

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ПОЛЯ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ НА СПЕКТРЫ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

III. ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ ПРИ ФАЗОВОМ ПЕРЕХОДЕ ЖИДКОСТЬ—ПАР

В. М. Сидоренко, В. С. Либов и Н. Г. Бахшиев

Проведен учет влияния спектральных различий эффективного и среднего полей световой волны на наблюдаемые спектры спонтанного комбинационного рассеяния (КР) жидких CCl_4 , CHCl_3 , C_6H_6 , $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$ и $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$ с целью получения коэффициентов Эйнштейна $D, (\nu')$, определяющих спектроскопические свойства молекул в данной среде. Показано, что спектр $D, (\nu')$ в случае конденсированной среды может отличаться по всем характеристикам (положению, интенсивности и форме полос) от наблюдаемого спектра. Установлено, что изменения в наблюдаемых спектрах спонтанного КР изучаемых объектов при фазовом переходе жидкость—пар в значительной степени обусловлены различием эффективного и среднего полей световой волны в конденсированной среде. Приведенные результаты сопоставляются с соответствующими данными, полученными из инфракрасных спектров.

1. Известно, что при фазовом переходе жидкость—пар наблюдаемые спектры спонтанного комбинационного рассеяния (КР) могут претерпевать существенные изменения. Эти изменения обусловлены различием межмолекулярных взаимодействий (ММВ) в конденсированной среде и в газовой фазе. В работах, посвященных изучению рассматриваемого явления, наметились следующие основные точки зрения. Одна из них [1, 2, 6] сводится к интерпретации наблюдаемых различий спектров КР на основе изменений электрооптических параметров молекул при фазовом переходе. Другая базируется на концепции локальных диполь-дипольных взаимодействий, с помощью которых удалось объяснить ряд экспериментальных закономерностей, связанных со смещением и уширением линий КР [3-5]. Наконец, согласно [7-14], в качестве эквивалента межмолекулярных сил используется понятие об эффективном (локальном) поле световой волны, действующем на молекулу в конденсированной среде. Последний метод позволяет с помощью моделей, заимствованных из теории поляризации диэлектриков, получить соотношения между интегральными интенсивностями спектров КР пара и жидкости, определяемые показателем преломления конденсированной среды. Тем самым наблюдаемое на опыте увеличение интегральной интенсивности при переходе от пара к жидкости получает качественное объяснение, однако количественное согласие с экспериментальными данными в большинстве случаев отсутствует [15].

Последовательный подход к проблеме влияния ММВ на спектры конденсированных сред, объединяющий рассмотренные выше точки зрения, был осуществлен в работах [16-19], в которых показано, что эта проблема разделяется на две самостоятельные части. Первая из них заключается в учете спектральных различий эффективного и среднего полей световой волны с целью извлечения информации о спектроскопических характеристиках молекул (коэффициентах Эйнштейна) в конденсированной среде [18-20]. Во второй части рассматривается влияние ММВ на собствен-

ные спектроскопические (в том числе электрооптические) свойства молекул [21, 22]. В соответствии с этими представлениями корректное сопоставление спектров молекулы в разных агрегатных состояниях в общем случае возможно лишь после решения первой из указанных задач.

Цель настоящей работы состоит в сравнительном изучении спектров КР и ИК поглощения молекул ряда органических соединений при фазовом переходе жидкость—пар. Для этого необходимо (в согласии с вышеизложенным) знание соответствующих спектров коэффициентов Эйнштейна, непосредственно определяющих спектроскопические свойства молекул.

В качестве объектов исследования были выбраны жидкие CCl_4 , CHCl_3 , $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$, $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$ и C_6H_6 . Такой выбор обусловлен отсутствием сильных специфических ММВ в этих системах, что позволяет более надежно оценить роль локального поля световой волны в изменении наблюдаемых спектров при фазовом переходе. К тому же для перечисленных веществ в литературе имеются необходимые количественные данные о спектрах КР и ИК поглощения.

