

$$\nu_{1,2,3} = \nu/2 \omega_{1,2,3}^2, \quad \nu_{\text{гр},1,2,3} = k_{1,2,3} \omega_{1,2,3}/a^2 (1 + \omega_{1,2,3}^2).$$

Из (6) видно, что взаимодействуют лишь нечетные моды по поперечному индексу, что характерно для волновода с плоскими границами (такая же ситуация выявилась в [9]). Напомним, что  $\omega_{1,2}$  — волны на ветви с индексом  $n$ , а  $\omega_3$  — волна с поперечным индексом  $m$  (высшая частота). Матричные коэффициенты для других случаев, удовлетворяющих условиям (5), как показывают вычисления, равны нулю. Это обстоятельство обусловлено спецификой поляризации, отмеченной выше.

Порог параметрической неустойчивости по отношению к волнам низших частот равен\*

$$|a_3^0| > \sqrt{(2\pi n + 1)/8\alpha} = a_n \quad (14)$$

при условии  $\omega_3^2 \gg \omega_{1,2}^2 \gg \nu^2$  ( $\omega_i/c \sim k_i$ ). Оценим пороговое поле для полупроводниковой плазмы InSb с параметрами: концентрация носителей  $\sim 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ,  $m_e \sim 0,01 m$  ( $m_e$  — масса электрона в плазме), температура — 77 К,  $\nu \sim 10^{12} \text{ с}^{-1}$ ; тогда при  $\omega_3 \sim 2 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}$  (длина волны 0,6 мкм) пороговое поле  $\sim 1 \text{ мкВ/см}$  (здесь считается  $n = 1$ ,  $m = 3$ ,  $d \sim 1 \text{ см}$ ).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вайнштейн Л. А. Электромагнитные волны. — М.: Сов. радио, 1957.
2. Кондратенко А. Н. Плазменные волноводы. — М.: Атомиздат, 1976.
3. Дворяковский В. П., Петрухин Н. С., Файнштейн С. М. — Изв. АН СССР. Сер. Физика атмосферы и океана, 1978, 14, с. 21.
4. Дворяковский В. П., Петрухин Н. С., Файнштейн С. М. — Физика плазмы, 1979, 5, с. 79.
5. Дворяковский В. П., Файнштейн С. М. — Изв. вузов — Радиофизика, 1981, 13, № 5, с. 533.
6. Баранчук Н. С., Кармелюк М. А., Левитский С. М., Филоненко Е. Г. — ЖТФ, 1975, 45, с. 751.

Горьковский политехнический институт

Поступила в редакцию  
5 января 1981 г.

УДК 621.378

#### ИССЛЕДОВАНИЯ СДВИГОВ МИКРОВОЛНОВЫХ ЛИНИЙ ДАВЛЕНИЕМ ГАЗОВ

С. П. Белов, В. П. Казаков, А. Ф. Крупнов, А. А. Мельников, В. А. Скворцов

Сдвиги молекулярных линий давлением газов несут информацию о межмолекулярных взаимодействиях и должны учитываться в прецизионной спектроскопии. Вместе с тем экспериментальные данные о сдвигах пока немногочисленны, что делает особенно важным в настоящее время накопление, по возможности однородных, данных.

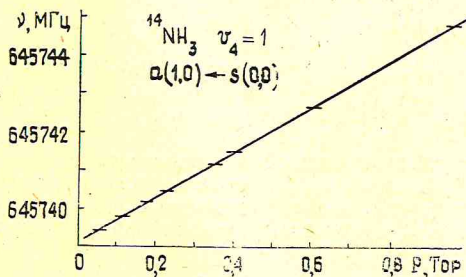


Рис. 1.

В настоящей работе описываются экспериментальные исследования сдвигов молекулярных линий давлением газов ряда молекул, выполненные авторами в последнее время, и уточняются обнаруженные ранее [1] некоторые закономерности сдвигов. Экспериментальные исследования, как и ранее, проводились с помощью спектрометра РАД в субмиллиметровом диапазоне длин волн. Образец экспериментальной зависимости частоты перехода  $\alpha(1,0) \leftarrow s(0,0)$   $^{14}\text{NH}_3$  в состоянии  $\nu_4 = 1$  от давления аммиака приведен на рис. 1. Результаты исследований (вместе с данными других авторов)

представлены в табл. 1—3 соответственно для самосдвига линий  $J = 1 \leftarrow 0$  симметричных волчков (табл. 1), сдвига частот вращательных линий различных молекул давлением постороннего газа, молекулы которого являются симметричными волчками

\* При  $|a_3| \gg |a_n|$  инкремент параметрической неустойчивости имеет вид

$$\Gamma \sim (4/\pi) (2\pi n + 1)^{-1} \left( \omega_0^4 d / \omega^3 c \right) |a_3^0|.$$



(табл. 2), и сдвига частоты линии  $J = 1 \leftarrow 0$  молекулы  $\text{PH}_3$  давлением инертных газов и газов, состоящих из неполярных молекул (табл. 3). В таблицах  $\Delta\nu_c$  — параметр сдвига (сдвиг на единицу давления),  $\nu$  — частота исследуемого перехода,  $\mu$  — дипольный момент и  $M$  — молекулярный вес.

