

В “Журнале прикладной спектроскопии” публикуются новые результаты исследований по прикладной спектроскопии и смежным вопросам по следующим разделам:

- I. Атомная спектроскопия
- II. Молекулярная спектроскопия
- III. Люминесценция
- IV. Лазерная спектроскопия
- V. Нелинейная спектроскопия
- VI. Спектроскопия рассеивающих сред
- VII. Спектроскопия твердых тел
- VIII. Спектроскопия наноструктур
- IX. Спектроскопия газов и плазмы
- X. Рентгеновская и ядерная спектроскопия вещества
- XI. Спектроскопия в биологии и медицине
- XII. Спектроскопия в экологических исследованиях
- XIII. Приборы и методы спектроскопии
- XIV. Оптические материалы

В направлении к статье, посылаемой в редакцию, необходимо указывать номер раздела, к которому она относится

Журнал помещает оригинальные статьи и краткие сообщения о результатах исследований, обзоры и научно-техническую информацию по вопросам прикладной спектроскопии, хронику научной жизни, рецензии на новые монографии по спектроскопии, рекламные материалы

Импакт-фактор JAS JCP-2014 равен **0.476**,

Российский индекс научного цитирования ЖПС РИНЦ-2013 равен **0.420**.

ДОРОГИЕ АВТОРЫ И ЧИТАТЕЛИ!

Продолжается подписка на “Журнал прикладной спектроскопии” на 2016 г.

Подписку на журнал можно оформить во всех почтовых отделениях РУП “Белпочта”

и торговых организациях РУП “Белсоюзпечать” (индекс 74914).

В случае затруднений с подпиской журналы могут быть заказаны в редакции (включая 2016 г.).

Редакция высылает заказчикам также отдельные номера журналов 1990—2016 гг.

Тел./факс: (37517) 284-17-80; e-mail: jas@ifanbel.bas-net.by

* * *

Электронная версия “Журнала прикладной спектроскопии” доступна по адресу:

http://www.elibrary.ru/title_about.asp?id=7318

Подписка — по адресу: sales@elibrary.ru

Электронная версия “Journal of Applied Spectroscopy” доступна по адресу:

<http://springer.com/10812>

Ж

У

Р

Н

А

Л



ПРИКЛАДНОЙ (СПЕКТРОСКОПИИ)

ZHURNAL PRIKLADNOI SPEKTROSKOPII

(JOURNAL OF APPLIED SPECTROSCOPY)

3

МАЙ — ИЮНЬ

2016

ТОМ 83

2016 3 83

Институт физики имени Б. И. Степанова
Национальной академии наук Беларуси
<http://imaph.bas-net.by/JAS>

ЖУРНАЛ ПРИКЛАДНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Редакционная коллегия:

Главный редактор
В. А. ТОЛКАЧЁВ
Заместители главного редактора
Е. С. ВОРОПАЙ, Г. П. ЯБЛОНСКИЙ
Ответственный секретарь
М. М. ЗУБАРЕВА

В. М. АСТАШИНСКИЙ, В. Г. БАРЫШЕВСКИЙ, С. В. ГАПОНЕНКО, Л. А. ГРИБОВ, И. М. ГУЛИС, А. Л. ГУРСКИЙ, А. П. ИВАНОВ, М. А. КИСЕЛЬ, Н. В. КУЛЕШОВ, С. Н. КУРИЛКИНА, В. В. МАШКО, О. Г. РОМАНОВ, Е. Д. СКАКОВСКИЙ, К. Н. СОЛОВЬЁВ, А. Н. СТОЖАРОВ, Н. В. ТАРАСЕНКО, Е. А. ТИХОНОВ, О. Н. ТРЕТИННИКОВ, Н. В. ШАЛЫГО

Редакционный совет:

П. А. АПАНАСЕВИЧ (Беларусь), **М. С. БРОДИН** (Украина), **У. ВОГГОН** (Германия), **А. П. ВОЙТОВИЧ, А. М. ГОНЧАРЕНКО** (Беларусь), **В. Л. ЕРМОЛАЕВ** (Россия), **Т. КОБАЯШИ** (Япония), **Н. КОНЬЕВИЧ** (Сербия), **А. МЕЕРИНК** (Голландия), **Дж. РОБИНСОН** (США), **Б. СОЭП** (Франция), **С. СУН** (Китай), **П. ТЮРПЕН** (Франция)

Адрес редакции: 220072, Минск, просп. Независимости, 68
Тел./факс: (37517) 2841780. E-mail: jas@ifanbel.bas-net.by

JOURNAL OF APPLIED SPECTROSCOPY

Editorial Board:

Editor-in-Chief
V. A. TOLKACHEV
Associate Editors
E. S. VOROPAY and G. P. YABLONSKII
Executive Secretary
M. M. ZUBAREVA

V. M. ASTASHYNSKI, V. G. BARYSHEVSKY, S. V. GAPONENKO, L. A. GRIBOV, I. M. GULIS, A. L. GURSKII, A. P. IVANOV, M. A. KISEL, N. V. KULESHOV, S. N. KURILKINA, V. V. MASHKO, O. G. ROMANOV, E. D. SKAKOVSKII, K. N. SOLOVYOV, A. N. STAZHARAU, M. V. TARASENKA, E. A. TIKHONOV, O. N. TRETINNIKOV, N. V. SHALYGO

