Влияние флуктуаций плотности плазмы на процесс линейной трансформации электромагнитных волн электронного циклотронного диапазона частот в магнитоактивной плазме

Е.Д. Господчиков, Т.А. Хусаинов, А.Г. Шалашов

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия, egos@appl.sci-nnov.ru

На основе развитой теории линейного взаимодействия электромагнитных волн в трехмерно-неоднородной магнитоактивной плазме найдено непротиворечивое объяснение низкой эффективности конверсии волновых пучков, систематически наблюдающейся во всех экспериментах по электронно-циклотронному нагреву плотной закритической плазмы в токамаках и стеллараторах, использующих линейную конверсию внешнего электромагнитного излучения в электростатические плазменные (бернштейновские) волны. Эффективность «просачивания» электромагнитного излучения достигает максимума, когда волновой фронт пучка искривлен специальным образом; в установках с большим аспектным отношением оптимальная поверхность фазового фронта с высокой точностью совпадает с магнитной поверхностью, на которой выполняется условие пламенного резонанса [1,2]. В отличие от флуктуационных эффектов, которые традиционно привлекались для объяснения низкой эффективности просачивания [3], геометрические эффекты могут быть скомпенсированы оптимальной фокусировкой волнового пучка на стадии проектирования системы ввода излучения, что позволит существенно повысить эффективность нагрева закритической плазмы в тороидальных магнитных ловушках (с 10% до 70% на примере недавно созданной системы ввода микроволнового излучения токамака FTU, Италия [4]).

В данной работе с использованием метода эталонных задач существенно пересмотрен устоявшийся в литературе подход к оценке роли флуктуаций в процессе линейной трансформации вблизи поверхности плазменного резонанса. Установлено, что для реалистичных параметров флуктуаций плотности плазмы и магнитного потока, влиянием флуктуаций нельзя объяснить наблюдающуюся в современном эксперименте низкую эффективность нагрева плазмы. Показано, что вопреки сложившимся представлениям, основным фактором, препятствующим проникновению волнового поля сквозь область непрозрачности в окрестности поверхности плазменного резонанса, в условиях современного эксперимента являются новые геометрические эффекты, связанные с двойной кривизной тороидальных магнитных поверхностей.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований (гранты №№ 12-02-33043-мол-а-вед, 12-02-00648-а) и Совета по грантам при президенте Российской Федерации для поддержки молодых ученых.

Литература

1. Т.А. Хусаинов, Е.Д. Господчиков, А.Г. Шалашов, Влияние кривизны магнитных поверхностей на линейную трансформацию волн электронного циклотронного диапазона в плазме токамака, Физика Плазмы, Т.38 №2 с.99-109 (2012)
2. E. D. Gospodchikov, T. A. Khusainov, A. G. Shalashov Impact of the poloidal curvature on a linear mode-conversion of quasi-optical wave beams in tokamak plasmas. Plasma Physics and Controlled Fusion, 54, 045009 (2012)
3. H. P.Laqua, V. Erckmann, H. J. Hartfuß et al., Resonant and Nonresonant Electron Cyclotron Heating at Desities above the Plasma Cutoff by O-X-B Mode Conversion at the W&-AS Stellarator, Phys. Rev. Lett. Vol.78, P. 3467 (1997)
4. W. Bin, A. Bruschi, O. D'Arcangelo et al., Feasibility study of O–X coupling for overdense plasma heating through O–X–B mode conversion in FTU, Nucl. Fusion 53 083020 (2013)