ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ЭФФЕКТА «DENSITY PUMP-OUT» НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ САМООРГАНИЗАЦИИ ПЛАЗМЫ В ТОКАМАКЕ Т-10

Н.В. Касьянова

НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва, Россия, kasianova\_n@mail.ru

Многочисленные эксперименты с ЭЦР нагревом, проведенные на токамаке Т-10, показали, что в переходных процессах после включения и отключения ЭЦР нагрева наблюдается аномально быстрое изменение переноса тепла [1]. Анализ экспериментов показал, что наиболее вероятным объяснением является вынос частиц из зоны ЭЦР нагрева на периферию, так называемый эффект “density pump-out”.

Исследование эволюции плотности при ЭЦР нагреве важно для будущего реактора, в котором основной вклад тепла от α-частиц осуществляется в центре плазмы. Поэтому изучение переноса частиц при центральном ЭЦР нагреве позволит получить важную дополнительную информацию, необходимую для создания токамака-реактора.

В данной работе анализируется серия импульсов токамака Т-10, которые были получены при фиксированной мощности центрального ЭЦР нагрева (PEC = 1,2 МВт), полном токе (Ip = 220 кА) и магнитном поле (Bz = 23,3 кГс). Средняя плотность менялась от разряда к разряду в диапазоне <ne> = (2,0 – 4,0) x 1019 м–3.

Анализ выноса частиц из центра плазмы после включения центрального ЭЦР нагрева проводится в рамках подхода неравновесной термодинамики, когда устойчивые самосогласованные состояния соответствуют минимуму свободной энергии. При вынужденных отклонениях системы от равновесного состояния происходит ее последующая релаксация к равновесию. В соответствии с [2] динамика линейной релаксации температуры и плотности описывается уравнениями, имеющими вид уравнения Смолуховского. Показано, что данный подход позволяет описать временную эволюцию профиля плотности после включения центрального ЭЦР нагрева и зависимость выноса частиц от средней плотности плазмы.

Также для анализа экспериментальных данных применялся метод, основанный на решении обратных коэффициентных задач [3, 4]. С помощью этого метода были восстановлены коэффициент диффузии и скорость пинчевания частиц и определены диффузионный и конвективный потоки частиц для переходного процесса после включения ЭЦР нагрева. Показано, что сразу после включения центрального ЭЦР нагрева происходит изменение как диффузионного, так и конвективного потоков за время существенно меньше времени удержания частиц в токамаке Т-10. Приводится сравнение результатов, полученных двумя методами.

Литература

1. Andreev V F et al Plasma Phys. Control Fusion 46 (2004) 319
2. К.С. Дябилин, К.А. Разумова, Физика плазмы, 2015, т. 41, №9, с. 747-757
3. Н.В. Касьянова, В.Ф. Андреев, ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез. 2012, вып.4, с. 71-79
4. Н.В. Касьянова, В.Ф. Андреев, ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез. 2014,т.37, вып.2, с.73