Advisory Editorial Board:

P. A. APANASEVICH (Belarus), **M. S. BRODIN** (Ukraine), **U. WOGGON** (Germany), **A. P. VOITOVICH, A. M. GONCHARENKO** (Belarus), **V. L. ERMOLAIEV** (Russia), **T. KOBAYASHI** (Japan), **N. KONJEVIĆ** (Serbia), **A. MEIJERINK** (The Netherlands), **J. ROBINSON** (USA), **B. SOEP** (France), **S. SUN** (China), **P.-Y. TURPIN** (France)

Address of the editorial office: 68 Nezavisimosti Prosp., Minsk, 220072, Belarus
Tel./Fax: (37517) 2841780. E-mail: jas@ifanbel.bas-net.by

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ И УСЛОВИЯ ПУБЛИКАЦИИ

1. Материал статьи должен соответствовать профилю журнала (см. 4-ю стр. обложки или <http://imaph.bas-net.by/JAS/rus/index.htm>), представлять *новые результаты исследований*, излагаться (особенно аннотация) кратко, ясно. Статья должна содержать разделы “Введение”, “Эксперимент (Расчет)”, “Результаты и их обсуждение”, “Заключение (Выводы)”.

2. Объем статьи (включая текст, “выходные данные” (название, фамилии, адреса), аннотацию и ключевые слова на русском языке; название, Ф. И. О. (согласно паспорту), адреса, аннотацию и ключевые слова на английском языке; список цитируемой литературы, таблицы, подписи к рисункам, примечания и сноски) не должен превышать 12 стр. (30000 знаков), краткого сообщения — 5 стр. (15000 знаков) (шрифт типа Times, размер символов 12 pt, 1,5 интервала), количество рисунков — до 4 и 2 соответственно.

Все материалы представляются на русском языке (для стран СНГ) *в виде pdf- и doc-файлов* (e-mail: jas@ifanbel.bas-net.by), набранные в текстовом редакторе Microsoft Word (любая версия) (в **формульном редакторе набирать только сложные формулы!**), рисунки — *в виде отдельных файлов* (не встраивать в Word!) в одном из форматов: wmf, tif, psx, bmp, jpg, cdr (разрешение не менее 600 dpi).

3. В начале статьи (после ее заглавия, фамилий авторов (фамилия автора, с которым следует вести переписку, отмечается звездочкой), названия и адреса организации, e-mail для переписки) указывается дата поступления статьи (месяц и год), которая сохраняется при соблюдении авторами сроков доработки рукописи (до 2 месяцев).

4. Статья сопровождается письмом организации, в которой выполнены исследования, подписанным руководителем и заверенным гербовой печатью (с указанием возможности открытой публикации), либо направлением от организации и экспертным заключением.

5. К статье прилагаются авторская справка с указанием Ф.И.О., адресов, телефонов, e-mail и подписями всех авторов, перевод на английский язык используемых физических терминов, встречающихся фамилий (кроме содержащихся в списке литературы), а также справка (в произвольной форме) о том, что статья не послана в другие журналы, подписанная автором, ответственным за статью (см. п. 3).

6. Материалы, доложенные на конференциях, что отмечается сноской на первой странице статьи, публикуются на общих основаниях (с обязательным рецензированием).

7. Редакция оставляет за собой право на изменения, не искажающие научное содержание статьи.

8. После публикации редакция высылает по электронному адресу для переписки (п. 3) pdf-файл статьи (для личного пользования).

9. **Набор формул и буквенных обозначений.** Прямо набираются: греческие и русские буквы; математические символы (\sin , \lg , ϵ); символы химических элементов (Cl, I, CHCl_3); цифры (римские и арабские); векторы; индексы (верхние и нижние), являющиеся сокращениями слов. *Курсивом* набираются латинские буквы — переменные, символы физических величин (в том числе и в индексе). **Жирным** шрифтом набираются векторы (стрелки сверху не ставятся). Необходимо **указывать местоположение таблиц и рисунков.**

10. **Оформление таблиц.** Каждая таблица должна печататься через 1,5 интервала, иметь **название** и заголовки **всех** граф (ед. число, именительный падеж). Таблицы и подписи к рисункам приводятся в конце статьи (после списка цитируемой литературы). Общий объем **всех** таблиц — не более 120 строк.

