

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ОПАЛЕСЦЕНЦИЯ КВАЗИУПРУГОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА ВБЛИЗИ ТОЧКИ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА В КРИСТАЛЛАХ

В.С. Горелик, А.П. Григорьев, М.М. Сущинский

УДК 535.361

Исследована зависимость температурной производной интенсивности рассеяния света в кристаллах в области фазового перехода от температуры. Показано, что для квазиупругого рассеяния эта зависимость обнаруживает аномалию в непосредственной близости от точки фазового перехода.

Известный метод исследования мягкой моды в кристаллах основан на анализе спектров комбинационного рассеяния (КР) света, записанных при нескольких фиксированных значениях температуры T кристалла. Как выяснилось в последнее время, при температурах, близких к температуре фазового перехода T_c , удобно использовать другой метод [1], в котором изучаются температурные зависимости интенсивности рассеяния $J(\Omega, x)$ ($x = T_c - T$) при фиксированных частотах Ω . Это связано с тем, что в указанной области температур мягкая мода становится передемпфированной и поэтому соответствующий максимум отсутствует в спектрах КР. Изочастотные же зависимости $i(\Omega, x) = J(\Omega, x) T^{-1} / 1/$ обнаруживают явно выраженный максимум, что позволяет определять параметры мягкой моды и в непосредственной близости от точки фазового перехода.

Из формул, приведенных в работе [1], а также из экспериментальных данных [2] следует, что изочастотные зависимости, соответствующие низким частотам Ω , в области фазового перехода проявляют наиболее резкие изменения. В связи с этим представляет интерес изучение не только самой функции $i(\Omega, x)$, но и ее температурной производной $\partial i(\Omega, x) / \partial x$.

В настоящей работе дается теоретический анализ зависимости $\partial i(\Omega, x) / \partial x$ и проводится сопоставление теории с экспериментом для кристалла тантала лития.

В соответствии с [1] имеет место соотношение:

$$i(\Omega, x) = \frac{A_0 x \Gamma}{(2A_0 x - \Omega^2)^2 + \Gamma^2 \Omega^2} \quad (1)$$

Здесь Γ — коэффициент затухания мягкой моды, A_0 — соответствующий коэффициент в разложении термодинамического потенциала в ряд по параметру порядка. Отметим, что выражение (1) справедливо только для низкотемпературной фазы кристалла и для переходов, далеких от трикритической точки. Дифференцируя по x , находим:

$$\frac{\partial}{\partial x} i(\Omega, x) = \frac{A_0 \Gamma}{(2A_0 x - \Omega^2)^2 + \Gamma^2 \Omega^2} \left[1 - \frac{4A_0 x (2A_0 x - \Omega^2)}{(2A_0 x - \Omega^2)^2 + \Gamma^2 \Omega^2} \right]. \quad (2)$$

Координаты экстремумов функции $\partial i(\Omega, x) / \partial x$ есть:

$$x_1 = -\frac{\Omega}{A_0} \sqrt{\Omega^2 + \Gamma^2} \cos \frac{a + \pi}{3};$$

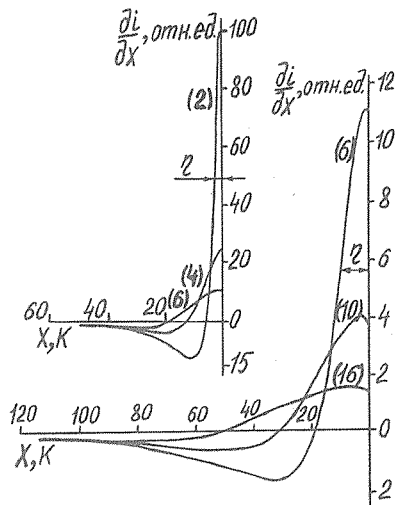
$$x_2 = \frac{\Omega}{A_0} \sqrt{\Omega^2 + \Gamma^2} \cos \frac{a}{3}; \quad \cos a = -\frac{\Omega}{\sqrt{\Omega^2 + \Gamma^2}}.$$

Один из них (x_1) соответствует максимуму, второй — минимуму. Для низких частот ($\Omega \ll \Gamma$) имеем:

$$x_1 \approx 0; \quad \left(\frac{\partial i}{\partial x} \right)_{x=x_1} = \frac{A_0}{\Gamma \Omega^2},$$

$$x_2 \approx \frac{\sqrt{3}\Gamma\Omega}{2A_0}; \quad \left(\frac{\partial i}{\partial x} \right)_{x=x_2} = -\frac{A_0}{8\Gamma\Omega^2}.$$

