

## Длинная цепочка взаимодействующих ферромагнитных частиц в поперечном магнитном поле

**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 длинной цепочке ферромагнитных кристаллитов. Исследованы возможные равновесные конфигурации магнитных моментов длинной цепочки кристаллитов. Вычислено значение магнитного поля

*Ключевые слова:* Одномерные системы, квазиодномерные системы, нанопроволоки, наноленты, одномерная цепочка классических спинов, устойчивая конфигурация.

В современной науке наибольший интерес на данный момент вызывает исследование наноразмерных поликристаллических систем, таких как нанопроволоки, наноленты, ферромагнитные зерна. Это внимание вызвано тем, что магнитные свойства данных объектов позволяют использовать их в накопителях информации.[1] Исходя из того что, в накопителях информации объем доступного пространства для хранения информации, зависит от плотности записи, т.е., фактически, от размера одной ячейки, хранящей бинарное значение (ноль или единицу), то повышение объемов доступной памяти возможно лишь в том случае, если ученые будут разрабатывать меньшие по размеру ячейки, позволяя разместить большее их количество на единице площади (объема). [4]

Важно заметить, что структура наноматериалов является чрезвычайно сложной,

особенно в случае их поликристалличности. нанопроволоки представляют собой длинные 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.[3]

В настоящей работе рассмотрим вопрос о распределении направлений магнитных моментов в длинной цепочке ферромагнитных кристаллитов без учета кристаллографической магнитной анизотропии. Магнитные состояния будут определяться суммой энергии во внешнем магнитном поле и магнитостатической энергии взаимодействия каждого кристаллита с каждым. [2]. Возможная модель представлена на рисунке 1. Внешнее магнитное поле включено вдоль оси  $Y$ . Направление магнитных моментов определяется полярным  $\theta$ , отсчитываемом от оси  $z$ , и азимутальным  $\phi$ , отсчитываемым от оси  $x$  в плоскости  $xu$ , углами.

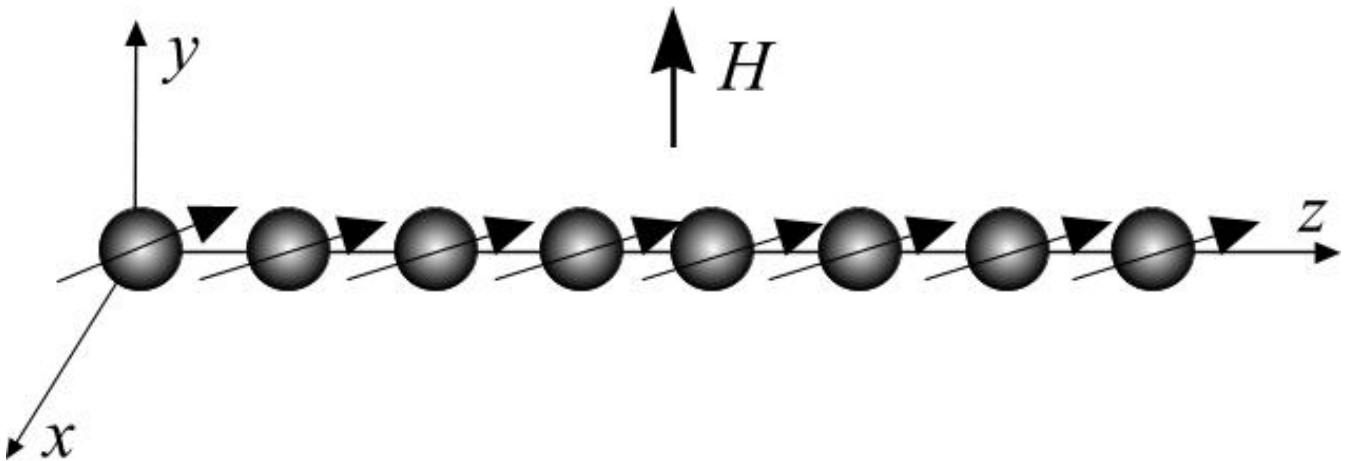


Рисунок 1. Распределении направлений магнитных моментов в длинной цепочки.

Энергия длинной цепочки ферромагнитных кристаллитов представляет собой сумму энергии во внешнем магнитном поле и магнитостатической энергии взаимодействия каждого кристаллита с каждым:

$$W = -\sum_n \vec{H} \vec{m}_n + \frac{\mu_0}{4\pi} \sum_n \sum_k \left[ \frac{m_n m_k}{(d|k-n|)^3} - 3 \frac{m_n d(k-n) * m_k (d(k-n))}{(d|k-n|)^5} \right] = \quad (1)$$

$$= -\sum_n \vec{H} \vec{m}_n - \frac{\mu_0}{2\pi d^3} \sum_n \sum_k \frac{\vec{m}_n \vec{m}_k}{|k-n|^3},$$

Результат (1) можно переписать следующим образом, если учесть, что в нашей модели  $\vec{m}_n = M_s \vec{e}_n$ , где  $\vec{e}_n$  — единичный вектор, направленный по оси  $n$ .

$$W = -N * H M_s V \sin \vartheta - \frac{\mu_0 M_s^2 V^2 \cos^2 \vartheta}{2\pi d^3} * \sum_n \sum_k \frac{1}{|k-n|^3} \quad (2)$$

Поскольку в нашей модели  $\vartheta = 0$ , то  $\cos^2 \vartheta = 1$ , и выражение (2) принимает вид  $W = -N H M_s V - \frac{\mu_0 M_s^2 V^2}{2\pi d^3} \sum_n \sum_k \frac{1}{|k-n|^3}$ . Для  $\sum_n \sum_k \frac{1}{|k-n|^3} = 118,6$ . Для  $\frac{dW}{d\vartheta} = 0$

Результат (2) получим:

$$\sin \vartheta = \frac{100 \cdot 2\pi d^3 H M_s V}{118,6 \cdot \mu_0 M_s^2 V^2} = \frac{200\pi H d^3}{118,6 \mu_0 M_s V} \quad (3)$$

Из уравнения (3) можно получить выражение (4) для угла  $\vartheta$  в зависимости от внешнего магнитного поля  $H$ .

$$W = -N \left[ 2 + \frac{h^2}{3} \right] \quad (4)$$

Вывод: в поперечном магнитном поле энергия системы взаимодействующих ферромагнитных частиц зависит от угла  $\vartheta$  и внешнего магнитного поля  $H$ .