

Ю-769
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

На правах рукописи

ЮРЛОВ БОРИС ДМИТРИЕВИЧ

**Сечения радиационного захвата быстрых
нейтронов и средние резонансные параметры
для ядер редкоземельной области**

**Специальность — 01.04.16
(физика атомного ядра и элементарных частиц)**

*Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук*

Дубна — 1978

Работа выполнена в ордена Трудового Красного Знамени
Физико-энергетическом институте.

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник В. Н. Кононов.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник Ю. П. Попов,
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник А. В. Игнатюк.

Ведущее предприятие — ордена Ленина Институт атомной энергии
им. И. В. Курчатова, Москва.

Защита состоится «17» . . . *ноября* . . . 1978 г. в . . . 10 . . . час.
на заседании специализированного совета Д.047.01.05 при лаборатори-
и нейтронной физики и лаборатории ядерных реакций Объединен-
ного института ядерных исследований (г. Дубна).

Автореферат разослан «2» . . . *октября* . . . 1978 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

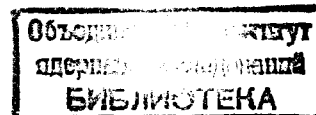
Ученый секретарь совета,
кандидат физико-математических наук

Ю. В. ТАРАН

1. Общая характеристика работы

Актуальность работы. Измерение и анализ сечений радиационного захвата быстрых нейтронов ядрами редкоземельных элементов имеет большое прикладное и теоретическое значение. Первое обусловлено тем, что многие редкоземельные изотопы являются продуктами деления, и получение ядерных данных для них в настоящее время является весьма актуальной задачей. Кроме того, ряд редкоземельных элементов (например, *Sm, Eu, Gd* и др.) интересны в связи с возможным использованием их в органах контроля и регулирования реакторов на быстрых нейтронах. С точки зрения ядерной физики, уредненные сечения захвата интересны тем, что позволяют определять такие важные параметры, как нейтронные и радиационные силовые функции. Данные по нейтронным силовым функциям используются для дальнейшего уточнения и развития оптической модели ядра, а из величины радиационной силовой функции может быть получена плотность ядерных уровней. Наконец, ряд вопросов ядерной астрофизики, например, проблема образования элементов во Вселенной, также требуют обширных сведений о сечениях захвата быстрых нейтронов практически всех элементов, в том числе и редкоземельных.

Цель работы. Настоящая работа посвящена измерению сечений радиационного захвата нейтронов в области энергий $5 + 350$ кэВ для разделенных изотопов неодима, самария, европия, гадолиния, эрбия, а также индия, тантала, золота и получению средних резонансных параметров (нейтронных и радиационных силовых функций) исследуемых ядер. Индий, тантал, золото использовались для контроля экспериментального метода. Кроме того, эти ядра часто используются в качестве стандартов при измерении нейтронных сечений и в интегральных реакторных экспериментах; поэтому изучение их имеет самостоятельный интерес.



Новизна работ. Получены новые экспериментальные результаты по сечениям радиационного захвата быстрых нейтронов для 23 ядер (^{115}In , $^{142,144,146,148,150}\text{Nd}$, $^{144,147,148,149,150,152,154}\text{Sm}$, $^{151,153}\text{Eu}$, $^{156,158,160}\text{Gd}$, $^{166,168,170}\text{Er}$, ^{181}Ta , ^{197}Au)

и двух естественных смесей изотопов (^{62}Sm , ^{63}Eu). Для большинства исследованных ядер впервые подробно измерены сечения захвата в килоэлектронвольтной области энергий нейтронов, в области, где становится существенным радиационный захват нейтронов с орбитальным моментом $\ell \geq 0$. Это обстоятельство позволило извлечь из анализа найденных сечений в рамках статистической теории ядерных реакций средние резонансные параметры, соответствующие взаимодействию ядра с нейтронами с $\ell = 0, 1, 2$. В результате, для исследованных ядер впервые была получена информация по d -волновой нейтронной силовой функции, получены новые данные по p -волновой нейтронной силовой функции, радиационным силовым функциям $S_{\chi\ell}$ ($S_{\chi 0}$, $S_{\chi 1}$, $S_{\chi 2}$), а также параметру α плотности ядерных уровней. Использование метода максимума правдоподобия для сравнения рассчитанных сечений с экспериментальными данными и описание погрешностей экспериментальных данных с помощью ковариационной матрицы ошибок повысило надёжность и точность средних резонансных параметров, извлекаемых из анализа средних сечений захвата быстрых нейтронов.

Практическая ценность работ. В результате измерений и анализа получены новые ядерные данные, необходимые для решения различных прикладных задач. Полученные сечения как по энергетическому диапазону, так и по достигнутой точности удовлетворили большое число запросов с приоритетом 1 и 2 на сечения радиационного захвата быстрых нейтронов редкоземельных ядер из сборника "WRENDA" (*World Request List for Nuclear Data Measurements*) и предназначены для использования во многих реакторно-физических

расчетах. Найденные значения силовых функций и параметра α плотности ядерных уровней имеют большое значение для теоретических расчетов различных нейтронных сечений.

Автор защищает следующие основные результаты.

- Новые экспериментальные данные по сечениям радиационного захвата быстрых нейтронов двадцати пяти изотопов и элементов, полученные в широкой области энергий нейтронов. Точность измерения сечений захвата составляет (7,5+9%).

- Теоретическое описание измеренных средних сечений радиационного захвата для исследованных ядер, выполненное в рамках статистической теории ядерных реакций.

