

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗВИТИЯ ВЫНУЖДЕННОГО КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА

Е. К. Казакова, А. В. Крайский, В. А. Зубов,
М. М. Сущинский, И. К. Шувалов

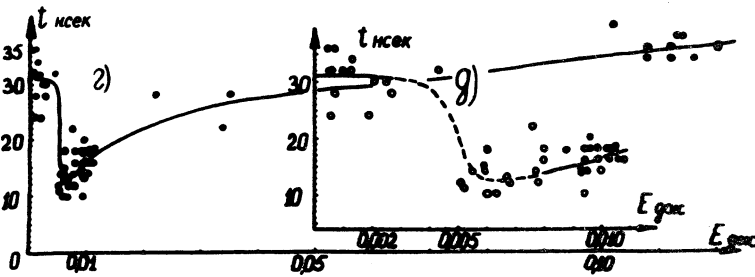
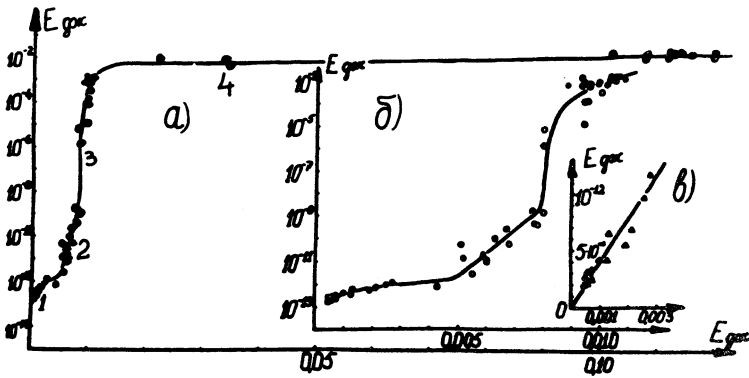
Для понимания процессов развития вынужденного комбинационного рассеяния света (ВКР) особое значение имеют исследования энергетических и временных характеристик явления в переходной области от спонтанного комбинационного рассеяния (СКР) к вынужденному (ВКР). До последнего времени в литературе имелись лишь отрывочные сведения для этой области, касающиеся независимых измерений СКР и ВКР¹⁻³. Совсем недавно появилась работа, посвященная систематическому исследованию энергетических характеристик⁴. В этой работе отмечено наличие двух стадий ВКР в прозрачных средах: стадии собственно ВКР и стадии, названной в⁴ генерацией, которая возникает за счет обратной связи из-за релеевского рассеяния. Результаты по систематическому исследованию временных характеристик в литературе полностью отсутствуют.

Нами было выполнено экспериментальное исследование энергетических и временных характеристик ВКР в средах существенно различной природы: в прозрачной среде (жидкий азот) и в дисперсной среде (порошок стильбена). Особое внимание обращалось на абсолютные измерения в переходной области от СКР и ВКР.

Возбуждение спектров ВКР осуществлялось многомодовым ОКГ обычным образом^{5,6}. Дисперсный об-

разец исследовался в "проходящем" свете. Измерительная система включала калориметры для измерения энергии излучения с чувствительностью до 10^{-6} дж и фотоэлектрический приемник типа ЭЛУ-ФТ, который с осциллографом типа С-1-11 обеспечивал чувствительность по энергии до 10^{-14} дж. Временные измерения проводились с разрешением не хуже, чем $5 \cdot 10^{-9}$ сек. Относительная ошибка абсолютных энергетических измерений составляла около 65%, относительных измерений - 30%, относительная ошибка временных измерений - 20%.

Полученные экспериментальные результаты для жидкого азота приведены на рис. 1. Можно отметить наличие четырех участков на графике зависимости энергии первой стоксовой компоненты комбинационного рассеяния от энергии возбуждающего излучения: 1) участок СКР, на котором энергия первой стоксовой компоненты линейно зависит от энергии возбуждающего излучения (Рис. 1в); 2) участок экспоненциальной зависимости энергии первой стоксовой компоненты ВКР от энергии возбуждающего излучения (Рис. 1б); 3) участок более резкого возрастания энергии первой стоксовой компоненты ВКР (имеет место возрастание энергии первой стоксовой компоненты почти на 5 порядков при росте энергии возбуждающего излучения приблизительно от $8,0 \cdot 10^{-3}$ дж до $8,2 \cdot 10^{-3}$ дж (Рис. 1б); 4) участок медленного роста энергии первой стоксовой компоненты ВКР, переходящий в участок насыщения (Рис. 1а). Полученная зависимость подтверждает результаты, полученные в работе⁴. Кривая зависимости длительности импульсов излучения первой стоксовой компоненты, впервые полученная в настоящей работе, ведет себя на этих участках следующим образом. На участке 1 длительность импульсов равна длительности импульса возбуждающего излучения и не изменяется с ростом энергии возбуждающего излучения (рис. 1д); на участке 2 имеет место резкое сокращение длительности импульсов - приблизительно в 3 раза (Рис. 1д); на участках 3 и 4 наблюдается плавный рост длитель-

