

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРЕШЕНИЯ НЕЙТРОННОГО СПЕКТРОМЕТРА  
ПО ВРЕМЕНИ ЗАМЕДЛЕНИЯ В СВИНЦЕ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ 30 кэВ \*)

А. А. Бергман, А. Маликжонов

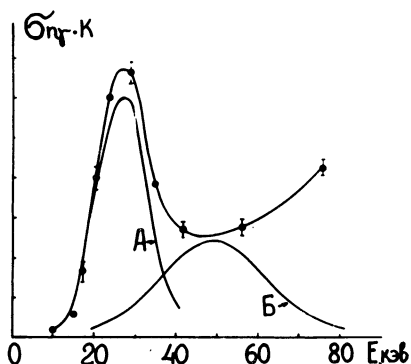
В связи с ростом интереса к исследованию захвата нейтронов ядрами в области 10-35 кэВ появилась острая необходимость исследования разрешения нейтронного спектрометра по времени замедления в свинце /1/ в этой области энергий. До настоящего времени экспериментальное исследование разрешения проводилось до энергии  $E \sim 6$  кэВ /1/. Расчеты спектров проводились /1/, однако неточности, которые могли возникнуть по причине использования приближенных методов для учета конкуренции упругого и неупругого взаимодействия в процессе формирования спектра, не оценивались.

Для экспериментального исследования разрешения проводилось измерение радиационного захвата фтором, который имеет изолированные резонансы при энергиях нейтронов  $E = 27$  кэВ, 49 кэВ и более высоких энергиях /2/. Это измерение ставило целью определение полуширины линии, но заведомо не могло выявить возможного "хвоста" в спектре энергий нейтронов со стороны малых энергий, как по причине более высокорасположенных резонансов фтора, так и по причине того, что часть нейтронов в процессе неупругого замедления может образоваться сразу с энергией меньшей энергии резонанса, используемого для определения формы линии. Поэтому проводилось еще измерение отношения числа протонов отдачи  $J_H(t)$  в счетчике с газобразным водородом к числу отсчетов борного детектора  $J_B(t)$  как функции времени замедления  $t$ . Это отношение чувствительно не только и не столько к ширине линии, как к наличию упомянутого возможного вклада от нейтронов малых энергий в спектре нейтронов при  $E \sim 30$  кэВ.

---

\*) При использовании нейтронов от D-T реакции.

На рис. I показан эффект от радиационного захвата в образце фторопласта ( $n\text{-CF}_2$ )  $40 \times 18 \times 64 \text{ мм}^3$ , помещенном в рабочий канал спектрометра. Детектором служил пропорциональный счетчик, находящийся внутри образца. Четко проявился резонанс при энергии 27 кэв.



Р и с. I. Эффект от радиационного захвата фтором. Кривые А и Б показывают вклады уровней с  $E_n = 27$  и 49 кэв.

Резонанс при энергии 49 кэв не выделяется вследствие малости вклада. При разделении вкладов резонансов они описывались гауссовыми кривыми. Соотношение между полуширинами спектров энергий нейтронов  $\tau$  при разных средних энергиях  $E_0$  и  $E_1$  принималось равным, исходя из данных работы /1/

$$\left(\frac{\tau_1}{E_1}\right)^2 = \left(\frac{\tau_0}{E_0}\right)^2 \cdot \frac{E_1}{E_0} + \frac{64 \ln 2}{3M} \left(1 - \frac{E_1}{E_0}\right) \cdot 1,625. \quad (I)$$

Здесь  $M = 207$  - средний атомный вес замедлителя.

Расчет велся методом последовательных приближений. Связь время - средняя энергия описывалась соотношением  $E = (183 \text{ кэв}) / (t + t_0, \text{ мксек})^2$ , где величина  $t_0$  согласно положению середины резонанса была определена равной  $t_0 = 0,40$  мксек. Ранее из положений резонансов с энергией  $E \sim 6$  кэв /1/ величина  $t_0$  была определена равной 0,3 мксек. Необходимо отметить, что полуширина ли-

нии 27 кэв и величина  $t_0$  очень слабо зависят от способов выделения вкладов резонансов при больших энергиях нейтронов.

Экспериментальная полуширина линии 27 кэв составляет  $(58 \pm 3)\%$ . После учета длительности времени нейтронной вспышки (полуширина 0,4 мсек), относительная полуширина спектра энергий нейтронов получилась равной  $50 \pm 3\%$ , что существенно меньше величины, полученной расчетом в работе /1/ для средней энергии 27 кэв ( $\sim 100\%$ ).

Для измерения отношения  $J_H(t)/J_B(t)$  использовались стандартный счетчик СМ-20 с обогащенным  $B^{10}$   $BF_3$  диаметром 18 мм и счетчик диаметром 10 мм с наполнением  $H_2 + 5\% CO_2$  при давлении 1 атм. Ошибка в отношении  $J_H(t)/J_B(t)$ , возможная из-за различных быстрых действий детекторов, пренебрежима мала.

При измерении с борным счетчиком тщательно проверялось, что в рабочем режиме не происходит регистрации атомов отдачи от нейтронов, так как вследствие эффекта аномальной ионизации, вызываемой этими атомами при  $E \geq 20$  кэв /3/, могла возникнуть существенная ошибка. Регистрация атомов отдачи от  $CO_2$  в счетчике с водородом происходила, однако максимальный вклад этого процесса составлял не более 2%, что не превышает точности измерений.

