

**Возникновение взаимодействия Дзялошинского-Мория в центросимметричных ферромагнитных плёнках**

**Д. В. Братанич**(ННГУ им. Лобачевского, ИФМ РАН), **Д. А. Татарский**(ННГУ им. Лобачевского, ИФМ РАН)

**Научный руководитель - с.н.с. ИФМ РАН**

**Доцент каф. ТФ ННГУ им. Н.И. Лобачевского Татарский Д.А.**

**Введение.** В центросимметричных пленках типа Pt(Pd)/Co/Pt(Pd) известно о наличии поверхностно-индуцированного взаимодействия Дзялошинского-Мория (ВДМ). Предполагается, что наличие ВДМ связано с наличием нанокристаллических неоднородностей в таких структурах. В данном исследовании мы изучили влияние упругих напряжений и смещения атомов ферромагнитного слоя в пленках Pt/Co/Pt, используя модель Леви-Ферта, и определили параметры, при которых константа ВДМ достигает значений, сравнимых с пленками Pt/Co.

На данный момент имеются экспериментальные свидетельства (наблюдение неелевских магнитных текстур), указывающие на существование взаимодействия Дзялошинского-Мория (ВДМ) в формально центросимметричных системах [1-3]. Однако из соображений симметрии [4] следует, что такое взаимодействие должно быть запрещено. Например, в эпитаксиальной структуре Pt/Co/Pt отсутствует ВДМ [5]. В аналогичных пленках удалось обнаружить ВДМ, чей знак коррелирует с разницей шероховатостей верхнего и нижнего интерфейсов [6]. Однако первопринципные расчеты показали, что перемешивание интерфейса Co-Pt слабо влияет на ВДМ [7]. Рентгеноструктурные исследования поликристаллических пленок Pt/Co/Pt показали одинаковую шероховатость всех интерфейсов.

В данной работе мы провели расчет константы ВДМ в сверхтонкой пленке Pt/Co/Pt, где слои платины имеют различные кристаллические параметры, а атомы кобальта могут быть расположены асимметрично. Такая структура с точки зрения сплошной среды содержит элемент симметрии  $m_z$ , который может быть исключен при наличии упругих напряжений в слоях платины.

**Основная часть.** В работе используется гейзенберговский гамильтониан для описания магнитного взаимодействия ионов кобальта. Величина ВДМ определяется вектором  $\vec{D}_{ij}$ , который можно рассчитать в рамках модели Леви-Ферта для взаимодействия двух ионов через атом тяжелого металла [8,9]. Эта модель позволяет довольно точно рассчитать величину ВДМ в случае, когда из «дефектных» атомов платины составлена сплошная пленка [10].

Расчеты производились для системы Pt/Co/Pt. Пленка кобальта толщиной 0.5 нм размещена между двумя слоями платины, которые представляют собой ГЦК решетку с ориентацией атомных плоскостей (111) перпендикулярно нормали к границам Co-Pt. Микроскопическая асимметрия системы достигается двумя способами: либо смещением ионов кобальта к верхнему или нижнему интерфейсу с платиной, либо введением упругих деформаций слоев платины.

Для расчетов использовался параметр решетки платины  $d = 0.3835$  нм. Затем верхний (нижний) слой подвергался упругому растяжению (сжатию). Полученная величина ВДМ сравнивалась с величиной ВДМ от одной границы Co-Pt. Также проводился расчет величины ВДМ при смещении атомов кобальта к верхнему слою.

**Выводы.** Расчеты показывают, что в случае кристаллической асимметрии слоев платины или смещения ионов кобальта возникает ненулевое ВДМ. При упругом напряжении слоев платины в 10% величина ВДМ составляет 30% от аналогичной величины в системе с одним слоем

платины. Полное же смещение (прижатие) ионов кобальта к одному из интерфейсов дает оценку на 10% от максимально возможного ВДМ в системе.

#### Список использованных источников

1. M.V. Dorokhin et al., *J.Alloys Comp.* **926**, 166956 (2022).
2. S.D. Pollard et al., *Nat. Comms.* **8**, 14761 (2017).
3. Д.А. Татарский и др., *ФТТ* **65**, 1194 (2023).
4. A.N. Bogdanov, D.A. Yablonskii. *ЖЭТФ*, **68**, 101 (1989).
5. A. Hrabec et al., *Nanotech.* **30**, 234003 (2019).
6. A.W.J. Wells et al., *Phys.Rev.B* **95**, 054428 (2017).
7. B. Zimmerman et al., *Appl.Phys.Lett.* **113**, 232403 (2018).
8. A. Fert & P. M. Levy, *Phys. Rev. Lett.* **44**, 1538 (1980).
9. P. M. Levy & A. Fert, *Phys. Rev. B* **23**, 4667 (1981).
10. S. Tacchi et al., *Phys. Rev. Lett.* **118**, 147201, (2017).