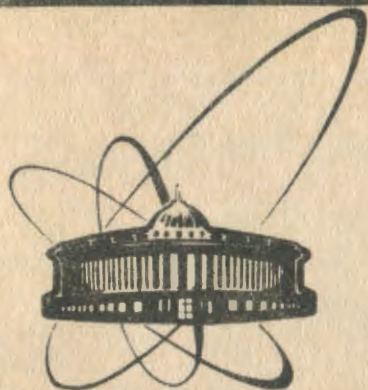


90-126



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

С 44

P3-90-126

В.Р.Ской, Э.И.Шарапов

ПОЛНЫЕ И ПАРЦИАЛЬНЫЕ НЕЙТРОННЫЕ СЕЧЕНИЯ  
 $^{117}\text{Sn}$  ПРИ  $E < 5$  эВ

1990

## ВВЕДЕНИЕ

Ядро  $^{117}\text{Sn}$  особенно интересно тем, что в его нейтронных сечениях наблюдаются эффекты несохранения четности — Р-нечетные эффекты /1-4/, равно как и Р-четные эффекты /5/ интерференции нейтронных s- и p-волн. p-волновой резонанс с энергией  $E_p = 1,33$  эВ играет главную роль в объяснении этих эффектов. Его параметры сообщены в работах /4,5/. Однако для анализа экспериментальных наблюдений необходимо знание характеристик и s-волнового нейтронного сечения в области резонанса и ниже. Некоторые результаты для сечения радиационного захвата и выхода  $\gamma$ -квантов в прямом переходе 9325 кэВ получены в /3,6/. Настоящая работа посвящена детальному исследованию нейтронных сечений  $^{117}\text{Sn}$  и  $\gamma$ -спектров захвата тепловых нейтронов на импульсных нейтронных пучках реактора ИБР-2.

## 1. ЭКСПЕРИМЕНТЫ

*Нейтронные пучки.* Измерения проводились методом времени пролета на импульсном реакторе ИБР-2 /7/ с использованием аппаратуры измерительного центра ЛНФ /8-10/. Длительность импульса мощности реактора 215 мкс при частоте 5 Гц ограничивает область доступных по разрешению энергий нейтронов величиной  $\sim 5$  эВ на пролетной базе 39 м (9-й канал ИБР-2). Пример спектра нейтронов, характерного для этого вакуумированного канала, показан на рис. 1. Спектр получен при регистрации  $\gamma$ -линии никеля 9,0 МэВ детектором NaJ(Tl). Ширина канала временного кодировщика 64 мкс. В спектре присутствуют резонансные, эпитепловые и тепловые нейтроны. Пучок в месте расположения образца имел максимальный диаметр 6 см. Измерения с еще более медленными, холодными нейтронами с энергией до 0,5 мэВ проводились на базе 24,6 м на 5-м канале, снабженном изогнутым зеркальным нейтронноводом. На выходе горизонтального окна нейтронновода пучок коллимировался до размеров 1x5 см. Такой нейтронновод хорошо очищает пучок от эпитепловых и быстрых нейтронов, а также  $\gamma$ -квантов из реактора, но оставляет фон из-за сателлита мощности в области  $10,5 \pm 1,1$  Å. С помощью свинцового фильтра толщиной 20 см фон был устранен ценой 4-кратной потери полезной интенсивности. Действие фильтра

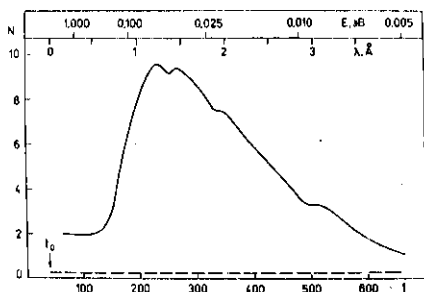


Рис. 1. Спектр нейтронного пучка канала №9, профильтрованного через 5 см Pb и 5 см Al. Нижняя шкала — длина волны нейтрона  $\lambda$ , верхняя — энергия в эВ. По вертикали отложены отсчеты детектора с эффективностью  $\epsilon(\lambda) = \epsilon(\lambda_0) \lambda / \lambda_0$  в относительных единицах.

