

ГЕНЕРАЦИЯ КОГЕРЕНТНОГО ИК ИЗЛУЧЕНИЯ НА ДИПОЛЬНО-ЗАПРЕЩЕННОМ МОЛЕКУЛЯРНОМ ПЕРЕХОДЕ ПРИ БИГАРМОНИЧЕСКОЙ НАКАЧКЕ В ПОСТОЯННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

*В.П.Гавриленко, Е.Б.Куприянова, Д.П.Околокулак, В.Н.Очкин,
С.Ю.Савинов, С.Н.Цхай, А.Н.Ярашев*

*Физический институт им.П.Н.Лебедева РАН
117924, Москва*

Поступила в редакцию 27 мая 1992 г.

Получено когерентное ИК излучение гомоядерной молекулы H_2 , индуцированное лазерным излучением и постоянным электрическим полем. Показана возможность дистанционного локального измерения электрических полей методом нелинейной оптики.

Колебания гомоядерных молекул в отсутствие внешних воздействий неактивны в ИК области спектра. В настоящей работе получено когерентное ИК излучение молекулы H_2 . Для этой цели использована модификация метода когерентной активной спектроскопии комбинационного рассеяния света. Традиционная схема ¹ когерентного рассеяния приведена на рис.1а: в результате взаимодействия со средой трех волн (с частотами $\omega_1, \omega_2, \omega_3$) генерируется когерентное излучение на частоте $\omega' = \omega_1 - \omega_2 + \omega_3$. Вместо одной из взаимодействующих волн может быть использовано постоянное электрическое поле. К настоящему времени выполнен ряд работ, посвященных преобразованию частот лазерных пучков на кубической нелинейности среды в присутствии постоянного электрического поля (например, ^{2,3}). Они посвящены, как правило, генерации суммарной частоты когерентного излучения.

В настоящей работе экспериментально реализована иная схема (рис.1б) нелинейного взаимодействия двух лазерных пучков и постоянного электрического поля со средой, которая в данном случае состояла из молекул водорода. В отличие от указанного выше в данной работе зарегистрирована генерация когерентного излучения в присутствии постоянного электрического поля не на

суммарной, а на разностной частоте $\omega' = \omega_1 - \omega_2$. В соответствии с рис.1б интенсивность сигнала на частоте ω' в присутствии постоянного электрического поля с напряженностью E можно представить в виде

$$I(\omega' = \omega_1 - \omega_2) \sim |X^{(3)}(\omega_1 - \omega_2)|^2 E^2 I_1 I_2, \quad (1)$$

где $X^{(3)}$ - кубическая восприимчивость среды, $I_{1,2}$ - интенсивности лазерных пучков. Другой особенностью данной работы являлось осуществление настройки разностной частоты $\omega_1 - \omega_2$ в резонанс с частотой комбинационно-активного перехода Ω , что обеспечивало резонансный рост кубической восприимчивости среды $X^{(3)}$.

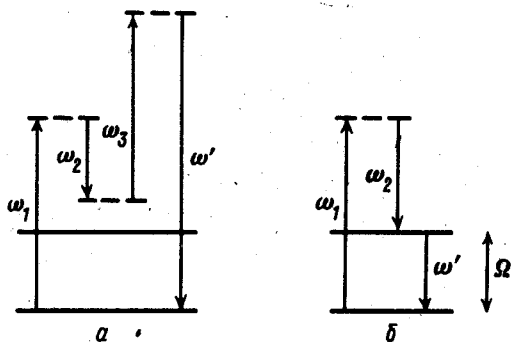


Рис.1. Возможные схемы процессов, происходящих на кубической нелинейности среды: а - генерация излучения на частоте $\omega' = \omega_1 - \omega_2 + \omega_3$, б - генерация излучения на разностной частоте $\omega' = \omega_1 - \omega_2$ в присутствии постоянного электрического поля, Ω - частота комбинационно-активных молекулярных колебаний

Экспериментальное изучение генерации ИК излучения молекулами H_2 в постоянном электрическом поле E проводилось в кювете высокого давления (до 10 атм). В кювету помещался конденсатор с воздушным зазором в 3,5 мм. Напряжение, подводимое к обкладкам конденсатора, позволяло изменять напряженность электрического поля в диапазоне $E = 0 \dots 45$ кВ/см. Схема используемого КАРС спектрометра описана в ⁴. В качестве волны с частотой ω_1 ($\lambda_1 = 532$ нм) использовалась вторая гармоника импульсного ($\tau_i = 10$ нс) излучения Nd:YAG-лазера с частотой повторения импульсов 20 Гц. Энергия в импульсе $J_1 = 12$ мДж. Частотно-перестраиваемый лазер на красителе пиридин-1 генерировал излучение ω_2 ($\lambda_2 \sim 683$ нм), обеспечивающее выполнение условия комбинационного резонанса $\omega_1 - \omega_2 = \Omega$ для перехода $v = 0, v = 1$ молекулы $H_2(X^1\Sigma_g^+)$. Энергия в импульсе $J_2 = 1$ мДж. Направление векторов напряженности поля E и полей линейно-поляризованных излучений ω_1 и ω_2 совпадали. Использовалась коллинеарная схема сведения пучков ω_1 и ω_2 с фокусировкой их в область между обкладками конденсатора. На выходе из кюветы с помощью призмы из LiF сигнал на частоте $\omega' = \omega_1 - \omega_2$ с длиной волны $\lambda \sim 2,4$ мкм отделялся от лазерного излучения и регистрировался приемником ИК излучения на основе фотодиода InSb, охлаждаемого жидким азотом. На входе приемника для устранения воздействия рассеянного видимого излучения устанавливалось окошко из Ge. С приемника сигнал поступал на стробоскопический интегратор и далее на самописец.

