

ГЛАВА 3. СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О СТРУКТУРНЫХ УРОВНЯХ МИКРОМИРА

Основное содержание главы

Открытие большого числа элементарных частиц стимулировало теоретические и экспериментальные поиски фундаментальных частиц, играющих роль первооснов для остального мира составных микрочастиц. К настоящему времени установлено существование трех поколений фундаментальных частиц (кварков и лептонов), выдвинуты гипотезы многомерных струн для объяснения спектра масс и зарядов фундаментальных частиц.

3.1. Частицы и античастицы микромира

В 1930 г. английский физик Пол Дирак теоретически предсказал существование античастицы электрона, которая имеет такую же массу, что и электрон, но отличается от него знаком (но не абсолютной величиной) электрического заряда. Для нее знак заряда должен был быть противоположным знаку заряда электрона, т. е. положительным.

В этом нашло свое проявление свойство симметрии уравнения Дирака относительно знака электрического заряда частиц. Считают, что это говорит также о наличии свойств симметрии в основных законах природы, в данном случае это пример зарядовой симметрии. Вскоре такая частица была обнаружена экспериментально (А. Андерсон, 1932 г.).

Позднее были открыты античастицы для протона (антипротон), нейтрона (антинейтрон) и нейтрино (антинейтрино). В последних двух случаях заряды частиц и античастиц одинаковы, но по ряду других свойств они все же отличаются друг от друга. При записи обозначений античастиц используют знак частицы-партнера, но с добавлением к нему тильды над символом, например антипротон обозначают символом \tilde{p} , а для обозначения антинейтрона используют символ \tilde{n} .

Оказалось, что рождение античастицы всегда происходит в паре с соответствующей частицей, так что при этом выполняется закон сохранения общего электрического заряда Вселенной. От появления пары разноименных и одинаковых по абсолютной величине зарядов нейтральность вселенной не нарушается.

Античастицы являются редкими «гостями» среди мира обычных частиц и быстро исчезают в актах аннигиляции. Аннигиляция – это взаимное уничтожение, исчезновение пары «частица – античастица» с образованием кванта электромагнитного излучения с высокой энергией

(гамма-кванта). Символически реакцию аннигиляцию электрона и позитрона (т. е. антиэлектрона) записывают в виде



Рождение двух гамма-квантов обусловлено проявлением закона сохранения импульса в изолированной системе. До начала реакции частицы, сближаясь навстречу друг другу, имеют вполне определенную сумму векторов импульсов. Чтобы не изменить (сохранить) величину этой суммы, импульсы гамма-квантов после возникновения должны быть направленными в противоположные стороны.

Прежде чем проаннигилировать, позитрон и электрон образуют иногда водородоподобную систему, вполне описываемую теорией Бора. В ней обе частицы вращаются на общей круговой орбите вокруг центра масс. По размерам атом позитрония примерно в два раза больше атома водорода.

Недавно (в 2008 г.) появилось сообщение о наблюдении молекулы позитрония, в которой связаны два атома позитрония. Для обозначения столь экзотических атомов и молекул был предложен символ тайдзы (инь и ян), используемый для обозначения единства противоположных начал в китайском мистицизме и символические обозначения Ps и Ps_2 (рис. 30). Кстати сказать, это еще один пример сосуществования научных и мистических образов в современной единой культуре.



Рис. 30. Атом и молекула позитрония

Кроме того, к настоящему времени в лабораториях физиков удалось получить небольшие количества антивещества в виде антиводорода и антигелия. В этих соединения вместо «нормальных» частиц присутствуют их антиподы – антипротоны, антинейтроны, позитроны.

Долгое время полагали, что нейтрино не только не имеет электрического заряда, но не имеет и массы. К настоящему времени экспериментально установлено, что нейтрино имеет массу, отличную от нуля. Более того, открыты три вида нейтрино с различными значениями массы: электронное нейтрино (ν_e), самое легкое, мюонное нейтрино (ν_μ) и таонное нейтрино (ν_τ), самое тяжелое из трех.

