

Отзыв на автореферат
диссертации Белокурова Александра Александровича
«Влияние геодезической акустической моды и инжекции макрочастицы на
динамику L-H перехода в токамаке»

В представленном автореферате вкратце излагается диссертационная работа по исследованию основных факторов влияющих на переход в режим улучшенного удержания (или Н-моду) в плазме токамака. Здесь рассматривается такой переход из L в H - моду как результат подавления аномально высокого турбулентного переноса тепла на периферии плазменного шнура за счет ширины скорости полоидального вращения плазмы. Неоднородность скорости полоидального вращения обусловливается дрейфом в скрещенных неоднородном радиальном электрическом E_r и тороидальном магнитном полях B_T . Как показали эксперименты, помимо величины ширины E_r и пороговой мощности нагрева возможность L-H перехода также определяется величиной пороговой концентрации и свойствами турбулентности.

Одной из основных задач соискателя являлось создание транспортной модели, применимой к различным сценариям на разных токамаках и позволяющей рассчитать эволюцию профилей концентрации и ионной температуры с учетом зависимости коэффициентов переноса от неоднородности радиального электрического поля. Такая неоднородность E_r в токамаке может быть обусловлена как раскачкой геодезической акустической моды (ГАМ), так и каким-либо локальным возмущением плотности на периферии, например, как это было сделано на токамаке ТУМАН-3М, за счет тангенциальной инжекции замороженной макрочастицы.

Как отмечается в автореферате, при теоретическом рассмотрении уравнений переноса, описывающих бифуркацию в ионной компоненте (с нелинейной зависимостью потока частиц и тепла от градиента концентрации и давления) использовались специально сконструированные коэффициенты диффузии и температуропроводности, зависящие от отношения ширины E_r к инкременту нарастания турбулентности γ , для оценки которого использовался гирокинетический код ELMFIRE. С помощью разработанной модели соискателем был проведен анализ возможности L-H перехода на токамаках ТУМАН-3М и ФТ-2 в экспериментах с контролем параметров колебаний ГАМов.

Рассчитанные нелинейные зависимости потока частиц от градиента концентрации (в области максимального градиента плотности) для двух установок в автореферате сравниваются на рис. 2. Интересно отметить, что в условиях эксперимента на токамаке ТУМАН-3М, когда при омическом нагреве наблюдается L-H переход, величина интегрального источника частиц предполагает существование двух стационарных решений уравнения диффузии. Переключение между этими решениями происходит в случае сильного возмущения шири E_r , вызванного раскачкой ГАМов. На токамаке ФТ-2 при умеренной средней плотности $\langle n_e \rangle \sim 4 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}$ и наблюдаемых параметрах ГАМов (амплитуда, частота) в режиме омического нагрева интегральный поток оказывается достаточно малым, что предполагает только одно решение уравнения диффузии. В результате осуществляется режим только стационарной L-моды, что подтверждается экспериментальными данными.

Тем не менее, в режиме с более высокой средней концентрацией $\langle n_e \rangle \sim 9 - 10 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}$ при увеличении интегрального потока в условиях омического нагрева на ФТ-2 возможно инициирование L-H перехода (то есть, предполагается существование двух стационарных решений уравнения диффузии), что было продемонстрировано в экспериментах сдейтериевой плазмой. Достаточно подробно с точки зрения изотопного состава (водород/дейтерий) этот вопрос рассмотрен в 4-ой главе, которая посвящена роли источника частиц, «как фактора, ответственного за инициирование L - H перехода».

Основное внимание в диссертации уделяется экспериментам на токамаке ТУМАН-3М. Здесь следует выделить описание особенности применения разработанной транспортной модели для расчета эволюции профилей концентрации и ионной температуры в разрядах с пеллет инжекцией.

В целом автореферат даёт полное представление о целях, научной новизне и практической ценности работы. Положения, выносимые на защиту, являются достаточно убедительными. Приведённое в автореферате краткое содержание позволяет также получить представление об объёме проделанной работы.

Полученные в ходе выполнения работы результаты являются новыми и оригинальными. Например, показана высокая эффективность разработанного подхода в случае применения транспортной модели для расчета эволюции

профилей концентрации и ионной температуры в условиях меняющихся параметров (амплитуда, частота) ГАМ.

В качестве замечаний следует отметить желательность более подробного описания физических процессов приводящих к появлению зональных потоков и раскачке геодезической акустической моды. Кроме того, следовало бы привести основные параметры подробно рассматриваемых токамаков ТУМАН-3М и ФТ-2. Это необходимо для более полного представления круга задач, которые необходимо будет решать с помощью используемого в работе подхода.

Полученные в диссертационной работе результаты имеют большое научное и практическое значение.

Автореферат полно отражает содержание проделанной соискателем работы и соответствует всем требованиям положения о присуждении ученых степеней. Считаю, что Белокуров Александр Александрович заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Старший научный сотрудник
лаборатории физики высокотемпературной плазмы
ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН,
кандидат физико-математических наук,

Лашкул С.И.

