

Элементарные частицы



*Для изучения
темы в курсе 11
профильного
класса*



**Учитель физики БОУ «Тарская гимназия №1
им. А.М.Луппова» Гайсина И.В.**

Классификация элементарных частиц

До 1932 года были известны три фундаментальные частицы: **электрон, протон, нейтрон**, а также **фотон**, переносящий электромагнитное взаимодействие.

Элементарная частица - микрообъект, взаимодействующий с другими микрообъектами как единое целое.

Ряд элементарных частиц (например, адроны) имеют сложную внутреннюю структуру, но разделить их на части оказывается невозможно.

Другие элементарные частицы являются бесструктурными и могут рассматриваться как первичные фундаментальные частицы.

Классификация элементарных частиц

Фундаментальные частицы - бесструктурные элементарные частицы, которые до настоящего времени не удалось описать как составные. С 1932 года было открыто более 400 элементарных частиц.

По величине спина (собственного момента количества движения) все частицы делятся: **фермионы** и **бозоны**.

Фермионы - частицы с полуцелым спином: $\hbar/2$, $3\hbar/2, \dots$ (электрон, протон, нейтрон, электронное нейтрино).

Бозоны - частицы с целым спином: $0, \hbar, 2\hbar, \dots$ (фотон, π^+ - мезон).

Классификация элементарных частиц

Для распределения фермионов

по возможным энергетическим состояниям справедлив **принцип Паули**.

В одном и том же энергетическом состоянии может находиться не более двух фермионов с противоположными спинами.

Для бозонов принципа Паули не существует, поэтому в одном энергетическом состоянии может находиться любое число бозонов.



Классификация элементарных частиц

Античастица - элементарная частица, имеющая (по отношению к элементарной частице) равную массу покоя, одинаковый спин, время жизни и противоположный заряд.

В 1932 году американский физик Карл Андерсон обнаружил античастицу электрона - **позитрон** (фотографируя траектории частиц космических лучей в камере Вильсона).

В 1947г. обнаружен антипион π^- , в 1955г. - антипротон, в 1956г. - антинейтрон. Были получены атомы антидейтерия, антитрития и антигелия, у которых отрицательно заряженные ядра и оболочки из позитронов.

Антивещество - вещество, построенное из антинуклонов и позитронов.

Классификация элементарных частиц
Фотон - истинно нейтральная частица,
совпадающая со своей античастицей.

При столкновении частицы и античастицы они
исчезают (аннигилируют).

Аннигиляция - процесс взаимодействия
элементарной частицы с ее античастицей, в
результате которого они превращаются в γ -
кванты (фотоны) электромагнитного поля или
другие частицы.

При столкновении электрона и позитрона обе
частицы исчезают, а рождаются два γ - кванта
(фотона).

Фундаментальные частицы
взаимопревращаются - они могут как
исчезать, так и рождаться.

Классификация элементарных частиц

Рождение пары - процесс, обратный аннигиляции.

Электрон-позитронная пара может возникнуть при взаимодействии γ -кванта с веществом.

Все частицы, обладающие массой, гравитационно взаимодействуют друг с другом.



Лептоны как фундаментальные частицы
По отношению к сильному взаимодействию все элементарные частицы делятся на **адроны** и **лептоны**.

Адроны - элементарные частицы, участвующие в сильном взаимодействии.

Лептоны - фундаментальные частицы, не участвующие в сильном взаимодействии.

К лептонам относятся **12** частиц (**6** частиц и **6** античастиц). Все лептоны являются фермионами (они обладают полуцелыми спинами $\hbar/2$).

Для выделения класса лептонов вводят квантовое число - лептонный заряд L (для лептонов $L=1$, для антилептонов $L=-1$, для адронов $L=0$).

Лептоны как фундаментальные частицы

Закон сохранения лептонного заряда

Сумма лептонных зарядов до и после взаимодействия сохраняется.

В 1975г. был открыт самый тяжелый отрицательно заряженный лептон - таон τ^- (τ -лептон).



Лептоны как фундаментальные частицы

Любое взаимодействие обусловлено обменом виртуальных частиц. **Сильное взаимодействие** нуклонов обеспечивается обменом π^+ - мезоном. В 1956г. американский физик Джулиан Швингер предположил, что переносчиком **слабого взаимодействия** являются два заряженных промежуточных векторных бозона W^+ и W^- . В 1961г. американский ученый Шелдон Глэшоу предположил, что переносчиком может быть и **нейтральный Z^0 - бозон**. Массы промежуточных бозонов определены экспериментально в 1983г. группой европейских ученых под руководством Карло Руббиа и Симона Ван дер Меера.

