

**ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГИИ ВОЗБУЖДАЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ
НА ШИРИНЫ ЛИНИЙ
ВЫНУЖДЕННОГО КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ
В КРИСТАЛЛИЧЕСКОМ ПОРОШКЕ**

В. А. Зубов, П. П. Кирчева, М. М. Сущинский

Важным параметром излучения спонтанного комбинационного рассеяния света (СКР) и вынужденного комбинационного рассеяния света (ВКР) является спектральная ширина линии излучения. В спектрах СКР ширины линий довольно хорошо изучены /1-3/, в то же время данные по ширинам линий ВКР крайне ограничены /4-6/. Настоящая работа посвящена изучению влияния энергии возбуждающего излучения на ширину линии ВКР в дисперсных образцах. Дисперсные образцы выбраны из тех соображений, что ширины линий в них не подвержены дополнительным уширениям, связанным с явлениями самофокусировки, рассеяния Мандельштама-Бриллюена и т.п. Образцом для исследования был выбран порошок стильбена, так как для этого образца наблюдается ВКР большой интенсивности с большим смещением частоты, что облегчает выделение соответствующей компоненты.

Измерения проводились при возбуждении ВКР излучением лазера на кристалле рубина с модулированной добротностью. Модуляция добротности осуществлялась при помощи раствора фталоцианина ванадия в хлорбензоле. Концентрация раствора подбиралась достаточной для генерации только одного пика с энергией 0,1 Дж. Селекция продольных типов колебаний осуществлялась двумя плоскопараллельными пластинками толщиной 10

мм с зазором между ними 4 мм. Ширина линии излучения ОКГ была меньше $0,1 \text{ см}^{-1}$. Стабильность генерации постоянно контролировалась. Чтобы проследить зависимость ширины линии ВКР от энергии возбуждающего излучения, интерферограммы фотографировались при одинаковых условиях генерации ОКГ. Энергия возбуждающего света менялась при помощи фильтра из раствора медного купороса в воде и контролировалась калориметром с чувствительностью $3,4 \cdot 10^{-4}$ дж на деление шкалы. Интерферограммы получены при помощи интерферометра ИТ-28 с расстоянием между пластинами 2,56 мм (расстояние между порядками интерферограммы $1,94 \text{ см}^{-1}$) и камеры с фокусным расстоянием 270 мм. Используются фотопластинки с максимальной чувствительностью в области 780 мкм. Лазерный пучок фокусировался линзой с фокусным расстоянием 180 мм, поставленной от кюветы с образцом на расстоянии меньше фокусного, что давало возможность избежать возникновения искры на передней поверхности кюветы. Порошок стильбена с размерами кристалликов от 0,2 до 0,4 мм помещался в плоскопараллельную кювету толщиной 4 мм. Рассеянное излучение исследовалось в направлении обратном возбуждающему излучению. Свет ВКР направлялся на интерферометр короткофокусной линзой ($f = 50 \text{ мм}$). Первая стоксова компонента линии $\Delta\nu = 1593 \text{ см}^{-1}$ выделялась стеклянными цветными фильтрами с пропусканием 0,39.

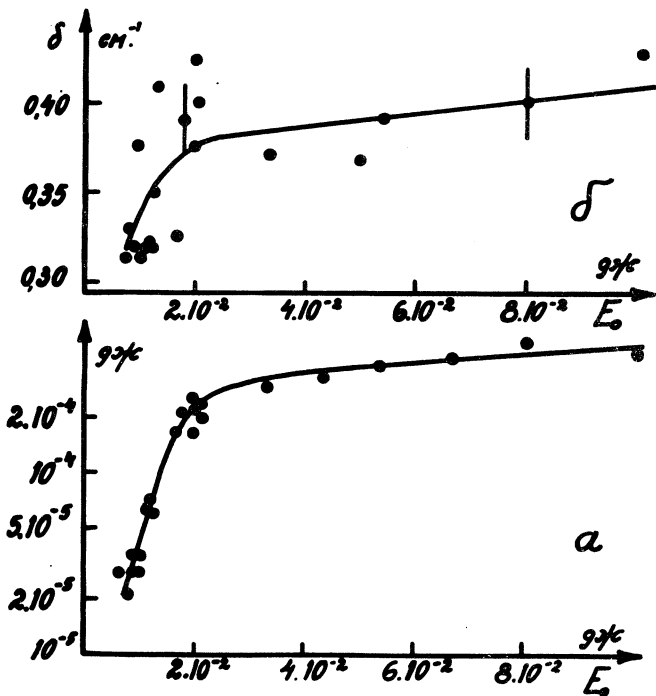
Характеристическая кривая получена с марками почернения, которые снимались для первой стоксовой компоненты при ослаблении света металлическими пластинками с равномерно расположенными отверстиями разного диаметра. Марки почернения регистрировались на каждой пластинке с интерферограммами. На каждой интерферограмме измерялась ширина на половине высоты для 5 колец. Ошибка при обработке фотопластинки — не больше 5% для каждой отдельной интерферограммы. Полученный экспериментально разброс точек можно связать с неоднородностью порошка и с недо-

статочной стабильностью лазера, связанной с работой просветляющегося фильтра.

