

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-2015 равен **0.510**,

Российский индекс научного цитирования ЖПС РИНЦ-2014 равен **0.377**.

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)

5

СЕНТЯБРЬ — ОКТЯБРЬ

2016

ТОМ 83

2016 5 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, ps, eps, 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, CHCl₃); 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.** J. Appl. Spectr., **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

Издается 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, № 5

СЕНТЯБРЬ—ОКТАБРЬ 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Вилейшикова Е. В., Лойко П. А., Рачковская Г. Е., Захаревич Г. Б., Юмашев К. В. Ур-конверсионная люминесценция оксифторидной стеклокерамики с нанокристаллами $\text{PbF}_2:(\text{Yb}^{3+}, \text{Eu}^{3+}, \text{RE}^{3+})$ (RE = Tm, Ho или Er).....	677
Gao G., Wang M., Cai T. Чувствительное детектирование метана методом абсорбционной спектроскопии с использованием перестраиваемого многомодового диодного лазера с длиной волны 1.675 мкм (англ.).....	686
Апанасевич П. А., Дашкевич В. И., Тимофеева Г. И. Зависимость порога и эффективности параметрической генерации света от параметров резонатора и накачки.....	692
Малинка А. В., Зеге Э. П., Кацев И. Л., Прихач А. С., Истомина Л. Учет влияния атмосферы при интерпретации данных спутниковых и наземных оптических измерений.....	698
Сидоров Н. В., Палатников М. Н., Яничев А. А., Титов Р. А., Теплякова Н. А. Структурный беспорядок кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{V}$ и его проявление в спектре комбинационного рассеяния света.....	707
Савастенко Н. А., Филатова И. И., Люшкевич В. А., Чубрик Н. И., Габдуллин М. Т., Рамазанов Т. С., Абдуллин Х. А., Калкозова В. А. Повышение активности фотокатализаторов на основе ZnO, обработанных в плазме высокочастотного разряда.....	715
Ануфрик С. С., Курьян Н. Н., Жукова И. И., Зноско К. Ф., Бельков М. В. Исследование химического состава глазурей керамических плиток.....	724
Оглобличев В. В., Севастьянов И. Г., Гавриленко А. Н., Матухин В. Л., Арапова И. Ю., Медведев Е. Ю., Гарькавый С. О., Шмидт Е. В. ЯМР-исследование полупроводникового минерала CuFeS_2 при низких температурах.....	731
Козадаев К. В., Леончик С. В., Новиков А. Г., Зинчук О. В., Баран Л. В. Лазерное осаждение ГКР-активных наноструктур серебра на поверхность кремния.....	736
Чучман М. П., Месарош Л. В., Шуайбов А. К., Кирис В. В., Тарасенко Н. В. Спектры излучения тлеющего разряда в воздухе с жидким электродом на основе дистиллированной воды.....	742
Yu Sh., Xiao X., Xu G. Устранение вклада рэлеевского и комбинационного рассеяния света в данные трехмерной флуоресцентной спектроскопии методом интерполяции Кригинга (англ.).....	747
Zhu J., Chen L., Hu W., Li J., Liu X. Исследование связывания <i>in vitro</i> каталпола с бычьим сывороточным альбумином с помощью спектроскопии и молекулярного моделирования (англ.)...	753
Chen Y. X., Chen M. W., Lin J. Y., Lai W. Q., Huang W., Chen H. Y., Weng G. X. Выявление острого инфаркта миокарда без биомаркеров по спектрам гигантского комбинационного рассеяния плазмы крови (англ.).....	760
Mendonça M. C. P., Soares E. S., de Jesus M. B., Ceragioli H. J., Sakane K. K., da Cruz-Höfling M. A. Спектроскопия комбинационного рассеяния как инструмент для определения состава ткани мозга после применения восстановленного оксида графена (англ.).....	767

