ЧЕТЫРЕ ВИДА ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

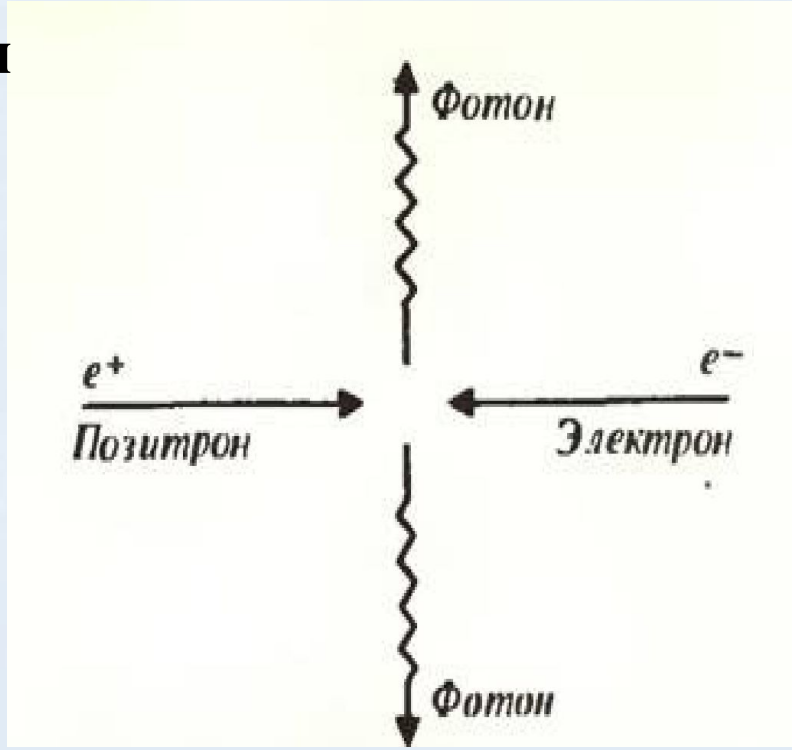
- ***Электромагнитные*** **- это взаимодействия электронов и других заряженных частиц (внутренние и внешние оболочки атомов). Отвечают за все химические реакции, а также образование всех атомных и молекулярных структур.**
- ***Сильные*** **- ответственны за силы связи между нуклонами (протонами и нейтронами) в ядрах; они компенсируют силы кулоновского отталкивания между протонами:** $n \rightarrow p + \pi^- ; p \rightarrow n + \pi^+$
- ***Слабые*** **- отвечают за радиоактивный бета – распад с выделением электронов или позитронов. Пример – распад свободных нейтронов на протон, электрон и антинейтрино:** $n \longrightarrow p + W \longrightarrow p + e^- + \upsilon \quad (m_n > m_p + m_e)$
- ***Гравитационные*** **- порождают макроскопическую силу гравитации. Предполагается, что за это взаимодействие ответственны гравитоны.**

Для любой элементарной частицы есть своя античастица.

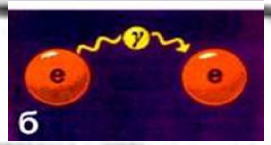
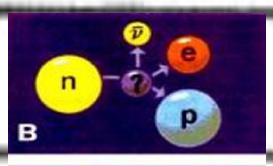
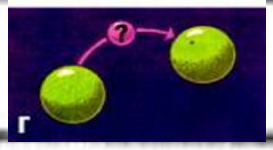
Частица и ее античастица имеют в точности одинаковые массы, периоды полураспада и типы распада, а также квантовые числа спина, и в то же время противоположные электромагнитные свойства.

Например, для электрона и позитрона электрические заряды имеют разные знаки; векторы спина S и собственного магнитного момента p обладают разной взаимной ориентацией.

При «встрече» частица и античастица аннигилируют образуя два фотона (γ-кванта) с большой энергией.



Сравнительные характеристики фундаментальных взаимодействий

Взаимодействие		Интенсивность	Длительность процессов (с)	Радиус действия (см)
Сильное		1	10^{-23}	10^{-13}
Электромагнитное		10^{-2}	10^{-20}	∞
Слабое		10^{-14}	10^{-9}	10^{-16}
Гравитационное		10^{-31}	–	∞

Слабые взаимодействия

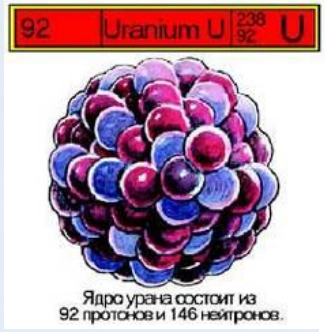
Сильные взаимодействия

Устойчивые и относительно долгоживущие частицы

НАЗВАНИЕ			СИМВОЛ	
			ЧАСТИЦА	АНТИЧАСТИЦА
фотон			γ	
лептоны		нейтрино	ν_e ν_μ	$\bar{\nu}_e$ $\bar{\nu}_\mu$
		электрон	e^-	e^+
		мюон	μ^-	μ^+
адроны	мезон	пионы	π^+ π^0	π^-
		каон	K^+ K^0	$\bar{K}^0$ K^-
		эта	η	
	барионы	протон	p	$\bar{p}$
		нейтрон	n	$\bar{n}$
		лямбда	Λ	$\bar{\Lambda}$
		сигма	Σ^+ Σ^0 Σ^-	$\bar{\Sigma}^+$ $\bar{\Sigma}^0$ $\bar{\Sigma}^-$
		каскад	Ξ^0 Ξ^-	$\bar{\Xi}^0$ $\bar{\Xi}^-$
		омега	Ω	$\bar{\Omega}^-$

Ядерные реакции

- Ядерный бета – распад: $n \xrightarrow{\beta} p + e^- + \upsilon$
- *Реакция распада тяжелых ядер:*

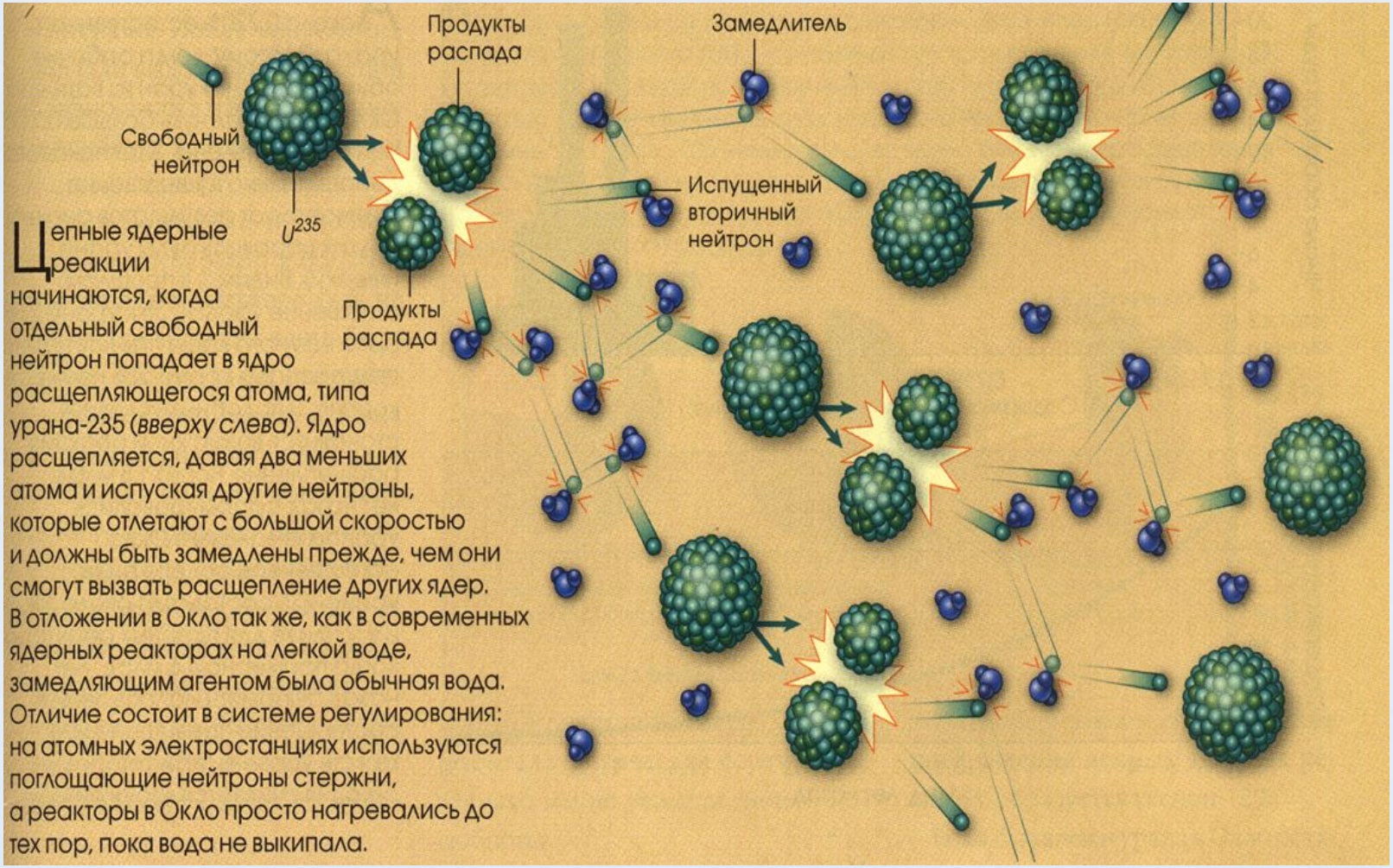


$$n + {}^{238}_{92}U \xrightarrow{\gamma} {}^{239}_{92}U \xrightarrow{\beta} {}^{239}_{93}Np \xrightarrow{\beta} {}^{239}_{94}Pu$$

