

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
НАУЧНЫЙ ЦЕНТР "ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ"

на правах рукописи
УДК 621.039.512.44

Онищук Юрий Николаевич

СПЕКТРЫ НЕЙТРОНОВ УТЕЧКИ ИЗ СФЕРИЧЕСКИХ
ОБОЛОЧЕК С ЦЕНТРАЛЬНЫМ ИСТОЧНИКОМ
14 МЭВ НЕЙТРОНОВ

01.04.16 - физика ядра и элементарных частиц

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Киев-1996

AB 35.186



00751920 (O) в Київському університеті імені Тараса Шевченка

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук,
доцент Лещенко Борис Ефимович

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук
Корж Иван Александрович
(НЦ ИЯИ НАН Украины, г. Киев)

кандидат физико-математических наук,
доцент Доценко Иван Сергеевич
(Киевский университет, г. Киев)

Ведущая организация: Российский научный центр
"Курчатовский институт"(г.Москва,Россия)

Защита состоится 27 июня 1996 г. в 14¹⁵
на заседании Специализированного совета Д.01.68.01
при Научном центре "Институт ядерных исследований"
по адресу: 252028, г. Киев, пр. Науки, 47.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
НЦ "Институт ядерных исследований"

Автореферат разослан 20 мая 1996 г.

Ученый секретарь
Специализированного совета

В.Д.Чеснокова



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Первое поколение термоядерных реакторов (ТЯР) будет использовать DT-реакцию с сопутствующими ей радиоактивностью и 14 МэВ нейтронами. Наиболее существенным отличием ТЯР будущего от современных устройств по изучению физики плазмы состоит в том, что обязательным элементом ТЯР должен быть бланкет. Все прочие системы по своему функциональному назначению идентичны, хотя могут отличаться параметрами и способами исполнения. Бланкет будет выполнять функции преобразования кинетической энергии нейтронов синтеза в тепловую энергию, а далее, и в электрическую и воспроизводства трития в большем количестве, чем сгорает в плазме.

Переход от исследований физики управляемого термоядерного синтеза к разработке концептуальных проектов ТЯР, а в последующем и к созданию реально действующих энергетических установок требует решения многочисленных проблем. Одной из таких проблем является исследование точности расчета нейтронно-физических параметров бланкетов, которое связано с точностью используемых сечений взаимодействия и спектров вторичных нейтронов. Очевидным способом решения данной проблемы является необходимость дальнейших микроскопических измерений, уточняющих и дополняющих уже накопленную экспериментальную информацию. Однако следует иметь в виду, что процесс накопления микроскопических данных длительный и дорогостоящий. Поэтому желательно использовать и другие, альтернативные ему, способы решения проблемы. Таким способом является интегральный эксперимент, позволяющий как тестировать существующие константы, выбирая из них наиболее достоверные, так и непосредственно осуществлять их корректировку.

Цель работы:

-Разработка спектрометра нейтронов по времени пролета на базе импульсного нейтронного генератора ИНГ-200 для измерения спектров нейтронов утечки из сферических образцов.

-Измерение в высокоэнергетической области спектров утечки из материалов, моделирующих бланкет ТЯР.

-Апробация и тестирование на основании полученных экспериментальных данных расчетных методик и библиотек оцененных ядерных данных, используемых для расчетов при проектировании ТЯР.

Научная повизна работы:

-Предложена методика спектрометрии нейтронов утечки из сферических образцов с высоким энергетическим разрешением в энергетическом диапазоне 3-15 МэВ.

-Предложена оригинальная методика мониторингирования выхода нейтронов во время проведения интегральных экспериментов со сферическими оболочками.

-Получены новые экспериментальные результаты по измерению спектров утечек для сферических оболочек из Be, Ni и Al.

-На основании полученных экспериментальных результатов проведен анализ точности ядерных данных для библиотек ENDF/B-IV, ENDF/B-VI, ENDL-78, ENDL-83, JENDL-2, BROND.

На защиту выносятся:

-Разработка спектрометра нейтронов по времени пролета для измерения спектров нейтронов утечки из сферических образцов в энергетическом диапазоне 3-15 МэВ.

-Обоснование методики проведения интегральных экспериментов на базе разработанного нейтронного спектрометра.

-Анализ факторов, нарушающих симметрию одномерной геометрии при проведении интегрального эксперимента со сферическими оболочками на нейтронном спектрометре.

-Разработка оригинальной методики мониторингирования выхода нейтронов во время проведения экспериментов со сферическими оболочками.

-Измерение спектров нейтронов утечки из сферических образцов из Be, Ni, Al в энергетическом диапазоне 3-15 МэВ.

-Сравнение и анализ полученных экспериментальных результатов с данными нейтронно-физического расчета, использующего ядерные константы из различных библиотек ядерных данных.

Апробация работы. Отдельные положения диссертации представлялись:

-На 37 и 38 Всесоюзных совещаниях по спектроскопии и структуре атомного ядра(1987, 1988).

-На 1-й Международной конференции по нейтронной физике (Киев, 1987).

-На Международной конференции по ядерным данным для науки и технологии (Юлих, ФРГ, 1991).

-На Международной конференции по термоядерному синтезу (Киев, 1993).

Публикации. Содержание диссертации отражено в статье в журнале "Вопросы атомной науки и техники", препринте ИАЭ им.

И.В.Курчатова, 3 тезисах и материалах 2-х Международных научных конференций. Список публикаций приведен в конце автореферата.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, составляющих 113 страниц машинописного текста, 64 рисунка и 24 таблицы. Библиография содержит 127 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ.

