

О ПРИРОДЕ ЧАСТОТНО-УГЛОВОЙ ДИФФУЗИИ МОЩНОГО КВАЗИРЕЗОНАНСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А.И.Плеханов, С.Г.Раутиан, В.П.Сафонов,
Б.М.Черноброд

Методом пробного поля экспериментально установлено, что частотно-угловая диффузия мощного квазирезонансного излучения обусловлена четырехфотонным резонансным параметрическим рассеянием света в условиях большого усиления в узком канале одной из компонент рассеяния.

В последние годы вновь и вновь поднимается вопрос о причинах частотно-угловой диффузии, наблюдаемой при распространении мощного квазирезонансного излучения в парах металлов (библиографию см. в ¹). Наиболее характерная черта явления состоит в возникновении ветви рассеяния на частотно-угловой диаграмме с низкочастотной стороны от линий поглощения, при этом исходная частота лежит выше линии поглощения (см.рис. 1, а). Без спектрального разложения прошедшего излучения поперечное распределение имеет вид кольца (рис.1, б), которому отвечает часть ветви рассеяния в большие углы (~ 15 мрад на рис.1, а). Это явление до сих пор не получило исчерпывающей интерпретации. Первоначально возникновение ветви рассеяния связывалось с четырехфотонной параметрической люминесценцией², в которой два фотона сильного поля ($\hbar\omega_L, k_L$) „перерабатываются” в два фотона поля люминесценции ($\hbar\omega_p, k_p, \hbar\omega_3, k_3$). Частота и угол рассеяния должны определяться условиями синфазности для плоских волн

$$2k_L = k_p + k_3; \quad 2\omega_L = \omega_p + \omega_3. \quad (1)$$

Согласно (1) излучения с частотами ω_p и ω_3 должны в равной мере отклоняться от направления k_L . Однако, в последующих экспериментах было надежно установлено, что отклонение испытывает лишь излучение ω_p , а излучение в области частоты ω_3 распространяется вдоль k_L . Этот факт породил целый ряд новых гипотез о природе ветвей рассеяния, однако, ни одна из них не согласуется с экспериментальными данными ¹.

Между тем, область частот ω_3 , зеркальная ветвь рассеяния ω_p , попадает в полосу усиления трехфотонной линии, отвечающей процессу с поглощением двух квантов сильного поля и испусканию кванта поля люминесценции с переходом атомов из основного в возбужденное состояние. Согласно теории Лугового — Собельмана³, при четырехфотонном рассеянии в среде, усиливающей одну из компонент рассеяния, максимумы углового распределения интенсивности могут не совпадать с направлением синфазности для плоских волн (1). Эти результаты широко известны в связи с исследованиями ВКР, их наглядная интерпретация с точки зрения интерференций полей вторичных излучателей содержится в⁴. В случае большого усиления и вытянутой геометрии волна на трехфотонной частоте ω_3 будет направлена вдоль оси z , а в угловом распределении интенсивности в области ω_p будут два максимума отвечающие направлениям частичной синфазности. Первый направлен вдоль оси z . Второй максимум соответствует условию для z -компонент волновых векторов

$$2k_L = k_3 + k_p \cos \theta. \quad (2)$$

Соотношение (2) взамен (1) определяет частотно-угловую диаграмму в условиях большого усиления и ограниченного сечения пучка. Угол рассеяния θ при заданной частоте, определяемой из соотношения (2), в $\sqrt{2}$ раз больше значения, следующего из условия (1).

В эксперименте использовался импульсный лазер на красителе (ЛРК)⁵, частота которого ω_L перестраивалась вблизи частоты $\omega_{3/2}$ резонансного перехода $3S_{1/2} - 3P_{3/2}$ NaI.