Калинин А. В., Крашенинников В. Н., Свиридов А. П., Титов В. Н. Спектрометрия клинически значимых жирных кислот в ближнем инфракрасном диапазоне с применением многокомпонентной регрессии.....	773
Агеев Б. Г., Никифорова О. Ю. Оптико-акустическое определение концентрации углекислого газа в выдыхаемом воздухе при различных заболеваниях человека.....	782
Wang Y. Z., Dong W. Y., Kouba A. J. Быстрое распознавание видов бамбука с помощью спектроскопии в видимом/ближнем ИК диапазоне (англ.).....	788
Мейсурова А. Ф., Нотов А. А. Содержание металлов в лишайниках на особо охраняемых природных территориях, сопряженных с урбоэкосистемами	794
Веснин В. Л. Качественный анализ состава жидких углеводородных смесей по спектрам поглощения их паров.....	803
Сотский А. Б., Кривецкий К. Н., Парашков С. О., Сотская Л. И. Модель Лорентц-Лоренца в обратной задаче спектродетекции неоднородного слоя.....	809
Давиденко Н. А., Кокозей В. Н., Давиденко И. И., Бувайло Г. И., Маханькова В. Г., Студзинский С. Л. Фотопроводящие свойства пленочных композитов на основе поливинилбутирала и гетерометаллических комплексов Cu/Mo.....	818

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Кулакович О. С., Шабуня-Клячковская Е. В., Мацукович А. С., Троцюк Л. Л., Гапоненко С. В. Плазмонное усиление комбинационного рассеяния света для сэндвич-конфигурации системы аналит—металл	824
Третинников О. Н., Горбачев А. А., Перщукевич П. П. Синтез флуоресцентных нанокластеров серебра, иммобилизованных на пластиковых подложках, с помощью поверхностно-привитой полимерной матрицы-темплата	828
Москаленко Н. И., Мирумянц С. О., Паржин С. Н., Додов И. Р. Спектральные установки с криогенной светосильной многоходовой газовой кюветой для исследования поглощения излучения газовыми средами.....	832

АННОТАЦИИ АНГЛОЯЗЫЧНЫХ СТАТЕЙ

Shukla P., Kumar R., Kumar Rai A. Обнаружение минеральных веществ в зеленых листьях овощей с использованием лазерной искровой спектроскопии.....	837
Kumar Sahu A., Jain V. Использование метода спектродетекции видимого и ультрафиолетового диапазонов и кинетическая модель для выделения гедунина из липосомы, покрытой хитозаном.....	838
Carbajal Arizaga G. G., Doumer M. E., Álvarez Lucio G., Gómez Salazar S., Mangrich A. S., García Huerta A. Спектроскопические исследования донных отложений озера Чапала на западе Мексики.....	839
Latheef S. A. A., Chakravarthy G., Mallaiah D., Ramanadham M. Спектроскопический и численный анализ связывания белка с медными наночастицами.....	840
Hu H., Liu M., Chen T., Yao M., Huang L., Rao H. Определение меди в скорлупе консервированных яиц методом лазерной эмиссионной спектроскопии в сочетании с многомерной нелинейной регрессией.....	841
Merad L., Bourson P., Benyoucef B. Моделирование отвердевания эпоксидной смолы RTM6 методом спектроскопии комбинационного рассеяния.....	842

Ведущий редактор И. В. Дулевич

Сдано в набор 21.07.16. Подписано в печать 15.09.16. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 19,5. Уч.-изд. л. 21,0. Тираж 88 экз. Заказ № .

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.

**СПЕКТРАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ С КРИОГЕННОЙ СВЕТОСИЛЬНОЙ
МНОГОХОДОВОЙ ГАЗОВОЙ КЮВЕТОЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПОГЛОЩЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ГАЗОВЫМИ СРЕДАМИ**

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

УДК 535.33;535.34

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

(Поступила 8 февраля 2016)

Обсуждаются спектральные установки с криогенной светосильной многоходовой газовой кюветой МХК-6 для исследований спектров поглощения излучения газовыми средами при высоком спектральном разрешении в области 0.1—0.6 мкм при давлениях газовой среды в рабочей камере от 100 до $5 \cdot 10^6$ Па и температурах среды от 180 до 300 К. Рассматривается их применимость для измерения спектральных коэффициентов поглощения, температурной зависимости функции спектрального пропускания и параметров спектральных линий поглощения.

