

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02),
созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Объединенного института высоких температур
Российской академии наук
(125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2)
от 21 декабря 2022 г. (протокол № 33)

Защита диссертации **Кормилицына Тимофея Михайловича**
на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук
**«Развитие методов нейтронной диагностики термоядерной плазмы токамака в
условиях интенсивного дополнительного нагрева»**

Специальность 1.3.9 – физика плазмы

Москва – 2022

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02),
созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Объединенного института высоких температур
Российской академии наук
(125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2)
Протокол № 33 от 21 декабря 2022 г.

Диссертационный совет 24.1.193.01 (Д 002.110.02) утвержден Приказом Министерства образования и науки РФ от 26.01.2022 г. № 86/нк в составе 31 человека. На заседании присутствуют 24 человека, из них 10 докторов наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы и 12 докторов наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника. Дополнительно введены на разовую защиту 0 человек. Кворум имеется.

Председатель – зам. председателя диссертационного совета 24.1.193.01
д.ф.-м.н., профессор Андреев Н.Е.

Ученый секретарь – ученый секретарь диссертационного совета 24.1.193.01
к.ф.-м.н. Тимофеев А.В.

| | | | | |
|----|-------------------|-------------------------------------|--------|--------------|
| 1 | Петров О.Ф. | Академик, д.ф.-м.н., профессор | 1.3.9 | Подключен |
| 2 | Андреев Н.Е. | Д.ф.-м.н., профессор | 1.3.9 | Присутствует |
| 3 | Храпак А.Г. | Д.ф.-м.н., профессор | 1.3.14 | Присутствует |
| 4 | Тимофеев А.В. | К.ф.-м.н. | 1.3.9 | Присутствует |
| 5 | Агранат М.Б. | Д.ф.-м.н., с.н.с. | 1.3.14 | Подключен |
| 6 | Амиров Р.Х. | Д.ф.-м.н., с.н.с. | 1.3.9 | Отсутствует |
| 7 | Баженова Т.В. | Д.ф.-м.н., профессор | 1.3.9 | Отсутствует |
| 8 | Вараксин А.Ю. | Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор | 1.3.14 | Присутствует |
| 9 | Васильев М.М. | Д.ф.-м.н. | 1.3.9 | Подключен |
| 10 | Васильев М.Н. | Д.т.н., профессор | 1.3.14 | Присутствует |
| 11 | Василяк Л.М. | Д.ф.-м.н., профессор | 1.3.9 | Присутствует |
| 12 | Воробьев В.С. | Д.ф.-м.н., профессор | 1.3.9 | Отсутствует |
| 13 | Гавриков А.В. | Д.ф.-м.н., доцент | 1.3.9 | Подключен |
| 14 | Голуб В.В. | Д.ф.-м.н., профессор | 1.3.14 | Присутствует |
| 15 | Грязнов В.К. | Д.ф.-м.н. | 1.3.14 | Подключен |
| 16 | Дьячков Л.Г. | Д.ф.-м.н. | 1.3.9 | Присутствует |
| 17 | Еремин А.В. | Д.ф.-м.н., профессор | 1.3.14 | Присутствует |
| 18 | Зейгарник Ю.А. | Д.т.н., с.н.с. | 1.3.14 | Присутствует |
| 19 | Зеленер Б.Б. | Д.ф.-м.н. | 1.3.9 | Подключен |
| 20 | Иосилевский И.Л. | Д.ф.-м.н., профессор | 1.3.9 | Подключен |
| 21 | Киверин А.Д. | Д.ф.-м.н. | 1.3.14 | Присутствует |
| 22 | Кириллин А.В. | Д.ф.-м.н. | 1.3.14 | Подключен |
| 23 | Лагарьков А.Н. | Академик, д.ф.-м.н., профессор | 1.3.9 | Отсутствует |
| 24 | Левашов П.Р. | К.ф.-м.н. | 1.3.14 | Присутствует |
| 25 | Ломоносов И.В. | Д.ф.-м.н., профессор | 1.3.14 | Отсутствует |
| 26 | Медин С.А. | Д.т.н., профессор | 1.3.14 | Подключен |
| 27 | Норман Г.Э. | Д.ф.-м.н., профессор | 1.3.9 | Присутствует |
| 28 | Пикуз С.А. | К.ф.-м.н. | 1.3.9 | Отсутствует |
| 29 | Савватимский А.И. | Д.т.н. | 1.3.14 | Подключен |
| 30 | Филиппов А.В. | Д.ф.-м.н., профессор | 1.3.9 | Присутствует |
| 31 | Яньков Г.Г. | Д.т.н., с.н.с. | 1.3.14 | Отсутствует |

ПОВЕСТКА ДНЯ

На повестке дня защита диссертации начальника сектора ДМНП Отдела нейтронной и спектроскопической диагностики Частного учреждения Государственной корпорации по атомной энергии "Росатом" "Проектный центр ИТЭР" (Частное учреждение «ИТЭР-Центр») Кормилицына Тимофея Михайловича на тему «Развитие методов нейтронной диагностики термоядерной плазмы токамака в условиях интенсивного дополнительного нагрева». Диссертация впервые представлена на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы. Диссертация выполнена в Отделе нейтронной и спектроскопической диагностики Частного учреждения «ИТЭР-Центр» (123182, г. Москва, площадь ак. Курчатова 1, строение 3, iterrf.ru)

Научный руководитель:

Кащук Юрий Анатольевич – к.ф.-м.н., начальник Отдела нейтронной и спектроскопической диагностики Частного учреждения Государственной корпорации по атомной энергии "Росатом" "Проектный центр ИТЭР", г. Москва.

Официальные оппоненты:

Бурдаков Александр Владимирович – гражданин РФ, д.ф.-м.н., главный научный сотрудник лаборатории 10 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт Ядерной Физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской Академии наук (630090 Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, д. 11, (383) 329-4760 inp.nsk.ru, A.V.Burdakov@inp.nsk.su),

Романников Александр Николаевич – гражданин РФ, д.ф.-м.н., Научный руководитель по управляемому термоядерному синтезу и плазменным технологиям Акционерного Общества "ГНЦ РФ "Троицкий Институт Инновационных и Термоядерных Исследований" (108840, г. Москва, г. Троицк, ул. Пушкиных, вл. 12, (495) 841-5309, triniti.ru, romannikov@triniti.ru).

Ведущая организация:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», (115409, г. Москва, Каширское шоссе, д. 31, (495) 788-5699, mephi.ru, info@mephi.ru)

На заседании присутствуют официальные оппоненты д.ф.-м.н. Бурдаков А.В (удаленное подключение) и д.ф.-м.н. Романников А.Н., научный руководитель Кормилицына Т.М. к.ф.-м.н. Кащук Ю.А.

СТЕНОГРАММА

Председатель

Уважаемые коллеги, мы приступаем к защите. Алексей Владимирович, ознакомьте нас, пожалуйста, с документами, имеющимися в деле.

Ученый секретарь

Дорогие коллеги, начну с организационной части. Напоминаю, что члены диссовета будут голосовать в электронной системе на сайте, поэтому надо будет проверить авторизацию на сайт. Напоминаю, что заседание у нас проходит в очно-дистанционном режиме, поэтому те, кто присутствуют очно – вопросы и комментарии просьба озвучивать в микрофон, чтобы члены диссовета, которые участвуют дистанционно тоже слышали и, соответственно, могли дополнять при необходимости. Итак, *зачитывает данные о соискателе по материалам личного дела и сообщает о соответствии представленных документов требованиям ВАК Министерства науки и высшего образования РФ.*

Председатель

Есть вопросы? Если нет, тогда мы, можем перейти к защите. Тимофей Михайлович, 20 минут, пожалуйста, ознакомьте нас с вашими результатами.

