

## О РАСХОДИМОСТИ ЗНАЧЕНИЙ ЭНЕРГИЙ СВЯЗИ ДЕЙТРОНА, ИЗМЕРЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ППД И КДГС

А.И.Иванов\*, Ц.Вылов, В.М.Горожанкин,  
В.Н.Покровский, И.Ф.Учеваткин\*

Поскольку энергетическая шкала полупроводниковых спектрометров основывается на кристалл-дифракционных данных, обнаруженная недавно заметная разница в значениях энергии связи дейтрона  $\text{Sn}(^2\text{H})$ , измеренной на ППД- и КДГС-спектрометрах, может оказаться весьма важной. Были повторены измерения  $\gamma$ -лучей из реакции  $^1\text{H}(n, \gamma)$  и подтверждены прежние результаты, полученные с помощью ППД-спектрометров. В то же время наши данные по  $\gamma$ -лучам из реакции  $^{35}\text{Cl}(n, \gamma)$ , которые находятся также в области 2 МэВ, полностью согласуются с данными КДГС. Итак, отмеченное выше расхождение остается в силе и нуждается в дальнейшем исследовании.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

### About Discrepancy in Values of Deuteron Binding Energy Measured with Semiconductor Detectors and Crystal-Diffraction Gamma-Spectrometer

A.I.Ivanov et al.

The recently discovered marked discrepancy in value of deuteron binding energy  $\text{Sn}(^2\text{H})$ , as measured with Ge(Li) and CD spectrometers, may be of primary importance as the energetic scale of spectrometers, is based on crystal-diffraction spectrometer data. The measurement of  $\gamma$ -rays in the  $^1\text{H}(n, \gamma)$  reaction was repeated and earlier results on  $\text{Sn}(^2\text{H})$  with Ge(Li) spectrometers were confirmed. At the same time the Ge(Li) data on  $\gamma$ -rays located in the same 2 MeV region from  $^{35}\text{Cl}(n, \gamma)$  reaction obtained in this work are in complete agreement with CD data. So the above-mentioned discrepancy holds and needs further investigations.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

#### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время широко используются два набора<sup>1,2/</sup> нормалей энергии для градуировки спектрометров с полупроводниковыми детекторами (ППД). Эти наборы распространяются

---

\*ВНИИМ им. Менделеева, Ленинград

до энергии 3500 кэВ, и для их построения были использованы значения энергий гамма-переходов нескольких радионуклидов, измеренные с помощью кристалл-дифракционного гамма-спектрометра (КДГС). Несмотря на некоторые различия в методике построения этих наборов в работах <sup>/1,2/</sup>, между полученными данными наблюдается хорошее согласие (см. рис.3 в <sup>/1/</sup>).

С помощью методов прецизионной спектроскопии (см., например, <sup>/3/</sup>) удается достичь статистической точности определения энергии исследуемых переходов порядка нескольких эВ, что сравнимо с погрешностями, обусловленными неточностями в энергии нормалей. Наличие хорошо установленной энергетической шкалы позволяет использовать измерения с ППД для определения таких фундаментальных констант, как масса электрона (см. <sup>/4/</sup>) или разности масс покоя нейтрона и атома водорода.

В последнем случае измеряется энергия покоя гамма-лучей в реакции захвата тепловых нейтронов водорода  $^1\text{H}(n,\gamma)$ . Согласно наиболее точным измерениям, сделанным на ППД-спектрометрах, энергия связи дейтрона  $\text{Sn}(^2\text{H})$  составляет (в эВ)

|                                |   |         |
|--------------------------------|---|---------|
| 2224 567 (12) <sup>/5,8/</sup> | — | 1978 г. |
| 2224 564 (17) <sup>/6/</sup>   | — | 1980 г. |
| 2224 575 (9) <sup>/7/</sup>    | — | 1982 г. |
| 2224 563 (10) <sup>/8/</sup>   | — | 1982 г. |
| 2224 574 (9) <sup>/9/</sup>    | — | 1983 г. |

Все измерения выполнены в шкале, определяемой главной спектроскопической нормалью <sup>/10/</sup>

$$E(\gamma_{411,8} \text{ } ^{198}\text{Hg}) = 411,8044(11). \quad (1)$$

Значения в скобках — стандартные отклонения с учетом систематической погрешности в шкале энергий (1), которая в области 2 МэВ составляет около 6 эВ (2,63 ppm).

