

ДВУМЕРНЫЙ ХАРАКТЕР ФЛУКТУАЦИЙ В KMnF_3 ПО ДАННЫМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

С.А.Кижяев, Г.А.Смоленский, А.К.Таганцев

Впервые обнаружены аномалии диэлектрической проницаемости при антиферродисторсионном структурном фазовом переходе в KMnF_3 . Логарифмическая температурная зависимость первой флуктуационной поправки для диэлектрической проницаемости свидетельствует о квазидвумерном характере флуктуаций параметра порядка.

Фазовый переход в KMnF_3 при температуре $T_c = 188,6$ К из кубической O_h^1 в тетрагональную фазу D_{4h}^{18} с трехкомпонентным параметром порядка и конденсацией мягкой моды Γ_{25} в R – точке зоны Бриллюэна в течение ряда лет является объектом изучения ¹ как пример модельного структурного фазового перехода. По данным диффузного рассеяния рентгеновских лучей ² характер флуктуаций параметра порядка является квазидвумерным, тогда как из анализа особенностей термодинамических величин до настоящего времени не удавалось получить подтверждения такой квазидвумерности ³. В настоящей работе обнаружена аномалия диэлектрической проницаемости при этом структурном фазовом переходе, и ее температурная зависимость в кубической фазе проинтерпретирована с позиций квазидвумерного характера флуктуаций параметра порядка.

В эксперименте были выполнены прецизионные измерения температурной зависимости диэлектрической проницаемости монокристаллов KMnF_3 . Методика описана в ⁴. На рис. 1 (кривая 1) представлена температурная зависимость $C(T)$ емкости плоского конденсатора из монокристалла KMnF_3 для направления электрического поля вдоль кубической оси $[100]$. С учетом теплового расширения образца ^{5,6} рассчитана температурная зависимость диэлектрической проницаемости $\epsilon(T)$. При комнатной температуре $\epsilon = 8,65 \pm 0,15$. Так как вдали от T_c в кубической фазе зависимость $\epsilon(T)$ линейная, это позволило выделить аномальную часть $\Delta\epsilon(T)$ диэлектрической проницаемости выше T_c , которая прослеживается до температур $T_c + 60$ К (см. рис. 1, кривая 2). Ее величина не превышает 1%, и в предыдущих исследованиях ^{1,7} она не была зарегистрирована. На рис. 2 представлена температурная зависимость $\Delta\epsilon$ в координатах $\Delta\epsilon = f(\lg \tau)$, где $\tau = (T - T_c)/T_c = \Delta T/T_c$ – приведенная температура. В интервале температур $10 < \Delta T < 60$ К $\Delta\epsilon$ меняется как $\lg \tau$. Такое поведение соответствует первой флуктуационной поправке к диэлектрической проницаемости для квазидвумерных флуктуаций указанного выше параметра порядка. Действительно, в данном случае связь между параметром порядка и электрическим полем E осуществляется тремя инвариантами, билинейными по компонентам параметра порядка и билинейными по компонентам электрического поля. Их структура аналогична структуре инвариантов, описывающих связь параметра порядка с деформацией (см., например, ⁸). Несложно убедиться, что выше T_c критический вклад в диэлектрическую проницаемость возникает лишь благодаря одному из них, с комбинацией компонент электрического поля, не нарушающей симметрии высокотемпературной фазы. Принимая во внимание, что его учет приводит лишь к перенормировке T_c , пропорциональной E^2 , можно получить

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

где $\Delta\epsilon$ и Δc – наиболее сингулярные вклады в диэлектрическую проницаемость и теплоемкость, соответственно. Первая флуктуационная поправка для квазидвумерного характера флуктуаций приводит к значению индекса теплоемкости $\alpha = 1$, что соответствует логарифмической зависимости $\Delta\epsilon(\tau)$ в наших экспериментах. Подтверждением того, что для $\Delta T > 10$ К мы имеем дело именно с первой флуктуационной поправкой являются данные ^{9,10} по аномалиям упругих модулей в KMnF_3 . Так как индекс первой флуктуационной поправ-

ки одинаков для теплоемкости и упругих модулей, для последних также следует ожидать аномалии, пропорциональной $(T - T_c)^{-1}$. Именно такое поведение упругих модулей KMnF_3 наблюдалось в ^{9,10}, но отмечалось как непонятный факт ¹⁰.

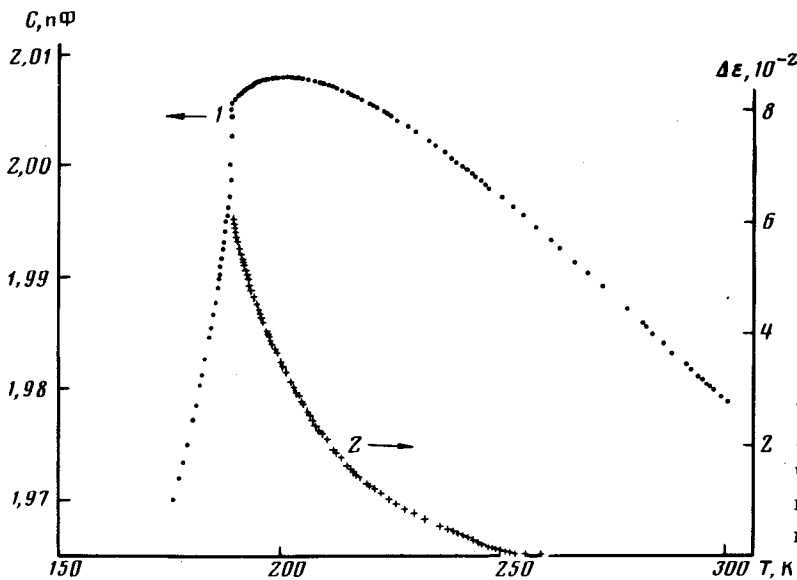


Рис. 1. Температурная зависимость емкости образца из монокристалла KMnF_3 в области структурного фазового перехода (кривая 1). Температурная зависимость аномальной части диэлектрической проницаемости $\Delta\epsilon$ в кубической фазе (кривая 2)

