

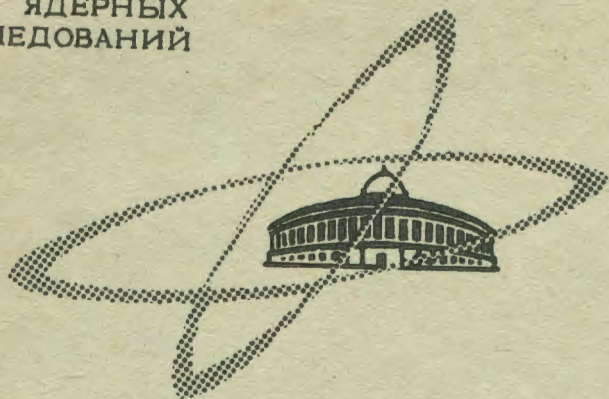
M-217

ЯФ, 1969, т. 9, в. 6, с. 1119-1128

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

РЗ - 3956



Х.Малэцки, Л.Б.Пикельнер, И.М.Саламатин,  
Э.И.Шарапов

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

РАДИАЦИОННЫЙ ЗАХВАТ И ПОЛНЫЕ СЕЧЕНИЯ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕЙТРОНОВ С ИЗОТОПАМИ  
СЕЛЕНА

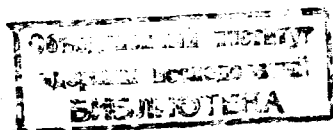
1968

**РЗ - 3956**

Х.Малэцки, Л.Б.Пикельнер, И.М.Саламатин,  
Э.И.Шарапов

**РАДИАЦИОННЫЙ ЗАХВАТ И ПОЛНЫЕ СЕЧЕНИЯ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕЙТРОНОВ С ИЗОТОПАМИ  
СЕЛЕНА**

Направлено в ЯФ



7457/3  
ур.

Данная работа является продолжением проводившихся нами в последнее время исследований резонансных параметров уровней ядер среднего атомного веса, возбуждаемых медленными нейтронами <sup>1/</sup>.

Для исследования были взяты изотопы селена, который измерялся ранее (в основном на естественной смеси изотопов) группами в Сакле <sup>2/</sup> и Аргонне <sup>3/</sup>. В последних работах были исследованы резонансы **Se-77** в энергетическом интервале до 1,5 кэв. Силовая функция для двух спиновых систем **Se-77** найдена различающейся в 7 раз <sup>2/</sup>. У четных изотопов исследовано по 1-2 резонанса (**Se-76** - 5 резонансов) в узком энергетическом интервале. Кроме того, имеются неопубликованные данные <sup>4/</sup> по четырем четным изотопам селена для интервала  $\approx (5+40)$ кэв.

Радиационные ширины измерены <sup>2,3/</sup> только для двух изотопов, **Se-74** и **Se-77**, причем для **Se-74** - лишь в одном резонансе. В более поздней работе группы в Сакле было сообщено о различии радиационных ширины для уровней с  $J=0$  и  $J=1$  <sup>5/</sup>.

Отмеченные в работах <sup>2,5/</sup> аномалии в поведении силовых функций и полных радиационных ширины для различных спиновых систем **Se-77**, а также разрыв по энергии в имеющихся экспериментальных данных, ставят изотопы селена в ряд объектов, представляющих интерес для дальнейших исследований.

#### Условия измерений и методика обработки данных

Измерения проводились методом времени пролета. Источником нейтронов служил импульсный реактор (ИБР) в режиме размножения нейтронов, получаемых с помощью пучка тормозного излучения микротро-

на /6/. При этом интегральный выход составлял  $3.10^{13}$  нейтрон/сек при полуширине нейтронного импульса 3 мксек и частоте следования 50 гц.

Были измерены пропускание и радиационный захват нейтронов на образцах, обогащенных изотопами селена. Порошкообразный металлический селен упаковывался в цилиндрические алюминиевые кассеты с толщиной стенок 0,5 мм. Толщины использовавшихся образцов, степень обогащения и количество имевшегося в распоряжении материала указаны в таблице 1.

## 1. Пропускание

В измерениях пропускания был использован жидкостный сцинтилляционный детектор с метилборатом /7/. Разрешение составляло 6 нсек/м.

Кроме образцов, перечисленных в таблице 1, в некоторых случаях в качестве тонких образцов были использованы примеси неосновных изотопов.

Накопление спектров велось на 4096-канальных анализаторах /8/ в режиме работы с промежуточной памятью при ширине канала 1 мксек. Чередующиеся серии измерений с образцом и без образца передавались по каналу связи на ЭВМ для дальнейшей обработки, в процессе которой были получены и исправлены на просчеты суммарные аппаратурные спектры. Стандартная ошибка спектров в районе 1 кэв в среднем составляла 1% на канал. Спектры, соответствующие измерениям с образцом и без образца, были затем пересчитаны в абсолютное пропускание. Кривые пропускания для всех уровней анализировались на ЭВМ по методу площадей /9/ с учетом интерференции между резонансным и потенциальным рассеянием. Необходимые для этого сведения о радиусах ядер  $R$  были получены методом формы /10/ из низкоэнергетических резонансов для изотопов  $Se-77$  и  $Se-80$ . Полученные значения  $(7,2 \pm 0,3)$  ферми для  $Se-77$  и  $(7 \pm 1)$  ферми для  $Se-80$  согласуются с данными для соседних ядер /11/. Учитывая плавную зависимость длины рассеяния от  $A$  в данной области атомных весов, эти значения радиусов были приняты и для остальных изотопов селена.