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы исследования, сформулирована цель и задачи диссертационной работы, а также сжато рассмотрено ее структуру и основные результаты.

В первой главе говорится о необходимости получения новых ядерных данных для нетрадиционных для реакторостроения материалов, а также уточнение уже имеющихся данных, что приводит к решению проблемы оптимизации потребностей в таких данных. Составными частями этой проблемы являются: выбор материалов, перспективных для использования в blankets ТЯР; классификация ядерных реакций, определяющих нейтронно-физические параметры blankets; оценка достигнутого уровня точности ядерных данных.

На примере нескольких элементов, которые определяют важнейшие характеристики ТЯР Li, Be, Pb показано, что имеется значительная неопределенность в ядерных данных. Это относится как к сечениям взаимодействия, так и к спектрам вторичных нейтронов. Подобную ситуацию можно наблюдать и для других материалов-кандидатов для использования в blankets и защите ТЯР.

Делается вывод о необходимости проведения дополнительно как дифференциальных экспериментов с накоплением микроскопической информации о каждом ядре, так и интегральных - позволяющих одновременно и тестировать, и корректировать полученные ранее данные. Опыт, накопленный в физике быстрых реакторов, показывает, что проблему совершенствования ядерных данных можно достаточно быстро решить только при оптимальном соотношении результатов интегральных и дифференциальных нейтронно-физических экспериментов.

Во второй главе дан обзор интегральных экспериментов с 14 МэВ нейтронами. При этом в основу классификации положены методы получения экспериментальной информации. Для каждого метода кратко излагается его идея, особенности, а также приводятся работы, в которых этот метод использовался. Круг экспериментов ограничен только базовыми экспериментами в условиях простой геометрии, основной задачей которых является проверка качества ядерных

данных, содержащихся в различных версиях библиотек ядерных данных.

Интегральные методы основаны на измерении линейных функционалов спектра типа $\int \sigma(E)\Phi(E)dE$, где $\sigma(E)$ - эффективность взаимодействия нейтронов с детектором, $\Phi(E)$ - плотность потока нейтронов с энергией E . Активационные пороговые детекторы, камеры деления, трековые и всеслойные детекторы, детекторы полного поглощения и подобные им наиболее часто применяются в качестве интегральных нейтронных детекторов.

Для нахождения энергетического спектра нейтронов $\Phi(E)$ используют методы протонов отдачи и времени пролета. При этом предпочтение отдают методу времени пролета. Сейчас это по существу самый оптимальный метод получения высокоточных спектрометрических данных в широком диапазоне энергий нейтронов.

В третьей главе содержится описание экспериментальной установки, позволяющей измерять спектры нейтронов утечки из сферических образцов с центральным источником 14 МэВ нейтронов в энергетическом диапазоне 3-15 МэВ, а также методических разработок и экспериментов выполненных при ее создании.

Основу времяпролетного нейтронного спектрометра составил импульсный нейтронный генератор ИНГ-200. Были апробированы два варианта экспериментальной установки. В 1-м варианте пролетная база составляла 10.15 м, во 2-м - 5 м.

Совместное использование двух вариантов разработанного нейтронного спектрометра позволило измерять спектры нейтронов утечки в 2-х интервалах и совместить хорошее энергетическое разрешение 1-го варианта в диапазоне 7-15 МэВ с большим энергетическим диапазоном и удовлетворительным разрешением в диапазоне 3-10 МэВ - 2-го.

В 1-м варианте оба детектора: основной и мониторный - были сделаны на основе пластмассовых сцинтилляторов размерами 81x81 мм и 30x40 мм соответственно, соединенными с ФЭУ-36. Детектор располагался под углом 0° к оси дейтронного пучка на расстоянии 10.15 м от мишени нейтронного генератора, монитор - на расстоянии 3.3 м под углом 135° . Такая пролетная база детектора дает хорошее энергетическое разрешение в исследуемом диапазоне энергий, но условие нерегистрации рециклических нейтронов (частота повторения нейтронных импульсов - 7.2 МГц) не позволяет опускать порог регистрации ниже 5.3 МэВ.

Во 2-м варианте основной детектор был заменен на стильбен размерами 70x30 мм. Задействована схема n - γ дискриминации. Детектор располагался на расстоянии 5 м от мишени.

Также был введен дополнительный мониторный детектор на основе стильбена размерами 40x20 мм, расположенный под углом 80° на расстоянии 2 м от мишени. Совместное использование двух независимых мониторов позволило более точно контролировать как выход нейтронов во время измерений спектров утечки, так и временную стабильность мониторных трактов.

При описании методических особенностей особое внимание уделено корректному учету фона. Указывается на то, что при обработке результатов необходимо учитывать наличие в первичном пучке негруппированной компоненты 14 МэВ нейтронов.

Для контроля потока нейтронов была разработана достаточно простая методика мониторинга, отличная от метода активационных детекторов или сопутствующих частиц и позволяющая использовать сцинтилляционный детектор, используемый в дифференциальных экспериментах в кольцевой геометрии как монитор, для контроля выхода нейтронов в нашем интегральном эксперименте. Наличие сферы приводит к необходимости ввести коэффициент ослабления $k_{осл}$ показаний монитора материалом оболочки, который определяют в отдельных кратковременных измерениях со сферой и без нее при условии сохранения постоянного выхода нейтронов из мишени.

