Введение

Элементарными называют частицы, у которых на данный момент не обнаружено внутренней структуры. Еще в прошлом веке элементар­ными частицами считались атомы. Их внут­ренняя структура — ядра и электроны — была обнаружена в начале XX в. в опытах Э. Резерфорда. Размер атомов — около 10 -8 см, ядер — в десятки тысяч раз меньше, а размер электронов совсем мал. Он меньше чем 10 -16 см, как это следует из современных тео­рий и экспериментов.

Таким образом, сейчас электрон — элемен­тарная частица. Что касается ядер, то их внутренняя структура обнаружилась вскоре после их открытия. Они состоят из нукло­нов — протонов и нейтронов. Ядра довольно плотные: среднее расстояние между нуклонами всего в несколько раз больше их собственного размера. Для того чтобы выяснить, из чего состоят нуклоны, понадобилось около полуве­ка, правда, при этом заодно появились и были разрешены и другие загадки природы.

Нуклоны состоят из трех кварков, которые элементарны с той же точностью, что и элек­трон, т. е. их радиус меньше 10-16 см. Радиус нуклонов — размер области, занимаемой квар­ками, — около 10-13см. Нуклоны принадлежат к большому семейству частиц — барионов, составленных из трех различных (или одина­ковых) кварков. Кварки могут по-разному связываться в тройки, и это определяет раз­личия в свойствах бариона, например, он может иметь различный спин.

Кроме того, кварки могут соединяться в пары - мезоны, состоящие из кварка и антикварка. Спин мезонов принимает целые значения, в то время как для барионов он при­нимает полуцелые значения. Вместе барионы и мезоны называются адронами.

В свободном виде кварки не найдены, и сог­ласно принятым в настоящее время представ­лениям они могут существовать только в виде адронов. До открытия кварков некоторое время адроны считались элементарными частицами (и такое их название еще довольно часто встре­чается в литературе).

Первым экспериментальным указанием на составную структуру адронов были опыты по рассеянию электронов на протонах на линейном ускорителе в Станфорде (США), которые мож­но было объяснить, лишь предположив наличие внутри протона каких-то точечных объектов.

Вскоре стало ясно, что это — кварки, существо­вание которых предполагалось еще ранее тео­ретиками.

Здесь представлена таблица современных элементарных частиц. Кроме шести видов квар­ков (в опытах пока проявляются только пять, но теоретики предполагают, что есть и шестой) в этой таблице приведены лептоны — частицы, к семье которых принадлежит и электрон. Еще в этой семье обнаружены мюон и (совсем не­давно) -лептон. У каждого из них есть свое нейтрино, так что лептоны ес­тественным образом разбиваются на три пары е, е; , ;, .

Каждая из этих пар объединяется с соответ­ствующей парой кварков в четверку, которая называется поколением. Свойства частиц повторяются из поколения в поколение, как это видно из таблицы. Отличаются лишь массы. Второе поколение тяжелее первого, а третье по­коление тяжелее второго.

В природе встречаются в основном частицы первого поколения, а остальные создаются искусственно на ускорителях заряженных час­тиц или при взаимодействии космических лучей в атмосфере.

Кроме имеющих спин 1/2 кварков и лептонов, вместе называемых частицами ве­щества, в таблице приведены частицы со спином 1. Это кванты полей, создаваемых час­тицами вещества. Из них наиболее известная частица — фотон, квант электромагнитного поля.

Так называемые промежуточные бозоны W+ и W- , обладающие очень большими массами, были недавно обнаружены в экспериментах на встречных р-пучках при энергиях в несколь­ко сотен ГэВ. Это переносчики слабых взаимо­действий между кварками и лептонами. И на­конец, глюоны — переносчики сильных взаимодействий между кварками. Как и сами квар­ки, глюоны не обнаружены в свободном виде, но проявляются на промежуточных стадиях реакций рождения и уничтожения адронов. Недавно были зарегистрированы струи адронов, порожденные глюонами. Поскольку все пред­сказания теории кварков и глюонов — кван­товой хромодинамики — сходятся с опытом, почти нет сомнений в существовании глюонов.

