

11. Гинзбург В. Л., Франк И. М. ЖЭТФ, **16**, 15, 1946.  
 12. Амапуни А. Ц. «Изв. АН АрмССР», физ.-мат. науки, **13**, 113, 1960.

Поступила в редакцию  
 22.10 1973 г.

Кафедра  
 теоретической физики

УДК 539.14

В. А. ИВАНОВ, К. И. ИГНАТЕНКО, А. В. СОМИКОВ, Б. С. СТАВНИВЕНКО

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ УРОВНЯ 478 КЭВ ${}^7\text{Li}^*$ ПО ДОППЛЕР-ЭФФЕКТУ С ПРИМЕНЕНИЕМ $\text{Ge}(\text{Li})$ -СПЕКТРОМЕТРА

С появлением  $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторов  $\gamma$ -излучения, имеющих высокое энергетическое разрешение при хорошей эффективности регистрации, начался новый этап в  $\gamma$ -спектроскопии. В частности, наблюдение доплеровского смещения (или уширения)  $\gamma$ -линий и определение этим методом времен жизни стало несравненно более легкой задачей.

По результатам измерений доплеровского уширения  $\gamma$ -линий оценивается время жизни первого возбужденного уровня  ${}^7\text{Li}$  (реакция  ${}^{10}\text{B}(n, \alpha){}^7\text{Li}^* + 478 \text{ кэВ}$ ).

Схема опыта изображена на рис. 1. Установка состоит из  $\text{Pu}-\alpha$ - $\text{Be}$  источника нейтронов, боросодержащего вещества и  $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектора в криостате. Источник нейтронов и исследуемый образец помещены внутри бака с водой, который служит одно-

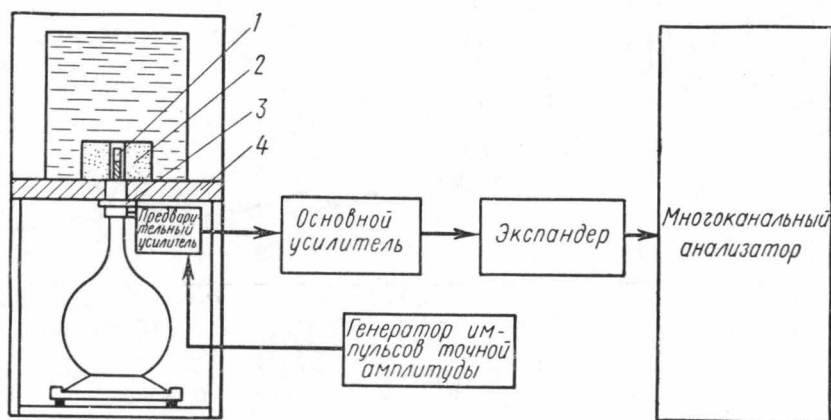


Рис. 1. Схема опыта: 1 — источник нейтронов, 2 — образец, 3 —  $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектор, 4 — свинец

временно замедлителем нейтронов и биологической защитой. При наблюдении  $\gamma$ -линии 478 кэВ от  ${}^7\text{Li}$  между источником и детектором располагается свинцовый фильтр для уменьшения  $\gamma$ -фона от  ${}^{239}\text{Pu}$ . Импульсы с детектора поступают на малошумящий предварительный усилитель, затем на основной усилитель и экспандер, позволяющий регистрировать спектр частями. Амплитудный анализ производится с помощью 1024-канального анализатора. Используемый  $\gamma$ -спектрометр имеет разрешение 4 кэВ при 122 кэВ и 6 кэВ при 478 кэВ. Измерение энергий  $\gamma$ -линий производится с помощью генератора импульсов точной амплитуды.

