

Путешествие в микромир с физиком-теоретиком

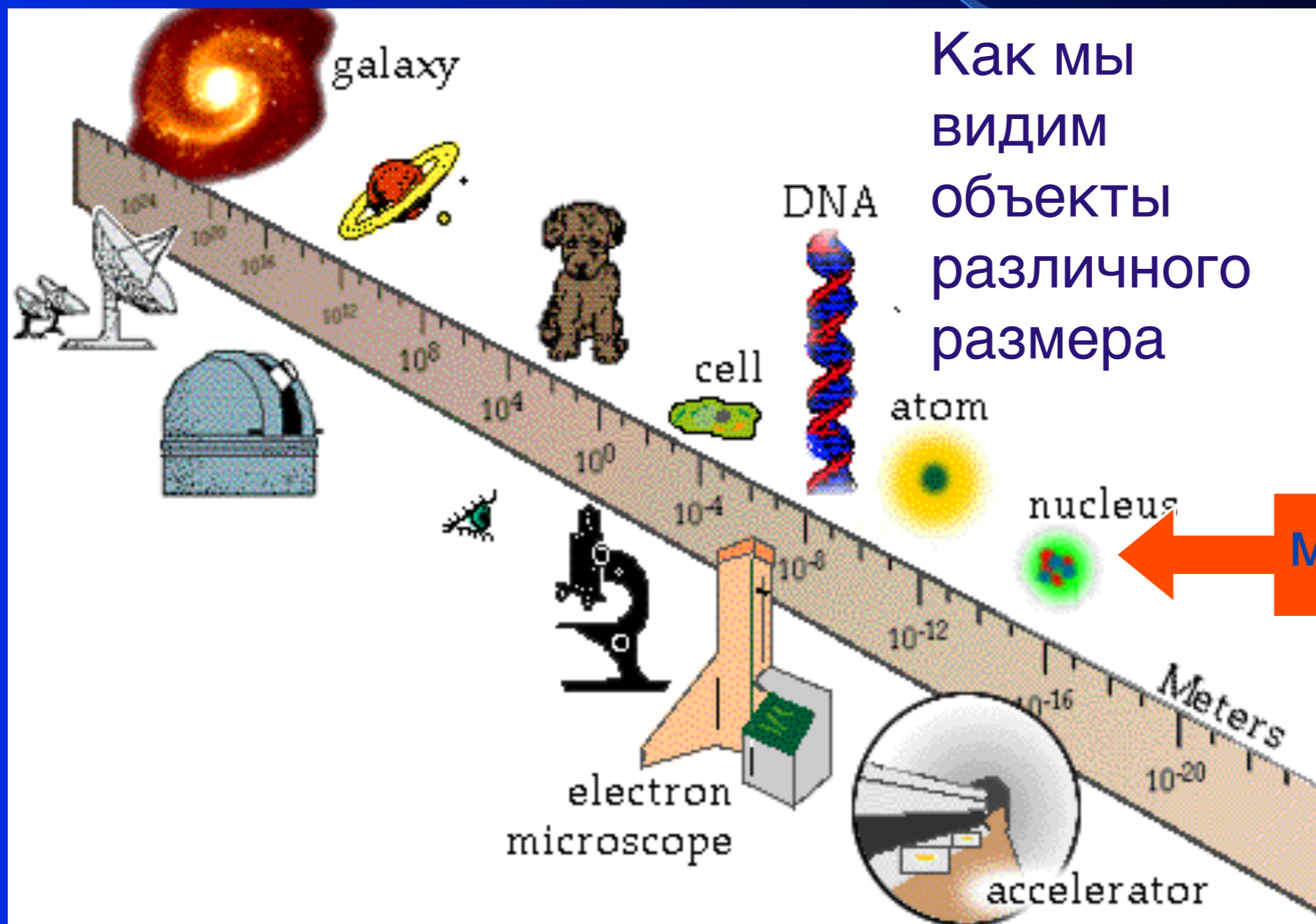
Дмитрий Казаков

Лаборатория Теоретической физики

Объединённый институт ядерных исследований



Макро и микро космос на шкале расстояний

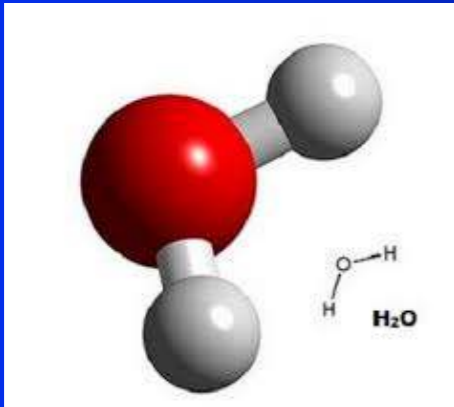


Как мы
ВИДИМ
объекты
различного
размера

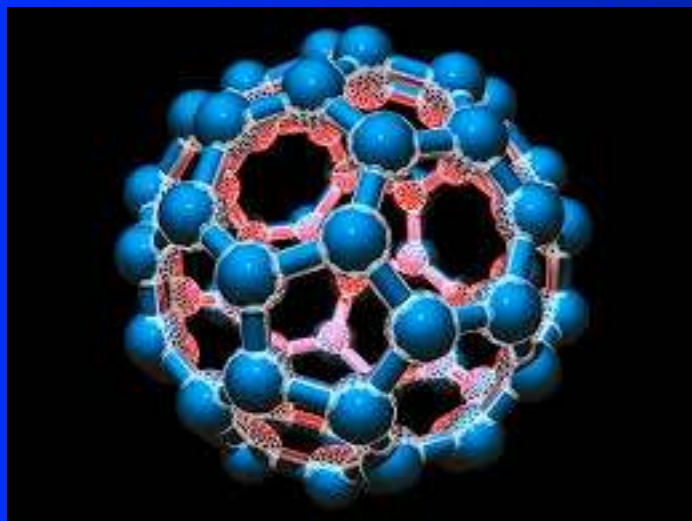
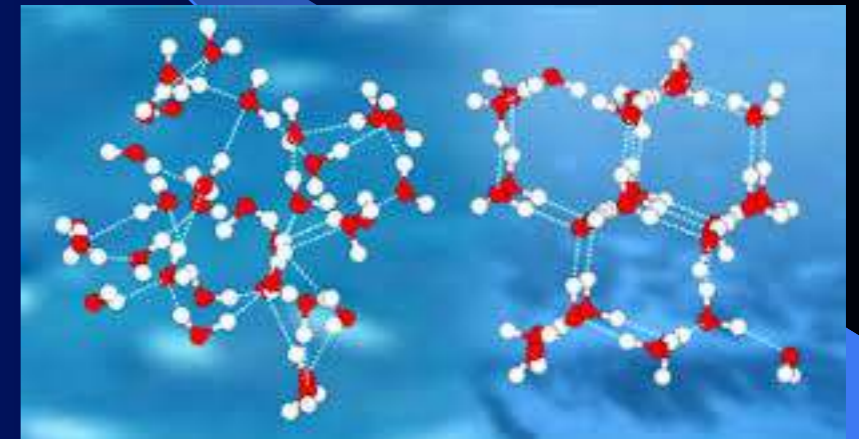
← микромир

Молекулы

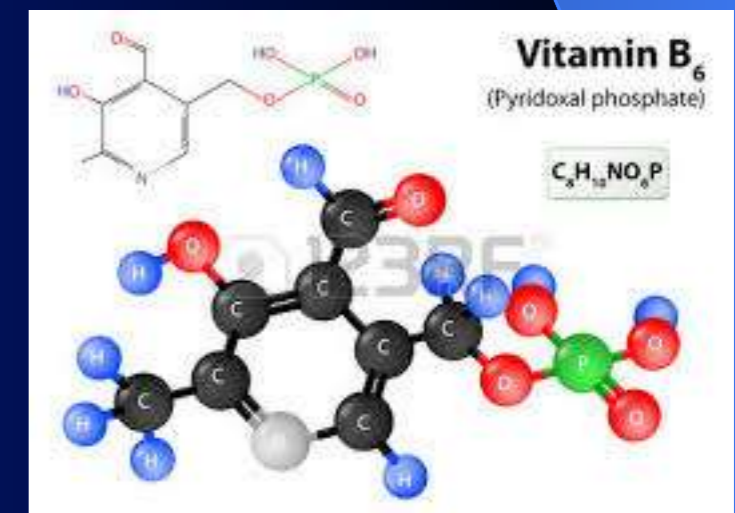
Атомы собираются в молекулы, которые образуют жидкие и газообразные вещества



Простейшая молекула воды

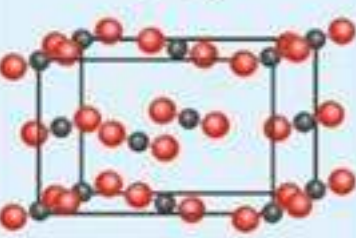





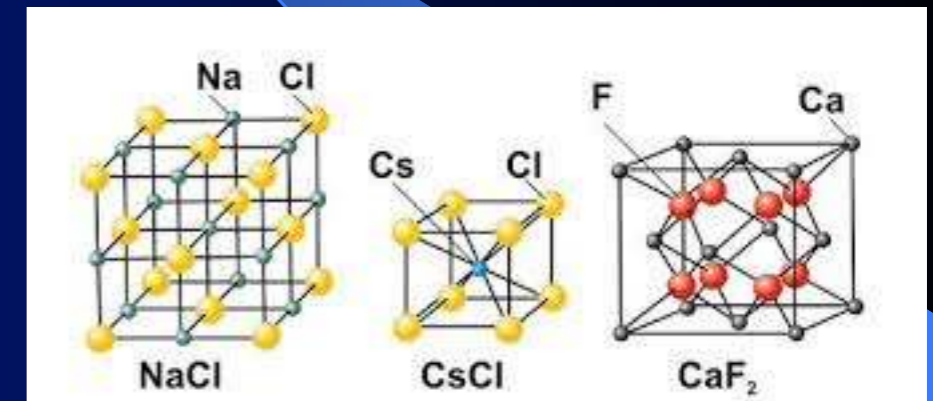
Молекулярная структура определяет химические свойства вещества



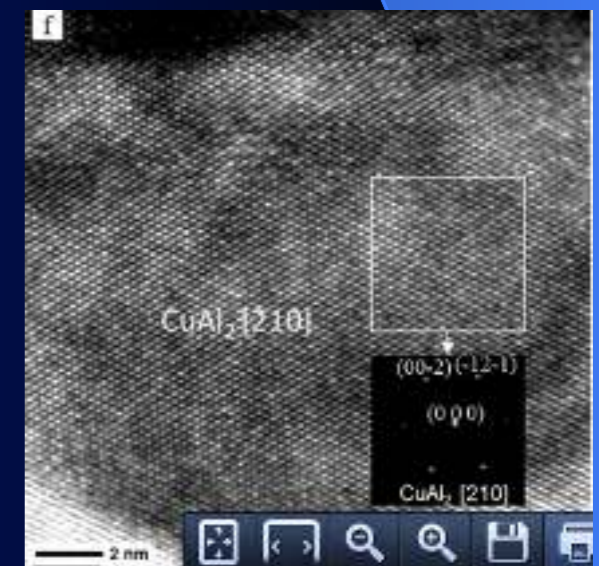
Кристаллы

Большинство твёрдых тел имеет кристаллическую структуру, атомы при этом находятся в узлах решётки. Жёсткость твердых тел объясняется жесткостью решёточной конструкции

