

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Александра Юрьевича ЯШИНА

«Исследование геодезической акустической моды

на токамаках Глобус-М и ТУМАН-3М»,

представляемой на соискание учёной степени

кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 - физика плазмы.

Исследования, представленные в диссертации А.Ю. Яшина относятся к общей физической проблеме возникновения зональных потоков в турбулентных средах. Конкретно диссертация посвящена экспериментальному исследованию высокочастотной разновидности зональных потоков, а именно, геодезической акустической моды (ГАМ), развивающейся в плазме токамака. Такое исследование представляется важным для понимания процессов турбулентного переноса и подавления турбулентности в термоядерных установках. В настоящее время проблема контроля турбулентности является одной из ключевых при описании процессов переноса энергии и частиц. Особенностью диссертационной работы является проведение исследований в токамаках с существенно различающейся магнитной конфигурацией – Глобус-М и ТУМАН-3М. Данные о сравнении свойств ГАМ в классических токамаках и в токамаках с малым асимметричным отношением помогут существенно продвинуться в теоретическом описании зональных потоков и их влиянии на процессы переноса и, как следствие, на процесс формирования транспортных барьеров.

Первая глава посвящена теоретическим аспектам развития ГАМ в плазме токамака, методам диагностики ГАМ и обзору экспериментальных результатов исследования ГАМ и их взаимодействия с турбулентностью плазмы. Отдельно описан метод доплеровского обратного рассеяния, как основной метод изучения ГАМ, используемый в диссертации. В этой же главе сформулированы задачи диссертационной работы.

Во второй главе А.Ю. Яшин описывает диагностики, которые были использованы для экспериментального исследования ГАМ на токамаках Глобус-М и ТУМАН-3М. Обосновывается применимость каждого из выбранных методов. Описываются схемы доплеровских рефлектометров и проводится оценка пространственного разрешения и разрешения по волновым числам. Обсуждается нетривиальный вопрос о возможности применения диагностики свечения на линии D_{α} для регистрации колебаний

плотности в области периферии. Приведены параметры электростатических и магнитных зондов. Описаны методы обработки сигналов всех диагностик.

Третья глава диссертации посвящена вопросам экспериментального исследования ГАМ в плазме токамака Глобус-М. А.Ю. Яшиным было обнаружено, что ГАМ в токамаке с малым аспектным отношением развивается с частотой существенно меньшей, чем в классических токамаках при тех же плазменных параметрах. Исследована локализация ГАМ. Определена пространственная структура ГАМ в токамаке путем изучения фазовых соотношений для таких параметрах, как скорость, плотность плазмы и магнитное поле. Тороидальный номер моды ГАМ в колебаниях плотности определен как $n = 0$. Продemonстрировано, что временная эволюция ГАМ во всех исследуемых параметрах имеет прерывистый характер. Показано существование нелинейного взаимодействия ГАМ с высокочастотной турбулентностью, которое предсказывается теоретически.

Четвёртая глава диссертации посвящена экспериментальному исследованию ГАМ на токамаке ТУМАН-3М. Определены частотные характеристики ГАМ и их поведение при изменении изотопного состава плазмы. Автор продемонстрировал существование пределов при развитии ГАМ, связанных со столкновительным и бесстолкновительным затуханием. Демонстрируется также исчезновение ГАМ в режиме улучшенного удержания и при развитии сильной МГД неустойчивости. Исследована локализация ГАМ, которая оказалась порядка 1 см по малому радиусу. Исследовано временное поведение амплитуды ГАМ. Обнаружено, что её изменение связано с уровнем плазменной турбулентности и широм скорости. Демонстрируется существование нелинейного взаимодействия ГАМ с турбулентностью. В конце Главы 4 сравниваются характеристики ГАМ в токамаках Глобус-М и ТУМАН-3М.

Следует сделать ряд замечаний по тексту диссертации:

- 1) При описании доплеровской рефлектометрии (Стр 22) нет ссылок на основополагающие работы
- 2) Принцип демодуляции квадратурного сигнала, описанный в разделе 2.1.1, хорошо известен в радиотехнике. Следовало бы уделить больше внимания особенностям его аппаратного применения в СВЧ диапазоне. На страницах. 36-37 в описании IQ детектирования используется знак свертки вместо знака умножения.
- 3) Диагностика D_α в разделе 2.2 описана не достаточно полно: например, не приведен телесный угол, из которого принимается излучение.

- 4) На рис.30, 44 и 50 (спектрограммы доплеровского частотного сдвига) отсутствует цветовая шкала. Такое представление не позволяет оценить контрастность гармоник на частоте ГАМ по отношению к фоновому уровню.
- 5) На некоторых представленных в диссертации графиках, например, на частотной зависимости взаимной когерентности (стр. 76 и 78, рис. 35 и 36), не указаны погрешности измерений.
- 6) Может быть, на стр. 94 вместо фразы «В сравнении с данными ленгмюровского зонда таким образом восстановленная зависимость температуры от радиуса выглядит правдоподобно» следует сказать, что восстановленная зависимость температуры от радиуса является продолжением зависимости, полученной зондовым методом.
- 7) Остается неясным, что отражает рисунок 48 - или зависимость положения отсечки от плотности, или это диаграмма, отражающая условия эксперимента.

В целом, замечания, указанные выше, не умаляют достоинств диссертационной работы А.Ю. Яшина. Диссертация А.Ю. Яшина обладает внутренним единством. Достоверность научных результатов, представленных в диссертации А.Ю. Яшина, подтверждена публикациями в ведущих рецензируемых научных журналах, – Письма в ЖТФ, Nucl. Fusion, Plasma Phys. and Controlled Fusion, Journal of Instrumentation, а также в материалах Всероссийских и международных конференций. В этих статьях и докладах А.Ю. Яшин является соавтором.

Диссертация отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, её автор Александр Юрьевич Яшин достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Автореферат диссертации полностью отражает содержание диссертации.

Кандидат физико-математических наук, доцент,
старший научный сотрудник кафедры оптики
физического факультета Санкт-Петербургского
государственного университета,

Кудрявцев
Анатолий Анатольевич

Адрес: 198504, Россия, Санкт-Петербург,
Петергоф, Ульяновская ул., дом 3
Тел.: (812) 428-44-50
e-mail: akud@ak2138.spb.edu

25 апреля 2016 г.