${}_z\mathbf{X}^A$ **, *где* z –**число протонов, ***A*** – атомный вес

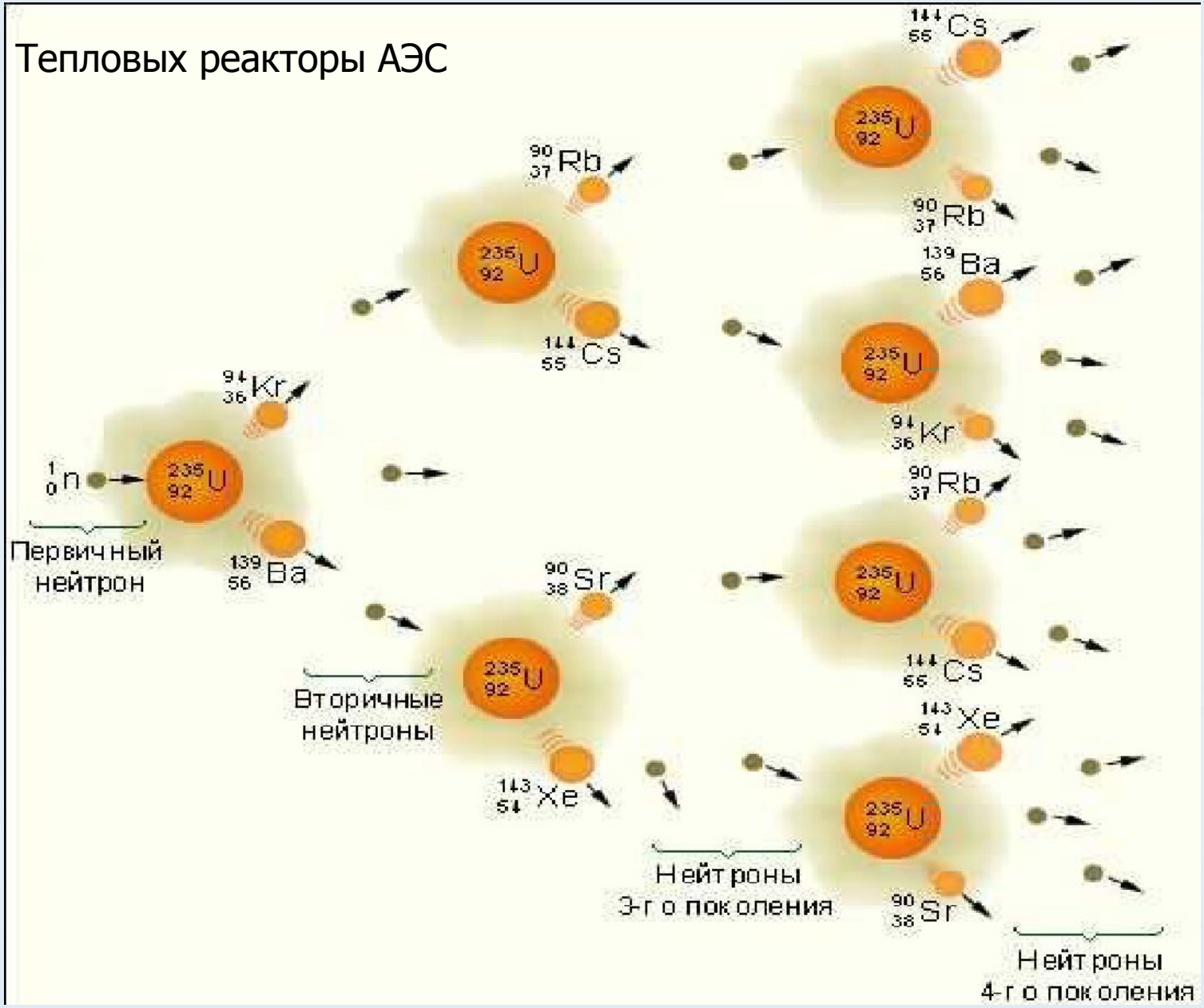
- Масса ядра всегда меньше суммарной массы протонов и нейтронов ($m_{ядра} < m_p + m_n$) .
- **Δm –** разница между массой ядра и суммой масс входящих в него частиц, а $\Delta E_{св}$ – энергия связи. $\Delta m = [Z\, m_p + (A - Z)\, m_n] - m_{ядра}$ *дефект массы* ядра
- Уравнение Эйнштейна связывает энергию ***E,*** массу ***m*** и скорость света ***C*** таким образом, что небольшая масса эквивалентна колоссальному количеству энергии: $\Delta E_{св} = \Delta m \cdot C^2$ = работе, кот. нужно совершить, чтобы разделить нуклоны в ядре и разнести на невзаимодействующие расстояния

ЦЕПНАЯ РЕАКЦИЯ



Цепные ядерные реакции начинаются, когда отдельный свободный нейтрон попадает в ядро расщепляющегося атома, типа урана-235 (*вверху слева*). Ядро расщепляется, давая два меньших атома и испуская другие нейтроны, которые отлетают с большой скоростью и должны быть замедлены прежде, чем они смогут вызвать расщепление других ядер. В отложении в Окло так же, как в современных ядерных реакторах на легкой воде, замедляющим агентом была обычная вода. Отличие состоит в системе регулирования: на атомных электростанциях используются поглощающие нейтроны стержни, а реакторы в Окло просто нагревались до тех пор, пока вода не выкипала.

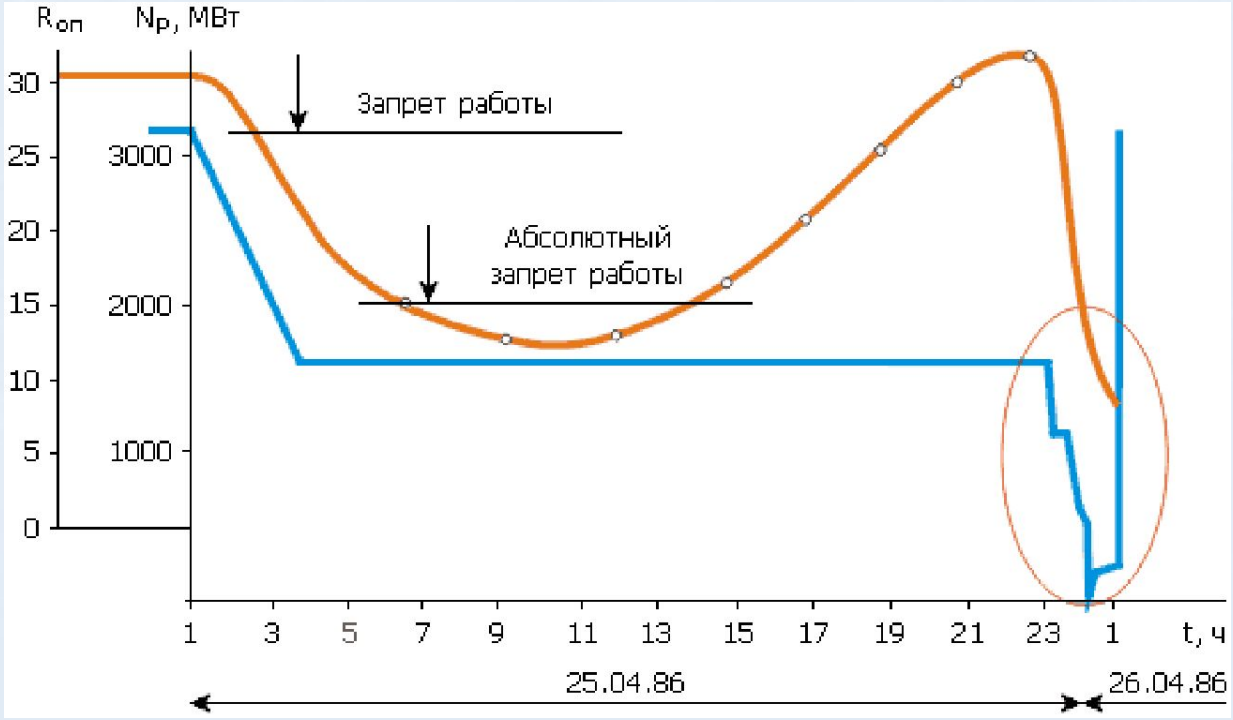
Тепловых реакторы АЭС



Чернобыльская авария (26.04.1986 г.)

Реактор был почти остановлен. Большинство стержней вдвинуто. Начал накапливаться ксенон. Затем стали выдвигать стержни. Когда количество оставшихся стержней достигло 15, оперативный персонал должен был реактор заглушить. Мощность сначала не увеличивается, так как все нейтроны поглощаются ксеноном. Ксенон выгорает - мощность резко увеличивается.

Rоп - оперативный запас реактивности, пропорциональный числу погруженных стержней.



Фукусима (11.03.2011 г.)

Реактор на быстрых нейтронах БН-800 (Белоярская АЭС)

Для ускоренного образования Pu-239 были разработаны РБН, в которых количество материалов, замедляющих нейтроны, сведено к минимуму. В качестве теплоносителя используется жидкий натрий.

Достоинство: эффектив-ть использования природного урана увеличивается в 100 раз.

Утилизация отходов.

