

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На правах рукописи

ВАСИЛЬЕВА Елена Георгиевна

ФУНКЦИИ ВОЗБУЖДЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ВЫСОКОПОРОГОВЫХ РЕАКЦИЙ
АКТИВАЦИИ БЫСТРЫМИ НЕЙТРОНАМИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ
ДИАПАЗОНЕ 3 - 55 МЭВ.

Специальность: 01.04.16. - физика ядра и элементарных частиц.

Автореферат

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата физико - математических наук.

КИЕВ - 1993



AB 28.750

Робота виконана в Інституті фізики (і досліджень) АН України

Научні керівники: кандидат фізикo-математических наук,
заведуючий лабораторією
КОЛОТЫЙ Володимир Васильевич

кандидат фізикo-математических наук,
заведуючий відділом
ПАСЕЧНИК Володимир Митрофанович

Офіційні опоненти: доктор фізикo-математических наук,
професор
ТОКАРЕВСКИЙ Володимир Васильевич

кандидат фізикo-математических наук,
ВОЙТОВ Александр Иванович

Ведущая організація: Научно-исследовательский испытательный
центр радиационной безопасности косми-
ческих объектов. г. Москва

Защита состоится " 23 " декабря 199 3 г. в 14¹⁵ часов
на заседании специализированного совета Д.016.03.01 при Институте
ядерных исследований АН Украины по адресу: г. Киев, пр. Науки, 47.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИЯИ АН Украины.

Автореферат разослан " 23 " ноября 1993 г.

Ученый секретарь
специализированного совета

В. Д. Чеснокова

15 - 20.7.81

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность проблемы. Развитие атомной энергетики, повышение ее безопасности, использование методов ядерной физики при решении прикладных физических и технологических задач предъявляют определенные требования к объему и качеству ядерных данных, характеризующих взаимодействие нейтронов с ядрами.

Несмотря на огромный прогресс, достигнутый в исследовании сечений реакций, вызываемых нейтронами, рассогласование дифференциальных данных остается значительным, особенно в области энергий нейтронов выше 20 МэВ. Экспериментальные данные в этой энергетической области немногочисленны, а во многих случаях просто отсутствуют. Это делает актуальным использование циклотрона У - 240 ИЯИ АН Украины в качестве нейтронного источника для получения информации по функциям возбуждения нейтронных реакций.

Создание библиотек (файлов) оцененных данных для нейтронных измерений требует оценки значительных объемов экспериментальной информации, анализа и отбраковки данных. Любая оценка содержит элементы субъективизма. Это приводит к существенному различию данных в различных библиотеках. Следовательно, необходим объективный критерий оценки достоверности экспериментальных данных. Такой критерий вытекает из сущности нейтронно - активационного метода как интегрального (по энергии) метода измерений. Важнейшим требованием к дифференциальным данным является их согласованность с результатами интегральных экспериментов, выполненных в нейтронных полях с достоверно известными пространственно - энергетическими характеристиками.

Цель работы: - разработка автоматизированной системы измерения скоростей реакций активации;

- определение пространственно - энергетических характеристик нейтронных полей, в которых выполнялись исследования;
- проведение интегральных испытаний исследуемых функций возбуждения реакций активации для оценки достоверности дифференциальных данных по сечениям;
- разработка методики восстановления нейтронных сечений по результатам измерений скоростей пороговых реакций активации;
- восстановление функций возбуждения исследуемых высокопороговых реакций активации в диапазоне энергий нейтронов 3 - 55 МэВ.

