Исследование нагрева и течений плазмы токового слоя в двумерных и трехмерных магнитных конфигурациях при разряде в аргоне

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

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

Целью настоящей работы было измерение температуры и энергии направленных движений ионов в токовых слоях (ТС), сформированных в двумерных (2D) и трехмерных (3D) магнитных конфигурациях с особой линией X-типа при разряде в аргоне. Согласно теоретическим представлениям [1], как тепловые процессы, так и течения плазмы могут играть определяющую роль при переходе ТС из метастабильного состояния к импульсной фазе магнитного пересоединения.

Исследования проводились спектральными методами, измерялись профили спектральных линий (СЛ) ионов аргона: Ar II 4806 [2], Ar III 3795, Ar IV 2809 Å, которые уширялись за счет Доплер-эффекта. Излучение плазмы собиралось и анализировалось с помощью двухканальнойоптической схемы [3, 4]. Измерения проводились в двух взаимно перпендикулярных направлениях – вдоль тока, текущего в плазме (ось z) и вдоль ширины, или большего размера ТС (ось x). Профили СЛ регистрировались на выходной щели монохроматора в одном импульсе работы установки с помощью цифровой электронно-оптической камеры “Nanogate 1-UF”.

Обнаружено, что ионы аргона Ar+ , Ar++  и Ar+++ локализованы в разных областях ТС: ионы Ar+ - в относительно холодных периферийных областях плазмы с максимальной температурой Ti = (60 ± 15) эВ, а ионы Ar++  и Ar+++ - в более горячих центральных областях ТС, с максимальной температурой Ti = (100 – 140) эВ, соответственно.

Установлено, что полуширины всех СЛ аргона, зарегистрированных в x-направлении, превышают полуширины тех же линий, измеренных в z-направлении. Это означает, что ионы аргона Ar+ , Ar++ , Ar++  участвуют не только в тепловом, но и в направленном движении плазмы вдоль ширины ТС. Установлено, что все ионы аргона со временем приобретают одинаковую направленную скорость Vx ≈ (2.5 ± 0.3)×106 см/с, которая больше тепловой скорости ионов Ar+ , но меньше (или равна) тепловой скорости ионов Ar++ и Ar+++.

Из магнитных измерений, проведенных в тех же экспериментальных условиях, следует, что ускоренные потоки плазмы со временем пересекают области сильного поперечного магнитного поля на краях ТС, генерируя в этих областях токи обратного направления [5, 6]. Установлено, что силы Ампера, возникающие в ТС, могут ускорить ионы аргона до наблюдаемых энергий.

Эксперименты, выполненные при формировании ТС в 3D магнитных конфигурациях, показали, что продольное магнитное поле Bz не влияет ни на нагрев, ни на ускорение ионов, по крайней мере, при изменении магнитного поля в пределах Bz = 0 – 3 кГс.

Работа выполнена при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, проект № 12-02-00553а, и Программой фундаментальных исследований Отделения физических наук РАН ОФН-15 «Плазменные процессы в космосе и в лаборатории».

Литература

1. Syrovatskii S.I., Annu. Rev. Astron. Astrophys., **19**, 163 (1981).
2. Кирий Н.П., Марков В.С., Франк А.Г., Физика плазмы **36**, 387 (2010).
3. Кирий Н.П., Марков В.С., Франк А.Г., Письма в ЖЭТФ, **95**, 17 (2012).
4. Кирий Н.П., Франк А.Г., Физика плазмы **38**, 1042 (2012).
5. Франк А.Г., Сатунин С.Н. Физика плазмы. **37**, 889 (2011).
6. Frank A.G., Kyrie N.P., Satunin S.N. Physics of Plasmas **18**, 111209 (2011).