

А.С. АКСЕНОВА¹, Д.В. КОЛОДКО^{1,2}, А.В. КАЗИЕВ¹, А.В. ТУМАРКИН¹, М.М. ХАРЬКОВ¹

¹Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия

²Фрязинский филиал государственного бюджетного учреждения науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Фрязино, Россия

СЦЕНАРИИ РАБОТЫ КОРПУСКУЛЯРНЫХ ДИАГНОСТИК ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ УСКОРЕННЫХ ПОТОКОВ ПЛАЗМЫ БЕЗЭЛЕКТРОДНОГО ПЛАЗМЕННОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

В данной работе рассмотрены сценарии работы четвертьсферического электростатического энергоанализатора и анализатора скоростей/масс фильтра Вина для исследования ускоренных плазменных потоков безэлектродного плазменного ракетного двигателя. Рассмотрены теоретически достижимые возможности разделения потоков ионов разной массы. Показана возможность применения фильтра Вина или комбинации энергоанализатора и фильтра Вина для исследования механизмов ускорения плазмы в магнитном сопле такого двигателя.

A.S. AKSENOVA¹, D.V. KOLODKO^{1,2}, A.V. KAZIEV¹, A.V. TUMARKIN¹, M.M. KHARKOV¹

¹National Research Nuclear University MEPHI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia

²Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics, RAS, Fryazino Branch, Fryazino, Russia

OPERATION SCENARIOS OF CORPUSCULAR DIAGNOSTICS IN THE STUDY OF ACCELERATED PLASMA FLOWS OF ELECTRODELESS THRUSTER

In this paper, the operation scenarios of a quarter-spherical electrostatic energy analyzer and a Wien filter velocity/mass analyzer for investigation of accelerated plasma flows in electrodeless plasma thruster are considered. The theoretically achievable possibilities of separation ion fluxes with different masses are considered. The possibility of using a Wien filter or a combination of an energy analyzer and a Wien filter to study the mechanisms of plasma acceleration in the magnetic nozzle of such thrusters is shown.

Геликонный разряд [1, 2] является одним из перспективных источников плазмы для применения в будущих мощных электрических двигательных установках за счет низкой энергетической стоимости одного иона плазмы и отсутствия электродов, что вместе с магнитным полем, сжимающим плазму, уменьшает эрозию элементов двигателя [3]. Ускорение плазмы происходит в магнитном сопле, где расширяются линии магнитного поля и происходит преобразование хаотичной скорости движения ионов в направленную скорость плазмы [3]. Двигатели, работающие на таких принципах, должны обеспечивать превосходные показатели тяги, удельного импульса, удельной мощности и срока службы по сравнению с современными используемыми электрическими двигательными установками. Однако физические процессы, отвечающие за ускорение плазмы в магнитном сопле, на данный момент до конца не объяснены.

В Национальном исследовательском центре “Курчатовский институт” создается экспериментальный стенд [4] для испытаний компонентов и прототипов безэлектродных плазменных двигателей малой тяги мощностью до 0,3 МВт. Для исследования ускоренных плазменных потоков необходимо создать диагностический комплекс. В частности, планируется использовать корпускулярные методы диагностики – четвертьсферический электростатический энергоанализатор и фильтр Вина, используемый в качестве анализатора скоростей/масс.

В работе рассматриваются возможные сценарии работы анализаторов и их влияние на ограничения применимости приборов, а также варианты анализа экспериментальных данных. Если тяжелая компонента – ионы разных масс и/или зарядов, при ускорении приобретают одинаковую энергию, то измерение ионных потоков сводится к классической задаче исследования ионных пучков. Однако, в таком случае, ионы разных масс будут обладать разными скоростями и внутри ускоренной плазмы будут существовать потоки ионов разных скоростей.

Если плазма ускоряется как целое, то частицы с разной массой, имеющие одинаковую скорость, будут иметь разные энергии. Таким образом, наличие ионов разных масс повлияет на форму их энергораспределения. Этот же эффект будет влиять на исследование ионного потока с помощью фильтра Вина. Обработка данных с фильтра Вина должна учитывать первоначальное распределение ионов разного рода по скоростям и энергиям. Интерпретация данных о распределении по скоростям и энергиям, полученных с обоих приборов, позволит косвенно судить о механизмах ускорения плазмы в безэлектродном плазменном ракетном двигателе. Ожидаемое количество примесей невелико, поэтому намеренная добавка газа, отличающегося по массе от рабочего, дает исследовать механизмы ускорения заряженных частиц в магнитном сопле.

Список литературы

- [1] J.I. Del Valle et al., “Plasma-Surface Interactions Within Helicon Plasma Sources,” *Frontiers in Physics*. Frontiers Media SA, vol. 10, 2022
- [2] F.F. Chen, “Helicon discharges and sources: A review,” *Plasma Sources Sci Technol*. Institute of Physics Publishing, vol. 24, no 1, 2015
- [3] K. Takahashi, “Helicon-type radiofrequency plasma thrusters and magnetic plasma nozzles,” // *Reviews of Modern Plasma Physics*, vol. 3, no 1. 2019
- [4] Bragin E.Y. et al., “Development of a Diagnostic System for Studying Plasma Processes in the Magnetic Nozzle of an Electrodeless Plasma Rocket Thruster Prototype” *Instruments Exp. Tech.* Vol. 67, № 4. P. 742–754, 2024