Частица со спином 2 — это гравитон. Его существование вытекает из теории тяготе­ния Эйнштейна, принципов квантовой механики и теории относительности. Обнаружить грави­тон экспериментально будет чрезвычайно трудно, поскольку он очень слабо взаимодействует с веществом.

Наконец, в таблице со знаком вопроса приве­дены частицы со спином 0 (Н-мезоны) и 3/2 (гравитино); они не обнаружены на опы­те, но их существование предполагается во многих современных теоретических моделях.

**Адроны**

Адроны — общее название для частиц, участ­вующих в сильных взаимодействиях. Название происходит от греческого слова, означающего «сильный, крупный». Все адроны делятся на две большие группы — мезоны и барионы.

**Барионы**

Барионы (от греческого слова, означающего «тяжелый») — это адроны с полуце­лым спином . Самые известные барионы — протон и нейтрон. К барионам принадлежит также ряд частиц с квантовым числом, названным когда-то странно­стью. Единицей странности обладают барион лямбда и семейство барионов сигма. Индексы +, - ,0 указывают на знак электрического заряда или нейтральность частицы. Двумя единицами странности обла­дают барионы кси. Барион имеет странность, равную трем. Массы перечисленных барионов примерно в полтора раза больше массы протона, а их характерное время жизни составляет около 10-10 с. Напомним, что протон практически стабилен, а нейтрон живет более 15 мин. Казалось бы, более тяжелые барионы очень недолговечны, но по масштабам микро­мира это не так. Такая частица, даже двига­ясь относительно медленно, со скоростью, скажем, равной 10% от световой скорости, успевает пройти путь в несколько миллиметров и оста­вить свой след в детекторе элементарных час­тиц. Одним из свойств барионов, отличающих их от других видов частиц, можно считать наличие у них сохраняющегося барионного за­ряда. Эта величина введена для описания опытного факта постоянства во всех извест­ных процессах разности между числом барио­нов и антибарионов.

**Протон**

Протон — стабильная частица из класса адронов, ядро атома водорода. Трудно ска­зать, какое событие следует считать откры­тием протона: ведь как ион водорода он был известен уже давно. В открытии протона сыграли роль и создание Э. Резерфордом планетарной модели атома (1911), и откры­тие изотопов (Ф. Содди, Дж. Томсон, Ф. Астон, 1906—1919), и наблюдение ядер водорода, выбитых альфа-частицами из ядер азота (Э. Резерфорд, 1919). В 1925 г. П. Блэкетт получил в камере Вильсона (см. Детекторы ядерных излучений) первые фотографии следов протона, подтвердив открытие искусственного превра­щения элементов. В этих опытах -частица захватывалась ядром азота, которое испускало протон и превращалось в изотоп кислорода.

Вместе с нейтронами протоны образуют атомные ядра всех химических элементов, причем число протонов в ядре определяет атом­ный номер данного элемента. Протон имеет положительный электрический заряд, равный элементарному заряду, т. е. абсолютной величине заряда электрона. Это проверено на эксперименте с точностью до 10-21. Масса протона mp = (938,2796 ± 0,0027)МэВ или ~ 1,6-10-24 г, т. е. протон в 1836 раз тяжелее электрона! С современ­ной точки зрения протон не является истин­но элементарной частицей: он состоит из двух u-кварков с электрическими зарядами +2/3 (в единицах элементарного заряда) и одного d-кварка с электрическим зарядом -1/3. Кварки связаны между собой обменом другими гипотетическими частицами — глюонами, квантами поля, переносящего сильные взаимо­действия. Данные экспериментов, в которых рассматривались процессы рассеяния электро­нов на протонах, действительно свидетельству­ют о наличии внутри протонов точечных рас­сеивающих центров. Эти опыты в определенном смысле очень похожи на опыты Резерфорда, приведшие к открытию атомного ядра. Будучи составной частицей, протон имеет конечные размеры ~ 10-13 см, хотя, разумеется, его нель­зя представлять как твердый шарик. Скорее, протон напоминает облако с размытой грани­цей, состоящее из рождающихся и аннигили­рующих виртуальных частиц.

