

ПОЛНЫЕ СЕЧЕНИЯ РАССЕЯНИЯ НЕЙТРОНОВ ДЛЯ ИЗОТОПОВ  
СЕЛЕНА В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИИ 200-1300 КэВ

Р. М. Мусаевян, В. М. Скоркин

УДК 539.171

Измерены энергетические зависимости полных сечений для четырех четных изотопов и естественного селена. Удовлетворительное описание результатов получено в рамках обобщенной оптической модели с пятью связанными уровнями.

В работе /1/ отмечалось, что в области  $A \approx 70-80$  имеет место значительное расхождение сечений неупругого рассеяния нейтронов с предсказаниями статистической теории, основанной на предположении о независимости входного и выходного каналов реакции. В /1,2/ показано, что оптическая модель со связью каналов с использованием методов описания теории средних сечений, развитых в /3/, позволяет количественно описать экспериментальные сечения неупругого рассеяния нейтронов. Для подавляющего большинства ядер достаточно учитывать связь с первым возбужденным состоянием. Однако в отдельных случаях необходим учет большего числа связанных состояний. В частности, для изотопов германия и селена короче описание сечений неупругого рассеяния нейтронов и силовых функций получено с учетом пяти связанных уровней /1,2/. Справедливость такого подхода может быть проверена с помощью описания более широкого экспериментального материала с взаимодействием нейтронов с ядрами в области  $A \approx 70-80$ .

С этой целью в настоящей работе были выполнены измерения полных сечений рассеяния нейтронов на четно-четных изотопах селена в области энергий от 200 до 1300 кэВ и естественного селена в области 600-1300 кэВ.

Измерения выполнены по методу пропускания. Исследуемые изотопы в виде "металлического" порошка помещались в тонкостенные контейнеры диаметром 30 мм. Характеристики образцов приведены в табл. I.

Таблица I.

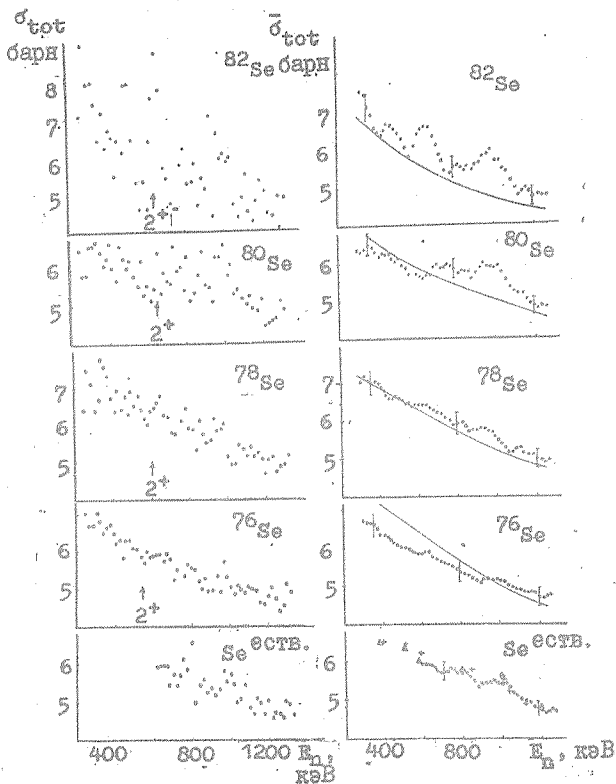
Изотоп селена	76	78	80	82	естеств.
Толщина образца (атом/барн)	0,0545	0,0665	0,0815	0,0597	0,0535
% обогатчения	90,5	97,5	99,1	92,2	—

Расстояние между источником нейтронов и детектором составляло  $\sim 1$  м. Нейтроны регистрировались кристаллом стибьбена диаметром 40 мм и толщиной 20 мм, соединенным с ФЭУ-110. В качестве источника нейтронов использовалась реакция  $T(p,n)$ . Мишень имела толщину  $\sim 20$  кэВ при энергии протонов  $\sim 1$  МэВ. Протоны ускорялись ЭГ-2,5 ЛАЯ ИЛИ АН СССР. Нейтронный поток мониторировался как "всеголовным" счетчиком, так и сцинтилляционным с кристаллом стибьбена. Измерения выполнены с интервалом по энергии 20 кэВ.

Статистическая точность измерений была лучше 1%. Расчетным путем вводилась поправка на рассеяние в детектор, которая была порядка 1%. Относительная ошибка экспериментальных результатов составляла 1-2%. Абсолютная ошибка не превышала 5%. Значительная величина ее объясняется неучтенными систематическими погрешностями.