- Новые экспериментальные данные по нейтронным (S_1 , S_2) и радиационным ($S_{\chi 0}$, $S_{\chi 1}$, $S_{\chi 2}$) силовым функциям, полученные из подгонки теоретических кривых сечения захвата под экспериментальные данные методом максимума правдоподобия.

- Экспериментальное указание на существование максимума в $S_1(A)$ при $A = 155+170$ вместо глубокого минимума, предсказываемого сферической оптической моделью ядра.

- Экспериментальное подтверждение наличия $3D$ -резонанса в зависимости $S_2(A)$ в редкоземельной области ядер, а также указание на возможность деформационного расщепления этого резонанса на два пика.

- Результаты расчетов нейтронных функций методом связанных каналов, которые показывают, что одним набором параметров оптического потенциала можно удовлетворительно описать экспериментальные данные по S_0 , S_1 , S_2 в зависимости от атомного номера и подтверждают факт расщепления $3D$ -резонанса в d -волновой нейтронной силовой функции.

- Новые данные по параметру α плотности ядерных уровней исследованных изотопов, которые в зависимости от атомного номера имеют максимум при $A \sim 150$, что согласуется с данными других авторов и связано с влиянием эффектов оболочечной структуры (нейтронная оболочка

ка с $N=82$) на плотность уровней редкоземельных ядер.

Объем работы. Диссертация написана на 180 стр., включающих в себя 122 стр. текста, 30 стр. для 31 рис. 11 таблиц и 12 стр. со 177 ссылками на используемую литературу.

П. Краткое содержание работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и двух приложений. Во введении формулируется постановка задачи исследования, показана актуальность работы и перечислены основные результаты, выносимые автором на защиту. В приложениях рассмотрены оценка сечения реакции $^{10}\text{B}(n, \alpha\gamma)^7\text{Li}$, выполненная с применением Паде-приближения и метод расчета поправки на резонансную самоэкранировку и многократное рассеяние нейтронов в образце.

В первой главе диссертации проводится анализ существующих методов получения силовых функций и обзор имеющихся экспериментальных данных и результатов теоретических расчетов по нейтронным силовым функциям.

Для экспериментального определения нейтронных силовых функций обычно используют два источника информации: данные в области изолированных резонансов и данные по усредненным нейтронным сечениям, полученные в килоэлектронвольтной области энергий нейтронов.

Анализ изолированных резонансов позволяет получать силовые функции непосредственно. Однако, он дает резонансные параметры, относящиеся к взаимодействию, главным образом, S -нейтронов. Основным методом определения p - и d -волновых нейтронных силовых функций является анализ средних нейтронных сечений (полных сечений, сечений радиационного захвата быстрых нейтронов). К настоящему времени указанными методами получено значительное количество экспериментальных данных по нейтронным силовым функциям, особенно по величине S_0 , а на основе оптической модели ядра получено теоретическое описание поведения нейтронных силовых функций в зависимости

от атомного веса. Однако в поведении зависимости S_e от A имеется ряд вопросов, которые для своего окончательного решения требуют дополнительной информации по силовым функциям, в частности, данных по S_1 и S_2 для редкоземельных ядер. Измерение сечений радиационного захвата быстрых нейтронов редкоземельными ядрами и их последующий теоретический анализ позволяет получить такую информацию.

Во второй главе проводится обоснование исследуемого метода измерения сечений радиационного захвата быстрых нейтронов, описывается экспериментальная установка и методика получения сечений захвата из аппаратурных спектров, обсуждаются результаты измерений.

Измерения проводились на импульсном электростатическом ускорителе ЭГ-1 ФЭИ методом, основанным на регистрации мгновенных γ -лучей захвата сцинтилляционным детектором полного поглощения и использовании наносекундной техники времени пролета для измерения энергии нейтронов. Схема эксперимента приведена на рис. 1. Источником нейтронов с непрерывным спектром служила реакция $^7\text{Li}(p, n)^7\text{Be}$.

В качестве детектора γ -лучей захвата использовался сцинтилляционный бак (сфера диаметром 32 см), заполненный безводородным сцинтиллятором ЖС-52 на основе гексафторбензола. При регистрации γ -лучей в диапазоне энергий 1,5-10 Мэв временное разрешение детектора равно 8 нсек, а эффективность регистрации событий захвата составляет 65 %. Использованный детектор аналогичен другим известным детекторам полного поглощения, но имеет значительно меньший уровень космического фона и небольшой уровень мгновенного фона от рассеянных в образце нейтронов, что позволяет измерять малые величины сечений и использовать образцы разделенных изотопов весом ~ 20 г.

Измерение спектра, падающих на образец нейтронов, осуществлялось детектором, состоящим из пластины ^{10}B и сцинтилляционного γ -спектрометра на основе кристалла $\text{NaJ}(\text{Te})$. Электронная аппаратура обеспечивала проведение одновременно временного и амплитудного ана-

лиза импульсов детектора событий захвата и монитора нейтронного потока.

В эксперименте использовались образцы разделенных изотопов толщиной $(0,5 \pm 1,5) \cdot 10^{22}$ атом/см² и обогащением по основному изотопу $\geq 90\%$. Измерение сечений производилось при величине пролетной базы 0,8 и 1,4 м с разрешением 12 и 7 нсек/м.

