

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Чукаловского А.А.

«Исследование кинетических процессов с участием возбужденного в плазме синглетного кислорода в кислород-йодных и водород-кислородных газовых потоках», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Диссертация Чукаловского А.А. посвящена теоретическому исследованию кинетических, усилительных и газодинамических характеристик газовых сред, содержащих активные формы кислорода. Тема диссертации чрезвычайно актуальна, так как процессы с участием молекулярного синглетного кислорода протекают в активных средах кислородно-йодных лазеров и в зонах горения различных энергетических установок. В диссертации проведено глубокое теоретическое исследование кинетики химических и энергообменных процессов в средах с плазменной наработкой синглетного кислорода.

Одним из ключевых узлов сверхзвукового электроразрядного кислородно-йодного лазера является генератор молекулярного синглетного кислорода. Для эффективной работы лазера требуется генератор на выходе которого относительное содержание электронно-возбужденных молекул $O_2(^1\Delta)$ должно быть более 15 % при суммарном давлении кислорода более 10 мм рт.ст. Экспериментально в НИИЯФ МГУ имени Д.В. Скобельцина было обнаружено, что с увеличением давления кислорода катастрофически увеличивается темп деактивации синглетного кислорода, механизм которого был неизвестен. Решению этой нетривиальной задачи, в том числе, посвящена первая часть диссертационной работы.

В настоящее время российскими и зарубежными учеными активно проводится поиск новых нетрадиционных схем воспламенения топливосодержащих смесей. Неравновесная плазма рассматривается в качестве эффективного инструмента для воспламенения и управления горением. В частности в плазме электрического разряда эффективно нарабатываются активные формы кислорода: атомарный кислород, озон, а также метастабильный электронно-возбужденный кислород $O_2(^1\Delta)$. Последний, в силу имеющегося иммунитета к столкновительной деактивации, может быть получен с относительно высокой концентрацией в плазме электрического разряда. Однако, отсутствие ряда кинетических констант процессов с участием синглетного кислорода не позволяет проводить надежное моделирование физико-химических процессов инициируемых в кислородсодержащей плазме.

Целью диссертационной работы Чукаловского А.А. явилось разработка, создание и верификация детальных кинетических моделей в средах, описывающих физико-химические процессы в кислород-йодных и водород-кислородных газовых средах с участием электронно-возбужденных частиц кислорода.

Условно диссертацию можно разделить на две части. Первая часть диссертации посвящена исследованию процессов, протекающих в потоке газа кислород-йодного лазера с электроразрядной генерацией синглетного кислорода. К потоку кислорода на выходе электроразрядного генератора подмешиваются пары молекулярного йода. Смешение потоков сопровождается процессом диссоциации молекул йода, а также деактивацией запасенной в синглетном кислороде электронной энергии. Для описания физико-химических процессов в смесительной камере электроразрядного кислородно-йодного лазера в диссертации разработана упрощенная квазидвумерная диффузионная модель, с учетом радиального тепло- и массопереноса. Это позволило с минимальными затратами описать радиальное перемешивание потоков и исследовать влияние транспортных и кинетических процессов на коэффициент усиления активной среды лазера при давлениях среды не превышающих несколько мм рт.ст.

Для моделирования процессов в сложных системах инжекции паров молекулярного йода при повышенных давлениях с возможностью описания сверхзвуковых потоков была разработана двумерная модель с учётом конвективного массо- и теплопереноса с детальной кинетической схемой процессов. Сравнение результатов расчетов с экспериментами показало, что развитая модель с удовлетворительной точностью согласуется с экспериментальными данными. Следует отметить, что одним из важных результатов моделирования является оценочное значение константы скорости деактивации возбужденных атомов йода $I(^2P_{1/2})$ на атомарном кислороде, которое оказалось весьма близко к измеренной величине.

Вторая часть диссертации посвящена исследованию кинетических процессов с участием $O_2(^1\Delta)$ в водород-кислородных смесях применительно плазменно-стимулированному горению. В этой части диссертации большое место уделено анализу кинетических процессов с участием электронно-возбужденных частиц в результате которого было выявлено, что имеются существенные неопределенности в ряде кинетических констант процессов. В ходе моделирования кинетических процессов эти константы рассматривались как параметры модели.

На основе сравнения экспериментальных данных полученных в проточных реакторах и ударных трубах с расчетными были определены константы скорости тушения электронно-возбужденных состояний радикала $HO_2(^2A')$ на компонентах смеси, а также константа скорости энергообменного процесса между молекулами HO_2 и синглетным кислородом. Также была получена оценка константы скорости реакции атома водорода с синглетным кислородом и найдена его температурная зависимость.

Диссертация Чукаловского А.А. содержит оригинальные научные результаты, которые являются существенным вкладом в развитие газоразрядного кислородно-йодного лазера и в кинетику водород-кислородных смесей применительно к плазменно-стимулированному горению.

Однако, считаю важным отметить:

1) В диссертационной работе использовалась устаревшая кинетическая схема диссоциации молекулярного йода в присутствии синглетного кислорода (Табл. 3.1). В недавней работе (Pichugin S.Yu., Heaven M.C., A pared-down gas-phase kinetics for the chemical oxygen-iodine laser medium, Chem. Phys., vol. 425, pp. 80-90, 2014) предложена наиболее полная схема диссоциации йода.

2) В диссертации также не приведены доводы, почему многие процессы с участием колебательно-возбужденных частиц не включены в кинетические схемы процессов.

3) Также имеются некоторые небрежности в оформлении диссертации: стр. 16, в строке после реакции – вместо (R4) должно быть (R1); стр. 21, в строке 6 «(R16) и (R17)» должно быть заменено на «(R9) и (R10)»; стр. 24, 3 строка снизу, ссылка [39] должна быть заменена [35];

В целом диссертация отвечает всем требованиям ВАК к кандидатским диссертациям, содержание автореферата достаточно полно отражено в ведущих рецензируемых научных журналах. Диссертация выполнена на высоком научном уровне, содержит результаты, обладающие научной новизной и имеющие практическую значимость, а Чукаловский А.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности: 01.04.08 – Физика плазмы.

Главный научный сотрудник, ФГАОУ ВО
«Самарский государственный
аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королева (СГАУ)
(национальный исследовательский
университет)», д.ф.-м.н.

В.Н. Аязов

Ученый секретарь Ученого совета
ФГАОУ ВО СГАУ



В.С. Кузмичев

Информация об официальном оппоненте
Ф.И.О.: Аязов Валерий Николаевич
Рабочий адрес: 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34
ФГАОУ ВО «Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский
университет)». Рабочий телефон: 8(846) 2674529. E-mail: azyazov@ssau.ru.