



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константина  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»  
(НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ)

мкр. Орлова роща, д. 1, г. Гатчина, Ленинградская область, 188300  
Телефон: (81371) 4-60-25, факс: (81371) 3-60-25. E-mail: dir@pnpi.nrcki.ru  
ОКПО 02698654, ОГРН 1034701242443, ИНН 4705001850, КПП 470501001

**УТВЕРЖДАЮ**

Заместитель директора по научной работе

№ 15

«04» февраля 2019 г.

д.б.н. С.В. Саранцева



**ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

Федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константина Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» на диссертацию **Хромылёвой Татьяны Александровны «Низкофоновый цифровой спектрометр для измерения сечения ( $n,\alpha$ ) реакции на твердых мишенях»,** представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 - «Приборы и методы экспериментальной физики».

**Актуальность темы диссертационной работы.**

Важнейшими задачами ядерной энергетики являются создание новых мощных энергетических установок с длительным сроком эксплуатации и обеспечение безаварийной работы существующих реакторов. Поскольку одним из наиболее распространенных конструкционных материалов, использующихся при изготовлении энергетических установок, являются нержавеющие стали, ресурс работы таких установок определяется радиационной стойкостью материалов, входящих в состав используемых сталей (Fe, Cr, Ni и др.). Прежде всего, это связано с тем, что под действием нейтронов в конструкционных материалах происходят различные ядерные реакции, в том числе ( $n,\alpha$ ) и ( $n,p$ ), т.е. с вылетом

$\alpha$ -частиц и протонов, приводящие к образованию гелия и водорода. Такое газообразование приводит к охрупчиванию, распуханию и другим негативным изменениям механических свойств этих материалов. Изучение указанных эффектов осложняется тем обстоятельством, что на сегодняшний день для целого ряда ядер, входящих в состав конструкционных материалов, экспериментальная информация о сечении реакции  $(n,\alpha)$  отсутствует, а теоретические оценки, используемые в различных библиотеках оценённых данных, отличаются в несколько раз.

Поскольку в первую очередь существующий пробел в изучении свойств конструкционных материалов при высоких нейтронных дозовых нагрузках ограничивается применяемыми методами исследований, актуальность представленной работы, направленной на получение новых ядерных данных о сечении реакции  $(n,\alpha)$  с использованием низкофонового цифрового спектрометра, не вызывает сомнений. Степень проработанности предложенной методики измерений и полученные значения сечения реакции  $(n,\alpha)$  для широкого набора ядер-мишеней в выделенном диапазоне энергий нейтронов подтверждают вывод об актуальности диссертационной работы Т.А. Хромылёвой.

**Научная новизна** диссертации заключается в том, что с участием её автора на основе ионизационной камеры с сеткой Фриша создан оригинальный спектрометр, позволяющий производить измерения сечения  $(n,\alpha)$  реакции на ядрах конструкционных материалов. Предложенный в работе новый метод цифровой обработки экспериментальной информации позволил надёжно отделить полезные события от фоновых и измерить очень малые сечения  $(n,\alpha)$  реакции на уровне единиц миллибарн. Из измеренных в работе сечений  $(n,\alpha)$  реакции для изотопов  $^{54}\text{Fe}$ ,  $^{57}\text{Fe}$ ,  $^{60}\text{Ni}$   $^{50}\text{Cr}$ ,  $^{52}\text{Cr}$ ,  $^{53}\text{Cr}$  и  $^{47}\text{Ti}$ , для 3-х последних ядер данные в диапазоне энергии нейтронов от 4 до 7 МэВ получены впервые.

#### **Научная и практическая значимость результатов.**

Полученные в работе данные по конструкции спектрометра и методу цифровой обработки сигналов несомненно важны для дальнейшего совершенствования данной методики измерений сечения  $(n,\alpha)$  реакции на твёрдых мишенях конструкционных материалов. Полученные в работе новые экспериментальные данные по сечениям  $(n,\alpha)$  реакции для ядер изотопов конструкционных материалов относятся к категории высокостребованных нейтронных ядерных данных, они включены в международную базу экспериментальных данных EXFOR. Не подлежит сомнению тот факт, что они будут использованы для новых теоретических оценок в различных отечественных и зарубежных библиотеках ядерных данных, которые используются для расчётов и производства новых конструкционных материалов.

**Диссертационная работа** состоит из введения, трёх глав, заключения и списка использованных источников. Общий объём диссертации составляет 140

страниц и включает 61 рисунок и 15 таблиц. Список использованных источников содержит 121 наименование.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, научная новизна и практическая значимость работы, сформулированы цель и основные задачи исследования.