2. Обратимся к определению величины коэффициента Эйнштейна для вынужденного КР $D_\nu(\nu')$, характеризующего спектроскопические свойства молекулы. Соотношение между спектром коэффициента Эйнштейна $D_\nu(\nu')$ и наблюдаемым на опыте спектром спонтанного КР $I_\nu(\nu')$ в случае конденсированной среды, полученное в [20], имеет следующий вид

$$D_\nu(\nu') = \frac{c^3}{8\pi h \nu'^3} \frac{I_\nu(\nu')}{\bar{u}_{(\nu')} \text{ ср.}} \Theta(\nu'), \quad (1)$$

где $\bar{u}_{(\nu')} \text{ ср.}$ — объемная спектральная плотность радиации на частоте возбуждения ν , а

$$\Theta(\nu') = \frac{1}{n^3(\nu') \delta(\nu') \bar{\gamma}_\nu} \quad (2)$$

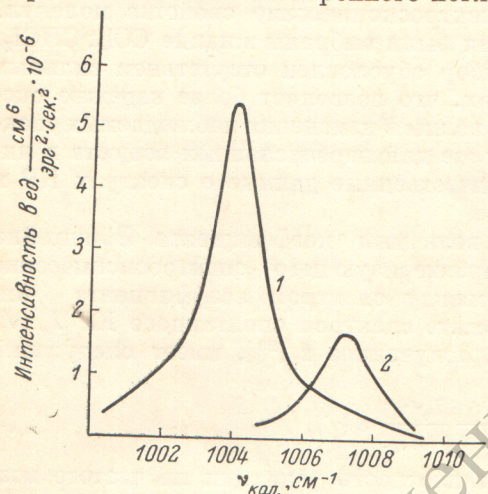
поправочный множитель к наблюдаемому спектру КР. Здесь $\bar{\gamma}_\nu$ и $\delta(\nu')$ — факторы эффективного поля световой волны соответственно на частотах возбуждающего и рассеянного света. В работе [23] был изложен метод расчета величины $D_\nu(\nu')$ на основании экспериментальных данных о спектрах спонтанного КР. В соответствии с [23] для определения значения $D_\nu(\nu')$ необходимо знание следующих величин: спектрального коэффициента Эйнштейна для спонтанного КР — $C_\nu(\nu') = I_\nu(\nu') / \bar{u}_{(\nu')} \text{ эфф.}$, положения максимума ν_e и силы осциллятора f актуальной полосы электронного поглощения, а также онзагеровского радиуса молекулы r .

Значения всех необходимых для расчета величины $D_\nu(\nu')$ параметров (табл. 1) были получены нами экспериментально, а также заимствованы из литературы. Спектры спонтанного КР исследованных соединений измерялись на установке с использованием монохроматора ДФС-12. Для возбуждения спектров КР применялась ртутная лампа ДРС-600А

Таблица 1
Значения параметров, использованных при расчете спектров молекул в жидкости $D_\nu(\nu')$

Вещество	$\nu_{\text{кол.}}, \text{ см}^{-1}$	$r, \text{ \AA}$	n	f	$\nu_e, \text{ см}^{-1}$	$\frac{I_\nu}{\bar{u}_{(\nu)} \text{ ср.}} \cdot 10^{-6}$ $\text{см}^3/\text{эрг} \cdot \text{сек.}^2$	$\frac{I_\nu \text{ max}(\nu')}{\bar{u}_{(\nu)} \text{ ср.}} \cdot 10^{-20}$ $\text{см}^3/\text{эрг} \cdot \text{сек.}$
CCl_4	217	3.0	1.46	0.189	43000	0.21	43.5
	791	3.0	1.47	0.189	43000	0.24	13.2
CHCl_3	762	2.8	1.448	0.078	40000	0.16	12.3
	1216	2.8	1.448	0.078	43000	0.047	11.1
C_6H_6	606	2.9	1.501	2.0	43000	0.09	27.0
	1176	2.9	1.501	2.0	40000	0.16	26.6
$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$	1004	3.5	1.49	2.0	40000	1.26	95.0
	$\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$	702	3.4	1.525	2.0	40000	0.49

(частота возбуждающего света $\nu = 22\ 946\ \text{см}^{-1}$). Учет влияния аппаратных искажений на наблюдаемый контур линий КР проводился с помощью упрощенного метода Ван-Ситтерта [24]. Спектры $S_\nu(\nu')$ были получены, исходя из редуцированных контуров линий спонтанного КР и их стандартных интегральных интенсивностей [25]. Онзагеровские радиусы молекул CCl_4 , CHCl_3 и C_6H_6 заимствованы из [19], а для молекул $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$ и $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$ принимались равными структурным. Положение актуальных в рассеянии полос электронного поглощения (ν_e) определялось на основа-



Спектры КР жидкого $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$.