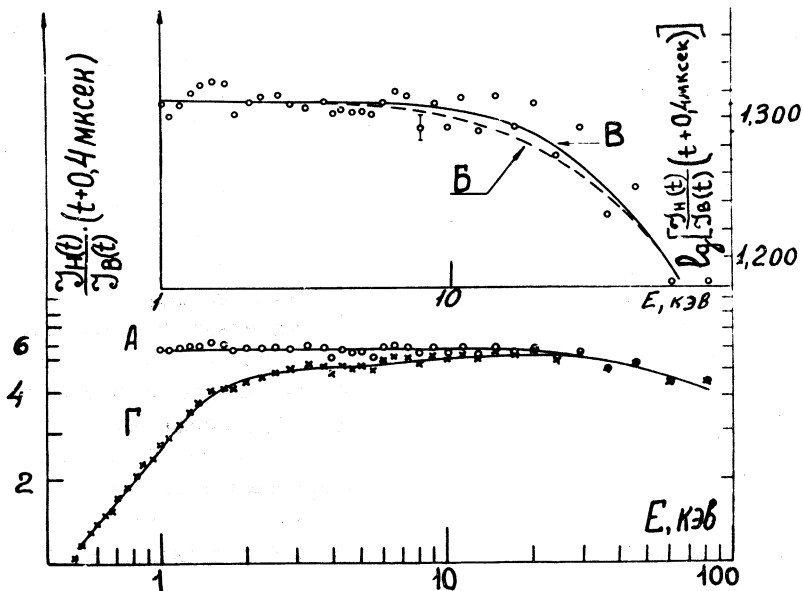
Поправка на просчеты составляла  $1 \pm 5\%$  в исследуемом диапазоне энергий нейтронов.

На рис. 2 представлены экспериментальные результаты в виде  $[J_H(t)/J_B(t)] \cdot (t + 0,4)$  как функции средней энергии нейтронов до и после введения поправок на регистрацию  $\gamma$ -квантов и на порог регистрации протонов водородным счетчиком ( $E_{\text{пор}} = 0,53 \pm 0,01$  кэв).

Поправки были определены методом вариации порога и вклада  $\gamma$ -фона спектрометра, который имеет известную энергетическую зависимость /4/. При этом использовались экспериментальные точки в области  $E = 0,7 + 2$  кэв, которые после введения поправки должны были наилучшим образом удовлетворять расчетной зависимости.

Поправка на регистрацию  $\gamma$ -квантов определялась также из оценки отсчетов водородного счетчика при энергиях нейтронов много меньших величины порога регистрации протонов отдачи. Оба способа дали одинаковые результаты. Эта поправка в области  $E = 5 + 35$  кэв составила не более 2,5%.

Поправка на увеличение эффективности регистрации протонов отдачи при увеличении энергии нейтронов за счет выхода прото-



Р и с. 2. Отношение интенсивностей отсчетов счетчиков, регистрирующих протоны отдачи и реакцию  $B^{10}(n, \alpha)$ , помноженное на  $t + 0,4$  мксек. А) Экспериментальная кривая после введения поправок на вклад от  $\gamma$ -лучей радиационного захвата нейтронов и порог регистрации. Б) Расчетная кривая; предполагалось, что сечение  $B^{10}(n, \alpha)$  следует закону  $1/v$ . В) То же, но сечение  $B^{10}(n, \alpha)$  принято согласно работе /6/ (точки около кривых Б, В те же, что около кривой А, но в увеличенном масштабе). Г) Экспериментальная кривая до введения и поправок.

нов из нерабочего объема счетчика в рабочий составляла менее 0,7% при  $E = 35$  кэВ и не вводилась.

На рис. 2 представлены результаты расчетов, в которых спектр нейтронов принимался гауссовым. Зависимость полуширины спектра от энергии рассчитывалась по формуле (1), причем полуширина спектра при энергии нейтронов 27 кэВ принималась равной

50%. Учитывалось конечное временное разрешение. Сечение реакции  $V^{10}(n, \alpha)$  было взято из работы /5/. Ход сечения рассеяния нейтронов на водороде взят согласно данным Гаммеля (см. /2/). Постоянный множитель расчетной кривой подбирался, исходя из наилучшего согласия в области 4 + 7 кэВ.

Видно хорошее согласие экспериментальных точек с расчетной кривой. Если ввести поправку ( $\sim 2\%$ ) на регистрацию атомов отдачи от  $CO_2$  в области  $E \geq 20$  кэВ, то согласие заметно улучшается. Расчетная кривая, не учитывающая отклонение сечения реакции  $V^{10}(n, \alpha)$  от закона  $1/v$  в области  $E > 4$  кэВ, удовлетворит экспериментальным точкам существенно хуже.

Из данных рис. 2 следует, что если "хвост" со стороны малых энергий в спектре нейтронов при временах замедления  $t \geq 1,5$  мксек ( $E \leq 50$  кэВ) и существует, то вызываемая им неточность определения отношений рассеяния  $n-p$  и реакции  $V^{10}(n, \alpha)$  меньше 2%.

В заключение авторы благодарят И. Я. Барита, А. И. Исакова, Ф. Л. Шапиро и И. М. Франка за интерес к работе и полезные обсуждения, а также А. И. Медведева, А. Е. Самсонова, Ю. Я. Дмитренко, В. М. Полякова, Б. И. Рыжикова и И. В. Сюткину за помощь в работе.

Институт Ядерных Исследований АН СССР

Поступила в редакцию  
10 февраля 1972 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. Ф. Л. Шапиро, А. И. Исаков, А. А. Бергман. Труды ФИАН, т. 24, 6, 1964 г.
2. D. J. Hughes, R. B. Schwartz. BNL-325, second edition, 1958.
3. А. А. Бергман, А. Маликжонов. Доклад на совещании по нейтронной физике, Киев, 1971 г.
4. А. А. Бергман, А. Маликжонов. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 3, 60 (1972).
5. M. G. Sowerby, B. H. Patrik, G. A. Uttley. AERE, Harwell N°IAEA - CN - 26/26, 1970.