Реакция синтеза легких ядер:

$$ {}_1^1H + {}_1^1H \longrightarrow {}_1^2D + e^+ + \upsilon_e $$

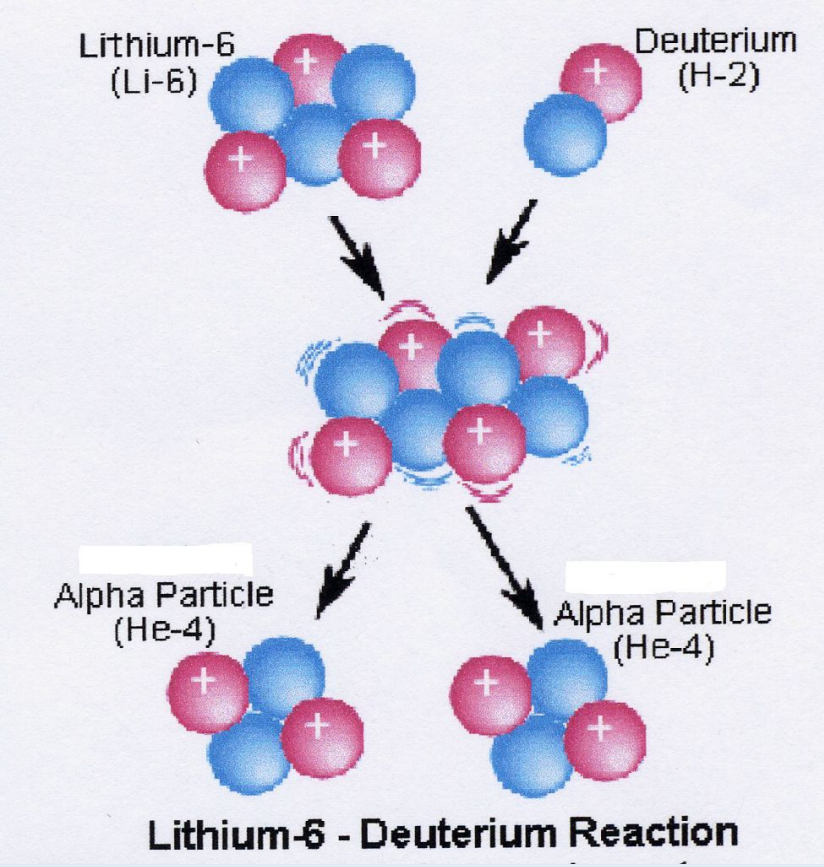
$$ {}_1^2D + {}_1^1H \longrightarrow {}_2^3He + \gamma $$

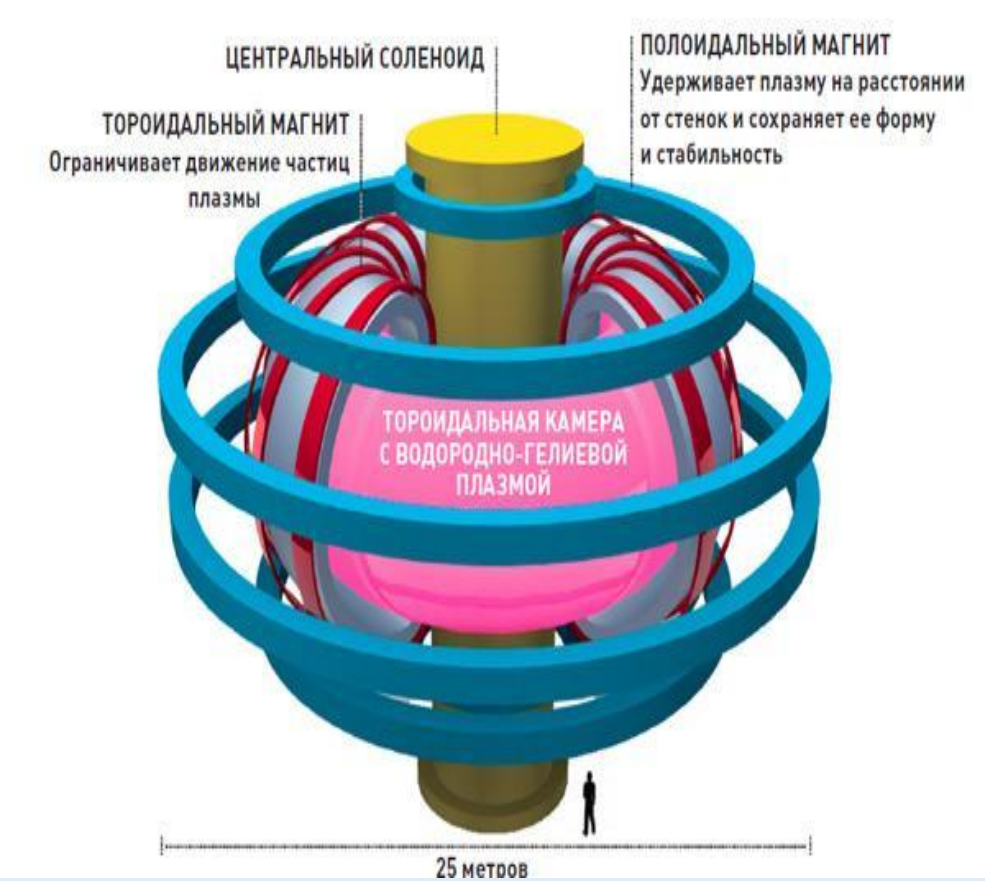
$$ {}_2^3He + {}_2^3He \longrightarrow {}_2^4He + {}_1^1H + {}_1^1H $$

Нужно: достичь температуры ~10^8 ^{0}C

создать плазму и удержать ее с помощью магнитных полей.

ITER (ИТЭР) — проект международного экспериментального термоядерного реактора





Управляемый термоядерный синтез

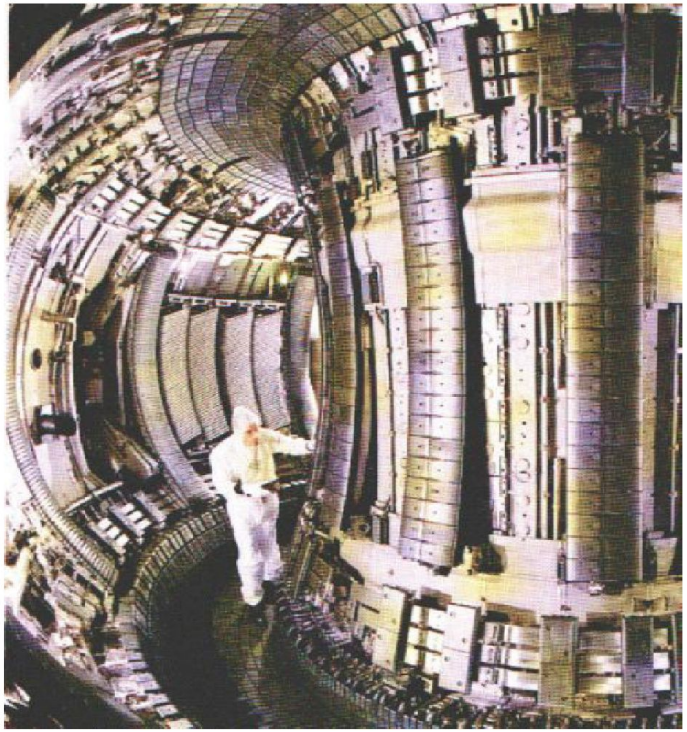


Рис. 2. Внутренний вид плазменной камеры самого мощного из действующих токамаков – JET (Англия). Ее поперечный размер около двух метров, высота – около четырех. Максимальный плазменный ток, полученный в этом токамаке, равен 7,5 МА, тороидальное магнитное поле достигает 3,5 Тл, максимальная мощность термоядерной реакции – 17 000 кВт **(Или** «более 16 МВт», как в основном тексте?). Многочисленные пластины – защитные элементы плазменной камеры – изготовлены из графитовых композитов. Для снижения эрозии они покрыты тонким слоем бериллия. Решетчатые конструкции – антенны высокочастотного дополнительного нагрева плазмы.

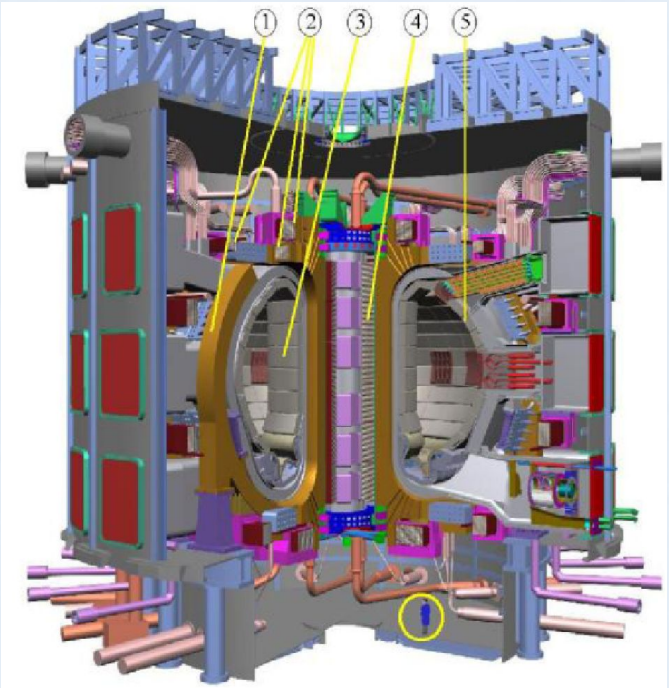


Рис. 3. Модель термоядерного реактора ИТЭР в разрезе.

Высота плазменной камеры *3* около 8 метров, ее поперечник – около 4 метров. Тороидальное магнитное поле, создаваемое сверхпроводящими катушками *1*, должно достигать на оси камеры 6 Тл, полный плазменный ток – 18 МА. Первичная обмотка трансформатора *4* и обмотки полоидального поля *2* также являются сверхпроводящими. Это принципиально позволяет получать импульс термоядерного горения длительностью 400–1000 секунд. Мощность термоядерного горения должна достичь при этом 500 МВт, что уже превысит полный уровень энергозатрат на его поддержание. Для изучения процессов наработки трития и утилизации энергии быстрых нейтронов в ИТЭРе будут установлены различные варианты бланкетных модулей *5*. От прямого плазменного воздействия они будут защищены пластинами бериллия.

Смотреть: «На пути к Солнцу»
Докум. Фильм, 2020, 38 мин.

Ядерная энергетика

Преимущества

• Стоимость в 400 раз меньше, чем тепловых станций на угле;

• 1кг урана по энергии эквивалентен $3*10^6$ кг угля

• Запасы урана на Земле в 106 раз превышают запасы традиционного топлива

Недостатки

• Радиоактивные отходы;

• Риск, связанный с некомпетентностью и терроризмом.

Теплоэлектростанции.

Уголь - не безопасное топливо. Радиоактивность почв и воздуха на территориях, прилегающих к угольным ТЭС в десятки раз превышает норму. Золу ТЭС часто используют при производстве бетона.

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ

Основными характеристиками элементарных частиц являются масса, электрический заряд, спин, среднее время жизни, магнитный момент и др.

Классификация элементарных частиц:

- **1. *По времени жизни.***
- **2. *По способности участвовать в различных взаимодействиях.***
- **3. *По массе (энергии) покоя.***
- **4. *По спину (собственный момент импульса частицы)*** : *частицы с полуцелым спином* — фермионы (электрон, протон, нейтрон, нейтрино);

  частицы с целым спином — бозоны (фотон).
- **5. *По виду взаимодействий: составные и фундаментальные (бесструктурные) частицы.***

Составные частицы:

- адроны — частицы, участвующие во всех видах фундаментальных взаимодействий. Они состоят из кварков и подразделяются, в свою очередь, на:
  - мезоны (адроны с целым спином, т. е. бозоны);
  - барионы (адроны с полуцелым спином, т. е. фермионы). К ним, в частности, относятся частицы, составляющие ядро атома, — протон и нейтрон.