Кормилицын Т.М.

Выступает с докладом по диссертационной работе (выступление не стенографируется, доклад Кормилицына Т.М. прилагается).

Председатель

Спасибо, Тимофей Михайлович. Значит, у нас время для вопросов по доложенному материалу. Напоминаю, что *(задавать их)* в микрофон необходимо обязательно, чтобы слышали дистанционные участники нашего заседания.

Василяк Л.М.

У меня два вопроса к докладчику.

Первый вопрос – об интенсивном дополнительном нагреве. Я как-то не услышал - в чём его специфика и почему пришлось делать новый диагностический метод. Что за сложность? Это обычный ВЧ нагрев, или это нагрев быстрыми нейтральными потоками-пучками дейтерия? Или что это?

Кормилицын Т.М.

Спасибо за вопрос, я, может быть, недостаточно подробно упомянул этот момент, на современных установках с ростом их масштаба мощность дополнительного нагрева, включая инъекцию быстрых нейтралов, ионно-циклотронный нагрев, электронно-циклотронный нагрев, мощность их все выше, энергия инжектируемых частиц всё больше, и они приводят к всё большему искажению, можно сказать, функции распределения быстрых ионов, отличающейся от Максвелловского распределения. На действующих установках эта проблема не так сильно видна.

Василяк Л.М.

Почему предыдущие методы диагностики перестают работать?

Кормилицын Т.М.

Ввиду того, что они основаны на предположении, что плазма с хорошей точностью Максвелловская, и мощность нагрева в ней не такая большая, и процессы термализации быстрых частиц в плазме преобладают над методами нагрева.

Председатель

Спасибо. Еще есть вопросы?

Василяк Л.М.

Да.

Председатель

Пожалуйста.

Василяк Л.М.

Будьте добры, объясните, поскольку это диагностика – это экспериментальный метод, обычно диагностику верифицируют на каком-то известном объекте, для того чтобы верифицировать, во-первых, энергию, а во-вторых, количество реальное испускаемых нейтронов из реального источника. Для этого необходимо свериться с той диагностикой в какой-то области параметров, которая существует и уже известна. Это как-то не прозвучало, можно пояснить?

Кормилицын Т.М.

Да, я проскочил этот вопрос довольно быстро по поводу нейтронного генератора, который мы использовали для...

Василяк Л.М.

Нет, не по фоновому излучению, про которое вы говорили, я имею в виду реальный объект.

Кормилицын Т.М.

Да-да, я имею в виду нейтронный генератор, который мы использовали для проверки нашего метода. Здесь я хочу сказать, что его энергетическое распределение, пространственное и его полный выход нам известны с достаточно хорошей точностью, потому что для его анализа мы использовали во-первых, достаточно апробированные методики моделирования нейтронного излучения генератора, во-вторых, для определения полного выхода его мы использовали образцы-свидетеля на основе индия, т.к. активационная методика.

Василяк Л.М.

Спасибо.

Председатель

Спасибо, еще вопросы, пожалуйста. Да. Только в микрофон, пожалуйста, Юрий.

Куриленков Ю.К.

Очень много информации, докладчик довольно быстро говорил. Поясните, пожалуйста, в качестве ликбеза, может быть, не все это знают, почему у вас с увеличением температуры погрешность метода может уменьшаться.

Кормилицын Т.М.

Ввиду того, что сечение термоядерной реакции с температурой, по сути, растет, по крайней мере до примерно 25 кэВ, на самом деле для дейтерий-дейтериевой и выше, выход нейтронный больше, а значит, статистика на детекторе тоже больше, что позволяет более точно восстанавливать форму спектра нейтронов.

Куриленков Ю.К.

Только связано с большим выходом нейтронов?

Кормилицын Т.М.

По сути – да.

Куриленков Ю.К.

Спасибо.

Председатель

Есть ли еще вопросы? Если у присутствующих – нет, то может, дистанционно участвующие члены совета имеют вопросы? Их нам как-нибудь видно? Видно, но не слышно. Никто не хочет задать вопрос из отсутствующих в зале? Спасибо. Тогда мы двигаемся дальше по повестке, и мы должны ознакомиться с отзывом научного руководителя. Юрий Анатольевич, пожалуйста, в микрофон, будьте любезны. Спасибо.

Кащук Ю.А.

Добрый день, уважаемые члены совета. Мой официальный отзыв находится в деле, я здесь, если разрешите, добавлю немного информации и своих впечатлений о работе с нашим соискателем, дополнительно к отзыву. Может быть, несколько слов об актуальности еще, которые не успел сказать Тимофей.

Председатель

Вы знаете, в этом отзыве вообще должен быть отзыв о соискателе, а не о его работе.

Кащук Ю.А.

Да-да, он показал и актуальность, и научную новизну, я просто хотел добавить немного к тому, что он не успел сказать.

Хочу остановиться на личных качествах соискателя и работы с ним. Он пришел к нам студентом-бакалавром, сделал магистерский диплом, учился в аспирантуре, за это время показал себя целеустремленным и очень самоорганизованным студентом, в последствии – аспирантом. И тут нужно только поблагодарить Физтех за уровень подготовки студентов, и за то, что студентов Физтех готовит целеустремленными, которые могут быстро сориентироваться и в новой неизвестной области знаний, и поставить цели, и достигать их. Тимофея еще отличает, конечно, высокий уровень работоспособности и трудолюбия, потому что он втянулся в большой проект, которым является ИТЭР. Там есть свои особенности, которые связаны с большим кругом общения людей – с учёными, в подготовке и разработке документов и анализе. Достаточно в краткий срок Тимофей смог организовать работу и, вообще говоря, возглавить работу по нескольким направлениям. Еще будучи аспирантом, он стал руководителем сектора, фактически, ведет три или четыре направления, которые требуют его работы как учёного, эксперта по работе с инженерами и конструкторами, и это важно, что Тимофей смог это дело быстро поднять и освоить. Хотел сказать про актуальность его работы, но не получается (*т.к. отзыв не о работе*). Наверное, очень важно подчеркнуть его личные качества - лидерские качества, не только организует работу, но и смог привлечь к нам в лабораторию – притягивает его работа и его отношение к работе в нашу лабораторию – студентов и аспирантов Физтеха, которые приходят и работают с ним, мне это очень нравится. Ну и, наверное, последний момент, Тимофей является одним из 4-х экспертов по нейтронной диагностике, которые представляют нашу страну в ИТРА – International Tokamak Physics Activity – это его признание не только как специалиста у нас, но и в международной научной общественности. Поэтому, я считаю, что Тимофей Михайлович – уже сложившийся и современный молодой учёный, его квалификационная работа удовлетворяет требованиям ВАК и правилам оформления, а сам он заслуживает присвоения степени кандидата физ.-мат. наук – это мое мнение, как научного руководителя.

Председатель

Спасибо большое. Алексей Владимирович, вы ознакомите, наверное, нас с отзывами? Всеми, которые есть, начиная с организации, где выполнялась работа и так далее.

Ученый секретарь

Дорогие коллеги, у нас есть целый ряд документов. Диссертация была выполнена в Отделе нейтронной и спектроскопической диагностики **Частного учреждения Государственной корпорации по атомной энергии "Росатом" "Проектный центр ИТЭР"**, отсюда у нас есть заключение. Наверное, детали заключения, описывающие диссертацию, я повторять не буду, они уже в значительной степени были озвучены. Я перейду к заключению. Диссертация «Развитие методов нейтронной диагностики термоядерной плазмы токамака в условиях интенсивного дополнительного нагрева» Кормилицына Тимофея Михайловича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы. Подписано учёным секретарём и утверждено директором, доктором физ.-мат. наук **Красильниковым Анатолием Витальевичем**.

