

УГЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ВКР ПРИ ДВУХ ВОЗБУЖДАЮЩИХ
ЛИНИЯХ

Т. В. Москалева, А. Н. Арбатская, М. М. Судинский

УДК 535.375

Экспериментально исследовано угловое распределение ВКР в сероуглероде при наличии двух возбуждающих линий. Обнаружены кольца излучения ВКР, обусловленные участием в процессе возбуждающих линий, разность частот которых не кратна колебательной частоте среды. Наблюдались кольца поглощения на высших стоксовых компонентах ВКР.

Характерной чертой явления ВКР является сложное распределение рассеянного излучения по углам. Наряду с рассеянным излучением, имеющим резкий максимум в направлении оси пучка возбуждающего излучения, антистоксовы и высшие стоксовы компоненты ВКР имеют максимумы интенсивности под определенными углами к оси, величина которых определяется параметрами вещества и кратностью компонент. Соответственно на фотопластинке, поставленной перпендикулярно лучу возбуждающего света, образуются "кольца" и центральные пятна.

Кольца излучения ВКР были обнаружены уже в первых работах, посвященных изучению этого явления. Объяснение колец на основе условия фазового синхронизма было дано в работе /1/. В этой и большинстве последующих работ предполагается, что частоты возбуждающих волн ω_a, ω_b связаны условием

$$\omega_a - \omega_b = \Omega, \quad (I)$$

где Ω - колебательная частота рассеивающей среды. Исходным в цепочке процессов, приводящих к сложному угловому распределению ВКР, является взаимодействие возбуждающей линии с частотой ω_0 и первой стоксовой компоненты ВКР с частотой ω_{-1} .

Несколько иной подход к рассматриваемым процессам развивался в работах /2,3/, согласно которым, волновые векторы и частоты

ты фотонов, участвующих в четырехфотонных процессах ВКР, должны удовлетворять следующим соотношениям когерентности

$$\bar{k}_a - \bar{k}'_a - \bar{k}_b + \bar{k}'_b = 0; \quad (2a)$$

$$\omega_a - \omega'_a - \omega_b + \omega'_b = 0 \quad (2б)$$

для стокс-стоксовых процессов и

$$\bar{k}_a - \bar{k}'_a - \bar{k}'_b + \bar{k}_b = 0; \quad (3a)$$

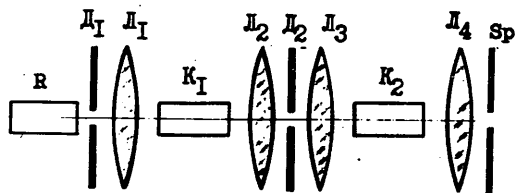
$$\omega_a - \omega'_a - \omega'_b + \omega_b = 0 \quad (3б)$$

для стокс-антистоксовых процессов. Легко видеть, что формула (2a) совпадает при $\omega_a - \omega_b = \Omega$ с условием фазового синхронизма Таунса [1]. При том же условии (3a) описывает обычно рассматриваемые параметрические четырехволновые процессы. Следует подчеркнуть, что соотношения когерентности, в принципе, не ограничены условием (1) и могут выполняться при любых значениях разности частот исходных взаимодействующих волн.^{*)} Таким образом, кольца излучения ВКР должны наблюдаться и в том случае, когда две исходные "возбуждающие" волны обладают произвольными частотами, т.е. $\omega_a - \omega_b \neq \Omega$.

