ОСОБЕННОСТИ Удержания плазмы в стеллараторе Л-2М при ЭЦР-нагреве плазмы при уровне мОщности до 1 мВт

А.И. Мещеряков, С.Е. Гребенщиков, Д.Г. Васильков, И.Ю. Вафин, С.В. Щепетов, Ю.В. Хольнов, И.А. Гришина, Л.М. Коврижных, Н.К. Харчев, Г.М. Батанов, К.А. Сарксян, В.Д. Борзосеков, Н.Н. Скворцова, М.С. Бережецкий, Н.Ф. Ларионова, Д.В. Малахов, Е.М. Кончеков, А.Е. Петров, Е.В. Воронова, Л.В. Колик, А.А. Летунов, В.П. Логвиненко, В.Д. Степахин

Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, Москва, Россия, meshch@fpl.gpi.ru

В течении ряда лет на стеллараторе Л-2М проводятся эксперименты по созданию и нагреву плазмы только с помощью СВЧ излучения на второй гармонике электронной циклотронной частоты. Отличительной особенностью этих экспериментов является высокий уровень удельной мощности ЭЦР нагрева плазмы. Гиротронный комплекс МИГ-3 [1] состоит из двух гиротронов «Борец» и двух квазиоптических трактов. В настоящее время комплекс позволяет вводить в камеру стелларатора СВЧ излучение на уровне P = 1,0 МВт, а удельная мощность нагрева достигает величины P/V = 4,0 МВт/м3.

При небольших уровнях мощности ЭЦР нагрева P = 150 – 250 кВт, профиль плотности плазмы на стационарной стадии нагрева оказывается плоским, ne = n0\*(1 – (r/ap)p с показателем p = 10 – 16, а профиль электронной температуры – параболой в квадрате. Увеличение мощности нагрева плазмы приводит к появлению немонотонных профилей плотности с провалом в центре плазменного шнура, а при мощностях нагрева P = 400 – 800 кВт провал достигает величины ne(0) / nemax = 0,5. На формирование профиля, по-видимому, оказывает сильное влияние эффект «electron density pump out», наблюдаемый при ЭЦР нагреве на токамаках и стеллараторах [2]. В стеллараторе Л-2М этот эффект выражен наиболее сильно, что связано, по-видимому, с высоким уровнем удельной мощностями ЭЦР нагрева. В настоящее время нет полной ясности в физических процессах ответственных за образование подобных профилей плотности.

С ростом удельной мощности ЭЦР нагрева непрерывно возрастает центральная электронная температура, измеряемая с помощью многохордовой диагностики мягкого рентгеновского излучения (МРИ). Как показали измерения, при высокой мощности нагрева PECRH = 400 – 1000 кВт профили электронной температуры в области r/ap ≤ 0,4 оказываются плоскими, по-видимому, из-за рефракции ЭЦ излучения на периферии

В экспериментах с высокой мощностью ЭЦР нагрева (PECRH = 400 – 1000 кВт) и плотностью плазмы ne = 2,0\*1019 м–3 было обнаружено, что спектр МРИ, измеренный в диапазоне от двух до пятнадцати электронных температур, является не максвелловским. Его можно представить распределением с двумя температурами: Te = 0,8 кэВ в диапазоне E < 6Te и Te = 2,0 кэВ в диапазоне E > 6Te. Подобный спектр получен на стеллараторе Л-2М впервые и не имеет пока физического обоснования.

Несмотря на усиление взаимодействия плазмы со стенкой, при увеличении мощности нагрева до PECRH = 1,0 МВт не обнаружено заметного ухудшения удержания плазмы в стеллараторе Л-2М. В пределах ошибок измерения поглощаемой мощности, измеренное энергетическое время жизни совпадает с международным скейлингом ISS95.

Литература

1. G.M. Batanov, V.I. Belousov, et al, Plasma Physics Reports, V.39, No 13, p. 1088 (2013).
2. Erckmann V. and Gasparino U. – Plasma Phys. Control. Fusion, 1994, vol.36, p.1869.