Вместе с электроном (e), мюоном (μ) и таоном (τ), три нейтрино образуют семейство лептонов (табл. б).

Таблица 6

Семейство лептонов

e	μ	τ
ν_e	ν_μ	ν_τ

Основанием для объединения этих частиц в единую группу служит то обстоятельство, что перечисленные частицы могут превращаться друг в друга. Так, например, мюон может превращаться в электрон, антинейтрино и нейтрино по реакции

$$\mu^- \rightarrow e^- + \tilde{\nu}_e + \nu_\mu. \quad (13)$$

Кроме того, иногда мюон замещает электрон в атомах. В согласии с теорией Бора, радиус мюонной орбиты оказывается во столько раз меньше электронной, во сколько раз масса мюона больше массы электрона. Парадоксально, но в тяжелых атомах мюонная орбита попадает в область ядра атома. Спиновое число лептонов равно $\frac{1}{2}$, они участвуют в так называемых слабых взаимодействиях.

Другую группу элементарных частиц образует семейство мезонов. Она более многочисленная, чем семейство лептонов, и в табл. 7 приведены только некоторые частицы из данной группы.

Таблица 7

Семейство мезонов

π^+	π^0	π^-
K^+	K^0	K^-
D^+	D^0	D^-
	B^0	B^-

Все мезоны имеют нулевое значение спина, именно это является одним из оснований для отнесения элементарной частицы данному семейству. Еще более многочисленной является группа барионов – элементарных частиц, спиновое квантовое число для которых является кратным величине $\frac{1}{2}$. В это семейство входят, в частности, протоны и нейтроны. Эти две частицы являются составными частями ядер атомов, где они тесно связаны ядерными силами. Ядерные силы индифферентны (нечувствительны) к электрическому заряду протонов. Поэтому в составе ядер атомов оба типа частиц называют нуклонами, т. е. частицами ядра.

В целом, к началу 70-х годов XX в. при исследовании каскадов реакций рождения микрочастиц, подобных приведенному на рис. 31, было открыто более 350 видов частиц, относившихся по терминологии того времени к классу элементарных частиц. (В эти годы иногда совокупность элементарных частиц сравнивали с коллекцией марок.)

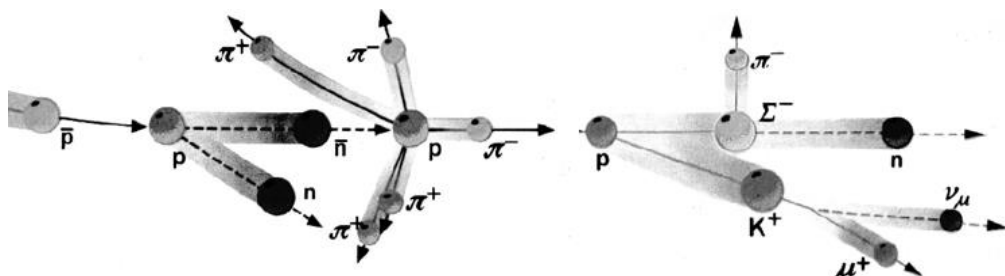


Рис. 31. Каскад реакций рождения элементарных частиц при столкновении встречных пучков протонов и антипротонов

К настоящему времени список открытых частиц микромира (вместе с так называемыми резонансными, очень короткоживущими состояниями) превысил рубеж 500 наименований. С учетом наличия античастиц «общество» элементарных частиц становится еще большим. Оно намного превышает количество химических элементов, сгруппированных в таблицу Д. И. Менделеева.

Невольно возникали сомнения по поводу элементарности столь большого числа частиц. Может быть, большая их часть все-таки имеет внутреннюю структуру?

Традиция поиска первооснов, заложенная еще в античные времена, стимулировала ученых на поиск действительно элементарных, не имеющих в своем составе каких-либо частей, фундаментальных частиц. Поскольку экспериментаторы «сделали свою часть работы», открыв большое число микрочастиц, очередь была за теоретиками.

3.2. Поиск фундаментальных частиц.

