

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 31.1.006.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО АВТОНОМНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ «ЦЕНТРАЛЬНЫЙ АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ ИМЕНИ ПРОФЕССОРА Н.Е. ЖУКОВСКОГО»
МИНИСТЕРСТВА ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТОРГОВЛИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(ДЕПАРТАМЕНТ АВИАЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ)
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СО ИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК**

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 23 июня 2026 г. № 6

О присуждении Бутковскому Александру Викторовичу, гражданину РФ, учёной степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Кинетические эффекты, и аналогия Рейнольдса в классических задачах гидрогазодинамики» по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы в виде рукописи принята к защите 10.03.2026, протокол № 3 диссертационным советом 31.1.006.01 на базе Федерального автономного учреждения Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского (ФАУ «ЦАГИ») Министерства промышленности и торговли Российской Федерации (Департамент авиационной промышленности), адрес организации: 140180, Российская Федерация, Московская область, г. Жуковский, улица Жуковского, дом 1. Приказом Минобрнауки РФ от 03.06.2021 № 561/нк диссертационному совету 31.1.006.01 предоставлено право приема к защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук..

Соискатель Бутковский Александр Викторович, 1953 года рождения. Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Кинетические эффекты и аналогия Рейнольдса в классических задачах гидрогазодинамики» защитил в 2015 году в диссертационном совете, созданном на базе ФГУП «ЦАГИ». В настоящее время работает в ФАУ «ЦАГИ» старшим научным сотрудником.

Диссертация выполнена в научно-исследовательском отделении «Исследование аэротермодинамики гиперзвуковых летательных аппаратов и объектов ракетно-космической техники» ФАУ «ЦАГИ» Министерства промышленности и торговли Российской Федерации (Департамент авиационной промышленности)

Официальные оппоненты:

Аристов Владимир Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН (ФИЦ ИУ РАН),

Кустова Елена Владимировна, доктор физико-математических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ), профессор кафедры гидроаэромеханики математико-механического факультета,

Кузнецов Михаил Михайлович, доктор физико-математических наук, доцент, Государственное учреждение высшего образования «Московский государственный областной университет» (МГОУ), профессор кафедры фундаментальной физики и нанотехнологии

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» в своём положительном отзыве, подписанном заведующим кафедрой молекулярных процессов и экстремальных состояний вещества физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова д.ф.-м.н. профессором Н.Н. Сыроевым и профессором кафедры молекулярных процессов и экстремальных состояний вещества физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова д.ф.-м.н., профессором А.В. Уваровым и утвержденном проректором МГУ имени М.В. Ломоносова чл.-кор. РАН, д.ф.-м.н. А.А. Федяниным указала, что «научная новизна диссертации состоит в обнаружении и систематическом исследовании ряда ранее не описанных кинетических эффектов в классических задачах гидрогазодинамики. Практическая значимость диссертации состоит в расширении представлений о тепломассопереносе и силовом воздействии на поверхности в разреженных газах. Результаты могут быть использованы при теоретических и численных исследованиях переходных режимов течения, в вакуумной технике, микро- и наногазодинамике, а также в учебном процессе при подготовке специалистов по молекулярной газовой динамике и смежным направлениям механики. Диссертация А.В. Бутковского производит впечатление логически завершённой, содержательной и цельной научной работы. Диссертационная работа Бутковского А.В. по своему содержанию, актуальности и решениям поставленных задач отвечает требованиям ВАК Минобрнауки РФ, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы. Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры молекулярных процессов и экстремальных состояний вещества физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. Протокол № 4 от 4 июня 2026 г.

Соискатель имеет 68 опубликованных работ, в том числе 3 патента и 58 статей в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень ВАК российских цитируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций. Из них 2 патента и 20 статей без соавторов. По теме диссертации соискатель опубликовал в рецензируемых научных изданиях – 21 статью. Из них 20 в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень ВАК российских цитируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций. Из них 10 входят в первый квартиль (Q1) в базах Scopus и Web of Science.

