Экспериментальное исследование нестационарных возмущений плазмы и магнитного поля, возбуждаемых короткоимпульсной высокочастотной накачкой в режиме электронной магнитной гидродинамики на крупномасштабном плазменном стенде «Крот»

Н. Айдакина,1 М. Гущин,1 И. Зудин,1 С. Коробков1, А. Стриковский1

aidakina@ipfran.ru

1*Институт прикладной физики Российской академии наук, Нижний Новгород, Россия*

В большой лабораторной замагниченной плазме стенда «Крот» экспериментально исследована мелко- и крупномасштабная динамика импульсных возмущений плазмы и магнитного поля, вызванных локальным ВЧ нагревом электронов в режиме электронной (холловской) магнитной гидродинамики. В таком режиме эволюция неоднородностей плазмы может происходить в режиме «униполярного» переноса, когда замагниченные электроны дрейфуют вдоль магнитного поля, а ионы, преимущественно, поперек поля. «Униполярный» перенос сопровождается возбуждением системы вихревых электрических токов и обеспечивает на порядки более быстрое перераспределение неоднородной замагниченной плазмы, чем классический механизм амбиполярного переноса. Такой режим может определять времена развития и распада узких неоднородностей плазмы, вытянутых вдоль внешнего магнитного поля, возникающих, например, в импульсных нагревных ионосферных экспериментах, при работе мощных бортовых передатчиков КА и др.

В модельных лабораторных экспериментах с локализованным короткоимпульсным высокочастотным нагревом электронов, проведенных на крупномасштабном плазменном стенде «Крот», демонстрируется динамика т.н. «униполярной ячейки». Под «униполярной ячейкой» понимается самосогласованная плазменно-полевая структура, включающая основное возмущение плотности, вытянутое вдоль магнитного поля, систему вихревых электрических токов и периферийные области обеднения плотности фоновой плазмы [1].

Генерируемые в окрестности «униполярной ячейки» импульсные токи и магнитные поля могут распространяться на большие расстояния от источника в виде низкочастотных волн. Показано, что продольный перенос токов и возмущений магнитного поля происходит со скоростью свистовых волн, которая определяется параметрами плазмы и длительностью ВЧ импульса и его фронтов, т.е. характерным временем нагрева электронов. Поперечная динамика токов и магнитных полей имеет характер диффузии за счет конечной проводимости плазмы, определяемой кулоновскими столкновениями. Возникающие из-за нагрева электронов возмущения плотности демонстрируют более медленную динамику, и распространяются с существенно меньшими (звуковыми) скоростями.

Эксперименты выполнены на Уникальной научной установке «Комплекс крупномасштабных геофизических стендов ИПФ РАН» при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 24-12-00459).

[1] Aidakina N., Korobkov S., Gushchin M., Zudin I., Strikovskiy A. Experimental demonstration of the “unipolar cell” dynamics in a large laboratory magnetoplasma. // Phys. Plasmas. V.31. P. 122110. DOI: 10.1063/5.0225468 (2024).