Научная новизна заключается в том, что впервые интегральный по сути нейтронно - активационный метод использован для получения дифференциальных данных по функциям возбуждения реакций активации в широком диапазоне энергий нейтронов. Разработана методика восстановления энергетических зависимостей сечений в диапазоне энергий нейтронов 3 - 55 МэВ по измеренным скоростям реакций активации; создана система определения скоростей реакций, которая позволяет полностью автоматизировать ряд последовательных этапов обработки экспериментальной информации, полученной методом активации пороговых детекторов; показана возможность использования нейтронных полей из реакций ${}^9\text{Be}(d,n){}^{10}\text{B}$ при $E_d = 30, 40, 50$ МэВ и ${}^9\text{Be}(p,n){}^9\text{B}$ при $E_p = 50$ МэВ для интегральных испытаний сечений и корректировки функций возбуждения пороговых реакций активации; разработана методика проведения интегральных испытаний дифференциальных данных по функциям возбуждения реакций активации в нейтронных полях с известными пространственно - энергетическими характеристиками; впервые испытаны дифференциальные данные сечений реакций ${}^{90}\text{Zr}(n,p){}^{90m}\text{Y}$, ${}^{93}\text{Nb}(n,\alpha){}^{90m}\text{Y}$, ${}^{203}\text{Tl}(n,2n){}^{202}\text{Tl}$, ${}^{99}\text{Y}(n,2n){}^{99}\text{Y}$, ${}^{23}\text{Na}(n,2n){}^{22}\text{Na}$, ${}^{60}\text{Co}(n,3n){}^{57}\text{Co}$, ${}^{90}\text{Zr}(n,3n){}^{88}\text{Zr}$, ${}^{203}\text{Tl}(n,3n){}^{201}\text{Tl}$; показана необходимость корректировки функций возбуждения следующих реакций: ${}^{47}\text{Ti}(n,p){}^{47}\text{Sc}$, ${}^{\text{nat.}}\text{Ti}(n,x){}^{47}\text{Sc}$, ${}^{90}\text{Zr}(n,p){}^{90m}\text{Y}$, ${}^{93}\text{Nb}(n,\alpha){}^{90m}\text{Y}$, ${}^{203}\text{Tl}(n,2n){}^{202}\text{Tl}$, ${}^{60}\text{Ni}(n,2n){}^{57}\text{Ni}$, ${}^{99}\text{Y}(n,2n){}^{99}\text{Y}$, ${}^{23}\text{Na}(n,2n){}^{22}\text{Na}$, ${}^{60}\text{Co}(n,3n){}^{57}\text{Co}$, ${}^{90}\text{Zr}(n,3n){}^{88}\text{Zr}$, ${}^{203}\text{Tl}(n,3n){}^{201}\text{Tl}$, ${}^{197}\text{Au}(n,4n){}^{194}\text{Au}$; впервые получены дифференциальные данные по функциям возбуждения реакций активации ${}^{\text{nat.}}\text{Ti}(n,x){}^{47}\text{Sc}$, ${}^{90}\text{Zr}(n,p){}^{90m}\text{Y}$, ${}^{93}\text{Nb}(n,\alpha){}^{90m}\text{Y}$, ${}^{203}\text{Tl}(n,2n){}^{202}\text{Tl}$, ${}^{60}\text{Ni}(n,2n){}^{57}\text{Ni}$, ${}^{99}\text{Y}(n,2n){}^{99}\text{Y}$, ${}^{23}\text{Na}(n,2n){}^{22}\text{Na}$, ${}^{60}\text{Co}(n,3n){}^{57}\text{Co}$, ${}^{90}\text{Zr}(n,3n){}^{88}\text{Zr}$, ${}^{203}\text{Tl}(n,3n){}^{201}\text{Tl}$, ${}^{197}\text{Au}(n,4n){}^{194}\text{Au}$ в диапазоне энергий нейтронов выше 28 МэВ.

Практическая значимость. Использование полученных функций возбуждения для дозиметрического обеспечения нейтронных измерений при решении прикладных физических и технологических задач повышает достоверность определения пространственно - энергетических характеристик нейтронных полей.

Восстановленные функции возбуждения использованы для определения пространственно - энергетических характеристик нейтронных полей при решении ряда задач, связанных с изучением взаимодействия нейтронов высоких энергий с различными водородосодержащими материалами и для других прикладных задач.

Автор защищает:

1. Методику проведения интегральных испытаний дифференциальных данных по функциям возбуждения реакций активации в высокоэнергетических нейтронных полях с известными пространственно - энергетическими характеристиками.

2. Результаты интегральных испытаний дифференциальных данных по функциям возбуждения реакций активации.

3. Методику восстановления энергетических зависимостей сечений по измеренным скоростям реакций активации в диапазоне энергий нейтронов 3 - 55 МэВ.

4. Результаты восстановления энергетических зависимостей сечений реакций активации.

5. Результаты исследования пространственно - энергетических характеристик пучков быстрых нейтронов, полученных на изохронном циклотроне У - 240 ИЯИ АН Украины.

Апробация работы и публикации. Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на IV Всесоюзном совещании по метрологии нейтронного излучения на реакторах и ускорителях (г. Менделеево, 1985г.), Всесоюзном совещании по применению ускорителей заряженных частиц в народном хозяйстве (г. Ленинград, 1985г.), Международной конференции по нейтронной физике (г. Киев, 1987г.) и содержится в публикациях, список которых приведен в конце автореферата.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Работа изложена на 121 странице, включая 11 рисунков, 7 таблиц на 14 страницах и список цитируемой литературы из 125 наименований на 15 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении обосновывается актуальность изучаемой проблемы, сформулированы цель исследований и положения, защищаемые автором, а также кратко описаны области применения полученных результатов.

Первая глава посвящена анализу существующих данных по сечениям нейтронных реакций и методов определения нейтронных характеристик.

