Динамика ЭЦР нагрева плазмы в стеллараторе Л-2М

А.И. Мещеряков1, Г.М. Батанов1, В.Д. Борзосеков1, Д.Г. Васильков1, И.Ю. Вафин1, Е.В. Воронова1, С.Е. Гребенщиков1, И.А. Гришина1, Каряка В.И.2, Л.В. Колик1, Е.М. Кончеков1, А.А. Летунов1, В.П. Логвиненко1,2, Д.В. Малахов1, А.Е. Петров1, К.А. Сарксян1, Н.Н. Скворцова1, В.Д. Степахин1, Н.К. Харчев1, А.А. Харчевский1, Ю.В. Хольнов1, С.В. Щепетов1

1Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия, meshch@fpl.gpi.ru
2Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

На стеллараторе Л-2М основным методом нагрева плазмы является электронный циклотронный резонансный нагрев. Мощность нагрева составляет 100-800 кВт при длительности нагрева 10 мс. На квазистационарной стадии разряда энергосоджержание плазмы достигает 0,8 кДж при плотности 2,5·1019 м−3. В данной работе исследованы не только возможности удержания плазмы на квазистационарной стадии разряда, но и динамика удержания плазмы на стадиях начального нагрева и остывания плазмы после выключения СВЧ импульса.

Для анализа динамики удержания плазмы в стеллараторе Л-2М использовалось понятие мгновенного энергетического времени жизни, которое определялось как отношение энергосодержания плазмы к полной мощности потерь в каждый момент времени:

τEdin(t) = W(t)/Ploss(t).

Мощность потерь определялась из глобального уравнения баланса энергии: dW/dt = PECRH -Ploss. Временная эволюция мгновенного энергетического времени жизни для импульса с плотностью плазмы 2,4·1019 м−3 при мощности нагрева 200 кВт показана на рисунке.

Видно, что процесс нагрева и охлаждения плазмы состоит из четырех фаз, в каждой из которых удержание плазмы имеет свои особенности. В первой фазе происходит нагрев плазмы, ее энергосодержание растет, при этом край плазмы остается холодным, что обеспечивает низкий уровень теплопроводностных и диффузионных потерь. Далее происходит быстрый переход (менее чем за 400 мкс) в квазистационарную фазу разряда (фаза 2). После выключения импульса СВЧ нагрева начинается остывание плазмы при постоянной плотности плазмы, которое длится ~8 мс, что близко к длительности импульса нагрева. При остывании плазмы можно выделить еще две фазы. В фазе три мгновенное энергетическое время линейно растет, что соответствует одномашинному скейлингу стелларатора Л-2М (τЕ ~ Ploss−0,7). Когда край плазмы остывает, третья фаза плавно переходит в четвертую, которая характеризуется постоянством мощности потерь при уменьшении энергосодержания, то есть уменьшением мгновенного энергетического времени жизни.



Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 18-02-00609). Экспериментальная работа стелларатора Л-2М выполнена за счет средств федерального бюджета в рамках госзадания по теме № АААА-А18-118013000279-8 “Фундаментальные проблемы динамики, удержания и нагрева плазмы в трехмерных магнитных конфигурациях”