1 — наблюдаемый спектр $I_\nu(\nu')$, 2 — спектр молекулы $D_\nu(\nu')$.

нии зависимости интенсивности линий КР от частоты возбуждающего света методом, изложенным в [26, 27]. Полученные таким образом значения ν_e были использованы для установления актуальных в КР энергетических переходов, при этом учитывались особенности электронных полос поглощения с точки зрения их относительных вкладов в интенсивность спектров КР [28–31].

На рисунке в качестве примера приведен наблюдаемый спектр КР $I_\nu(\nu')$, а также спектр коэффициента Эйнштейна $D_\nu(\nu')$ в случае жидкого CHCl_3 , рассчитанный на основании метода, изложенного выше. Параметры наблюдаемых спектров КР $I_\nu(\nu')$ исследованных веществ и соответ-

ствующих им спектров $D_\nu(\nu')$ представлены в табл. 2. Из сопоставления приведенных данных следует, что спектры $D_\nu(\nu')$ в ряде случаев отличаются от наблюдаемых спектров $I_\nu(\nu')$ по всем характеристикам — положению, интенсивности и форме линий, причем качественные изменения в спектрах носят одинаковый характер для всех молекул. Так, например, переход от наблюдаемых спектров $I_\nu(\nu')$ к спектрам $D_\nu(\nu')$ сопровождается уменьшением интегральной интенсивности и коротковолновым сдвигом линий КР (см. также рисунок). Количественные изменения в спектрах, как видно из табл. 2, существенно различны для разных линий. В частности, изменение положения линий при переходе к спектрам $D_\nu(\nu')$ в случае исследованных объектов лежит в пределах $20\ \text{см}^{-1}$. При этом величина указанных изменений существенно зависит от спектроскопических характеристик молекул — интегральной интенсивности линий КР, силы осциллятора актуальной полосы электронного поглощения, частоты колебания, соответствующей рассматриваемой линии КР, т. е. в конечном счете, согласно [23], непосредственно определяется спектральным ходом поляризуемости молекул в виртуальном состоянии.

Что касается интегральной интенсивности линий КР, то степень ее изменения при переходе от спектров $I_\nu(\nu')$ к $D_\nu(\nu')$ определяется средним значением поляризуемости молекулы, а следовательно, в определенном приближении показателем преломления конденсированного вещества. В частности, нетрудно заметить (табл. 1 и 2), что степень различия интегральных интенсивностей линий в спектрах $I_\nu(\nu')$ и $D_\nu(\nu')$ увеличивается с ростом показателя преломления жидкости.

Учет влияния различий эффективного и среднего полей световой волны на ИК спектры поглощения $K(\nu_{\text{кол.}})$ жидких CCl_4 и CHCl_3 с целью определения спектра коэффициента Эйнштейна молекул $B(\nu_{\text{кол.}})$ был проведен ранее [19], а для полосы $\nu_{\text{кол.}} = 702\ \text{см}^{-1}$ жидкого $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$ выполнен нами. ИК спектры поглощения жидкого и газообразного $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$ получены на спектрофотометре UR-20. Значения основных параметров ИК спектров исследуемых соединений также приведены в табл. 2.

Таблица 2
Основные характеристики наблюдаемых спектров $I_\nu(\nu')$ и $K(\nu_{\text{кол.}})$
и спектров молекул $D_\nu(\nu')$ и $B(\nu_{\text{кол.}})$ в случае жидкости и газовой фазы

Вещество	Спектры КР											
	$\nu_{\text{кол.}}, \text{см}^{-1}$			$\Delta\nu_{1/2}, \text{см}^{-1}$			интегральная интенсивность в ед. $\text{см}^2/\text{эрг}^2 \cdot \text{сек.}^2 \cdot 10^5$			интенсивность в максимуме в ед. $\text{см}^2/\text{эрг}^2 \cdot \text{сек.}^2 \cdot 10^{-7}$		
	жидкость		газ	жидкость		газ [36]	жидкость		газ [11, 38]	жидкость		
	$I_\nu(\nu')$	$D_\nu(\nu')$		$I_\nu(\nu')$	$D_\nu(\nu')$		$I_\nu(\nu')$	$D_\nu(\nu')$		$I_\nu(\nu')$	$D_\nu(\nu')$	
CCl_4	217	223	221	9.6	9.6	(14)	1.1	0.3	0.44	2.2	0.6	
	791	794	794	26	26	(40)	1.3	0.45	0.67	0.74	0.27	
CHCl_3	762	782	768	32	26	(44)	0.9	0.32	0.47	0.68	0.3	
	1216	1224	1218	13	13	(35)	0.28	0.09	0.13	0.64	0.2	
C_6H_6	606	606	606	8.0	8.0	—	0.5	0.16	0.15	1.5	0.45	
	1176	1176	1176	12	12	—	0.9	0.3	0.27	1.4	0.45	
$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$	1004	1007	1007	1.8	1.8	—	7.3	2.5	—	54	17	
$\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$	702	704	705	5.0	5.0	—	2.8	0.9	—	15	4.5	