При обработке участка 4+6 кэв в  $Se-80$ , где близко лежат сильные резонансы, принималась во внимание интерференция между уровнями. Сводка полученных резонансных параметров приведена в таблице 2.

## 2. Радиационный захват

Радиационный захват был измерен с разрешением 12 нсек/м жидкостным сцинтилляционным детектором большого объема /12/, который можно использовать как в режиме совпадений импульсов от двух баков, так и в режиме суммирования.

При анализе измерений радиационного захвата мы используем соотношение:

$$C = \frac{\sum I N_i}{P(E) \epsilon_\gamma} = \frac{\Gamma_\gamma}{\Gamma} A, \quad (1)$$

где  $\sum I N_i$  - сумма отсчетов под резонансом на кривой радиационного захвата (при вычтенном фоне);

$P(E)$  - полное число нейтронов на 1 эв, падающих на всю площадь образца за время измерения;

$\epsilon_\gamma$  - эффективность регистрации детектором акта захвата;

$\Gamma_\gamma, \Gamma$  - радиационная и полная ширины резонанса;

$A$  - функция толщины образца  $a$  и резонансных параметров, имеющая смысл площади провала на кривой пропускания.

При обработке временных спектров радиационного захвата использовалась методика получения площадей резонансов ( $\sum I N_i$ ) с помощью светового карандаша на ЭВМ Минск-2.

Эффективность ( $a, \gamma$ ) - детектора для каждого изотопа определялась с использованием отношения числа отсчетов под резонансами, полученных в режимах совпадения и суммирования, а также энергии связи нейтрона. Эти две характеристики позволяют найти эффективность детектора на основании эмпирического соотношения, полученного для широкого круга ядер /13/. Кроме того, по слабым резонансам  $Se-77$  с извест-

ными параметрами была сделана проверка такой калибровки /14/. Результаты обоих способов калибровки совпали. Относительный ход потока  $\Pi(E)$  измерялся с помощью борного счетчика. Неопределенность принятой калибровки, оцененная в 10+15%, в большинстве случаев превосходит статистическую ошибку и составляет основную долю в указанных для радиационных ширин погрешностях. В экспериментально найденные значения  $C$  в случае необходимости вносилась поправка на регистрацию нейтронов. Поправки на захват после рассеяния были вычислены с использованием методики, предложенной в /15/, а для резонансов, у которых захват после рассеяния значительный ( $\approx 20\%$ ), поправка вычислялась по методу Монте-Карло /16/. Измерение радиационного захвата позволяет получить, в зависимости от соотношения между  $\Gamma_\gamma$  и  $\Gamma_n$ , одну из ширин, а в некоторых случаях и спин резонанса. Наглядно это можно показать, используя в (1) для  $A$  формулу тонкого образца:

$$A = 2\pi^2 n \lambda^2 g \Gamma_n, \quad (2)$$

где  $g = (2J + 1) / 2(2I + 1)$  - статистический фактор,  $I$  - спин мишени,  $J$  - спин уровня составного ядра,  $\lambda$  - длина волны нейтрона для энергии резонанса  $E_0$ .

Используя (2), соотношение (1) можно записать в виде:

$$C = 2\pi^2 \lambda^2 n g \frac{\Gamma_\gamma \Gamma_n}{\Gamma}, \quad (3)$$

а). Для случая  $\Gamma_n \gg \Gamma_\gamma$  получим:

$$g \Gamma_\gamma = C / 2\pi^2 \lambda^2 n = \text{const}, \quad (4)$$

т.е. значение  $\Gamma_\gamma$  не зависит от величины  $\Gamma_n$ .

Для четных изотопов селена (спин мишени  $I = 0$ ,  $g = 1$ ) радиационная ширина получается однозначно.

В случае  $Se-77$  (спин мишени  $I = 1/2$ ) реализуются два значения спина:  $J=0$  ( $g=1/4$ ) и  $J=1$  ( $g=3/4$ ). В этом случае значения радиационной ширины для данного резонанса, полученные из (4) в предположении двух значений спина, будут различаться в 3 раза. В предельном случае "толстого" образца это значение падает до 1,7.

Из сказанного следует, что в случае равенства радиационных ширины для двух спиновых состояний из эксперимента можно определить как спин, так и радиационную ширину.

При обработке нами использовалось уравнение (1), которое решалось относительно  $\Gamma_\gamma$  графическим методом с помощью таблиц /17/.

б). В случае  $\Gamma_n \ll \Gamma_\gamma$  площади на кривой радиационного захвата несут информацию о  $g\Gamma_n$ :

$$g\Gamma_n = C/2\pi^2\chi^2 \text{ в.} \quad (5)$$

Последнее соотношение показывает также, что по слабому резонансу можно провести калибровку детектора, если  $g\Gamma_n$  определено из измерения пропускания.

в). Если  $\Gamma_n \approx \Gamma_\gamma$ , то для получения параметров уровня необходима совместная обработка данных по радиационному захвату и пропусканию.

### Результаты измерений

Результатом обработки проделанных измерений явились параметры резонансных уровней, собранные в таблицах 2,3. Для четырех четных изотопов  $Se$  найдены параметры 58 резонансов в интервале энергии нейтронов до  $10 \cdot 20$  кэв, а для  $Se-77$  - 37 резонансов до 4 кэв.

Обращает на себя внимание наличие большого числа уровней, у которых значение  $g\Gamma_n^0$  в  $50 \cdot 100$  раз меньше среднего для данного изотопа. Заметим, что исследовать такие резонансы удалось только благодаря измерениям радиационного захвата.

Изотоп  $Se-82$  в таблице 2 не представлен, так как для него измерялся только радиационный захват, и резонансов до энергии 6 кэв не было обнаружено.