Таблица 1

Самосдвиг давлением частоты перехода  $J = 1 \leftarrow 0$  в молекулах типа симметричного волчка

Молекула	Состояние	$J = 1 \leftarrow 0$ $\nu$ , ГГц	$\mu$ , Дэб	$\Delta\nu_c$ , МГц/Тор	$M$ , а. е. м.	$r$ , $10^{27}$ ед. CGSE	$r'$ , $10^{27}$ ед. CGSE	Литература
$^{14}\text{NH}_3$	$\nu_4=1$	645,74	1,459	+5,85(15)	17	3,19	0,77	
$^{14}\text{NH}_3$	$\nu_4=1$	577,33	1,459	+5,75(25)	17	3,51	0,94	
$^{14}\text{NH}_3$	$\nu_2=1$	466,25*	1,25	+3,2	17	3,3	0,88	[2]
$^{15}\text{NH}_3$	$\nu_2=1$	430,04*	1,25	+3,15	18	3,52	0,83	[3]
$\text{PH}_3$	основ.	266,96	0,57	+0,56	34	4,84	0,83	[3]
$\text{PH}_3$	основ.	266,96	0,57	+0,56	34	4,84	0,83	[4]
$\text{PH}_3$	$\nu_2=1$	256,27	0,57	+0,56	34	5,04	0,86	[3]
$\text{CH}_3^{35}\text{Cl}$	основ.	26,59	1,89	+1	50	7,88	1,11	[5]
$\text{AsH}_3$	основ.	224,90**	0,22	+0,15(2)	78	10,3	1,17	[11]
$\text{AsH}_3$	основ.	224,94**	0,22	+0,15(2)	78	10,3	1,17	[11]
$\text{AsH}_3$	основ.	224,97****	0,22	+0,15(2)	78	10,3	1,17	[11]
$\text{CH}_3^{79}\text{Br}$	основ.	19,14	1,80	+0,85	94	10,3	1,06	[6]
$\text{CH}_3^{127}\text{I}$	основ.	15,00	1,65	+0,70	142	12,9	1,08	[6]

\*  $J = 0 \leftarrow 1$ ,

\*\*  $F' \leftarrow F = 3/2 \leftarrow 3/2$ ,  
 $r = \Delta\nu_c/\nu\mu^2$ ,  $r' = \Delta\nu_c/\nu\mu^2 M^{1/2}$ .

\*\*\*  $5/2 \leftarrow 3,2$ ,

\*\*\*\*  $1/2 \leftarrow 3/2$ ;

Таблица 2

Сдвиг частот вращательных переходов молекул (1) давлением постороннего газа (2)

Молекула (1)	$\mu_1$ , Дэб	Переход	$\nu$ , ГГц	Молекула (2)	$\mu_2$ , Дэб	$\Delta\nu_c$ , МГц/Тор	$r'$ , $10^{27}$ ед. CGSE
$\text{CH}_3\text{Cl}$	1,892	$J = 1 \leftarrow 0$	26,59	$\text{CH}_3\text{F}$	1,79	+1,14[7]	1,49
$\text{CH}_3\text{Cl}$	1,892	$J = 1 \leftarrow 0$	26,59	$\text{CH}_3\text{I}$	1,647	+0,79[7]	0,83
$\text{H}_2^{18}\text{O}$	1,84	$1_{10} \leftarrow 1_{01}$	547,7	$\text{NH}_3$	1,468	+6,0	0,71
$\text{H}_2^{17}\text{O}$	1,84	$1_{10} \leftarrow 1_{01}$	552,0	$\text{NH}_3$	1,468	+6,3	0,75
$\text{H}_2^{16}\text{O}$	1,84	$1_{10} \leftarrow 1_{01}$	556,9	$\text{NH}_3$	1,468	+6,0	0,72

$$r' = \Delta\nu_c/\nu\mu_1\mu_2 M_{\text{прив}}^{1/2} \quad \text{где } M_{\text{прив}} = 2M_1 M_2 (M_1 + M_2)^{-1}.$$

Таблица 3

Параметр сдвига частоты перехода  $J = 1 \leftarrow 0$  молекулы  $\text{PH}_3$  давлением инертных газов и неполярных молекул

Партнеры по соударению	$\Delta\nu_c$ , МГц/Тор	Партнеры по соударению	$\Delta\nu_c$ , МГц/Тор
$\text{PH}_3\text{-He}$	+0,039(20) [12]	$\text{PH}_3\text{-H}_2$	+0,040(50)
$\text{PH}_3\text{-Ne}$	+0,045(20) [12]	$\text{PH}_3\text{-N}_2$	+0,090(50)
$\text{PH}_3\text{-Ar}$	+0,109(30) [12]	$\text{PH}_3\text{-CO}_2^{18}$	+0,140(50)
$\text{PH}_3\text{-Xe}$	+0,142(50) [12]		

Из представленных данных можно сделать некоторые выводы:

1) Для переходов  $J = 1 \leftarrow 0$  симметричных волчков (табл. 1) на большом числе линий подтверждается обнаруженная ранее [1] зависимость

$$\Delta\nu_c = r(M)\nu\mu^2, \quad (1)$$

где коэффициент  $r(M)$  теперь можно аппроксимировать как  $r(M) = r'(M)^{1/2}$ , причем величина  $r'$  остается постоянной для приведенных в табл. 1 молекул с точностью  $\pm 16\%$ .