Таблица 2 (продолжение)

Вещество	ИК спектры											
	$\nu_{\text{кол.}}, \text{см}^{-1}$			$\Delta\nu_{1/2}, \text{см}^{-1}$			интегральная интенсивность в ед. $\text{см}^2/\text{эрг} \cdot \text{сек.}^2 \cdot 10^{17}$			интенсивность в максимуме в ед. $\text{см}^2/\text{эрг} \cdot \text{сек.} \cdot 10^4$		
	жидкость		газ	жидкость		газ	жидкость		газ	жидкость		
	$K(\nu_{\text{кол.}})$	$B(\nu_{\text{кол.}})$		$K(\nu_{\text{кол.}})$	$B(\nu_{\text{кол.}})$		$K(\nu_{\text{кол.}})$	$B(\nu_{\text{кол.}})$		$K(\nu_{\text{кол.}})$	$B(\nu_{\text{кол.}})$	
CCl_4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	787	794	794	19	6	8	4.6	3.8	3.2	44	110	84
CHCl_3	760	769	772	25	9	14	3.1	2.6	2.0	30	54	39
	1213	1215	1218	15	14	11	0.37	0.25	0.23	6.6	4.6	5.1
C_6H_6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
$\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$	702	703	704	5	5	—	0.2	0.15	—	10	8	—

Примечание. Данные о параметрах ИК спектров поглощения CCl_4 и CHCl_3 заимствованы из [19, 27].

3. Рассмотрим различия изучаемых спектров при фазовом переходе жидкость—пар. На основании результатов, приведенных в табл. 2, можно сделать вывод о том, что спектры КР молекул в жидкой фазе $D_\nu(\nu')$ в целом более близки к спектрам пара, чем наблюдаемые спектры жидкости $I_\nu(\nu')$. Тем самым анализ спектров коэффициентов Эйнштейна $D_\nu(\nu')$ подтверждает сделанный ранее вывод об относительно малом влиянии ММВ на собственные спектроскопические свойства данных молекул в жидкой фазе, который основывался на изучении их спектров ИК поглощения [18, 19] (см. также табл. 2). Действительно, как показано в этой работе, основные изменения в наблюдаемых спектрах КР при переходе от паров к жидкости качественно, а в некоторых случаях и количественно могут быть объяснены различием эффективного и среднего полей световой волны в конденсированной среде. Существенно при этом, что развиваемые представления позволяют с единой точки зрения интерпретиро-

вать ряд особенностей изменения при фазовом переходе как спектров КР, так и спектров ИК поглощения. Так удается, в частности, объяснить значительное уменьшение интегральных интенсивностей наблюдаемых спектров КР при переходе от жидкости к пару и заметно меньшее их изменение в спектрах ИК поглощения исследованных объектов. Укажем, например, что интегральная интенсивность линии $\nu_{\text{кол.}} = 1216 \text{ см}^{-1}$ в наблюдаемом спектре КР CHCl_3 при фазовом переходе жидкость—пар уменьшается более чем в 2 раза, тогда как в наблюдаемом спектре ИК поглощения изменение интегральной интенсивности одноименной полосы составляет значение порядка 1.5. Еще более резко эта закономерность проявляется на полосах CCl_4 и C_6H_6 . Столь существенное различие в поведении интегральных интенсивностей спектров КР и ИК поглощения вызвано тем, что в первом случае [20, 23] в отличие от второго [16, 18, 19] учет различий эффективного и среднего полей световой волны производится на двух частотах (возбуждения и рассеяния), благодаря чему [см. формулу (2)] относительная роль рассматриваемых факторов резко возрастает.