Кварки и лептоны

При исследовании центральной положительно заряженной области атома – ядра выявилась его внутренняя структура: ядро состоит из протонов и нейтронов. В составе ядра их удерживают мощные ядерные силы, радиус действия которых ограничен величиной порядка 10^{-15} м. Вокруг ядра располагается электронная оболочка. В такой модели атома все три субатомные частицы считаются *элементарными*, в смысле *далее неделимыми*, как когда-то считали неделимым атом.

К середине 60-х годов XX века обнаружилась не только множественность элементарных частиц, но и то, что многие из них являются

составными (могут распадаться на другие частицы). В такой ситуации термин «элементарная частица» изменил свое физическое содержание. В современном естествознании это всего лишь *объединяющее название* для целого «мира» микрочастиц.

Парадигма классического естествознания включает в себя концепцию целостного, простого и гармоничного устройства мира. Основа мировой гармонии – вертикальное соподчинение (*иерархия*) различных, но подобных структурных уровней. «То, что наверху, подобно тому, что внизу». В рамках классического естествознания всегда были обоснованными (предписывала парадигма!) поиски первоэлементов. Классическое идейное наследие подталкивало к поиску гармонии в новом разнообразии объектов естествознания и к поиску «действительно элементарных» частиц.

Три такие фундаментальные микрочастицы предложили в 1964 г., независимо друг от друга, физики-теоретики Мари Гелл-Манн и Джордж Цвейг (рис. 32). Для совершенно нового слоя частиц, претендующих на фундаментальность, необходимо было намеренно парадоксальное, непривычное название, которое будит ассоциации с чем-то необычным. Предложенное М. Гелл-Манном название «кварк» не имеет перевода на какой-либо язык человечества и является необычным придуманным звуко сочетанием.



Рис. 32. М. Гелл-Манн и Дж. Цвейг

Действительно, по модели М. Гелл-Манна и Цвейга, свойства кварков были очень непривычными даже для большинства физиков.

1. Электрический заряд кварков дробный: плюс две трети и минус одна треть от «естественной единицы заряда», т. е. от заряда протона.

2. Кварки были названы: верхний (u) с зарядом $+\frac{2}{3}$, нижний (d) с зарядом $-\frac{1}{3}$ и странный (s) с зарядом $-\frac{1}{3}$.
3. В свободном состоянии, по одиночке, кварки себя не проявляют. Как реальности, в виде других «элементарных» частиц, кварки проявляют себя только в комбинациях по три или по два (кварк – антикварк).
4. Во взаимодействиях с участием кварков должно было проявляться свойство, для характеристики которого требуется три различных качества. Гелл-Манн и Цвейг предложили название для

свойства – *цветовой заряд*, или просто *цвет*. Три проявления цветового заряда кварков: *красный, синий, зеленый*. Для антикварков противоположные цветовые заряды называются соответственно *антикрасный, антисиний и антизеленый*. Очевидно, что физический смысл введенного цвета не тот, что в привычном человеку мире. Но почему не звук или вкус?

Все дело в определенной аналогии.

Вам известно, что И. Ньютон открыл разложение бесцветного луча света в спектр радуги (помните мнемоническое правило: *Каждый Охотник Желает Знать, Где Сидит Фазан?*). Как обратное действие, суперпозиция (сложение, смесь) семи цветов радуги бесцветна – это белый цвет. Но, кроме палитры семи цветов, качество белого цвета может быть достигнуто сложением трех, называемых основными, цветов: красного, зеленого и синего. Это свойство нашего зрения используют художники в живописи и инженеры в технологии цветного телевидения (сигнал *RGB: Red, Green, Blue*).

Комбинация трех различных кварковых цветовых зарядов тоже белая, или бесцветная. Отсюда и аналогичное с оптикой название трех качеств кварков. Более того, выполняется правило бесцветности: реально существуют (в виде других элементарных частиц) только такие комбинации кварков и антикварков, которые бесцветны.

Прежде всего кварковая гипотеза следующим образом объяснила строение «ядерного вещества». В состав протона входят три кварка *duu*, а нейтрон построен из кварков *udd* (рис. 33).