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ CO_2	АТОМНЫЕ C	ИОННЫЕ NaCl	МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ Cu
 Углекислый газ $t_{\text{кип}} -78^\circ\text{C}$	 $t_{\text{пл}} 3500^\circ\text{C}$ $t_{\text{кип}} 4200^\circ\text{C}$	 $t_{\text{пл}} 801^\circ\text{C}$ $t_{\text{кип}} 1465^\circ\text{C}$	 $t_{\text{пл}} 1083^\circ\text{C}$ $t_{\text{кип}} 2567^\circ\text{C}$
Твердая двуокись углерода 	Алмаз 	Галит 	Медь 



Кристаллическая решётка в электронном микроскопе



Периодическая система элементов

Периодическая таблица элементов Д.И.Менделеева
D.Mendeleev's periodic table of the elements

1																18																			
IA																VIIIA																			
1	2															10	11																		
H	He															Ne	Ar																		
3		4														9		10																	
Li	Be															F	Ne																		
11		12		13		14		15		16		17		18																					
Na	Mg	III B	IV B	VB	VIB	VII B	VIII B	VIII B	VIII B	IB	IIB	Al	Si	P	S	Cl	Ar																		
19		20		21		22		23		24		25		26		27		28		29		30		31		32		33		34		35		36	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																		
37		38		39		40		41		42		43		44		45		46		47		48		49		50		51		52		53		54	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																		
55		56		57		58		59		60		61		62		63		64		65		66		67		68		69		70		71			
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn																		
87		88		89		90		91		92		93		94		95		96		97		98		99		100		101		102		103			
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og																		
113		114		115		116		117		118		113		114		115		116		117		118		113		114		115		116		117		118	
Nh		Fl		Mc		Lv		Ts		Og		Nh		Fl		Mc		Lv		Ts		Og		Nh		Fl		Mc		Lv		Ts		Og	
Nh		Fl		Mc		Lv		Ts		Og		Nh		Fl		Mc		Lv		Ts		Og		Nh		Fl		Mc		Lv		Ts		Og	

Лантаноиды Lanthanides

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu

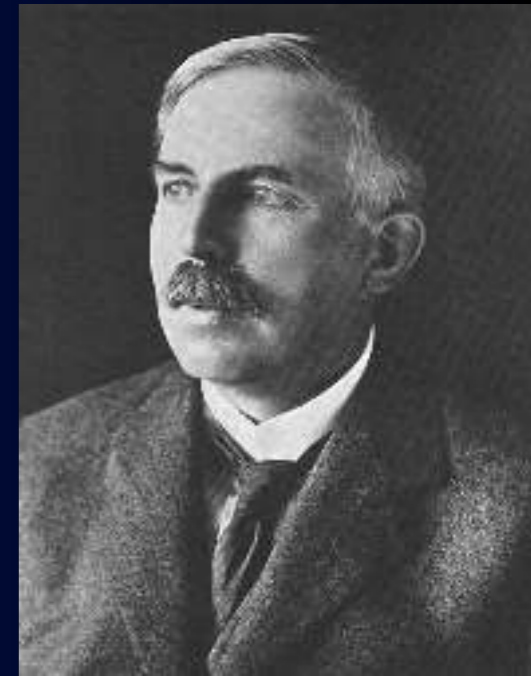
Актиноиды Actinides

90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

- Современная таблица элементов (2017)

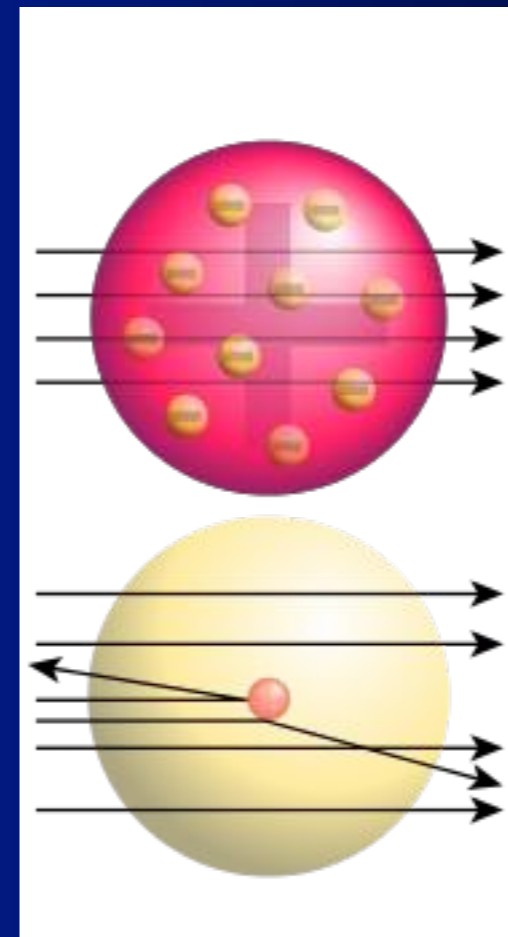
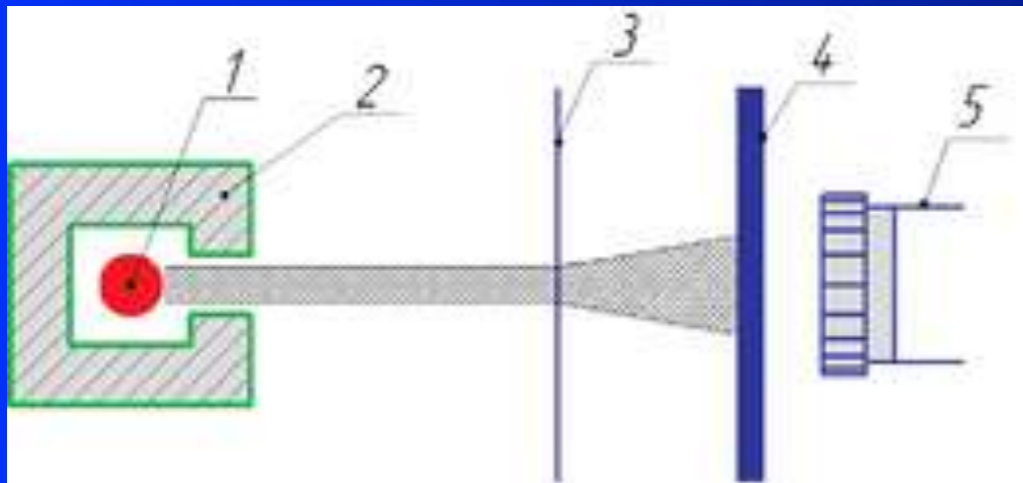


Структура Атома



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

Ожидаемый эффект



Планетарная модель атома Резерфорда

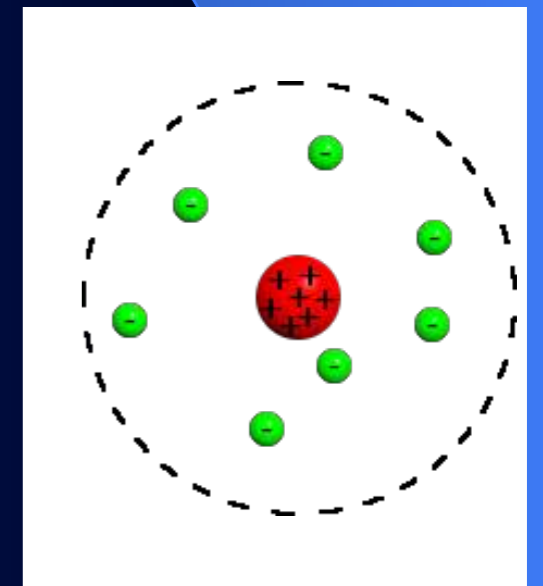
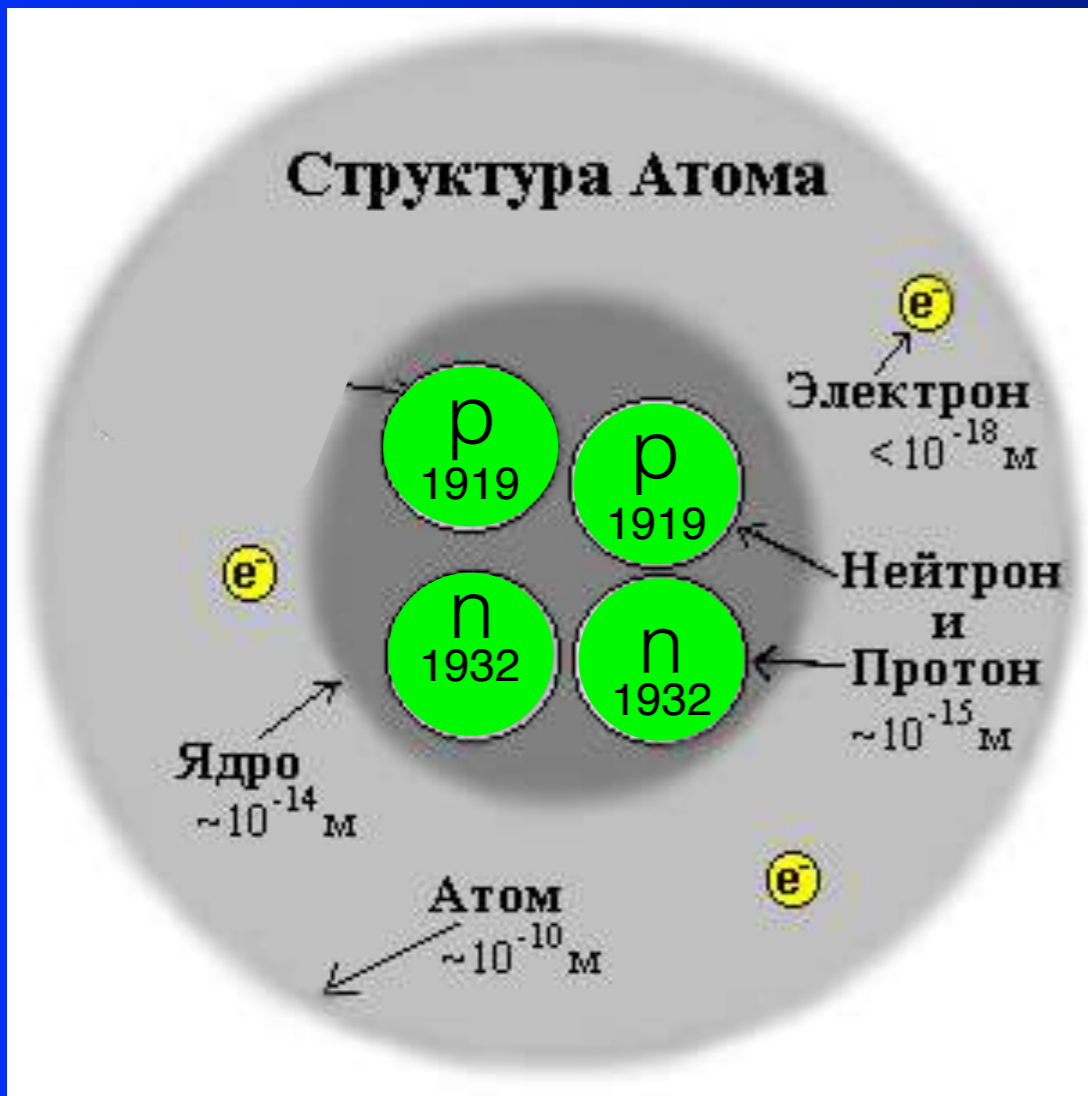
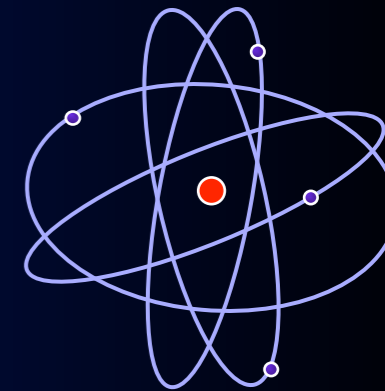


