

ОТЗЫВ

Официального оппонента

на диссертацию Балаченкова Ивана Михайловича

«Исследование альфвеновских волн в плазме сферического токамака

Глобус-М/М2»

по специальности 1.3.9 - «Физика плазмы»,

представленную на соискание ученой степени кандидата

физико-математических наук.

Диссертация Балаченкова И.М. посвящена изучению различных типов альфвеновских собственных мод, возникающих в плазме сферического токамака Глобус-М/М2 в режимах с нейтральной инжекцией. Проблема возбуждения альфвеновских собственных мод в токамаках тесно связана с проблемой удержания надтепловых (быстрых) частиц, решение которой является одной из ключевых задач УТС. В связи с этим, тема диссертационного исследования несомненно является актуальной.

Вплоть до настоящего момента основной диагностикой для исследования альфвеновских собственных мод в тороидальных магнитных ловушках являются высокочастотные магнитные зонды. Автором диссертации был проделана большая работа по усовершенствованию магнитной зондовой диагностики токамака Глобус-М/М2, в частности, существенно расширен ее частотный диапазон и увеличено число магнитных зондов. В ходе работы были исследованы три типа альфвеновских собственных мод, зарегистрированных на токамаке Глобус-М/М2: тороидальные альфвеновские собственные моды (ТАЕ), моды на обращенном шире магнитного поля (RSAE) и компрессионные альфвеновские собственные моды (CAE). Определены их основные характеристики и режимы, в которых они возникают.

Для ТАЕ, считающихся наиболее опасным типом альфвеновских собственных мод в токамаках, было показано существенное уменьшение потерь быстрых ионов с увеличением магнитного поля и тока плазмы. Проведено комплексное исследование зависимости потерь быстрых ионов от

параметров разряда, получена регрессионная зависимость величины потерь быстрых ионов от магнитного поля и тока плазмы.

Наряду с потерями быстрых ионов была исследована возможность диагностического применения сигналов магнитных зондов в режимах с альвеновскими собственными модами: для разрядов с ТАЕ предложен метод определения тороидальной скорости вращения плазмы по данным магнитных измерений, а в режимах с RSAE предложен метод определения радиального положения локального минимума для радиального распределения коэффициента запаса устойчивости $q(r)$.

Достоверность результатов диссертации подтверждается их хорошей воспроизводимостью и многочисленными контрольными опытами, проведенными в течение нескольких экспериментальных кампаний токамака Глобус-М/М2. Автором были обработаны и проанализированы данные большого количества разрядов токамака с альвеновскими собственными модами, и все они показали хорошее согласие между собой.

Работа представляет собой самостоятельное завершённое исследование, обладающее полнотой и внутренним единством и выполненное на высоком научном уровне. Изложенные в работе результаты являются обоснованными и непротиворечивыми, а работа написана понятным научным языком.

К диссертации Балаченкова И.М. имеются следующие замечания:

1. На стр. 61 на рис. 18 показано расположение массива «быстрых» зондов, установленных вдоль тороидального обхода, а на стр. 63 приводится его описание. Далее на стр.75 утверждается, что «В экспериментах с невысоким магнитным полем 0.4 и 0.5 Тл, в которых электромагнитное излучение на частоте альвеновской волны способно проникать к зондам полоидального массива, были определены полоидальные номера мод», то есть, что для определения полоидальных номеров мод использовался существующий массив, установленный в трубках, выведенных на атмосферу. В связи с этим возникает вопрос, почему для определения полоидальных номеров мод не использовался новый массив, зонды которого, судя по описанию на стр. 63,

способны регистрировать частоты в более широком диапазоне?

2. На стр. 75 утверждается, что «Наблюдение нескольких тороидальных гармоник одновременно соответствует распространению ТАЕ в разных областях пространства». В то же время на стр. 78 приводится рисунок 28, иллюстрирующий радиальное распределение возмущенного электрического поля альвеновской волны только для гармоники $n=1$. Без демонстрации распределения амплитуды других гармоник, вывод, сделанный на стр. 75 не обоснован.

3. На стр. 101 – 102 приводится описание режима, в котором возникают продолжительные ТАЕ с непрерывно меняющейся частотой, для которых наблюдается расщепление за счет эффекта Доплера (рис. 44). При этом никак не объясняются причины перехода от вспышек к продолжительным ТАЕ в течение одного разряда.

4. На стр. 115 утверждается, что «Спад частоты для моды $n = 1$ на рисунке 52 относится уже к тороидальной моде, в которую трансформируется каскад по достижении частоты ТАЕ, и может быть объяснен ростом электронной концентрации на начальной стадии разряда, который приводит к снижению альвеновской скорости.» При этом доказательств этого факта не приводится, несмотря на то, что для указанной моды (3/1?) участок с падающей частотой значительно превосходит по продолжительности участок с растущей частотой.

5. На стр. 119, рис 55 приводится спектрограмма сигнала магнитного зонда и сигнал удаленного от токамака датчика жесткого рентгеновского излучения, при этом на стр. 124 утверждается, что «Анализируя сигналы других диагностик, можно сделать вывод о том, что вспышки альвеновских колебаний возникают сразу после пилообразных срывов, которые наиболее хорошо заметны на сигнале жесткого рентгена (рисунок 55), а также на сигнале микроволнового интерферометра». По какой причине для демонстрации пилообразных колебаний используется сигнал жесткого рентгеновского излучения, а не мягкого, которое, как правило служит

надежным индикатором этой неустойчивости в токамаках?

Указанные замечания не снижают общую положительную оценку работы. Автореферат диссертации полностью соответствует ее содержанию.

Диссертационная работа И. М. Балаченкова соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и соответствует Положению о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, а ее автор, И. М. Балаченков, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы.

Официальный оппонент

Мельников Александр Владимирович,

ведущий научный сотрудник НИЦ «Курчатовский Институт»,

доктор физико-математических наук

Тел. ...+7 (916) 883-08-09

e-mail...Melnikov_AV@nrcki.ru

/_____ /Мельников А. В.

03 декабря 2024 года

Подпись Мельникова А. В. заверяю

Главный ученый секретарь НИЦ «Курчатовский Институт»

/_____ /Алексеева О.А.