В результате обработки временных и амплитудных спектров сечение радиационного захвата нейтронов определялось следующим образом:

$$\sigma_{n\gamma}^x(E) = \frac{R_x(E) \epsilon_{Au} \cdot n_{Au}}{R_{Au}(30) \epsilon_x \cdot n_x} \cdot \frac{\sigma_{n\gamma}^{10B}(E) \cdot F_B(E)}{\sigma_{n\gamma}^{10B}(30) \cdot F_B(30)} \cdot \frac{C_{Au}(30)}{C_x(E)} \cdot \sigma_{n\gamma}^{Au}(30), (I)$$

где индекс "x" соответствует исследуемому образцу, а индекс "Au" и "30" соответствуют золоту и энергии нейтронов 30 кэв;

R - отношение числа отсчетов γ -детектора к числу отсчетов монитора нейтронного потока (после вычитания фона); ϵ - эффективность регистрации событий захвата γ -детектором, определяемая из анализа амплитудных спектров; n - толщина образца; $\sigma_{n\gamma}^{10B}$ - сечение реакции $^{10}B(n, \gamma)^7Li$; F_B - поправка на конечную толщину образца ^{10}B и ослабление нейтронного потока захватным образцом и алюминиевой упаковкой; C - поправка на резонансное самоэкранирование и многократное рассеяние нейтронов в исследуемом образце; $\sigma_{n\gamma}^{Au}(30) = 596$ мбарн. Таким образом, использованный метод является относительным, но для получения абсолютной величины сечения, кроме величин, измеряемых в эксперименте, требуется значение только одной опорной величины (сечения захвата золота при $E_n = 30$ кэв) и энергетической зависимости сечения реакции $^{10}B(n, \gamma)^7Li$.

В настоящей работе измерены сечения радиационного захвата нейтронов в области энергий 5-350 кэв для следующих элементов и изотопов: ^{115}In , $^{142}, ^{144}, ^{146}, ^{148}, ^{150}Nd$, ^{62}Sm , $^{144}, ^{147}, ^{148}, ^{149}, ^{150}, ^{152}, ^{154}Sm$, ^{63}Eu , $^{151}, ^{153}Eu$, $^{156}, ^{158}, ^{160}Gd$, $^{166}, ^{168}, ^{170}Er$,

^{181}Ta , ^{197}Au . Полученные данные имеют среднеквадратичную погрешность (1±5%), которая характеризует статистическую точность и воспроизводимость экспериментальных результатов. Кроме того, имеется систематическая погрешность. Она складывается из ошибки опорного сечения захвата золота - 4%, неопределенности сечения реакции $^{10}B(n, \gamma)^7Li$ - 3%, погрешности определения отношения эффективностей ϵ_{Au}/ϵ_x - (5±6,5)%, погрешности процедуры вычитания фона - (0,5±6)%, неопределенности введения поправок C_{Au} , C_x , F_B и других - (1±3)%. Полная погрешность соответственно равна ~ (8±12)% во всем исследуемом диапазоне энергий нейтронов.

В качестве примера на рис. 2+4 приведены сечения радиационного захвата для эблота, европия и для четно-четных изотопов самария. Следует отметить, что данные по эталонным ядрам - индий, танталу, золоту - находятся в хорошем согласии с многочисленными результатами других авторов, что свидетельствует о надежности использованного метода измерения сечений.

Для большинства исследованных редкоземельных изотопов сечения захвата в широкой области энергий нейтронов получены впервые. Наши результаты для европия (рис. 3) удовлетворительно согласуются с результатами Кэирра для ^{151}Eu и ^{63}Eu , Хокенбэри для ^{151}Eu , но отличаются от данных Конкса и Чоя. Немногочисленные данные других авторов для четно-четных ядер, как правило, измерены активационной методикой и в ряде случаев плохо согласуются как между собой, так и с нашими результатами. Возможными причинами этого могут быть трудность выполнения активационных измерений в редкоземельной области, связанная с большими периодами полураспада, и необходимость перенормировки ряда результатов (например, данные Рао, Джисраида) на современное значение опорных сечений захвата в тепловой области.

Для ряда четно-четных ядер в полученной энергетической области сечения радиационного захвата нейтронов наблюдается характер-

ная особенность, определяемая конкуренцией с неупругим рассеянием нейтронов - сброс в сечении при энергии нейтронов большей энергии первого уровня ядра - мишени 2^+ (например, $^{152,154}\text{Sm}$, рис. 4). Эта особенность в поведении сечений захвата нейтронов была использована для получения достаточно надежных экспериментальных данных по d -волновым нейтронным силовым функциям.

Третья глава диссертации посвящена анализу измеренных средних сечений радиационного захвата и получению нейтронных и радиационных силовых функций.

В исследуемой области энергий нейтронов для средних и тяжелых ядер подавляющая часть сечения радиационного захвата сосредоточена в узких резонансах, которые, однако, не могут быть разрешены вследствие конечной разрешающей способности нейтронных спектрометров. Поэтому результатом эксперимента являются сечения, усредненные по многим резонансам. Средние сечения могут быть описаны в терминах статистической теории ядерных реакций через средние значения параметров нейтронных резонансов.

$$\bar{\sigma}_{ng}(E) = \pi \lambda^2 \sum_{j\ell} g_j^j T_{j\ell}^{j\ell} \frac{T_n^{j\ell}}{T_n^{j\ell} + T_{j\ell}^{j\ell} + T_{in}^{j\ell'}} \cdot F\left(\frac{T_{j\ell}^{j\ell}}{T_n^{j\ell}}, \frac{T_{in}^{j\ell'}}{T_n^{j\ell}}\right) \quad (2)$$

В этом выражении использованы общепринятые обозначения, а проицисаемости $T_n^{j\ell}$, $T_{in}^{j\ell'}$, $T_{j\ell}^{j\ell}$ связаны с приведенными нейтронными $S_{j\ell}$ и радиационными $S_{j\ell}^{\text{ра}} = (\bar{\Gamma}_j/\bar{\nu}_{j\ell})$ силовыми функциями следующими соотношениями:

$$T_n^{j\ell} = 2\pi \epsilon_{j\ell}^0 \cdot S_{j\ell} \nu_{j\ell} \sqrt{E} (1 + \frac{\pi}{2} S_{j\ell} \nu_{j\ell} \sqrt{E})^{-2},$$

$$T_{in}^{j\ell'} = \sum \sum \epsilon_{j\ell'}^k T_n^{j\ell'}, \quad T_{j\ell}^{j\ell} = 4\pi(2I+1) g_j^j \cdot S_{j\ell} \cdot \xi(E).$$

Функция $\xi(E)$ учитывает энергетическую зависимость радиационной силовой функции, а фактор F - флуктуации нейтронных ширины в каналах упругого и неупругого рассеяния.