Начинается глава обзором современного состояния данных по высокопороговым нейтронным функциям возбуждения. Описаны методы получения как дифференциальных, так и интегральных сечений взаимодействия быстрых нейтронов с различными ядрами. Проанализирована согласованность данных, полученных разными авторами, между собой, с интегральными экспериментами и теоретическими расчетами. Показана необходимость дальнейших исследований ряда приоритетных сечений реакций активации быстрыми нейтронами.

Далее рассматривается возможность применения нейтронно - активационного метода для получения дифференциальных данных по функциям возбуждения реакций активации. Показано, что основной методики восстановления функций возбуждения по результатам измерения скоростей реакций активации нейтронами может служить итерационный алгоритм типа SAND.

Заключает главу обоснование задачи исследований, вытекающее из обрисованного в этой главе современного состояния проблемы.

Вторая глава содержит описание автоматизированной системы получения скоростей реакций активации, наведенных быстрыми нейтронами, а также методических разработок, выполненных при ее создании.

В состав автоматизированной измерительной системы входят два Ge - Li детектора с набором аппаратуры в стандарте КАМАК и измерительно - вычислительный комплекс на базе двух ЭВМ СМ - 4.

Работу системы обеспечивает комплекс программных средств автоматизации активационных измерений, состоящий из четырех групп программ. Первую группу программ составляют программы регистрации и первичной обработки экспериментальной информации от двух аналогово - цифровых преобразователей. Вторая группа программ обеспечивает спектрометрическую обработку информации, расчет кривых эффективности и градуировку энергетической шкалы установки.

Третьей группой программ производится идентификация принадлежности γ - линий в спектрах определенным продуктам реакций активации быстрыми нейтронами и расчет скоростей пороговых реакций. Результаты, полученные в процессе работы этих трех групп программ, являются входными данными для программ четвертой группы, включающей: программу, позволяющую произвести процедуру интегральных испытаний сечений реакций активации; программу корректировки функций возбуждения высокопороговых реакций активации быстрыми нейтронами.

Облучение пороговых детекторов в поле быстрых нейтронов приводит к образованию продуктов различных реакций, энергии γ - линий которых часто совпадают или не разделяются в спектре из-за недостаточного энергетического разрешения измерительной установки. Для решения этой проблемы разработан алгоритм идентификации принадлежности γ - линий в накопленном спектре определенным продуктам реакций активации.

Автоматизированная система позволила существенно сократить время, затрачиваемое на получение экспериментальных результатов. Повышена достоверность определения измеренных скоростей реакций посредством уменьшения субъективного влияния исследователя на стадиях спектрометрической обработки накопленной информации и идентификации принадлежности γ - линий определенным продуктам ядерных реакций. Исключены неизбежные потери времени на введение входных данных за счет организации свободного доступа к требуемой информации на всех этапах проведения активационных измерений.

Третья глава посвящена развитию метода активации пороговых детекторов для измерения пространственно - энергетических характеристик полей быстрых нейтронов, получаемых на циклотроне У - 240 ИИИ АН Украины и обсуждению результатов интегральных испытаний сечений реакций активации.

Глава содержит описание исследований влияния априорной информации на достоверность результатов восстановления нейтронных спектров по измеренным скоростям реакций итерационным методом SAND.

Важным фактором, влияющим на достоверность конечного результата, при использовании любой итерационной процедуры, является выбор критерия ее остановки. Исследования возможности использования различных критериев остановки показали, что наиболее объективным отражением связи восстановленного спектра с экспериментально полученными скоростями пороговых реакций

активации представляется критерий χ^2 , т.е. критерий проверки гипотезы о соответствии восстановленного спектра нейтронов измеренным скоростям реакций активации.

Вопрос о влиянии первого приближения формы спектра на конечный результат изучался в расчетных экспериментах, суть которых заключалась в использовании зависимости $F(E) = \text{const}$ в качестве первого приближения формы искомого спектра. Показано, что при отсутствии априорной информации о форме спектра необходимо использование сечений высокопороговых реакций активации, таких как $^{60}\text{Co}(n,3n)^{57}\text{Co}$, $^{203}\text{Tl}(n,3n)^{201}\text{Tl}$, $^{197}\text{Au}(n,4n)^{194}\text{Au}$ и т.д. Наличие априорной зависимости, близкой по форме к искомому спектру дает возможность восстанавливать спектры быстрых нейтронов по измеренным скоростям реакций $^{60}\text{Ni}(n,p)^{60}\text{Co}$, $^{48}\text{Ti}(n,p)^{48}\text{Sc}$, $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$, $^{90}\text{Zr}(n,2n)^{89}\text{Zr}$, $^{93}\text{Nb}(n,2n)^{92m}\text{Nb}$.

