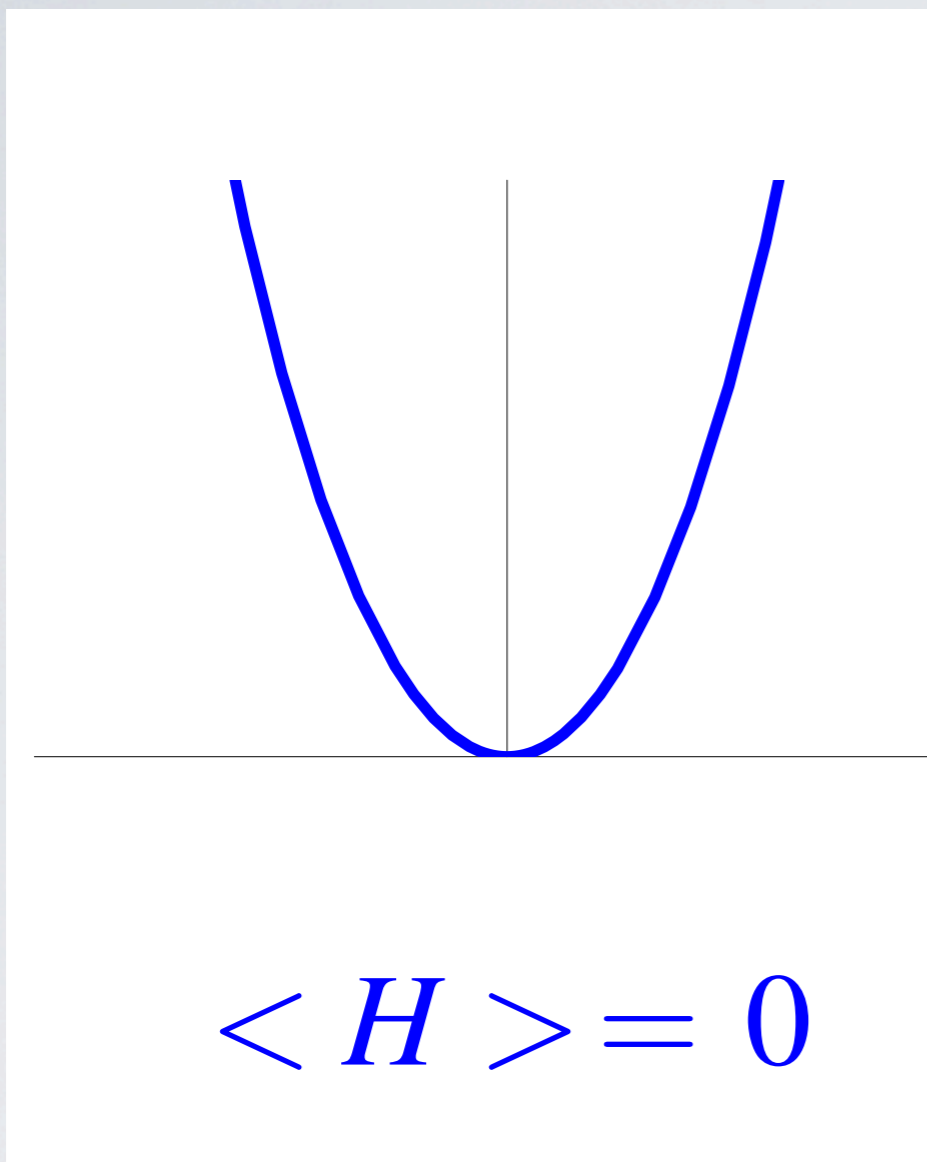
# Спонтанное нарушение симметрии: конденсированные среды

P. Anderson (1962)

Калибровочные бозоны "съедают" бозоны Голдстоуна и приобретают массу аналогично фотону внутри сверхпроводника

It is likely, then, considering the superconducting analog, that the way is now open for a degenerate-vacuum theory of the Nambu type without any difficulties involving either zero-mass Yang-Mills gauge bosons or zero-mass Goldstone bosons. These two types of bosons seem capable of "canceling each other out" and leaving finite mass bosons only.

