

УДК 535.375

ТОНКАЯ УГЛОВАЯ СТРУКТУРА ВЫНУЖДЕННОГО КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА НА ПОЛЯРИТОНАХ

Григорян Г. Г., Согомонян С. Б., Стрижевский В. Л.

В угловом распределении первой антистоксовой компоненты вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) света впервые обнаружена и интерпретирована дублетная структура в окрестности направлений точного фазового синхронизма для четырехфотонного параметрического процесса $2k_i = k_s + k_p$.

Нами впервые наблюдалась тонкая угловая структура ВКР света, обусловленная интерференцией процессов рассеяния и четырехфотонных параметрических процессов (ЧПП) с участием антистоксова излучения [1-3]. Она была обнаружена при исследовании ВКР света на *e*-поляритонах [4] в кристалле подата лития (в окрестности колебания 795 см^{-1} симметрии *A*).

Поляритонное ВКР возбуждалось излучением второй гармоники лазера (с усилителем) на фосфатном неодимовом стекле, который генерировал цуг сверхкоротких импульсов длительностью 30—40 пс каждый. Спектральная ширина линии гармоники составляла около 3 см^{-1} . ВКР происходило в коллимированном возбуждающем пучке диаметром 1.5 мм с интенсивностью 1 ГВт/см^2 при угловой расходимости около 0.6 мрад (все угловые величины относятся к излучению внутри кристалла). Использовались кристаллы иодата лития *X*- и *Y*-срезов длиной 30 мм; результаты для этих срезов оказались идентичными. Угловое распределение ВКР изучалось с помощью спектрографа ИСП-51 с камерой УФ-89 при снятой входной щели. Спектральные области существования компонент ВКР отвечают частотным сдвигам $759\text{—}778 \text{ см}^{-1}$ и $753\text{—}778 \text{ см}^{-1}$ в стоксовой и антистоксовой областях соответственно.

На рис. 1 показаны угловые распределения первых стоксовой (*a*) и антистоксовой (*b*) компонент; *o*-волна накачки распространялась вдоль кристаллографической оси *Y*-нормали к граням кристалла; плоскость рисунка есть плоскость *XOZ*. На рис. 2 приведены микрофотограммы угловых распределений в плоскостях *YOX* и *YOZ* (в окрестности «провалов» интенсивности ВКР). Как видно, антистоксово излучение имеет отчетливую дублетную структуру и состоит из двух концентрических колец, центр которых расположен на линии волнового вектора накачки k_i . Угловые радиусы колец 17 ± 0.2 и 18.3 ± 0.2 мрад. В плоскости *YOZ* интенсивности колец практически одинаковы, а в плоскости *YOX* внешнее кольцо заметно ярче внутреннего. Угловой радиус темного кольца 17.6 мрад. Область существования антистоксова излучения в целом 2—3 мрад.

Стоксово излучение существует в области $\sim 2^\circ$. В нем реализуется «провал» интенсивности — темное кольцо с угловым радиусом 19.2 ± 0.2 мрад и эффективной угловой шириной ~ 5 мрад. Радиусы всех колец в плоскостях *YOX* и *YOZ* существенно не различаются. Результаты, представленные на рис. 1, получены при двух—трехкратном превышении порога ВКР, при этом наблюдались три стоксовые и две антистоксовые компоненты ВКР. Однако «провал» в интенсивности стоксова излучения реализуется и вблизи порога ВКР, когда антистоксовы и высшие стоксовы компоненты отсутствуют.

Интерференция процессов рассеяния и ЧПП с участием антистоксовой волны при колебательном ВКР впервые рассматривалась теоретически в [1, 2],

а для случая поляритонного ВКР — в [3]. Согласно [3], происходящие процессы можно охарактеризовать двумя волновыми расстройками $\Delta_1 = k_l - k_s - k'_p$ и $\Delta_2 = 2k_l - k_s - k_a$. Индексы l, s, p и a относятся соответственно к возбуждаю-

