

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Николая Юрьевича Быкова 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.

Работа направлена на исследование эффектов скольжения в неравновесных течениях многокомпонентных газовых смесей с учетом поуровневой колебательной и химической кинетики и гетерогенных процессов на поверхности. Тематика исследования **актуальна** для задач аэрокосмической науки, включая проектирование систем теплозащиты космических аппаратов. Неравновесные физико-химические процессы на поверхности могут заметно влиять на тепловые потоки и состав смеси вблизи спускаемого аппарата. Дополнительные сложности при моделировании таких явлений возникают из-за сильных отклонений от равновесия в газовой фазе, за счет резкого охлаждения нагретого головной ударной волной газа при подходе к твердой стенке. При охлаждении инициируются реакции рекомбинации, которые предпочтительно заселяют верхние колебательные уровни молекул. Данный эффект может быть корректно учтен только в рамках детальной поуровневой модели. До настоящего времени не было разработано единой теории, позволяющей построить самосогласованную модель для описания поуровневой кинетики потока и граничных условий скольжения, одновременно учитывающую сложные физико-химические процессы и эффекты разреженности. Эти факторы определяют **новизну** исследования, предлагаемого в диссертационной работе.

В диссертации сформулирован строгий подход к получению поуровневых граничных условий для макропараметров неравновесных течений газовых смесей из кинетического граничного условия. **Теоретическая ценность** работы состоит в том, что автор формулирует новый подход, который расширяет область применимости континуальных моделей, и далее показывает его преимущества на основе теоретических выводов и численного моделирования. Особую ценность представляет возможность учета сложных взаимодействий газа с поверхностью, что позволяет существенно улучшить точность описания эффектов скольжения. **Практическая значимость** исследования определяется тем, что для разных ядер рассеяния получены выражения для скорости скольжения, скачка температуры и массовых потоков, проведено численное исследование течения вдоль линии торможения с использованием построенных моделей, проведены оценки влияния эффектов разреженности и поверхностных реакций на параметры течения и тепловой поток. **Достоверность** результатов подтверждается тем, что исследование опирается на хорошо разработанные методы кинетической теории, а результаты расчетов коэффициентов гетерогенной рекомбинации хорошо согласуются с результатами молекулярно-динамического моделирования.

К основным результатам исследования можно отнести следующие:

- Представлены методы получения граничных условий для макропараметров течений, включая использование метода Грэда и кинетического подхода. Получены выражения для граничных условий скольжения в рамках поуровневого приближения.
- Предложено обобщение подхода для учета гетерогенных процессов, включая адсорбцию, десорбцию и химические реакции, с подробным анализом их влияния на параметры течений. Новый метод связывает микроскопическое описание гетерогенных процессов с макроскопическими параметрами потока.
- Проведены численные исследования течения воздуха вдоль линии торможения с учетом различных моделей скольжения и каталитичности поверхности. Показано влияние разреженности газа и скачка температуры на аэродинамические характеристики.

По работе имеются некоторые **замечания**:

1. Постановка задачи о течении смеси воздуха в пограничном слое на линии торможения в главе 3 описана недостаточно полно. Система уравнений 3.2 не включает уравнение движения. Не совсем понятно, как рассчитывается скорость газа.
2. Часть представленной в диссертационной работе материалов следовало бы сопроводить иллюстративным материалом. А именно, привести схематичное изображение самого слоя Кнудсена с соответствующими пояснениями к решаемой задаче, а также схему задачи расчета параметров в погранслое в разделе 3.
3. Возможно, стоило бы сравнить профили параметров, полученные в разделе 3 с расчетами других авторов, даже в случае если химия и поуровневая кинетика в других работах рассматривается в более упрощенном виде.

Приведенные замечания не снижают общей положительной оценки работы. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, вносящей заметный вклад в развитие кинетической теории неравновесных процессов в газах. Результаты, выносимые на защиту, достаточно полно опубликованы, всего имеется 12 публикаций: из них 1 статья в журнале из перечня рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК, 4 – в рецензируемых изданиях, индексируемых в международных базах цитирования Web of Science и Scopus. Работа неоднократно докладывалась на всероссийских и международных конференциях.

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

Д.ф.м.н., без звания,
Профессор кафедры физики
СПбПУ Петра Великого

Дата 06.12.2024

Быков Николай Юрьевич