Классификация и структура адронов

К классу адронов относятся около 300 элементарных частиц, участвующих в сильном взаимодействии. В зависимости от значения спина адроны делятся на мезоны и барионы.

Мезоны - бозоны со спином, равным 0, \hbar , участвующие в сильном взаимодействии.

Барионы - фермионы со спином, равным $\hbar/2$, $3\hbar/2$, участвующие в сильном взаимодействии.

В группе **барионов** выделяют подгруппы: **нуклоны** с $s=1/2$ и **гипероны** (все остальные барионы) с $s=1/2, 3/2$.

Классификация и структура адронов

За исключением протона, являющегося стабильной частицей, все другие адроны распадаются.

В 1963г. американские физики Мюррей Геллман и Джордж Цвейг предположили, что адроны являются составными частицами.

Нуклоны (протоны и нейтроны), согласно их гипотезе, состоят из трех фундаментальных, электрически заряженных частиц, названных **кварками**.

Классификация и структура адронов

Подобно тому как в опыте Резерфорда по рассеянию α - частиц было обнаружено атомное ядро в центре атома, в Стэнфордском эксперименте в 1969г. по рассеянию электронов на протонах и нейтронах было обнаружено пространственное распределение электрического заряда в нуклоне.



Классификация и структура адронов

Было установлено существование трех точечных зарядов в нуклонах. Эти частицы, свободно перемещающиеся внутри нуклона, как три пчелки в стакане, и есть кварки. Их заряд может быть как положительным, так и отрицательным (дробный электрический заряд).

Кварк с зарядом $+2/3e$ называли **u- кварком** (от англ. up- вверх), а кварк с зарядом $-1/3e$ - **d- кварком** (от англ. down - вниз).

Кварковый состав протона **uud**, нейтрона - **udd**.

Классификация и структура адронов

Важной характеристикой кварка является его барионный заряд.

Для всех барионов $B=1$, у антибарионов $B=-1$, у частиц, не являющихся барионами, $B=0$.

Барионный заряд кварка принят равным $1/3$, что дает для барионов (протона и нейтрона) $B=1$.

Закон сохранения барионного заряда

Во всех взаимодействиях барионный заряд сохраняется.



Классификация и структура адронов

После обнаружения элементарных частиц, состоящих из всех комбинаций u - и d -кварков, были открыты тяжелые адроны, для объяснения свойств которых пришлось использовать еще две пары кварков: **s** (от англ. *strange* - странный) и **c** (от англ. *charmed* - очарованный), а также **b** (от англ. *beauty* - красота) и **t** (от англ. *truth* - правда).

Все кварки - фермионы. Они имеют полуцелый спин, т.к. адроны являются фермионами.

Различные типы кварков называют *ароматом*.

Взаимодействие кварков

Согласно кварковой модели некоторые барионы должны состоять из кварков одного аромата (типа). Например, Δ^{++} - барион состоял из трех одинаковых u -кварков, являющихся фермионами, что невозможно по принципу Паули. Для выхода из затруднительного положения была выдвинута **гипотеза**, что эти **кварки отличаются цветом**. Согласно этой гипотезе каждый тип (аромат) кварков может иметь **три цветовых заряда: красный, зеленый и синий** (u -кварк несет один из трех цветовых зарядов: u_k, u_z или u_c).

Антикварки имеют **антицвет**, как бы нейтрализующий цвет: антикрасный (фиолетовый), антизеленый (красный), антисиний (желтый).

Взаимодействие кварков

Фундаментальными частицами считают кварки и лептоны.

Кварки - фундаментальные частицы, участвующие в сильном взаимодействии.

Всего (вместе с антикварками) **36** кварков.

Лептоны - фундаментальные частицы, не участвующие в сильном взаимодействии.

Лептонов и антилептонов - **12**.

Все фундаментальные частицы - фермионы.

Лептоны и кварки образуют начальный структурный уровень организации материи.

Окружающая Вселенная состоит из **48** фундаментальных частиц.

Взаимодействие кварков

Сильное взаимодействие между кварками осуществляется при обмене **глюонами** (от англ. glue - клей).

Глюон - бозон со спином \hbar , переносчик сильного взаимодействия.

Глюон электрически нейтрален и не имеет массы покоя. Всего **8** глюонов (**6** из них переносят цветовой заряд, а **2** бесцветны).





**Спасибо
за внимание!**