В тех случаях, когда параметры уровней были измерены ранее, наши результаты (таблица 2) в основном согласуются в пределах ошибок измерений с результатами других авторов. Существенные расхождения обнаружены лишь для  $Se-78$ . Как следует из рис.1, резонансов при энергиях 5730 эв, 8370 эв, 17150 эв с нейтронными ширинами  $\Gamma_n=28,1$  эв; 14,8 эв; 37,1 эв соответственно <sup>/4/</sup> не видно, хотя чувствительность метода позволяет обнаружить в этой области энергий резонансы с нейтронными ширинами в несколько эв. С другой стороны, отчетливо видны резонансы 6171 эв и 11060 эв ( $\Gamma_n = 64,4$  эв и 80 эв), которые не отмечены в <sup>/4/</sup>.

У  $Se-74,-76,-78$  радиационные ширины найдены для 4+6 резонансов. Изотоп  $Se-80$  оказался неблагоприятным для определения радиационной ширины. Единственная возможность определить  $\Gamma_\gamma$  с не слишком большой погрешностью представлялась для резонанса 5660 эв. Для оценки его нейтронной ширины, приведенной в таблице 2, форма резонанса 5660 эв. была восстановлена с учетом вклада от примесных резонансов и от резонансов 5240 и 4270 эв  $Se-80$ , при этом для последних двух резонансов учитывалась интерференция между ними. Большая неопределенность  $\Gamma_\gamma$  для резонанса 4720 эв обусловлена близостью уровней 4270 эв и 5240 эв с очень большими нейтронными ширинами.

Радиационные ширины резонансов  $Se-77$ , получаемые в предположении двух возможных значений спина, приведены в таблице 3. Отношения  $(\Gamma_\gamma)_{J=0} / (\Gamma_\gamma)_{J=1}$  лежат в пределах 1,8+2,9, что значительно превосходит ошибку измерений. Тогда, принимая, что  $(\bar{\Gamma}_\gamma)_{J=0} = (\bar{\Gamma}_\gamma)_{J=1}$ , можно было, как видно из таблицы 3, приписать резонансам определенные значения спинов, указанные в колонке 6.

Подтверждением правильности гипотезы о равенстве полных радиационных ширин для обеих спиновых систем является совпадение найденных нами таким образом значений спинов резонансов 212 эв ( $J=0$ ), 692 эв ( $J=0$ ), 997 эв ( $J=0$ ), 1271 эв ( $J=1$ ) с результатами других авторов <sup>/2,3/</sup> (см. колонку 7 таблицы 3), полученными без исполь-



зования этой гипотезы. Кроме того, для резонанса 212 эв набор экспериментальных кривых  $g\Gamma_n = f(\Gamma)$  (рис.2) независимо дает значение спина  $J = 0$ .

Спин резонанса 1491 эв, в отличие от работы /2/, оказался равным нулю. Заметим однако, что спиновая идентификация в этом случае считалась в работе /2/ менее надежной.

Изотопная идентификация уровня 970 эв ( $Se-77$ ) позволяет на основании данных работы /3/ считать предпочтительным для него значение  $J = 1$ .

### Обсуждение результатов

На основании измеренных параметров резонансных уровней изотопов  $Se$  были рассчитаны усредненные характеристики исследованных ядер, приведенные в таблице 4.

Изотопы  $Se$  находятся в области массовых чисел, где  $p$ -волновая силовая функция  $S_1 > 10^{-4}$ , и вероятность наблюдения уровней с  $l=1$  возрастает. Слабые уровни, действительно, проявились у изотопов  $Se-76$ ,  $-77$ ,  $-78$ . При получении усредненных параметров, таких как силовая функция и среднее наблюдаемое расстояние для  $s$ -уровней, необходимо исключить  $p$ -резонансы.

Мы предположили, что уровни, для которых  $g\Gamma_n^0 \leq 0,02 \overline{g\Gamma_n^0}$ , с большой вероятностью являются  $p$ -волновыми. В таблице 2 эти резонансы помечены звездочкой. По ним была сделана оценка  $p$ -волновой силовой функции на основании соотношения:

$$S_1 = (2l + 1)^{-1} \sum_i g\Gamma_{n1}^1 / \Delta E,$$

где

$$\Gamma_{n1}^1 = \Gamma_{n1}^0 \left[ \left( \frac{R}{\chi_1} \right)^2 + 1 \right] / \left( \frac{R}{\chi_1} \right)^2.$$

Для изотопов  $Se - 76, -77, -78$  получены значения  $1,6 \cdot 10^{-4}$ ,  $1,5 \cdot 10^{-4}$  и  $2,5 \cdot 10^{-4}$  соответственно. Эти оценки подтверждают разумность критерия, принятого для разделения  $s$ - и  $p$ -волновых уровней.

Силовые функции  $S_0$  вычислялись как  $\sum_i \Gamma_{n1}^0 / \Delta E$ . Выбор интервала  $\Delta E$ , в котором пропуски уровней не влияют на значение  $S_0$ , осуществлялся по гистограммам нарастания  $\sum_i \Gamma_{n1}^0$  в зависимости от энергии.

Ошибки силовых функций вычислены с учетом распределений приведенных нейтронных ширин и расстояний между уровнями и отвечают интервалу, в котором заключено значение  $S_0$  с вероятностью 0,683 /18/.

Вычисленные значения  $S_0$  изотопов  $Se$  согласуются с данными для соседних ядер /1/ и теоретическим расчетом /19/ (рис.3).

Для нечетного изотопа  $Se - 77$  найденные нами значения спинов сильных уровней дают возможность проанализировать вопрос о спиновой зависимости силовой функции в более широком интервале, чем в работе /2/.

