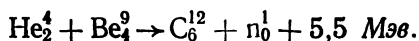


§ 32. ИСТОЧНИКИ НЕЙТРОНОВ

Радио-бериллиевые источники. Как уже было сказано, впервые нейтроны были получены из реакции α -частиц радия с ядрами бериллия. Впоследствии было выяснено, что α -частицы, излучаемые радием, вступают в реакцию



Энергетический спектр получаемых таким образом нейтронов изображен на рис. 76.

Источник нейтронов устроен следующим образом. В герметически запаянной ампуле находится смесь Ra_{88}^{226} и Be_4^9 (иногда Po с Be_4^9). В результате распада как Ra_{88}^{226} , так и продуктов его распада, находящихся с ним в равновесии, образуются α -частицы разных энергий: $E_\alpha = 4,8 \div 7,7 \text{ Мэв}$. Пробег их мал и выйти из ампулы α -частицы не могут. Вступая в реакцию с бериллием, они создают поток нейтронов, свободно проникающих через стенки ампулы. Разброс в энергии нейтронов обусловлен тем, что с ядрами взаимодействуют α -частицы разных энергий, испускаемые не только Ra , но и продуктами его распада — Rn , RaA и др., а также тем, что в результате реакции ядро C_6^{12} образуется и в основном, и в возбужденном состоянии.

Источник отличается простотой изготовления, дешевизной и большим выходом нейтронов (порядка 10^7 нейтронов на 1 μ радия в 1 сек). Недостатком таких источников является широкий энергетический спектр нейтронов, а также одновременное испускание γ -лучей, что часто мешает проведению эксперимента.

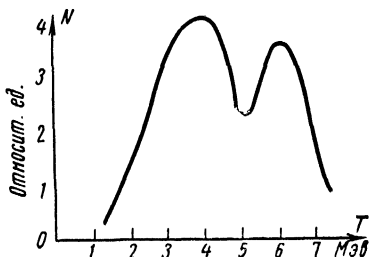
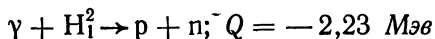


Рис. 76. Энергетический спектр нейтронов, получаемых при облучении бериллия α -частицами

Фотонейтронные источники, основанные на реакции (γ, n) , дают возможность получать медленные монохроматические нейтроны. Радиоактивный препарат, дающий γ -лучи, запаивается в ампулу, через стенки которой не могут пройти α -частицы, и помещается в ампулу с бериллием или дейтерием.

При этом возможны реакции:

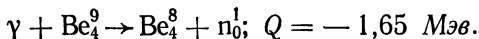
А. Фоторасщепление дейтона:



γ -кванты ThC'' , используемого обычно в качестве облучателя, имеют энергию $E = 2,62 \text{ Мэв}$. Так как γ -квант не имеет массы покоя, то он практически не передает импульса в процессе ядерной реакции, и образующиеся p и n имеют приблизительно одинаковые

энергии $T_n = T_p = 200$ кэв независимо от направления их движения.

Б. Аналогично под действием γ -лучей, с энергией $\approx 1,78$ Мэв, идет фоторасщепление Be_4^9 :

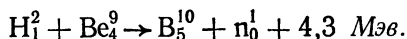


При этом образуются монохроматические нейтроны с энергией $T_n \approx 100$ кэв.

3. Источники, основанные на реакциях, вызываемых дейтонами, полученными в ускорителях.

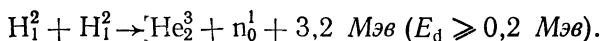
Для генерации монохроматических нейтронов используются реакции срыва.

А. Реакция, получаемая при бомбардировке мишени из Ве, может быть записана в виде

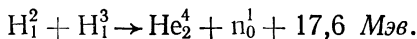


Выход ее довольно высок, поэтому, используя относительно сильные дейтонные токи, например при $E_d = 16$ Мэв, можно получать миллиарды нейтронов в секунду с энергией $E_n = 4$ Мэв.

