

## О магнитных состояниях пары магнитостатически взаимодействующих наночастиц

**Холмирзоев Диловар Назиржонович** – студент Красноярского государственного педагогического университета имени В.П. Астафьева.

**Масалыгина Алена Сергеевна** – студент Красноярского государственного педагогического университета имени В.П. Астафьева.

**Орлов Виталий Александрович** – научный руководитель, кандидат физико-математических наук, доцент Красноярского государственного педагогического университета имени В.П. Астафьева.

*Аннотация:* В данной статье рассмотрен вопрос о распределении направлений магнитных моментов в одномерной цепочке классических спинов. Исследованы возможные равновесные конфигурации магнитных моментов пары кристаллитов в поперечном магнитном поле. Выявлена единственная устойчивая конфигурация в плоскости моментов и вектора напряженности поля

*Ключевые слова:* Поликристаллическая система, нанопроволоки, ферромагнитные зерна, магнитостатической энергии, энергии анизотропии, длинная цепочка кристаллитов.

В последние годы не ослабевает интерес к исследованию одномерных и квазиодномерных систем с ярко выраженными магнитными свойствами наибольшее внимание привлекают нанопроволоки и наноленты. За счет магнитных свойств такие объекты перспективны для использования их в накопителях информации нового поколения. В случае поликристалличности, структура таких материалов является чрезвычайно сложной. Нанопроволоки представляют собой одномерные цепочки ферромагнитных кристаллитов, взаимодействующих магнитостатически и/или обменно. В случае их неплотной упаковки обменное взаимодействие отсутствует и разнообразие магнитных состояний определяется конкуренцией магнитостатической энергии, энергии анизотропии и энергии Зеемана.[1]

В настоящей работе мы рассмотрим вопрос о распределении направлений магнитных моментов в одномерной цепочке классических спинов. Магнитные состояния будут определяться конкуренцией между энергией во внешнем магнитном поле и энергией магнитостатического взаимодействия, которую будем учитывать в дипольном приближении.[2]

Одна из возможных моделей представлена на рисунке 1. Вдоль оси  $Y$  включено внешнее магнитное поле. Направление магнитных моментов определяется полярным  $\theta$ , отсчитываемом от оси  $z$ , и азимутальным  $\phi$ , отсчитываемым от оси  $x$  в плоскости  $xu$ , углами.[3]

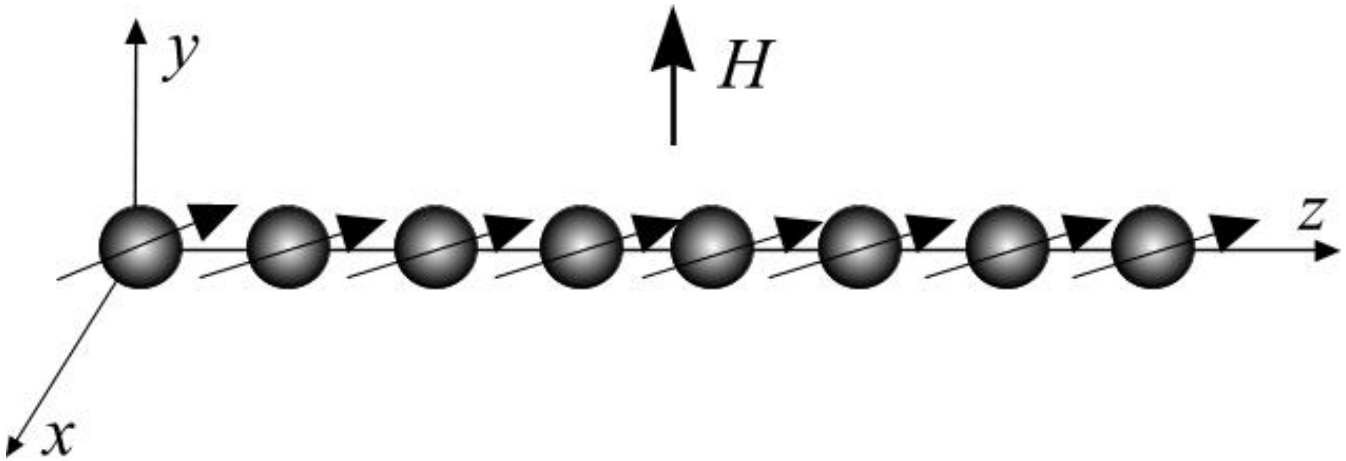


Рисунок 1. Распределении направлений магнитных моментов в одномерной цепочке классических спинов.

Рассмотрим далее для простоты лишь два взаимодействующих кристаллита как элемент массива.