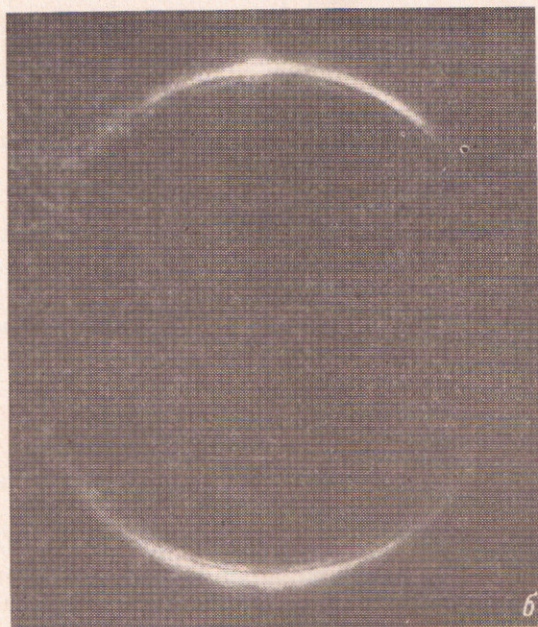
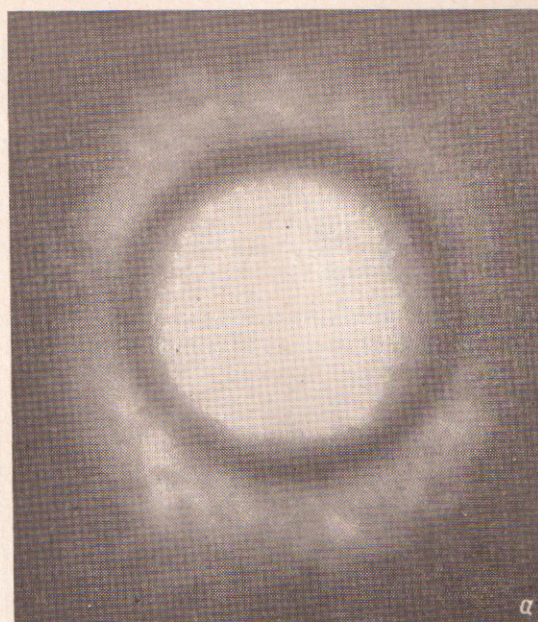


Рис. 1. Угловые распределения первых стоксовой (а) и антистоксовой (б) компонент ВКР.

щему, стоксову, поляритонному и антистоксову излучениям; k'_p — вещественная часть волнового вектора поляритона $k_p = k'_p + ik''_p$, $k_p^2 = q_p^2 (\epsilon'_p + i\epsilon''_p)$, $q_p = \omega_p/c$, ϵ'_p и ϵ''_p ($\epsilon''_p \ll \epsilon'_p$) — вещественная и мнимая части соответствующей компоненты тензора диэлектрической проницаемости на частоте ω_p , которая при рассея-

нии, например, в плоскости YOX сводится к $\epsilon_{p\parallel}$ — главному значению тензора вдоль кристаллографической оси OZ . Далее, $\mathbf{k}_l \parallel \Delta_2 \parallel \Delta_1 \parallel \mathbf{k}_p'' \parallel OY$; в системе кристаллографических осей XYZ , очевидно, $\Delta_{1,2} = (0, \Delta_{1,2}, 0)$. Волновая расстройка Δ_1 относится к процессу поляритонного рассеяния, для которого $\omega_l = \omega_s + \omega_p$, а Δ_2 — к ЧПП $2\omega_l = \omega_s + \omega_a$.

Как следует из результатов [3], коэффициент усиления g с учетом интерференции вынужденных процессов определяется соотношением

$$g = \frac{1}{\sqrt{2}} [-\Delta_2^2 + \mu\Delta_2 + \sqrt{(-\Delta_2^2 + \mu\Delta_2)^2 + 4\Delta_2^2 g_s^2}]^{1/2}, \quad (1)$$

где

$$\mu = \varphi + 2\tau g_s, \quad \varphi = \frac{8\pi\omega_s^2 \gamma |A_l|^2}{c^2 k_{sy}}, \quad \tau = \frac{|k_l - k_s|^2 - q_p^2 \epsilon_p'}{q_p^2 \epsilon_p''} \approx \frac{\Delta_1}{k_p'' \cos \psi}.$$

Здесь γ — эффективная кубическая нелинейная поляризуемость (предполагается, что $\gamma_s \approx \gamma_a$), A_l — комплексная амплитуда заданной волны накачки $E_l = e_l A_l \exp \times$