В четвертой главе приводятся результаты измерений спектров нейтронов утечки из бериллиевой, никелевой и алюминиевой сферических оболочек с центральным источником 14 МэВ нейтронов в энергетическом диапазоне 3-15 МэВ.

Расчеты спектров нейтронов утечки проводились по одномерной программе BLANK [1]. Результаты были нормированы на один нейтрон источника.

Исследуемые образцы представляли собой полые сферы со следующими размерами: для бериллия внутренний и внешний диаметры соответственно 12 и 22 см (толщина оболочки 5 см); для никеля и алюминия 9 и 24 см (толщины оболочек 7.5 см). Для ввода источника нейтронов внутрь сфер имелось отверстие диаметром 5 см.

На рис.1 и 2 показано сравнение экспериментального спектра нейтронов утечки из бериллиевой оболочки, измеренного в энергетическом диапазоне 6-15 МэВ (1-й вариант спектрометра), с данными расчетов.

Проверялась чувствительность энергетического распределения к форме спектра источника нейтронов (рис.1). В расчетах использовались два способа задания спектра источника:

-Монолиния $E=14.7$ МэВ, что соответствует выходу нейтронов из мишени при измерении спектра под углом 0° к пучку дейтронов (с учетом торможения дейтронов в мишени);

-Равномерное распределение нейтронов в интервале 13.4-14.8 МэВ (средняя энергия $E=14.1$ МэВ), что с точностью до нескольких процентов соответствует кинематическому распределению для ДТ-реакции при энергии дейтронов 120 кэВ.

Для данных из библиотеки ENDF/B-IV разброс расчетных результатов с различным заданием спектра источника в диапазоне энергий ниже 12 МэВ не превосходит погрешности эксперимента, причем большинство экспериментальных точек оказалось внутри расчетного коридора. Это свидетельствует о том, что библиотека ENDF/B-IV позволяет удовлетворительно воспроизводить спектр нейтронов утечки из бериллиевой сферы в рассматриваемом диапазоне энергий. Такой вывод согласуется с полученными ранее данными по измерению утечки нейтронов методом полного поглощения из той же сферы [2].

На рис.2 показано сравнение экспериментального спектра нейтронов утечки с расчетами по трем файлам данных. Библиотеки ENDL-78 и JENDL-2 дают отклонения от экспериментальных результатов в равной степени, но в противоположных направлениях. Аналогичные отклонения наблюдаются в работе [2]. Для библиотеки ENDL-78 характерно описание энергетического распределения ($n,2n$)-нейтронов четырьмя парциальными реакциями с возбуждением дискретных уровней ${}^9\text{Be}$, что является слишком грубой моделью реального спектра нейтронов реакции $\text{Be}(n,2n)$.

Интересно сопоставить полученные результаты с данными другого эксперимента, выполненного на этой же бериллиевой сфере в Обнинске [3,4]. Спектр был измерен в диапазоне 0.4-15 МэВ на времяпролетном спектрометре с пролетной базой 3.3 м. Погрешность экспериментальных данных оценена в 6-7 %. На рис.3 показаны спектры нейтронов утечки, измеренные нами и в работах [3,4], в сравнении с расчетами. В целом результаты согласуются между собой, особенно в диапазоне энергий 7-10 МэВ, где они с точностью до погрешности измерений совпадают. Отличие в группе нейтронов источника связано с различным энергетическим разрешением двух спектрометров.

Еще более лучшее согласие во всем диапазоне энергий 0.4-15 МэВ с нашим экспериментом и данными [3,4] дает библиотека ENDF/B-VI. В ней используется новый формат представления нейтронных данных в виде энергетической зависимости дважды дифференциальных сечений. По сравнению с версией ENDF/B-IV здесь уменьшено на

10% значение сечения ($n, 2n$) реакции для энергии 14 МэВ, что дает лучшее согласие расчета со всей совокупностью интегральных экспериментов на бериллии.

Это наглядно показано на рис.4, где приводится сравнение экспериментальных результатов, выполненных методом времени пролета нами в Киеве и в ФЭИ в Обнинске [3,4], а также методом протонов отдачи в Институте Радиационной Дозиметрии в Чешской республике [5] (данные взяты из обзора последних нейтронных экспериментов, представленного Х.Маскавой на Международной конференции по ядерным данным для науки и технологии, 9-13 мая 1994 г., Гетлингбург, США, [6]).

На рис.5 представлены спектры нейтронов утечки из никелевой сферы, измеренные с использованием двух вариантов разработанного спектрометра. В области энергий нейтронов менее 12 МэВ результаты довольно хорошо совпадают между собой. Различие спектров в области прямого пучка (>12 МэВ) объясняется различным энергетическим разрешением этих вариантов спектрометра. Согласие полученных результатов позволяет сделать вывод о вполне корректном описании поведения различных фоновых компонент в экспериментах с и без сферы.

Сравнение полученных нами данных с экспериментальными результатами для этой сферы других авторов [4,5], а также с расчетами, выполненными по программе BLANK с использованием констант из библиотек ENDF/B-IV, JENDL-2 и ENDL-78 показано на рис.6 и 7.

Видно, что значения в области энергий нейтронов более 6 МэВ, приведенные в работе [4], существенно превышают как наши данные, так и результаты расчетов для всех трех тестируемых библиотек. Авторы [4] на основании своих данных делают вывод о недооценке в файлах ядерных данных роли прямых и предравновесных процессов, отвечающих за формирование спектра нейтронов в высокоэнергетической области.

