

ОТЗЫВ

официального оппонента Аполлонова Виктора Викторовича на диссертацию Курносова Александра Константиновича «Теория электроразрядного СО лазера на основных и обертоновых переходах, учитывающая совокупность процессов одно-и многоквантового VV обмена» представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.19 – «лазерная физика»

Проблема определения скоростных коэффициентов, необходимых для описания процессов VV обмена двухатомных молекул на сравнительно высоких колебательных уровнях известна давно. Если для процессов колебательно-колебательного обмена молекул на нижних колебательных уровнях удалось построить приближенную аналитическую теорию, основанную на использовании теории возмущений в первом порядке, то с их ростом аналитические выражения этой теории для констант скорости становятся неприемлемыми, т.к. приводят к высоким значениям вероятности VV обмена при столкновениях двухатомных молекул ~ 1 . Для молекул с дипольным моментом подобная ситуация может реализовываться уже при $v \approx 10$. Нерешенность данной проблемы не позволяла корректно описывать колебательную кинетику молекул на высоких колебательных уровнях, что создавало трудности при описании характеристик колебательно-неравновесной низкотемпературной плазмы и, в частности, характеристик активной среды электроразрядного СО лазера. В настоящее время наиболее корректными и востребованными исследователями являются численные методы молекулярной динамики для расчета сечений и констант скорости процессов одно- и многоквантового VV обмена, основанные на квантово-классическом (полуклассическом) приближении. Данное приближение применимо и при температурах газа $T \approx 100$ К, характерных для активной среды СО лазера.

В основе диссертационной работы Курносова А.К. как раз и лежат результаты квантово-классических вычислений констант скорости одно- и многоквантовых процессов VV обмена, позволившие построить физически-обоснованную теоретическую модель электроразрядного СО лазера на смесях молекул CO:N_2 , применимую для описания характеристик лазера в широком диапазоне переходов, соответствующем диапазону верхних лазерных уровней СО с $v=(5\div 40)$. Актуальность разработки новой теоретической модели, позволяющей корректно описывать характеристики СО лазера на обертоновых или основных переходах в спектральных диапазонах (2.7÷4.2) и (5.4÷8.7) мкм, связана с тем, что излучение в этих широких диапазонах востребовано или представляет значительный интерес для различных приложений.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка основных публикаций автора по теме диссертации в реферируемых журналах и в трудах конференций, списка цитированной литературы из 253 наименований и двух приложений. Общий объем диссертации составляет 265 страниц.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и решаемые задачи, описана научная новизна и практическая значимость разработанной модели и полученных результатов, сформулированы защищаемые положения и личный вклад автора.

Первая глава содержит краткое описание квантово-классического приближения, используемого в расчетах констант скорости VV обмена, описан выбор поверхностей потенциальной энергии. Приведены найденные в работе аналитические выражения для констант скорости одноквантового VV обмена между СО и N_2 , а также между молекулами

N_2 , хорошо аппроксимирующие результаты квантово-классических вычислений в широких диапазонах колебательных уровней молекул и температуры газа.

Во второй главе обсуждается проблема корректного описания процессов колебательного энергообмена молекул CO в области высоких колебательных уровней, описаны предпосылки и пути решения этой проблемы в диссертационной работе. Подробно описана теоретическая модель CO лазера, полностью основанная на использовании расчетных констант скорости процессов VV обмена с разным числом обмениваемых квантов, полученных с использованием современного квантово-классического приближения. Использование в расчетах характеристик активной среды новой теоретической модели указало на необходимость экспериментальной верификации этой модели на основе сравнения теории и эксперимента по времени восстановления инверсии на отдельных переходах после генерации короткого импульса частотно-селективного излучения. Выполненное сопоставление теории и эксперимента по данному параметру выявило существенно лучшую применимость новой теоретической модели для переходов с колебательным числом верхнего лазерного уровня $v > 14$. В этой же главе представлено достаточно подробное описание кинетических уравнений активной среды, используемых в расчетах характеристик электроразрядных CO лазеров

Результаты анализа, представленные в третьей главе, опираются на экспериментальные результаты зондирования коэффициента усиления слабого сигнала (КУСС) активной среды пробным пучком частотно-селективного излучения на переходах в широком диапазоне колебательных уровней. Такие измерения являются наиболее информативными для диагностики активной среды электроразрядного CO лазера, т.к. позволяют получать информацию о ее параметрах и об эффективности накачки в разряде, а также о различных столкновительных процессах, влияющих на динамику КУСС. Выполненный в работе анализ результатов зондирования КУСС в активной среде CO лазера и значительных возможностей этой методики позволил решить ряд задач:

- 1) уточнить мощность накачки в зондируемой области активной среды;
- 2) определить константы скорости процессов VV обмена молекул CO на высоких колебательных уровнях и молекул O_2 на нижних при анализе динамики КУСС в смесях CO:He: O_2 с малым содержанием кислорода в активной среде;
- 3) теоретически обосновать возможность выявления по динамике КУСС роли процессов энергообмена электронов в разряде с молекулами CO на высоких колебательных уровнях.