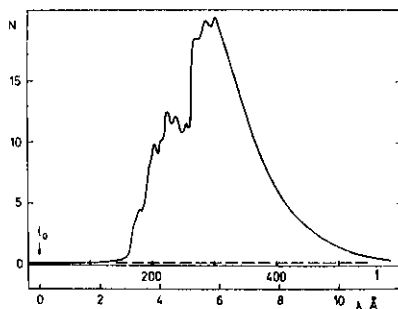


Рис. 2. Спектр нейтронного пучка канала №5 после фильтрации через 20 см Pb. Ширина канала кодировщика 128 мкс. По вертикали отложены отсчеты детектора — борного счетчика, с эффективностью  $\epsilon(\lambda) = [1 - \exp(-0,07\lambda)]$ , где  $\lambda$  в Å.

основано на различии полных сечений для полезных ( $\sigma = 2$  б) и фоновых ( $\sigma = 11$  б) нейтронов. Пример сформированного таким способом спектра дан на рис. 2. Он получен с помощью борного счетчика.

*Измерения.* С изотопной мишенью олова (91%  $^{117}\text{Sn}$ ) были выполнены измерения полного сечения, сечения рассеяния и  $\gamma$ -спектров радиационного захвата нейтронов. Для полных сечений применялись образцы толщиной  $3,5 \cdot 10^{22}$  и  $1,37 \cdot 10^{22}$  ядер/см<sup>2</sup>. Детектирование проводилось ВF<sub>3</sub> пропорциональным счетчиком. Для устранения перегрузок измерения были сделаны при работе ИБР-2 на пониженной мощности. Фон в тепловой области определялся интерполированием от участков времяпролетного спектра между импульсами реактора. В резонансной области фон измерялся с помощью родиевого фильтра в точке  $E_0 = 1,25$  эВ. Сечение рассеяния измерялось в  $4\pi$ -геометрии. Детектором служила цилиндрическая сборка пропорциональных счетчиков СНМ-17. Толщина исследовавшегося образца была равна  $7,0 \cdot 10^{21}$  ядер/см<sup>2</sup>, а для нормировки использовался эквивалентный рассеиватель из ванадия. Измерения с образцом и без него чередовались.  $\gamma$ -кванты радиационного захвата холодных нейтронов регистрировались Ge(Li)-детектором на 5-м канале реактора. На 9-м канале детектором NaJ(Tl) регистрировались  $\gamma$ -кванты радиационного захвата резонансных и тепловых нейтронов. С помощью двух кристаллов NaJ(Tl) размером 200x200 мм, с телесным углом обзора на детектор 0,6%, измерялась также угловая зависимость выхода  $\gamma$ -квантов в переходе 9325 кэВ в области энергий

нейтронов вблизи р-резонанса. Для этого измерялись амплитудные спектры во временных окнах. Использовался амплитудный кодировщик на 1024 канала<sup>/9/</sup> и блок временных окон<sup>/10/</sup> в стандарте КАМАК. Фон измерялся с помощью эквивалентного <sup>12</sup>C рассеивателя и резонансного Rh фильтра.

