

УДК 621.039.556

Измерение полных нейтронных сечений  $^{168}\text{Yb}$  и  $^{169}\text{Yb}$ 

АНУФРИЕВ В. А., БАБИЧ С. И., КОЛЕСОВ А. Г., НЕФЕДОВ В. Н., ПОРУЧИКОВ В. А.

В настоящей статье приведены данные о полных нейтронных сечениях и резонансных параметрах  $^{168,169}\text{Yb}$  ( $T_{1/2} = 31$  сут). Измерения выполнены методом времени пролета на нейтронном спектрометре, установленном на горизонтальном канале реактора СМ-2. Методика измерений описана в работе [1].

Для определения полного нейтронного сечения и резонансных параметров  $^{168}\text{Yb}$  измерено пропускание двух образцов, обогащенных  $^{168}\text{Yb}$  (15,6%). Характеристики этих образцов приведены в табл. 1.

Образец № 1 приготовлен из порошка  $\text{Yb}_2\text{O}_3$ , засыпанного в герметичную алюминиевую ампулу внутренним диаметром 1,8 мм. Для более точного определения резонансных параметров «сильного» уровня  $^{168}\text{Yb}$  с  $E_0 = 0,590$  эВ приготовили тонкий образец № 2. Мишень с  $^{169}\text{Yb}$  получали путем облучения образца, аналогичного образцу № 1, в реакторе СМ-2 до флюенса  $3,2 \cdot 10^{20}$  нейтр./см<sup>2</sup>. За 175 сут провели несколько измерений пропускания облученного образца в целях идентификации уровней и определения количества  $^{169}\text{Yb}$ .

Количество  $^{169}\text{Yb}$  определяли по накоплению  $^{169}\text{Tm}$  при  $\beta^+$ -распаде  $^{169}\text{Yb}$  из следующего выражения:

$$N_{169\text{Yb}}^{t_i} = \frac{N_{169\text{Tm}}^{t_{i+1}} - N_{169\text{Tm}}^{t_i}}{1 - \exp[-\lambda_{169\text{Yb}}(t_{i+1} - t_i)]},$$

где  $t_i$  — время  $i$ -го измерения пропускания, сут;  $N_{169\text{Tm}}^{t_i}$  — число ядер  $^{169}\text{Tm}$  при  $i$ -м измерении пропускания;  $\lambda_{169\text{Yb}}$  — скорость распада  $^{169}\text{Yb}$ , сут<sup>-1</sup>. При расчете количества  $^{169}\text{Tm}$  использовали резонансные параметры уровня с  $E_0 = 3,9$  эВ, рекомендованные в работе [2]. На рис. 1 показано пропускание облученного образца иттербия в области уровня с  $E_0 = 3,9$  эВ для двух измерений с интервалом времени 24 сут. Определено, что в момент окончания облучения в образце было  $1,14 \cdot 10^{-4}$  ядер/б  $^{169}\text{Yb}$ ;  $1,9 \cdot 10^{-4}$  ядер/б  $^{168}\text{Yb}$  и  $0,22 \cdot 10^{-4}$  ядер/б  $^{169}\text{Tm}$ .

В энергетической области 0,014—46 эВ обнаружено 4 уровня  $^{168}\text{Yb}$  и 21 уровень  $^{169}\text{Yb}$ . Методом формы по формуле Брейта — Вигнера рассчитаны их резонансные параметры. В табл. 2 приведены параметры нейтронных резонансов  $^{168}\text{Yb}$ , которые сравниваются с данными, опубликованными в работах [3—5]. Уровни энергией 3,925 и 8,17 эВ, приводимые в публикации [4], нами не обнаружены.

Таблица 1

Состав образцов иттербия, ядер/б\*

| Номер образца | Изотоп Yb, [ $\times 10^5$ ] |      |      |      |      |      |      |
|---------------|------------------------------|------|------|------|------|------|------|
|               | 168                          | 170  | 171  | 172  | 173  | 174  | 175  |
| 1             | 36,6                         | 17,5 | 44,3 | 46,9 | 27,2 | 43,7 | 13,2 |
| 2             | 0,74                         | 0,36 | 0,90 | 0,96 | 0,55 | 0,89 | 0,27 |

\* 1 б =  $10^{-28}$  м<sup>2</sup>

Таблица 2

Параметры нейтронных резонансов  $^{168}\text{Yb}$ 

| $E_0$ , эВ                          | $\Gamma$ , мэВ      | $\Gamma_n$ , мэВ                  |   |
|-------------------------------------|---------------------|-----------------------------------|---|
|                                     |                     | настоящая работа                  | опубликованные данные                                   |
| $0,590 \pm 0,005$                   | $66 \pm 3$          | $2,2 \pm 0,1$                     | $3,1 \pm 0,3$ [3]<br>$2,1 \pm 0,2$ [4]                  |
| $9,71 \pm 0,01$<br>$22,44 \pm 0,05$ | (90)<br>$172 \pm 9$ | $0,08 \pm 0,01$<br>$24,6 \pm 1,0$ | $0,16 \pm 0,06$ [4]<br>$50 \pm 5$ [4]<br>$29 \pm 2$ [5] |
| $27,17 \pm 0,06$                    | (90)                | $2,45 \pm 0,20$                   | $5,2 \pm 2,0$ [4]                                       |