Протон, как и все адроны, участвует в каж­дом из фундаментальных взаимодействий. Так. сильные взаимодействия связывают протоны и нейтроны в ядрах, электромагнитные взаимо­действия — протоны и электроны в атомах. Примерами слабых взаимодействий могут слу­жить бета-распад нейтрона или внутриядерное превращение протона в нейтрон с испусканием позитрона и ней­трино (для свободного про­тона такой процесс невозможен в силу закона сохранения и превращения энергии, так как нейтрон имеет несколько большую массу). Спин протона равен 1/2. Адроны с полу­целым спином называются барионами ( от греческого слова, означающего «тяжелый»). К барионам относятся протон, нейтрон, раз­личные гипероны и ряд частиц с новыми квантовыми числами, большинство из которых еще не открыто. Для характеристики барионов введено особое число — барионный заряд, равный 1 для барионов, - 1 — для антибарионов и О — для всех прочих частиц. Барионный заряд не является источником барионного поля , он введен лишь для описания закономерностей, наблюдавшихся в реакциях с частицами. Эти закономерности выражаются в виде закона сохране­ния барионного заряда: разность между числом барионов и антибарионов в системе сохраняется в любых реакциях. Сох­ранение барионного заряда делает невозмож­ным распад протона, ибо он легчайший из барионов. Этот закон носит эмпирический ха­рактер и, безусловно, должен быть проверен на эксперименте. Точность закона сохранения барионного заряда характеризуется стабиль­ностью протона, экспериментальная оценка для времени жизни которого дает значение не меньше 1032 лет.

В то же время в теориях, объединяющих все виды фундаментальных взаимодействий, предсказываются процессы, приводящие к нарушению барион­ного заряда и к распаду протона. Время жизни протона в таких теориях указывается не очень точно: примерно 1032±2 лет. Это время огромно, оно во много раз больше времени существования Вселенной ( ~ 21010 лет). Поэтому протон практически стабилен, что сделало возможным образова­ние химических элементов и в конечном итоге появление разумной жизни. Однако поиски распада протона представляют сейчас одну из важнейших задач экспериментальной физи­ки. При времени жизни протона ~ 1032 лет в объеме воды в 100 м3 (1 м3 содержит ~ 1030 протонов) следует ожидать распада одного протона в год. Остается всего лишь зарегистрировать этот распад. Открытие распада протона станет важным шагом к правильному пониманию единства сил природы.

**Нейтрон**

Нейтрон — нейтральная частица, относящаяся к классу адронов. Открыт в 1932 г. английским физиком Дж. Чедвиком. Вместе с протонами нейтроны входят в состав атомных ядер. Электрический заряд нейтрона qn равен нулю. Это подтверждается прямыми измерениями заряда по отклонению пучка нейтронов в силь­ных электрических полях, показавшими, что |qn| <10-20e (здесь е — элементарный элек­трический заряд, т. е. абсолютная величина заряда электрона). Косвенные данные дают оценку |qn|< 210-22 е. Спин нейтрона равен 1/2. Как адрон с полуцелым спином, он относит­ся к группе барионов. У каждого бариона есть античастица; анти­нейтрон был открыт в 1956 г. в опытах по рассеянию антипротонов на ядрах. Антинейт­рон отличается от нейтрона знаком барионного заряда; у нейтрона, как и у протона, барионный заряд равен +1.

Как и протон и прочие адроны, нейтрон не является истинно элементарной частицей: он состоит из одного u-кварка с электрическим зарядом +2/3 и двух d-кварков с зарядом - 1/3, связанных между собой глюонным по­лем.

Нейтроны устойчивы лишь в составе стабиль­ных атомных ядер. Свободный нейтрон — нестабильная частица, распадающаяся на протон (р), электрон (е-) и электронное анти­нейтрино. Время жизни нейтрона составляет (917 14) с, т. е. около 15 мин. В веществе в свободном виде нейтроны существуют еще меньше вследствие сильного поглощения их ядрами. Поэтому они возникают в природе или получаются в лаборатории только в резуль­тате ядерных реакций.

По энергетическому балансу различных ядерных реакций определена величина раз­ности масс нейтрона и протона: mn-mp(1,29344 ±0,00007) МэВ. Из сопоставления ее с массой протона получим массу нейтрона: mn = 939,5731 ± 0,0027 МэВ; это соответствует mn ~ 1,6-10-24 .

