

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу

Николаева Игоря Владимировича

«Амплитудные и фазовые методы измерений малых поглощений в уширенных давлением молекулярных спектрах, использующие перестраиваемые диодные лазеры и оптические ячейки», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика.

С развитием лазеров одновременно бурно развивались и области их применения. Сейчас они настолько разнообразны, что трудно перечислить. Тем не менее, исследования и разработки, использующие уникальные свойства излучения лазеров, успешно продолжаются. Диссертация И.В. Николаева является таким примером. Несмотря на большое число исследований и разработок в области молекулярного анализа с помощью диодной лазерной спектроскопии представленная работа содержит ряд новых идей, решений и практических заделов.

Разнообразие молекул огромно. Из них строится все живое и окружающая среда. Присутствие в атмосфере одних молекул может говорить о состоянии экологии, наличие других информирует нас о нарушении технологического процесса или о приближении тектонических процессов, обнаружение четвертых – об опасности террористического акта. Становится возможной диагностика заболеваний путем анализа молекулярного состава выдоха человека. Важность развития методов высокочувствительной спектроскопии для решения насущных вопросов в этих областях функционирования и практической деятельности человека трудно переоценить.

Необходимость проведения точных спектральных измерений в естественных условиях при атмосферном давлении очевидна. Однако такие условия обуславливают существенное осложнение спектральных измерений из-за уширения линий и их наложения друг на друга. Диссертация И.В. Николаева нацелена на создание высокочувствительных способов обнаружения и идентификации малых газовых примесей при атмосферном давлении и является поэтому, безусловно, актуальной.

Автором диссертации предложены и реализованы оригинальные одно- и многоканальные схемы с нерезонансными и резонансными оптическими ячейками, которые позволили достичь высокой чувствительности измерений. Им разработаны методы фазовых измерений с применением частотной и амплитудной модуляции лазерного излучения. Определены условия устранения влияния остаточной амплитудной модуляции при частотной модуляции лазера. Разработан метод диодной лазерной спектроскопии с компенсацией рассогласования частот лазера и внешнего резонатора.

Структурно представленная диссертация состоит из шести глав в составе трёх частей, Заключение и списка литературы.

Первая и вторая глава, входящие в первую часть диссертации, имеют вводный характер. В них обосновывается актуальность диссертации, формулируются цель и задачи исследований, их научная новизна, а также называются научные положения, подлежащие проверке. Обзор во второй главе содержит обширные сведения о современном состоянии проблемы детектирования малых составляющих в атмосфере, в воздухе помещений и выдохе человека. После анализа существующих методов газового анализа автором намечаются задачи собственных исследований.

В третьей и четвертой главах второй части диссертации показано, что задачи прецизионного газоанализа при атмосферном давлении могут быть решены с применением традиционных многопроходных ячеек и частотно перестраиваемых лазеров.

Третья глава посвящена совершенствованию спектроскопии слабого поглощения в ячейках типа Эрио на примере измерения содержания двуокиси азота в атмосфере. Избыточная концентрация этого газа в воздухе представляет, как известно, опасность для здоровья. С другой стороны по содержанию двуокиси азота можно судить, например, об экологических нарушениях и активизации вулканической деятельности. Измерения были выполнены в двух спектральных областях: около 400 нм, где поглощение велико, и около 635 нм с применением частотной модуляции. В последнем случае остаточная амплитудная модуляция подавлялась предложенным способом нестационарного нагрева. Результаты измерений по чувствительности можно считать рекордными. Важно, что при этом не требуется использовать охлаждение вплоть до криогенных температур.

Четвертая глава посвящена исследованиям изотопного отношения $^{13}\text{CO}_2/^{12}\text{CO}_2$ в выдохе человека. Результаты исследования представляют большой интерес для целей медицинской диагностики ряда заболеваний, которые можно идентифицировать путем анализа изотопического состава углерода в газовых смесях, содержащих $^{13}\text{CO}_2$ и $^{12}\text{CO}_2$. Имеется более десяти обстоятельных работ, посвященных этой проблеме. Как правило, рассматриваются три спектральных диапазона – вблизи длин волн 4,3; 2 и 1,6 мкм, которые перспективны, главным образом, из-за того, что в них практически полностью отсутствует поглощение водяных паров. Измерения в области 4,3 мкм заманчивы из-за высокого поглощения двуокиси углерода. Однако их проведение требует либо криогенного охлаждения, либо сложных квантово-каскадных лазеров. В диапазоне 1,6 мкм поглощение CO_2 падает примерно на 5 порядков по сравнению с областью вблизи 4,3 мкм. Однако этот диапазон привлекателен возможностью применения волоконной оптики. Диапазон вблизи длины волны 2 мкм выглядит наиболее предпочтительным, поскольку,

во-первых, поглощение CO_2 в этой области на 3 порядка больше по сравнению с поглощением в области 1,6 мкм, и, во-вторых, здесь можно использовать лазеры и оптические датчики, работающие при комнатной температуре. В рамках данной диссертации достигнута погрешность измерений, сопоставимая с погрешностью измерений современных изотопных масс-спектрометров.