**В первой главе** дан обзор существующих экспериментальных данных и теоретических оценок сечения ( $n,\alpha$ ) реакции для изотопов конструкционных материалов – железа, хрома, никеля и титана. Проведён анализ используемых для измерения сечения ( $n,\alpha$ ) реакции экспериментальных методов.

**В второй главе** рассмотрены физические принципы работы спектрометра, дано описание его конструкции и схемы экспериментальной установки, методов цифровой обработки сигналов, методов определения масс исследуемых мишеней, метода мониторирования нейтронного потока. Также приведены результаты тестовых измерений сечения ( $n,\alpha$ ) реакции на изотопе  $^{54}\text{Fe}$  и проведён анализ погрешностей эксперимента.

**В третьей главе** представлены результаты измерений сечения ( $n,\alpha$ ) реакции для изотопов  $^{57}\text{Fe}$ ,  $^{50}\text{Cr}$ ,  $^{52}\text{Cr}$ ,  $^{53}\text{Cr}$ ,  $^{60}\text{Ni}$  и  $^{47}\text{Ti}$ . Приведено сравнение полученных экспериментальных данных с оценёнными данными различных библиотек ядерных данных и экспериментальными результатами других авторов.

**В заключении** приведено перечисление основных результатов выполненных работ. Главным результатом диссертационной работы является создание низкофонового спектрометра продуктов ( $n,\alpha$ ) реакции на базе ионизационной камеры с сеткой Фриша для твёрдой мишени. Оригинальная конструкция камеры с расположением мишени в промежутке катод-сетка и цифровой подход, использованный для детального анализа формы сигналов с электродов камеры, позволили многократно подавить фон и сделать возможным измерение малых сечений ( $n,\alpha$ ) реакции на ядрах изотопов, входящих в состав конструкционных материалов. Другим важнейшим результатом работы являются полученные с помощью спектрометра новые экспериментальные данные по сечениям ( $n,\alpha$ ) реакции в области энергии нейtronов 4 – 7 МэВ на ядрах  $^{54}\text{Fe}$ ,  $^{57}\text{Fe}$ ,  $^{50}\text{Cr}$ ,  $^{52}\text{Cr}$ ,  $^{53}\text{Cr}$ ,  $^{60}\text{Ni}$  и  $^{47}\text{Ti}$ , в том числе – полученные впервые данные для  $^{52}\text{Cr}$ ,  $^{53}\text{Cr}$  и  $^{47}\text{Ti}$ .

**Степень достоверности полученных результатов** подтверждается использованием апробированной измерительной аппаратуры и методов обработки экспериментальных данных, представлением результатов в публикациях в реферируемых журналах и докладах на научных форумах высокого уровня, объективным согласием с аналогичными данными других авторов в тестовом эксперименте на ядре  $^{54}\text{Fe}$ .

Полученные результаты соответствуют поставленным целям и задачам, а тема диссертации соответствует заявленной специальности.

Диссертационная работа написана хорошим языком, хотя стиль изложения материала можно было бы улучшить за счёт исключения повторов, например, перечисления параметров используемых в измерениях мишеней. В целом, работа оставляет хорошее впечатление, однако по ее содержанию и оформлению можно сделать следующие замечания:

1. В тексте под рис. 24 (в диссертации) и аналогичном ему тексте под рис. 2 (в автореферате) неправильно проставлены номера, обозначающие разные группы  $\alpha$ -частиц.
2. Формула (9) на стр. 49 идентична формуле (19) на стр. 67. Необходимость такого повтора не является бесспорной. Кроме того, формулы на стр. 67 и стр. 69 ошибочно приведены под одним и тем же номером, присутствуют также другие ошибки в нумерации формул и рисунков.
3. В тексте диссертации на стр. 66 констатируется, что «тормозная способность криптона для альфа-частиц заметно выше, чем у неона и аргона (неон – 0,09 МэВ/мм; аргон – 0,18 МэВ/мм; криpton – 0,37 МэВ/мм)». В тексте же автореферата на стр. 11 утверждается обратное, а именно: «неон и аргон имеют относительно большее значение сечения реакции ( $n,\alpha$ ) и у них выше тормозная способность, чем у криптона (неон – 0,09 МэВ/мм; аргон – 0,18 МэВ/мм; криpton – 0,37 МэВ/мм)». Поскольку величины тормозной способности для перечисленных газов в обоих документах приведены одни и те же, явную противоречивость двух утверждений можно трактовать как недоразумение, при этом правильным считать вывод, имеющийся в тексте диссертации.
4. Указывается, что обычно для поправки на неэффективность сетки Фриша используется выражение (10) на стр. 49, но в дальнейшем используется выражение (14) на стр. 50, которое в тексте диссертации упомянуто как (17). Если смена знака (+) на (-) у слагаемого  $\sigma P_C$  не простая опечатка, а имеет определённый физический смысл, то такая замена должна быть аргументированной.
5. Несмотря на то, что геометрическая эффективность регистрации ионизационной камеры к альфа-частицам и осколкам деления  $^{238}\text{U}$  в представленной работе близка к 100%, что находит своё подтверждение в приведённых систематических ошибках измеренных сечений реакции ( $n,\alpha$ ) для исследованных изотопов, для большей наглядности качества получаемых результатов в диссертации следовало привести типичное значение самопоглощения в слое и амплитудные спектры для двух половин ионизационной камеры с указанием порога дискриминации.
6. При определении потока нейтронов не обсуждается зависимость эффективности регистрации от угловой анизотропии осколков деления  $^{238}\text{U}$ . Тем не менее, исходя из имеющихся в литературе данных, заметного влияния на измеренные сечения реакции ( $n,\alpha$ ) следует ожидать в области