Нейтрон участвует во всех видах фундамен­тальных взаимодействий. Сильные взаимодействия связывают нейтроны и протоны в атомных ядрах. Пример слабого взаимодействия — бета-распад нейт­рона.

Участвует ли эта нейтральная частица в электромагнит­ных взаимодействиях? Нейтрон обладает внутренней структурой, и в нем при общей нейтральности существуют электрические токи, приводящие, в частности, к появлению у нейтрона магнитного момента. Иными словами, в магнитном поле нейтрон ведет себя подобно стрелке компаса. Это лишь один из примеров его электромагнитного взаимодействия. Большой интерес приобрели поиски дипольного электрического момента нейтрона, для которого была получена верхняя граница. Здесь самые эффективные опыты удалось поставить ученым Ленинградского института ядерной физики АН СССР; поиски дипольного момента нейтронов важны для понимания механизмов нарушения инвариантности относительно обращения времени в микропроцессах.

Гравитационные взаимодействия нейтронов наблюдались непосредственно по их падению в поле тяготения Земли.

Сейчас принята условная классифика­ция нейтронов по их кинетической энергии:

медленные нейтроны (<105эВ, есть много их разновидностей), быстрые нейтроны (105108эВ), высокоэнергичные (> 108эВ). Весьма интерес­ными свойствами обладают очень медленные нейтроны

(10-7эВ), которые получили название ультрахолодных. Оказалось, что ультрахолодные нейтроны можно накапливать в «магнитных ловушках» и даже ориентировать там их спины в определенном направлении. С помощью магнитных полей специальной конфигурации ультрахолодные нейтроны изолируются от поглощающих стенок и могут «жить» в ловушке, пока не распадутся. Это позволяет проводить многие тонкие экспери­менты по изучению свойств нейтронов. Другой метод хранения ультрахолодных нейтронов основан на их волновых свойствах. Такие нейтроны можно просто хранить в замкнутой «банке». Эта идея была высказана советским физиком Я. Б. Зельдовичем в конце 1950-х гг., и первые результаты были получены в Дубне в институте ядерных исследований спустя почти десятилетие.

Недавно ученым удалось построить сосуд, в котором ультрахолодные нейтроны живут до своего естественного распада.

Свободные нейтроны способны активно взаимодействовать с атомными ядрами, вызывая ядерные реакции. В результате взаимодействия медленных нейтронов с веществом можно наблюдать резонансные эффекты, дифракционное рассеяние в кристаллах и т. п. Благодаря этим своим особенностям нейтроны широко используются в ядерной физике и физике твердого тела. Они играют важную роль в ядерной энергетике, в производстве транс­урановых элементов и радиоактивных изотопов, находят практическое применение в химическом анализе и в геологической разведке.

**Мезоны**

Мезоны — адроны с целым спином Название произошло от греческого слова, озна­чающего «средний, промежуточный», поскольку массы первых открытых мезонов имели промежуточные зна­чения между массами протона и электрона. Барионный заряд мезонов равен нулю. Лег­чайшие из мезонов — пионы, или пи-мезоны. Их массы примерно в 6—7 раз меньше массы протона.. Более массивны стран­ные мезоны — каоны K+, К- и К°. Их массы почти в два раза меньше массы протона. Ха­рактерное время жизни этих мезонов — 10-8 с.

Почти все адроны имеют античастицы. Так, барион сигма—минус имеет античастицу антисигма—плюс , которая отлична от. То же самое можно сказать и о других барионах. С мезонами дело обстоит несколько иначе: отрицательный пион — античастица положи­тельного пиона, а нейтральный пион античасти­цы вообще не имеет, поскольку является анти­частицей сам себе. В то же время нейтральный каон K° имеет античастицу К`°. Эти факты получают объяснение в кварковой модели адронов.

