

ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.069.02 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО НАУЧНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ  
НАУК» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 23.10.2017 № 68

О присуждении Третьякову Михаилу Юрьевичу, гражданину РФ,  
ученой степени доктора физико-математических наук

Диссертация «Высокоточная резонаторная спектроскопия атмосферных газов в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах длин волн» по специальности 01.04.03 – радиофизика принята к защите 19.06.2017 г., протокол № 66 диссертационным советом Д 002.069.02 на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН, 603950, Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46, приказ Министерства образования и науки РФ № 717 от 09.10.2012 г.)

Соискатель Третьяков Михаил Юрьевич 1958 года рождения в 1980 году окончил Горьковский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Развитие методов микроволновой спектроскопии в терагерцовой области частот» защитил в 1995 году в диссертационном совете К 063.77.03, созданном на базе Нижегородского госуниверситета, и работает заведующим отделом в ФГБУН «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН, приказ №629-ОК от 28.09.2017).

Диссертация выполнена в отделении нелинейной динамики и оптики ИПФ РАН.

Научный консультант Крупнов Андрей Федорович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник ФГБУН «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук».

Официальные оппоненты:

- Иванов Сергей Викторович, доктор физико-математических наук, Структурное подразделение «Институт фотонных технологий» Федерального научно – исследовательского центра «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук, старший научный сотрудник;
- Сурин Леонид Аркадьевич, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт спектроскопии Российской академии наук;
- Троицкий Аркадий Всеволодович, доктор физико-математических наук, заведующий отделом, ведущий научный сотрудник Научно - исследовательского радиофизического института Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего

образования Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук, (ИФА РАН, г. Москва) в своем положительном заключении, подписанном Вигасиным Андреем Алексеевичем, доктором физ.-мат. наук, ведущим научным сотрудником ИФА РАН, указала, что диссертация М.Ю. Третьякова представляет собой законченное научное исследование на актуальную тему, выполненную на самом передовом научном уровне. Как по уровню проведенных исследований, так и по полученным результатам работа полностью отвечает всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» (п. 9-14), предъявляемых к докторским диссертациям, а ее автор Третьяков Михаил Юрьевич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «радиофизика».

Соискатель имеет 1 монографию и 40 опубликованных статей в рецензируемых научных изданиях по теме диссертации. Наиболее значимыми работами являются:

1. *Третьяков М. Ю.* Высокоточная резонаторная спектроскопия атмосферных газов в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах длин волн // Нижний Новгород : ИПФ РАН, 2016. 320 с. ISBN 978-5-8048-0117-6.
2. *Tretyakov M. Yu., Serov E. A., Koshelev M. A., Parshin V. V., Krupnov A. F.* Observation of the rotationally resolved spectrum of the water dimer at room temperature // *Phys. Rev. Letters*. 2013. Vol. 110. Art. 093001.
3. *Serov E. A., Odintsova T.A., Tretyakov M.Yu., Semenov V.E.* On the origin of the water vapor continuum absorption within rotational and fundamental vibrational bands // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*. 2017. Vol. 193. P. 1-12
4. *Tretyakov M. Yu.* Spectroscopy underlying microwave remote sensing of atmospheric water vapor // *J. Mol. Spectrosc.* 2016. Vol. 328. P. 7-26.
5. *Третьяков М. Ю., Кошелев М. А., Серов Е. А., Паршин В. В., Одинцова Т. А., Бубнов Г. М.* Димер воды и атмосферный континуум // *УФН*. 2014. Т. 184, № 11. С. 1199-1215.
6. *Serov E. A., Koshelev M. A., Odintsova T. A., Parshin V. V., Tretyakov M. Yu.* Rotationally resolved water dimer spectra in atmospheric air and pure water vapour in the 188–258 GHz range // *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2014. Vol. 16. P. 26221.
7. *Tretyakov M. Yu., Krupnov A. F., Koshelev M. A., Makarov D. S., Serov E. A., Parshin V. V.* Resonator spectrometer for precise broadband investigations of atmospheric absorption in discrete lines and water vapor related continuum in millimeter wave range // *Rev. Sci. Instrum.* 2009. Vol. 80, № 9. Art. 093106.