11. **Оформление цитируемой литературы.** Ссылки приводятся на языке источника, после фамилий **всех** авторов указываются: а) для журнальных статей — полное название журнала или с общепринятыми сокращениями, том (в случае необходимости — и номер), год, начальная и конечная страницы: [1] **Н. Н. Иванов, В. И. Петров.** Журн. прикл. спектр., **49**, № 3 (1988) 359—367 [N. N. Ivanov, V. I. Petrov. JAS, **49**, N 3 (1988) 376—384]; б) для книг, авторефератов, диссертаций, патентов, препринтов — **все** фамилии, полное название, место издания, издательство, год издания (в скобках) и конкретные страницы ссылки (общее количество страниц не указывается); пример ссылки на материалы конференции: **А. И. Иванов.** Материалы (или Тр., или Тез. докл.) науч.-тех. конф. “Квантовая электроника”, 22—25 ноября 2010 г., Минск, изд. центр Бел. гос. ун-та (2008) 28—29. В тексте ссылки обозначаются порядковыми номерами в квадратных скобках ([2], [13—15]) *с учетом расположения таблиц и рисунков.*

12. Статьи, оформленные с нарушением настоящих “Правил”, к рассмотрению **не принимаются.**

13. Авторы, направляя статью в редакцию, тем самым передают Издателю исключительное право на опубликование ее в “Журнале прикладной спектроскопии” (ЖПС) на условиях, размещенных на сайте Издателя (<http://imaph.bas-net.by/JAS>), в том числе на перевод на английский язык и переиздание в англоязычной версии ЖПС Journal of Applied Spectroscopy издательством Springer Science + Business Media.

14. Информация о журнале доступна по адресам <http://imaph.bas-net.by/JAS>; <http://springer.com/10812>; http://www.elibrary.ru/title_about.asp?id=7318 (подписка — sales@elibrary.ru).

ЖУРНАЛ ПРИКЛАДНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Издаётся с сентября 1964 г.

Переиздается на английском языке в Голландии издательством Springer Science+Business Media
под названием Journal of Applied Spectroscopy

<http://imaph.bas-net.by/JAS>
http://www.elibrary.ru/title_about.asp?id=7318
<http://springer.com/10812>

ТОМ 83, № 3

МАЙ—ИЮНЬ 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Михайлов Г. П. Расчет колебательного спектра координированного тиоцианат-иона в среде ацетонитрила.....	341
Лапина В. А., Бушук С. Б., Павич Т. А., Воробей А. В. Фотосенсибилизаторы нового поколения: конъюгаты хлорина e_6 с алмазными наночастицами.....	347
Пицевич Г. А., Дорошенко И. Ю., Погорелов В. Е., Питгерссон Л. Г. М., Шаблинская В., Сапешко В. В., Балевикус В. Комбинаторный механизм уширения ИК полос поглощения валентных O—H-колебаний в молекулярных кластерах с водородными связями.....	354
Хорошко Л. С., Кортов В. С., Гапоненко Н. В., Райченок Т. Ф., Тихомиров С. А., Пустоваров В. А. Рентгено-, катодо- и фотолюминесценция алюмоиттриевых композитов в пленках пористого анодного оксида алюминия.....	362
Wu Y. D., Zhou T., Yao Z. W., Cao J. C. Теоретическое и экспериментальное исследования терагерцовых спектров поглощения кластеров воды $(H_2O)_n$ ($n = 4, 5, 6$) в атмосфере (англ.).....	367
Криворотов В. Ф., Мирзаев С. З., Нуждов Г. С. Квазиупругое рассеяние света и динамические параметры внутреннего движения в суперионных кристаллах LnF_3 ($Ln = La, Ce$).....	372
Li G.-L., Wu S.-Y., Hu X.-F., Teng B.-H., Wu M.-H. Расчет g -факторов и локальной угловой дисторсии для нанокристаллов $ZnO:Cu^{2+}$ с различной концентрацией меди (англ.).....	380
Каджар Ч. О., Исмаилзаде Г. И., Мензелеев М. Р., Мовсумов И. З., Казымова С. Б. К вопросу о моделировании микроволновых спектров низкого разрешения n -пропанола в газовой фазе.....	385
Xu B. Y., Ye Y., Liao L. C. Обнаружение метамфетамина и морфина в моче и слюне с помощью матрицы возбуждения-эмиссии флуоресценции и алгоритма калибровки второго порядка (англ.).....	390
Rajendraprasad N., Basavaiah K. Количественное определение ветеринарного антигельминтного препарата оксфендазола в фармацевтических препаратах с помощью УФ—видимой спектроскопии (англ.).....	398
Кириллов В. А., Дубовский С. В. Нелинейное моделирование спектра эмали зубов для ЭПР-дозиметрии.....	404
Казин В. Н., Макарыш В. В., Гузов Е. А., Мошарева В. А., Ковчий К. А. Изучение влияния магнитного поля на компоненты крови человека спектрофотометрическими методами....	413
Лысенко С. А., Кугейко М. М. Метод расчета коэффициента диффузного отражения света от глазного дна.....	419
Samadi A., Amjadi M. Нанотрубки галлуазита как новый поглотитель для твердофазной экстракции и спектрофотометрического определения железа в воде и продуктах питания (англ.).....	430
Макарова М. В., Поберовский А. В., Хаза Ф., Тимофеев Ю. М., Имхасин Х. Х. Определение характеристик наземной ИК спектральной аппаратуры в задачах экологического мониторинга атмосферы.....	437

