**ВЛИЯНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДЗЯЛОШИНСКОГО-МОРИЯ НА МАГНИТНУЮ ДИНАМИКУ АТОМНЫХ ДИМЕРОВ НА НИТРИДИЗИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ МЕДИ**

*Локтионов Игорь Анатольевич, аспирант1,*

*ia.loktionov@physics.msu.ru*

*Бажанов Дмитрий Игоревич, к.ф.-м.н., доцент1,2,*

*dima@kintechlab.com*

*1МГУ имени М.В.Ломоносова, г. Москва*

*2ФИЦ ИУ РАН, г. Москва*

Аннотация. В работе исследуются димеры из атомов ферромагнитных 3d-металлов на поверхности Cu2N/Cu(001): проводится анализ их деформаций и моделируется переключение их намагниченности (spin-flip) в магнитном поле с помощью уравнения Ландау-Лифшица-Гильберта (ЛЛГ). Рассматривается влияние антисимметричного обменного взаимодействия (взаимодействие Дзялошинского-Мория) на поле и время переключения намагниченности.

Ключевые слова: атомные димеры, спиновая динамика, уравнение Ландау-Лифшица-Гильберта, взаимодействие Дзялошинского-Мория.

**Введение**

Цепочки из магнитных атомов с лёгкой осью намагничивания обладают потенциалом применения в качестве элементов памяти за счёт бинарности устойчивых магнитных конфигураций, отличающихся направлением магнитных моментов. Эксперименты по переключению между такими конфигурациями были проведены на цепочках из атомов железа на поверхности меди, покрытой тонким слоем нитрида меди [1]. Выбор такой поверхности обусловлен тем, что она, во-первых, в силу своих диэлектрических свойств, позволяет “отсекать” электронную структуру подложки от адсорбата, устраняя их взаимовлияние и давая таким образом возможность исследовать электронные и магнитные свойства структур отдельно; во-вторых, эта поверхность, как было экспериментально обнаружено, может приводить к сильным релаксациям за счёт того, что атомы адсорбата внедряются в структуру монослоя нитрида меди [2], что для цепочек атомов приводит к их антиферромагнитному упорядочению за счёт сверхобменного взаимодействия через атом азота и усилению магнитной анизотропии.

В то время как в теоретических исследованиях и при интерпретации экспериментальных результатов учитывают, как правило, лишь обменное взаимодействие, магнитную анизотропию и взаимодействие с внешним магнитным полем, более общим является эффективный гамильтониан, включающий антисимметричное обменное взаимодействие Дзялошинского-Мория (ДМ) [3]. В этой связи целью настоящей работы было определение влияния этого взаимодействия на характеристики переключения намагниченности в цепочках из двух атомов (димерах) 3d-металлов (железа и кобальта) во внешнем магнитном поле, в частности на поле и время переключения.

**Методы исследования**

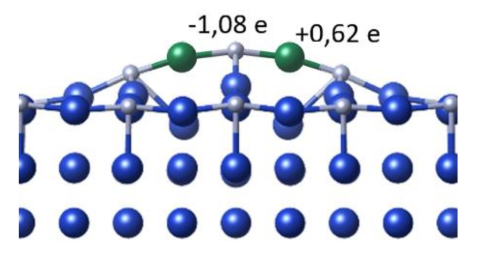
Структуры атомных димеров кобальта и железа на поверхности Cu2N/Cu(001) (см. Рис. 1) и параметры обменного взаимодействия, магнитной анизотропии и взаимодействия Дзялошинского-Мория определялись из расчётов с коллинеарным и неколлинеарным магнетизмом методом функционала плотности, реализованным в программном пакете VASP [4], при этом сравнение c экспериментальными значениями параметров [5,6] даёт удовлетворительное согласие. Производилось несколько серий расчётов при наложении постоянного внешнего поля разной величины, что приводило к изменению структуры и параметров. Моделирование перемагничивания димеров в магнитном поле осуществлялось в рамках уравнения Ландау-Лифшица-Гильберта:

Рисунок 1. Структура димера кобальта на поверхности Cu2N/Cu(001). Зелёным обозначены атомы кобальта, серым – атомы азота, синим – атомы меди. Указаны заряды атомов кобальта и азота.

где – спин *i*-го атома, – эффективное магнитное поле, действующее на *i*-й атом:

где – внешнее магнитное поле, – обменный параметр, и – параметры магнитной анизотропии, – параметр ДМ, – магнитный момент атома, – гиромагнитное отношение, – параметр затухания (в данной работе равен 0,1).

**Выводы**

Расчёты показали, что учёт взаимодействия Дзялошинского-Мория приводит к заметному изменению динамики спинов атомов в магнитном поле, следствием чего является понижение величины переключающего магнитного поля. Рассчитана зависимость поля переключения от отношения обменного параметра к параметру ДМ. Так, например, для димера железа в случае слабого обменного взаимодействия без учёта вклада ДМ поле переключения Тл и время переключения пс, в то время как с его учётом Тл и пс.

**Список использованных источников**

[1] Loth, S., Baumann, S., Lutz, C. P., Eigler, D. M., & Heinrich, A. J. (2012). Bistability in atomic-scale antiferromagnets. *Science*, *335*(6065), 196-199.

[2] Hirjibehedin, C. F., Lin, C. Y., Otte, A. F., Ternes, M., Lutz, C. P., Jones, B. A., & Heinrich, A. J. (2007). Large magnetic anisotropy of a single atomic spin embedded in a surface molecular network. *Science*, *317*(5842), 1199-1203.

[3] Choi, D. J., Lorente, N., Wiebe, J., Von Bergmann, K., Otte, A. F., & Heinrich, A. J. (2019). Colloquium: Atomic spin chains on surfaces. *Reviews of Modern Physics*, *91*(4), 041001.

[4] Kresse, G., & Furthmüller, J. (1996). Efficient iterative schemes for ab initio total-energy calculations using a plane-wave basis set. *Physical review B*, *54*(16), 11169.

[5] Bryant, B., Spinelli, A., Wagenaar, J. J. T., Gerrits, M., & Otte, A. F. (2013). Local control of single atom magnetocrystalline anisotropy. *Physical review letters*, *111*(12), 127203.

[6] Spinelli, A., Gerrits, M., Toskovic, R., Bryant, B., Ternes, M., & Otte, A. F. (2015). Exploring the phase diagram of the two-impurity Kondo problem. *Nature communications*, *6*(1), 10046.

EFFECT OF DZYALOSHINSKY-MORIYA INTERACTION ON MAGNETIC DYNAMICS OF ATOMIC DIMERS ON A Cu2N/Cu(001) SURFACE

I. A. Loktionov, D. I. Bazhanov

Abstract: The work focuses on chains of ferromagnetic metal atoms on the Cu2N/Cu(001) surface: their deformations are analyzed and their magnetization switching (spin-flip) in a magnetic field is simulated using the Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG) equation. The influence of anisotropic exchange interaction (Dzyaloshinsky-Moriya interaction) on the field and magnetization switching time is studied.

Keywords: atomic chains, spin dynamics, Landau-Lifshitz-Gilbert equation, Dzyaloshinsky-Moriya interaction.