

ФИЗИКА

Элементарных частиц

Дмитрий Казаков

Лаборатория теоретической физики
Объединённый институт ядерных исследований (Дубна)

Институт теоретической и экспериментальной физики (Москва)

Московский физико-технический институт



Как устроен микромир?

Как узнать что там внутри?

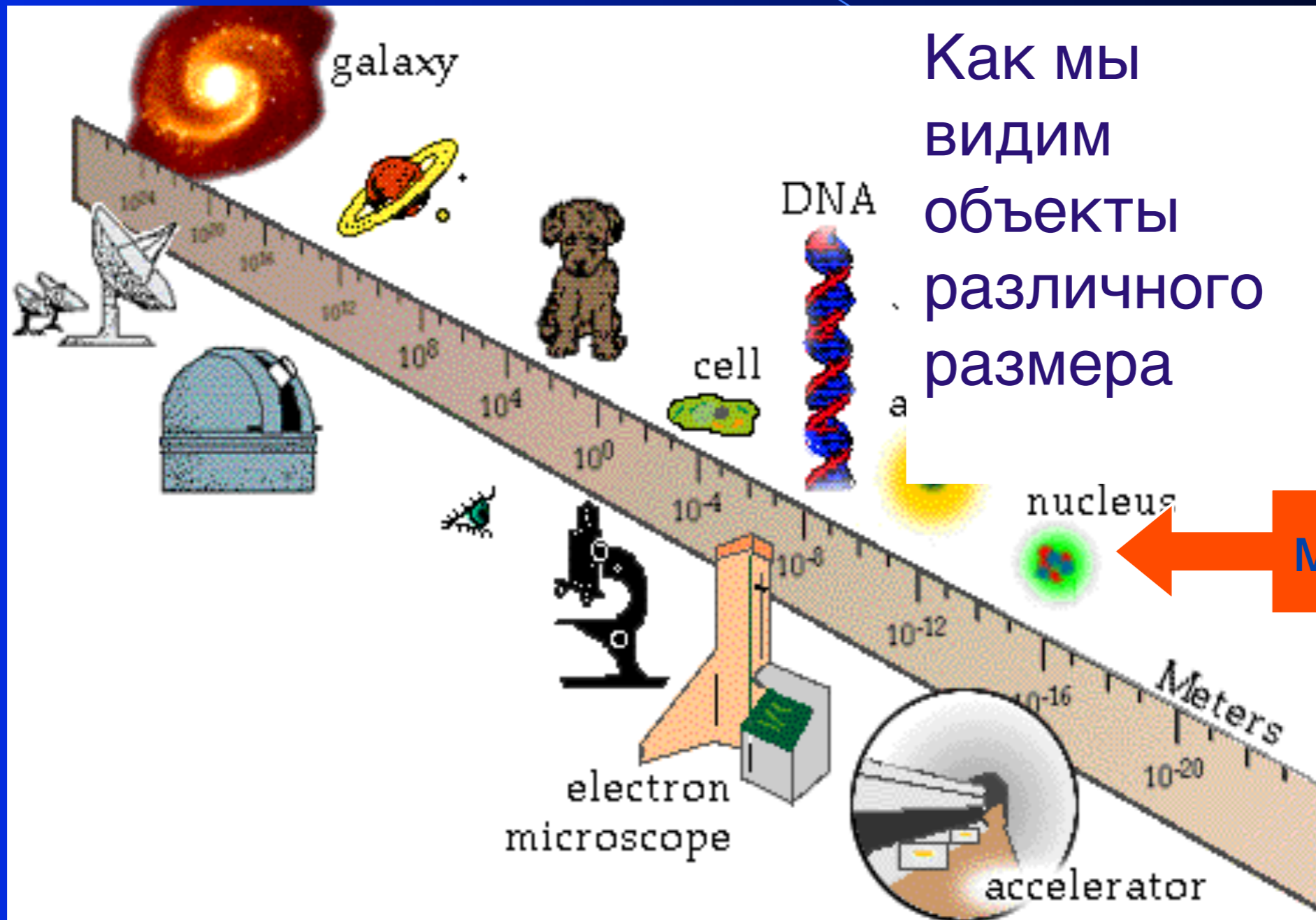
О чём говорят нам
осколки события?



e^- e^+

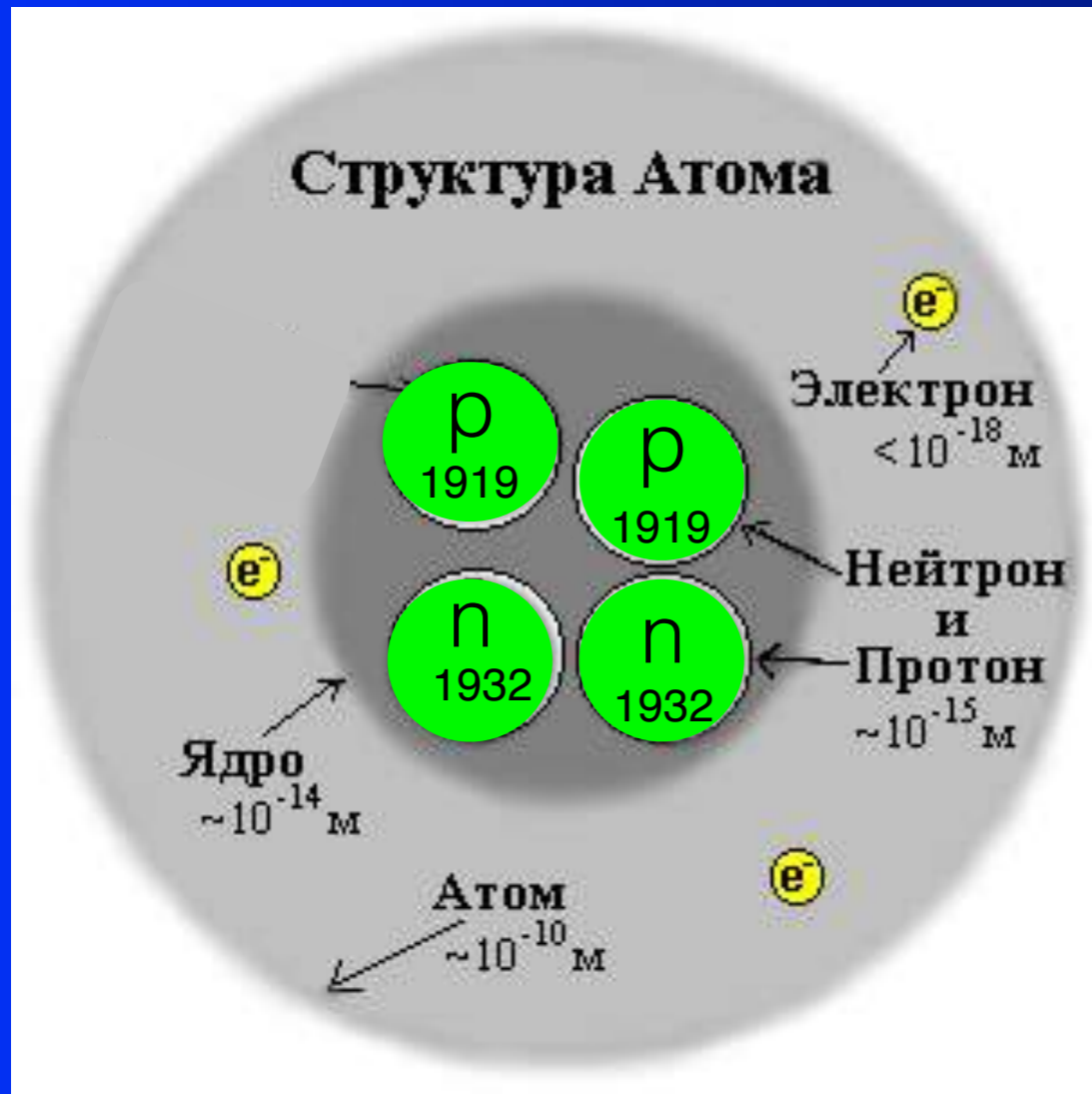
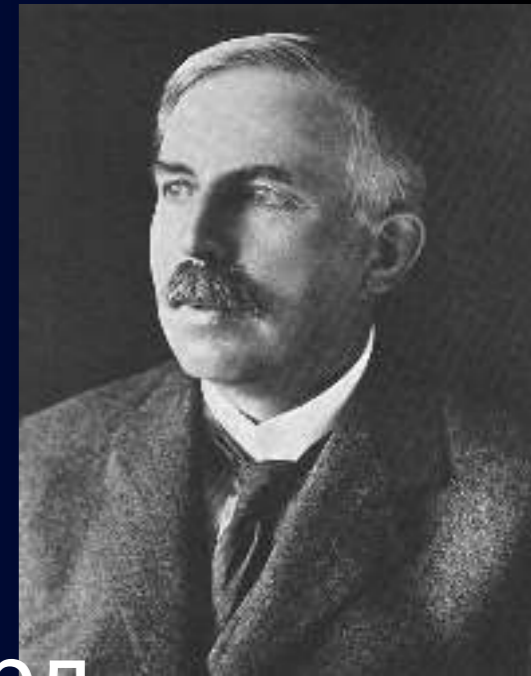
В основе лежит
простая и элегантная
математическая схема

