

Отзыв

официального оппонента Батанова Германа Михайловича (д.ф.-м.н., главного научного сотрудника ИОФ РАН, 119991, Москва, ул. Вавилова, 38, batanov@fpl.gpi.ru, 8 499 1354165) на диссертацию Н.Н.Бахарева «Поведение быстрых частиц в сферическом токамаке Глобус-М», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы.

В последнее десятилетие получили развитие исследования физики высокотемпературной плазмы в магнитной конфигурации сферических токамаков. Это было вызвано предложениями создать гибридную схему ядерного реактора деления. Перспективность такой схемы приближает нас к использованию реакции ядерного синтеза в мирных целях.

Диссертация Н.Н.Бахарева посвящена одной из основных проблем физики плазмы сферических токамаков, а именно изучению основных каналов потерь протонов и дейтронов, возникающих при инжекции в плазму быстрых пучков атомов водорода.

Диссертантом решено несколько узловых задач исследований на единственном отечественном сферическом токамаке Глобус-М. Он также принял участие в модернизации комплекса корпускулярной диагностики, с помощью которой были получены основные экспериментальные данные о поведении быстрых протонов и дейтронов в плазме токамака Глобус-М. При модернизации данного комплекса на порядок было улучшено временное разрешение анализатора. АКОРД-24М, что позволило выполнить исследования влияния неустойчивостей плазмы на удержание быстрых ионов.

Важным результатом работы является адаптация кода NUBEAM к условиям экспериментов на токамаке Глобус-М. Диссертантом для расчета орбит ионов высоких энергий было использовано обобщенное дрейфовое приближение. Кроме того разработан компьютерный код, включающий в себя трехмерный алгоритм для вычисления траекторий ионов высоких энергий и их замедление с помощью решения уравнения Бальцмана. Создание этих новых вычислительных средств позволило провести обработку результатов экспериментов и сопоставить результаты компьютерного моделирования с результатами измерений.

Важным результатом создания этих кодов явилась также возможность прогнозировать поведение тяжелых частиц при конструировании новых экспериментальных установок. Ниже будет показано, что разработанные вычислительные средства были успешно использованы в экспериментах на токамаке Глобус-М, а также при определении параметров проектируемого токамака Глобус –2М.

В главе 3 диссертации приведены и анализируются результаты измерений инжекции в плазму токамака Глобус-М быстрых атомов водорода. Выполнены расчеты потерь мощности и выполнено сопоставление экспериментально полученных спектров атомов перезарядки и рассчитанных с помощью разработанных кодов. Необходимо подчеркнуть, что получено отличное соответствие экспериментальных и расчетных спектров. Это соответствие позволяет предполагать, что важнейший результат исследований, а именно высокий уровень потери мощности обоснован самым серьезным образом. В связи с этим, в этой части работы было бы уместно более подробно, чем это сделано, в конце стр.75, сопоставить результаты, полученные на токамаке Глобус-М, с результатами на других сферических токамаках и проанализировать причины имеющихся различий.

В этой же части диссертации описывается новый эффект влияния пилообразных колебаний на форму спектра атомов перезарядки, т.е. влияние пилообразных колебаний на удержание быстрых ионов, и говорится о наблюдении падения потока нейтронов на 15-20%. Результаты этих важных наблюдений желательнее было бы в дальнейшем

промоделировать, т.к. в диссертации утверждается, что трехмерный код с решением уравнения Бальцмана позволяет учесть и влияние пилообразных колебаний.

Важные результаты получены в диссертации при изучении влияния параметров плазмы на удержание в плазме быстрых ионов. В разделе диссертации 3.3 показано, что наиболее сильное улучшение удержания быстрых ионов возникает из-за роста тороидального тока. Улучшение удержания из-за роста величины тороидального поля более слабое, чем из-за роста тока. Показано, что данная зависимость определяется сужением орбиты быстрых ионов. Показано также, что улучшение удержания при росте тока ограничено возбуждением МГД неустойчивостей из-за уменьшения запаса устойчивости на границе плазмы.

В разделе 3.2.2. приведены результаты анализа улучшения удержания при увеличении расстояния плазменного шнура от стенки вакуумной камеры со стороны слабого поля. Дано объяснение данному эффекту в случае инъекции атомов водорода уменьшением потерь на перезарядку, а в случае инъекции атомов дейтерия уменьшением потерь с первой орбиты и уменьшением воздействия пилообразных колебаний.

В разделе 3.2.3. с помощью модельных расчетов дано объяснение зависимости эффективности нагрева плазмы пучком атомов от плотности плазмы. Показано, что имеется оптимальное значение плотности, определяемое балансом роста скорости ионизации и увеличением потерь на перезарядку.

В разделе 3.3. описаны результаты исследования обнаруженного в эксперименте эффекта влияния на потери быстрых протонов и дейтронов возбуждения альфвеновских мод. В данном разделе дано лишь качественное объяснение эффекта роста потерь быстрых дейтронов по сравнению с потерями протонов за счет роста ширины орбит и лермюровского радиуса.

В разделе 3.4. описаны результаты измеренных характеристик плазмы при контр-инъекции пучка атомов дейтерия. Результаты измерений свидетельствуют о близких к 100 % потерях дейтронов, что убедительно подтверждено расчетами орбит ионов водорода. По-видимому, автора исследования такой результат утешает получением режима улучшенного удержания, который качественно объясняется возникновением радиальности электрического поля из-за больших потерь дейтронов.

Последней раздел 3.5. третьей главы диссертации содержит описание результатов расчетов потерь частиц, как сказано, «в сооружаемом токамаке Глобус М-2». Результаты расчетов предсказывают увеличение нейтронного выхода на два порядка и повышение поглощенной мощности пучков нейтральной контр-инъекции на один порядок величины по сравнению с токамаком Глобус-М. Это приближает сооружаемый токамак Глобус-М2 по своим параметрам к будущим источникам нейтронов для гибридных реакторов деления.

В разделе «Заключение» сформулированы пять результатов исследований в полном соответствии с пятью задачами, поставленными в ходе исследований. Эти пять пунктов в постановке задач и результатов работы почему-то напоминают оппоненту пятый пункт наших стародавних анкет. Но если говорить без шуток, то решение этих пяти поставленных задач физики плазмы сферических токамаков, выполнено диссертантом на высоком современном профессиональном уровне.

Диссертация представляет собой добротное исследование в рамках актуальной научной проблемы. В лице диссертанта мы имеем высококвалифицированного специалиста, владеющего современными методами измерений и обработки их результатов. Результатами исследований внесен заметный вклад в отечественные исследования высокотемпературной плазмы по программе УТС.

Диссертация, без сомнения, отвечает требованиям ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08-физика плазмы. Содержание диссертации соответствует тексту опубликованных

работ и тексту автореферата. Диссертант Н.Н.Бахарев, безусловно, заслуживает присвоение ему искомой степени.

Главный научный сотрудник отдела «Физика плазмы» ИОФ РАН
доктор физико-математических наук, профессор

6.03.17

Г.М.Батанов

Подпись Г.М.Батанова подтверждаю.

Ученый секретарь ИОФ РАН
доктор физико-математических наук

С.Н.Андреев