Б. Реакция, получаемая при бомбардировке дейтонами дейтонов (в качестве мишени используется лед из тяжелой воды)¹. Она проходит следующим образом:



В. Реакция, получаемая при бомбардировке дейтонами трития (используется мишень из циркониевой фольги, в которой абсорбирован тритий). Реакция записывается в виде



Поскольку эта реакция экзоэнергетическая, то дейтоны надо ускорять до энергий, достаточных для преодоления кулоновского потенциального барьера ($E_d \approx 0,3$ Мэв) в сравнительно простых газоразрядных трубках.

Создаваемый поток нейтронов монохроматичен, так как дейтон и тритий не имеют возбужденных состояний. Пучок нейтронов получается при этом коллимированный (90% всех нейтронов летит вперед). Если нейтроны, образованные в реакциях (Б) и (В) регистрировать под углом 90° по отношению к направлению падения дейтонов на мишень, то их энергия соответственно будет равна 2,5 и 14 Мэв.

Если применять реакцию срыва при высоких энергиях дейтона ($E_d \approx 200$ Мэв) на тяжелых и средних ядрах, то получают пучки нейтронов с $E_n \approx 100$ Мэв.

4. Ядерные реакторы, в которых происходит деление урана, являются мощными источниками нейтронов. Процесс деления вы-

¹ Тяжелая вода — окись дейтерия D_2O . Плотность $\rho = 1,108$, замерзает при $3,82^\circ\text{C}$, кипит при $101,4^\circ\text{C}$. При электролизе воды легкий изотоп H_2O выделяется, а D_2O накапливается в остатке воды.

зывается одними нейтронами и сопровождается испусканием других нейтронов. При делении тяжелого ядра образуются два осколка среднего веса и дополнительно испускаются 2—3 нейтрона. Ядра, расположенные в середине таблицы Менделеева, наиболее устойчивы. У них число нейтронов лишь немногим больше числа протонов. У тяжелых ядер существенно $N > Z$, и поэтому образовавшиеся осколки сильно переполнены нейтронами. Выделившиеся при делении нейтроны, сталкиваясь с ураном, снова вызывают его деление. Этот процесс, называемый *цепной реакцией*, поддерживается в ядерных реакторах.

Образованные в реакторе нейтроны имеют энергетический спектр от 0 до 13 Мэв. В современных реакторах можно получить поток нейтронов до 10^{19} нейтронов на 1 см^2 в 1 сек .

§ 33. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НЕЙТРОНОВ С ВЕЩЕСТВОМ

При прохождении нейтронов через вещество возникают следующие процессы:

- 1) упругое рассеяние нейтронов на ядрах мишени;
- 2) неупругое рассеяние;
- 3) захват нейтронов ядрами;
- 4) реакции подхвата.

В результате нейтроны в среде рассеиваются, поглощаются или размножаются (в процессе деления ядра).

В общем случае, если на тонкий слой вещества падает параллельный пучок нейтронов, после прохождения нормального к нему слоя толщиной x число нейтронов будет равно

$$v_x = v_0 e^{-\sigma n x},$$

где x — толщина вещества в см ; n — число ядер на 1 см^2 вещества; v_0 — число нейтронов в падающем пучке; $\sigma = \sigma_{\text{поглощения}} + \sigma_{\text{рассеяния}}$.

Рассмотрим различные виды взаимодействия нейтронов.

Для элементов с низким атомным номером первый возбужденный уровень обычно на 1 Мэв (или более) выше основного состояния. Поэтому в случае легких элементов упругое рассеяние нейтронов с энергией $< 1 \text{ Мэв}$ более вероятно, чем неупругое рассеяние. С увеличением атомного номера минимальная энергия возбуждения ядра уменьшается примерно до 0,1 Мэв, и нейтроны с большей энергией могут испытывать как упругое, так и неупругое рассеяние. В реакциях (n, p') быстрые нейтроны сначала соединяются с ядром-мишенью, образуя составное ядро, затем испускается нейтрон с меньшей энергией, а ядро-мишень остается в возбужденном состоянии. Обычно возбуждение очень быстро снимается испусканием γ -лучей, но иногда возбужденное состояние является метастабильным, т. е. изомерным состоянием устойчивого изотопа.

Поглощение нейтронов приводит к ядерным реакциям, в результате которых, в частности, возникает явление искусственной