Кроме того, на диссертационную работу Тимофея Михайловича есть отзыв **ведущей организации**. Ведущей организацией у нас выступил **Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ»**. Отзыв составлен **Юрием Михаэловичем Гаспаряном**, заведующим кафедрой физики плазмы Института Лазерных и Плазменных Технологий НИЯУ МИФИ, кандидатом физ.-мат. наук, **Александром Александровичем Писаревым**, профессором отделения лазерных и плазменных технологий офиса образовательных программ НИЯУ МИФИ, **Андреем Петровичем Кузнецовым**, директором Института лазерных и плазменных технологий НИЯУ МИФИ и **Николаем Алексеевичем Кудряшовым**, председателем совета по аттестации и подготовке научно-педагогических кадров. Утверждено – исполняющим обязанности ректора НИЯУ МИФИ, доктором физ.-мат. наук – **Олегом Викторовичем Нагорновым**. В отзыве ведущей организации достаточно подробно описаны диссертация, содержания глав, научная новизна, достоверность. Есть четыре **замечания**, замечания следующие:

- Литературный обзор очень лаконичен, ограничен анализом методов спектрометрии быстрых нейтронов и соответствующим техническим деталям. Учитывая специальность, было бы правильно подробнее рассмотреть методы нагрева плазмы и особенности горячей плазмы в условиях дополнительного нагрева.
- Название диссертации слишком широкое, так как в работе обсуждается только нагрев плазмы за счет нейтральной инжекции.
- В работе не рассмотрен вопрос решения обратной задачи для восстановления распределения быстрых нейтронов по энергиям. Эта задача является логичным развитием данного исследования.
- В работе можно найти опечатки, синтаксические и орфографические ошибки. Часть подписей к рисункам в диссертации содержат подписи на английском языке.

Сделанные замечания не снижают научной значимости и не влияют на общую положительную оценку диссертации и высокую научную и практическую значимость работы.

В заключении, если позволите, сокращу: сказано, что диссертационная работа Тимофея Михайловича удовлетворяет требованиям пунктов 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор, Кормилицын Тимофей Михайлович,

заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9. - физика плазмы, за развитие методов нейтронной диагностики высокотемпературной плазмы.

Кроме этого, **на автореферат получено 4 отзыва**. Все отзывы положительные, я вам последовательно их озвучу.

(Первый отзыв) Первый отзыв получен из Федерального государственного бюджетного учреждения науки **Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе Российской Академии Наук** от старшего научного сотрудника, кандидата физ.-мат. наук, **Шевелева Александра Евгеньевича**. Отзыв положительный, с двумя уточняющими вопросами. *(Отзыв заверен ученым секретарём, к.ф.-м.н. Патровым Михаилом Ивановичем).*

- Интенсивность сцинтилляции, вызванной торможением продуктов (n,p) реакции в хлорсодержащем детекторе, зависит от массы частицы. Насколько, в таком случае, справедливо предположение о пропорциональности энергии регистрируемого нейтрона энергии регистрируемых осколков реакции?

- На рис.5 стр.14 видно расхождение результатов эксперимента и модели, что может быть объяснено отсутствием в модели детально проработанной конструкции нейтронного генератора. В связи с этим вопрос – какие еще приближения были использованы в рамках решения данной задачи, в частности, учтены ли при моделировании источника НГ анизотропия нейтронного излучения по направлению и энергии?

Отзыв положительный, о соответствии «Положению о присуждении ученых степеней», и рекомендация о присуждении учёной степени присутствует.

(Второй отзыв) Перехожу к следующему отзыву. Отзыв получен из Автономной некоммерческой организации **«Координационный Центр «Управляемый Термоядерный Синтез – Международные Проекты»**, от начальника отдела диагностики СВЛ **Алексеева Андрея Геннадьевича**. Отзыв положительный, замечаний не указано. *(Отзыв заверен директором организации Розынькой Геннадием Ивановичем).*

(Третий отзыв) Следующий отзыв получен из Федерального государственного бюджетного учреждения **«Национальный исследовательский центр «Курчатовский Институт»**, отзыв положительный, представлено три замечания. *(Отзыв составлен д.ф.-м.н. Вуколовым Константином Юрьевичем, заверен Борисовым Кириллом Евгеньевичем, главным ученым секретарем).*

- Стилистика изложения материала и использование узкопрофессиональных терминов,
- Краткое и в некоторых случаях недостаточно подробное объяснение результатов и выводов,
- Отдельно следует отметить отсутствие в исследовании решения задачи восстановления локального нейтронного спектра по откликам детекторов, для детекторов с классической (Гаусс подобной) функцией отклика данная задача решается достаточно тривиально.

(Четвертый отзыв) И четвертый отзыв получен из Акционерного Общества **«Государственный Научный Центр Российской Федерации «Троицкий Институт Инновационных и Термоядерных Исследований»**, отзыв составил **Анатолий Михайлович Житлухин**, директор отделения магнитных и оптических исследований. В

качестве замечаний в отзыве указано следующее. (*Отзыв заверен ученым секретарём, к.ф.-м.н Ежовым Александром Александровичем*).

- При приведении полученных в токамаках рекордных данных (стр. 3) хотелось бы рекомендовать более четко разделять времена энергетического удержания плазмы и времена поддержания тока, а то может сложиться впечатление, что на токамаке EAST получено время удержания плазмы в сотни и тысячу секунд.

- Было бы желательно наличие хотя бы кратких пояснений по расхождению модельного отклика хлорсодержащего сцинтиллятора и результатов эксперимента, приведенных на рисунке 5 (стр 14).

Отзыв положительный, указано, что все перечисленные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей значимости диссертационной работы. Автор отзыва считает, что Тимофей Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физ.-мат. наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы.

Председатель

Спасибо. Тимофей Михайлович, вам время для ответов на замечания, и вы, пожалуйста, их объединяйте, в частности про решение обратной задачи в двух отзывах было отмечено, не нужно отвечать два раза.

Кормилицын Т.М.

Я надеюсь, меня хорошо слышно. Я начну с замечаний **ведущей организации**. Действительно, литературный обзор достаточно краткий. Методов нагрева плазмы существует достаточно много, каждый из которых в разной степени тяжести влияет на общее равновесное состояние плазмы. И хочу сказать, что экспериментальная база данных, доступная нам в этом направлении, достаточно узка, и в рамках моих исследований я фокусировался на тех методах нагрева, которые напрямую и максимальным образом влияют на фракцию быстрых ионов в плазме. Стоит сказать, что среди них, естественно, наиболее мощным является инжекция быстрых нейтралов, в т.ч. и на действующих установках, на которых присутствуют также методы ионно-циклотронного резонанса и электронно-циклотронного резонанса.

Про название диссертации могу сказать, что предложенные в работе методы и способы анализа спектра нейтронов они, вообще говоря, подходят и для случая нагреваемой плазмы, как в условиях инжекции, так и ионно-циклотронного резонанса. Могу сказать, что функция распределения в зависимости от выбранного сценария может учитывать и этот, и другие способы нагрева. В этом смысле, актуальность результатов для плазмы, нагреваемыми несколькими способами тоже присутствует.

Про вопрос решения обратной задачи хочу сказать следующее – задача восстановления локального спектра быстрых нейтронов по энергии для детекторов с классической формой отклика решается достаточно тривиально, как и заметил Константин Юрьевич Вуколов. Ее решение проводится достаточно широко апробированными и известными способами, и не привнесло бы в работу какой-то дополнительной новизны. И по результатам работы можно видеть, что понимание того, как этот детектор работает, было достигнуто, его основные характеристики – изучены. Значит, на следующих этапах, можно будет использовать эти широко апробированные методы для продолжения данной работы в плане восстановления локального спектра быстрых нейтронов.

