



УТВЕРЖДАЮ

Зам. директор ФТИ им. А.Ф. Иоффе

д.ф.-м.н.

С.В. Лебедев

«21» апреля 2014г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе

Российской академии наук (ФТИ им. А.Ф. Иоффе)

на диссертацию Сковородина Дмитрия Ивановича «Влияние самосогласованных полей на продольные потери из открытых ловушек», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы.

Диссертация посвящена теоретическому исследованию влияния столкновений частиц и коллективных явлений на продольные потери плазмы из открытых ловушек с применением кинетических и магнитно-гидродинамических моделей. Актуальность этой работы обусловлена проблемой создания термоядерного реактора на основе магнитного удержания плазмы. Надо отметить, что наряду с исследованием удержания плазмы в тороидальных конфигурациях развивается программа создания открытых линейных ловушек для реализации термоядерного синтеза. Из-за геометрии магнитного поля в открытых ловушках основными потерями частиц и тепла являются продольные потери (потери вдоль силовых линий), которые ограничивают время удержания плазмы. Теоретические и экспериментальные исследования механизмов существенного подавления этих потерь, а значит и значительного увеличения времени удержания плазмы, представляются чрезвычайно актуальными для работы существующих и разработки перспективных открытых ловушек.

Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, трёх приложений и списка литературы. Во Введении приведен краткий обзор существующих теоретических моделей, которые применяются для описания продольных потерь из открытых ловушек, и результатов экспериментов по исследованию продольного удержания, выполненных на открытых

ловушках в последние годы. На основе этого обзора показана необходимость дальнейшего развития теоретических моделей, в частности учёта влияния самосогласованных полей на продольное удержание плазмы в открытых ловушках в режиме переходной столкновительности.

Первая глава посвящена задаче о кинетическом истечении плазмы из многопробочной ловушки с учетом кулоновских столкновений в пределе мелкомасштабной гофрировки. Результаты расчетов сравниваются с упрощенной гидродинамической моделью. Показано, что кинетическая теория позволяет уточнить уровень продольных потерь - он оказался примерно в 2 раза ниже рассчитанного из гидродинамической модели. Полученные данные могут быть полезны для определения эффективности многопробочной ловушки.

Вторая глава направлена на изучение дискретных звуковых мод в плазме открытых ловушек. Интерес к этим колебаниям связан с тем, что они могут обеспечивать коллективное рассеяние ионов и увеличивать время жизни плазмы в многопробочной ловушке. Подобные колебания зарегистрированы в экспериментах на установках ГОЛ-3 и ГДЛ в ИЯФ СО РАН. В диссертации на основе МГД модели рассматривается возможность существования локализованных в ячейке ловушки звуковых колебаний. Показано, что результаты качественно согласуются с экспериментальными свидетельствами. Созданная МГД модель может быть использована в качестве отправной точки для построения кинетической теории таких колебаний.

В третьей главе исследуется переходный режим истечения плазмы из пробочной ловушки. Отметим, что в настоящее время известны решения этой задачи в предельных случаях слабостолкновительного и газодинамического истечения. Однако интерпретация экспериментов на установке ГДЛ требует исследования промежуточного случая. Для этого в диссертации использовано численное интегрирование кинетического уравнения с интегралом столкновений Ландау. Учитывается влияние самосогласованного амбиполярного потенциала плазмы на потери ионов. В результате анализа обнаружен новый режим, в котором в конусе потерь формируется струя холодных ионов. Выполнено вычисление эффективности подавления потерь плазмы амбиполярной пробкой и проведено сравнение расчетов с результатами экспериментов на ГДЛ, которое показало качественное согласие.

В приложения вынесены трудоемкие вычисления и описание численной схемы для решения кинетического уравнения.

Научная и практическая значимость работы заключается в получении количественных и качественных моделей, описывающих продольные потери плазмы из открытых ловушек. Эти данные будут полезны при дальнейшей работе по программе реализации управляемого термоядерного синтеза.