Энергия первой стоксовой компоненты ВКР измерялась калориметром с чувствительностью $3,5 \cdot 10^{-6}$ дж на одно деление шкалы. Измеренная энергия ВКР ограничена апертурой трехлинзового конденсора, фокусирующего рассеянное излучение на калориметр. Регистрировалось излучение, рассеянное в конус с углом при вершине 50° по направлению, составляющему 65° с нормалью к плоскости кюветы. Для энергии возбуждающего излучения меньше 0,007 дж интенсивность первой стоксовой компоненты падала ниже чувствительности установки и снимки получались в области недодержек; при больших энергиях для обеспечения работы в области нормальных почернений использовались наборы стеклянных нейтральных фильтров. Снимки, попавшие в область недодержек или передержек, браковались.

Результаты эксперимента представлены на рис. 1. Графики 1а и 1б показывают соответственно зависимость энергии первой стоксовой компоненты E_S и ширины линии ВКР δ от энергии возбуждающего излучения E_0 . Наши данные для δ в области насыщения согласуются с результатом, полученным в /6/.

Следует разграничить две области изменения δ . Первая область – область насыщения энергии первой стоксовой компоненты. На этом участке наблюдается небольшое плавное увеличение δ . Измерения, выполненные в более широком диапазоне в сторону больших энергий (E_0 до 0,8 дж), обнаруживают ту же самую закономерность /7/. Такого поведения δ можно было ожидать, так как для центральной части спектральной линии насыщение наступает раньше, а удаленные от центра участки линии начинают вступать более активно в процесс ВКР при росте энергии возбуждающего излучения. Вторая область – область экспоненциального роста энергии первой стоксовой компоненты. По имеющимся теоретическим представлениям /3,8,9/ для участка экспоненциального роста энергии ВКР для прозрач-



Р и с. 1. Зависимость энергии (а) и ширины линии (б) первой стоксовой компоненты ВКР в порошке стильбена от энергии возбуждающего излучения

ных сред должно наблюдаться сужение линии

$$\delta_{\text{ВКР}} = \delta_{\text{СП}} \sqrt{\ln 2 / k \epsilon_0}, \quad (1)$$

где $\delta_{\text{СП}}$ - ширина линии в СКР (для изучаемой линии стильбена $\delta_{\text{СП}} = 4,6 \text{ см}^{-1}$), k - коэффициент усиления. Для дисперсных сред можно было бы ожидать аналогичной зависимости, так как при выводе указанного соотношения существенным оказывается лишь экспоненциальное возрастание энергии ВКР. Как можно видеть, ход экспериментальной и теоретической зависимостей различен, причем наблюдаемая ширина линии ВКР меньше величины, вычисленной по (1), приблизительно в 10 раз. Значительная величина обратной связи из-за рассеяния в дисперсных средах по всей вероятности приводит к развитию процессов типа генерации. В этом случае можно ожидать больших сужений линии по величине, но с ростом энергии должно наблюдаться уменьшение $\delta / 10,11$. Эксперимент противоречит этому.

Следует заметить, что обнаруженное в настоящей работе и в /6/ расхождение эксперимента и теории ВКР не является единичным фактом. Аналогичное расхождение имеет место по отношению к угловому распределению излучения ВКР, которое для первой стоксовой компоненты оказалось значительно более узким, чем ожидалось. В соответствии с предположениями, высказанными в /3/, обе эти аномалии, названные "эффектами повторения", по-видимому, тесно связаны и могут быть объяснены на основе одних и тех же предположений. Более того, "аномальное" сужение линий ВКР, по существу, было предсказано в указанной работе.

Обращает внимание также сходство в характере изменения ширины линии ВКР δ и длительности импульса излучения ВКР $t / 12$. На участке экспоненциального роста как в прозрачных, так и в дисперсных образцах наблюдается увеличение длительности излучения первой стоксовой компоненты ВКР. Можно предполагать, что ответственными за это являются одни и те

же механизмы, связанные с шириной линии, обусловленной однородным уширением.

Поступила в редакцию
13 ноября 1970 г.

Л и т е р а т у р а

1. К. Кольрауш. Спектры комбинационного рассеяния. ИЛ, 1952 г.
2. И. Брандмюллер, Г. Мозер. Введение в спектроскопию комбинационного рассеяния света. "Мир", Москва, 1964 г.
3. М. М. Сушинский. Спектры комбинационного рассеяния молекул и кристаллов. "Наука", Москва, 1966 г.
4. E. Garmire. An investigation of stimulated Raman emission. *Massachusetts Institute of Technology.*, 1965.
5. G. Bret. *Annal. Radioelectr.*, 22, 236 (1967).
6. В. А. Чирков, В. С. Горелик, Г. В. Перегудов, М. М. Сушинский. Письма в ЖЭТФ, 10, 416 (1969).
7. В. В. Давыдов. Дипломная работа. Московский Физико-Технический институт, 1970 г.
8. Н. В. Зубова, Н. П. Кузьмина, В. А. Зубов, М. М. Сушинский, И. К. Шувалов. ЖЭТФ, 51, 101 (1966).
9. В. Н. Луговой. Введение в теорию вынужденного комбинационного рассеяния. "Наука", Москва, 1968 г.
10. Р. В. Амбарцумян, П. Г. Крюков, В. С. Летохов. ЖЭТФ, 51, 1669 (1966).
11. В. С. Летохов. ЖЭТФ, 53, 1443 (1967).
12. Е. К. Казакова, А. В. Крайский, В. А. Зубов, М. М. Сушинский, И. К. Шувалов. Краткие сообщения по физике, № 7, 42 (1970).