

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Кадочникова Ильи Николаевича «Исследование термически неравновесных физико-химических процессов в азотной и воздушной плазме с использованием детальных уровневых и модовых кинетических моделей», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности: 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы»

Диссертационная работа Кадочникова Ильи Николаевича посвящена построению детальных уровневых моделей для азотной и воздушной плазмы, в которых учитывается неравновесное колебательное возбуждение молекул как в основном $N_2(X^1\Sigma_g^+, v \geq 0)$, $O_2(X^3\Sigma_g^-, v \geq 0)$, $NO(X^2\Pi, v \geq 0)$, так и в возбуждённых электронных состояниях $N_2(A^3\Sigma_u^+, B^3\Pi_g, v \geq 0)$, $O_2(a^1\Delta_g, b^1\Sigma_g^+, v \geq 0)$, $NO(A^2\Sigma^+, B^2\Pi, v \geq 0)$, а также численному исследованию в уровневом приближении влияния термической неравновесности на параметры потока азотной и воздушной плазмы за фронтом сильной ударной волны и в сверхзвуковом расширяющемся потоке. В основу проведения исследований автором положен метод математического моделирования. Значимость подобных исследований состоит в том, что разработанные кинетические модели для азотной и воздушной плазмы могут быть использованы при описании процессов, протекающих за ударными волнами, при моделировании движения тел с гиперзвуковыми скоростями и проектировании высокоскоростных летательных аппаратов, при моделировании входа спускаемых аппаратов в атмосферу Земли и других планет, а также в других областях науки и техники. Проведённые с помощью детальных уровневых и модовых моделей численные эксперименты обеспечивают более полное понимание особенностей неравновесных процессов (включая обмен энергии между различными степенями свободы молекул), протекающих в азотной и воздушной плазме за фронтом сильной ударной волны и в расширяющемся сверхзвуковом потоке.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, одного приложения и списка цитируемой литературы из 165 наименований. Следует отметить следующие важнейшие результаты проделанной диссертантом работы.

Разработаны детальные уровневые кинетические модели для азотной и воздушной плазмы. Данные модели позволяют описывать динамику колебательной населённости молекул N_2 , O_2 и NO в основном и различных возбуждённых

электронных состояниях. При этом учтены такие процессы, как колебательно-поступательная релаксация (V–T процессы), колебательно-колебательный обмен энергией (V–V и V–V' процессы), электронно-поступательная релаксация (E–T процессы), электронно-электронный обмен энергией (E–E процессы), возбуждение молекул электронным ударом, а также различные химические и плазмохимические реакции с участием атомов и молекул в различных энергетических состояниях.

Автором показано, что разработанные уровневые модели для азотной плазмы позволяют с хорошей точностью описывать результаты экспериментов по определению характерного времени колебательно-поступательной релаксации и времени достижения максимума интенсивности излучения полосы первой положительной системы молекулярного азота $N_2(1+)$ за фронтом сильной ударной волны. Для воздушной плазмы качественно правильно описаны результаты экспериментов по измерению интенсивности излучения гамма-полос окиси азота $NO(\gamma)$ и полос первой отрицательной системы иона молекулярного азота $N_2^+(1-)$ в воздухе за фронтом сильной ударной волны.

Кроме того, автор установил, что необходимо учитывать плазмохимические процессы при описании параметров потока азота за фронтом ударной волны при числах Маха $M > 12$, и заметная ошибка при определении поступательной температуры с использованием модовой модели имеет место уже при $M > 6$.

Автор разработал модифицированные модовые модели для азотной и воздушной плазмы и установил, что отличия в результатах модифицированных модовых и уровневых моделей при определении параметров неравновесного газа за фронтом ударной волны и в расширяющемся потоке обусловлены отклонением рассчитанных в уровневом приближении заселённостей колебательных уровней молекул от распределений Больцмана

Проделанная автором работа достаточно хорошо описана в автореферате, четко сформулированы основные выводы и результаты диссертации. Автореферат дает ясное представление о работе диссертанта.

Полученные при проведении исследований результаты можно квалифицировать как новое крупное научное достижение. Они создают необходимую основу для исследования электронной и колебательной кинетики таких газов, как N_2 , O_2 , NO , в условиях термической неравновесности в потоках

азотной и воздушной плазмы за фронтом сильной ударной волны и в сверхзвуковом расширяющемся потоке, при резонансном поглощении лазерного излучения смесями газов, в газовых электрических разрядах, при моделировании процессов, протекающих в верхней и средней атмосфере Земли, включая такие явления, как спрайты.

Результаты диссертации нашли свое отражение в 9 опубликованных работах, включая статьи в таких высокорейтинговых журналах, как Plasma Source Science and Technology, Journal of Physics D, Physica Scripta. Они могут быть использованы при проведении научных исследований как в лабораторных условиях, так и при анализе состояния воздушных сред.

Автореферат диссертации Кадочникова Ильи Николаевича «Исследование термически неравновесных физико-химических процессов в азотной и воздушной плазме с использованием детальных уровневых и модовых кинетических моделей» отвечает всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертации, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы», а её автор заслуживает присуждения ему искомой степени.

Зав. лабораторией атмосферы Арктики
Федерального государственного бюджетного научного учреждения
Полярного геофизического института
(184209, г. Апатиты Мурманской области,
ул. Академгородок, 26а, тел. (81555)79462
e-mail: kirillov@pgia.ru)
доктор физико-математических наук
(Адрес ФГБНУ ПГИ,
183010, г. Мурманск, ул. Халтурина, 15
тел. (8152)253958
e-mail: general@pgi.ru)

А.С. Кириллов

Подпись Кириллова А.С. заверяю
Зам. директора по научной работе ФГБНУ ПГИ
к.ф.-м.н.

К.Г. Орлов

«30» января 2019 г.