Макро и микро космос на шкале расстояний

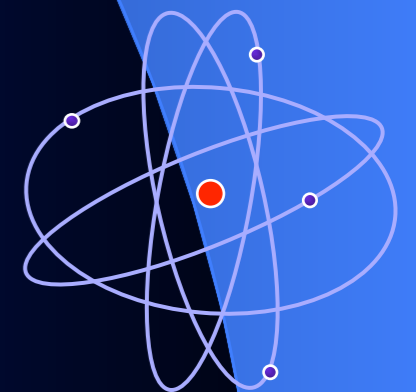


микромир

Структура Атома



В 1912 Э.Резерфорд бомбардировал атомы α -частицами и открыл, что атомы имеют маленькое твёрдое ядро $\sim 10^{-14}$ м



Ядро состоит из протонов и нейтронов (Д.Иваненко, В.Гайзенберг, 1934)

Между ними действуют ядерные силы (Х.Юкава, 1935)

Открытие элементарных

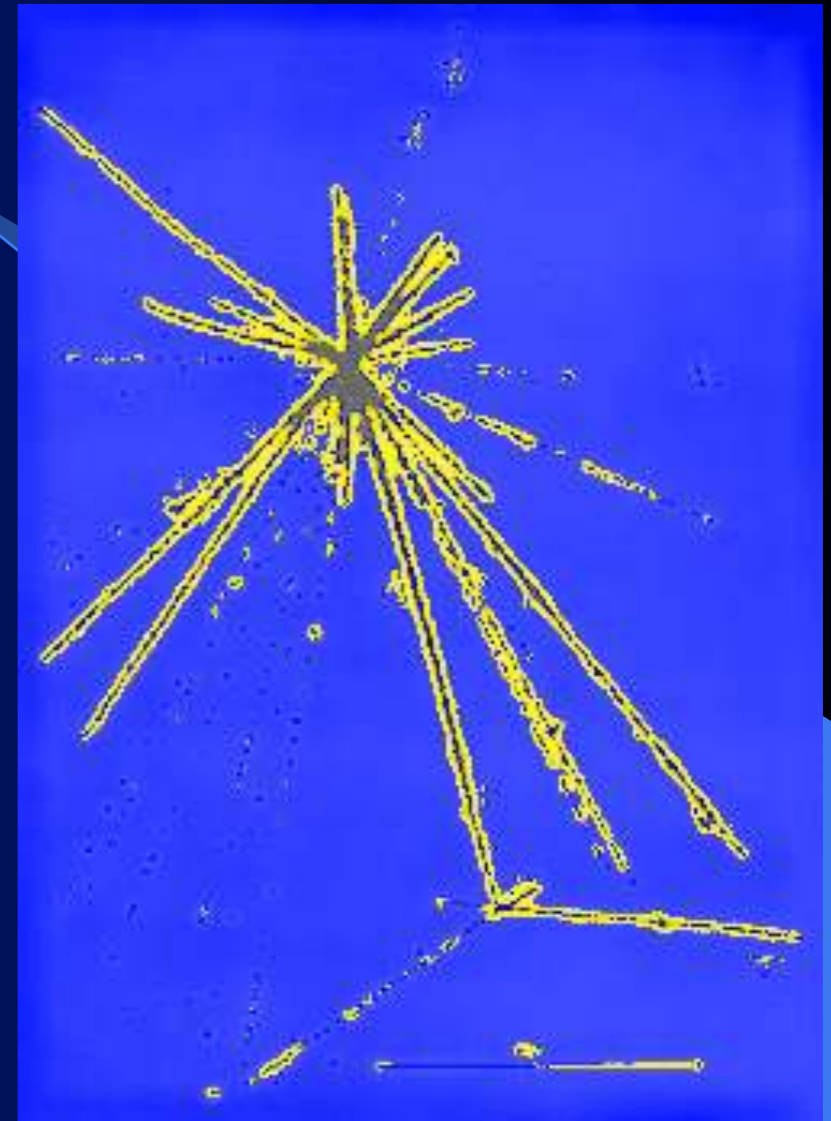
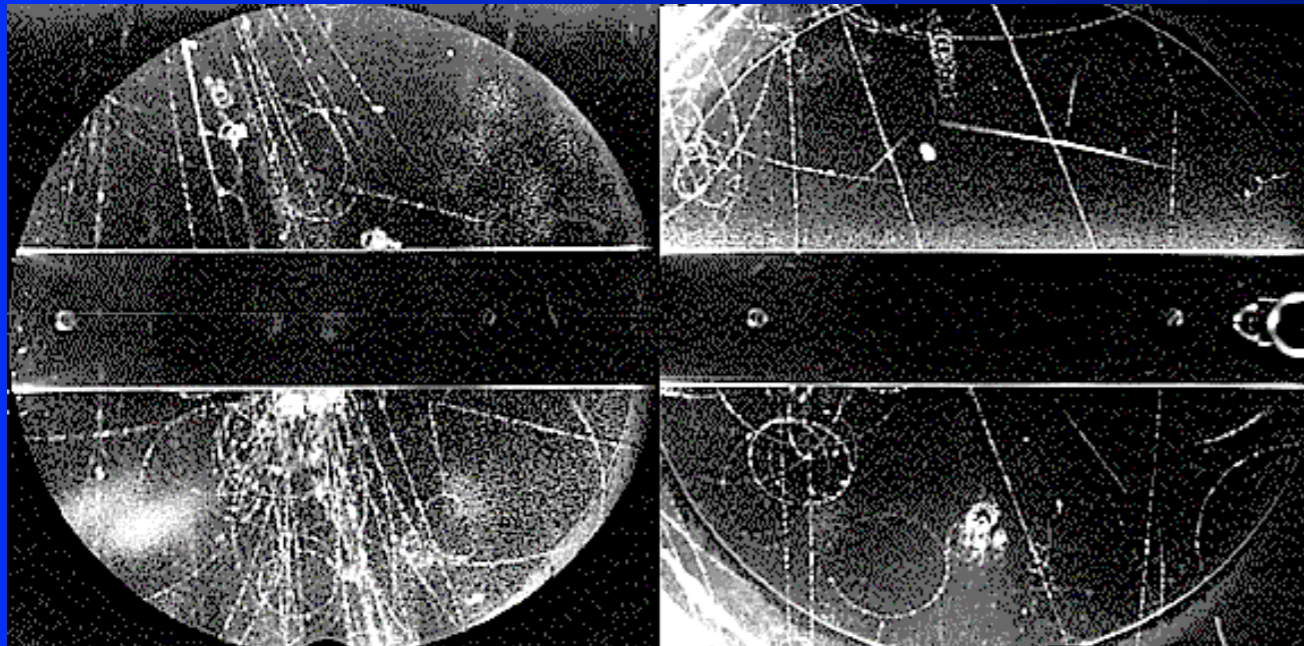