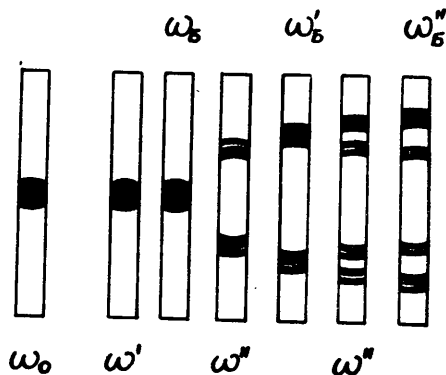
Экспериментальная проверка последнего утверждения была выполнена нами при помощи установки, схема которой представлена на рис. 1. Излучение ОКТ на рубине при помощи линзы L_1 направлялось в кивету K_1 с бензолом. Из киветы K_1 выходит излучение с частотой рубинового лазера и возбужденная им первая стоксова компонента бензола с частотой ω_B . Это излучение при помощи линзы L_2 направлялось почти параллельным пучком на линзу L_3 и фокусировалось в кивету K_2 с сероуглеродом. С помощью линзы L_4 излучение, выходящее из киветы K_2 , собиралось в плоскости цели спектрографа, которая находилась в фоку-

*) Это обстоятельство широко применяется в методе активной спектроскопии; при этом, однако, исследуется только присоединенное излучение.

се линзы L_4 . Ширина щели составляла 2 мм, что позволяло наблюдать достаточно широкие участки колец ВКР, причем перекрывания колец еще не происходило.



Р и с. 1. Схема установки



Р и с. 2. Угловое и спектральное распределение ВКР в сероуглероде при двух возбуждающих линиях

Таким образом, в кювете K_2 происходило возбуждение ВКР двумя возбуждающими линиями с частотами ω_0 и ω_B , которые по отношению к среде во второй кювете - сероуглероду, не связаны никакими соотношениями типа (I). Излучение рубина возбуждало во второй кювете, как обычно, стоксовы компоненты сероуглерода с частотами $\omega'_0, \omega''_0, \omega'''_0$. На первой стоксовой компоненте ω'_0 наблюдалось только центральное пятно, на второй и третьей компонентах ω''_0 и ω'''_0 - как центральное пятно, так и кольца (см. схематический рис. 2). Излучение с частотой ω_B должно было бы дать

в сероуглероде, действуя независимо от ω_0 , такую же последовательность стоксовых компонент. В действительности на частоте первой стоксовой компоненты ω_B' (первая стоксова компонента сероуглерода, возбужденная излучением первой стоксовой компоненты бензола) на ряде снимков наблюдалось не только центральное пятно, но и кольца (см. рис. 2). Это доказывает, что в данном случае имело место четырехфотонное ВКР. Поскольку излучение на частотах ω_0 и ω_B' было параллельно оси кювет, то мог возбуждаться только стокс-антистоксов процесс ВКР. Последовательность появления колец и центрального пятна такая же, как и в случае, когда в обеих кюветах находится одно и то же вещество (см. /3/). А именно, при постепенном повышении мощности первой стоксовой компоненты бензола в кювете K_2 возбуждалось на частоте ω_B' сначала кольцо, потом кольцо и центральное пятно. При больших значениях интенсивности указанной компоненты возбуждалось только центральное пятно.

В таблице I приведены результаты измерений угловых радиусов наблюдавшихся колец в сопоставлении с данными расчета для стокс-антистоксовых переходов по формуле, приведенной в /3/.

Кроме колец испускания, мы наблюдали на ряде снимков кольца поглощения.*) Эти кольца свидетельствуют о наличии стокс-стоксовых четырехфотонных процессов с участием излучения, распространяющегося под углом $\theta_{\text{полг}}$ к оси. Угловые радиусы колец излучения $\theta_{\text{изл}}$, соответствующих указанным процессам для случая, когда исходными являлись волны с одной и той же частотой, но распространяющиеся одна по оси, другая под углом $\theta_{\text{полг}}$, вычислялись по формуле

$$\theta_{\text{изл}} = \frac{K + K'}{2K} \theta_{\text{полг}}; \quad (4)$$

$$\theta_{\text{изл}}^* = \frac{K - K'}{2K} \theta_{\text{полг}}.$$

*) Ранее (см. /1,4,5/) наблюдались кольца поглощения только в диффузном излучении, сопровождающим первую стоксову компоненту ВКР.