Схема эксперимента Резерфорда

Жесткий отскок

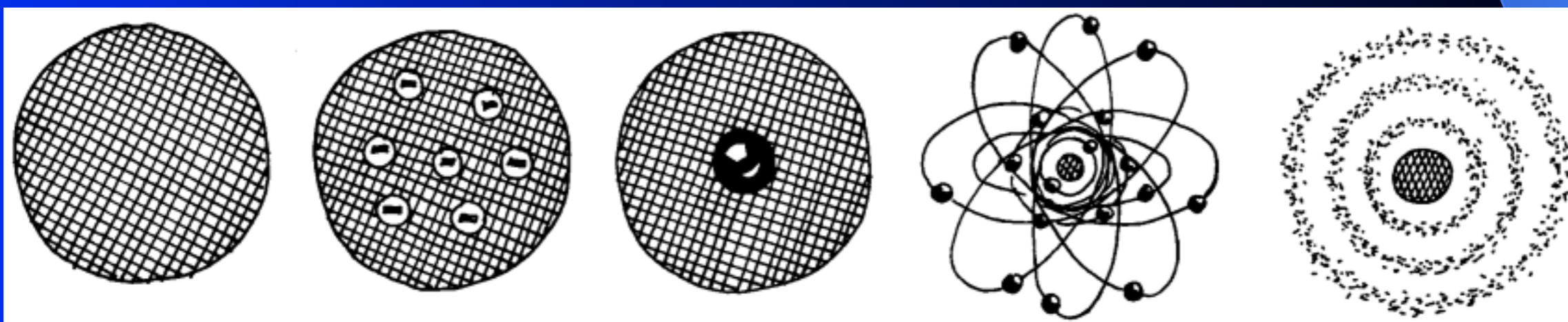
Структура Атома



В центре атома находится плотное ядро имеющее положительный электрический заряд

Оно в 10000 раз меньше размера самого атома

Эволюция в понимании строения атома



Демокрит

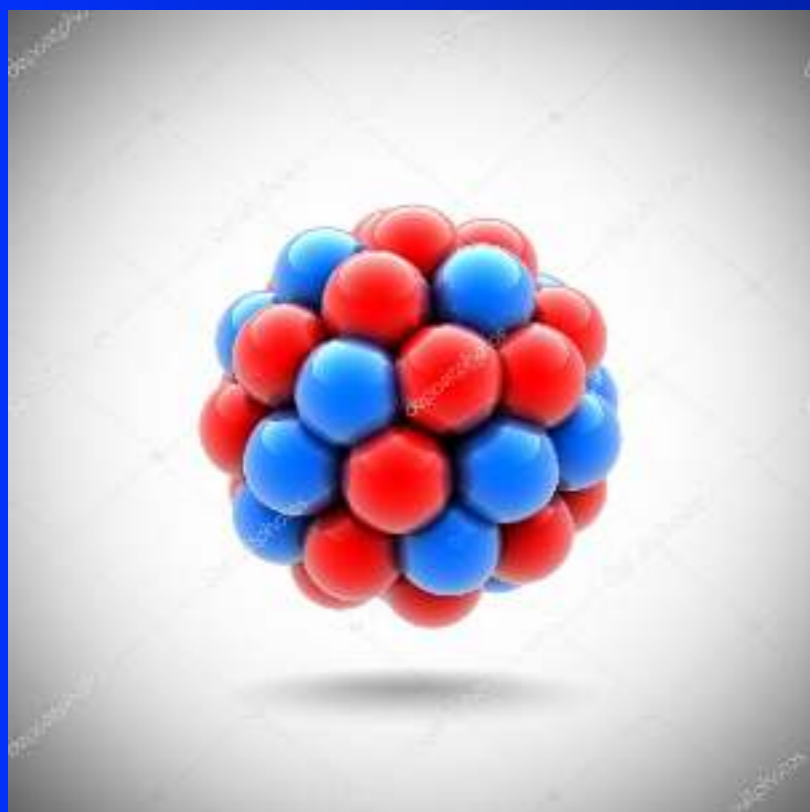
Томпсон

Резерфорд

Бор

Шредингер

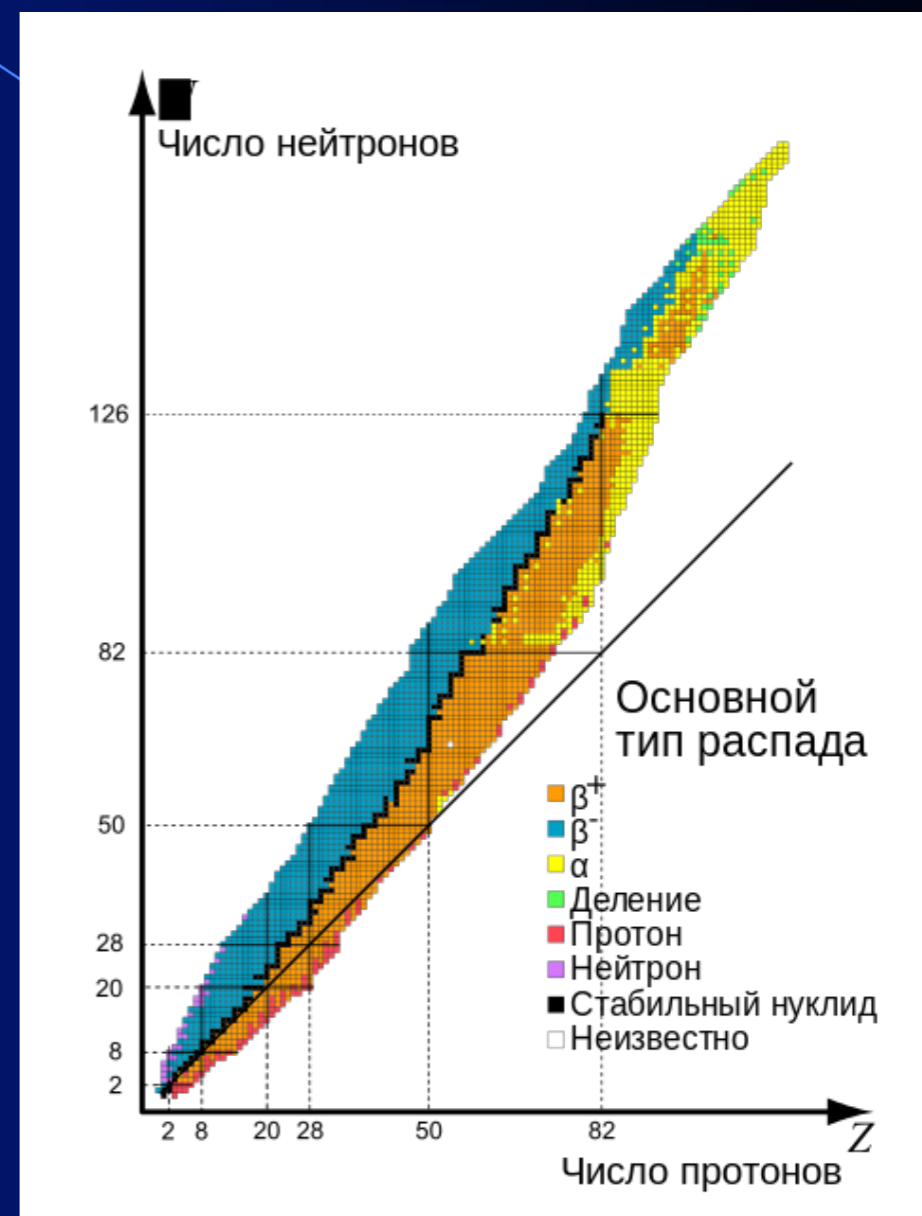
Атомное ядро



Ядро состоит из протонов и нейтронов

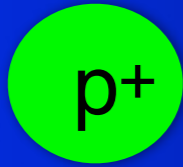
Атомы различаются только количеством протонов и нейтронов в ядре

Между ними действуют ядерные силы, которые удерживают протоны и нейтроны вместе



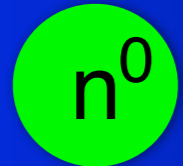
Элементарные частицы

протон

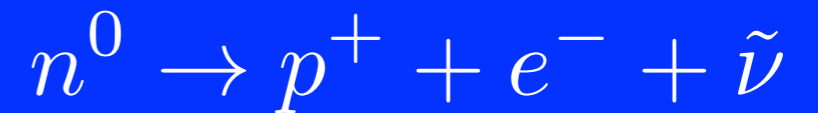


стабильная частица

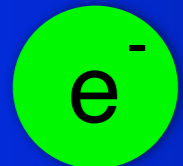
нейтрон



распадается за 9 минут



электрон



стабильная частица

нейтрино (маленький нейтрончик)

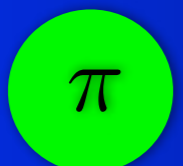
Из этих частиц состоят все атомы и всё что мы видим во Вселенной

фотон



квант электромагнитного поля (квант света)

пионы



или π -мезоны (π^+ , π^- , π^0)

Ими обмениваются протоны и нейтроны в ядре



Тяжёлый электрон

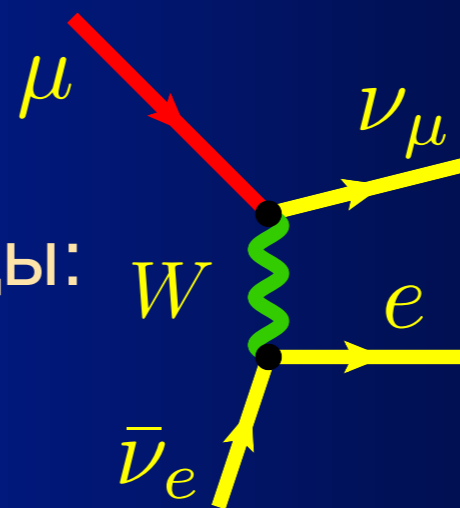
В 1936 году в космических лучах открыт тяжёлый электрон - мюон. Он отличается от электрона только массой, будучи тяжелее электрона в 200 раз!

