

РЕЗОНАНСНОЕ КОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА КАК
НЕЛИНЕЙНОЕ ОПТИЧЕСКОЕ ЯВЛЕНИЕ

М.М. Сущинский

Исследованы спектры комбинационного рассеяния (КР) света кристаллического йода и растворов йода в этиловом спирте и н.гептане в области резонанса. Показано, что интенсивность линий КР нелинейно зависит от интенсивности возбуждающего излучения.

При резонансном комбинационном рассеянии света (РКР) в ряде случаев наблюдаются своеобразные спектры, характеризующиеся наличием большого числа обертонов /1,2/. В прогрессии обертонов интенсивности закономерно убывают с ростом номера компоненты, а соответствующие им колебательные частоты с большой точностью пропорциональны номеру компоненты. Заметное отступление от указанной пропорциональности, характеризующее ангармоничность колебаний, обнаруживается лишь при больших номерах компонент. Линии РКР в прогрессии обертонов имеют малую ширину и по своему виду сильно отличаются от обычно очень широких обертонов в спектрах КР, зарегистрированных вдали от резонанса. Эти внешние особенности линий в спектрах РКР сближают их с линиями ВКР. Однако предположение об участии нелинейных процессов при возбуждении РКР источниками со сравнительно малой мощностью (порядка 1 Вт) представляется с первого взгляда совершенно неприемлемым, хотя оценка порога ВКР показывает его снижение в условиях гиперрезонанса /3/.

Для выяснения реальной роли нелинейных процессов при возбуждении РКР с образованием прогрессии обертонов в данной работе проведены эксперименты с кристаллическим йодом и его растворами. Спектры растворов йода в различных растворителях неоднократно исследовались ранее /2/. Наблюдались прогрессии обертонов, насчитывающие до 20 компонент.

В опытах использовались линии аргонового лазера 514,5 и 488,0 нм с мощностью около 200 мВт. В связи с тем, что в растворах йода при прохождении через них лазерного луча обнаруживаются явления самодефокусировки и фотоиндуцированного рассеяния света /4/, приводящие к уширению светового пучка, что затрудняет сравнение интенсивности линий, применялась методика "на отражение" (рис. 1). Луч лазера при помощи линзы L_1 с $f = 6$ см фокусировался на плоскую поверхность образца. Угол между лучом и перпендикуляром к поверхности составлял 6° . Излучение, рассеянное в направлении, перпендикулярном поверхности образца, при помощи линзы L_2 с $f = 6$ см собиралось на щели спектрографа СТЭ-1 с дисперсией около 0,9 нм/мм. В каждом опыте делалось два снимка: в одном из них нейтральный светофильтр с пропусканием 40% помещался до образца, во втором — перед щелью спектрографа. При линейности процесса РКР интенсивности линий РКР в обоих случаях, очевидно, должны быть одинаковы.

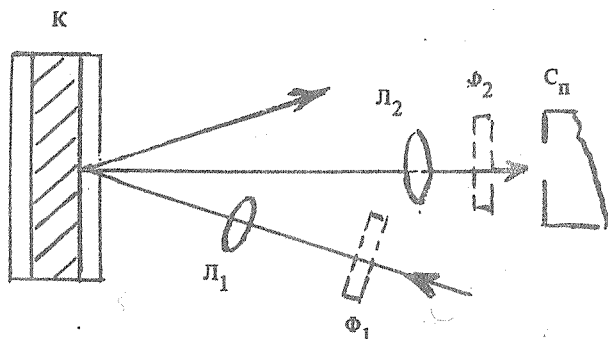


Рис. 1. Схема установки: К — кювета с веществом; L_1 , L_2 — линзы; Φ_1 , Φ_2 — положения светофильтра; $C_{\text{п}}$ — спектрограф.

Поскольку в положении 1 светофильтр уменьшает интенсивность возбуждающего излучения I_0 , а в положении 2 — интенсивность I линии РКР (при полной мощности возбуждающего излучения), то при нелинейности процесса РКР регистрируемая интенсивность линий должна быть различна, а именно, во втором случае она должна быть выше, чем в первом.

Опыты проводились с растворами йода в н-гептане ($\Delta\nu = 211 \text{ см}^{-1}$) и в этиловом спирте ($\Delta\nu = 111 \text{ см}^{-1}$) с концентрациями 0,1N. Растворы находились в плоско-параллельных кюветах толщиной 8 мм. Благодаря большой концентрации растворов эффективная толщина рассеивающего слоя вещества была незначительна и побочными явлениями искажения падающего пучка в образце можно было пренебречь. Исследовалось также РКР в кристаллическом йоде, напыленном на плоскую кварцевую пластинку. Эта пластинка служила одной из стенок герметически закрытой кюветы. Свет рассеивался тонким плоским слоем кристаллического йода, непосредственно прилегающим к поверхности пластинки. Наблюдалась линия с колебательной частотой $\Delta\nu = 204 \text{ см}^{-1}$.