Энергию такого элемента можно представить в виде:

$$W = \frac{\mu_0}{4\pi} \left[ \frac{\mathbf{m}_1 \mathbf{m}_2}{d^3} - 3 \frac{(\mathbf{m}_1 \mathbf{d})(\mathbf{m}_2 \mathbf{d})}{d^5} \right] - H m_1 - H m_2 - \kappa (\mathbf{l} m_1)^2 - \kappa (\mathbf{l} m_2)^2; \quad (1)$$

$$W = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{M_s^2 V^2}{d^3} [\sin(\vartheta_1) \sin(\vartheta_2) \cos(\phi_1 - \phi_2) - 2 \cos(\vartheta_1) \cos(\vartheta_2)] - \quad (2)$$

$$H M_s V [\sin(\vartheta_1) \sin(\phi_1) + \sin(\vartheta_2) \sin(\phi_2)] - 2\kappa \cos \vartheta_1 - 2\kappa \cos \vartheta_2$$

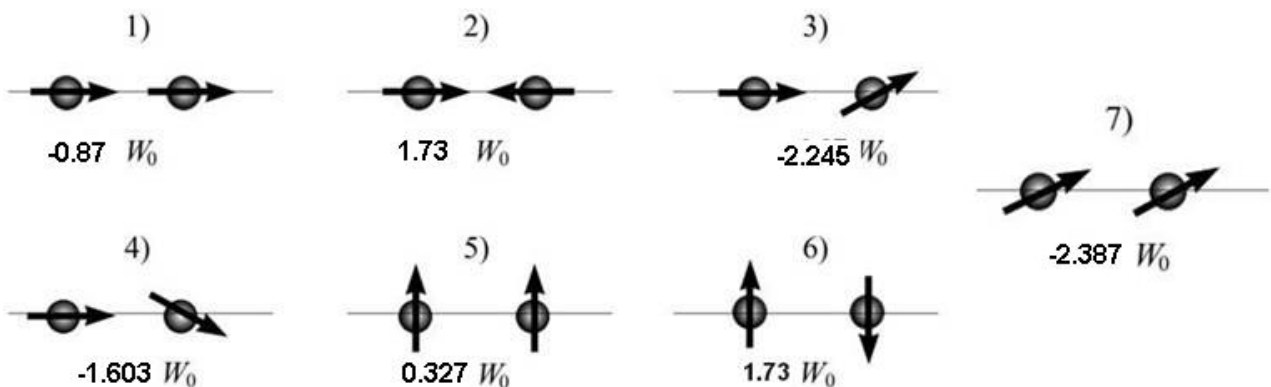
$$W = W_0 [\sin(\vartheta_1) \sin(\vartheta_2) \cos(\phi_1 - \phi_2) - 2 \cos(\vartheta_1) \cos(\vartheta_2) - \quad (3)$$

$$h [\sin(\vartheta_1) \sin(\phi_1) + \sin(\vartheta_2) \sin(\phi_2)] - \kappa (\cos \vartheta_1 + \cos \vartheta_2)]$$

где введены обозначения:  $W_0 = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{M_s^2 V^2}{d^3}$ ,  $h = \frac{H}{\mu_0 M_s} \frac{4\pi d^3}{V}$ ,  $\kappa = \frac{2k 4\pi d^3}{\mu_0 M_s^2 V} \approx 2$ ;

$\kappa = 10^{-4}$ ;  $M_s \approx 0,08$ ;  $\mu_0 \approx 4\pi 10^{-7}$ ;  $d \approx 10^{-6}$ ;  $V \approx d^3$ .

$$\begin{cases} \cos(\vartheta_1) \sin(\vartheta_2) \cos(\phi_1 - \phi_2) + 2 \sin(\vartheta_1) \cos(\vartheta_2) - h \cos(\vartheta_1) \sin(\phi_1) + \kappa \sin \vartheta_1 = 0, \\ \cos(\vartheta_2) \sin(\vartheta_1) \cos(\phi_1 - \phi_2) + 2 \sin(\vartheta_2) \cos(\vartheta_1) - h \cos(\vartheta_2) \sin(\phi_2) + \kappa \sin \vartheta_2 = 0. \end{cases} \quad (4)$$



Решение системы уравнений (4) дает формулы для  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$ . Для ответа на вопрос о том, что является

После исследования на экстремум выражения (5) получим:

Для дальнейшего анализа рассмотрим выражение (6) как функцию

$$W = W_0 \left[ 1 - 3(1 - \sin^2 \vartheta) - 2h \sin \vartheta - \kappa \sqrt{1 - \sin^2 \vartheta} \right] = \quad (7)$$

$$= W_0 \left[ 1 - 3 \left( 1 - \left( \frac{2h + \kappa}{6} \right)^2 \right) - 2h \frac{2h + \kappa}{6} - \kappa \sqrt{1 - \left( \frac{2h - \kappa}{6} \right)^2} \right]$$

Следует отметить, что для  $h > 0$  и  $\kappa > 0$  выражение (7) имеет минимум при  $\vartheta = 0$  и максимум при  $\vartheta = \pi$ .