В интервале до 4 кэв мы имеем:

$$\left( \sum_{15} \Gamma_{n1}^0 \right)_{J=1} = 440 \text{ мэв,}$$

$$\left( \sum_5 \Gamma_{n1}^0 \right)_{J=0} = 580 \text{ мэв,}$$

$$\left( \sum_{17} g \Gamma_{n1}^0 \right) (\text{остальные}) = 18 \text{ мэв.}$$

Очевидно, что способ разделения по спиновым системам "остальных" уровней, многие из которых являются  $p$ -волновыми, не может существенно повлиять на величину силовой функции и сказывается только при расчете ошибки  $S_0$ . В таблице 4 приведены значения  $S_0$  и их ошибки, рассчитанные в случае  $J=1$  для 20 уровней и 7 уровней для  $J=0$ . Таким образом, значения силовых функций, найденные для обоих случаев в энергетическом интервале до 4 кэв, т.е. более чем в два раза превышающем исследованный ранее, не подтверждают спиновой зависимости силовой функции для  $Se - 77$  /2/.

Средние расстояния между уровнями  $\bar{D}$ , приведенные в таблице 4, найдены из гистограмм нарастания числа уровней в зависимости от энергии. Экспериментальные значения  $\bar{D}$  позволяют вычислить параметр  $\alpha$  плотности одночастичных состояний вблизи поверхности Ферми, входящий в формулу Бете для плотности уровней составного ядра при энергии возбуждения  $u$ :

$$\rho(u) = \sum_j \frac{2J+1}{24\sqrt{2} a^{1/4} u^{3/4} \sigma^3} \exp \left\{ 2\sqrt{au} - \frac{J(J+1)}{2\sigma^2} \right\}, \quad (6)$$

где

$$\sigma^2 = \frac{6}{\pi^2} \langle m^2 \rangle \sqrt{au}. \quad (6a)$$

По новым уточненным данным, согласно работе /20/, мы принимаем:

$$\langle m^2 \rangle = 0,24 A^{2/3} \quad (6b)$$

(коэффициент 0,24 вместо прежнего 0,146). В рамках модели независимых частиц с учетом влияния оболочек для параметра  $\alpha$  была получена формула /21/:

$$\alpha = \alpha_2 (\bar{j}_Z + \bar{j}_N + 1) A^{2/3}, \quad (7)$$

где  $\bar{j}_Z$  и  $\bar{j}_N$  - средние моменты протонов и нейтронов для состояний вблизи энергии Ферми,  $\alpha_2 = 0,0374$  - константа, получаемая из эксперимента. Недавнее исследование /22/ показало, что вследствие наложения протонной и нейтронной оболочечных структур возникает специфическая зависимость параметра  $\alpha$  в (7) от  $N-Z$ . Этот эффект может быть описан следующей полумпирической формулой /22/:

$$\alpha = \alpha_0 - \beta \sin \left\{ \frac{\pi}{20} \frac{A}{\left[ 1 + \gamma \frac{A - A_0}{2} \right]} \right\} \cos \left\{ \frac{\pi}{20} \frac{(1 - \gamma \frac{A_0}{2})(N - Z)}{\left[ 1 + \gamma \frac{A - A_0}{2} \right]^2} \right\}, \quad (8)$$

где  $\alpha_0 = 0,038$ ,  $\beta = 0,0125$ ,  $A_0 = 80$ ,

$$\gamma = \begin{cases} 6,7 \cdot 10^{-3} & \text{для } A > 80, \\ 0 & \text{для } A \leq 80. \end{cases}$$

Из рисунка 4, где графически представлена зависимость (8), видно, что при изменении  $N - Z$  на два различные значения параметра  $\alpha$  может достигать 5+7%. Точность экспериментальных значений  $\alpha$  в настоящее время того же порядка, поэтому качественно эффект легче обнаружить по изменению знака расщепления  $\alpha$  в зависимости от  $N - Z$ .

На рис.5 представлены экспериментальные значения  $\alpha/A^{2/3}$ , взятые из работ /1,20/ и данной работы (значения  $\alpha$  из /1/ пересчитаны согласно (86)). Видно, что экспериментальные точки обнаруживают расщепление при  $A < 60$  и тенденцию к изменению знака зависимости  $\alpha$  от  $N - Z$  при  $A > 60$ .

Средние полные радиационные ширины четных изотопов селена совпадают между собой (см. таблицу 4) и соответствуют общему уровню значений  $\bar{\Gamma}_\gamma$ , полученному для этой области массовых чисел в последних работах /1/. Спиновой зависимости радиационной ширины у  $Se - 77$  не обнаружено. Обращает на себя внимание тот факт, что  $\bar{\Gamma}_\gamma$  у  $Se - 77$  заметно превосходит значения  $\bar{\Gamma}_\gamma$  соседних ядер.

В заключение мы считаем своим приятным долгом поблагодарить В.С.Золотарева и его сотрудников за любезное предоставление изотопов, И.И.Шелонцева, Н. Ю.Шурикову, Л. С. Нефедьеву и А.Л.Демичева за помощь при обработке данных на ЭВМ. В обсуждении вопроса о расщеплении  $\alpha$  в зависимости от  $N - Z$  стимулирующим было участие А.В.Малышева.