Интенсивность излучения с $\lambda \sim 2,4$ мкм имела квадратичную зависимость от напряженности постоянного электрического поля E . На рис.2, в качестве

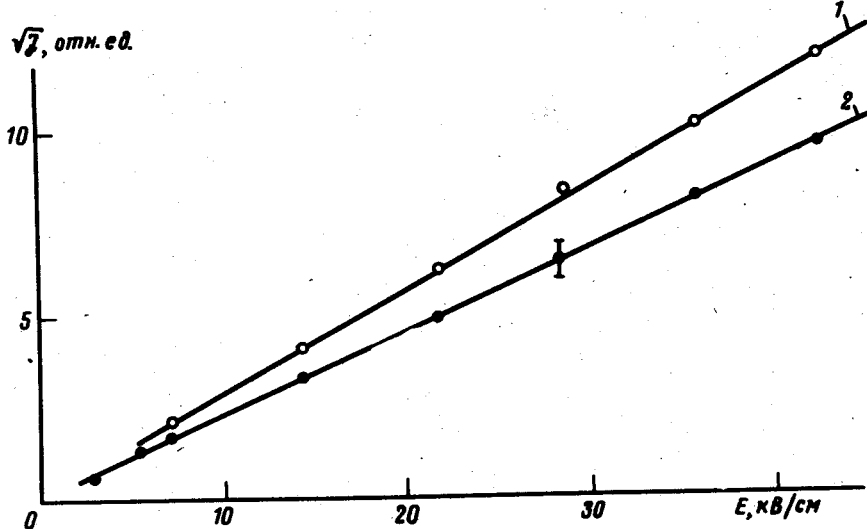


Рис.2. Экспериментальная зависимость интенсивности сигнала ИК излучения от напряженности постоянного электрического поля E при различных давлениях молекулярного водорода: 1 – 10 атм, 2 – 8 атм

примера, представлены зависимости \sqrt{I} от E для линии $Q(1)[v'' = 0, J'' = 1 \rightarrow v' = 1, J' = 1]$ при различных давлениях водорода. Видно, что эти зависимости – линейны, то есть они соответствуют соотношению (1). При давлении H_2 $p = 10$ атм минимальная напряженность поля E , при которой в условиях эксперимента регистрировался сигнал 2,4 мкм, составляла ~ 3 кВ/см. По нашим оценкам при соответствующей доработке чувствительность установки может быть существенно увеличена.

Подчеркнем, что излучение $\lambda \sim 2,4$ мкм имело узкую диаграмму направленности, а его интенсивность – квадратичную зависимость от давления (диапазон изменения давления $p = 6 \dots 10$ атм), что свидетельствует о его когерентном характере.

Таким образом, в настоящей работе осуществлена генерация когерентного ИК излучения на дипольно-запрещенном молекулярном переходе при бигармонической накачке в присутствии постоянного электрического поля. Поскольку такой переход принадлежит Q -ветви, он не будет наблюдаться в спектре поглощения (или излучения) в отсутствие постоянного электрического поля как гомоядерных, так и гетероядерных двухатомных молекул, что связано с правилами отбора на вращательные квантовые числа. Наряду с нелинейно-оптическими применениями реализованная схема (рис.1б) может быть положена в основу методики дистанционных измерений электрических полей с временным и пространственным разрешением в газообразных и плазменных средах¹⁾. Укажем следующие характерные особенности такой методики:

¹⁾ Возможность измерения напряженности постоянного электрического поля в молекулярной газообразной среде методом когерентной активной спектроскопии была показана теоретически в ⁵. Однако, содержащееся в ⁵ требование, чтобы частота одного из лазерных пучков совпадала с частотой Ω комбинационно-активного колебания рассеивающих молекул, затрудняет практическое применение этого предложения.

1. Лазерная техника, необходимая для осуществления схемы 1б, распространена и имеется, в частности, в любой установке КАРС.

2. В схеме 1б одновременно наблюдается генерация "обычного" вырожденного ($\omega_3 = \omega_1$) КАРС сигнала на частоте $\omega_a = 2\omega_1 - \omega_2$. Этот сигнал позволяет контролировать плотность частиц в области измерения, что особенно важно при работе с пространственно-неоднородными объектами, а также существенно упрощает юстировку всей системы в целом.

3. Используемая схема дает возможность локальных измерений не только постоянных, но и осциллирующих электрических полей (ОЭП). В случае, когда частота ОЭП $\omega > \tau_i^{-1}$ находится в СВЧ диапазоне, вместо генерации ИК излучения на частоте $\omega' = \omega_1 - \omega_2$, может происходить генерация ИК излучения на двух близких частотах $\omega' = \omega_1 - \omega_2 \pm \omega$, причем аналогично (1) интенсивность излучения $I(\omega')$ будет пропорциональна квадрату амплитуды ОЭП.

В заключение отметим, что в качестве "рабочих" молекул могут быть использованы не только молекулы H_2 , но также и такие молекулы как N_2 , CO_2 , H_2O , CO и др.

Авторы весьма признательны Е.А.Юкову за выполненные оценки и обсуждение работы.

-
1. С.А.Ахманов, Н.И.Коротеев, Методы нелинейной оптики в спектроскопии рассеяния света. М.: Наука, 1981.
 2. J.W.Dudley, and J.F.Ward, Appl. Opt. 20, 1777 (1981).
 3. V.Mizrahi, and D.P.Shelton, Phys. Rev. A, 31, 3145 (1985).
 4. В.Н.Очкин и др., ЖТФ 58, 1283 (1988).
 5. М.А.Булдаков и др., КЭ 11, 405 (1984).