

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ

Элементарные частицы

Элементарными частицами следует называть микрочастицы, относительно которых нет доказательств, что они являются составными.

Под элементарными частицами также можно понимать такие микрочастицы, внутреннюю структуру которых на современном уровне развития физики нельзя представить как объединение других частиц.

Для описания свойств отдельных элементарных частиц вводится целый ряд физических величин, значениями которых они и различаются (масса, среднее время жизни, спин, электрический заряд, магнитный момент).

Три уровня микромира:

- Молекулярно-атомный: $E = 1-10$ эВ, $\Delta r \approx 10^{-8} - 10^{-10}$ м.
- Ядерный: $E=10^6-10^8$ эВ, $\Delta r \approx 10^{-14} - 10^{-15}$ м.
- Элементарные частицы: $E > 10^8$ эВ, $\Delta r < 10^{-15}$ м.

Фундаментальные взаимодействия

Известны **четыре вида взаимодействий** между элементарными частицами:

сильное, электромагнитное, слабое и гравитационное.

Интенсивность взаимодействия принято характеризовать так называемой **константой взаимодействия α** , которая представляет собой безразмерный параметр, определяющий вероятность процессов, обусловленных данным видом взаимодействия.

Для электромагнитного взаимодействия: $\alpha = \frac{E}{m_0 c^2}$,

где E – энергия взаимодействия двух электронов, находящихся на расстоянии λ . Следовательно:

$$E' = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{\lambda} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2 m_e c}{\hbar}.$$

Тогда: $\alpha = \frac{E}{m_0 c^2} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \hbar c} = \frac{1}{137}$.

Фундаментальные взаимодействия

Сильное взаимодействие.

Обеспечивает связь нуклонов в ядре. Константа сильного взаимодействия $\sim 1 \div 10$.

Радиус действия $\sim 10^{-15}$ м (короткодействующее).

Электромагнитное взаимодействие.

Константа взаимодействия равна $1/137 \approx 10^{-2}$. Радиус действия не ограничен.

Слабое взаимодействие.

Ответственно за все виды β -распада ядер (включая e -захваты), за распады элементарных частиц, а также за все процессы взаимодействия нейтрона с веществом. Константа взаимодействия $\sim 10^{-10} \div 10^{-14}$. Короткодействующее.

Гравитационное взаимодействие.

Константа взаимодействия $\sim 10^{-38}$. Радиус действия не ограничен.

Классификация и свойства частиц

Бозоны – частицы с нулевым или целочисленным спином.

Фермионы – частицы с полуцелым спином.

Время жизни τ .

По времени жизни различают *стабильные*, *квазистабильные* и так называемые *резонансы*.

Переносчики взаимодействия.

Фотоны - переносчики электромагнитного взаимодействия,

W- и *Z-бозоны* - переносчики слабого взаимодействия,

Глюоны - переносчики сильного взаимодействия,

Гипотетические гравитоны (экспериментально эти частицы ещё не обнаружены) – переносчики гравитационного взаимодействия.

Классификация и свойства частиц

Фотоны, (кванты электромагнитного поля), участвуют в электромагнитных взаимодействиях, но не обладают сильным и слабым взаимодействием.

Лептоны (греч. «лептос» – лёгкий) – частицы, участвующие в электромагнитных и слабых взаимодействиях.

