На основе экспериментов был определён размер ядра атома, обнаружен нейтрон и мезоны, частицы, появляющиеся в результате радиоактивного распада.

Познакомимся с устройствами, благодаря которым возникла и начала развиваться физика атомного ядра и элементарных частиц. Это устройства для регистрации и изучения столкновений и взаимных превращений ядер и элементарных частиц. Именно они дают людям необходимую информацию о микромире.

Принцип действия приборов для регистрации элементарных частиц. Любое устройство, регистрирующее элементарные частицы или движущиеся атомные ядра, подобно заряженному ружью с взведённым курком. Небольшое усилие при нажатии на спусковой крючок ружья вызывает эффект, не сравнимый с затраченным усилием, — выстрел.

Регистрирующий прибор — это, как правило, сложная макроскопическая система, которая может находиться в неустойчивом состоянии. При небольшом возмущении, вызванном пролетевшей частицей, начинается процесс перехода системы в новое, более устойчивое состояние. Этот процесс и позволяет регистрировать частицу.

В настоящее время используется множество различных методов регистрации частиц.

В зависимости от целей эксперимента и условий, в которых он проводится, применяются те или иные регистрирующие устройства, отличающиеся друг от друга по основным характеристикам.

Газоразрядный счётчик Гейгера. Счётчик Гейгера — один из важнейших приборов для автоматического подсчёта частиц.

Счётчик (рис. 12.6) состоит из стеклянной трубки, покрытой изнутри металлическим слоем (катод), и тонкой металлической нити, идущей вдоль оси трубки (анод). Трубка заполняется газом, обычно аргоном. Действие счётчика основано на ударной ионизации. Заряженная частица (электрон, сх-частица и т.д.), пролетая в газе, отрывает от атомов электроны и создаёт положительные ионы и свободные электроны. Электрическое поле между анодом и катодом (к ним подводится высокое напряжение) ускоряет электроны до энергий, при которых начинается ударная ионизация.

Возникает лавина ионов, и ток через счётчик резко возрастает. При этом на нагрузочном резисторе R образуется импульс напряжения, который подаётся в регистрирующее устройство.

Для того чтобы счётчик мог регистрировать следующую попавшую в него частицу, лавинный разряд необходимо погасить. Это происходит автоматически. Так как в момент появления импульса тока падение напряжения на нагрузочном резисторе R велико, то напряжение между анодом и катодом резко уменьшается — настолько, что разряд прекращается.

Счётчик Гейгера применяется в основном для регистрации электронов и у-квантов (фотонов большой энергии).

В настоящее время созданы счётчики, работающие на иных принципах.

Камера Вильсона. Счётчики позволяют лишь регистрировать факт прохождения через них частицы и фиксировать некоторые её характеристики. В камере же Вильсона, созданной в 1912 г., быстрая заряженная частица оставляет след, который можно наблюдать непосредственно или сфотографировать. Этот прибор можно назвать окном в микромир, т. е. мир элементарных частиц и состоящих из них систем.

Принцип действия камеры Вильсона основан на конденсации перенасыщенного пара на ионах с образованием капелек воды. Эти ионы создаёт вдоль своей траектории движущаяся заряженная частица.

Камера Вильсона представляет собой герметически закрытый сосуд, заполненный парами воды или спирта, близкими к насыщению (рис. 12.7). При резком опускании поршня, вызванном уменьшением давления под ним, пар в камере адиабатно расширяется. Вследствие этого происходит охлаждение, и пар становится перенасыщенным. Это — неустойчивое состояние пара: он легко конденсируется, если в сосуде появляются центры конденсации. Центрами конденсации становятся ионы, которые образует в рабочем пространстве камеры пролетевшая частица. Если частица проникает в камеру сразу после расширения пара, то на её пути появляются капельки воды. Эти капельки образуют видимый след пролетевшей частицы — трек (рис. 12.8, а). В этот момент происходит фотографирование рабочего объёма камеры из нескольких точек, чтобы получить пространственную картину. Затем камера возвращается в исходное состояние, и ионы удаляются электрическим полем.

