

УЗКИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫЕ РЕЗОНАНСЫ ПРИ НАСЫЩЕНИИ ПОГЛОЩЕНИЯ В РАЗНЕСЕННЫХ СВЕТОВЫХ ЛУЧАХ

О.Н.Компанец, В.С.Летохов

1. В статье сообщается о первом наблюдении узких молекулярных резонансов внутри доплеровской линии при насыщении поглощения в поле двух параллельных *пространственно разнесенных* световых волн. Этот эффект представляет значительный интерес для исследования рассеяния молекул на малые углы, исследования когерентного взаимодействия молекул со световым полем и стабилизации частоты газовых лазеров.

2. При насыщении поглощения на доплеровски-уширенном переходе когерентной бегущей волной в контуре выжигается "дырка" за счет насыщения поглощения молекул, находящихся в резонансе с полем, т.е. имеющих определенную проекцию скорости v на направление распространения волны k :

$$|\omega_0 - \nu - kv| \lesssim \Gamma \ll \Delta\omega_{\text{доп}}, \quad (1)$$

где ω_0 , Γ и $\Delta\omega_{\text{доп}}$ – частота центра, однородная ширина и полная ширина доплеровской линии, ν – частоты волны. При большом времени жизни возбужденные молекулы могут распространяться в пространство вокруг луча. Столкновения молекул между собой изменяют направление скорости молекул и "дырка" в распределении молекул по скоростям очень быстро "расплывается". Для "расплывания" дырки существенны даже слабые столкновения с рассеянием молекул на малые углы порядка $\Gamma/\Delta\omega_{\text{доп}}$. Однако, если давление газа достаточно мало и длина свободного пробега молекул сравнима с диаметром луча, то "дырка" переносится в пространстве на заметное расстояние.

Обнаружить перенос "дырки" в пространстве можно пробной когерентной волной такой же частоты, распространяющейся в противоположном направлении. Такая волна взаимодействует с молекулами, проекция скорости которых на направление сильной волны удовлетворяет другому условию:

$$|\omega_0 - \nu + kv| \lesssim \Gamma. \quad (2)$$

Если $|\omega_0 - \nu| \gtrsim \Gamma$, то не существует молекул, которые удовлетворяют условиям резонанса одновременно с двумя волнами. Исключение составляет область частот $|\omega_0 - \nu| \lesssim \Gamma$. Поэтому только при прохождении через центр доплеровской линии пробная волна может взаимодействовать с молекулами, предварительно насыщенными встречной волной и перелетевшими из одного луча в другой без столкновений.

В этот момент поглощение пробной волны резонансно уменьшается, т.е. образуется узкий провал в ее поглощении.

Этот эффект был предсказан в первых работах, в которых предлагалось получать узкие резонансы при насыщении поглощения долгоживущих переходов молекул [1]. Детальная теория эффектов насыщения поглощения в разнесенных полях представлена в [2].

3. Схема установки изображена на рис.1. CO_2 -лазер с отпаянной трубкой длиной 60 см и диаметром 10 мм работал на длине волны 10,6 мк (на линии P (16)) в одномодовом режиме. На частоте линии P(16) SF_6 обладает наибольшим поглощением ($\kappa_0 = 1,3 \text{ см}^{-1} \cdot \text{тор}^{-1}$), что позволяет работать при небольших давлениях SF_6 , когда длина свободного пробега молекул максимальна.