Следует отметить, что результаты для бериллия и никеля [3,4] были выполнены на одном нейтронном спектрометре. Поэтому вызывает интерес, почему, несмотря на совпадение результатов в пределах погрешности для бериллия, наблюдается отличие почти в 2 раза для никеля.

Анализ особенностей времяпролетной методики, используемой в [3,4] позволяет сделать следующие предположения о причинах расхождения. Во-первых, меньшая пролетная база (3.3 м) ухудшает энергетическое разрешение спектрометра, что приводит к существенному затягиванию пика первичных 14 МэВ нейтронов налсво

в область нейтронов с меньшими энергиями вплоть до 9-10 МэВ. Во-вторых, в эксперименте в Обнинске фон определялся только в измерениях со сферой и теньвым конусом, что позволяло учесть только вклад нейтронов, рассеянных в зале, т.е. не учитывались нейтроны, вылетающие из мишени и имеющие энергию 14 МэВ, но не сгруппированные в пик. Несмотря на применяемую сепарацию атомарной и молекулярной составляющих дейтронного тока в аппаратурном спектре прямого пучка всегда будет присутствовать компонента нейтронов, связанная с несовершенством системы группировки дейтронов [7]. Такие несгруппированные нейтроны будут давать вклад в аппаратурный спектр в пределах всей временной подставки. Вследствие этих причин в области энергий 6-12 МэВ, где сам измеряемый эффект достаточно мал может наблюдаться заметное завышение полученных результатов. Для никеля, по сравнению с бериллием, выход нейтронов утечки в этом диапазоне на порядок меньше.

В области энергий ниже 6 МэВ в пределах погрешности наши результаты совпадают с данными [4]. Здесь с одной стороны измеряемый эффект больше, а с другой, по-видимому, меньше вклад от несгруппированных нейтронов.

Сравнение наших данных с экспериментом, выполненным методом протонов отдачи на однокристалльном спектрометре [5] (рис.7), дает возможность оценить величину систематической погрешности, которую дает метод протонов отдачи. В области ниже 6 МэВ результаты довольно хорошо совпадают. При этом для однокристалльного спектрометра характерны флуктуации полученных значений относительно наших экспериментальных данных. В области 9-12 МэВ в результатах [5] наблюдается заметный провал. Такое поведение является характерным при решении обратных задач по восстановлению спектров в тех интервалах, в пределах которых значения восстанавливаемого спектра могут сильно различаться. В данном случае в интервале 9-15 МэВ такое изменение может составлять три порядка.

Если в целом сравнивать результаты расчетов с экспериментами, можно сделать вывод, что ни одна из библиотек ENDF/B-IV, JENDL-2 и ENDL-78 не дает хорошего описания экспериментальных спектров. можно говорить только лишь о совпадении в отдельных энергетических интервалах. Для области 7-12 МэВ лучшее согласие дает использование ENDL-78. Для библиотек ENDF/B-IV и JENDL-2 результаты расчетов лежат соответственно выше и ниже экспериментальных результатов. В области энергий ниже 6 МэВ

хорошо описывает эксперимент расчет с использованием библиотеки JENDL-2.

Интересно сравнить результаты групповых потоков нейтронов в интервалах 5-10 и 10-15 МэВ для всех трех экспериментов и расчетов с использованием библиотек ENDF/B-IV, JENDL-2, ENDL-78 и BROND (табл.1). При практически совпадающих результатах утечки в области первичных нейтронов (10-15 МэВ) для вторичных нейтронов (5-10 МэВ) эксперимент [4] в 2 раза превышает наши данные, что можно объяснить рассмотренными выше причинами. В области вторичных нейтронов только расчеты с ENDF/B-IV и ENDL-78 дают значения, совпадающие в пределах погрешности с нашим результатом. Расчеты как с JENDL-2, так и с BROND дают результаты существенно ниже экспериментальных.

Табл.1. Групповые потоки нейтронов утечки из никелевой сферы.

Энергия нейт-в, МэВ	Эксперимент			Расчет			
	Данная работа	[4]	[5]	ENDF/B-IV	JENDL-2	ENDL-78	BROND
10-15	0.401±0.016	0.385±0.020	0.376	0.366	0.373	0.345	0.370
5-10	0.026±0.002	0.048±0.003	0.032	0.028	0.017	0.023	0.018

Сравнение спектров нейтронов утечки из алюминиевой сферы, измеренных с использованием двух вариантов разработанного спектрометра представлены на рис.8. В области энергий нейтронов менее 12 МэВ результаты, как и для никеля, довольно хорошо совпадают между собой.

Сравнение наших данных для алюминия с экспериментальными результатами авторов [4] и [5] показано на рис.9 и 10. Здесь также представлены расчеты, выполненные программой BLANK с использованием библиотек ENDF/B-IV, JENDL-2 и ENDL-83.

Данные [4] в области энергий ниже 6 МэВ совпадают с нашими, а выше 6 МэВ - превышают. Причины этого расхождения анализировались ранее. Следует отметить, что так как измеряемая утечка нейтронов в интервале 6-12 МэВ для алюминия выше приблизительно в 2 раза, чем для никеля, то и относительное отличие наших результатов от [4] в этой области не такое значительное.

Метод протонов отдачи [5] дает результаты, хорошо совпадающие с нашими для нейтронов с энергией меньше 9 МэВ. В интервале 9-12 МэВ наблюдается большой провал.