На диссертацию и автореферат поступили 10 отзывов. Все отзывы положительные. В них отмечают высокий уровень работы, ее актуальность, научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Отмеченные авторами отзывов замечания не влияют на их высокую оценку диссертации.

В положительном отзыве ведущей организации были сделаны следующие замечания:

- 1) не вполне корректное упоминание «туннелирования через потенциальный барьер» в связи с оценкой времени жизни метастабильных состояний димеров;
- 2) дано указание на то, что анализ возможных колебаний в димере делался задолго до работы [Reimer, 1984], которую автор диссертации приводит, как первую;
- 3) высказанные в диссертации М.Ю. Третьякова утверждения о невозможности объяснения наблюдаемого поглощения с помощью димерной гипотезы выглядят, на наш взгляд, недостаточно убедительно;
- 4) отмечается, что автор диссертации заблуждается, полагая, что в работе [Scribano, 2007] был сделан явный учет всех возможных переходов димера вплоть до порога диссоциации водородной связи, и что на самом деле там использовалась экстраполяция данных, точность которой неизвестна;
- 5) указывается на ошибочное утверждение о невозможности применения методов статистической физики для оценки содержания гетеродимеров в атмосфере;
- 6) указывается на ошибочное утверждение о невозможности расчета спектров димеров в метастабильных состояниях в настоящее время.

Положительный отзыв официального оппонента д.ф.-м.н. С.В. Иванова содержит следующее замечание:

- 1) Проявляется несколько более высокая уверенность автора в количественных оценках вкладов различных механизмов, обуславливающих наблюдаемое в водяном паре континуальное поглощение, чем это позволяют имеющиеся в настоящее время данные.

Положительный отзыв официального оппонента д.ф.-м.н. Л.А. Сурина содержит следующие замечания:

- 1) Резонаторный спектрометр, на котором получены наиболее важные результаты диссертации, использует в качестве источника излучения лампы обратной волны, производство которых уже остановлено;
- 2) Из текста диссертации остается непонятным, предпринимались ли попытки наблюдать спектры гетеродимеров  $\text{H}_2\text{O}-\text{N}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}-\text{O}_2$  при условиях близких к атмосферным и каковы выводы из этих наблюдений, если они были выполнены.

Положительный отзыв официального оппонента д.ф.-м.н. А.В. Троицкого содержит следующие замечания:

- 1) отсутствует рассмотрение точностных характеристик метода подавления влияния адсорбции воды с помощью двух открытых резонаторов Фабри – Перо;
- 2) не ясна степень влияния «эффекта ветра» (учет влияния функции распределения молекул по скоростям) на форму диагностических атмосферных спектральных линий.

В положительном отзыве на автореферат д.ф.-м.н. И.В. Пташника и д.ф.-м.н. Ю.Н. Пономарева (Лаборатория абсорбционной спектроскопии ФГБУН Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН) содержатся следующие замечания:

- 1) в автореферате отсутствует список неавторских работ по данной тематике. Соответственно, не дается обзор дел в данной области исследований до того, как были получены авторские результаты;
- 2) 5-е защищаемое положение ("Анализ получаемых...") сформулировано слишком абстрактно/обобщенно, кажется слабым звеном и представляется лишним.

В положительном отзыве на автореферат от д.ф.-м.н. В.П. Кочанова (Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН) содержатся следующие замечания:

- 1) не указаны точностные характеристики разработанного резонаторного спектрометра: отношение сигнал/шум, погрешности измерения значений частоты и интенсивности, ширина аппаратной функции; не приводится их сопоставление с характеристиками аналогичных зарубежных аналогов и спектрометров других типов.
- 2) не указывается способ определения абсолютных интенсивностей в используемой резонаторной методике, а из формулировки результата 4 на стр. 22 не ясно, какова экспериментальная погрешность измерения;
- 3) наличие нескольких опечаток и отсутствие расшифровки аббревиатуры.

