

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Г-834

На правах рукописи

ГРИГОРЬЕВ ЮРИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ

Измерение нейтронных сечений и резонансных характеристик урана-238 на спектрометре ИБР

Специальность 01.04.01 — экспериментальная физика

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

Дубна, 1980 г.

Работа выполнена в ордена Трудового Красного Знамени Физико-энергетическом институте и лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник

А. А. Ваньков

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

Ю. П. Попов

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

В. А. Толстиков

Ведущая организация: Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова, г. Москва.

Защита состоится «...» *У. Ш. Ф. П.* 1980 года в *15³⁰* час.
на заседании специализированного совета Д.047.01.05 при лаборатории нейтронной физики и лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований (г. Дубна, Московской области).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан «...» *О. Ш.* 1980 г.

Ученый секретарь
специализированного совета

Ю. В. ТАРАН

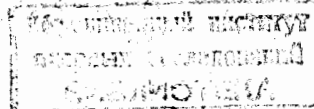
1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Диссертация посвящена экспериментальному исследованию нейтронных сечений и их резонансной структуры в широком диапазоне энергий нейтронов для урана-238.

Основная часть диссертационной работы выполнена на спектрометре ИЕР в Лаборатории нейтронной физики в рамках совместной работы Физико-энергетического института (г. Обнинск), Объединенного института ядерных исследований (г. Дубна).

Актуальность проблемы. В различных отраслях науки и техники требуется более точная и более полная экспериментальная информация о нейтронных сечениях и их резонансной структуре в широком диапазоне энергий по сравнению с тем, что имеется сейчас. Особенно актуальна эта задача для атомной энергетики. Например, при проектировании энергетических реакторов на быстрых нейтронах требуется, чтобы точность сечения захвата урана-238 составляла 2-3%, а точность факторов резонансной блокировки сечения захвата при сечениях разбавления $\sigma_0 = 0$ была бы не хуже 10%. Действительная точность этих величин составляет для сечения захвата 10% и 15-30% для факторов блокировки. Резонансный ход нейтронных сечений урана-238 простирается от нескольких электронвольт до нескольких сотен килоэлектронвольт, причем подавляющее большинство нейтронных резонансов находится в неразрешенной области энергий. Сейчас практически нет прямой экспериментальной информации о характеристиках резонансной структуры сечений в неразрешенной области, а расчетно-теоретические модели на основе средних резонансных параметров, полученных в разрешенной области, не могут дать точного и полного представления об области неразрешенных резонансов.

Цель работы состояла в экспериментальном определении средних нейтронных сечений и их резонансных характеристик (коэффициентов резонансной блокировки и их температурной зависимости, подгрупповых параметров сечений, средних резонансных параметров) с тем, чтобы сравнить их с расчетно-теоретическими величинами и уточнить ядерно-физические константы в области неразрешенных резонансов для урана-238.



Научная новизна и практическая ценность работы. В работе получена впервые экспериментальная информация о характеристиках резонансной структуры нейтронных сечений и их температурной зависимости в неразрешенной области энергий для урана-238; проведена проверка расчетно-теоретических моделей, описывающих резонансную структуру сечений в неразрешенной области энергий; сделано уточнение ядерно-физических констант, необходимых для уточнения коэффициентов размножения и воспроизводства ядерного горючего, мощностных и температурных коэффициентов при расчете энергетических реакторов на быстрых нейтронах. Создана специальная измерительная техника, которая может быть использована при проведении аналогичных исследований на других реакторных материалах. Разработан и апробирован новый метод определения содержания изотопов в смесях, особенно ценный при контроле за ядерным топливом в теплоделяющих элементах энергетических реакторов.

Положения и результаты, вынесенные на защиту. Личный вклад автора. На защиту выносятся:

1) Методики измерения характеристик резонансной структуры нейтронных сечений и их температурной зависимости в неразрешенной области энергий, реализованные впервые и включавшие измерения функций пропускания по полному сечению и сечению захвата урана-238 при разных температурах образцов в условиях хорошей геометрии и обратной сферической геометрии.

2) Методики обработки экспериментальных данных, позволяющие получать усредненные нейтронные сечения, подгрупповые параметры сечений, коэффициенты резонансной блокировки и их температурные приращения, средние резонансные параметры урана-238.

3) Разработка и создание специальной измерительной аппаратуры, в том числе: экспериментальной установки для нагревания и охлаждения урановых образцов, устройств для проведения измерений со сферическими урановыми образцами, механического прерывателя нейтронов, нейтронных детекторов на основе пропорциональных He^3 счетчиков, жидкостного сцинтилляционного (n, γ)-детектора большого объема, быстродействующих ионизационных камер деления с большим содержанием плутония-239 и урана-235.

