Мы можем.Ru Мы можем.Ru Наша рассылка: архив, подписка For sale

Кварки и другие элементарные частицы

ГРИБАНОВ Василий, редактор chemworld.narod.ru

Введение

В настоящее время открыто и исследовано так много элементарных частиц, что для их обозначения уже использованы все свободные буквы греческого и много букв латинского алфавита. Впрочем, частиц известно больше, чем использованных букв, ведь кроме простых букв для обозначения частиц используются буквы со штрихами, со звездочками и с цифрами.

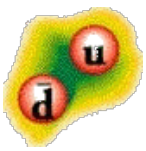
По статистике, число открытых элементарных частиц удваивается каждые 11 лет, в настоящее время число элементарных частиц (включая нестабильные частицы – резонансы) вместе с античастицами в несколько раз превышает число элементов периодической системы Менделеева.

Понятие “элементарные частицы” будет основополагающим в этой статье, поэтому необходимо дать ему определение. В физике под элементарной частицей подразумевают неделимые, простые (вообще) частицы, из которых состоит вся материя. В химии это понятие имеет несколько другой смысл: элементарной частицей химики называют именно химически неделимую частицу (например, протон), а также, частицы входящие в состав атома, тогда как с точки зрения теоретической физики протон, например, можно разделить на составные части. Впрочем, первоначально неделимость приписывалась атомам, потом – ядру, затем – нуклонам, а теперь кваркам. Но кто ручается, что и они являются истинно элементарными?

Немного истории

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, как уже было сказано, 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 разные годы были предложены различные принципы классификации элементарных частиц, но в последнее время большого успеха достигла классификация частиц по типу их взаимодействий, а также кварковая модель их строения.

Согласно этой модели (которая была предложена еще в 60-е годы), любой адрон (частица, участвующая в сильном взаимодействии) состоит из двух-трех истинно элементарных частиц – кварков – с весьма необычными свойствами. Следует отметить, что кварки были придуманы в 1964 г. американскими физиками Гелл-Маном, и независимо от него, Цвейгом для объяснения существующей в природе симметрии в свойствах сильновзаимодействующих частиц – адронов. Предполагается, что существует шесть типов (ароматов) кварков (и столько же антикварков), взаимодействие между которыми осуществляется специфическими частицами - глюонами (от греч. glue - клей). Но об этом позже. А в этой, вводной части любопытно отметить, что необычное название “кварки” было заимствовано из книги Джеймса Джойса “Поминки по Финнигану”, где встречается словосочетание “три кварка” как таинственный крик чаек, который слышится герою романа в кошмарном бреду.

Накопив обширный материал, и подкрепив его расчётами, учёные предложили для классификации всех элементарных частиц способность (или неспособность) их участвовать в различного рода взаимодействиях. Например, частицы, участвующие в сильном взаимодействии, образуют особый класс и называются адронами. Частицы, участвующие в слабом взаимодействии и не участвующие в сильном, называются лептонами. Кроме того, существуют и особые частицы - переносчики взаимодействий.

Коротко рассмотрим свойства этих основных типов частиц.

Лептоны

Лептоны могут, как иметь электрический заряд, так и не иметь его, но спин у всех у них равен S. Среди представителей этой группы частиц наиболее известен электрон, первая из открытых элементарных частиц. Как и все остальные лептоны, электрон, по-видимому, является элементарным (в физическом смысле этого слова) объектом: насколько сейчас известно, он не содержит каких-то других структурных единиц.

Другой хорошо известный лептон - нейтрино. Нейтрино являются наиболее распространенными частицами по Вселенной, которую наглядно можно представить безбрежным нейтринным морем, где изредка встречаются острова в виде обычных атомов. Но, несмотря на такую распространенность, изучать нейтрино очень сложно. Это обусловлено тем, что оно не участвуют ни в сильном, ни в электромагнитном взаимодействиях. Зато, нейтрино способно проникать через вещество, как будто оно не представляет никакой преграды.