В положительном отзыве на автореферат д.ф.-м.н. А.П. Коузова (Санкт Петербургский госуниверситет) содержится замечание об излишней многословности вводной части автореферата.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован тем, что оппоненты являются признанными высококвалифицированными специалистами в области молекулярной газовой спектроскопии, атмосферной радиометрии и радиофизики, а ведущая организация является передовым институтом в области физики атмосферы.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

- Впервые реализовано быстрое цифровое сканирование частоты источника излучения мм-субмм диапазона длин волн в режиме фазовой автоподстройки частоты без фазовых скачков при переключениях.
- Достигнута рекордная чувствительность резонаторного спектрометра, на порядок превосходящая чувствительность лучших мировых аналогов.
- Впервые осуществлена возможность получения непрерывных записей молекулярных спектров при давлениях газов вплоть до атмосферного методом резонаторной спектроскопии в диапазоне от 40 до 500 ГГц.
- В результате анализа широкодиапазонных записей спектров основных атмосферных газов и их смесей получены достоверные и наиболее точные к настоящему времени значения спектроскопических констант основных диагностических атмосферных линий и нерезонансного поглощения в мм-субмм диапазоне длин волн.
- Впервые экспериментально продемонстрировано изменение формы диагностической линии вблизи 118 ГГц, связанное с эффектом столкновительной связи линий тонкой структуры молекулярного кислорода.
- В форме профиля поглощения 60-ГГц полосы атмосферного кислорода впервые выявлены спектральные проявления эффекта столкновительной связи

второго порядка по давлению. Определены количественные параметры эффекта и создана соответствующая модель атмосферного поглощения для спектроскопических приложений.

- Впервые экспериментально зарегистрированы вращательно-разрешенные спектры димера воды  $(\text{H}_2\text{O})_2$  при типичных для земной атмосферы температурах и подтверждена гипотеза о том, что именно димерами обусловлена значительная часть квадратичной по влажности составляющей континуального атмосферного поглощения.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

- подтверждена справедливость теоретических расчетов формы широких атмосферных линий. Полученные данные являются первым прямым экспериментальным подтверждением того, что форма Ван Флека — Вайскопфа более адекватна для описания профиля изолированных линий, чем форма Лоренца или Гросса, и что форма линии Розенкранца подходит для описания профиля столкновительно - связанных линий тонкой структуры молекулы  $\text{O}_2$ ;
- проведено высокоточное исследование столкновительной связи линий тонкой структуры атмосферного кислорода, позволившее получить количественные параметры этого эффекта, использующиеся в настоящее время во всех моделях распространения мм-субмм излучения.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

существенно (иногда в принципиально значимой степени) уточнены важнейшие спектроскопические константы диагностических атмосферных линий и нерезонансного поглощения в мм-субмм диапазоне длин волн.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:**

Все полученные результаты обладают высокой степенью достоверности и являются обоснованными, что подтверждается сравнениями с аналогичными результатами других исследований, отличающихся методикой измерения, диапазоном рабочих давлений, принципом действия измерительного инструмента и спектральным диапазоном, а в теоретической части – методами расчетов и используемыми приближениями. Значения констант основных диагностических атмосферных линий, а также эмпирические параметры континуального атмосферного поглощения, полученные в рамках данной работы, критически оценены путем сравнения со всеми наиболее известными к настоящему времени данными.

**Личный вклад соискателя состоит в том, что**

он выбирал объекты исследования, обеспечивал работоспособность установки, получение высокоточных первичных данных, их обработку и интерпретацию, организацию, при необходимости, сотрудничества с теоретиками мирового уровня, способными адекватно проанализировать получаемые данные, публикацию полученных результатов и их доведение до мирового научного сообщества.

Совокупность результатов, полученных в диссертации, позволяет классифицировать ее как новое научное направление – широкодиапазонная микроволновая резонаторная спектроскопия атмосферных газов.

На заседании 23.10.2017 г. диссертационный совет принял решение присудить Третьякову М.Ю. ученую степень доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Зам. председателя  
диссертационного совета,  
академик РАН

  
А.Г. Литвак

И.о. ученого секретаря  
диссертационного совета  
доктор физ.-мат. наук

  
А.И. Смирнов

подписи А.Г. Литвака и  
А.И. Смирнова заверяю  
ученый секретарь ИПФ РАН  
кандидат физ.-мат. наук





И.В. Корюкин

«23» октября 2017 г.