Наиболее значимые работы автора по теме диссертации:

1. A.A. Abramov and A. V. Butkovsky. “The sign change effect of the energy flux and other veffects in the transitional regime for the Couette problem”, AIP Conf. Proc. **1501**,

- 123 (2012). Авторский вклад 50%. Установлено, что в задаче Куэтта изменение числа Кнудсена может приводить к изменению знака потока энергии, передаваемой пластине, и что зависимость потока нормального импульса от числа Кнудсена имеет максимум.
2. A.A. Abramov, A.V. Butkovskii. "On the Rayleigh Problem in the transitional regime." The sign change effect of the energy flux and other effects." *Phys. of Fluids*, 26, 077101 (2014). Авторский вклад 50%. Установлено, что в задаче Рэлея пластина может первоначально нагревается, а затем остывать; установлено, что напряжение трения, поток нормального импульса и поток энергии, немонотонны по времени.
3. A.A. Abramov, V.Yu. Alexandrov, A.V. Butkovskii, Rarefied cylindrical Couette flow: Shear stress and energy flux maxima. *International Journal of Heat and Mass Transfer* **123** (2018) 192-200. Авторский вклад 33%. Установлено, что зависимости напряжения трения и потоков энергии от угловой скорости внешнего цилиндра в течении Куэтта с неподвижным внутренним цилиндром имеют максимум.
4. A.A. Abramov, V.Yu. Alexandrov, A.V. Butkovskii, O.G. Buzykin, Cylindrical Couette flow with fixed outer cylinder: Rarefied effects, *Phys. Fluids* **33**, 097111 (2021). Авторский вклад 33%. Установлено, что поток нормального импульса, передаваемого поверхности внутреннего цилиндра, в течении Куэтта с неподвижным внешним цилиндром имеет минимум как функция угловой скорости.
5. A.A. Abramov, A.V. Butkovskii and O.G. Buzykin, Rarefied cylindrical Couette problem: vEffect of a very sharp transition from weakly rarefied flow near the inner cylinder to free molecular flow at very low average Knudsen numbers, *Phys. Fluids* **36**, 077122 (2024). Авторский вклад 33%. Установлено, что напряжение трения и потоки энергии при малых числах Кнудсена и больших скоростях вращения внешнего цилиндра в задаче Куэтта с фиксированным внутренним цилиндром резко уменьшаются при достижении соответствующих значений параметров.
6. A.A. Abramov, A.V. Butkovskii and O.G. Buzykin, Rarefied gas flow past a flat plate at zero angle of attack, *Phys. Fluids* **32**, 087108 (2020). Авторский вклад 33%. Установлено, что зависимость среднего по длине пластины значения потока нормального импульса, передаваемого пластине, от числа Кнудсена при сверхзвуковом обтекании пластины под нулевым углом атаки имеет максимум, при дозвуковом минимум, а при околосзвуковом дозвуковом и минимум и максимум.
7. A.A. Abramov, V.Yu. Alexandrov, A.V. Butkovskii, Rarefied cylindrical Couette flow: Shear stress and energy flux maxima. *International Journal of Heat and Mass Transfer* **123** (2018) 192-200. Авторский вклад 33%. Установлено, что зависимости напряжения трения и потоков энергии от угловой скорости внешнего цилиндра в течении Куэтта с неподвижным внутренним цилиндром имеют максимум.
8. A.A. Abramov, A.V. Butkovskii, The extended Reynolds analogy for the Couette problem: Similarity parameters, *International Journal of Heat and Mass Transfer* **117**, 313 (2018). Авторский вклад 50%. Установлено, что в течении Куэтта температуры поверхностей и относительная скорость влияют коэффициент аналогии Рейнольдса в основном через число Эккерта.

9. A.A. Abramov and A.V. Butkovskii, Reynolds analogy for the Rayleigh problem at various flow modes, *Physical Review E*, **94**, 013110 (2016). Авторский вклад 50%. В статье установлено, что зависимости коэффициента аналогии Рейнольдса от числа Прандтля в течении Рэлея несжимаемой жидкости имеют максимум.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы официальных оппонентов и ведущей организации.

1. Отзыв ведущей организации – Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» – положительный, замечания следующие:

1) В работе, в основном, рассматриваются модельные постановки с диффузным отражением молекул от поверхностей. Было бы полезно подробнее обсудить, насколько обнаруженные эффекты устойчивы при неполной аккомодации и иных моделях газо-поверхностного взаимодействия. Это особенно важно с точки зрения возможного применения результатов к реальным поверхностям в вакуумной и микроаэродинамической технике.