Ну и естественно, по стилистике – благодарю за комментарии и принимаю возражения.

По автореферату хочу сказать про вопрос, который Александр Евгеньевич поднял по поводу продуктов (n,p)-реакции в хлоре – действительно, есть такой момент. Однако в эксперименте нам удалось подтвердить пропорциональность регистрируемой энергии протона – энергии налетающего нейтрона. Однако, дополнительно стоит отметить, что данный процесс вносит уширение в наблюдаемый нейтронный спектр, т.к. эффективно снижает энергетическое разрешение, что на практике не очень удобно. Однако, так как этот процесс определяется, по сути, кинематикой (n,p)-реакции, учёт этого процесс процесса мог бы позволить нам улучшить характеристики нашего нового метода нейтронной спектроскопии.

Расхождение эксперимента и модели, действительно, вызвано отсутствием в модельном эксперименте самой модели нейтронного генератора – его конструктива – ввиду того это покупное изделие ВНИИА им. Духова, и его наполнение для нас в некотором смысле неизвестно. Однако, моделировали мы источник достаточно детально – включая наличие в пучке ионов как молекулярного, так и атомарного дейтерия, что, вообще говоря, сильно влияет на кинематику и по направлению, и по энергии. Эти вопросы были учтены.

По комментариям Вуколова К.Ю., хочу сказать, что по стилистике возражения принимаются и постараюсь в следующих работах это учитывать.

Про отклик – про восстановление локального спектра – я уже сказал в ответе на замечания ведущей организации.

По замечаниям Житлухина А.М, опять же, по расхождению модельного отклика (*с экспериментом*) – слова были сказаны.

Про время удержания – естественно, на токамаке EAST, имеется в виду время поддержания тока в плазме, энергетическое время удержания плазмы – сильно ниже. Однако, эти эксперименты всё еще представляют из себя очень интересную экспериментальную базу для проверки длительного разряда, длительного удержания быстрых частиц, и нейтронной диагностики в этих разрядах тоже коллегам из Китая не хватает.

Пожалуй, по замечаниям – это всё.

Председатель

Спасибо, Тимофей Михайлович. Мы переходим к оценке работы официальными оппонентами, и из двух официальных оппонентов у нас здесь присутствует один – это Романников Александр Николаевич. Пожалуйста, ознакомьте нас с вашей оценкой работы.

Романников А.Н.

Добрый день, уважаемые коллеги. Я хочу представить отзыв официального оппонента на работу Кормилицына Тимофея Михайловича. Я буду краток. В диссертационной работе главное место отведено нейтронной спектроскопии, как методу диагностики термоядерной плазмы. Недавние достижения в области физики термоядерной дейтериевой плазмы, а также последние результаты D-T кампании на JET-e, где была достигнута рекордная термоядерная мощность, лишь подчеркивают актуальность выбранной темы. Я хочу обратить внимание, что у Российской Федерации были определенные сложности после заключения договора с ИТЭР-ом о поставке нейтронных спектрометров, измерителей нейтронов всякого рода. Дело в том, что реальная плазма – D-D и D-T, которая даст большое количество нейтронов, появится в 36-37 году. Те эксперименты, которые начнутся в ближайшее время (где-то в 25 году) – это будет D-D плазма в лучшем случае и параметры ее будут скромны – на уровне пусковых режимов. Несколько лет эти пусковые режимы, естественно, будут существовать. Диагностику – в данном случае

нейтронную – нужно поставить уже сегодня, и международная организация, видя экспериментальные работы, которые по юстировке проведены, с нейтронным генератором, с питерским ускорителем, они посчитали это доказательной базой, подтверждающей уже сейчас, что данные методы нейтронной диагностики будут работать в 37 году. Научную и практическую значимость мы все слышали и видели, она несомненна, научная новизна и достоверность были представлены. Основное содержание диссертации тоже представлено в моем отзыве. Но, есть замечания по содержанию.

(Замечание 1) Чем обусловлены требования, предъявляемые к нейтронным диагностикам, разрабатываемым для ИТЭР, в части измерительных характеристик? Чем «Нейтронный спектрометр» выделяется на фоне других разрабатываемых нейтронных диагностик, в частности, например, Радиальной Нейтронной Камеры?

(Замечание 2) В работе явно недостаточно освещен вопрос допущений, сделанных автором при переходе от выходных данных одного расчётного кода к входным данным другого в рамках предложенной методологии. Рассматриваются ли автором альтернативные варианты программного обеспечения, используемого в рамках решения прямой задачи, и если да, то какие?

(Замечание 3) Стиль изложения диссертации весьма сух и полон англицизмов, что усложняет восприятие материала. Часть подписей к иллюстрациям приведена на английском.

Тем не менее, я хочу сказать сразу, что несмотря на то, что Тимофей тянется больше к теоретическим и расчётным работам, но когда возникла необходимость заняться реальным «железом», он показал себя также на хорошем уровне. Все замечания и вопросы к диссертанту носят рекомендательный характер и не снижают ценности диссертационной работы. Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, и ее автор Кормилицын Тимофей Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы.

Председатель

Спасибо, Александр Николаевич. Тимофей Михайлович, пожалуйста, время для ваших ответов.

Кормилицын Т.М.

Я начну, пожалуй. Спасибо за замечания, они крайне полезны.

(Замечание 3) Про стилистику сразу скажу, что, действительно, стоит над этим поработать. Теперь - к замечаниям по сути.

(Замечание 1) Требования, которые предъявляются по динамическому диапазону по параметрам к нейтронным диагностикам, в частности, и к другим диагностикам определяются в основном научным планом ИТЭР и целевыми разрядами, которые планируется там достигать. Однако, с точки зрения временного разрешения, требования определяются в основном длительностью переходных процессов в плазме, развитием неустойчивостей, пилообразных колебаний. И одной из важных задач здесь является возможность отследить момент срыва плазмы, или, по крайней мере, как минимум, ухода высокоэнергичных частиц из центра шнура к его краям, как раз в случае пере-замыкания магнитных поверхностей. Этот процесс и является определяющим в плане требований к нейтронной диагностике по времени. Про Нейтронный спектрометр хочу сказать, что эта диагностика довольно сильно выделяется на фоне других диагностических комплексов, которые планируется в рамках ИТЭР поставить. Во-первых – крайне длительным

коллиматором – это одна из самых удаленных от плазмы диагностик, и отношение сигнал-шум – то есть отношение потока прямых нейтронов к рассеянным быстрым – просто фантастическое, по сравнению с некоторыми другими системами. Достаточно сильно упрощает ситуацию задачу тот факт, что детекторы легко обслуживать, они находятся вне вакуума, никак к нему не подключены, и этот факт сразу снимает огромное количество сопутствующих требований для этой диагностики. И естественно, достаточно высокая чувствительность предусмотрена нами в плане, по крайней мере, сцинтилляционного детектора, и это позволяет в широком диапазоне энергий измерять как D-D, так и D-T нейтроны. Не у всех диагностик эта история присутствует. По сравнению с Радиальной Нейтронной Камерой стоит сказать, что наша диагностика сильно проще, обладает всего одним коллиматором, у Радиальной Нейтронной Камеры их более десятка. Цели у них совершенно разные, Радиальная Нейтронная Камера нацелена в первую очередь на профиль нейтронного источника, но никак не на спектр быстрых нейтронов.