- Целый зоопарк элементарных частиц был открыт на ускорителях
- Это было окном в новый мир - микромир

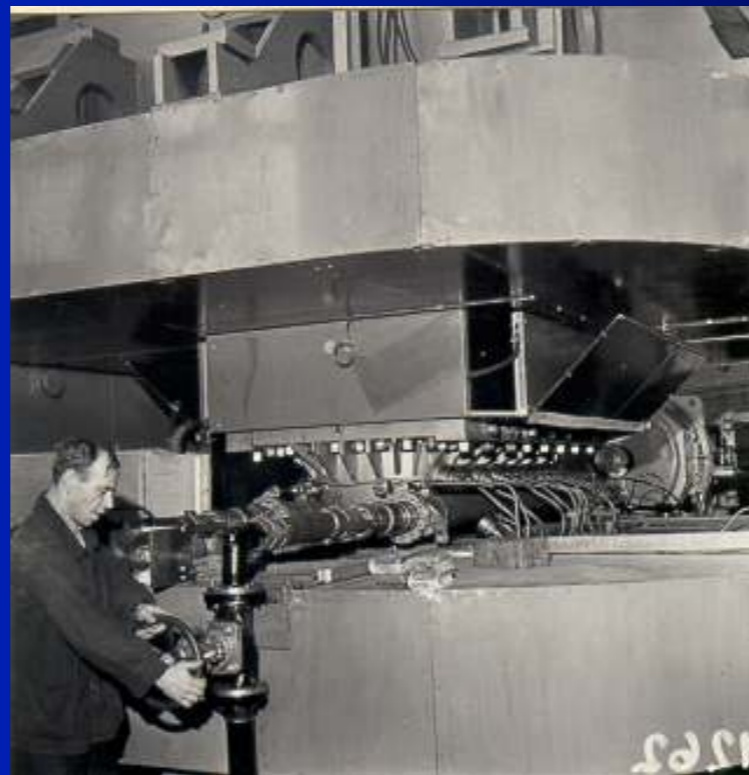
Открытие Странности

Открытие К-мезона в 1947 г.
и Λ - гиперона в 1952 г.
явилось первым указанием на
то, что частицы из которых мы
состоим - это ещё не всё.

По какой-то неизвестной
причине природа хочет чего-то
ещё!

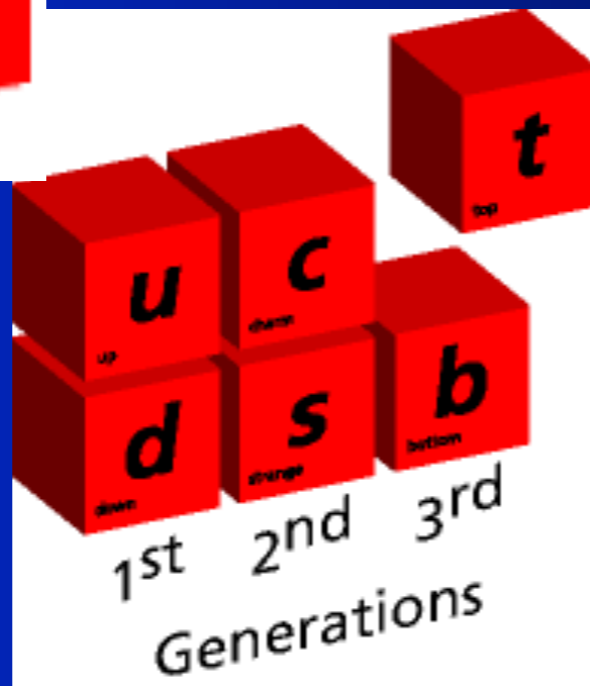
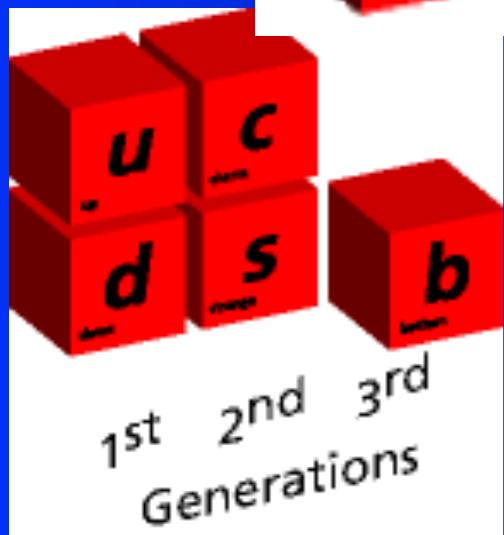
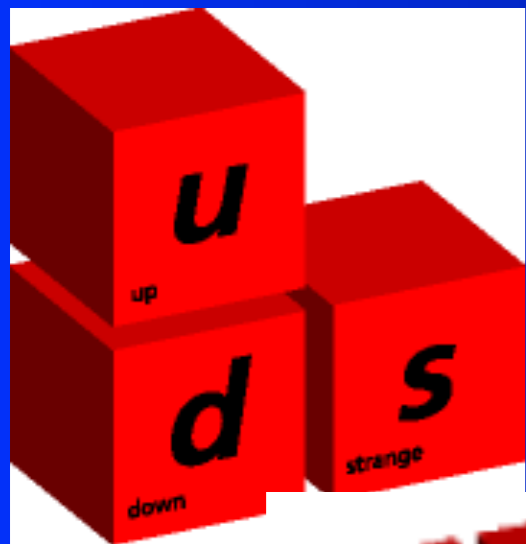


Σ^- - Гиперон в Дубне



- Σ^- - гиперон был открыт в 1960 г. в Дубне на синхрофазотроне ОИЯИ с помощью пропановой пузырьковой камеры

Кварки – “кирпичики”

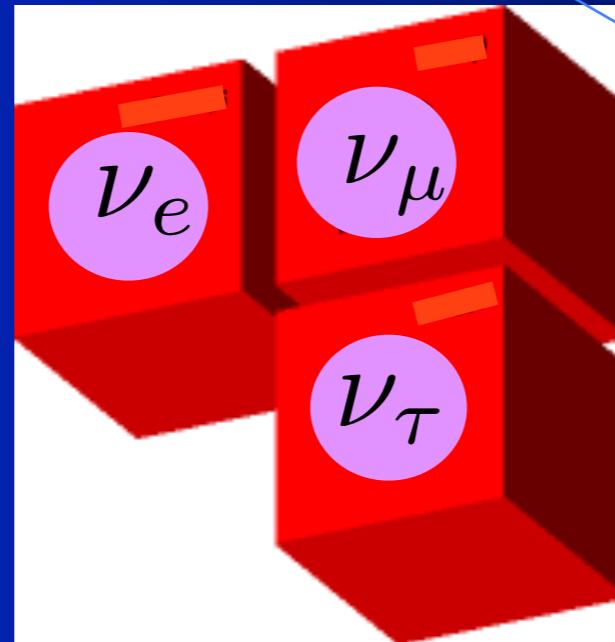
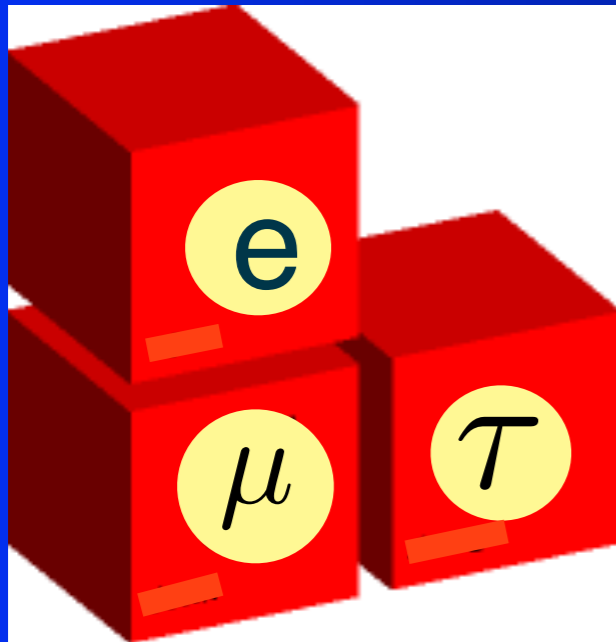