Заслуживает также внимания то обстоятельство, что в рамках данного подхода находит объяснение уже ранее отмечавшийся факт [11, 15] примерно одинакового уменьшения интегральных интенсивностей различных линий в наблюдаемом спектре КР данного вещества при переходе от жидкости к пару.

Обсудим влияние фазового перехода жидкость—пар на другой важный спектроскопический параметр — положение полос в спектрах КР и ИК поглощения. Из анализа данных, приведенных в табл. 2, следует, что смещение максимумов полос в спектрах КР при фазовом переходе в целом имеет тот же характер и порядок величины, что и в спектрах ИК поглощения. При этом изменения положения полос, сопровождающие переход от наблюдаемых спектров жидкости к спектрам молекулы, в случае выбранных объектов в общем соответствуют сдвигам максимумов полос при фазовом переходе жидкость—пар. Это позволяет сделать вывод о том, что изменение положения линий в спектрах КР при фазовом переходе (так же как и в случае ИК спектров поглощения) определяется в значительной степени различием эффективного и среднего полей световой волны в конденсированной среде. Если к тому же учесть, что частоты максимумов полос в спектрах КР и ИК поглощения газовой фазы близки, то из вышеизложенного следует, что одной из возможных причин несоответствия положения полос, соответствующих одноименным колебаниям в спектрах КР и ИК поглощения конденсированных сред, является различие эффективного и среднего полей световой волны (табл. 2). В связи с этим необходимо особо подчеркнуть, что изменение положения линий КР при переходе от спектров $I, (\nu')$ к спектрам $D, (\nu')$ существенно зависит, как уже отмечалось, не только от их собственных параметров (контура, интенсивности), но и от характеристик спектра электронного поглощения (см. [23]), которые в некоторых случаях измеряются со значительной погрешностью. В частности, завышенные значения частот максимумов линий в спектре $D, (\nu')$ жидкого CHCl_3 относительно их положения в газовой фазе, по нашему мнению, могут быть вызваны неточным значением силы осциллятора актуального электронного перехода, заимствованного из работы [28] и использованным при расчете множителя $\theta (\nu')$.

Наконец, из рассмотрения влияния фазового перехода жидкость—пар на ширину полос колебательных спектров молекул $D, (\nu')$ и $B (\nu_{\text{кол.}})$ следует, что в случае КР полуширина линий при этом возрастает в отличие от спектров ИК поглощения, для которых полуширины полос в обоих агрегатных состояниях близки между собой (табл. 2). Ввиду того что учет дисперсии эффективного поля световой волны мало сказывается на изменении полуширины линий при переходе от наблюдаемого спектра КР жидкости $I, (\nu')$ к спектру коэффициента Эйнштейна $D, (\nu')$, увеличение значения $\Delta \nu_{1/2}$ в спектрах газовой фазы обусловлено, по-видимому, различной природой уширения линий КР в различных фазовых состояниях вещества (подробнее об этом см. в работах [38–40]).

В заключение необходимо отметить, что хотя представленный материал еще не настолько полон, чтобы делать какие-либо строгие количественные выводы о влиянии ММВ вандерваальсовского типа на спектроскопические характеристики молекул, из его анализа тем не менее вытекает, что многие изменения в наблюдаемых спектрах КР при фазовом переходе жидкость—пар могут быть объяснены слиянием спектральных различий эффективного и среднего полей световой волны в конденсированной среде. Это не означает, конечно, что такой эффект исчерпывает все спектральные изменения при фазовом переходе в случае произвольных объектов. Однако необходимо иметь в виду, что его относительный вклад в изменения спектров будет тем существеннее, чем меньше меняются собственные свойства молекул.