Рис. 33. Кварковая модель строения протона и нейтрона

Сумма зарядов составной частицы здесь равна сумме зарядов составляющих ее кварков, с учетом знаков электрических зарядов получаем плюс единицу для протона и ноль для нейтрона. В последнем случае нейтральность есть следствие равенства положительно и отрицательно заряженных составляющих.

Каждому кварку соответствует антикварк, так что в структуру антинейтрона будут включены антикварки $\bar{u}\bar{d}\bar{d}$, несущие, соответственно, заряды минус две трети и два по плюс одна треть. В сумме снова нейтральность, но очевидно различие зарядовой структуры сравниваемых частиц. Отсюда становится понятна и нетождественность антиней-

трона и нейтрона, несмотря на одинаковость их общего *электрического* заряда.

Сразу же отметим, что входящие в состав протона пара кварков *uu*, и пара кварков *dd* – это пары *разноцветных* кварков, а в целом и протон и нейтрон являются бесцветными, или белыми.

Важным неотъемлемым свойством всех микрочастиц является наличие у них собственного механического (вращательного) момента, его называют спин (от английского *to spin* – вращать). Это свойство векторное, имеющее направление в пространстве. В трехчастичных структурах протона и нейтрона два спина компенсируют друг друга, так что эти частицы имеют общее суммарное спиновое число, равное $1/2$.

Группа элементарных частиц, относимых к семейству мезонов, имеет значение спинового квантового числа, равное нулю. Исходя из этого можно ожидать, что мезоны должны содержать две структурные составляющие, так что их спины будут направлены в противоположные стороны и скомпенсированы.

Как видно из данных табл. 6, мезоны могут нести целочисленные значения положительного и отрицательного зарядов. Но как построить модель мезонов только из двух кварков? Ясно, что целочисленные значения суммы при этом не могут быть достигнуты.

Гелл-Манн и Цвейг предложили кварковую модель мезонов строить из комбинаций «один кварк – один антикварк» (рис. 34).

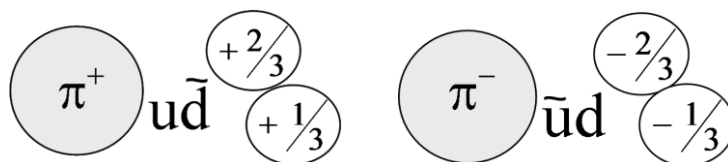


Рис. 34. Кварковые модели строения пи-мезонов

В этом случае легко получаются необходимые целочисленные электрические заряды, положительные и отрицательные.

Напомним, что антикварки имеют антицветовые заряды. Поэтому для достижения белого состояния, например для пи-плюс-мезона, вариант цветовых зарядов должен быть такой: «красный *u* кварк, антикрасный \bar{d} антикварк». Для модели нейтрального пи-мезона была предложена более сложная комбинация:

$$\pi^0 = u\bar{u} - d\bar{d}. \quad (14)$$

С точки зрения квантово-волновых представлений это возможно – как суперпозиция кварковых стоячих волн, знак минус может быть интерпретирован как сложение волн в противофазе.

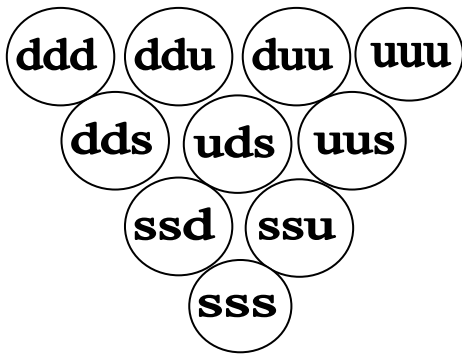


Рис. 35. Кварковые модели строения гиперонов

Очень изящно кварковая гипотеза объяснила наличие в мире элементарных частиц так называемого декуплета гиперонов (рис. 35). В центре группы находится гиперон, в состав которого входят три типа кварков. По вершинам группы расположены гипероны, построенные из кварков одного типа: либо d , либо u , либо s . Промежуточные комбинации расположены по сторонам треугольника.