Достаточно широко распространены в природе мюоны, на долю которых приходится значительная часть космического излучения. Во многих отношениях мюон напоминает электрон: имеет тот же заряд и спин, участвует в тех же взаимодействиях, но имеет большую массу и нестабилен: за две миллионные доли секунды он распадается на электрон и два нейтрино.

В конце 70-х годов был обнаружен третий заряженный лептон, получивший название "тау - лептон". Это очень тяжелая частица. Ее масса составляет около 3500 масс электрона. Но во всем остальном он ведет себя подобно электрону и мюону.

В 60-х годах список лептонов значительно расширился, да и в наши дни продолжает расширяться. Было установлено, что существует несколько типов нейтрино: электронное нейтрино, мюонное нейтрино и тау-нейтрино. Таким образом, общее число разновидностей нейтрино равно трем, а общее число лептонов - шести. Разумеется, у каждого лептона есть своя античастица; таким образом, общее число различных лептонов равно двенадцати. И последнее о лептонах: нейтральные лептоны участвуют только в слабом взаимодействии; заряженные - в слабом и электромагнитном. Основные характеристики этих частиц представлены в **таблице 1**.

Таблица 1: (Античастицы в таблицу не включены)

Название	Масса	Заряд
Электрон	1	-1
Мюон	206,7	-1
Тау-лептон	3536,0	-1
Электронное нейтрино	0	0
Мюонное нейтрино	0	0
Тау-нейтрино	0	0

Адроны

Если лептонов существует чуть свыше десятка, то адронов сотни. Это множество очень быстро привело физиков к мысли, что адроны - не элементарные частицы, а построены из более мелких, истинно элементарных частиц. В природе встречаются как электрически заряженные, так и нейтральные адроны. Среди представителей этого класса частиц наиболее известны и широко распространены нейтрон и протон. Остальные адроны короткоживущие и быстро распадаются.

Адроны можно классифицировать и по массе: выделяют барионы ("тяжёлые" - греч.) и большое семейство мезонов, с массой поменьше ("мезо" - "средний", греч.). Как уже говорилось, адроны участвуют в сильном, слабом и электромагнитном взаимодействиях.

Открытие различных типов адронов в 50-60-х годах крайне озадачило физиков. Но со временем адроны удалось классифицировать по массе, заряду и спину, стала выстраиваться более или менее четкая картина. Появились конкретные идеи о том, как систематизировать хаос эмпирических данных, раскрыть тайну адронов в научной теории. Решающий шаг здесь был сделан в 1963 г., когда была предложена теория кварков.

Суть кварковой модели

Основная идея этой теории очень проста. Все адроны построены из более мелких частиц, называемых кварками. Кварки могут соединяться друг с другом одним из двух возможных способов: либо тройками, либо парами кварк - антикварк. Из трех кварков состоят сравнительно тяжелые частицы — барионы, а более легкие пары кварк - антикварк образуют мезоны.

Чтобы учесть все известные тогда адроны, Гелл-Манн и Цвейг ввели три различных типа кварков, получивших довольно причудливые названия: u (от up — верхний), d (от "down" — нижний) и s (от "strange" — странный), а сами эти типы стали называть "ароматом". Современные исследования увеличили число кварков до шести: up-, down-, strange-, charm-, bottom-, top-кварки (расположены в порядке увеличения их массы). Допуская возможность различных комбинаций ароматов, можно объяснить существование большого числа адронов. Например, протон состоит из двух и- и одного d-кварков, а нейтрон — из двух d-кварков и одного u-кварка (см. таблицу 2).