В свободном состоянии мюон живёт 10^{-6} секунды и распадается на электрон и два нейтрино

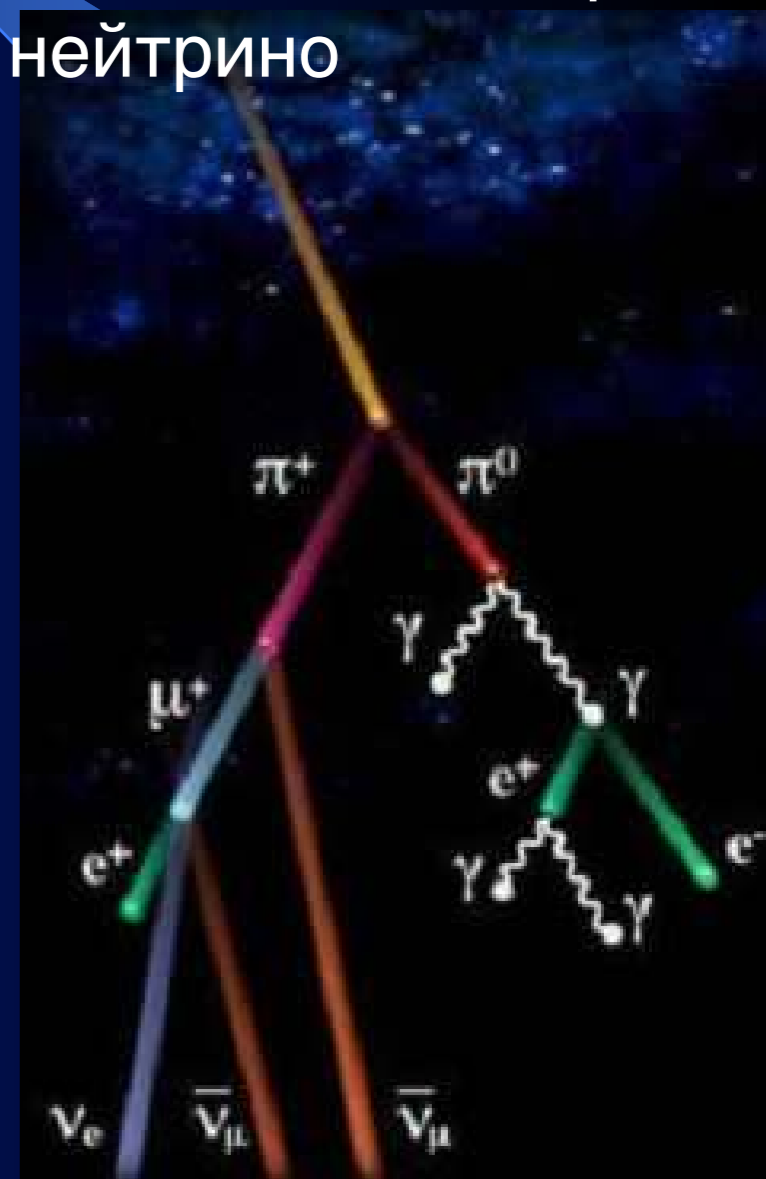
$$\mu \rightarrow e + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$$

Так появились две новые частицы:

Зачем они нужны?



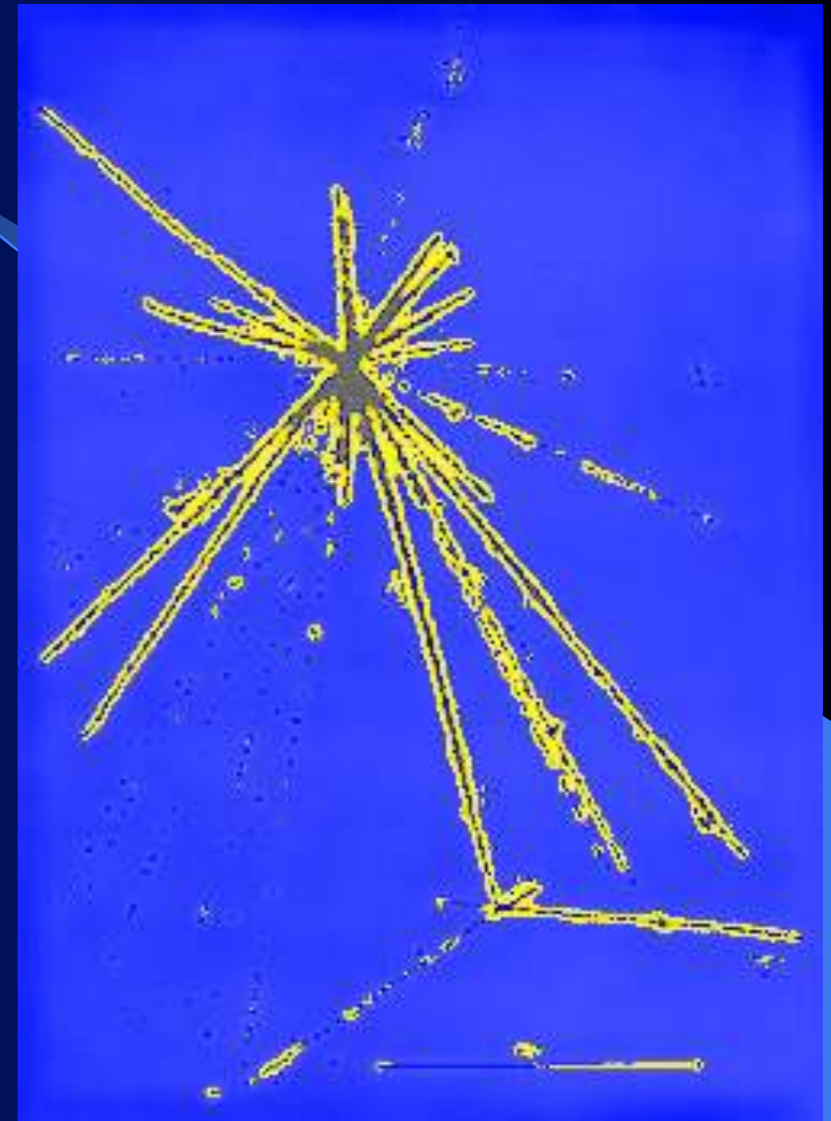
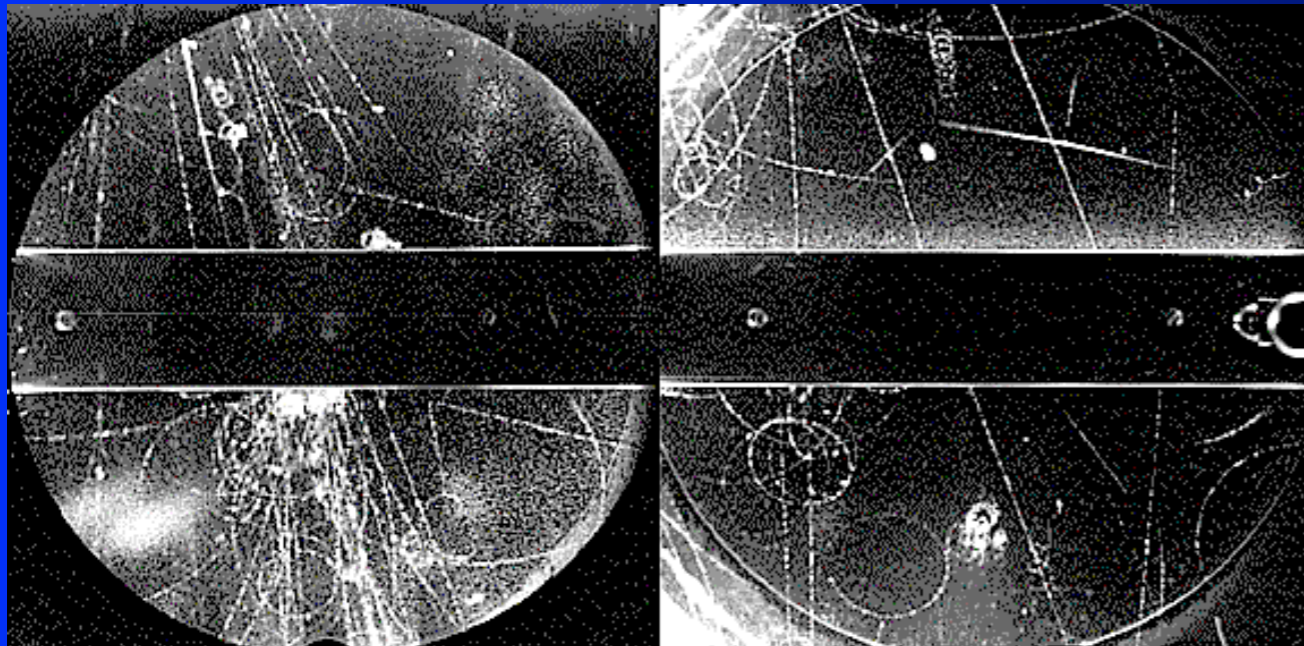
Мюоны рождаются от распада П-мезонов в космических лучах и распадаются на электроны и два нейтрино