Как видно, приведенные данные об  $\text{Sn}(^2\text{H})$  даже за вычетом систематической погрешности не противоречат друг другу. Однако недавно появилась работа <sup>/11/</sup>, в которой величина  $\text{Sn}(^2\text{H})$  измерена на КДГС с большой точностью и приведено значение

$$\text{Sn}(^2\text{H}) = 2\,224\,589,0(2,2) \text{ эВ}, \quad (2)$$

которое заметно превышает результаты, полученные с помощью ППД. Кроме того, на КДГС измерены  $\gamma$ -лучи от реакции  $^{35}\text{Cl}(n,\gamma)$ , также расположенные в области 2 МэВ.

В этой связи мы попытались заново измерить  $\gamma$ -лучи в реакциях  $^1\text{H}(n,\gamma)$  и  $^{35}\text{Cl}(n,\gamma)$  с помощью ППД с тем, чтобы установить возможный источник расхождений.

## ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТА И РЕЗУЛЬТАТЫ

Схема эксперимента показана на рис.1. Источник нейтронов ( $^{252}\text{Cf}$ ,  $5 \cdot 10^6$  нейтрон/с) располагался в торце цилиндра, наполненного дважды дистиллированной водой, служившей замедлителем нейтронов. Детектор  $\gamma$ -лучей (Ge объемом  $100 \text{ см}^3$  и разрешением 2,1 кэВ на  $\gamma$ -линии 1,3 МэВ  $^{60}\text{Co}$ ) помещался внутри свинцового коллиматора и защищался от прямого попадания излучений  $^{252}\text{Cf}$  свинцовым фильтром толщиной 10 см.

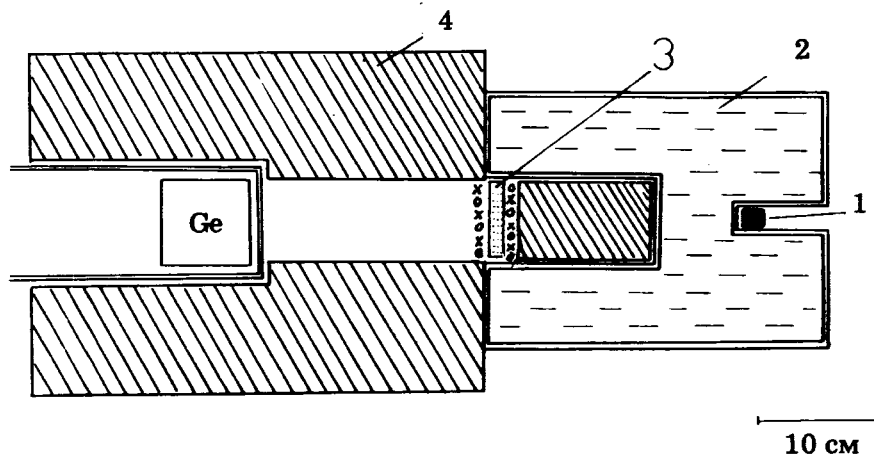


Рис.1. Геометрия экспериментов по измерению энергий  $\gamma$ -лучей при захвате нейтронов  $^1\text{H}$  и  $^{35}\text{Cl}$ . Ge —  $\gamma$ -детектор; x, o — калибровочные  $\gamma$ -источники; 1 — источник нейтронов,  $^{252}\text{Cf}$ ; 2 — замедлитель нейтронов,  $\text{H}_2\text{O}$ ; 3 — образец-мишень; 4 — коллиматор, Pb.

В качестве мишеней использовались цилиндрический блок парафина, либо гранулированный NaCl природного изотопного состава ( $^{35}\text{Cl}$  — 75,5%), помещавшийся в тонкостенный полиэтиленовый цилиндр диаметром 60 мм и толщиной 30 мм. Поскольку для прецизионного определения энергии существенно, чтобы геометрические условия исследуемого излучения и калибровочных источников были близки, последние равномерно распределялись по торцам мишени.

Использованный в эксперименте спектрометрический тракт включал в себя усилитель ORTEC-572, 13-разрядный АЦП С-400 фирмы "Schlumberger" и анализатор в стандарте КАМАК<sup>/12/</sup>. Нелинейность спектрометра исследована с помощью набора радионуклидов  $^{56}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{88}\text{Y}$ ,  $^{144}\text{Ce}$  и  $^{48}\text{V}$  согласно процедуре, описанной в<sup>/3/</sup>.

