

С 341.36

К-328

20/III-65 ✓

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P-2025



И.Квитек, Ю.П. Попов, Ю.В. Рябов

ТРОЙНОЕ ДЕЛЕНИЕ  $U^{235}$   
НА РЕЗОНАНСНЫХ НЕЙТРОНАХ

ЭФ, 1965, т. 2, в. 4,  
стр. 677-681

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

1965

И.Квитек, Ю.П. Попов, Ю.В. Рябов

ТРОЙНОЕ ДЕЛЕНИЕ  $U^{235}$   
НА РЕЗОНАНСНЫХ НЕЙТРОНАХ

Представлено на Конференцию по физике  
и химии деления, Зальцбург (Австрия), 22-28 марта 1965 г.

Направлено в журнал "Ядерная физика"



3020/2  
48

Последнее время исследованию тройного деления (т.е. деления, где, помимо двух тяжелых осколков, вылетает легкая длиннопробежная частица) посвящено значительное количество работ. В ряде экспериментов<sup>/1-7/</sup>, выполненных различными методами, измерялось отношение нейтронных сечений тройного и обычного, двойного, делений изотопов урана и плутония. Результаты оказались противоречивыми. В работах<sup>/2,3/</sup> не обнаружено энергетической зависимости отношения тройного и двойного делений на  $U^{235}$ , в то время как в работах<sup>/4,7/</sup> сообщается о существенных колебаниях этого отношения от резонанса к резонансу. По данным Мишадона и др.<sup>/1/</sup>, колебания не превосходят 20-30%. А.А.Панов<sup>/5/</sup> не обнаружил энергетической зависимости этого отношения для  $U^{239}$  и  $Pu^{239}$ .

В качестве одного из объяснений расхождения экспериментальных результатов для  $U^{235}$  высказывалось<sup>/7/</sup> предположение о том, что, кроме тройного деления,  $\alpha$ -частицы испускаются в реакции  $U^{235}(n, \alpha)$ . Однако убедительного экспериментального подтверждения эта точка зрения пока не получила. В то же время вопрос о том, меняется ли отношение тройного и двойного деления от резонанса к резонансу, имеет большое значение для понимания механизма деления ядер. В частности, это связано с определением момента образования длиннопробежной частицы в процессе деления, с выяснением спиновой зависимости каналов, по которым происходит тройное деление.

В связи с изложенным нами было проведено измерение отношения тройного и двойного делений  $U^{235}$  монохроматическими нейтронами с энергиями от 0,1 до 50 эв. При этом в отличие от других работ по  $U^{235}$  акт тройного деления идентифицировался по совпадениям одного из осколков деления с длиннопробежной  $\alpha$ -частицей, что позволило избавиться от возможного влияния на результаты  $\alpha$ -частиц от реакции  $U^{235}(n, \alpha)$ .

### М е т о д и к а и и з м е р е н и я

Измерения проводились на импульсном реакторе ИБР<sup>/8/</sup> Лаборатория нейтронной физики ОИЯИ методом времени пролета. Пролетное расстояние составляло 100 м, разрешение - 0,6 мксек/м.

Для регистрации  $\alpha$ -частиц и осколков деления  $U^{235}$  был использован газовый сцинтилляционный детектор. Схема эксперимента приведена на рис. 1. Цилиндрическая камера объемом 8,5 л наполнялась ксеноном до давления 2 атм. Внутренняя поверхность камеры была покрыта тефлоновым отражателем. С торцовых сторон камеры имелись

окошки из увиолевого стекла. Объем камеры был разделен на две половины алюминиевой фольгой толщиной 20 мк.

На одной стороне фольги была нанесена мишень из  $U^{235}$  толщиной  $\approx 2 \text{ мг/см}^2$  и площадью  $\approx 300 \text{ см}^2$ . Вся внутренняя поверхность камеры, включая алюминиевую фольгу с мишенью и тефлон, покрывалась слоем дифенилстильбена толщиной  $\approx 50 \text{ мкг/см}^2$ .

