

СУПЕРКОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ МГД-ТЕЧЕНИЙ В КОАКСИАЛЬНЫХ КАНАЛАХ ПЛАЗМЕННЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ

Т.Р. Калимуллин¹, Е.В. Степин²

¹НИЯУ МИФИ, г. Москва

²ИПМ им.М.В. Келдыша РАН, г. Москва

t.r.kalimullin@mail.ru, eugene.v.stepin@gmail.com

Плазменные двигатели уже используются в космических аппаратах для стабилизации, ориентирования и корректировки полета, однако их более мощные разновидности, работающие на принципе ускорения плотной горячей плазмы в скрещенных электрических и магнитных полях, могут применяться для маршевого движения в космическом пространстве. Примером таких устройств является квазистационарный сильноточный плазменный ускоритель (КСПУ), предложенный А.И. Морозовым [1,2] и в настоящее время разрабатываемый в АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ» [3].

Объектом моделирования настоящей работы являются течения плазмы в канале ускорителя в форме сопла, образованного двумя коаксиальными электродами (Рис. 1). Плазма рассматривается как сплошная электропроводящая среда, поведение которой описывается в терминах магнитной газодинамики (МГД) [4], при этом диссипативные эффекты (газовая и магнитная вязкости, теплопроводность) пренебрегаются.

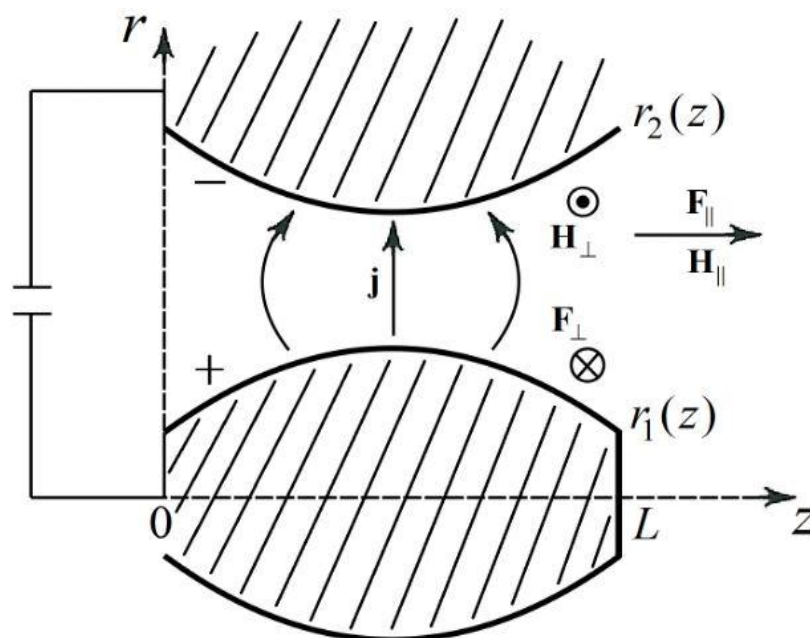


Рис. 1. Схема рассматриваемого канала ускорителя в цилиндрических координатах (r, φ, z) . Сечение плоскостью $\varphi = \text{const}$.

В работе используется модель с нестационарными уравнениями «идеальной» одножидкостной магнитной газодинамики. В силу осевой симметрии задачи было достаточно рассмотреть двумерную постановку. Аппарат моделирования строится на основе численного решения начально-краевых задач с использованием вышеописанной системы нестационарных уравнений МГД.

Развивая предыдущие исследования об ускорении плазмы в узких трубках в терминах квазиодномерной модели [5], в работе было изучено влияние внешнего продольного магнитного поля на осесимметричные МГД-течения в коаксиальных каналах в двумерной постановке. В качестве метода расчета была выбрана схема Лакса–Фридрихса. Вычисления производились на кластере Центра инженерно-физических расчетов и суперкомпьютерного моделирования НИЯУ МИФИ.

В ходе исследования в терминах вычислительного эксперимента были получены зависимости макроскопических параметров ускоряемого плазменного потока для различных значений физических характеристик задачи. Представлена их визуализация и дана прикладная интерпретация. Было исследовано влияние внешнего продольного магнитного поля на двумерное осесимметричное МГД-течение в каналах плазменных ускорителей. Научная новизна работы состоит в применении технологии распараллеливания для уменьшения временных затрат на расчет поставленных задач и в исследовании процесса установления рассматриваемого режима течения в различных геометриях ускорителя в присутствии продольного поля.

Список литературы:

1. Морозов А.И. Введение в плазмодинамику – М.: Физматлит. 2008. 616 с.
2. Волков Я.Ф., Кулик Н.В., Маринин В.В., Морозов А.И., Соляков Д.Г., Стальцов В.В., Терешин В.И., Тиаров М.А., Цупко Б.Ю., Чеботарев В.В. Анализ параметров потоков плазмы, генерируемых полноблочными КСПУ X-50 // Физика плазмы. 1992. Т. 18. С. 1392.
3. Климов Н.С., Гуторов К.М., Коваленко Д.В., Козлов А.Н., Коновалов В.С., Подковыров В.Л., Ярошевская А.Д. Спектры излучения в потоках ионизирующихся газов для установки КСПУ-Т с продольным полем // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2022. № 12. 32 с.
4. Брушлинский К.В. Математические основы вычислительной механики жидкости, газа и плазмы. – Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2017.
5. Калимуллин Т.Р., Степин Е.В. Численное моделирование трансзвуковых сверхальфвеновских МГД-течений с ускорением в узких коаксиальных каналах в присутствии продольного магнитного поля // Вестник национального исследовательского ядерного университета «МИФИ». 2023. Т. 12. № 4. С. 233–242.