Изотопный эффект во взаимодействии ГАМ и турбулентности и аномальный перенос в токамаке

Е.З. Гусаков, А.Д. Гурченко, П. Нискала\*, А.Б. Алтухов, Л.А. Есипов, Т. Кивиниеми\*, Д.В. Куприенко, М.Ю. Кантор, С.И. Лашкул, С. Лееринк\*, А.А. Перевалов

ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН   
\*Университет Аалто Эспоо, Финляндия

Исследования взаимодействия геодезической акустической моды (ГАМ) колебаний электрического поля тороидальной плазмы и дрейфовой турбулентности активно велись последнее десятилетие как в теории, так и экспериментально с целью объяснения аномального переноса частиц и энергии. Интерес к такому взаимодействию связан с тем, что ГАМы, которые возбуждаются в плазме в результате трёхволнового взаимодействия дрейфовых волн, могут в свою очередь воздействовать на уровень турбулентности и на аномальный транспорт. В частности, зависимость уровня возбуждения ГАМ, или более обще квази-когерентных структур, от изотопного состава плазмы может быть ответственна [1] за изотопный эффект в удержании в токамаках [2], физические причины которого по-прежнему не ясны.

В настоящем докладе представляются результаты сравнительных исследований турбулентных транспортных процессов в близких по параметрам водородных и дейтериевых разрядах токамака ФТ-2, выполненных с использованием высоко локальных микроволновых диагностик обратного рассеяния и путём глобального гирокинетического моделирования разряда токамака ФТ-2 с помощью кода ELMFIRE [3, 4]. Экспериментально показано, что теоретически предсказанная возможность контроля дрейфовой турбулентности со стороны ГАМ, связанная с их малой длиной волны, большой амплитудой и, как следствие, с сильной неоднородностью полоидального вращения, проявляет себя в модуляции уровня турбулентности на частоте ГАМ. Это наблюдение подкреплено результатами гирокинетического моделирования, указавшего также на модуляцию тепловых потоков и коэффициентов температуропроводности. Показано что амплитуда ГАМ в дейтериевом разряде существенно больше, чем в водородном, что, по-видимому, связано с меньшей ионной столкновительностью и более сильным падением плотности нейтрального дейтерия. В результате роста амплитуды ГАМ увеличивается модуляция уровня турбулентности на её частоте, а также усиливается подавление среднего уровня турбулентности во время вспышек ГАМ. Обнаруженный эффект, а также и наблюдаемое увеличение корреляционной длины турбулентности в дейтериевых разрядах может рассматриваться, как возможная причина изотопного эффекта в аномальном переносе в плазме токамака. Этот эффект способен также объяснить наблюдаемую анти-корреляцию уровня возбуждения ГАМ и значений аномальной электронной температуропроводности, определяемой с помощью кода АСТРА.

Литература.

1. XU, Y., et al., Phys. Rev. Lett. 110 (2013) 265005.
2. STROTH, U., Plasma Phys. Control. Fusion 40 (1998) 9.
3. LEERINK, S., et al., Phys. Rev. Lett. 109 (2012) 165001.
4. GURCHENKO, A.D., et al., 25th IAEA Fusion Energy Conference (2014) IAEA-CN-221/EX/11-2Ra