

“УТВЕРЖДАЮ”:

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Институт
ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского
отделения Российской академии наук
академик П.В. Логачев

_____ 2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации - Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского
отделения Российской академии наук на диссертацию Ильясовой Маргариты
Вадимовны

«Применение методов нейтронной и гамма спектрометрии для изучения
поведения быстрых ионов в плазме токамака»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 1.3.9 - физика плазмы

В настоящее время работы в области магнитного термоядерного синтеза вплотную приблизились к достижению режима термоядерного горения, при котором потери энергии из плазмы компенсируются энерговыделением удерживаемых магнитным полем альфа-частиц, образующихся в термоядерных реакциях. Наличие популяции быстрых ионов в плазме может существенно влиять на удержание плазмы, в некоторых случаях приводя к развитию неустойчивостей и потерям быстрых частиц. В связи с этим развитие методов диагностики параметров быстрых частиц и исследование поведения быстрых ионов в плазме токамака является актуальной задачей.

Диссертационная работа М.В.Ильясовой состоит из введения, литературного обзора, состоящего из двух глав, трех глав, содержащих полученные автором экспериментальные результаты, заключения, благодарностей, списка сокращений и списка использованной литературы. Диссертация содержит 128 страниц с 72 рисунками, 2 таблицами и списком литературы из 142 наименований.

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы работы, сформулированы ее цель и задачи, определен объект исследования, показаны научная новизна и практическая значимость проведенных исследований, представлены научные положения, выносимые на защиту, описаны апробация работы на семинарах и

конференциях различного уровня, личный вклад автора в разработку проблемы, раскрыта структура диссертации, дана характеристика каждой главы.

В первой главе рассмотрены основные источники быстрых ионов в плазме токамака. Описаны процессы, лежащие в основе генерации и ускорения быстрых ионов в плазме, а также описаны процессы, связанные с взаимодействием быстрых ионов с другими компонентами плазмы.

Вторая глава представляет собой обзор существующих систем нейтронной и гамма-спектрометрии, применяемых для диагностики высокотемпературной плазмы. В главе описаны физические основы процессов, лежащих в основе генерации нейтронного и гамма-излучения в высокотемпературной плазме, детекторы, применяемые для спектрального анализа нейтронного и гамма-излучения, представлен обзор систем нейтронных и гамма-диагностик на существующих плазменных установках. Описаны методы анализа гамма-излучения, основанные на изучении интенсивностей гамма-линий, наблюдаемых в плазме токамака, а также основанные на изучении форм гамма-линий, измененных и уширенных за счет эффекта Доплера.

Третья глава посвящена разработке и применению нейтронных спектроскопических систем для диагностики плазмы. М.В.Ильясовой предложена и реализована оригинальная схема измерения функций отклика нейтронных сцинтилляционных спектрометров на циклотроне ФТИ им.А.Ф.Иоффе с использованием нейтронов, рождающихся в реакции ${}^9\text{Be}({}^4\text{He},n){}^{12}\text{C}$. В ходе этой работы М.В.Ильясовой был реализован новый метод разделения сигналов нейтронного и гамма-излучения по форме импульсов сцинтилляции. Откалиброванные с помощью реализованной методики нейтронные спектрометры на основе жидкого сцинтиллятора ВС-501А были применены М.В.Ильясовой для измерения динамики нейтронного выхода в экспериментах с инжекцией пучков дейтерия на токамаках ТУМАН-3М и Глобус-М/М2.

Четвертая глава посвящена анализу спектров гамма-излучения, генерируемого в плазме токамака. Представлены результаты изучения распределения быстрых ионов в плазме токамака JET: продемонстрировано энергетическое распределение быстрых ионов, восстановленное из интенсивностей гамма-линий, наблюдаемых в D-3He плазме, оценена скорость рождения α -частиц в реакции синтеза D+3He по интенсивности 16,7 МэВ гамма-излучения, получено энергетическое и угловое распределение удерживаемых α -частиц из анализа Доплеровской формы 4,44 МэВ гамма-линии из ${}^9\text{Be}({}^4\text{He},n){}^{12}\text{C}$ реакции.