Таким образом, гипотеза кварков имела несомненные успехи в теоретическом объяснении многих экспериментальных фактов. Тем не менее, по воспоминаниям Дж. Цвейга, она встретила недоверие такой степени, что один из видных физиков США назвал гипотезу кварков «выдумкой шарлатана».

Признать кварки реальными частицами, а не объектами комбинаторики дробей на бумаге, мешали психологические барьеры. Во-первых, это дробные заряды – непривычно и физикам, и химикам. Во-вторых, непривычное представление о суперпозиции структур (см. выражение 13). В-третьих, это так называемое невылетание кварков из составных частиц, их сильное удержание (пленение), при котором не было обнаружено следов одиночных кварков.

Последнее очень важно для экспериментаторов. Истинность научных гипотез проверяется на практике, гипотеза, по определению, – это научное предположение, выдвигаемое в форме научных понятий с целью связать различные эмпирические знания в единое целое либо выдвигаемое для объяснения какого-либо явления, фактов и требующее проверки на опыте для того, чтобы стать достоверной научной теорией.

Обычно новая частица открывалась при наблюдении ее следов (треков) в специальных камерах, по срабатыванию счетчиков или других способов регистрации индивидуального действия частицы на приборы. Реальны ли частицы, которые не создают индивидуального действия, индивидуальных треков и т. д.? Не впадают ли физики в мистицизм?

Признать кварки реальными частицами помогли опыты по рассеянию электронов очень высоких энергий (2000 МэВ) на протонах. Идеино опыты были похожи на рассеяние альфа-частиц на ядрах атомов (см. рис. 36), но в данном случае вместо одного ядра были три кварка.

Если положительный заряд равномерно распределен в протоне, то электроны столь высокой кинетической энергии будут рассеиваться

вперед и только под малыми углами. Если же в составе протона есть локальные, электрически заряженные составляющие, то возможно рассеяние на большие углы и назад.

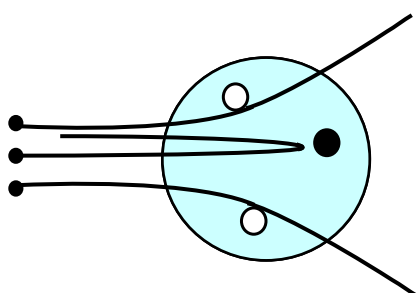


Рис. 36. Схема зондирования протонов электронами

Опыты, выполненные на ускорителе Стэнфордского университета, показали, что очень часто электроны рассеиваются на большие углы. В отличие от рассеяния на одном заряде в опытах Резерфорда, в данном случае рассеяние электрона происходило на трех точечных зарядах и вклады процессов рассеяния на каждом из них перекрывались. Поэтому только после тщательных измерений угловых и энергетических распределений рассеянных электронов удалось выделить вклады отдельных центров рассеяния и определить величину их зарядов. Заряды оказались дробными и соответствующими гипотезе кварков.

Существует и другая возможность проверки наличия кварков в составе нуклонов. Она связана с использованием нейтрино. Эти частицы могут легко проникать в протоны или нейтроны и реагировать с одним из кварков. В результате реакции с участием нейтрино могут рождаться электрон или мюон. А эти частицы заряжены отрицательно, и их легко можно идентифицировать в эксперименте. Исследования рассеяния нейтрино на нуклонах привели к выводам, полностью согласующимся с результатами опытов по рассеянию электронов на протонах. Только после этих решающих экспериментов кварки были признаны в естествознании как реально существующие в природе.

Первоначального количества кварков (трех) оказалось недостаточно для объяснения последующих результатов экспериментов в области высоких энергий сталкивающихся частиц, поэтому в настоящее время семейство включает шесть кварков (табл. 8).

