

ЧЕТЫРЕХФОТОННОЕ РАССЕЙНИЕ В РЕЗОНАНСНОЙ СРЕДЕ

Ю.М.Кирилл, С.Г.Раутиан, А.Е.Семенов, Б.М.Чернобород

В последнее время появился ряд работ, посвященных исследованию спонтанных многофотонных процессов, — параметрической люминесценции и четырехфотонного рассеяния (см. [1] там же другие ссылки). Параметрическая люминесценция наблюдается сравнительно легко, в то время как четырехфотонное рассеяние в нерезонансных условиях оказалось очень слабым эффектом. В настоящей работе сообщается о наблюдении очень сильного изменения углового и спектрального распределения мощного немонахроматического излучения, прошедшего через резонансную среду (пары калия), что интерпретируется как следствие четырехфотонного рассеяния.

В нашей установке гигантский импульс рубинового ОКГ (~ 50 Мвт) возбуждал ВКР в нитробензоле (или α -хлорнафталине). Излучение ВКР, отфильтрованное от лазерного света, проходило через кювету с парами калия и регистрировалось спектрографом ДФС-8 (решетка 1200 штрихов/мм), щель которого находилась в фокальной плоскости конденсора. Поэтому на фотопластинке регистрируется угловое (вдоль высоты щели) и частотное распределение света, вышедшего из кюветы с калием.

При использовании ВКР в нитробензоле (спектр ВКР имеет ширину около 4 см $^{-1}$ и смещен на 12 см $^{-1}$ в коротковолновую сторону от резонансной линии калия $\lambda = 7665$ Å, $\omega_0 = 13042,9$ см $^{-1}$) были обнаружены следующие явления. При малых давлениях паров ($p \leq 5 \cdot 10^{-4}$ тор) наблюдается небольшая частотно-угловая диффузия излучения (рис. 1А а, б). В интервале $5 \cdot 10^{-4}$ тор $< p < 5 \cdot 10^{-2}$ тор появляются характерные "усики" (рис. 1А в) при меньших, чем ω_0 частотах. Угловое расстояние между "усиками" увеличивается с давлением (квадрат угла линейно зависит от p). Одновременно усиливается диффузия (по θ , ω) в области исходного спектра ВКР. При $p \gtrsim 0,1$ тор "усики" уходят из поля зрения (определяемого высотой щели спектрографа) и наблюдается только дальнейшее уширение частотно-угловой диаграммы a области спектра ВКР (рис. 1А г). Особенно эффективно происходит изменение угла без изменения частоты и изменение частоты без изменения угла. Такая тенденция подчеркивается, если в кювету с парами калия направить и излучение ВКР, и лазерный пучок (рис. 1А д). В последнем случае появляется также излучение в области обеих резонансных линий ($7665/99$ Å), смещенное на $1 + 2$ см $^{-1}$ от атомных частот в сторону больших длин волн и с преимущественной концентрацией при $\theta \neq 0$ (рис. 1А д).

Перечисленные эффекты ¹⁾ интерпретируются как результат четырехфотонного рассеяния $\omega_1, \omega_2 \rightarrow \omega_3, \omega_4$, вероятность которого максимальна при выполнении условий

$$\omega_1 + \omega_2 = \omega_3 + \omega_4; \quad k_1 + k_2 = k_3 + k_4. \quad (1)$$

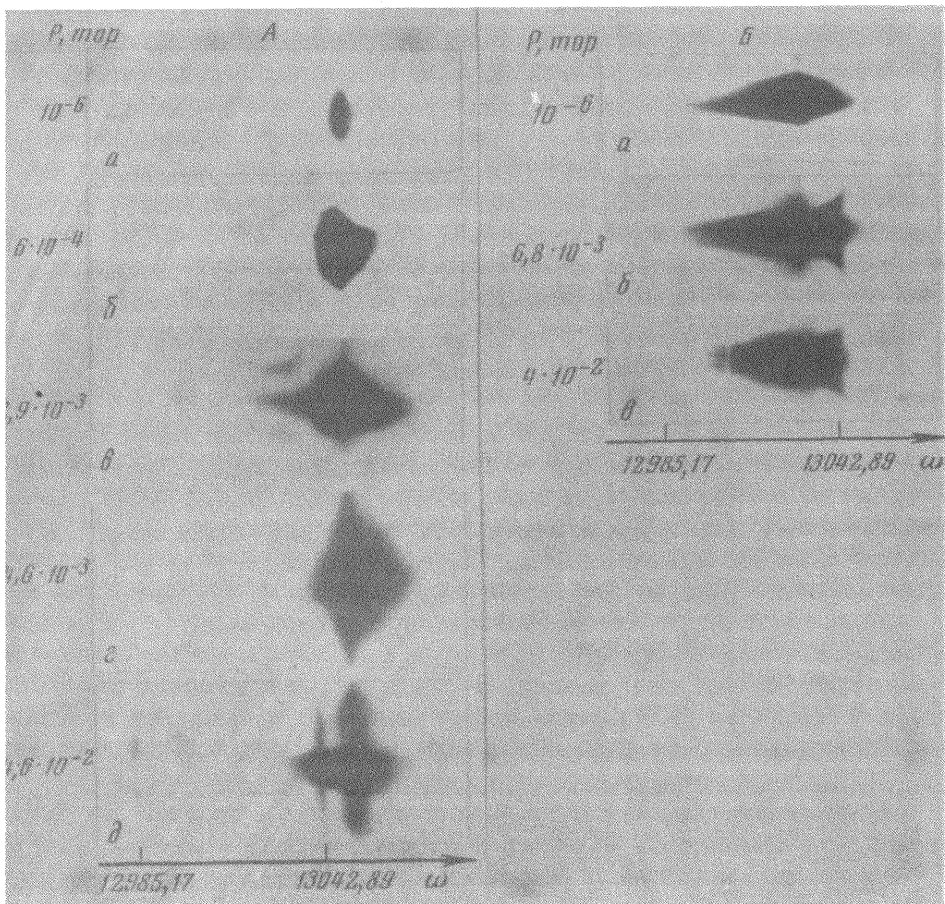
¹⁾ В работе [2] сообщалось о наблюдении эффекта уширения спектра. В [2] отсутствовали, однако, угловые измерения и поэтому трудно сказать, наблюдалось ли в [2] то же явление или какое-то иное.