1. Х.Малэцки, Л.Б.Пикельнер, И.М.Саламатин, Э.И.Шарапов. Атомная энергия 24, 173 (1968).
2. J.Julien, C.Corge, V.D.Huynh, J.Morgenstern and F.Netter. Phys. Lett. 3, 67 (1962); J.Julien, V. D.Huynh, J.Morgenstern, F.Netter. Compt. Rend. 254, 4162 (1962).
3. R.E.Cote, L.M.Bollinger and G.E.Thomas. Phys.Rev,136,B703 (1964).
4. W.M.Good, H.Muenzer and K.Nishimura (1966), private communication in BNL-325, second ed., suppl. 2.
5. V.D.Huynh, S.De Barros, P.L.Chevillon, J.Julien et al. Nuclear Data for Reactors' I, 563 (IAEA, Vienna 1967).
6. L.B.Pikelner, V.T.Rudenko. "Research Applications of Nuclear Pulsed Systems", I, 165 (IAEA, Vienna 1967).
7. И.Визи, Г.П.Жуков, Г.И.Забиякин и др. "Nuclear Electronics" 1, 27 (IAEA, Vienna 1962).
8. Г.П.Жуков, Б.Е.Журавлев, Г.И.Забиякин, В.Н.Замрий. Труды VI конференции по ядерной радиоэлектронике, т.3, ч.1, М., Атомиздат 1965, стр. 89.
9. И.И.Шелонцев, Н.Ю.Ширикова. Препринт ОИЯИ 5-3263, стр.123(1967).
10. Э.Н.Каржавина, А.Б.Попов, Ю.С.Язвickий, В.Н.Ефимов, И.И. Шелонцев. Ядерная физика 5, 471 (1967).
11. J.Morgenstern, S.De Barros, P.L.Chevillon et al. "Nuclear Data for Reactors" I, 163 (IAEA, Vienna 1967).
12. Л.Б.Пикельнер, М.И. Пшитула, Ким Хи Сан, Чен Линь-янь, Э.И.Шарапов. ПТЭ №2, 48 (1963).
13. Э.И.Шарапов. Диссертация, ОИЯИ (1966).
14. Л.Б.Пикельнер, Э.И.Шарапов. Препринт ОИЯИ Р-1547, Дубна, 1963.
15. J.E.Draper. Nucl. Sci. Engin, 1, 522 (1956).
16. Ф.Ф.Михайлус, Л.Б.Пикельнер, Э.И.Шарапов. "Метод Монте-Карло в проблеме переноса излучений". М., Атомиздат, 1967., стр.180.
17. В.Н.Ефимов, И.И.Шелонцев. Препринт ОИЯИ Р-641, Дубна, 1961.

18. D.D.Slavynskas and T.J.Kennett, Nucl. Phys. 85, 641 (1966).
19. B.Buck and F.Perey. Phys. Rev. Lett. 8, 444 (1962).
20. U.Facchini, E.Saetta-Merichella, Energia Nucleare 15, 54 (1968).
21. T.D.Newton, Can. J. Phys. 34, 804 (1956).
22. A.B.Малышев, "Всесоюзная летняя школа по ядерной спектроскопии", стр. 416, 1966, г.Обнинск.
23. W.M.Good, D.Pauz, R.Wagner, T.Тамму, Phys. Rev. 151, 912 (1966).

Рукопись поступила в издательский отдел  
1 июля 1968 года.

Таблица I

Характеристики использованных образцов селена.

Основной изотоп	<i>Se-74</i>	<i>Se-76</i>	<i>Se-77</i>	<i>Se-78</i>	<i>Se-80</i>	<i>Se-82</i>
Полный вес образца (по элементу), г.	5,00	24,86	17,56	56,43	67,13	24,37
Содержание основного изотопа, %	40,9	75,2	68,2	87,8	94,3	71,4
Толщина в измерениях пропускания, яд.изо- топа/барн	0,00235	0,00396	0,00250 0,0136	0,0102	0,0127	-
Толщина в измерениях ( $n, r$ ), яд.изотопа/барн	0,000446	0,00396	0,00250	0,00286	0,00608	0,00342

Таблица 2

Параметры нейтронных резонансов изотопов селена

Ядро - мишень	$E_0$ эВ	$\Delta E_0$ эВ	$\gamma$	$g\Gamma_n$ эВ	$\Delta g\Gamma_n$ эВ	$\Gamma_\gamma$ эВ	$\Delta \Gamma_\gamma$ эВ	
Se-74	27,1	0,1		0,17	0,025	0,280	0,080	
	271,5	1,0		4,75	0,18	0,300	0,045	
	1029	3,6		2,37	0,38	0,300	0,045	
	1386	6,0		1,22	0,09	0,320	0,048	
	1630	7,0		0,14*	0,04			
	1746	8,0		9,86	0,60	0,270	0,054	
	2303	24,0		1,61	0,44	0,280	0,050	
	7216	68,0		20,64	3,90			
	Se-76	378	0,8		0,336	0,020	0,220	0,033
		864	2,8		3,31	0,24	0,220	0,033
920		3,2		0,040*	0,008			
1210		4,6		0,027*	0,005			
1355		10		0,023*	0,004			
1480		12		0,016*	0,004			
1646		7,4		0,008*	0,004			
2120		13		0,107	0,015			
2575		14		14,24	0,85	0,230	0,046	
3170		20		0,049*	0,010			
3363		21		14,0	0,9	0,250	0,050	
3940		27		0,220	0,050			
4313		31		4,0	2,0	0,210	0,050	
5020		39		<0,5				
5387		48		38,5	8,4			
6437		57		18,0	2,0			
7148		66		22,8	3,5			
8480		129		2,7	1,3			
10210		113		20,8	4,7			
11320		200		2,3	1,5			
13281	251		25,2	9,1				



