

Секция «Вычислительная математика, математическое моделирование и численные методы»

Суперкомпьютерное моделирование двумерных МГД-течений в коаксиальных каналах плазменных ускорителей во внешнем продольном магнитном поле

Научный руководитель – Степин Евгений Викторович

Калимуллин Тимур Рафикович

Студент (магистр)

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

E-mail: kalimullin02@mail.ru

Т.Р. Калимуллин¹, Е.В. Степин²

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва

²Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, г. Москва

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.

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.

Источники и литература

- 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.

Иллюстрации

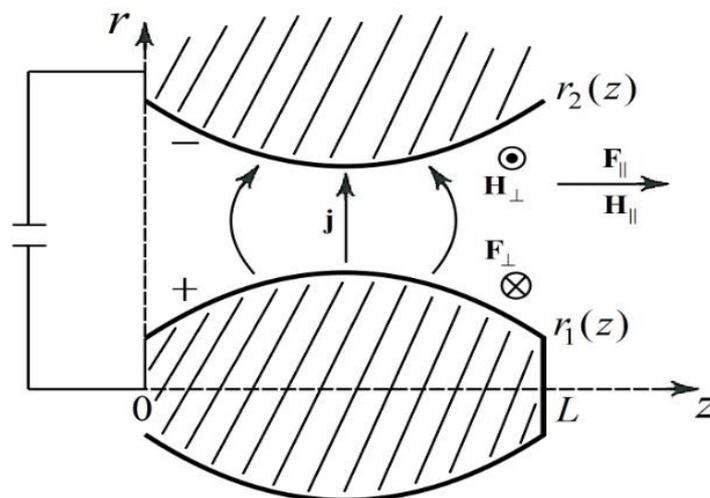


Рис. : Рис. 1. Схема рассматриваемого канала ускорителя в цилиндрических координатах (r, ϕ, z) . Сечение плоскостью $\phi = const$.