Мир адронов огромен — он включает более 350 частиц. Большинство их очень нестабиль­ны: они распадаются на более легкие адроны за время порядка 10–23c. Это — характерное время сильных взаимодействий; за столь ко­роткий интервал даже свет успевает пройти расстояние, равное всего лишь радиусу прото­на (10-13 см). Ясно, что столь короткоживущие частицы не могут оставить следов в детекторах. Обычно их рождение обнаруживают то косвенным признакам. Например, изучают реакцию аннигиляции электронов и позитронов с последующим рождением адронов. Изменяя энергию столкновения электронов и позитронов, обнаруживают, что при каком-то значении энергии выход адронов вдруг резко увеличивается. Данный факт можно объяснить тем, что в промежуточном состоянии родилась частица, масса которой равна соответствующей энергии (с точностью до множителя с2). Эта частица мгновенно распадется на другие адроны, и единственным следом ее появления остается пик на графике зависимости вероятности рождения адронов от энергии столкновения.

Такие короткоживущие частицы называют резонансами. Большинство барионов и мезонов — резонансы. Они не оставляют «автографов» в камерах и на фотографиях, и все же физикам удается изучать их свойства: определять массу, время жизни, спин, четность, способы распада и т. п.

По современным представлениям адроны не являются истинно элементарными частицами. Они имеют конечные размеры и сложную структуру. Барионы состоят из трех кварков. Соответственно антибарион состоит из трех антикварков и всегда отличен от бариона. Мезоны построены из кварка и антикварка. Ясно, что мезоны, в состав которых входят пары из кварков и антикварков одного сорта, не будут иметь античастиц. Кварки удержи­ваются внутри адронов глюонным полем. В принципе теория допускает существование других адронов, построенных из большего числа кварков или, наоборот, из одного глюонного поля. В послед­нее время появились некоторые эксперимен­тальные данные о возможном существовании таких гипотетических частиц. Динамическая теория кварков, описываю­щая их взаимодействия, стала развиваться относительно недавно. Первоначально кварковая модель была предложена для «наведения порядка» в слишком многочисленном семействе адронов. Эта модель включала кварки трех видов, или, как принято говорить, арома­тов. С помощью кварков удалось навести порядок в многочисленном семействе адронов, распределив их в группы частиц, называемые мультиплетами. Частицы одного мультиплета имеют близкие массы, но не только это послужило основой их классификации; кроме опытных данных в этом случае исполь­зовали специальный математический аппарат теории групп.

В дальнейшем оказалось, что трех кварковых ароматов недостаточно для описания всех адронов. В 1974 г. были открыты так называе­мые пси-мезоны, состоящие из кварка и анти­кварка нового вида (сс). Этот аромат был наз­ван очарованием. Новый очарованный кварк с оказался гораздо тяжелее своих «соб­ратьев»: легчайшая из пси-частиц — мезон J/ — имеет массу 3097 МэВ, т. е. в 3 раза тяжелее протона. Время ее жизни около 10 -20с. Было открыто целое семейство пси-мезонов с тем же кварковым составом cc , но находящих­ся в возбужденных состояниях и вследствие этого имеющих большие массы.

**Лептоны**

Лептоны — группа частиц, не участвующих в 1 сильном взаимодействии (название происходит от греческого слова «лептос» — «легкий»).

Все лептоны имеют спин 1/2. Различают заряженные лептоны — электрон е -, мюон  -, тяжелый лептон - и соответствующие античастицы е +,  + и  + и нейтральные – различного рода нейтрино.

Первым из заряженных лептонов был открыт электрон — в 1897 г. английским ученым Дж. Дж. Томсоном . Его античастица— позитрон — была найдена в 1932 г. в космических лучах американским физиком К. Андерсоном. В 1936 г. также при излучении космических лучей были обнаружены мюоны (К. Андерсон и С. Неддермейер). Сначала произошла маленькая путаница: мюоны попытались отождествить с частицей, которая, согласно теории японского физика X. Юкавы, переносила сильные взаимодействия. Вскоре, впрочем, выяснилось, что к сильным взаимодействиям мюон отношения не имеет (частицами, предсказанными Юкавой, оказались открытые в 1947 г. л-мезоны). И тогда возникла загадка мюона. Дело в том, что мюон удивительно похож на электрон: у них одинаковый электрический заряд, спин, оба

они участвуют лишь в слабых и электромагнитных взаимодействиях, причем аналогичным образом. Единственное видимое их отличие заключается в массе: мюон в 206,8 раза тя­желее электрона (современное значение его массы = 105,65943 МэВ/с2 1,88- 10 –25 г).