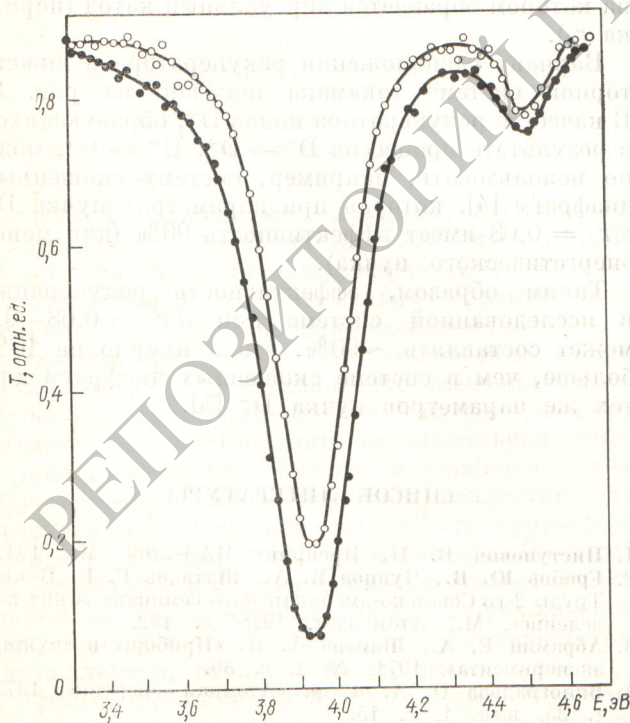
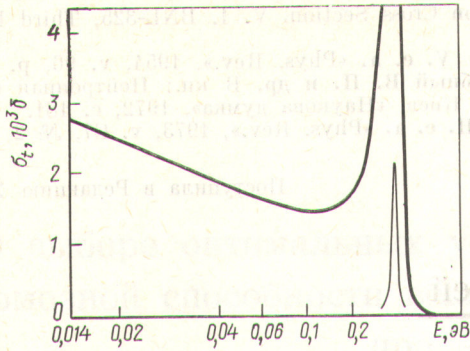


Рис. 1. Пропускание облученного образца иттербия в области энергии 3,4—4,6 эВ через 30 (●) и 6 (○) сут после облучения



Р и с. 2. Полное нейтронное сечение  $^{168}\text{Yb}$  в области энергии 0,014—1 эВ. Вершины пиков уменьшены в 50 раз

По измеренному пропусканию рассчитана зависимость полного нейтронного сечения  $^{168}\text{Yb}$  в области энергии нейтронов 0,014—1 эВ (рис. 2). Зависимость полного нейтронного сечения  $^{168}\text{Yb}$  в указанной области описывается параметрами положительных уровней.

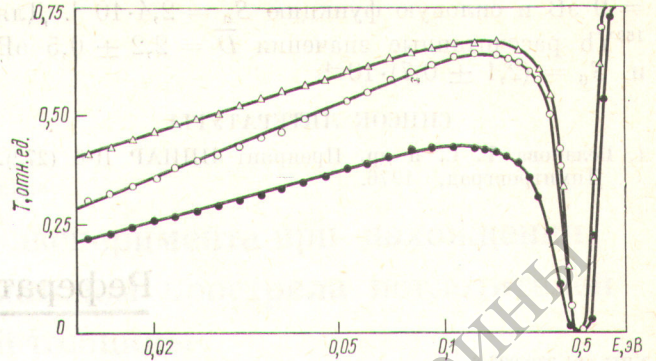
Полученное значение  $\sigma_{\gamma}^{2200} = (2200 \pm 170)$  б (сечение захвата  $^{168}\text{Yb}$  в тепловой точке) значительно меньше, чем рекомендуемое в работе [2]. Это различие можно объяснить тем, что значение  $\sigma_{\gamma}^{2200} = 3470$  б [2] основано на результатах интегральных измерений с использованием либо метода кадмевой разности, либо измерений в тепловом максвелловском спектре нейтронов. Наличие же «сильного» нейтронного уровня с  $E_0 = 0,590$  эВ, находящегося вблизи кадмевой границы, приводит к завышению сечения в тепловой точке, полученного интегральным методом.

По найденным параметрам рассчитан резонансный интеграл захвата  $^{168}\text{Yb}$ , который равен  $I_{\gamma} = (24700 \pm 3000)$  б. Значение  $I_{\gamma}$  меньше, чем рекомендуется в работе [2].

