

С.Ф. Лукьяненко, Т.И. Новаковская, И.Н. Потапкин

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА ПОГЛОЩЕНИЯ ПАРОВ H_2O В ОБЛАСТИ 270—330 НМ

В области 270—330 нм с помощью перестраиваемого лазера с шириной 0,03 нм и многоходовой кюветы исследовано длинноволновое крыло полосы поглощения H_2O , определены абсолютные значения коэффициентов поглощения.

Одним из перспективных направлений развития лазерного зондирования малых газовых примесей атмосферы является, как известно, освоение солнечно-слепого диапазона длин волн (250—320 нм). В связи с этим весьма важное значение имеет не только достаточно точное знание спектров излучения (поглощения) искомым газовых компонент, но и изучение структуры и параметров оптически активных помех, возникающих под действием лазерной накачки [1].

Обычно считалось, что в ближнем ультрафиолете отсутствует заметное поглощение (излучение) атмосферных паров воды, возбуждаемых в однофотонном процессе [1]. Однако в лидарных экспериментах с KrF^* -лазером в [2] в области 280—400 нм была обнаружена широкая полоса флуоресценции, интерпретированная в [2] как полоса флуоресценции H_2O . Затем в [3] было установлено, что флуоресценции в этой области соответствует широкая полоса поглощения паров воды в районе $\lambda < 320$ нм. В работе [4] методом спектроскопии возбуждения было детально исследовано длинноволновое крыло новой полосы поглощения H_2O и установлена ее диффузная структура.

Настоящая работа посвящена прямому определению спектра поглощения обнаруженной в [2—3] спектральной полосы паров воды с помощью узкополосного перестраиваемого лазера и многоходовой газовой кюветы.

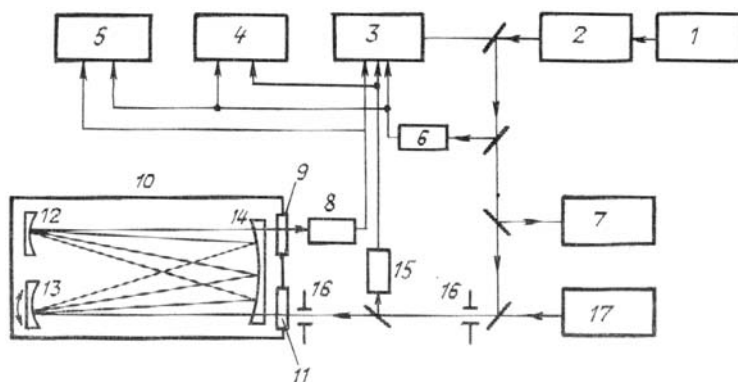


Рис. 1. Принципиальная схема установки

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Удвоенное по частоте излучение лазера на красителях 2, накачиваемого 2-й гармоникой АИГ-лазера 1, направлялось через диафрагмы 16 и кварцевые окна 9, 11 в многоходовую кювету 10 с базой 2,2 м. Кювета была снабжена оптической системой Уайта, состоящей из 3-х покрытых алюминием зеркал 12—14 с одинаковыми радиусами кривизны (~2 м). Поворотом одного из зеркал системы 13 обеспечивалось изменение набега оптического пути в кювете L_n от 8 до 160 м.

Импульсы излучения лазера (длительностью — 20 нс) на входе и выходе кюветы (соответственно опорный I_0 и исследуемый I каналы) регистрировались фотоэлектронными умножителями ФЭУ-100 15, 8, наблюдались на двухлучевом осциллографе С1-74 3, выделялись и регистрировались двумя стробоскопическими цифровыми вольтметрами В9-5 4, 5 с шириной стробов ~ 4 нс. Запуск осциллографа 3 и вольтметров 4, 5 осуществлялся импульсами с 3-го ФЭУ 6. Юстировка многоходовой кюветы осуществлялась с помощью He—Ne-лазера 17. Длина оптического пути луча в кювете L_n определялась по числу отражений излучения этого лазера на зеркале-коллективе 14 и контролировалась по времени задержки опорного I_0 и исследуемого I сигналов на осциллографе 3. В наших экспериментах значение L_n обычно составляло $L_n = 104$ м.

Для измерения длины волны излучения жидкостного лазера использовался малогабаритный дифракционный монохроматор МУМ 7 с фотоэлектронным регистратором, шкала длин волн которого была предварительно привязана к линиям излучения ртутной лампы. При ширине входной и выходной щелей монохроматора 0,05 мм абсолютная погрешность определения длины волны не превышала

0,2 нм. Лазер работал с частотой повторения 12,5 Гц и энергией в импульсе 10–15 мкДж. Использование двух красителей (родамин 6Ж и 6-аминофеналенон) позволило обеспечить спектральный диапазон работы 270–330 нм. Ширина линии излучения $\delta\lambda$, измеренная с помощью эталона Фабри–Перо, не превышала 0,03 нм.