Se-77	II2					
			0,0013	0,0002		
I5I,6	I,0		0,00019 <sup>x</sup>	0,00006		
I76,4	I,0		0,00037 <sup>x</sup>	0,0001		
2I2	0,8	0	0,380	0,02	0,380	0,060
29I	0,8		0,0093	0,0009		
34I,5	I,0		0,065	0,012		
369	0,8		0,0012 <sup>x</sup>	0,0006		
443	I,0		0,0047 <sup>x</sup>	0,0007		
483	I,2		0,0083	0,0012		
5I7	I,3		0,0025 <sup>x</sup>	0,0005		
552	I,4		0,0043 <sup>x</sup>	0,0007		
692	2,0	0	0,60	0,03	0,330	0,050
864	2,8		0,46	0,08		
970	3,3	(I)	0,095	0,030		
997	3,5	0	2,20	0,40	0,450	0,080
I090	4,0		0,075	0,025		
I27I	8,0	I	0,86	0,08	0,460	0,080
I300	5		0,0076 <sup>x</sup>	0,003		
I333	5		0,009 <sup>x</sup>	0,003		
I402	6		0,10	0,03		
I466	6		0,014	0,005		
I49I	6	0	0,240	0,035	0,350	0,100
I530	7		0,0058 <sup>x</sup>	0,001		
I687	8	I	0,52	0,10	0,520	0,150
I795	8		0,10	0,05		
I860	9		0,024	0,007		
I880	9		0,012 <sup>x</sup>	0,004		
2040	I0		0,25	0,10		
2267	I2	I	I,15	0,24	0,390	0,060
232I	I2	I	3,5	I,0	0,350	0,050
2540	28	I	2,5	0,5	0,340	0,050
2664	23	I	0,86	0,22	0,390	0,060
3034	27	I	0,60	0,20	0,600	0,250
3I97	20	I	2,2	0,3	0,440	0,080
3342	2I	0	I,20	0,25	0,360	0,050
3554	23	I	I,85	0,30	0,380	0,060
39I9	40	I	2,0	0,4	0,390	0,060

<i>Se-78</i>	384	0,8	0,33	0,03	0,180	0,030
	850	4	0,022 <sup>ж</sup>	0,004		
	1350	8	0,026 <sup>ж</sup>	0,005		
	2027	15	0,150 <sup>ж</sup>	0,030		
	2397	20	0,127 <sup>ж</sup>	0,025		
	3227	20	12,3	0,7	0,260	0,055
	3852	40	0,36	0,18		
	4626	35	0,39	0,17		
	5673	47	1,8	1,0	0,230	0,050
	6171	54	64,4	3,0		
	6857	63	3,5	1,8	0,220	0,050
	9250	98	39,0	6,0		
	11060	129	80,0	6,0		
	19100	292	23,0	8,0		
	20150	316	17,0	5,0		

<i>Se-80</i>	1470	10	0,050 <sup>ж</sup>	0,013		
	1970	19	55	4		
	4270	31	59	13		
	4720	36	4,8	2,4	0,250	0,100
	5100	40	74	19		
	5240	43	<0,6 <sup>ж</sup>			
	5660	46	7	4	0,210	0,055
	6120	52	<0,7 <sup>ж</sup>			
	8150	80	<0,9 <sup>ж</sup>			
	12632	156	26	8		
	20300	320	123	23		
	23122	390	48	15		

Таблица 3

E. эв	Для $\delta = 0$		Для $\delta = 1$		$\delta$	
	$\Gamma$ эв	$\Delta\Gamma$ эв	$\Gamma$ эв	$\Delta\Gamma$ эв	Данная работа	Данные из работы [27]
212	0,380	0,060	0,200	0,030	0	0
692	0,330	0,050	0,160	0,025	0	0
997	0,450	0,080	0,220	0,044	0	0
1271	1,080	0,170	0,460	0,080	1	1
1491	0,350	0,100	0,120	0,040	0	1
1687	1,360	0,300	0,520	0,150	1	
2267	0,860	0,210	0,390	0,060	1	
2321	0,850	0,120	0,350	0,050	1	
2540	0,800	0,110	0,340	0,050	1	
2664	1,040	0,150	0,390	0,060	1	
3034	1,700	0,700	0,600	0,250	1	
3197	1,150	0,150	0,440	0,080	1	
3342	0,360	0,050	0,130	0,020	0	
3554	0,960	0,200	0,380	0,060	1	
3919	1,150	0,150	0,390	0,060	1	

Таблица 4

Усредненные параметры для изотопов селена.

Изотоп	Se-74	Se-76	Se-77		Se-78	Se-80
Число исследованных уровней.	8	21	37		15	12
$S_0, 10^{-4}$	$2,6 \begin{smallmatrix} +3,0 \\ -0,9 \end{smallmatrix}$	$1,7 \begin{smallmatrix} +1,1 \\ -0,5 \end{smallmatrix}$	$(J=0) 1,4 \begin{smallmatrix} +1,6 \\ -0,5 \end{smallmatrix}$	$(J=1) 1,1 \begin{smallmatrix} +0,6 \\ -0,3 \end{smallmatrix}$	$1,9 \begin{smallmatrix} +1,3 \\ -0,5 \end{smallmatrix}$	$2,0 \begin{smallmatrix} +2,0 \\ -0,7 \end{smallmatrix}$
$\Gamma_1$ , мэв.	$290 \pm 50$	$230 \pm 40$	$390 \pm 70$		$220 \pm 45$	$220 \pm 50$
$\bar{S}$ наблюдаемое s-уровней, эв.	$370 \pm 70$	$700 \pm 150$	$120 \pm 20$		$1000 \pm 270$	$1200 \pm 380$
$a$ , мэв <sup>-1</sup>	$14,1 \pm 0,5$	$14,3 \pm 0,4$	$14,1 \pm 0,3$		$14,0 \pm 0,5$	$14,7 \pm 0,7$
$U$ возбуждения, мэв.	6,59	5,99	7,04		5,87	5,42