Задача получения силовых функций из усредненных сечений захвата сводилась к разложению кривой сечения на три компонента, соответствующие вкладу парциальных волн с $\ell=0,1,2$, имеющие различную энергетическую зависимость, и подгонке теоретической кривой к экспериментальным данным, используя метод максимума правдоподобия. МП - оценки силовых функций (\bar{P}), оптимальные в смысле наилучшего описания экспериментальных данных, находились минимизацией следующего квадратичного функционала:

$$S^2 = [\bar{\sigma}_{\text{эксп}} - \bar{\sigma}_{\text{теор}}]^T \cdot V^{-1} \cdot [\bar{\sigma}_{\text{эксп}} - \bar{\sigma}_{\text{теор}}] + (\bar{P}_0 - \bar{P})^T \cdot W_0^{-1} \cdot (\bar{P}_0 - \bar{P}), \quad (3)$$

где $\bar{\sigma}_{\text{эксп}}$ и $\bar{\sigma}_{\text{теор}}$ - экспериментальное и теоретическое, рассчитанное по формуле (2), сечение захвата; \bar{P}_0 и W_0 - вектор априорных значений параметров ($S_{j\ell}$ и $S_{j\ell}^{\text{ра}}$ для $\ell=0,1,2$) и их ковариационная матрица, которая предполагается диагональной; V - ковариационная матрица погрешностей экспериментальных данных по сечениям захвата. Матрица V позволяет более строго определить экспериментальную кривую сечения и, следовательно, более полно извлечь содержащуюся в ней информацию о средних резонансных параметрах.

Результаты поиска параметров представлены на рис. 5+7 и в таблице. Погрешности силовых функций, приведенные в табл., являются диагональными элементами ковариационной матрицы ошибок оптимальных параметров, которая оценивалась по следующей формуле:

$$W = \frac{S^2}{N} [N^T \cdot V^{-1} \cdot N + W_0^{-1}]^{-1}, \quad \text{где } N - \text{матрица коэффициентов чувствительности сечения к параметрам, } N - \text{число экспериментальных точек.}$$

Недиагональные члены этой матрицы отражают корреляционные свойства найденных МП-оценок силовых функций. Полученные оптимальные параметры в пределах ошибок не зависят от их априорных значений и имеют небольшие ($\sim 0,3+0,4$) коэффициенты взаимной корреляции. Рассчитанные по этим параметрам кривые сече-

ния захвата всюду находятся в хорошем согласии с нашими экспериментальными данными.

Анализ полученных нейтронных и радиационных силовых функций проводится в четвертой главе диссертации. Первый параграф этой главы посвящен рассмотрению зависимости нейтронных силовых функций от атомного веса. Экспериментальные данные по S -, ρ - (в области редкоземельных элементов) и d - волновым нейтронным силовым функциям представлены на рис. 5+7.

Рассмотрение совокупности имеющихся данных по S_I , несмотря на их относительно невысокую точность, показывают, что в диапазоне $A=140+150$ (легкие изотопы неодима и самария) имеется глубокий минимум с величиной $S_I \sim (0,1+0,3) \cdot 10^{-4}$. В области $A=155+170$ экспериментальные данные свидетельствуют о наличии максимума ($S_I \sim 1+3 \cdot 10^{-4}$). Малочисленность экспериментальных данных по величине S_2 пока не позволяет проследить детальную зависимость

d -волновой нейтронной силовой функции от атомного веса. Однако, наши результаты подтверждают существование $3D$ -резонанса в $S_2(A)$

в области редких земель и указывает на возможность его расщепления на два пика, лежащих в области $A \approx 145+155$ и $A \approx 165+170$.

Для сравнения экспериментальных результатов с существующими теоретическими представлениями были проведены расчеты нейтронных силовых функций $S_0, S_I, S_2(A)$ методом связанных каналов и по сферической оптической модели, используя оптический потенциал Туринского и Пери-Бака. Вид потенциала и конкретные значения его параметров даны ниже.

$$V = -V_0 \frac{1}{1 + \exp[(r-R)/a_v]} - 4i W^{(e)} x \quad (4)$$

$$x \frac{\exp[(r-R-b)/a_w]}{\{1 + \exp[(r-R-b)/a_w]\}^2} - V_{so} (\vec{\sigma} \vec{e})^2 \frac{1}{a_{so}} \frac{\exp[(r-R)/a_{so}]}{\{1 + \exp[(r-R)/a_{so}]\}^2}$$

	V_0 МэВ	V_{so} МэВ	$W^{(0)}$ МэВ	$W^{(1)}$ МэВ	$W^{(2)}$ МэВ	a_v фм	a_{so} фм	a_w фм	b фм	R_0 фм
Туринский	47	6	12	1,5	12	0,52	0,23	0,23	0,3	1,3
Пери-Бак	43,5	8	5,4	5,4	5,4	0,65	0,65	0,47	0	1,35