2) В диссертации приведен большой объем численных результатов, полученных методом прямого статистического моделирования. При этом для ряда тонких эффектов — например, небольших экстремумов или слабого влияния температуры пластины на трение — желательно было бы более систематически представить сведения о статистической погрешности, сходимости по числу частиц, размеру ячеек и шагу по времени. Такие данные позволили бы еще более наглядно подтвердить устойчивость обнаруженных эффектов.

3) Многие результаты формулируются как имеющие место «при соответствующих значениях параметров». С физической точки зрения это корректно, однако для удобства дальнейшего использования результатов было бы желательно свести области существования основных эффектов в более компактные таблицы или диаграммы по параметрам задачи: числу Кнудсена, числу Маха, отношению температур, отношению радиусов цилиндров и скоростям вращения.

4) Работа в значительной степени сосредоточена на классических геометриях: плоских пластинах, полупространстве, коаксиальных цилиндрах, сферической и цилиндрической симметрии. Это оправдано фундаментальным характером исследования, однако было бы интересно подробнее обсудить, какие из обнаруженных эффектов могут сохраняться в более сложных конфигурациях, например, при обтекании тел конечной толщины, в каналах сложной формы или в трехмерных течениях.

5) В главах, посвященных аналогии Рейнольдса, получены важные результаты о параметрах подобия и роли числа Эккерта. Вместе с тем изложение этого материала местами требует значительных усилий от читателя. Представляется, что диссертация выиграла бы от дополнительного обобщающего раздела, в котором результаты по аналогии Рейнольдса были бы сопоставлены между всеми рассмотренными задачами в единой таблице или схеме.

В автореферате и тексте диссертации встречаются отдельные редакционные и терминологические шероховатости. Они не затрагивают существа полученных результатов.

2. Отзыв официального оппонента д.ф.-м.н. Аристова В.В. – положительный, имеются следующие замечания:

1) Вопросов не возникает при появлении экстремальных значений для величин, которые меняются на десятки процентов при изменении параметров или при смене знаков величин также при больших изменениях изменяющихся на десятки процентов, но появление некоторых экстремумов порядка процента требует более тщательного вычислительного анализа. В задаче Рэлея находилась статистическая ошибка, согласно указанию в диссертации она не превышала 1-2%. Появление экстремумов также величиной порядка процента требует, как указывалось, подробного пояснения.

2) Вообще вопрос о точности вычислений с помощью статистического моделирования может быть задан. Сравнение с решениями по уравнениям Навье-Стокса безусловно важная часть проверки, но сходимость по собственным числовым параметрам к решению желательно было бы провести и продемонстрировать. В определении коэффициента Рейнольдса задаче Рэлея при обсуждении аналогии Рейнольдса обнаруживается большой статистический шум при выявлении зависимости от времени, данный числовой результат не обсуждается, и статистическая ошибка не оценивается.

3) Метод решения в работе рассматривается не очень подробно, это понятно, поскольку инструмент в принципе хорошо известен, а именно ПСМ. Но некоторые детали надо было бы осветить. В частности, решение задач при малых числах Маха с помощью ПСМ сталкивается с трудностями. Надо было бы отметить пути их преодоления в работе. Сравнение проводится с другими методами, например с модельными уравнениями, но нет сравнения с прямым методом решения уравнения Больцмана – наиболее точным приближением, например, в задаче об обтекании пластины или в задаче о теплопередаче (частный случай задачи Куэтта), где имеются тестовые вычисления.

4) Проблемам, направленным на приложение обнаруженных эффектов (что представляет интерес) и постановке соответствующих экспериментов не уделено внимания. Обсуждение опытного подтверждения эффектов могло бы соседствовать и с проблемами приложений, что определяет также перспективы данных исследований.

3. Отзыв официального оппонента д.ф.-м.н. Кустовой Е.В. – положительный, замечания следующие:

1) Положения, выносимые на защиту отдельно сформулированы только в автореферате, хотя и перечисляются в заключении диссертации. Кроме того, отсутствует подробный обзор современного состояния вопроса, который позволил бы выявить нерешенные проблемы и определить место результатов автора в современной динамике разреженного газа. Это несколько затрудняет оценку достижений автора.

2) Недостаточно внимания уделено конкретным практическим приложениям результатов, полученных в диссертации.

