

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Солохи Владимира Владимировича «Магнитогидродинамическая устойчивость краевой плазмы в сферических токамаках Глобус-М и Глобус-М2» по специальности 1.3.9 — «Физика плазмы» представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук

Объектом диссертационного исследования Солохи В.В. является устойчивость краевой плазмы сферических токамаков, в частности токамаков Глобус-М и Глобус-М2. В диссертации результаты исследования применяются для анализа устойчивости краевой плазмы проекта токамака Глобус-3.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав и заключения. Во введении обоснована актуальность исследования, которая определяется повышением тепловых нагрузок на компоненты токамака и загрязнением плазмы при развитии краевых неустойчивостей. Поэтому поиск режимов работы токамаков с устойчивой краевой плазмой является актуальной задачей. Дополнительно во введении сформулирована научная новизна, цели и задачи исследования, методология, выносимые на защиту положения и указан личный вклад автора, который является определяющим. Приведены списки докладов и публикаций, демонстрирующие высокий уровень достоверности результатов.

В первой главе приведён обзор численных и экспериментальных исследований краевых неустойчивостей. Описаны токамаки Глобус-М, Глобус-М2 и Глобус-3 и используемые диагностические системы. Приведены используемые численные коды. Сформулированы задачи диссертационного исследования.

Во второй главе представлены экспериментальные исследования краевых неустойчивостей на токамаке Глобус-М и Глобус-М2. Введена классификация наблюдаемых краевых неустойчивостей. Систематизированы условия возникновения независимых и синхронизированных с пилообразными колебаниями краевых неустойчивостей.

В третьей главе представлены численные эксперименты по анализу развития пилинг-баллонной моды в токамаках Глобус-М и Глобус-М2. Автором показана устойчивость пилинг-баллонной моды в токамаке Глобус-М и предложена гипотеза о механизме связи развития краевых неустойчивостей и пилообразных колебаний. Продемонстрирована применимость предсказаний моделей типа EPED для оценки предельных параметров пьедестала токамака Глобус-М2. Данная модель была применена к предсказанию параметров пьедестала проекта токамака Глобус-3, подчеркнута важность величины тока по плазме для устойчивости пьедестала.

В четвёртой главе описаны исследования устойчивости краевой плазмы в условиях разрядов с низкой треугольностью. Проведенные эксперименты показали, что дестабилизация краевых неустойчивостей происходит при низких давлениях. Моделирование продемонстрировало, что понижение предельного давления может быть связано с дестабилизацией пилинг-баллонной моды.

В заключении сделаны выводы о выполнении всех поставленных целей диссертационного исследования.

Диссертационное исследование изложено и выполнено на высоком научном уровне. В работе решена важная задача исследования устойчивости краевых мод в сферическом токамаке с характерными параметрами от Глобус-М до Глобус-3. Адаптирован для данной задачи и задействован код BOUТ++, являющийся на данный момент одним из основных и достаточно сложных инструментов для анализа неустойчивостей в плазме.

К диссертации Солохи В.В. Имеются следующие замечания:

1. В разделе «Исследование краевых неустойчивостей на Глобус-М» указано, что: «В ходе обработки данных видеосъёмки было обнаружено, что время экспозиции необходимое для детектирования сигнала имеющейся камерой на полтора порядка превышает характерное время развития неустойчивости. Таким образом, кадры камеры засвечены и для получения снимка филаментарной структуры недостаточно использовать вычитание фона, как на токамаке MAST [159]. Высоко-контрастные изображения филаментов становится возможным получить при комбинации вычитания фона, медианной фильтрации и насыщения разницы изображений.»

Не ясно, какими методами можно получить высоко-контрастные изображения с таким временем выдержки, учитывая полоидальное вращение филаментов.

2. В разделе «Моделирование развития пилинг-баллонной моды в токамаке Глобус-М» указано, что «Оценка критического инкремента рассчитывается исходя из предположения, что пилинг-баллонная неустойчивость развивается при начальных возмущениях с относительной амплитудой порядка 10^{-7} и успевает достичь величины 10^{-1} при которой возмущения становятся достаточными для стохастизации магнитных силовых линий. Предполагается, что данный процесс происходит за характерные времена между внутренним перезамыканием и вспышкой сигнала $D\alpha$.

Характерные задержки составляют 100 мкс (150-200 альвеновских времён), что приводит к оценке критического инкремента около $\gamma_{PB} \approx 0.1 \tau_A^{-1}$.»

Желательно подробнее обосновать выбор амплитуды начального возмущения и характерного времени, за которое должно произойти перезамыкание. Характерные времена между перезамыканием и вспышкой $D\alpha$ связаны с процессами переноса после перезамыкания, могут зависеть, например, от размеров дивертора и не быть связанными с критическим инкрементом.

3. В Главе 3 ширина пьедестала в моделировании указана в потоковых координатах. В то же время, для соотнесения с экспериментальными профилями, представленными в других главах, очень желательно иметь зависимость ширины пьедестала в сантиметрах от ширины в потоковых координатах. Как именно оценивал автор диссертации

экспериментальную ширину пьедестала для моделирования в близких к эксперименту условиях, когда точности диагностики Томсоновского рассеяния недостаточно, чтобы показать выраженную область повышенного градиента?

4. В разделе «Модель синхронизации внутренних перезамыканий и краевых неустойчивостей» Главы 3 был предложен профиль дополнительной плотности тока, возникающей на периферии за счет пилообразных колебаний. Однако не дано пояснений о выборе ширины этого профиля.

Сделанные замечания не снижают научной ценности диссертации. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Считаю, что диссертационная работа Солохи В.В. «Магнитогидродинамическая устойчивость краевой плазмы в сферических токамаках Глобус-М и Глобус-М2» отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 "Физика плазмы" согласно Положению о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук, а ее автор Солоха Владимир Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент

Кавеева Елизавета Геннадьевна
доктор физико-математических наук, профессор
ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого

(ученая степень присвоена по специальности 01.04.08 Физика плазмы)

Тел: +7 (921) 977-82-59
email: e.kaveeva@spbstu.ru

/ _____ / Кавеева Е.Г.

___ _____ 2025 года