Ключевые слова: *спектр поглощения, спектральный коэффициент поглощения, функция спектрального пропускания, криогенная многоходовая газовая кювета.*

SPECTRAL INSTALLATIONS WITH CRYOGENIC HIGH-APERTURE MULTIPASS GAS CELLS FOR INVESTIGATING ABSORPTION OF RADIATION BY GASEOUS MEDIA

N. I. Moskalenko, S. O. Mirumyaynts, S. N. Parzhin, and I. R. Dodov* *(Kazan State Energetic University, 51 Krasnoselskaya Str., Kazan, 420000, Russia; e-mail: utisey@gmail.com)*

The spectral installations with the cryogenic high-aperture multipass gaseous cell MPC-6 are considered for investigating the spectra of radiation absorption by gaseous media at high spectral resolution in the spectral region of 0.1—6 μm at gas pressure in the working cell from 100 up to $5 \cdot 10^6$ Pa and temperatures of 180—300 K. Their application for measurements of the spectral absorption coefficients, temperature dependence of the spectral transmission function and parameters of spectral absorption lines is discussed.

Keywords: *absorption spectrum, spectral absorption coefficient, spectral transmission function, multipass gaseous cell.*

Решение многих прикладных задач, связанных с переносом излучения в атмосферах планет и радиационным теплообменом, требует сведений по температурным зависимостям функций спектрального пропускания оптически активных газовых компонентов в электронных и колебательно-вращательных полосах, параметрам спектральных линий поглощения и интегральным интенсивностям электронных, колебательно-вращательных полос и индуцированных давлением полос поглощения, обусловленного влиянием межмолекулярного взаимодействия на квадрупольный момент при столкновениях молекул [1—3]. Исследование в УФ области и особенно в области вакуумного ультрафиолета требует применения специальных источников излучения для спектральной градуировки и калибровки измеренных спектров и вакуумного исполнения всех модулей измерительных комплексов для ликвидации влияния атмосферного поглощения.

В настоящей работе рассматриваются измерительные спектральные установки высокого разрешения с криогенной светосильной многоходовой газовой кюветой в их составе, функционирующие в области 0.1—6 мкм. Они дополняют ранее разработанные комплексы спектральных установок [3—6], давая возможность выполнения исследований газовых сред при пониженных температурах и в диапазонах вакуумного и ближнего ультрафиолета, и могут быть применены для аналитических целей определения ингредиентного состава промышленных выбросов в атмосферу и ингредиентного состава технологических сред оптическими спектральными методами [7, 8].

Для экспериментальных исследований характеристик молекулярного поглощения газовых компонентов атмосферы при пониженных температурах разработаны две спектральные установки со светосильной кюветой МХК-6. Установки позволяют исследовать функции спектрального пропускания и параметры спектральных линий поглощения в диапазоне температур 180—300 К. Принцип действия установок основан на моделировании поглощения УФ, видимого и ИК излучений атмосферными газами при различных условиях распространения в реальной атмосфере. Многоходовая кювета позволяет моделировать разные температуры, общее и парциальное давления газовых составляющих атмосфер, концентрации поглощающих и уширяющих газов.

На рис. 1 приведена оптическая схема многоходовой кюветы при работе со спектрометрами СДЛ-1 и СДЛ-2. Радиация от источника излучения через входное окно 1 с помощью сферических зеркал 2, 3 осветительной части проектируется в плоскости входной диафрагмы многоходовой части кюветы. Пучок радиации после многократного прохождения между передним зеркалом 5 и задними зеркалами 4 и 4', расположенными на расстоянии $R_{\text{зеп}} = 0.5$ м от переднего зеркала и представляющими собой систему Уайта, фокусируется на выходной диафрагме МХК и зеркалами 6 и 7 через выходное окно 1' направляется на входную щель спектрометра. Входная и выходная диафрагмы МХК сменные и имеют размеры 6×15 мм, 2×15 мм, 1×15 мм. Толщина поглощающей среды может изменяться путем увеличения оптического пути за счет многократного прохождения луча радиации между тремя сферическими зеркалами 5, 4 и 4', что осуществляется устройством разворота задних зеркал относительно друг друга. Максимальная толщина исследуемой поглощающей среды 20 м. Оптическая часть кюветы монтируется на оптической скамье, помещенной в вакуумную камеру. Оптическая скамья изготовлена из инвара, имеющего малый коэффициент удельного теплового расширения.

