

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ КОНУСЫ ИЗЛУЧЕНИЯ АНТИСТОКСОВЫХ КОМПОНЕНТ ВКР В КАЛЬЦИТЕ

*Б.М. Атаев, В.Н. Луговой*

Экспериментальное исследование углового распределения антистоксовых компонент вынужденного комбинационного рассеяния в жидкостях и кристаллах проведено в ряде работ (см. [1,2]). В этих работах было установлено, что все антистоксовые компоненты излучаются в основном в конусы, оси которых совпадают с осью падающего на вещество рассеиваемого луча (накачки). При этом на фотопленке, расположенной за образцом перпендикулярно лучу накачки, получают концентрические окружности различных антистоксовых компонент рассеяния. В то же время в работе [3] была теоретически предсказана возможность дополнительного излучения антистоксовых компонент в кристаллах, которое должно распространяться под другим (вообще переменным) углом с направлением луча накачки. В этой же работе были получены уравнения, определяющие направление его распространения. В настоящей работе эти уравнения решены для случая одноосных кристаллов и дополнительное излучение антистоксовых компонент обнаружено экспериментально в одноосном кристалле  $\text{CaCO}_3$ . Проведенное ниже сравнение показывает хорошее совпадение полученных экспериментальных данных с результатами теории.

В том случае, когда накачка и первая стоксова компонента (в волновой зоне) представляют обыкновенную волну, угол  $\theta_m^{12}$  дополнительно-

*Вклейка к ст. Б. М. Атаева и др. (стр. 52)*

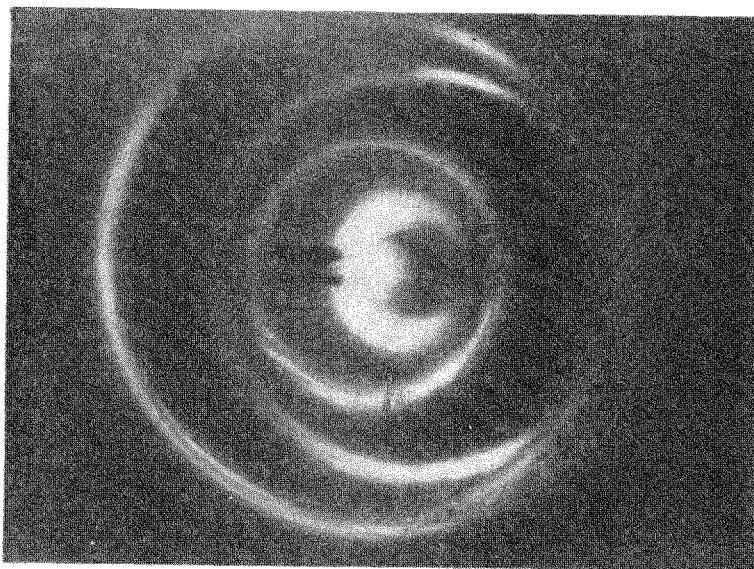


Рис. 1. Картина антистоксовых компонент ВКР в кальците, наблюдаемая при  $\nu = 4,02 \cdot 10^{-2}$ . Видны концентрические с лазерным пятном основные окружности первой и второй антистоксовых компонент, а также смещенные вправо дополнительные окружности тех же компонент

*Вклейка к ст. Б. М. Атаева и др. (стр. 52)*

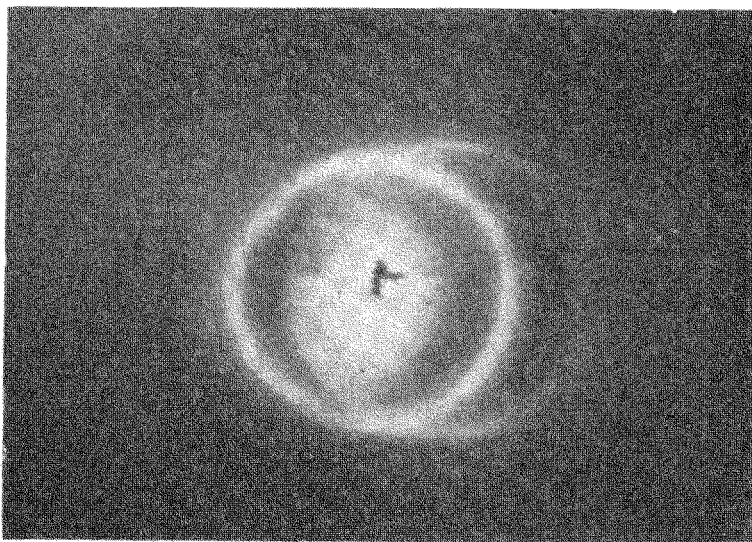


Рис. 2. Картина антистоксовых компонент ВКР в кальците, наблюдаемая при  $\nu = 6,63 \cdot 10^{-2}$ . Видна концентрическая с лазерным пятном основная окружность первой антистоксовой компоненты и смещенная вправо дополнительная окружность второй антистоксовой компоненты