На рис. 1 представлены результаты расчета дифференциальных изочастотных зависимостей для нескольких значений частот. При этом величины параметров ($A_0 = 12,5 \text{ см}^{-2} \text{ град}^{-1}$, $\Gamma = 80 \text{ см}^{-1}$) выбирались такими же как в работе [2], т. е. соответствовали кристаллу танталата лития. Из рисунка видно, что при низких частотах максимум функции $\partial i / \partial x$ находится практически в самой точке фазового перехода ($x_1 = 0,1 \text{ град}$ при $\Omega = 2 \text{ см}^{-1}$), а положение минимума зависит от частоты Ω . С другой стороны, при уменьшении Ω от 16 до 2 см^{-1} обнаруживается резкое возрастание максимума дифференциальной зависимости в 50 раз. В случае обычных изочастотных зависимостей при таком же изменении частоты Ω величина максимума увеличивается всего лишь в 7 раз. Кроме того, для дифференциальных зависимостей полуширина η с уменьшением частоты Ω также уменьшается. Обсуждаемый эффект естественно классифицировать как особый вид опалесценции — дифференциальной динамической ($\Omega \neq 0$) опалесценции.



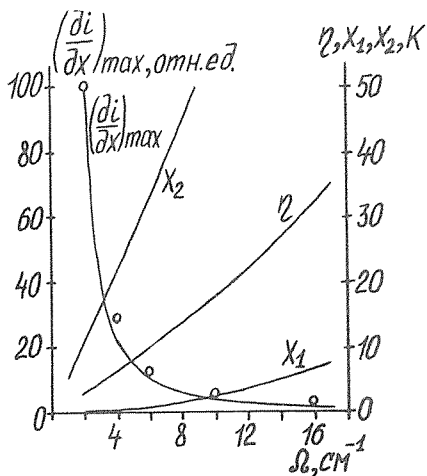
Р и с. 1. Дифференциальные изохастотные зависимости, рассчитанные согласно (2) для значений частот $\Omega = 2, 4, 6, 10$ и 16 см^{-1} (цифры в скобках) при $A_0 = 12,5 \text{ см}^{-2} \text{ град}^{-1}$ и $\Gamma = 80 \text{ см}^{-1}$, $x = T_c - T$, T_c – температура перехода

Для сопоставления полученных теоретических зависимостей с экспериментом использовались данные работы [2] для кристалла танталата лития. Нами выполнено сравнение вычисленных значений производной $\partial i / \partial x$ в точке фазового перехода с тангенсами углов наклона касательной к соответствующим кривым работы [2] в этой точке. Результаты сравнения приведены в табл. 1 и на рис. 2. При этом вычисленные и полученные значения производной совмещались при $\Omega = 2 \text{ см}^{-1}$. Кроме того на рис. 2 представлены частотные зависимости обсуждавшихся выше величин x_1, x_2, η .

Таблица 1. Сравнение экспериментальных значений $(\partial i / \partial x)_{\max}$ с теоретическими для кристалла танталата лития.

$\Omega, \text{ см}^{-1}$	2	4	6	10	16
$\alpha, \text{ град, эксп.}$	89,8	89,3	88,3	86,5	81,5
$\text{tg } \alpha$	286	82	34	16	6,7
$(\partial i / \partial x)_{\max}, \text{ эксп.}$	100	28,7	11,9	5,6	2,3
$(\partial i / \partial x)_{\max}, \text{ теор.}$	100	25	11,1	4,0	1,6

Как видно из таблицы и рис. 2, теория находится в согласии с экспериментом.



Р и с. 2. Зависимости величин x_1 , x_2 , η и $(\frac{di}{dx})_{max}$ от частоты Ω ; о — значения $(\frac{di}{dx})_{max}$, полученные из экспериментальных данных работы [2/

Таким образом, в настоящей работе показано, что дифференциальная (по температуре) изочастотная зависимость квазиупругого рассеяния света должна характеризоваться наличием резких аномалий в непосредственной близости от точки фазового перехода. При этом максимум этой зависимости резко возрастает с уменьшением частоты рассеяния, а температура проявления этого максимума стремится к температуре фазового перехода. При достаточно низких частотах положение обсуждаемого максимума практически совпадает с температурой фазового перехода.

Указанные аномалии могут быть использованы для индикации неизвестных фазовых переходов, уточнения температуры фазовых переходов в зависимости от примесей и т. д.

Поступила в редакцию 18 января 1984 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. С. Горелик, С.В. Иванова, Краткие сообщения по физике ФИАН, № 11, 18 (1981).
2. В.С. Горелик, А.П. Григорьев, М.М. Сушинский, Краткие сообщения по физике ФИАН, № 4, 35 (1982).