



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ФЦЭ «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»

доктор технических наук
Д.В. Марков

2018 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Алейниковой Ксении Олеговны
“Кинетические баллонные моды в плазме токамака и стелларатора”,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.08 – Физика плазмы.

Представленная на отзыв диссертация К.О. Алейниковой посвящена важной и актуальной задаче – теоретическое и численное исследование кинетических баллонных мод, возникающих в плазме токамака и стелларатора.

Диссертация изложена на 118 страницах машинописного текста и состоит из 3-х глав, введения, заключения и списка литературы, включающего 111 источников. Диссертация иллюстрирована 36 рисунками.

Актуальность темы

Параметры плазмы в крупнейших существующих и тем более в сооружаемых и проектируемых установках с магнитным удержанием, таких как токамак и стелларатор, все более приближаются к термоядерным, т.е. характеризуются высокими значениями температуры и давления плазмы. В свою очередь требование надежной термоизоляции первой стенки таких установок с неизбежностью приводит к появлению значительных градиентов давления плазмы вблизи ее границы. Известно, что рост как абсолютной величины, так и, в особенности, градиента давления в тороидальных магнитных конфигурациях приводит к раскачке так называемых баллонных мод. Ожидается, что с ростом давления плазмы именно этот класс МГД неустойчивостей может оказаться основным препятствием на пути увеличения времени удержания плазмы и, следовательно, повышения мощности будущих термоядерных реакторов. Кроме того, с ростом температуры плазмы пороги возникновения и динамика развития таких МГД неустойчивостей существенным образом модифицируются кинетическими эффектами. Именно поэтому диссертационная работа К.О. Алейниковой, посвященная анализу кинетических баллонных мод (КБМ) в плазме токамака и стелларатора, приобретает особую актуальность.

Анализ содержания диссертации

Во Введении обоснована актуальность работы, обозначены основные цели и задачи, а также описана история исследования идеальных и кинетических баллонных мод и охарактеризованы методы их исследования.

В первой главе, кинетические баллонные моды (КБМ) изучаются аналитически в геометрии токамака и численно с помощью giroкинетического моделирования. Показывается, что при соответствующих малых параметрах, найденных в данной главе, классическое уравнение кинетических баллонных мод можно значительно упростить. Вводится вариационный подход, который позволяет получить явное дисперсионное соотношение. Обнаружено, что при больших градиентах давления, инкремент нарастания и частота неустойчивости, рассчитанные giroкинетическим кодом, отлично согласуются со значениями, полученными с использованием диамагнитной модификации идеального МГД уравнения для КБМ. Для умеренных градиентов давления предлагается новая теория КБМ, учитывающая конечность малого параметра β (отношение газокинетического давления плазмы к магнитному). В этом случае также найдено хорошее согласие между численным моделированием и аналитической теорией.

Во второй главе, кинетические баллонные моды исследуются с помощью линейного giroкинетического моделирования в геометрии стелларатора Вандельштайн 7-X (W7-X) для плазмы с высокими β . Расчеты показывают подавление ионной температурно-градиентной моды и моды запертых электронов с увеличением значения β и дестабилизацию КБМ при высоких β . Эти результаты, полученные для стелларатора, сравниваются с результатами в геометрии токамака. Пороговые значения β для дестабилизации КБМ прогнозируются для различных равновесных конфигураций W7-X. В данной главе также показано, что во всех численных расчетах необходимо, чтобы геометрия магнитного равновесия соответствовала меняющемуся градиенту давления. Была разработана методика анализа плазмы на различные неустойчивости, заключающаяся в согласованном использовании кодов равновесия плазмы с кодами, рассчитывающими устойчивость плазмы. **В третьей главе**, проводится верификация данного метода согласованного анализа плазмы на примере анализа неуправляемого движения шнура плазмы в камере токамака при срывах разряда и последующего возникновения МГД-неустойчивостей. Оценивается влияние возможных параметров затравки тока убегающих электронов (УЭ) на начало МГД-неустойчивости в плазме строящегося токамака ИТЭР. Во время срывов плазмы в ИТЭР возможно, что большая часть плазменного тока может быть заменена током убегающих электронов. МГД-активность такой плазмы будет влиять на генерацию, удержание убегающих электронов и динамику положения плазмы (вертикального смещения), ограничивая временные рамки для подавления срыва шнура УЭ в подобной плазме. Изменяя профиль затравки тока УЭ, в работе анализируется дальнейшая эволюция плазмы с точки зрения возникающей в ней

МГД-активности. Эта информация может быть применена к разработке желаемого сценария срыва в ИТЭР.

В Заключении диссертации приведен перечень основных результатов работы.

Оценка новизны исследования

1. Продемонстрирован новый способ решения общего уравнения кинетических баллонных мод, обозначены пределы его применимости.
2. Впервые было выполнено последовательное численное сравнение влияния параметров плазмы на кинетическую баллонную моду в геометриях токамака и стелларатора.
3. Впервые, для численных расчетов КБМ, продемонстрирована необходимость учета согласованности равновесия с параметрами исследуемой плазмы.
4. Разработана методика анализа плазмы на МГД устойчивость, заключающаяся в согласованном использовании кодов равновесия плазмы с кодами, рассчитывающими МГД устойчивость.

