

**О СЛОЖНОЙ СТРУКТУРЕ ЛИНИЙ В СПЕКТРАХ ВЫНУЖДЕННОГО
КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА**

Н.В.Зубова, М.М.Сушинский, В.А.Зубов

При исследовании спектров вынужденного комбинационного рассеяния в области первой стоксовой компоненты нами обнаружено своеобразное расщепление линий на несколько составляющих. Это

явление особенно отчетливо проявляется при небольших превышениях мощности возбуждающего излучения над пороговым значением. Расщепление носит нерегулярный характер: число компонент меняется от 1-2 до 5-6, а расстояние между крайними компонентами от 1-2 до 10-12 см⁻¹. С увеличением мощности возбуждающего излучения число компонент и расстояние между ними уменьшаются. При мощности возбуждающего излучения, превышающей пороговую в 2-4 раза, остается единственная резкая линия.

Указанное расщепление наблюдалось на ряде жидкостей, например стироле, изопрене, пентадиене-1,3, и было детально изучено на бензоле и нитробензоле, причем исследовалась первая стоксова линия. Исследования проводились с аппаратурой, описанной ранее [1,2]. Возбуждающее излучение оптического квантового генератора на рубине собиралось внутри кюветы с рассеивающим веществом при помощи линзы с фокусным расстоянием 24 см. Мощность возбуждающего излучения ослаблялась до необходимой величины при помощи стопки стеклянных пластинок, которая устанавливалась непосредственно за зеркалом резонатора. Спектры регистрировались фотографическим методом на спектрографе с дифракционной решеткой с дисперсией около 13 Å⁰ на 1 мм. Образцы полученных спектров приведены на рис. 1 (см. вклейку).

Специальные опыты показали, что явление не меняется существенно при диафрагмировании падающего и рассеянного световых пучков, а также при изменении взаимного расположения рубина, кюветы с исследуемым веществом и спектрографа. При уменьшении мощности накачки рубина явление в общих чертах меняется так же, как и при ослаблении возбуждающего излучения при помощи стопки стеклянных пластинок. Эти и другие контрольные опыты дают основание считать, что наблюдаемое расщепление линий не связано с особенностями применявшейся установки или режима работы оптического квантового генератора. В то же время необходимо заметить, что в литературе подобное расщепление ранее не описывалось. В работе Стойчева [3] указывается на небольшое расщепление линий, с расстоянием

между компонентами порядка $0,2 \text{ см}^{-1}$, связанное со сложной структурой, возбуждающей линии рубина. Стойчев и Джонс [4] указывают на расплывчатость некоторых линий вынужденного комбинационного рассеяния и сложную структуру фона возле них. Однако это замечание не относится к первой стоксовой компоненте, относительно которой в [4] подчеркивается ее резкость.

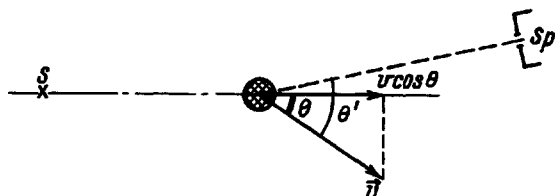


Рис. 2. Схема комбинационного рассеяния на движущейся молекуле: S - источник света, v - скорость рассеивающей молекулы, Sp - спектрограф

Наблюдавшееся нами расщепление линий, казалось бы, можно объяснить тем, что в опытах, подобных нашим, комбинационное рассеяние происходит на движущихся с большой скоростью молекулах. Пусть молекула движется со скоростью v под углом θ к направлению падающего луча и θ' - к направлению рассеянного луча (рис.2). В системе координат, связанной с рассеивающей молекулой, частота комбинационной линии ω_k связана с частотой возбуждающей линии ω_0 и колебательной частотой молекулы Ω формулой

$$\omega_k = \omega_0 - \Omega . \quad (I)$$

Если ω_{0B} и ω_{0K} - соответственно частоты возбуждающей и комбинационной линий в неподвижной системе, то имеем (см., например, [5])

$$\omega_B = \omega_{0B} \frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 + \frac{v}{c} \cos \theta} \approx \omega_{0B} \left(1 - \frac{v}{c} \cos \theta\right), \quad (2)$$

$$\omega_{\text{ок}} = \omega_k \frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 - \frac{v}{c} \cos \theta'} \approx \frac{\omega_k}{1 - \frac{v}{c} \cos \theta'}. \quad (3)$$

В нашем случае $\cos \theta \approx \cos \theta'$. Подставляя (2) и (3) в (1), находим для $\theta \neq \pi/2$

$$\frac{\Delta \Omega}{\Omega} = \frac{v}{c} \cos \theta. \quad (4)$$

Наличие нескольких компонент рассеянной линии можно объяснить, если предположить, что при сравнительно малой мощности возбуждающего излучения образование "искры" в рассеивающей жидкости сопровождается появлением потоков молекул в нескольких направлениях. По мере возрастания мощности лазерного луча эти направления все более приближаются к плоскости, перпендикулярной к лучу, соответственно остается лишь одна компонента, для которой $\cos \theta \approx 0$. Поперечный эффект Доплера дает лишь небольшое смещение линий, которое мы не могли зарегистрировать на нашей установке.

Подставляя в (4) полученную нами величину расщепления, получаем приблизительно $v \approx 10^7 - 10^8$ см/сек. В работе [6] найдено, что в искре, возникающей в фокусе лазерного луча в газе, скорости ионов достигают подобных величин. Для жидкостей столь большие скорости молекул представляются неожиданными.

Необходимо также заметить, что подсчет энергии, выделяющейся в рассеивающей жидкости при прохождении через нее возбуждающегося излучения, показывает, что такими скоростями может обладать лишь очень небольшое число молекул (порядка 10^{13}).

Таким образом, несмотря на то, что приведенное объяснение позволяет качественно истолковать наблюдаемое расщепление, его ни в коей мере нельзя считать окончательным. Возможно, что учет особенностей явления комбинационного рассеяния света при больших мощностях возбуждающего излучения позволит дать другое объяснение.

Приносим благодарность П.А.Бажулину за внимание к этой работе, Н.П.Кузьминой и И.К.Шувалову за помощь при проведении измерений и Т.И.Кузнецовой за обсуждение работы.

Физический институт
им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
25 мая 1965 г.

Литература

- [1] В.А.Зубов, М.М.Сушинский, И.К. Шувалов. ЖЭТФ, 47, 784, 1964.
- [2] В.А.Зубов, М.М.Сушинский, И.К.Шувалов. ЖЭТФ, 48, 378, 1965.
- [3] В.Р.Stoicheff. International School of Physics "Enrico Fermi",
XXXI Course, August 19-31, 1963.
- [4] W.J.Jones, В.Р. Stoicheff. Phys. Rev. Lett., 13, 657, 1964.
- [5] Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Теория поля. Физматгиз, М., 1960.
- [6] С.Л.Мандельштам, П.П.Пашинин, А.М. Прохоров, Д.Н. Райзер,
Н.К.Суходрев. ЖЭТФ, 47, 2003, 1964; 48, № 7, 1965.