Делиться на части могут только ядра некоторых тяжёлых элементов. При делении ядер испускаются два-три нейтрона и у-лучи. Одновременно выделяется большая энергия.

Открытие деления урана. Деление ядер урана было открыто в 1938 г. немецкими учёными Отто Ганом и Фрицем Штрассманом. Они установили, что при бомбардировке урана нейтронами возникают элементы средней части периодической системы: барий, криптон и др. Однако правильное истолкование этого факта именно как деления ядра урана, захватившего нейтрон, было дано в начале 1939 г. английским физиком Отто Фришем совместно с австрийским физиком Лизой Мейтнер.

Захват нейтрона нарушает стабильность ядра. Ядро возбуждается и становится неустойчивым, что приводит к его делению на осколки.

Деление ядра возможно потому, что масса покоя тяжёлого ядра больше суммы масс покоя осколков, возникающих при делении. Поэтому происходит выделение энергии, эквивалентной уменьшению массы покоя, сопровождающему деление.

Возможность деления тяжёлых ядер можно также объяснить с помощью графика зависимости удельной энергии связи от массового числа А (см. рис. 12.1). Удельная энергия связи ядер атомов элементов, занимающих в периодической системе последние места (А ~ 200), примерно на 1 МэВ меньше удельной энергии связи в ядрах элементов, находящихся в середине периодической системы (А ~ 100). Поэтому процесс деления тяжёлых ядер на ядра элементов средней части периодической системы является энергетически выгодным. Система после деления переходит в состояние с минимальной внутренней энергией. Ведь чем больше энергия связи ядра, тем большая энергия должна выделяться при возникновении ядра и, следовательно, тем меньше внутренняя энергия образовавшейся вновь системы.

При делении ядра энергия связи, приходящаяся на каждый нуклон, увеличивается на 1 МэВ и общая выделяющаяся энергия должна быть огромной — порядка 200 МэВ. Ни при какой другой ядерной реакции (не связанной с делением) столь больших энергий не выделяется.

Непосредственные измерения энергии, выделяющейся при делении ядра урана 2g52U, подтвердили приведённые соображения и дали значение

200 МэВ. Причём большая часть этой энергии (168 МэВ) приходится на кинетическую энергию осколков. На рисунке 12.13 вы видите треки осколков делящегося урана в камере Вильсона.

Выделяющаяся при делении ядра энергия имеет электростатическое, а не ядерное происхождение. Большая кинетическая энергия, которую имеют осколки, возникает вследствие их кулоновского отталкивания.

Механизм деления ядра. Процесс деления атомного ядра можно объяснить на основе капельной модели ядра.

Согласно этой модели сгусток нуклонов напоминает капельку заряженной жидкости (рис. 12.14, а). Ядерные силы между нуклонами являются короткодействующими, подобно силам, действующим между молекулами жидкости. Наряду с большими силами электростатического отталкивания между протонами, стремящимися разорвать ядро на части, действуют ещё большие ядерные силы притяжения. Эти силы удерживают ядро от распада.

Ядро урана-235 имеет форму шара. Поглотив лишний нейтрон, оно возбуждается и начинает деформироваться, приобретая вытянутую форму (рис. 12.14, б). Ядро будет растягиваться до тех пор, пока силы отталкивания между половинками вытянутого ядра не начнут преобладать над силами притяжения, действующими в перешейке (рис. 12.14, в). После этого оно разрывается на две части (рис. 12.14, г). Под действием кулоновских сил отталкивания эти осколки разлетаются со скоростью, равной 1/30 скорости света.

Испускание нейтронов в процессе деления. Фундаментальный факт ядерного деления — испускание в процессе деления двух-трёх нейтронов. Именно благодаря этому оказалось возможным практическое использование внутриядерной энергии.

Понять, почему происходит испускание свободных нейтронов, можно исходя из следующих соображений. Известно, что отношение числа нейтронов к числу протонов в стабильных ядрах возрастает с повышением атомного номера. Поэтому у возникающих при делении осколков относительное число нейтронов оказывается большим, чем это допустимо для ядер атомов, находящихся в середине таблицы Менделеева. В результате несколько нейтронов освобождается в процессе деления. Их энергия имеет различные значения — от нескольких миллионов электронвольт до совсем малых, близких к нулю.

Деление обычно происходит на осколки, массы которых различаются примерно в 1,5 раза. Осколки эти сильно радиоактивны, так как содержат избыточное количество нейтронов. В результате серии последовательных распадов в конце концов получаются стабильные изотопы.