Таблица 8

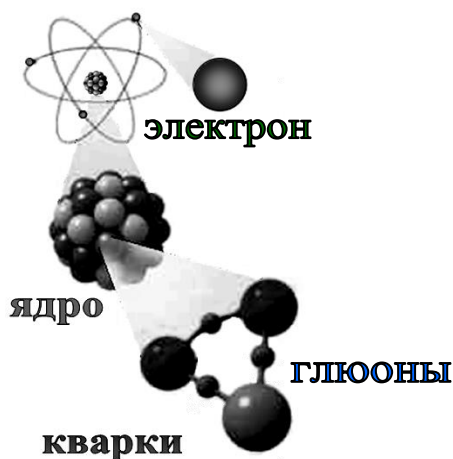
Семейство кварков

Название	Обозначение	Величина электрического заряда
Нижний	d	$-\frac{1}{3}$
Верхний	u	$+\frac{2}{3}$
Очарованный	c	$+\frac{2}{3}$
Странный	s	$-\frac{1}{3}$
Высший	t	$+\frac{2}{3}$
Прекрасный	b	$-\frac{1}{3}$

В течение почти сорока лет после появления гипотезы кварков в физике элементарных частиц полагали, что комбинации кварков и антикварков по три и два исчерпывают все возможности.

Однако, уже в XXI веке появились теоретические работы группы российских теоретиков, предсказавших возможность и других вариантов объединения кварков. В частности, П. Дьяконовым и его учениками были рассчитаны условия, при которых возможно появление элементарных частиц, состоящих из пяти кварков.

Эта комбинация отвечает своеобразной кварковой «молекуле», состоящей из одного мезона и одного бариона. Столь экзотическую возможность образования (правда, очень кратковременного) мезо-бариона подтвердили две группы исследователей – одна в США, другая в Японии. Ведутся поиски «молекул» из двух мезонов и двух барионов, так что история кварков продолжается и в наши дни.



В конечном счете схема организации структурных уровней вещества на уровне микромира приобрела вид, показанный на рис. 37.

Были предприняты попытки теоретически представить кварки составными системами и выделить в их составе некие дополнительные частицы, еще более элементарного уровня (например ришоны, стратоны, преоны и т. д.). Однако все усилия оказались безрезультатными. Поэтому семейства лептонов и кварков в настоящее время считают единственными представителями фундаментальных частиц вещества. Из них построено все

остальное разнообразие объектов микромира.

3.3. Кварк-глюонные взаимодействия в квантовой хромодинамике

Кварковая теория хорошо описывает возможные типы и относительное количество элементарных частиц, рождаемых в виде «струй» или «ливней» на мощных ускорителях. Тем больше было изумление физиков, когда удалось рассчитать величины импульсов кварков в быстро движущемся протоне при его рассеянии на других протонах.

Сумма импульсов кварков составляла всего около половины полного импульса протона!

На основании закона сохранения импульса, который должен выполняться и в микромире, пришлось признать, что, кроме кварков, в составе протона должны быть и другие частицы. Они не имеют электрического заряда, так как не оказывают влияние на движение электронов при зондировании протонов (см. рис. 35), и не реагируют с нейтрино. Новые частицы были названы *глюонами* (от английского *glue*), что означает клей.

Развитие кварковой теории показало, что именно глюоны осуществляют связывание кварков в адроны – сильно взаимодействующие частицы (см. рис. 37). *Глюоны являются частицами-квантами глюонного поля*. В это поле оказываются «погружены» кварки, и оно удерживает кварки от вылетания из составных элементарных частиц.

Позже было установлено, что глюоны несут цветовой заряд, как и кварки. На этом основании их иногда образно называют окрашенными фотонами, поскольку они играют для кварков ту роль, которую фотоны играют по отношению к электронам. В отличие от нейтральных по электрическому и цветовому зарядам фотонов, глюоны могут взаимодействовать не только с кварками, но и между собой.

Теория кварк-глюонного взаимодействия получила название квантовой хромодинамики, по аналогии с квантовой электродинамикой (*хром* в дословном переводе с греческого языка означает *цвет*).

В квантовой электродинамике взаимодействие свободных электронов между собой поясняют с помощью диаграммы Фейнмана (рис. 38). Один из электронов испускает фотон и получает импульс отдачи (на макроуровне Вы можете почувствовать эффект отдачи при стрельбе из ружья). Другой электрон поглощает фотон и получает его импульс, что приводит к отклонению траектории движения. Вследствие тождественности электронов нельзя сказать, кто из них испускает, а кто поглощает виртуальный фотон.

