



УТВЕРЖДАЮ

Директор Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича, чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н.

А.Н. Шиплюк

04.04.2017

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Облапенко Георгия Павловича

«СКОРОСТЬ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ РЕЛАКСАЦИИ В ВЯЗКИХ НЕРАВНОВЕСНЫХ ТЕЧЕНИЯХ ГАЗОВ»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Актуальность темы диссертации

Диссертация Г.П. Облапенко посвящена изучению скорости физико-химической релаксации в вязких течениях смесей газов с термической и химической неравновесностью. Данная проблема имеет высокую значимость для многих областей науки – моделирования аэротермодинамики космических аппаратов, исследования устойчивости неравновесных течений, постановки и интерпретации экспериментов на высокоэнтальпийных гиперзвуковых установках, в лазерной технике. При исследовании аэротермодинамических характеристик спускаемого аппарата необходимо учитывать одну из главных отличительных особенностей высокоскоростных течений – сильную термохимическую неравновесность, которая влияет на поверхностные характеристики, в частности, на тепловой поток. Большинство современных моделей физико-химической релаксации были разработаны для течений невязкого нетеплопроводного газа и не учитывают такие эффекты, как влияние сжимаемости на скорость реакций и взаимное влияние неравновесных процессов, или учитывают их путем введения эмпирических поправок. Поэтому систематическое исследование влияния вязких эффектов на скорость неравновесных физико-химических процессов является актуальной теоретической задачей, имеющей важное практическое применение. Оценка границ применимости

упрощенных моделей физико-химической релаксации, используемых в прикладных расчетах, также является актуальной задачей.

Структура и содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. **Во введении** дан обзор современного состояния изучаемой проблемы, обоснована актуальность темы и сформулированы цели исследования. **В первой главе** построена теоретическая модель физико-химической релаксации в смеси газов в многотемпературном приближении. **Во второй главе** изучаются модели упругих и неупругих столкновений, проведен расчет времен колебательной релаксации по введенному в работе определению. **В третьей главе** на основании разработанной модели физико-химических процессов в вязких газах изучается роль вязких поправок к скорости физико-химической релаксации в различных течениях азота и кислорода. **В четвертой главе** изучается моделирование физико-химических процессов в методе прямого статистического моделирования (ПСМ), исследуется влияние поуровневых моделей колебательной релаксации на пространственно-однородную релаксацию и двумерное течение около цилиндра.

Научная новизна, обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научная новизна работы заключается в построении самосогласованной теоретической модели физико-химической релаксации в многотемпературных течениях вязких газов и разработке алгоритмов расчета вязких поправок к скорости физико-химических процессов. Получено обобщение формулы Ландау-Теллера для скорости колебательной релаксации, предложен метод расчета времен колебательной релаксации, дающий их корректное описание в широком диапазоне температур.

Проведено систематическое исследование роли вязких поправок к скорости физико-химических процессов в широком диапазоне условий; исследованы границы применимости упрощенных моделей физико-химической релаксации.

Исследована роль выбора модели колебательной релаксации в методе ПСМ, рассмотрено влияние многоквантовых переходов колебательной энергии на профили

температур в задачах о пространственно однородной релаксации и двумерного обтекания цилиндра.

Достоверность результатов, выводов и рекомендаций диссертации обусловлена использованием современных методов кинетической теории газов, сравнением результатов с экспериментальными данными и численными расчетами других авторов. Результаты прошли апробацию на научных конференциях и семинарах.

Практическая ценность

Представленные в работе результаты и выводы имеют не только научно-теоретическую, но и практическую ценность. Практической значимостью обладают предложенные алгоритмы расчета скорости неравновесных процессов, рекомендации по выбору простых моделей для инженерных приложений. Результаты, представленные в работе, могут быть использованы в таких организациях, как ИТПМ СО РАН, НИИ механики МГУ, ЦАГИ, РКК «Энергия», ЦНИИМаш, ЦИАМ, а также в учебном процессе на физических и механико-математических факультетах университетов: СПбГУ, МГУ, НГУ, БГТУ «Военмех».

Замечания к работе

К работе имеются следующие замечания:

1. В параграфе 3.2.2. главы 3 диссертации приведены результаты расчетов физико-химической релаксации за ударными волнами для условий, соответствующих экспериментам О.П. Шаталова и соавторов (случай кислорода). Так как сравнение расчетов с экспериментами отсутствует, остается непонятным, как предсказывает экспериментальные данные невязкая модель, использованная в расчетах. Также непонятно, почему не проведены расчеты с использованием различных невязких моделей, как основанных на формуле Ландау-Теллера, так и поуровневых в приближениях гармонического и ангармонического осциллятора (это касается и параграфа 3.2.3, где рассмотрено течение в сопле). Сравнение профилей температуры для разных невязких моделей друг с другом и с экспериментальными данными было бы полезно для интерпретации величины релаксационных членов, полученных в первом приближении.

2. Одним из положений, выносимых автором на защиту, является “программная реализация поуровневых моделей колебательной релаксации в методе прямого статистического моделирования”. Из текстов автореферата и диссертации совершенно непонятно, кто является разработчиком программы для двумерных расчетов методом ПСМ, в которой автор реализовал эти модели, и, в частности, на какой схеме метода ПСМ она основана.
3. Вид профилей колебательной температуры, полученных в расчетах методом ПСМ и представленных в параграфе 4.4.2 главы 4, позволяет предположить, что в расчетах присутствует существенная статистическая ошибка, а также используется недостаточно подробная сетка. Представляет интерес, как автором оценивалась численная точность решения, полученного методом ПСМ.

Отметим, что указанные выше замечания не снижают научной значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключение по диссертационной работе

Список публикаций по теме диссертации включает 14 наименований, из которых 8 входят в рекомендованный ВАК список публикаций. Автореферат диссертации полностью отражает ее содержание.

Учитывая сказанное выше, можно заключить, что диссертация Г.П. Облапенко представляет собой законченное научное исследование, вносящее важный вклад в развитие физико-химической аэродинамики, содержит интересные и важные для практического использования новые результаты. Диссертация удовлетворяет требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «механика жидкости, газа и плазмы».

Диссертация и отзыв были обсуждены и одобрены на семинаре «Математическое моделирование в механике» Федерального государственного бюджетного учреждения

науки «Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича»
16.02.2017 (Протокол №1).

Отзыв подготовили ведущий научный сотрудник лаборатории физических проблем
управления газодинамическими течениями, д.ф.-м.-н. Поплавская Татьяна Владимировна
и научный сотрудник лаборатории вычислительной аэродинамики, к.ф.-м.н. Шевырин
Александр Анатольевич.

В.н.с. лаб. физических проблем управления
газодинамическими течениями,
д.ф.-м.н.

Н.с. лаб. вычислительной аэродинамики,
к.ф.-м.н.



Поплавская Т.В.

Шевырин А.А.