4) Результаты измерения функций пропускания, полученные впервые на плоских образцах урана-238 в широком диапазоне энергий при трех температурах 77°K, 293°K, 1043°K. Численные значения полного сечения; коэффициентов резонансной блокировки полного сечения и

их температурных приращений, полученных впервые; средних резонансных параметров урана-238.

5) Результаты измерения функций пропускания, полученные впервые методом времени пролета в обратной сферической геометрии. Численные значения среднегрупповых сечений захвата урана-238 в диапазоне энергий $E = 0,465 \pm 100$ кеВ.

6) Новый неразрушающий метод определения содержания изотопов в смесях, в теплоделяющих элементах энергетических ядерных реакторов.

Личный вклад автора заключается: в разработке методик измерения функций пропускания на плоских и сферических образцах урана-238 при разных температурах; в разработке методик обработки экспериментальных данных; в непосредственном проведении измерений и обработки экспериментальных данных; в проведении расчетов функций пропускания; в разработке и создании измерительной аппаратуры, в том числе детекторов нейтронов на основе He^3 пропорциональных счетчиков, механического прерывателя нейтронов, жидкостного сцинтилляционного (n, γ)-детектора объемом 400 л, быстродействующих ионизационных камер деления с большим содержанием плутония-239 (0,4 г) и урана-235 (2 г), экспериментальной установки для нагревания и охлаждения урановых образцов, установок для измерений со сферическими образцами; в проведении впервые детального анализа фоновых составляющих нейтронных спектров ИБР; в предложении нового неразрушающего метода определения содержания изотопов в смесях.

Объем работы. Диссертация изложена на 166 страницах, включает 120 страниц машинописного текста, 27 рисунков, 35 таблиц. Список литературы содержит 64 ссылки (публикации), из них 12 ссылок (публикации) - авторские работы.

II. КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения. Во введении изложены: актуальность темы, формулировка задачи и цель экспериментальных исследований, основные положения и результаты, вынесенные на защиту.

Глава I посвящена основным теоретическим представлениям по нейтронным сечениям и их резонансной структуре. В ней на-

ется описание среднегрупповых нейтронных сечений, используемых при решении уравнения переноса нейтронов в среде, рассматриваются эффекты резонансной блокировки в сечениях и приводятся соответствующие коэффициенты блокировки полного сечения и сечения захвата. В этой главе излагается метод подгруппового представления нейтронных средних сечений, их прямых и обратных моментов, на основе которых вычисляются коэффициенты резонансной блокировки.

Поскольку резонансный ход нейтронных сечений урана-238 достаточно удовлетворительно описывается с помощью Брейт-Вигнеровского формализма в одноуровневом приближении, то здесь приводятся основные соотношения, по которым вычисляются полные и парциальные резонансные сечения с учетом интерференции между резонансным и потенциальным сечениями, межрезонансной интерференции и теплового движения ядер (доплер-эффекта).

Учитывая тот факт, что основная масса нейтронных резонансов урана-238 находится в неразрошенной области энергий $E=5-200$ кэВ, то часть первой главы посвящена рассмотрению средних резонансных параметров и статистических распределений Портера-Томаса для ширины резонансов и Вигнера для расстояний между уровнями, которые позволяют моделировать резонансную структуру в этой важной энергетической области, где имеют место значительные эффекты резонансной блокировки средних сечений и наибольшее проявление доплер-эффекта.

В главе II дается описание измерительной аппаратуры, которая специально была разработана и создана для исследования характеристик резонансной структуры нейтронных сечений и их температурной зависимости. Эти исследования проводились на 500 м и 1000 м пролетных базах импульсного быстрого реактора ИБР в ЛНФ ОИЯИ и заключались в том, что измерялись пропускания нейтронов на большом наборе металлических образцов урана-238 при разных температурах с помощью нейтронных детекторов и (n, γ) -детекторов в условиях хорошей геометрии и обратной сферической геометрии. Затем экспериментальные функции пропускания обрабатывались с целью получения средних сечений и характеристик резонансной структуры сечений.

Нагревание и охлаждение урановых образцов производилось с помощью установки (см. рис. I), которая обеспечивала одновременное нагревание и охлаждение 10 урановых образцов максимальной

толщиной 50 см в диапазоне температур $77^{\circ}\text{K} - 1200^{\circ}\text{K}$. при вакууме 10^{-5} мм рт.ст. Образцы урана могли перемещаться на нейтронном пучке в любой нужной комбинации, обеспечивая необходимую толщину фильтра.

