

О СЛУЧАЙНОЙ СТРУКТУРЕ ЛИНИЙ ИЗЛУЧЕНИЯ ВКР

А. В. Масалов, В. А. Чижков

УДК 535.338

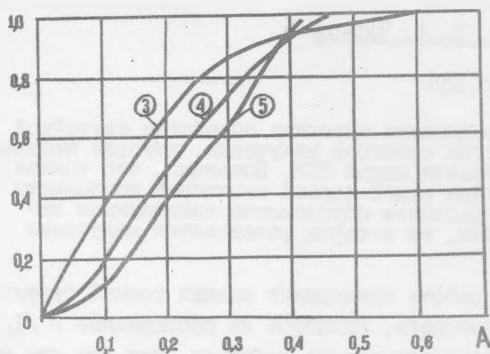
Предложена методика обработки случайной структуры спектров излучения, которая применена для анализа линий ВКР. Показано, что тонкая структура линий первой стоксовой компоненты ВКР в калыците обусловлена спонтанными затравками, из которых развивается излучение ВКР.

В данной работе предпринят анализ тонкой структуры спектров ВКР с целью выяснить, являются ли наблюдаемые в /1/ и /2/ спектры реализациями случайного процесса, или для них характерна некоторая регулярность, могущая представить интерес для понимания особенностей ВКР света. Основной особенностью наблюдаемой структуры является ее невоспроизводимый характер. Из общих физических представлений можно ожидать, что случайная структура спектров должна быть свойственна излучению ВКР в той же мере, как она свойственна спонтанной затравке /3/, из которой развивается излучение ВКР. Однако, нелинейное преобразование рассеянного света может привести к упорядочению тонкой структуры линий, которое может проявиться, например, в эквидистантном расположении максимумов структуры /4/.

Трудность анализа тонкой структуры линий заключается в том, что, во-первых, из-за ограниченной разрешающей способности спектральных приборов не всегда удается проверить соотношение, присущее спектрам спонтанного излучения,  $c\Delta\nu T \approx 1$  ( $c$  – скорость света,  $\Delta\nu$  – характерное расстояние между максимумами структуры в  $\text{см}^{-1}$ ,  $T$  – длительность импульса излучения), а, во-вторых, при малом числе максимумов ( $\sim 3 + 5$ ), как будет показано ниже, даже среди случайных спектров некоторая часть их с определенной степенью точности представляется периодической. В нашей работе предлагается методика обработки спектров, которая нацелена на обнаружение периодичности в расположении максимумов структуры и приме-

нена нами к обработке экспериментально наблюдаемой тонкой структуры линий излучения ВКР.

В качестве меры периодичности спектра со структурой нами предлагается величина среднеквадратичного отклонения расстоя-



Р и с. 1. Расчетные распределения величины  $A$ ; число максимумов указано в кружках около кривых. Каждая кривая построена по ста точкам

ний между максимумами структуры, отнесенная к среднему расстоянию, т.е. величина

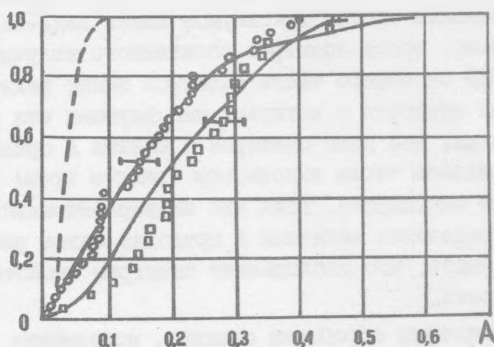
$$A = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\nu_{i+1} - \nu_i - \Delta)^2 / \Delta},$$

где  $\Delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\nu_{i+1} - \nu_i)$ , а  $\nu_i$  - частоты, характеризующие положения максимумов в спектре. В данном определении малые  $A$  соответствуют высокой периодичности. Поскольку тонкая структура линий ВКР не повторяется от реализации к реализации, то характеристикой зарегистрированного набора спектров является распределение значений  $A$ . Сравнение этого распределения с распределением величины  $A$  для спектров спонтанных затравок позволит заключить, свойственна ли наблюдаемой структуре повышенная периодичность. Величина среднего расстояния между максимумами спектра  $\Delta$  должна вычисляться не по всем имеющимся реализациям спектров, а в каждой реализации отдельно, так как только при таком вычислении среднего можно обнаружить в спектрах периодичность с периодом, изменяющимся от спектра к спектру.

Распределение величины  $A$  для спектров спонтанного излучения устанавливалось нами с помощью ЭВМ, которая генерировала случайный процесс с экспоненциальной функцией распределения и колоколообразной корреляционной функцией; именно такой процесс соответствует, по нашему мнению, спектрам спонтанного излучения /5/. Полученные кривые (рис. 1) позволяют установить, какая доля спектров с определенным числом максимумов имеет величину  $A$  меньше заданной. Например, среди спектров спонтанного излучения с тремя максимумами 52% от общего числа спектров имеет величину  $A$  меньше 0,15, а для спектров с четырьмя максимумами эта доля уменьшается до 36%. Видно, что доля спектров с малыми  $A$  сравнительно велика при наименьшем числе максимумов (равном трем) и падает с увеличением числа максимумов. Если для экспериментально изучаемых спектров распределение величины  $A$  проходит левее расчетного, то это будет означать, что наблюдаемым спектрам свойственна некоторая периодичность.