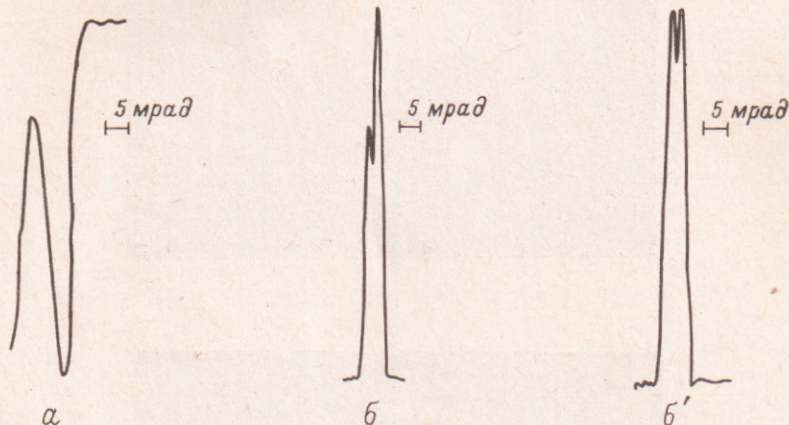


Рис. 2. Микрофотограммы угловых распределений стоксовой (а) и антистоксовой (б, б') компонент в окрестности «провалов» интенсивности.

а, б — в плоскости YOX , б' — в плоскости YOZ .

$\times [i(k_l y - \omega_l t)] + \text{к. с.}$, $|e_l| = 1$, $g_s = g_s^{\max} / (1 + \tau^2)$ — коэффициент усиления поляритонного ВКР без учета ЧПП с участием антистоксовой волны (g_s^{\max} не зависит от τ) [3], ψ — угол между векторами \mathbf{k}_p' и \mathbf{k}_l .

Из (1) следует, что при $\Delta_2 = 0$ будет $g = 0$ независимо от значения τ . Условие $\Delta_2 = 0$ эквивалентно

$$\cos \theta_s = \frac{4\omega_l^2 n_l^2 - (\omega_l + \omega_p)^2 n_a^2 + (\omega_l - \omega_p)^2 n_s^2}{4\omega_l (\omega_l - \omega_p) n_l n_s}, \quad (2)$$

где θ_s — угол между волновыми векторами \mathbf{k}_l и \mathbf{k}_s , n — показатель преломления.

Соотношение (2) означает определенную взаимосвязь величин θ_s и ω_p : $\omega_p = \omega_p(\theta_s)$. Если при данном $\theta_s = \theta_s^0$ взять $\omega_p \neq \omega_p^0 = \omega_p(\theta_s^0)$, условие $\Delta_2 = 0$ нарушается. Иначе говоря, при фиксированном θ_s минимум реализуется для вполне определенного ω_p . «Провал» в интенсивности будет экспериментально наблюдаться при таком θ_s^0 , для которого скорость нарастания g при увеличении $|\omega_p - \omega_p^0|$ окажется относительно малой. Последнее имеет место, если одновременно с $\Delta_2 = 0$ выполняется условие $\Delta_1 = 0$, так как при этом отклонение ω_p от ω_p^0 влечет за собой убывание (а не нарастание) g , поэтому можно считать, что центр темного кольца в стоксовом излучении приближенно отвечает одновременному выполнению условий $\Delta_2 = 0$ и $\Delta_1 = 0$. Для антистоксова излучения радиус темного кольца может быть найден из очевидного условия $k_s \sin \theta_s = k_a \sin \theta_a$. Соответствующие расчеты дают $\theta_s = 19.6$ мрад, $\theta_a = 18$ мрад, что

удовлетворительно согласуется с экспериментальными значениями 19.2 и 17.6 мрад.

Что касается наблюдавшихся нами других закономерностей, относящихся к антистоксовому излучению (наличие двух максимумов, относительная малость угловой области его существования и др.), мы ограничимся здесь указанием на то, что они качественно согласуются с теоретическими результатами [3]. Их количественная интерпретация не входит сейчас в нашу задачу.

Авторы признательны Р. Н. Гюзяляну за интерес к работе и полезные обсуждения.

Литература

- [1] Bloembergen N., Shen Y. R. — Phys. Rev. Lett., 1964, v. 12, p. 504.
- [2] Shen Y. R., Bloembergen N. — Phys. Rev., 1965, v. 137, p. 1786.
- [3] Панарин А. М., Стрижевский В. Л. — Квант. электрон., 1978, т. 5, с. 4694.
- [4] Loudon R. — Adv. Phys., 1964, v. 13, p. 423.

Поступило в Редакцию 14 апреля 1986 г.
