

## ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

о диссертационной работе Рогозина Олега Анатольевича  
«Численный и асимптотический анализ некоторых классических задач  
молекулярной газодинамики», представленной к защите на соискание учёной  
степени кандидата физико-математических наук по специальности  
01.02.05 — «Механика жидкости газа и плазмы»

Рогозин Олег Анатольевич в 2011 году с отличием окончил факультет общей и прикладной физики Московского физико-технического института (МФТИ) по специальности «прикладные математика и физика», защитив магистерскую диссертацию на тему «Решение классических задач динамики разреженного газа проекционным методом дискретных ординат» и в том же году поступил в очную аспирантуру МФТИ по специальности 05.13.18 — «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», где занимался разработкой комплекса программ для численного решения уравнения Больцмана на многопроцессорных системах. В 2016 году прошёл промежуточную аттестацию в аспирантуре Московского авиационного института (МАИ) по специальности 01.02.05 — «Механика жидкости газа и плазмы». С 2017 года является младшим научным сотрудником сектора кинетической теории газов отдела механики Вычислительного центра им. А.А. Дородницына Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук (ФИЦ ИУ РАН).

В последние годы особенную актуальность приобрели неравновесные течения разреженного газа, возникающие в широком спектре прикладных задач: от высотной аэрогидродинамики до микро- и наноплюидики. Стоят две центральные задачи: развитие методологии численного анализа сложных многомасштабных систем с использованием суперкомпьютеров и исследование существенно неравновесных процессов и эффектов, выходящих за рамки классической гидрогазодинамики. Решению этих актуальных проблем посвящена диссертационная работа О.А. Рогозина «Численный и асимптотический анализ некоторых классических задач молекулярной газодинамики».

Представленная диссертация состоит из трёх глав. В первых двух излагаются современные методы анализа течений разреженного газа: нелинейная теория возмущений (**глава 1**) и специальные численные методы решения уравнения Больцмана (**глава 2**).

В рамках асимптотической теории рассмотрены медленные неизотермические течения, описываемые уравнениями Когана — Галкина — Фридлиндера (КГФ), а также одномерные задачи в широком диапазоне чисел Маха. Впервые при решении уравнений КГФ были использованы граничные

условия первого и даже второго порядков, в том числе учитывающие кривизну граничной поверхности. Это позволило качественно и количественно улучшить асимптотические результаты.

Среди множества известных вычислительных подходов выбран консервативный проекционный метод дискретных скоростей. Его обобщение на неравномерные сетки в пространстве молекулярных скоростей позволяет с высокой точностью аппроксимировать резкие изменения функции распределения, характерные для рассмотренных краевых задач. В работе впервые проведены оценки на множество кубатурных точек, необходимых для обеспечения положительности решения в случае существенно неравномерных сеток, выявлены критерии для оптимального выбора проекционного шаблона и самой сетки.

Преимущества выбранной методологии наглядно продемонстрированы в **главе 3**, где представлены результаты моделирования ряда классических задач разреженного газа, включая течения между пластинами, некоаксиальными и эллиптическими цилиндрами. Для макроскопических переменных достигнута точность в 4-5 знаков, что для разреженного газа является исключительным достижением, поскольку требует весьма кропотливой работы над сетками во всём фазовом пространстве. Проведён масштабный параметрический анализ рассмотренных задач для широкого диапазона параметров: чисел Кнудсена и Маха, основных геометрических соотношений и граничных условий. Важным обстоятельством является тщательная верификация представленных результатов. Проведён сравнительный анализ решений, полученных на разных сетках и разными численными методами. Отдельного упоминания заслуживает высокий уровень достоверности результатов при малых числах Кнудсена, где широко распространённые методы прямого статистического моделирования практически неприменимы из-за присущего им статистического шума. Напротив, решения, полученные консервативным проекционным методом дискретных скоростей и решения, построенные с помощью асимптотического анализа, полностью совпадают в пределах точности для всех изученных задач.

Важные результаты представлены также в **приложении**. Здесь впервые вычислены для модели твёрдых сфер, причём с исключительно высокой точностью, некоторые транспортные коэффициенты, необходимые для построения нелинейного асимптотического решения классической задачи Куэтта.

Таким образом, диссертационная работа О.А. Рогозина представляет собой цельное и законченное научно-квалификационное исследование, в котором содержится решение задачи, имеющей важное значение для развития динамики разреженного газа. Она выполнена и написана диссертантом самостоятельно, обладает внутренним единством. Все положения, представленные к защите, являются новыми и научно обоснованными. Результаты диссертации опубликованы с достаточной полнотой в 5 статьях в ведущих рецензируемых

отечественных и зарубежных журналах, которые соответствуют требованиям ВАК. За время своей научной деятельности Олег Анатольевич опубликовал 8 статей, выступил с более чем 10 научными докладами на нескольких российских и международных конференциях.

Во время учёбы и при работе над диссертацией он показал способность быстро и глубоко осваивать новые области знаний, приобрел широкую эрудицию в области прикладной математики и кинетической теории газов, показал способность самостоятельно ставить и решать фундаментальные и прикладные научные задачи.

Считаю, что Олег Анатольевич Рогозин обладает достаточной научной квалификацией и выполнил кандидатскую диссертационную работу высокого качества, а потому заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 — «Механика жидкости газа и плазмы».

Научный руководитель  
доктор физико-математических наук,  
главный научный сотрудник  
ВЦ РАН ФИЦ ИУ РАН

14 декабря 2017г.

 Ф.Г. Черемисин

Подпись Ф.Г. Черемисина заверяю,  
учёный секретарь ФИЦ ИУ РАН,  
доктор технических наук





В.Н. Захаров