Этап первый. От электрона до позитрона: 1897—1932 гг. (Элементарные частицы — «атомы Демокрита» на более глубоком уровне.)

Когда греческий физик Демокрит назвал простейшие нерасчленимые далее частицы атомами (слово атом, напомним, означает «неделимый»), то ему, вероятно, всё представлялось в принципе не очень сложным. Различные предметы, растения, животные состоят из неделимых неизменных частиц. Превращения, наблюдаемые в мире, — это простая перестановка атомов. Всё в мире течёт, всё изменяется, кроме самих атомов, которые остаются неизменными.

Но в конце XIX в. было открыто сложное строение атомов и выделен электрон как составная часть атома. Затем, уже в XX в., были открыты протон и нейтрон — частицы, входящие в состав атомного ядра.

Поначалу на все эти частицы смотрели точно так, как Демокрит смотрел на атомы: их считали неделимыми и неизменными первоначальными сущностями, основными «кирпичиками мироздания».

Этап второй. От позитрона до кварков: 1932—1964 гг. (Все элементарные частицы превращаются друг в друга.) Ситуация привлекательной ясности длилась недолго. Всё оказалось намного сложнее: как выяснилось, неизменных частиц нет совсем. В самом слове элементарная заключается двоякий смысл. С одной стороны, элементарный — это само собой разумеющийся, простейший. С другой стороны, под элементарным понимается нечто фундаментальное, лежащее в основе вещей (именно в этом смысле сейчас и называют субатомные частицы элементарными).

Считать известные сейчас элементарные частицы подобными неизменным атомам Демокрита мешает следующий простой факт. Ни одна из частиц не бессмертна. Большинство частиц, называемых сейчас элементарными, не может прожить более двух миллионных долей секунды, даже в отсутствие какого-либо воздействия извне. Свободный нейтрон (нейтрон, находящийся вне атомного ядра) живёт в среднем 15 мин.

Лишь частицы фотон, электрон, протон и нейтрино сохраняли бы свою неизменность, если бы каждая из них была одна в целом мире (нейтрино лишено электрического заряда, и его масса покоя чрезвычайно мала).

Но у электронов и протонов имеются опаснейшие собратья — позитроны и антипротоны, при столкновении с которыми происходит взаимное уничтожение этих частиц и образование новых.

Фотон, испущенный настольной лампой, живёт не более 10 8 с. Это то время, которое ему нужно, чтобы достичь страницы книги и поглотиться бумагой.

Лишь нейтрино практически бессмертны, так как они очень слабо взаимодействуют с другими частицами. Однако и нейтрино гибнут при столкновении с другими частицами, хотя такие столкновения случаются крайне редко.

Итак, в вечном стремлении к отысканию неизменного в нашем изменчивом мире учёные оказались не на гранитном основании, а на зыбком песке.

Все элементарные частицы превращаются друг в друга, и эти взаимные превращения — главный факт их существования.

Ускорители частиц. Пусть у нас возникло естественное желание исследовать, состоит ли, например, электрон из каких-либо других субэлементарных частиц. Что нужно сделать для того, чтобы попытаться расчленить электрон? Можно придумать только один способ — тот, к которому прибегает ребёнок, если хочет узнать, что находится внутри игрушки, — сильный удар.

Разумеется, по электрону нельзя ударить молотком. Для этого можно воспользоваться другим электроном, летящим с огромной скоростью, или какой-либо иной движущейся с большой скоростью элементарной частицей.

Для решения этой научной задачи были разработаны ускорители частиц.

Существует множество типов ускорителей, но в основе работы всех лежит взаимодействие заряженных частиц с электрическим и магнитным полями. Электрическое поле увеличивает кинетическую энергию частицы, а магнитное, благодаря действию силы Лоренца, определяет её орбиту. На рисунке 1.31 показана принципиальная схема одного из первых ускорителей, называемого циклотроном.

Современные ускорители на встречных пучках, получившие название коллайдеры, позволяют сталкивать частицы с относительными скоростями, близкими к скорости света, а затем исследовать процессы, происходящие при столкновениях, и вновь получившиеся частицы.

Что же происходит при столкновении частиц сверхвысокой энергии? Они отнюдь не дробятся на нечто такое, что можно было бы назвать их составными частями. Они рождают новые частицы из числа тех, которые уже фигурируют в списке элементарных частиц. Чем больше энергия сталкивающихся частиц, тем большее количество частиц рождается. При этом возможно появление частиц с большей массой, чем сталкивающиеся частицы.