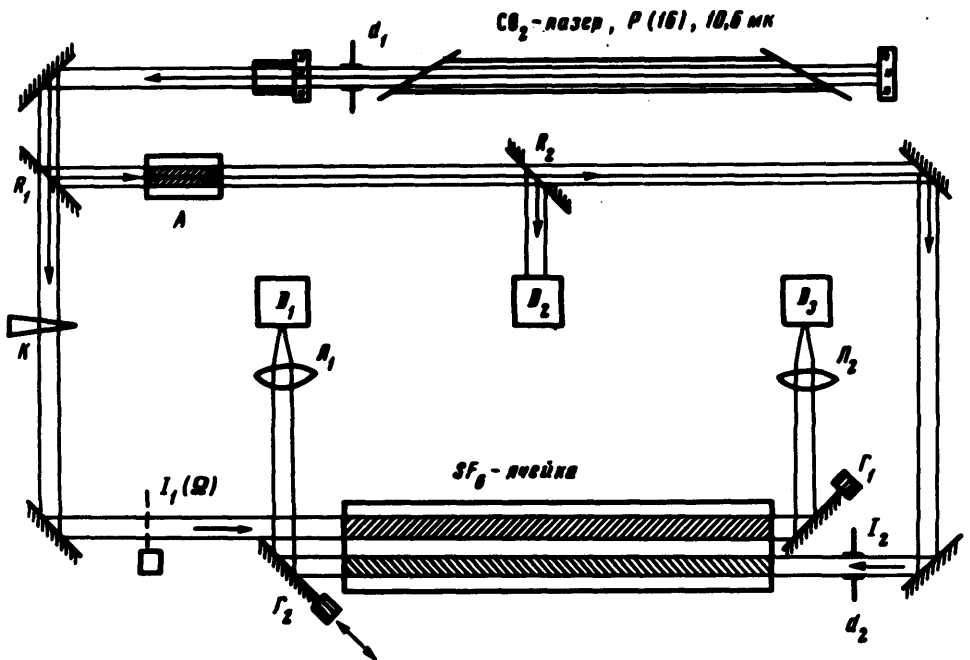


Рис.1. Схема экспериментальной установки: d_1, d_2 — диафрагма; R_1, R_2 — полупрозрачные зеркала, А — аттенуатор, k — калиброванная пластинка, О — механический прерыватель, r_1, r_2 — полностью отражающие пластины, L_1, L_2 — линзы, D_1, D_2, D_3 — Ge: Au-детекторы

С помощью делительной пластинки R_1 и системы диафрагм излучение CO_2 -лазера поступало во внешнюю SF_6 -ячейку в виде двух разнесенных встречных бегущих волн. Длина поглощающей ячейки составляла $L_{\text{погл}} = 120 \text{ см}$, диаметр 36 мм. Одна из двух волн, $I_1(\Omega)$, насыщала поглощение, ее интенсивность регулировалась калиброванной пластинкой k и модулировалась на частоте $\Omega = 900 \text{ иц}$. Интенсивность второй волны I_2 ослаблялась аттенуатором в виде короткой ячейки, заполняемой SF_6 при большом давлении. Слабый пробный луч проходил через щель d_2 шириной 4 мм и после отражения от полностью отражающей прямоугольной пластинки r_2 регистрировался Ge: Au-детектором. Сигнал детектора усиливался узкополосным уси-

лителем на частоте ω и после синхронного детектирования подавался на самописец. Изменение расстояния между разнесенными световыми волнами производилось параллельным перемещением пластинки r_2 , плавно перекрывающей сильную световую волну.

4. На рис.2 показана зависимость амплитуды полученных молекулярных резонансов от параметра d , определяющего эффективное расстояние между лучами (рис.2, а). Поскольку величина сигнала при одинаковом параметре насыщения пропорциональна начальному коэффициенту поглощения, или давлению в ячейке, амплитуды резонансов в максимуме были отнесены к единице. В области высоких давлений пик возникает за счет неизбежного слабого дифракционного перекрытия лучей. Из графика видно, что с уменьшением давления зависимость амплитуды резонансов от параметра перекрытия световых волн сдвигается в область больших значений d . Этот сдвиг составляет приблизительно 0,8 мм при изменении давления SF_6 в ячейке от 35 до 4,5 мтор, и обратно пропорционален давлению, что может быть объяснено только эффектом переноса "провала" из одной световой волны в другую на величину, равную длине свободного пробега молекул. Влияние изменения параметра насыщения SF_6 в ячейке при разнесении световых полей исключается тем обстоятельством, что при уменьшении этого параметра при том же давлении в ячейке за счет введения калиброванных ослабителей ход кривых не изменяется.

