

ПОГЛОЩЕНИЕ ЗВУКА В МОНОКРИСТАЛЛЕ NH_4Cl ПРИ ЕГО ФАЗОВОМ ПРЕВРАЩЕНИИ

О.А.Шустин, И.А.Яковлев, Т.С.Величкина

Фазовый переход кристалла нашатыря, происходящий при температуре -31°C , является переходом типа порядок—беспорядок и близок к критической точке Кюри. Ниже температуры фазового превращения, в несимметричной фазе, исследуемый кристалл принадлежит к кубической системе, к классу T_d , выше точки превращения — к классу O_h . В несимметричной фазе группы NH_4 привязаны своей ориентацией к одной системе пространственных диагоналей кубической ячейки кристалла. В симметричной фазе ориентация группы NH_4 по отношению к двум возможным системам пространственных диагоналей элементарной ячейки кристалла становится равновероятной [1, 2]. Анализ исследуемого фазового перехода кристалла NH_4Cl , произведенный на основе теории групп, показал, что аномальное поглощение при фазовом превращении могут испытывать только продольные акустические волны.

Мы измеряли поглощение продольных акустических волн, распространяющихся вдоль ребра кубической решетки кристалла. Измерения производились на частотах 5 и 15 *Мгц* методом, описанным ранее [3]. Особое внимание уделялось тепловому режиму опытов. Исследуемые образцы кристалла, размером $10 \times 10 \times 3$ *мм*, находились в акустическом контакте с металлической термостатированной линией задержки. В свою очередь, вся эта система помещалась в массивный медный термостат, изотермичный с линией задержки. Результаты наших измерений для частоты 15 *Мгц* представлены на рис. 1 и 2. На этих рисунках по оси абсцисс отложены значения температуры $t - \theta$ опыта, отсчитанные от температуры максимума поглощения

звука, а по оси ординат-значения разности коэффициента поглощения $\kappa_t - \kappa_{-28^\circ\text{C}}$, выраженные в см^{-1} . Рис.1 соответствует случаю нагрева кристалла, рис.2 – охлаждению кристалла. Аналогичные результаты получены для коэффициента поглощения звуковых волн частоты 5 Мгц. Но максимальное поглощение в последнем случае приблизительно в 4 раза меньше, чем для звука частоты 15 Мгц.

Во время выполнения наших измерений мы узнали о близком по содержанию к нашей работе исследовании С.В.Гарленда и Д.С.Джонса [4], ко-

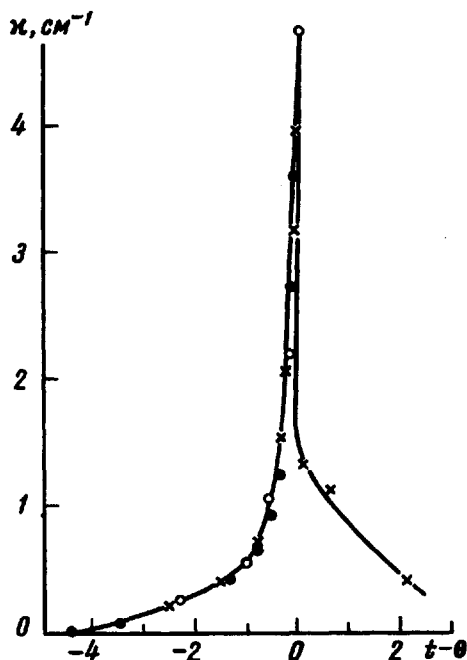


Рис.1

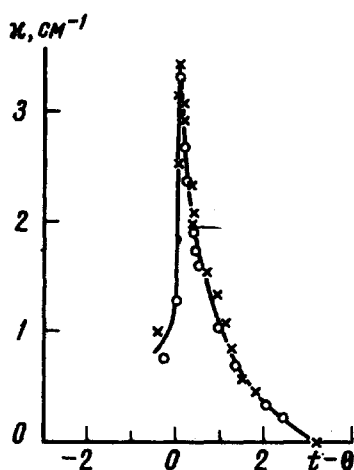


Рис.2

торыми обнаружен меньший, чем в наших опытах, эффект поглощения звука в NH_4Cl . Именно, в [4] максимальный коэффициент поглощения звука составляет лишь $1,6 \text{ см}^{-1}$, в то время как в наших измерениях получено значение $\kappa_{\text{max}} - \kappa_{-28^\circ\text{C}} = 4,6 \text{ см}^{-1}$, которое, возможно, также не следует считать предельным. Вероятное объяснение различия нашего результата с результатом найденным в [4] заключается в значительной длине (больше 10 мм) использованных Гарлендом и Джонсом образцов кристаллов, в то время как рабочая длина нашего образца не превышала 3 мм. В условиях длинных образцов, даже при минимальных температурных градиентах, трудно ожидать, чтобы область непосредственного фазового превращения кристалла занимала весь путь акустического сигнала в кристалле. Между тем, несоблюдение этого условия ведет к снижению определяемых значений κ_{max} . Кроме того, отметим, что в работе Гарленда и Джон-

са [4] не зарегистрировано явлений незначительных перегревов и переохлаждений кристалла NH_4Cl , наблюдавшихся в нашем случае, как об этом можно заключить из различия наших графиков, приведенных на рис. 1 и 2. Причину отсутствия этих небольших эффектов в [4] нам установить не представляется возможным, так как в изложении этой работы, к сожалению, отсутствует описание деталей теплового режима опытов.