# Спонтанное нарушение симметрии



**квантовые флуктуации**

**->**

**несимметричное  
вакуумное состояние**



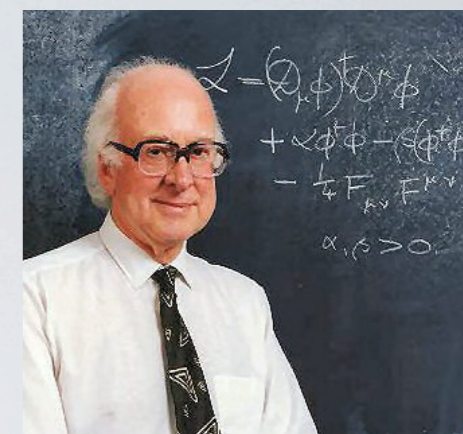
# Спонтанное нарушение симметрии



# Спонтанное нарушение симметрии: калибровочные поля



R. Brout and F. Englert (1964)  
P. Higgs (1964)



Механизм Браута-Энглера-Хиггса:

фундаментальное скалярное поле может приводить к спонтанному нарушению локальной калибровочной симметрии и возникновению масс частиц

The purpose of the present note is to report that...the spin-one quanta of some of the gauge fields acquire mass...This phenomenon is just the relativistic analog of the plasmon phenomenon to which Anderson has drawn attention



# Спонтанное нарушение симметрии: неабелевы калибровочные поля

Hagen, Guralnik and Kibble (1964)

фундаментальное скалярное поле (4 степени свободы) приводит к спонтанному нарушению локальной калибровочной симметрии:

возникновение масс у трех калибровочных векторных бозонов и появление массивного скалярного бозона (Хиггса)

# Спонтанное нарушение симметрии В Стандартной модели (СМ) электрослабых взаимодействий

СМ – теория с (нарушенной) локальной калибровочной инвариантностью

Проблема: калибровочная инвариантность требует безмассовость калибровочных векторных бозонов?

Проблема: перенормируемость физических теорий с массивными калибровочными векторными бозонами ?

С. Вайнберг (1967) и А. Салам (1967) применили механизм Хиггса к электрослабой теории Ш. Глэшоу (1962) ->

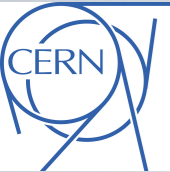
СМ с тяжелыми векторными бозонами  $W$ ,  $Z$  Нобелевская премия (1979)

Открытие векторных бозонов  $W$ ,  $Z$  (1983) Нобелевская премия (1984)

Квантование неабелевых калибровочных теорий: Фаддеев, Попов (1967)

Перенормируемость Стандартной Модели:

Нобелевская премия: Ж.т'Хуфт, М.Велтман (1999)



# Бозон Хиггса Стандартной модели

основная роль бозона Хиггса СМ:  
получение ненулевых масс векторных бозонов не  
нарушая калибровочную инвариантность

а также:

- массы лептонов и кварков
- восстановление унитарности

(закона сохранения вероятности) при рассеянии  
тяжелых векторных бозонов



# Охота за бозоном Хиггса СМ!



Ускорители (1970 - 2011):

ИФВЭ (Протвино Моск. обл.) pp 76 ГэВ (Λ)

ЦЕРН: ISR pp 31x31 ГэВ

SppS p̄p̄bar 315x315 ГэВ

LEP e+e- 45x45, 110x110 ГэВ

Фермилаб (США): p̄p̄bar 0.98x0.98 ТэВ

ЦЕРН: LHC (БАК) - Новые возможности

3.5 x 3.5 ТэВ 2010-2011

4 x 4 ТэВ 2012

# Охота за бозоном Хиггса СМ!!!



Tevatron

pp: 2 TeV

LHC pp: 7,8 TeV → 13,14 TeV

Lepton collider (?)