Оценка практической значимости результатов диссертационной работы

1. Представленный в данной работе подход к решению общего уравнения кинетической баллонной моды позволяет значительно сэкономить временные затраты на анализ плазмы на КБМ.
2. Были получены оценки пороговых значений отношения давления плазмы к давлению тороидального магнитного поля для дестабилизации кинетической баллонной моды в геометрии стелларатора W7-X, которые в последствии могут быть востребованы при планировании экспериментов на данной установке.
3. Была продемонстрирована важность продольных флуктуаций магнитного поля при численных расчетах КБМ, что должно быть учтено в дальнейших исследованиях данного типа неустойчивости.

Достоверности и обоснованности научных положений, результатов и выводов подтверждаются одновременным использованием независимых численных кодов, воспроизводимостью полученных результатов в ходе повторных расчетов, а также хорошим согласием между результатами, полученными аналитически и с помощью численного моделирования.

Материалы, представленные в диссертации, апробированы на российских и международных конференциях и совещаниях, а также опубликованы в журналах из списка ВАК.

Рекомендации по использованию результатов работы

В диссертационной работе К.О. Алейниковой представлены актуальные и значимые с практической точки зрения результаты, которые могут быть использованы при планировании экспериментов и интерпретации диагностических данных установок с магнитным удержанием плазмы.

Результаты диссертации могут быть использованы в ГНЦ РФ ТРИНИТИ, НИЦ «Курчатовский институт», НИЯУ МИФИ, ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН, Проектном центре ИТЭР, Институте физики плазмы им. Макса Планка, а также в других организациях, принимающих участие в создании установок термоядерного синтеза.

Основные результаты диссертации опубликованы в 7 работах – статьях в рецензируемых международных научных журналах и тезисах международных конференций. В том числе, 5 работ входят в рекомендуемый перечень ВАК. Результаты проведенных исследований обсуждались соискателем на конференциях и научных семинарах в России и за рубежом.

В целом, диссертационная работа Алейниковой К.О. выполнена на высоком научном уровне, в ней получены важные и физически значимые результаты, однако можно отметить и некоторые недостатки.

Замечания по диссертационной работе

1. Неодинаковые единицы измерения инкремента неустойчивости моды в главах 1 и 2 данной работы затрудняют восприятие представленных графиков.
2. В работе использовано большое количество аббревиатур, которые, хоть и расшифрованы, затрудняют чтение данной диссертации.

Замечания к автореферату

1. Аббревиатура кинетической баллонной моды в автореферате не единообразна: в некоторых частях автореферата «кинетическая баллонная мода» сокращено до КБМ, а в других частях «кинетическая баллонная мода» сокращено до КВМ, что, видимо, является сокращением от английского названия данной моды, KineticBallonningMode.
2. В автореферате указано неточное количество источников в списке литературы – 113, тогда как в диссертации источников 111.

Заключение

Указанные недостатки в диссертационной работе не снижают ее общую высокую положительную оценку, а также не влияют на научную и практическую значимость полученных результатов.

Исследования, изложенные в диссертация «Кинетические баллонные моды в плазме токамака и стелларатора» Алейниковой Ксении Олеговны свидетельствуют о высокой научной квалификации автора, а сама диссертация представляет собой законченную, самостоятельную и оригинальную научно-исследовательскую работу, которая соответствует паспорту специальности 01.04.08 – физика плазмы (физико-математические науки) и отвечает требованиям Положения о присуждении ученых степеней (утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Все главы представленной диссертации посвящены исследованию различных неустойчивостей, возникающих в плазме таких установок как токамак и стелларатор, что соответствует разделам «Управляемый термоядерный синтез с магнитным и инерциальным удержанием, пинчи и т.п.» и «Термодинамика, кинетика (в т.ч. явления переноса), оптика, элементарные процессы в плазме (ионизация, излучение, столкновения и т.п.)». Таким образом тема и содержание диссертации соответствуют научным специальностям и отраслям науки, по которым диссертационному совету предоставлено право принимать к защите диссертации.

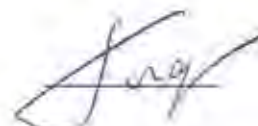
Диссертация «Кинетические баллонные моды в плазме токамака и стелларатора» удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а соискатель Алейникова Ксения Олеговна заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – Физика плазмы.

Настоящий отзыв рассмотрен и одобрен после доклада соискателя и обсуждения диссертации на заседании 1-й секции Научного совета ОФТР ГНЦ РФ ТРИНИТИ 17 октября 2018г.

Отзыв составил:

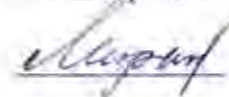
Главный научный сотрудник
д-р физ.-мат. наук, профессор
Отделение физики термоядерных реакторов,
Акционерного общества «Государственный научный центр
Российской Федерации Троицкий институт инновационных
и термоядерных исследований»
Адрес: Россия, 142190, г. Москва,
г. Троицк, ул. Пушкиновых, вл. 12.
Телефон: +7 (495) 851 88 08
E-mail: gladush@triniti.ru

Г.Г. Gladush



Председатель секции
д.ф.-м.н.

С.В. Мирнов



Секретарь секции
к.т.н.

Н.М. Абраменков



Подписи заверяю,
Ученый секретарь АО "ГНЦ РФ ТРИНИТИ"
к.ф.-м.н.

А.А. Ежов

