

К. С. ВУЛЬФСОН

О СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗВУКА В КВАРЦЕ

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 16 V 1940)

Экспериментальное исследование тонкой структуры спектра релеевского рассеяния в кристаллах приводит к выводу, что в спектре рассеянного света имеется не одна пара смещенных компонент, как это первоначально предполагалось<sup>(1,2)</sup>, а значительно больше.

В своей статье<sup>(3)</sup> Гросс указывает, что на снимках можно обнаружить три пары смещенных компонент, которые он приписывает трем разным типам акустических колебаний, имеющих место в анизотропном кристалле.

Из величины расщепления Гросс, пользуясь известным соотношением:

$$\Delta\nu = \pm 2\nu_0 n \frac{v}{c} \sin \frac{\theta}{2}, \quad (1)$$

определяет скорость распространения этих колебаний:

$$v_1 = 6400 \text{ м/сек}; v_2 = 3500 \text{ м/сек}; v_3 = 2800 \text{ или } 4600 \text{ м/сек}^*.$$

В многочисленной литературе, посвященной колебаниям кварца, имеется очень мало сведений о скорости распространения звуковых волн в кварце. Приведенные в некоторых источниках<sup>(4)</sup> данные сильно отличаются друг от друга. Это противоречие представляется тем более удивительным, что упругие константы и плотность кварца (определяющие скорость звука) известны с достаточной точностью, и нет основания предполагать, чтобы они могли резко изменяться от образца к образцу.

Из общей теории распространения упругих колебаний в анизотропной среде<sup>(5)</sup> известно, что в каждом направлении могут распространяться три волны, скорости которых определяются корнями секулярного уравнения:

$$\begin{vmatrix} \lambda_{11} - c^2 \rho & \lambda_{12} & \lambda_{13} \\ \lambda_{12} & \lambda_{22} - c^2 \rho & \lambda_{23} \\ \lambda_{13} & \lambda_{23} & \lambda_{33} - c^2 \rho \end{vmatrix} = 0, \quad (2)$$

где  $\rho$  — плотность,  $c$  — скорость звука,

$$\left. \begin{aligned} \lambda_{11} &= c_{11} l^2 + c_{66} m^2 + c_{55} n^2 + 2c_{56} mn + 2c_{13} nl + 2c_{16} lm, \\ \lambda_{22} &= c_{66} l^2 + c_{22} m^2 + c_{44} n^2 + 2c_{24} mn + 2c_{46} nl + 2c_{26} lm, \\ \lambda_{33} &= c_{55} l^2 + c_{44} m^2 + c_{33} n^2 + 2c_{34} mn + 2c_{35} nl + 2c_{45} lm, \\ \lambda_{12} &= c_{16} l^2 + c_{26} m^2 + c_{45} n^2 + (c_{46} + c_{25}) mn + (c_{14} + c_{56}) nl + (c_{12} + c_{16}) lm, \\ \lambda_{13} &= c_{15} l^2 + c_{46} m^2 + c_{35} n^2 + (c_{36} + c_{45}) mn + (c_{13} + c_{55}) nl + (c_{14} + c_{56}) lm, \\ \lambda_{23} &= c_{56} l^2 + c_{24} m^2 + c_{34} n^2 + (c_{44} + c_{23}) mn + (c_{36} + c_{45}) nl + (c_{46} + c_{25}) lm; \end{aligned} \right\} (3)$$

в этих формулах:  $c_{ik}$  — упругие константы,  $l, m, n$  — косинусы углов между осями кристалла и направлением распространения акустических волн.

Нами были выполнены вычисления для нескольких наиболее характерных направлений распространения звука (табл.).

\* Приведенные цифры получаются из наиболее вероятного толкования интерференционной картины. К сожалению, оно не единственное, так, для  $v_3$  возможны два значения. Эта неоднозначность результата крайне затрудняет проверку теории.

Упругие константы дин/см <sup>2</sup>	Направление распро- странения	Скорость звука в м/сек		
$c_{11} = c_{22} = 852 \cdot 10^9$ $c_{33} = 1074,5 \cdot 10^9$ $c_{44} = c_{55} = 579,5 \cdot 10^9$ $c_{66} = \frac{1}{2}(c_{11} - c_{12}) = 391,2 \cdot 10^9$ $c_{12} = 69,5 \cdot 10^9$ $c_{13} = c_{23} = 171 \cdot 10^9$ $c_{15} = c_{25} = c_{46} = -168,3 \cdot 10^9$ $c_{14} = c_{16} = c_{56} = 0$ $\rho = 2,65$	Вдоль электрической оси X $l = 1; m = n = 0$	4 200	3 850	3 060
	Вдоль механической оси Y $l = h = 0; m = 1$	5 680	3 565	2 340
	Вдоль оптической оси Z $l = m = 0; n = 1$	6 460	4 650	4 650

Из таблицы видно, что скорость распространения сильно зависит от направления. Возможно этим объясняется различие в данных отдельных исследователей. По этой же причине необходимо в опытах над тонкой структурой спектра рассеянного света пользоваться образцами с определенной ориентацией всех трех кристаллографических осей. Например, в куске кварца, вырезанном так, что оптическая ось образует угол в  $45^\circ$  с направлением первичного и рассеянного луча, следует ожидать появления только двух пар компонент, соответствующих скоростям 6460 и 4650 м/сек и, следовательно, упрощения интерференционной картины.

Сопоставление полученных Гроссом значений скоростей с приведенными в таблице показывает, что, если принять для  $v_3$  второе возможное значение—4600 м/сек, то скорости двух волн совпадают с точностью до 1—2% с вычисленной для случая распространения волны вдоль оптической оси. Для третьей волны скорость распространения, найденная Гроссом, совпадает с рассчитанной для волн, распространяющихся вдоль механической оси. Близкое совпадение скоростей  $v_1$  и  $v_3$  с расчетом возможно указывает на такую ориентацию образца, при которой упругие волны, вызывавшие рассеяние света, распространялись по направлению, образующему небольшой угол с оптической осью. К сожалению, в своей статье<sup>(3)</sup> Гросс не приводит сведений о направлении распространения упругих волн. Можно, однако, ожидать, что, решая уравнение (2) при значениях направляющих косинусов  $l, m, n$ , соответствующих образцу, с которым производился эксперимент, удастся получить совпадение расчета с опытными данными сразу для всех трех скоростей.

Вычисленные нами по уравнению (2) значения скоростей лучше совпадают с экспериментальными значениями, чем рассчитанные Гроссом по приближенным формулам ( $v_1 = 6800$ ;  $v_2 = 3700$ ;  $v_3 = 3300$ ). Таким образом, решение уравнения (2) дает более надежное подтверждение предположению Гросса, что сложная структура релеевских линий связана с наличием трех разных акустических колебаний в анизотропном кристалле.

Оптическая лаборатория  
Научно-исследовательского института физики  
Московского государственного университета

Поступило  
27 V 1940

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> L. Mandelstamm, Journ. Russ. Phys. Chem. Soc., 58, 831 (1926); Л. Мандельштамм, Журн. Русск. физ.-хим. об-ва, 5, 172 (1924). <sup>2</sup> L. Brillouin, Ann. de Phys., 17, 88 (1922). <sup>3</sup> Е. Гросс, ДАН, XXVI, № 8 (1940). <sup>4</sup> Техническая энциклопедия, X, 390; Нунд, Proc. IRE, 15, 725 (1927). <sup>5</sup> Ляв, Математическая теория упругости.