Проведенные исследования показали, что дальнейшее повышение чувствительности абсорбционных измерений возможно за счет труднореализуемого увеличения оптического пути в нерезонансных поглощающих ячейках. Иной подход, открывающий качественно новые возможности, заключается в применении внешних оптических резонаторов. Последняя третья часть диссертации, состоящая из двух глав, посвящена исследованиям с применением внешних резонаторов.

Пятая глава посвящена развитию фазового метода измерений. В отличие от известных подходов используется вариант измерения поглощения по фазовому сдвигу при глубокой амплитудной модуляции тока инжекции перестраиваемого по частоте диодного лазера. Автору удалось повысить чувствительность измерений до рекордной величины, достигнутой ранее только при использовании охлаждения лазеров и детекторов до температуры жидкого азота. В диссертации обращается внимание на тот факт, что путем модуляции инжекционного тока создается как частотная, так и амплитудная модуляция лазера. Поэтому был применен оригинальный способ измерения путем разбиения модулированного сигнала на элементарные временные участки, в пределах которых можно считать частоту неизменной, но фазы и соседние частоты отличающимися. Показано, что оптимизация фазового метода измерений позволяет повысить чувствительность измерения поглощения на полтора порядка. Используя разработанный подход, получены новые данные об ударном уширении некоторых линий воды.

Шестая глава посвящена развитию метода интегральной спектроскопии. Проблемы, связанные с согласованием мод лазера и внешнего резонатора, известны. В диссертации применяется оригинальная трехлучевая схема с дополнительной регистрацией оптического сигнала базовой линии и отраженного резонатором излучения. Такая схема позволяет подавить флуктуации, вызванные рассогласованием мод лазера и внешнего резонатора. Регистрация слабых линий поглощения метана в области 1,65 мкм продемонстрировала возможность получения высокой чувствительности измерений.

Высоко оценивая полученные автором результаты, вместе с тем хочу сделать несколько замечаний:

- В тексте диссертационной работы и автореферате встречаются различные обозначения одного и того же понятия. Так, в тексте диссертации встречаю, например, аббревиатуру DL на английском языке, а автореферате на русском - ДЛ.
- На странице 77 приведен рисунок 4.6, оси которого виды, а сам график нет.
- Представленная работа легко читается, но имеется немало грамматических ошибок. Так, на странице 7 автореферата я насчитал 7 орфографических ошибок. Многовато!
- В тексте диссертации многократно путаются понятия «точность» и «погрешность» измерений. Достаточно обратить внимание на соответствующие цифры на страницах 64 и 65. Только в резюме на странице 79 приведенные значения правильно называются погрешностью.

Указанные замечания не снижают ценность проделанной работы, поскольку касаются только ее оформительской части. Диссертация же выполнена на высоком научном уровне. Выводы представляются обоснованными, а авторские публикации полно отражают содержание работы. Характеризуя работу в целом, следует еще раз отметить ее актуальность, новизну и своевременность, научную и практическую значимость и современный уровень исследований.

Достоверность полученных результатов не вызывает сомнения, так как она подтверждается научными публикациями в солидных рецензируемых журналах и многочисленными докладами на российских и международных конференциях. Моя уверенность основана также на высокой научной репутации лаборатории, в которой выполнялись исследования. Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Диссертация «Амплитудные и фазовые методы измерений малых поглощений в уширенных давлением молекулярных спектрах, использующие перестраиваемые диодные лазеры и оптические ячейки» представляет собой законченную научную работу, содержание, объем и оформление которой отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор И.В. Николаев, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика.

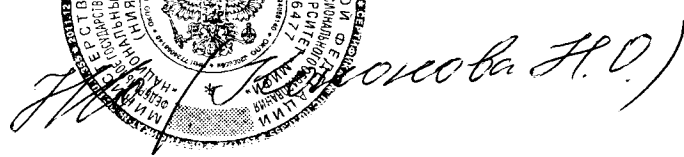
Профессор кафедры лазерной физики
НИЯУ МИФИ, доктор физ.-мат. наук



Сергей Александрович Гончуков

14.11.2014

115409 г. Москва, Каширское шоссе, НИЯУ МИФИ,
кафедра № 37 «Лазерная физика»
тел.: 8-903-007-9946, эл. почта: gonchouk@nph.mphfi.ru

Подпись удостоверяю
Заместитель начальника отдела
документационного обеспечения
НИЯУ МИФИ

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ С.А. ГОНЧУКОВА ЗА ПОСЛЕДНИЕ ПЯТЬ ЛЕТ