Дифенилстильбен использовался как сместитель спектра люминесценции ксенона, поскольку этот спектр в основном находится в области ультрафиолета<sup>19/</sup>. Загрязнения ксенона (азот, кислород и др.) периодически устранялись путем откачки остаточных газов над ксеноном, замороженным в жидком азоте.

Каждая половина камеры просматривалась фотоумножителем типа ФЭУ-52. Поскольку алюминиевая фольга являлась непрозрачной для осколков деления и  $\alpha$ -частиц естественного распада (газовый сцинтиллятор имеет собственный энергетический порог  $0,5 \text{ Мэв}^{10/}$ ), то один фотоумножитель регистрировал длиннопобежные  $\alpha$ -частицы тройного деления и, возможно,  $\alpha$ -частицы от реакции  $U^{235}(\nu, \alpha)$  ( $\alpha$ -канал), а другой, при более высоком пороге по энергии, — осколки деления ( $f$ -канал).

Импульсы с ФЭУ подавались на выходы схемы совпадений с разрешающим временем  $0,12 \text{ мксек}^{11/}$ , а также на спектрометрический усилитель с дискриминатором.

Далее, через катодные повторители по кабелю импульсы поступали в измерительный центр на временные анализаторы. В эксперименте одновременно использовалось два 1024-канальных анализатора с шириной канала 32 мксек. При этом последние 256 каналов ставились в конце временного цикла между вспышками реактора и измеряли постоянную составляющую фона. Первый анализатор регистрировал импульсы от тройного деления, второй — попеременно импульсы с  $\alpha$ -или  $f$ -канала.

Для уменьшения фона пучок нейтронов коллимировался до диаметра 180 мм, так чтобы прямой пучок от реактора не попадал на фотоумножитель. При регистрации тройного деления схемой совпадений основной фон могли составлять совпадения импульсов от нейтронов и  $\gamma$ -квантов деления в  $\alpha$ -канале с импульсами от осколков деления. Вероятность вклада других эффектов в счет совпадений (регистрация двух  $\gamma$ -квантов от каскада, случайные совпадения и т.д.) значительно ниже. Для оценки фонов была проведена серия измерений, когда со стороны объема, в котором регистрировались  $\alpha$ -частицы, вплотную к фольге с ураном ставился экран из алюминия толщиной в 1 мм. При этом счет со схемы совпадений оставался только практически в момент вспышки реактора, а в области измеряемых времен пролета отсутствовал. Экран из алюминия в 50 микрон (поглощались  $\alpha$ -частицы с энергией  $\leq 12 \text{ Мэв}$ ) приводил к уменьшению счета совпадений в два раза.

Эффективность регистрации тройного деления оценивалась из выражения

$$\frac{N_T}{N_D} = \frac{1}{2} \frac{W_T}{W_D} \frac{\epsilon_T}{\epsilon_D}, \quad (1)$$

где  $\frac{N_T}{N_D}$  - экспериментальное отношение счетов в единицу времени тройного и двойного делений в тепловой области;  $\epsilon_T$  и  $\epsilon_D$  - соответственно эффективность тройного и двойного делений;  $\frac{W_T}{W_D}$  - отношение вероятностей соответствующих делений, взятое из работы Ноблеса <sup>1/12</sup>/<sub>D</sub>. Коэффициент 1/2 появляется в результате того, что двойное деление регистрируется в геометрии  $4\pi$ , а тройное -  $2\pi$ .

Эффективность регистрации двойного деления определялась по интегральному амплитудному спектру осколков деления от нейтронов Po - В-источника, окруженного парафином. Из интегрального спектра можно было заключить, что при малых порогах дискриминатора эффективность к осколкам деления близка к 100%. Поэтому эффективность регистрации двойного деления при рабочем пороге определялась как отношение счета при рабочем пороге к счету при малом пороге. Эффективность тройного деления, полученная из выражения (1), оценивается в  $(85 \pm 15)\%$ .