Сравнение с расчетами показывает, что для алюминия наилучшее согласие с экспериментом дает расчет с библиотечной ENDF/B-IV. Расчет с данными JENDL-2 в интервале 5-10 МэВ дает значение

нейтронного потока более чем на 30% ниже экспериментального, что может быть объяснено некорректным описанием в этой библиотеке спектра эмиссии нейтронов неупругого взаимодействия.

Сравнение результатов групповых потоков нейтронов в интервалах 5-10 и 10-15 МэВ для всех трех экспериментов и расчеты с использованием библиотек ENDF/B-IV, JENDL-2, ENDL-78 и ENDL-83 представлены в табл.2.

Табл.2. Групповые потоки нейтронов утечки из алюминиевой сферы.

Энергия нейт-в, МэВ	Эксперимент			Расчет			
	Данная работа	[4]	[5]	ENDF/B -IV	JENDL -2	ENDL -78	ENDL -83
10-15	0.645±0.030	0.620±0.030	0.619	0.58	0.63	0.57	0.58
5-10	0.056±0.004	0.071±0.005	0.049	0.060	0.041	0.059	0.064

В заключении кратко сформулированы основные результаты исследования взаимодействия 14 МэВ нейтронов с размножающими и конструктивными материалами бланкетов ТЯР. По результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы:

1. Разработан спектрометр нейтронов по времени пролета для измерения спектров утечки из сферических образцов в энергетическом диапазоне 3-15 МэВ.

2. Обоснована методика проведения интегральных экспериментов на базе разработанного нейтронного спектрометра.

3. Предложена оригинальная методика мониторинга выхода нейтронов во время проведения интегральных экспериментов со сферическими оболочками.

4. Получены экспериментальные данные по измерению спектров нейтронов утечки для сферических оболочек из Be, Al и Ni в энергетическом диапазоне 3-15 МэВ.

5. На основании полученных экспериментальных результатов проведен анализ точности ядерных данных для библиотек ENDF/B-IV, ENDF/B-VI, ENDL-78, ENDL-83, JENDL-2 и BROND.

Сравнение, полученных экспериментальных результатов с расчетами показало:

- Для бериллия наилучшее согласие с экспериментом дает расчет с использованием библиотеки ENDF/B-VI. Использование в расчетах данных ENDL-78 нецелесообразно из-за описания энергетического распределения (n,2n)-нейтронов четырьмя парциальными реакциями с возбуждением дискретных уровней, что является слишком грубой моделью реального спектра нейтронов реакции Be(n,2n).

-Для никеля расчеты ни с одной из тестируемых библиотек не дают хорошего совпадения с экспериментом во всем диапазоне энергий. Наблюдается согласие только на отдельных энергетических интервалах: для 7-12 МэВ наилучшее согласие дает расчет с ENDL-78, для энергий ниже 6 МэВ - с JENDL-2.

-Для алюминия наилучшее согласие с экспериментом дает расчет с использованием библиотеки ENDF/B-IV. Расчет с данными JENDL-2 в интервале 5-10 МэВ даст значение нейтронного потока более чем на 30% ниже экспериментального, что может быть объяснено некорректным описанием в этой библиотеке спектра эмиссии нейтронов неупругого взаимодействия.

Основные результаты опубликованы в работах:

1. Лещенко Б.Е., Онищук Ю.Н. и др. Измерение спектра нейтронов утечки из бериллиевой сферы с центральным источником 14-МэВ нейтронов методом времени пролета // ВАНТ, сер. Термояд. синтез. -1991.-Вып.2.-С.41-50.
2. Лещенко Б.Е., Онищук Ю.Н. и др. Измерение спектра нейтронов утечки из бериллиевой сферы с центральным источником 14-МэВ нейтронов методом времени пролета. - М.,1990.-(Препр.ИАЭ; ИАЭ-5230/8).
3. Алексеевич С.Ф., Онищук Ю.Н. и др. Спектрометр мгновенного γ -излучения радиационного захвата 14 МэВ нейтронов // Тез.докл. 37 совещ.по яд.спектр.и структ.ядра.-Л.:Наука,1987.-С.530.
4. Ежов С.Н., Онищук Ю.Н. и др. Прямые и флуктуационные сечения рассеяния нуклонов в энергетической области 10-20 МэВ // Тез. докл.38 совещ.по яд.спектр. и структ.ядра. - Л.:Наука,1988. -С.405.
5. Leshchenko В.Е., Onishchuk Yu.N. et al. The neutron leakage spectra from beryllium and aluminium spheres for 14 MeV neutron source within the energy interval 6-15 MeV // Intern. Conf. Nuclear Data for Sci. and Technol., Julich, Fed. Rep. of Germany, May 13-17 1991.-P.181.
6. Ежов С.Н., Онищук Ю.Н. и др. Дифференциальное сечение упругого рассеяния 14 МэВ нейтронов на хлоре // НЕЙТР.ФИЗ. Мат. 1 Междунар. конф. по нейтр. физ., Киев, 14-18 сент. 1987.-М.: ЦНИИ атоминформ, 1988.-Т.3.-С.340-343.
7. Leshchenko В.Е., Onishchuk Yu.N. et al. The neutron leakage spectra from beryllium and aluminium spheres for 14 MeV neutron source within the energy interval 6-15 MeV // Proc. Intern. Conf. Nuclear Data for Sci. and Technol., Julich, Fed. Rep. of Germany, May 13-17 1991.-Berlin:Springer-Verlag, 1992.-P.445-446.