3) Обнаружен ряд интересных эффектов, связанных с немонотонным поведением напряжения трения и потоков энергии при увеличении степени разреженности в различных задачах. Однако экспериментального подтверждения ни одного из данных эффектов не приводится. Есть несколько сравнений с экспериментом (например, рисунок 4.1, таблица 7.1), но они касаются классических случаев, в которых поведение параметров монотонно. При этом эксперименты были выполнены в 1954 и 1971 гг. Появились ли за это время методики эксперимента, позволяющие уловить эффекты, предсказанные теоретически? Было бы полезно сформулировать основные принципы эксперимента, который мог бы подтвердить результаты работы. Также было бы полезно сравнить результаты с экспериментальными исследованиями задачи Куэтта, выполненными группой В.А.Лебиги.

4) В диссертации используется граничное условие диффузного отражения на поверхности. Никак не комментируется возможное влияние других, более реалистичных, граничных условий на немонотонность поведения напряжения трения и потоков энергии.

5) Есть ряд замечаний редакционного плана:

В Главе 4 рассматривается неподвижный внутренний цилиндр, однако в постановке задачи в п. 4.1 его скорость ненулевая. Можно было бы записать общую постановку задачи для глав 4 и 5, а потом уже рассмотреть неподвижный внутренний/внешний цилиндр. В таблице 4.1. должна быть ссылка на работу [138], а не [137], (в комментариях к таблице на с. 84 ссылка правильная) в подписях к таблице 4.2 и рис. 4.1, посвященных верификации расчетов, в главе 4 указано, что неподвижен внешний цилиндр, тогда как в этой главе рассматривается случай, когда неподвижен внутренний. Правильнее было бы провести верификацию расчетов вслед за общей постановкой перед главами 4 и 5; в легенде рисунка 4.1. указана работа [2] вместо [133]; на стр. 147 ссылка на формулы (5.1) и (5.2) вместо (6.1) и (6.2); на стр. 150 в левых частях двух последних формул пропущен множитель β . Во второй из этих формул еще одна опечатка: должно быть $\beta \rightarrow \infty$, а не $\beta \rightarrow 1$; на рис. 7.5 не совсем ясно, чему соответствует T ; на рис. 7.6 на оси абсцисс должна быть зависимость от Kn ; на стр. 180 непонятно, к чему относятся ссылки на 7.10-7.12, 1.15; в тексте имеется ряд опечаток и погрешностей в пунктуации.

4. Отзыв официального оппонента д.ф.-м.н. Кузнецова М.М. – положительный, сделаны следующие замечания:

1) В диссертации используются молекулярные модели «твердые сферы» и «максвелловские молекулы». Было бы более естественным использование современных молекулярных моделей. Не вызывает сомнений то, что расчеты с более современной молекулярной моделью, привели бы к обнаружению тех же самых эффектов, но ее использование прибавило бы диссертации изящества.

2) В диссертации в задаче Куэтта исследована немонотонность по числу Кнудсена потоков энергии и нормального импульса. Однако не исследован вопрос о зависимости расхода от числа Кнудсена. что не менее интересно. Иными словами, хотелось бы выяснить имеет ли место парадокс Кнудсена не только в течении Пуазейля, но и в течении Куэтта.

3) В подписях к рис. 1.3 на с.20 и к рис. 1.7 на с.25 молекулярная модель названа псевдомаксвелловской. В остальном тексте та же модель называется максвелловской. И хотя в молекулярной газовой динамике принято и то и другое название, хотелось бы, чтобы автор в тексте диссертации придерживался какого-либо одного наименования.

4) Цифры 1 и 3 у кривых на рис. 5.2b следует переставить местами.

5) В диссертации есть две главы, посвященные цилиндрическим течениям Куэтта. Их следовало бы объединить в одну главу, сократив, таким образом, общее число глав до шести.

На автореферат поступили отзывы из организаций, перечисленных ниже:

1. ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». Отзыв составил д.ф.-м.н. профессор кафедры физики, главный научный сотрудник учебной научно-исследовательской лаборатории "Вычислительная механика" ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого Н. Ю. Быков. Отзыв положительный, замечания следующие:

1) В описании первой главы говорится об «исследование сильно неравновесного течения однокомпонентного газа». Однако ничего не говорится о наличии внутренних степеней свободы молекул. Это часть предложения, судя по используемым молекулярным моделям должна выглядеть так: «исследование сильно неравновесного течения однокомпонентного одноатомного газа». Здесь и при описании следующих глав диссертации также стоило бы упомянуть какие граничные условия ставились на поверхности пластинок. При чтении автореферата создается впечатление, что речь идет о диффузном отражении от границ, но чтобы точно убедиться, что отражение от поверхностей диффузное приходится заглядывать в саму диссертацию.