Sahin R., Tapadia K., Sharma A. Определение <i>in situ</i> фторида в грунтовых водах с помощью <i>N</i> -октилацетамида и комплекса тиоцианат-железо(III) (англ.).....	445
Овчинников О. В., Гревцева И. Г., Кондратенко Т. С., Смирнов М. С., Евтухова А. В. Усиление люминесценции коллоидных квантовых точек Ag ₂ S молекулами тионина.....	450
Москаленко Н. И., Мирумянц С. О., Паржин С. Н., Додов И. Р. Измерительный комплекс для исследований спектров поглощения газовых сред при высоких давлениях.....	457
Дрейзин В. Э., Гримов А. А., Логвинов Д. И. Многодетекторный нейтронный спектрометр реального времени.....	462
Zeng G., Dong Q., Bao W. Получение и фотолюминесцентные свойства порошка Lu ₂ O ₃ , легированного титаном (англ.).....	469
Кулак А. И., Браницкий Г. А. Фотоиндуцированное образование коллоидного серебра в растворах нитроцеллюлозы, содержащих алкоксиды титана.....	475
Курляк В. Ю., Стадник В. И., Габа В. М., Когут З. А., Матвишин И. М. Температурные изменения показателей преломления и толщины примесных кристаллов триглицидсульфата.....	481

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Тихий А. А., Николаенко Ю. М., Жихарева Ю. И., Жихарев И. В. Оптические свойства тонких пленок In ₂ O ₃ и ITO	488
Григорян К. Р., Саргсян Л. С. Спектральные исследования взаимодействия миоглобина с танином.....	491
Вардеванян П. О., Антонян А. П., Шагинян М. А., Микаелян М. С. Влияние электромагнитных волн миллиметрового диапазона на флуоресценцию водно-солевых растворов сывороточного альбумина человека.....	496

АННОТАЦИИ АНГЛОЯЗЫЧНЫХ СТАТЕЙ

Chen Y., Guan J., Hu H., Gao H., Zhang L. Инфракрасное спектроскопическое исследование структурных изменений и межфазного взаимодействия в резиновых композитах с гибридными кремнезем-каолиновыми наполнителями.....	500
Singh M., Karki V., Sarkar A. Оптимизация условий для определения Cr и Ni в стали методом спектроскопии лазерно-индуцированной плазмы с использованием регрессии частными наименьшими квадратами.....	501
Pekgözlü İ., Karabulut H., Mergen A., Basak A. S. Синтез и фотолюминесцентные свойства соединения Sr ₂ Be ₂ B ₂ O ₇ , допированного ионами Dy ³⁺ , Sm ³⁺ , Tb ³⁺ и Pb ²⁺	502
Li D., Jiang M., Qi H., Wang Q., Liu C. Оптические константы селенида цинка при 373 и 423 К в диапазоне длин волн 2–15 мкм.....	503
Yonar D., Horasan N., Maral Sünnetçioğlu M. Исследование влияния докозагексаеновой и гамма-линоленовой кислот на фосфолипидные мембраны, содержащие и не содержащие холестерин, при различных температурах методом электронного парамагнитного резонанса	504

ПОПРАВКИ

Гоголева С. Д., Лавыш А. В., Мотевич И. Г., Оскирко В. Ф., Стрекаль Н. Д., Шейнин В. Б., Койфман О. И., Зенькевич Э. И., Маскевич С. А. Спектры гигантского комбинационного рассеяния тетрасульфофенилпорфирина на поверхности плазмонных пленок серебра	340
---	-----

Ведущий редактор И. В. Дулевич

Сдано в набор 22.03.16. Подписано в печать 18.05.16.
Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 19,5. Уч.-изд. л. 21,0. Тираж 93 экз. Заказ № 1222.

Отпечатано с оригинал-макета заказчика на оборудовании
РУП “Издательство “Белорусский дом печати”.
Лицензия ЛП № 02330/106 от 30.04.2004 г.

Республиканское унитарное предприятие “Издательство “Белорусский дом печати”,
220013, Минск, просп. Независимости, 79.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ СПЕКТРОВ ПОГЛОЩЕНИЯ ГАЗОВЫХ СРЕД ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ

Н. И. Москаленко, С. О. Мирумянц, С. Н. Паржин, И. Р. Додов *

УДК 535.34

Казанский государственный энергетический университет,
420000, Казань, ул. Красносельская, 51, Россия; e-mail: utisey@gmail.com

(Поступила 24 декабря 2015)

Рассматривается измерительный комплекс для исследования спектров поглощения в области 0.3—25 мкм газовых сред в диапазоне давлений 0.01—150 атм. Обсуждается его применимость для исследований индуцированного давлением поглощения, обусловленного межмолекулярным взаимодействием при столкновениях молекул, и измерений спектральных коэффициентов поглощения, интегральных интенсивностей полос и контуров спектральных линий.

Ключевые слова: спектр поглощения, спектральный коэффициент поглощения, функция спектрального пропускания, индуцированное давлением поглощение.

The system is considered for measuring absorption spectra of gaseous media under pressures of 0.01—150 atmospheres in the range of 0.3—25 μm. An application of the system to study pressure-induced absorption due to intermolecular interactions at collision of molecules and to measure absorption coefficients, integral intensities of bands, and contours of spectral lines is discussed

Keywords: absorption spectra, spectral coefficient of absorption, spectral transmission function, pressure-induced absorption.