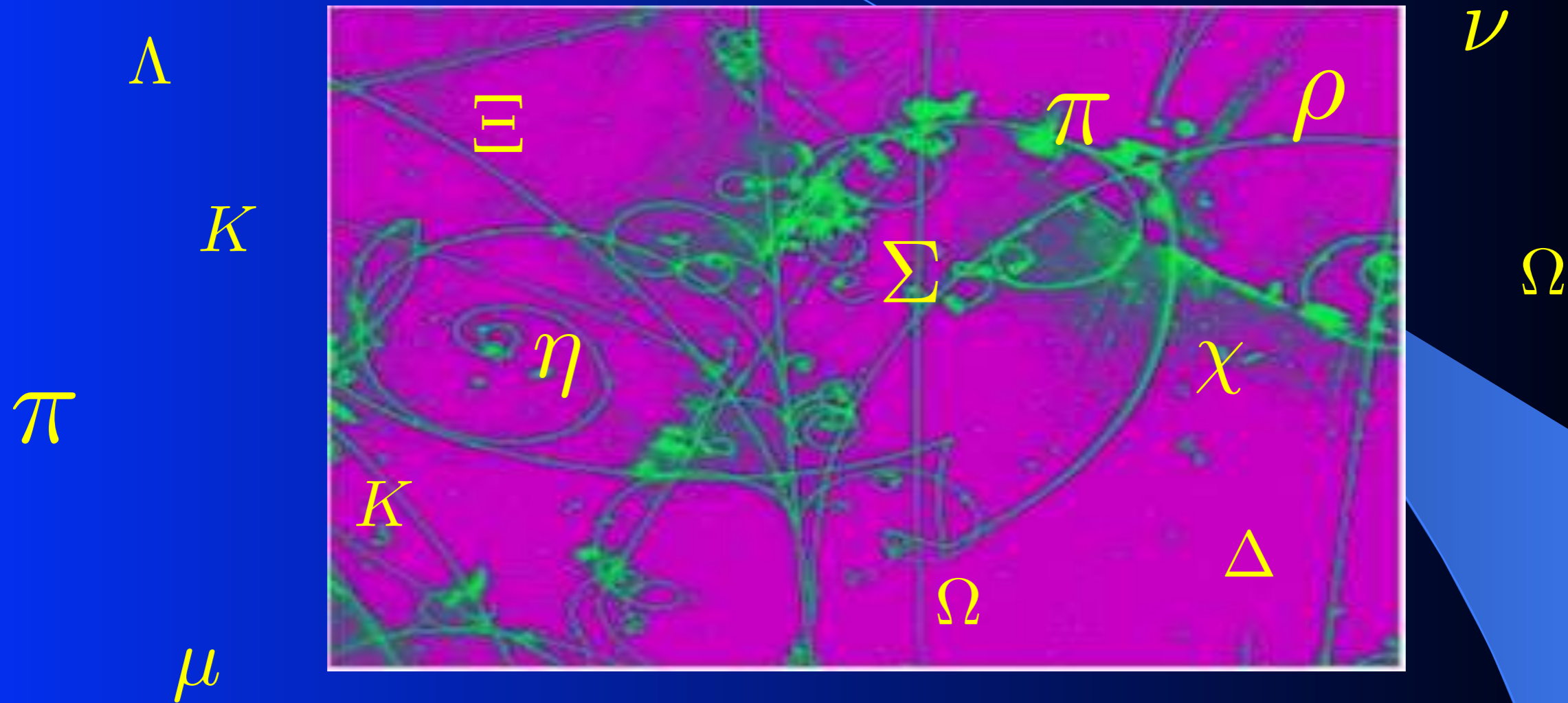
Открытие Странности

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

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

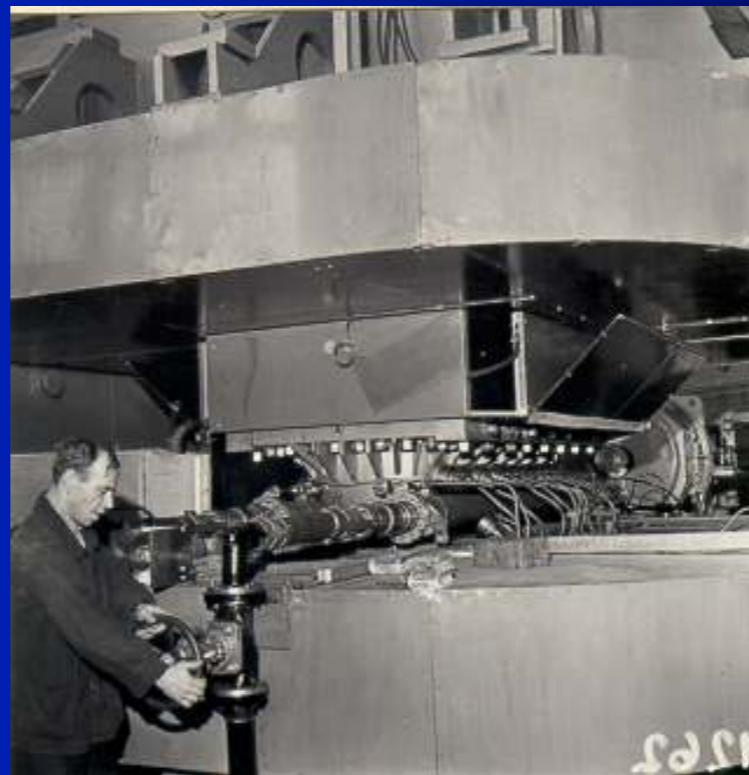


Открытие элементарных



- Целый зоопарк элементарных частиц был открыт на ускорителях
- Их стали разделять на два класса: барионы и мезоны
- Это было окном в новый мир - микромир

Σ^- - Гиперон в Дубне

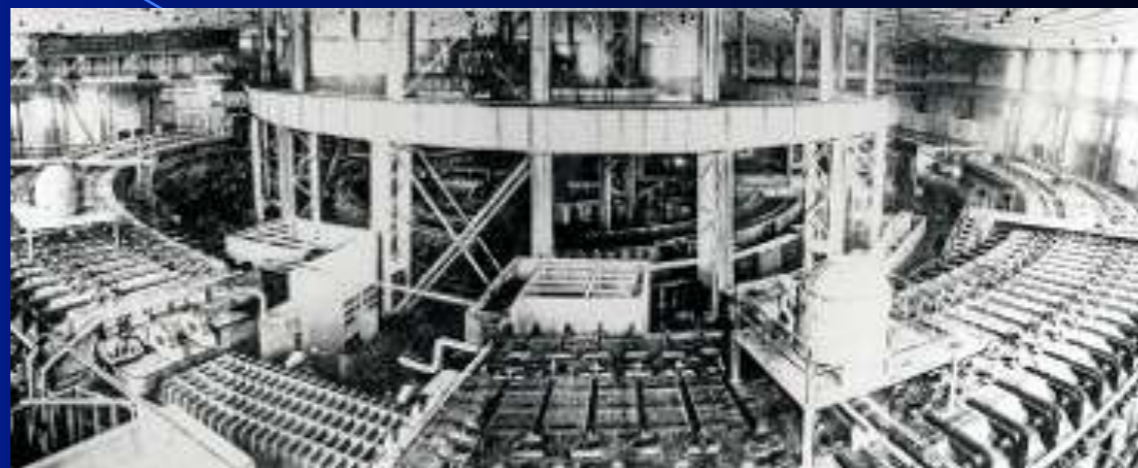


- Σ^- - гиперон был открыт в 1960 г. в Дубне на синхрофазотроне ОИЯИ с помощью пропановой пузырьковой камеры

Ускорители протонов



BNL Cosmotron (1952-1966) 3.3 GeV



Синхрофазотрон Дубна ОИЯИ 1957 10 ГэВ

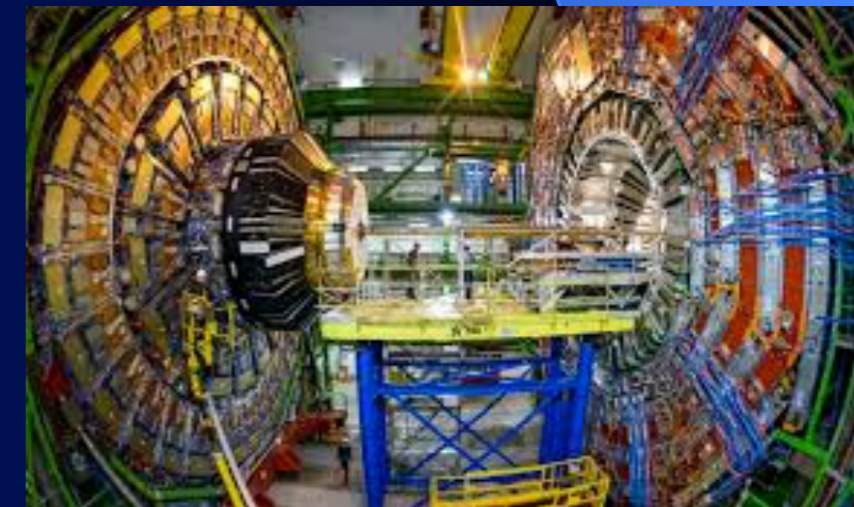
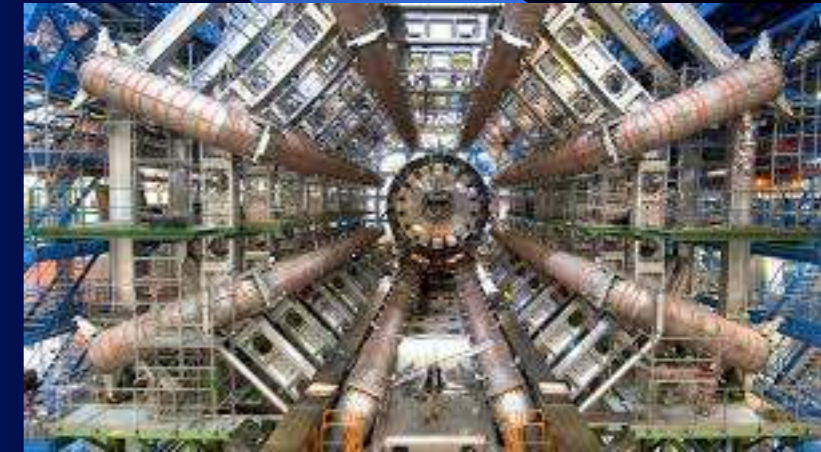
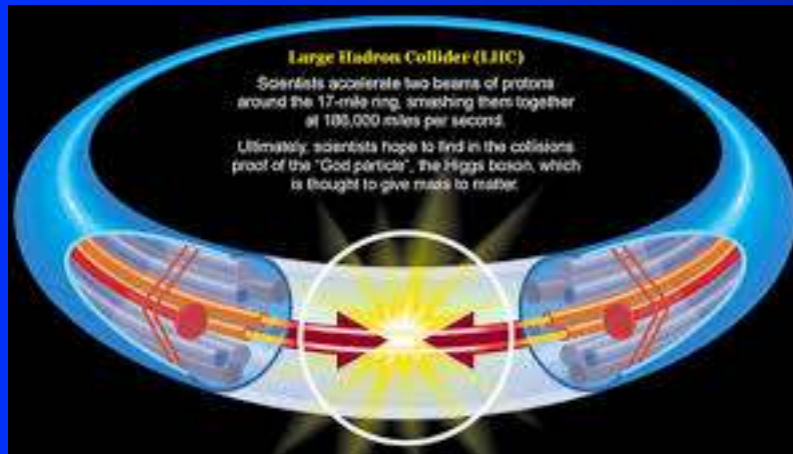
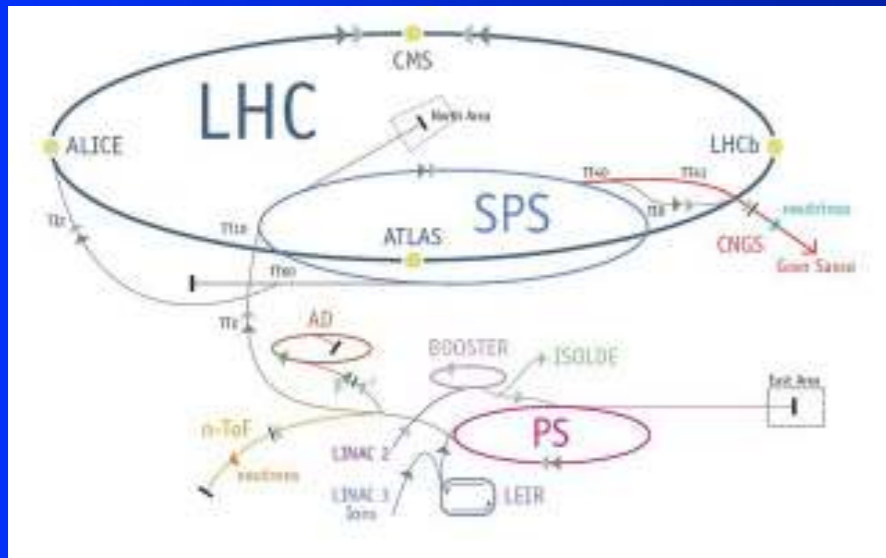