2) Из прочтения автореферата не ясно какие программные средства использовались для расчета течения Куэтта и других задач. Соответствующий комментарий сделан только при описании третьей главы, посвященной задаче Рэлея: “Эти и последующие расчеты течения Рэлея проводились с использованием программы Г. Берда.”

2. ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». Отзыв составил д.ф.-м.н. профессор кафедры высшей математики И.А. Халидов. Отзыв положительный, замечания следующие:

1) В автореферате очень мало внимания уделено используемым моделям взаимодействия молекул газа между собой и с поверхностью. Судя по описанию содержания первой главы, для столкновений молекул газа между собой применялись модели либо максвелловских молекул, либо твердых сфер. О моделях отражения от

поверхности в автореферате не упоминается, хотя в свободномолекулярных (и близких к ним) потоках законы взаимодействия молекул газа с поверхностью оказывают очень большое влияние на характеристики потока. Желательно указать, какие модели отражения применялись, и как полученные результаты от них зависят. Кроме того, автор, по-видимому, не рассматривал такие факторы, как шероховатость поверхности и адсорбция молекул газа, о чем в автореферате также не говорится.

2) В работе получено множество очень интересных численных результатов, но нет примеров их применения в конкретных физических или технических ситуациях. Желательно было бы рассмотреть больше прикладных задач, в которых выявленные эффекты дали практическую пользу.

3. ФГУ «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» (ФИЦ ИУ РАН). Отзыв составил главный научный сотрудник отделения 2 «Моделирование сложных физических и технических систем» д.ф.-м.н. В. А. Титарев. Отзыв положительный, замечаний нет.

4. ООО «Софт-Импакт». Отзыв составил д.ф.-м.н., с.н.с., ведущий специалист **Ю.Е. Горбачев**. Отзыв положительный, имеются следующие замечания:

1) Из текста автореферата не ясно к какому диапазону значений показателя адиабаты относятся выводы диссертационной работы.

2) В тексте автореферата имеется ряд неточностей. Например, в п. 5 положений, выносимые на защиту, где речь идет о течении Куэтта с неподвижным внешним цилиндром, утверждается, что «Абсолютная величина потока нормального импульса, передаваемого внутреннему цилиндру, имеет в переходном режиме минимум как функция скорости внешнего цилиндра».

5. НИИ ФПМ ИЕНиМ ФГАОУ ВО "УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина"

Отзыв составили заведующий отделом к.ф.-м.н. О.В. Сажин и главный научный сотрудник д.ф.-м.н. В.Г. Черняк. Отзыв положительный, имеются следующие замечания:

1) Недостаточно подробно обсуждается влияние моделей межмолекулярного взаимодействия и рассеяния газа поверхностью на обнаруженные кинетические эффекты. Представляет интерес вопрос о степени универсальности полученных результатов при использовании различных моделей взаимодействия.

2) Приводится сравнение результатов численного моделирования с экспериментальными данными в виде отношения численного результата к экспериментальному F_{rel} для различных наборов управляющих параметров, в частности в главе 3 при различных числах Кнудсена и Маха. Затем автор находит среднее значение $\bar{F}_{rel}$ и даже стандартное отклонение σ . Однако физический смысл усреднения величины F_{rel} , полученной для различных режимов течения, не вполне ясен и требует дополнительных пояснений.

3) При верификации реализации численного метода получено расхождение до 20% для потока энергии передаваемого пластине при $Kn=0/026$ по сравнению с результатами работы [79], где используется БГК-модель уравнения Больцмана. Учитывая, что DSMC метод — это статистический подход к решению уравнения Больцмана, какая может быть причина у столь заметного расхождения? В частности, в работе [79], отсутствуют табличные данные для указанного значения числа Кнудсена, поэтому остается неясным проводилось ли сравнение с использованием графической аппроксимации результатов.