Фундаментальные (бесструктурные) частицы

- **Лептоны** —имеют вид точечных частиц вплоть до масштабов порядка 10^{-18} м. Не участвуют в сильных взаимодействиях. Участие в электромагнитных взаимодействиях экспериментально наблюдалось только для заряженных лептонов (**электроны, мюоны, тау-лептоны**) и не наблюдалось для **нейтрино**. Известны 6 типов лептонов.
- **Кварки** — дробнозаряженные частицы, входящие в состав адронов. В свободном состоянии не наблюдались. Как и лептоны, делятся на 6 типов и являются бесструктурными, однако, в отличие от лептонов, участвуют в сильном взаимодействии.
- Теор. предсказаны ам.ф. Гелл-Манном

Калибровочные бозоны — частицы, посредством обмена которыми осуществляются взаимодействия:

- **Фотон — частица, переносящая электромагнитное взаимодействие**
- **Восемь глюонов— частиц, переносящих сильное взаимодействие;**
- **Три промежуточных векторных бозона W^+, W^- и Z^0, переносящие слабое взаимодействие;**
- **Гравитон — гипотетическая частица, переносящая гравитационное взаимодействие. Существование гравитонов, хотя пока не доказано экспериментально в связи со слабостью гравитационного взаимодействия, хотя считается вполне вероятным; однако гравитон не входит в Стандартную модель.**

Адроны и лептоны образуют вещество.

Калибровочные бозоны — это кванты разных видов излучения.

Теория кварков – квантовая хромодинамика

- q_e=+2/3 q_e= -1/3

- **U(Up - Верхний)** **D (Down - Нижний)**
- **C (Charm-Очарованный)** **S(Strange - Странный)**
- **T (True – Истинный)** **B(Beauty - Красивый)**

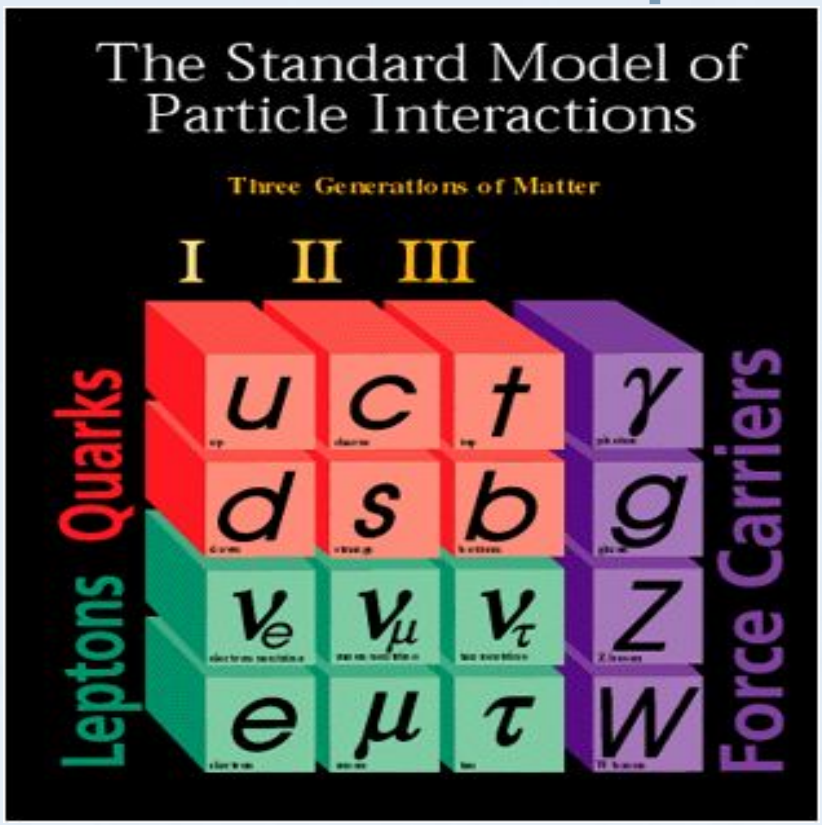
Принцип бесцветности: **кварки объединяются так, чтобы возникла бесцветная (белая) комбинация, образуя адроны.**

