

Е. ГРОСС

**ПОПЕРЕЧНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ ВОЛНЫ ДЕБАЯ И РАССЕЯНИЕ СВЕТА
В КРИСТАЛЛАХ**

(Представлено академиком Д. С. Рождественским 17 XII 1939)

Изучение света, рассеянного кристаллами, с помощью приборов большой разрешающей силы указывает на сложный спектральный состав рассеянного излучения. Я уже сообщал⁽¹⁾ о своих исследованиях структуры линии Рэлея у кристаллов, произведенных с помощью эшелона Майкельсона. Как следует из этих опытов, линия Рэлея у кристаллов состоит из шести смещенных компонент. Компоненты с частотой, равной частоте возбуждающего излучения—несмещенная линия,—в спектре рассеяния кристалла отсутствует или значительно слабее по интенсивности смещенных компонент.

Результаты опытов не укладываются в рамки теории Бриллюэна-Мандельштама⁽²⁾, предсказывающей появление только двух смещенных компонент в спектре света, рассеянного кристаллами.

Автором настоящего сообщения (3) предложено следующее объяснение появлению дополнительных компонент линии Рэлея у кристаллов. Изменение длины волны света при рассеянии в кристаллах могут вызвать не только продольные, но и поперечные тепловые волны кристалла. Тогда две смещенные компоненты (один дублет) линии Рэлея у кристаллов вызываются продольными тепловыми волнами Дебая, а четыре дополнительных компоненты (еще два дублета) вызываются рассеянием света от двух поперечных тепловых волн акустического спектра кристалла*.

* В недавно опубликованной заметке [Nature, 142, 250 (1938)] Раман и Венкатесваран сообщают о своих наблюдениях над структурой линии Рэлея при рассеянии света кристаллом гипса. Эти наблюдения не содержат никаких новых фактов и по существу являются лишь повторением моих опытов с кварцем. Несмотря на то что индусские авторы не только подтверждают факты, установленные мною несколько лет тому назад, но и полностью присоединяются к предложенному мною объяснению структуры линии Рэлея у кристаллов, они делают ряд замечаний по поводу моих опытов. Эти замечания не только совершенно не обоснованы, но даже просто неверны. Так, например, замечание об отсутствии, якобы, измерений структуры линии Рэлея у кристаллов в моих публикациях не соответствует действительности. Еще в первом моем сообщении по этому вопросу⁽⁴⁾ приведены измерения величины смещения компонент линии Рэлея у кристалла кварца, подтверждающие их связь с тепловыми волнами Дебая. Далее, индусские авторы делают замечание об условности моих утверждений при описании результатов опытов с кристаллом, искажая при этом их смысл. При исследовании структуры линии Рэлея приходится пользоваться интерференционными спектральными приборами. Условность моих заключений вызывалась возможностью различной интерпретации интерференционной картины, даваемой этими инструментами. Как известно, измерения с интерференционными приборами неоднозначны вследствие наложения спектров различных порядков. Это обстоятельство вовсе не принято во внимание индусскими авторами, хотя наложение спектров имеет место в их спектрограммах. Поэтому, если индусские авторы полагают, что приведенные ими измерения с пластинкой Люммера однозначны и определены, то они ошибаются.

Следует заметить, что, строго говоря, в кристаллах вообще, как известно, распространяются не продольные и не поперечные волны, а волны, в которых направление колебаний не совпадает точно с направлением распространения упругой волны, и волны, у которых направление колебаний не перпендикулярно направлению распространения волны.

В настоящей заметке я хотел бы коснуться некоторых вопросов и сообщений, не затронутых мною из-за краткости моего предыдущего сообщения.

Измерения изменения длины волны смещенных компонент у кристаллического кварца подтверждают изложенную выше интерпретацию происхождения шести смещенных компонент линии Рэля у кристаллов.

Полагая применимость к кристаллам формулы

$$\Delta v_i = \pm 2v_0 n \frac{v}{c} \sin \frac{\theta}{2} \quad (i = 1, 2, 3)$$

из наблюдений смещений Δv_i компонент линии Рэля, можно определить соответствующие им скорости распространения v_1 , v_2 и v_3 «продольных» и двух «поперечных» тепловых волн.

Известно, что измерения с помощью спектральных интерференционных приборов большой разрешающей силы (эшелон, пластинка Люммера, интерферометр Фабри и Перо) вследствие наложения спектров неоднозначны*. При известной интерпретации интерференционной картины измерения дают следующие значения для смещений компонент линии Рэля кварца** $\Delta v_1 = 1,4$; $\Delta v_2 = 0,60$; $\Delta v_3 = 0,47$ см⁻¹, которые соответствуют скоростям распространения упругих тепловых волн в кристалле кварца: $v_1 = 6\,400$; $v_2 = 3\,500$; $v_3 = 2\,800$ м/сек***. Первое значение может быть интерпретировано как скорость распространения продольной волны, два другие — как скорости поперечных волн.

Этим значениям скоростей, определенных спектроскопически, можно сопоставить соответствующие им скорости, вычисленные из констант упругости кристалла кварца. Пользуясь данными Фойгта⁽⁵⁾, можно определить скорости распространения продольных и поперечных волн вдоль того направления в кристалле, по которому в условиях опыта должны распространяться упругие волны, рассеивающие свет в должном направлении****. Вычисления дают для скорости распространения продольной волны $v'_1 = 6\,800$ м/сек. Для поперечных волн значения скоростей, вычисленные для того же направления, заключаются между двумя значениями*****, лежащими около $v'_2 = 3\,700$ и $v'_3 = 3\,300$ м/сек.

