Быстрые направленные потоки плазмы с ионами разной массы в токовых слоях и их влияние на магнитную структуру слоя

Н.П. Кирий, В.С. Марков, А.Г. Франк, Д.Г. Васильков, Е.В. Воронова

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, kyrie@fpl.gpi.ru

Проведен сравнительный анализ результатов исследования ускорения плазмы c ионами разной массы в токовых слоях, сформированных в двумерных (2D) и трехмерных (3D) магнитных конфигурациях. Токовые слои ─ пространственно ограниченные области замагниченной плазмы, в которых благодаря магнитному пересоединению может осуществляться преобразование избыточной энергии магнитного поля в энергию плазмы, ускоренных частиц и излучений [1 – 3].

Эксперименты проводились на установке ТС-3D с помощью методов спектроскопии в трех рабочих газах: гелии [4, 5], аргоне [6] и криптоне. Спектральные измерения в криптоне проводились впервые. Уширения профилей спектральных линий ионов регистрировались с помощью программируемой электронно-оптической камеры “NANOGATE 1-UF”, в которой микроканальная пластина использовалась для усиления яркости спектральных линий, а ПЗС матрица — для записи их на жесткий диск компьютера. Измерения проводились одновременно в двух направлениях: вдоль электрического тока, протекающего в плазме, и вдоль большего поперечного размера - ширины слоя, что позволило определить как температуру, так и энергию направленных потоков ионов гелия, аргона и криптона, а также концентрацию электронов в разных областях токового слоя при формировании слоя в гелиевой плазме.

Были изучены распределения температуры ионов гелия, аргона и криптона, а также концентрации электронов в гелиевой плазме вдоль ширины токового слоя в 2D и 3D магнитных конфигурациях. Обнаружено, что температура ионов аргона и криптона распределена практически однородно по ширине слоя как в 2D, так и в 3D магнитных конфигурациях, а температура ионов гелия и концентрация электронов в гелиевой плазме распределены, напротив, существенно неравномерно. Проведен анализ возможных механизмов ускорения плазмы в токовых слоях. Показано, что ионы аргона в токовых слоях ускоряются под действием сил Ампера. Установлено, что сильный градиент давления ионной компоненты гелиевой плазмы вдоль ширины слоя может вносить дополнительный вклад в силы Ампера, ускоряющие ионы гелия в 2D магнитных конфигурациях, и практически полностью тормозить эти ионы в 3D геометрии.

Проведено сопоставление результатов спектральных и магнитных измерений, выполнявшихся в одних и тех же экспериментальных условиях. Установлена корреляция между движением высокоскоростных потоков плазмы к боковым концам токового слоя и возбуждением токов обратного направления в периферийных областях слоя [7, 8].

Работа выполнена при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, проект № 15-02-03644, и Программой ОФН РАН IV.2.14 «Динамика разреженной плазмы в космосе и в лаборатории».

Литература

1. Syrovatskii S.I. //Annu. Rev. Astron. Astrophys. 1981. V.19. P.163-229.
2. Прист Э., Форбс Т., Магнитное пересоединение. – М.: Физматлит, 2005. – 592 с.
3. Франк А.Г*.* // УФН 2010. Т. 180(9). C.982.
4. Кирий Н.П., Марков В.С., Франк А.Г. // Письма в ЖЭТФ 2012. Т.95.С.17.
5. Кирий Н.П., Франк А.Г. // Физика плазмы 2012. Т.38. С. 1042.
6. Кирий Н.П., Марков В.С., Франк А.Г.// Физика плазмы 2010. Т. 36. С. 387.
7. Frank A.G., Kyrie N.P., Satunin S.N. // Physics of Plasmas. 2011. V. 18, P.111209(1).
8. Франк А.Г., Сатунин С.Н.// Физика плазмы 2011. Т. 37. С. 889.