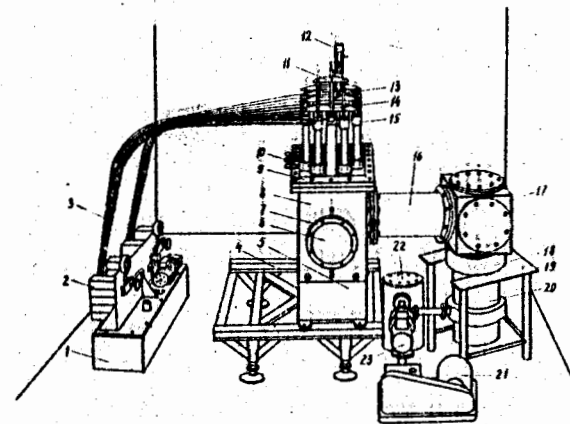


Рис. I. Установка для нагревания и охлаждения образцов урана-238.

1 - гидравлический насос; 2 - электромагнитный масляный клапан; 3 - медная трубка; 4 - подготовка для камеры; 5 - тележка; 6 - алюминиевая заглушка; 7 - фланец; 8 - корпус камеры; 9 - крышка камеры; 10 - токоввод; 11 - коромысло; 12 - датчик температуры; 13 - поршневой толкатель; 14 - шток; 15 - гидравлический цилиндр; 16 - вакуумпровод; 17 - вентиляционная головка; 18 - фреоновая ловушка; 19 - подставка для насоса; 20 - диффузионный насос; 21 - форвакуумный насос; 22 - балластный резервуар; 23 - электромагнитный вентиль.

При измерениях функций пропускания в обратной сферической геометрии использовались сферические урановые оболочки с внутренним диаметром не менее 183 мм и с внешним диаметром не более

330 мм. Урановые сферы состояли из двух половинок, которые крепились в специальных установках, обеспечивавших их перемещение на нейтронном пучке. Нейтронный детектор был строго фиксирован и находился в центре сфер при соединенных вместе полусферах.

В качестве детекторов нейтронов применялись батареи в виде призм из 91 пропорционального He^3 счетчика типа СМД-50 и в виде цилиндров из 6, 16 таких же счетчиков. Эти детекторы имеют хорошие спектрометрические характеристики: энергетическое разрешение в амплитудном спектре импульсов не хуже 12%, мертвое время менее 1 мкс, собственный фон порядка 0,1 имп/сек, эффективность регистрации нейтронов в области энергий 1-100 кэВ несколько процентов.

При измерениях функций пропускания по полному сечению урана-238, а также доплер-эффекта в этих функциях использовался сцинтилляционный нейтронный детектор с постоянной эффективностью регистрации нейтронов (~30% в области энергий 1-50 кэВ), разработанный в Лаборатории нейтронной физики. Измерения пропусканий по самосиндикации в захвате урана-238 проводились с помощью двух жидкостных сцинтилляционных детекторов большого объема. Первые измерения были сделаны на двухсекционном (n, γ)-детекторе, разработанном в ЛНФ, последующие измерения делались на 8-секционном (n, γ)-детекторе. Оба детектора имеют примерно одинаковые спектрометрические характеристики: собственный фон ~20 имп/сек в режиме двойных совпадений, мертвое время менее 0,3 мкс, эффективность регистрации γ -лучей с энергией 1 МэВ около 50%.

Для улучшения энергетического разрешения и уменьшения фоновых составляющих в измеряемых спектрах был разработан и создан механический прерыватель нейтронов с системой фазировки, обеспечивающей синхронизацию моментов подавления нейтронных волншек и открывания щелей ротора по нейтронному пучку. При ширине щелей 4 мм и скорости вращения ротора 6000 об/мин полное время открывания щелей составляет около 50 мкс, а точность синхронизации примерно 30 мкс. Механический прерыватель нейтронов использовался только для методических измерений, он предназначается для проведения экспериментов на ИБР-2.

В г л а в е III рассматриваются наиболее важные при измерениях усредненных характеристик методические вопросы такие, как энергетическое разрешение спектрометра, энергетический спектр нейтронного пучка, эффективность детектора, фоновые составляющие измеряемых спектров нейтронов. Спектрометр ИБР позволяет прово-

дить измерения усредненных сечений и их резонансных характеристик в широком диапазоне энергий $E=0,215-10^5$ эВ, он имеет спектр нейтронов, близкий к тому, по которому сделано усреднение сечений и коэффициентов резонансной блокировки в 26-групповой системе констант БНАБ. Анализ нейтронного потока на 1000 м пролетной базе в месте расположения детектора показал, что при использовании высокоэффективных детекторов на ИБР-30 можно измерять пропускания на реакторных материалах до ослаблений нейтронного потока 10^{-4} .