- Кварки “заперты” внутри адронов
- Электрический заряд кварков кратен $1/3$
- Каждый кварк несёт новое квантовое число - цвет, принимающее три значения
- Число сортов кварков росло с открытием новых частиц и достигло **шести**

По непонятной причине природа создала 3 копии (поколения) кварков и лептонов



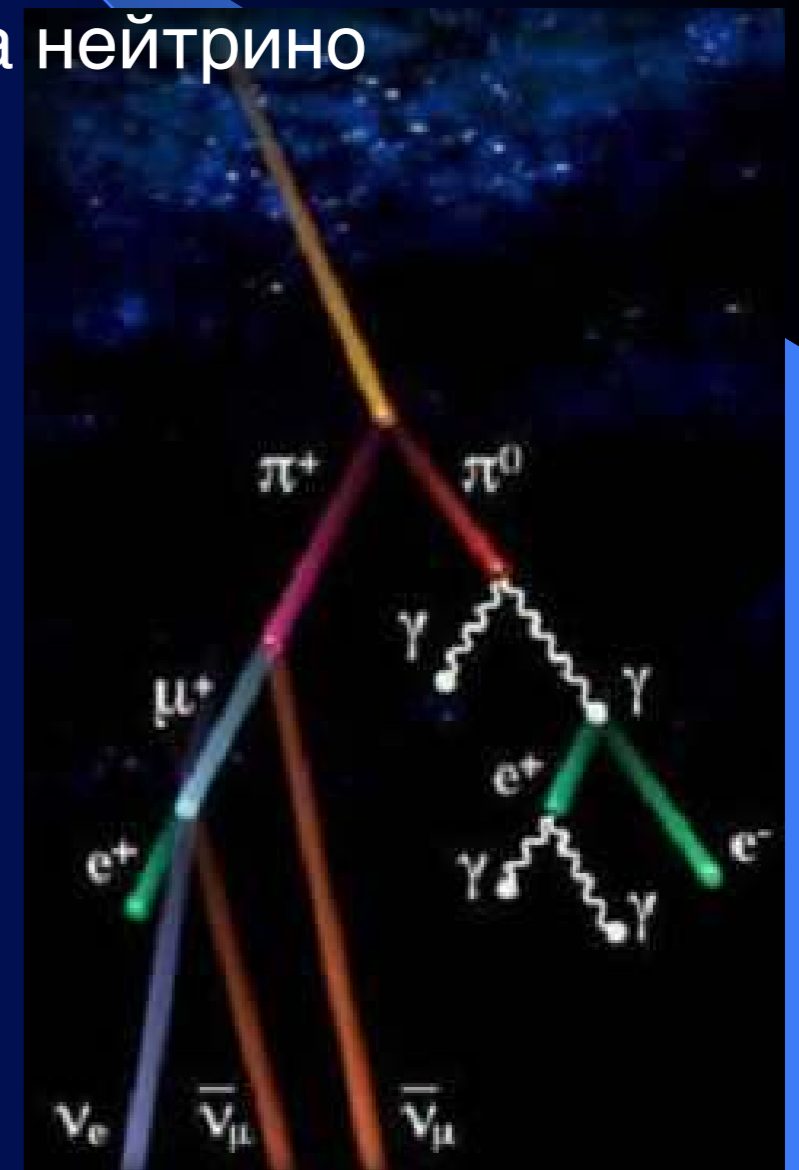
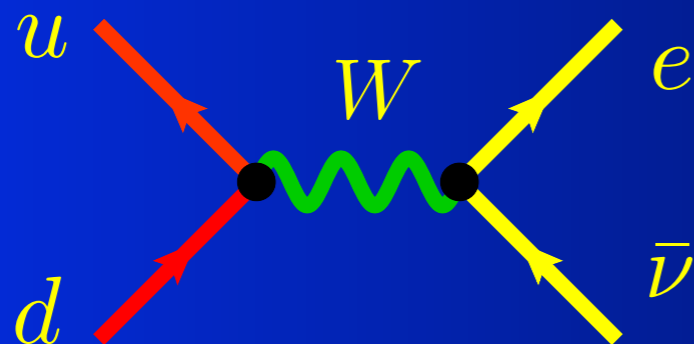
Лептоны от слова λεπτός



Мюоны рождаются от распада П-мезонов в космических лучах и распадаются на электроны и два нейтрино

Электроны образуют оболочки атомов и определяют всю химию неживой и живой природы

Нейтрино рождаются в процессах распада адронов $n(udd) \rightarrow p(uud) + e + \bar{\nu}$



История открытий

p
1919

n
1932

u

c
1974

t
1995

ν_e
1956

ν_μ
1963

ν_τ
2000

d

s
1947

b
1977

e
1895

μ
1936

τ
1975

шесть кварков

шесть лептонов

γ

g
1979

W, Z
1983

H
2012

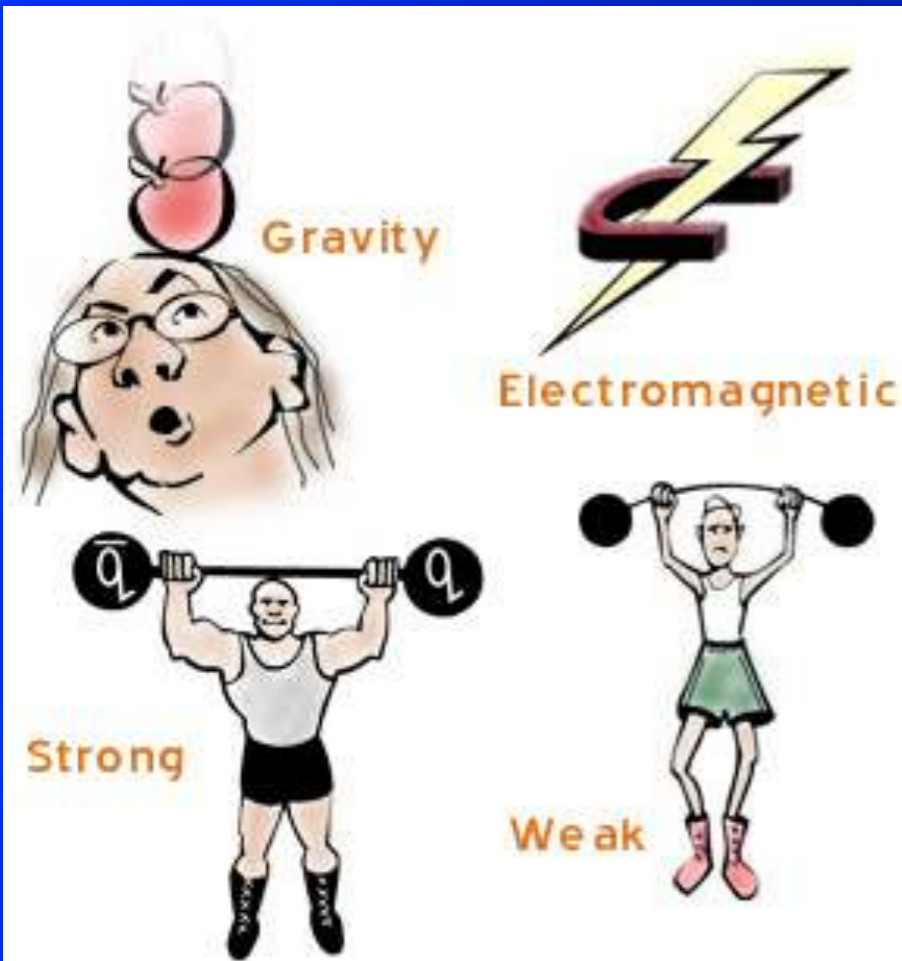
G

Теперь у нас есть замечательная картина из трёх пар кварков и трёх пар лептонов и пяти переносчиков фундаментальных взаимодействий. Здесь показана также история их открытия.

