

Минобрнауки России

Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

им. Г.И. Будкера

Сибирского отделения Российской академии наук
(ИЯФ СО РАН)

Проспект ак. Лаврентьева, д. 11, г.
Новосибирск, 630090

телефон: (383) 329-47-60, факс: (383) 330-7166

<http://www.inp.nsk.su>, e-mail: inp@inp.nsk.su

ОКПО 03533872 ОГРН 1025403658130

ИНН/КПП 5408105577 / 540801001

от 02 ДЕК 2024 № 15311 – 45/6215.1-3649

«02» 12 2024 г.

на № _____ от _____

О направлении отзыва на диссертацию

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт
ядерной физики им. Г.И.Будкера Сибирского отделения Российской академии
наук»

на диссертацию

Балаченкова Ивана Михайловича

**«Исследование альфвеновских волн в плазме сферического токамака
Глобус-М/М2», представленную на соискание учёной степени кандидата
физико-математических наук по специальности 1.3.9 Физика плазмы**

Актуальность темы исследования. В настоящее время управляемый термоядерный синтез (УТС) рассматривается в качестве одного из путей решения проблем энергетики в глобальном масштабе. Ближе всего к реализации УТС подошли классические токамаки, очередным шагом на пути развития которых является международный проект ITER. Однако проекты энергетических установок на основе классических токамаков предполагают большой размер последних. Интересной, но менее исследованной альтернативой являются более компактные сферические токамаки. Общим вопросом для всех типов токамаков выступает удержание частиц с высокой

энергией, которые должны нагревать основную плазму. Одним из факторов, существенно сокращающих времена удержания, служат неустойчивости, среди которых одной из наиболее распространённой является раскочка альфвеновских волн. Эти два обстоятельства, исследование альфвеновских неустойчивостей и сферический тип токамака, и определяют высокую актуальность темы диссертации Ивана Михайловича Балаченкова.

Структура и содержания работы. Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы и двух приложений.

Во введении показана актуальность изучения проблем УТС вообще и сферических токамаков в частности, сформулирована цель работы – изучить альфвеновские неустойчивости на токамаке Глобус-М/М2.

В первой главе сделан обзор теоретических и экспериментальных работ по теме альфвеновских неустойчивостей в токамаках. Подробно описаны те типы альфвеновских мод, которые будут исследоваться далее в данной работе.

Вторая глава посвящена описанию токамака Глобус-М2 и его диагностического комплекса. Подробно изложены методы определения параметров альфвеновских мод. Обоснована необходимость расширения диагностического комплекса, выполненного автором работы.

В третьей главе описаны эксперименты по регистрации альфвеновских мод: наблюдались тороидальные, компрессионные, а также моды на обращённом шире магнитного поля. Продемонстрирована возможность определения минимального запаса устойчивости и скорости тороидального вращения по измеряемым параметрам альфвеновских волн. Наиболее интересным кажется анализ связи амплитуды тороидальных мод и частоты потерь быстрых ионов. На его основе сделан благоприятный прогноз для сферических токамаков следующего поколения.

В заключении кратко сформулированы основные результаты работы.

Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и теме диссертации. Диссертация И.М.Балаченкова является законченным научным исследованием. Она описывает уникальные эксперименты по изучению плазмы и анализ данных, выполненные с участием автора. В диссертации ясно описаны как теория вопроса, так и важные технические особенности проведённых экспериментов. Содержание диссертации соответствует заявленной теме «Исследование альфвеновских волн в плазме

сферического токамака Глобус-М/М2» и специальности 1.3.9 Физика плазмы.

Соответствие автореферата диссертации её содержанию. Автореферат диссертации правильно отражает её содержание. Основные публикации автора по теме диссертации, список которых приведён в автореферате, корректно и полно отражают содержание диссертации и её основные результаты.

Личный вклад соискателя в получении результатов исследования. И.М.Балаченков является соавтором в десяти научных статьях и первым автором в шести из них, где опубликованы результаты работ, описанных в диссертации. Он представлял эти результаты на российских и международных научных конференциях.