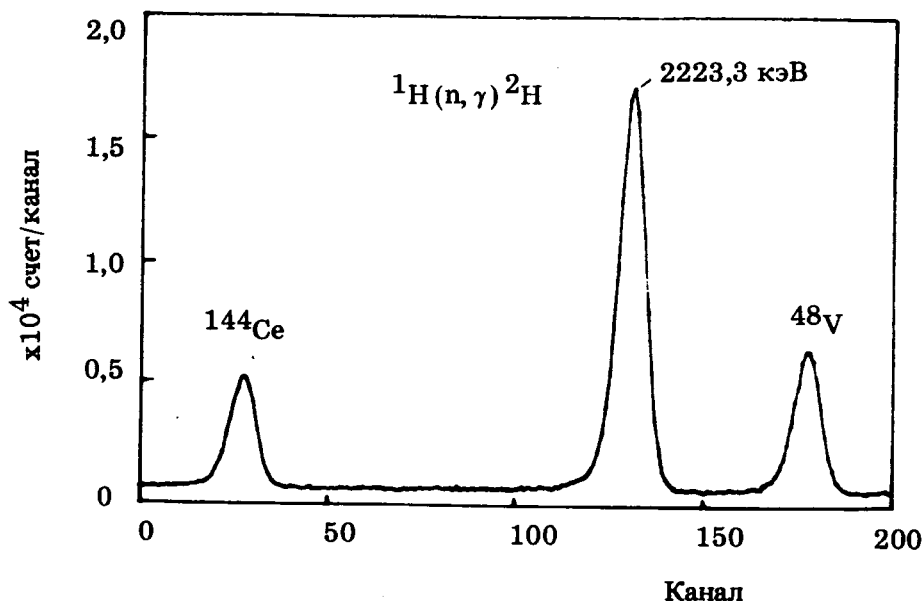


Рис.2. Участок аппаратного спектра, полученного при захвате тепловых нейтронов  $^1\text{H}$  ( $T_{\text{изм.}} = 8\text{ ч}$ ).

Для  $^1\text{H}(n, \gamma)$ -реакции было проведено 8 измерений спектра  $\gamma$ -лучей с реперами  $^{144}\text{Ce}$  и  $^{48}\text{V}$ . Типичный аппаратный спектр показан на рис.2. В результате обработки получено значение (с учетом энергии отдачи ядра)

$$\text{Sn}(^2\text{H}) = 2\,224\,564(10)\text{ эВ.} \quad (3)$$

Это значение согласуется с предшествующими измерениями на ППД и по-прежнему не согласуется с величиной (2), измеренной на КДГС.

Заметим, что в исследуемом пике (2224 кэВ) содержится незначительная доля (около 5%), обусловленная излучением, возникающим в замедлителе и достигающим детектора. Искажения, вносимые этим фактором, слабо сказываются на определении энергии в силу малой интенсивности указанной компоненты. Кроме того, оценка значения этой компоненты приводит к величине, превышающей (3) примерно на 20 эВ, хотя точность определения здесь невелика из-за малой статистики. Таким образом, эта компонента сдвигала бы полученное значение в сторону больших энергий, т.е. к лучшему согласию с (2).

Для реакции  $^{35}\text{Cl}(n, \gamma)$  проведено 10 измерений с внутренними реперами  $^{88}\text{Y}$  и  $^{144}\text{Ce}$ . Типичный участок аппаратного спек-