В зависимости от размеров камеры время восстановления рабочего режима варьируется от нескольких секунд до десятков минут.

Информация, которую дают треки в камере Вильсона, значительно богаче той, которую могут дать счётчики. По длине трека можно определить энергию частицы, а по числу капелек на единицу длины трека — её скорость. Чем длиннее трек частицы, тем больше её энергия. А чем больше капелек воды образуется на единицу длины трека, тем меньше скорость частицы. Частицы с большим зарядом оставляют трек большей толщины.

Советские физики П. JI. Капица и Д. В. Скобельцын предложили помещать камеру Вильсона в однородное магнитное поле. Магнитное поле действует на движущуюся заряженную частицу с определённой силой (силой Лоренца). Эта сила искривляет траекторию частицы, не изменяя модуля её скорости. Трек имеет тем большую кривизну, чем больше заряд частицы и чем меньше её масса. По радиусу кривизны трека можно определить отношение заряда частицы к её массе. Если известна одна из этих величин, то можно вычислить другую. Например, по заряду частицы и радиусу кривизны её трека можно найти массу частицы.

Пузырьковая камера. В 1952 г. американским учёным Д. Глейзером было предложено использовать для обнаружения треков частиц перегретую жидкость. В такой жидкости на ионах (центрах парообразования), образующихся при движении быстрой заряженной частицы, появляются пузырьки пара, дающие видимый трек. Камеры данного типа были названы пузырьковыми.

В исходном состоянии жидкость в камере находится под высоким давлением, предохраняющим её от закипания, несмотря на то что температура жидкости несколько выше температуры кипения при атмосферном давлении. При резком понижении давления жидкость оказывается перегретой, и в течение небольшого времени она будет находиться в неустойчивом состоянии. Заряженные частицы, пролетающие именно в это время, вызывают появление треков, состоящих из пузырьков пара (рис. 12.8, б). В качестве жидкости используются главным образом жидкий водород и пропан. Длительность рабочего цикла пузырьковой камеры невелика — около 0,1 с.

Преимущество пузырьковой камеры перед камерой Вильсона обусловлено большей плотностью рабочего вещества. Пробеги частиц вследствие этого оказываются достаточно короткими, и частицы даже больших энергий застревают в камере. Это позволяет наблюдать серию последовательных превращений частицы и вызываемые ею реакции.

Треки в камере Вильсона и пузырьковой камере — один из главных источников информации о поведении и свойствах частиц.

Наблюдение следов элементарных частиц производит на экспериментатора сильное впечатление, создаёт ощущение непосредственного соприкосновения с микромиром.

Метод толстослойных фотоэмульсий. Для регистрации частиц наряду с камерами Вильсона и пузырьковыми камерами применяются толстослойные фотоэмульсии. Ионизирующее действие быстрых заряженных частиц на эмульсию фотопластинки позволило французскому физику А. Беккерелю открыть в 1896 г. радиоактивность. Метод фотоэмульсии был развит советскими физиками JI. В. Мысовским, Г. Б. Ждановым и др.

Фотоэмульсия содержит большое количество микроскопических кристалликов бромида серебра. Быстрая заряженная частица, пронизывая кристаллик, отрывает электроны от отдельных атомов брома. Цепочка таких кристалликов образует скрытое изображение. При проявлении в этих кристалликах восстанавливается металлическое серебро и цепочка зёрен серебра образует трек частицы (рис. 12.9). По длине и толщине трека можно оценить энергию и массу частицы.

Из-за большой плотности фотоэмульсии треки получаются очень короткими (порядка 1(Г3 см для а-частиц, испускаемых радиоактивными элементами), но при фотографировании их можно увеличить.

Преимущество фотоэмульсий в том, что время экспозиции может быть сколь угодно большим. Это позволяет регистрировать редкие явления. Важно и то, что благодаря большой тормозящей способности фотоэмульсий увеличивается число наблюдаемых интересных реакций между частицами и ядрами.

Мы рассказали далеко не о всех приборах, регистрирующих частицы. Современные приборы для обнаружения редко встречающихся и короткоживущих частиц очень сложны. В их создании принимают участие сотни людей.