Синхрофазотрон Протвино ИФВЭ 1967 70 ГэВ

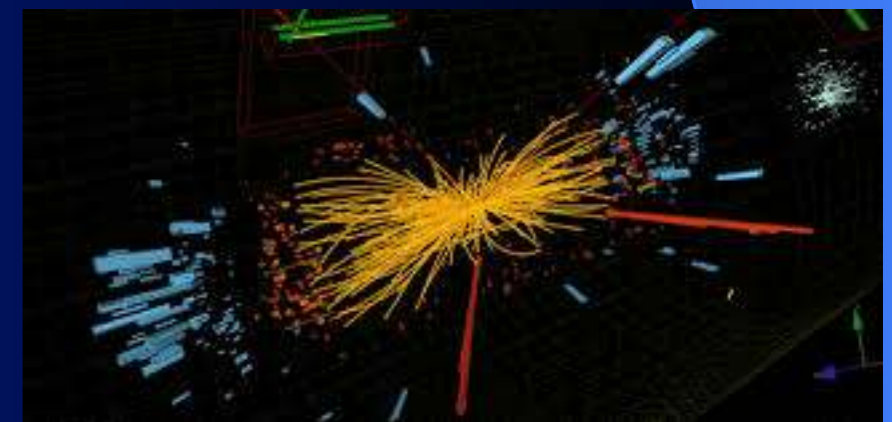
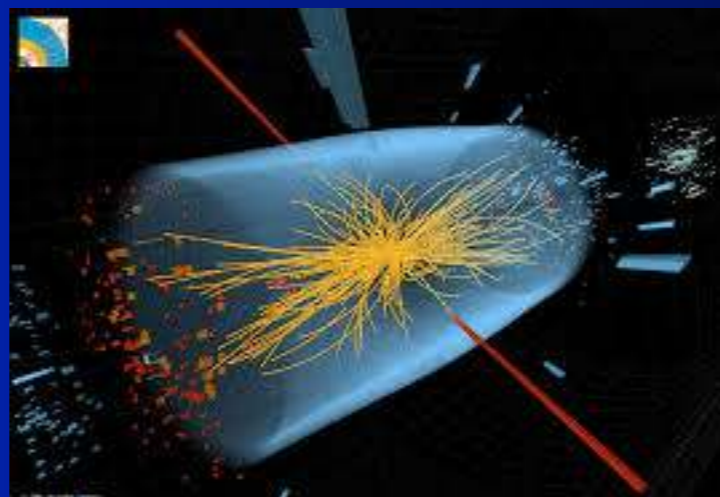
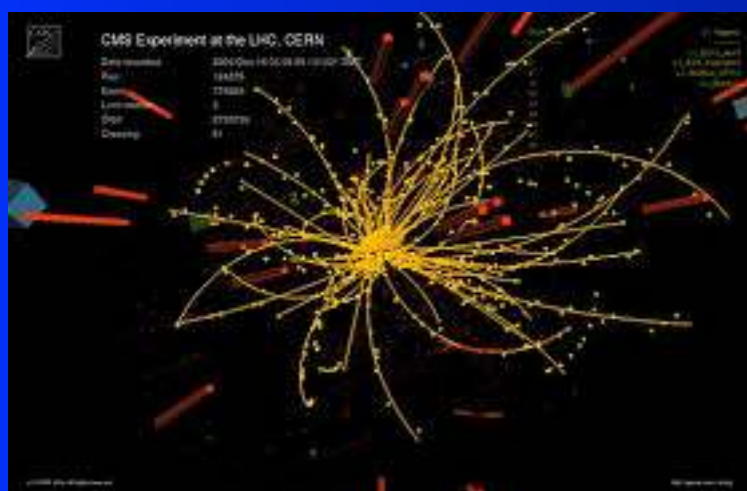
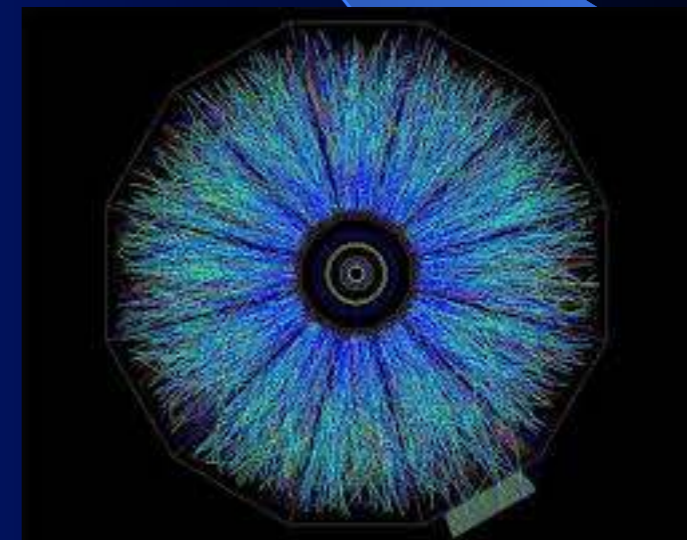
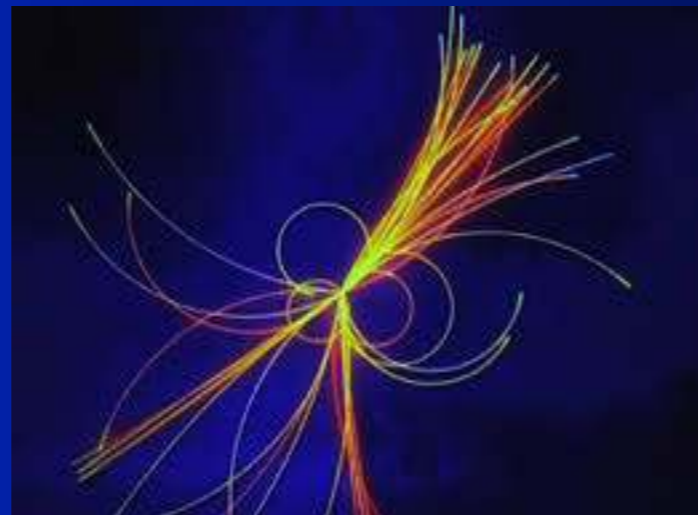
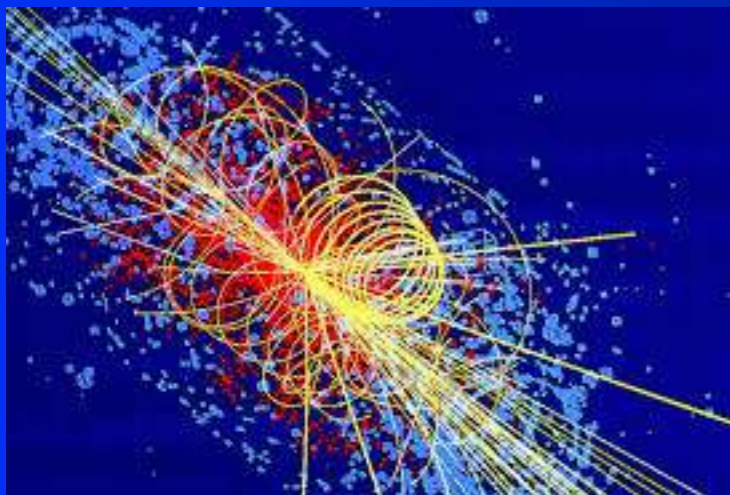
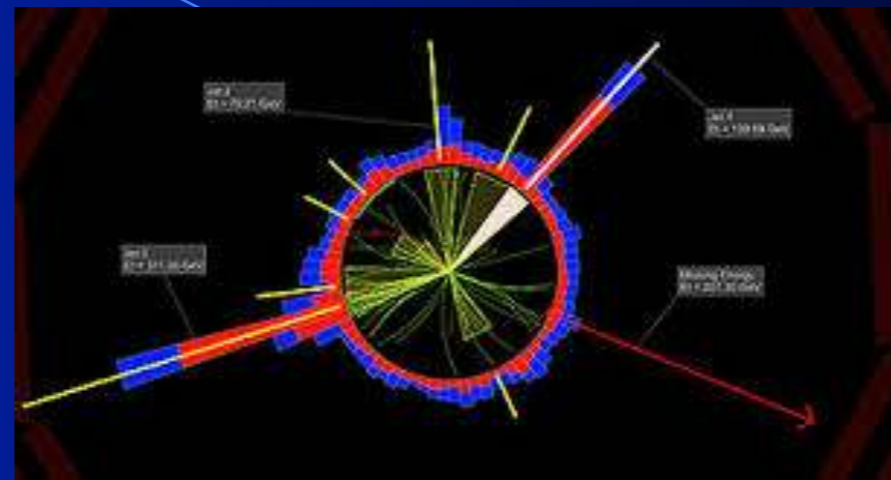
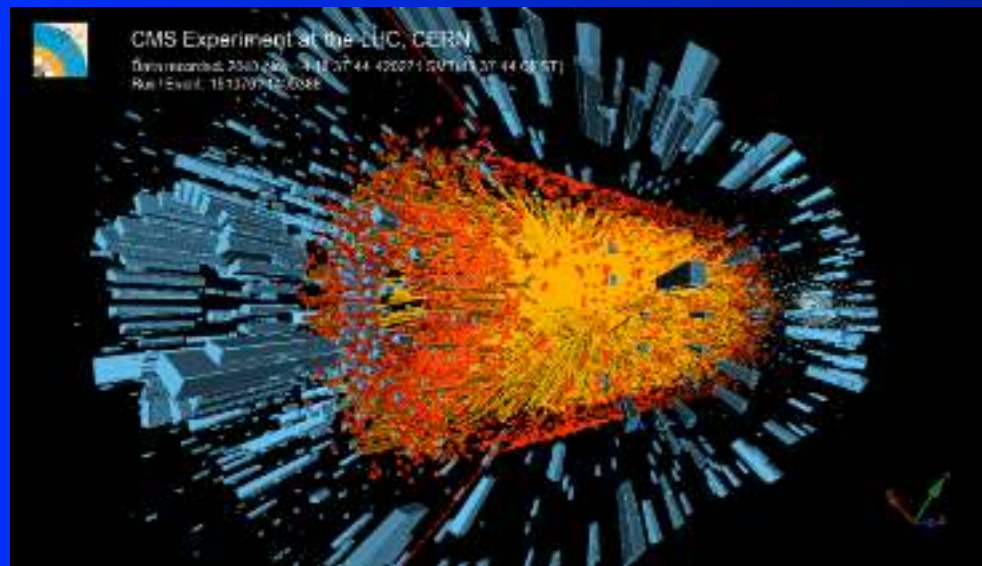


