**СОДЕРЖАНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ ...............................................................................................................3

В МИРЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ .................................................................3

ГИПОТЕЗА О СУЩЕСТВОВАНИИ КВАРКОВ ..................................................4

Супермультиплеты ..................................................................................4

Свойства ...................................................................................................4

Три кошмарные частицы ........................................................................5

Парк, нарк, ларк .......................................................................................5

НОВЫЕ КВАРКИ .....................................................................................................6

с-Кварк (очарованный) ..........................................................................6

b-Кварк (прелестный) ............................................................................6

t-Кварк (правдивый) ..............................................................................6

ПОИСКИ КВАРКОВ ...............................................................................................6

Природные и «самодельные» кварки ...................................................7

Минимальная энергия, необходимая для рождения кварка ...............7

##### Кварки, рожденные космическим излучением ....................................7

Камера Вильсона ....................................................................................8

Концентрация кварков в водных бассейнах Земли .............................8

Где еще ищут кварки? ............................................................................8

Во что верит большинство физиков?.....................................................9

ПЛЕНЕНИЕ КВАРКОВ ВНУТРИ АДРОНОВ ......................................................9

Цвет и аромат кварков ............................................................................9

Квантовая хромодинамика .....................................................................9

ЗАКЛЮЧЕНИЕ .........................................................................................................10

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .................................................11

К В А Р К И

# ВВЕДЕНИЕ

Введение понятия *«элементарные частицы»* в физике связано с идеей отыскания таких неделимых далее частиц, из которых состоит вся материя. Неделимость вначале приписывалась атомам, потом – ядру, затем – нуклонам.

Впервые об элементарных частицах как о составных частях любого атома стали говорить в конце XIX – начале XX столетия. Именно в это время было показано, что атомы могут преобразовываться друг в друга при радиоактивных превращениях. В эти же годы были открыты катодное и рентгеновское излучения, испускание которых различными атомами свидетельствовало о сходном строении всех атомов.

Следующими этапами в познании строения атома было открытие тяжелой заряженной сердцевины атома – *атомного ядра* (1911 г.) и его составных частей: *протона* (1919 г.) и *нейтрона* (1932 г.).

Элементарными частицами современная физика условно называет большую группу мельчайших микрочастиц, не являющихся атомами или атомными ядрами (за исключением протона, который является ядром атома водорода). В настоящее время истинно элементарными, т.е. такими, которые нельзя составить ни из каких других известных нам ныне частиц, являются электрон, позитрон, все виды нейтрино, фотоны и **кварки**.

В последние годы очень большого успеха достигла классификация сильновзаимодействующих частиц – *адронов* – на основе *кварковой модели*. Согласно этой модели (которая была предложена еще в 60-е годы) любой адрон состоит из двух-трех истинно элементарных частиц – кварков – с весьма необычными свойствами. Предполагается, что существует шесть типов (ароматов) кварков (и столько же антикварков), взаимодействие между которыми осуществляется глюонами. Кварки и глюоны имеют специфический заряд, который называется цветом. Каждый тип кварка имеет по три цветовых разновидности, глюоны – восемь.

# В МИРЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

В настоящее время открыто и исследовано так много элементарных частиц, что для их обозначения уже использованы все свободные буквы греческого алфавита и много букв латинского алфавита. Причем это не означает, что частиц известно столько же, сколько использованных букв. Гораздо больше! Кроме простых букв для обозначения частиц используются буквы со штрихами, со звездочками и с цифрами.

Число открытых элементарных частиц, согласно подсчетам одного физика, удваивается каждые 11 лет и (если так пойдет дальше) через некоторое время превзойдет число физиков! Во всяком случае, в настоящее время число элементарных частиц (включая нестабильные частицы – резонансы) вместе с античастицами в несколько раз превышает число элементов периодической системы Менделеева.

# ГИПОТЕЗА О СУЩЕСТВОВАНИИ КВАРКОВ

На протяжении последних десятилетий было предпринято несколько попыток навести порядок в мире элементарных частиц. И, пожалуй, самая удачная попытка заключается в гипотезе о существовании нескольких фундаментальных частиц, названных **кварками**, из которых можно составить («слепить») любую сильновзаимодействующую (а таких подавляющее большинство) частицу, причем такие «составные» частицы будут обладать всеми основными свойствами реальных частиц. Столь необычное название «кварки» заимствовано из книги Джеймса Джойса «Поминки по Финнигану», где встречается словосочетание *«три кварка»* как таинственный крик чаек, который слышится герою романа в кошмарном бреду.