Поскольку при работе ИБР в бустерном режиме энергетическое разрешение около энергии нейтронов 10 МэВ составляет ~30%, то мы предприняли попытку измерить среднее полное сечение урана-238 в области энергий выше 100 кэВ. Основная трудность при таких измерениях состоит в том, что в этой области энергий практически невозможно экспериментально определить фон в спектрах. В связи с этим была разработана методика определения фона расчетным путем. Проведенный детальный расчет всех возможных составляющих компонент фона позволяет утверждать, что в области энергий нейтронов выше 100 кэВ доля фона в спектрах нейтронов должна быть не более нескольких процентов, т.е. поправка в пропусканиях должна быть порядка долей процента. Следует заметить, что это утверждение справедливо для детекторов малого объема типа He^3 счетчиков.

Поскольку измерения функций пропускания по полному сечению проводились нейтронными детекторами, имеющими разные энергетические зависимости эффективности регистрации нейтронов, то был проведен анализ влияния на усредненные измеряемые величины эффективности детектора. Было показано, что величины измеряемых функций пропускания по полному сечению урана-238 слабо зависят от типа детектора.

Г л а в а IV содержит изложение методик обработки первичной экспериментальной информации, краткое описание основ расчетных программ, по которым производился расчет функций пропускания на уране-238 для условий хорошей геометрии и обратной сферической геометрии в неразрешенной области энергий. Обработка экспериментальной информации производилась в два этапа. Сначала измеренные временные спектры сжимались в пределах энергетических групп 26-групповой системы констант БНАБ, вычитался фон, вносились поправки на причеси, просчети, анизотропию детектора, вычислялись функции пропускания и их экспериментальные ошибки. Следующий этап за-

идея заключается в получении средних нейтронных сечений и их резонансных характеристик из экспериментальных функций пропускания путем разложения их на сумму экспонент по методу наименьших квадратов или по байесовскому методу. Параметры экспонент (доли подгруппы и значения подгрупповых сечений) позволили определить прямые и обратные моменты средних сечений $\langle \sigma_e \rangle$, $\langle 1/\sigma_e \rangle$, $\langle 1/\sigma_e^2 \rangle$, по которым находились коэффициенты резонансной блокировки и их температурные приращения. Определение средних резонансных параметров из экспериментальных функций пропускания производилось как путем минимизации квадратичного функционала расчетно-экспериментальных величин, т.е. по методу наименьших квадратов, так и по байесовскому методу. При обработке по байесовскому методу экспериментальных величин приписывался вектор дисперсий, составленный из сумм дисперсий эксперимента и дисперсии, обусловленной неточностью расчетно-теоретической модели: использовалась априорная информация о неопределенности исходных оцененных средних резонансных параметров. Расчет функций пропускания по средним резонансным параметрам производился с помощью программ, основанных на одноуровневом формализме Брейт-Вигнера, в которых учитывался доплер-эффект и интерференция потенциального и резонансного рассеяния. Определение среднегрупповых сечений захвата урана-238 из функций пропускания, полученных в обратной сферической геометрии, производилось по программам, в основе которых лежит подгрупповой подход представления сечений и пропусканий (многоскоростной расчет) и метод Монте-Карло при подсчете актов регистрации нейтронов в детекторе. Программы расчета функций пропускания были сделаны в ФЭИ (СССР) и в ЦИАИ (ГДР) с нашим участием.

В главе У представлены окончательные экспериментальные результаты по нейтронным сечениям и их резонансным характеристикам урана-238, проводится обсуждение и сравнение экспериментальных и оцененных данных, приводятся экспериментальные и расчетные значения функций пропускания и их температурных коэффициентов. В диапазоне энергий нейтронов $E=0,215-100$ кэВ были измерены и рассчитаны функции пропускания по полному сечению урана-238 для 17 толщин образцов при комнатной температуре 293°K, для 5 толщин образцов - при температуре 1043°K и для 3 толщин охлажденных образцов 77°K, т.е. были измерены ослабления нейтронного потока образцами металлического урана-238 от 0,95 до

10^{-4} . Экспериментальные функции пропускания изображены на рис. 2, а расчетные и экспериментальные температурные коэффициенты в пропусканиях показаны на рис. 3.

