Исследование плазмы в газоразрядной камере ионного двигателя с помощью численного моделирования

Кравченко Д.А.

ГНЦ ФГУП "Центр Келдыша", г. Москва, Россия, dmitry1204@gmail.com

Для решения задач по исследованию физики плазмы в газоразрядной камере ионного двигателя, усовершенствованию существующих и созданию новых конструкций была разработана кинетическая нестационарная двухмерная по координате трехмерная по скоростям модель, решаемая методом частиц-в-ячейках [1]. В модели учитывается самосогласованное движение компонент плазмы в исследуемой области под действием электромагнитных сил. При этом электрическое поле динамически определяется распределением заряда, а магнитное считается приложенным и постоянным. С помощью методики Монте-Карло моделируются следующие типы реакций между компонентами: упругие и неупругие столкновения электрон-нейтрал, ионизация нейтрала электронным ударом, кулоновские столкновения и перезарядка ионов на нейтралах.

Модель включает в себя ряд новых методик. Для моделирования эмиссии первичных электродов из катода применен подход, основанный на поддержании квазинейтральности в некоторой прикатодной области путем добавления новых холодных электронов для компенсации недостатка отрицательного заряда. Этот прием позволяет отказаться от задания фиксированной величины катодного тока вместо этого реализуя механизм свободного вытягивания электронов из катодной плазмы. Таким образом катодный ток устанавливается в процессе численного решения взаимосогласованно с параметрами плазмы, что обеспечивает адекватность физической картины в модели.

Также применена методика учета поведения источника питания разряда, работающего в режиме стабилизации по величине тока. Приложенное к разрядному промежутку напряжение плавно подстраивается так, чтобы обеспечить и поддерживать требуемую величину тока разряда. Данный прием имеет немаловажное значение на начальном нестационарном участке решения. В частности такое усовершенствование модели позволило упростить процедуру моделирования на некоторых «трудных» режимах и получить хорошо согласующиеся с экспериментом результаты.

Для повышения быстродействия моделирующей программы применена новая методика интегрирования перемещения частиц. В этой методике величина шага по времени для каждой частицы определяется индивидуально исходя из текущих условий. При этом с одной стороны достигается минимизация вычислительных затрат, а с другой обеспечивается контроль устойчивости решения.

С помощью разработанной и реализованной в виде пакета программ модели производился расчет плазменного разряда в газоразрядной камере ионного двигателя ИД-50. При этом моделировалось пять различных режимов работы двигателя, для которых существовало достаточное количество экспериментальных данных [2]. Было получено большое количество данных о поведении плазмы в исследуемой системе. Сравнение результатов моделирования и эксперимента показали хорошее их соответствие.

С помощью моделирования исследованы особенности формирования функции распределения электронов по энергиям, и выявлены механизмы, оказывающие влияние на этот процесс.

Литература

1. Кравченко Д.А., Моделирование плазмы в газоразрядной камере ионного двигателя, Прикладная физика, ISSN 1996-0948, 2015, №5, с. 26-32 .
2. M.V. Zikeyev, A.A. Shagayda, Probe Measurements In Discharge Chamber Of Low-Power Ion Thruster, IEPC-03-120.