Предварительно изучался спектр фона (рис. 2). В нем найдены  $\gamma$ -линии  ${}^{239}\text{Pu}$ , линия 4433 кэВ  ${}^{12}\text{C}$  (реакция  ${}^9\text{Be}(\alpha, n){}^{12}\text{C}^* \rightarrow 4433 \text{ кэВ}$ ), а также  $\gamma$ -линии, возбуждаемые нейтронами при неупругом рассеянии и радиационном захвате. Среди них аннигиляционная линия 511 кэВ и линия 2223 кэВ радиационного захвата нейтронов в водороде. Кроме того, в спектре фона присутствуют  $\gamma$ -линии от неупругого рассеяния быстрых нейтронов в германии детектора. Наиболее интенсивная линия связана с возбуждением при неупругом рассеянии нейтронов  $\text{O}^+$  уровня в

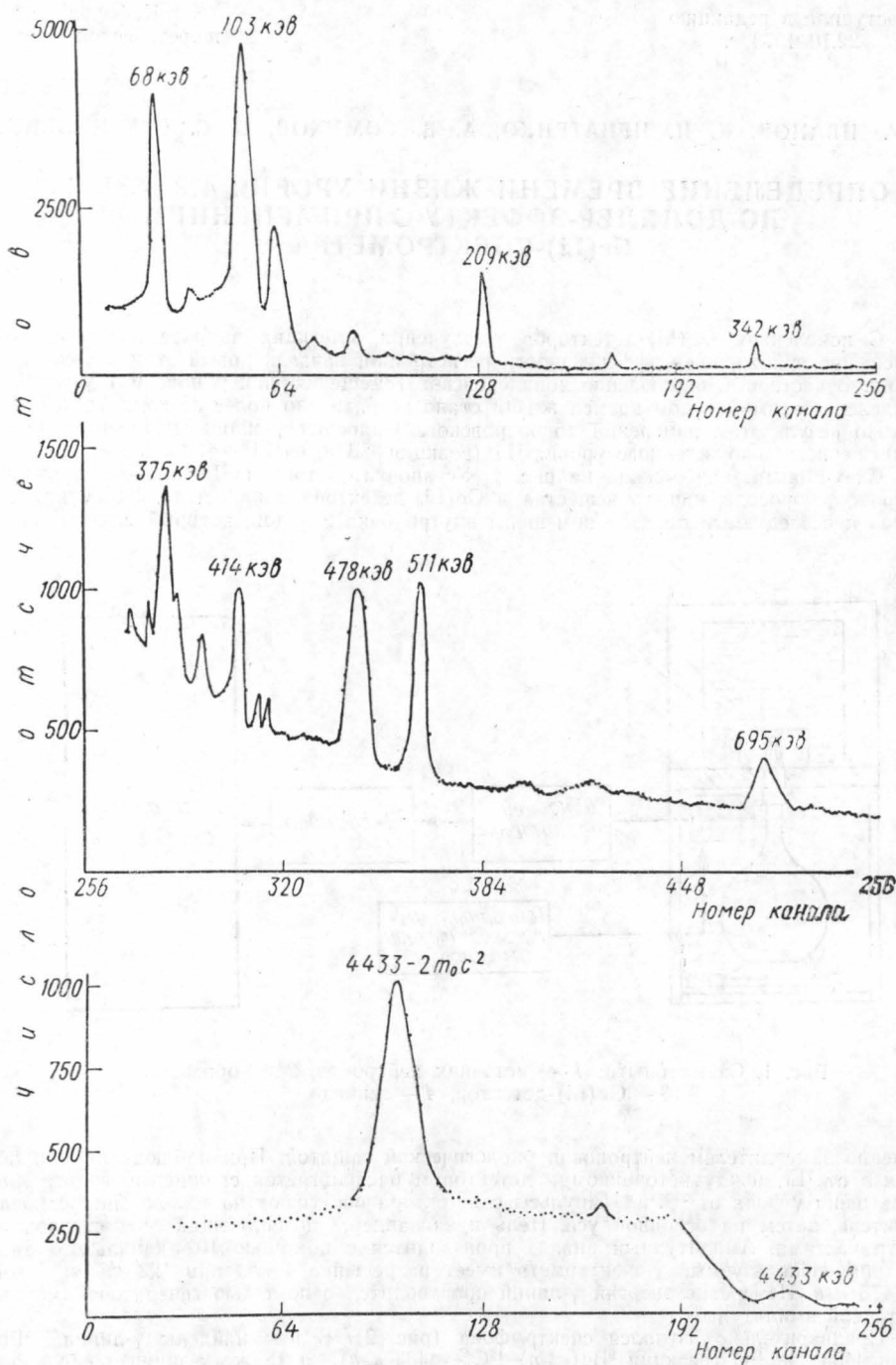


Рис. 2.  $\gamma$ -Спектр  $^{239}\text{Pu}$  и фоновые линии

$^{72}\text{Ge}$  с энергией 695 кэв. Распад этого состояния (переход  $0^+ \rightarrow 0^+$ ) происходит целиком путем испускания конверсионных электронов, регистрируемых в детекторе со 100%-ной эффективностью. Эта линия имеет характерную форму с длинным спадом на десятки кэв, обусловленным потерей энергии ядер отдачи германия, образующихся при неупругом рассеянии нейтронов. Форма и длина этого «хвоста» зависит от спектра нейтронов.