Цепная реакция деления. Любой из нейтронов, вылетающих из ядра в процессе деления, может, в свою очередь, вызвать деление соседнего ядра, которое также испускает нейтроны, способные вызвать дальнейшее деление. В результате число делящихся ядер очень быстро увеличивается. Возникает цепная реакция.

Цепной ядерной реакцией называется реакция, в которой частицы, вызывающие её (нейтроны), образуются как продукты этой реакции.

Цепная реакция сопровождается выделением огромной энергии.

При делении каждого ядра выделяется энергия около 200 МэВ. При полном же делении всех ядер, имеющихся в 1 г урана, выделяется энергия 2,3 • 104 кВт • ч. Это эквивалентно энергии, получаемой при сгорании 3 т угля или 2,5 т нефти.

Но для осуществления цепной реакции нельзя использовать любые ядра, делящиеся под влиянием нейтронов. В силу ряда причин из ядер, встречающихся в природе, пригодны лишь ядра изотопа урана с массовым числом.

Запишем примеры реакции деления 2||U.

При первой реакции деления образуется 2 нейтрона, при второй — 3 нейтрона, которые вызывают продолжение реакции.

Ядра 22|U делятся под влиянием как быстрых, так и медленных нейтронов. Ядра же 2||U могут делиться лишь под влиянием нейтронов с энергией более 1 МэВ. Такую энергию имеют примерно 60 % нейтронов, появляющихся при делении. Однако примерно лишь один нейтрон из пяти производит деление 2g|U. Остальные нейтроны захватываются этим изотопом, не производя деления. В результате цепная реакция с использованием чистого изотопа 2g|U невозможна.

Период распада изотопа урана 2||Uравен 4,47 • 109 лет.

Процесс естественного распада, в результате которого получается конечный стабильный изотоп свинца, происходит в результате серий радиоактивных превращений. Приведём пример одной из возможных серий:

Коэффициент размножения нейтронов. Для течения цепной реакции нет необходимости, чтобы каждый нейтрон обязательно вызывал деление ядра. Необходимо лишь, чтобы среднее число освобождённых нейтронов в данной массе урана не уменьшалось с течением времени.

Это условие будет выполнено, если коэффициент размножения нейтронов k больше или равен единице.

Коэффициентом размножения нейтронов называют отношение числа нейтронов в каком-либо «поколении» к числу нейтронов предшествующего «поколения».

Под сменой «поколений» понимают деление ядер, при котором поглощаются нейтроны старого «поколения» и рождаются новые нейтроны.

Если k > 1, то число нейтронов увеличивается с течением времени или остаётся постоянным и цепная реакция идёт. При k < 1 число нейтронов убывает и цепная реакция невозможна.

Коэффициент размножения определяется четырьмя факторами:

1) захватом медленных нейтронов ядрами 2gj>U с последующим делением и захватом быстрых нейтронов ядрами 2g|U и 2gfU также с последующим делением;

2) захватом нейтронов ядрами урана без деления;

3) захватом нейтронов продуктами деления, замедлителем (о нём сказано дальше) и конструктивными элементами установки;

4) вылетом нейтронов из делящегося вещества наружу.

Лишь первый процесс сопровождается увеличением числа нейтронов (в основном за счёт деления 2Ци). Все остальные приводят к их убыли. Цепная реакция в чистом изотопе 2Ци невозможна, так как в этом случае k < 1 (число нейтронов, поглощаемых ядрами без деления, больше числа нейтронов, вновь образующихся за счёт деления ядер).

Для стационарного течения цепной реакции коэффициент размножения нейтронов должен быть равен единице. Это равенство необходимо поддерживать с большой точностью. Уже при k = 1,01 почти мгновенно произойдёт взрыв.

Образование плутония. Важное значение имеет не вызывающий деления захват нейтронов ядрами изотопа урана 2gfU. После захвата образуется радиоактивный изотоп 2g|U с периодом полураспада 23 мин. Распад происходит с испусканием электрона и антинейтрино (см. § 83, с. 315) и возникновением первого трансуранового элемента — нептуния:

Нептуний p-радиоактивен с периодом полураспада около двух дней. В процессе распада нептуния образуется следующий трансурановый элемент — плутоний.

Плутоний относительно стабилен, так как его период полураспада велик — порядка 24 ООО лет. Важнейшее свойство плутония состоит в том, что он делится под влиянием медленных нейтронов, так же как и изотоп 2g|U . Поэтому с помощью плутония также может быть осуществлена цепная реакция, которая сопровождается выделением громадной энергии.