

ВЫНУЖДЕННОЕ КОНЦЕНТРАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА

И.М.Арефьев, В.В.Морозов

В данной работе сообщается о первом указании на наблюдение вынужденного концентрационного рассеяния света в газе. Явление изучалось в газовой смеси гелий - ксенон (рис.1, см. вклейку).

Стационарная теория вынужденного концентрационного рассеяния [1] показывает, что интенсивность стоксова вынужденного концентрационного рассеяния описывается формулой

$$\mathcal{L} = I_0 \exp \{g_c | E_L |^2 \mathcal{L}\}, \quad (1)$$

где I_0 - интенсивность света теплового рассеяния вследствие флуктуаций концентрации [2], \mathcal{L} - длина области взаимодействия стоксовой "концентрационной" волны с лазерной волной E_L , а коэффициент усиления g_c для бинарной смеси при малой концентрации с одной из компонент равен

$$g_c = B_c |R_1| \frac{\Omega/\Omega_c}{1 + \Omega^2/\Omega_c^2}, \quad B_c = \frac{(\partial\epsilon/\partial c)^2 c m_2}{16 \pi n^2 \rho k T}.$$

Здесь k_1 – волновой вектор стоксовой волны с частотой $\omega_1 = \omega_L - \Omega$; $\Omega_c = D(k'_L - k_1)^2$, D – коэффициент диффузии; m_2 – масса частицы компоненты с большой концентрацией c . Остальные обозначения обычные [2]. Аналогично вынужденному тепловому рассеянию [3], g_c имеет максимум на полуширине линии теплового рассеяния вследствие флуктуаций концентрации. В смеси атомных инертных газов при давлении $P \sim 10$ атм и $D \sim 0,1$ см²/сек время установления $T = 2\pi/\Omega_c \sim 10^{-9}$ сек.

Кроме вынужденного концентрационного рассеяния в смеси газов возможны ВРМБ и вынужденное тепловое рассеяния (ВТР) [3]. Оценки для смеси гелий – ксенон с концентрацией ксенона $c = 0,1$ при $P = 10$ атм и $T = 300^\circ\text{K}$ дают отношения коэффициентов усиления для указанных процессов $g_c/g_{\text{МБ}} \sim 0,1$ и $g_c/g_{\text{Т}} \sim 7$. ВТР является более инерционным процессом, так как $D/\chi = 4$ (χ – коэффициент температуропроводности).

При полях $|E_L| \sim 5 \cdot 10^7$ в/см и $l \sim 0,1$ см показатель в экспоненте (1) порядка единицы. Однако он может быть существенно большим, поскольку развитию вынужденного концентрационного рассеяния может предшествовать возбуждение атомов ксенона, поляризуемость которых может существенно возрасти [4]; что приведет к росту величины $d\epsilon/dc$.

Для наблюдения вынужденного концентрационного рассеяния мы использовали метод сверхрегенеративного усиления на моде лазера [3]. Импульс рубинового лазера мощностью $\sim 150-200$ Мвт, длительностью $\sim 10^{-8}$ сек фокусировался внутрь кюветы со смесью гелий – ксенон (10:1) линзой с фокусным расстоянием $f_1 = 20$ см или $f_2 = 40$ см. С помощью интерферометра Фабри – Перо регистрировался спектр излучения, рассеянного смесью назад и затем усиленного в лазере. Во всех случаях в смеси наблюдался пробой.

В диапазоне давлений $3 + 7$ атм в спектрах наблюдалась стоксова линия со смещением $\sim 0,055$ см⁻¹, соответствующим расчетному смещению компоненты МБ ($\sim 0,056$ см⁻¹). Поэтому эта линия была интерпретирована как усиленная на моде лазера компонента ВРМБ.