Введение. Решение многих прикладных задач, связанных с переносом излучения в атмосферах планет и теплообменом в энергетических установках, требует сведений по функциям спектрального пропускания газовых компонентов и их зависимости от давления и температуры. Большой интерес представляют исследования контура спектральных линий в различных полосах колебательно-вращательных спектров излучения молекул в зависимости от вида сталкивающихся молекул, а также исследования индуцированного давлением поглощения, обусловленного влиянием межмолекулярного взаимодействия на квадрупольный момент при столкновениях молекул. Спектры индуцированного давлением поглощения подчиняются другим правилам отбора и могут оказывать существенное влияние на процессы радиационного теплообмена в планетарных атмосферах и в технологических средах установок высокого давления [1—3].

В данной работе рассматривается спектральный измерительный комплекс для исследования спектров молекулярного поглощения газов в широком диапазоне давлений (до 150 атм), включая низкие давления, и трассы протяженностью $L_1 = 8$ см, $L_2 = 72$ см, $L_3 = 2—40$ м с применением многоходовой газовой кюветы. Этот измерительный комплекс существенно дополняет возможности спектральных измерительных установок, обсуждаемых в [3—6].

Установка для измерений спектров поглощения газов при высоких давлениях предназначена для исследования влияния межмолекулярных взаимодействий на формирование спектров поглощения газов и включает в себя комплекс газовых кювет, работающих в диапазоне давлений 0.01—150 атм, с системой контроля состояния исследуемой среды и регистрацией молекулярных спектров поглощения. Комплекс газовых кювет представляет собой три последовательно располо-

MEASURING SYSTEM FOR INVESTIGATION OF ABSORPTION SPECTRA OF GAS MEDIA AT HIGH PRESSURES

N. I. Moskalenko, S. O. Mirymyants, S. N. Parhzin, and I. R. Dodov * (Kazan State Power Engineering, 33 Krasnoselskaya Str., Kazan, 420000, Russia; e-mail: utisey@gmail.com)

женные кюветы с оптическими длинами пути $L_1 = 8$ см, $L_2 = 72$ см, $L_3 = 2-40$ м. Третья газовая кювета с многократным прохождением пучка оптического излучения собрана по схеме Уайта. Оптическая схема комплекса кювет представлена на рис. 1. Изображение источника радиации, в качестве которого используется глобар или ленточная лампа накаливания, через входное окно 2' посредством зеркал 3', 4' с увеличением $1.3\times$ формируется в плоскости входной диафрагмы оптической системы Уайта. Зеркала 5', 6', 7' имеют одинаковый радиус кривизны. Два из них (5' и 7') являются объективами и образуют на третьем зеркале 6', служащем коллективом, расположенные в два горизонтальных ряда промежуточные изображения входной диафрагмы. После многократного прохождения между зеркалами "скамьи" Уайта с базой 0.5 м пучок радиации фокусируется на выходной диафрагме. Через промежуточное окно 8' зеркалами 9', 10' изображение выходной диафрагмы фокусируется на входной щели спектрометра.

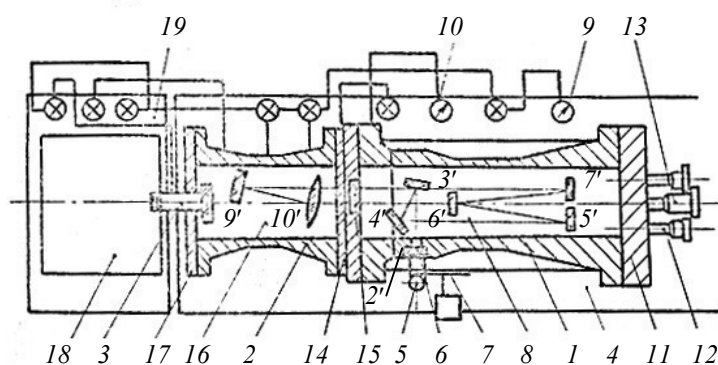


Рис. 1. Функциональная схема установки для измерений спектров поглощения газов при высоких давлениях

Смена числа проходов (оптической длины пути) в многоходовой газовой кювете осуществляется разворотом двух задних зеркал 5', 7' с помощью клинового устройства с внешним приводом. Число проходов между зеркалами определяется отношением размеров переднего зеркала и выходной диафрагмы. При использовании в качестве источника излучения лазера визуальный контроль позволяет четко регистрировать не менее 40 изображений источника, что соответствует длине пути в кювете $L = 40$ м.

Кюветы образуют три последовательно расположенных изолированных объема 1, 2, 3 и скомпонованы на общем монтажном столе 4 (рис. 1). Источник излучения вынесен вне кюветы и расположен внутри кожуха с водяным охлаждением. Между глобаром 5 и входным защитным окном 6 закреплен электромеханический модулятор 7, обеспечивающий модуляцию светового пучка с частотами 9 и 360 Гц. Первая частота модуляции позволяет осуществлять регистрацию спектров поглощения газов при работе со стандартными спектрометрами 18 типа ИКС-21, ИКС-31. Вторая частота модуляции обеспечивает работу приемно-регистрирующей системы с охлаждаемыми приемниками, в частности с германиевым болометром, охлаждаемым жидким гелием, и ФЭУ. Модуляция светового потока перед входным окном кюветы позволяет избавиться от паразитного сигнала, обусловленного излучением оптической системы и стенок кювет.

