

## НАБЛЮДЕНИЕ ВКР В ВОЛНОВОДЕ, НАВЕДЕННОМ ПРИ КОЛЕБАТЕЛЬНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ МОЛЕКУЛ ВОДОРОДА

Ю.А.Ильинский, Г.М.Михеев<sup>1)</sup>

МГУ им. М.В.Ломоносова, физ. фак.  
119899, Москва

<sup>1)</sup>Физико-технический институт УрО АН СССР  
426001, Ижевск

Поступила в редакцию 14 марта 1991 г.

В данной работе экспериментально обнаружено конусное излучение стоксовой волны, которое объясняется возбуждением вынужденного комбинационного рассеяния света (ВКР) в волноводе, наведенном при колебательном возбуждении молекул водорода.

Известно, что при ВКР в водороде на колебательном переходе  $Q_{01}(1)$  происходит эффективное заселение верхнего уровня<sup>1</sup>. При этом показатель преломления среды  $n_0$  возрастает на некоторую величину  $\Delta n$ <sup>2</sup>.

Если предположить, что ВКР развивается в объеме в виде тонкого и достаточно длинного цилиндра, то этот цилиндр представляет собой световод, с показателем преломления сердцевины и оболочки равными  $n_0 + \Delta n$  и  $n_0$  соответственно. В этом случае в поле направленной накачки кроме стоксовой волны, распространяющейся в осевом направлении, будут усиливаться и лучи стоксовой компоненты под заметными углами к оси световода, для которых выполняется условие волноводного распространения. В результате этого в угловом спектре стокаса излучения ВКР помимо пятна, соответствующего осевой компоненте, будет наблюдаться яркое кольцо диаметром  $D = 2\alpha F_2$ , где  $F_2$  - фокусное расстояние линзы-анализатора углового спектра  $\alpha \approx \sqrt{2\Delta n}$  - угол, соответствующий предельному углу полного отражения в световоде относительно пучка лазера.

Очевидно, что для наблюдения ВКР в волноводе из возбужденных молекул необходимо, чтобы угловой спектр сфокусированной накачки был меньше  $2\alpha$ , т.е. выполнялось следующее соотношение:  $a/F_1 < 2\alpha$ , где  $a$  - диаметр лазерного пучка на входе кюветы с водородом,  $F_1$  - фокусное расстояние фокусирующей линзы. Кроме этого проведение чистого эксперимента возможно только при достаточно низких давлениях газа ( $P < 10$  атм), когда углы рассеяния высших стоксовых и антистоксовых компонент ВКР, удовлетворяющие условиям линейного синхронизма<sup>3</sup>, принимают пренебрежимо малые значения по сравнению с величиной расходимости лазерной накачки на выходе кюветы. В этом случае, даже при одночастотной накачке, будет подавлено обратное ВКР, уносящее значительную часть энергии лазера и усложняющее интерпретацию результатов эксперимента. Необходимо также учитывать, что для заданной энергии лазерного импульса, меньшей плотности газа соответствует большая доля возбужденных молекул на большей длине нелинейного взаимодействия. Все это означает, что эффект проявления наведенного волновода при ВКР будет существенным при более низких давлениях газа.

В эксперименте для возбуждения ВКР в водороде использовалось одномодовое излучение второй гармоники ИАГ:  $\text{Nd}^{3+}$ - лазера со следующими параметрами: длительность импульса 7 нс, энергия в импульсе  $E_L \ll 30$  мДж,

диаметр луча  $a = 1,5$  мм. Лазерный пучок с помощью линзы ( $F_1 = 50$  см) фокусировался в кювету ( $L = 64$  см) со сжатым водородом  $P = 1 \div 25$  атм. Угловой спектр рассеянных компонент анализировался в фокусе второй линзы ( $F_2 = 40$  см).

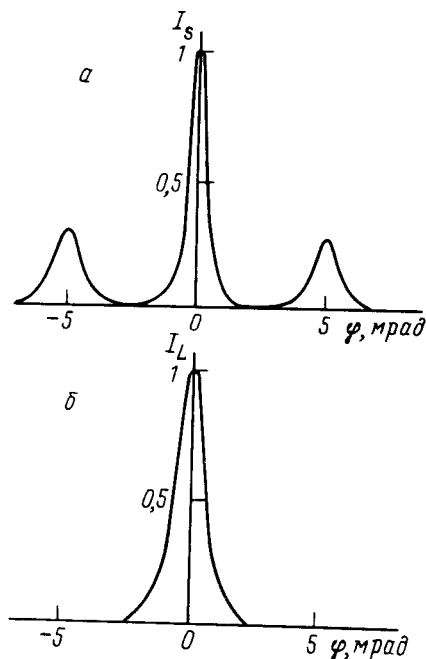


Рис. 1. Угловое распределение интенсивности первой стоксовой компоненты  $I_S(\varphi)$  (а) и лазерной накачки  $I_L(\varphi)$  (б), полученное при  $P = 2,4$  атм,  $E_L = 15$  мДж