Параметры нейтронных резонансов  $^{169}\text{Yb}$

| $E_0$ , эВ        | $\Gamma^*$ , мэВ | $2g\Gamma_n$ , мэВ | $E_0$ , эВ     | $\Gamma^*$ , мэВ | $2g\Gamma_n$ , мэВ |
|-------------------|------------------|--------------------|----------------|------------------|--------------------|
| $0,807 \pm 0,005$ | (80)             | $0,42 \pm 0,03$    | $23,3 \pm 0,4$ | (80)             | $2,9 \pm 0,5$      |
| $1,32 \pm 0,04$   | (80)             | $0,046 \pm 0,08$   | $24,1 \pm 0,1$ | (80)             | $1,0 \pm 0,5$      |
| $2,19 \pm 0,02$   | $72 \pm 9$       | $0,42 \pm 0,04$    | $25,1 \pm 0,1$ | (80)             | $2,9 \pm 0,5$      |
| $6,90 \pm 0,04$   | (80)             | $0,35 \pm 0,05$    | $28,3 \pm 0,1$ | (80)             | $10,2 \pm 1,5$     |
| $8,57 \pm 0,06$   | (80)             | $0,55 \pm 0,08$    | $33,5 \pm 0,2$ | (80)             | $14,7 \pm 7,0$     |
| $9,20 \pm 0,06$   | $75 \pm 11$      | $2,7 \pm 0,2$      | $33,9 \pm 0,2$ | (80)             | $9,3 \pm 5,0$      |
| $12,31 \pm 0,07$  | $93 \pm 12$      | $2,4 \pm 0,2$      | $37,4 \pm 0,2$ | (80)             | $2,6 \pm 1,6$      |
| $12,53 \pm 0,07$  | (80)             | $1,6 \pm 0,2$      | $41,6 \pm 0,2$ | (80)             | $11,2 \pm 2,6$     |
| $13,46 \pm 0,08$  | (80)             | $1,1 \pm 0,4$      | $43,2 \pm 0,2$ | (80)             | $5,7 \pm 2,3$      |
| $14,66 \pm 0,08$  | $103 \pm 26$     | $6,2 \pm 0,6$      | $45,4 \pm 0,2$ | (80)             | $20 \pm 10$        |
| $21,8 \pm 0,1$    | (80)             | $5,5 \pm 0,6$      |                |                  |                    |

\*  $\Gamma = 80$  мэВ принято как среднее из измеренных значений  $\Gamma$  для уровней с  $E_0 = 2,19; 9,20; 12,30$  и  $14,66$  эВ.



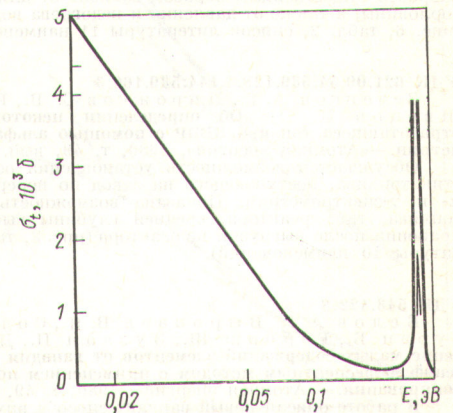
Р и с. 3. Пропускание необлученного образца и два пропускания облученного образца в области энергии 0,014—1 эВ; ● — до облучения; ○ — 6 сут после облучения; △ — 80 сут после облучения

В табл. 3 приведены параметры нейтронных резонансов  $^{169}\text{Yb}$ , а на рис. 3 — результаты двух измерений пропусканий облученного и одного измерения пропускания необлученного образца в тепловой области энергии нейтронов. Интервал измерений облученного образца 70 сут. Различие в пропусканиях облученного образца объясняется изменением количества  $^{169}\text{Yb}$  и  $^{169}\text{Tm}$ .

Полное нейтронное сечение  $^{169}\text{Yb}$  в тепловой области энергии нейтронов показано на рис. 4. Поведение полного нейтронного сечения  $^{169}\text{Yb}$  в тепловой области не описывается резонансными параметрами положительных уровней. Для  $^{169}\text{Yb}$  значение  $\sigma_{\gamma}^{2200} = (3600 \pm 300)$  б. Рассчитанное значение  $I_{\gamma} = (3800 \pm 500)$  б. Погрешность результатов измерений определялась в основном вкладом погрешности в определении количества  $^{168}\text{Yb}$  (5%) и  $^{169}\text{Yb}$  (8%).

Полученные результаты позволили оценить для  $^{168}\text{Yb}$  среднее расстояние между уровнями  $\bar{D} =$

Таблица 3



Р и с. 4. Полное нейтронное сечение  $^{169}\text{Yb}$  в области энергии 0,014—1 эВ. Вершины пиков уменьшены в 5 раз