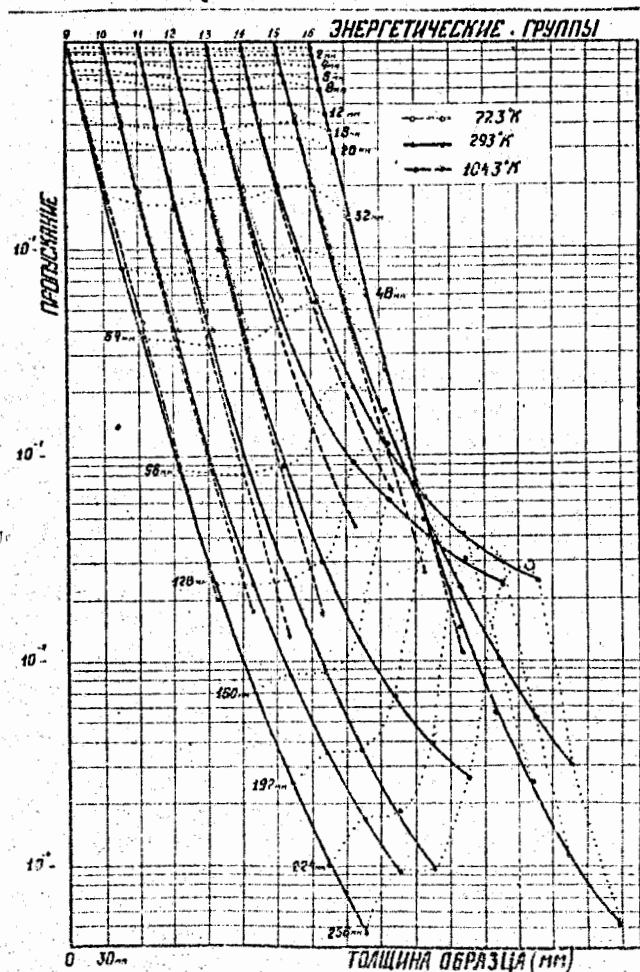


Рис. 2. Экспериментальные значения пропусканий на уране-238 при температуре образцов 77°K, 293°K, 1043°K.

Экспериментальные рекомендуемые среднегрупповые значения полного сечения урана-238

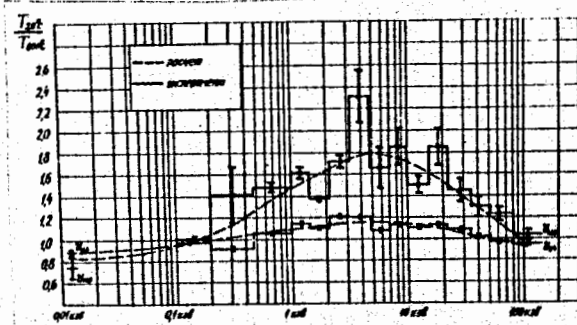


Рис. 3. Энергетическая зависимость температурных коэффициентов в пропусканиях $T(293^{\circ}\text{K})/T(1043^{\circ}\text{K})$ на образцах урана-238 толщиной 64 мм и 128 мм.

При сравнении расчетных и экспериментальных данных по температурным коэффициентам в пропусканиях можно сказать, что в среднем расчетная программа хорошо описывает доплер-эффект в резонансной структуре полного сечения урана-238, а сильные различия расчета и эксперимента по отдельным энергетическим группам могут быть объяснены флуктуациями резонансных параметров. Что касается сравнения расчетных и экспериментальных величин пропусканий, то имеются большие расхождения расчета и эксперимента при сильных ослаблениях 10^{-3} – 10^{-4} . Эти различия достигают одного порядка и объясняются тем, что исходные средние резонансные параметры недостаточно точны, а расчетно-физические модели, заложенные в программы, не могут правильно описать интерференционные провалы сечений в области неразрешенных резонансов.

Целью определения средних полных сечений урана-238 и для проверки методики измерений в области неразрешенных резонансов были проведены измерения функций пропускания на трех толщинах 1 м, 8 м и 32 м в низкоэнергетической $E \leq 215$ эВ и высокоэнергетической $E \geq 100$ кэВ областях, а также сделано измерение пропусканий на образце свинца толщиной 6 м в области энергий $E = 1+10^5$ эВ. Эти измерения подтверждают правильность использо-

№ гр.	E гр	Эксперимент $\langle \sigma_t \rangle$ (барн)	Оценка БИАБ	
			$\langle \sigma_t \rangle$ (бн) I970	$\langle \sigma_t \rangle$ (бн) I978
I	10 - 6,5 МэВ	7,4±0,8	6,3	6,4
2	6,5 - 4,0	7,9±0,5	7,5	7,6
3	4,0 - 2,5	7,7±0,3	7,7	7,3
4	2,5 - 1,4	7,2±0,3	7,1	7,1
5	1,4 - 0,8	7,3±0,3	6,9	7,1
6	0,8 - 0,4	8,5±0,4	7,8	8,2
7	0,4 - 0,2	9,6±0,4	9,6	9,9
8	0,2 - 0,1	12,0±0,5	11,5	11,5
9	100 - 46,5 кэВ	13,0±0,5	12,9	12,6
10	46,5 - 21,5	14,6±0,5	13,7	13,5
11	21,5 - 10,0	16,5±0,5	14,7	14,5
12	10,0 - 4,65	17,3±0,8	16,1	15,9
13	4,65 - 2,15	20,0±0,8	18,2	19,0
14	2,15 - 1,00	22,2±1,0	21,6	22,2
15	1000 - 465 эВ	24,0±1,0	22,4	23,7
16	465 - 215	24,5±1,3	22,0	23,0
17	215 - 100	95,4±4,0	88,7	90,5
18	100 - 46,5	45,7±2,0	43,5	41,7
19	46,5 - 21,5	136,0±5,0	136,0	144,5
20	21,5 - 10,0	115,0±5,0	116,0	127,1
21	10,0 - 4,65	186,0±5,0	193,0	194,0
22	4,65 - 2,15	9,3±0,3	9,3	9,1
23	2,15 - 1,00	9,8±0,3	9,4	9,4
24	1,00 - 0,465	9,9±0,3	9,6	9,6

ванных экспериментальных методик.