Результаты расчетов показаны на рис. 5+7 сплошной и пунктирной линиями (метод связанных каналов, соответственно с потенциалом Туринского и Пери-Бака) и точечной кривой (сферический оптический потенциал Туринского). Различные варианты расчетов по методу связанных каналов дают более приемлемое описание совокупности экспериментальных данных по $S_0, S_I, S_2(A)$, чем расчеты по сферической оптической модели: расщепляется $4S$ -резонанс, проявляется структура в $3S$ и $3P$ -резонансах, а в районе $A \sim 155+180$ в зависимости $S_I(A)$ вместо глубокого минимума, предсказываемого сферической оптической моделью проявляется максимум, что лучше соответствует экспериментальным результатам. В зависимости $S_2(A)$ обнаружено расщепление $3D$ -резонанса на два пика, что также согласуется с полученным в настоящей работе экспериментальным указанием на возможность такого расщепления. Однако согласие теоретических кривых с экспериментальными данными, особенно в случае $S_I(A)$ и $S_2(A)$, является качественным и требуется дальнейшая работа, направленная на получение новых экспериментальных данных по S_2 , в первую очередь, для p - и d -нейтронов.

В последнем параграфе диссертации рассмотрены наиболее радиационные силовые функции $S_{\gamma e}$ и получен параметр a плоскости ядерных уровней.

III. Основные результаты работ.

I. Усовершенствован и распространен на более широкий диапазон энергий нейтронов ($5+350$ кэВ) метод измерения сечений радиационного захвата, основанный на регистрации мгновенных γ -лучей захвата сцинтилляционным баком и спектрометрией нейтронов по принципу

пролета с использованием в качестве источника нейтронов импульсного ускорителя Ван-де-Граафа.

2. Получены новые данные по сечениям захвата нейтронов в области энергий 5+350 кэВ для эталонных ядер: индий, тантал, золото, которые хорошо согласуются с известными экспериментальными результатами последних лет и оценками *ENDF/B-IV* и ЦЯД.

3. В той же области энергий нейтронов измерены сечения радиационного захвата разделенных изотопов неодима (*Nd*- 142, 144, 146, 148, 150), самария (${}_{62}Sm$) и его изотопов (*Sm* - 144, 147, 148, 149, 150, 152, 154), европия (${}_{63}Eu$) и его изотопов (*Eu* - 151, 153), изотопов гадолиния (*Gd* - 156, 158, 160) и эрбия (*Er* - 166, 168, 170). Практически для всех редкоземельных ядер подробные экспериментальные данные получены впервые.

4. Проведен анализ измеренных средних сечений захвата в рамках статистической теории ядерных реакций. Используя метод максимума правдоподобия получены нейтронные (S_1 , S_2) и радиационные ($S_{\gamma 0}$, $S_{\gamma 1}$, $S_{\gamma 2}$) силовые функции. Было найдено, что лучшее описание экспериментальных данных достигается в предположении о возможной неодинаковости $S_{\gamma e}$ для *s*-, *p*- и *d*-нейтронов. Величина $S_{\gamma 0}$ для многих исследованных ядер оказалась больше значения радиационной силовой функции, определяемой из анализа изолированных *s*- резонансов.

5. Полученные данные по *p*-волновой нейтронной силовой функцией подтверждают вывод, следующий из расчетов методом связанных каналов, о наличии максимума в $S_1(A)$ при $A \approx 155+170$ вместо глубокого минимума, предсказываемого сферической оптической моделью.

6. Впервые для разделенных изотопов редкоземельных элементов получены *d*-волновые нейтронные силовые функции, которые свидетельствуют о существовании $3D$ - резонанса и о возможном его расщеплении на два пика, лежащих в области массовых чисел $A=145+155$ и

$A \approx 165+170$. На исследованных четно-четных ядрах показана высокая эффективность опоса получения величины S_2 из анализа "обросов" в сечениях, связанных о конкуренцией процессов радиационного захвата и неупругого рассеяния с возбуждением уровня 2^+ .

7. Для области массовых чисел $A=40+240$ были проведены расчеты силовых функций для *s*-, *p*-, *d*-нейтронов по сферической оптической модели методом связанных каналов. Результаты расчетов показывают, что метод связанных каналов дает качественно более приемлемое описание экспериментальных данных, чем сферическая оптическая модель, а для *d*-волны расчеты методом связанных каналов обнаруживают расщепление $3D$ -резонанса.

8. Из найденных значений радиационной силовой функции для *s*-нейтронов ($S_{\gamma 0}$) определены средние расстояния между уровнями (\bar{D} набл.) и параметр *a* плотности уровней. В полученной зависимости *a*(*A*) при $A \approx 150$ имеется максимум, который ранее обнаруживался в работах других авторов и связан с влиянием эффектов оболочечной структуры на плотность уровней атомных ядер.

Результаты, изложенные в диссертации, обсуждались на семинарах в Физико-энергетическом институте (г.Обнинск), Институте ядерных исследований АН СССР (г.Москва), Объединенном институте ядерных исследований (г.Дубна). Докладывались на 3-й и 4-ой Всесоюзной конференции по нейтронной физике (г.Киев, 1975, 1977 гг.) и представлялись на 26 Собрание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (г.Баку, 1976 г.). Числовые данные записаны в мировую библиотеку ядерных данных в формате "EXFOR" (Центр по ядерным данным, г.Обнинск).

Основные результаты по теме диссертации опубликованы в следующих работах:

- 1. Кононов В.Н., Полешаев Е.Д., Орлов Б.Д., Атомная энергия, 1975, 38, 82; Ядерные константы, 1974, 15, 12.

