

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Владимира Александровича Титарева на диссертацию Шакуровой Лии Алимджановны на тему «Эффекты скольжения в смесях газов с поуровневой кинетикой и поверхностными реакциями», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических по научной специальности 1.1.9.

Механика жидкости, газа и плазмы.

Диссертация Л.А. Шакуровой посвящена исследованию эффектов скольжения в течениях газов с учетом газофазных и поверхностных процессов. Автор предлагает новый подход к описанию этих процессов на микроскопическом уровне, уделяя особое внимание учету различных типов рассеяния частиц поверхностью, а также влиянию поверхностных реакций. Основным достижением можно считать переход от молекулярного уровня описания граничных условий к гидродинамическому, что позволяет учитывать неравновесные эффекты при взаимодействии с поверхностью и их влияние на характеристики потока в рамках континуального подхода. **Актуальность** работы обусловлена растущей необходимостью в детальном описании неравновесных течений разреженных газовых смесей вблизи твердых тел. Создание таких моделей позволит корректно моделировать параметры течений со сложными физико-химическими процессами и с высокой точностью прогнозировать тепловые потоки на поверхности.

Работа выполнена на высоком уровне. С использованием современных методов кинетической теории газов получены общие выражения для граничных условий скольжения, проведена их конкретизация для известных ядер рассеяния Максвелла и Черчиньяни–Лампис. Изучено влияние скачка температуры и неравновесных гетерогенных реакций на динамику и тепловые потоки на примере расчетов течения воздуха на линии торможения. Проведен подробный анализ результатов, даны оценки и рекомендации.

Граничные условия получены в рамках современного детального подхода поуровневой кинетики, который является одним из наиболее перспективных для учета неравновесных процессов в газе. Выбор такого подхода, несомненно, определяет **новизну**

33-06-1250 от 13.12.2024

работы. Впервые разработан метод, обеспечивающий корректный учет неравновесных эффектов как в газовой фазе, так и при взаимодействии газа с поверхностью. Помимо этого, **новым** является сам построенный подход, полученные выражения для кинетических граничных условий, а также обобщения известных ядер рассеяния на поуровневую модель.

Научная значимость заключается в создании нового подхода, который связывает локальные свойства поверхности и кинетику газа с макропараметрами потока. Это расширяет диапазон задач, которые можно решать с использованием континуальных моделей. **Практическая значимость** результатов выражена в возможности использования разработанных граничных условий для моделирования потоков в аэрокосмической отрасли. Они могут быть применены при проектировании теплозащитных систем космических аппаратов, анализе теплопереноса в микроканалах и моделировании газовых потоков в режиме скольжения.

Стоит отметить высокий уровень **публикаций** автора: результаты работы представлены в 12 статьях, из которых две опубликованы в высокорейтинговых журналах Physical Review E и Physics of Fluids.

Замечания:

1. В Главе 2 автор выбирает диффузное ядро рассеяния для описания отражения образованных за счет поверхностных процессов частиц. Такой выбор требует дополнительных прояснений. В частности, как этот выбор влияет на общий тепловой поток к поверхности? Возможно, целесообразно было бы рассмотреть другой тип ядра для сопоставления.
2. При численных расчетах недостаточно подробно проанализированы ограничения используемых моделей. Также довольно мало внимания уделено сопоставлению с экспериментальными данными или результатами молекулярно-динамических расчетов.
3. В разделе 3.2.6 исследуется влияние модели диффузии на характеристики потока. Чем обусловлена чувствительность теплового потока (до 5%) к выбору моделей, таких как модели Фика и Гиршфельдера-Кертисса, несмотря на их сходство?

Указанные замечания не снижают ценности работы. Диссертация вносит заметный вклад в исследование неравновесных течений газов и их взаимодействия с твердыми поверхностями. Результаты могут найти практическое применение в задачах аэрокосмической отрасли и инженерных расчетах. Предложенные выражения для граничных условий особенно перспективны, если они будут интегрированы в современные вычислительные гидродинамические коды.

Диссертация Шакуровой Лии Алимджановны на тему: «Эффекты скольжения в смесях газов с поуровневой кинетикой и поверхностными реакциями» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете». Несомненно, соискатель Шакурова Лия Алимджановна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических по научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета
Владимир Александрович Титарев
доктор физико-математических наук,
главный научный сотрудник ФИЦ ИУ РАН
E-mail: Vladimir.titarev@fccsc.ru
06.12.2024

В.Т.



Подпись *В.А. Титарев* заверяю
Ученый секретарь ФИЦ ИУ РАН
Д.т.н. В.Н. Захаров
12 2024г.