Крупномасштабные структуры в холловских двигателях

И.В. Ромаданов1, А.И. Смоляков1, С.В. Рыжков2

1Университет Саскатчевана, г. Саскатун, Канада, [ivr509@mail.usask.ca](mailto:ivr509@mail.usask.ca),  
 [andrei.smolyakov@usask.ca](mailto:andrei.smolyakov@usask.ca)  
2Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва,  
 Россия, [svryzhkov@gmail.com](mailto:svryzhkov@gmail.com)

Было проведено исследование неустойчивостей, влияющее на рабочие режимы и эффективность Холловских двигателей, для определения неустойчивостей вызывающих наблюдаемый уровень аномального транспорта и когерентных, крупномасштабных неустойчивостей. Колебания в широком диапазоне частот наблюдались в холловских двигателях [1 – 3]. Азимутальные структуры наблюдались в такого рода ускорителях еще в ранних работах [4], тогда же было предложено что ионизационные процессы могут играть существенную роль в образовании этих структур.

Была сформулирована жидкостная модель для моделирования мод вызываемых градиентом плотности и неравномерным магнитным полем. Эта модель включает в себя инерцию электронов и столкновения электронов с нейтралами, таким образом нижнегибридные моды, дестабилизируемые E x B дрейфом и столкновениями, так же включены в модель.

Была разработана локальная модель и проведено моделирование с использованием разработанного на MATLAB кода. Параметры для моделирования были взяты из экспериментов, проводимых в лаборатории физики плазмы Принстона. Серия экспериментов была проведена на установке с разрядом Пеннинга и для холловского двигателя. Несколько параметров менялось во время эксперимента для исследования их эффекта на наблюдаемые неустойчивости. Основное отличие между экспериментами было в величине электрического поля. Остаточное давление в камере было главным изменяемым параметром. Увеличение давления стабилизировало плазму.

Численные результаты показывают частичное совпадение с наблюдаемыми в эксперименте, однако эффект от изменения магнитного поля существенно расходится с теоретическим предсказанием.

На основе двух жидкостной модели плазмы была разработана линейная нелокальная цилиндрическая модель для дрейфовых мод. Получившееся уравнение описывает изменение потенциала азимутально распространяющихся электростатических волн в столкновительной плазме. Учтены радиальные профили частоты столкновения для ион-нейтралов и электрон-нейтралов. Полученное уравнение на собственные функции было решено с использованием спектрального метода. Эта модель дает решения для глобальных структур для нестабильных мод в геометрии разряда Пеннинга с осевым магнитным и радиальным электрическими полями.

Литература

1. E. P. Velikhov, V. S. Golubev, and A. M. Dykhne. Physical phenomena in a low-temperature nonequilibrium plasma and in MHD generators with nonequilibrium conductivity. Atomic Energy Review, 14(2):325–385, 1976.
2. J. L. Kerrebrock. Nonequilibrium ionization due to electron heating .1. Theory. AIAA Journal, 2(6):1072–1080, 1964.
3. B. B. Kadomtsev and A. V. Nedospasov. Instability of the positive column in a magnetic field and the ‘anomalous’ diffusion effect. Journal of Nuclear Energy. Part C, Plasma Physics, Accelerators, Thermonuclear Research, 1, 230, 1960.
4. G. S. Janes and R. S. Lowder. Anomalous electron diffusion and ion acceleration in a low-density plasma. Physics of Fluids, 9, 1115, 1966.