Литература:

1. Марин С.В., Марковский Д.В., Шаталов Г.Е. Программа расчета пространственно-энергетического распределения нейтронов в одномерной геометрии (модификация программы BLANK).- М., 1978. -(Препр. ИАЭ; ИАЭ-3044).
2. Zagryadskii et al. Calculated neutron transport verifications by integral 14-MeV-neutron source experiments with multiplying assemblies // Fus. Eng. Design. -1989.-9.-P.353.
3. Андросенко А.А. и др. Спектры нейтронов утечки из бериллиевой, свинцовой и урановой сфер при энергии 14 МэВ // НЕЙТР. ФИЗ. Мат. 1 Междунар. конф. по нейтр. физ., Киев, 14-18 сент. 1987.-М.: ЦНИИ атоминформ, 1988.-Т.3.-С.194-198.
4. Simakov S.P. et al. The neutron leakage spectra from Be, Al, Fe, Ni, Pb, LiPb, Bi, U and Th spheres with T(d,n) and ^{252}Cf neutron source // Proc. 17th Symp. on Fus. Technol., Rome, Italy, Sep. 14-18 1992.-P.1489.
5. Pulpan J. et al. // Fus. Eng. Design. -1993.-23.-P.57.
6. Maekawa H., Oyama Yu., Ikeda Yu. A review of fusion neutronics experiments // Proc. Int. Conf. Nuclear Data for Sci. and Technol., Gatlinburg, USA, May 9-13 1994. - P.866-873.
7. Matsuyama S. et al. A post-acceleration beam chopper for 4.5 MV Dynamitron pulsed neutron generator // Proc. Int. Conf. Nuclear Data for Sci. and Technol., Julich, Fed. Rep. of Germany, May 13-17 1991.-Berlin: Springer-Verlag, 1992.-P.474-476.

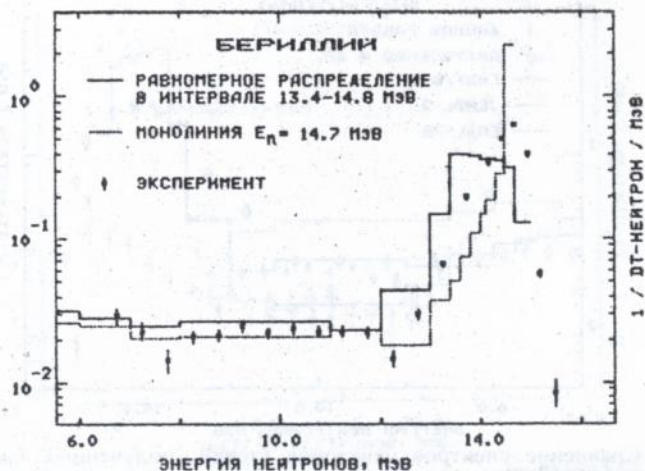


Рис.1. Чувствительность энергетического спектра к форме спектра источника.

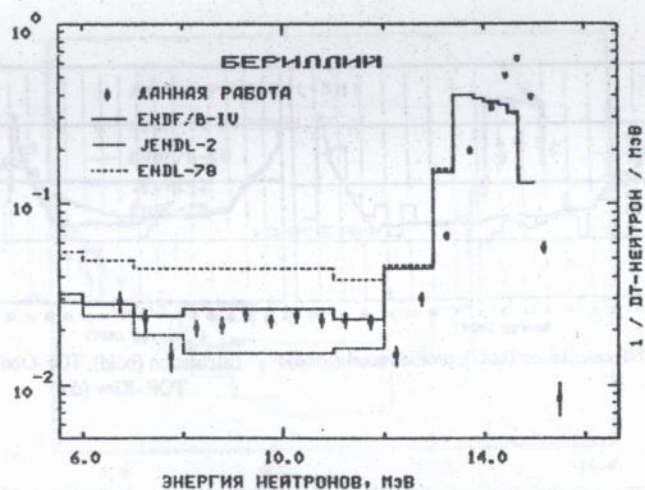


Рис.2. Сравнение экспериментального спектра нейтронов утки с расчетами, выполненными с использованием констант из библиотек ENDF/B-IV, JENDL-2 и ENDL-78.

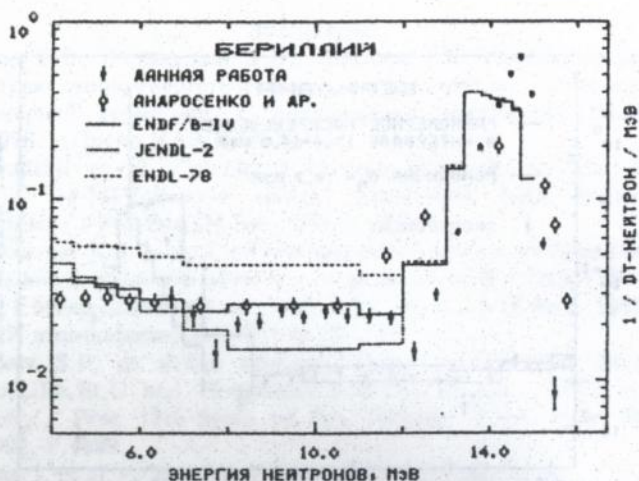


Рис.3. Сравнение спектров нейтронов утечки, полученных нами и в работе [3,4].