Итерационная процедура восстановления спектров быстрых нейтронов по измеренным скоростям реакций активации SAND не дает ответ на вопрос о погрешностях полученных результатов. Для разрешения проблемы ошибок был привлечен метод Монте - Карло. Рандомизация погрешностей входных данных в пределах их экспериментальных ошибок производилась в каждом узле восстановления. Величины погрешностей разыгрывались в предположении нормального закона их распределения.

Использование восстановленных спектров для интегральных испытаний сечений и корректировки функций возбуждения пороговых реакций требует предварительной проверки отсутствия взаимной корреляции между величинами потоков нейтронов в различных энергетических интервалах спектра. Кроме того, необходимо установить, являются ли различия между восстановленными спектрами статистически достоверными. Расчеты показали наличие некоррелирующих участков в каждом спектре и позволили определить энергию, выше которой различия между спектрами, полученными для данной энергии заряженных частиц, статистически достоверны. Следовательно, восстановленные нейтронные спектры могут быть использованы для интегральных испытаний сечений и, в случае необходимости, корректировки функций возбуждения пороговых реакций активации.

Интегральные испытания сечений реакций активации быстрыми нейтронами являются обязательным и достаточно надежным тестом для оценки достоверности дифференциальных данных. Сущность

интегральных испытаний заключается в следующем: в нейтронном поле с известными пространственно - энергетическими характеристиками облучаются пороговые детекторы и экспериментально определяются скорости реакций активации. Расчетные скорости реакций вычисляются как интеграл от произведения тестируемой функции возбуждения и функции, описывающей спектр нейтронов. Затем определяется отношение экспериментально полученных скоростей реакций активации к расчетным. Значение этого отношения с учетом погрешности определения величины позволяет судить о точности дифференциальных данных по сечению реакции. Если анализируемое отношение меньше единицы, то дифференциальные данные по функции возбуждения реакции активации завышены, а если больше - то занижены.

В нейтронных полях, полученных на циклотроне $У - 240$ в реакциях ${}^{90}\text{Be}(d,n){}^{91}\text{B}$ при $E_d = 30, 40, 50$ МэВ и ${}^{90}\text{Be}(p,n){}^{90}\text{B}$ при $E_p = 50$ МэВ, проведены интегральные испытания сечений следующих реакций активации: ${}^{47}\text{Ti}(n,p){}^{47}\text{Sc}$, ${}^{\text{nat.}}\text{Ti}(n,x){}^{47}\text{Sc}$, ${}^{60}\text{Co}(n,p){}^{60}\text{Fe}$, ${}^{90}\text{Zr}(n,p){}^{90}\text{Y}$, ${}^{93}\text{Nb}(n,\alpha){}^{90}\text{m}\text{Y}$, ${}^{23}\text{Na}(n,2n){}^{22}\text{Na}$, ${}^{60}\text{Ni}(n,2n){}^{67}\text{Ni}$, ${}^{60}\text{Co}(n,2n){}^{60}\text{Co}$, ${}^{90}\text{Y}(n,2n){}^{89}\text{Y}$, ${}^{197}\text{Au}(n,2n){}^{196}\text{Au}$, ${}^{202}\text{Tl}(n,2n){}^{202}\text{Tl}$, ${}^{60}\text{Co}(n,3n){}^{67}\text{Co}$, ${}^{90}\text{Zr}(n,3n){}^{88}\text{Zr}$, ${}^{202}\text{Tl}(n,3n){}^{201}\text{Tl}$, ${}^{197}\text{Au}(n,4n){}^{194}\text{Au}$. С этой целью образцы из Na, Ti, Ni, Zr, Nb, Y, Tl, Co, Au размещались в нейтронных полях, получаемых при бомбардировке бериллиевой мишени ускоренными дейтронами и протонами, под углами $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ и 60° к оси пучка заряженных частиц на расстояниях 25 - 35 см от мишени.

Испытания сечений реакций ${}^{60}\text{Co}(n,p){}^{60}\text{Fe}$, ${}^{60}\text{Co}(n,2n){}^{60}\text{Co}$ и ${}^{197}\text{Au}(n,2n){}^{196}\text{Au}$ показали, что их функции возбуждения представляют собой согласованный с интегральными экспериментами набор дифференциальных данных.

Рассмотрим результаты интегральных испытаний сечений остальных реакций.

1. Реакция ${}^{47}\text{Ti}(n,p){}^{47}\text{Sc}$. Дифференциальные данные по сечению реакции в энергетическом диапазоне от порога до 43 МэВ занижены. Кроме того, существенен вклад высокоэнергетических нейтронов в наработку ${}^{47}\text{Sc}$ из ${}^{\text{nat.}}\text{Ti}$ через конкурирующие каналы реакций, такие как ${}^{48}\text{Ti}(n,np){}^{47}\text{Sc}$, ${}^{49}\text{Ti}(n,t){}^{47}\text{Sc}$, с порогами выше, чем у реакции ${}^{47}\text{Ti}(n,p){}^{47}\text{Sc}$.