Кварки были придуманы в **1964** г. американскими физиками **Гелл-Маном** и независимо **Цвейгом** для объяснения существующей в природе симметрии в свойствах сильновзаимодействующих частиц – адронов.

**Супермультиплеты**

Оказывается, если известные адроны рассортировать по значениям их спина и внутренней четности, то образуется несколько больших групп адронов (в среднем по десятку частиц в одной группе), внутри которых наблюдаются интересные закономерности. Такие группы называют *супермультиплетами* или *унитарными мультиплетами*.

В это время можно было вполне четко выделить четыре большие группы частиц.

*Мезонные* адроны с нулевым спином и отрицательной четностью образуют группу из девяти частиц (нонет). Электрический заряд, странность и масса членов этой девятки закономерно изменяются от частицы к частице. Аналогичную девятку образуют также мезонные адроны со спином, равным единице, и отрицательной четностью. Барионы со спином ½ и положительной четностью образуют сходный октет. Наконец, *барионные* адроны с оспином 3/2 и положительной четностью составляют десятку – декуплет.

## Свойства

По свойствам девяти известных частиц Гелл-Ман в 1962 г. однозначно предсказал все известные характеристики десятой частицы. Набор параметров для этой частицы: масса, электрический заряд, барионный заряд, странность, изотопический спин, четность, схема рождения, схема распада, время жизни. Этот перечень настолько хорошо характеризует свойства предсказанной частицы, что появилась возможность организовать по-настоящему научный ее поиск. В начале 1964 г. гиперон с предсказанными свойствами был найден. Это, вероятно, самый маленький интервал времени между моментами предсказания и обнаружения «настоящей» (долгоживущей) элементарной частицы.

Закономерности можно проследить также и в других супермультиплетах. Для объяснения закономерностей было предложено несколько различных теорий. Общим для всех этих теорий является предположение о существовании двух разновидностей сильного взаимодействия: очень сильного и умеренно сильного, которые вместе с электромагнитным определяют основные свойства адронов. Очень сильное взаимодействие одинаково для всех членов унитарного мультиплета и определяет главную часть их энергии взаимодействия (а значит, и массы). Умеренно сильное взаимодействие зависит от странности и потому различно для членов разных изотопических мультиплетов, т.е. для частиц, стоящих в разных строках.

## Три кошмарные частицы

Наиболее естественно существование унитарных мультиплетов можно было объяснить, введя в рассмотрение три гипотетические частицы – кварки – с довольно экзотическими свойствами, а именно с дробными барионным и электрическим зарядами. В связи с такой экзотичностью свойств и с тем, что их три, кварки и получили свое необычное название. Словосочетание «три кварка» встречается в романе Джеймса Джойса «Поминки по Финнегану» как таинственный крик чаек, который слышится герою романа во время кошмарного бреда.

Если кваркам приписывать некоторые известные свойства, то достаточно всего трех кварков и трех антикварков, чтобы из них, как из деталей конструктора, построить любой из перечисленных выше адронов, причем можно показать, что адроны. «слепленные» из кварков, будут группироваться в те самые супермультиплеты, которые были известны в то время.

## Парк, нарк, ларк

В более ранней и довольно успешной теории Сакаты в качестве трех основных фундаментальных частиц для построения адронов использовались *протон* (p), *нейтрон* (n) и *лямбда-частица* (^). Поэтому те же самые символы используют и в современной теории для обозначения трех кварков. Назовем эти кварки *парком* (p), *нарком* (n) и *ларком* (^). Кварки не надо путать с адронами, которые обозначаются теми же самыми символами.

### Электрические заряды кварков и значения других квантовых чисел для них

Название кварка Символ Q S Y Iz B o

----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Парк p +2/3 0 1/3 1/2 1/3 1/2

Нарк n - 1/3 0 1/3 -1/2 1/3 1/2

Ларк ^ - 1/3 - 1 - 2/3 0 1/3 1/2

Q – электрический заряд в единицах заряда электрона;

S – квантовое число странности;

Y – квантовое число гиперзаряда (Y=B+S);

Iz – квантовое число z-компоненты изоспина;

B – барионное число;

о – внутренний момент импульса (спин).

