

## КРИТИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ СКОРОСТИ И ПОГЛОЩЕНИЯ ЗВУКА В КВАЗИОДНОМЕРНОМ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКЕ $\text{CsH}_2\text{PO}_4$

*Е.Д.Якушкин, А.И.Баранов, Л.А.Шувалов*

Обнаружено, что в кристалле дигидрофосфата цезия, в отличие от известных одноосных сегнетоэлектриков, диполь-дипольное дальное действие не проявляется, а критические аномалии в этом сегнетоэлектрике подобны аномалиям, наблюдающимся в системах с близкодействующими силами взаимодействия.

Интерес к низкоразмерным системам обусловлен как практическими их применениями, так и важностью их при анализе различных модельных представлений. Сравнительно недавно было установлено, что

в кристаллах  $\text{CsH}_2\text{PO}_4$  (CDP) и  $\text{CsD}_2\text{PO}_4$  (DCDP) сегнетоэлектрическое упорядочение имеет квазиодномерный характер [1, 2]. Корреляции параметра порядка оказываются при этом сильно анизотропными; в направлении полярной оси кристалла корреляционная длина  $l_c''$  более чем на порядок превышает корреляционную длину в перпендикулярных направлениях  $l_c''$  [2]. Установлено также, что температурная зависимость диэлектрической восприимчивости этого кристалла отличается от классической (предсказываемой теорией Ландау) в широком интервале температур [3].

С целью выяснения особенностей макроскопического поведения этого кристалла вблизи температуры фазового перехода ( $T_c$ ) нами исследовались скорость и поглощение продольных ультразвуковых волн (частотой  $\sim 10$  МГц).

При обычной эхо-импульсной методике относительная точность измерений скорости и коэффициента поглощения ультразвуковых волн составляла соответственно  $\Delta v/v \sim 10^{-5}$  и  $\Delta \alpha/\alpha \sim 10^{-2}$ . Точность измерения и стабилизации температуры были не ниже  $10^{-3}$  К. Исследуемый монокристалл  $\text{Cs}(\text{H}_{1-x}\text{D}_x)_2\text{PO}_4$  ( $x \approx 0,1$ ,  $T_c \approx 175$  К, симметрия высокотемпературной фазы  $C_{2h}^{2x}$ ) представлял собой прямоугольный параллелепипед с размерами  $8 \times 9 \times 13$  мм<sup>3</sup> вдоль кристаллофизических осей  $x$ ,  $y$  и  $z$ , выбранных так, что ось  $y$  соответствует направлению полярной оси "2" [4].

Известно, что дальнедействующие диполь-дипольные силы в полярных диэлектриках приводят к резкой зависимости диэлектрической восприимчивости и упругих модулей от направления волнового вектора  $\mathbf{k}$  [5]. Эта зависимость обусловлена появлением связанного с продольной звуковой волной макроскопического деполяризующего поля  $\mathbf{E} = -4\pi(\mathbf{P}\mathbf{n})\mathbf{n}$ ,  $\mathbf{n} = \mathbf{k}/k$ . В результате в одноосных сегнетоэлектриках с однородным трехмерным упорядочением при  $T \leq T_c$  аномалии скорости и поглощения продольных звуковых волн, распространяющихся вдоль особой полярной оси кристалла, либо вообще экспериментально не наблюдаются, либо оказываются значительно слабее аналогичных аномалий при распространении звуковых волн перпендикулярной полярной оси. В последнем случае вид этих аномалий близок к предсказываемому теорией Ландау (скачок скорости звука при  $T = T_c$  и  $\lambda$  — пик поглощения).

В кристалле CDP максимальные аномалии скорости и поглощения звука наблюдаются именно при распространении волны вдоль полярной оси  $y$  (рис. 1 и рис. 2), т. е. действие макроскопического деполяризующего поля не сказывается. Поскольку экранирующим влиянием свободных зарядов в этом кристалле можно пренебречь, то, следовательно, спонтанная поляризация в низкотемпературной фазе кристалла должна быть сильно неоднородной.

В аномалии скорости и поглощения звука, вообще говоря, должны давать вклад и флуктуационные эффекты, причем при  $kl_c \ll 1$  они не зависят от направления  $\mathbf{k}$ . Однако в системах с диполь-дипольным взаимодействием критическая область очень мала, составляя по теоретическим оценкам  $(T - T_c)/T_c \sim 10^{-4}$  [6] и обычно экспериментально не достигается [7].