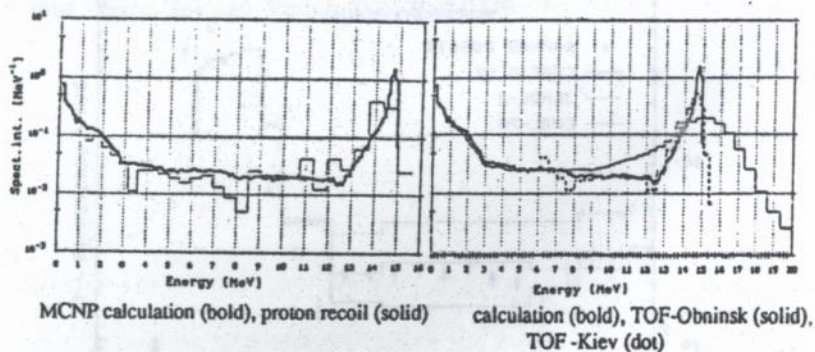


Рис.4. Сравнение экспериментальных спектров утечки 14 МэВ нейтронов из бериллиевой оболочки с расчетами, использующими данные из библиотеки ENDF/B-VI[6].

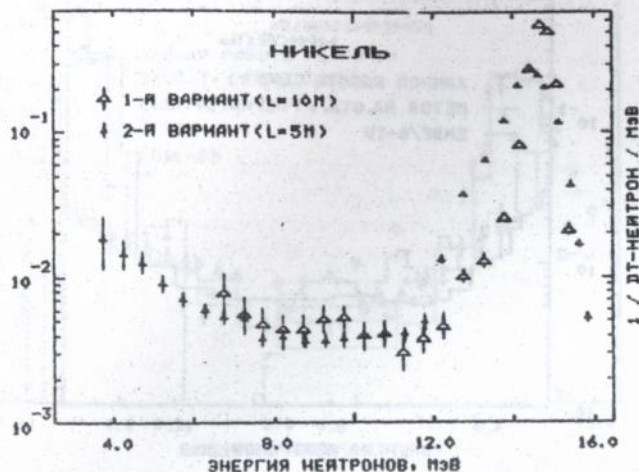


Рис.5. Сравнение спектров нейтронов утечки из никелевой сферы, измеренных с использованием двух вариантов разработанного спектрометра.

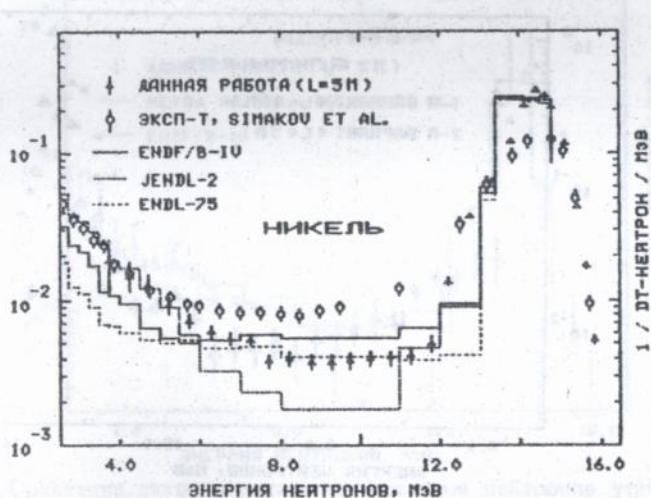


Рис.6. Сравнение экспериментальных спектров нейтронов утечки из никелевой сферы, полученных нами и в работе [4] с расчетами, выполненными с использованием констант из библиотек ENDF/B-IV, JENDL-2 и ENBL-78.

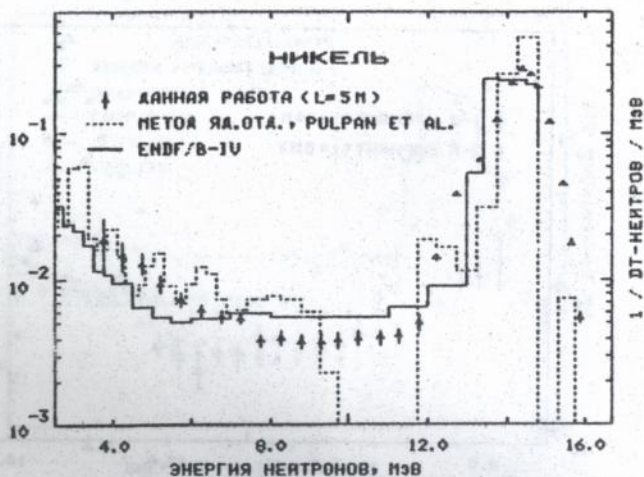


Рис.7. Сравнение экспериментальных спектров нейтронов утечки из никелевой сферы, полученных нами и в работе [5] (метод протонов отдачи) с расчетом, выполненным с использованием констант из библиотеки ENDF/B-IV.

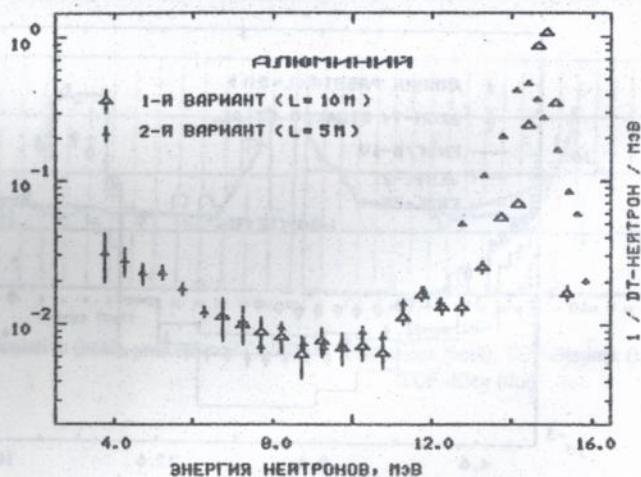


Рис.8. Сравнение спектров нейтронов утечки из алюминиевой сферы, измеренных с использованием двух вариантов разработанного спектрометра.

