Исследование Феноменологии режима с улучшенным удержанием на токамаке Т-11м

А.Г. Алексеев, В.Б. Лазарев, С.В. Мирнов, А.И. Панов, А.Н. Щербак

ФГУП ГНЦ РФ ТРИНИТИ, Россия, 142190, г. Москва, г. Троицк, ул. Пушковых, вл. 12, romashkovo\_n@mail.ru

В экспериментальных кампаниях последних лет с вертикальным литиевым лимитером на токамаке Т-11М были обнаружены режимы с улучшенным удержанием. Подобные режимы наблюдались ранее на токамаке FTU [1] в экспериментах с литиизацией при высоких плотностях. Данный режим характеризуется относительно острым профилем плотности плазменного шнура Ne(r) с более высокими значениями плотности в центре Ne(0) по сравнению с Ne(0) в типичных режимах работы Т-11М. Также он отличается значительным увеличением мощности мягкого рентгеновского излучения из центра плазменного шнура. В этом режиме увеличивается время жизни частиц примерно в два раза. Энергетическое время также увеличивается на 30-40%. Это позволяет говорить о режиме с улучшенным удержанием. Условно его можно назвать Н-режимом, поскольку имеется ряд существенных отличий от обычной H-моды. Основные отличия - пикированность профиля плотности и сбор примесей в центр плазменного шнура. Это свойство отличает полученный режим от Н-режима полученного на Т-11М после боронизации [2]. Кроме того также замечено, что данные режимы имеют свои особенные черты, схожие с особенностями недавно обнаруженной на установке Alkator C-Mode I-моды [3].

Переход в так называемый Н-режим Т-11М (условно L-H переход) идентифицировался по резкому уменьшению свечения линий Li I и Hα из области взаимодействия плазменного шнура с литиевым лимитером. При обратном переходе происходит резкое увеличение свечения линий. В работе были изучены условия L-H перехода. Показано, что условия газонапуска существенно влияют на возможность L-H перехода. Также показано, что порог L-H перехода близок к значениям скейлинга для Н-режима. Некоторое отличие (снижение порога) можно объяснить эффектом литиизации камеры токамака и более чистой плазмой.

В работе изучалось появление пилообразных колебаний мягкого рентгена из области центра плазменного шнура, а также характерные особенности вращения шнура, наблюдавшихся с помощью гибридного матричного детектора формата 16х16 с межкадровым интервалом до 1,6 мкс, установленного в тангенциальный патрубок токамака Т-11М и имеющего плоскую спектральную характеристику в области ультрафиолетового и мягкого рентгеновского излучения.

Фурье-анализ эволюции сигналов с различных каналов матричного детектора показал, что в режиме с улучшенным удержанием наблюдается градиент частоты вращения плазменного шнура. Область плазменного шнура с r < 2/3a вращается с частотой около 15 кГц, а вне этой области вращения не наблюдается. В определенный момент наблюдается резкое падение частоты вращения с синхронизацией вращения центра и периферии. То есть внешняя часть плазменного шнура начинает вращаться вместе и синхронно с центром. Данный момент совпадает по времени со скачком интенсивности свечения линий Li I и Hα и падением плотности. Этот момент идентифицируется как выход из режима с улучшенным удержанием.

Литература

1. G. Mazzitelli et al. FTU results with a liquid lithium limiter. Nucl. Fusion 51 (2011) 073006.
2. Lazarev V.B., et al, 15-th IAEA Inter. Conf. on plasma physics and controlled nuclear fusion, Seville, 1994, IAEA-CN-60/A2/A4-P6, V.2, p.45-51.
3. A.E. Hubbard. 24th Fusion Energy Conference, San Diego, 2012, IAEA FEC-EX/1-3/P-3, p. 36.