Из-за большей величины массы мюон утерял стабильность, время его жизни 2,2 • 10 -6 с.

Электрон стабилен, так как ему просто не на что распадаться. Действительно, из-за со­хранения электрического заряда распад элек­трона был бы возможен только с испусканием более легких заряженных частиц, но о сущест­вовании таких частиц до сих пор ничего не известно. Если бы закон сохранения заряда не являлся вполне точным законом природы, то электрон мог бы распасться, например, на нейтрино и фотон. Поиски таких распадов, однако, не увенчались успехом и по­казали, что время жизни электрона, по крайней мере, больше чем 1022 лет (для сравнения: наша Вселенная существует «всего» около 2 • 10 -10 лет). Поэтому в современных теориях электрон считается стабильной частицей. Заметим все же, что экспериментальные пределы для вре­мени жизни протона выглядят еще внушитель­нее (не менее 1032 лет), но теории, в которых он может распадаться, в последнее время стали очень популярны.

С распадом мюона дело обстоит проще, он может распадаться и в действительности распадается на электрон и пару нейтрино раз­ных сортов:  - е - + е`+  . За этот распад ответственны слабые взаимодействия. Экспе­риментальное значение времени жизни мюона хорошо согласуется с теоретическими расчета­ми. Разумеется, аналогичным образом про­исходит и распад положительно заряженно­го мюона:

Не успев еще разобраться в загадке мю­она, физики открыли третий заряженный леп­тон  (тау - лептон). Он был обнаружен в 1975 г. в опытах на встречных электрон-позитронных пучках в Станфорде (США) группой физиков во главе с М. Перлом при аннигиляции электрона и позитрона очень больших энергий. Тяжелый тау-лептон имеет массу почти в 3500 раз большую, чем масса электрона (me~1784 МэВ/с2). Он даже почти в 2 раза тяжелее протона. Время жизни -лептона с достаточ­ной точностью было измерено лишь в 1981 г.— 3,4 • 10 -13 с. Такое время жизни показывает, что слабые взаимодействия -лептонов очень похожи на слабые взаимодействия электронов и мюонов (следует иметь в виду, что чем тя­желее частица, тем быстрее, при прочих оди­наковых условиях, она распадается на более легкие. Име­ющиеся данные позволяют утверждать, что и в остальном -лептон подобен электрону и мюону.

Заряженные лептоны объединены еще одним свойством: в современных теориях все они представляются точечными объектами, не имеющими, в отличие от адронов, внут­ренней структуры. Эксперименты на самых мощных ускорителях при максимально дости­жимых в настоящее время энергиях показы­вают, что это справедливо, по крайней мере, вплоть до расстояний 10 -16 см.

Наблюдая за реакциями с участием лептонов, ученые обнаружили, что всегда остается постоянной разность числа лептонов и антилептонов. Для описания этого свойства ввели особое квантовое число — лептонный за­ряд L, условно приписав значение L = 1 от­рицательно заряженным лептонам и сопутст­вующим им нейтрино, а значение L.= -1 - их античастицам. Тогда указанное явление сво­дится к закону сохранения лептонного заряда. Позднее установили, что электронное и мюонное нейтрино не тож­дественны друг другу, и пришлось ввести раз­личные, сохраняющиеся независимо лептонные заряды. По-видимому, сущест­вует и третий тип лептонного заряда, связан­ный с тяжелым лептоном и его нейтрино.

Пока не наблюдалось случаев нарушения закона сохранения лептонного заряда. Скажем, этот закон запрещает безнейтринные распады мюона. Отношение вероятностей запрещенного и обычного рас­падов мюона оценивалось в экспериментах и оказалось меньшим 10 -9—10 –10. Поиск за­прещенных распадов представляет большой интерес, так как не исключена возможность обнаружения несохранения лептонного заряда. Следует подчеркнуть, что лептонный заряд не является источником какого-то «лептонного» поля, а введен исключительно для объяснения наблюдаемых на опыте закономерностей реак­ций с участием лептонов.