### Результаты и обсуждение

Результаты одной серии измерений счета двойных делений (А) и тройных делений на схеме совпадений (Б) в зависимости от времени пролета нейтронов представлены на рис. 2. Кривые получились подобными. Их отношение (по суммам для трех серий измерений) представлено ниже (В).

В связи с недостаточной точностью для кривой тройных делений здесь бралось отношение площадей под отдельными резонансами, группами резонансов или между резонансами. Длина горизонтальной черты соответствует временному интервалу, по которому проводилось усреднение. Отношения нормировались на единицу для энергии  $\approx 0,1$  эв.

Наши экспериментальные данные говорят о том, что колебания отношения вероятностей тройного и двойного делений (если они существуют) могут лежать в пределах  $\approx 20\%$ . Для нейтронных резонансов с  $E_0 < 0$  это отношение можно считать постоянным в пределах статистических ошибок, указанных на рисунке. Для отрицательного уровня, заметное влияние которого распространяется до  $\approx 4$  эв, отношение вероятностей деления отличается от среднего для других уровней на  $5 \div 6$  статистических ошибок<sup>х)</sup>.

Здесь же на рисунке 2 (В) приведены данные Мишадона и др.<sup>1/1</sup>, полученные ими при измерениях с алюминиевым экраном (30 мк). Эти результаты нормировались на наши по наиболее сильному резонансу при 8,8 эв. Отношение вероятностей тройного и двойного делений для остальных резонансов (в области энергий, где влиянием отрицательного уровня можно пренебречь) в пределах ошибок измерений совпало с нашими данными. Результат вычитания для резонанса при 1,14 эв вклада, обусловленного отрицательным уровнем (вычи-

х) Однако необходимо отметить, что величина этого отличия менялась от серии к серии на величину, превышающую статистическую ошибку. По-видимому, это отличие отношения сечений для отрицательного уровня уменьшается с уменьшением энергетического порога в  $\alpha$ -канале. Предполагается продолжить эксперименты для выяснения этого обстоятельства.

тался вклад, интерполированный по счету в 210 и 270 каналах анализаторов) приведен на рисунке 2 (В) пунктиром.

Наши результаты не согласуются с данными работ<sup>/4,7/</sup>, в которых сообщается о значительных флуктуациях отношения сечений тройного и двойного делений в области резонансных нейтронов. В отношении работы<sup>/7/</sup> это, по-видимому, связано с недостаточно полным вычитанием фона, что можно привести к такому эффекту, как сдвиг максимумов в кривой отношения тройного и двойного делений в область между нейтронными резонансами.

В наших измерениях счета с  $\alpha$ -канала (без совпадений) получена кривая, в которой резонансы проявились на фоне большого подножья. Отношение счета  $\alpha$ -канала к счету f-канала (двойное деление) давало кривую с большими колебаниями, аналогичную приведенной в работе<sup>/7/</sup>. Однако эти колебания нельзя приписать только вкладу  $\alpha$ -частиц от реакции ( $n, \alpha$ ), поскольку характер кривой существенно не менялся после того, как на пути  $\alpha$ -частиц был установлен дополнительный экран-50 мк алюминия.<sup>235</sup> Такой экран должен был полностью поглотить  $\alpha$ -частицы от реакции  $U^{235}(n, \alpha)$ , так как энергия этих частиц не может превышать 10,9 Мэв.

В заключение авторы выражают свою благодарность Ф.Л.Шапиро за полезные обсуждения. Авторы признательны Я.Фогеловой, М.С.Язвинской за помощь в проведении эксперимента и Ван Туя-сену за помощь при приготовлении уранового слоя.