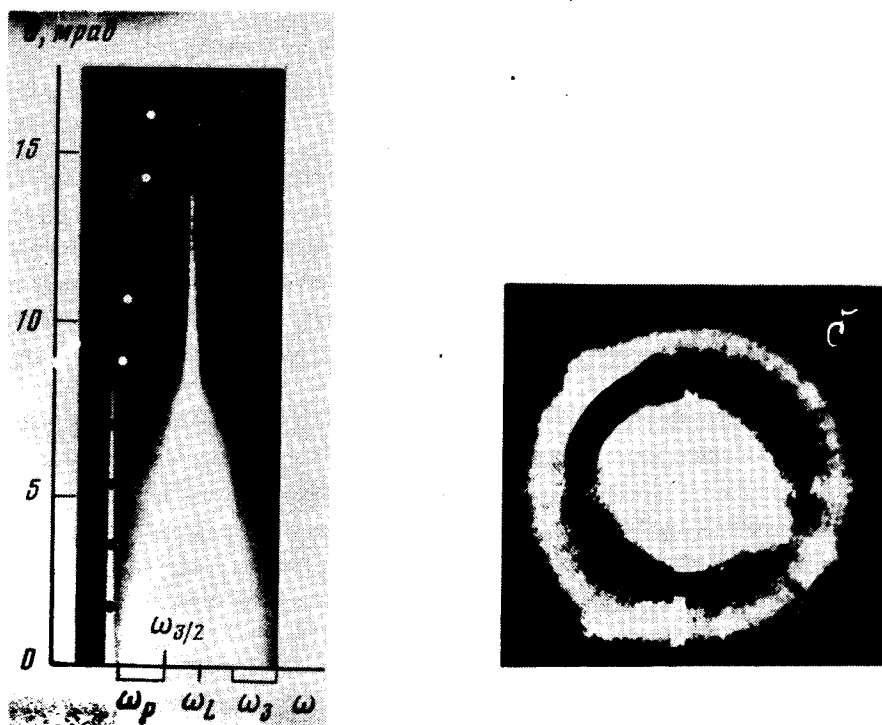


Рис. 1. Частотно-угловая диаграмма рассеяния прошедшего излучения (а) и поперечное распределение интенсивности в дальней зоне. $\omega_L - \omega_{3/2} = 11,2 \text{ см}^{-1}$, $N = 3,7 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$. Пиковая мощность ЛРК 1 кВт. Длина кюветы с парами 20 см.

На рис. 1, а представлена характерная частотно-угловая диаграмма рассеяния. Распределение интенсивности относительно нулевого угла симметрично, и на рисунках приводятся только верхние половины частотно-углового распределения. На рис. 1, а точками нанесена час-

отно-угловая диаграмма, рассчитанная по формуле (2), т. е. опыт подтверждает соотношение (2), а не (1) (проверка проводилась в интервале изменения плотности паров $N = 10^{13} \div 10^{15} \text{ см}^{-3}$, и расстройк $\omega_L - \omega_{3/2} = 2 \div 20 \text{ см}^{-1}$).

Прямую проверку того, что ветвь рассеяния — это максимум, отвечающий условию (2), позволяет осуществить методика пробного поля. В среду, наряду с сильным, посылается слабое поле на частоте близкой трехфотонной линии. При этом направления распространения обоих полей совпадают. В рамках теории³, внесение пробного поля аналогично дополнительному усилению на соответствующей частоте, поэтому в области ветви рассеяния на зеркальной частоте должен возникнуть максимум интенсивности рассеяния.

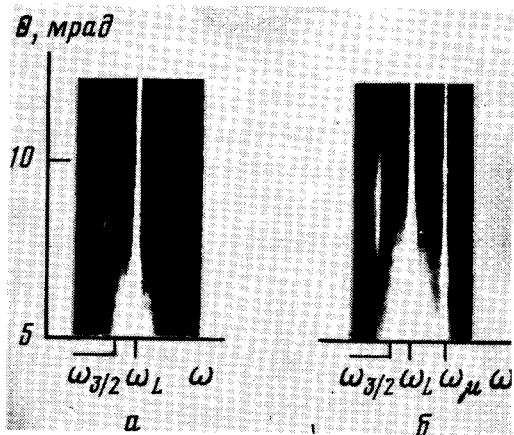


Рис. 2. Частотно-угловая диаграмма рассеяния прошедшего излучения для случаев моно- (а) и бихроматического (б) возбуждения при $\omega_L - \omega_{3/2}^3 = 6,6 \text{ см}^{-1}$, $N = 10^{14} \text{ см}^{-3}$.

В экспериментах с пробным полем использовалось бихроматическое излучение ЛРК. Частота излучения пробного поля ω_μ была больше частоты сильного поля ω_L на $11,2 \text{ см}^{-1}$.

На рис. 2, а, б приведены спектрограммы для случаев моно- и бихроматического возбуждения. Включение пробного поля ω_μ приводит к появлению на зеркальной относительно ω_L частоте максимума интенсивности излучения в области ветви рассеяния (рис. 2, б). Значение угла для максимума интенсивности составляет $8,5$ мрад, и хорошо согласуется с расчетным ($8,8$ мрад).

В условиях возникновения частотно-угловой диффузии спектра наблюдалась мелкомасштабная самофокусировка. Диаметр нитей самофокусировки составлял несколько десятков микрон. Поэтому условие узкого канала выполняется (подробнее см. в³).

Таким образом, метод пробного поля позволил установить, что частотно-угловая диффузия спектра обусловлена четырехфотонным резонансным параметрическим рассеянием света в условиях большого усиления в узком канале одной из компонент рассеяния.

Литература

1. Skinner S.H. Optics Comm., 1982, 41, 255.
2. Кирил Ю.М., Раутман С.Г., Семенов А.Е., Черноброд Б.М. Письма в ЖЭТФ, 1970, 11, 340.
3. Луговой В.Н. Собельман И.И. ЖЭТФ, 1970, 58, 1283.
4. Ландсберг Г.С. Оптика, М.: Наука, 1976, 912.
5. Бельтюгов В.Н., Наливайко В.И., Плеханов А.И., Сафонов В.П. Квантовая электроника, 1981, 8, 1382.