

Поведение потоков плазмы во внешнем магнитном поле торцевого холловского ускорителя

Аношко И.А., Ермаченко В.С., Сандригайло Л.Е.

Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси
Белорусский национальный технический университет

Сильное внешнее магнитное поле позволяет получать скорости истечения плазмы, значительно превосходящие скорости истечения при обычном газодинамическом расширении в сопле, что обусловлено передачей импульса электромагнитного поля заряженным частицам плазмы. Взаимодействие магнитного поля с токами, которые несут тензорный характер, создает силы, вызывающие осевое, азимутальное и радиальное ускорение плазмы. Суммарное магнитное поле имеет три компоненты B_r , B_z , B_θ . Ускорение плазмы в холловском ускорителе происходит, главным образом, под действием силы Ампера $F_z = j_\theta B_r$, обусловленной взаимодействием азимутального холловского тока j_θ с радиальной составляющей магнитного поля B_r . Действие силы Ампера с точки зрения ускорения ионов сводится к разгону их самосогласованным электрическим полем, направленным вдоль оси z . Но в зависимости от параметров ТХУ вклад в ускорение потока могут вносить и другие механизмы: ускорение в собственном магнитном поле тока дуги $j_r B_\theta$, а также ускорение под действием радиальной составляющей силы Лорентца $F_\theta = j_r B_z$, которая, помимо радиального удержания плазмы, вызывает вращение потока плазмы как твердого тела. Действие магнитного сопла состоит в преобразовании кинетической энергии частиц, движущихся перпендикулярно магнитным силовым линиям, в энергию направленного движения плазмы. Это преобразование длится до тех пор, пока размер вращательного движения, перпендикулярного линиям магнитного поля, становится намного меньше, чем варьируемый размер поля ($\|\nabla B\| \cdot r) / B \ll 1$. Из этого условия определялось, какое количество вращательной энергии превращается в аксиальную энергию, и на каком расстоянии от разрядной зоны это происходит. В результате расчетов было получено уравнение для расчета скорости v плазменного потока (\dot{m} – массовая скорость уноса):

$$v = \frac{1}{\dot{m}} \left[\frac{F_z}{2} + \sqrt{\left(\frac{F_z}{2} \right)^2 + F_\theta^2} \right].$$

Ускорение в магнитном поле тока дуги не учитывалось, т.к. отношение разрядного тока к индукции внешнего магнитного поля мало.