энергий нейтронов 6-7 МэВ, для которой выход осколков деления  $^{238}\text{U}$  под углом  $0^\circ$  в два раза больше, чем для углов близких к  $90^\circ$ . Нельзя не отметить, что в формулах (36), (42) и (43), описывающих соотношение между числом зарегистрированных осколков деления и  $\alpha$ -частиц с потоком нейтронов, отсутствует множитель – эффективность регистрации частиц, и это обстоятельство в диссертации не обсуждается.

7. В тексте диссертации встречаются предложения, отсутствие запятых в которых очевидным образом противоречит правилам пунктуации. Некоторые ссылки даны с нарушением формальных правил: отсутствуют место и название издательства, номера страниц и знаки препинания. В списке публикаций по теме диссертации фамилии авторов нескольких работ приведены в порядке, отличающемся от оригиналов публикаций.

Отмеченные недостатки не влияют на качество полученных результатов и не снижают научной и практической ценности диссертации. Результаты работы могут быть рекомендованы для изучения и внедрения в научных организациях, где проводятся экспериментальные и расчётно-теоретические работы с нейтронами как фундаментального, так и прикладного характера. Целесообразно продолжить работы по измерению сечений ( $n,\alpha$ ) реакции с использованием низкофонового спектрометра ГНЦ РФ - ФЭИ в широком диапазоне энергий нейтронов до 20 МэВ и выше на нейтронных источниках в РФ, например, в НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ (Гатчина), ОИЯИ (Дубна) и ИЯИ (Троицк).

### **Заключение.**

Диссертационная работа Т.А. Хромылёвой «Низкофоновый цифровой спектрометр для измерения сечения ( $n,\alpha$ ) реакции на твердых мишенях» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой содержатся новые научно обоснованные решения в области развития экспериментальных методов, используемых для изучения ядерных реакций и получения ядерных данных. Работа выполнена на высоком научном уровне и свидетельствует о хорошей подготовке её автора к исследовательской работе. Несомненным достоинством работы, помимо описания оригинального физического прибора – низкофоновой ионизационной камеры, является большой объём полученных экспериментальных данных, в том числе – полученных впервые. Основные положения и результаты работы достаточно широко и полно апробированы на профильных международных конференциях. По теме диссертации опубликованы 14 работ, из которых 8 статей - в журналах, включённых в Перечень ВАК и индексируемых в базе Scopus. Автореферат полностью и правильно отражает содержание диссертации.

Диссертация Т.А. Хромылёвой соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание учёной степени кандидата наук, установленным в «Положении о присуждении учёных степеней», утвержденном Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (с изменениями и дополнениями), а ее автор, Хромылёва Татьяна Александровна, заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 –«Приборы и методы экспериментальной физики».

Доклад Хромылёвой Т.А. по материалам диссертационной работы заслушан, обсужден и одобрен на заседании Учёного совета Отделения перспективных разработок НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ 30.01.2019 г.

**Отзыв подготовил:**

Заведующий лабораторией радиационной  
физики Отделения перспективных  
разработок НИЦ «Курчатовский  
институт» - ПИЯФ, к.ф.-м.н.

А.С. Воробьев  
vorobyev\_as@pnpi.nrcki.ru

Учёный секретарь НИЦ «Курчатовский  
институт» - ПИЯФ, к.ф.-м.н.

С.И. Воробьев  
Vorobyev\_SI@pnpi.nrcki.ru

**Контакты ведущей организации:**

ФГБУ «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт».  
188300, Ленинградская область, г. Гатчина, мкр. Орлова роща, д. 1.  
Тел.: +7 (81371) 460-25, E-mail: dir@pnpi.nrcki.ru.