

В.М. Климкин, П.Д. Колбычева

ИССЛЕДОВАНИЕ АБСОРБЦИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРА НА ПАРАХ КАЛЬЦИЯ ПАРАМИ ВОДЫ

Экспериментально измерен коэффициент поглощения в атмосфере водяными парами излучения лазера на парах кальция с длиной волны 5,54 мкм. Определена зависимость коэффициента поглощения излучения лазера от температуры и влажности в атмосфере. Проведена перестройка частоты излучения лазера на $0,09 \text{ см}^{-1}$ и получена зависимость коэффициента поглощения от частоты излучения лазера. Лазер на парах кальция предложен для измерения влажности в атмосфере.

Введение

Измерение содержания водяного пара является одной из часто встречающихся задач в технологических процессах и традиционной задачей метеорологии. Абсорбция парами воды инфракрасного излучения позволяет создать измерители влажности, решающие задачи дистанционной регистрации влажности в труднодоступных и удаленных объемах, а также измерения влажности с разрешением во времени и в пространстве.

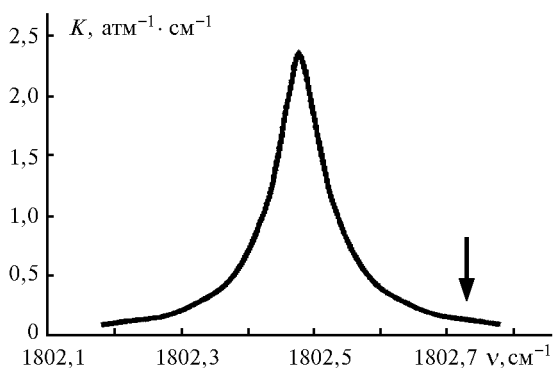


Рис. 1

Известно, что наиболее интенсивной и широкой полосой поглощения водяного пара является основная полоса с центром около 6,3 мкм. В вертикальном столбе атмосферы эта полоса полностью поглощает излучение Солнца в диапазоне 5,5÷7,5 мкм. Излучение импульсных и непрерывных лазеров в указанном диапазоне оптических волн может быть использовано для измерения влажности с высокой чувствительностью. В перечне известных лазерных переходов особенно привлекательны лазеры на парах кальция и стронция с длиной волны 5,54 (частотой $1802,73 \text{ см}^{-1}$) и 6,45 мкм соответственно. Из [4] был вычислен контур линии поглощения паров воды с центром $1802,48 \text{ см}^{-1}$, который представлен на рис. 1 (стрелкой показано положение линии излучения лазера на

парах кальция), и определено, что вклад в поглощение слабой линией с центром $1802,54 \text{ см}^{-1}$ на три порядка меньше, т.е. линию $1802,48 \text{ см}^{-1}$ можно считать практически одиночной.

Преимуществами лазеров на парах кальция и стронция являются высокие энергетические параметры [1,2] и возможность получения как импульсной, так и непрерывной генерации [1–3].

В настоящей статье, являющейся продолжением ранее опубликованных [3, 5], сообщаются результаты исследований абсорбции излучения лазера на парах кальция парами воды, в том числе при перестройке частоты излучения лазера магнитным полем.

Экспериментальные установки и полученные результаты

Нами были созданы две экспериментальные установки: первая — для определения коэффициента поглощения на частоте $1802,73 \text{ см}^{-1}$, где использовался многомодовый неперестраиваемый по частоте лазер на парах кальция, и вторая — когда одномодовый одночастотный лазер перестраивался по частоте с помощью магнитного поля.

Установка для определения коэффициента поглощения парами воды излучения лазера с частотой $1802,73 \text{ см}^{-1}$ включала: лазер на парах кальция с длиной резонатора 1 м и газоразрядной трубкой, которая заполнялась смесью He + H₂ и стружкой металлического кальция [3]; делительную пластинку из фтористого бария; измерительную кювету диаметром 20 мм и длиной 1000 мм, помещенную внутрь нагревательной печи; два идентичных пироприемника.