Зеркала системы Уайта расположены на оптической скамье 8 и имеют юстировочные подвижки. Задние зеркала подвешены на пластинках и могут разворачиваться относительно друг друга на определенный угол, фиксированный по лимбу. Во избежание разъюстировок при изменении температуры в кювете все механические узлы оптической системы изготовлены из инвара, имеющего малый коэффициент удельного теплового расширения.

Торцы корпуса высокого давления закрыты крышками 11 и 14. На крышке 11 скомпонованы: окуляр для визуального контроля числа проходов луча радиации, вентили 12 для напуска исследуемого газа, клиновый механизм разворота задних зеркал 13 многоходовой кюветы, предохранительные клапаны (рабочий на 150 атм, контрольный на 225 атм, клапан для стравливания газов из кюветы) и вентиль для откачки. Корпус средней кюветы крепится к крышке 14 многоходовой кюветы, а малая газовая кювета 3 — к крышке 17 средней кюветы. Фланцы корпуса кювет и крышки

имеют канавки для уплотнения. Герметизация объемов осуществляется с помощью фибровых прокладок. Все три кюветы имеют независимую откачку, напуск и контроль давления исследуемого газа с помощью манометра МО 9 и вакуумметра ВО 10 модели 1227, позволяют моделировать неоднородные по давлению и температуре газовые среды.

Для обеспечения герметичности при высоких давлениях газа применена конструкция самоуплотняющихся конических окон, надежно обеспечивающих герметичность кюветы как при высоких давлениях газа, так и в вакууме. Сменные окна, изготовленные из кварца, фтористого бария, КРС-5, ИКС, обеспечивают спектральную область регистрации излучения 0.3—30 мкм. Окна 6, 15 многоходовой газовой кюветы имеют форму усеченного конуса и вставлены в конические оправы, которые ввинчиваются в корпус кюветы и крышку 14.

Самоуплотнение окон обусловлено более высоким давлением газа на контактирующие конические поверхности по сравнению с давлением воздуха вне кюветы. Практически идеальная шлифовка кристаллического конуса с конической оправой уменьшает склонность кристаллов к разрушению. Расчет и испытания на прочность показали значительные преимущества самоуплотняющейся конструкции окон по сравнению с конструкцией плоских окон. Нанесение на контактирующие поверхности вакуумного высокотемпературного герметика У-2-28 обеспечивает плавное смещение кристалла с изменением давления и температуры исследуемого газа и препятствует появлению сдвигов в слоях кристалла.

Во внутренней полости многоходовой газовой кюветы расположен обогреватель, обеспечивающий нагрев газа в рабочем объеме до температуры 600 К. Для охлаждения жидким агентом к корпусу кюветы приварен змеевик. Контроль температуры газа во внутренней полости многоходовой кюветы и корпуса кюветы проводится с помощью термопар. Подвод питания к электрической печи и вывод термопар выполнены с помощью герметичных разъемов, изоляторы для которых изготовлены из стеклотекстолита, а их герметизация осуществляется с помощью эпоксидной смолы.

В связи с большой массой комплекса кювет и для удобства замены окна 15, разделяющего среднюю кювету и многоходовую газовую кювету, вся система установлена на рельсы и может перемещаться вдоль монтажного стола. Комплекс кювет проверен гидравлическим испытанием на давление 230 атм и вакуум.

Для исследований в ИК, видимой и УФ областях спектра комплекс кювет оснащен модернизированным спектрометром ИКС-21 и спектрометром, собранным на базе монохроматора МДР-2. Для исключения поглощения атмосферой предусмотрена продувка спектрометра и узла излучателя очищенным от посторонних примесей азотом и гелием.

При сравнительно малых размерах кюветы благодаря возможности моделирования высоких давлений газов спектральная установка позволяет изучать спектры поглощения при больших содержаниях поглощающего газа. Таким образом, представляется возможным исследовать слабые колебательно-вращательные полосы поглощения атмосферных газов, индуцированное давлением поглощение, а также континуальное поглощение крыльями спектральных линий (колебательно-вращательных) полос при различных давлениях и температурах исследуемого газа.

