

# НАМАГНИЧЕННОСТЬ СИСТЕМЫ НАНОЧАСТИЦ, ИНДУЦИРОВАННАЯ ВРАЩАЮЩИМСЯ ПОЛЕМ

С.И. Денисов, Т.В. Лютый

Интерес к упорядоченным системам ферромагнитных наночастиц обусловлен как развитием фундаментальных исследований в нанофизике, так и прикладными аспектами, в том числе в области современных технологий записи и хранения информации [1]. Одними из наиболее важных характеристик таких устройств являются их надежность, определяемая средним временем тепловой переориентации магнитных моментов, и быстроедействие, определяемое средним временем перемагничивания наночастиц.

В данной работе изучено влияние циркулярно поляризованного магнитного поля на средние времена тепловой переориентации магнитных моментов и предсказан эффект намагничивания ансамблей наночастиц таким полем. Суть эффекта состоит в том, что благодаря естественной прецессии магнитных моментов, магнитное поле, поляризованное в плоскости, перпендикулярной легким осям наночастиц, по-разному воздействует на противоположно направленные магнитные моменты. С одной стороны, это приводит к появлению слабой динамической намагниченности таких ансамблей, а с другой, — к ее существенному усилению посредством тепловых флуктуаций.

Для описания этого эффекта, который ввиду отсутствия постоянной составляющей магнитного поля вдоль легких осей не является самоочевидным, мы использовали уравнение Ландау-Лифшица. Решая его в случае, когда амплитуда  $h$  вращающегося поля намного меньше эффективного поля анизотропии  $H_a$  ( $h \ll H_a$ ), мы получили следующее выражение для угла  $\theta_a (\ll 1)$  установившейся прецессии вектора магнитного момента:

$$\theta_{\sigma} = \frac{(1 + \lambda^2)\gamma h}{\sqrt{[(1 + \lambda^2)\omega_r - \rho\sigma\omega]^2 + \lambda^2\omega^2}}. \quad (1)$$

Здесь  $\sigma = \pm 1$  в зависимости от того, в каком из двух равновесных положений находится магнитный момент,  $\lambda$  – параметр затухания в уравнении Ландау-Лифшица,  $\gamma$  – гиромагнитное отношение,  $\omega_r = \gamma H_a$  – резонансная частота прецессии,  $\omega$  – частота вращения поля,  $\rho = -1$  в случае поля, поляризованного по часовой стрелке, и  $\rho = +1$  – против часовой стрелки. Согласно (1), динамическая намагниченность системы, определяемая в отсутствие тепловых флуктуаций как  $\mu_d = (\theta_{-1}^2 - \theta_{+1}^2)/4$ , имеет вид

$$\mu_d = -\rho \frac{(1 + \lambda^2)\gamma^2 h^2 \omega \omega_r}{[(1 + \lambda^2)\omega_r^2 + \omega^2]^2 - 4\omega^2 \omega_r^2}. \quad (2)$$

Ее зависимость от  $\omega$  имеет резонансный характер, однако максимальная величина  $\mu_d$  очень мала, поскольку пропорциональна второй степени отношения  $h/H_a$ .

Действие термостата, учитываемое путем введения в уравнение Ландау-Лифшица теплового магнитного поля, приводит к стохастизации динамики магнитных моментов наночастиц. Как следствие, появляются конечные вероятности  $p_{\sigma}$  их переориентации из состояния  $\sigma$  в состояние  $-\sigma$ , которые зависят от углов прецессии  $\theta_{\sigma}$ . Определив приведенную намагниченность, обусловленную этими переориентациями, как  $\mu_t = p_{+1} - p_{-1}$  и вычислив  $p_{\sigma}$  методом обратного уравнения Фоккера-Планка, которое отвечает стохастическому уравнению Ландау-Лифшица [2], мы получили

$$\mu_t = \tanh\left[\alpha(\theta_{-1}^2 - \theta_{+1}^2)/2\right], \quad (3)$$

где  $a = H_a m / 2kT$ ,  $m$  – магнитный момент наночастицы,  $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – абсолютная температура. Как и  $\mu_d$ , зависимость  $\mu_t$  от  $\omega$  имеет резонансный характер и, поскольку обычно  $a \gg 1$ , выполняется условие  $\mu_t \gg \mu_d$ , означающее, что тепловые флуктуации существенно усиливают динамическую намагниченность системы.

Учет влияния магнитодипольного взаимодействия на величину индуцированной намагниченности квадратной решетки наночастиц проведен численно в рамках разработанного ранее метода [2]. Показано, что это взаимодействие, имеющее антиферромагнитный характер, уменьшает индуцированную намагниченность и приводит к расширению ее частотной зависимости.

Поскольку резонансные методы являются очень точными и чувствительными, экспериментальное изучение этого эффекта может дать важную информацию о таких системах, включая распределение в них дипольного поля. Кроме того, возможность селективного изменения термостабильности магнитных моментов, контролируемой характеристиками вращающегося поля, может быть полезной при разработке альтернативных способов перемагничивания наночастиц.

Работа выполнена в рамках проекта “NANOSPIN”, контракт № NMP4-СТ-2004-013545.

- [1] A.J. Moser, Phys. D: Appl. Phys **35**, R157 (2002).
- [2] S.I. Denisov, T.V. Lyutyu, K.N. Trohidou, Phys. Rev. B. **67**, 014411 (2003).