Были подвергнуты обработке спектры, полученные авторами /1/. Излучение первой стоксовой компоненты ВКР в кристалле кальцита длиной 1 см наблюдалось при возбуждении светом рубинового лазера. Лазер излучал одну продольную моду при наименьшей угловой в режиме модулированной добротности. Применение кристалла со скошенными торцами, а также установка между кристаллом и лазером ячейки Фарадея препятствовали возникновению нежелательных обратных связей, которые могли повлиять на спектр рассеянного света. Излучение ВКР, распространяющееся навстречу падающему, анализировалось с помощью интерферометра Фабри-Перо толщиной 2 см. Плотность мощности падающего излучения, сфокусированного в кристалл, в несколько раз превышала пороговую и соответствовала слабой зависимости мощности ВКР от мощности возбуждающего света. Зарегистрированные в этих условиях линии ВКР содержали, как правило, несколько максимумов при полной ширине линии не более  $0,1 \text{ см}^{-1}$ . Расстояния между максимумами и их относительные интенсивности изменялись от снимка к снимку. Однако для среднего расстояния между максимумами структура произведения  $\sigma \Delta \nu T$  оказалась в данном эксперименте близким к единице ( $3 \cdot 10^{10} \cdot 0,007 \cdot 10^{-8} \approx 2$ ). Результаты обработки спектров по предложенной методике для трех и четырех максимумов представлены на рис. 2. Видно, что экс-

периментальные распределения величины  $A$  близки к расчетным. На рис. 2 нанесена также кривая, характеризующая распределение значений  $A$  для строго эквидистантного расположения максимумов в условиях, когда положения максимумов измеряются со случайной ошибкой, свойственной использованному нами измерительному процессу.



Р и с. 2. Экспериментальное распределение величины  $A$ ,  $\circ$  - 3 максимума,  $\square$  - 4 максимума. Пунктир - распределение  $A$  для эквидистантного расположения максимумов с учетом ошибок измерения. Для сопоставления приведены расчетные кривые (сплошные линии)

Отметим, что наблюдаемая структура спектров изменяется в плоскости картины интерферометра Фабри-Перо при переходе от точки к точке, оставаясь неизменной лишь в ограниченных областях. Это явление можно объяснить следующим образом. В случае ВКР, развивающегося из спонтанного шума, следует ожидать, что в сечении пучка рассеянного света, отображаемом в плоскость спектра Фабри-Перо, имеются неоднородности с размерами, определяемыми областями когерентности. Структура спектра излучения должна оставаться неизменной лишь внутри области когерентности и изменяться при переходе от одной области к другой, что и наблюдается экспериментально.

Подводя итог, можно сказать, что сопоставление результатов обработки спектров ВКР предложенным методом с расчетами, как для случайной, так и для строго регулярной структуры, позволяет заключить, что тонкая структура линий первой стоксовой компо-

ненты ВКР в кальците определяется спонтанным шумом, из которого развивается излучение ВКР. На это указывает и пространственная структура рассеянного излучения.

Предложенная нами методика обработки спектров может быть применена к спектрам других источников, где также наблюдается нерегулярная структура (см., например, /6/).

Авторы выражают благодарность Малышеву В. И. и Перегудову Г. В. за плодотворное обсуждение работы, Раутиану С. Г. за ряд полезных замечаний и Васильевой М. А. за помощь в расчетах.

Поступила в редакцию  
2 июня 1976 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. В. А. Чирков, Г. В. Перегудов, М. М. Сушинский. Тезисы докладов ХУП Всесоюзного съезда по спектроскопии. Лазерная спектроскопия. Минск, 1971 г., стр. 49.
2. Е. А. Морозова, А. И. Соколовская, М. М. Сушинский. ЖЭТФ, 55, 2161 (1973).
3. В. И. Малышев, А. В. Масалов, А. А. Сычев. Тезисы докладов ХУП Всесоюзного съезда по спектроскопии. Лазерная спектроскопия. Минск, 1971 г., стр. 34.
4. В. И. Ищенко, В. Н. Лисицын, А. М. Ражев, С. Г. Раутиан, А. М. Шалагин. Письма в ЖЭТФ, 19, 669 (1974).
5. В. И. Малышев, А. В. Масалов, А. И. Миланич. Квантовая электроника, 2, 1963 (1975).
6. Ф. А. Королев, А. И. Одинцов, Н. Г. Туркин, В. П. Якунин. Квантовая электроника, 2, 413 (1975).