Открытые ловушки являются перспективным кандидатом на роль источника термоядерных нейтронов. Такой источник нейтронов может использоваться для материаловедения, в качестве драйвера для подкритичного реактора, либо для дожигания минорных актинидов. Эффективность источника определяется энергетической ценой нейтрона, которая в случае открытых ловушек сильно зависит от величины продольных потерь. В существующих линейных ловушках с субтермоядерными параметрами плазмы продольный канал потерь играет ключевую роль в балансе энергии. Созданные в диссертационной работе модели позволяют выполнять расчет классических продольных потерь плазмы в кинетическом режиме. Такие расчеты позволят оптимизировать параметры источника нейтронов на основе открытой ловушки.

Дальнейшее развитие исследований по многопробочному удержанию плазмы может привести к созданию энергетического реактора синтеза на основе открытой ловушки. Результаты диссертации могут быть использованы в дальнейших исследованиях удержания плазмы системах такого типа.

Теоретические модели могут быть использованы для планирования и интерпретации экспериментов на существующих аксиально-симметричных открытых ловушках и при проектировании перспективных установок такого типа. Результаты диссертации могут быть использованы в ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, ФТИ им. А.Ф. Иоффе, НИЦ «Курчатовский институт».

При обсуждении диссертации были высказаны следующие замечания:

1) На стр. 27 диссертационной работы автор делает утверждение: «Так как поперечное волновое число определяется радиусом плазмы, а продольное – ее длиной, то для рассматриваемых нами колебаний волновой вектор почти ортогонален к магнитному полю ... В случае почти поперечного распространения частота медленного магнитного звука определяется следующим уравнением [40]:»

Далее следует уравнение, в которое перпендикулярная компонента волнового вектора вообще не входит. Учитывая радиальную неоднородность плазмы, более сильную, чем продольную, запись дисперсионного соотношения для почти поперечной волны в форме выражения (13) требует более подробного обсуждения.

2) Поскольку для эффективного взаимодействия глобальной звуковой моды с ионной компонентой (коллективное рассеяние) требуется ее значительная амплитуда, имело бы смысл обсудить более подробно, хотя бы качественно, механизм ее возбуждения и уровень возможного насыщения.

3) Судя по рис. 9, область локализации собственной моды существенно меньше, чем расстояние между катушками, а значит, продольная компонента волнового вектора может

оказаться существенно больше, чем использованная в работе оценка $k_z \propto 1/l$, что может сделать существенными кинетические эффекты. К сожалению, в работе не приводятся оценки параметра $k_z(\omega_n)v_{te,i}/\omega_n$, которая бы подтвердила справедливость пренебрежением кинетическими эффектами и использования гидродинамического приближения.

4) На рисунках 10 приведены зависимости собственной частоты продольного резонатора от параметров β_{\perp} и γ . К сожалению, в тексте диссертации отсутствует объяснение того, почему при $\beta_{\perp} > 0.9$ и $\gamma > 0.4$ зависимости обрываются. Что это значит? Частота становится комплексной? Происходит перестройка на другую продольную моду?

Указанные выше замечания носят частный характер, не снижая ценности диссертации, и не влияют на общую положительную оценку работы. Работа выполнена на высоком уровне, авторский вклад в решение задачи является определяющим. Результаты работы опубликованы в ведущих российских и зарубежных изданиях и докладывались на международных конференциях.

Автореферат с достаточной полнотой отражает содержание диссертации.

Считаем, что диссертационная работа Д.И.Сковородина «Влияние самосогласованных полей на продольные потери из открытых ловушек» по своему содержанию и полученным в ходе исследований результатам удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – «Физика плазмы». Автор диссертации, Сковородин Дмитрий Иванович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв подготовил

с.н.с., кандидат физико-математических наук



А.Ю. Попов

Настоящий отзыв заслушан и утвержден на заседании научного семинара лаборатории высокотемпературной плазмы ФТИ им. А.Ф. Иоффе «18» апреля 2014 г., протокол №4 от 18/04/14.

Заведующий лаборатории физики высокотемпературной плазмы

Отделения физики плазмы, атомной физики и астрофизики

ФТИ им. А.Ф. Иоффе,

доктор физико-математических наук, профессор



Е.С. Гусаков