(Замечание 2) По кодам, стоит сказать, что это важный вопрос. Данные сценариев, которые рассчитаны в программном обеспечении ASTRA, мы используем в полной мере, без каких-либо ухищрений. Точность предсказаний этого кода определяется допущениями самого кода, например, тем фактом, что функция распределения быстрых ионов, которая там задается – усреднена по магнитным поверхностям. С другой стороны, например, Монте-Карло расчёт, который был проведен для анализа транспорта быстрых нейтронов, использует серьезное приближение в плане ионной температуры источника, там она задается постоянной, хотя мы знаем, что она сильно меняется с малым радиусом плазмы. Однако, стоит сказать, что основная мощность источника задается ближе к центру, где ионная температура соответствует заданному сценарию. Альтернативные варианты ПО, естественно, рассматриваются, для моделирования используется широкий набор кодов, в качестве альтернатив можно назвать, например, NUBEAM или TRANSP, однако с ними есть проблемы с лицензированием ввиду того, что это коды, которые разрабатываются в Соединенных Штатах. То же самое можно сказать про MCNP, с которым возникли проблемы даже у французского коллектива, и они сейчас аккуратно смотрят в сторону того кода, который разрабатывается в Кадараше, буквально около ИТЭР-а, который называется TRIPOLI. Также мы начали в нашем коллективе работу над OpenMC, кодом Монте-Карло моделирования с открытым исходным кодом.

Председатель

Спасибо, Тимофей Михайлович. Мы сейчас должны перейти к отзыву второго оппонента, он присутствует у нас дистанционно, это – Бурдаков Александр Владимирович, из Института Ядерной Физики имени Г.И. Будкера. Как нам его увидеть и услышать?

Бурдаков А.В.

Я подключился, наверное, меня слышно.

Председатель

Да, мы вас слышим, хотя не очень громко. Если есть возможность, пожалуйста, чуть погромче. И включите, пожалуйста камеру.

Бурдаков А.В.

Все атрибуты, которые необходимы для отзыва, они в нем, естественно, присутствуют. Если говорить про актуальность, то в последние годы термояд развивается высокими темпами. Все вы, наверное, знаете, что недавно на лазерной установке получено зажигание. Ну а диссертация посвящена основному продукту термоядерной реакции – нейтронам, поэтому она актуальна, и эта тема будет со временем только развиваться. В

отзыве говорится об особенностях, обоснованности, значимости. При анализе содержания диссертации я бы отметил следующее – эта диссертация содержит оптимальное соотношение между расчётами и экспериментом. Это очень, на мой взгляд, положительное качество диссертации, в особенности если говорить о том, что в ней разработана и тщательно проанализирована новая диагностика на основе сцинтилляторов с хлором. Проведены очень тщательные и всесторонние исследования этого нового метода диагностики, и это, конечно, украшает диссертацию. Еще, конечно следует отметить пункт, который называется «достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации». В начале – достоинства. Работа представляет собой подробный научный труд, имеющий несомненную ценность как для научного сообщества, так и для широкого применения полученных результатов. Тем не менее, имеются замечания по тексту диссертации:

(Замечание 1) На стр. 13 говорится, что изотропность процесса рассеяния нейтрона на водороде является предположением. Разве это не твердо установленный факт?

(Замечание 2) Рисунок 1.1(3) на стр.14 приведен на английском языке без ссылки на источник, шкала по энергии не обозначена, можно только догадываться нейтронам какой энергии соответствует этот спектр. И вообще, почему спектр, полученный в конкретном эксперименте, называется «аппаратный»?

(Замечание 3) Подписи к рис. 1.4(1) сказано, что на рисунке приведена сумма сечений реакций для алмазного детектора, однако, можно понять, что это не сумма сечений, а нечто другое. Требуется пояснения.

(Замечание 4) В работе опущена задача расчёта и анализа вклада от нейтронного источника, вызванного наработкой в плазме высокоэнергетических альфа-частиц, как продуктов D-T реакции. Данный процесс может приводить к еще большему уширению спектра термоядерных нейтронов, можно ли им пренебрегать при моделировании нейтронного источника?

(Замечание 5) В диссертации имеются опечатки. Много рисунков на английском языке, даже сделанные автором (рис 3.3(1), на рис. 1.1(1) не обозначена ось с величинами сечения и не приводится ссылка на источник, на рис. 1.5(2) не приведена ссылка на источник. Диссертация содержит англицизмы (типа «валидированы» на стр. 8), на стр. 36 приведена фраза «менее линейный режим работы», как это понимать? На стр. 38 дается ссылка на рис. 3.2(4), хотя по смыслу это рис. 3.3(1).

В целом можно отметить, что диссертация Кормилицына Тимофея Михайловича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, на мой взгляд очень хорошую. Она соответствует всем требованиям положений, а ее автор заслуживает присвоения искомой учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы.

Председатель

Спасибо, Александр Владимирович. Тимофей Михайлович, пожалуйста. Время для ответа.

Кормилицын Т.М.

Спасибо.

(Замечания 1 и 5) Во-первых, претензии к стилистике, они принимаются, буду над этим работать более активно.

(Замечание 2) Про рисунок, который представлен на странице 14, хотелось бы сказать, что это аппаратный спектр детектора сцинтилляционного, в ходе разряда JET, представлен в шкале каналов, ввиду отсутствия полноценной калибровки, однако можно

утверждать, что энергетический диапазон там был как минимум от 1 МэВ-а до 14. И, соответственно, он служит лишь подтверждением того факта, что с помощью этого детектора можно мерять одновременно и те, и те нейтроны, то есть – в широком энергетическом диапазоне. Ссылка на работу на самом деле в диссертации присутствует, однако в подписи к рисунку ее, как таковой, нет. Она – за номером 31.

(Замечание 3) С замечанием насчёт суммы сечения реакции – в целом согласен – на рисунке представлено полное сечение взаимодействия нейтрона с углеродом – то есть то, что является на деле суммой всех парциальных. Помимо него для наглядности представлены только сечение реакции взаимодействия с возникновением вторичного нейтрона и сечение (n,α) -реакции, как целевой для нашего детектора, с образованием продуктов – альфы и бериллия, кинетическая энергия которых пропорциональна энергии регистрируемого нейтрона. В этом смысле ее ценность в том как раз, что в результате не возникает никакого вторичного нейтрона, и вся энергия нейтрона, за вычетом энергии реакции идет на кинетическую энергию осколков, что как раз и позволяет спектрометрию нейтронов с помощью алмазного детектора.

(Замечание 4) Про задачу расчёта и анализа вклада от нейтронного источника, который вызван присутствием в плазме быстрых альфа-частиц, родившихся в результате реакций синтеза – хочу сказать, что экспериментальная база по этому вопросу крайне маленькая. За исключением нескольких разрядов JET, это нигде толком не проверялось. В тех работах, которые есть по кампании DTE1, величина эффекта не превышала долей сотых процента ввиду того, что это вопрос не только возникновения в плазме альфа-частиц, но также их удержания эффективного. Тем не менее, эффект в некотором смысле похож на возникновение в плазме быстрого трития, который в большем количестве экспериментов был покрыт, однако его интенсивность не превышала долей процента от излучения Максвелловского плазмы. Конечно, в будущих работах и на более крупных установках этот эффект будет необходимо более детально изучать и сопроводительное моделирование проводить, однако на текущий момент экспериментальной базы для него попросту нет.

Про опечатки я уже сказал. На этом всё, спасибо.

Председатель

Спасибо, Тимофей Михайлович. У нас есть время для дискуссии. Прошу, да, пожалуйста, Анатолий Васильевич.

Филиппов А.В.

Тимофея Михайловича я хорошо знаю по последним годам обучения, как член комиссии по приему государственных экзаменов, на защитах. Последний раз мы заслушивали их совсем недавно, в июне, аспирантов последнего года. Они рассказывали подробно о том, что уже было сделано, когда собираются защищаться. Тимофей Михайлович всегда производил хорошее впечатление, можно сказать, выделялся своими знаниями, квалификацией. Можно сказать, что Физтех совместно с ИТЭР-Центром воспитали очень хорошего сотрудника. Я призываю голосовать «за».