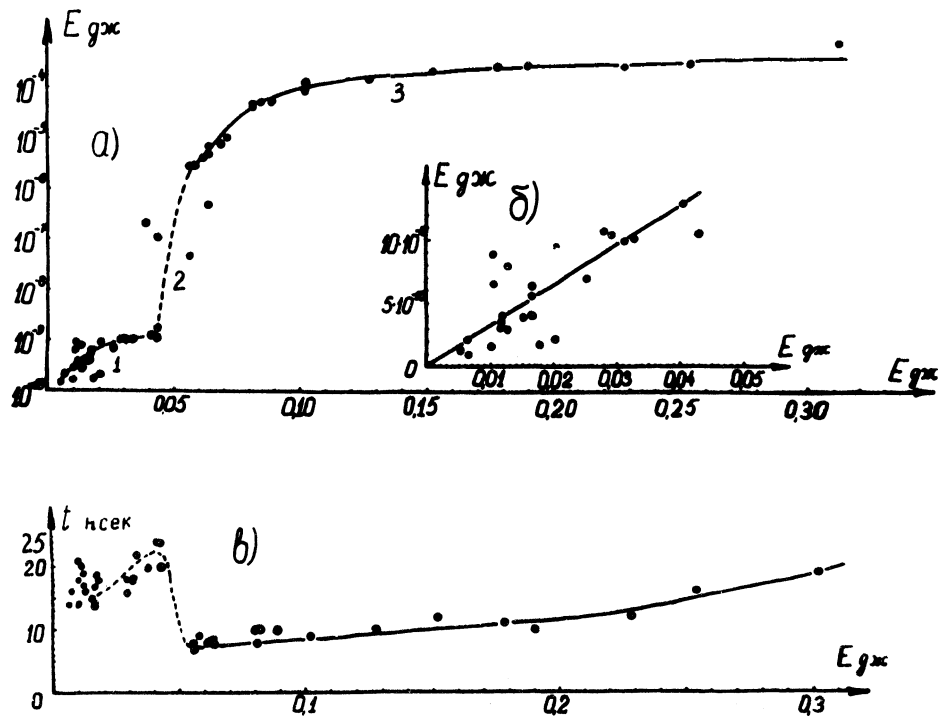


Р и с. 1. а) Зависимость энергии первой стоксовой компоненты ВКР от энергии возбуждающего излучения для жидкого азота. б) Та же зависимость для начального участка в растянутом масштабе. в) Та же зависимость для линейного начального участка. г) Зависимость длительности импульса излучения первой стоксовой компоненты ВКР от энергии возбуждающего излучения для жидкого азота. д) Та же зависимость для начального участка в растянутом масштабе.

ности импульсов с явно выраженной тенденцией к насыщению (Рис. 1г).

Экспериментальные результаты для дисперсного образца приведены на Рис. 2. (Трудности методического характера не позволили провести измерения в области малых энергий ВКР с достаточной точностью. Этот участок отмечен на графике пунктирной линией.) Полученные данные показывают, что в случае дисперсных образцов можно выделить лишь три участка: 1) участок СКР с линейной зависимостью энергии первой стоксовой компоненты от энергии возбуждающего излучения; 2) участок резкого возрастания энергии первой стоксовой компоненты ВКР (энергия возрастает почти на 4 порядка при росте энергии возбуждающего излучения приблизительно от $4,2 \cdot 10^{-2}$ дж до $7 \cdot 10^{-2}$ дж); 3) участок насыщения. Для длительности импульсов первой стоксовой компоненты обнаруживается некоторая особенность. На участке 1 имеет место увеличение длительности импульсов по сравнению с длительностью импульсов возбуждающего излучения (~ 13 нсек). Дальнейший ход имеет тот же общий характер, что и для прозрачных сред. Увеличение длительности импульсов, возможно, связано с люминесценцией образца, однако достаточно ясного объяснения полученного результата в настоящее время дать не удается.

Обсуждение полученных результатов удобно провести, основываясь на упрощенной модели явления, описанной в работе⁷. В этой модели принимается, что световой импульс распространяется вдоль оси цилиндрической кюветы с рассеивающим веществом и учитывается только первая стоксова компонента ВКР. Удобство этой модели в данном случае заключается в том, что она легко допускает обобщения на случай учета формы импульса возбуждающего излучения⁵ и на случай дисперсных сред⁶. В рамках этой модели естественным образом описываются участки 1 и 2 энергетической зависимости для жидкого азота (Рис. 1). Оценка сечения спонтанного комбинационного рассея-



Р и с. 2. а) Зависимость энергии первой стоксовой компоненты ВКР от энергии возбуждающего излучения для порошка стильбена. б) Зависимость длительности импульса излучения первой стоксовой компоненты ВКР от энергии возбуждающего излучения для порошка стильбена.