Эксперименты показали, что при  $P < 5$  атм генерация первой стоксовой компоненты происходит как по оси пучка лазера, так и по образующим конуса, телесный угол  $2\theta$  которого существенно превосходит расходимость сфокусированной накачки (см. рис. 1). При увеличении  $E_L$  величина угла рассеяния  $\theta$  постепенно возрастает (см. рис. 2, кривая а) и выходит на постоянный уровень. Если энергия импульса лазера меньше некоторого критического значения, то в эксперименте наблюдалось только осевое ВКР. Нарастание экспериментально наблюдаемых углов конусного излучения первой стоксовой компоненты ВКР при увеличении  $E_L$  объясняется ростом процентной доли возбужденных молекул  $Z$  в объеме взаимодействия лазерной накачки с молекулярной средой. Действительно, согласно <sup>2</sup> рост доли возбужденных молекул  $Z$  сопровождается возрастанием показателя преломления молекулярного водорода. Это приводит к увеличению расчетного предельного угла полного отражения  $\alpha$  (см. рис. 2, кривая б) в световоде, что и проявляется в экспериментальной зависимости  $\theta(E_L)$ . Из рис. 2 следует, что углы  $\theta$  конусного излучения ВКР, полученные экспериментально при энергиях лазерного импульса ( $E_L > 24$  мДж), насыщающих комбинационно-активный переход, находятся в хорошем согласии со значением предельного угла полного отражения  $\alpha$ , рассчитанным при  $Z \approx 50\%$ .

Генерация волноводной составляющей стоксовой компоненты существенно влияет на энергетические характеристики ВКР в целом. При заданной энергии накачки (см. рис. 3, кривая а) уменьшение давления газа в диапазоне  $P = 10 \div 15$  атм приводит к ослаблению попутного ВКР, что

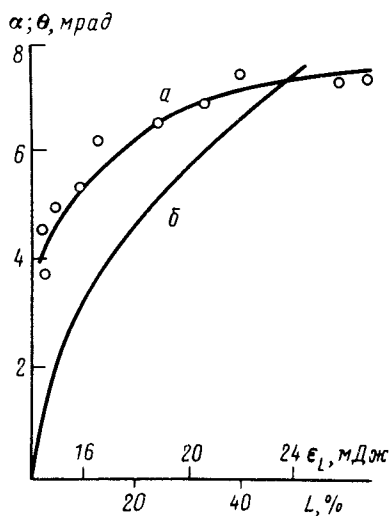


Рис. 2

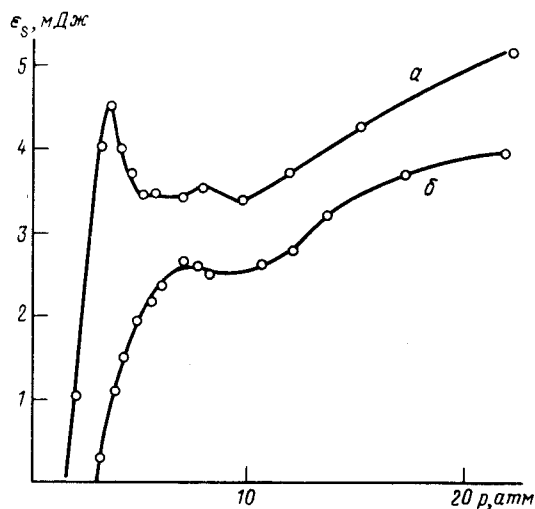


Рис. 3

Рис. 2. Графики экспериментальной зависимости величины  $\theta$  от  $E_L$  (кривая *a*) и расчетной зависимости предельного угла полного отражения  $\alpha$  от процентной доли  $Z$  возбужденных молекул (кривая *б*)

Рис. 3. Зависимость энергии  $E_s$  первой стоксовой компоненты ВКР от давления газа  $P$  при  $E_L = 18$  мДж (кривая *a*) и при  $E_L = 10$  мДж (кривая *б*)

обусловлено четырехфотонными параметрическими процессами стокс-антистокс, уменьшающими инкремент стоксовой волны при уменьшении значения волновой расстройки<sup>3</sup>. В этом диапазоне давлений конусное ВКР отсутствует. Дальнейшее уменьшение давления водорода приводит к стабилизации и к некоторому увеличению энергии стоксовой компоненты на выходе кюветы. Это объясняется возникновением конусной составляющей ВКР, которая не имеет параметрической связи с антистоксовым излучением. В диапазоне давлений  $3,5 \div 5$  атм энергия осевой составляющей ВКР при уменьшении давления газа продолжает уменьшаться, в то время как, энергия конусного излучения возрастает. При  $P = 3,5$  атм энергия импульса конусного ВКР превосходит энергию осевого.

При небольших интенсивностях возбуждающего ВКР лазера доля колебательно-возбужденных молекул в среде уменьшается, что приводит к ослаблению эффекта проявления наведенного волновода. Так, например, при  $E_L = 10$  мДж во всем диапазоне исследуемых давлений конусное излучение ВКР не наблюдается, что проявляется и в характере зависимости  $E_s(P)$  (см. рис. 3, кривая *б*).

Таким образом в данной работе экспериментально наблюдалась генерация конусного стоксова излучения в волноводе, наведенном в молекулярном водороде за счет движения населенностей при ВКР.

### Литература

1. DeMartini F., Ducuing J. Phys. Rev. Lett., 1966, 17, 117.
2. Вильгельми Б., Гойман Э. ЖПС, 1973, 19, 550.
3. Бломберген Н. Нелинейная оптика, 1966, М.