В диссертации приводятся экспериментальные функции пропускания по самоиндигации в сечении захвата урана-238, измеренные с помощью (n, γ) -детекторов. Они указывают на меньшую резонансную блокировку в сечении захвата по сравнению с другими данными и

олучают иллюстрацией того факта, что мы начали следующий этап исследования резонансной структуры парциальных сечений в области неразрешенных резонансов.

В табл. I приведены численные значения рекомендуемых экспериментальных средних полных сечений урана-238 в диапазоне энергий $E=0,465 \pm 10^7$ эВ. Из табл. I видно, что имеется удовлетворительное согласие экспериментальных и оцененных данных БНАБ в диапазонах энергий $E=0,465 \pm 4,64$ эВ и $E=0,465 \pm 10$ МэВ, примерно на 10% экспериментальные полные сечения выше оцененных в области энергий $E=46,5-46500$ эВ. Точность экспериментальных полных сечений составляет 3-7%. Средние сечения в неразрешенной области энергий были получены путем уорешения результатов обработки при разложении экспериментальных функций: пропускания на 2-3 экспоненты, а также на много экспонент и сечений, определенных из пропусканий только на малых толщинах. Следует отметить, что сечения, определяемые из пропусканий на малых толщинах, имеют меньшие значения по сравнению с теми, которые получаются из всей функции пропускания.

Из функций пропускания были определены коэффициенты резонансной блокировки полного сечения (см. табл. 2) и их температурные приращения (см. табл. 3) в области энергий $E=0,215-100$ кэВ.

Таблица 2

Коэффициенты резонансной блокировки полного сечения урана-238 при различных значениях сечения разбавления σ_0 (бн)

№ гр.	$E_{гр}$ (кэВ)	Эксперимент			Оценка БНАБ-70		
		$\sigma_0 = 0$	$\sigma_0 = 10$	$\sigma_0 = 100$	$\sigma_0 = 0$	$\sigma_0 = 10$	$\sigma_0 = 100$
9	100 - 46,5	0,86±0,04	0,92±0,03	0,98±0,01	0,918	0,954	0,990
10	46,5 - 21,5	0,82±0,05	0,89±0,03	0,96±0,02	0,859	0,915	0,977
11	21,5 - 10,0	0,76±0,05	0,77±0,03	0,88±0,02	0,768	0,846	0,955
12	10,0 - 4,65	0,60±0,07	0,69±0,04	0,81±0,03	0,647	0,749	0,881
13	4,65 - 2,15	0,44±0,10	0,51±0,06	0,79±0,03	0,499	0,634	0,776
14	2,15 - 1,00	0,39±0,10	0,46±0,06	0,59±0,03	0,353	0,512	0,641

Как видно из табл. 2, экспериментальные значения коэффициентов блокировки полного сечения урана-238 примерно на 10% меньше

при $\sigma_0 = 0$ по сравнению с оцененными данными в области энергий $E=1-100$ кэВ.

Таблица 3

Температурные приращения коэффициентов резонансной блокировки полного сечения урана-238 $\Delta f_{\sigma} / \Delta \theta$ ($10^{-6} / ^\circ K$) при различных сечениях σ_0 (бн)

№ гр.	$E_{гр}$ (кэВ)	Эксперимент		Оценка БНАБ-70	
		$\sigma_0 = 0$	$\sigma_0 = 10$	$\sigma_0 = 0$	$\sigma_0 = 10$
9	100 - 46,5	38±20	23±8	36	30
10	46,5 - 21,5	62±12	34±7	86	51
11	21,5 - 10,0	97±12	67±10	113	71
12	10,0 - 4,65	87±10	47±8	132	78
13	4,65 - 2,15	240±30	86±15	160	64
14	2,15 - 1,00	162±18	54±12	152	48
15	1,00 - 0,465	62±30	33±7	88	33
16	0,465 - 0,215	29±8	16±6	31	18

Из табл. 3 видно, что различия в температурных приращениях коэффициентов блокировки эксперимента и оценки составляют ±(5-90)%.