Таблица I

Компонента ВКР	Соотношения когерентности	Угловые радиусы колец ВКР, 10^{-2} рад				
		расчет		эксперимент		
		углы испуска вания	среднее	углы испуска вания	среднее	углы погл щения
I	2	3	4	5	6	7
2 стокс CS_2 ω^*	$\bar{K}_0 + \bar{K}_{-1} = \bar{K}_{-1} + \bar{K}_{-2}$	4,12		3,52		3,39
	$2\bar{K}_{-1} = \bar{K}_0 + \bar{K}_{-2}$	2,85	3,49	3,31	3,28	3,08
3 стокс CS_2 ω^{**}	$\bar{K}_0 + \bar{K}_{-2} = \bar{K}_{-1} + \bar{K}_{-3}$	5,14		4,92		4,87
	$\bar{K}_{-1} + \bar{K}_{-2} = \bar{K}_0 + \bar{K}_{-3}$	4,09	4,62	4,59	4,76	
	$(\bar{K}_{-2})_{\text{погл}} - (\bar{K}_{-2})_{\text{осев}} = \bar{K}_{-3} - \bar{K}_{-3}^{**}$ ($\theta_{\text{погл}} = 3,39$)	3,48		3,32		
	$(\bar{K}_{-2})_{\text{погл}} - (\bar{K}_{-2})_{\text{осев}} = \bar{K}_{-3} - \bar{K}_{-3}^{**}$ ($\theta_{\text{погл}} = 3,08$)	3,16	3,32	3,11	3,22	3,28

I	2	3	4	5	6	7
I сток бензола в CS ₂ ω _Б '	$\bar{K}_O + \bar{K}_B = \bar{K}_I + \bar{K}_B'$	4,65		4,38		4,27
	$\bar{K}_{-I} + \bar{K}_B = \bar{K}_O + \bar{K}_B'$	3,52	4,09	4,14	3,97	3,59
2 сток бензола в CS ₂ ω _Б ''	$\bar{K}_O + \bar{K}_B' = \bar{K}_I + \bar{K}_B''$	5,61		5,98		
	$\bar{K}_{-I} + \bar{K}_B' = \bar{K}_O + \bar{K}_B''$	4,62	5,12	5,43	5,71	5,69
	$(\bar{K}_{-2})_{\text{погл}} - (\bar{K}_{-2})_{\text{осев}} = \bar{K}_{-3} - \bar{K}_{-3}^{\#}$ (e _{погл} = 4,27)	4,39		4,81 [#]		
	$(\bar{K}_{-2})_{\text{погл}} - (\bar{K}_{-2})_{\text{осев}} = \bar{K}_{-3} - \bar{K}_{-3}^{\#}$ (e _{погл} = 3,59)	3,69		3,23		
	$\bar{K}_{-2} + \bar{K}_B = \bar{K}_{-I} + \bar{K}_B''$	3,47	3,31		2,95	2,93
	$2\bar{K}_B = \bar{K}_B + \bar{K}_B''$	2,87		2,67		

#) Значения получены по малому числу данных (снимков).

Угол излучения $\Theta_{\text{изл}}^*$ лежит в пределах конуса прюссового излучения. Полученные значения приведены в таблице. Как можно видеть, вычисленные значения угловых радиусов во всех случаях согласуются с экспериментальными значениями.

Поступила в редакцию
4 апреля 1977 г.

Л и т е р а т у р а

1. E. Garmire, F. Pandarese, C. H. Towns, *Phys. Rev. Lett.*, **11**, 160 (1963).
2. А. Н. Арбатская, К. А. Прохоров, М. М. Сушинский, *ЖЭТФ*, **62**, 872 (1972).
3. А. Н. Арбатская, М. М. Сушинский, *ЖЭТФ*, **66** 1993 (1974).
4. R. Chiao, B. P. Stoicheff, *Phys. Rev. Lett.*, **12**, 290 (1964).
5. E. Garmire. An investigation of stimulated Raman emission, Massachusetts Institute of Technology, 1965.