

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ В НЕСЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДАХ

Дж. Ф. Скотт

Представлена модель дефектов в качестве альтернативы двумерной флуктуационной теории Китаева и др. для объяснения изменений диэлектрической проницаемости при антиферродисторсионном фазовом переходе в KMnF_3 . Предложено соответствующее применение к интерпретации необычных индексов в CsH_2PO_4 .

Ранее Китаев и др. опубликовали очень интересные данные по диэлектрической проницаемости вблизи температуры антиферродисторсионного структурного фазового перехода (188,6К) в KMnF_3 ¹. Они обнаружили логарифмическое изменение диэлектрической проницаемости в широком диапазоне температур (от 10 до 60 К от T_0) вдали от температуры перехода, которое они связали теоретически с изменением теплоемкости:

$$\frac{\partial \Delta \epsilon}{\partial T} = - \frac{1}{4\pi} \frac{\Delta c}{T_c} \frac{\partial^2 T_c}{\partial E^2} \quad (1)$$

и, через соотношение Пиппарда², с изменением упругих констант³. Наблюдаемые критические индексы дают для последних чрезвычайно необычный индекс, $\alpha \approx 1,0$, который, хотя совместим с логарифмическим изменением ϵ в (1), несовместим с большинством микроскопических статистических моделей. Целью настоящей статьи является предположение, что механизм дефектов при температурах структурного фазового перехода может дать простое объяснение наблюдаемых данных⁴, и, следовательно, что интерпретация результатов по KMnF_3 как обусловленных двумерными флуктуациями¹ все еще остается под вопросом. Вообще говоря, должно быть очень неожиданно, чтобы флуктуации преобладали на удалении 10 К от температуры структурного фазового перехода⁵.

История теоретического и экспериментального изучения диэлектрических аномалий при несегнетоэлектрических фазовых переходах длинна и многоцветна; это наиболее верно в случае диэлектрических аномалий при магнитных фазовых переходах. Первое подробное теоретическое описание было сделано Радо⁶ (см. также⁷), который дал явное приложение к Cr_2O_3 . Однако, экспериментальные результаты были несопоставимы^{8,9}, находясь в разногласии как между собой, так и с теоретическими предсказаниями, причем обычно данные экспериментальные значения на несколько порядков превышали теоретические оценки. Это отличие само по себе предполагает внешний механизм дефектов. Немного ранее эти диэлектрические явления при температурах магнитного упорядочения были изучены в BaMnF_4 ¹⁰, но, как и в более ранней работе по Cr_2O_3 , там не было реального понимания количественных результатов.

В настоящей статье я хотел бы показать, что наличие диэлектрических изменений вблизи T_0 при несегнетоэлектрическом фазовом переходе и обнаружение критического показателя $\alpha \approx 1,0$ не является прямым доказательством $2D$ -флуктуаций. Соответствующие модели дефектов предсказывают такие же необычные величины α . В¹¹⁻¹³ описывали модельные системы с очень большими, около единицы, величинами α . Хоэчли и Брус вычислили $\alpha = 1,3$. Леванюк и др. предположили модель, в которой распределение неподвижных дефектов преобладает в изменении теплоемкости посредством длиннокорреляции $\xi(T)$. По мере того, как $T \rightarrow T_0$, $\xi(T)$ изменяется, пока не станет равно приблизительно среднему расстоянию между дефектами, r_d . Это дает плато в изменении теплоемкости и является причиной того, что величины $\alpha \approx 1,0$ допускаются теорией (то есть это неасимптотическая теория и в качестве таковой допускает $\alpha \approx 1,0$, которые да-

вали бы нефизические изменения внутренней энергии при T_0). Эта теория предсказывает, что индекс затухания ультразвука определяется формулой

$$\eta = (2\beta - \gamma) + 5\nu, \quad (2)$$

которая в среднем поле ($\beta = 1/2$, $\gamma = 1$, $\nu = 1/2$) дает 2,5. Так как динамический скейлинг ¹⁴ предсказывает $\alpha = \eta - 1$, то $\alpha = 1,5$, что, как и величина 1,3, полученная Хоечли и Брус, находится в разумном согласии с экспериментом ¹.

Немного отличающаяся величина $\alpha = 1,25$ может быть получена комбинацией равенства Ревальда $\eta = 2\alpha$ с уравнением (2).