На рис. 2 приведена спектрограмма поглощения излучения углекислым газом J_V CO_2 в области 1.2—2.4 мкм при давлении $P_{\text{CO}_2} = 40$ атм и $L = 16$ м, J_{0V} — базовая линия

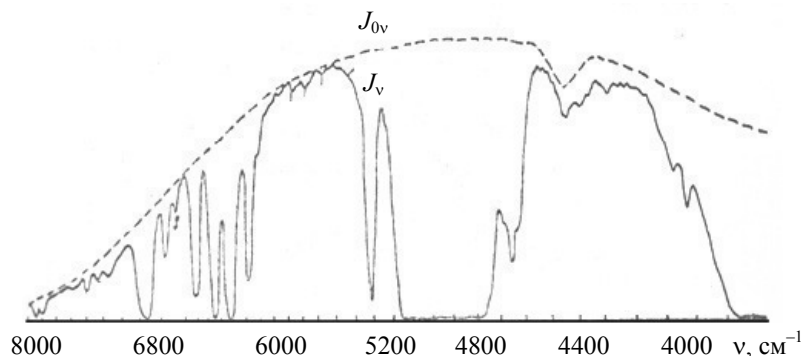


Рис. 2. Спектрограмма поглощения излучения углекислым газом J_V CO_2 в области 1.2—2.4 мкм при давлении $P_{\text{CO}_2} = 40$ атм и $L = 16$ м, J_{0V} — базовая линия

Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение. Основные результаты, полученные с использованием рассматриваемого измерительного комплекса, сводятся к получению функций спектрального пропускания (ФСП) для различных температур и давлений компонентов атмосфер планет солнечной системы, которые позволили провести их параметризацию и выполнить расчеты радиационного теплообмена в атмосферах планет [1, 2] с учетом континуального поглощения излучения крыльями спектральных линий и индуцированного давлением поглощения. Измеренные ФСП τ_ν (ν — волновое число) определяются соотношением

$$\tau_\nu = J_\nu/J_{0\nu}, \quad (1)$$

где J_ν — спектрограмма интенсивности излучения после прохождения среды в кюветах; $J_{0\nu}$ — распределение интенсивности излучения по спектру в условиях вакуумированных кювет без газа. На рис. 3 представлены измеренные спектры τ_ν углекислого газа при различных давлениях P_{CO_2} и содержаниях ω_{CO_2} в многоходовой кювете и вычисленные методом прямого интегрирования ФСП CO_2 . Измерения при больших содержаниях CO_2 позволили выявить новые полосы поглощения различных изотопов CO_2 , которые при малых содержаниях CO_2 не проявлялись, и определить коэффициенты континуального поглощения, обусловленные спектральными линиями поглощения сильных колебательно-вращательных полос. Обработаны экспериментальные данные по континуальному поглощению радиации CO_2 с учетом всей информации по экспериментальным параметрам спектральных линий поглощения [7] для аналитической зависимости фактора

$$b'(\nu - \nu_i) = (\nu - \nu_i)^{-\alpha} \exp[-a((\nu - \nu_i) - d)^c], \quad (2)$$

характеризующего отличие истинного контура линии $b = b_L b'(\nu - \nu_i)$ от контура Лоренца b_L при $(\nu - \nu_i) \geq d$ колебательно-вращательных полос вблизи 1.4, 1.6, 2.0, 2.7, 4.3 и 15.0 мкм для соударений $\text{CO}_2\text{--CO}_2$, $\text{CO}_2\text{--N}_2$.

Параметры a , c , d , α определены по методу наименьших квадратов. В отличие от теоретических формул [11], показывающих резкую асимметрию контура спектральных линий поглощения CO_2 , полученные нами экспериментальные данные свидетельствуют об экспоненциальном спаде коэффициентов поглощения с ростом $(\nu - \nu_i)$ как для высокочастотного, так и для низкочастотного крыла спектральных линий поглощения CO_2 в условиях самоуширения и уширения азотом, причем контур линий поглощения близок к симметричному. В табл. 1 представлены параметры a , c , d , α контура спектральных линий поглощения CO_2 в условиях самоуширения и уширения азотом.

Т а б л и ц а 1. Параметры a , c , d , α контура спектральных линий поглощения CO_2 при соударениях молекул $\text{CO}_2\text{--CO}_2$ и $\text{CO}_2\text{--N}_2$

Полоса, мкм	Соударения	a	c	d	α
1.4	$\text{CO}_2\text{--N}_2$	0.61	0.52	2	-0.02
1.4	$\text{CO}_2\text{--CO}_2$	0.08	0.58	46	-0.06
1.6	$\text{CO}_2\text{--N}_2$	0.64	0.42	3	+0.02
1.6	$\text{CO}_2\text{--CO}_2$	0.09	0.64	39	-0.05
2.0	$\text{CO}_2\text{--N}_2$	0.56	0.42	1	+0.03
2.0	$\text{CO}_2\text{--CO}_2$	0.06	0.75	32	0.03
2.7	$\text{CO}_2\text{--N}_2$	0.61	0.36	2	0
2.7	$\text{CO}_2\text{--CO}_2$	0.065	0.80	6	-0.01
4.3	$\text{CO}_2\text{--N}_2$	0.49	0.46	1	0
4.3	$\text{CO}_2\text{--CO}_2$	0.098	0.72	10	0
15.0	$\text{CO}_2\text{--N}_2$	0.044	0.61	3	0
15.0	$\text{CO}_2\text{--CO}_2$	0.090	0.85	4	0