2. Кононов В.Н., Орлов Б.Д., Мантуров Г.Н. и др. Вопросы атомной науки и техники. Сер. Ядерные константы, Атомиздат, 1976, 22, 29. Ядерно-физические исследования в СССР, Атомиздат, 1977, 23, 3.
3. Кононов В.Н., Орлов Б.Д., Полетаев Е.Д., Тимохов В.М. Ядерная физика, 1977, 26, 947.
4. Кононов В.Н., Орлов Б.Д., Полетаев Е.Д., Тимохов В.М. Ядерная физика, 1978, 27, 10.
5. Кононов В.Н., Полетаев Е.Д., Орлов Б.Д., Препринт ФЭИ - 752, Обнинск, 1977; Вопросы атомной науки и техники. Сер. Ядерные константы, 1977, 24, 6.
6. Кононов В.Н., Орлов Б.Д., Полетаев Е.Д. Нейтронная физика (Материалы 3-ей Всесоюзной конференции, Киев, 1975), Москва, ЦНИИАТОМИНФОРМ, 1976, т.3, 190.
7. Орлов Б.Д., Кононов В.Н., Полетаев Е.Д. Нейтронная физика (Материалы 3-ей Всесоюзной конференции, Киев, 1975), Москва, ЦНИИАТОМИНФОРМ, 1976, т.3, 195.
8. Кононов В.Н., Орлов Б.Д., Нейтронная физика (Материалы 4-ой Всесоюзной конференции, Киев, 1977), М., ЦНИИАТОМИНФОРМ, 1977, т.2, 201.
9. Кононов В.Н., Орлов Б.Д., Полетаев Е.Д., Тимохов В.М. Нейтронная физика (Материалы 4-ой Всесоюзной конференции, Киев, 1977), М., ЦНИИАТОМИНФОРМ, 1977, т.2, 206.
10. Кононов В.Н., Орлов Б.Д., Полетаев Е.Д., Тимохов В.М. Нейтронная физика (Материалы 4-ой Всесоюзной конференции, Киев, 1977), М., ЦНИИАТОМИНФОРМ, 1977, т.2, 211.
11. Кононов В.Н., Мантуров Г.Н., Николаев М.Н., Орлов Б.Д. Тезисы докладов XXVI совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, (Баку, 1976), "Наука", 1976, 208.
12. Кононов В.Н., Полетаев Е.Д., Орлов Б.Д. Тезисы докладов XXVI совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (Баку, 1976) "Наука", 1976, 211.

Результаты анализа усредненных сечений радиационного захвата нейтронов исследуемых ядер.

Нейтронные и радиационные силовые функции даны в единицах 10^{-4}

Я Д Р О	S_0	S_I	S_2	$S_{\gamma 0}$	$S_{\gamma I}$	$S_{\gamma 2}$
I15 In	026	4,35±0,65	1,16±0,29	6,25±1,55	2,55±0,55	1,1±0,15
I42 Nd	1,4	0,10±0,03	0,60±0,12	1,2±0,3	0,10±0,04	0,8±0,15
I44 Nd	3,9	0,50±0,10	1,3±0,2	1,3±0,2	0,45±0,12	0,43±0,06
I46 Nd	2,3	0,11±0,03	1,25±0,27	6,5±1,5	0,17±0,05	0,7±0,12
I48 Nd	3,0	0,08±0,02	0,98±0,20	4,9±0,6	4,8±1,8	0,4±0,1
I50 Nd	3,2	0,80±0,23	2,8±0,5	5,5±0,6	0,10±0,03	1,5±0,2
I44 Sm	3,2±1,4	< 0,10	2,33±0,44	2,4±0,4	2,5±0,5	0,9±0,2
I47 Sm	4,35	< 0,1	1,29±0,28	43,8±7,4	14,6±9,4	4,7±2,2
I48 Sm	3,8±1,1	1,91±0,46	3,50±0,46	5,4±1,0	3,4±0,5	5,2±0,5
I49 Sm	4,5	0,3±0,1	1,53±0,18	65,4±3,2	35,6±3,0	20±11
I50 Sm	3,6	0,08±0,02	5,3±1,0	25±3	19±3	4,5±0,7
I52 Sm	2,7	0,55±0,08	3,5±0,6	19±2	8,0±0,9	3,0±0,5
I54 Sm	1,9	0,83±0,15	4,6±0,7	7,2±0,8	1,7±0,3	1,3±0,2
I51 Eu	3,4±0,7	< 0,1	2,97±0,83	263,7±7,9	117±89	31±11
I53 Eu	2,5	0,202±0,11	5,35±1,18	217±14	28±24	11,3±2,7
I56 Gd	1,8	0,55±0,10	2,6±0,4	23,2±2,5	5,8±1,2	4,5±0,7
I58 Gd	1,5	4,0±0,6	1,9±0,3	5,6±0,9	3,3±0,6	4,5±0,5
I60 Gd	2,4	0,50±0,08	1,3±0,2	4,4±0,4	1,3±0,2	0,3±0,1
I66 Er	1,7	0,94±0,16	4,65±0,72	7,5±2,0	6,0±0,8	5,0±0,5
I68 Er	1,5	1,18±0,20	2,98±0,48	8,6±1,0	2,8±0,3	2,4±0,3
I70 Er	1,5	1,08±0,32	2,35±0,30	8,1±1,2	0,24±0,1	1,6±0,2
I81 Ta	1,8	0,2±0,036	2,3±0,32	13,6±0,8	5,3±1,5	3,1±0,5
I97 Au	2,1	0,303±0,017	0,687±0,18	11,2±0,5	7,4±2,4	6,75±2,00

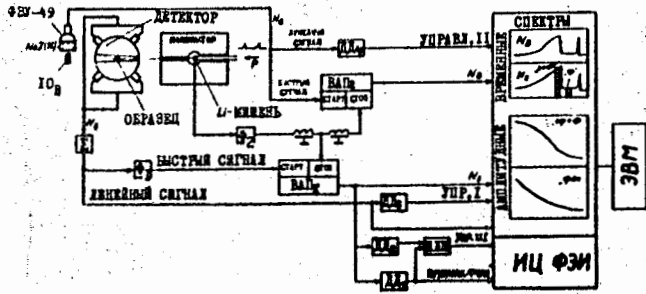


Рис.1. Блок-схема эксперимента.