При сравнении модели дефектов с другими объяснениями необычных диэлектрических изменений при несегнетоэлектрических фазовых переходах важно проверять соответствие между различными величинами, особенно между диэлектрической проницаемостью (или, через соотношение Пипшарда, звуковыми скоростями) и температурным индексом затухания ультразвука. Отметим, что Струков и др. ¹⁴ показали, что эти зависимости остаются справедливыми даже во внешних системах, где преобладают дефекты.

В качестве комментария отметим, что модели дефектов дают объяснения других необычных индексов, наблюдаемых при структурных фазовых переходах. В частности, величины $\alpha = 1,00 \pm 0,05$ и $\eta = 2,30 \pm 0,05$ в CsH_2PO_4 , опубликованные Якушкиным и др. ¹⁵ и также интерпретированные, подобно результатам по KMnF_3 в ¹, возникающими из низкоразмерности, равно легко могут быть объяснены обусловленностью дефектами. Они находятся в согласии с (2) и с динамическим скейлингом, как и экспериментальные результаты для BaMnF_4 , где $\alpha = 1,1$ и $\eta = 2,2$ LA-фонон) ¹⁶.

Из этих наблюдений вытекает заключение, что большие (порядка единицы) величины критического индекса α , полученного из данных в окрестности нескольких градусов от температуры структурного фазового перехода, скорее возникают благодаря вкладу дефектов, чем из низкоразмерных критических флуктуаций, и что вообще необходимо показать самосогласованность с другими индексами, особенно с тем (η), который описывает затухание ультразвука.

Литература

1. Китаев С.А., Смоленский Г.А., Таганцев А.К. Письма в ЖЭТФ, 1986, **43**, 445.
2. Pippard A.B. Phil. Mag., 1956, **1**, 473; Garland C.W. J. Chem. Phys., 1964, **41**, 1005; Janovec V. J. Chem. Phys., 1966, **45**, 1874.
3. Holt R.M., Fossheim K. Phys. Rev. B, 1981, **24**, 2680; Melcher R.L., Plovnick R.H. Phonons. Ed. by M.A.Nusimovici (Flammarion, Paris, 1971), p. 348.
4. Александров К.С., Резникова Л.М., Безносиков Б.В. ФТТ, 1966, **8**, 3637. ¹⁾
5. Гинзбург В.Л. ЖЭТФ, 1945, **15**, 739; 1949, **19**, 35; УФН, 1949, **38**, 490; ФТТ, 1960, **2**, 2031.
6. Rado G.T. Phys. Rev. Lett., 1961, **6**, 609; 1964, **13**, 335; Phys. Rev., 1962, **128**, 2546.
7. Самохвалов А.А. ФТТ, 1961, **3**, 3593; Самохвалов А.А., Фадиков И.Г., Копытов Е.И. ФММ, 1960, **10**, 538.
8. Lal H.B., Srivastava R., Srivastava K.G. Phys. Rev., 1967, **154**, 505.
9. Fang P.H., Brower W.S. Phys. Rev., 1963, **129**, 1561.
10. Tilley D.R., Scott J.F. Phys. Rev. B, 1982, **25**, 3251; Scott J.F. Rep. Prog. Phys., 1979, **42**, 1055; Fox D.L., Tilley D.R., Scott J.F., Guggenheim H.J. Phys. Rev. B, 1980, **21**, 2926; Gridnev V.H., Kirhanov S.A., Korshunov O.Yu. et al. Ferroelectrics, 1985, **63**, 127.
11. Hoechli U.T., Bruce A.D. J. Phys.: C: Sol. St. Phys., 1980, **18**, 1963.

¹⁾ Может оказаться существенным, с учетом внешнего механизма, предлагаемого данной статьей, что малое изменение диэлектрической проницаемости в этом веществе не наблюдалось в прежних работах.

12. Леванюк А.П., Сигов А.С., Осипов В.В., Собянин А.А. ЖЭТФ, 1979, 76, 345.
13. *Rewald W.* Ferroelectrics, 1980, 24, 281.
14. *Fossum J.O.* J. Phys. C: Sol. St. Phys., 1985, 18, 5531; *Strukov B.A., Taraskin S.A., Minaeva K.A., Fedorikhin V.A.* Ferroelectrics, 1980, 25, 399.
15. Якушкин Е.Д., Баранов А.И., Шувалов Л.А. Письма в ЖЭТФ, 1981, 33, 27.
16. *Scott J.F.* Ferroelectrics, 1983, 47, 33; 1981, 36, 375; *Fritz I.J.* Phys. Lett. A, 1975, 51, 219; Phys. Rev. Lett., 1975, 35, 1511.

Физический факультет,
Университет Колорадо, США

Поступила в редакцию
6 января 1989 г.
