

Макроскопическая намагниченность XY-макроспиновой системы в рамках обобщенной теории Отта–Антонсена*

И. В. Тюлькина¹✉, Д. С. Голдобин^{1,2}, Л. С. Клименко^{1,2},
И. С. Поперечный¹, Ю. Л. Райхер¹

¹Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь

²Пермский государственный национальный исследовательский университет

✉ irinatiulkina95@gmail.com

В данной работе была рассмотрена проблема магнитных переходов между низкотемпературными (макроспин-упорядоченными) фазами в двумерных XY-массивах [1, 2]. Геометрия системы представляет собой плоскую структуру из идентичных однодоменных частиц, обладающих сильной магнитной анизотропией типа «легкая плоскость». Частицы расположены на квадратной решетке и связаны магнитным диполь-дипольным взаимодействием. Основным состоянием системы в рассматриваемом интервале температур является антиферромагнитная полосчатая структура, в которой макроспины (магнитные моменты частиц) участвуют в термофлуктуационном движении: температура суперпарамагнитной блокировки T_b ниже температуры T_{af} антиферромагнитного перехода.

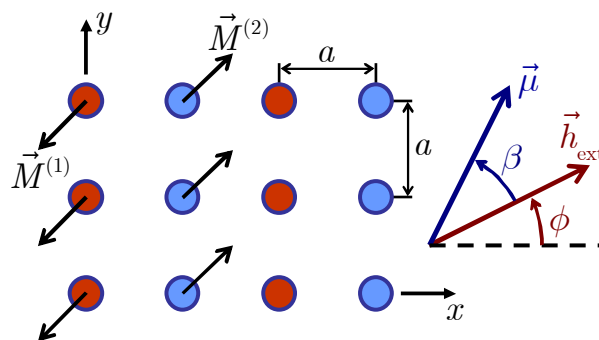


Рис. 1. Геометрия задачи

При построении статистической термодинамики этих систем необходимо строить статистическую сумму для многочастичных ансамблей с сильным дальнедействующим взаимодействием. Для случая 2D предлагается способ сделать это в приближении среднего поля, используя технику круговых кумулянтов [3, 4], которая является обобщением теории

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-42-04120.

Отта–Антонсена. Более того, это позволяет описывать динамику намагниченности и антиферромагнитного параметра порядка в существенно неравновесных состояниях.

Для магнитных сфероидальных частиц уравнение для азимутальных углов индивидуальных магнитных моментов будет выглядеть:

$$\dot{\varphi}_j = \omega(t) + \text{Im}(2\mathcal{H}(t)e^{-i\varphi_j}) + \sqrt{D}\zeta_j(t), \quad j = 1, \dots, N, \quad (1)$$

$$D = \frac{\gamma k T}{\eta M \sin^2 \vartheta_*}, \quad (2)$$

где $\zeta_j(t)$ – индивидуальный внутренний шум.

В кумулянтном представлении система имеет вид:

$$\dot{Z} = \mathcal{H}_1 - \mathcal{H}_1^*(Z^2 + \kappa) - DZ, \quad \dot{\kappa} = -4\mathcal{H}_1^*Z\kappa - D(4\kappa + 2Z^2), \quad (3)$$

$$\dot{Y} = \mathcal{H}_2 - \mathcal{H}_2^*(Y^2 + \varkappa) - DY, \quad \dot{\varkappa} = -4\mathcal{H}_2^*Y\varkappa - D(4\varkappa + 2Y^2). \quad (4)$$

При редукции описания динамики магнитных частиц к единственной угловой переменной в некоторых системах теория Отта–Антонсена и ее обобщение (круговые кумулянты) могут быть использованы для построения среднеполевого описания: например, для отслеживания динамики макроскопической намагниченности и параметра антиферромагнитного порядка. Численное моделирование и аналитическое исследование кумулянтных уравнений раскрывают полную картину реакции системы на статическое внешнее магнитное поле и возможные фазовые переходы из-за изменения температуры или приложенного поля. А также определяют, какие состояния системы термодинамически устойчивы, а какие – метастабильны.

Список литературы

1. Tyulkina I. V., Goldobin D. S., Klimenko L. S., Poperechny I. S., Raikher Y. L. Collective in-plane magnetization in a two-dimensional XY macrospin system within the framework of generalized Ott–Antonsen theory // *Philosophical Transactions of the Royal Society A*. 2020. Vol. 378. P. 20190259.
2. Leo N., Holenstein S., Schildknecht D., Sendetskyi O., et al. Collective magnetism in an artificial 2D XY spin system // *Nature Communications*. 2018. Vol. 9. P. 2850.
3. Tyulkina I. V., Goldobin D. S., Klimenko L. S., Pikovsky A. Dynamics of noisy oscillator populations beyond the Ott–Antonsen ansatz // *Physical Review Letters*. 2018. Vol. 120, no. 26. P. 264101.
4. Goldobin D. S., Tyulkina I. V., Klimenko L. S., Pikovsky A. Collective mode reductions for populations of coupled noisy oscillators // *Chaos*. 2018. Vol. 28, no. 10. P. 101101.