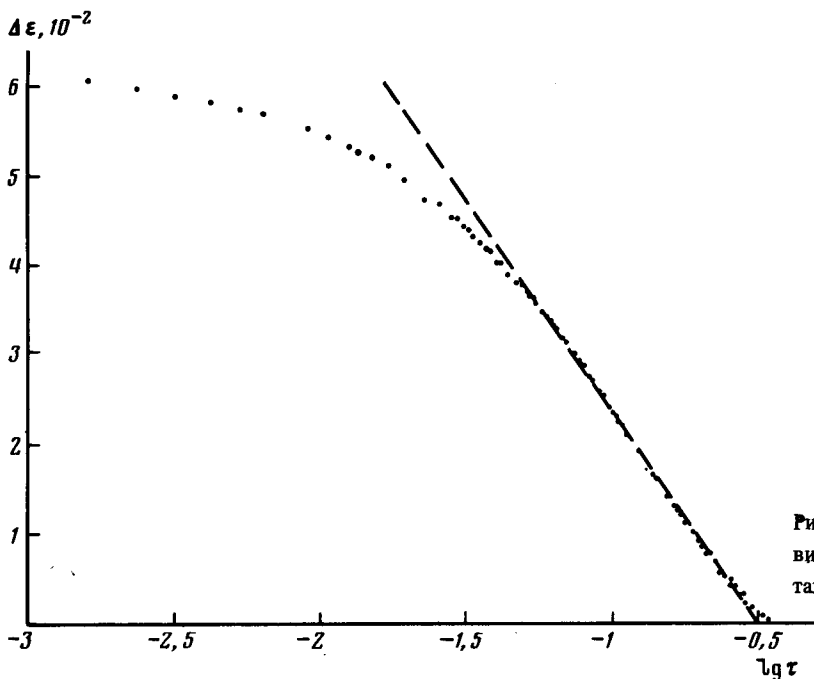


Рис. 2. Температурная зависимость $\Delta\epsilon$ в координатах $\Delta\epsilon = f(\lg \tau)$

Поведение $\Delta\epsilon$, соответствующее первой флуктуационной поправке наблюдается на интервале температур, соответствующих примерно одной декаде изменения приведенной температуры τ не слишком близко к фазовому переходу. Известно, что при низкоразмерном характере флуктуаций параметра порядка, флуктуационные явления проявляются значительно сильнее, чем в трехмерном случае. Поэтому наблюдаемое при приближении к T_c отклонение от поведения, соответствующего первой флуктуационной поправке, представляется нам закономерным. Поведение $\Delta\epsilon$ в интервале $0,3 < \Delta T < 10$ К соответствует, вероятно, кривой в области от первой флуктуационной поправки к истинно критическому квазидвумерному поведению. Если принять во внимание, что при $\Delta T \approx 0,2$ К ¹¹ должен наблюдаться кроссовер к

трехмерному поведению, то истинно критическое квазидвумерное поведение может не реализоваться. Температурной зависимости $\Delta\epsilon$ для $0,3 < \Delta T < 6$ К соответствует индекс теплоемкости $\alpha = 0,24 \pm 0,03$, что находится в согласии с величиной α , полученной из данных по тепловому расширению⁶. Но в связи с тем, что в данном интервале температур проявляется действие двух кроссоверов, не представляется возможным интерпретировать полученное значение α с точки зрения асимптотического поведения, соответствующего определенному классу универсальности.

В заключение отметим, что согласно результатам настоящей работы диэлектрические измерения могут, в отличие от общепринятой точки зрения¹², служить эффективным методом изучения статических критических явлений и при сегнетоэлектрических структурных фазовых переходах.

Литература

1. Александров К.С., Анистратов А.Т., Безносиков Б.В., Федосеева Н.В. Фазовые переходы в кристаллах галлоидных соединений АВХ₃. Новосибирск: Наука, 1981.
2. Comès R., Denoyer F., Deshamps L., Lambert M. Phys. Lett., 1971, 34A, 65.
3. Fossum J.O., Fosheim K. J. Phys. C: Sol. St. Phys., 1985, 18, 5549.
4. Кижяев С.А., Писарев Р.В. ФТТ, 1984, 26, 1669.
5. Dormann E., Copley J.R.D., Jaccarino V. J. Phys. C: Sol. St. Phys., 1977, 10, 2762.
6. Sakashita H., Ohama N. Phase Transitions, 1982, 2, 263.
7. Александров К.С., Решикова Л.М., Безносиков Б.В. ФТТ, 1966, 8, 3637.
8. Fossum J.O. J. Phys. C: Sol. St. Phys., 1985, 18, 5531.
9. Melcher R.L., Plovnick R.H. Phonons. Ed. Nusimovici M.A. Paris, Flammarion, 1971, p. 348.
10. Holt R.M., Fosheim K. Phys. Rev., 1981, B24, 2680.
11. Konwent H., Plakida N.M. Acta Phys. Pol., 1983, A63, 779.
12. Lines M.E., Glass A.M. Principles and Application of Ferroelectrics and Related Materials. Oxford. Clarendon Press, 1977. Имеется перевод: Лайнс М., Гласс А. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы. М.: Мир, 1981, с. 436.