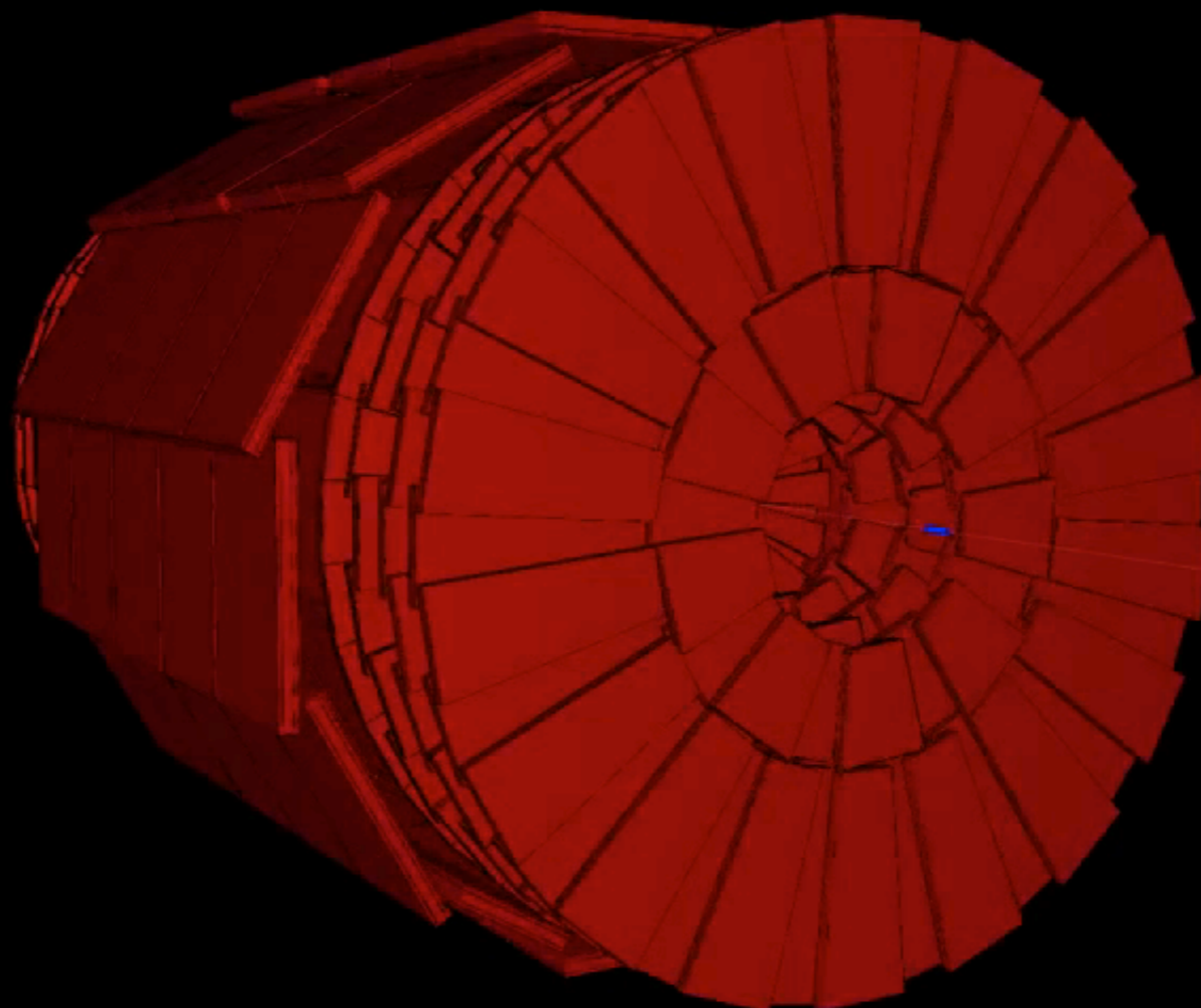
Hadron collider (?)



# Поиски бозона Хиггса на БАК (CMS)



CMS Experiment at the LHC, CERN  
Sun 2011-Aug-07 05:00:32 CET  
Run 172822 Event 2554393033  
C.O.M. Energy 7.00TeV  
H>ZZ>4mu candidate