В [7] разработан высокотемпературный атлас параметров спектральных линий поглощения CO_2 с учетом всех изотопов CO_2 и экспериментальных данных по влиянию резонанса Ферми на интенсивность спектральных линий поглощения CO_2 . На рис. 3 представлено сравнение измеренных и вычисленных методом прямого интегрирования тонкой структуры спектров CO_2 . Индуцированное давлением поглощение CO_2 учтено по экспериментальным данным, полученным на описанном измерительном комплексе. Удовлетворительное согласие представленных спектров свидетельствует о при-

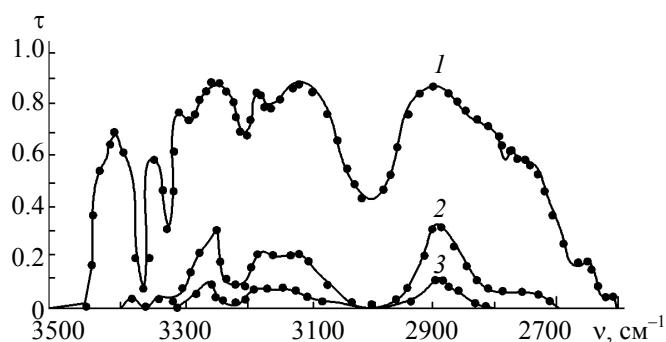


Рис. 3. Сравнение измеренных (линии) со средним разрешением $\Delta \approx 10 \text{ см}^{-1}$ и вычисленных по методу прямого интегрирования (точки) спектров поглощения углекислого газа в области $2600\text{—}3500 \text{ см}^{-1}$ при содержаниях $\omega_{\text{CO}_2} = 4 \cdot 10^4$ (1), $12 \cdot 10^4$ (2), $23 \cdot 10^4 \text{ атм} \cdot \text{см}$ (3) и давлениях $P_{\text{CO}_2} = 10$ (1), 30 (2), 35 атм (3)

менимости разработанной параметризации спектров поглощения газов для задач радиационного теплообмена. Коэффициенты непрерывного поглощения водяного пара представлены в [3] в условиях самоуширения и уширения азотом.

Рассматривая особенности межмолекулярных воздействий на спектры молекулярного поглощения, заметим, что для индуцированного давлением поглощения в спектрах разрешены P , R и Q -ветви. Поэтому для параллельных колебательно-вращательных полос, не имеющих Q -ветви при высоких давлениях уширяющего газа CO_2 , N_2 , этот запрет частично снимается и в колебательно-вращательных спектрах может появляться Q -ветвь, которая усиливается с ростом давления CO_2 и N_2 .

Заключение. Разработан измерительный комплекс для изучения спектров поглощения газовых сред при высоких давлениях. Комплекс испытан и применен для исследований индуцированного давлением поглощения и контуров спектральных линий поглощения, для измерений интегральных интенсивностей колебательно-вращательных полос поглощения различных ингредиентов атмосфер планет и изучения функций спектрального пропускания в структурно-неоднородных средах.

- [1] К. Я. Кондратьев, Н. И. Москаленко. Тепловое излучение планет, Ленинград, Гидрометеиздат (1977) 62—84
- [2] К. Я. Кондратьев, Н. И. Москаленко. Ключевые проблемы исследований планет солнечной системы (парниковый эффект атмосфер планет), Москва, ВИНТИ (1983) 3—156
- [3] Н. И. Москаленко, С. О. Мирумянц, Н. Ф. Локтев, Р. Ш. Мисбахов. Равновесные и неравновесные процессы излучения: высокотемпературные среды, радиационный теплообмен, Казань, КГЭУ (2014) 67—102
- [4] Н. И. Москаленко, С. А. Семенов, Р. С. Садыков, С. О. Мирумянц, Л. С. Семёнов. Журн. прикл. спектр., **32**, № 2 (1980) 377—381
- [5] Н. И. Москаленко, Ю. А. Ильин, Г. В. Каюнова. Журн. прикл. спектр., **56**, № 1 (1992) 122—127 [N. I. Moskalenko, Yu. A. P'in, G. V. Kayunova. JAS, **56**, N 1 (1992) 93—97]
- [6] Н. И. Москаленко, Ю. А. Ильин, Н. К. Покатило, С. А. Семенов, В. Т. Пушкин. Журн. прикл. спектр., **34**, № 3 (1981) 475—480 [N. I. Moskalenko, Yu. A. P'in, N. K. Pokotilo, S. A. Sementsov, V. T. Pushkin. JAS, **34**, N 3 (1981) 320—324]
- [7] Н. И. Москаленко, О. В. Зотов. Изв. АН СССР. ФАО, **4**, № 1 (1977) 488—498
- [8] Н. И. Москаленко. Изв. вузов СССР. Физика, № 9 (1974) 146—148
- [9] Н. И. Москаленко, Ю. А. Ильин, С. Н. Паржин, Л. В. Родионов. Изв. АН СССР. ФАО, **15**, № 9 (1979) 912—919
- [10] В. Н. Winters, S. Silverman, W. S. Benedict. J. Quant. Spectr. Rad. Transfer, **4**, N 4 (1964) 527—557
- [11] V. V. Fomin, S. F. Toorogov. Appl. Opt., **12**, N 3 (1973) 583—589