При давлении $3+4$ атм в спектрах наблюдалась стоксова линия со смещением $0,033-0,042$ см⁻¹, которая была интерпретирована как линия вынужденного концентрационного рассеяния. Эта линия, так же как линия ВРМБ, отсутствовала в спектре лазерного излучения и в спектре рассеяния в чистом гелии при давлении, равном давлению смеси (см. рис.1). Поскольку положение линии вынужденного концентрационного рассеяния в спек-

тре неопределенно, по крайней мере, на величину расстояния между продольными модами лазера ($0,005 \text{ см}^{-1}$), нельзя сделать однозначного вывода о зависимости смещения линии вынужденного концентрационного рассеяния от давления. Отсутствие линии вынужденного концентрационного рассеяния в спектре при давлениях больше 4 атм можно объяснить более ранним наступлением пробоя в смеси, когда вынужденное концентрационное рассеяние не успевает развиться, а также возможной конкуренцией со стороны ВРМБ. Отсутствие линии вынужденного концентрационного рассеяния в спектре при давлениях меньше 3 атм можно отнести за счет малости g_c . Из смещения компоненты вынужденного концентрационного рассеяния получаем для смеси гелий – ксенон $D = 0,7 \text{ см}^2/\text{сек}$ при $P = 1 \text{ атм}$, полагая $D \sim 1/P$.

Возможно, однако, что наблюдавшееся смещение $\Delta\nu$ могло быть результатом взаимодействия ВРМБ и вынужденного концентрационного рассеяния в рассеивающем объеме, а также при усилении в лазере. Этот вопрос требует детального теоретического обоснования.

Для выяснения роли концентрационного механизма в процессе нелинейного взаимодействия в смесях изучался спектр света импульса прошедшего через фокус линзы $f = 3 \text{ см}$. Нелинейная добавка n' к показателю преломления n отрицательна [1] и имеет вид

$$n' = -B_c |E_L|^2 n^2.$$

При $|E_L| = 5 \cdot 10^7 \text{ в/см}$ в исследуемой смеси $n' \approx -2 \cdot 10^{-4}$. До пробоя лазерный импульс будет испытывать фазовую самомодуляцию, которая приводит к антистоксовому смещению лазерной частоты на величину

$$\Delta\nu = (-|k_L| \ell / 2\pi n) (\partial n' / \partial t) \quad [5]$$

$$(\Delta\nu \sim 10^{-2} \text{ см}^{-1})^1.$$

Экспериментально обнаруженное нами антистоксово смещение в спектре лазерного излучения оказалось примерно на порядок больше оцененной величины (рис.2, см. вклейку). В спектре света, рассеянного назад, наблюдалось только излучение света лазера. Интересно, что смещенная диффузная полоса (рис.2) наблюдалась даже при очень малых концентрациях ксенона $c = 3 \cdot 10^{-3}$. В чистом гелии до 10 атм и ксеноне до $0,5 \text{ атм}$ она отсутствовала (пробой при этом был).

1) В нашем случае регистрация процесса уширения спектра могла происходить только при нарастании интенсивности излучения [3], так как плазма возникающая при пробое является практически непрозрачной для лазерного света.

При $c = 0,1$ наблюдалось смещение максимума полосы $\Delta\nu = 0,06 + 0,07 \text{ см}^{-1}$, при $c = 2 \cdot 10^{-2} + 1 \cdot 10^{-2}$ величина $\Delta\nu = 0,120 \text{ см}^{-1}$.

Наблюдаемые величины уширения линии лазера по-видимому можно объяснить, если вновь предположить, что в объеме взаимодействия возникают возбужденные атомы ксенона с заметно большей поляризуемостью [4].

В заключение выражаем благодарность И.Л.Фабелинскому за внимание к работе, ценные указания и обсуждения. В.С.Старунову за полезные обсуждения, Д.И.Машу за внимание к работе, М.А.Высоцкой, В.П.Зайцеву и В.А.Морозову за помощь в работе.

Физический институт
им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
3 марта 1969 г.

Литература

- [1] И.М.Арефьев, Канд. диссертация, ФИАН, М., 1968.
 - [2] И.Л.Фабелинский. Молекулярное рассеяние света, М., 1965.
 - [3] В.В.Морозов. Канд. диссертация, ФИАН, М., 1968; I.L.Fabelinskii, D.I.Mash, V.V.Morozov, V.S.Starunov. Phys. Lett., 27A, 253, 1968; Д.И.Маш, В.В.Морозов, В.С.Старунов, И.Л.Фабелинский. ЖЭТФ, 55, 2053, 1968.
 - [4] Г.А.Аскарьян. Письма в ЖЭТФ, 4, 400, 1966.
 - [5] Л.А.Островский. Письма в ЖЭТФ, 6, 807, 1967.
-