При всех превращениях частиц всегда выполняются законы сохранения энергии, электрического заряда, импульса.

На рисунке 13.1 вы видите результат столкновения ядра углерода, имевшего энергию 60 млрд эВ (жирная верхняя линия), с ядром серебра фотоэмульсии. Ядро раскалывается на осколки, разлетающиеся в разные стороны. Одновременно рождаются новые элементарные частицы — пионы. Подобные реакции при столкновениях релятивистских ядер, полученных в ускорителе, впервые в мире осуществлены в лаборатории высоких энергий Объединённого института ядерных исследований в г. Дубне под руководством академика А. М. Балдина. Лишённые электронной оболочки ядра были получены путём ионизации атомов углерода лазерным лучом.

Возможно, конечно, что при столкновениях частиц с недоступной пока нам энергией будут рождаться и какие-то новые, ещё неизвестные частицы. Но сути дела это не изменит. Рождаемые при столкновениях новые частицы никак нельзя рассматривать как составные части частиц-«родителей». Ведь «дочерние» частицы, если их ускорить, могут, не изменив своей природы, породить, в свою очередь, при столкновениях сразу несколько таких же в точности частиц, какими были их «родители», да ещё и множество других частиц.

Элементарные частицы - это первичные, неразложимые далее частицы, из которых построена вся материя.

Однако неделимость элементарных частиц не означает, что у них отсутствует внутренняя структура.

Этап третий. От гипотезы о кварках (1964) до наших дней. (Большинство элементарных частиц имеет сложную структуру.) В 1960-е гг. возникли сомнения в том, что все частицы, называемые сейчас элементарными, полностью оправдывают это название. Основание для сомнений простое: этих частиц очень много. После 1932 г. было открыто более 400 частиц.

Например, была открыта группа так называемых странных частиц: мезонов и гиперонов с массами, превышающими массу нуклонов. В 1970-е гг. к ним прибавилась большая группа частиц с ещё большими массами, названных очарованными. Кроме того, были открыты короткоживущие частицы с временем жизни порядка 10 22—1(Г23 с. Эти частицы были названы резонансами, и их уже обнаружено больше двухсот.

Частицы характеризуются массой, зарядом, временем жизни и многими другими характеристиками. По мере открытия всё новых частиц вводились и характеристики, их определяющие. Так, в 1925 г. американские физики- теоретики голландского происхождения С. Гаудсмит и Дж. Уленбек для объяснения спектров атомов предположили, что электрон обладает собственным моментом импульса, названным ими спином.

По значению спина все частицы делятся на фермионы с полуцелым спином, равным Н/2, Ш/2, ..., и бозоны с целым спином — 0, h, 2h.

Фермионами являются электрон, протон, нейтрон и электронное нейтрино. Бозонами являются фотон, л-мезон и ряд других частиц.

В связи с большим количеством элементарных частиц возникла проблема их классификации. Одним из способов классификации является классификация по виду взаимодействия.

Виды взаимодействия. Как вы уже знаете, в природе существуют четыре типа фундаментального взаимодействия, т. е. четыре типа сил.

Самое сильное взаимодействие обеспечивает ядерная сила, удерживающая частицы в ядре. Электромагнитное взаимодействие определяет силы, действующие на заряженные частицы. Слабая ядерная сила отвечает за распад тяжёлых частиц на более лёгкие, и, наконец, гравитационная сила — сила притяжения между телами, обладающими массой.

Известно, что электромагнитное взаимодействие обеспечивают виртуальные фотоны, а ядерное (сильное) взаимодействие — л-мезоны.

Учёные предположили, что частицы, ответственные за слабое взаимодействие, имеют массу порядка 100 ГэВ, они получили название W+-, W~- и г°-частиц. Спустя почти 20 лет после создания теории, объясняющей слабое взаимодействие, в 1983 г. эти частицы были экспериментально обнаружены.

Гравитационное взаимодействие обеспечивает частица, названная гравитоном, она пока экспериментально не найдена.

Свойства этих четырёх типов фундаментального взаимодействия: время взаимодействия, радиус взаимодействия и отношение интенсивности данного взаимодействия к интенсивности сильного взаимодействия, а также названия виртуальных частиц, ответственных за эти взаимодействия, приведены в таблице.