p = uud (2(+2/3) – 1/3) = + 1*

*n = udd (+2/3 + 2 *(-1/3)) = 0*

π+ = ud (+2/3 + (-)(-)1/3) = +1, где d - антикварк

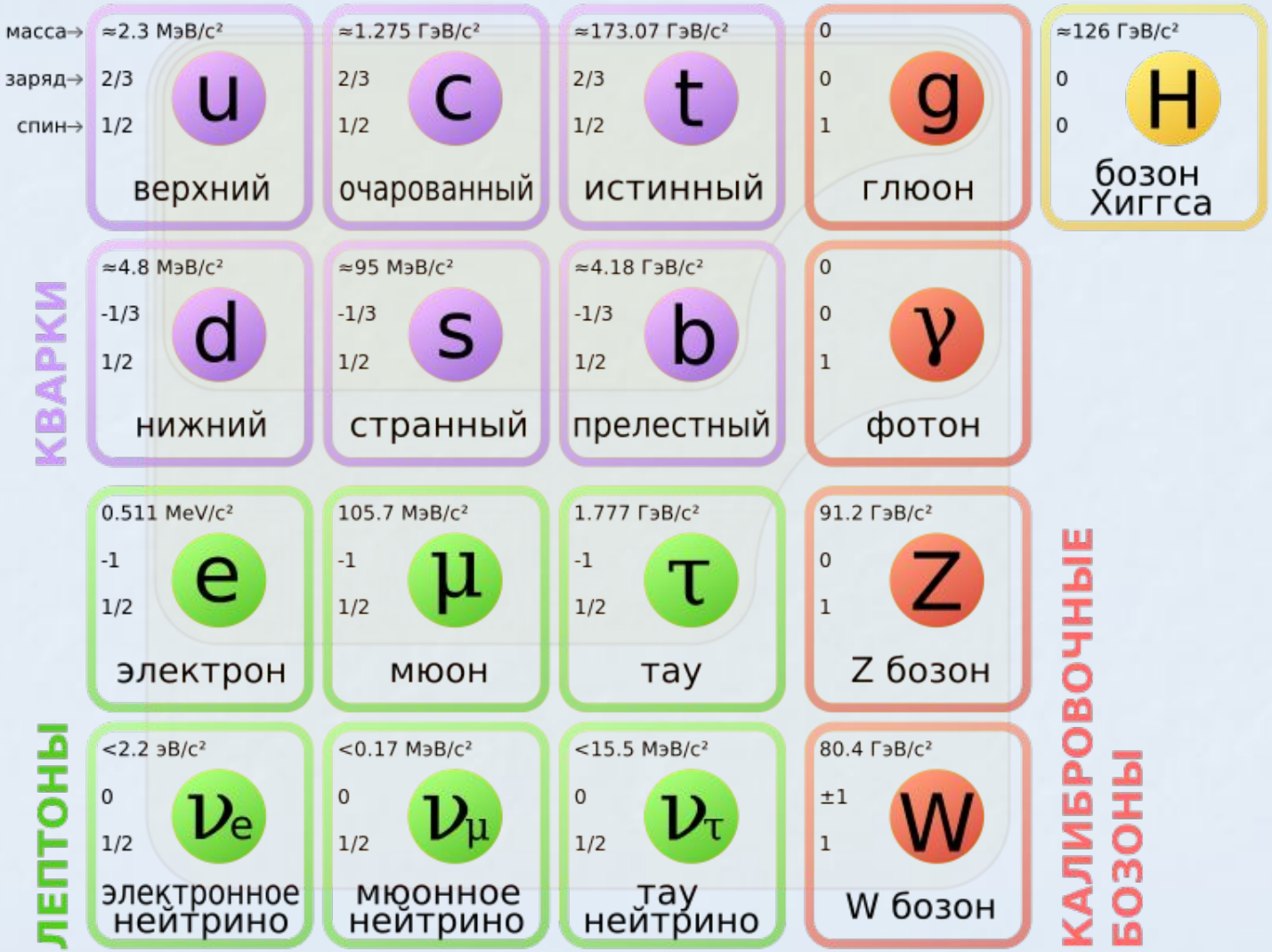
Стандартная модель

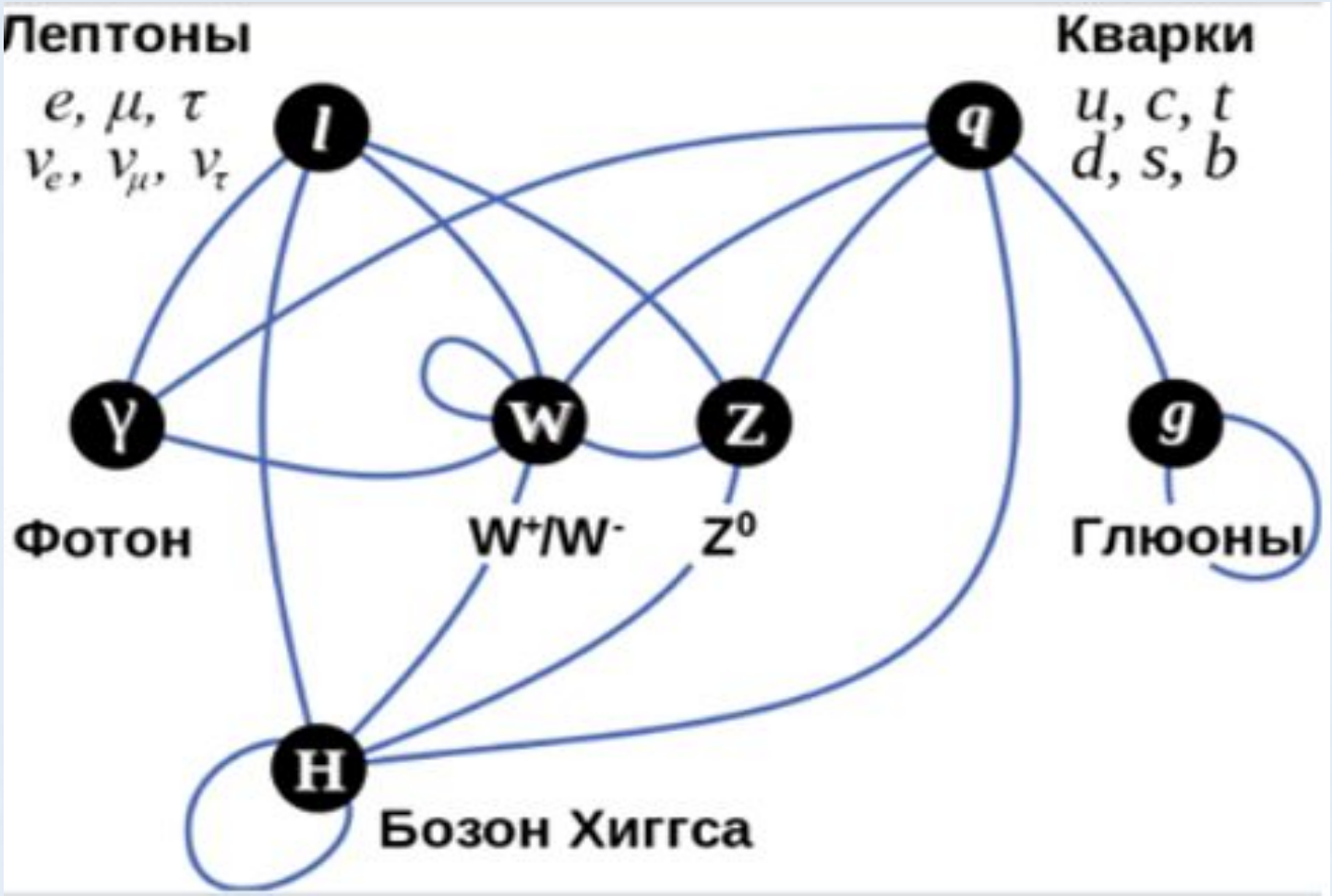


Экспериментально установлено количество «поколений» фундаментальных объектов, из которых сконструирована наша Вселенная.
Для конструирования окружающего нас мира достаточно только членов первого поколения, включающего электрон и электронное нейтрино в «лептонном секторе». Два других поколения, в составе которых мю-мезон и тау-лептон, представляют историю возникновения нашего мира.

А чего сложного то? Шесть лептонов, шесть кварков, двенадцать (восемь глюонов, фотон, $\mathbf{Z^0}$, $\mathbf{W^-}$ и $\mathbf{W^+}$) калибровочных бозонов + бозон Хиггса **H**.
Адроны и лептоны образуют вещество. Калибровочные бозоны – это кванты разных видов излучения.

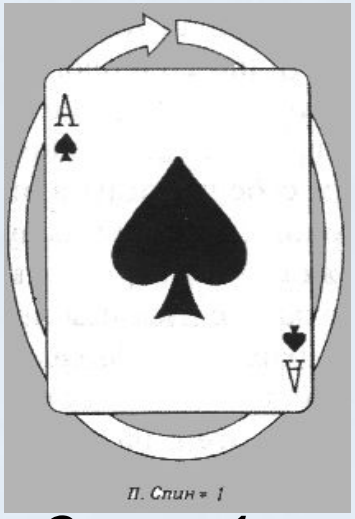
Элементарные частицы
Вещество
Бозон Хиггса
Переносчики взаимодействий
Кварки
Лептоны
Электроны
Фотоны
W±- и Z0-бозоны
Глюоны
Гравитоны (?)
Адроны
Мезоны
Барионы
Нуклоны
Атомы
Молекулы
Электромагнетизм
Слабое
Сильное
Гравитация
Квантовая электродинамика
Квантовая хромодинамика
Квантовая гравитация (?)
Электрослабая теория
Теория Великого объединения (?)
Теория всего (?)
Составные частицы
Взаимодействия и теории


масса→
заряд→
спин→
≈2.3 МэВ/c²
2/3
1/2
u
верхний
≈1.275 ГэВ/c²
2/3
1/2
c
очарованный
≈173.07 ГэВ/c²
2/3
1/2
t
истинный
0
0
1
g
глюон
≈126 ГэВ/c²
0
0
H
бозон Хиггса
КВАРКИ
≈4.8 МэВ/c²
-1/3
1/2
d
нижний
≈95 МэВ/c²
-1/3
1/2
s
странный
≈4.18 ГэВ/c²
-1/3
1/2
b
прелестный
0
0
1
γ
фотон
0.511 MeV/c²
-1
1/2
e
электрон
105.7 МэВ/c²
-1
1/2
μ
мюон
1.777 ГэВ/c²
-1
1/2
τ
тау
91.2 ГэВ/c²
0
1
Z
Z бозон
ЛЕПТОНЫ
<2.2 эВ/c²
0
1/2
νe
электронное нейтрино
<0.17 МэВ/c²
0
1/2
νμ
мюонное нейтрино
<15.5 МэВ/c²
0
1/2
ντ
тау нейтрино
80.4 ГэВ/c²
±1
1
W
W бозон
КАЛИБРОВОЧНЫЕ БОЗОНЫ



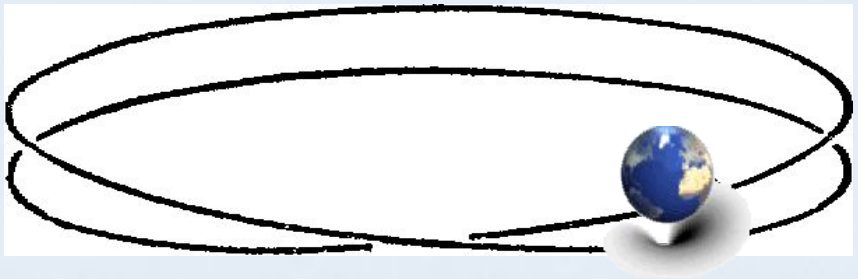
Взаимодействие между различными частицами в Стандартной модели

СПИН ЧАСТИЦ – это собственный момент кол-ва движения, не связанный с перемещением частицы как целого

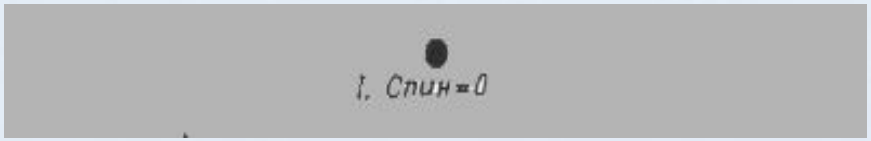


Спин =1

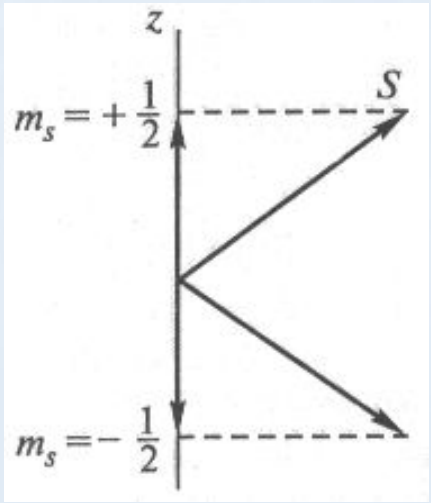
Спин =2



Спин =1/2



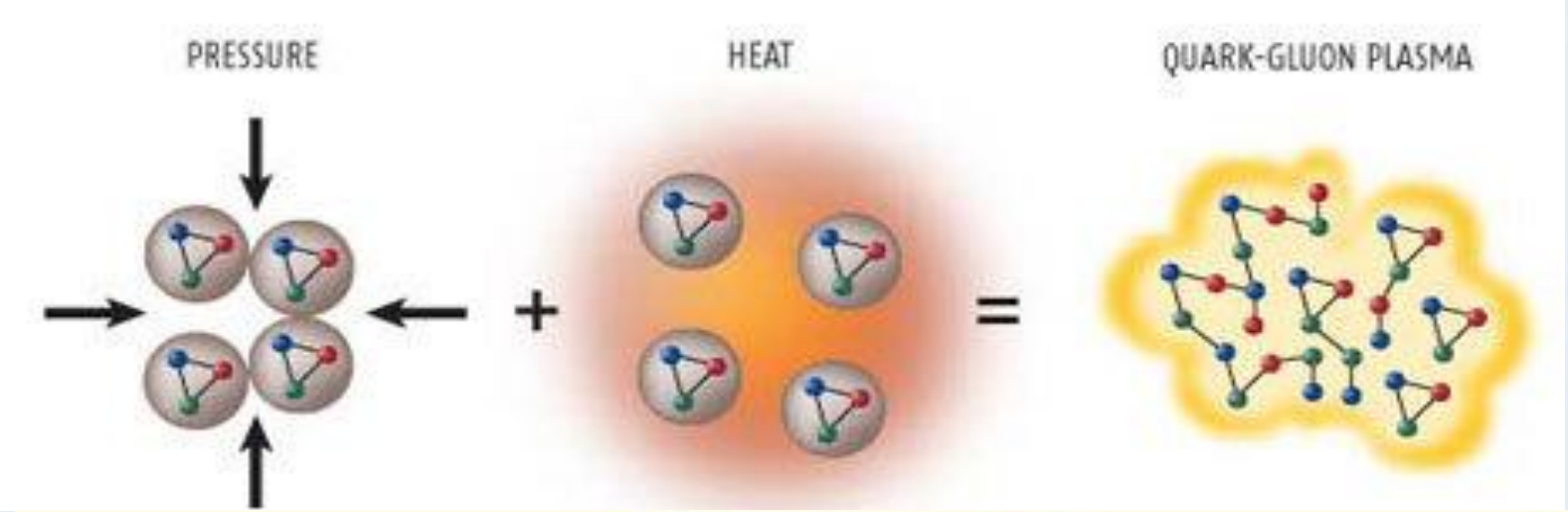
Спин =0



Классификация частиц по их участию во взаимодействиях

- *гравитоны* (гравитация, силы тяготения)
- *фотоны* (электромагнитные взаимодействия)
- *адроны* (восемь глюонов переносят сильные ядерные взаимодействия, связывающие кварки)
- промежуточные векторные бозоны - переносят слабые взаимодействия , ответственные за некоторые распады
- *лептоны* – частицы, не участвующие в сильных взаимодействиях- (нейтрино, электрон , мюон, тау-лептон). Участие в электромагнитных взаимодействиях только для заряженных частиц не наблюдалось для нейтрино.