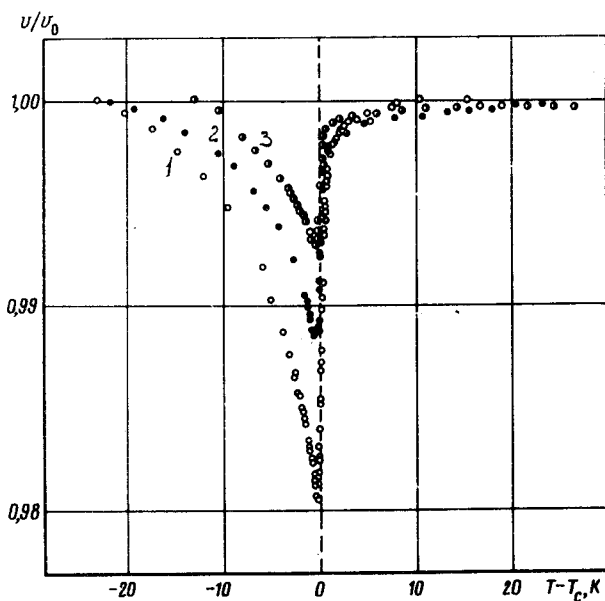


Рис. 1. Температурные зависимости относительных скоростей квазипродольных звуковых волн по трем кристаллофизическим направлениям в окрестности  $T_c$  кристалла CDF; 1 -  $\circ$  -  $v_y/v_{0y}$ , 2 -  $\bullet$  -  $v_x/v_{0x}$ , 3 -  $\bullet$  -  $v_z/v_{0z}$

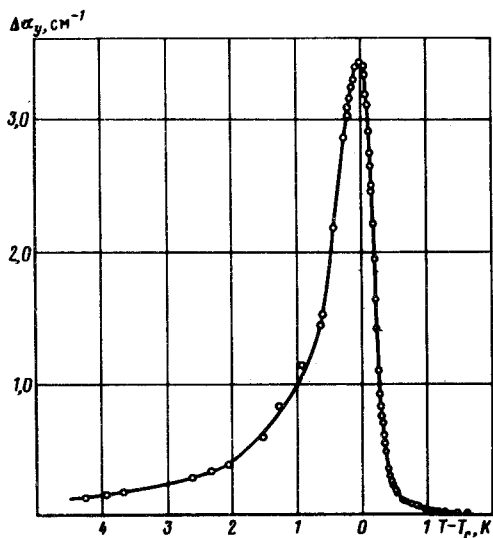


Рис. 2. Температурная зависимость коэффициента поглощения продольной звуковой волны, распространяющейся вдоль полярной оси  $y$  в окрестности  $T_c$  кристалла CDF

Критическая область для кристалла CDF (рис. 3) также оказывается значительно шире ожидаемой для одноосных сегнетоэлектриков. Достаточно высокая относительная точность измерений и высокое разрешение по температуре позволили провести количественную обработку зависимостей  $\Delta v(T)$  и  $\Delta \alpha(T)$  с целью выяснения их аналитической формы в области  $T > T_c$ . Аномальная часть  $\Delta v(T)$  определялась как разность между экстраполированными из области достаточно высоких температур и измеренными значениями скорости звука, причем экстраполяционная кривая  $v_0(T)$  представляла собой нелинейный полином.

Оказалось, что зависимости  $\Delta v(T)$  и  $\Delta \alpha(T)$  при  $T > T_c$  представимы в виде  $\Delta v \sim (T - T_c)^{-\alpha}$  и  $\Delta \alpha \sim (T - T_c)^{-\theta}$ , причем для звуковой волны, распространяющейся вдоль полярной оси  $y$ ,  $\alpha = 1,00 \pm 0,05$  и  $\theta = 2,30 \pm 0,05$  в интервале  $2 \cdot 10^{-1} \lesssim T - T_c \lesssim 5\text{K}$  (рис.3). Аналогичные