Выполненное в третьей главе сравнение теории и эксперимента, показало хорошую применимость теоретической модели для расчетов динамики коэффициентов усиления слабого сигнала в широком диапазоне колебательных переходов, значений удельного энергозклада, при различной плотности и составе активной среды.

В четвертой главе представлены результаты сопоставления теории с экспериментом по характеристикам CO лазера на обертонах, дан теоретический прогноз характеристик лазера на основных и обертоновых переходах, в том числе в селективных и узкополосных режимах генерации, показана существенная роль процессов асимметричного обмена двух колебательных квантов молекул CO на один квант молекул N_2 или CO на нижних уровнях. Результаты по узкополосной генерации представляют несомненный интерес в связи с прогрессом технологий изготовления многослойных диэлектрических фильтров. Результаты по динамике частотно-селективной генерации указывают на существенный рост длительности импульсов генерации с увеличением колебательного числа верхнего лазерного уровня, что затрудняет использование такого

излучения в различных приложениях, для которых часто требуются короткие импульсы высокой интенсивности. Теоретически показано, что увеличение плотности активной среды при неизменной величине удельного энерговклада может приводить к многократному росту интенсивности излучения на переходах между высокими колебательными уровнями.

В заключении приведены основные результаты, полученные при выполнении диссертационной работы.

Результаты диссертации опубликованы в 34 научных журналах из перечня ВАК и индексируемых в базе данных Web of Science и в 22 двух материалах конференций.

Приложение содержит подробные данные о константах скорости процессов VV и VV' обмена с разным числом обмениваемых квантов в смесях $CO:N_2$, лежащие в основе теоретической модели, представленной в диссертации. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. Результаты диссертация Курносова А.К. и используемые в ней подходы характеризуются значительной научной новизной и практической значимостью. В связи с этим необходимо особо отметить:

наиболее полное и корректное описание процессов VV обмена в активной среде CO лазера, реализованное в теоретической модели;

представляющие большой интерес результаты по характеристикам CO лазера на переходах между высокими колебательными уровнями;

результаты анализа влияния малых добавок кислорода на динамику КУСС, позволившие выявить механизм этого влияния и определить константы скорости близких к резонансу процессов VV' обмена между молекулами CO и O_2 ;

количественное описание роли процессов асимметричного обмена двух квантов молекулы CO на высоких уровнях на один квант CO или N_2 на нижних уровнях и их влияния на КПД CO лазера и ИК - границу его спектра излучения.

Выполненное на всех этапах работы сопоставление полученных результатов с экспериментом и с результатами теоретических работ других авторов свидетельствует о достоверности полученных результатов. Работа написана профессиональным научным языком. Представленная теоретическая модель является физически обоснованной. Основные результаты сформулированы корректно, их обоснованность не вызывают возражений. Содержание диссертации соответствует указанной научной специальности.

В то же время, можно отметить ряд недостатков:

1. В главе 3 недостаточно четко объяснено, почему сильное влияние квазирезонансного VV' обмена между возбужденными молекулами CO и невозбужденными молекулами O_2 имеет место при относительной концентрации O_2 меньше 20%.
2. Глава 1, на мой взгляд, несколько перегружена рисунками. Можно было бы уменьшить их количество за счет более компактного размещения графических материалов и более лаконичного пояснения к ним.

Диссертация Курносова А.К. «Теория электроразрядного CO лазера на основных и обертоновых переходах, учитывающая совокупность процессов одно- и многоквантового VV обмена» отвечает всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям Положением о присуждении ученых степеней,

утвержденным постановлением правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор Курносов Александр Константинович, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.19 – «лазерная физика».

Официальный оппонент:

Заведующий отделом мощных лазеров Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук,

доктор физико-математических наук,

профессор

Аполлонов Виктор Викторович

«28» февраля 2022 года



Почтовый адрес:

119991 ГСП-1, г. Москва, ул. Вавилова, д. 38

Тел: (985) 920-73-66

Email: vapollo@kapella.gpi.ru

Подпись д.ф.-м.н. Аполлонова В.В.

удостоверяю:

ПОДПИСЬ

ЗАВЕРЯЮ

Аполлонов В.В.

СЕКРЕТАРЯ

ИОФ РАН

Глушков В.В.



Список основных публикаций официального оппонента В.В. Аполлонова по тематике диссертации А.К. Курносова за последние 5 лет

1. В. В. Аполлонов, В. И. Богданов, “О возможности повышения эффективности лазерного реактивного двигателя за счёт присоединения массы газа ударных волн”, Квантовая электроника. Т. 51, №7, С. 639–642, (2021)
2. V.V. Apollonov and S.Yu. Kazantsev “High energy ecologically safe HF/DF lasers”, CRC Press, (2020)
3. В.В. Аполлонов, С.Ю. Казанцев «Самоорганизация газоразрядной плазмы в SF₆ и в смесях на его основе». Письма в ЖТФ. Т.45, №9. С.22-25, (2019)