*Вклейка к ст. Б. М. Атаева и др. (стр. 52)*

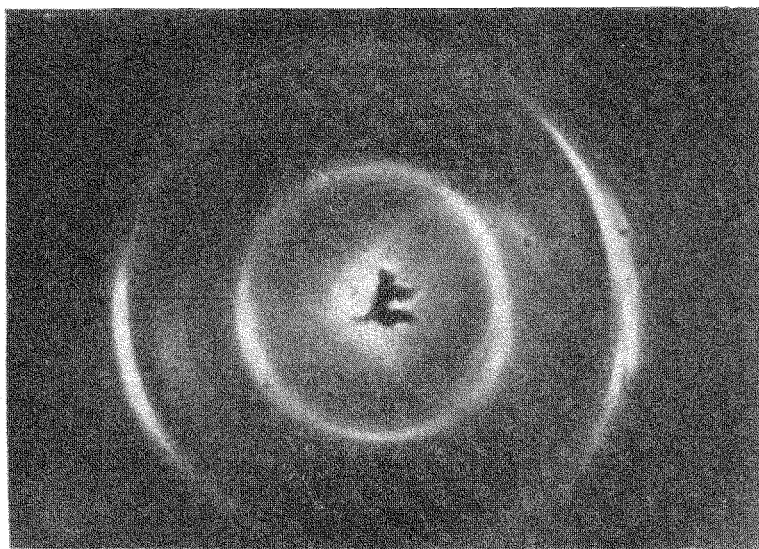


Рис. 3. Картина антистоксовых компонент ВКР в кальците, наблюдаемая при  $\nu = 7.68 \cdot 10^{-2}$ . Видны концентрические с лазерным пятном основные окружности первой и второй антистоксовых компонент, а также смещенная вправо дополнительная окружность второй антистоксовой компоненты.

го излучения антистоксовой компоненты порядка  $m$  определяется следующими соотношениями [3]:

$$2 \sin \frac{\theta_m^{12}}{2} = \left\{ \frac{[k_{m2}(\theta_m^{12}) + mk_{-11} - (m+1)k_{01}][mk_{-11} + (m+1)k_{01} - k_{m2}(\theta_m^{12})]}{(m+1)k_{01}k_{m2}(\theta_m^{12})} \right\}^{1/2}$$

$$k_{e\alpha}(\theta) = \frac{\omega_e}{c} n_\alpha(\omega_e, \Theta), \quad \Theta^2 = \nu^2 + \theta^2 + 2\nu\theta \cos \phi, \quad n_1(\omega, \Theta) \equiv \sqrt{\epsilon^{(y)}(\omega)}$$

$$n_2(\omega, \Theta) = \left[ \frac{\sin^2 \Theta}{\epsilon^{(x)}(\omega)} + \frac{\cos^2 \Theta}{\epsilon^{(z)}(\omega)} \right]^{-1/2}, \quad (1)$$

где для одноосных кристаллов:  $\sqrt{\epsilon^{(y)}} = \sqrt{\epsilon^{(z)}} = n_\perp$  — показатель преломления обыкновенной волны;  $\sqrt{\epsilon^{(x)}} = n_\parallel$ ;  $\nu$  — угол между оптической осью кристалла (ось  $x$ ) и волновым вектором накачки;  $(\pi - \phi)$  — угол 1) между плоскостью, проходящей через точку рассеяния, волновым вектором накачки и оптической осью и 2) между плоскостью, проходящей через тот же вектор и волновым вектором дополнительного излучения. При малых значениях углов  $\theta_m^{12}$  и  $\nu$  решение уравнений (1) дается формулой:

$$\theta_m^{12} = \frac{1}{1 + p_m^2} \left\{ -p_m^2 \nu \cos \phi + \sqrt{p_m^4 \nu^2 \cos^2 \phi + (1 + p_m^2)[(\theta_m^{11})^2 - p_m^2 \nu^2]} \right\} (2)$$

где

$$\theta_m^{11} = \sqrt{\frac{2mk_{-11}[k_{m1} + mk_{-11} - (m+1)k_{01}]}{(m+1)k_{01}k_{m1}}}, \quad (3)$$

$$p_m = \sqrt{\frac{mk_{-11}}{(m+1)k_{01}} \frac{n_\perp^2(\omega_m) - n_\parallel^2(\omega_m)}{m^2 \eta(\omega_m)}}. \quad (4)$$

Величина  $\theta_m^{11}$  есть угол основного излучения антистоксовой компоненты порядка  $m$ , не зависящий от  $\nu$  (см. [3–5]). Нетрудно убедиться, что равенство (2) есть заданная в полярных координатах  $\theta_m^{12}$ ,  $\phi$  — окружность с центром, лежащим между волновым вектором накачки и оптической осью (в проходящей через них плоскости) и отстоящим от направления волнового вектора накачки на величину

$$d_m^{12} = \frac{p_m^2 \nu}{1 + p_m^2}. \quad (5)$$

Радиус  $R_m^{12}$  этой окружности равен

$$R_m^{12} = \frac{1}{1 + p_m^2} \sqrt{(1 + p_m^2)(\theta_m^{11})^2 - p_m^2 \nu^2}. \quad (6)$$

