

ОТЗЫВ

научного руководителя о диссертационной работе
Коновалова Вениамина Сергеевича

«Исследование процесса ионизации и переноса излучения в канале
плазменного ускорителя», представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
01.01.09 – «Механика жидкости, газа и плазмы»

Диссертационная работа Коновалова В.С. посвящена комплексным исследованиям в области современной фундаментальной и прикладной механики и связана с квазистационарными плазменными ускорителями (КСПУ). Эти многофункциональные установки предназначены для различных технологических приложений и термоядерных исследований, а также представляют интерес в качестве перспективных мощных электрических ракетных двигателей для космических приложений. Разрабатываемые электрореактивные плазменные двигатели на основе КСПУ могут выполнять задачи поддержания и коррекции орбиты космических аппаратов в условиях постоянного аэродинамического торможения при взаимодействии с верхними слоями земной атмосферы, могут обеспечить выведение космических аппаратов на более высокие орбиты, а также могут быть использованы в качестве маршевых двигателей для межпланетных перелетов.

В настоящее время для космических целей используются различные электрореактивные плазменные двигатели. Широкое распространение в космонавтике получили отечественные стационарные плазменные двигатели и их различные зарубежные модификации, а также ионные двигатели, разработанные в США. В этих установках с малой тягой используется разреженная плазма. Ускорение незамагниченной ионной компоненты обусловлено электрическим полем, а описание процессов проводится в рамках кинетических уравнений для функции распределения. В уникальных установках КСПУ используется достаточно плотная плазма и перспективный механизм ускорения, основанный на силе Ампера, отвечающей векторному произведению тока в плазме и магнитного поля. Исследование процессов в КСПУ для плотной среды проведено на основе системы уравнений радиационной магнитной газодинамики (РМГД). В рассматриваемых установках КСПУ плазма образуется из различных газов, как правило, водорода, гелия и азота в результате электрического разряда с образованием фронта ионизации в канале плазменного ускорителя. Электрический ток вдоль внутреннего электрода приводит к образованию азимутального магнитного поля. Ток в плазме, протекающий между коаксиальными электродами, имеет преимущественно радиальное направление. В результате ионизованная среда ускоряется до больших значений скорости 30-400 км/с. Поэтому установки КСПУ имеют большой потенциал для развития, реализация которого возможна на основе комплексных исследований.

Целью диссертационной работы является изучение процесса ионизации и переноса излучения в потоках ионизирующегося газа и плазмы в канале

КСПУ. Соответствующие исследования, представленные в диссертации, проведены на основе новых моделей и численных экспериментов. В работе рассмотрены модели различного уровня сложности и представлена иерархия моделей ионизации и переноса излучения.

Соискателем решены следующие научные задачи:

- Разработана РМГД модель двумерных осесимметричных течений ионизирующегося водорода в приближении локального термодинамического равновесия, включая 3D модель переноса излучения. Определено поле излучения. Впервые получены детальные спектральные и интегральные характеристики излучения в канале КСПУ.
- В результате численных экспериментов на основе квазиодномерной РМГД модели, дополненной уравнением кинетики ионизации и рекомбинации в рамках модифицированного диффузионного приближения, сформулировано эмпирическое условие стационарности течений ионизирующегося водорода.
- Определены населенности атомных уровней в окрестности фронта ионизации в канале КСПУ на основе модифицированных МГД уравнений, дополненных системой уравнений поуровневой кинетики и уравнением переноса излучения. Установлено, что радиационные процессы существенно влияют на возбуждение атомных уровней перед фронтом, обеспечивая предварительную ионизацию поступающего газа.
- Разработана РМГД модель и проведены численные исследования двумерных осесимметричных течений ионизирующегося гелия и азота в многокомпонентной среде, с учетом системы уравнений ионизационного равновесия при условии возможного образования многозарядных ионов с различной кратностью ионизации. В серии численных экспериментов определено условие стационарности течений ионизирующегося гелия в канале КСПУ. Исследование течений ионизирующегося азота показало, что процесс ионизации и ускорения плазмы сопровождается образованием ионов азота с различной кратностью ионизации.

Актуальность представленной тематики связана с необходимостью разработки электрореактивных плазменных двигателей нового поколения на основе КСПУ, что обеспечит повышение конкурентоспособности Российской Федерации в освоении космоса. Представленные исследования соответствуют Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной Указом Президента РФ от 01.12.2016 г. № 642. Актуальная тема диссертации отвечает Стратегии НТР РФ в той ее части, в которой говорится об "освоении и использовании космического и воздушного пространства". Исследования проведены в рамках проектов РФФИ и РНФ.

Новизна представленных исследований, научных положений диссертации, ее выводов и рекомендаций обусловлена, в первую очередь, разработкой новых РМГД моделей и проведением уникальных численных экспериментов. На основе этого получен ряд новых результатов.

Обоснованность полученных результатов и научных положений определяется использованием современных подходов к моделированию физических процессов и применением апробированных вычислительных методов, которые были адаптированы для решения конкретных задач. Обоснованность и достоверность результатов вычислительных экспериментов подтверждаются их сопоставлением для различных моделей, рассмотренных в диссертации В.С. Коновалова, а также сравнениями в отдельных случаях с экспериментальными данными.

Автор диссертационной работы самостоятельно разработал РМГД модели различного уровня сложности и создал комплексы программ для численного исследования процесса ионизации и переноса излучения, а также самостоятельно провел серии численных экспериментов для изучения физических процессов в КСПУ. Результаты исследований, представленные в диссертационной работе, являются новыми и получены автором самостоятельно. В диссертацию включены только те материалы из совместных публикаций, которые непосредственно принадлежат соискателю.

За время работы над диссертацией В.С. Коновалов продемонстрировал высокую квалификацию в области радиационной плазмодинамики, проявил себя как квалифицированный специалист в области механики газа и плазмы, а также математического моделирования сложных физических процессов. По теме диссертации опубликовано 41 научная работа. Из них восемь статей опубликовано в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК и индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, включая статью в издании первого квартиля Q1. Кроме того, опубликовано 10 препринтов ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, в том числе 2 препринта, изданных соискателем самостоятельно.

Считаю, что диссертация Коновалова Вениамин Сергеевича «Исследование процесса ионизации и переноса излучения в канале плазменного ускорителя» представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком научном уровне, и отвечает требованиям Положения ВАК о присуждении ученых степеней. Автор диссертационной работы В.С. Коновалов заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.09 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Научный руководитель, д.ф.-м.н.,
главный научный сотрудник
ИПМ им. М.В. Келдыша РАН



А.Н. Козлов

Подпись А.Н. Козлова удостоверяю

Ученый секретарь
ИПМ им. М.В. Келдыша РАН
к.ф.-м.н.



А.А. Давыдов