Председатель

Спасибо, Анатолий Васильевич. Кто хочет еще сказать что-нибудь. Да, Леонид Михайлович, прошу вас.

Василяк Л.М.

Также предлагаю поддержать работу и проголосовать за присуждение искомой степени.

Председатель

Я целиком поддерживаю это предложение. Если у удаленных членов совета нет других предложений или желания высказаться, то мы можем переходить к следующему пункту нашей повестки. Да, Юрий, ты хочешь что-то сказать? Если не против, то, пожалуйста, очень кратко.

Куриленков Ю.К.

Я не знаком ни с соискателем, ни с руководителем. Второй раз слушаю эту работу. Безусловно, количество опечаток, англицизмов, коррелирует с манерой быстро докладывать, что не способствует восприятию материала для тех, кто, особенно, не в теме. Но я хочу обратить внимание на самого соискателя. Я приведу краткий пример: выживая в 90-х годах во Франции, я как-то открыл газету, был юбилей Наполеона. Там была дословно приведена характеристика Наполеону куратором, который выпускал его из Эколь Милитэр. Было написано – «сообразителен, мыслит нетривиально, знает математику» и так далее. В конце такая фраза – «пойдет далеко, если судьба позволит». Журналист пишет – «судьба позволила». Так вот у меня такое ощущение, что соискатель пойдет далеко, возможно пойдет дальше и выше, чем токамаки, проблема актуальная. Хотя вот такую ремарку сделаю – когда даже говорят о том, что в NIF-е сейчас получено зажигание, забывают или не очень обращают внимание, что получено 3 мегаджоуля, а лазерной энергии вложено 323. Два порядка еще остаётся, короче, все эти установки, как и токамак – это, скорее, некая технологическая платформа, но на ней можно тренироваться. Мне больше нравится сам соискатель, нежели представление.

Председатель

Спасибо, Юрий. Еще кто-нибудь хочет сказать что-то? Если нет, то заключительное слово вам.

Кормилицын Т.М.

Пожалуй, я бы хотел поблагодарить Физтех и Проектный Центр за предоставленную возможность заниматься таким интересным делом на такой интересной экспериментальной базе, возможностью познакомиться с широким количеством экспертов. На самом деле здесь подходит слайд с благодарностями, потому что часть работы была выполнена еще во время стажировки в конце магистратуры в Международной Организации ИТЭР, и эту возможность окунуться в мир международного сообщества экспертного по токамакам, по физике плазмы, по диагностике очень ценю и благодарю за нее соответствующих людей. В частности, естественно, в большей степени – моего научного руководителя – Юрия Анатольевича Кашука. Спасибо.

Председатель

Спасибо, Тимофей Михайлович. Мы переходим к обязательной части нашего заседания – это голосование. Все присутствующие и не подключенные члены совета голосуют одинаково - дистанционно. Вы хотите сказать что-нибудь, Алексей Владимирович?

Ученый секретарь

Дорогие коллеги, так как заседание проходит у нас в комбинированном очно-дистанционном режиме, голосование проводится с использованием телекоммуникационных систем. То есть все присутствующие члены диссовета входят под своим логином и паролем на сайт ОИВТ РАН (jih.ru), там будет возможность проголосовать. Можете воспользоваться компьютером, расположенным в центре зала, если у вас нет своего устройства.

(Проводится процедура тайного голосования)

Председатель

Рассмотрим результаты голосования. Уважаемые члены совета, все желающие проголосовали. Пожалуйста – результаты голосования.

Ученый секретарь

Дорогие коллеги, голосование закончено. Все голоса получены. На заседании присутствовали **24** члена диссертационного совета, в том числе докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации – **10**. Очно присутствовало **14** членов диссертационного совета, в том числе по профилю рассматриваемой диссертации – **5**. Онлайн присутствовало **10** членов диссертационного совета, в том числе по профилю рассматриваемой диссертации **5**. Получено **24 голоса**, за присуждение степени Тимофею Михайловичу, против – **нет**, воздержалось – **нет**.

Председатель

Спасибо, Алексей Владимирович. Мы должны утвердить результаты сначала, а потом похлопать. Кто «за»? Спасибо, всех тут я вижу. Кто у нас дистанционно – нет возражений никаких? Молчание будем считать согласием. И теперь поздравим соискателя. Спасибо. У меня тогда предложение сейчас завершить работу над проектом заключения.

(Члены диссертационного совета обсуждают проект заключения)

Председатель

Если больше нет предложений, тогда я предлагаю принять с теми замечаниями, которые были зафиксированы, текст нашего заключения. Кто «за»? Спасибо. Удалённо, как мы, не видим возражений? Прошу высказаться тех, кто присутствует удаленно, если есть возражения. Молчание будем считать за согласие. Тогда принимаем наше заключение с теми замечаниями, которые были высказаны. Спасибо. На этом защита у нас завершена.

(Проект заключения принят единогласно)

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.193.01
(Д 002.110.02), СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ
ТЕМПЕРАТУР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 21.12.2022г. № 33

О присуждении Кормилицыну Тимофею Михайловичу, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Развитие методов нейтронной диагностики термоядерной плазмы токамака в условиях интенсивного дополнительного нагрева» по специальности 1.3.9 – физика плазмы принята к защите 17.10.2022г., (протокол заседания № 25) диссертационным советом 24.1.193.01 (Д 002.110.02), созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, Ижорская ул., д. 13, стр. 2, (495)485-8345, jiht.ru), утвержден приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 86/нк от 26 января 2022г.

Соискатель Кормилицын Тимофей Михайлович 1995 года рождения, в 2018 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)».

Работает в должности начальника сектора ДМНП Отдела Нейтронной и Спектроскопической Диагностики Частного учреждения Государственной корпорации по атомной энергии "Росатом" "Проектный центр ИТЭР".

В 2022 году окончил очную аспирантуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)».

Диссертация выполнена в Отделе Нейтронной и Спектроскопической Диагностики Частного учреждения Государственной корпорации по атомной энергии "Росатом" "Проектный центр ИТЭР".

Научный руководитель кандидат физико-математических наук, начальник Отдела Нейтронной и Спектроскопической Диагностики Частного учреждения Государственной корпорации по атомной энергии "Росатом" "Проектный центр ИТЭР", Кашук Юрий Анатольевич.

Официальные оппоненты:

- доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории 10 Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт Ядерной Физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской Академии Наук» Бурдаков Александр Владимирович;

- доктор физико-математических наук, научный руководитель по управляемому термоядерному синтезу и плазменным технологиям Акционерного Общества «ГНЦ РФ «Троицкий Институт Инновационных и Термоядерных Исследований» Романников Александр Николаевич

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» в своем положительном заключении, составленном и.о. заведующего кафедрой физики плазмы Института лазерных и плазменных технологий, к.ф.-м.н. Гаспаряном Ю.М. (утвержденном 30.11.2022г. и.о. ректора, д.ф.-м.н., профессором Нагорновым О.В.) указала, что научная значимость работы определяется в первую очередь востребованностью полученных результатов: они уже применяются при разработке нейтронных диагностик для токамака-реактора ИТЭР, а также будут использованы на действующих установках УТС как в России (Глобус-М2 в ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, TRT в АО «ГНЦ РФ «ТРИНИТИ»), так и за рубежом (EAST в Институте Физики Плазмы АН КНР, KSTAR в Корейском Институте Термоядерной Энергии). Впервые предложен метод нейтронной диагностики высокотемпературной дейтериевой плазмы, основанный на применении сцинтиллятора хлорида лантана. Рассмотренные с помощью моделирования особенности отклика детекторов нейтронной диагностики позволяют интерпретировать результаты измерений для более точного восстановления параметров плазмы. Важным результатом является анализ ограничений, накладываемых на существующие методы нейтронной диагностики плазмы интенсивным дополнительным нагревом, а также альтернативные способы измерения ключевых параметров плазмы – ионной температуры и топливного отношения.