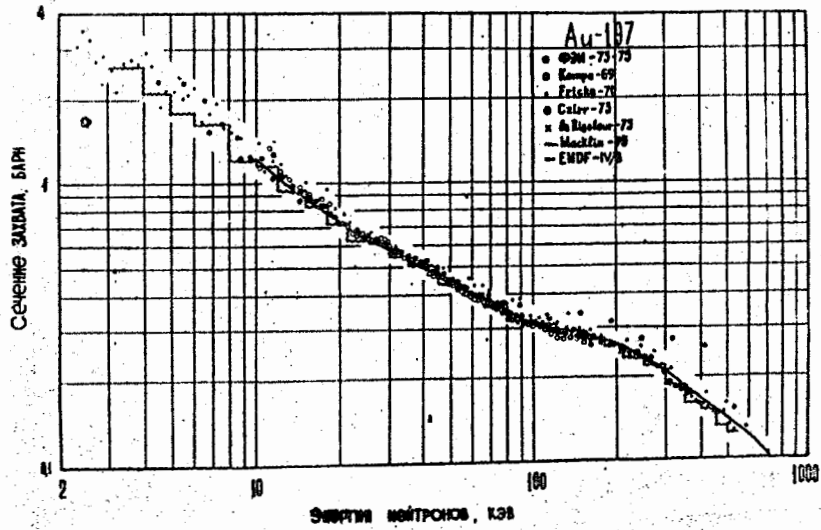


Рис.2. Экспериментальные данные по сечению захвата золота, полученные в последние годы независимыми методами. ● - результаты настоящей работы (ФЭИ-73-75).

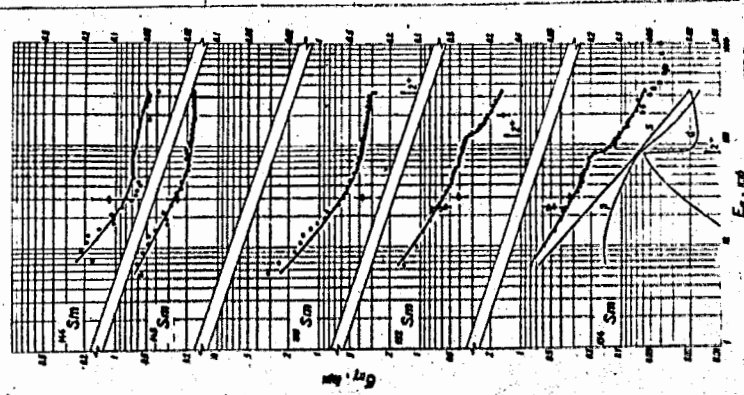


Рис.4. Сечения захвата нейтронов для изотопов самария. Экспериментальные данные: ● - настоящая работа, □ - Джонсрад, ○ - Чабубей, ◇ - Джонсрад, ○ - Маклин. — расчёт по параметрам из табл.

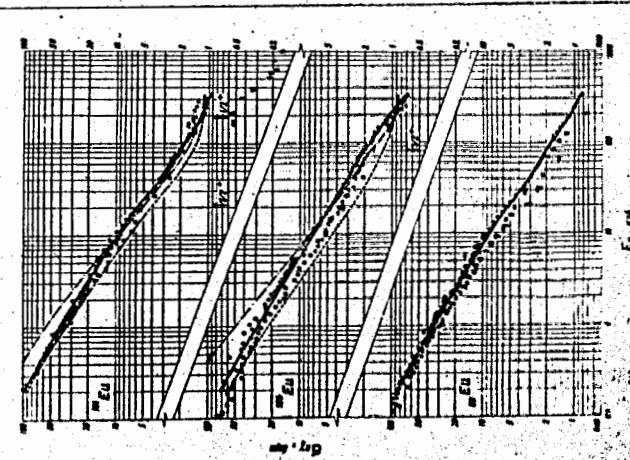


Рис.3. Сечения захвата нейтронов для европия и его изотопов. Экспериментальные данные: ● - настоящая работа, □ - Джонсрад, ○ - Чой, ○ - Кэрир, △ - Джонсрад, ◇ - Маклин, ◇ - Блок. — расчёт по оптимальным параметрам из табл. — расчёт при $\delta_0 = \delta_1 = \delta_2 = 0$ и $\delta_0 = \delta_1 = \delta_2 = 10^{-10}$ для $E_n = 151$ и $\delta_0 = 8 \cdot 10^{-10}$ для $E_n = 153$.