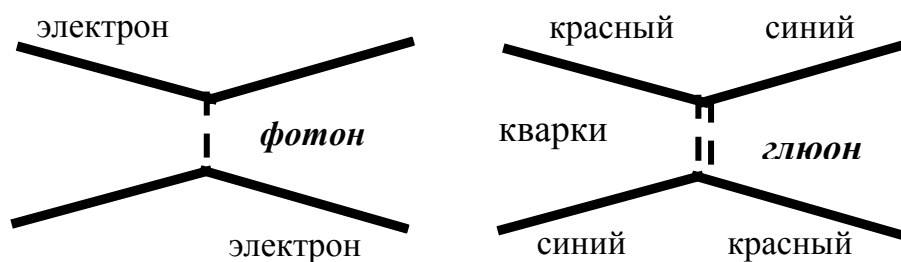


Рис. 38. Диаграммы Фейнмана

В квантовой хромодинамике взаимодействие происходит посредством передачи цветового заряда. Один из кварков испускает глюон и изменяет свой цветовой заряд (например, с красного на синий). Другой кварк поглощает глюон и тоже меняет свой цвет (с синего на красный).

Чтобы осуществить изменение двух цветов, сам глюон должен быть *двухцветным*. А именно, он должен нести один цвет и один антицвет.

Выше мы говорили, что сумма цвет + антицвет дает нейтральное белое состояние. Когда же из белого состояния уносится антицвет, то должен остаться соответствующий ему цвет. Поэтому глюон, одновременно унося красный и антисиний цветовые заряды, оставляет кварк в состоянии синего цветового заряда.

Кваркам трех цветов соответствуют восемь разных по цветовым состояниям глюонов.

«Перекрашивание» кварков создает взаимодействие с энергией, на многие порядки величины превосходящей энергию ядерных сил и, тем более, сил кулоновского взаимодействия электрических зарядов. В табл. 9 приведены порядки величин энергии взаимодействия на различных уровнях организации вещества.

Таблица 9

Сопоставление энергий связей

Уровни энергии в системе	Энергия взаимодействия, эВ
Внутри молекул	1
Внутри атома	до 10^4
Внутри ядра атома	до 10^8
Внутри нуклонов	до 10^{23}

Как видно по данным табл. 9, хромодинамические силы кварк-глюонных взаимодействий являются самыми большими из всех наблюдаемых в настоящее время сил в природе. Их энергия недоступна человеку.



Рис. 39. Три поколения фундаментальных частиц

Необходимо отметить, что различные варианты хромодинамического описания микромира приводили к различным ограничениям на число поколений фундаментальных частиц. Проверку экспериментом выдержал вариант с тремя поколениями, приведенными на рис. 39.

Здесь первое поколение частиц (включающее электрон) имеет наимень-

шие значения для масс входящих в него частиц, а поколение с таоном – наибольшие. Промежуточные значения наблюдаются для поколения частиц с мюоном.

Таким образом, система фундаментальных, действительно элементарных частиц (самых маленьких кубиков микромира) состоит из шести кварков и шести лептонов. С учетом античастиц общее число частиц становится равным 24. Такого минимального многообразия достаточно для построения на более высоких масштабных уровнях сложных систем с различающимися составами и свойствами.

Завершая краткое изложение результатов квантовой хромодинамики, отметим, что в ее рамках не удалось ответить на вопрос: «Почему в природе наблюдаются именно данные значения масс, электрических и цветовых зарядов фундаментальных частиц?». Несколько забега вперёд, скажем, что на этот вопрос дает ответ теория многомерных струн (см. раздел хрестоматии к данной главе). Идея объяснения состоит в том, чтобы не искать еще один уровень лестницы микрочастиц вещества, уходящий вглубь, а представить имеющийся спектр фундаментальных частиц как различные проявления одной общей сущности (рис. 40).



