Локальные и нелокальные процессы формирования внутренних транспортных барьеров около поверхности q=1 в плазме токамака Т-10

С.В. Неудачин, Д.А. Шелухин, А.А. Борщеговский, C.Г. Мальцев, Н.А. Мустафин, Т.Б. Мялтон

ИФТ НИЦ «Курчатовский институт», 123182 Moсква, РФ пл. Курчатова 1

Роль поверхности q=1 в формировании внутреннего транспортного барьера (ВТБ) исследована в ряде экспериментов Т-10 и ранее. Формирование ВТБ в Т-10 наблюдалось на фронте тепловой волны в области q≈1 (при включении центрального ЭЦРН на фоне плазмы с подавленными пилообразными колебаниями сформированной нецентральным ЭЦРН) при нагреве как на 1-й [1] так и на 2-й гармониках [2] ЭЦР. Нелокальное уменьшение χe в центральной части шнура обнаружено при появлении (или приближении) поверхности q=1 [3-4]. Улучшенное удержание примесей в около q=1 в омических режимах отмечено в [5]. ВТБ на q= 1.5, 2 существуют в режиме после инжекции больших пеллет [6]. Уменьшение χe в центральной части шнура отмечено после пилообразных колебаний при контр и ко-генерации ЭЦ-тока [7-8]. Внутренняя и внешняя МГД-активность может быть триггером внезапного и нелокального появления ВТБ (ITB-event) в плазме JT-60U [4].

Недавно описан новый тип ВТБ, вызываемого почти подавленными нецентральным ЭЦРН и ЭЦ-генерацией тока пилообразными колебаниями [9]. В данном докладе описана эволюция переноса и турбулентности при появлении данного ВТБ (P ECRH=1 Mвт, qL=2.5). Пилообразное колебание вызывает рост Te и ne вне радиуса переворота фазы rs. Рефлектометрические измерения показывают нелокальную вспышку турбулентности после внутреннего срыва (на частотах 40-120 кГц при r/a=0.55 и 20-120 кГц при r/a=0.8) длительностью 1-1.5 мс. Возмущения Te и ne быстро спадают. При r/a=0.6, выброс Te распадается за 0.5 мс, что в 3-4 раза быстрее, чем в импульсах с qL=2.8 и центральным ЭЦРН, где не было замечено вспышки турбулентности [10]. Позже, при формировании ВТБ, уровень турбулентности падает пониже чем перед срывом, спектр турбулентности сужается. Выброс ne перестает распадаться. Te быстро растет к новому квазистационарному состоянию внутри r/a=0.5 и тепло не распространяется наружу вплоть до распада ВТБ, существующего в интервале времени, сравнимом с энергетическим временем жизни.

Внезапное и нелокальное появление ВТБ (ITB-event) впервые обнаружено при отключении газонапуска в Омических режимах (эксперименты В А Вершкова) и наблюдается как одновременное появление роста Te в зоне 0.2<r/a<0.5, то есть вокруг поверхности q=1 (радиус переворота фазы лежит на r/a=0.25). Поток тепла и величина χe падают в широкой зоне (30-40% малого радиуса) и примерно вдвое при r/a = 0.4-0.5. В отличие от ВТБ при ЭЦРН описанного выше, в данном случае начинается накопление примесей.

Литература

1. Bagdasarov A A, Vasin N L, Neudatchin S V and Savrukhin P V 1991 Pl. Phys. and Control Nucl. Fus. Res. (Proc. 15th Int. Conf., Washington, 1990) vol 1 (Vienna: IAEA) p 253
2. Neudatchin S V., Kislov A. Ya, Krupin V. A. et al 2003 Nucl. Fusion **43** 1405
3. Neudatchin S., Inagaki S., Itoh K., Kislov A., et al 2004 J. Plasma and Fus. Res. Series 6 134
4. Neudatchin S V.,et al 2006 Proc. 21st IAEA Fusion Energy Conf. (Chengdo, 2006) EX/P1-8
5. Bygarya V.I. et al 1983 Sov J, Plasma Physics v 9 **5** р 914
6. Pavlov Yu.D.,et al 2006 Proc. 21st IAEA Fusion Energy Conf. (Chengdo, 2006) EX/P3-11
7. Kislov D.A., et al., 1995 22th EPS Conf. on Cont. Fus. and Pl. Phys. Bournemouth P.1 p392
8. Kirneva N A et al 2000 27th EPS Conf. on Cont. Fus. and Pl. Phys. (Budapest, 2000) P2.031
9. Neudatchin SV., Shelukhin DA et al Proc. 25th IAEA Fus Energy Conf. (St-Petersburg, 2014) EX/P1-43
10. Neudatchin SV., Shelukhin DA 2011 *38th EPS Conf. on Cont. Fus. and Pl. Ph. (Strasbourg)*