Теория поглощения звука при фазовых превращениях в кристаллах была создана Л.Д.Ландау. Эта теория представляет собой развитие известной работы Л.Д.Ландау и И.М.Халатникова [5]. Согласно Ландау, в случае несегнетоэлектрического кристалла, в несимметричной его фазе, вблизи температуры превращения θ тензор упругих постоянных μ_{iklm} , связывающий деформации U_{ik} с напряжениями σ_{lm} ($U_{ik} = \mu_{iklm} \sigma_{lm}$), приобретает вид:

$$\mu_{iklm} = \mu_{iklm}^{\circ} + \frac{\Delta C_p}{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial \sigma_{ik}} \frac{\partial \theta}{\partial \sigma_{lm}} \frac{i \omega \tau}{1 - i \omega \tau}. \quad (1)$$

В этом выражении ΔC_p – скачок теплоемкости кристалла при фазовом превращении, ω – циклическая частота звука и $\tau = \gamma / (\theta - T)$, зависящая от температуры, T – время релаксации неравновесных состояний среды. При $[(\Delta C_p / \theta)(\partial \theta / \partial \sigma_{in})] [(\partial \theta / \partial \sigma_{lm})] \ll \mu_{iklm}$ для амплитудного коэффициента поглощения звука κ на единицу длины получаем приближенное выражение:

$$\kappa = \frac{\sqrt{\rho}}{\sqrt{\mu_{iklm}^{\circ}}} \frac{\Delta C_p}{2\theta} \frac{\partial \theta}{\partial \sigma_{in}} \frac{\partial \theta}{\partial \sigma_{lm}} \frac{\omega^2 \tau}{1 + \omega^2 \tau^2}, \quad (2)$$

где ρ – плотность кристалла. Это выражение имеет максимум при температуре T , удовлетворяющей условию $\theta - T = \omega \gamma$. Функциональная зависимость κ от τ и ω в выражении (2) не является неожиданной [5], но существенно, что в (2) найдена в явном виде зависимость κ от термодинамических параметров кристалла.

Обработка наших результатов для поглощения звука в несимметричной фазе кристалла NH_4Cl дает $\tau = 1 \cdot 10^{-9} / (\theta - T)$ сек, что совпадает по порядку величины со значением τ , найденным в [4]. Воспользовавшись соотношением Ландау (2), мы впервые получили возможность найти величину $d\theta/dp$ из акустических измерений. Необходимые для этого расчета значения ΔC_p и $\mu_{zzzz} = 1/E$ мы взяли из [6, 7] и использовали величину κ из наших измерений для звука частоты 15 МГц. Мы нашли $d\theta/d\sigma = 3 \cdot 10^{-9}$ град. см²/дин, в то время как прямые статические измерения зависимости температуры фазового превращения θ от давления p дают значение $9 \cdot 10^{-9}$ град. см²/дин [6, 8]. Учитывая, что $d\theta/dp = 3(d\theta/d\sigma)$, совпадение величин $d\theta/dp$, полученных совершенно различными методами, следует считать убедительным подтверждением формулы Ландау (2).

Приносим глубокую благодарность Л.А.Щербаковой и Г.К.Чиркину, выра-
стившим весьма совершенные кристаллы NH_4Cl и любезно предоставив-
шим их нам для оптических [9] и акустических измерений.

Физический факультет
Московского государственного
университета им. М.В.Ломоносова

Поступило в редакцию
28 сентября 1966 г.

Литература

- [1] Дж. Бэкон. Дифракция нейтронов. Изд. Иностр. лит., М., 1957.
- [2] J.Frenkel. Acta Physicochim., 3, 23, 1935.
- [3] И.А.Яковлев, Т.С.Величкина, К.Н.Баранский. ЖЭТФ, 32, 935, 1957.
- [4] С.W.Garland, J.S.Jones. J.Chem. Phys., 42, 4194, 1965.
- [5] Л.Д.Ландау, И.М.Халатников. Докл. АН СССР, 96, 469, 1954.
- [6] С.А.Злуницын. ЖЭТФ, 8, 724, 1938.
- [7] A.W.Lawson, Phys.Rev., 57, 417, 1940.
- [8] P.W.Bridgman. Phys.Rev., 38, 182, 1931.
- [9] О.А.Шустин. Письма ЖЭТФ, 3, 491, 1966.