

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию **АЛЕЙНИКОВОЙ Ксении Олеговны** «Кинетические баллонные моды в плазме токамака и стелларатора» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, по специальности 01.04.08 - Физика плазмы.

В представленной диссертационной работе проведены аналитические и численные исследования кинетических баллонных мод в геометриях различных установок.

Актуальность темы диссертации обусловлена тем, что в современных установках кинетические баллонные моды (КБМ) в плазме с высокой температурой и плотностью могут приводить к дополнительному переносу тепла и частиц, негативно сказываться на времени удержания плазмы. Успех исследований в области управляемого термоядерного синтеза зависит, в том числе, от глубины исследования данной неустойчивости.

Достоверность результатов не вызывает сомнений, так как автор сравнивает свои теоретические результаты с результатами, полученными с помощью численного моделирования, а также проводит дополнительную верификацию сопоставлением с расчетами по независимым кодам. Основные результаты представленной работы опубликованы в семи реферируемых научных журналах, пять из которых входят в перечень ВАК, а также доложены на шести международных конференциях.

Научная новизна диссертации заключается в разработке комплексного подхода к изучению кинетической баллонной моды и применению его к анализу поведения плазмы в реальных условиях. Основной чертой нового подхода является всестороннее аналитическое и численное рассмотрение КБМ. Кроме того, в работе Алейниковой К.О. предложена новая методика решения общего уравнения для кинетических баллонных мод. С её помощью найдены границы применимости моделей.

Впервые выполнено последовательное численное исследование влияния параметров плазмы на КБМ в геометрии стелларатора Вандельштайн 7-X, получены пороговые значения параметров, при которых происходит дестабилизация КБМ в этой установке.

Практическая значимость работы состоит в том, что разработанная в диссертации теория и методы позволяют значительно сократить затраты времени на анализ устойчивости плазмы по отношению к кинетической баллонной моде. Результаты диссертации важны для планирования экспериментов и интерпретации диагностических данных.

Автором выполнен анализ имеющихся на данный момент публикаций, относящихся к указанной тематике, который представлен во «**Введении**» и предисловиях к главам. Следует отметить, что в разделе «**Введение**» довольно полно приведена история исследования баллонной моды, а также численные подходы, применяемые к моделированию данного типа неустойчивости.

Первая глава диссертации посвящена анализу теории кинетических баллонных мод и изучению малых параметров. Полученные новые оценки позволили значительно упростить общее уравнение КБМ. Обнаружено, что при больших градиентах давления общее уравнение КБМ аппроксимируется диамагнитной модификацией идеального МГД уравнения. Для умеренных градиентов давления предложено новое уравнение, учитывающее конечность малого параметра *бета*. Таким образом, выделены два режима КБМ: с «высоким» и «умеренным» температурным градиентом.

Впервые выполнено численное исследование КБМ неустойчивости для разных конфигураций геометрии стелларатора Вандельштайн 7-X, чему посвящена **вторая глава**. Было показано, что частоты КБМ, полученные численно для режима с большими градиентами температур в этой геометрии, хорошо согласуются с частотами КБМ, аналитически предсказанными идеальным МГД уравнением с диамагнитной поправкой. Сделан вывод о

том, что появление КБМ следует ожидать до дестабилизации соответствующей идеальной МГД неустойчивости.

В третьей главе изучено влияние параметров затравки тока убегающих электронов (УЭ) на начало МГД-неустойчивости в плазме строящегося токамака ИТЭР. Во время срывов плазмы в ИТЭР возможна замена большей части плазменного тока током убегающих электронов. МГД-активность такой плазмы влияет на генерацию и удержание убегающих электронов, динамику положения плазмы (вертикального смещения) и ограничивает временные рамки для подавления срыва шнура УЭ. Автором проанализирована эволюция плазмы с точки зрения возникающей в ней МГД-активности в зависимости от профиля затравки тока УЭ. Полученная новая информация крайне важна для разработки сценариев функционирования системы смягчения последствий срыва разряда в ИТЭР.

Оценивая работу в целом можно отметить, что она является завершенным трудом, показывающим эрудицию соискателя в решении нестандартных задач, а также исследовании вопросов физики плазмы, требующих широкого спектра знаний и навыков. Диссертант овладел сложным математическим аппаратом и приемами математического моделирования.

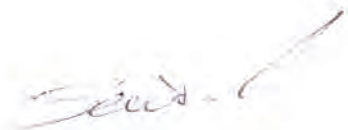
По работе можно сделать следующие замечания:

1. В диссертации, видимо, предполагался кинетический учет электронов. Однако способ описания электронов не указан. Следовало бы отметить его, например, во введении к первой главе.
2. Из текста не ясна роль запертых частиц в рассматриваемых эффектах.
3. Можно было бы расширить обзор работ по кинетической баллонной моде добавлением и анализом некоторых современных публикаций.

Однако указанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертационной работы. Актуальность темы диссертации, использование нескольких взаимно дополняющих друг друга методик решения поставленной задачи, большой объем выполненной диссертантом работы, новизна и практическая ценность полученных результатов позволяют сделать вывод о том, что диссертация и автореферат соответствуют 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, а ее автор обладает высокой квалификацией и достоин присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 - Физика плазмы.

Зайцев Федор Сергеевич

Доктор физико-математических наук, МГУ
им.М.В. Ломоносова, профессор факультета
вычислительной математики и кибернетики



Ф.С. Зайцев

29 октября 2018 г.

Подпись профессора Ф.С. Зайцева заверяю:

Декан факультета вычислительной математики и кибернетики

Московского государственного университета

имени М.В. Ломоносова,

академик РАН



Е.И. Моисеев