Механизм диффузии электронов в канале СПД

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

НИЦ “Курчатовский институт”Москва, Россия, Smirnov\_VA@nrcki.ru

Стационарные плазменные двигатели (СПД) занимают лидирующее положение для обеспечения коррекции и ориентации орбит долгоживущих спутников. Хотя исследования таких двигателей ведутся в течение длительного времени, существуют процессы, которые ещё до конца не изучены. В частности описание переноса электронов (рассеяние электронов на нейтралах) применительно к работе этих устройств не нашло экспериментального подтверждения [1]. Вместе с тем исследования показали [2], что в канале СПД и за его срезом наблюдаются значительные азимутальные колебания потенциала плазмы. В работе [3] было показано, что азимутальная волна, которая проявляется как ионизационная неустойчивость, может увеличивать скорость переноса электронов вдоль канала двигателя по сравнению с классической диффузией пропорционально отношению времен столкновений электронов с нейтральными атомами, при которых происходит ионизация *τi* и упругое рассеяние*τ0* электронов, т.е. *vxt*~ *τi/2π τ02*.

Качественно этот процесс можно представить следующим образом. Наряду с азимутальным дрейфом электронов *Vd* в поле азимутальной волны электрического поля появляется дрейфовое движение электронов вдоль оси двигателя со скоростью *Vdx*. Поскольку скорость дрейфа электронов по азимуту много больше азимутальной фазовой скорости волны *Vd*>>*vθ*, движение электронов в поле волны*k1* можно рассматривать в квазистационарном приближении. Тогда *T0=*2π/*Vdk1,Vdx*(*t*)=*cβ1E*(*x*)sin(2*πt/T0*)*/B*(*x*), где *E*(*x*), *B*(*x*) – электрическое и радиальное магнитное поле в канале СПД, *β1*– относительная амплитуда колебаний. Амплитуда перемещения электронов (удвоенная амплитуда колебаний 2*xa*) составляет до половины длины канала. Столкновения электронов могут происходить в любой точке по длине амплитуды. Если *Т0*=*τ0*, то среднее смещение *Xc* можно оценить, как
*Xc*(*xa*)=.Наибольший вклад в *Xc* будут давать электроны, у которых отношение дрейфовой скорости к циклотронной частоте имеет максимальные значения. При движении к аноду *ωH*(*x*) уменьшается, а скорость *Vd*(*x*) увеличивается. Следовательно, вероятное место столкновения будет смещаться к аноду. Оценки *Xc*, полученные из таких представлений, согласуются с результатами численных расчётов. Основываясь на полученных результатах, проводимость плазмы в азимутальной волне для *ωHτ0*>>1можно представить, как, где *α*– коэффициент, который определяется амплитудой колебаний. Результаты расчёта параметра Холла, электронного тока, мощности нагрева электронов на единице длины канала достаточно хорошо совпадают со значениями, полученными из экспериментальных измерений для двух моделей СПД-70 и СПД-130.

Литературa

1. Морозов А.И., Есипчук Ю.В., Капулкин А.М., Невровский В.А., Смирнов В.А. Азимутально-несимметричные колебания и аномальная проводимость в ускорителях с замкнутым дрейфом электронов (УЗДП). ЖТФ.1973. Т.XLIII*.* Вып.5. C. 972-982.
2. Veselovzorov A.N., Dlougach E.D., Pogorelov A.A., Svirsky E.B., Smirnov V.A. 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.
3. Veselovzorov A.N., Dlougach E.D., Pogorelov A.A., Svirsky E.B., Smirnov V.A. Azimuthal oscillations and dynamics of electrons into channel of stationary plasma thruster paper IEPC-2013-080, Washington, USA, October 6-10, 2013.