СВОЙСТВА ИОННО-ЦИКЛОТРОННЫХ КОЛЕБАНИЙ В ОМИЧЕСКИХ РАЗРЯДАХ ТОКАМАКА ТУМАН-3М

Белокуров А.А., Абдуллина Г.И., Аскинази Л.Г., Жубр Н.А., Корнев В.А., Крикунов С.В., Лебедев С.В., Разуменко Д.В., Тукачинский А.С.

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, г. Санкт-Петербург, Россия, belokurov@mail.ioffe.ru

В токамаке ТУМАН-3М в разрядах с омическим нагревом и ко-инжекцией нейтрального нагревного пучка были обнаружены колебания на ионно-циклотронной (ИЦ) частоте в разрядах в дейтерии и водороде [1]. Особый интерес представляют колебания в омическом режиме, существующие в течение практически всего разряда, так как механизм их генерации не выявлен окончательно. Быстрые магнитные зонды, расположенные по обходу плазменного шнура, способны различить несколько гармоник, соответствующих ионно-циклотронной частоте основного изотопа плазмы. Аналогичные наблюдения проводились на токамаке DIII-D [2].

Было также обнаружено, что при инжекции топливной макрочастицы интенсивность омических ИЦ колебаний существенно уменьшается, а после выхода из режима улучшенного удержания, инициированного испарением макрочастицы, возвращается к исходному уровню.

Можно предположить, что наблюдаемые колебания возбуждаются в результате раскачки ионно-циклотронной дрейфовой неустойчивости [3, 4]. Согласно этой теории, возбуждение ИЦ

колебаний происходит при выполнении критерия              (1),

где - характерный масштаб изменения концентрации плазмы, i – ионный

ларморовский радиус, VA – альфвеновская скорость [2, 3]. Интерес представляет определение локализации возбуждения ИЦ колебаний для определения связи свойств колебаний с параметрами плазмы.

Анализируя разряды с омическими ИЦ колебаниями с помощью критерия (1), возможно построить «карту» пространственного распределения возбуждения ИЦ колебаний в токамаке ТУМАН-3М. Согласно этому анализу, область наиболее активной раскачки ИЦ неустойчивости находится на периферии плазмы со стороны слабого поля, что не всегда соответствует картине экспериментальных наблюдений при помощи массива магнитных зондов.

При инжекции топливной макрочастицы происходит сильное возмущение градиента концентрации и ионной температуры плазмы, что отражается на выполнении критерия (1). Эволюция параметров плазмы при инжекции макрочастицы была смоделирована с помощью кода ASTRA для экспериментальных параметров разряда с инжекцией макрочастицы и наблюдаемой активностью ИЦ колебаний. Результаты моделирования показали, что при испарении макрочастицы происходит переход в режим улучшенного удержания, вследствие чего на периферии формируется область укрученного градиента концентрации; в более глубокой области плазмы градиент концентрации уплощается, при этом в данной области прекращается выполнение критерия (1). Результат моделирования находится в согласии с наблюдениями, так как после инжекции макрочастицы наблюдается временное ослабление омических ИЦ колебаний до момента обратного перехода в L-моду.

Работа выполнена при поддержке ФТИ им. А.Ф. Иоффе и РНФ (проект № 16-12-10285).

Литература

1. Askinazi L.G. et al. 2018 Nucl. Fusion 58 082003.
2. Thome K. et al. 2017 15th IAEA TM on Energetic Particles in Magn. Conf. Devices, BoA.
3. Mikhailovsky, Timofeev 1963 J. Exp. Th. Phys. 44 919.
4. Mikhailovsky, 1971 Nucl. Fusion 11 323.