Последовательные стадии нагрева и ускорения плазмы в лабораторных токовых слоях

Кирий Н.П., Марков В.С., Васильков Д.Г., ВороноваЕ.В.

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

Работа посвящена исследованию процессов нагрева и ускорения ионов разной массы в лабораторных токовых слоях на различных стадиях их создания и эволюции. Исследования проводились на установке ТС-3D спектральными методами [1-3]. Токовые слои создавались при разряде в аргоне и криптоне в магнитном поле с X-линией, градиент магнитного поля составлял ~ 0.6 кГс/см, начальное давление рабочего газа ~ 30 мТорр, амплитудное значение электрического тока в слое - 45 кА. Эксперименты проводились в 2D и 3D магнитных конфигурациях, в которых вдоль направления тока прикладывалось однородное магнитное поле с индукцией ~ 3 кГс [4]. Измерения проводились с помощью двухканальной оптической схемы, в которой излучение плазмы собиралось как из центральной квазицилиндрической области, вытянутой вдоль направления тока в слое, так и вдоль большего поперечного размера - ширины слоя, что позволяло определять температуру и энергию направленного движения атомов и ионов. Пространственное разрешение измерений составляло ~2.6 см [1]. Регистрировались спектральные линии ионов рабочего газа: аргона Ar II 480.6 нм или криптона: Kr II 473.9 нм и Kr III 501.6 нм, а также примеси - углерода CIII 464.7 нм и С IV 580.1 нм, линии уширялись под действием эффекта Доплера. Одни и те же спектральные линии регистрировались одновременно в обоих направлениях, в одном импульсе работы экспериментальной установки, с помощью программируемой цифровой электронно-оптической камеры, длительность строб-импульса составляла Δ*tgate*= 1 мкс.

Впервые показано, что нагрев ионов начинается на этапе создания начальной плазмы, в θ-разряде, и к моменту времени t = 0, когда в плазме возбуждается электрический ток, приводящий к формированию токового слоя, температура ионов криптона может достичь величины Ti ≈ 60 - 70 эВ. Далее, в процессе формирования токового слоя в 2D магнитной конфигурации, температура ионов криптона может увеличиться в ~ 2 раза, достигая Timax ≈ 120 эВ, а в 3D конфигурации Timax может вырасти в ~ 1.5 раза, Timax ≈ 100 эВ. Абсолютные значения указанных температур Timax существенным образом зависят от степени нагрева начальной плазмы, однако дополнительный нагрев ионов криптона собственно в токовом слое не зависит от начальной температуры ионов и составляет ΔTi ≈ 60 эВ при формировании токового слоя в 2D магнитной конфигурации и ΔTi ≈ 20 эВ - в 3D конфигурации. Установлено, что температура ионов Ar II в токовом слое практически совпадает с температурой в начальной плазме, Ti ≈ 40 эВ. Более высокие температуры, Timax ≈ 60 – 90 эВ, имеют ионы углерода C III и С IV, присутствующие в аргоновой плазме в качестве примесей и локализованные в более горячих центральных области токового слоя.

Показано, что все ионы с максимальной тепловой энергией локализованы в центральных областях токового слоя, в окрестности X-линии. Экспериментально установлено, что быстрые сверхтепловые потоки плазмы генерируются на метастабильной стадии эволюции токового слоя.

Работа выполнена в рамках Госзадания № 01200953488, при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований (проект № 15-02-03644-а) и Программой III.2 ОФН РАН «Динамика разреженной плазмы в космосе и в лаборатории».

Литература.

1. Н.П. Кирий, А.Г. Франк. Физика плазмы 2012. Т.38. С.1042.
2. Н.П. Кирий, В.С. Марков, А.Г. Франк. Письма в ЖЭТФ 2012. Т.95. С.17.
3. Н.П. Кирий, В.С. Марков, А.Г. Франк и др. Физика плазмы 2016. Т.42. С.563.
4. A.G. Frank, N.P. Kyrie. Plasma Phys. Rep. 2017. V.43. P.696.