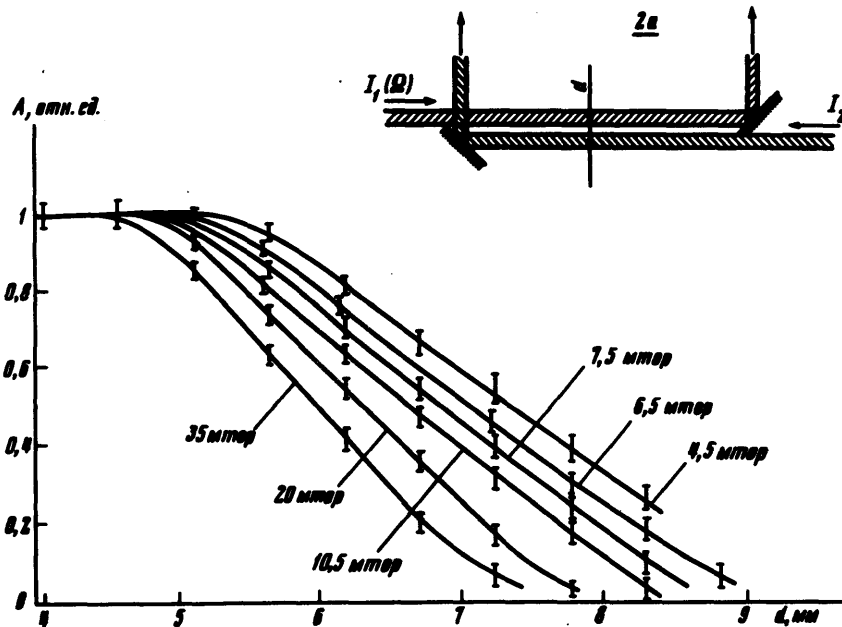


Рис.2. Зависимость приведенной амплитуды резонансов от параметра перекрытия лучей для различных давлений SF_6

Был поставлен также контрольный опыт для исключения влияния изменения оптической плотности $D = \kappa_0 L_{\text{погл}} p_{SF_6}$, которое происхо-

дит при изменении давления p_{SF_6} . Для этого насыщение осуществлялось излучением на линии $P(18)^6CO_2$ -лазера, для которой $\kappa_0 = 0,5 \text{ см}^{-1} \cdot \text{тор}^{-1}$, то есть в 2,6 раза меньше при том же давлении. Положение и ход кривых при разнесении лучей при этом не изменялись.

По сдвигу кривых на рис.2 при уменьшении давления в ячейке определяется величина переноса провала. Она оказалась равной $p\Delta_{\text{пров}} = (4,5 \pm 1,0) \cdot 10^{-4} \text{ см} \cdot \text{тор}$, т.е. совпадает с длиной свободного пробега по данным работ [3, 4].

В настоящем эксперименте наблюдался эффект пространственного переноса "дырки" в распределении молекул по скоростям и узкий резонанс при насыщении поглощения в разнесенных лучах без участия эффектов когерентного взаимодействия. Переход к более низким давлениям позволит пронаблюдать эти эффекты, аналогично тому, как это сделал Рамси в радиодиапазоне с помощью пучка атомов и двух разнесенных резонаторов [5].

В заключение авторы выражают благодарность Е.Л.Михайлову и А.Р.Кукуджанову за помощь в подготовке эксперимента и В.А.Семчишена за помощь в проведении его.

Институт спектроскопии
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
25 мая 1971 г.

Литература

- [1] В.С.Летохов. Письма в ЖЭТФ, 6, 597, 1967; ЖЭТФ, 54, 1244, 1968.
- [2] В.С.Летохов, Б.Д.Павлик. Тезисы Всесоюзного Совещания по физике газовых лазеров, июнь 1969 г. Новосибирск.
- [3] P.Rabinowitz, R.Keller, J.T.La Tourette. Appl. Phys. Lett., 14, 376, 1969.
- [4] Н.Г.Басов, О.Н.Компанец, В.С.Летохов, В.В.Никитин. ЖЭТФ, 59, 394, 1970.
- [5] Н.Рамзей. Молекулярные пучки. ИИЛ, 1960, гл.5.