Для всех кварков барионное число B и спин o одинаковы.

Позднее в кварковую модель ввели четвертый и пятый кварки.

Предполагается, что существует еще один, шестой кварк.

Сама тройка кварков (а также тройка антикварков) тоже образует супермультиплет – унитарный триплет.

# НОВЫЕ КВАРКИ

**с-Кварк (очарованный)**

В конце 1974 г. одновременно в двух лабораториях была открыта новая частица, свойства которой оказались таковы, что их не удалось объяснить в рамках трехкварковой модели. Для интерпретации этих свойств потребовалось ввести *четвертый* кварк – с-кварк, названный очарованным ( от слова charm – очарование).

с-Кварк оказался вполне равноправной частицей по отношению к остальным трем кваркам. Комбинируя с-кварк с антикварками u, d, s, можно получить новые мезоны, которые были названы очарованными.

В настоящее время уже обнаружены представители всех очарованных мезонов и некоторые очарованные барионы. На этом основании, казалось бы, можно было считать, что кварковая модель достигла совершенства, т.е. описывает все существующие частицы и не конструирует лишних, не встречающихся в природе.

**b-Кварк (прелестный)**

Однако, в 1977 г. была открыта еще одна частица, названная ипсилон-мезоном, свойства которой не укладывались в четырехкварковую модель. Новый, *пятый* кварк b, названный прелестным (от слова beauty – прелесть, иногда название b-кварка производят от слова botom – низ).

**t-Кварк (правдивый)**

Наконец, имеются основания считать, что должен существовать еще и *шестой* кварк t, названный правдивым (от слова truth) или верхним (от слова top). Одним из таких оснований является предсказываемая теорией электрослабого взаимодействия симметрия в числе кварков и лептонов (которых открыто шесть).

# ПОИСКИ КВАРКОВ

Являются ли кварки реальными частицами или просто математическими измышлениями, нужными только для классификации адронов, еще неясно. В начале 1970 г. в научных журналах было опубликовано несколько работ, авторы которых заявляли об обнаружении кварков в космических лучах, однако пока что это не подтверждено. Если кварки и в самом деле существуют в природе, то из этого факта мы сможем вывести целый ряд замечательных следствий. В частности, космогонические теории и теории источников энергии излучения звезд придется коренным образом пересмотреть. Далее, кварки смогут выступать в роли эффективных катализаторов ядерных реакций. Вполне возможно, что по крайней мере один из трех кварков окажется стабильным и не будет распадаться, а может быть, и все три кварка будут стабильными.

### **Природные и «самодельные» кварки**

Успех кварковой модели и желание свести многообразие частиц к нескольким фундаментальным заставляют физиков искать кварки в природе.

Кваркам естественно приписать большую массу. Но рождение частиц с большой массой требует больших кинетических энергий, поэтому поиски кварков следует вести в таких условиях (естественно или искусственно созданных), когда имеется возможность трансформации большой порции кинетической энергии в энергию покоя (массу). Связь между массой кварка m q и минимальной кинетической энергией, бомбардирующей частицы Тмин, необходимой для рождения кварка этой массы, зависит от типа реакции, в которой образуется кварк. В соответствии с законами сохранения образование кварка может происходить только в паре с антикварком.

Минимальная энергия, необходимая для рождения кварка массой m q

m q m p 3m p 5m p 10m p 20m p

Тмин’m p c 6 30 70 240 880

Тмин’ ГэВ 5,6 28 65 225 825

Для реакции образования кварка при соударении двух протонов получается следующая зависимость Тмин от предполагаемого значения m q:

Тмин=2(m q /m p) (2m p + m q) c

В таблице приведены значения Тмин, вычисленные по данной формуле в разных предположениях о значении массы кварка. Существуют соображения, из которых следует, что при данной энергии Т могут рождаться частицы большей массы, чем указано в таблице (напр., при Т=30 ГэВ могут родиться кварки массой до 5m p). Однако вероятность такого процесса настолько мала, что его можно не учитывать в расчетах. Из таблицы видно, что кварки массой m q < 3 m p имеет смысл искать среди частиц, образующихся в мишенях ускорителей протонов на энергию 30 ГэВ, кварки массой m q < 5 m p - в мишенях ускорителей на энергию 70 ГэВ и т.д.