Методика эксперимента была следующей. Перед каждым измерением коэффициента поглощения проводилась откачка кюветы 10 до давления $\sim 10^{-2}$ Торр, и подбором напряжений ФЭУ 8, 15 выравнивались значения регистрируемых опорного I_0 и исследуемого I сигналов ($I/I_0 \sim 1$). После этого делалась выборка значений I/I_0 по 15–20 реализациям, определялось их среднее значение $\langle I/I_0 \rangle_0$ и дисперсия σ_{I/I_0}^0 . Затем после напуска паров H_2O определялись соответствующие значения $\langle I/I_0 \rangle_{H_2O}$ и $\sigma_{I/I_0}^{H_2O}$. Коэффициент поглощения K вычислялся по формуле

$$K = [\ln \langle I/I_0 \rangle_{H_2O} - \ln \langle I/I_0 \rangle_0] / L_{\text{п}}.$$

Дисперсии отношений интенсивностей опорного сигнала к исследуемому σ_{I/I_0}^0 , $\sigma_{I/I_0}^{H_2O}$ в экспериментах не превышали 2–3%. При этом погрешность определения K варьировалась в пределах 10–50% в зависимости от величины коэффициента поглощения.

Перед исследованием спектра поглощения H_2O были проведены методические эксперименты, связанные с возможным влиянием на показания ФЭУ отклонения луча на выходе кюветы, которое могло бы иметь место при напуске газа (за счет изменения коэффициента преломления), а также с вариациями пропускания кюветы, обусловленными изменениями коэффициентов отражения ее зеркал за счет осаждения на них молекул H_2O . Измерения отношений $\langle I/I_0 \rangle$ в зависимости от давления напускаемого в кювету осушенного газообразного азота (при фиксированной длине волны λ) показали, что, по крайней мере, до давления $N_2 - P_{N_2} \sim 400$ Торр значения $\langle I/I_0 \rangle_{N_2}$ были стабильны в пределах погрешности эксперимента. На рис. 2 показана зависимость коэффициента поглощения H_2O на длине $\lambda = 277,8$ нм, приведенного к единице давления ($\tilde{K} = K/P_{H_2O}$), от общего давления паров воды P_{H_2O} в кювете и температуры окружающей среды $T \sim 21^\circ\text{C}$. Эти эксперименты показали, что, по крайней мере, до значения $P_{H_2O} \leq 12$ Торр величина \tilde{K} остается практически неизменной (т. е. коэффициент поглощения паров воды линейно растет с увеличением давления P_{H_2O}). При $P_{H_2O} \geq 15$ Торр значение приведенного коэффициента поглощения (за счет роста коэффициента отражения зеркал) уменьшалось. В дальнейшем исследования спектра поглощения паров воды велись при $P_{H_2O} = 10$ Торр.

Измеренные в диапазоне 270–330 нм значения коэффициента поглощения $K(\lambda)$ приведены на рис. 3 а. Как и в [4], максимальный коэффициент поглощения наблюдался при $\lambda = 270$ нм и имел величину $K_{270} = (3 \pm 0,4) \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-1}$.

Нижняя граница коэффициента поглощения при $\lambda = 270$ нм, оцененная в [3] по данным флуоресценции H_2O (в предположении 100%-ного квантового выхода флуоресценции η), составляла 10^{-6} см^{-1} (концентрация молекул $N_{H_2O} \sim 4 \cdot 10^{-17} \text{ см}^{-3}$).

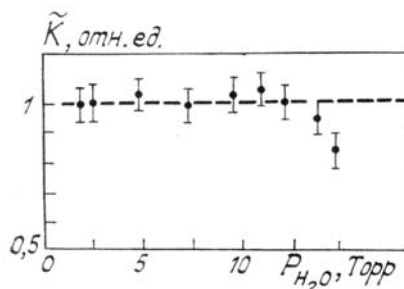


Рис. 2. Зависимость нормированного коэффициента поглощения H_2O на длине $\lambda = 277,8$ нм ($\tilde{K} = K/P_{H_2O}$) от общего давления паров воды P_{H_2O} ; $T = 21^\circ\text{C}$; $L_{\text{п}} = 104$ м

Сопоставление этой величины с нашими данными позволило определить реальное значение квантового выхода флуоресценции H_2O на длине накачки $\lambda = 270$ нм, которое оказалось равным $\eta_{270} \sim 0,03$.