2. Реакция ${}^{\text{nat.}}\text{Ti}(n,x){}^{47}\text{Sc}$. Завышен вклад сечений высокопороговых реакций в дифференциальные данные по сечению наработки ${}^{47}\text{Sc}$ из ${}^{\text{nat.}}\text{Ti}$.

3. Реакции $^{90}\text{Zr}(n,p)^{90m}\text{Y}$ и $^{93}\text{Nb}(n,\alpha)^{90m}\text{Y}$. В эксперименте скорости реакций активации рассчитывались по сечениям реакций $^{90}\text{Zr}(n,p)^{90}\text{Y}$ и $^{93}\text{Nb}(n,\alpha)^{90}\text{Y}$. Результаты интегральных испытаний позволяют предположить, что по форме функции возбуждения реакций $^{90}\text{Zr}(n,p)^{90m}\text{Y}$ и $^{93}\text{Nb}(n,\alpha)^{90m}\text{Y}$ подобны функциям возбуждения реакций $^{90}\text{Zr}(n,p)^{90}\text{Y}$ и $^{93}\text{Nb}(n,\alpha)^{90}\text{Y}$. Следовательно, $^{90}\text{Zr}(n,p)^{90}\text{Y}$ и $^{93}\text{Nb}(n,\alpha)^{90}\text{Y}$ могут быть использованы для получения экспериментальной информации о функциях возбуждения реакций $^{90}\text{Zr}(n,p)^{90m}\text{Y}$ и $^{93}\text{Nb}(n,\alpha)^{90m}\text{Y}$.

4. $^{203}\text{Tl}(n,2n)^{202}\text{Tl}$. Дифференциальные данные по энергетической зависимости сечения реакции завышены. Кроме того, необходим учет наработки ^{203}Tl по каналу $(n,4n)$ на ^{206}Tl .

5. Реакция $^{65}\text{Ni}(n,2n)^{67}\text{Ni}$. Тестировались дифференциальные данные, представленные в библиотеках сечений ENDF/B - IV и LASL. Анализ результатов интегральных испытаний в полях нейтронов, полученных при бомбардировке бериллиевой мишени дейтронами с энергиями 30, 40 и 50 МэВ, показывает, что первый набор данных занижен, а второй - завышен. Испытания обоих наборов сечений в поле нейтронов из реакции $^6\text{Be}(p,n)^6\text{B}$ при $E_p = 50$ МэВ указывает на необходимость учета наработки ^{67}Ni по каналу $(n,4n)$ на ^{60}Ni , процентное содержание которого в естественной смеси изотопов составляет 26.1%.

6. Реакция $^{97}\text{Y}(n,2n)^{98}\text{Y}$. Анализ результатов интегральных испытаний показывает, что эти данные завышены.

7. Реакция $^{23}\text{Na}(n,2n)^{22}\text{Na}$. Анализ результатов расчетов величин отношений измеренных и рассчитанных скоростей реакции активации показывает, что эти данные завышены.

8. Реакция $^{60}\text{Co}(n,3n)^{67}\text{Co}$. Интегральные испытания теоретических расчетов функции возбуждения этой реакции завышены в энергетическом диапазоне от порога до 50 МэВ.

9. Реакция $^{90}\text{Zr}(n,3n)^{88}\text{Zr}$. В нейтронных полях со средними энергиями 16 и 20 МэВ тестировался результат теоретических расчетов функции возбуждения в энергетическом диапазоне до 100 МэВ. Интегральные испытания показали, что в диапазоне энергий нейтронов до 50 МэВ расчетные значения функции возбуждения реакции $^{90}\text{Zr}(n,3n)^{88}\text{Zr}$ сильно завышены.

10. Реакция $^{203}\text{Tl}(n,3n)^{201}\text{Tl}$. Интегральные испытания функции возбуждения реакции в нейтронных полях со средними энергиями 16 и 20 МэВ показали, что дифференциальные данные завышены в

энергетическом диапазоне от порога реакции до 43 МэВ.

11. Реакция $^{197}\text{Au}(n,4n)^{194}\text{Au}$. В нейтронных полях, получаемых при бомбардировке бериллиевой мишени дейтронами с энергиями 40, 50 МэВ и протонами с энергией 50 МэВ, тестировались дифференциальные данные по сечению этой реакции. Интегральные испытания показали, что эти данные завышены.

