Флуктуации плотности как внутренний механизм сохранения самосогласованного профиля давления

В.А. Вершков, Д.А. Шелухин, Г.Ф. Субботин, Ю.Н. Днестровский, А.В. Данилов, Е.П. Горбунов, С.Г. Мальцев, Д.С. Сергеев, С.В. Крылов, Т.Б. Мялтон, Д.В. Рыжаков, В.М. Трухин, В.В. Чистяков, С.В. Черкасов

НИЦ «Курчатовский институт» (НИЦ «КИ») ,г. Москва, Россия, V.Vershkov@fc.iterru.ru

Традиционно предполагается, что амплитуда флуктуаций плотности является мерой уровня турбулентности и, что она должна коррелировать с удержанием энергии. Некоторые эксперименты, действительно, демонстрируют эту связь. Однако недавние эксперименты на DIII-D показали, что не существует прямого соотношения между флуктуациями плотности и временами сохранения энергии. Так уровень флуктуаций плотности не вырастал при ЭЦ нагреве [1]. Также характерной особенностью ЭЦ нагрева является “pump out”. В работе [2] исследовалась динамика электронной компоненты и ее связь с флуктуациями плотности. В данном докладе представлены новая интерпретация старых и приведены новые данные экспериментов на токамаке Т-10.

Эксперименты с центральным ЭЦ нагревом показали, что уровень флуктуаций плотности уменьшается, несмотря на сильную деградацию удержания энергии. Уменьшение флуктуаций также подтверждается данными HIBP. Анализ экспериментов показал, что относительная величина флуктуаций плотности связана не с удержанием энергии, а с формой профиля плотности, как dn/n(r)=0.2*q*a·*r*/*L*n, где *L*n= (∂ ln *n*e /∂ ln *r*)-1

Оценки показывают, что уровень турбулентности достаточен для генерации пинчевых потоков, необходимых для поддержания колоколобразного профиля плотности. Таким образом, в стационарных условиях, уровень флуктуаций плотности необходимы и достаточны для формирования пикированной плотности.

Изучение разрядов с сильной вариацией плотности из-за отключения или включения газонапуска в омическом режиме или “pump out” в ЭЦН показало, турбулентность увеличивается относительно минимального значения в стационаре как на росте плотности, так и на ее распаде. Экспериментальные данные показывают, что прирост уровня флуктуаций пропорционален величине потока частиц на этом же радиусе. Причем этот прирост одинаков как при росте плотности, когда поток частиц направлен внутрь, так и при распаде при потоке наружу. Таким образом, можно предположить, что минимальный уровень турбулентности формирует стационарный профиль плотности, и уровень турбулентности и потоки вырастают, если профиль отклоняется от стационарного.

Исследование динамики изменения плотности выявило существование режима с низкими коэффициентами переноса и повышенными. Первые реализуются в стационарных омических режимах, а вторые наблюдаются в режимах с быстрым распадом плотности при выключении газонапуска в омическом режиме и при “pump out” в ЭЦН. Анализ результатов позволил выдвинуть гипотезу о том, что ухудшение удержания частиц связано с приближением профиля давления электронов к некоторому предельному профилю. Причем этот профиль одинаков как при распадах плотности в омическом режиме, так и при “pump out” в ЭЦН. Расчеты по модели канонических профилей [3] показали, что предельный профиль давления совпадает с каноническим в центральной области шнура.

Работа выполнена в рамках контракта с "Росатом" 13.05.2013 № H.4x.44.90.13.1101

Литература

[1] J. C. Hillesheim, et al, Physics of Plasmas 20, 056115 (2013)

[2] V.A. Vershkov, M.A. Borisov, G.F. Subbotin, et al, Nucl. Fusion 53 (2013) 083014

[3] Dnestrovskij Yu.N., et al, *Plasma Phys.Control. Fusion* 49 1477–96.