

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук, старшего научного сотрудника, Сергея Викторовича Иванова на диссертацию Александра Константиновича Курносова «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»

В диссертации Курносова А.К. речь идет о создании теоретической модели электроразрядного СО лазера на основе рассчитанных в полуклассическом приближении констант скорости одноквантовых и многоквантовых процессов VV обмена в смеси газов СО и N₂. Разработка новой теоретической модели была востребована для корректного описания характеристик СО лазера на переходах между высокими колебательными уровнями с длиной волны излучения в диапазонах (5.4÷8.7) и (2.7÷4.2) мкм, соответствующих основным и обертонным переходам с верхним уровнем $v > 12$. Актуальность данного исследования и его практическое значение связаны с потенциально высокими КПД генерации в этих спектральных диапазонах, с наличием в этих диапазонах «окон прозрачности» атмосферы, а также с возможностями использования лазерного излучения на различных колебательно-вращательных переходах молекул СО в спектроскопии и в лазерных технологиях. При разработке теоретической модели была решена проблема корректного описания колебательной кинетики в смесях СО:N₂ в широких диапазонах колебательных уровней молекул.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка основных публикаций автора по теме диссертации в реферируемых журналах и списка докладов на конференциях, списка цитируемой литературы из 253 пунктов и двух приложений. Объем диссертации составляет 265 страниц.

Во введении сформулирована проблема корректного описания колебательной кинетики в широком диапазоне колебательных уровней молекул СО. Отмечается, что полуклассическое приближение позволяет корректно рассчитывать сечения процессов колебательного энергообмена. Перечислены цели диссертационной работы, обосновывается их актуальность. Описывается научная новизна результатов, практическая значимость исследования. Представлены положения, выносимые на защиту.

В первой главе кратко описан полуклассический метод вычисления констант скорости процессов VV обмена между двухатомными молекулами с разным числом обмениваемых квантов; представлены результаты расчетов констант скорости VV обмена между CO и N₂, а также между молекулами N₂, которые сравниваются с данными экспериментов и результатами расчетов других авторов. Приведены аналитические выражения для констант скорости, хорошо аппроксимирующие результаты полуклассических вычислений.

Во второй главе описана новая теоретическая модель CO лазера, основанная на использовании рассчитанных в полуклассическом приближении констант скорости процессов VV обмена с разным числом обмениваемых квантов. Выполнено сопоставление теории с экспериментом по динамике восстановления инверсии населенностей на отдельном переходе в активной среде электроионизационного CO лазера (CO ЭИЛ) после генерации короткого импульса частотно-селективного излучения. Выявлена существенно лучшая применимость новой теоретической модели для описания динамики восстановления инверсии на основных переходах с верхним уровнем $v > 14$ по сравнению с разработанной ранее моделью, учитывающей лишь одноквантовые процессы VV обмена. Описаны уравнения, использованные в расчетах характеристик электроразрядного CO лазера.

Третья глава посвящена анализу результатов зондирования КУСС – коэффициента усиления слабого сигнала в активной среде CO ЭИЛ, цели которого состояли в верификации теоретической модели путем сравнения теории и эксперимента по динамике КУСС в широком диапазоне переходов и в выявлении роли различных процессов в активной среде, влияющих на эту динамику. Анализируется сильное влияние малых добавок O₂ на динамику КУСС, обусловленное процессами квазирезонансного VV' обмена между молекулами CO на высоких колебательных уровнях и молекулами O₂ на нижних. На основе анализа экспериментальных данных найдены константы скорости процессов VV' обмена между молекулами CO на уровнях с $v = 18 \div 24$ и невозбужденными молекулами O₂. Описана верификация этих констант скорости. В этой главе также рассмотрена возможность выявления по динамике КУСС роли процессов энергообмена между электронами и молекулами CO на высоких колебательных уровнях, сформулированы необходимые для этого требования к параметрам импульсов накачки и активной среды CO ЭИЛ.

