Структура токовых слоев и проявления двухжидкостных свойств плазмы

Франк А.Г., Сатунин С.Н.

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва, Россия, annfrank@fpl.gpi.ru

Структура токовых слоев, развивающихся, как в естественных условиях (в том числе в магнитосфере Земли), так и в лабораторных экспериментах, отличается большим разнообразием. При этом особый интерес представляет выяснение соотношений между структурными особенностями токовых слоев и ролью происходящих в них процессов. Ранее было продемонстрировано фундаментальное сходство между токовыми слоями в хвостовой области земной магнитосферы и в лабораторных условиях [1, 2]. Это сходство указывает на единство физических процессов в космической и лабораторной плазме. Исследование структуры и динамики токовых слоев в лабораторных экспериментах позволяет получать данные, которые могут быть использованы для анализа и моделирования явлений в космосе.

Один из интригующих вопросов состоит в выяснении условий, при которых в токовых слоях могут проявляться двухжидкостные свойства плазмы, приводящие к генерации электрических полей и токов Холла. Из общих физических соображений следует, что эффект Холла должен проявляться главным образом в относительно тонких токовых слоях, толщина которых (или меньший поперечный размер) близок к ионной инерционной длине.

В экспериментах на установке ТС-3D были измерены распределения плотности тока в двух сечениях в направлении нормали к средней плоскости токовых слоев. Показано, что эти распределения в «физических величинах» практически не зависели от рода газа, в которых формировались токовые слои: максимальные плотности токов составляли (4 ÷ 5) кА/см2, а толщины слоев были порядка 1 см. Однако в безразмерных величинах, при нормировке толщины слоя на ионную инерционную длину, распределения тока существенно изменялись при изменении рода газа: в Ar и Kr полутолщина слоя была меньше или порядка единицы, тогда как в He она в несколько раз превышала единицу. Другими словами, в эксперименте можно создавать как тонкие, так и толстые токовые слои путем изменения рода газа в вакуумной камере. Следует ожидать что явления, обусловленные эффектом Холла, могут проявляться главным образом в тонких токовых слоях [3, 4].

О возбуждении токов Холла свидетельствует появление продольного квадрупольного магнитного поля, направленного вдоль основного тока в слое [5]. Сравнение величин продольной компоненты в токовых слоях, сформированных в Ar и He, показало, что, действительно, эффект Холла значительно более ярко выражен в тонких токовых слоях. Эти результаты позволяют интерпретировать целый ряд спутниковых наблюдений, зарегистрированных в хвостовой области магнитосферы Земли.

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 0024-2018-0045.

Литература

1. Artemyev A.V., Petrukovich A.A., Frank A.G., Nakamura R., Zelenyi L.M. // J. Geophys. Res. 2013. V. 118. P. 2789.
2. Франк А.Г., Артемьев А.В., Зеленый Л.М. // ЖЭТФ 2016. Т. 150. С. 807.
3. Франк А.Г., Островская Г.В., Юшков Е.В., Артемьев А.В, Сатунин С.Н.// Космические исследования. 2017. Т.55. С. 48.
4. Юшков Е.В., Франк А.Г., Артемьев А.В.,Петрукович А.А., Накамура Р. // Физика плазмы 2018. Т.44 (12).
5. Frank A.G., Bugrov S.G., Markov V.S. // Phys. Plasmas. 2008. V. 15(9). P. 092102.