#### Л и т е р а т у р а

1. A.Michadon, A.Lottin, D.Paya Доклад на Парижской конференции по ядерной физике, июль 1964 г.
2. I.M.Anclair, Proc. Intern. Conf. on Neutron Interaction with Nucleus, New York, Columbia University, Sept. 1957, p. 139.
3. E.Seppi, BAPS, 3, 227 (1958).
4. Y.Metha, E.Melkonian, 7, 304 (1962).
5. А.А.Панов. ЖЭТФ, 43, 851 (1962); ЖЭТФ, 43, 1998 (1962).
6. M.Sowinski, M.Dakowski, H.Piekarz. Phys. Lett., 6, 321 (1963).
7. Т.А.Мостовая, В.И.Мостовой, Г.В.Яковлев. Атомная энергия, 18, 3 (1964).
8. Г.Е.Блохин и др. Атомная энергия, 10, 437 (1961).
9. В.О.Вяземский и др. Сцинтилляционный метод в радиометрии, Госатомиздат (1961).
10. R.A.Nbbles. Rev. Scient. Instr., 27, 280 (1956).
11. Г.П.Жуков и др. Препринт ОИЯИ, 602, Дубна, (1960).
12. R.A.Nbbles. Phys. Rev., 126, 4, 1508 (1962).

Рукопись поступила в издательский отдел  
24 февраля 1965 года.

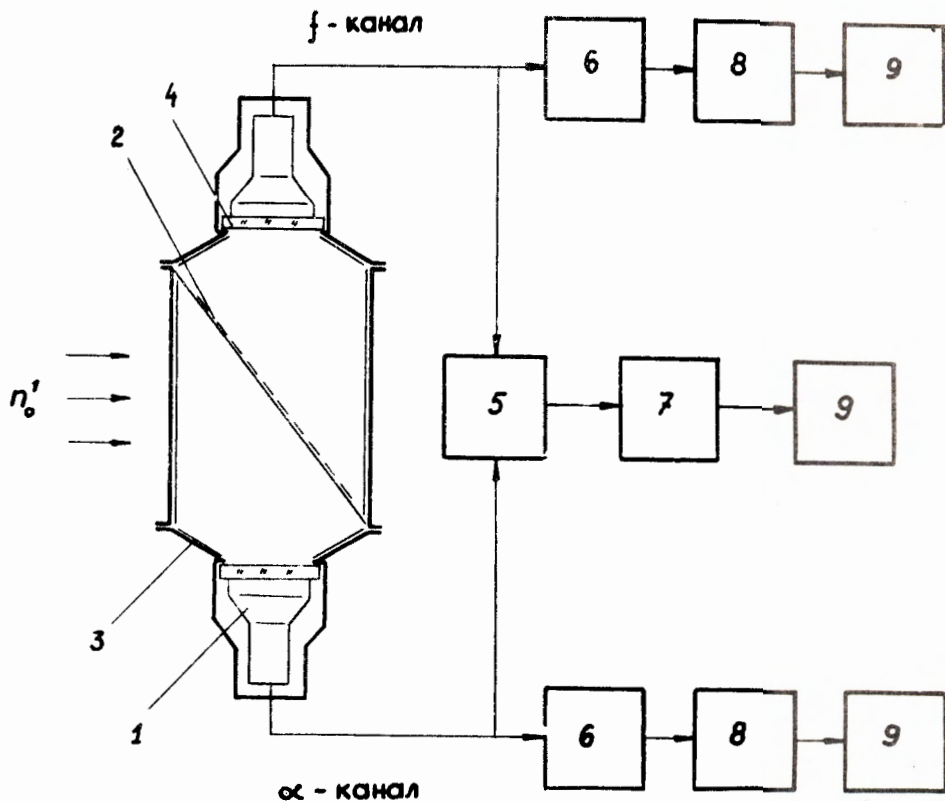


Рис.1. Схема эксперимента по измерению тройного деления.  
 1 - фотоумножитель; 2 - слой  $U^{235}$  на фольге алюминия (20 мк); 3 - камера с тефлоновым отражателем; 4 - увиолевое стекло; 5 - схема совпадений; 6 - усилитель; 7 - катодный повторитель; 8 - дискриминатор; 9 - временной анализатор.