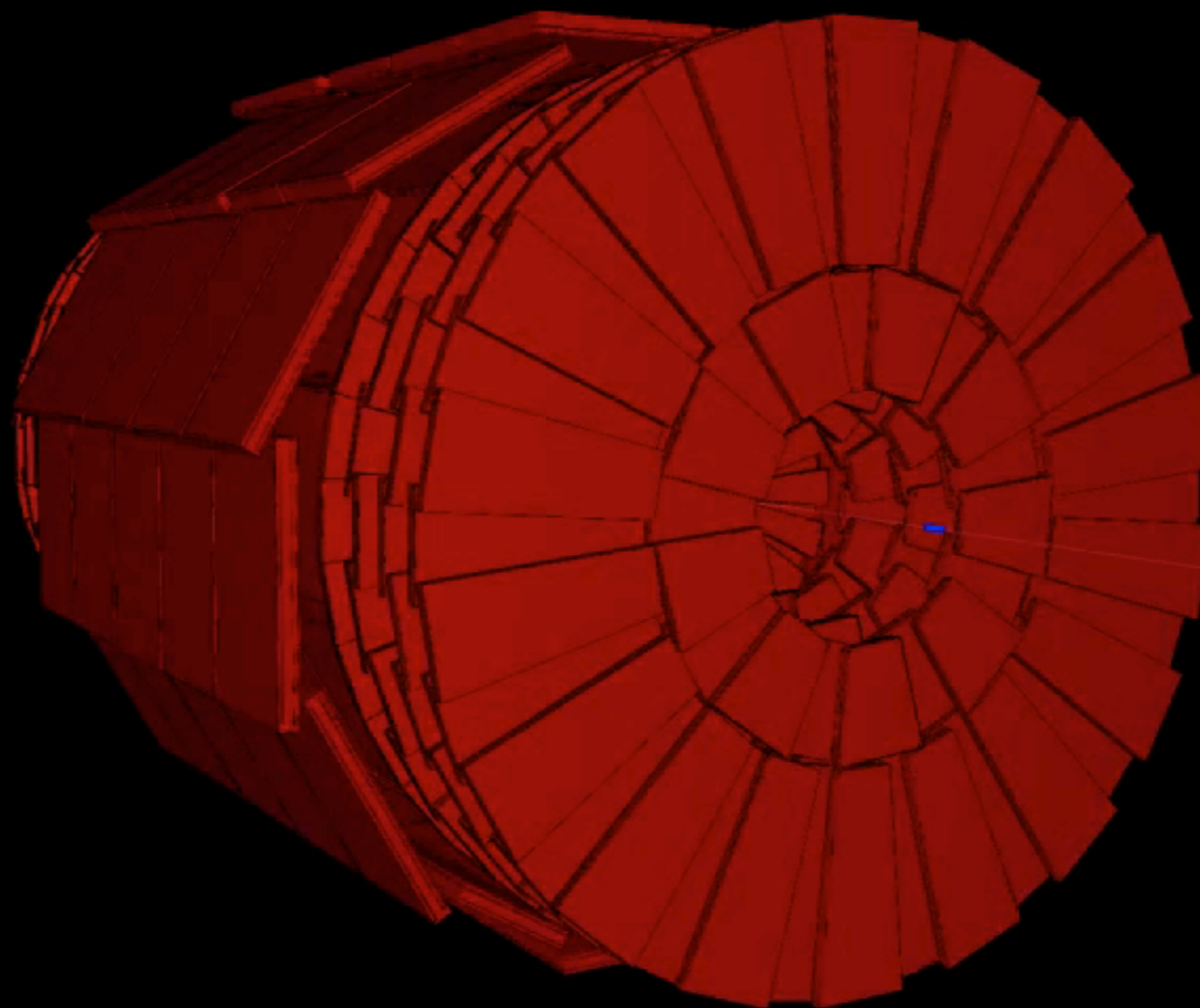




# Поиски бозона Хиггса на БАК (CMS)



CMS Experiment at the LHC, CERN  
Sat 2011-Apr-23 06:05:17 CET  
Run 163302 Event 27907479  
C.O.M. Energy 7.00TeV  
H>GammaGamma candidate



# Новая частица!

Новая частица в ATLAS и CMS с массой 125 ГэВ

Бозон Хиггса Стандартной Модели (!) :

Сечение образования  $\leftarrow$  SM

Свойства нового бозона:

- электрический заряд  $\leftarrow$  SM
- Спин  $\leftarrow$  SM
- зарядовая и пространственная четность  $\leftarrow$  SM
- соотношение между вероятностями различных распадов  $\leftarrow$  SM
- ?

# Июль 2013: Бозон Хиггса SM!

**Июль 2013, Конференция Европейского Физ. Общ.  
CMS и ATLAS: бозон Хиггса Стандартной Модели 125 ГэВ  
на уровне  $7\sigma$**



François Englert and Peter Higgs

Photo: © CERN

**2013 Nobel Prize  
in Physics**

**2013 – 2015, CERN: новые свидетельства  
в пользу бозона Хиггса SM**



# Конференция «Физика Большого Адронного Коллайдера» ЛНСП2015, Санкт-Петербург



ЛНСП2015 Сентябрь 2015 Первые результаты LHC RUN 2

## ЛНСП2015

August 31 – September 5, 2015  
St. Petersburg

THE THIRD ANNUAL CONFERENCE  
on Large Hadron Collider Physics



#### International Advisory Committee:

Tiziano Camporesi (CERN, Geneva)  
Marcela Carena (FNAL, Batavia)  
Dave Charlton (Univ. of Birmingham)  
Daniel Denegri (CEA, Saclay)  
Paolo Giubellino (CERN & INFN, Torino)  
Andrei Golutvin (IC, London)  
Paul Grannis (Stony Brook Univ.)  
Peter Jenni (CERN & Univ. of Freiburg)  
Mikhail Kovalchuk (NRC KI, Moscow)  
Lev Lipatov (PNPI, Gatchina & SPbSU, St. Petersburg)  
Mario Martínez (ICREA & IFAE, Barcelona)  
Victor Matveev (JINR, Dubna)  
Sri Rajagopalan (BNL, Upton)  
Valery Rubakov (INR RAS, Moscow)  
Karel Safarik (CERN, Geneva)  
Katsuo Tokushuku (KEK, Tsukuba)  
Mike Tuts (Columbia Univ.)  
Guy Wilkinson (Univ. of Oxford)