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ

*Нейтронные сечения.* Полные нейтронные сечения (точки) и сечения рассеяния (кружки) на <sup>117</sup>Sn показаны на рис. 3. Сечение рассеяния в резонансной области составило величину  $4,45 \pm 0,25$  б, неопределенность которой обусловлена фоновыми условиями эксперимента. Наблюдается рост полного сечения за счет увеличения сечения захвата с уменьшением энергии нейтрона. Разрывы в данных ниже 20 мэВ связаны с нерегулярным характером результатов в этой области, зависевших от конкретного образца. Это происходит из-за того, что длина волны нейтрона становится здесь соизмеримой с межплоскостными расстояниями  $d_{hk\ell}$  и в измерениях проявляются когерентные эффекты. Ниже границы Брэгга при  $\lambda > 2d_{\max}$  полагаем

$$\sigma_{\text{tot}} = \sigma_{\text{yt}} (\lambda/1,79) + \sigma_{\text{inc}} \quad (1)$$

где  $\sigma_{\text{inc}}$  — постоянное некогерентное сечение рассеяния и  $\sigma_{\text{yt}}$  — сечение захвата в тепловой точке ( $\lambda = 1,79 \text{ \AA}$ ). По этой формуле обрабатывались

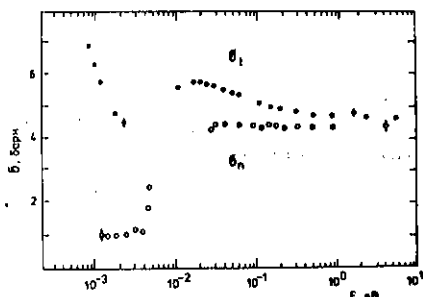


Рис. 4. Полное нейтронное сечение <sup>117</sup>Sn в зависимости от длины волны нейтрона для  $\lambda > 6 \text{ \AA}$ .

Рис. 3. Полное нейтронное сечение (точки) и сечение рассеяния (кружки) <sup>117</sup>Sn в зависимости от энергии нейтрона в эВ.

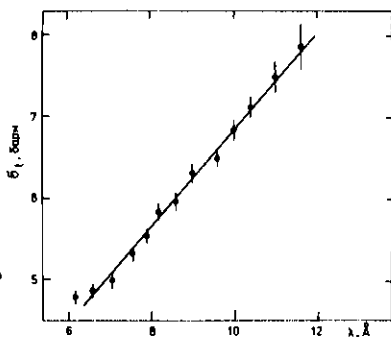


Таблица 1. Нейтронные сечения изотопа  $^{117}\text{Sn}$ 

$E, \text{эВ}$	$\sigma_n, \text{б}$	$\sigma_\gamma (S), \text{б}$	$\sigma_\gamma (P)**,$ б	$\sigma_{\gamma i} (S),$ мб	$\sigma_{\gamma i} (P)**,$ мб
$10^{-3}$	$0,95 \pm 0,25$	$1/v$			
0,025	$4,45 \pm 0,25$	$1,07 \pm 0,05$			
5,00	$4,45 \pm 0,25$	$1/v$			
1,33*	$4,45 \pm 0,25$	$0,148 \pm 0,007$	$1,8 \pm 0,2$	$4,44 \pm 0,66$	$8,6 \pm 2,3$

\* Энергия р-резонанса.

\*\* Результаты работ /4, 6/

полные сечения в области  $\lambda > 6 \text{ \AA}$  (рис. 4) для извлечения величины сечения захвата по МНК. Получены значения  $\sigma_{\gamma t} = 1,07 \pm 0,05 \text{ б}$  и  $\sigma_{inc} = 0,95 \pm 0,25 \text{ б}$ . Указанные ошибки — систематические, они получены из разброса результатов измерений, выполненных в разных условиях. Новое значение  $\sigma_{\gamma t}$  существенно уточняет результат работ /3, 6/. Результат для  $\sigma_n$ , насколько нам известно, является первым измерением этой величины в указанной области энергий. Он отсутствует в известном атласе сечений /11/. Результат для  $\sigma_{inc}$  послужит первой экспериментальной оценкой спин-некогерентного сечения рассеяния  $^{117}\text{Sn}$ . Эти сечения активно измерялись в последние годы различными методами для многих ядер /12/. Для удобства последующего использования результаты для полных и парциальных сечений приведены в табл. 1, куда также включена величина сечений захвата  $\sigma_{\gamma i}$  для прямого перехода.