Сильное взаимодействие сводится к взаимодействию кварков, которые обмениваются ***глюонами*** *(спин целочисленный, масса покоя нуль, заряд нуль). Но и у глюонов есть «цвет». Поглощая глюон, кварк меняет цвет, но не аромат (т.е.тип* – u, d, c, s, t).



- **CERN (ЦЕРН), Швейцария – Европейский центр ядерных исследований *Большой адронный коллайдер (Large Hadron Collider, LHC) – 14 ТэВ***

- **Brookhaven National Laboratory, США - Брукхэвенской национальной лаборатории *Релятивистский коллайдер тяжелых ионов (США)***
  - ***Теватрон – 1 ТэВ***

Строящийся – ускоритель на встречных пучках *Nuclotron-Based Ion Collider Facility (NICA)* Дубна, Россия

CERN

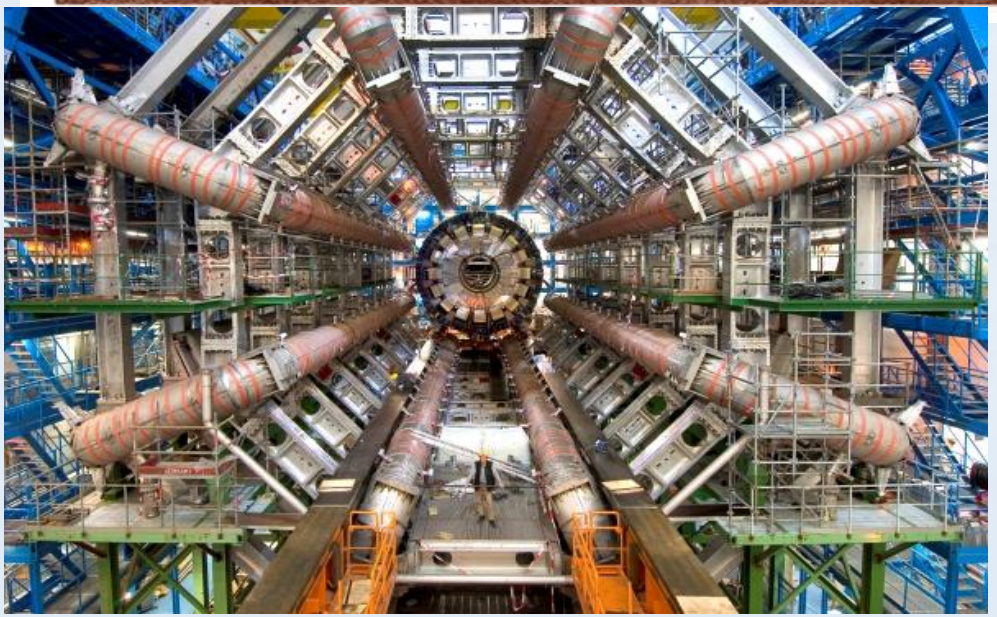
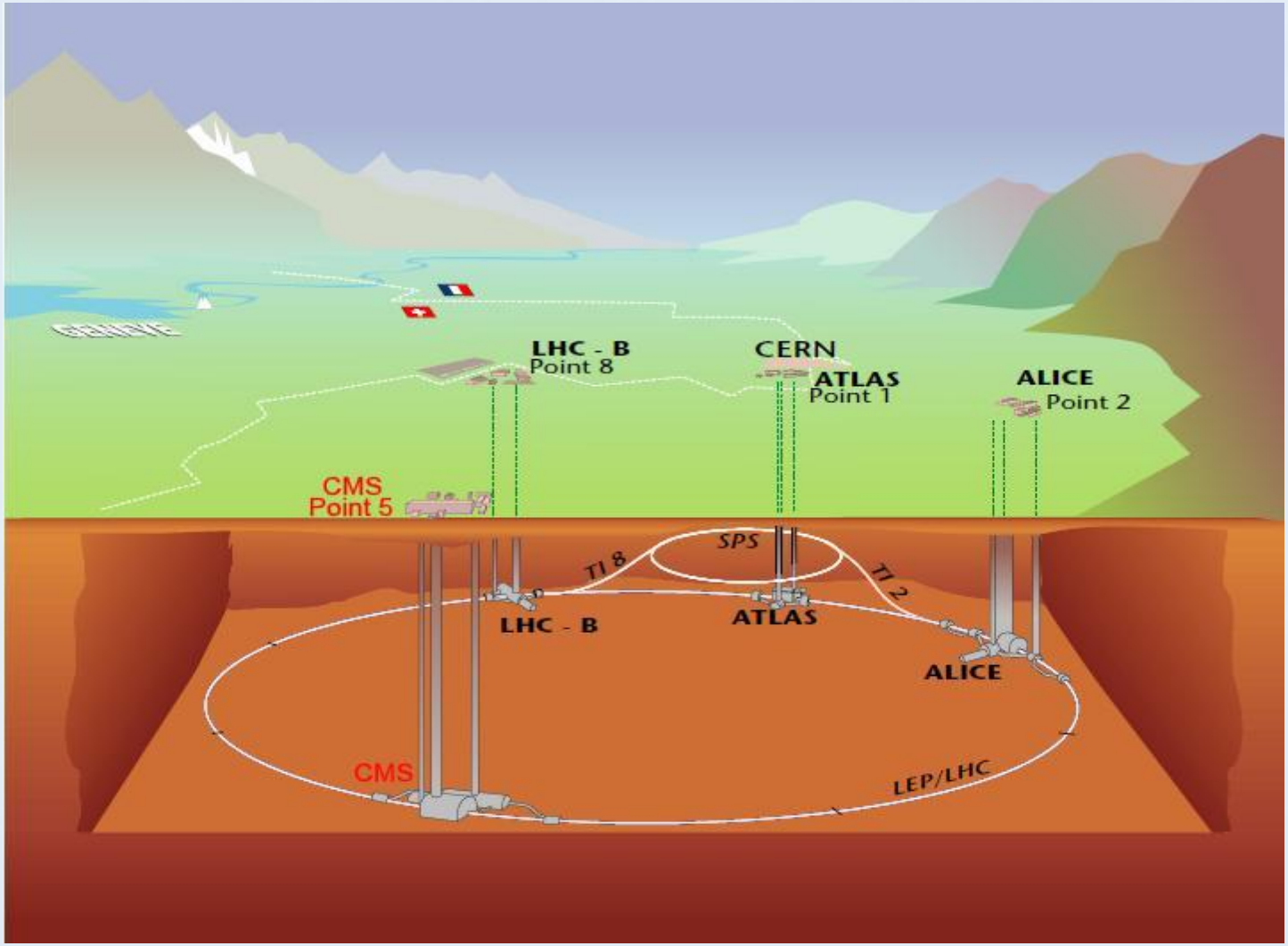
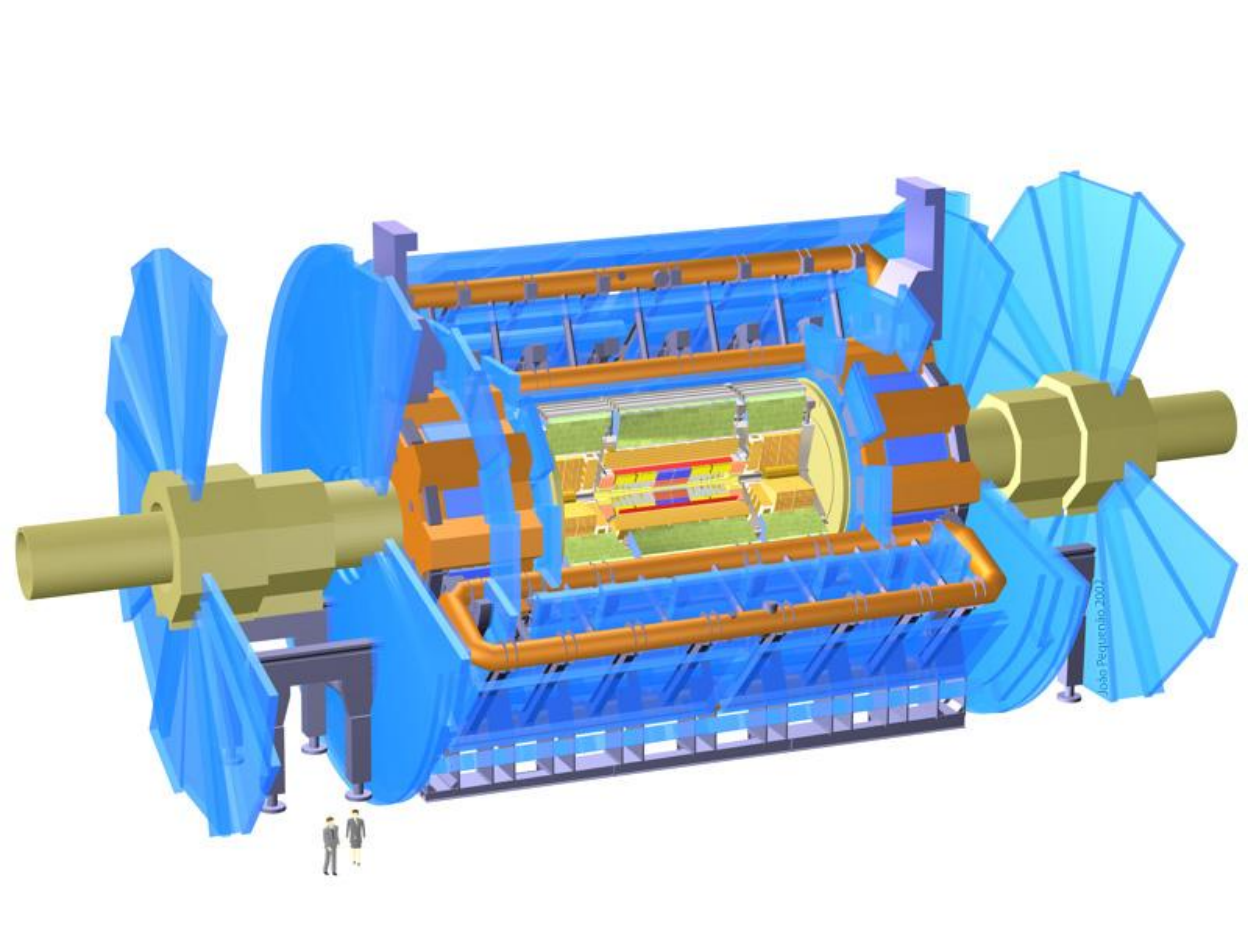


