

Если же энергия возбуждения незначительно превышает пороговую энергию, то знаменатель в (30, 2) будет по-прежнему монотонно возрастающей функцией энергии, числитель же $N(E - E_f)$ будет ступенчатой функцией энергии. В непосредственной близости от порога $N(E - E_f) \sim 1$ и

$$\Gamma_f = \frac{\hbar\omega}{2\pi} \exp\{-S(E)\}, \quad E \sim E_f.$$

При дальнейшем увеличении энергии, когда в интервал энергии $E - E_f$ попадает второй уровень с данными свойствами, величина $N(E - E_f)$ скачком увеличится до 2 и т. д. Таким образом, можно ожидать немонотонной зависимости делительной ширины от энергии в области энергий, незначительно превышающих пороговую энергию деления.

§ 31. Фотоделение

Фотоделение было впервые обнаружено экспериментально при использовании монохроматических γ -квантов, испускаемых при ядерных реакциях (реакции $F^{19}(p, \gamma)$ и $Li(p, \gamma)$; в первой из них энергия γ -квантов 6,3 Мэв, во второй — 17,5 Мэв). Исследования в области больших энергий производились с помощью тормозного излучения, испускаемого бетатронами и синхротронами. Большинство результатов, получаемых в настоящее время по исследованиям эффективных сечений фотоделения, относятся к области энергии от порогов деления до 30 Мэв. В таблице 21 приведены экспериментальные значения порогов деления, полученные в работе Коха, Мак-Эллини и Гастейгера [51].

Таблица 21. Пороговые энергии деления некоторых ядер

Ядро	U ²³⁸	U ²³³	U ²³⁵	Pu ²³⁹	Th ²³²
E_f , Мэв	5,08 ± 0,15	5,18 ± 0,27	5,31 ± 0,25	5,31 ± 0,27	5,40 ± 0,22

Уже в первых работах по фотоделению урана и тория [52] отмечалось, что сечение фотоделения увеличивается от очень малых значений при энергиях фотонов, лежащих в области 5 Мэв, до максимального значения в области 15 Мэв, а затем уменьшается. Это изменение сечения деления с энергией подобно изменению сечения других фотоядерных реакций (см. § 81), т. е. кривые сечений фотоделения имеют резонансную форму с большой полушириной — «гигантский резонанс».

Обычно при поглощении фотонов с энергией, соответствующей области большого резонанса, наиболее вероятна реакция (γ, n) , другие конкурирующие реакции (γ, γ') , (γ, p) и т. д. относительно мало

вероятны. При переходе к делящимся ядрам реакция фотоделения становится сравнимой с (γ, n) .

Если через $\sigma_c(\epsilon)$ обозначить сечение поглощения фотонов с энергией ϵ , то согласно § 81 сечение поглощения, проинтегрированное по всем энергиям, приближенно будет равно

$$\int \sigma_c(\epsilon) d\epsilon \approx 0,06 \frac{NZ}{A} 10^{-24} \text{ Мэв} \cdot \text{см}^2. \quad (31, 1)$$

Экспериментальные значения сечения фотоделения, проинтегрированные по энергиям, значительно меньше (31,1). Например, для U^{238} значение $\int \sigma_c(\epsilon) d\epsilon \approx 3,5 \text{ Мэв} \cdot \text{барн}$, сечение же фотоделения, проинтегрированное от пороговой энергии до 23 Мэв, согласно данным Даффилда и Юзенги [53] составляет 1,2 Мэв·барн, а $\int \sigma_{\gamma n}(\epsilon) d\epsilon \approx 2,6 \text{ Мэв} \cdot \text{барн}$, где $\sigma_{\gamma n}$ — сечение реакции (γ, n) .

На рис. 37 приведены сечения реакций (γ, n) и (γ, f) , полученные в работе [53]. При энергии 8—11 Мэв энергетически возможны только

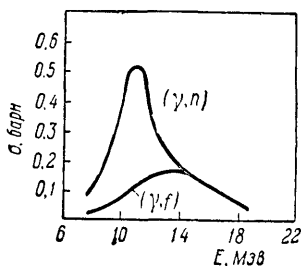


Рис 37. Эффективные сечения фотореакций (γ, n) и (γ, f) на ядре U^{238} .