Super-proton-synchrotron CERN 1976 450 ГэВ

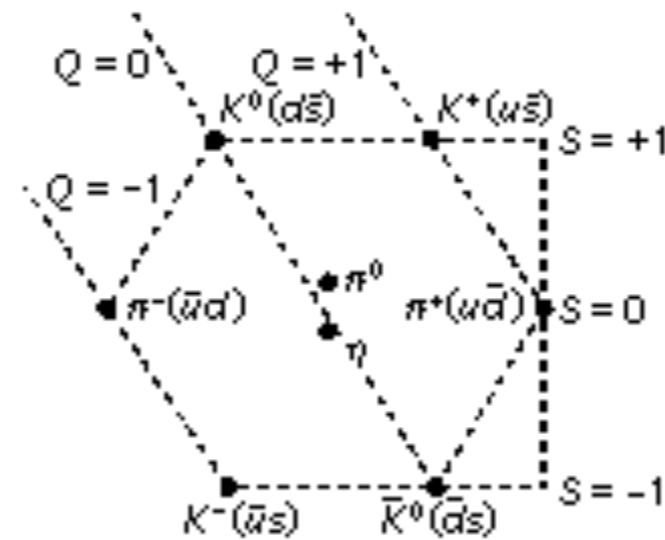
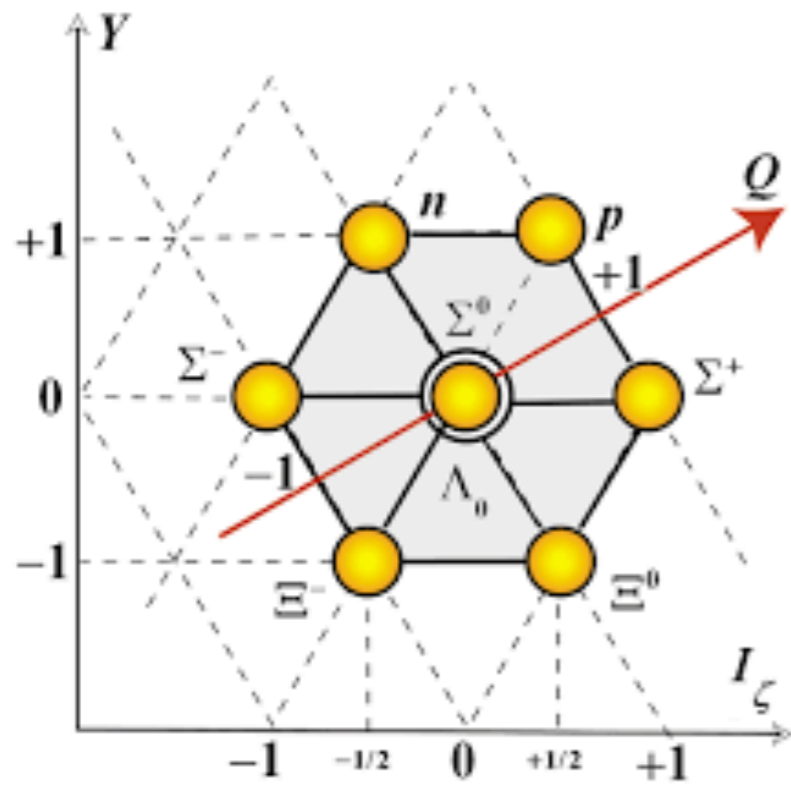
Большой адронный коллайдер



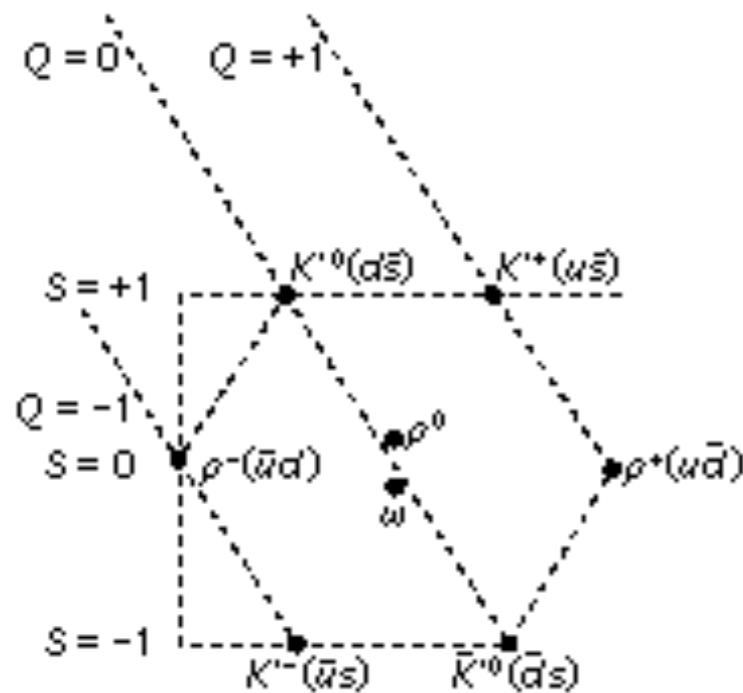
Большой адронный коллайдер



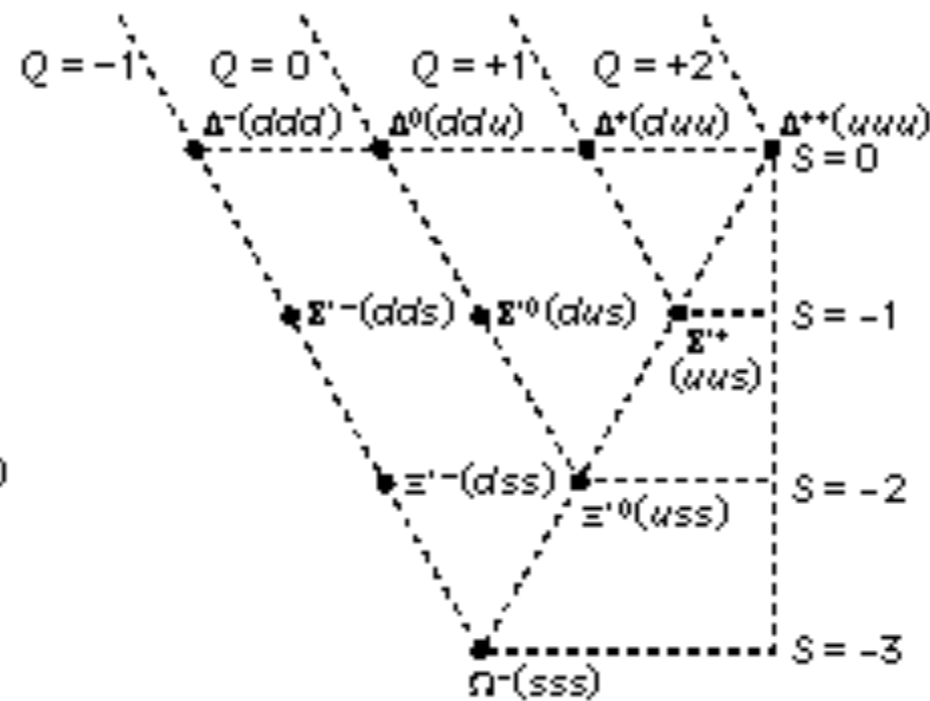
Таблицы элементарных частиц



ОКТЕТ МЕЗОНОВ ($s = 0$)



ОКТЕТ МЕЗОНОВ ($s = 1$)



ДЕКУПЛЕТ БАРИОНОВ ($s = 3/2$)

Было обнаружено, что по какой-то причине частицы группируются в 8 (октеты) и 10 (декуплеты)

Кварки – “кирпичики мироздания”

Появление октетов и декуплетов легко объяснить, если предположить, что все частицы «сделаны» из трёх оставляющих, которые стали называть кварками q



Они получили название верхнего (up), нижнего (down) и странного (strange) кварка

Кварки имеют дробный электрический заряд:

$$Q_u = +2/3, \quad Q_d = -1/3, \quad Q_s = -1/3,$$

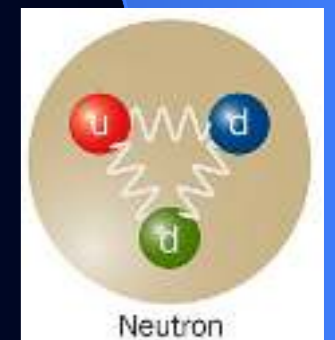
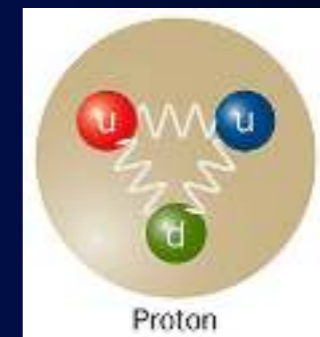
Все частицы сделаны из кварков как из кубиков.

Есть два вида частиц: барионы $B = qqq$ и мезоны $M = q\bar{q}$

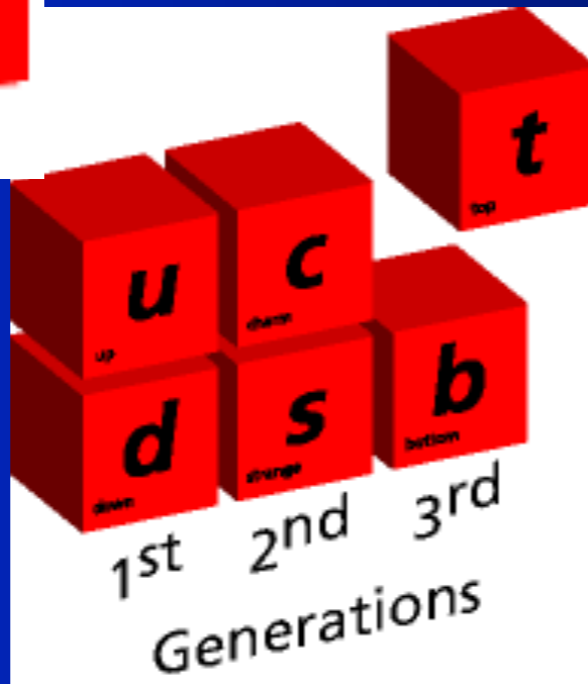
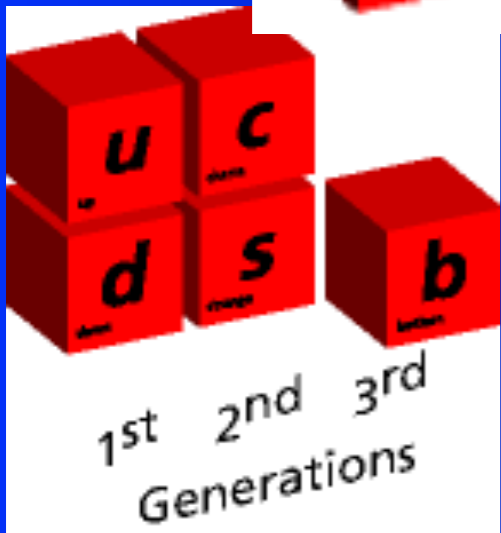
протон $p = uud, \quad Q_p = 2/3 + 2/3 - 1/3 = 1$