Согласно формулам (5) и (6) для окружностей дополнительного излучения получается существенно иная картина по сравнению с окружностями основного излучения. В частности, из формулы (6) следует, что для каждой антистоксовой компоненты дополнительная окружность будет наблюдаться лишь в интервале углов  $\nu < \nu_m^{12}$ , где

$$\nu_m^{12} = \theta_m^{11} \frac{\sqrt{1 + \rho_m^2}}{\rho_m}. \quad (7)$$

Для численного расчета углов  $\theta_m^{11}$  и коэффициентов  $\rho_m$  мы использовали данные по показателям преломления кальцита из работы [6] и данные по длинам волн компонент рассеянного излучения из работ [1,7]. По формулам (3), (4), (7) были получены следующие значения:

$$\theta_1^{11} = 1,54 \cdot 10^{-2} \text{ (0)}; \rho_1 = 0,334 \text{ (4)}; \nu_1^{12} = 4,87 \cdot 10^{-2} \text{ (2}^\circ 47')$$

$$\theta_2^{11} = 3,00 \cdot 10^{-2} \text{ (8)}; \rho_2 = 0,387 \text{ (6)}; \nu_2^{12} = 8,32 \cdot 10^{-2} \text{ (4}^\circ 46').$$

Т а б л и ц а

$\nu \times 10^2 \text{ рад}$	Теория		Эксперимент	
	$R_1 / \theta_1^{11}$	$R_2 / \theta_1^{11}$	$R_1 / \theta_1^{11}$	$R_2 / \theta_1^{11}$
2,40	0,82	1,74	0,80	1,75
3,46	0,67	1,66	0,68	1,65
4,02	0,53	1,59	0,50	1,58
4,51	0,35	1,53	0,35	1,50
5,04	—	1,45	—	1,44
5,83	—	1,30	—	1,31
6,63	—	1,10	—	1,10
7,68	—	0,70	—	0,71

В проведенных нами экспериментах накачкой являлся линейно поляризованный луч рубинового лазера, проходивший через кальцит обыкновенной волной. Рассеянное излучение проходило через фильтр, ослаблявший стоксовы компоненты и прошедший через образец луч накачки, после чего попадало на фотопленку, расположенную перпендикулярно лазерному лучу. Мы наблюдали дополнительные окружности антистоксовых компонент, смещенные относительно основных в сторону оптической оси кристалла. Типичные экспериментальные картины рассеяния приведены на рис.1–3 (см. вклейку). В большинстве случаев наиболее

четко были видны первая антистоксова—основная и первая и вторая антистоксовы дополнительные компоненты рассеяния. Соответственно в таблице приведены экспериментальные и теоретические значения отношений диаметров  $R_1^{12}/\theta_1^{11}$  и  $R_2^{12}/\theta_1^{11}$  при различных значениях  $\alpha$ . Эта таблица показывает хорошее совпадение экспериментальных и расчетных величин. При этом следует заметить, что приведенные выше расчеты основаны на теории ВКР, развитой в работах [3–5]. Можно, также убедиться, что в отношении дополнительного излучения второй антистоксовой компоненты модель ВКР, принятая в работах [8, 9 и др.], не объясняет (даже качественно) приведенных на рисунках 1–3 фотографий.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность А.М.Прохорову за полезные советы в процессе работы и обсуждение результатов. Авторы благодарны также Ф.В.Бункину за внимание, обсуждения и стимулирование работы, В.Б.Федорову и Б.В.Ершову за помощь в подготовке эксперимента.

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

Поступило в редакцию  
3 октября 1967 г.

#### Литература

- [1] R.Chiao, B.P.Stoicheff, Phys. Rev. Lett., 12, 290, 1964.
- [2] E.Garmire, Phys. Lett., 17, 251, 1965.
- [3] В.Н.Луговой. ЖЭТФ, 51, 931, 1966.
- [4] В.Н.Луговой. Опт. и спектр., 21, 293, 1966; Препринт ФИАН, А-60, 1965.
- [5] В.Н.Луговой. Опт. и спектр., 21, 432, 1966; Препринт ФИАН, А-95, 1965.
- [6] J.W.Gifford. Proc. Roy. Soc., 70, 329, 1902.
- [7] G.Eckhart, D.P.Bortfeld, M.Geller. Appl. Phys. Lett., 3, 137, 1963.
- [8] E.Garmire, F.Pandarese, C.H.Townes. Phys. Rev. Lett., 11, 160, 1963.
- [9] Н.Бломберген. Нелинейная оптика. Изд-во "Мир", М., 1966.