Силы в Природе

Сила – это результат взаимодействия между частицами путём обмена квантами поля

Известны 4 вида фундаментальных взаимодействий в природе



Пятая сила - обмен хиггсовским бозоном

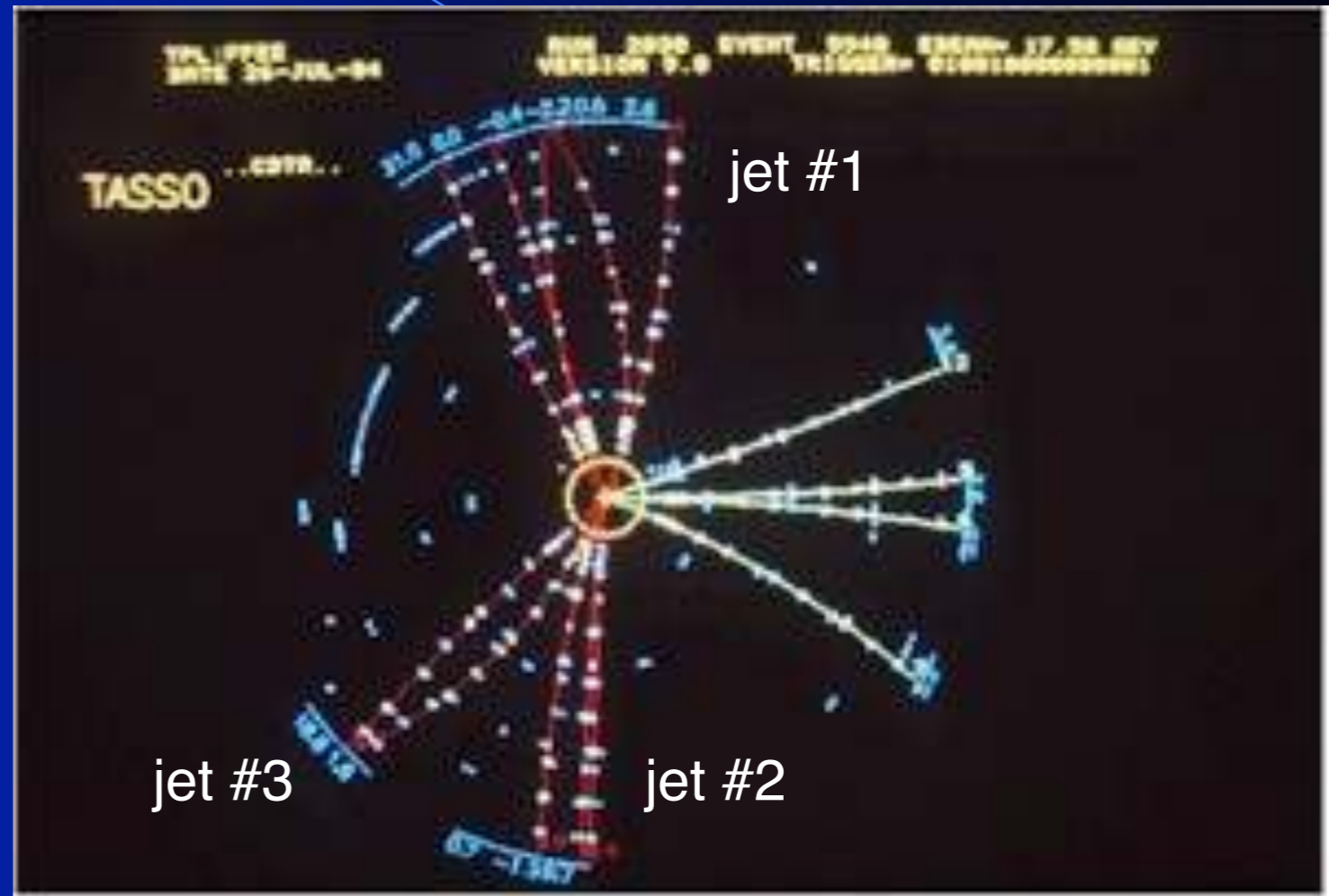


	Gravity	Weak (Electroweak)	Electromagnetic	Strong
Carried By	Graviton (not yet observed)	W^+ W^- Z^0	Photon	Gluon
Acts on	All	Quarks and Leptons	Quarks and Charged Leptons and W^+ W^-	Quarks and Gluons

Открытие глюона



- Глюон – переносчик сильных взаимодействий был открыт в 1979 году на ускорителе PETRA (DESY)
- Свидетельством открытия глюона явилось наличие трёх-струйного события в рассеянии адронов



$$g_{ij}^a$$

$$a = 1, \dots, 8$$

$$i, j = 1, 2, 3$$

← «ЦВЕТ»

Color			Color
Red	Green	Blue	Quarks
Anti-Red	Anti-Green	Anti-Blue	Anti-Quarks
			Anti-Color