Для выделения кварков из огромного числа других, рождающихся в мишени ускорителя, можно воспользоваться их специфическими свойствами, обусловленными дробностью электрического заряда. Например, пониженной ионизирующей способностью. Ионизирующая способность заряженной частицы изменяется пропорционально квадрату ее электрического заряда. Так как кварки имеют заряд, равный 1/3 или 2/3 заряда электрона, ионизирующая способность кварков составляет соответственно 1/9 или 4/9 ионизирующей способности электронов. Такие опыты были действительно предприняты сначала на ускорителях в ЦЕРНе и в Брукхейвенской лаборатории, затем в Серпухове, а потом снова в ЦЕРНе на ускорителе протонов до энергии 400 ГэВ и в Батавии на ускорителе протонов до энергии 500 ГэВ, но они не дали положительного результата. Это означает, что либо масса кварков превышает 15 протонных масс, либо они рождаются с гораздо меньшей вероятностью, чем предполагали, либо, наконец, кварков в свободном виде нет вообще.

## Кварки, рожденные космическим излучением

В составе космического излучения имеются протоны энергией выше 500 ГэВ. Эти протоны в соударениях с ядрами атмосферы могут рождать кварки, даже если их масса превышает 15 m p. Кварки, рожденные космическим излучением, можно пытаться регистрировать при помощи детекторов, чувствительных к ионизации, вызываемой быстродвижущимися частицами с дробным электрическим зарядом.

### **Камера Вильсона**

Одним из таких детекторов может быть камера Вильсона, следы заряженных частиц в которой имеют вид цепочек из капелек жидкости. Эти капельки образуются в результате

Конденсации пересыщенного пара на ионах, возникающих вдоль траектории заряженной частицы. Ионизирующая способность кварка составляет 1/9 или 4/9 ионизирующей способности электрона. Поэтому плотность капелек на следе кварка должна быть в 9 раз меньше, чем на следе электрона. В свое время в печати появились работы, в которых сообщалось об обнаружении частиц с 50%-ной ионизирующей способностью. Однако впоследствии оказалось, что полученные результаты являются сильной флюктуацией ионизирующей способности обычной частицы с z=1.

## Концентрация кварков в водных бассейнах Земли

Кварки пытаются «вылавливать» не только из падающего на Землю космического излучения, но и из земных водных бассейнов. Естественно считать, что кварки, возникающие при взаимодействии космических частиц с атомными ядрами атмосферы, становятся центрами конденсации водяных паров, падают вместе с дождем на землю и в конце концов попадают в озера, моря и океаны. Так как описанный механизм образования кварков действует постоянно, а распадаться они не могут\*, концентрация кварков в водных бассейнах Земли должна непрерывно возрастать с течением времени.

\* В связи с дробностью заряда можно предполагать, что по крайней мере один из кварков (с наименьшей массой) стабилен, т.к. ему не на что распадаться. (Более тяжелый кварк может превращаться в легкий без нарушения закона сохранения электрического и барионного зарядов.)

Оценки показывают, что за время существования Земли с помощью такого механизма могло накопиться до 100 000 кварков в каждом 1 куб.см воды. Но и в воде кварков не нашли!

## Где еще ищут кварки?

Ищут кварки и в метеоритах, которые при достаточно больших размерах и длительном существовании в космическом пространстве могли накопить много кварков. Пытались обнаружить кварки при помощи опытов типа опыта Миллекена по определению заряда электрона. Но и здесь однозначных результатов получить не удалось.

Из того, что кварки не найдены, строго говоря, рано делать вывод об их отсутствии. Прошло еще слишком мало времени! Так что еще не все потеряно, тем более что результаты сделанных опытов не отрицают возможности существования кварков массой m q > 15 m p. Кстати, чем тяжелее кварки, тем заманчивее становится мечта их открыть. Ведь если протон «слеплен» из трех кварков массой 5m p каждый, то «энергия связи» протона равна: 14 m p c, или 13 ГэВ, т.е. в процессе образования протона из кварков должно освобождаться 14/15 = 93% энергии покоя кварков.