* Из-за этой неоднозначности в интерпретации измерений в первом моем сообщении⁽⁴⁾ в 1930 г. о структуре линии Рэля у кристаллов я первоначально пытался истолковать смещенные компоненты от поперечных волн, присутствующие на спектрограмме рассеянного света наряду с компонентами от продольных волн, как обертоны продольных волн.

** Эти значения соответствуют, конечно, только некоторой ориентации осей кристалла относительно направлений возбуждающего и рассеянного пучков света, имеющей место в данном опыте. При другой ориентации кристалла они, вообще говоря, изменяются.

*** При другой возможной интерпретации интерференционной картины $\Delta v_3 = 0,78$ см⁻¹ и для v_3 получается значение: $v_3 = 4\,600$ м/сек.

**** Определение скоростей распространения волн из упругих констант кристалла могло быть произведено, конечно, лишь приближенно и в упрощающем предположении, что упругие волны чисто продольные и поперечные. Вычисления затрудняются еще тем, что зависимость величины упругих констант от направления в кристалле требует для определения скоростей хорошего знания ориентировки осей кристалла в опыте. Точное вычисление скоростей распространения упругих волн у кристалла представляет, как известно, большие трудности.

***** Соответственно двум крайним значениям модуля кручения.

Эти значения скоростей находятся в удовлетворительном согласии с указанными выше значениями скоростей тепловых волн, определенных из измерений структуры линии Рэлея.

Тепловое расширение твердых тел очень мало. Поэтому следует ожидать, что несмещенная компонента у кристаллов будет очень слабой. Опыт показывает, что несмещенная компонента действительно слабее смещенных компонент линии Рэлея. Этот экспериментальный факт следует рассматривать как новое подтверждение и для кристаллов теории Ландау и Плачека (6)*.

Интересно отметить, что наблюдения над структурой линии Рэлея у кристаллов и их интерпретация, здесь указанная, находятся в согласии с измерениями количества света, рассеянного кристаллами. Тщательные измерения полного количества света, рассеянного кристаллами кварца и каменной соли, произведенные Ландсбергом (7), показывают, что эти измерения лучше всего находятся в согласии с теорией рассеяния света твердыми телами, предложенной Гансом (8)**. Теория Ганса принимает во внимание не только флюктуации показателя преломления вследствие изменений величины рассеивающего свет элементарного объема (флюктуации плотности), но и изменения показателя преломления вследствие флюктуаций формы элементарного объема без изменения величины объема (деформации сдвига). Эта часть в составе рассеянного света в теории Ганса, вызванная флюктуациями формы объема, аналогична рассеянию света от поперечных тепловых волн.

Весьма важное подтверждение моих наблюдений над структурой линии Рэлея в кристаллах и их истолкования нужно видеть в последних опытах Михайлова. В следующей ниже заметке этого журнала Михайлов описывает опыты над диффракцией света от продольных и поперечных ультракоротких упругих волн, созданных в кристалле каменной соли с помощью колеблющейся кварцевой пьезопластинки. При некотором положении осей кристалла каменной соли относительно возбуждающей колебания кварцевой пластинки и пучка света можно наблюдать диффракцию света одновременно от трех систем пространственных решеток, созданных в каменной соли тремя ультракороткими упругими волнами—продольной и двумя поперечными, распространяющимися с различными скоростями.

Эти опыты непосредственно подтверждают мои наблюдения шести смещенных компонент линии Рэлея при рассеянии света в кристаллах и их интерпретацию.

Физический институт
Ленинградского государственного университета

Поступило
14 I 1940

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ E. Gross, ZS. f. Phys., **63**, 685 (1930); C. R. URSS, **18**, 93 (1938). ² L. Brillouin, Annales de Phys., **17**, 88 (1922); L. Mandelstam, Journ. Russ. Phys. Chem. Soc., **58**, 831 (1926). ³ E. Gross, C. R. URSS, **18**, 93 (1938). ⁴ E. Gross, ZS. f. Phys., **63**, 685 (1930). ⁵ W. Voigt, Wied. Ann., **31**, 495, 701 (1887). ⁶ L. Landau u. G. Placzek, Phys. ZS. d. Sowjetunion, **5**, 172 (1934). ⁷ Gr. Landsberg u. K. Wulfsohn, ZS. f. Phys., **58**, 95 (1929); Gr. Landsberg u. S. Mandelstam jr., ZS. f. Phys., **73**, 502 (1931). ⁸ R. Gans, Ann. d. Phys., **77**, 317 (1925). ⁹ M. Leontowitsch u. S. Mandelstam jr., Phys. ZS. d. Sowjetunion, **1**, 317 (1932). ¹⁰ F. Matossi, ZS. f. Phys., **92**, 425 (1934).

* Выражение для отношения интенсивности несмещенной компоненты к общей интенсивности обеих смещенных компонент, равное $\frac{c_p - c_v}{c_v}$, установленное Ландау и Плачевом для жидкостей, для кристаллов, разумеется, непосредственно не применимо.

** См. также относящиеся к этому вопросу работы Леонтовича и Мандельштама (9) и Матосси (10).