*Гамма-спектры и парциальные сечения захвата.* Выходы  $\gamma$ -квантов теплового захвата нейтронов, измеренные Ge(Li)-детектором, служили исходной информацией для определения абсолютных интенсивностей  $I_\gamma$ , выражаемых в числе квантов на 100 захваченных нейтронов. Эти интенсивности определялись путем нормировки на известные величины  $I_\gamma(E)$  /13/ для образцов Ni, Cl, Fe, измерения с которыми проводились так же, как и с исследуемым образцом  $^{117}\text{Sn}$ . Поскольку при захвате тепловых нейтронов жесткие переходы в  $^{118}\text{Sn}$  идут из состояния с  $J^\pi = 1^+$  на возбужденные состояния положительной четности (см., например, /6/), они имеют мультипольность M1. Полученные результаты собраны в табл. 2, где во второй строке приведены также энергии возбужденных уровней  $E_f$ , на которые идет соответствующий переход, а в третьей — спины и четность этих уровней /6/.

Таблица 2. Интенсивности прямых M1-переходов в  $^{118}\text{Sn}$  при захвате тепловых нейтронов

$E_{\gamma_1}$ , кэВ	9325	8095	7565	7269 7281	6996	6925	6414
$E_f$ , кэВ	0	1230	1760	2056 2044	2329	2400	2911
$J_f^\pi$ ,	$0^+$	$2^+$	$0^+$	$0^+(2^+)$	$1^+(2^+)$	$(2^+)$	$(2^+)$
$I_\gamma$	$3,0 \mp 0,5$	$0,36 \mp 0,1$	$\leq 0,1$	$0,60 \mp 0,15$	$0,4 \mp 0,1$	$\leq 0,1$	$1,27 \mp 0,2$

Таблица 3. Интенсивности вторичных  $\gamma$ -переходов в  $^{118}\text{Sn}$  после захвата тепловых нейтронов

$E_\gamma$ , кэВ	1099	1230	1447	1506	2044
$E_i$ , кэВ	2329	1230	2677	2736	2044
$E_f$ , кэВ	1230	0	1230	1230	0
$I_\gamma$	$10,3 \mp 1,2$	$48,0 \mp 8,0$	$1,35 \mp 0,15$	$2,21 \mp 0,24$	$2,5 \mp 0,3$

В результате для 8 исследованных M1-переходов получено среднее значение парциальной ширины  $\langle \Gamma_{\gamma_1}(M1) \rangle = 0,8 \mp 0,4$  мэВ. В ошибку  $\langle \Gamma_{\gamma_1} \rangle$  включена неопределенность, связанная с портер-томасовскими флуктуациями. Полученная информация необходима для интерпретации эффектов несохранения четности в интегральных  $\gamma$ -переходах олова  $^{14,15}$ . Данные табл. 2 для прямого перехода в основное состояние были использованы при получении величины парциального сечения  $\sigma_{\gamma_1}(S)$ , включенной в табл. 1.

Помимо жестких были измерены также и некоторые мягкие, вторичные  $\gamma$ -переходы в  $^{118}\text{Sn}$  после захвата тепловых нейтронов. Их интенсивности приведены в табл. 3.

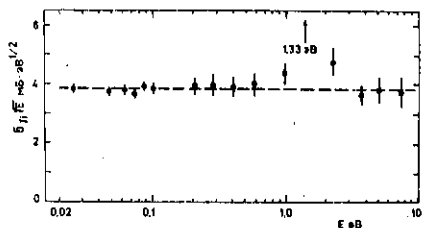


Рис. 5. Энергетическая зависимость сечения захвата  $\sigma_{\gamma i}(E_n)$  с вылетом  $\gamma$ -кванта с  $E_{\gamma i} = 9325$  кэВ.