Излучение лазера с помощью пластинки разделялось, отраженный луч был опорным, а прошедший через пластинку и кювету — измерительным. Регистрация излучения осуществлялась идентичными пироприемниками, сигналы с которых подавались на измерительный усилитель. Калибровка пироприемников осуществлялась после продувки сухим аргонным кюветы без окон. Затем дно кюветы заполнялось

водой, а излучение проходило над поверхностью воды. Измерения проводились через несколько минут после заполнения кюветы водой, когда в соответствии с [6] можно считать, что наступило термодинамическое равновесие и влажность близка к 100 % при комнатной температуре и атмосферном давлении. По закону Бугера определялся коэффициент поглощения на единицу парциального давления водяного пара и единицу длины. При температуре 20°C, атмосферном давлении и 100 % влажности коэффициент поглощения на длине волны 5,54 мкм оказался равным $0,13 \pm 0,02 \text{ атм}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$.

Была измерена зависимость коэффициента поглощения от температуры в кювете. При подогреве кюветы повышалась как температура, так и концентрация водяных паров при общем атмосферном давлении и 100% влажности, которая обеспечивалась ожиданием термодинамического равновесия при каждом измерении.

На рис. 2 представлена зависимость коэффициента поглощения (K , $\text{атм}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$) лазерного излучения от парциального давления водяного пара (P_w , атм) и температуры (t , °C) одновременно при общем атмосферном давлении. Область изменения коэффициента поглощения в разных сериях измерений для каждого данного значения температуры и парциального давления паров воды выполнена в виде закрашенных прямоугольников. Увеличение коэффициента поглощения связано как с увеличением заселенности нижнего уровня [4] с ростом температуры, так и с усилением эффектов межмолекулярного взаимодействия при повышении концентрации водяного пара.

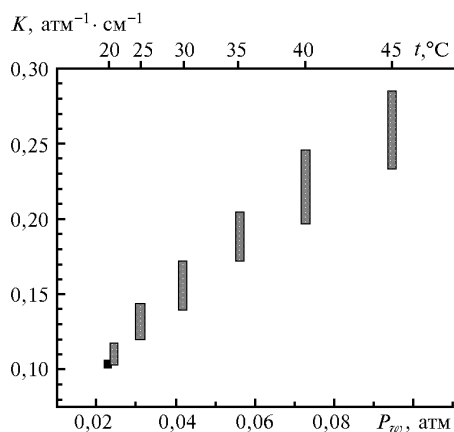


Рис. 2

Таким образом, в случае использования лазера на парах кальция для измерения влажности в атмосфере необходимо предварительно в лабораторных условиях промерить коэффициенты поглощения для разных температур при одной концентрации паров воды и для разных концентраций паров воды при одной температуре.

Экспериментальная установка для измерения зависимости коэффициента поглощения водяным

паром от частоты излучения лазера на парах кальция включала: лазер внутри соленоида, четвертьволновую ($\lambda/4$) пластинку из слюды, поляризатор (пластинка из германия под углом Брюстера), делительную пластинку из фтористого бария, испытательную кювету для паров воды, два пироприемника, осциллограф. В этом случае использовался одномодовый одночастотный лазер с длиной резонатора 200 мм и газоразрядной трубкой длиной 15 мм с окнами, перпендикулярными оси трубки. «Глухое» зеркало резонатора было закреплено на пьезокерамике с возможностью изменения длины резонатора на 4,5 мкм при подаче напряжения на пьезокерамику от 0 до 900 В.

Излучение лазера, помещенного в магнитное поле, с помощью $\lambda/4$ -пластинки и поляроида разделялось на σ^+ и σ^- -компоненты. В дальнейшем использовалась только одна компонента. Далее часть излучения отражалась от делительной пластинки, направлялась на пироприемник, сигнал с которого подавался на вертикальное усиление одного луча осциллографа и являлся опорным. Остальное излучение проходило через измерительную кювету на пироприемник и далее – на вертикальный усилитель второго луча осциллографа. На развертку обоих лучей подавалось напряжение, синхронное напряжению на пьезокерамике, изменяющей длину резонатора лазера. При измерениях длина резонатора подстраивалась вслед за смещаемой магнитным полем линией усиления лазера. Подробнее методика получения перестраиваемого по частоте с помощью магнитного поля излучения лазера на парах кальция изложена в [5].

