

## Угловое распределение $\gamma$ -квантов деления $U^{233}$ , $U^{235}$ и $Pu^{239}$ на тепловых нейтронах

Г. А. Петров, Д. М. Каминкер, Г. В. Вальский, Л. А. Попеко

В работах [1—4] отмечалась анизотропия испускаемых  $\gamma$ -квантов при делении  $U^{233}$ ,  $U^{235}$  и  $Pu^{239}$  на тепловых нейтронах, однако полученные данные очень противоречивы.

Цель настоящей работы — измерение угловой корреляции осколков и  $\gamma$ -лучей, возникающих при делении на тепловых нейтронах  $U^{233}$ ,  $U^{235}$  и  $Pu^{239}$ , для установления зависимости величины анизотропии от природы ядра-мишени и энергии  $\gamma$ -квантов.

При проектировании экспериментальной установки учитывалась возможность измерения зависимости анизотропии от отношения масс осколков деления. Поэтому для регистрации и спектрометрии осколков деления были применены полупроводниковые детекторы типа  $n-p$  с рабочими площадями 0,25; 0,5 и 1 см<sup>2</sup>. Для регистрации  $\gamma$ -квантов использовались фотомножители ФЭУ-13 и ФЭУ-33 с кристаллом NaJ (Tl) высотой и диаметром 60 мм. Особое внимание обращалось на полную симметрию системы и надежное отделение от мгновенных нейтронов деления, которые испускаются в лабораторной системе в основном по направлению деления.

В первых экспериментах по измерению корреляции  $\gamma$ -лучей и осколков при делении  $U^{235}$  использовалась многоканальная экспериментальная установка с быстро-

медленной схемой совпадений [ $\tau = (1 \div 2) \cdot 10^{-8}$  сек]. Число быстрых совпадений импульсов  $\gamma$ -квантов с энергией выше 100 кэв и импульсы осколков деления измерялись одновременно под тремя углами. Амплитуды импульсов парных осколков,  $\gamma$ -квантов и углы между направлением вылета осколков и  $\gamma$ -квантов записывались на бумажной ленте трехмерного анализатора (схема эксперимента показана на рис. 1).

Полупроводниковые детекторы и делящее вещество (0,1 мг/см<sup>2</sup>), нанесенное на тефлоновую пленку (20 мкг/см<sup>2</sup>), помещались в вакуумную алюминиевую тонкостенную цилиндрическую камеру, вдоль оси которой падал пучок тепловых нейтронов из горизонтального канала реактора. Фотомножитель был расположен в комбинированной защите из свинца, парафина и железа на расстоянии 50—70 см от оси камеры. Эксперименты показали, что вероятность испускания  $\gamma$ -квантов под углом 0° к направлению деления несколько больше, чем под углом 90° с величиной анизотропии  $(12 \pm 2)\%$ . Это хорошо согласуется с результатом работы [4] и противоречит данным [1—3].

Угловое распределение  $\gamma$ -излучения при делении  $U^{233}$  и  $Pu^{239}$  и зависимость анизотропии от энергии  $\gamma$ -квантов измерялись на одноканальной экспериментальной установке. В этой установке быстрая схема совпадений была заменена преобразователем времени в амплитуду, что позволило надежно контролировать отделение быстрых нейтронов. Разрешающее время составляло 5—8 нсек.

Геометрия опыта была такой же, как и в первых экспериментах, но использовался только один полупроводниковый детектор. Одна из картин, снятых со стоканального амплитудного анализатора «Радуга», показана на рис. 2. Левый пик относится к  $\gamma$ -лучам, правый — к нейтронам деления. Фон случайных совпадений определялся отдельно для каждой картины и вычитался из площади под пиком от  $\gamma$ -лучей. В этих экспериментах использовались источники  $U^{235}$ ,  $U^{233}$  и  $Pu^{239}$  толщиной до 1 мг/см<sup>2</sup> при диаметре пятна ~8 мм, нанесенные на алюминиевую фольгу толщиной 5 мк. Для исключения регистрации импульсов от  $\alpha$ -частиц уровень дискриминации в два-три раза превышал их амплитуду, при этом регистрировалось

