

§ 40. ТИПЫ РЕАКЦИИ ДЕЛЕНИЯ

Встречающийся в природе уран представляет собой смесь двух изотопов: U_{92}^{235} в количестве 0,7% и U_{92}^{238} — 99,3%. Эти изотопы под действием нейтронов ведут себя по-разному. Энергия активации, которая нужна, чтобы разделить ядра, определялась экспериментально и оказалось, что она равна для U_{92}^{235} — 6,5 Мэв, а для U_{92}^{238} — 7,1 Мэв.

Следует отметить что энергия активации сообщается ядру внешним нейтроном, но делиться будет уже не исходное, а составное ядро, внутри которого находится нейтрон, поэтому, строго говоря, энергии активации надо относить к составным ядрам U_{92}^{236} и U_{92}^{239} . Такая разница в энергиях активации понятна: отношение Z^2/A больше для U_{92}^{236} и, следовательно, энергия активации для него меньше.

Энергия возбуждения определяется не только кинетической энергией нейтронов, но возникает главным образом за счет энергии связи этого нейтрона в ядре, которая освобождается при образовании составного ядра.

Энергия связи нейтрона для составного ядра, определенная экспериментально, равна: для U^{236} — 6,8 Мэв и для U^{239} — 5,5 Мэв. Этот результат также понятен, поскольку энергия связи в ядре U^{236} больше за счет энергии спаривания нуклонов (четное число и протонов, и нейтронов).

У изотоба U^{235} ядро «забрасывается» за счет энергии связи на более высокий энергетический уровень, чем нужно для деления (6,8—6,5=0,3 Мэв) и, следовательно, оно будет делиться независимо от кинетической энергии падающего нейтрона. В то же время изотоп U^{238} не будет делиться, если нейтрон не принесет еще добавочную кинетическую энергию, равную 7,1—5,5=1,6 Мэв. Такие нейтроны относятся к классу быстрых нейтронов. Следовательно, U^{235} делится тепловыми, а U^{238} только быстрыми нейтронами.

Явление деления наблюдается также у некоторых других элементов: у тория, плутония. Но ртуть и свинец, например, делятся нейтронами только, если их энергия порядка 100 Мэв (малое Z^2/A , большая E активации).

С точки зрения капельной модели можно получить простое объяснение и возникновению мгновенных нейтронов деления. В шейке гантели (стадия С на рис. 85) нет протонов, так как, отталкиваясь друг от друга, они сосредоточиваются главным образом в удаленных частях системы, поэтому при ее разрыве в процессе деления из нее могут образоваться только нейтроны.

С другой стороны, капельная модель не в состоянии объяснить асимметрию деления ядра — капля должна была бы делиться пополам. Можно предположить, что когда достигнута критическая деформация поверхности ядра, внешние ядерные оболочки начинают разрываться симметрично, тогда как сильно связанная серд-

цевина ядра не разрывается и уносится одним из осколков вместе с половиной нуклонов из внешних оболочек. Эта гипотеза находится в согласии с оболочечной и обобщенной моделями ядра.

§ 41. ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ

При открытии деления ядер урана появились перспективы использования ядерной энергии. Тепловой нейтрон с энергией $0,03 \text{ эв}$ освобождает энергию порядка 200 Мэв , иными словами, выделившаяся энергия в несколько миллиардов раз превышает затраченную энергию. Существенно, что этот процесс сопровождается освобождением нейтронов, способных вызвать деление других ядер урана и т. д. Таким образом, в принципе один нейтрон может дать начало разветвленной цепи делений, причем число ядер, участвующих в делении, будет быстро возрастать. Этим деление отличается от обычных ядерных реакций, в которых одна частица взаимодействует с одним ядром и на этом реакция заканчивается.

Начальный нейтрон играет роль спички, зажигающей горючий материал. Горение также представляет собой цепной процесс. При делении цепной процесс поддерживается нейтронами.

Подсчитаем энергию деления в единицах, используемых в технике. Энергия, освобождающаяся при делении одного ядра, равна $200 \text{ Мэв} = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ эрг} = 3,2 \cdot 10^{-11} \text{ вт/сек}^{-1}$. Мощность в один ватт создается делением $3,1 \cdot 10^{10}$ ядер в сек.

Если делится один грамм-атом урана, т. е. 235 г урана, то выделяется энергия $E = 6 \cdot 10^{23} \cdot 3,2 \cdot 10^{-4} = 1,9 \cdot 10^{20} \text{ эрг} = 1,9 \times 10^{13} \text{ вт/сек} = 1,9 \cdot 10^{10} \text{ квт/сек} \approx 5 \cdot 10^6 \text{ квт/час}$.

При делении 1 г урана выделяется энергия, равная $5 \cdot 10^6 / 235 = 2 \cdot 10^4 \text{ квт/час}$. Чтобы получить такое же количество тепловой энергии, необходимо сжечь более трех тонн угля.

Время, требуемое для деления, мало и определяется временем захвата нейтронов $\Delta t \sim 10^{-8} \text{ сек}$. Для деления 1 грамм-атома урана надо иметь $\sim 10^{24}$ нейтронов. Если первичное деление вызвал один нейтрон, а в одном акте деления число нейтронов удваивается, то образование 10^{24} нейтронов происходит за 80 поколений. Они возникают за 10^{-5} сек . Эти рассуждения справедливы, если нет утечки нейтронов.

Что же произойдет в естественной смеси изотопов урана в результате одного акта деления? В одном акте деления испускается в среднем два или три нейтрона с энергией $\approx 1 \text{ Мэв}$. Эта энергия меньше порога деления U^{238} , поэтому будет делиться только U^{235} , которого в естественной смеси содержится всего $0,7\%$. В результате столкновений вылетевших нейтронов с ядрами первые будут замедляться и могут быть поглощены U^{235} или U^{238} . При этом уран-235 будет делиться, а уран-238 будет только уменьшать общее число нейтронов за счет реакции (n, γ).