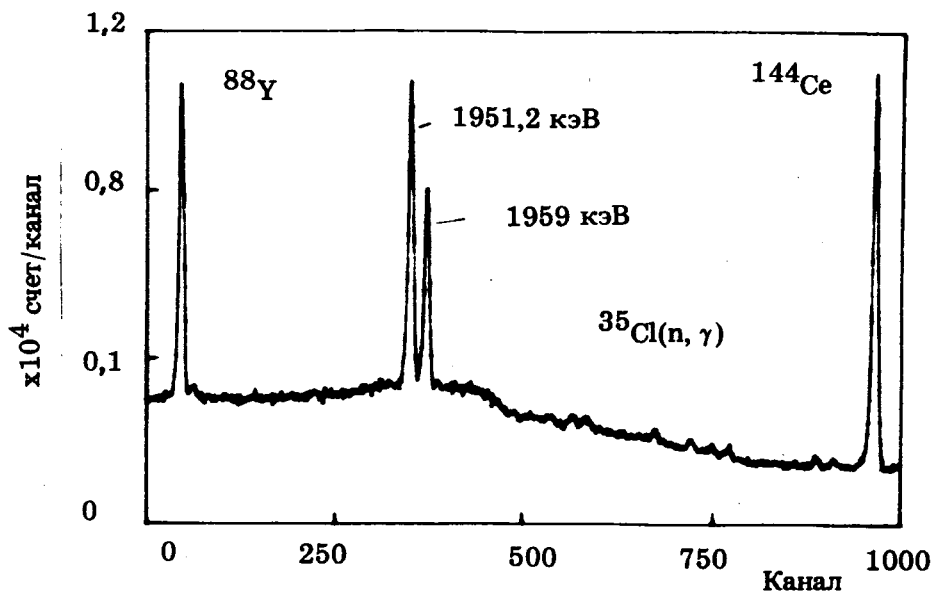


Рис.3. Участок аппаратного спектра, полученного при захвате тепловых нейтронов  $^{35}\text{Cl}$  ( $T_{\text{изм.}} = 8 \text{ ч}$ ).

Таблица

| Работа /13/ |                 | Работа /14/ |                 | Наст. работа |                 |
|-------------|-----------------|-------------|-----------------|--------------|-----------------|
| Е, эВ       | $\Delta E$ , эВ | Е, эВ       | $\Delta E$ , эВ | Е, эВ        | $\Delta E$ , эВ |
| 786 302,07  | 0,39            | 786 303     | 2               | 786 303      | 5               |
| 788 428,15  | 0,44            | 788 433     | 3               | 788 433      | 3               |
| 1164 865,46 | 0,15            | 1164 870    | 3               | 1164 865     | 4               |
| 1951 140,46 | 1,37            | 1951 146    | 3               | 1951 144     | 6               |
| 1959 356,16 | 8,45            | 1959 355    | 3               | 1959 352     | 7               |

тра приведен на рис.3. Результаты наших измерений, а также /13,14/ приведены в таблице. Отметим, что все данные не поправлены на энергию отдачи ядра, а приведенные ошибки не включают погрешностей  $\gamma$  411,8 кэВ. Как видно из таблицы, наши результаты в пределах погрешностей согласуются с наиболее точными измерениями /13/. Отметим также, что с учетом энергий отдачи ядра сумма энергий каскадных переходов 786 кэВ ( $\approx 9$  эВ) и 1164 кэВ ( $\sim 20$  эВ) совпадает с энергией кроссовер-перехода 1951 кэВ ( $\sim 57$  эВ) в пределах погрешностей измерений.

## НЕКОТОРЫЕ ВЫВОДЫ

Таким образом, результаты измерений  $\gamma$ -лучей из реакции  $^{35}\text{Cl}(n, \gamma)$  на ППД и КДГС хорошо согласуются между собой, в то время как данные по энергии связи дейтрона заметно расходятся. Поскольку энергии измеряемых  $\gamma$ -лучей довольно близки друг к другу, невольно возникает вопрос о возможной систематической погрешности в работе<sup>/11/</sup>, посвященной измерению  $\text{Sn}(^2\text{H})$  с помощью КДГС.

Авторы выражают благодарность А.Ф.Новгородову за помощь в приготовлении радиоактивных источников, а также профессору К.Я.Громову за постоянный интерес к данной работе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Горожанкин В.М. и др. Сообщение ОИЯИ Р6-85-268, Дубна, 1985.
2. Helmer R.G. et al. — Nucl. Instr. and Meth., 1978, v.155, p.189.  
Greenwood R.G. et al. — Nucl. Instr. and Meth., 1979, v.159, p.465.
3. Вылов Ц. и др. — ЭЧАЯ, 1978, т.9, вып.6, с.1350.
4. Иванов А.И. и др. — В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, №6 (26) -87, Дубна: ОИЯИ, 1987, с.4,
5. Вылов Ц. и др. — ЯФ, 1978, т.28, с.1137.
6. Greenwood R.C., Chrien R.E. — Phys.Rev.C, 1980, v.21, p.498.
7. Van der Leun C., Anderliesten C. — Nucl.Phys.A, 1982, v.380, p.261.
8. Вылов Ц. и др. — ЯФ, 1982, т.32, с.812.
9. Adam J. et al. — Czech.J.Phys.B, 1983, v.33, p.465.
10. Kessler E.G. et al. — Phys.Rev.Lett., 1978, v.140, p.171.
11. Greene G.L. et al. — Phys.Rev.Lett., v.56, p.819.
12. Артюхов В.А. и др. — Сообщение ОИЯИ Р10-87-688, Дубна, 1987,
13. Kessler E.G. et al. — Phys.Rev.C, 1985, v.32, p.374.
14. Krusche B et al. — Nucl.Phys.A, 1982, v.386, p.245.

Рукопись поступила 28 марта 1988 года.