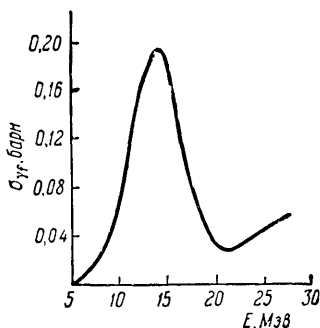


Рис. 38. Эффективное сечение фотоделения U^{238} как функция энергии фотонов.

эти две реакции. Отношение $\frac{\sigma_{\gamma f}}{\sigma_{\gamma f} + \sigma_{\gamma n}}$ характеризует вероятность деления при данном возбуждении ядра. В области энергии 8—11 Мэв величина $\frac{\sigma_{\gamma f}}{\sigma_{\gamma f} + \sigma_{\gamma n}}$ меняется мало и в среднем равна 0,2.

Кривая зависимости сечения фотоделения U^{238} от энергии γ -квантов, полученная в работе Л. Е. Лазаревой, Б. И. Гаврилова, Б. Н. Валуева, Г. Н. Зацепиной и В. С. Ставицкого [54], приведена на рис. 38. Кривые сечений фотоделения других ядер в основных чертах подобны кривой для U^{238} , отличаясь между собой по абсолютной величине. Это можно видеть из рис. 39, заимствованного из обзорной статьи Л. Е. Лазаревой и Н. В. Никитиной [55]. На этом рисунке изображены сечения фотоделения U^{238} , U^{235} , U^{233} и Th^{232} , полученные И. В. Чувпilo.

Распределение осколков по массам при фотоделении изучалось в ряде работ [56]. Как и в случае деления, вызванного нейтронами и заряженными частицами при малых энергиях возбуждения ядер ($E \leq 10$ Мэв), выход осколков характеризуется двугорбой кривой с максимумами около массовых чисел 99 и 138 с глубоким провалом в области масс 117. С увеличением энергии γ -излучения вероятность симметричного деления возрастает.

§ 32. Деление ядер при больших энергиях возбуждения

Процесс деления существенно зависит от энергии возбуждения делящегося ядра. Рост сечения вблизи порога почти экспоненциальный. Вскоре после превышения пороговой энергии сечение достигает постоянного значения σ_{f_0} . Если деление вызывается нейтронами, то зависимость сечения деления от энергии нейтронов может быть схематически представлена рис. 40. Рис. 40, а относится к случаю ядер, имеющих порог деления (Pa^{231} , U^{234} , Np^{237} , ...), т. е. ядер, у которых энергия связи нейтрона меньше пороговой энергии получающегося составного ядра. Рис. 40, б относится к случаю ядер, деление которых вызывается тепловыми нейтронами (U^{233} , U^{235} , Pu^{239}).

В таблице 22 приведены пороговые энергии деления и энергия связи нейтронов по данным Камерона [49]. Пороговая энергия в таблице 22 определяется как энергия, при которой сечение деления равно $\frac{1}{2} \sigma_{f_0}$ (см. § 30), поэтому она на несколько сотен кэв больше пороговой энергии, приводимой в других работах. Значения пороговой энергии, отмеченные звездочками, получены из данных о фотоделении.

Т а б л и ц а 22. Пороговые энергии деления и энергия связи нейтронов

Составное ядро	Th^{233}	Pa^{232}	U^{233}	U^{237}	U^{239}	Np^{233}	Th^{232}	U^{233}	U^{238}	Np^{237}	Pu^{239}
E_f , Мэв	6,44	6,18	5,75	6,40	6,15	6,04	5,95*	5,49*	5,80*	5,49*	5,48*
Энергия связи нейтрона	5,09	5,65	5,18	5,42	4,70	5,43	6,34	5,94	6,07	6,78	5,53

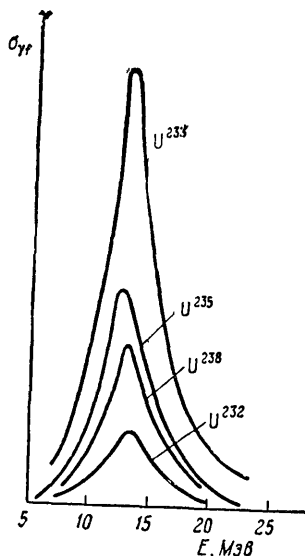


Рис. 39. Сечения фотоделения некоторых ядер в относительных единицах.