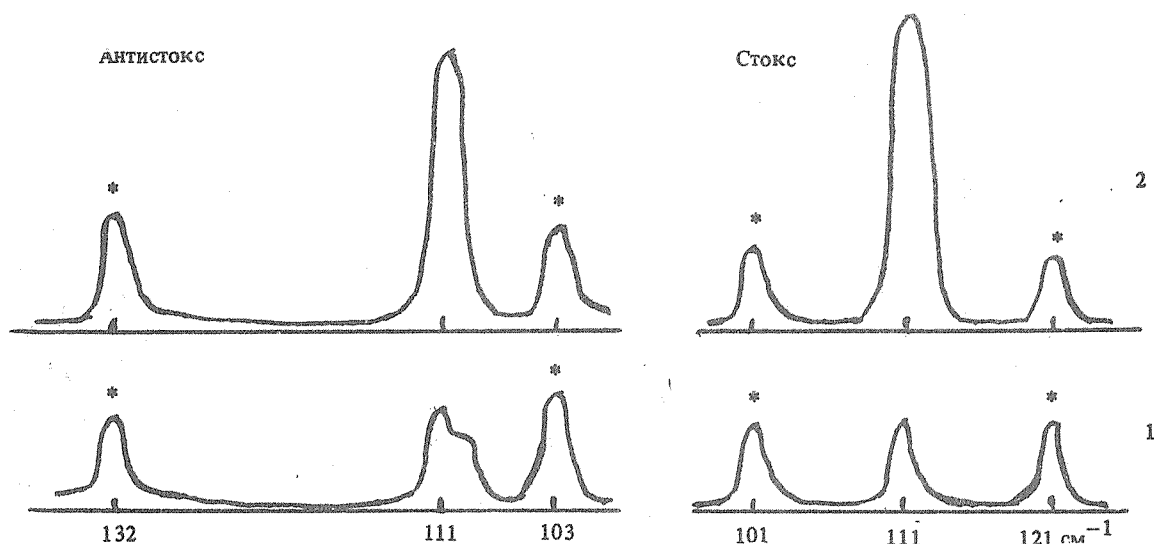


Рис. 2. Спектрограммы стоксова и антистоксова РКР в растворе йода в этиловом спирте: 1 — светофильтр до кюветы; 2 — после кюветы. Звездочкой отмечены линии разряда.

В каждом опыте последовательно, с одинаковыми экспозициями фотографировались спектры при положении нейтрального светофильтра до и после образца. Оказалось, что интенсивность исследуемых линий РКР во втором случае, т.е. при светофильтре непосредственно перед щелью спектрографа, существенно выше, чем в том случае, когда этот светофильтр ослаблял падающий на образец луч. На рис. 2 приведены в качестве примера спектрограммы участка спектра РКР раствора йода в этиловом спирте при возбуждении линией 514,5 нм. Этот результат наглядно демонстрирует нелинейность явления РКР.

Для понимания полученного результата обратимся к формулам для интенсивности рассеянного излучения в приближении модели встречных потоков [3]. В методе "на отражение" в условиях резонанса при большой толщине образца имеем

$$I_p = C_1 [\exp(a_p I_{0p} / L_p) - 1], \quad (1)$$

где a_p пропорционально сечению рассеяния, L_p — эффективный показатель поглощения. В методе "на просвет" в образце с малым поглощением, т.е. вдали от резонанса, при толщине слоя l имеем

$$I = C_2 [\exp(aI_0 l) - 1]. \quad (2)$$

При малых показателях экспонент обе формулы дают линейную зависимость интенсивности рассеянного излучения от интенсивности возбуждающего излучения, характерную для спонтанного КР. Для того, чтобы проявилась нелинейность, показатели экспонент должны быть достаточно велики, причем одинаковая нелинейная зависимость будет при равенстве показателей экспонент. Приравнивая показатели экспонент в формулах (1) и (2), получаем

$$a_p I_{\text{ор}} / L_p = a I_0 l. \quad (3)$$

В величины a_p и L_p входит один и тот же резонансный знаменатель (см. /3/), поэтому $a_p / L_p = a / L$. Таким образом, имеем

$$I_{\text{ор}} = I_0 L l. \quad (4)$$

При исследовании ВКР в прозрачных образцах используется обычно небольшая толщина слоя, причем требуются значительные интенсивности возбуждающего излучения. Положим, например, $I_0 = 10^6$ Вт, $l = 1$ см, $L = 10^{-6}$ см⁻¹. Для получения того же нелинейного эффекта в случае РКР, согласно (4), требуется интенсивность возбуждающего излучения всего 1 Вт.

Автор благодарен Л.В. Морозовой и Т.Б. Борик за помощь при приготовлении образцов и В.И. Аносову за помощь при измерениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шорыгин П.П., Иванова Т.М. ДАН СССР, 150, 533 (1963).
2. Kiefer W. Appl. Spectroscopy, 28, 115 (1974).
3. Сущинский М.М. УФН, 154, 353 (1988).
4. Сущинский М.М., Коровкина Л.И. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 10, 18 (1987).

Поступила в редакцию 18 мая 1988 г.