1. Ю. Шевцова, Ю. Ладеманн, А. Патцелт, Х. Рихтер, Н. Гладкова, В. Геликонов, В. Штерри, У. Блюме-Пейтави, С. Гончуков, Диспансерный мониторинг героина с помощью оптической когерентной томографии волос, *Медицинская физика*, 2009, № 1(4), с. 74-78.
2. М.Е. Дарвин, Л. Застров, С.А. Гончуков, Ю. Ладеманн, Влияние инфракрасного излучения на содержание каротиноидов в коже человека, *Оптика и спектроскопия*, 2009, Т. 107, № 6, с. 967-971.
3. А.В. Сухинина, С.А. Гончуков, Д.Н. Бахмутов, Флюоресцентная диагностика пародонтита, *Краткие сообщения по физике ФИАН*, 2010, № 6, 20.
4. S.A. Gonchukov, Intracavity laser refractometry in reflection: development and implementation in biomedical investigations, *Lasers in medical science*, 2009, V. 24(1), p. 820.
5. O.I. Pokrovsky, A.A. Markolia, F.D. Lepeshkin, I.V. Kuvykin, O.O. Parenago, S.A. Gonchukov, Extraction of Liner Furocoumarins from Ammi Majus Seeds by Means of Supercritical Fluid Chromatography, *Russian Journal of Physical Chemistry B*, 2009, V. 3, № 8, pp. 1165-1171.
6. D.N. Bakhmutov, S.A. Gonchukov, A.V. Sukhinina, Fluorescence spectroscopy of dental calculus, *Laser Phys. Letters*, 2010, V. 7, № 5, p. 384-387.
7. S. Gonchukov, T. Biryukova, A. Sukhinina, Yu. Vdovin, Fluorescence detection of dental calculus, *Laser Phys. Letters*, 2010, V. 7, № 11, p. 812-817.
8. А.Л. Андреев, Т.Б. Андреева, И.Н. Компанец, С.А. Гончуков, Ю.П. Бобылев, М.В. Минченко, В.М. Шошин, Управляемое электрическим полем рассеяние света в геликоидальных сегнетоэлектрических жидких кристаллах, *Оптический журнал*, 2010, Т.77, №12, С.52-61.
9. С.А. Гончуков, А.В. Сухинина, Д.Н. Бахмутов, С.А. Минаева, Диагностика пародонтита с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния слюны, *Медицинская физика*, 2011, № 4(52), с. 27.
10. S. Gonchukov, A. Sukhinina, D. Bakhmutov, S. Minaeva, Raman spectroscopy of saliva as a perspective method for periodontitis diagnostics, *Laser Phys. Letters*, 2012, V. 9, № 1, p. 73-77.
11. S.A. Gonchukov, T.V. Lonkina, V.M. Yermachenko, New modality in optical microscopy based on laser with injected radiation, *Laser Phys. Letters*, 2012, V. 9, № 4, p. 312-316.
12. Д.Н. Бахмутов, Т.В. Лонкина, А.В. Сухинина, С.А. Гончуков, Флюоресцентный контроль удаления зубного камня, *Стоматология*, 2012, Т. 91, № 6, с. 22-24.
13. O. I. Pokrovskiy, A.A. Krutikova, K.B. Ustinovich, O.O. Parenago, M.V. Moschnin, S.A. Gonchukov, V.V. Lunin, Preparative separation of methoxy derivatives of psoralen using supercritical-fluid chromatography, *Russian Journal of Physical Chemistry B*, 2013, V. 7, No 8, p. 901-915.
14. S. Gonchukov, A. Sukhinina, D. Bakhmutov, T. Biryukova, Noninvasive control of dental calculus removal: qualification of two fluorescence methods, *Journal of Physics: Conf. Ser.*, 2013, 414 012018.
15. S. Gonchukov, A. Sukhinina, D. Bakhmutov, T. Biryukova, M. Tsvetkov, V. Bagratashvily, Periodontitis diagnostics using resonance Raman spectroscopy on saliva, *Laser Phys. Letters*, 2013, V.10, №7, 075610.
16. С.А. Гончуков, Т.В. Лонкина, В.Н. Баграташвили, С.А. Минаева, А.В. Сундуков, Т.Э. Мигманов, Ю. Ладеманн, М.Е. Дарвин, Спектроскопия комбинационного рассеяния патологических клеток спинномозговой жидкости, *Медицинская физика*, 2013, № 2(58), с. 97-101.

17. S.A. Gonchukov, T.V. Lonkina, S.A. Minaeva, A.V. Sundukov, T.E. Migmanov, J. Lademann, M.E. Darvin, V.N. Bagratashvili, Confocal Raman microscopy of pathologic cells in cerebrospinal fluid, *Laser Physics Letters*, 2014, V. 11, № 1, 015602.
18. M.E. Darvin, H. Richter, Y.J. Zhu, M.C. Meinke, F. Knorr, S.A. Gonchukov, K. Koenig, J. Lademann, Comparison of in vivo and ex vivo laser scanning microscopy and multiphoton tomography application for human and porcine skin imaging, *Quantum Electronics*, 2014, 44 (7), 646 – 651.