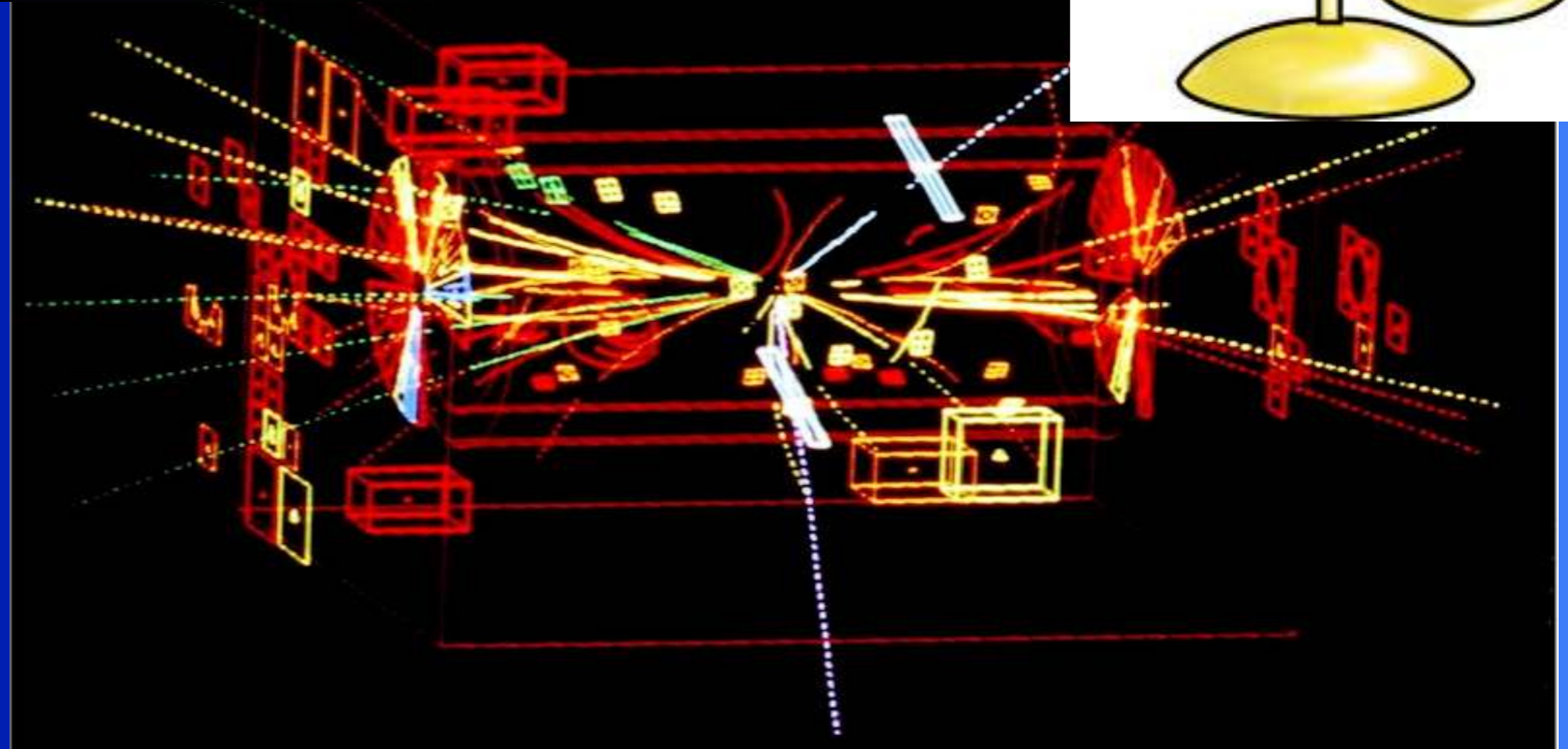
Открытие W и Z бозонов

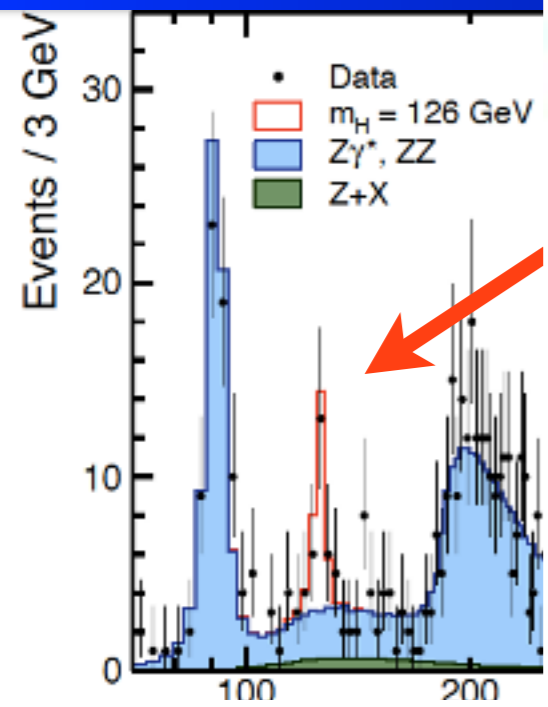
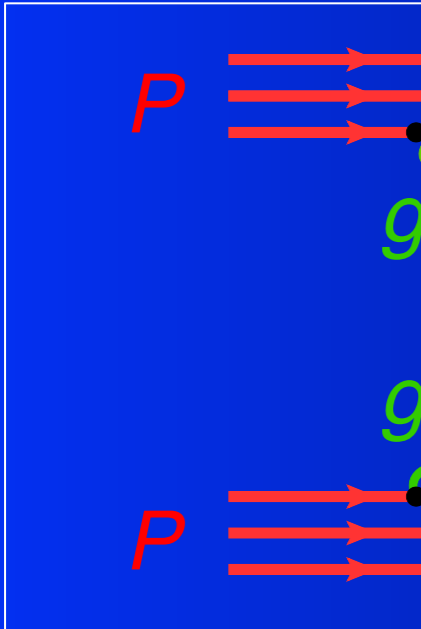


- Открытие W и Z бозонов – переносчиков слабых взаимодействий на ускорителе SPS (CERN) в 1983 году



явилось триумфом
Стандартной модели
фундаментальных
взаимодействий





The Nobel Prize in Physics 2013
François Englert, Peter W. Higgs

The Nobel Prize in Physics 2013

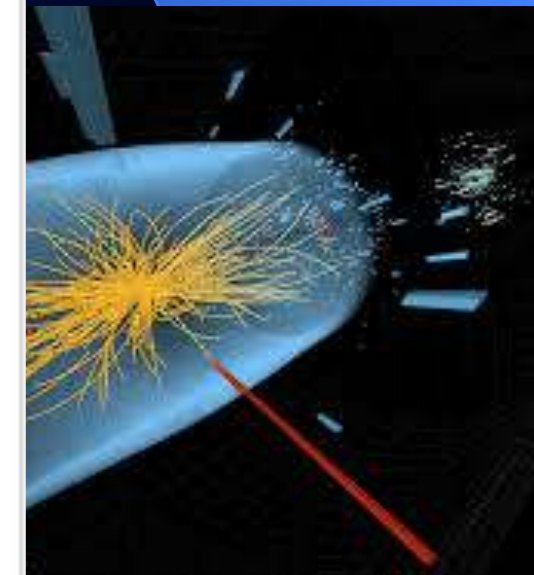


Photo: Pnicolet via Wikimedia Commons
François Englert



Photo: G-M Greuel via Wikimedia Commons
Peter W. Higgs

The Nobel Prize in Physics 2013 was awarded jointly to François Englert and Peter W. Higgs "for the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN's Large Hadron Collider"



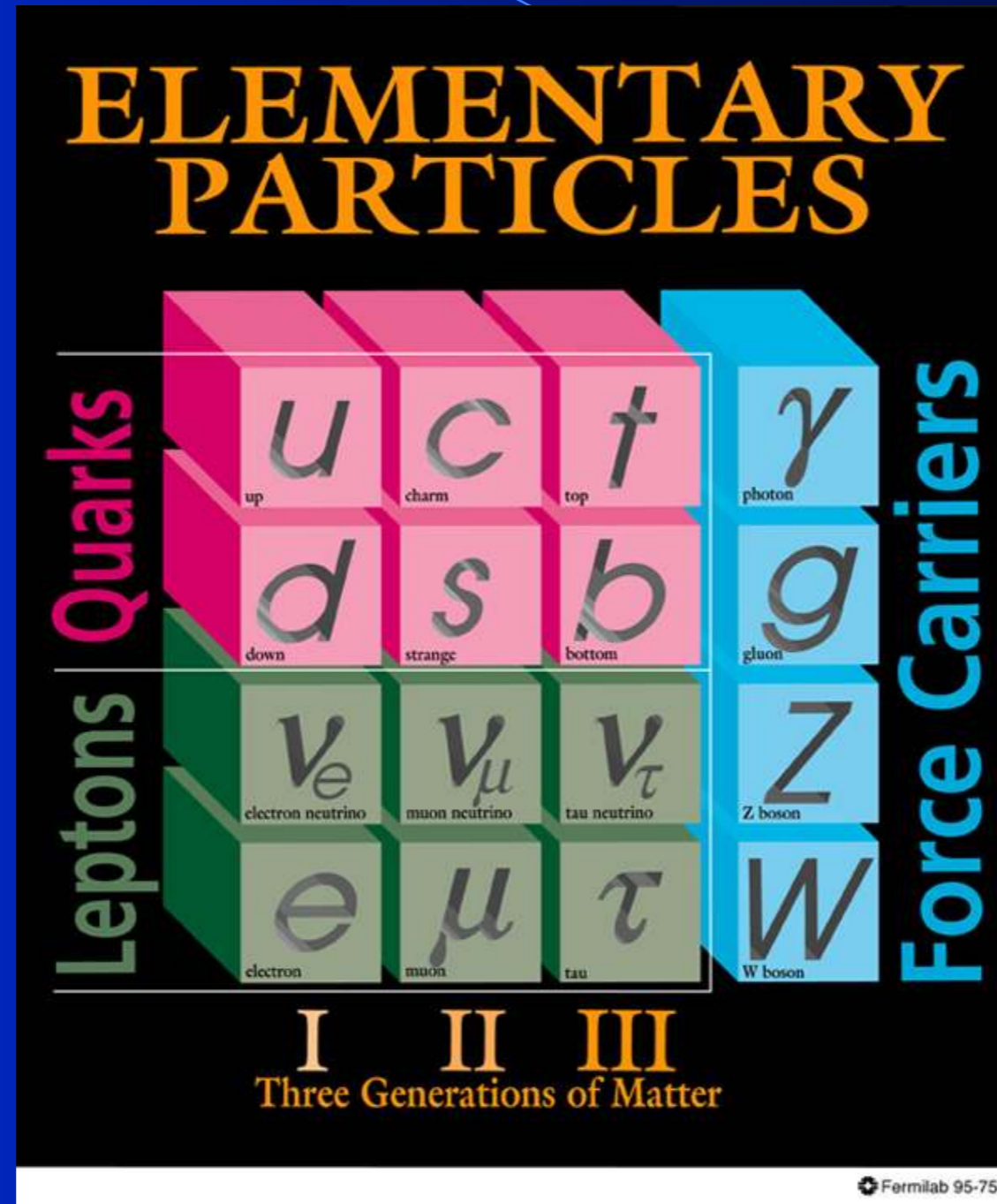
Стандартная Модель

SU(3)