Результаты работы могут быть использованы в научных и научно-образовательных центрах и институтах, проводящих исследования в области физики высокотемпературной плазмы, а также работающих с источниками быстрых нейтронов, в частности, в Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе РАН, в НИЦ «Курчатовский Институт», в ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, АО «ГНЦ РФ «ТРИНИТИ», ФГУП ВНИИА им. Н.Л. Духова, МФТИ (НИУ), НИЯУ МИФИ и НИУ «МЭИ», ОИВТ РАН.

Соискатель является главным автором 5 работ, всего по теме диссертации опубликовано 7 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 6 работ, 8 тезисов в сборниках трудов конференций:

1. *Kormilitsyn T., Polevoi A., Bertalot L., Mironov M., Krasilnikov V., Serikov A., Barnsley R., Kashchuk Yu., Loarte A., Pinches S.*, Assessment of the Fast Particle Spectra for Tangential Spectrometer for H/He and DT ITER Operation” // Proc. of the 45th EPS Conference on Plasma Physics, 2018, P2.1005, 601-604.
2. *Кормилицын Т.М., Портнов Д.В., Кацук Ю.А.* Моделирование спектров быстрых частиц для Тангенциального Спектрометра ИТЭР // Вопросы Атомной Науки и Техники: Серия Термоядерный Синтез, 2018, 41(4)
3. *Kormilitsyn, T., Nemtsev, G., Rodionov, R., Kashchuk, Y., Portnov, D.* Modelling of the NBI contribution to the neutron energy spectra for the ITER Vertical Neutron Camera // Journal of Instrumentation, 2019, 14(10), C10019
4. *Kormilitsyn, T., Obudovsky, S., Kashchuk, Y., Rodionov R., Pankratenko, A., Dzhurik, A.* Application of the LaCl₃(Ce) Scintillator to Fast Neutron Measurements // Physics of Particles and Nuclei Letters, 2021, 18(1), p. 75–81
5. *Kormilitsyn T.M., Obudovsky S.Yu., Rodionov R.N., Pankratenko A.V., Dzhurik A.S., Kashchuk Yu.A. and Krasilnikov A. V.* Novel LaCl₃(Ce)-based spectrometer for deuterium plasma neutron diagnostics // Review of Scientific Instruments 92, 043528 (2021)
6. *Pankratenko A.V., Kormilitsyn T.M., Obudovsky S.Yu., Dzhurik A.S., Kashchuk Yu.A.* Digital Pulse Shape Discrimination Method for D–D Neutron Spectrometry Using the LaCl₃(Ce) Scintillator // Physics of Particles and Nuclei Letters, 2022, 19, p. 66-76
7. *Afanasyev V.I., ..., Kormilitsyn T.M., et al.* Development of the NPA based diagnostic complex in ITER // Journal of Instrumentation, 2022, vol. 17, no. 07, p. C07001

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук»** (и.о. старшего научного сотрудника, к.ф.-м.н. Шевелев А.Е.) – отзыв положительный, с двумя уточняющими вопросами:

- Интенсивность сцинтилляции, вызванной торможением продуктов (n,p) реакции в хлорсодержащем детекторе, зависит от массы частицы. Насколько, в таком случае, справедливо предположение о пропорциональности энергии регистрируемого нейтрона энергии регистрируемых осколков реакции?
- На рис.5 стр.14 видно расхождение результатов эксперимента и модели, что может быть объяснено отсутствием в модели детально проработанной конструкции нейтронного генератора. В связи с этим вопрос – какие еще приближения были использованы в рамках решения данной задачи, в частности, учтены ли при моделировании источника НГ анизотропия нейтронного излучения по направлению и энергии?

2. **Автономная некоммерческая организация «Координационный центр «Управляемый термоядерный синтез – международные проекты»** (Начальник отдела Диагностики СВЛ, к.ф.-м.н. Алексеев А. Г.) – отзыв положительный, без замечаний.

3. **Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный исследовательский центр «Курчатовский Институт»** (заместитель начальника отдела ИТЭР Курчатовского комплекса термоядерной энергетики и плазменных технологий, д.ф.-м.н., Вуколов К.Ю.) – отзыв положительный, с замечаниями:

- Стилистику изложения материала и использование узкопрофессиональных терминов,
- Краткое и в некоторых случаях недостаточно подробное объяснение результатов и выводов,
- Отдельно следует отметить отсутствие в исследовании решения задачи восстановления локального нейтронного спектра по откликам детекторов, для детекторов с

классической (Гаусс подобной) функцией отклика данная задача решается достаточно тривиально.

4. **Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований»** (директор отделения магнитных и оптических исследований, к.ф.-м.н. Житлухин А.М.) - отзыв положительный, с рекомендациями:

- При приведении полученных в токамаках рекордных данных (стр. 3) хотелось бы рекомендовать более четко разделять времена энергетического удержания плазмы и времена поддержания тока, а то может сложиться впечатление, что на токамаке EAST получено время удержания плазмы в сотни и тысячу секунд.
- Было бы желательно наличие хотя бы кратких пояснений по расхождению модельного отклика хлорсодержащего сцинтиллятора и результатов эксперимента, приведенных на рисунке 5 (стр 14).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается:

- д.ф.-м.н., с.н.с. Бурдаков Александр Владимирович является ведущим ученым в области физики высокотемпературной плазмы с интенсивным дополнительным нагревом, а также крупным специалистом по применению инъекции пучков нейтралов в экспериментах по удержанию плазмы в магнитных ловушках.

1. *Postupaev V.V., Batkin V.I., Burdakov A.V., Burmasov V.S., Ivanov I.A., Kuklin K.N., Mekler K.I., Rovenskikh A.F., Sidorov E.N.* Results of the First Plasma Campaign in a Start Configuration of GOL-NB Multiple-mirror Trap // *Plasma Physics and Controlled Fusion*, volume 62, n. 2, p. 025008, 2020;

2. *Popov S.S., Atlukhanov M.G., Burdakov A.V., Ivanov A.A., Kasatov A.A., Kolmogorov A.V., Vakhrushev R.V., Ushkova M.Yu., Smirnov A., Dunaevsky A.* Neutralization of negative hydrogen and deuterium ion beams using non-resonance adiabatic photon trap // *Nuclear Fusion*, Volume 58, n. 9, p. 096016, 2018;

3. *Никишкин А.В., Иванов И.А., Баткин В.И., Бурдаков А.В., Кузлин К.Н., Меклер К.И., Поступаев В.В., Ровенских А.Ф.* Многохордовая пучковая диагностика плазмы на установке ГОЛ-NB // *Физика плазмы*, т. 48, н. 3, стр. 212-221, 2022.

- д.ф.-м.н., Романников Александр Николаевич является признанным специалистом в области физики высокотемпературной плазмы, в частности в вопросах физики токамаков, современных методов нагрева и корпускулярной диагностики плазмы.