большие значения критического индекса  $\theta$  наблюдаются лишь в системах с близкодействующими силами взаимодействия – ферромагнетиках и антиферромагнетиках [8]. Если принять для критических индексов соотношение  $\theta = \alpha + \gamma$ , следующее из так называемой "теории связанных мод" [9], то в этом же интервале температур должно быть  $\gamma = 1,3$ , т. е. индекс для диэлектрической восприимчивости также характерный для систем с близкодействием. Такое значение  $\gamma$  для кристалла СДР в широком интервале температур было получено в работах [4]. Примечательно, что для аномалий скорости звука при распространении волны вдоль осей  $x$  и  $z$  нами было получено  $\alpha = 0,50 \pm 0,05$  в интервале  $5 \cdot 10^{-2} \lesssim T - T_c \lesssim 10$  К. Необходимо отметить, что обычно аномалии  $\Delta v(T)$  и  $\Delta \alpha(T)$  при сегнетоэлектрическом фазовом переходе не удается в столь широком интервале температур выше  $T_c$  представить в виде степенных зависимостей от  $(T - T_c)$ .

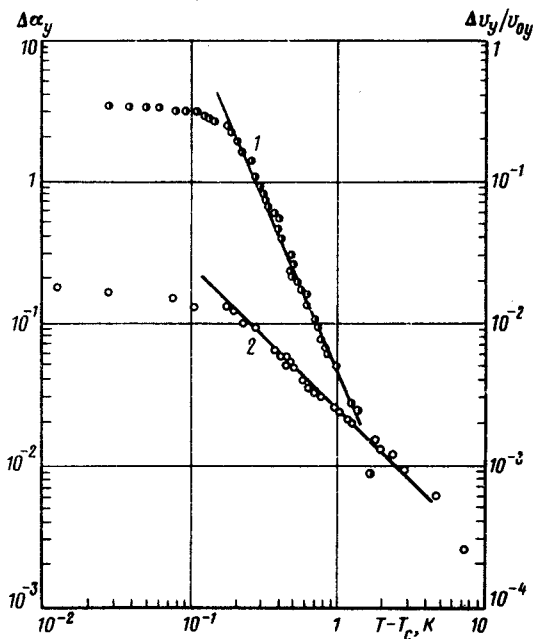


Рис. 3. Температурные зависимости величин  $\Delta\alpha - 1 - \circ$  и  $\Delta v - 2 - \circ$  в логарифмическом масштабе для температур  $T > T_c$

Характер наблюдающихся критических аномалий указывает на отсутствие определяющего диполь-дипольным дальнего действия и характерного для обычных сегнетоэлектриков подавления флуктуаций. Причиной этого, по-видимому, является сильная анизотропия корреляций; из экспериментов по рассеянию нейтронов в этом кристалле известно, что при  $T - T_c \approx 0,3$  К величина  $l_c^{\parallel}$  достигает значения  $600 \text{ \AA}$ , тогда как  $l_c^{\perp} \approx 30 \text{ \AA}$  [2].

Количественный анализ соответствующих зависимостей при  $T < T_c$  наталкивается на определенные трудности и представляет собой предмет отдельного рассмотрения.

В заключение авторы благодарят А.П.Леванюка за сделанные замечания при обсуждении рукописи статьи и А.Н.Израиленко, предоставившую монокристаллы СДР.

## Литература

- [1] D.Semmingsen, W.D.Ellenson, B.C.Fraser, G.Shirane. *Phys. Rev. Lett.*, **38**, 1299, 1977.
- [2] B.C.Fraser, D.Semmingsen, W.D.Ellenson, G.Shirane. *Phys. Rev. B*, **20**, 2745, 1979.
- [3] R.Blinic, B.Zeks, A.Levstik, C.Filipic, J.Slak, M.Burgar, I.Zupancic, L.A.Shuvalov, A.I.Baranov. *Phys. Rev. Lett.*, **43**, 231, 1979; А.И. Баранов, В.С.Рябкин, Л.А.Шувалов, Л.Н.Рашкович. *Кристаллография*, **24**, 524, 1979.
- [4] Y.Uesu, J.Kobayashi. *Phys. Status. Sol. (a)* **34**, 475, 1976.
- [5] М.А.Кривоглаз. *ФТТ*, **5**, 3439, 1963.
- [6] В.Л. Гинзбург. *ФТТ*, **2**, 2031, 1960; А.П.Леванюк. *Изв. АН СССР сер. физ.* **29**, 879, 1965.
- [7] Б.А.Струков, Е.Д.Якушкин. *Письма в ЖЭТФ*, **28**, 16, 1978.
- [8] *Физическая акустика под ред. У.Мэзона*, т.7, гл. 2, М., изд. Мир, 1974.
- [9] F.Schwabl. *Phys. Rev. B*, **7**, 2038, 1973.
-