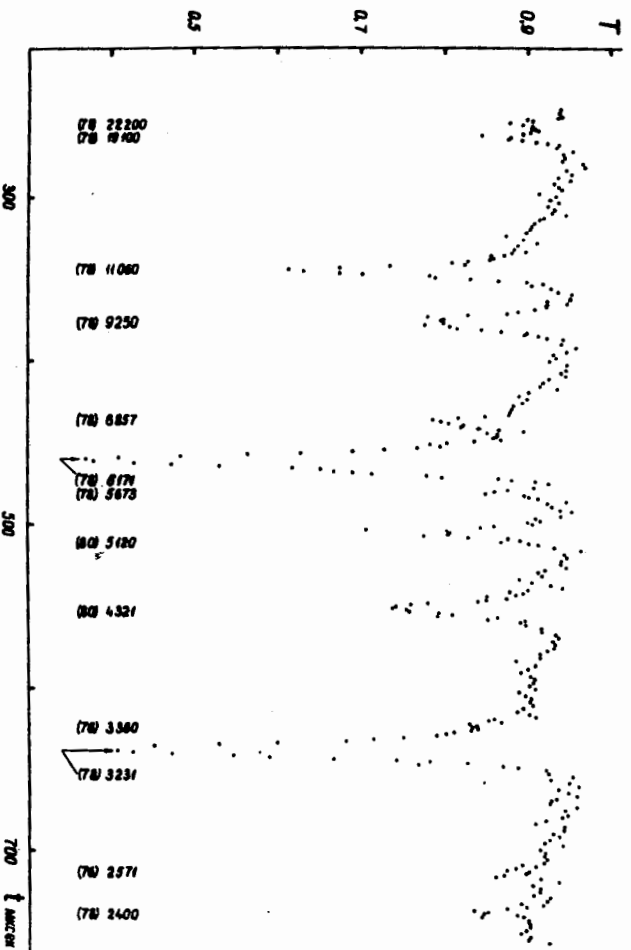


Рис.1. Кривая пропускания образца  $Sa-78$  толщиной  $0,0102$  см/барн.  
Цифры внизу указывают энергии резонансов в эв и изотопную принадлежность (в скобках).

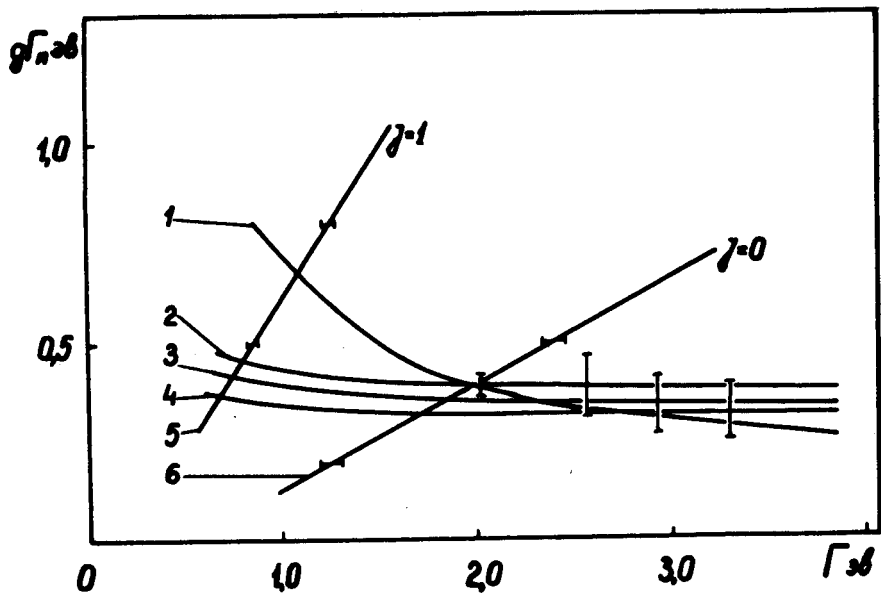


Рис.2. Зависимость  $\sigma_{\Gamma_n} / \sigma_{\Gamma}$  от  $\Gamma$  для резонанса  $^{212}\text{Se}$  -77. 1,2,3,4 - из измерений пропускания образцов  $25 \cdot 10^{-4}$  ядер/барн,  $1,7 \cdot 10^{-4}$  ядер/барн,  $2,6 \cdot 10^{-4}$  ядер/барн,  $1,86 \cdot 10^{-4}$  ядер/барн; 5,6 - из измерений радиационного захвата нейтронов образцом толщиной  $25 \cdot 10^{-4}$  ядер/барн для двух значений спина  $J$ .

