

Отзыв официального оппонента
на диссертационную работу Облапенко Георгия Павловича
«Скорость физико-химической релаксации в вязких течениях неравновесных
газов», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и
плазмы.

Исследование влияния релаксационных процессов на газодинамические течения сейчас можно рассматривать как традиционную область физико-химической газодинамики.

Актуальность темы определяется необходимостью расчета новых конфигураций газодинамических течений, связанных с гиперзвуковыми полетами, новыми траекториями входа в атмосферу Земли и других планет, разработкой новых лазеров и двигателей.

Практическая ценность работы связана с построением моделей, занимающих промежуточное положение между расчетами с использованием поуровневой кинетики и простейшими приближениями, связанными с описанием релаксации энергии внутренних степеней свободы. Такие модели представляют несомненный практический интерес.

Достоверность полученных результатов обосновывается применением и прошедших апробацию методов, являющихся обобщением приближения Энскога-Чепмена на газы с внутренними степенями свободы.

Научная новизна работы состоит в получении новых эффектов, связанных с перекрестным влиянием химических реакций, колебательной релаксации, а также новых оуенках влияния ангармоничности на физико-химические процессы.

Построение работы вполне логично и соответствует поставленным задачам.

В первой главе рассматривается модификация метода Энскога-Чепмена к рассматриваемым задачам, приводится иерархия времен релаксации и выписывается система обобщенных кинетических уравнений. Рассматривается деление на операторы медленных и быстрых процессов, которое и составляет основу используемых приближений. Далее, для сравнения с формулой Ландау-Теллера, анализируется переход к приближению гармонических осцилляторов и условия, при которых такой переход можно осуществить.

Во второй главе рассматриваются константы скорости колебательной релаксации. Основное внимание уделено диапазону высоких температур, где

необходима корректировка ландау-теллеровской зависимости времени релаксации от поступательной температуры. Отрета модель производства энтропии, которая замыкается на ограниченный набор экспериментальных данных, связанных с BV-фотометрией.

В **третьей главе** на основе результатов первых двух глав рассматривались поправки, которые вносят рассматриваемые эффекты на примере нескольких задач. Это релаксация азота за фронтом ударной волны, расчет скорости релаксации в бинарных смесях азот-атомарный азот и кислород-атомарный кислород и течения в соплах этих газов. Показано, что при определенных условиях поправки к традиционным формулам Ландау-Теллера оказываются существенными..

В **четвертой главе** рассматривается совершенно иной подход к расчету поправок, связанный с использованием прямого статистического моделирования. Такой подход, несомненно, представляет значительный интерес, поскольку позволяет провести сравнение методов.

- Диссертация не лишена отдельных недостатков. Рассмотрим некоторые из них.
1. При анализе применимости приближения Ландау-Теллера рассматриваются слишком жесткие условия применимости этой модели. Достаточно, чтобы были заселены только низкие колебательные уровни. Не требуется ни бесконечного числа уровней (чего не бывает), ни малого отличия колебательной и поступательной температур (за фронтом ударной волны, где колебательная температура порядка 300К, а поступательная- на порядок больше, такое приближение очевидно не выполнено, но формула хорошо описывает релаксацию.
 2. Анализ поправок к классической формуле Ландау-Теллера проводился на протяжении длительного времени многими авторами и было бы полезным сравнить полученные результаты с теми моделями, которые учитывали ангармонические эффекты. В частности, можно указать на формулу Лосева, разработанную именно для описания ситуации за фронтом не очень сильных ударных волн.
 3. Не совсем понятны причины, по которым даже при низких поступательных и колебательных температурах в азоте (порядка 2000К) большую роль играют ангармонические поправки (рис.3.3.а). Хотелось бы получить некое пояснение причин таких отличий.

Однако отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку работы.

Основные результаты опубликованы и неоднократно докладывались на международных и российских конференциях. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Следует отметить и список публикаций. 8 статей в рецензируемых журналах, среди которых «Physics of Fluids», «Chemical Physics», «Physical Review E» и другие публикации и выступления на 8 конференциях, безусловно, являются хорошей апробацией работы.

Считаю, что диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года, а её автор Г.П.Облапенко безусловно заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 - механика жидкости, газа и плазмы.

“3” апреля 2017 г.

Профессор кафедры молекулярных процессов и экстремальных состояний вещества физического факультета Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова

Уваров Александр Викторович

А.В.Уваров

уч степень: д.ф.-м.н., уч. звание: профессор, адрес: 119191, ГСП-1, г.Москва, Ленинские горы, д.1., стр.2. физический факультет МГУ,

эл. почта: uvarov@phys.msu.ru

Декан физического факультета МГУ,
профессор



Н.Н.Сысоев