Рис. 40. Моды стоячих волн на одной и той же струне

В качестве таковой выступают замкнутые струны в многомерном (11 измерений!) пространстве. Различные варианты стоячих волн на таких струнах, размеры которых имеют порядок 10^{-34} м, выглядят в проекции на трехмерное пространство как различные поколения фундаментальных частиц. Рассмотрение этой проблемы мы продолжим после обсуждения в следующей главе свойств пространства и времени.

3.4. Системно-элементный метод моделирования в науке

Содержание предыдущих параграфов главы 3 может служить иллюстрацией того, как в науке используется системно-элементный метод моделирования «устройства» природы. Суть этого метода, или подхода к изучению какого-либо объекта естествознания, заключается в том, чтобы представить предмет изучения с двух точек зрения.

Во-первых, как систему, содержащую в себе совокупность элементов, как правило, меньшего масштабного уровня.

Во-вторых, тот же предмет представить в качестве бесструктурного элемента системы большего масштабного уровня.

При этом возникает модель соподчинения подсистем в систему, которую называют иерархией уровней организации, т. е. модель связей нижних уровней с верхними. Подобные модели дают представление о том, из чего построена конкретная система и каковы связи между элементами-подсистемами.

Выбор точки зрения зависит от уровня действующих на предмет исследования сил или потоков энергии. Если они не вскрывают внутренние связи в системе, то она может считаться однородной и не имеющей в себе каких-то составляющих.

Приведем пример. В химических реакциях участвуют внешние, валентные уровни электронных оболочек атомов. При этом строение ядер не имеет значения, достаточно считать их однородными, положительно заряженными шариками очень малых размеров.

Другой пример. Во многих ядерных реакциях можно пренебрегать внутренним строением протонов и нейтронов. Состав ядра в этих случаях определяется по положению элемента в периодической системе Д.И. Менделеева. Порядковый номер элемента покажет число протонов в ядре (и соответственно число электронов). Так как массы протона и нейтрона отличаются незначительно, число нейтронов определится разностью величин атомной массы (выраженной в относительных единицах массы) и порядковым номером элемента.

В других обстоятельствах, например при исследовании структуры молекул, особенно органических, необходимо знать не только из каких атомов состоит молекула, но и как именно они расположены в пространстве. Различная конфигурация атомов в изомерах (молекулах с одинаковым составом) приводит к различной в химической активности изомеров.

Производя последовательно декомпозицию сложной системы на подсистемы, мы в определенной мере стремимся к упрощению описания сложной системы через введение более простых частей. Это так называемый редукционизм, который не всегда оправдан в естествознании. Более того, как следует из описанных выше структурных уровней организации микромира, уровень сложности атома не становится меньше, чем для молекулы, сложность ядра не уступает сложности самого атома, тем более сложным является уровень кварков. Поэтому классическая парадигма простого устройства природы по принципу «То, что находится внизу, подобно тому, что находится вверху» в современном естествознании сменяется другой – ее можно назвать фрактальной парадигмой. В ее рамках (см. определение парадигмы) фрактальность объектов природы (самоподобие структур при изменении

пространственных масштабов) понимается как *сохранение сложности* подсистем при переходе от одного уровня организации микромира к другому.

Задания для самостоятельной работы

1. Изобразите в рабочей тетради планетарную модель для атома антиводорода.
2. Приведите варианты наборов цветовых зарядов трех кварков для модели строения нейтрона (см. рис. 33). Сколько вариантов Вы сможете получить? Попробуйте найти это число рассуждениями.
3. Определите величину электрического заряда для гиперонов, расположенных на кварковой схеме (см. рис. 35) по углам треугольника и в его центре.
4. Каким значением квантового спинового числа должен обладать пентакварк (мезобарион)?
5. Приведите пример декомпозиционной модели структуры какой-либо организации (производственной, сервисной или общественной).
6. Почему можно сказать, что естествознание является культурой моделирования?
7. Какие цветовые заряды должен нести испускаемый глюон, чтобы зеленый кварк «перекрашивался» в красный?