Появившиеся в последнее время теории, ос­нованные на представлениях о единстве сил природы, предсказывают неустойчивость про­тона и одновременно нарушение сохранения лептонного заряда. В чем же заключается причина существова­ния разных типов лептонов с близкими свойст­вами и сильно различающимися массами? Какова природа лептонных зарядов? И нет ли еще других, пока что неизвестных нам лептонов? Сейчас на эти вопросы еще нет ответа. Решение их связано не только с лептонами, но и с другими истинно элементарными частицами—кварками, представляющими собой основные структурные элементы мира сильновзаимодействующих частиц. Кварки сильно различаются по массам и обладают своими специфическим «зарядами». Пары кварков объединяются вместе с парами лептонов (заряженным лептоном и соответствующим нейтрино) в так называемые поколения элементарных частиц. Многие свойства частиц повторяются из поколения в поколение, а массы поколений сильно различаются между собой: второе поколение ( в него входят мюоны) тяжелее первого (с электронами), а третье поколение (включающее -лептоны) тяжелее второго. Исследования многих загадок этих поколений еще только начинаются.

**Электрон**

Электрон –отрицательно заряженная элементарная частица, носитель наименьшей известной массы и наименьшего электрического заряда в природе. Открыт в 1897 г. английским ученым ДЖ. Дж. Томсоном.

Электрон – составная часть атома, число электронов в нейтральном атоме равно атомному номеру, т.е. числу протонов в ядре.

Первые точные измерения заряда электрона провел в 1909-1913 гг. американский физик Р. Милликен. Современное значение абсолютной величины элементарного заряда составляет

е =(4,8032420, 000014)10-10 или примерно 1,610-19 Кл. считается, что этот заряд действительно «элементарен», т. е. он не может быть разделен на части, а заряды любых объектов являются его целыми кратными. Вместе с постоянной Планка Н и скоростью света с элементарный заряд образует безразмерную постоянную = е2/ hc ~ 1/ 137. Посто­янная тонкой структуры — один из важнейших параметров квантовой электродинамики, она определяет интенсив­ность электромагнитных взаимодействий. Масса электрона mе = (9,109534 ± 0,000047)10-28 г (в энергетических едини­цах ~0,5МэВ/с2). Если справедливы зако­ны сохранения энергии и электрического заря­да, то запрещены любые распады электрона. Поэтому электрон стабилен; экспериментально получено, что время его жизни не менее 1022 лет.

В 1925 г. американские физики С. Гаудсмит и Дж. Уленбек для объяснения особенностей атомных спектров ввели внутренний момент количества движения электрона — спин (s). Спин электрона равен половине постоянной Планка (Н — 1,05510-34 Дж/с), но физики обычно говорят просто, что спин электрона равен 1/2:5 = 1/2. Со спином электрона свя­зан его собственный магнитный момент. Магнитный момент электрона должен был равняться в точности одному магнетону Бора.

Однако в 1947 г. в опытах было обнару­жено, что магнитный момент примерно на 0,1% больше магнетона Бора. Объяснение этого факта было дано с учетом поляризации вакуума в квантовой электродинамике. Весьма трудоемкие вычисления дали теорети­ческое значение gе = 2(1,001159652460 ± 0,000000000148), которое можно сравнить с экспериментальными данными: для электрона gе = 2-(1,001159652200 ± 0,000000000040) и позитрона gе = 2• (1,(Ю 1159652222 ± 0,000000000050). Величины вычислены и измерены с точностью до двенадцати знаков после запятой, причем точность экспериментальных работ вышеточности теоретических расчетов. Это самые точные измерения в физике элементарных частиц.

Особенностями движения электронов в атомах, подчиняющегося уравнениям кванто­вой механики, определяются оптические, электрические, магнитные, химические и меха­нические свойства веществ.

Электроны участвуют в электромагнитных, слабых и гравитационных взаимодействи­ях.

Слабые взаимодействия электронов про­являются, например, в процессах с несохра­нением в атомных спектрах или в реакциях между электронами и нейтрино.

Не имеется никаких данных о внутренней структуре электрона. Современные теории исходят из представлений о лептонах, как о точечных частицах. В настоящее время это проверено экспериментально до расстояний 10-16 см. Новые данные могут появиться лишь с повышением энергии столкновения частиц в будущих ускорителях.