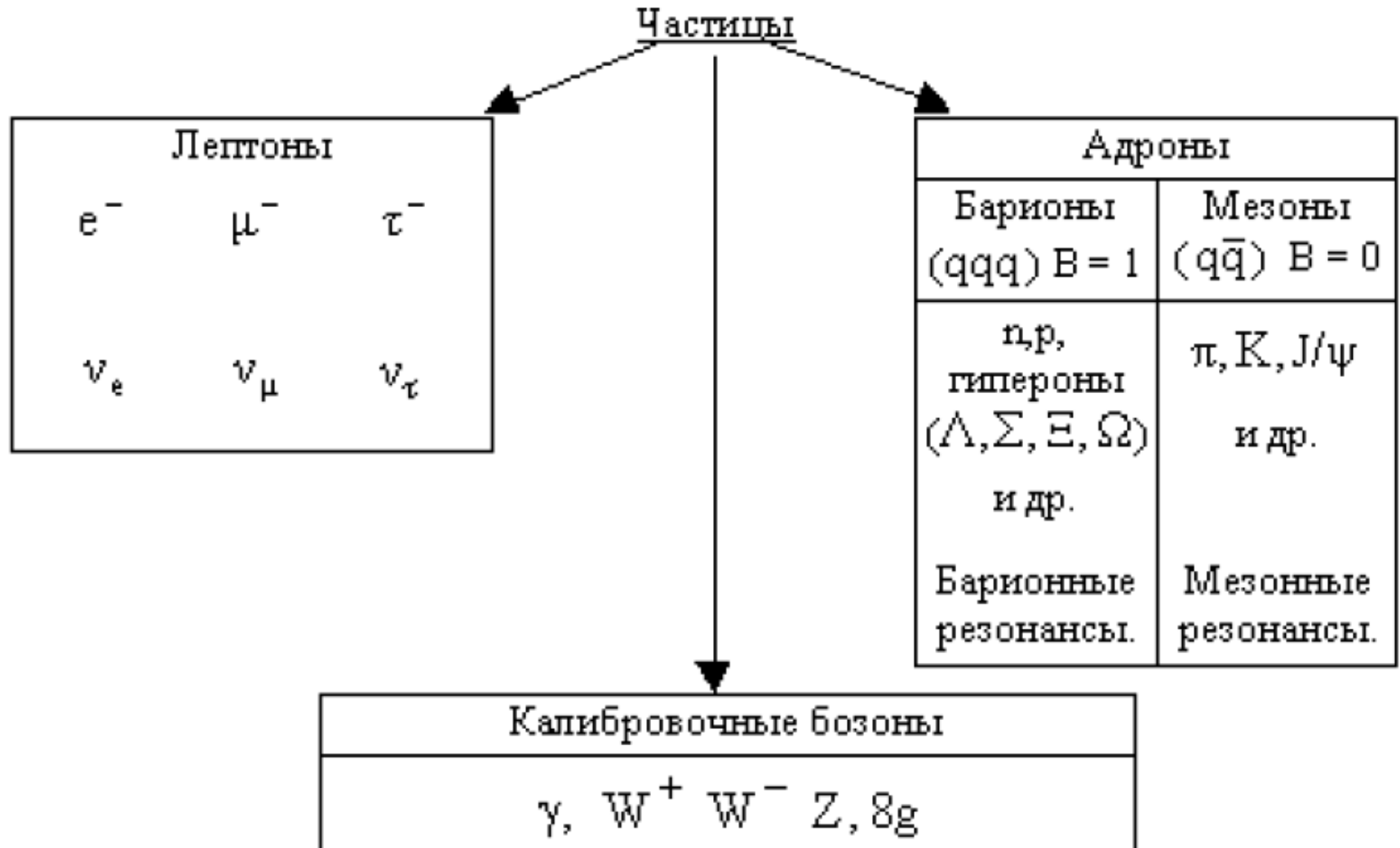
Адроны (греч. «адрос» – крупный, массивный) – частицы, участвующие в сильных, электромагнитных и слабых взаимодействиях. Сегодня известно свыше сотни адронов и их подразделяют на **барионы** и **мезоны**.

Барионы - адроны, состоящие из трёх кварков (qqq) и имеющие барионное число $B = 1$.

Мезоны – адроны, состоящие из кварка и антикварка и имеющие барионное число $B = 0$.

Калибровочные бозоны – частицы, осуществляющие взаимодействие между фундаментальными фермионами (кварками и лептонами).

Классификация и свойства частиц



Частицы и античастицы

Существование античастиц является универсальным свойством элементарных частиц. Каждой частице соответствует своя античастица.

При встрече любая частица **аннигилирует** со своей античастицей. Например, при встрече электрона и позитрона происходит их аннигиляция, т.е. превращение их в γ -кванты $e^- + e^+ \rightarrow \gamma + \gamma$.

Процесс, обратный аннигиляции – **рождение пар**. γ - квант может породить пару e^+e^- .