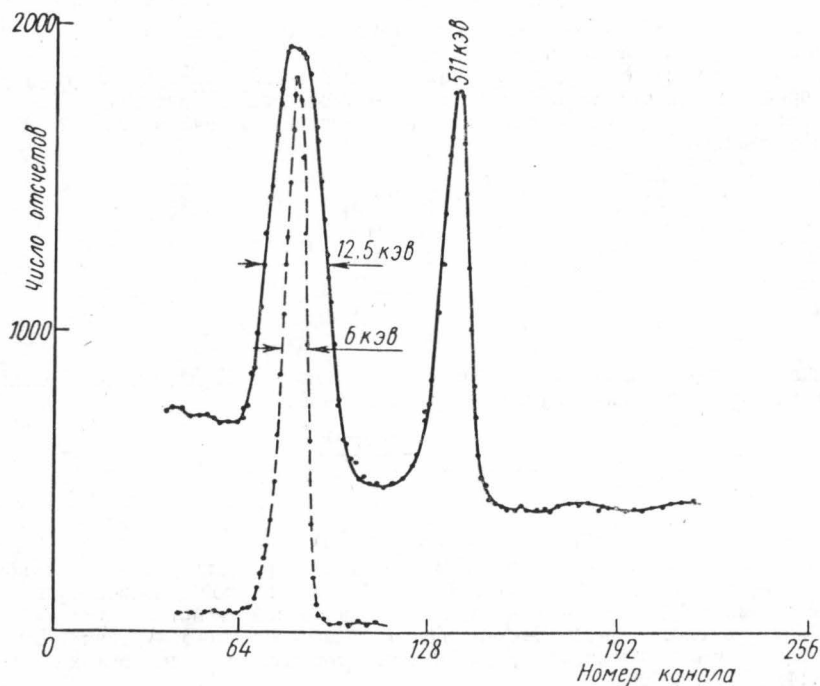


Рис. 3. Участок спектра в области 500 кэв (пунктиром показана линия 480 кэв  $^{181}\text{Hf}$ )

По  $\gamma$ -линиям  $^{239}\text{Pu}$  с использованием литературных данных [5] построена зависимость эффективности  $\gamma$ -спектрометра от энергии.

Линия 4433 кэв от  $^{12}\text{C}$  имеет ширину существенно большую, чем аппаратурная (рис. 2). Оценка показывает согласие с известным фактом — время торможения ядер отдачи  $^{12}\text{C}$  много больше времени жизни уровня с энергией 4,433 Мэв.

На рис. 3 показан участок спектра, содержащий  $\gamma$ -линию 478 кэв, соответствующую распаду первого возбужденного уровня  $^7\text{Li}$ . Это ядро получается в результате реакции  $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}^*$ . (В качестве образца в данном случае использована борная кислота.) Уширение линии 478 кэв выражено достаточно сильно: при аппаратурной ширине 6 кэв интересующая нас линия имеет ширину 12,5 кэв.

Для вычисления времени жизни уровня 478 кэв по полученным экспериментальным данным рассмотрен зависимость формы  $\gamma$ -линии от соотношения этого времени ( $\tau$ ) и времени торможения  $t_T$ . Очевидно, если  $\tau \ll t_T$  (распад на лету), то должна наблюдаться  $\gamma$ -линия с максимальным доплеровским ушире-

