Исследование диффузии электронов в поле азимутальной волны В КАНАЛЕ СТАЦИОНАРНОГО ПЛАЗМЕННОГО ДВИГАТЕЛЯ

А.Н. Веселовзоров, А.А. Погорелов, Э.Б. Свирский, В.А. Смирнов

НИЦ “ Курчатовский институт”, Москва, Россия, [vasmirnov@nfi.kiae.ru](mailto:vasmirnov@nfi.kiae.ru)

Исследования показали [1], что внутри канала стационарного плазменного двигателя (СПД) и за его срезом наблюдаются значительные азимутальные колебания потенциала плазмы, температуры электронов, плотности ионного тока, при этом у ионов появляется азимутальная составляющая скорости. Это дало основание предполагать [1], что увеличение диффузии электронов вдоль канала СПД по сравнению с классической диффузией может быть вызвано взаимодействием электронов с азимутальной волной.

Энергия электронов, которую они получают от волны, может накапливаться в процессе парных соударений электронов с нейтралами.

Численное моделирование переноса электронов в канале в поле азимутальной и продольной волны для модели СПД-70 показало, что действительно скорость переноса электронов в поле волны может существенно увеличиться. Для выяснения функциональной зависимости скорости диффузии электронов от параметров волны и частоты упругих столкновений электронов с нейтралами были численно рассчитаны времена переноса электронов *Ttr* в канале СПД. Расчёты были выполнены для диапазона изменений параметров времени рассеяния электронов на нейтралах *τ0*, волнового вектора *k* и амплитуды колебаний, которые реализуются в канале двигателя.

Эти расчёты показали, что время транспортировки *Ttr*:

1. линейно уменьшается с увеличением амплитуды колебаний;

2. увеличивается линейно с увеличением волнового вектора волны. Поскольку для рассматриваемых волн фазовая скорость *vl* постоянна *ωi=vl·k*, то *Ttr*(*k*) ~ *ωi / vl* или   
*Ttr*(*k*)~ 1 / *τi*·*vl*, *τi*=1/ *ωi*, где *ωi* *-* частота азимутальной волны;

3. время транспортировки в поле волны по сравнению с временем транспортировки при классической проводимости увеличивается пропорционально *Ttr*(*τ0*)/ *T0tr*(*τ0*) ~ *τ0*.

Принимая это во внимание, и то, что *Ttr* увеличивается линейно с увеличением волнового вектора, изменение времени транспортировки через канал в поле волны от рассматриваемых параметров можно представить, как *Ttr* ~ *τ02*/ *τi* , где *τi*= 1/ *ωi*. Следует отметить, что наибольшая амплитуда наблюдается на частотах, которые определяются ионизационными процессами. Т.о. скорость переноса электронов в канале зависит, как от времени рассеяния электронов на нейтралах, так и от параметров азимутальной волны.

Качественно, это можно представить следующим образом. Когда в канале присутствует азимутальная волна, скорость электронов в азимутальном направлении *vef* увеличивается, как показывают расчёты. Следовательно, даже если частота упругих столкновений электронов с атомами не изменяется, увеличение азимутальной скорости электронов должно приводить к увеличению их среднего смещения поперёк магнитного поля. Используя экспериментальные данные, были вычислены изменения параметров Холла по длине канала для двух моделей СПД-70 и СПД-130, работающих на *Kr* и *Xe*.

Сравнения параметров Холла, полученных из эксперимента, хорошо совпадают с расчётными значениями, которые получены при анализе динамики электронов в поле азимутальной волны *χ1*= *ωH τ02*/ *τi*, где *ωH* электронная циклотронная частота.

Литература

1. A.N. Veselovzorov, E.D. Dlougach, A.A. Pogorelov, E.B. Svirsky, V.A. Smirnov, Low-frequency wave experimental investigations, transport and heating of electrons in stationary plasma thruster SPT. Paper IEPC-2011-060, Wiesbaden, Germany, September 11 – 15, 2011