Обработка большого числа экспериментальных пропусканий, полученных в диапазоне энергий $E=0,215-100$ кэВ при трех температурах образцов урана-238, дала следующие оптимальные средние резонансные параметры $S_{\sigma_0} = (0,95 \pm 0,04) \cdot 10^{-4}$; $S_{\sigma_1} = (1,25 \pm 0,31) \cdot 10^{-4}$; $\sigma_0 = 22,9 \pm 2,3$ бн; $\sigma_{rot} = 11,3 \pm 0,2$ бн; $\Gamma_r = 21,6 \pm 3,5$ МэВ. Эти средние резонансные параметры урана-238 согласуются в пределах ошибок с последними оцененными данными за исключением S_{σ_1} . Полученное нами значение р-силовой функции свидетельствует в пользу предельно низких величин.

В этой главе представлены также результаты измерения функций пропускания на пяти сферических оболочках урана-238, поправочные коэффициенты в пропусканиях и среднegrupповые сечения захвата в диапазоне энергий $E=0,465-100$ кэВ (см. табл. 4).

Таблица 4

Средние сечения захвата $\langle \sigma_c \rangle$ (барн)
для урана-238

№ гр	E _{гр} (кэВ)	Эксперимент	Оценка БНАБ	
		$\langle \sigma_c \rangle$ (барн)	$\langle \sigma_c \rangle$ (бп) 1970	$\langle \sigma_c \rangle$ (бп) 1978
9	100 - 46,5	0,31±0,04	0,26	0,26
10	46,5 - 21,5	0,44±0,03	0,45	0,45
11	21,5 - 10,0	0,55±0,03	0,66	0,60
12	10,0 - 4,65	0,75±0,03	0,90	0,81
13	4,65 - 2,15	1,22±0,05	1,30	1,24
14	2,15 - 1,00	1,82±0,10	2,00	3,30
15	1,00 - 0,465	3,20±0,25	3,00	3,30

Как видно из табл. 4, имеется хорошее согласие данных эксперимента и оценки БНАБ-78. Следует отметить, что наши экспериментальные данные по сечению захвата урана-238 были использованы для уточнения констант БНАБ-78.

Глава VI посвящена описанию нового неразрушающего метода определения содержания изотопов в различных образцах. Метод основан на пропускании резонансных нейтронов через исследуемые образцы и на анализе измеренных спектров, провалов и выбросов в них, соответствующих резонансам и провалам нейтронных сечений определяемых изотопов. Количество изотопа в образце определяется по известному полному сечению в резонансах из измеренных пропусков.

$$d^k = \frac{|\ln T| - |\ln T_0|}{\sigma_c^k} \quad (1)$$

где: T - пропускание в резонансе на всем образце,
 T_0 - ослабление в резонансе на ядрах всех изотопов образца за исключением определяемого k -го изотопа, σ_c^k - полное нейтронное сечение k -го изотопа в резонансе.
При реализации этого метода надо обеспечить достаточно хорошее энергетическое разрешение в резонансной области и выбирать для

анализа те резонансы определяемого изотопа, которые не искажены резонансами других изотопов образца.

Метод был экспериментально апробирован. На ИБР проведены измерения с целью определения количества плутония-239 в образце, который моделировал пакет отработанных тепловыделяющих элементов быстрого энергетического реактора, и определения содержания изотопов в образце, моделировавшем гранит. Точность определения плутония-239 в образце составила 2% при содержании 0,3% по количеству ядер. Измерения проводились по схеме, аналогичной измерению функций пропускания в хорошей геометрии.

Чувствительность и точность метода повышается, если в измерениях используется эффект самондикипии, т.е. применяются детекторы с эффективностью регистрации нейтронов, пропорциональной парциальному сечению определяемого изотопа. Для реализации предложенного метода и исследования эффектов резонансной блокировки сечений были разработаны и созданы быстродействующие ионизационные камеры деления с большим содержанием урана-235 (2 г) и плутония-239 (0,4 г), а также нейтронный детектор 4Л-геометрии для регистрации рассеянных на образце нейтронов и мгновенных нейтронов деления.

Заключение содержит следующие основные выводы и результаты:

1. Разработаны и реализованы методики измерений функций пропускания в неразрешенной области энергий нейтронов в широком диапазоне температур образцов урана-238 по полному сечению и сечению захвата. Методики были осуществлены впервые.
2. Разработана и реализована методика измерений сферических функций пропускания в обратной сферической геометрии с использованием техники времени пролёта. Методика была реализована впервые.
3. Разработаны и созданы уникальные приборы для проведения измерений функций пропускания, в том числе: установка для нагревания и охлаждения урановых плоских образцов; установки для перемещения сферических образцов; детекторы нейтронов на основе пропорциональных He^3 счетчиков; механический прерыватель нейтронов; жидкостный сцинтилляционный (n, γ)-детектор большого объема; две быстродействующие ионизационные камеры деления с большим количеством урана-235 и плутония-239 в качестве радиатора.
4. Разработаны и применены методики обработки экспериментальных функций пропускания с целью получения средних нейтронных сече-

нии, коэффициентов резонансной блокировки и их температурных приращений, определения средних резонансных параметров урана-238.