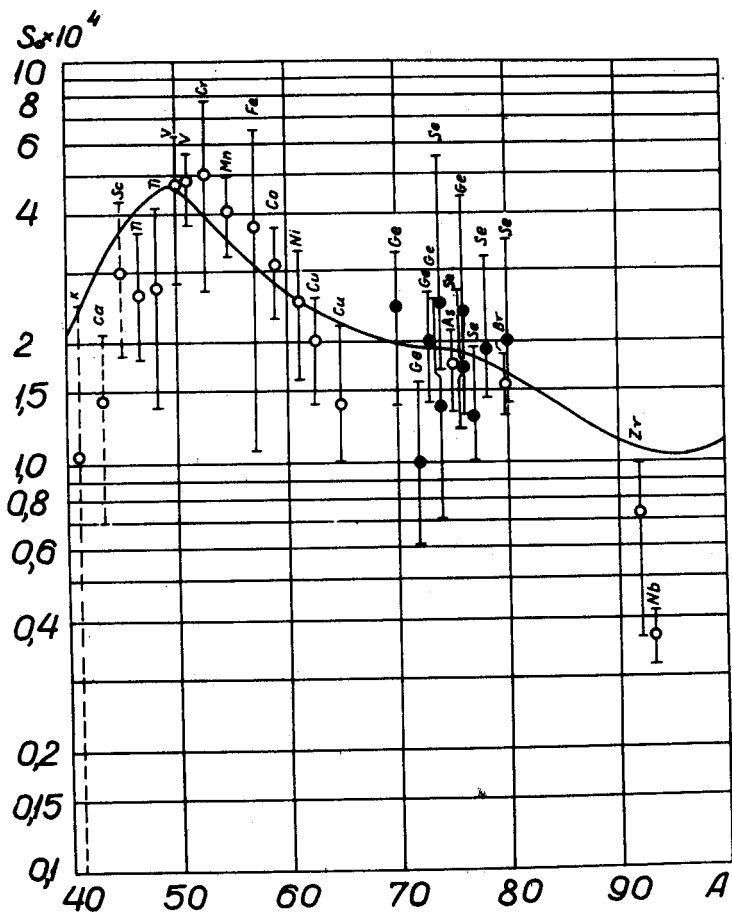


Рис.3. Силовые функции для  $\nu$ -нейтронов. Зачерненные точки - данные авторов настоящей работы. Остальные точки - последние результаты других авторов /23/.

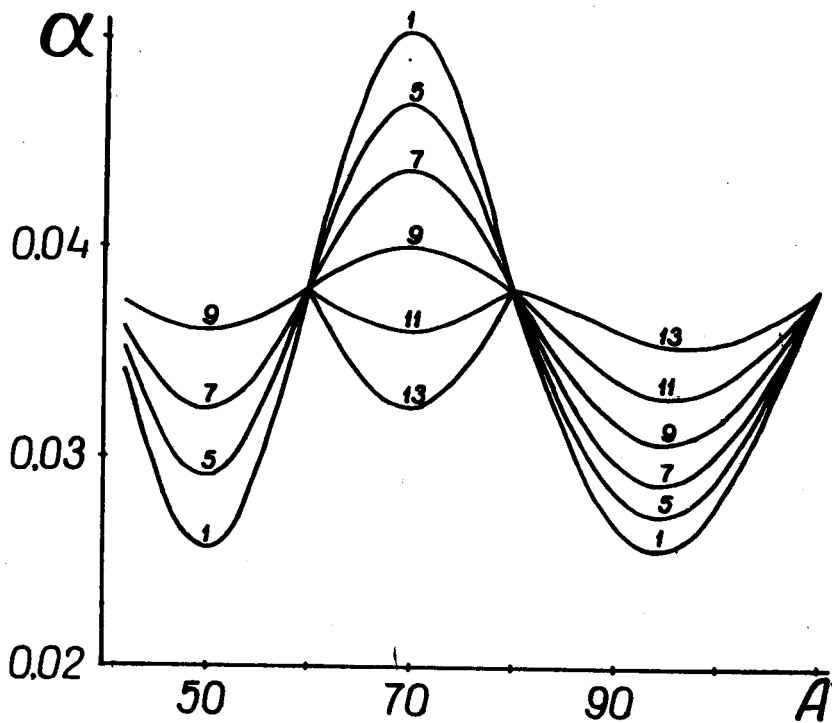


Рис.4. Семейство кривых зависимости  $\alpha$  от  $A$  для различных значений  $N-Z$ .



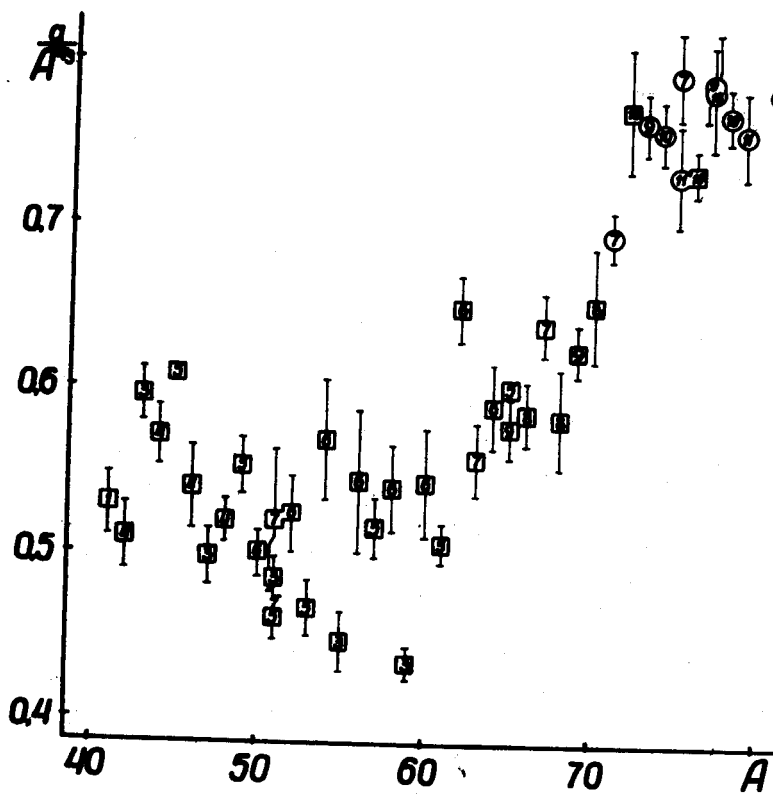


Рис.5. Экспериментальные значения  $a/A^{2/3}$  в зависимости от  $A$ . Цифры на графике - соответствующие значения работы /1/.  $\diamond$  - значения, вычисленные в работе /20/.