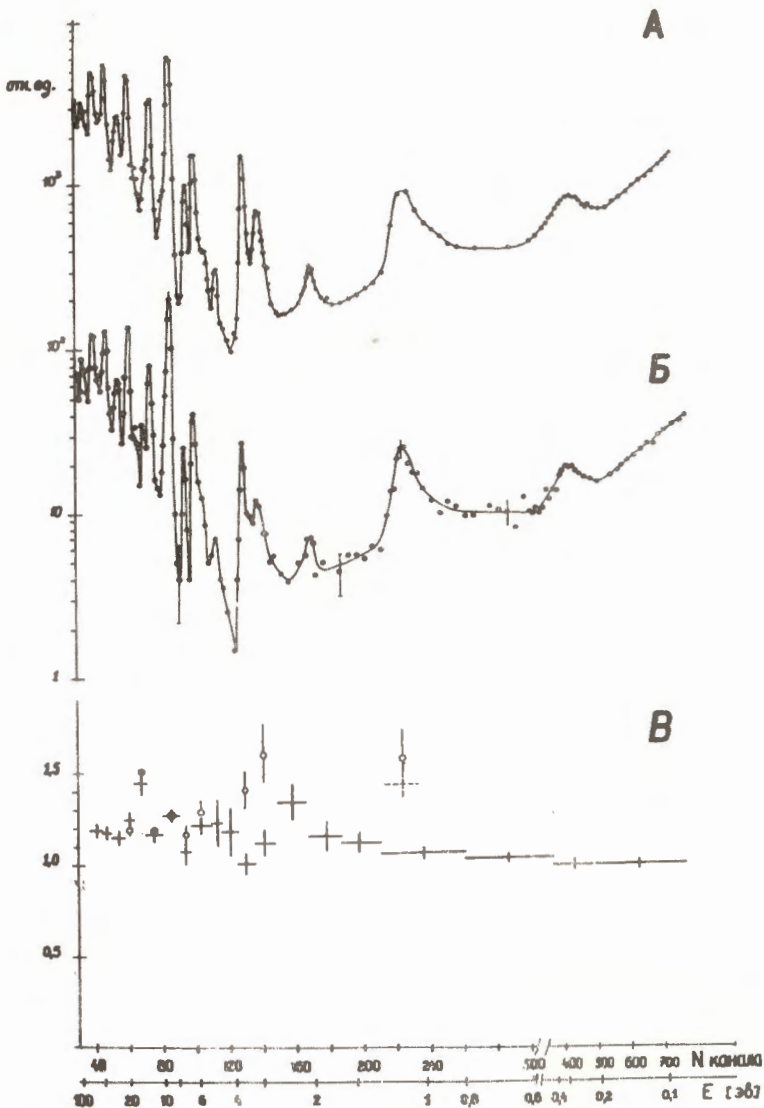


Рис. 2. Зависимость счета  $f$ -канала (двойное деление) - А и схемы совпадений (тройное деление) - Б от времени пролета нейтронов. Для кривой Б в области между резонансами точки усреднялись по 2-3 каналам. В - отношение вероятностей тройного и двойного делений, нормированное на единицу по интервалу 0,1 - 0,2 эв. Длина горизонтальной черты соответствует временному интервалу, по которому проводилось усреднение. Вертикальные линии соответствуют величине статистической ошибки. Пунктиром показан результат для резонанса  $E_0 = 1,14$  эв за вычетом подножия, обусловленного отрицательным уровнем. Кружками приведены результаты Мишадона и др., нормированные на наши данные по резонансу при 8,8 эв (88-й канал).