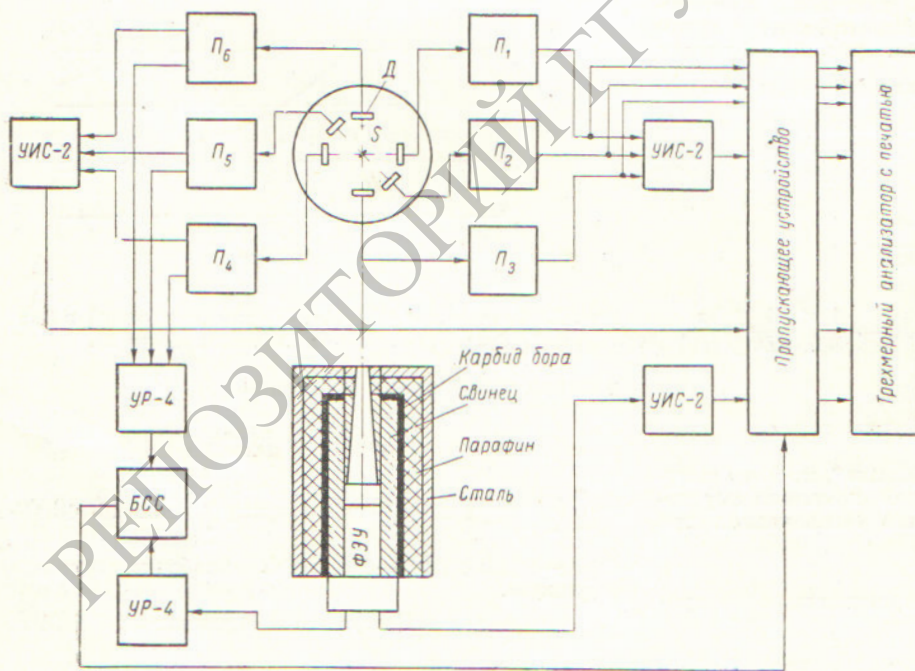


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

S — источник делений; D — полупроводниковые детекторы; П — маложумящие преобразователи; УИС-2 — линейные усилители; УР-4 — быстрые усилители; БСС — быстрая схема совпадений.



приблизительно 80% осколков деления, попадающих в детектор. В начале и в конце измерений с помощью источников  $\text{Hf}^{181}$ ,  $\text{Cs}^{137}$  и  $\text{Co}^{60}$ , помещаемых в камеру вместо мишени, проверялась симметрия системы. Для  $\gamma$ -квантов с энергией выше 50 кэв наблюдалось отсутствие асимметрии с точностью до 1%.

Разрешение  $\gamma$ -спектрометра для линии  $\text{Cs}^{137}$  составляло 15%. Порог дискриминации импульсов от  $\gamma$ -квантов изменялся от 100 до 480 кэв. Несколько серий измерений было проведено с порогом дискриминации 100 кэв и свинцовым фильтром (толщина 1 см) на пути  $\gamma$ -квантов. Результаты измерений представлены в таблице; указаны статистические ошибки. Поправка на конечные телесные углы детекторов приводит к увеличению анизотропии в среднем на 0,5%.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы. Для  $\text{U}^{233}$ ,  $\text{U}^{235}$  и  $\text{Pu}^{239}$  величины анизотропии имеют близкие значения. Как отмечается в работе [5], спины основных состояний ядер-мишеней могут приводить к некоторой дезориентации углового момента, возникающего вследствие нецентрального разрыва шейки при делении. Если такой эффект имеет место, то максимальную разницу в анизотропии следует ожидать между  $\text{U}^{235}$  (7/2) и  $\text{Pu}^{239}$  (1/2).