1. *Romannikov A.N. and Fusion Research Centre Team* Medium size tokamak T-15MD as a base for experimental fusion research in Russian Federation // *EPJ Web of Conferences*, vol. 149, p. 01007, 2017;

2. *Ongena J., Messiaen A.M., Melnikov A.V., Ragona R., Kazakov Ye.O., Van Eester D., Dnestrovskii Yu.N., Romannikov A.N., Khvostenko P.P., Roy I.N.* Conceptual study of an ICRH system for T-15MD using traveling wave antenna (TWA) sections // *Fusion Engineering and Design*, vol. 146, p. 787-791, 2019;

3. *Khvostenko P.P., Anashkin I.O., Bondarchuk E.N., Romannikov A.N., Chudnovsky A.N., Kavin A.A., Khvostenko A.P., Kirneva N.A., Kuzmin E.G., Levin I.V., Leonov V.M., Lutchenko A.V., Modyaev A.L., Notkin G.E., Roy I.N., Sokolov M.M. Sushkov A.V.* Current status of tokamak T-15MD // *Fusion Engineering and Design*, vol. 164, p. 112211, 2021.

- Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» является широкопрофильной организацией, специализирующейся на подготовке кадров для проведения исследований в области физики плазмы, включая физику

высокотемпературной плазмы и разработку диагностических систем для действующих и проектируемых установок УТС в Российской Федерации и за рубежом.

1. *Dnestrovskiy Yu.N., Danilov A.V., Dnestrovskiy A.Yu., Klyuchnikov L.A., Lysenko S.E., Melnikov A.V., Nemets A.R., Nurgaliev M.R., Subbotin G.F., Soloviev N.A., Sushkov A.V., Sychugov D.Yu., Cherkasov S.V.* Comparison of Plasma Heating at First and Second Electron Cyclotron Harmonics in the T-10 Tokamak // *Plasma Physics Reports*, vol. 42, p. 477-489, 2020;

2. *Gasparyan Y., Bulgadaryan D., Efimov N., Efimov V., Krat S., Popova M., Sinelnikov D., Vovchenko E., Dmitriev A., Elets D., Mukhin E., Razdobarin A., Minaev V., Novokhatsky A., Sakharov N., Varfolomeev V.* Laser-aided diagnostic of hydrogen isotope retention on the walls of Globus-M2 tokamak // *Fusion Engineering and Design*, vol. 172, p. 112882, 2021;

3. *Dnestrovskiy A.Y., Kukushkin A.S., Kuteev B.V., Sergeev V.Y.* Integrated modelling of core and divertor plasmas for the DEMO Fusion Neutron Source hybrid facility // *Nuclear Fusion*, vol. 59, no. 9, p. 096053, 2019.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– С использованием двухкомпонентной модели спектра термоядерных нейтронов предложен метод анализа экспериментальных данных с целью определения характеристик разряда при высокой мощности (десятках МВт) дополнительного нагрева методами инжекции быстрых нейтронов и ионно-циклотронного резонанса. Предложен метод определения граничной энергии быстрых ионов с помощью прямого численного моделирования, выше которого использование нейтронной диагностики может обеспечить анализ характеристик их функции распределения. Показаны существенные ограничения современных методов нейтронной диагностики плазмы, используемых для определения ионной температуры плазмы;

– Теоретически обоснован и экспериментально подтвержден новый метод диагностики высокотемпературной дейтериевой плазмы, основанный на регистрации быстрых нейтронов в результате реакции $^{35}\text{Cl}(n,p)^{35}\text{S}_{g.s.}$ в хлорсодержащих сцинтилляционных детекторах. Показано, что нейтронный спектрометр на основе такого кристалла обладает классической функцией отклика, что значительно упрощает процедуру восстановления исходного распределения быстрых нейтронов по энергии;

– При помощи Монте-Карло методов моделирования транспорта нейтронного излучения через вещество рассчитаны функции отклика нейтронных спектрометров (органического сцинтиллятора, хлорсодержащего сцинтиллятора и алмазного полупроводникового), используемых в настоящее время для диагностики высокотемпературной плазмы. Проведено сравнение результатов расчёта с данными эксперимента. Отклики детекторов нормированы на энергию образовавшихся частиц в объеме детектора, что согласуется с результатами эксперимента. На основании построенных моделей исследованы диапазоны ионной температуры и топливного отношения плазмы, определяемых с помощью разрабатываемой для токамака ИТЭР диагностики при различных значениях временного разрешения с обеспечением требуемой статистической погрешности.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

– проведен анализ влияния интенсивного нагрева плазмы на наблюдаемый спектр быстрых нейтронов, что позволило выявить ограничения существующих методов нейтронной диагностики плазмы;

– показан потенциал использования нейтронной диагностики для исследования характеристик функции распределения быстрых ионов плазмы в условиях высокой мощности нагрева;

– показано влияние распределения по энергии продуктов (n,p)-реакции на хлоре-35 при регистрации термоядерных нейтронов на амплитудное распределение оставленной в кристалле энергии и, как следствие, на отклик нейтронных спектрометров, используемых для диагностики плазмы.

Значение полученных соискателем результатов **исследования для практики подтверждается** тем, что предложен и обоснован новый метод нейтронной диагностики высокотемпературной плазмы на основе спектрометрии ДД нейтронов с помощью сцинтилляционного детектора LaCl_3 . Метод обоснован моделированием функций отклика этого и других нейтронных спектрометров разного типа, что позволяет использовать их для анализа широкого ряда характеристик высокотемпературной плазмы (ионной температуры, топливного отношения, времени замедления быстрых ионов на электронах) и, в частности, функции распределения быстрых ионов. Подходы, использованные при моделировании, широко применяются при разработке нейтронных диагностик токамака-реактора ИТЭР, а также имеют большой потенциал применимости для ряда других российских и зарубежных токамаков.

Результаты диссертационного исследования могут быть рекомендованы для использования в ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, НИЦ «Курчатовский Институт», ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, АО «ГНЦ РФ «ТРИНИТИ», ФГУП ВНИИА имени Н. Л. Духова, МФТИ(НИУ), НИЯУ МИФИ и НИУ МЭИ, ОИВТ РАН.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что она подтверждается согласованным сравнением результатов моделирования и экспериментальных данных, проведением измерений на современном оборудовании при использовании проверенных ранее методик. Проведенное моделирование основывается на широко апробированных расчётных кодах транспорта ионизирующего излучения MCNP, GEANT, а также кода ASTRA, моделирующего процессы в плазме токамака. Предложенный метод нейтронной диагностики верифицирован на экспериментальном стенде с детально характеризованным источником – генератором быстрых нейтронов – выход которого, а также распределение нейтронов по энергии и направлению контролировались штатными средствами диагностики, включая образцы-свидетели.

Личный вклад соискателя состоит в разработке модели, описывающей в двухкомпонентном приближении спектр термоядерных нейтронов высокотемпературной плазмы, развитии существующих методик восстановления параметров плазмы с помощью нейтронной диагностики, а также в самостоятельном обосновании (в том числе с помощью моделирования) новейшего метода нейтронной диагностики дейтериевой плазмы. Автор принимал активное участие в проведении экспериментальных исследований, а также играл ключевую роль при анализе и интерпретации полученных результатов.

Апробация результатов исследования проводилась на 11 российских и международных конференциях и симпозиумах. Основные публикации по выполненной работе также подготовлены при определяющем участии соискателя.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Кормилицын Тимофей Михайлович ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, согласился с замечаниями и привел собственную аргументацию.

На заседании от 21.12.2022г. диссертационный совет принял решение за решение научной задачи, имеющей значение для развития физики плазмы, присудить Кормилицыну Тимофею Михайловичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы.

При проведении тайного голосования Диссертационный совет в количестве 24 человек, из них очно: 5 докторов наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы и 7 докторов наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, дистанционно: 5 докторов наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы и 5 докторов наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, участвовавших в заседании, из 31 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 24, против 0, недействительных бюллетеней - 0.

Зам. председателя диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02)
д.ф.-м.н., профессор

Андреев Н.Е.

Ученый секретарь диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02)
к.ф.-м.н.

Тимофеев А.В.
21.12.2022г.