Общий вид установки приведен на рис. 2. Вакуумная камера состоит из двух частей 1 и 2. Передняя часть 1 неподвижно закреплена на монтажном столе, а задняя 2 может откатываться на рельсах, что обеспечивает свободный доступ к оптической части кюветы. Соединение двух частей кюветы осуществляется с помощью болтов, герметизация обеспечивается алюминиевыми прокладками. С торца части 2 кюветы на днище крепится технологическая крышка, на которой установлены предохранительный клапан 4, механизмы разворота задних зеркал 3 и смотровое окно 5. Для контроля состояния исследуемой среды кювета снабжена стрелочными вакуумметром 6, манометром 7 и ртутным манометром. Рабочее давление в кювете может меняться от 13 до $5 \cdot 10^5$ Па. Откачка и напуск газов осуществляются с помощью вакуумного насоса НВР-16Д и вакуумно-дозировочной системы.

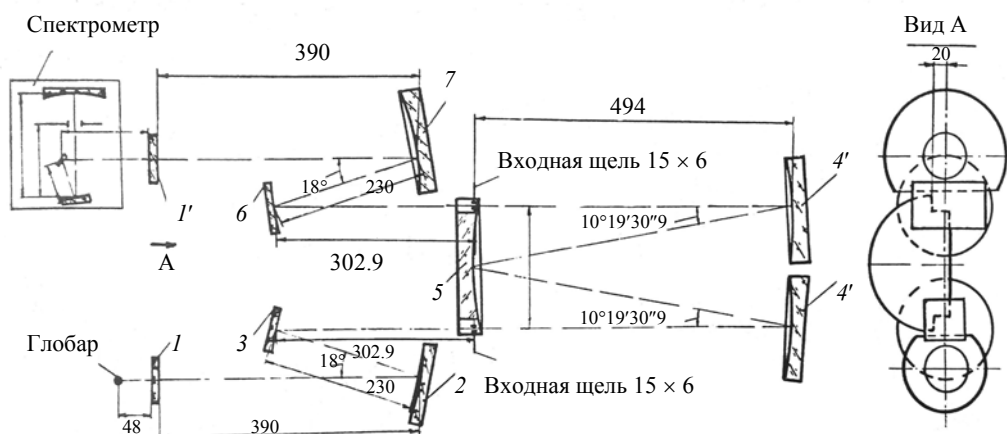


Рис. 1. Оптическая схема многоходовой кюветы МХК-6

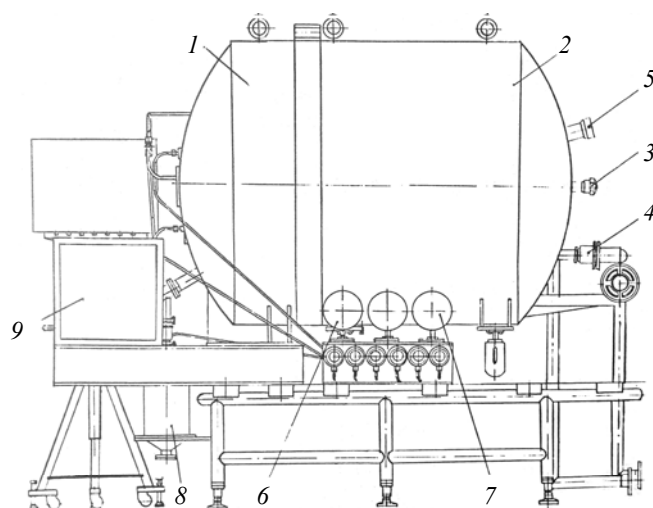


Рис. 2. Общий вид криогенной установки с МХК-6

Для измерения температуры внутри кюветы на плите оптической скамьи наклеены датчики температуры типа ИС-568, выводы которых через герметичные разъемы подсоединены к цифровому омметру Щ-34. Для охлаждения рабочей полости кюветы используется холодильник, опоясывающий корпус МХК и выполненный из алюминиевых труб, имеющих защитные экраны и системы трубопроводов, по которым прогоняется жидкий азот. Вход и выход трубопровода из кюветы уплотнены фторопластовыми шевронными манжетами. Жидкий азот поступает из транспортного резервуара ТРЖК-2У емкостью 900 л через гибкий трубопровод и запорный вентиль. Проходя по трубопроводу холодильника, жидкий азот испаряется и его пары через верхнюю часть холодильника по трубе выводятся в атмосферу. Криогенная часть является составной частью многоходовой газовой кюветы и предназначена для охлаждения газовых компонентов атмосфер при спектроскопических измерениях. Термостатирование криогенной кюветы осуществляется с помощью пенопластового теплоизолятора. Оптическая связь кюветы со спектральными приборами устанавливается через двойные защитные окна, разделенные воздушным промежутком. Для поддержания постоянного вакуума во входном и выходном узлах окон во время работы с целью исключения запотевания защитных окон в установке предусмотрен форбаллон 8. В зависимости от спектральной области исследований используются сменные входные и выходные защитные окна, изготовленные из кварца, BaF_2 , CaF_2 , LiF , MgF_2 . Спектральные установки с МХК-6 являются светосильными и работают с двумя разными спектрометрами.