Таким образом, экспериментальные исследования в полях нейтронов из реакций $^9\text{Be}(d,n)^{10}\text{B}$ при $E_d = 30, 40, 50$ МэВ и $^9\text{Be}(p,n)^9\text{B}$ при $E_p = 50$ МэВ, показали, что дифференциальные данные сечений реакций $^{47}\text{Tl}(n,p)^{47}\text{Sc}$, $^{nat}\text{Tl}(n,x)^{47}\text{Sc}$, $^{90}\text{Zr}(n,p)^{90m}\text{Y}$, $^{90}\text{Nb}(n,\alpha)^{90m}\text{Y}$, $^{203}\text{Tl}(n,2n)^{202}\text{Tl}$, $^{68}\text{Ni}(n,2n)^{67}\text{Ni}$, $^{88}\text{Y}(n,2n)^{88}\text{Y}$, $^{23}\text{Na}(n,2n)^{22}\text{Na}$, $^{60}\text{Co}(n,3n)^{67}\text{Co}$, $^{90}\text{Zr}(n,3n)^{88}\text{Zr}$, $^{203}\text{Tl}(n,3n)^{201}\text{Tl}$, $^{197}\text{Au}(n,4n)^{194}\text{Au}$ достоверно не определены. Энергетические зависимости этих сечений требуют дальнейшего уточнения.

Четвертая глава посвящена описанию разработанной методики восстановления нейтронных сечений и обсуждению результатов исследования функций возбуждения высокопороговых реакций активации.

Конкретная реализация методики основана на итерационной процедуре деформации начального сечения типа SAND.

Успешное использование итерационной процедуры, как и при восстановлении нейтронных спектров, требует определения критерия ее остановки и корректного выбора априорной информации об исследуемом сечении. Показана обоснованность применения критерия χ^2 . Однако, в данном случае он является критерием проверки гипотезы о соответствии скоростей реакций, рассчитанных с использованием восстанавливаемого сечения, измеренным.

Расчетный эксперимент по изучению влияния первого приближения искомого сечения на результат восстановления аналогичен эксперименту, выполненному при исследовании нейтронных спектров, т.е. использована зависимость $\sigma(E) = \text{const}$ в качестве априорного знания о форме сечения. Расчетные скорости реакций были вычислены как интегралы от произведения дифференциальных данных о сечениях, имеющихся в библиотеке сечений, и потоков нейтронов, измеренных в нейтронных полях из реакций $^9\text{Be}(d,n)^{10}\text{B}$ при $E_d = 30, 40$ и 50 МэВ и $^9\text{Be}(p,n)^9\text{B}$ при $E_p = 50$ МэВ.

Расчетный эксперимент выполнялся с энергетическими зависимостями сечений реакций $^{90}\text{Nb}(n,\alpha)^{90}\text{Y}$, $^{68}\text{Ni}(n,2n)^{67}\text{Ni}$ и $^{197}\text{Au}(n,4n)^{194}\text{Au}$.

Результаты эксперимента позволили сделать вывод, что при условии достаточного перекрытия энергетического диапазона интервалами 90%-ного отклика реакций в используемых для восстановления нейтронных полях и наличии заметных различий в формах спектров, энергетические зависимости относительно низкороговых реакций активации могут быть восстановлены даже при отсутствии априорной информации о форме сечения. А восстановление сечений высокороговых реакций типа $^{197}\text{Au}(n,4n)^{194}\text{Au}$ обязательно требует привлечения априорной информации о функции возбуждения.

Как было показано при восстановлении нейтронных спектров, итерационная процедура SAND не дает ответ на вопрос о погрешностях полученных результатов. Эта проблема была решена с помощью метода Монте - Карло. Исходя из величин экспериментальных ошибок определено необходимое и достаточное количество розыгрышей для достоверного определения погрешностей восстановленных сечений. Для всех энергетических зависимостей вычислены матрицы ошибок, корреляций и показателей корреляции.

Результаты восстановления функций возбуждения по измеренным скоростям реакций активации представлены на рисунках 1 и 2.

Завершается четвертая глава анализом полученных результатов, сравнением их с данными, опубликованными в литературе в последнее время.

В заключении изложены основные результаты работы:

1. Создана система определения скоростей реакций, которая позволяет полностью автоматизировать ряд последовательных этапов обработки экспериментальной информации, полученной методом активации пороговых детекторов.
2. Разработан комплекс программных средств, позволяющий автоматизировать процесс определения пространственно - энергетических характеристик нейтронных полей и погрешностей их восстановления по результатам измерения скоростей реакций активации. Для каждого восстановленного спектра вычисляются матрицы ошибок, корреляций и показателей корреляции, а также предусмотрена возможность расчета флюэнсов нейтронов в конкретном нейтронном поле.
3. Показана возможность использования нейтронных полей из реакций $^9\text{Be}(d,n)^{10}\text{B}$ при $E_d = 30, 40, 50$ МэВ и $^9\text{Be}(p,n)^9\text{B}$ при $E_p = 50$ МэВ для интегральных испытаний сечений и корректировки функций возбуждения пороговых реакций активации.