В наших условиях $|\omega_j - \omega_j| / \omega_j < 10^{-3}$, $|n(\omega_j) - 1| \ll 1$, и формулы (1) дают следующую связь для углов θ_{12} и θ_{34} между волновыми векторами фотонов-"родителей" (K_1, K_2) и фотонов-"детей" (K_3, K_4):

$$\theta_{34}^2 = \theta_{12}^2 + \Delta n; \quad \Delta n = n_3 + n_4 - n_1 - n_2;$$

$$n_j \equiv n(\omega_j) = 1 + \frac{b}{\omega_0 - \omega_j}; \quad b = \frac{\pi N e^2}{m \omega_0} f. \quad (2)$$

Расчитанные по (2) форма "усиков", их угловое положение, равно как и линейная зависимость от давления для θ_{34}^2 хорошо согласуется с экспериментом.



Зависимость частотно-угловой диффузии излучения ВКР нитробензола А и α -хлорнафталина Б от давления паров калия

Крестообразная форма частотно-угловой диаграммы в области спектра ВКР (рис. 1А д) связана со знаком кривизны функции $n(\omega)$: легко показать, что для $\omega_0 < \omega_1 < \omega_{3,4} < \omega_2$ будет $\Delta n > 0$, и возможна, согласно (2), угловая диффузия (практически без изменения частоты): если же $\omega_0 < \omega_3 < \omega_{1,2} < \omega_4$,

то $\Delta n < 0$ и $\theta_{34}^2 < \theta_{12}^2$, т. е. изменение частоты с выходом из области исходного спектра не сопровождается угловой диффузией.

Возможно, что в наших условиях существенным является не только (а может быть, и не столько) фазовый синхронизм, но и синхронизм групповой.

Групповая скорость для $n(\omega)$ из (2) есть

$$u = c \left[\frac{d(\omega n)}{d\omega} \right]^{-1} = \frac{c}{1 + \frac{b}{\omega_0 - \omega} \frac{\omega_0}{\omega_0 - \omega}} \quad (3)$$

Величина u в интервале $|\omega_0 - \omega|$ от 1 до 12 см^{-1} изменяется от $c/30$ до $c/1,2$ ($\rho \approx 5 \cdot 10^{-2} \text{ тор}$) т.е. очень сильно, и нарушение группового синхронизма при большой разности частот $\omega_i - \omega_j$ может оказаться определяющим.

Аналогичные эффекты наблюдались для случая ВКР импульса лазера в α -хлорнафталине. В этом случае спектр ВКР смещен от ω_0 в сторону меньших частот (примерно на 18 см^{-1}) и имеет большую ширину, так что крылья его перекрывают обе резонансные линии калия, $\lambda = 7665/99 \text{ \AA}$ (рис. 1 Б а). При давлениях $\rho = 10^{-4} + 10^{-3} \text{ тор}$ также возникают "усики" (рис. 1 Б б, в) расположенные в области частот меньших, чем ω_0 , где $n - 1 > 0$ и есть возможность для $\theta_{34}^2 > \theta_{12}^2$. При одновременном прохождении через кювету с калием и излучения ОКГ и ВКР α -хлорнафталина "усики" сохраняются и наблюдается по-лоса двухквантового поглощения, связанная с переходом атома $4S \rightarrow 4D$ (рис. 1 Б в).

Отметим в заключение, что преимущественное излучение в ненулевые углы красных линий (рис. 1 А д) и их смещение в сторону меньших частот (относительно частот атомных переходов) указывает на возможную роль когерентных процессов. Однако, удовлетворительной гипотезы о механизме образования этих линий мы сейчас не имеем.

Институт физики полупроводников
Академии наук СССР
Сибирское отделение
Институт ядерной физики
Академии наук СССР
Сибирское отделение

Поступила в редакцию
23 февраля 1970 г.

Литература

- [1] Д.Н.Клышко. ЖЭТФ, 55, 1006, 1968.
[2] М.Е.Мовсесян, В.М.Арутюнян. Доклад на Первой Вавиловской конференции по нелинейной оптике. Новосибирск, июнь 1969 г.