Степень достоверности результатов исследования. Достоверность результатов подтверждается хорошим согласием между собой параметров, измеренных разными способами, а также отсутствием противоречий с расчётами. Результаты представленной работы докладывались на российских и международных научных конференциях, опубликованы в ведущих реферируемых журналах.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором диссертации результатов. Практическая значимость работы автора диссертации состоит в модернизации диагностического комплекса, подготовке программных средств и отработке методов оценки ряда параметров плазмы по измеряемым характеристикам альфеновских мод в токамаке Глобус-М2. С точки зрения УТС в целом результаты работы значимы в двух аспектах. Во-первых, полученные данные следует учитывать при оценке потерь быстрых ионов из плазмы сферических токамаков. А во-вторых, полезными являются разработанные методы оценки параметров плазмы по спектрам альфеновских мод.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. Результаты, полученные И.М.Балаченковым могут быть применены при разработке токамака Глобус-3 и в проекте термоядерного источника нейтронов (ТИН).

Новизна полученных результатов. Впервые на сферическом токамаке изучены альфеновские моды при поле до 0.8 Тл. Впервые на сферическом токамаке обнаружено возбуждение быстрыми электронами «чирпинг»-мод на частотах порядка МГц. Определена зависимость частоты потерь быстрых ионов

от амплитуды тороидальных альфвеновских мод, магнитного поля и тока по плазме.

Замечания по диссертационной работе.

1. В тексте работы множество размерностей физических величин приведено по-английски.
2. На страницах 36-37 подчёркивается, что магнитный момент μ сохраняется неточно, поскольку является адиабатическим инвариантом, в отличие от обобщённого импульса P_ϕ , который сохраняется ввиду тороидальной симметрии. Было бы неплохо уточнить насколько хорошо сохраняется P_ϕ , ведь магнитная система реальных установок не обладает тороидальной симметрией.
3. Представленная на рисунке 25 b, страница 75, матрица кросс-фаз не удовлетворяет условию антисимметричности, сформулированному на странице 46. Например, разности фаз зондов 1 и 28 и наоборот зондов 28 и 1 обе, судя по рисунку, отрицательные. Аналогично и линии равных фаз, представленные белыми линиями на рисунке, не расположены симметрично относительно диагонали матрицы. Также не совсем понятно, почему сделан вывод о полоидальном номере моды $m=3$, ведь расположение линий равных фаз больше похоже на рисунок 11 а, страница 47, соответствующий $m=2$.
4. На странице 125 говорится, что отсутствие ускоренных ионов определялось с помощью анализатора атомов перезарядки (NPA). Формально для такого вывода требуется проверить всё фазовое пространство. Однако направление скорости частиц, регистрируемых NPA, фиксируется коллимационной системой и обычно не может сильно изменяться. Поэтому возникает вопрос: какую область фазового пространства можно проверить с помощью анализатора атомов перезарядки на установке Глобус-М2?

Сделанные замечания, безусловно, не снижают научной ценности и практической значимости диссертации.

Заключение по диссертации о соответствии её требованиям «Положения о присуждении учёных степеней» по пункту 9. Диссертация И.М.Балаченкова на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук соответствует соответствует Положению о присуждении

учёных степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом-институте им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук. Иван Михайлович Балаченков, безусловно, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 Физика плазмы.

Заключение рассмотрено 2 декабря 2024 г. на заседании Учёного совета ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН, протокол № 48.

Отзыв составили:

Приходько Вадим Вадимович,
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник лаборатории 9-1 ИЯФ СО РАН,
специальность 01.04.08 – физика плазмы

02 декабря 2024 г. _____ / В.В.Приходько /
телефон (383)329-42-24, факс: (383)330-71-63,
адрес электронной почты v.v.prihodko@inp.nsk.su

Черноштанов Иван Сергеевич,
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник лаборатории 9-0 ИЯФ СО РАН,
специальность 01.04.08 – физика плазмы

02 декабря 2024 г. _____ / И.С.Черноштанов /
телефон (383)329-44-36, факс: (383)330-71-63,
адрес электронной почты i.s.chernoshtanov@inp.nsk.su

Подписи Приходько Вадима Вадимовича и Черноштанова Ивана Сергеевича
заверяю:

Резниченко Алексей Викторович,
учёный секретарь ИЯФ СО РАН,
кандидат физико-математических наук

02 декабря 2024 г. _____ / А.В. Резниченко /
телефон: (383)329-47-99,
адрес электронной почты: a.v.reznichenko@inp.nsk.su