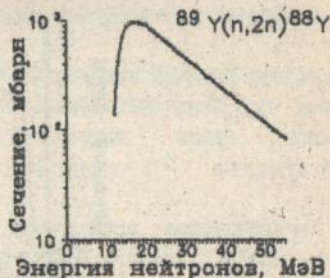
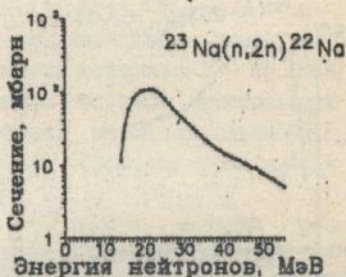
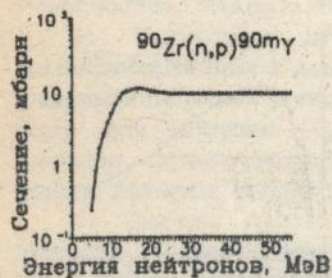


Рис. 1. Результаты восстановления функций возбуждения.

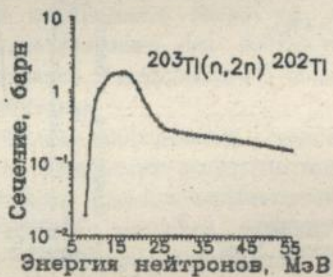
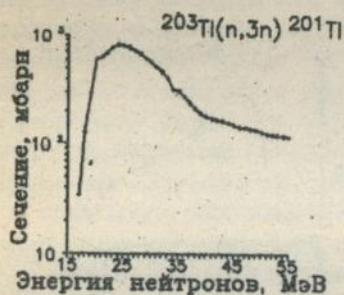
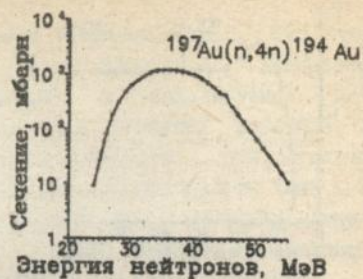


Рис. 2. Результаты восстановления высокопороговых сечений.

4. Разработана методика проведения интегральных испытаний дифференциальных данных по функциям возбуждения реакций активации в нейтронных полях с известными пространственно - энергетическими характеристиками. Впервые испытаны дифференциальные функции возбуждения реакций $^{90}\text{Zr}(n,p)^{90m}\text{Y}$, $^{93}\text{Nb}(n,\alpha)^{90m}\text{Y}$, $^{202}\text{Tl}(n,2n)^{202}\text{Tl}$, $^{99}\text{Y}(n,2n)^{99}\text{Y}$, $^{22}\text{Na}(n,2n)^{22}\text{Na}$, $^{67}\text{Co}(n,3n)^{67}\text{Co}$, $^{90}\text{Zr}(n,3n)^{90}\text{Zr}$, $^{202}\text{Tl}(n,3n)^{202}\text{Tl}$. Показана необходимость корректировки функций возбуждения следующих реакций: $^{47}\text{Ti}(n,p)^{47}\text{Sc}$, $^{nat.}\text{Ti}(n,x)^{47}\text{Sc}$, $^{90}\text{Zr}(n,p)^{90m}\text{Y}$, $^{93}\text{Nb}(n,\alpha)^{90m}\text{Y}$, $^{202}\text{Tl}(n,2n)^{202}\text{Tl}$, $^{99}\text{Ni}(n,2n)^{99}\text{Ni}$, $^{99}\text{Y}(n,2n)^{99}\text{Y}$, $^{22}\text{Na}(n,2n)^{22}\text{Na}$, $^{67}\text{Co}(n,3n)^{67}\text{Co}$, $^{90}\text{Zr}(n,3n)^{90}\text{Zr}$, $^{202}\text{Tl}(n,3n)^{202}\text{Tl}$, $^{197}\text{Au}(n,4n)^{194}\text{Au}$.

5. Разработана методика восстановления энергетических зависимостей сечений в диапазоне энергий нейтронов 3 - 55 МэВ по измеренным скоростям реакций активации. Впервые интегральный по своей сути нейтронно - активационный метод использован для получения дифференциальных данных по функциям возбуждения в широком диапазоне энергий нейтронов.