2) Измеренные в [8] сдвиги переходов между близкими парами инверсионных уровней аммиака также согласуются с (1) для ряда  $J = K$  с тем же значением  $r'$ ; инверсионные же уровни с  $K = 0$  в состоянии  $v_4 = 1$ , матричный элемент перехода между которыми равен нулю, взаимно не сдвигаются (см. табл. 1).

3) Сдвиги линий  $J = 1 \leftarrow 0$  симметричных волчков и линий, соответствующих переходам между парами близких уровней полярных молекул, давлением постороннего газа, молекулы которого принадлежат к типу симметричных волчков, удовлетворительно описываются сходной зависимостью

$$\Delta\nu_c = r \nu \mu_1 \mu_2, \quad (2)$$

где  $r = r'[2M_1 M_2 / (M_1 + M_2)]^{1/2}$ , а значение  $r'$  оказывается тем же (см. табл. 2).

4) Знак сдвига совпадает со знаком штарковского смещения уровней [9]. Величина сдвига зависит от схемы расположения уровней и матричных элементов перехода, а также вида возмущающего газа и не зависит, по-видимому, от колебательного состояния или изотопного состава молекулы (если существенно не меняется схема уровней).

5) Сдвиг линии  $J = 1 \leftarrow 0$   $\text{PH}_3$  давлением инертных газов и неполярных молекул имеет тот же знак, что и знак самосдвига, но меньшую величину.

Полученные экспериментальные данные подтверждают результаты как предшествующих опытов, так и развиваемого в [10, 11] упрощенного подхода к интерпретации сдвига молекулярных линий давлением через штарковское возмущение энергетических состояний молекул.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Крупнов А. Ф., Белов С. П. — Изв. вузов — Радиофизика, 1979, 22, № 7, Tours, 1979, Abstracts of papers, paper Z2.  
с. 901; Крупнов А. Ф. VI Colloquium on High Resolution Molecular Spectroscopy, 1979.
2. Karyakin E. N., Крупнов А. Ф., Rapousek D., Shchurin Ju. M., Urban S. — J. Mol. Spectr., 1977, 66, p. 171.
3. Андреев Б. А., Белов С. П., Буренин А. В. и др. — Оптика и спектроскопия, 1978, 44, с. 620.
4. Pickett Dr., private communication.
5. Luijendijk S. C. — J. Phys. B: Atom. Molec. Phys., 1977, 10, p. 1741.
6. Wensink W. A., Dijkerman H. A. — J. Phys. B: Atom. Molec. Phys., 1977, 10, L663.
7. MacGillivray W. R. — J. Phys. B: Atom. Molec. Phys., 1976, 9, с. 2511.
8. Buffa G., Martinelli M., Tarrini O., Umeton C. — J. Phys. B: Atom. Molec. Phys., 1979, 12, № 2, p. 743.
9. Крупнов А. Ф. — Изв. вузов — Радиофизика, 1979, 22, № 2, с. 247.
10. Крупнов А. Ф., Скворцов В. А. Изв. вузов — Радиофизика, 1980, 23, № 3, с. 374.
11. Казаков В. П., Крупнов А. Ф., Мельников А. А. Изв. вузов — Радиофизика, 1980, 23, № 9, с. 1126.
12. Казаков В. П., Крупнов А. Ф., Мельников А. А., Скворцов В. А. — Изв. вузов — Радиофизика, 1980, 23, № 7, с. 796.

Институт прикладной физики  
АН СССР

Поступила в редакцию  
23 января 1981 г.

УДК 621.385.623

#### ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА УСРЕДНЕНИЯ ПРИ АНАЛИЗЕ ФЛУКТУАЦИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ В АВТОГЕНЕРАТОРАХ

К. Д. Овчинников

При анализе флуктуационных явлений в одноконтурных автогенераторах возникает необходимость в решении нелинейных дифференциальных уравнений следующего вида (см., например, [1-3]):

$$\begin{aligned} \frac{da}{dt} &= -\frac{\varepsilon}{\omega_0} f_1(a, \psi) \sin \psi - \frac{\varepsilon}{\omega_0} f_2(a, \psi) \sin(\psi) \mu(t), \\ \frac{d\varphi}{dt} &= -\frac{\varepsilon}{a\omega_0} f_1(a, \psi) \cos \psi - \frac{\varepsilon}{a\omega_0} f_2(a, \psi) \cos(\psi) \mu(t), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  — малый положительный параметр,  $\omega_0$  — собственная частота колебательной системы,  $a$  и  $\varphi$  — амплитуда и фаза колебаний,  $\psi = \omega_0 t + \varphi$ ,  $t$  — текущее время,