В пятой главе приводится описание методики эксперимента по измерению функций возбуждения ядер ${}^{11}\text{B}$ и ${}^{11}\text{C}$, рожденных в ядерных реакциях между ионами ${}^3\text{He}$ и ${}^9\text{Be}$, проведенного на циклотроне ФТИ им.А.Ф.Иоффе. В тексте представлены полученные

результаты, включающие в себя угловые распределения вылета гамма-квантов и легких продуктов реакций ${}^9\text{Be}({}^3\text{He},p){}^{11}\text{B}$ и ${}^9\text{Be}({}^3\text{He},n){}^{11}\text{C}$.

В заключении описаны основные итоги и выводы, а также рассматриваются направления дальнейшего развития темы исследований.

Достоверность полученных результатов подтверждается сравнением экспериментальных результатов с численным моделированием и расчетами, а также сравнением с результатами, полученными с помощью других диагностик. Результаты работы опубликованы в ведущих международных журналах по физике плазмы, неоднократно докладывались на научных семинарах международных конференциях.

Научная новизна работы определяется тем, что в ней развиты новые подходы к созданию спектрометрических нейтронных и гамма диагностик высокотемпературной плазмы и получены новые данные об удержании быстрых ионов в плазме токамака. В частности, можно выделить следующие новые результаты:

-разработана и реализована оригинальная методика измерения функций отклика сцинтилляционного спектрометра на моноэнергетические нейтроны, основанная на методе совпадений регистрации нейтронов и гамма-квантов при облучении пучком ионов ${}^4\text{He}$ бериллиевой мишени на циклотроне;

- реализован новый метод разделения импульсов от нейтронов и гамма-квантов в сцинтилляционном спектрометре;

- развиты алгоритмы восстановления энергетического и углового распределений быстрых ионов по спектрам гамма-излучения, рождаемого в ядерных реакциях в плазме токамака, и получены экспериментальные данные об энергетическом и угловом распределении удерживаемых α -частиц, рожденных в реакциях синтеза в плазме токамака JET;

- получена экспериментальная оценка скорости реакции синтеза ${}^3\text{He}(d,p){}^4\text{He}$ в D- ${}^3\text{He}$ плазме токамака JET по измерениям пространственного профиля и интенсивности высокоэнергетического гамма-излучения.

Результаты, выводы и основные положения, выносимые на защиту, в достаточной степени обоснованы.

автореферат соответствует основному содержанию и выводам диссертации. Публикации соискателя в полной мере отражают наиболее значимые моменты проведенных исследований.

В то же время следует высказать несколько замечаний к представленной работе:

1. В представленной работе большое внимание было уделено измерению функций отклика нейтронных спектрометров и восстановлению энергетических спектров

Диссертационная работа М.В.Ильясовой «Применение методов нейтронной и гамма спектрометрии для изучения поведения быстрых ионов в плазме токамака» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 “Физика плазмы” согласно положению о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-технический институт им.А.Ф.Иоффе Российской академии наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 “Физика плазмы”

Диссертационная работа М.В.Ильясовой рассмотрена и обсуждена на семинаре плазменных лабораторий ИЯФ СО РАН. Отзыв утвержден на заседании ученого совета ИЯФ СО РАН (протокол №28 от 18 июля 2022 г.)

Отзыв подготовил:

кандидат физико-математических наук,

с.н.с. ИЯФ СО РАН

телефон +7(383)329-4239

e-mail: s.v.polosatkin@inp.nsk.su

С.В.Полосаткин

Руководитель семинара:

Доктор физико-математических наук,

г.н.с. ИЯФ СО РАН

А.В.Бурдаков

Подписи С.В.Полосаткина и А.В.Бурдакова **ЗАВЕРЯЮ**

Ученый секретарь ИЯФ СО РАН

кандидат физ.-мат. наук

А.В.Резниченко

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерной физики им.Г.И.Будкера Российской академии наук

630090, г.Новосибирск, пр-т Лаврентьева 11

Тел. +7 383 3294760