Обращает на себя внимание сила перехода 1230 кэВ ( $E2$  переход с  $2^+$  на  $0^+$  из 1-го возбужденного в основное состояние  $^{118}\text{Sn}$ ): около 50  $\gamma$ -квантов на 100 захваченных нейтронов, делающая его очень удобным для калибровок в исследованиях с  $\gamma$ -квантами радиационного захвата нейтронов.

Для прямого перехода 9325 кэВ измерялся не только абсолютный выход  $\gamma$ -квантов, но и энергетическая зависимость. Соответствующие результаты показаны на рис. 5. Во всем исследованном интервале энергий, кроме области  $p$ -резонанса, энергетическая зависимость парциального сечения  $\sigma_{\gamma i}(S)$  оказалась в пределах точности измерений в согласии с законом  $1/v$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящие измерения нейтронных сечений изотопов  $^{117}\text{Sn}$  в области 0,5 мэВ  $\div$  5,0 эВ выполнены с целью получения величин, необходимых для анализа  $P$ -четных и  $P$ -нечетных эффектов в нейтронных сечениях олова. Основные результаты представлены в табл. 1 и 2. Сечение  $\sigma_n(S)$  в резонансной области и сечение  $\sigma_{inc}$  измерены впервые. Точность определения сечения  $\sigma_\gamma(S)$  улучшена с 25% до 5%. С нашим результатом согласуются значения из работ <sup>3, 8/</sup>, но не из работы <sup>11/</sup>. Продемонстрирован закон  $1/v$  для парциального сечения  $\sigma_{\gamma i}(S)$ , соответствующего прямому переходу с  $E_{\gamma i} = 9325$  кэВ.

Наконец, в спектре  $\gamma$ -квантов захвата тепловых нейтронов обнаружен ряд прямых переходов и определены их интенсивности. Эти  $M1$ -переходы в основном оказались слабыми. Однако интенсивность перехода с  $E_{\gamma i} = 6414$  кэВ только в три раза слабее перехода с  $E_{\gamma i} = 9325$  кэВ. Переход с  $E_{\gamma i} = 6414$  кэВ наблюдался <sup>10/</sup> и в  $p$ -резонансе с  $E_p = 1,33$  эВ. Таким образом, он может послужить еще одним объектом для исследований  $P$ -четных эффектов в нейтронных сечениях олова.

Мы приносим благодарность В.П.Алфименкову и Л.Б.Пикельнеру за полезное обсуждение результатов и постоянный интерес к работе и В.Г.Симкину за большую помощь в работе на нейтронном пучке.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Данилян Г.В. и др. — Письма в ЖЭТФ, 1976, т.24, с.380.
2. Forte M. et al. — Phys. Rev. Lett., 1980, v.5, p.2088.
3. Kolomensky E.A. et al. — Phys. Lett., 1981, v.107B, p.272.
4. Alfimenkov V.P. et al. — Nucl. Phys., 1983, v.A398, p.93.
5. Алфименков В.П. и др. — В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ №10-85, Дубна, 1985, с.19.
6. Алфименков В.П. и др. — ЯФ, 1984, т.39, вып.5, с.1057.
7. Ананьев В.Д. и др. — АЭ, 1984, т.57, с.227.
8. Вагов В.А. и др. — ОИЯИ, 10-82-351, Дубна, 1982.
9. Богдзель А.А. и др. — ОИЯИ, 10-86-41, Дубна, 1986.
10. Вагов В.А. и др. — ОИЯИ, P10-86-562, Дубна, 1986.
11. Mughabghab S.P. et al. — Neutron Cross Sections, N.Y. Academic Press, 1981, v.1, part 1.
12. Glattli H.Z. — Phys. A, 1987, v.327, p.149.
13. Nuclear Data Tables, 1981, v.26, p.511.
14. Зарецкий Д.Ф., Сироткин В.К. — ЯФ, 1984, т.34, с.585.
15. Бунаков В.Е. и др. — ЯФ, 1989, т.49, с.988.

Рукопись поступила в издательский отдел  
22 февраля 1990 года.