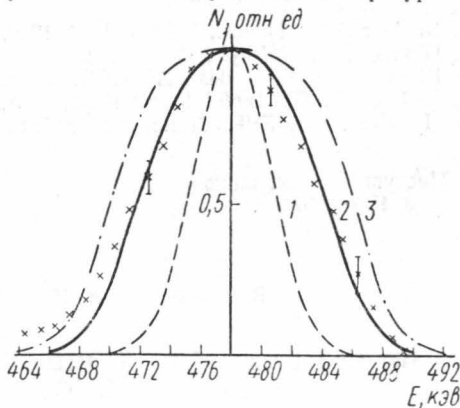


Рис. 4. Расчетные кривые для различных соотношений  $t_T/\tau$ ; 1 —  $t_T \ll \tau$ , 2 —  $t_T/\tau = 5$ , 3 —  $t_T \gg \tau$ ; крестиками обозначены экспериментальные точки (образец  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ,  $N_{\text{max}} \sim 1500$  нмп)

нием. Так как  $Q$  реакции  $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}^*$  составляют  $2,31 \text{ Мэв}$ , то для случая тепловых нейтронов ( $P_n \sim 0$ ) кинетическая энергия ядра отдачи  $^7\text{Li}$  имеет значение  $0,84 \text{ Мэв}$ . Это соответствует максимальному уширению  $\gamma$ -линии из-за доплер-эффекта:

$$\Delta E_0 = \frac{v}{c} E_\gamma = 15,4 \text{ кэв.}$$

Здесь  $v$  — скорость ядра отдачи,  $c$  — скорость света,  $E_\gamma$  — энергия  $\gamma$ -кванта.

В другом крайнем случае, если  $t_T \ll \tau$  (распад после остановки),  $\gamma$ -лучи должны регистрироваться как монохроматические.

Для анализа промежуточного случая можно воспользоваться упрощенной моделью, предположив, что движение ядра равнозамедленно, и представив весь процесс происходящим в два этапа: испускание  $\gamma$ -кванта ядром отдачи на лету с некоторой средней скоростью

$$\bar{v} = \frac{\int_0^{t_T} v_0 \left(1 - \frac{t}{t_T}\right) e^{-\frac{t}{\tau}} dt}{\int_0^{t_T} e^{-\frac{t}{\tau}} dt}$$

и испускание  $\gamma$ -кванта ядром отдачи после его остановки. При этих предположениях, аппроксимируя аппаратную функцию гауссовой кривой

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(E_\gamma - x)^2}{2\sigma^2}},$$

можно получить форму спектра в зависимости от  $t_T/\tau$  и  $\sigma$ .

Были проделаны численные расчеты формы спектра для различных отношений  $t_T/\tau$ . Экспериментальная кривая (рис. 4) близка к расчетной кривой при  $t_T/\tau = 5$ . Используя данные [1], для времени торможения в борной кислоте получаем значение  $7 \cdot 10^{-13} \text{ сек}$ . Отсюда время жизни первого возбужденного уровня  $^7\text{Li}$  равно  $1,4 \cdot 10^{-13} \text{ сек}$ , что сравнимо с наиболее точным из известных значений  $(1,06 \pm 0,14) \cdot 10^{-13} \text{ сек}$  [2].

В студенческой практике эксперимент будет выполняться с использованием различных боросодержащих веществ, отличающихся временем торможения.

Авторы выражают благодарность преподавателю Л. Н. Крюковой и заведующему лабораторией Д. А. Журавлеву за большую помощь на всех этапах работы, а также Р. М. Репину за составление программы и численные расчеты на БЭСМ-6.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Nuclear Data. Tables., A5, No. 1—4, 1969.
2. Horsch F. Z. Phys., 194, 405, 1966.
3. Шпинель В. С. «Изв. АН СССР», сер. физич., 18, 63, 1954.
4. Elliot L. G., Bell R. E. Phys. Rev., 74, 1969, 1948; Phys. Rev., 76, 168, 1948.
5. Игнатенко К. И. Дипломная работа. МГУ, 1970.

Поступила в редакцию  
12.10 1972 г.

НИИЯФ

УДК 621.317.681.337

М. В. ТЕЛЬЦОВ, В. И. ШУМШУРОВ, Е. В. КОРОЛЬКО

## АНАЛИЗ СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ИОНИЗАЦИОННОЙ КАМЕРЫ С ЭСР ВЫСОКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Электростатические реле (ЭСР) применяются в различных приборах для интегрирования слабых электрических токов вплоть до  $10^{-15} \text{ а}$  [1, 2]. ЭСР при работе с ионизационной камерой преобразует ее ток в последовательность импульсов и с той же