Аномальное поглощение и рассеяние при ЭЦ нагреве плазмы на второй гармонике резонанса, связанные с двухплазмонным распадом

Е.З. Гусаков, А.Ю. Попов

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

В настоящее время ЭЦ нагрев плазмы широко применяется в экспериментах на тороидальных установках и планируется к использованию в токамаке ITER. Анализ различных сценариев параметрических неустойчивостей СВЧ волн накачки в случае монотонного профиля плотности плазмы [1] предсказывает, что пороги их возбуждения существенно выше, чем достижимая в настояще время мощность нагрева, что обусловлено большими конвективными потерями энергии дочерних волн из области параметрического распада. Однако, в последнее время были получены многочисленные экспериментальные свидетельства наличия аномальных эффектов при распространении СВЧ волн при ЭЦ нагреве плазмы в установках TEXTOR, TCV, TJ-II, ASDEX-U, LHD и FTU. Среди них - наблюдение мощного аномального отражения волны накачки в присутствии магнитного острова на токамаке TEXTOR [2, 3] и аномальный нагрев ионов на токамаке TCV [4].

В настоящей докладе дано описание теоретической модели, развивающей стандартные теоретические представления [1] и учитывающей немонотонность профиля плотности, вызванного особенностями удержания плазмы в магнитном острове или «electron-pump-out» эффектом. Явления аномального рассеяния и нагрева ионов интерпретируются как следствие вторичного нелинейного процесса, сопровождающего первичный низкопороговый параметрический распад волны накачки на два верхнегибридных (ВГ) плазмона, возбуждение которого обусловлено полным подавлением потерь энергии дочерних волн из области нелинейного взаимодействия из-за их трехмерной локализации в присутствии немонотонного профиля плотности плазмы и пучка волн накачки. Порог возбуждения первичной неустойчивости (десятки кВт [5]) существенно ниже, чем в случае монотонного профиля плазмы (несколько МВт [1]). В качестве механизмов насыщения этой неустойчивости рассматриваются каскад распадов дочерних ВГ волн [6], в результате которого возбуждаются вторичные ВГ и ионные бернштейновские волны, и истощение накачки. Показано, что нелинейное взаимодействие различных дочерних волн может приводить к генерации необыкновенной волны, частота которой смещена вниз относительно частоты волны накачки. Этот механизм позволяет воспроизвести в деталях спектр аномально рассеянных волн и оценить мощность принимаемых сигналов [3], предсказывает для типичных условий токамака TEXTOR потерю 25% мощности накачки в электронном канале и может объяснить нагрев ионов на токамаке TCV.

Литература

1. M. Porkolab, B.I. Cohen 1988 *Nucl. Fusion* **28** 239
2. E. Westerhof, S. Nielsen, J. W. Oosterbeek et al. 2009 *Phys. Rev. Lett.* **103** 125001
3. S.K. Nielsen, M. Salewski, E. Westerhof et al. 2013 *Plasma Phys. Control.Fusion* **55** 115003
4. A. N. Karpushov et al. 2006 *Proc. of 33rd EPS Conference on Plasma Physics, 2006* **30I** P–1.152
5. A.Yu. Popov, E.Z. Gusakov 2015 *Plasma Phys. Control. Fusion* **57** 025022
6. A.Yu. Popov, E.Z. Gusakov 2015 *JETP,* **121***, 362*