SU(2)

U(1)

Ф
Д
С
Л
А
Ч
И
Д
У
С
А
Ч



Силы

Электромагнитные

Сильные

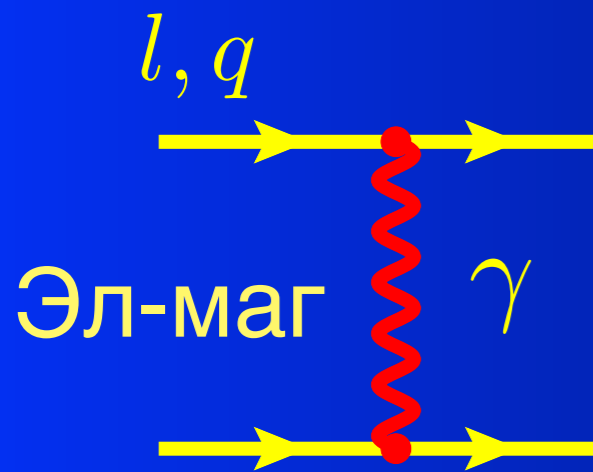
Слабые

H

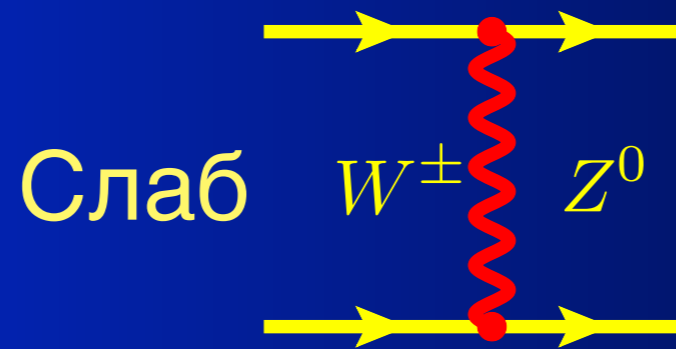
Хиггсовский бозон

Гравитация

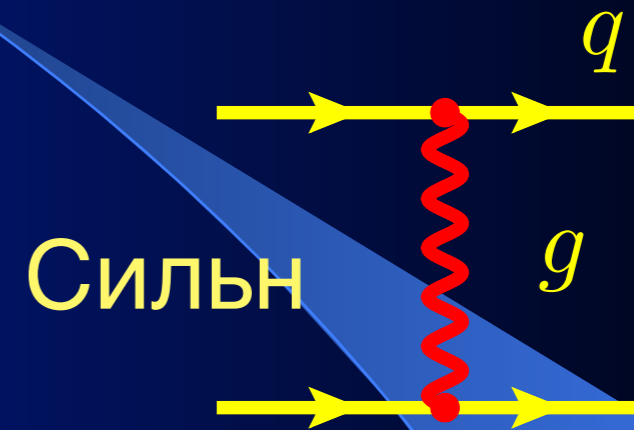
Пять фундаментальных сил Природы



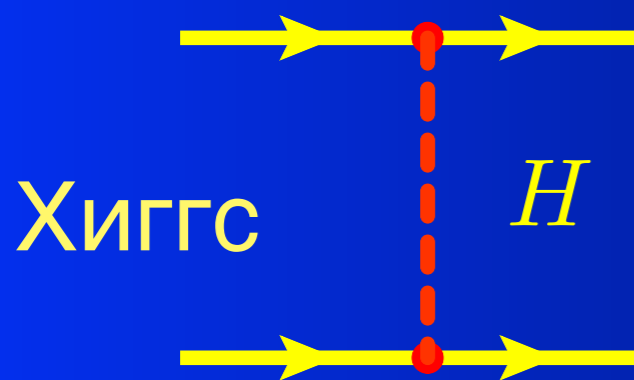
$$V(r) = -\frac{e_1 e_2}{r}$$



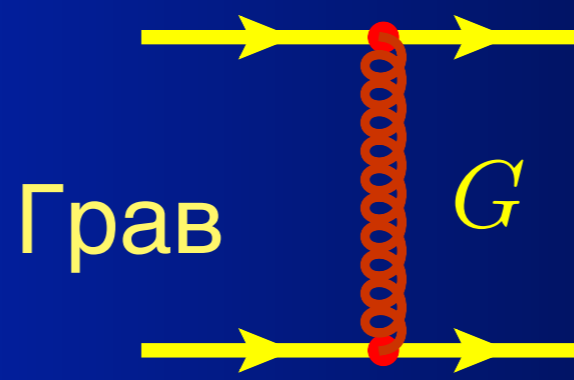
$$V(r) = -\frac{g^2}{r} e^{-M_W r}$$



$$V(r) = -\frac{g_s^2}{r} + br$$



$$V(r) = -\frac{m_1 m_2}{v_H^2 r} e^{-M_H r}$$



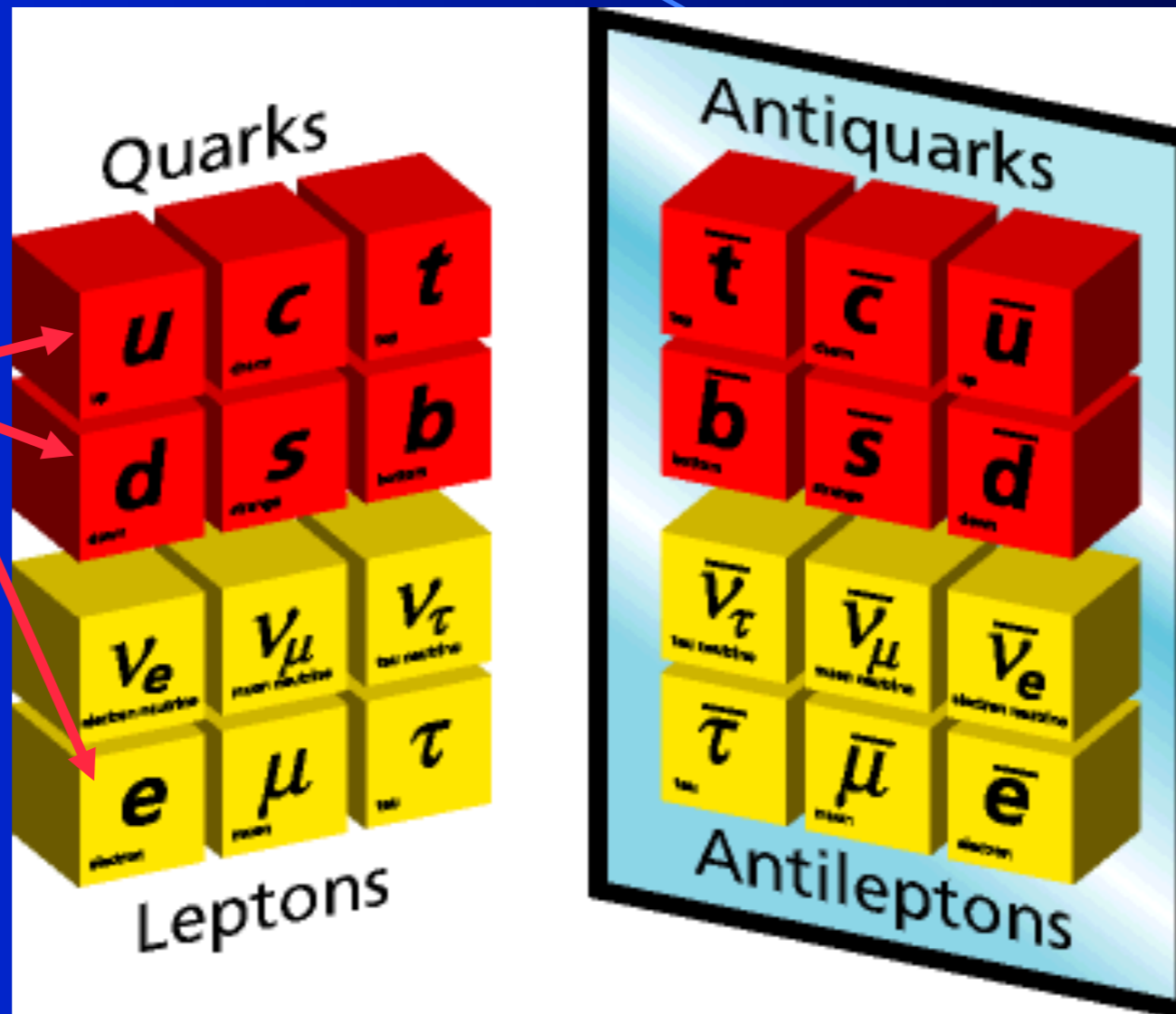
$$V(r) = -\frac{m_1 m_2}{M_{PL}^2 r}$$

СПИН

γ	W^\pm	Z^0	g	=1
H				=0
G				=2