нейтрон $n = udd, \quad Q_n = 2/3 - 1/3 - 1/3 = 0$

π^+ -мезон $\pi^+ = u\bar{d}, \quad Q_{\pi^+} = 2/3 + 1/3 = 1$

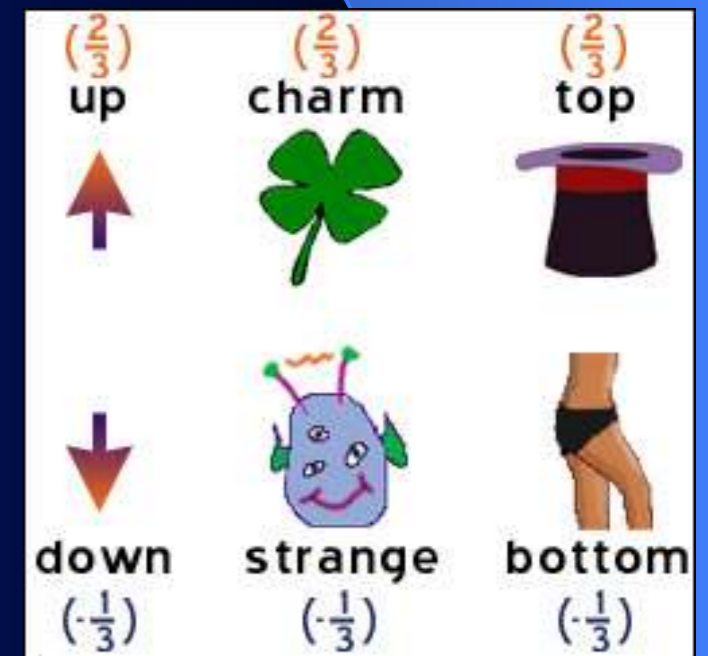


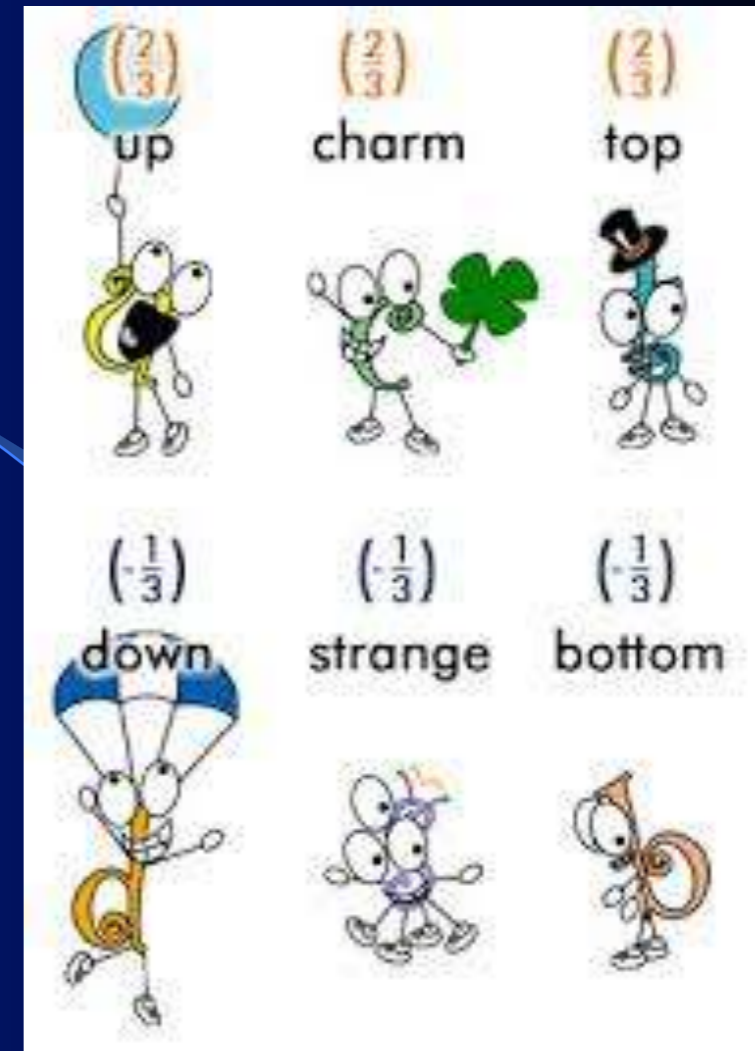
Кварки – “кирпичики”



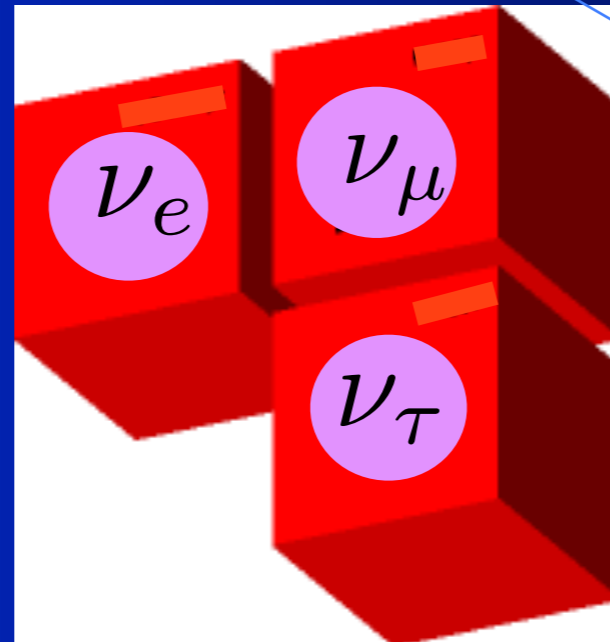
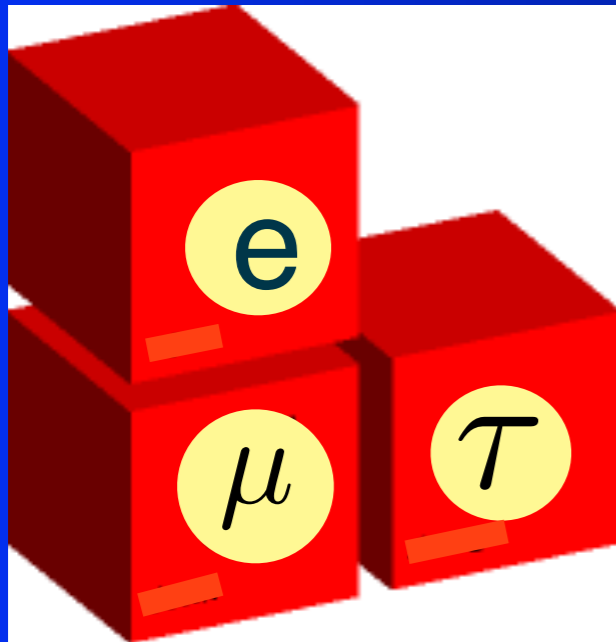
- Кварки “заперты” внутри адронов
- Электрический заряд кварков кратен $1/3$
- Каждый кварк несёт новое квантовое число - цвет, принимающее три значения
- Число сортов кварков росло с открытием новых частиц и достигло **ШЕСТИ**

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





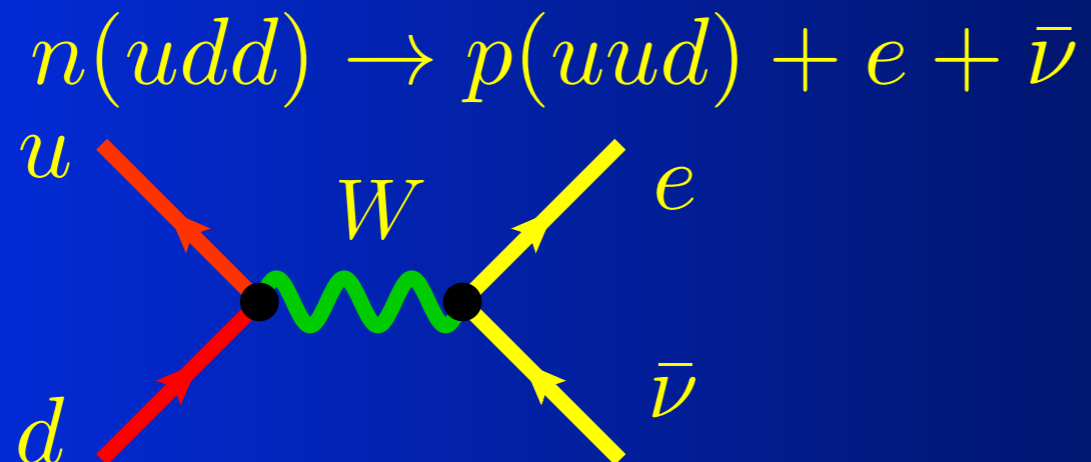
Лептоны от слова λεπτός



Природа создала две копии электронов и нейтрино, каждая копия тяжелее предыдущей

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

Нейтрино рождаются в процессах распада адронов



Эти частицы живут микроскопические доли секунды и не образуют обычного вещества, но прилетают к нам в виде космических лучей и рождаются на ускорителях

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

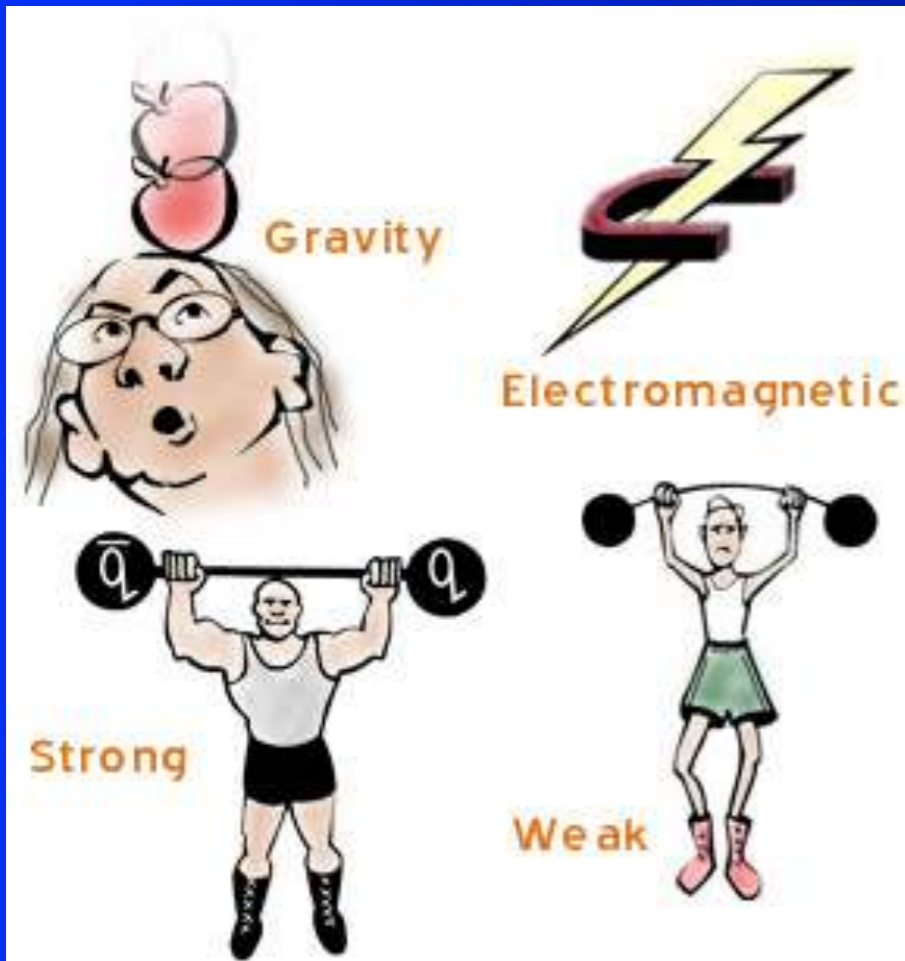
G

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