В четвертой главе представлены результаты исследования характеристик СО ЭИЛ на основных и обертоновых переходах. Выполнено сравнение теории и эксперимента по характеристикам СО лазера на обертоне. Исследованы характеристики частотно-селективного импульсного СО ЭИЛ в зависимости от расположения и ширины «спектрального окна» резонатора. Новая теоретическая модель позволила существенно уточнить прогноз энергетических характеристик частотно-селективного СО лазера на переходах между высокими колебательными уровнями как при генерации на одном переходе, так и на нескольких переходах в узком спектральном диапазоне. Также представлены результаты расчетов динамики частотно-селективной генерации импульсных СО ЭИЛ на отдельных переходах. С ростом колебательного числа верхнего лазерного уровня длительность импульса генерации сильно возрастает, а интенсивность излучения падает. Показана возможность значительного повышения мощности генерации на переходах между высокими колебательными уровнями при увеличении плотности активной среды и неизменной величине удельного энерговклада на молекулу.

В приложениях приведены подробные данные о константах скорости VV и VV' обмена в смесях $CO:N_2$ представляющие интерес для исследователей в таких областях как газовые лазеры, низкотемпературная плазма, физика атмосферы.

Многие результаты, представленные в диссертации Курносова А.К., обладают **научной новизной**. Так, например, решенная в работе проблема корректного описания колебательного энергообмена в смесях газов СО и N_2 , не могла быть решена в течение длительного времени из-за фактического отсутствия информации о механизмах и константах скорости процессов VV обмена с участием молекул СО на высоких колебательных уровнях. Расчетным путем на основе современного полуклассического приближения впервые получены данные о константах скорости многих элементарных процессов VV и VV' обмена. С использованием теоретической модели и данных эксперимента по влиянию малых добавок O_2 на динамику КУСС в активной среде СО ЭИЛ автору удалось впервые определить константы скорости процессов перекрестного VV' обмена между молекулами СО на высоких колебательных уровнях и молекулами O_2 на нижних уровнях. Указанный механизм энергообмена позволил объяснить сильное влияние примесей молекулярного кислорода на динамику КУСС на переходах между высокими колебательными уровнями. В работе впервые предложена схема

экспериментального выявления роли процессов взаимодействия электронов с молекулами СО на высоких колебательных уровнях при использовании двух последовательных разрядных импульсов и сформулированы требования к параметрам этих импульсов. Установлено, что процессы асимметричного обмена двух квантов молекулы СО на высоких колебательных уровнях на один квант молекул СО и N₂ на нижних уровнях ограничивают ИК границу спектра излучения СО лазера переходами с верхним колебательным уровнем $v < 41$; выявлено влияние состава среды на эту границу.

Выполненная в диссертации верификация теоретической модели СО лазера и полученных с ее помощью результатов путем сравнения теории с экспериментом по константам скорости процессов и по характеристикам СО лазера подтверждает **достоверность** представленных результатов. Материалы диссертации опубликованы в 34 журнальных статьях в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК, и в 22 материалах международных конференций. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.19 – «лазерная физика».

Диссертация и автореферат написаны грамотным языком. Диссертация характеризуется внутренним единством и последовательностью изложения представленных материалов. Все сформулированные в диссертации защищаемые положения и выводы являются **обоснованными**. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. В то же время, считаю необходимым отметить следующие недостатки диссертационной работы:

1. Несколько более высокую уверенность автора в количественных оценках вкладов различных механизмов, обуславливающих наблюдаемое в водяном паре континуальное поглощение, чем это позволяют имеющиеся в настоящее время данные.
2. В Главе 1, на мой взгляд (даже за счет увеличения объема диссертации), следовало бы более подробно представить разложение потенциала взаимодействия V_{int} , а также его отличие от статического потенциала V_0 .

Эти недостатки являются скорее пожеланиями по планированию дальнейшей работы.

По научной новизне и значимости полученных результатов, по количеству и цитируемости публикаций, по объему и по своему оформлению диссертация Курносова А.К. соответствует требованиям Положения о

присуждении ученых степеней, утверждённого постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09. 2013 г., а Курносов Александр Константинович, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.19 – «лазерная физика».

Можно сказать, что диссертант – «рыцарь из рыцарей» СО-лазеров. Увлеченный человек.

Доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник
лаборатории лазерной диагностики в экологии и биомедицине
Института фотонных технологий РАН
ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН


28.02.2022

Иванов Сергей Викторович

ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН,
Институт фотонных технологий РАН,
142190, г. Троицк, г. Москва, ул. Пионерская, д. 2
Тел.: 8-906-73-38-188,
E-mail: serg.ivanov.home@mail.ru

Подпись доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника Института фотонных технологий РАН ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН Иванова Сергея Викторовича удостоверяю.

Ученый секретарь ФНИЦ
«Кристаллография и фотоника» РАН,
к.ф.-м.н.



Дадинова Любовь Александровна

Список основных работ официального оппонента С.В. Иванова по тематике диссертации
А.К. Курносова за последние 5 лет

1. Koorosh Esteki, Adriana Predoi-Cross, Chad Povey, Sergey Ivanov, Aziz Ghoufi, Franck Thibault, Mary Ann H. Smith. Room temperature self- and H₂-broadened line parameters of carbon monoxide in the first overtone band: Theoretical and revised experimental results // Journal of Quantative Spectroscopy and Radiative Transfer, V. 203, P. 309–324 (2017). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jqsrt.2017.04.008>

2. В.Н. Аксенов, А.А. Ангелуц, А.В. Балакин, С.В. Иванов, И.А. Ожередов, П.М. Солянкин, А.П. Шкуринов. Многочастотный терагерцовый квантово-каскадный лазер для решения задач атмосферного зондирования и обнаружения малых примесей // Вестник Московского университета. Серия 3. Физика. Астрономия, 2019, № 6, с. 58–64.

English version: V. N. Aksenov, A. A. Angeluts, A.V. Balakin, S.V. Ivanov, I. A. Ozheredov, P. M. Solyankin, A.P. Shkurinov // Multi-Frequency Terahertz Quantum-Cascade Laser for Atmospheric Probing and Revelin of Small Impurities // Moscow University Physics Bulletin, 2019, Vol. 74, No. 6, pp. 631–638.

3. Ш.Ш. Набиев, Г.Ю. Григорьев, А.С. Лагутин, Л.А. Палкина, А.А. Васильев, Л.Н. Мухамедиева, А.А. Пахомова, М.Г. Голубков, С.В.Малашевич, В.М. Семенов, Д.Б. Ставровский, С.В. Иванов. Мониторинг химического состава воздуха при длительных и межпланетных космических полетах: проблемы, подходы, решения // Журнал химической физики, 2019, Т. 38, № 7, с. 49–78. DOI: 10.1134/S0207401X19070124.

English version: Sh. Sh. Nabiev, G. Yu. Grigor'ev, A. S. Lagutin, L. A. Palkina, A. A. Vasil'ev, L. N. Mukhamedieva, A. A. Pakhomova, G. V. Golubkov, S. V. Malashevich, V. M. Semenov, D. B. Stavrovskii, and S. V. Ivanov. Monitoring the Chemical Composition of Air in Case of Interplanetary and Long-Term Space Flights: Problems, Approaches, and Solutions // Russian Journal of Physical Chemistry B, 2019, Vol. 13, No. 4, pp. 685–713. DOI: 10.1134/S1990793119040122.

4. A. Predoi-Cross, N. Islam, M. A. H. Smith, V. M. Devi, S. Ivanov, O. Buzykin, F. Thibault. Room temperature experimental results and calculations for carbon monoxide in the fundamental band // In: Journal of Physics: Conf. Series, **1289** (2019) 012014, IOP Publishing. DOI: 10.1088/1742-6596/1289/1/012014.

5. Ш. Ш. Набиев, С. В. Иванов, А. С. Лагутин, Л. А. Палкина, С. В. Малашевич, О. А. Ольхов, М. Г. Голубков. Роль контура спектральной линии в лазерном ИК-анализе многокомпонентных газовых смесей // Журнал химической физики, 2019, том 38, № 10, с. 3–16. DOI: 10.1134/S0207401X19100078.

English version: Sh. Sh. Nabiev, S. V. Ivanov, A. S. Lagutin, L. A. Palkina, S. V. Malashevich, O. A. Ol'khov, and M. G. Golubkov. Role of Spectral Line Profile in Laser IR Analysis of Multicomponent Gas Mixtures // Russian Journal of Physical Chemistry B, 2019, Vol. 13, No. 5, pp. 727–738. DOI: 10.1134/S0207401X19100078