На рис. I (слева) представлены результаты измерений полных сечений для изотопов и естественного селена в зависимости от энергии нейтронов. Сечения обнаруживают флуктуации, величина которых возрастает с увеличением массового числа  $A$  от  $\leq 0,7$  б для  $^{76}\text{Se}$  до  $\sim 4$  б для  $^{82}\text{Se}$ .

По своему характеру эти флуктуации аналогичны обнаруженным в работе /4/ в сечениях неупругого рассеяния нейтронов на изотопах селена. Анализ флуктуаций, проведенный в /4/, показал, что они носят статистический характер и обусловлены флуктуациями плотности и ширины резонансов.



Р и с. 1. Полные сечения рассеяния нейтронов на изотопах и естественном селене (слева); те же сечения, усредненные по интервалу энергии 100 кэВ (справа): + — результаты работы /7/;  $\Delta$  — взвешенная сумма полных сечений изотопов; сплошная линия — расчет по обобщенной оптической модели с параметрами  $V_0 = 51,5$  МэВ и  $W = 2$  МэВ

На рис. 1 (справа) приведены полные сечения, усредненные по интервалу энергии 100 кэВ. В усредненных сечениях сохраняется структура с шириной около 100–200 кэВ. У изотопов 80 и 82 она достигает величины около 1 барна. Усредненные сечения отдельных изотопов селена различаются между собой не более чем на 10–12%. Обращает на себя внимание общий относительно рез-

кий спад сечения у изотопов 78, 80 и 82 на величину около 1 барна при энергии нейтронов  $\sim 1$  МэВ.

Внизу на рис. 1 (справа) представлено сравнение полного сечения, полученного из сечений для отдельных изотопов, с сечением для естественного селена. Сечения для неизмерявшихся изотопов были приняты равными сечению для естественной смеси. Как видно из рисунка, имеет место хорошее согласие результатов.

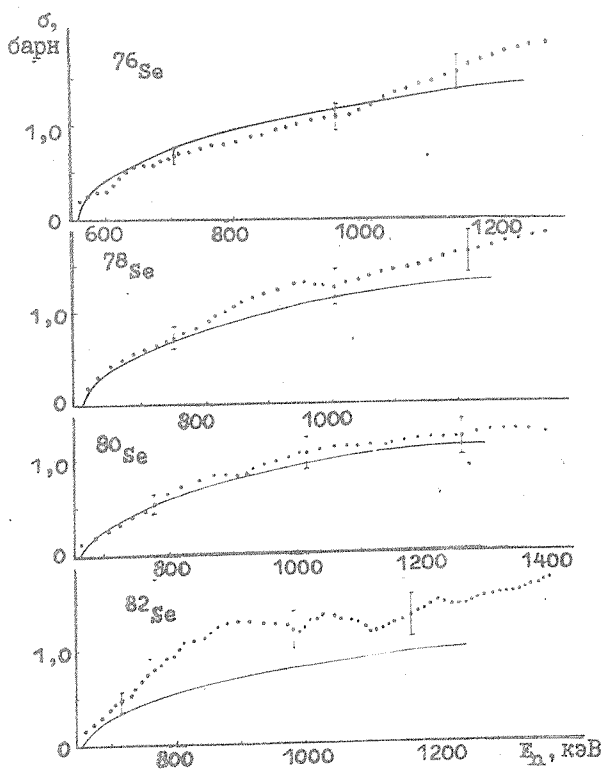
В литературе имеются данные только по полным сечениям для естественной смеси изотопов селена. В работах /5,6/ измерения выполнены до энергии нейтронов 600 кэВ, а в работе /7/ - до 3,3 МэВ. Данные этих работ согласуются с нашими результатами (рис. 1). Данные работы /8/ до 600 кэВ согласуются с нашими результатами, а при энергиях 700-1200 кэВ лежат на 8-10% ниже наших результатов.

Расчет полных сечений для изотопов селена выполнен, как и в /1/, для сечения неупругого рассеяния по обобщенной оптической модели с использованием вибрационного варианта связи пяти уровней. При этом предпринята попытка описать экспериментальные данные по полным сечениям, сечениям неупругого рассеяния /1/ и силовым функциям /9/ с использованием единых параметров модели.