Материя и Антиматерия

Первое поколение - это то из чего мы состоим



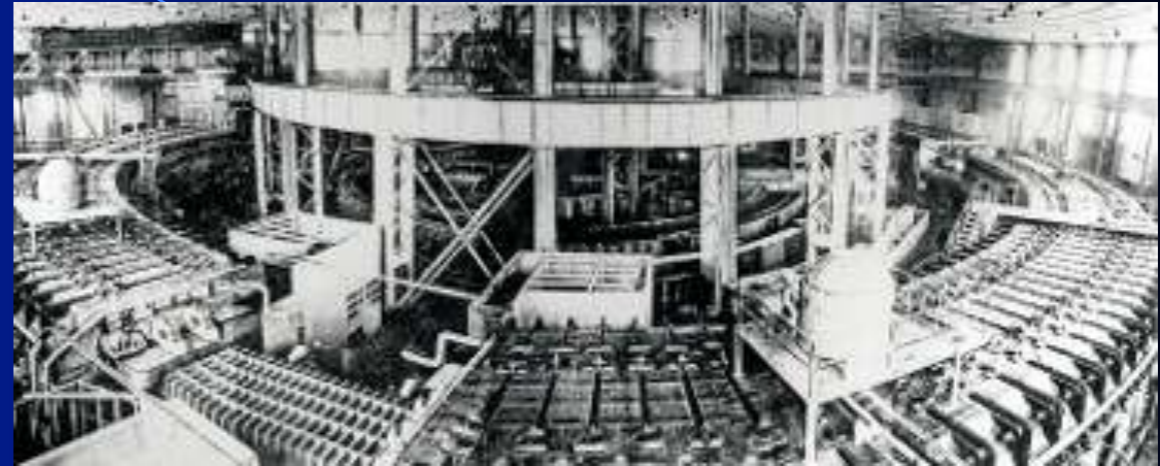
Антиматерия родилась вместе с материей во время «Большого взрыва»

Античастицы рождаются вместе с частицами на ускорителях, но мир вокруг нас не содержит антивещества

Ускорители протонов



BNL Cosmotron (1952-1966) 3.3 GeV



Синхрофазотрон Дубна ОИЯИ 1957 10 ГэВ

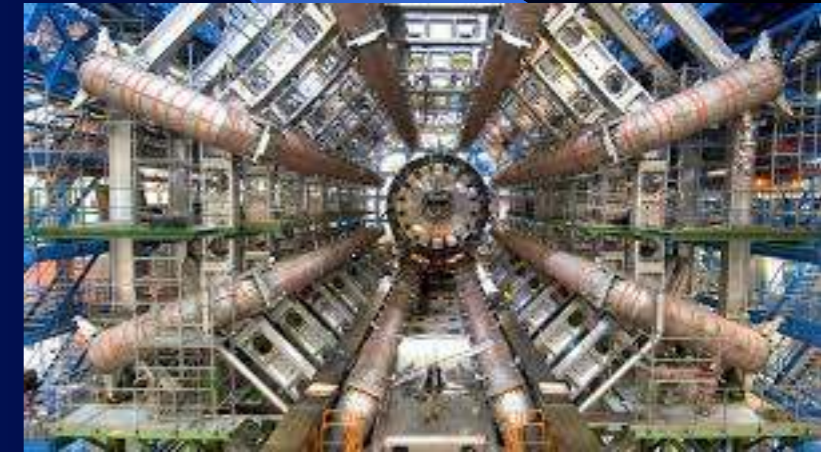
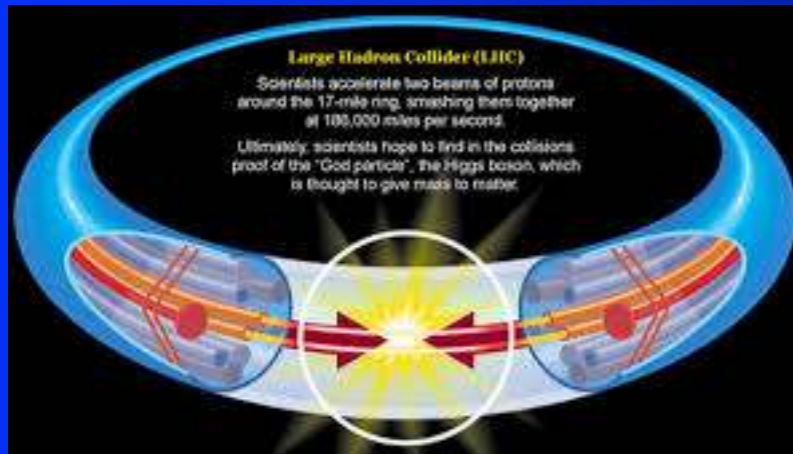
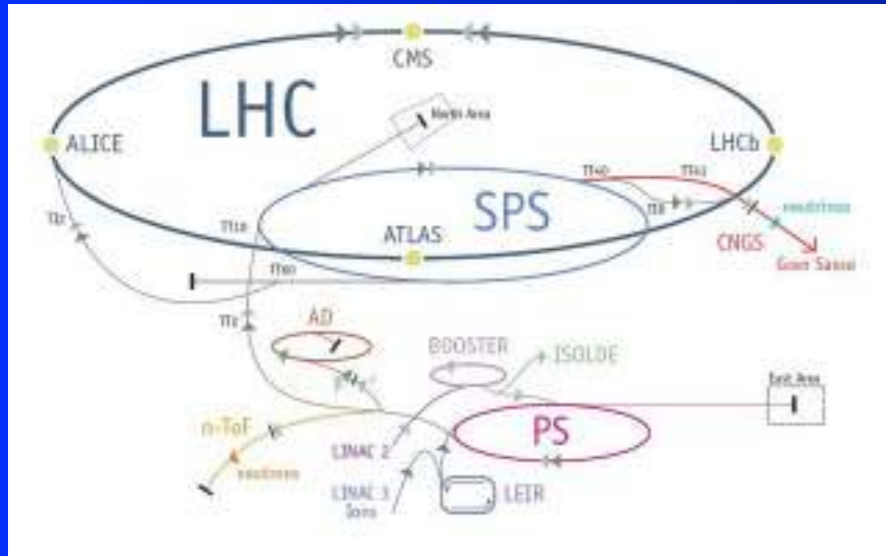


Синхрофазотрон Протвино ИФВЭ 1977 70 ГэВ



Super-proton-synchrotron CERN 1976 450 ГэВ

Большой адронный коллайдер



Большой адронный коллайдер