Свойства элементарных частиц

- Масса частицы, m .
- Время жизни, τ (частицы делятся на *стабильные* частицы и *нестабильные*).
- Спин.
- Электрический заряд q .
- Внутренняя четность P (характеризует свойство симметрии волновой функции относительно пространственных отражений).
- Квантовые числа: барионное число B , странность s , очарование (charm) c , красота (bottomness или beauty) b , верхний (topness) t , изотопический спин I приписывают только сильновзаимодействующим частицам - адронам.
- Лептонные числа L_e, L_μ, L_τ . Лептонные числа приписывают частицам, образующим группу лептонов.
- G – четность.

Кварки и очарование

Почти все наблюдаемые частицы принадлежат одному из двух семейств: **лептонам** и **адронам**.

Лептоны считаются элементарными частицами, т.к. они, насколько известно, не распадаются на составные части, не обнаруживают никакой внутренней структуры и не имеют определённого размера.

Эксперименты показали, что **адроны** обладают внутренней структурой. **М. Гелл-Манн** и **Г. Цвейг** в 1963 г. независимо друг от друга высказали идею, согласно которой все известные адроны не элементарны, а построены из трёх более фундаментальных точечных объектов, называемых **кварками**. Кварки представляют собой *истинно элементарные частицы*.

Три «сорта» кварков:

u (up – вверх), d (down – вниз), s (strange – странный).

Кварки и очарование

u (up – вверх), d (down – вниз), s (strange – странный).

Высказали предположение о существовании кварков:

c-кварки (очарованный),

b-кварки (bottom – низ или beauty – красивый)

t-кварки (top – верх или truth – истинное).

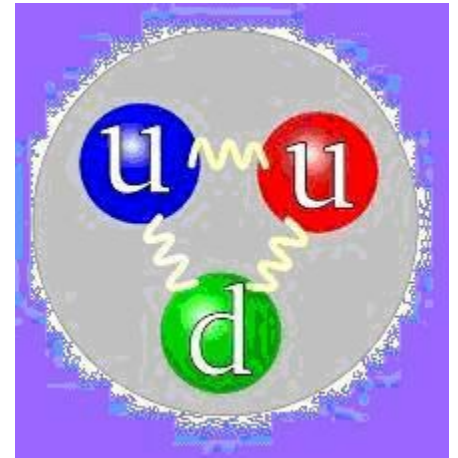
Было выдвинуто предположение, что кварки обладают ещё одним свойством, которое получило название **цвет**. Различие между пятью и шестью кварками u, d, s, c, b, t стали называть **ароматом**. Согласно существующим представлениям, каждый из ароматов кварка может иметь три цвета, обычно обозначаемых как **красный**, **зеленый** и **синий**.

Каждому кварку приписывается **цветовой заряд**, аналогичный электрическому заряду, сильное взаимодействие между кварками часто называют **цветовым взаимодействием**.

Кварки и очарование

Таким образом, у каждой элементарной частицы есть электрический заряд, слабый заряд, цветовой заряд и гравитационная масса.

Можно сделать вывод, что в современных теориях истинно элементарными частицами являются фотоны, лептоны, кварки, глюоны, W^\pm – и Z^0 – частицы. До сих пор наблюдались только комбинации кварков (барионы, мезоны). Весьма вероятно, что кварки не существуют в свободном состоянии. С другой стороны, некоторые физики считают, что лептоны и кварки не являются фундаментальными частицами, а состоят из ещё более фундаментальных частиц.



Теория обменного взаимодействия

В 30-е годы XX века возникла гипотеза о том, что в мире элементарных частиц взаимодействия осуществляются посредством обмена квантами какого-либо поля.

Взаимодействие, осуществляемое путем обмена частицами, получило название **обменного взаимодействия**.

Методы регистрации элементарных частиц

Элементарные частицы, а также сложные микрочастицы, удается наблюдать благодаря тем следам, которые они оставляют при своем прохождении через вещество.

Характер следов позволяет судить о знаке заряда частицы, ее энергии, импульсе и т.п.

Приборы, применяющиеся для регистрации ионизирующих частиц, подразделяют на две группы:

- *устройства, которые регистрируют факт пролета частицы* (ионизационные камеры и газоразрядные счетчики, черенковские счетчики, сцинтилляционные счетчики и полупроводниковые счетчики),
- *трековые приборы* (камеры Вильсона, диффузионные камеры, пузырьковые камеры, искровые камеры и эмульсионные камеры).