Одна криогенная кювета состыкована со светосильными спектрометрами СДЛ-1 и СДЛ-2, которые обеспечивают выполнение исследований в спектральной области 0,2—6 мкм. Монохроматор спектрометра СДЛ-1 — двойной. Фокусное расстояние зеркальных параболических объективов 500 мм, относительное отверстие 1:3. Для диспергирования излучения в рабочем диапазоне спектро-

метра 0.2—6.0 мкм используются четыре пары сменных дифракционных решеток: 1200, 600, 300 и 100 штр/мм. Все решетки работают в первом порядке. Параметры сменных дифракционных решеток выбраны таким образом, чтобы в любой точке рабочего диапазона спектра обеспечивалось отражение ≥ 40 —50 % от энергии в максимуме источника излучения.

Фотоэлектронные умножители ФЭУ-39А (ФЭУ-100) и ФЭУ-62, работающие в спектральной области 0.2—1.2 мкм, устанавливаются поочередно. Для согласования оптической части МХК-6 спектральной установки со спектрометром используются разработанные вакуумные согласующие оптические приставки. Визуальное отображение регистрируемых спектров поглощения осуществляется самописцем 9.

Вторая спектральная установка с криогенной кюветой МХК-6 предназначена для выполнения исследований в спектральной области 0.11—1 мкм. На рис. 3 представлена оптическая схема криогенной установки в компоновке с модернизированным монохроматором ИКМ-731. Осветитель I состоит из источника излучения 1 и трех зеркал 2, 3 и 4, с помощью которых изображение источника фокусируется в фокальной плоскости сферического зеркала 7 приемной части криогенной кюветы. Затем излучение, прошедшее через многоходовую светосильную криогенную кювету II и оптическую приставку III, фокусируется в плоскости входной щели монохроматора ИКМ-731 IV. Поворотным зеркалом 18 и сферическим зеркалом 17, в фокусе которого находится входная щель монохроматора, излучение направляется на дифракционную решетку 16. После дифракции пучок параллельных лучей собирается сферическим зеркалом 17 и направляется поворотным зеркалом 19 на выходную щель монохроматора, установленную в фокальной плоскости выходного сферического зеркала 17. В приемной камере V торическим зеркалом 21 излучение фокусируется на приемную площадку ФЭУ 23 модуля VI. Для согласования криогенной многоходовой газовой кюветы с монохроматором ИКМ-731 используются вакуумные оптические приставки. Вакуумные оптические приставки, осветители и монохроматор откачиваются вакуумным насосом 2НВР-5ДМ и вакуумным агрегатом ЦВА1-2. Измерение вакуума проводится газоразрядными деформационными манометрами ВДГ-1 и ВИТ-2 с термомпарными и манометрическими лампами. Сферические зеркала 8 и 9 обеспечивают реализацию многократного прохождения излучения в МХК-6; 6, 7 и 11, 12 — зеркала входной и выходной согласующих оптических приставок МХК-6; 14 и 15 — зеркала оптической приставки для согласования монохроматора ИКМ-731 с МХК-6; 5, 13, 20, 22 — сменные входные и выходные защитные окна модулей I—IV установки; 10 — выходная диафрагма МХК.

Спектральная градуировка измеренных спектров поглощения выполняется по линиям излучения водорода дуговых ламп с окнами из фтористого бария ВМФ-25П и ЛД2-Д в области 120—170 нм и по линиям излучения ртути и гелия, генерируемым дуговой лампой ДРГС-12 в области 0.2—0.4 мкм. Калибровка спектров поглощения в видимом и ИК диапазонах может быть выполнена по положению линий поглощения SO_2 , NO_2 , CO , HCl , NO , паров H_2O . На рис. 4 приведен пример УФ спектра поглощения SO_2 , зарегистрированного с помощью спектральной измерительной установки с криогенной многоходовой кюветой в компоновке со спектрометром СДЛ-1.