В расчетах использовался потенциал в форме Вудса - Саксона, в параметр действительной части которого был включен член, зависящий от изоспина в виде  $V = V_0 - V_1(N - Z)/A$ . Мнимая часть потенциала соответствовала поверхностному поглощению. Расчеты выполнены в рамках формализма, предложенного в /3/. В отличие от расчетов в /1/, где для уровней первого и второго фоновых состояний был взят единый параметр деформации, полученный для уровня первого фонового состояния, в данной работе использовались различные параметры деформации, определенные в /10/ по значениям  $B(E2)$  для соответствующих переходов. Подгонка к экспериментальным результатам осуществлялась варьированием параметров  $V_0$  в интервале 51 - 58 МэВ  $w$  - в интервале 0,5 - 7 МэВ. Остальные параметры потенциала были фиксированы и имели значения:  $r_0 = 1,22$  фм,  $a = 0,65$  фм,  $V_1 = 22$  МэВ и  $V_{30} = 8$  МэВ.

Удовлетворительное описание совокупности экспериментальных данных получено при значениях параметров  $V_0 = 51,5$  МэВ и  $w =$

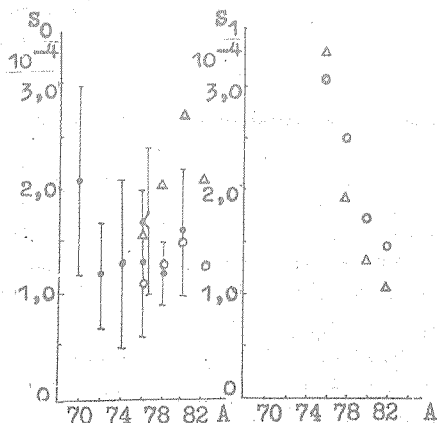
= 2 МэВ. Результаты этих расчетов вместе с экспериментальными данными представлены на рис. 1-3.



Р и с. 2. Сечения неупругого рассеяния нейтронов на изотопах селена /1/. Сплошная линия - расчет

Полные сечения хорошо описываются с параметрами  $v_0 \geq 55$  МэВ и  $w = 4$  МэВ, но при этом плохо описываются сечения неупругого рассеяния. С параметрами  $v_0 = 51,5$  МэВ и  $w = 1$  МэВ хорошо описываются сечения неупругого рассеяния и плохо - полные сечения. Силовые функции  $S_0$  лучше описываются при значениях параметров  $v_0 \geq 53$  МэВ и  $w \leq 2$  МэВ. Силовые функции изотопов селена хорошо описываются с параметрами  $v_0 = 51,5$  МэВ и

$\omega = 2 \text{ MeV}$ , но с использованием для уровней первого и второго фононных состояний параметра деформации уровня первого фононного состояния (рис. 3).



Р и с. 3. Силовые функции для германия и селена:  $\circ$  - экспериментальные значения /9/ для Ge и Se;  $\Delta$  - расчет с параметрами деформаций, соответствующими конкретным переходам для Se;  $\circ$  - расчет с параметром деформации, соответствующим первому возбужденному уровню Se

Расчеты в однофононном приближении не позволяют в удовлетворительной степени описать совокупность рассматриваемых экспериментальных данных.

Анализ результатов взаимодействия нейтронов с энергией  $\leq 1 \text{ MeV}$  с ядрами изотопов селена показывает, что у последних возникает сильная связь каналов, обусловленная динамической деформацией. В рамках обобщенной оптической модели с использованием вибрационного варианта связи пяти первых возбужденных уровней удастся в основном удовлетворительно описать совокупность экспериментальных результатов для селена.

Авторы признательны В. И. Попову за внимание к работе, М. Б. Федорову за ознакомление с результатами своих измерений полных сечений для  $^{78,80}\text{Se}$  в области 0,7-1,3 МэВ и Ю. Г. Куденко за помощь в измерениях на начальном этапе работы.

Поступила в редакцию

6 июля 1982 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. В. П. Ефросинин, Р. М. Мусалян, В. И. Попов, ЯФ, 29, 631 (1979).
2. Е. С. Конобеевский и др., ЭЧАЯ, 13, 300 (1982).
3. H. M. Hofmann et al., Ann. Phys., 90, 403 (1975).
4. E. S. Konobeyevsky et al., Proc. Intern. Conf. on Statistical Properties of Nuclei (Albany, USA, 1971), N.Y.-L., Plenum Press, 1972, p. 359.
5. M. S. Zucker, Phys. Rev., 104, 1025 (1956).
6. W. F. Pineo et al., Ann. Phys., 84, 165 (1974).
7. C. H. Johnson et al., P. ORNL-1361, 1, 5301.
8. A. Leingsdorf, R. O. Lane, J. E. Monahan, Phys. Rev., 107, 1077 (1957).
9. S. F. Mughabghab, D. I. Garber, BNL-325, third ed., v.1, 1973.
10. J. Barrette et al., Nucl. Phys., A235, 154 (1974).