

Нелинейные волны пространственной поляризации для кристалла дейтерированной сегнетовой соли

© М.Б. Белоненко, Е.В. Демушкина, А.С. Сасов

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет,
400074 Волгоград, Россия
E-mail: mbelonenko@yandex.ru, demushkina@mail.ru

Изучены динамические свойства систем типа порядок–беспорядок с асимметричным двухминимумным одночастичным потенциалом и двумя диполями на параэлектрическую элементарную ячейку. Гамильтониан задачи имеет стандартную деженовскую форму для двух подрешеток и применяются для описания кристалла сегнетовой соли. Численно исследованы условия существования нелинейных волн пространственной поляризации в различных температурных фазах рассматриваемой системы.

PACS: 77.80.-e, 05.45.-a

1. В настоящее время интенсивно исследуются свойства модулированных структур, образующихся в твердых телах [1] и имеющих большое практическое значение. Наибольшее развитие получило объяснение таких структур с точки зрения солитонной теории, где подобные структуры интерпретируются как солитонные решетки [1]. Настоящая работа посвящена изучению существования нелинейных волн пространственной поляризации для кристалла сегнетовой соли в различных фазах антисегнетоэлектрика с учетом изменения симметрии кристалла при фазовых переходах.

Антисегнетоэлектрики типа R_s характеризуются асимметричным двухъямным потенциалом для протонов на водородной связи. Предполагается, что электрические диполи движутся в асимметричных потенциалах с двумя минимумами, образующих две взаимопроникающие подрешетки. Гамильтониан задачи имеет стандартную деженовскую форму для двух подрешеток [2]

$$\begin{aligned}
 H = & -\frac{1}{2} \sum_{i,j} \left[K_{ij} (S_{i,1}^z S_{j,1}^z + S_{i,2}^z S_{j,2}^z) + L_{i,j} S_{i,1}^z S_{j,2}^z \right] \\
 & - \Omega \sum_j (S_{j,1}^x + S_{i,1}^x) - \Delta \sum_j (S_{j,1}^z - S_{j,2}^z) \\
 & - \sum_j (-2\psi_4 \varepsilon_4(\xi) + E_0) (S_{j,1}^z + S_{j,2}^z), \quad (1)
 \end{aligned}$$

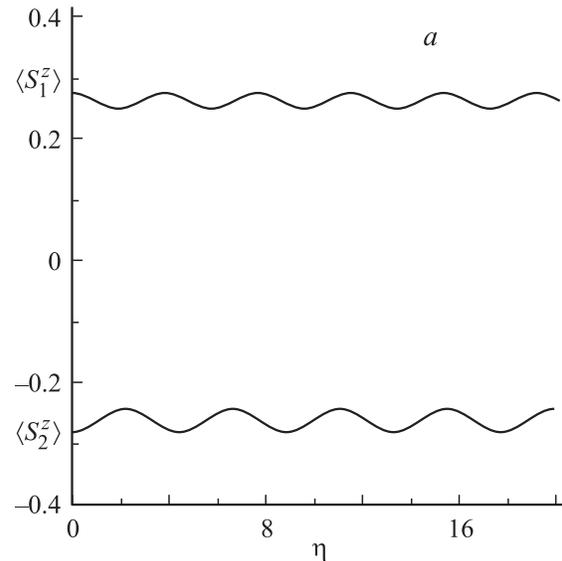
где K и L — эффективные константы взаимодействия диполей, принадлежащих к одной и той же подрешеткам и к различным решеткам соответственно; Δ — мера асимметричности одночастичного потенциала; E_0 — внешнее постоянное электрическое поле; $\varepsilon_4(\xi)$ — тензор сдвиговой деформации (в этом случае электрическое поле, действующее на псевдоспин, будет являться суперпозицией поля, возникшего в результате деформации, и внешнего поля E_0 [3]); ξ — координата, описывающая смещения атомов в нашей системе; S^x и S^z — операторы туннелирования и электрического дипольного момента для протона на водородной связи соответственно.