Пропускание определялось как отношение интенсивностей излучения после продувки сухим аргонном кюветы и кюветы с водяными парами при 100%-й влажности и температуре 22 °C. По закону Бугера определялся коэффициент поглощения.

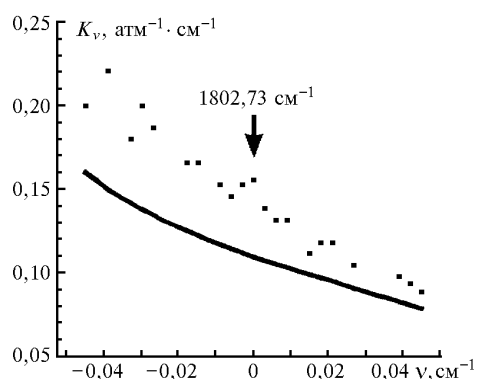


Рис. 3

На рис. 3 точками представлена полученная зависимость коэффициента поглощения (K_v , $\text{атм}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$) от частоты (ν , см^{-1}) излучения лазера. Стрелка соответствует неперестроенной линии излучения лазера. По оси x влево и вправо отложена величина перестройки частоты. Сплошной кривой обозначена эта же зави-

симось, рассчитанная по дисперсионной формуле для одиночной линии с центром $1802,48 \text{ см}^{-1}$ и интенсивностью $536,999 \text{ см}^{-1}/(\text{г} \cdot \text{см}^{-2})$ [4] для участка кривой от $1802,685$ до $1802,775 \text{ см}^{-1}$.

Из рис. 3 следует, что при перестройке частоты излучения на $0,09 \text{ см}^{-1}$ коэффициент поглощения изменяется почти в два раза и его спектральный ход хорошо соответствует одиночной лоренцевской линии поглощения. В случае сдвига экспериментальных точек на $0,03 \text{ см}^{-1}$ к центру линии поглощения экспериментальные точки идеально ложатся на расчетную кривую.

Заклучение

Таким образом, измерено поглощение излучения лазера на парах кальция парами воды. Определе-

на зависимость коэффициента поглощения излучения лазера от температуры и концентрации паров воды в кювете при общем атмосферном давлении. Получена частотная зависимость коэффициента поглощения парами воды излучения лазера на парах кальция в области $1802,685 - 1802,775 \text{ см}^{-1}$.

1. *Walter W.T., Solimene N., Piltch M. Gould G.* // IEEE J. Quantum Electron. 1966. V. QE-2. P. 474.
2. *Солдатов А.Н., Соломонов В.И.* Газоразрядные лазеры на самоограниченных переходах в парах металлов. Новосибирск: Наука, 1985. 149 с.
3. *Климкин В.М., Прокопьев В.Е., Монастырев С.С.* // Письма в ЖЭТФ. 1974. Т. 20. № 4. С. 251–253.
4. *Benedict N.S., Calfee R.F.* Line Parameters for the 1.9 and 6.3 μm Water Vapor Bands. ESSA. Prof. Paper. 1967.
5. *Климкин В.М., Колбычева П.Д.* Перестраиваемый одночастотный кальций-водородный лазер с длиной волны $5,54 \text{ мкм}$ // Квантовая электроника. 1977. Т. 4. № 8. С. 1818–1821.
6. *Яворский Б.М. и Детлаф А.А.* Справочник по физике. М.: Наука. 260 с.

Институт оптики атмосферы СО РАН,
Томск

Поступила в редакцию
8 июня 1998 г.

V.M. Klimkin, P.D. Kolbycheva. An Investigation of an Absorbtion of the Calcium Vapors Laser Radiation by Water Vapors.

The coefficient of absorbtion in atmosphere of the calcium vapors laser radiation with wavelength at $5.54 \mu\text{m}$ by water vapors is measured. The dependence of the absorption coefficient on the atmospheric temperature and humidity is determined. The detuning of the radiation frequency in region 0.09 cm^{-1} is carried out and the dependence of the absorption coefficient on the frequency of the laser radiation is obtained. The calcium vapors laser is offered for humidity measuring in the atmosphere.