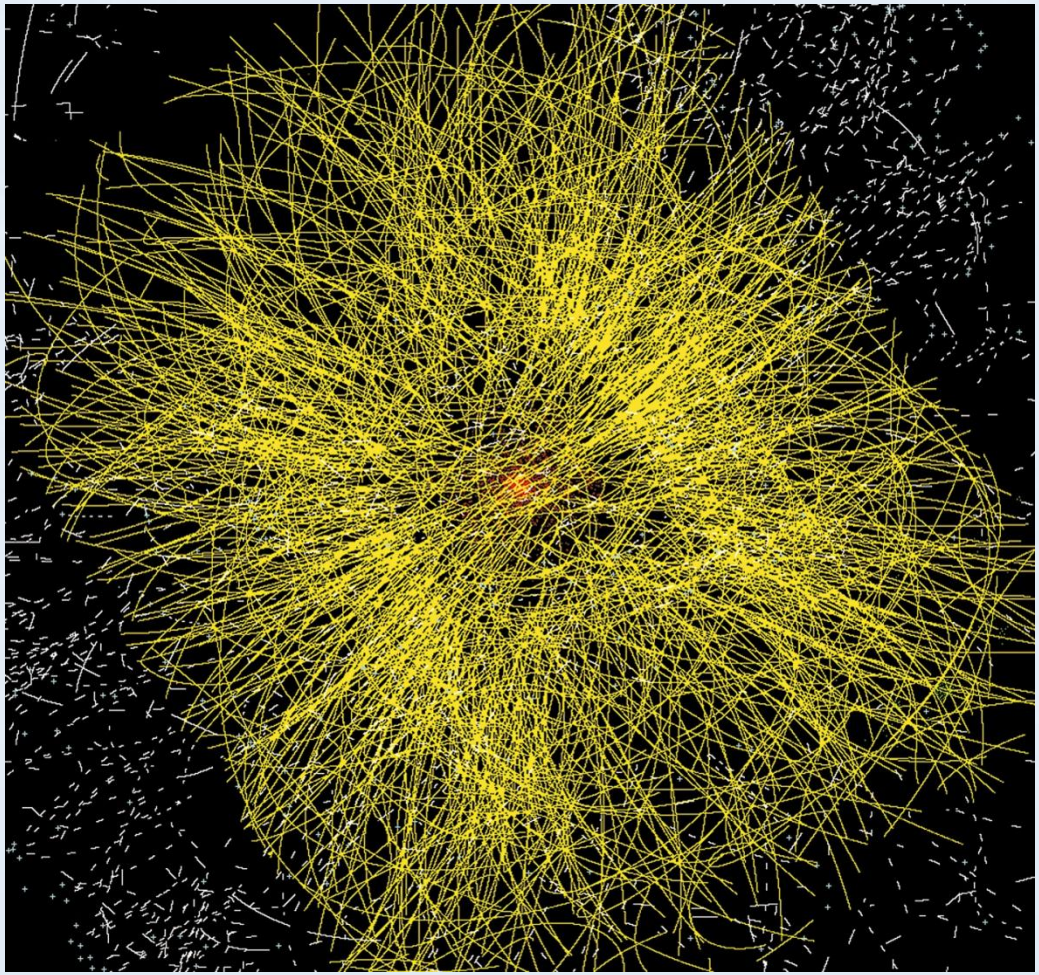
Схема коллайдера LHC



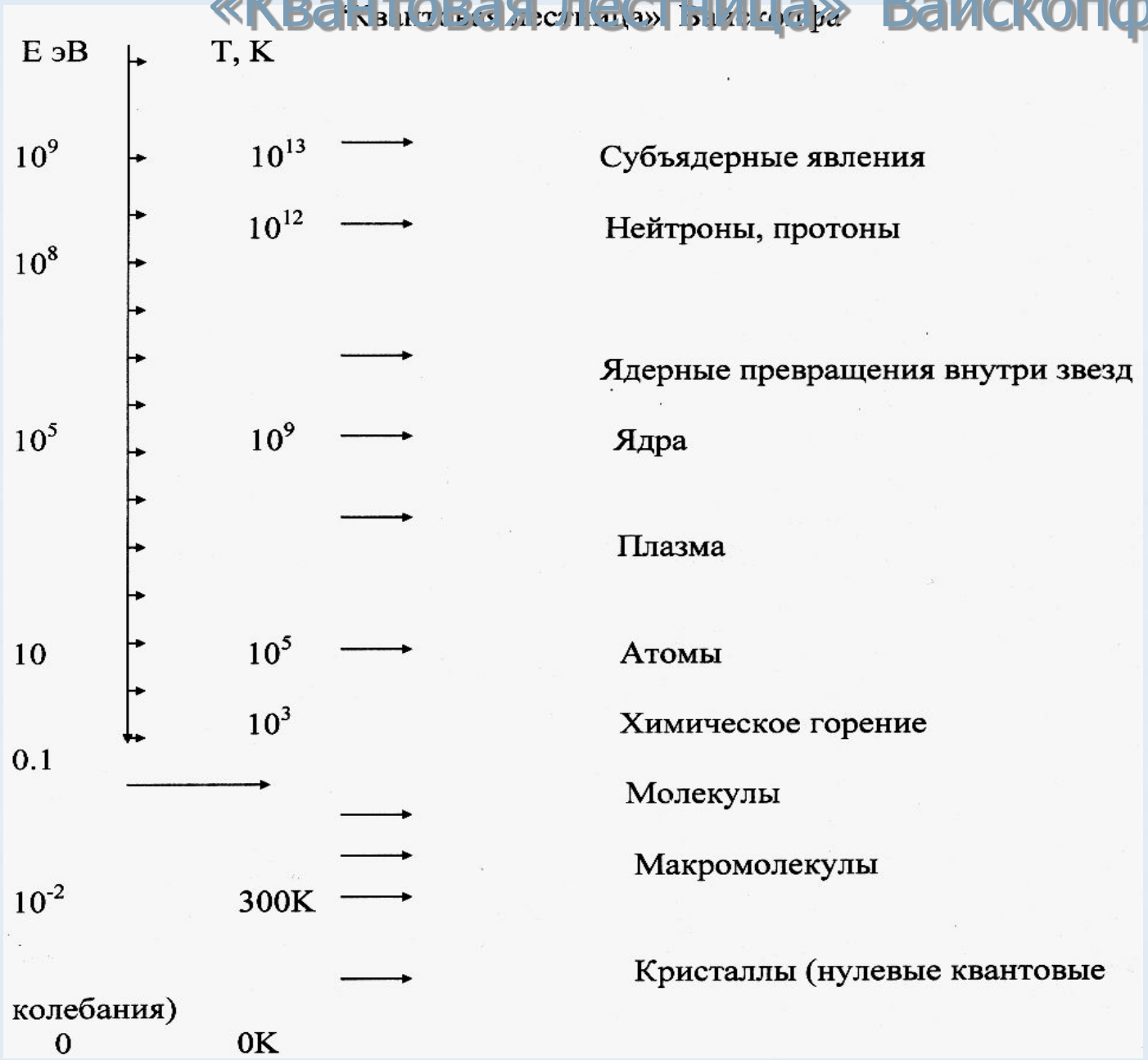


Туннель LHC

Как будет выглядеть столкновение двух ядер (Pb+Pb) в детекторе ALICE



«Квантовая лестница» Вайскопфа



Смотреть на https://www.youtube.com

Фундаментальные взаимодействия — Дмитрий Казаков; видео 12 мин.54 сек.

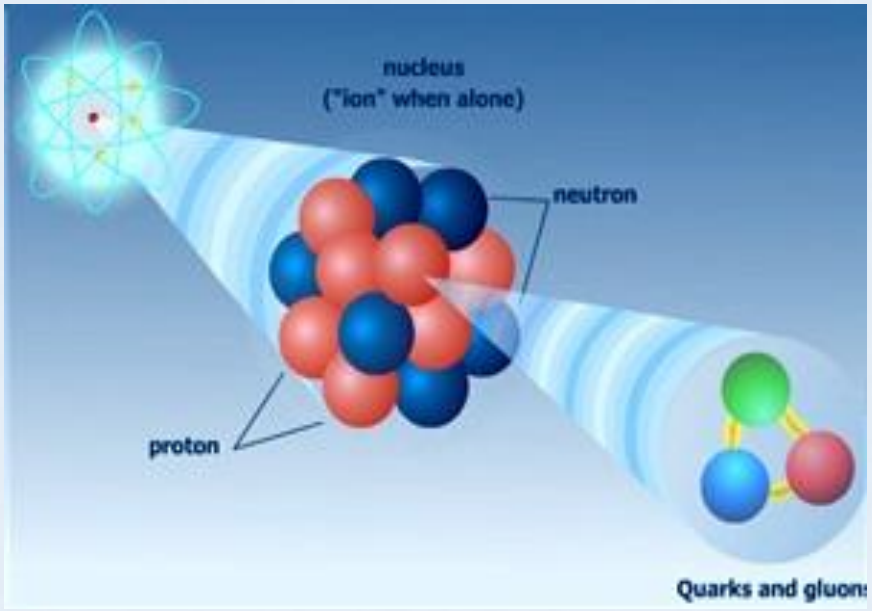
Как работает Большой Адронный Коллайдер - видео 6 мин.18 сек.

Галилео. Адронный коллайдер видео 17 мин.40 сек.