Записав уравнения движения Гейзенберга для псевдоспиновых переменных в континуальном пределе

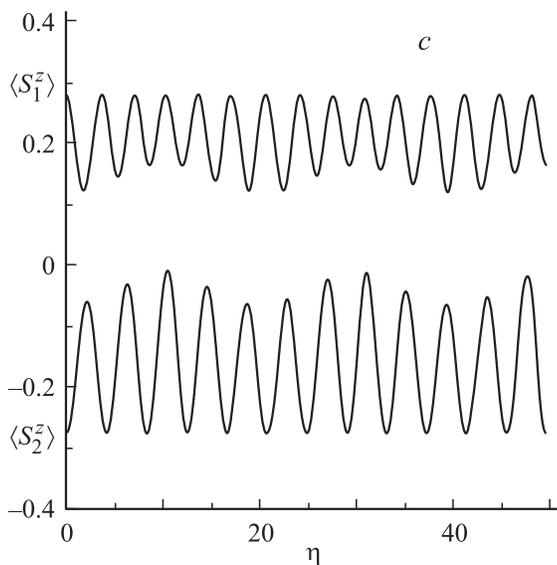
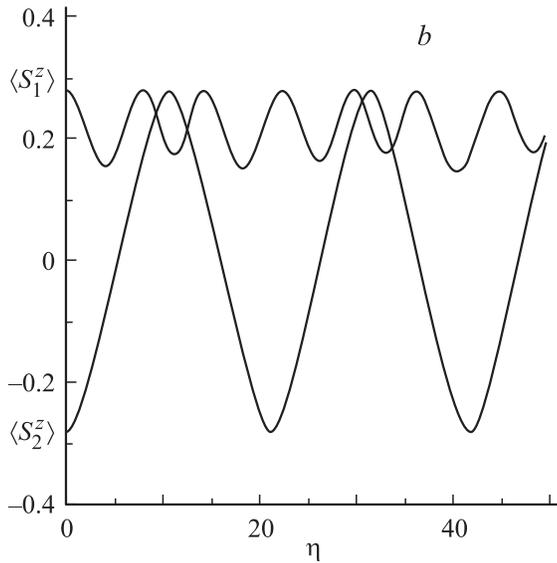
(a — расстояние между соседними сегнетоэлектрическими ячейками в R_s) и дополнив их релаксационными членами [2], получим систему уравнений. Динамика деформации $\varepsilon_4(\xi)$ в этом случае может быть описана стандартным методом, использующим классические уравнения движения для элементарного объема [4]

$$\varepsilon_4(\eta) = -\frac{\psi_4(\langle S_1^z \rangle + \langle S_2^z \rangle)}{1 - v^2}.$$

2. Полученная система уравнений решалась численно. Величины равновесных температурных средних значений оператора туннелирования и электрического дипольного момента определялись после задания температуры из решения системы связанных уравнений, приведенных в [2].



Спонтанная поляризация обеих подрешеток в низкотемпературной области. a — $S_1^z = -S_2^z = 0.3$, $\Omega = K/5 = 12^\circ \text{K}$; b — $\Delta = 6^\circ \text{K}$; c — $\Omega = K/2 = 28^\circ \text{K}$ ($k = 1$). Оставшиеся значения параметров определялись из решения системы связанных уравнений, приведенных в [3]; значения остальных параметров для частей b, c — как для части a .



(Продолжение рисунка).

В областях, где спонтанные поляризации подрешеток различны или нулевые, типичный характер нелинейных волн не изменился, а менялись лишь их характеристики. Отметим, что в случае неупорядоченной фазы постоянное электрическое поле вследствие того, что оно поляризует образец, резко меняет характер колебаний. Также в этой области колебания весьма чувствительны к изменению параметра, характеризующего степень асимметрии потенциальных ям.

Список литературы

- [1] P. Bak, Boehm von J. Phys. Rev. B **21**, 3, 5297 (1980).
- [2] Р. Блинц, Б. Жекш. Сегнетоэлектрики и антисегнетоэлектрики. Мир, М. (1975).
- [3] R.R. Levitskii, I.R. Zachek, T.M. Verkholyak, A.P. Moina. Phys. Rev. B **67**, 10, 1103 (2003).
- [4] W.P. Mason. Piezoelectric Constants and Their Application to Ultrasonics. N. Y. (1950).
- [5] М.Б. Белоненко, М.М. Шакирзянов. ЖЭТФ **99**, 3, 860 (1991).

Рассмотрим результаты, относящиеся к низкотемпературной области с одинаковой спонтанной поляризацией обеих подрешеток. Типичная зависимость нелинейных волн поляризации от бегущей координаты приведены на части *a* рисунка. При увеличении амплитуды постоянного поля происходит увеличение частоты колебаний для обеих подрешеток. Изменение же параметра Δ , характеризующего степень асимметрии двухминимумного потенциала, приводит к качественному изменению характера нелинейных волн поляризации (часть *b* рисунка). Изменение константы туннелирования привело к изменению характера колебаний (часть *c* рисунка), мы связываем это с тем, что при увеличении интеграла туннелирования возрастает эффективная нелинейность [5], приводящая к появлению дополнительной огибающей. Изменение скорости качественно не влияло на характер нелинейных волн поляризации.