## Во что верит большинство физиков в настоящее время?

Наконец, еще одна возможность, в которую в настоящее время верит большинство физиков, заключается в следующем: кварки существуют, но только в связанном состоянии внутри адронов. Вылететь из адронов и существовать в свободном виде кварки не могут.

Напомним, что адроны участвуют в электромагнитных, слабых и сильных взаимодействиях. Их можно сгруппировать в два больших семейства: семейство мезонов (спин 0,1 и т.д.) и семейство барионов (спин ½, 3/2 и т.д.). Название «адрон» означает «сильно взаимодействующая частица». Оказалось, что адроны можно более детально классифицировать, объединяя их в подсемейства (называемые супермультиплетами) по признаку одинаковости спина и четности входящих в подсемейство частиц.

#### ПЛЕНЕНИЕ КВАРКОВ ВНУТРИ АДРОНОВ

## Цвет и аромат кварков

Пленение кварков внутри адронов является, пожалуй, главной трудностью кварковой модели. Другая трудность этой модели связана с тем, что она допускает барионные комбинации из трех тождественных кварков, находящихся в одинаковых состояниях. А это запрещено принципом Паули, согласно которому два (и тем более три) фермиона с одинаковыми квантовыми числами не могут находиться в одном и том же состоянии. Обе эти трудности удалось преодолеть введением еще одной характеристики кварков, которая условно называется *ЦВЕТОМ*.

Каждый кварк независимо от его типа (u, d, s, c, b, t), который, кстати говоря, называется *ароматом* (flavour), имеет три цветовые разновидности, соответствующие трем “основным цветам”: *«красному», «синему» и «зеленому»*.

В состав любого бариона входят обязательно «разноцветные» кварки, так что -гиперон, например, является «бесцветной» («белой») комбинацией , которая не противоречит принципу Паули. Соответственно каждый мезон представляет собой комбинацию кварков и антикварков с «дополнительными цветами» (например, «красный» и «антикрасный» и т.п.), которые также в сумме дают «белый» цвет.

Подчеркнем, что термин «цвет», употребляемый как характеристика сильного взаимодействия, не имеет никакого отношения (кроме терминологического) к оптическим цветам.

## Квантовая хромодинамика

Кроме этой функции нового квантового числа цвет играет очень важную роль нового заряда. Согласно современной теории сильных взаимодействий – *КВАНТОВОЙ ХРОМОДИНАМИКЕ*, взаимодействие между кварками осуществляется при помощи *восьми цветных* **глюонов** (от слова glue – клей. Глюоны как бы склеивают кварки между собой), которые являются квантами, т.е. переносчиками сильного взаимодействия между кварками любых ароматов и цветов.

Наличие цветного заряда у глюонов резко отличает их от квантов электромагнитного взаимодействия – фотонов, которые не имеют заряда. В отличие от фотона глюон может испускать новые глюоны, что приводит к росту эффективного заряда кварка с увеличением расстояния и, следовательно, к возрастанию энергии взаимодействия между кварками. В результате кварки не могут освободиться друг от друга (пленение) и встречаются в природе только в связанном виде – в форме «белых», «бесцветных» адронов. Наоборот, на очень малых расстояниях кварки взаимодействуют относительно слабо, и их можно рассматривать как практически свободные частицы (центральная свобода). Это обстоятельство позволяет получить ряд количественных соотношений, подтвержденных экспериментами.ы

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение структуры различных элементарных частиц, и в первую очередь протона и нейтрона, находится на самом переднем крае фронта исследований в физике элементарных частиц. Протон и нейтрон – это окончательные основные состояния всех барионов. Из обеих этих частиц построены все атомные ядра, находящиеся в своих основных состояниях.

Классификация адронов оказалась очень успешной, при этом удалось немного заглянуть в структуру адронов, представить их состоящими из кварков. Но многое еще предстоит выяснить.

Не так давно появилась новая теория элементарных частиц, названная *«теорией зашнуровки»*. Согласно ей ни одна из частиц не является более фундаментальной и элементарной, чем остальные. Каждая элементарная частица существует потому, что существуют все остальные частицы.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. В.Акоста, К.Кован, Б.Грэм « Основы современной физики», М. Просвещение, 1981;
2. И.Розенталь «Элементарные частицы и структура Вселенной», М. Наука, 1984;
3. К.Мухин «Занимательная ядерная физика», М. Энергоатомиздат, 1985.