Литература

- [1] И. Л. Бабич, И. И. Кондиленко, В. Л. Стрижевский. *Опт. и спектр.*, 13, 642, 1962.
- [2] И. И. Кондиленко, Г. А. Воробьева, И. Ф. Классен. *Опт. и спектр.*, 27, 420, 1969.
- [3] А. В. Сечкарев. Автореф. докт. дисс., Новосибирск, 1966.
- [4] А. В. Сечкарев. *Опт. и спектр.*, 19, 721, 1965.
- [5] А. В. Сечкарев, Н. И. Дворенко. *Изв. вузов, физика*, 1, 43, 1965.
- [6] H. Kroto, J. Teixeira-Dias. *Mol. Phys.*, 18, 773, 1970.
- [7] L. Woodward, H. George. *Nature*, 167, 193, 1951; *Roy. Phys. Soc.*, B64, 780, 1951.
- [8] D. Rea. *J. Opt. Soc. Am.*, 49, 90, 1959; *J. Mol. Spectr.*, 4, 507, 1960.
- [9] В. М. Пивоваров. *Опт. и спектр.*, 6, 101, 1959; 9, 266, 1960.
- [10] В. М. Пивоваров, Я. С. Бобович. *Опт. и спектр.*, 3, 134, 1957.
- [11] А. И. Соколовская. *Тр. ФИАН*, 27, 23, 1964.
- [12] K. Illinger, D. Freeman. *J. Mol. Spectr.*, 9, 191, 1962.
- [13] K. Illinger. *J. Mol. Spectr.*, 15, 440, 1965.
- [14] P. Mirone. *Spectrochim. Acta*, 22, 1867, 1966.
- [15] Н. К. Сидоров, Л. С. Стальмахова, Н. В. Богачев. *Опт. и спектр.*, 30, 693, 1971.
- [16] Н. Г. Бахшиев. *Спектроскопия межмолекулярных взаимодействий*. Изд. «Наука», Л., 1972.
- [17] Н. Г. Бахшиев, О. П. Гирин. *Опт. и спектр.*, 24, 691, 1968.
- [18] Н. Г. Бахшиев, О. П. Гирин, В. С. Либов. *ДАН СССР*, 145, 1025, 1962; *Опт. и спектр.*, 14, 476, 634, 745, 1963.
- [19] В. С. Либов. Автореф. канд. дисс., Л., 1965.
- [20] В. С. Либов, Н. Г. Бахшиев. *Опт. и спектр.*, 31, 48, 1971.
- [21] О. П. Гирин, Н. Г. Бахшиев. *Опт. и спектр.*, 24, 910, 1968.
- [22] Н. Г. Бахшиев. *Опт. и спектр.*, 19, 345, 1965.
- [23] В. М. Сидоренко, В. С. Либов, Н. Г. Бахшиев. *Опт. и спектр.*, 35, 271, 1973.
- [24] В. М. Сидоренко. *Оптико-механич. промышл.*, № 8, 73, 1972.
- [25] И. Брандмюллер, Г. Мозер. *Введение в спектроскопию комбинационного рассеяния света*. Изд. «Мир», М., 1964.
- [26] И. И. Кондиленко, И. Л. Бабич. *Матер. X Всесоюзн. совещ. по спектроскопии*, 218, 1957.
- [27] М. Я. Центер. Автореф. канд. дисс., Л., 1964.
- [28] H. Tsubomura, K. Kimura, K. Kaaya, J. Tanaka, S. Nagakura. *Bull. Chem. Soc. Japan*, 37, 417, 1964.
- [29] A. Albrecht. *J. Chem. Phys.*, 34, 1476, 1961.
- [30] J. Petruska. *J. Chem. Phys.*, 34, 1120, 1961.
- [31] И. И. Кондиленко, П. А. Коротков, В. Л. Стрижевский. *Опт. и спектр.*, 9, 26, 1960.
- [32] W. Murphy, W. Holzer, H. Bernstein. *Appl. Spectr.*, 23, 211, 1969.
- [33] Л. М. Свердлов, М. А. Ковнер, Е. П. Крайнов. *Колебательные спектры многоатомных молекул*. Изд. «Наука», М., 1970.
- [34] К. Колбрауш. *Спектры комбинационного рассеяния*. ИЛ, М., 1952.
- [35] Г. А. Воробьева, И. И. Кондиленко, И. Ф. Классен. *УФЖ*, 13, 193, 1968.
- [36] H. Welsh, M. Crawford, T. Thomas, G. Love. *Canad. J. Phys.*, 30, 577, 1952.
- [37] В. С. Либов, Н. Г. Бахшиев. *Опт. и спектр.*, 16, 223, 1964.
- [38] М. А. Ковнер, А. В. Чаплик. *Опт. и спектр.*, 13, 56, 1962.
- [39] Н. Г. Бахшиев, Ю. Е. Забиякин. *Опт. и спектр.*, 27, 607, 1969.
- [40] Н. Г. Бахшиев, Ю. Е. Забиякин. *Опт. и спектр.*, 27, 419, 1969.

Поступило в Редакцию 20 октября 1972 г.