Немаксвелловские спектры мягкого рентгеновского излучения, измеренные в режиме ЭЦР нагрева на стеллараторе Л-2М

А.И. Мещеряков, Д.Г. Васильков, А.А. Васильева, И.Ю. Вафин, Е.В. Воронова, И.А. Гришина, А.А. Летунов, В.П. Логвиненко, В.Д. Степахин

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

При ЭЦР нагреве плазмы в тороидальных ловушках наблюдаются немаксвелловские двухтемпературные спектры мягкого рентгеновского излучения [1, 2, 3]. В полулогарифмическом масштабе эти спектры представляют собой два линейных участка, которые могут быть охарактеризованы двумя «температурами»: температура тепловой части спектра Tebulk и температура надтеплового хвоста Tetail. Не существует адекватной гипотезы относительно причины возникновения второго линейного участка в спектрах. Зависимости наклона надтеплового участка спектра от параметров плазмы и мощности ЭЦР нагрева ранее не исследовались. На стеллараторе Л-2М были проведены эксперименты, ставящие своей целью прояснить механизм формирования двухтемпературных спектров в режиме ЭЦР нагрева плазмы. Для этого были измерены зависимости температур Tebulk и Tetail от плотности плазмы и мощности ECR нагрева

Были измерены зависимости температур Tebulk и Tetail от мощности ECR нагрева, нормализованной на электронную плотность ne = 1019 м-3. Эта зависимость была измерена в режиме центрального нагрева плазмы одним гиротроном, мощность которого изменялась от 100 до 400 кВт. При этом плотность плазмы изменялась в диапазоне 0.9\*1019 < ne < 2.5 1019 м-3. Установлено, что Tebulk растет с увеличением мощности нагрева, что является вполне ожидаемым. При этом, температура надтеплового хвоста Tetail с ростом мощности остается неизменной в пределах ошибки измерений (~20%).

Также была измерена зависимость температур Tebulk и Tetail от плотности плазмы при двух мощностях ЭЦР нагрева P = 200 и 400 кВт. Установлено, что с уменьшением плотности, температура тепловой части электронов возрастает, в то время как «температура» надтепловой части электронов остается неизменной (в пределах ошибок измерений).

Можно предположить, что наблюдаемая форма SXR спектра связана с тем, что поглощение СВЧ излучения происходит в очень узкой области в центре плазмы. В определенных условиях это может привести к формированию профиля температуры с острым пиком в области нагрева. В область зрения спектрометра, принимающего SXR излучение по центральной хорде, попадает как излучение из области нагрева плазмы, так и излучение из более холодных областей плазмы. Предварительное моделирование потока рентгеновского излучения из плазмы, проведенное при различных заданных профилях плотности и температуры плазмы, показало, что в некоторых случаях возможно возникновение «двухтемпературных» спектров.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант No 15-02-09192).

Литература

[1]. Yu.V. Esipchuk, N.A. Kirneva, A.A. Martynov, V.M. Trukhin, Suprathermal SXR emission in ECCD experiments at the T-10 tokamak, Plasma Physics Reports, (1995), V. 21, No 7

[2]. P. Blanchard, S.Alberti, S.Coda, H. Weisen, P. Nikkola, and I. Klimanov, Hight field side measuraments of non-thermal electron cyclotron emission on TCV plasmas with ECH and ECCD, Plasma Phys. And Control. Fussion 44 (2002) pp.2231-2249.

[3]. A.I. Meshcheryakov, D.G. Vasilkov, A.A. Vasileva, I.Yu. Vaphin, E.V. Voronova, I.A. Grishina, V.P. Logvinenko and V.D. Stepakhin, Proceedinds of the 42 EPS Conference on Plasma Physics (2015), P5.148, <http://ocs.ciemat.es/EPS2015ABS/pdf/P5.148.pdf>