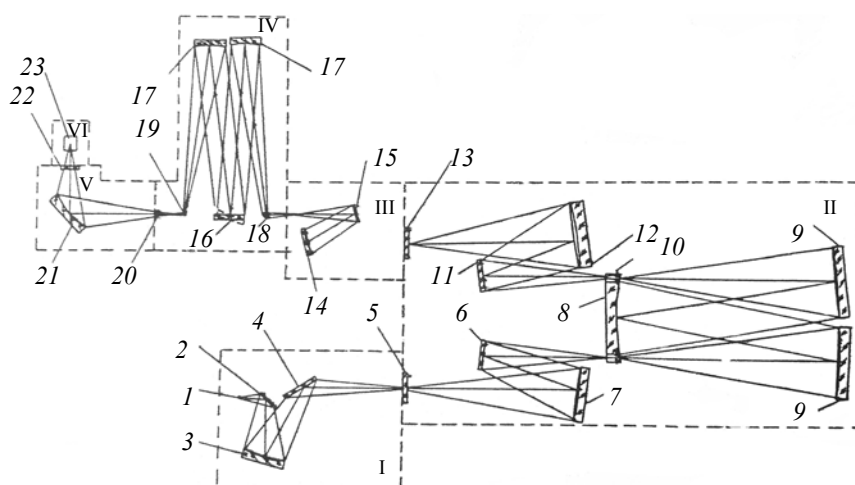


Рис. 3. Оптическая схема спектральной установки с криогенной многоходовой газовой кюветой в компоновке с модернизированным монохроматором ИКМ-731

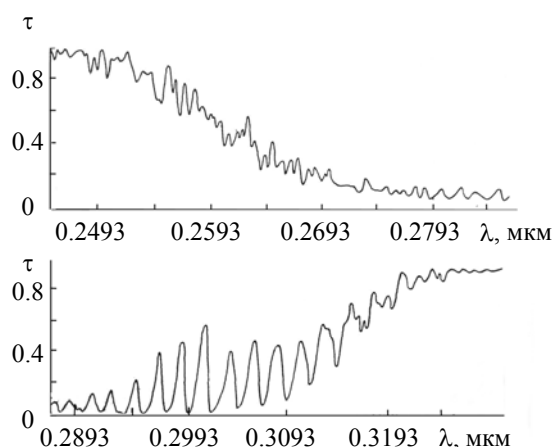


Рис. 4. Поглощение SO_2 в УФ диапазоне спектра 0.245—0.329 мкм; парциальное давление $P_{\text{SO}_2} = 50$ Па, оптический путь $L = 200$ см

Таким образом, разработаны, изготовлены и испытаны спектральные измерительные комплексы высокого разрешения со светосильной криогенной многоходовой газовой кюветой МХК-6 в компоновках со спектрометрами СДЛ-1 и СДЛ-2 и модернизированным монохроматором ИКМ-731. Измерительные установки обеспечивают выполнение с высоким спектральным разрешением $\Delta = 0.05\text{—}0.1$ см^{-1} исследований спектров поглощения газовых сред в области 0.1—0.6 мкм при температурах 180—300 К в диапазоне давлений 0.001—50 атм. Измерительные комплексы имеют полное метрологическое обеспечение измеряемых характеристик.

- [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, изд-во 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. Каюмова.** Журн. прикл. спектр., **56**, № 1 (1992) 122—127
- [6] **N. I. Moskalenko, Yu. A. Il'in, G. V. Kayumova.** J. Appl. Spectrosc., **56**, N 1 (1992) 93—97
- [7] **Н. И. Москаленко, Я. С. Сафиуллина.** Изв. вузов. Проблемы энергетики, № 11-12 (2009) 22—32
- [8] **Н. И. Москаленко, Я. С. Сафиуллина, М. С. Садыкова, Н. Ф. Локтев.** Альтернативная энергетика и экология, № 6 (2009) 89—98
- [9] **Н. И. Москаленко, Я. С. Сафиуллина, М. С. Садыкова, Н. Ф. Локтев.** Альтернативная энергетика и экология, № 2 (2010) 43—54
- [9] **Л. П. Шишацкая.** Опт.-мех. пром-ть, № 9 (1984) 54—59
- [10] **В. М. Тайт, Р. В. Шацкая.** Атлас многолинейчатого спектра молекулярного водорода, Таллин, Изд. АН ЭССР (1981) 3—79