4) Практически отсутствует обсуждение вычислительной погрешности DSMC расчетов. Однако утверждается, что точность результатов определялась величиной статистических флуктуаций и, как правило, не превышала 1-2%. Представляется привести более подробную информацию о способе оценки вычислительной погрешности и ее влиянии на определение экстремумов исследуемых зависимостей.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью в научном мире, их достижениями, компетентностью, наличием публикаций в данной сфере исследований и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что:

На основании выполненных соискателем исследований **разработаны** теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать, как научное достижение: найдены новые эффекты в классических течениях разреженного газа, в том числе

впервые найдены кинетические эффекты воздействия на поверхность в задаче Релея;

впервые найдены кинетические эффекты воздействия на поверхности в цилиндрических течениях Куэтта, вызванные их вращением;

впервые показано, что температуры и скорости граничных поверхностей в плоском и продольном цилиндрическом течении Куэтта, течении Рэлея и течении, возникающего при обтекании пластины сверхзвуковым потоком газа влияют на коэффициент аналогии Рейнольдса главным образом через число Эккерта;

в предположении постоянства числа Прандтля получено точное соотношение между потоком энергии и напряжением трения на поверхности в продольном цилиндрическом течении Куэтта вязкого сжимаемого газа;

впервые показано, что коэффициент аналогии Рейнольдса для пластины в течении Рэлея для несжимаемой жидкости, как и для пластины, расположенной под нулевым углом атаки, при наличии ламинарного несжимаемого пограничного слоя имеет максимум.

Диссертация обладает внутренним единством: она вся посвящена исследованию влияния параметров классических течений на силовое и тепловое воздействие на поверхности, ограничивающие эти течения.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что

предложена общая для плоского течения Куэтта, течения Рэлея и задачи об обтекании пластины под нулевым углом атаки физическая модель кинетических процессов, позволившая объяснить все найденные эффекты и предсказывающая аналогичные эффекты в других течениях разреженного газа;

Значения полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что

представлены рекомендации для включения обнаруженных эффектов в курс «Молекулярная газовая динамика» для студентов соответствующих специальностей («Динамика разреженного газа», «Вакуумная техника» и т.п.).

Достоверность результатов исследования гарантируется высокой точностью метода прямого статистического моделирования, выполнением фундаментальных физических законов сохранения энергии и импульса и согласием с другими результатами, полученными по различным расчётным программам, а также с результатами, полученными в работах других авторов иными методами [S. Stefanov, P. Gospodinov, C. Cercignani, Phys. Fluids, **10**, 289 (1998); F.M. Sharipov and G.M. Kremer, Eur. J. Mech. B/Fluids, **18**, (I), 121 (1999) и др.] в том числе экспериментально [S.A. Schaaf and F. S. Sherman, J. Aeron. Sci. 21, 85 (1954); D. J. Alofs, G. S. Springer, Physics of Fluids, **14**(2), 298 (1971)].

Установлено количественное совпадение результатов автора с результатами, представленными в независимых источниках по исследуемой тематике.

Личный вклад соискателя состоит в получении новых существенных результатов в динамике разреженных газов и анализе полученных результатов.

Соответствие паспорту специальности. В данной диссертации изучаются процессы и явления, сопровождающие различные режимы течения однородной среды при механическом и тепловом взаимодействии с движущимися и неподвижными поверхностями. Диссертационное исследование по своему содержанию соответствует заявленной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы, в частности следующим пунктам паспорта специальности:

- п. 6. Динамика разреженных газов и молекулярная газодинамика,
- п. 16. Тепломассоперенос в газах и жидкостях.

На заседании 23 июня 2026 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что содержание диссертации А.В. Бутковского «Кинетические эффекты и аналогия Рейнолдса в классических задачах гидрогазодинамики» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных соискателем исследований, разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать, как научное достижение. Диссертация соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ от 11.09.2021 №1539). Диссертационный совет принял решение присудить Бутковскому Александру Викторовичу ученую степень доктора физико-математических наук по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

Диссертационный совет, принимающий решение тайным голосованием, состоит из 23 человек. Из 23 человек, входящих в состав совета, присутствовало на заседании 19 человек.

Из них:

по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы

5 – докторов физико-математических наук;

по специальности 2.5.12. Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов

4 – доктора физико-математических наук,

3 – доктора технических наук;

по специальности 2.5.14. Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов

1 – доктор физико-математических наук,

6 – докторов технических наук.

Из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали 19 человек:

за присуждение ученой степени – 18,

против присуждения ученой степени – 1,

недействительных бюллетеней – 0.

Заместитель председателя
диссертационного совета

31.1.006.01

д.ф.-м.н., с.н.с.

Сергей Владимирович Ляпунов

Ученый секретарь
диссертационного совета

31.1.006.01

д.ф.-м.н., доцент

Мурад Абрамович Брутян

23 июня 2026 года