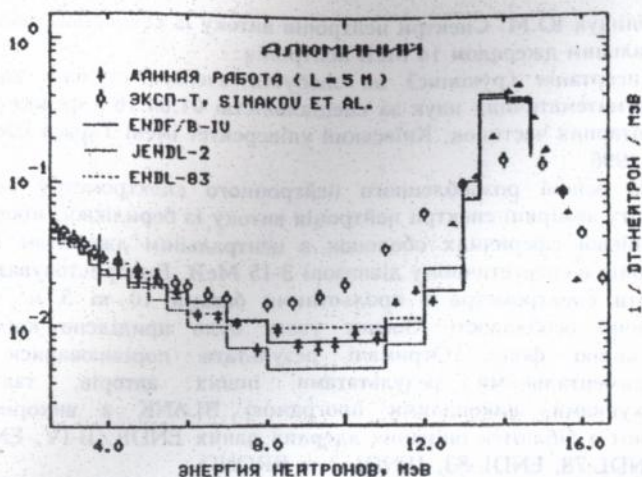


Рис.9. Сравнение экспериментальных спектров нейтронов утечки из алюминиевой сферы, полученных нами и в работе [4] с расчетами, выполненными с использованием констант из библиотек ENDF/B-IV, JENDL-2 и ENDL-83.

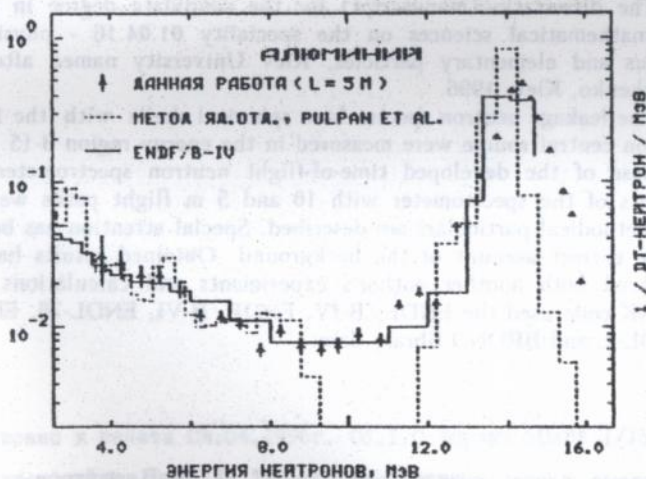


Рис.10. Сравнение экспериментальных спектров нейтронов утечки из алюминиевой сферы, полученных нами и в работе [5] (метод протонов отдачи) с расчетом, выполненным с использованием констант из библиотеки ENDF/B-IV.

Онiщук Ю.М. Спектри нейтронiв витоку iз сферичних оболонки з центральним джерелом 14 МеВ нейтронiв.

Дисертацiя (рукопис) на здобуття вченого ступеня кандидата фiзико-математичних наук за спецiальнiстю 01.04.16 - фiзика ядра та елементарних частинок, Киiвський унiверситет iменi Тараса Шевченка, Киiв, 1996.

На основi розробленого нейтронного спектрометра за часом прольоту вимiрянi спектри нейтронiв витоку iз берилieвoї, никелевoї та алюмiнiєвoї сферичних оболонки з центральним джерелом 14 МеВ нейтронiв в енергетичному дiапазонi 3-15 МеВ. Використовувалися два варiанти спектрометра з прольотними базами 10 та 5 м. Описанi методичнi особливостi. Значну увагу було придiлено коректному урахуванню фону. Отриманi результати порiвнювалися як з експериментальними результатами iнших авторiв, так i з розрахунками, виконаними програмою BLANK з використанням констант з бiблiотек оцiнених ядерних даних ENDF/B-IV, ENDF/B-VI, ENDL-78, ENDL-83, JENDL-2 та BROND.

Onishchuk Yu.N. Leakage neutron spectra from spherical shells with the 14 MeV neutron central source.

The dissertation (manuscript) for the candidate degree in physical and mathematical sciences on the speciality 01.04.16 - physics of a nucleus and elementary particles, Kiev University named after Taras Shevchenko, Kiev, 1996.

The leakage neutron spectra from spherical shells with the 14 MeV neutron central source were measured in the energy region 3-15 MeV on the base of the developed time-of-flight neutron spectrometer. Two variants of the spectrometer with 10 and 5 m flight paths were used. The methodical particulars are described. Special attention has been paid to the correct account of the background. Obtained results have been compared both another author's experiments and calculations by the BLANK code used the ENDF/B-IV, ENDF/B-VI, ENDL-78, ENDL-83, JENDL-2, and BROND library data.

Ключевые слова: спектры нейтронов, 14 МэВ нейтроны, утечка, интегральный эксперимент, спектрометр, метод времени пролета, сравнение с расчетом, бериллий, никель, алюминий

Подписано к печати 04.04.1996г. Об. I, О. Формат 60x84 1/16.

Печать офсетная. Зак. 122. Тир. 100. Бесплатно.

УОП УГПУ им. Драгоманова, Киев, Пярогова, 9^а.

AB 35.186