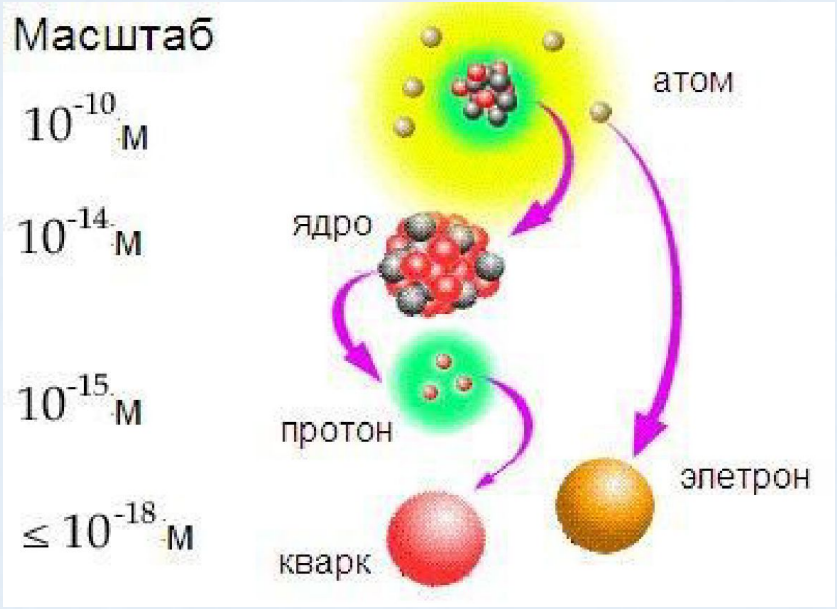
Появилось видео с Адронного КОЛЛАЙДЕРА ПОД МОСКВОЙ

видео 6 мин.49 сек.

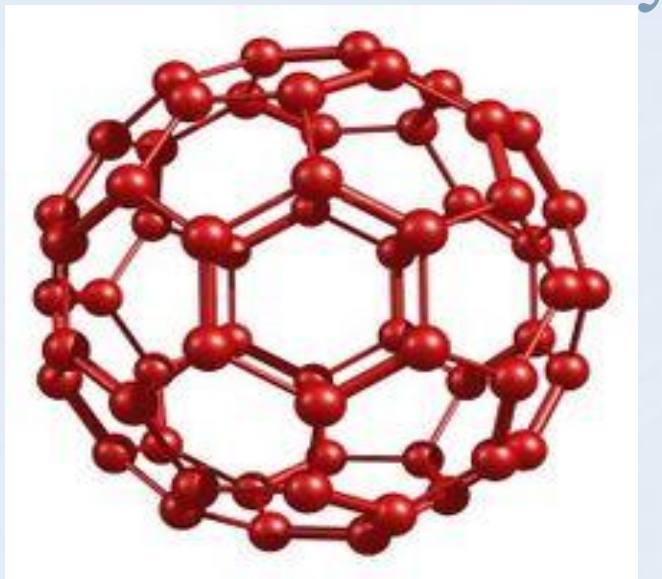
ЧТО ТАКОЕ НАНОФИЗИКА ?

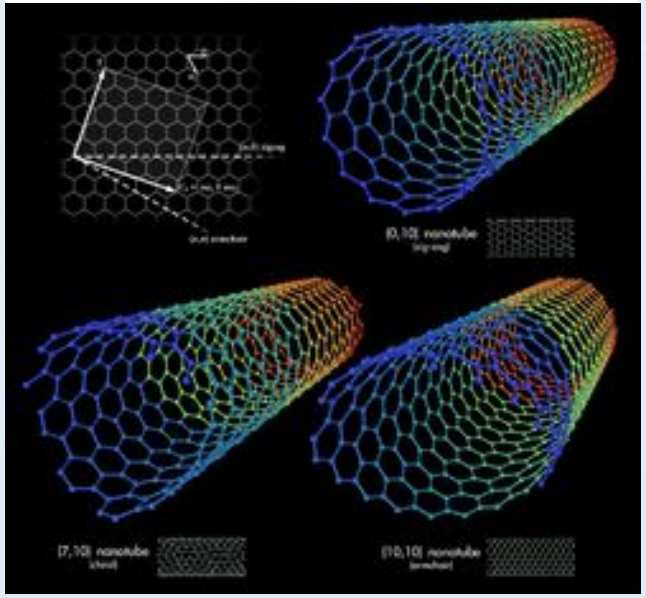


1 нм = 10^{-9}м



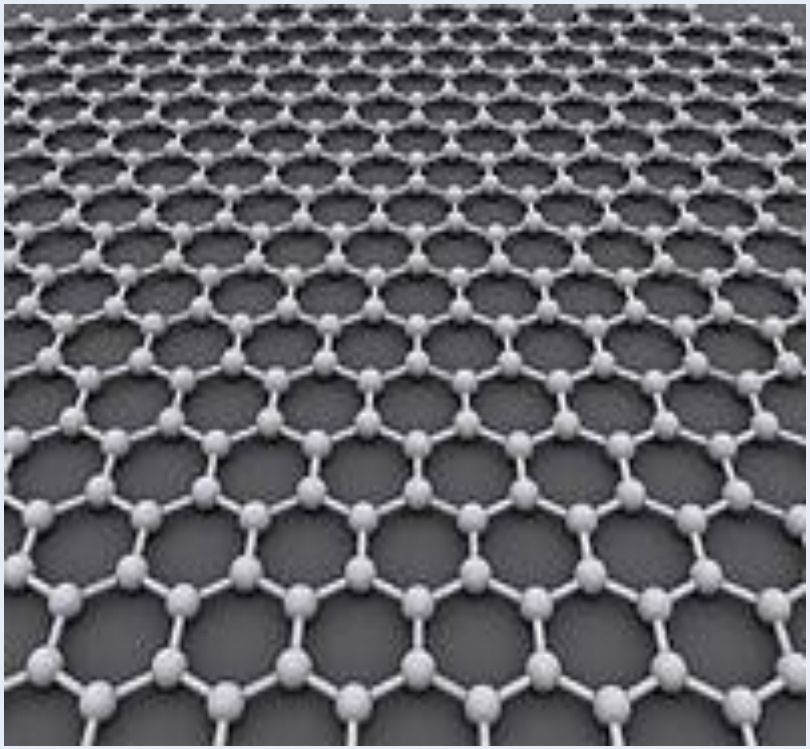
Фуллерены





- Фуллерены — молекулярные соединения, принадлежащие классу аллотропных форм углерода (другие — алмаз, карбин и графит) и представляющие собой выпуклые замкнутые многогранники, составленные из чётного числа трёхкоординированных атомов углерода.

Графен — монослой атомов углерода



Нобелевская премия 2010 г. – А.Гейм и К, Новоселов: за новаторские эксперименты по исследованию двумерного материала графена.

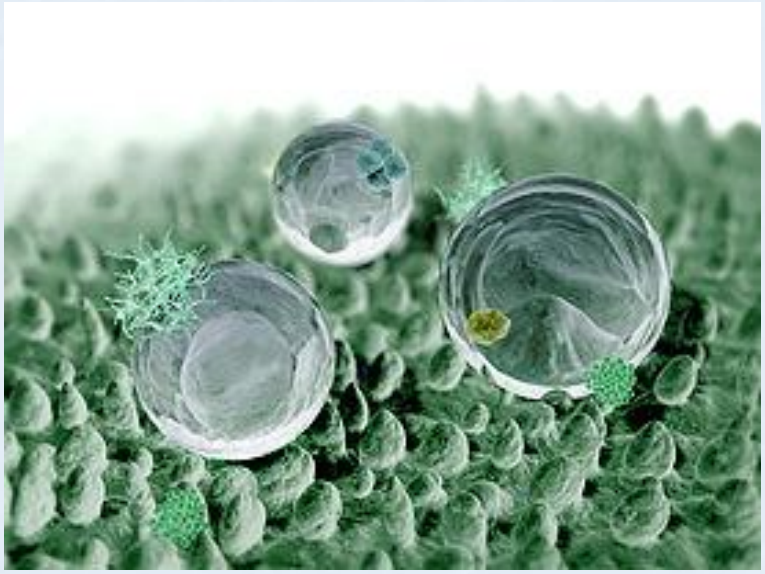
Графен как перспективный материал, который заменит кремний в интегральных микросхемах.

Квантовые точки в гетероструктурах - «сэндвичах» из двух полупроводников, например GaAs/(Ga,Al)As.

Гетероструктура это полупроводниковая структура с несколькими контактами двух различных по химическому составу **полупроводников**.

Нобелевская премия 2000 г. – Жорес Ив.Алферов совм. с Г. Крёмер и Дж Килби за разработки полупроводниковых гетероструктур, используемых в высокочастотных схемах и оптоэлектронике

Эффект лотоса — эффект крайне низкой смачиваемости поверхности



Создание так называемых супергидрофобных материалов.

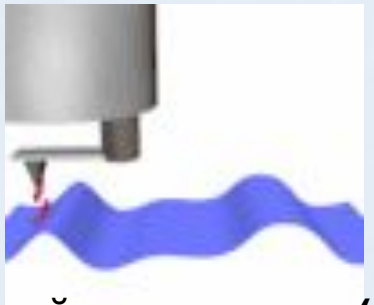
Компьютеры и микроэлектроника

- Жёсткие диски — в 2007 году Питер Грюнберг и Альберт Ферт получили Нобелевскую премию по физике за открытие GMR-эффекта, позволяющего производить запись данных на жестких дисках с **атомарной** плотностью информации.

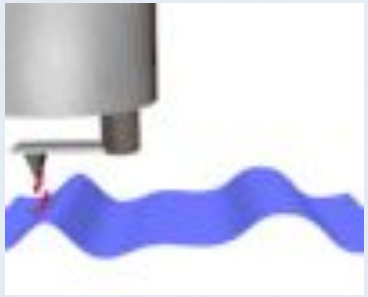
Сканирующая зондовая микроскопия

- Одним из методов, используемых для изучения нанообъектов, является сканирующая зондовая микроскопия

Сканирующий туннельный микроскоп (СТМ)



Атомно-силовой микроскоп (АСМ),



Европейский рентгеновский лазер на свободных электронах (англ. *European x-ray free electron laser*, **European XFEL**) — международный проект по созданию самого крупного в мире лазера на свободных электронах, предназначенного для наблюдения за ходом химических реакций.

В строительстве участвуют 12 стран (основные — Германия и Россия).