

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Березко Максима Эдуардовича "Физико-математические модели пристеночных течений в расширенном кнудсеновском слое", представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы.

В диссертационной работе Березко М.Э. разработаны математические модели пристеночных течений, описывающие взаимодействие газа с поверхностью на молекулярно кинетическом уровне. Рассмотрены течения высокой динамической неравновесности.

Актуальность темы исследования связана с тем, что современные аэрокосмические, вакуумные и нанотехнологии, а также ряд других областей техники нуждаются в совершенствовании вычислительных методов и математических моделей течений газа в широком интервале чисел Маха и Кнудсена.

В диссертационной работе предложен метод комбинирования кинетического модельного уравнения и модели Навье-Стокса-Фурье, ориентированный на описание пристеночных течений.

Разработан оригинальный метод решения модельного кинетического уравнения, позволяющий выделять поверхности разрыва функции распределения молекул по скоростям. Метод основан на приведении модельного кинетического уравнения к интегральной форме и построении последующего решения вдоль молекулярной траектории, не содержащей разрывов.

На примере решения тестовой задачи о течении Куэтта для одно- и многоатомных газов получены гладкие решения в области сшивания кинетической и гидродинамической составляющих комбинированной модели. Решения известных комбинированных моделей для пристеночных течений, не содержащие осцилляций, получены только для одноатомных газов. Рассмотрены различные граничные условия на твердой поверхности. Разработаны рекомендации по применению граничных условий того или иного типа в зависимости от чисел Маха и Кнудсена рассматриваемой задачи.

Решена задача обтекания абсолютно тонкой пластины, установленной под нулевым углом атаки. Разработанный автором диссертации метод решения модельного кинетического уравнения позволил рассчитать поле течения в окрестности острой кромки. В частности, показан разрыв нормального напряжения на носике пластины. Полученные расчетные

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

« 10 » 12 2022 г.

результаты удовлетворительно согласуются с известными экспериментальными данными.

Результаты диссертационной работы имеют как теоретическую, так и практическую значимость. Физико-математические модели течения и метод их численной реализации могут быть использованы при изучении течений в высоко градиентных областях, а также при разработке CFD-пакетов.

Результаты работы использованы в учебном процессе МАИ.

### Замечания

1. Было бы желательно провести больше численных исследований разработанных математических моделей и алгоритмов для течений с переходным режимом (например: течение Пуазейля и воспроизведение парадокса Кнудсена в канале).
2. Из текста автореферата не ясно как будет определяться зона сшивания кинетического и континуального решений в случае сложной геометрии обтекаемого тела и нерегулярных расчетных сеток
3. Графики кривых на рисунках 3 и 4 слабо различимы. Лучше бы их было маркировать цветом как на рисунке 7.

Несмотря на указанные замечания, считаю, что диссертационная работа Березко Максима Эдуардовича соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, выполнена на высоком научном уровне, а ее автор, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – "Механика жидкости, газа и плазмы".

Доцент кафедры молекулярных процессов и экстремальных состояний вещества  
физического факультета МГУ имени М.В.  
Ломоносова, кандидат физико-  
математических наук, старший научный  
сотрудник  
E-mail: [ivanovmai@mail.ru](mailto:ivanovmai@mail.ru)

*Иванов* И.Э. Иванов  
01.12.2022

Подпись Иванова И.Э. заверяю  
Ученый секретарь физического факультета  
МГУ имени М.В. Ломоносова, профессор  
119991, ГСП-1, Москва

Ленинские горы, МГУ имени М.В. Ломоносова  
Дом 1, строение 2, Физический Факультет

Тел.: +7 495 939-16-82

E-mail: [info@physics.msu.ru](mailto:info@physics.msu.ru)



*Караваяв* В.А. Караваяв