#### Угловое распределение $\gamma$ -квантов деления

| Ядро-мишень       | Число делений, $10^6$ |     |      | Величина анизотропии, % |            | Порог $\gamma$ -квантов |
|-------------------|-----------------------|-----|------|-------------------------|------------|-------------------------|
|                   | 0°                    | 45° | 90°  | 0°                      | 45°        |                         |
| $\text{U}^{233}$  | 34                    | 10  | 43   | $13 \pm 2$              | $11 \pm 3$ | 100 кэв                 |
|                   | 35,5                  | —   | 30,5 | $12 \pm 2$              | —          | 480 кэв                 |
|                   | 23,5                  | —   | 22   | $9 \pm 3$               | —          | 100 кэв<br>1 см Pb      |
| $\text{Pu}^{239}$ | 39                    | 20  | 40   | $14 \pm 2$              | $10 \pm 3$ | 100 кэв                 |
|                   | 54                    | —   | 54,8 | $16 \pm 2$              | —          | 100 кэв<br>1 см Pb      |

Полученные результаты дают несколько большее значение анизотропии  $\gamma$ -квантов в случае  $\text{Pu}^{239}$ . Однако

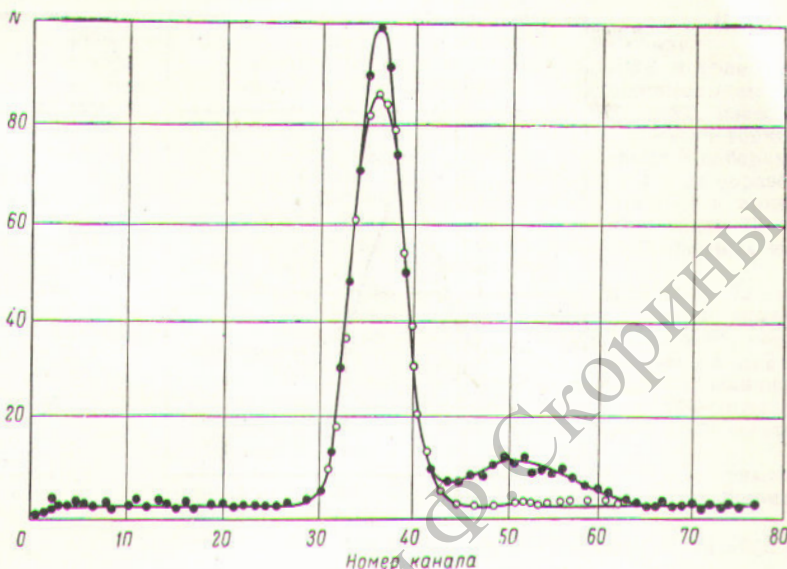


Рис. 2. Распределение амплитуд с преобразователя при ширине канала анализатора 1,1 нсек:

● — 0°; ○ — 90°.

для более определенного вывода необходимо увеличить точность измерений. В пределах ошибок измерений величина анизотропии не меняется в диапазоне энергий  $\gamma$ -квантов 100—500 кэв. Этот результат можно проверить прямым сравнением спектров  $\gamma$ -квантов деления под углом 0 и 90°.

Работа выполнена на реакторе ВВРМ Ленинградского физико-технического института. Авторы пользуются случаем выразить благодарность обслуживающему персоналу реактора.

Поступило в Редакцию 26/II 1964 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. W. Whitehouse. Progr. Nucl. Phys., 2, 150 (1952).
2. R. Leachman. Proc. of the Second Intern. Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy. Geneva, U. N., 1958, V. 15, P/665.
3. M. Hoffman. Bull. Amer. Phys. Soc., Ser. 2, 3, 1 (1958).
4. М. В. Блинов и др. ЖЭТФ, 43, 1644 (1962).
5. В. М. Струтинский. ЖЭТФ, 37, 861 (1959).

УДК 539.166

## Определение абсолютного выхода $\gamma$ -линий

74 кэв  $\text{U}^{239}$  и 87 кэв  $\text{Th}^{233}$

Л. Н. Юрова, А. В. Бушнев

Некоторые параметры физических процессов, такие, как коэффициент воспроизводства, эффективный резонансный интеграл, вероятность избежать резонансного захвата, кадмиевые отношения, происходящих в ядерных реакторах, содержащих  $\text{U}^{238}$  и торий, можно изу-

чить путем регистрации  $\gamma$ -излучений  $\text{U}^{239}$  или  $\text{Th}^{233}$ . Для оценки эффективности этих методов необходимо знать величины абсолютных выходов этих излучений (количество  $\gamma$ -квантов на распад). Абсолютный выход линии  $\text{U}^{239}$  с  $E_\gamma = 74$  кэв в настоящее время неизвестен