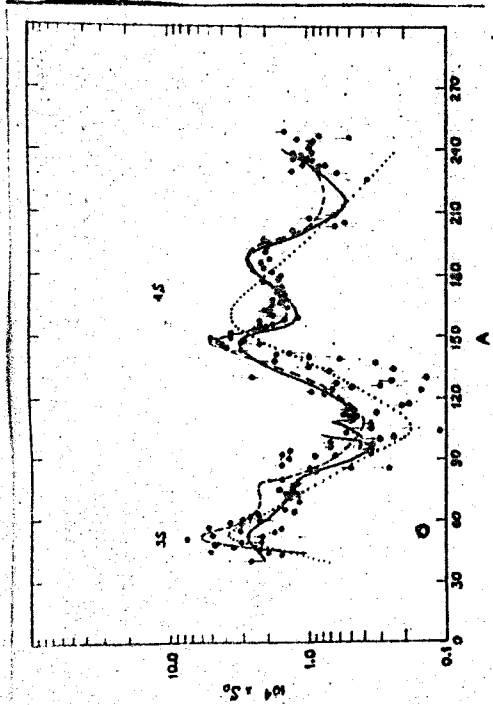
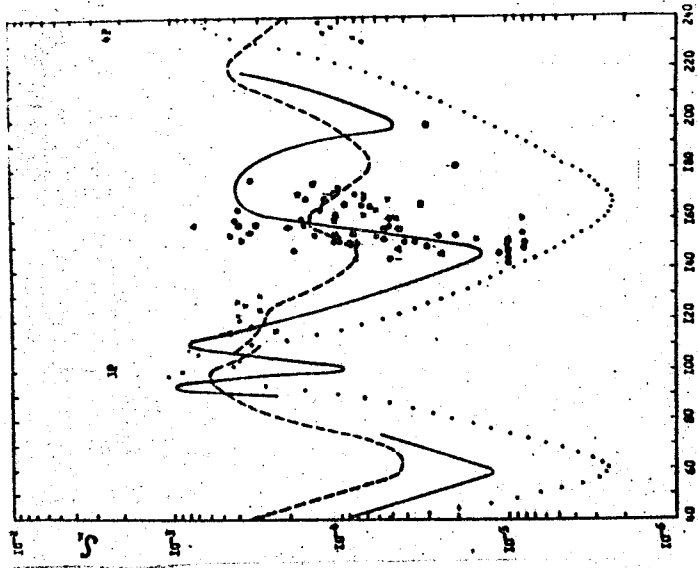


Рис. 5. S_2 - Волновая нейтронная силовая функция. Экспериментальные данные (ϕ) и расчёты по нефермической оптической модели Бана и Пери (---) взяты из *BML-325*. (—) и (•••) - расчёты с потенциалом Туринского, выполненные в настоящей работе соответственно методом связанных каналов и по сферической оптической модели.

Рис. 6. ρ - Волновая нейтронная силовая функция. • - настоящая работа, \square - Шорин, Δ - Рао, ∇ - Фукнет и Линдсей, \diamond - Фрине, \circ - данные из компьютерной Масгроува и *BML-325*. (---) - расчёты методом связанных каналов и по сферической оптической модели (•••), X - расчёты Соловьёва и др. по полумикроскопической теории.

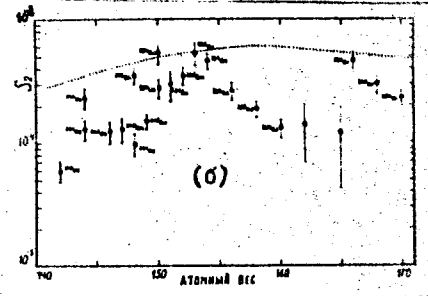
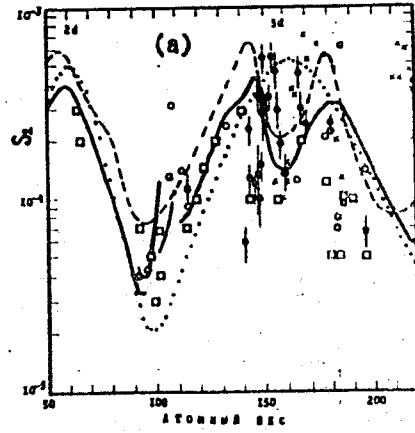


Рис. 7. (а) - Нейтронная силовая функция S_2 . ϕ - экспериментальные данные, расчёты методом связанных каналов (---) и по сферической оптической модели (•••) - настоящая работа; \square - данные других авторов (из анализа сечений захвата и полных сечений); X - результаты полумикроскопических расчётов. (б) - фрагмент зависимости $S_2(A)$ в области $A=140-170$.

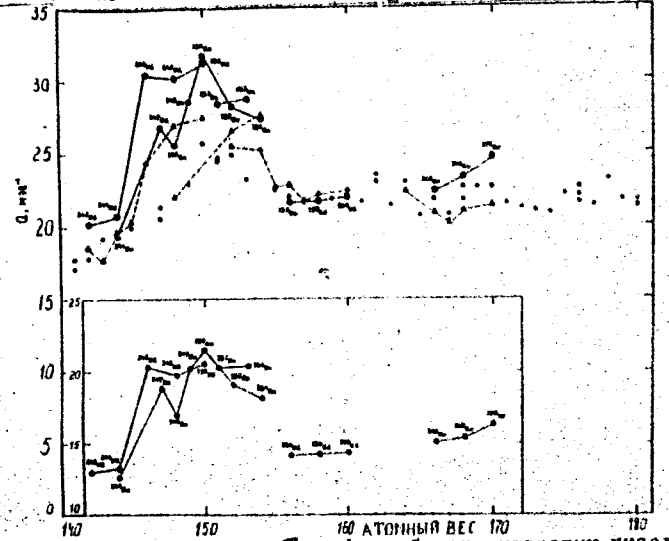


Рис. 8. Фрагмент зависимости α от A в области массовых чисел 140-180. ••• - данные настоящей работы, Δ - Δ - Фурмана и Попова, • - Баба. Внизу - наши данные с учётом коллективного движения ядер.