На рис. 3 б наши результаты (в нормированном виде) показаны в сравнении с данными исследования функции возбуждения паров H_2O $K_{\text{в}}$ [3, 4]. Как видно, все результаты качественно совпадают между собой, тем не менее наблюдается некоторое отличие (особенно в области $\lambda \geq 300$ нм) по формам контуров полос поглощения и возбуждения.

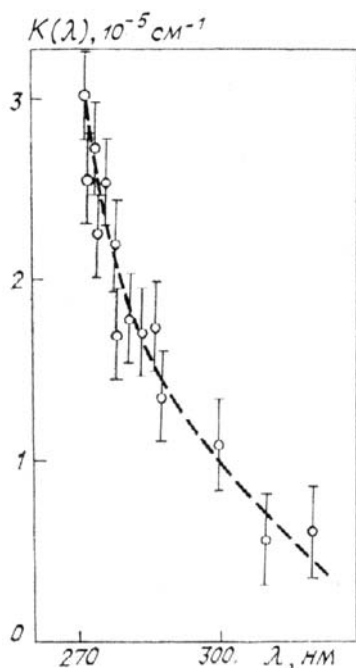


Рис. 3,а. Значения коэффициента поглощения при $P_{\text{H}_2\text{O}} = 10$ Торр в диапазоне длин волн $\lambda \in [270, 330]$ нм; $L_{\text{п}} = 104$ м; $T = 21^\circ\text{C}$

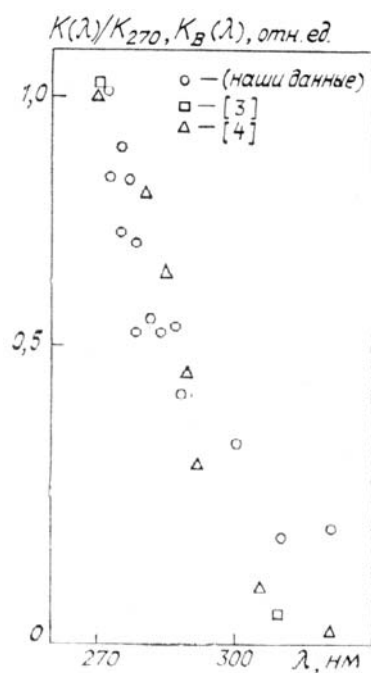


Рис. 3,б. Сравнение полученных данных по поглощению (в нормированном виде $K(\lambda)/K_{270}$) с результатами исследования функции возбуждения паров H_2O в [3, 4] ($K_{\text{в}}(\lambda)$)

Полученные данные по абсолютным значениям коэффициентов поглощения H_2O позволяют оценить пропускание парами воды УФ-радиации F . Если принять давление H_2O в нижней атмосфере равным ~ 10 Торр, а эффективную толщину вертикального столба паров воды $L_{\text{п}} \sim 3-5$ км, то для $\lambda = 270$ нм $F_{\text{H}_2\text{O}}$ равно $\sim 10^{-4}-10^{-7}$. Несмотря на то что в этой области спектра степень ослабления света озоном обычно значительно выше ($F_{\text{O}_3} \sim 10^{-18}$), в ряде случаев, по-видимому, определенное влияние на УФ-радиацию может оказывать и H_2O .

В заключение авторы приносят благодарность В.М. Климкину и В.Н. Федорищеву за полезные обсуждения.

1. Межерис Р. Лазерное, дистанционное зондирование. М.: Мир, 1987. 55 с.
2. Климкин В.М., Федорищев В.И. //Оптика атмосферы. 1988. Т. 1. № 7. С. 26-30. //Оптика атмосферы. 1988. Т. 1. № 8. С. 72-76.
3. Климкин В.М., Федорищев В.Н. //Оптика атмосферы. 1989. Т. 2. № 1. С. 220-221.
4. Климкин В.М., Лукьяненко С.Ф., Потапкин И.Н., Федорищев В.Н. //Оптика атмосферы. 1989. Т. 2. № 3. С. 322-323.

Институт оптики атмосферы СО АН СССР,
Томск

Поступила в редакцию
17 апреля 1989 г.

S.F. Lukjyanenko, T.I. Novakovskaya, I.V. Potapkin. Investigation of the H_2O -vapor Absorption Spectra in the Region 270 to 330 nm.

Long wave wing of the H_2O absorption band is investigated in the region 270 to 330 nm using a tunable narrow band (F . WNM = 0,03 nm) laser and a multipass cell. Absolute values of the absorption coefficients are determined.