Таблица 2: Состав субатомных частиц

Комбинация кварков	Название	Обозначение
uud	Протон	p
udd	Нейтрон	n
uds	Сигма ноль	S^{o}
dds	Сигма минус	S^{-}
uus	Сигма плюс	S^{+}
uss	Кси ноль	X^{o}
dss	Кси минус	X^{-}
uds	Лямбда	L
ud̶	Положительный пион	p^{+}
du̶	Отрицательный пион	p^{-}
ds̶	Нейтральный каон	K^{o}
us̶	Положительный каон	K^{+}
su̶	Отрицательный каон	K^{-}
sd̶	Нейтральный антикаон	K̶°

Но и этим не удавалось упорядочить все частицы, поэтому помимо аромата кварков, было введено представление о его "цвете" (естественно, что ничего общего с оптическими явлениями эта классификация не имеет и лишь характеризует различные энергетические состояния кварков). Условно, каждый кварк имеет три цветовые разновидности, соответствующие трем “основным цветам” - “красному”, “синему” и “зеленому”. Эта классификация узаконила следующий постулат: "в состав любого бариона входят обязательно “разноцветные” кварки, так, что любая комбинация кварков является “бесцветной” (“белой”) комбинацией. По сути - это "пересказ" принципа 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. Взаимодействие между кварками осуществляется при помощи восьми цветных глюонов (от слова glue – клей). Глюоны, как бы склеивают кварки между собой.

Таблица 3: Основные параметры кварков

Характеристика	Тип кварка					
	d	***u***	***s***	***c***	***b***	***t***
Электрический заряд Q	-1/3	+2/3	-1/3	+2/3	-1/3	+2/3
Барионное число B	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3
Спин J	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
Четность P	+1	+1	+1	+1	+1	+1
Изоспин I	1/2	1/2	0	0	0	0
Проекция изоспина I_3	-1/2	+1/2	0	0	0	0
Странность s	0	0	-1	0	0	0
Charm c	0	0	0	+1	0	0
Bottomness b	0	0	0	0	-1	0
Topness t	0	0	0	0	0	+1
Масса в составе адрона, ГэВ	0.33	0.33	0.51	1.8	5	180
Масса "свободного" кварка, ГэВ	0.007	0.005	0.15	1.3	4.1-4.4	178

Частицы - переносчики взаимодействий

Перечень известных частиц не исчерпывается выше перечисленными - лептонами и адронами. Например, не упоминается фотон - он не подходит по свойствам к вышеперечисленным частицам, а поэтому он и ему подобные образуют еще один тип частиц, которые обеспечивают четыре фундаментальных взаимодействия, т.е. образуют своего рода "клей", не позволяющий миру распадаться на части.

Переносчиком электромагнитного взаимодействия выступает фотон, сильного взаимодействия - уже упомянутые глюоны.

Переносчики слабого взаимодействия три частицы - W ± и Z° бозоны. Они были открыты лишь в 1983 г. Радиус слабого взаимодействия чрезвычайно мал, поэтому его переносчиками должны быть частицы с большими массами покоя. В соответствии с принципом неопределенности время жизни частиц с такой большой массой покоя должно быть чрезвычайно коротким - всего лишь около 10-26.

Высказывается мнение, что возможно существование и переносчика гравитационного поля - гравитона.

Заключение

Лишь тридцать лет спустя, после многочисленных экспериментов, идея кваркового устройства адронов была окончательно принята. Сейчас эта теория стала частью Стандартной Модели Фундаментальных Частиц и Взаимодействий. Классификация адронов с помощью "кварковых представлений" оказалась очень успешной, при этом удалось немного заглянуть в структуру адронов, представить их состоящими из кварков. Но многое еще предстоит выяснить. (Кстати, 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).

Описанная классификация частиц на лептоны, адроны и переносчики взаимодействий, возможно, не исчерпывает мир элементарных частиц, возможно, есть и другие. Но учёные умеют работать и с этим набором. Более того, на горизонте уже появляется "кварковая химия"...

Л И Т Е Р А Т У Р А

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.
4. А также материалы W.W.W.

Онлайн-интервью: Телепроект "Неравнодушные": To
SUBSCRIBE.RU 547 РЕЙТИНГ mail.ru 390854 100 64 УЧАСТНИК Rambler's TOP 100 Я 130 журнал S&T narod.ru