ния по результатам измерений в области линейной зависимости (участок 1) дает величину $\sigma \approx 2,0 \cdot 10^{-31}$ см²/стер, что согласуется с результатами других авторов⁴ ($\sigma \approx 1,7 \cdot 10^{-31}$ см²/стер). Эта оценка последний раз подтверждает, что в данном случае имеет место именно СКР. В рамках такого подхода объясняется и область насыщения (участок 4), которая является следствием процессов перекачки энергии первой стоксовой компоненты в компоненты более высокого порядка^{8,9}.

Однако, в рамках этой модели нельзя объяснить наличие перегиба на графике в области перехода от СКР к ВКР (область перехода от участка 1 к участку 2). Наличие перегиба на экспериментальной кривой может быть объяснено, по всей вероятности, влиянием временного и пространственного перераспределений интенсивности в пучке возбуждающего излучения.

Рассмотренные в литературе модели явления ВКР^{7,10-12} без дополнительных допущений не объясняют появления участка резкого возрастания энергии ВКР в прозрачных средах (участок 3). Можно попытаться объяснить наличие этого участка явлением самофокусировки.^{ж)} Однако это явление было обнаружено в жидком азоте¹³ при энергиях приблизительно в 30 раз более высоких, чем интересующие нас. При энергиях, соответствующих рабочей области в нашем эксперименте для жидкого азота, не было обнаружено ни явления самофокусировки, ни явления рассеяния Мандельштама-Бриллюэна^{4,14}. Таким образом этот участок вряд ли можно объяснить явлением самофокусировки.

Кажется весьма вероятным предположение, что на этом участке развиваются процессы генерации, т.к. имеют место очень большие коэффициенты усиления⁴.

ж) При достижении порога самофокусировки на кривой зависимости энергии ВКР от энергии возбуждающего излучения наблюдается резкий скачок (см. например,¹).

Окончательный вывод может быть сделан лишь после дополнительных исследований рассеянного излучения.

В случае дисперсных сред участок резкого возрастания энергии первой стоксовой компоненты ВКР можно трактовать как генерацию, развивающуюся из-за сильной обратной связи в результате рассеяния излучения.

Поведение кривых для зависимостей длительности импульсов ВКР от энергии возбуждающего излучения для прозрачных сред согласуется с теоретическими представлениями⁵. По экспериментально определенному коэффициенту усиления для участка 2 было рассчитано сужение импульса первой стоксовой компоненты. Форма импульса возбуждающего излучения считалась гауссовской. Расчет дает минимальную длительность импульса ~ 8 нсек, что находится в удовлетворительном согласии с экспериментом (~ 12 нсек). При дальнейшем увеличении энергии накачки работает все более широкая область импульса возбуждающего излучения, и импульс первой стоксовой компоненты ВКР расширяется.

Поступила в редакцию
24 апреля 1970 г.

Л и т е р а т у р а

1. Bret G. Appl. Phys. Letts., 8, 151, (1966).
2. Wang C. C. J. Appl. Phys., 37, 1943, (1966).
3. Зубов В. А., Кузьмина Н. П., Сушинский М. М. Опт. и спектр., 24, 634, (1968).
4. Grun J. В., A. K. Mc Quillen, Stoicheff V. P. Phys. Rev., 180, 179, (1969).
5. Зубов В. А., Крайский А. В., Прохоров К. А., Сушинский М. М., Шувалов И. К. ЖЭТФ, 55, 443, (1968).
6. Зубов В. А., Крайский А. В., Сушинский М. М. Препринт ФИАН № 189. Москва, 1968.

7. Зубов В. А., Сушинский М. М., Шувалов И. К. Ж. прикл. спектр. 3, 336, (1965).
8. D. von der Linde, Maier M., Kaiser W. Reprint Physic- Departament der Technischen Hochschule, München, Germany.
9. Потапов Е. К., Ковнер М. А., Аннотации докладов IY Всесоюзного симпозиума по нелинейной оптике. Изд-во Московского Университета. 1968.
10. Бломберген Н. Нелинейная оптика. Изд-во "Мир". Москва. 1966.
11. Луговой В. Н. Введение в теорию вынужденного комбинационного рассеяния. Изд-во "Наука". Москва. 1968.
12. Сушинский М. М. Спектры комбинационного рассеяния молекул и кристаллов. Изд-во "Наука". Москва. 1969.
13. Кудрявцева А. Д., Соколовская А. И., Сушинский М. М. ЖЭТФ (в печати).
14. Грасюк А. З. Ефимков В. Ф., Зубарев Н. Г., Мишин В. Н., Смирнов В. Г. Письма ЖЭТФ, 8, 474, (1968).