6. Получены энергетические зависимости сечений реакций активации нейтронами $^{nat.}\text{Ti}(n,x)^{47}\text{Sc}$, $^{90}\text{Zr}(n,p)^{90m}\text{Y}$, $^{93}\text{Nb}(n,\alpha)^{90m}\text{Y}$, $^{202}\text{Tl}(n,2n)^{202}\text{Tl}$, $^{99}\text{Ni}(n,2n)^{99}\text{Ni}$, $^{99}\text{Y}(n,2n)^{99}\text{Y}$, $^{22}\text{Na}(n,2n)^{22}\text{Na}$, $^{67}\text{Co}(n,3n)^{67}\text{Co}$, $^{90}\text{Zr}(n,3n)^{90}\text{Zr}$, $^{202}\text{Tl}(n,3n)^{202}\text{Tl}$, $^{197}\text{Au}(n,4n)^{194}\text{Au}$. Экспериментальные дифференциальные данные по функциям возбуждения реакций активации нейтронами с энергиями выше 28 МэВ получены впервые.

7. Показано, что использование полученных функций возбуждения для дозиметрического обеспечения нейтронных измерений при решении прикладных физических и технологических задач повышает достоверность определения пространственно - энергетических характеристик нейтронных полей.

8. Восстановленные функции возбуждения использованы для определения пространственно - энергетических характеристик нейтронных полей при решении ряда задач, связанных с изучением взаимодействия нейтронов высоких энергий с различными водородосодержащими материалами и для других прикладных задач.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Буканов В.Н., Васильева Е.Г., Власов М.Ф., Колотий В.В., Пасечник В.М., Трофимова Н.А. Пространственно - энергетические

характеристики поля нейтронов из реакции ${}^9\text{Be}(d,n){}^{10}\text{B}$ при $E_d = 30, 40, 50$ МэВ //Тезисы IV Всесоюзного совещания по метрологии нейтронного излучения на реакторах и ускорителях. -М.: ВНИИФТРИ, 1985. -С.94.

2. Буканов В.Н., Васильева Е.Г., Власов М.Ф., Колотый В.В., Пасечник В.М., Трофимова Н.А. Интегральные испытания функций возбуждения некоторых пороговых реакций активации в области энергий нейтронов 3 - 43 МэВ //Тезисы IV Всесоюзного совещания по метрологии нейтронного излучения на реакторах и ускорителях. -М.: ВНИИФТРИ, 1985, -С.100.

3. Буканов В.Н., Васильева Е.Г., Власов М.Ф., Колотый В.В., Пасечник В.М., Трофимова Н.А. Оценка функций возбуждения некоторых пороговых реакций активации в диапазоне энергий нейтронов 3 - 43 МэВ //Тезисы IV Всесоюзного совещания по метрологии нейтронного излучения на реакторах и ускорителях. -М.: ВНИИФТРИ, 1985. -С.101.

4. Коваль Г.Н., Васильева Е.Г., Буканов В.Н. и др. Спектрометрия терапевтического пучка нейтронов, получаемого на медико - биологическом комплексе Киевского циклотрона У - 120 //Тезисы докладов Всесоюзного совещания по применению ускорителей заряженных частиц в народном хозяйстве. -М.: ЦНИИАТОМИНФОРМ, 1985. -С.121.

5. Коваль Г.Н., Исаченко В.И., Сваричевская Е.В., Гулько Г.М., Буканов В.Н., Колотый В.В., Васильева Е.Г., Масляев П.Ф., Шевель В.Н. Исследование дозиметрических и спектральных характеристик пучка быстрых нейтронов на медико - биологическом комплексе Киевского циклотрона У - 120. -Киев, 1988. -С.3-16 -(Преп.//АН УССР. Ин-т ядерных исслед.; КИЯИ-88-2).

6. Буканов В.Н., Васильева Е.Г., Гаевенко А.Ю. и др. Комплекс программных средств автоматизации активационных измерений //Нейтронная физика: Материалы I Междунар. конф., Киев, 14 - 18 сент., 1987г. -М., 1988. -Т.4. -С.75-78.

7. Васильева Е.Г., Буканов В.Н., Колотый В.В., Пасечник В.М., Трофимова Н.А. Интегральные испытания сечений некоторых высокопороговых реакций активации нейтронами. -Киев, 1993. -17с. -(Преп.//АНУ. Ин-т ядерных исслед.; КИЯИ-93-24).

ВАСИЛЬЕВА Елена Георгиевна

ФУНКЦИИ ВОЗБУЖДЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ВЫСОКОПОРОГОВЫХ
РЕАКЦИИ АКТИВАЦИИ БЫСТРЫМИ НЕЙТРОНАМИ В
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ 3 - 55 МЭВ.

(Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук)

Подписано к печати 11.11.93г.
Усл. печ. л. 0.9. Тип. заказ N 150 . Тираж 100

Институт ядерных исследований АН Украины
252028, Киев-28, проспект Науки, 47.

169280

Faint, illegible text, possibly bleed-through from the reverse side of the page. The text is arranged in approximately 10 horizontal lines.

464280

AB 28.752

AB 28.752