5. Получены экспериментальные средние значения полного сечения и сечения захвата. Впервые определены экспериментальные значения коэффициентов резонансной блокировки нейтронных сечений и их температурных приращений для урана-238 в неразрешенной области энергии. Впервые определены средние резонансные параметры из такого большого объема экспериментальных данных по функциям пропускания. Проведен анализ результатов эксперимента, расчета и оценки.

6. Предложен и апробирован новый метод неразрушающего контроля за содержанием ядерного горючего в тепловыделяющих элементах энергетических реакторов.

Полученные экспериментальные результаты нашли следующее практическое применение: а) среднегрупповые нейтронные сечения и коэффициенты блокировки сечений урана-238 были использованы при создании новой системы констант БНАБ-78; б) созданные детекторы нейтронов использовались при исследованиях резонансной структуры сечений урана-235 и плутония-238; в) предложенный метод неразрушающего контроля за содержанием ядерного горючего в образцах был использован для определения изотопов в отработанных тепловыделяющих элементах действующих АЭС.

Основные результаты диссертации опубликованы в виде статей, докладов на конференциях и симпозиумах, авторского свидетельства на изобретение:

1. Ваньков А.А., Григорьев Ю.В., Николаев М.Н. и др. Отчет о работах по доплер-эффекту в быстрых реакторах. Симпозиум СЭВ по состоянию и перспективам работ по созданию АЭС с реакторами на быстрых нейтронах. Сборник докладов, Атомиздат, 1967, т. 2, с. 245-258.
2. Ваньков А.А., Григорьев Ю.В., Николаев М.Н. и др. Структура сечений урана-238 в области неразрешенных резонансов. Труды трехстороннего советско-бельгийско-голландского симпозиума по некоторым проблемам физики быстрых реакторов, Мелакессо, М., Атомиздат, 1970, т. 1, д. Д-21.
3. Ваньков А.А., Григорьев Ю.В., Николаев М.Н. и др. Температурная зависимость структуры полного сечения урана-238 в области неразрешенных резонансов.

Proc. of Intern. Conf. Nuclear Data for Reactors, Helsinki, 1970, IAEA, v. 1, p. 559.

4. Ваньков А.А., Григорьев Ю.В., Николаев М.Н., Орлов М.Ю. Определение абсолютного сечения поглощения нейтронов для урана-238 из опытов по пропусканию. Ядерные константы, Атомиздат, 1972, вып. 9, с. 44-49.
5. Ваньков А.А., Григорьев Ю.В., Бемер Б., Дитце К. Анализ экспериментальных данных по пропусканию для урана-238 с целью определения средних резонансных параметров. Ядерные константы, М., Атомиздат, 1973, вып. 12, ч. I, с. 63-68.
6. Ваньков А.А., Григорьев Ю.В., Николаев М.Н. и др. Среднегрупповые полные сечения для изотопов урана-235, урана-238, плутония-239. Нейтронная физика (материалы 2-ой Всесоюзной конференции, Киев, 1973), Обнинск, Атомиздат, 1974, ч. 2, с. 218-220.
7. Бемер Б., Ваньков А.А., Григорьев Ю.В. и др. Компактный нейтронный детектор в виде батареи из пропорциональных He^3 счетчиков. Приборы и техника эксперимента, М., 1974, вып. 6, с. 57-59.
8. Григорьев Ю.В., Ваньков А.А. Определение количества плутония в смесях изотопов методом пропускания. Сборник трудов 2-го Всесоюзного совещания по метрологии нейтронного излучения на реакторах и ускорителях, М., 1974, т. I, с. 173-176.
9. Ваньков А.А., Григорьев Ю.В., Цибуля А.М., Бемер Б., Дитце К. Измерение сечений нейтронного поглощения урана-238 методом пропускания в сферической геометрии. Нейтронная физика (материалы 3-й Всесоюзной конференции, Киев, 1975), М., Атомиздат, 1976, ч. 3, с. 200-204.
10. Богдзель А.А., Григорьев Ю.В., Длоути З. и др. Быстродействующая ионизационная камера деления с радиаторами из урана-235. Приборы и техника эксперимента, М., 1976, вып. I, с. 36-38.

ТБ-02650 от 7.У.1980 г. Объем 0,8 уч.-изд.л. Тираж 180 экз.

Отпечатано на ротационной машине ФЭИ, г.Обнинск 15/12/81