#### Conference Chairs:

Gregorio Bernardi (LPNHE & Univ. of Paris VI & VII)  
Guenakh Mitselmakher (Univ. of Florida)  
Alexey Vorobyev (PNPI NRC KI, Gatchina)  
Alexandre Zaitsev (IHEP NRC KI, Protvino)

#### Conference Scientific Secretary:

Victor Kim (PNPI NRC KI, Gatchina & SPbSU, St. Petersburg)

#### Program Committee:

Alexander Andrianov (SPbSU, St. Petersburg)  
Federico Antinori (INFN, Padova)  
Vadim Bednyakov (JINR, Dubna)  
Eduard Boos (SINP MSU, Moscow)  
Sally Dawson (BNL, Upton)  
Vladimir Gavrilov (ITEP NRC KI, Moscow)  
Tim Gershon (Univ. of Warwick, Coventry)

Christophe Grojean (Univ. of Barcelona)  
Dmitri Kazakov (JINR, Dubna)  
Patrick Koppenburg (NIKHEF, Amsterdam)  
Frank Krauss (IPPP, Durham)  
Stephanie Majewski (Univ. of Oregon, Eugene)  
Luca Malgeri (CERN, Geneva) – PC co-chair  
Vladislav Manko (NRC KI, Moscow)  
Bill Murray (Univ. of Warwick, Coventry & STFC) – PC co-chair  
Alexandre Nikitenko (IC, London & ITEP NRC KI, Moscow)  
Vladimir Obraztsov (IHEP NRC KI, Protvino)  
Jim Olsen (Princeton Univ.)  
Juan Rojo (Univ. of Oxford)  
Mikhail Ryskin (PNPI NRC KI, Gatchina)  
Vladimir Shevchenko (NRC KI, Moscow)  
Matt Strassler (Rutgers Univ.)  
Tim Tait (Univ. of California, Irvine)  
David Toback (Texas A&M Univ., College Station)  
Rick van Kooten (Indiana Univ., Bloomington)  
Ermanno Vercellin (Univ. of Torino & INFN, Torino)

#### National Organizing Committee:

Sergey Afonin (SPbSU, St. Petersburg) – NOC co-chair  
Yaroslav Berdnikov (SPbSPU, St. Petersburg) – NOC co-chair  
Alexandre Bondar (BINP SDRAS, Novosibirsk)  
Igor Dremin (LPI RAS, Moscow)  
Victor Egorychev (ITEP NRC KI, Moscow)  
Oleg Fedin (PNPI NRC KI, Gatchina) – NOC co-chair  
Grigory Feofilov (SPbSU, St. Petersburg)  
Igor Golutvin (JINR, Dubna)  
Gennady Kozlov (JINR, Dubna)  
Vladimir Petrov (IHEP NRC KI, Protvino)  
Nikolai Rusakov (JINR, Dubna)  
Victor Sarantsev (PNPI NRC KI, Gatchina)  
Victor Savrin (SINP MSU, Moscow)

#### Technical Secretariat:

Kirsti Aspola (CERN, Geneva)  
Alina Belova (CERN, Geneva)  
Natalia Nikitina (PNPI NRC KI, Gatchina)  
Alina Petukhova (INNO-MIR, St. Petersburg)  
Rimma Zheronkina (PNPI NRC KI, Gatchina)

Contact: [lhcp2015@pnpi.spb.ru](mailto:lhcp2015@pnpi.spb.ru) • [www.pnpi.spb.ru/lhcp2015](http://www.pnpi.spb.ru/lhcp2015)



- Популярный сайт Фонда “Династия”:  
elementy.ru
- Виртуальная академия ФВЭ (ОИЯИ)
- “Страсти по частицам” (“Particle Fever”) YouTube

**продолжение следует ...**

Лекция 2

Физика на Большом Адронном Коллайдере

Поиски бозона Хиггса

Поиски новой физики за пределами Стандартной Модели

