

ДИНАМИКА ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ МАГНИТНЫХ СОСТОЯНИЙ ОДНОМЕРНОЙ АТОМНОЙ ЦЕПОЧКИ НА ПОВЕРХНОСТИ ТЯЖЕЛОГО МЕТАЛЛА

Леднев С. Ф.¹

Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук, профессор Уздин В. М.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках проекта института математики ИТМО № 432981 «Топология, особые точки и оптимальные траектории на многомерных энергетических поверхностях».

Введение

Полученные экспериментально одномерные атомные магнитные цепочки на поверхности тяжёлых металлов [1] стали полезной моделью для развития теории и проверки новых концепций низкоразмерного магнетизма. В частности, магнитные свойства цепочек Fe и Co на поверхности Pt активно исследуются теоретически с точки зрения устойчивости магнитных состояний относительно тепловых флуктуаций [2,3]. При этом теоретически полученные данные о динамике перемагничивания конечных цепочек пока не полностью согласуются с экспериментальными результатами. Магнитные цепочки обладают во многом уникальными физическими свойствами: конкуренция между различными видами магнитных взаимодействий приводит к нелинейной динамике возбуждений и, как следствие, к сложным режимам перемагничивания. Помимо фундаментального научного интереса одномерные атомные цепочки рассматриваются как перспективные элементы спинтронных устройств. Они могут быть использованы в электронике, квантовых вычислениях, технологиях магнитной памяти нового поколения.

Механизмы перемагничивания и времена жизни магнитных состояний

На основе теории переходного состояния для магнитных степеней свободы [4,5] были получены частоты перемагничивания магнитных цепочек при произвольной температуре. Для этого были найдены энергетические барьеры, разделяющие состояния с разной намагниченностью, и рассчитан предэкспоненциальный множитель в законе Аррениуса для частот перехода. Показано, что для коротких цепочек (менее 20 атомов) преобладает когерентное вращение магнитных моментов, тогда как для более длинных реализуется режим с образованием доменных стенок на краях. Получено хорошее количественное согласие с данными [2,3] для аналогичных систем. Однако эти результаты не вполне согласуются с экспериментом. Они показывают, что времена жизни магнитных состояний для экспериментально исследуемых образцов должны быть существенно меньше наблюдаемых. Отсутствие согласия с экспериментом во всех теоретических работах указывает на необходимость усложнения модели и построения теории, учитывающей дополнительные физические механизмы. Такое усложнение относится в первую очередь к динамике доменных стенок, образующихся у длинных цепочек в процессе перемагничивания. Помимо обычных доменных стенок, предлагается учитывать спиновые волны, а также солитоны, представляющие собой локализованные нелинейные возбуждения. Эти возбуждения образуют полный набор решений нелинейного уравнения Ландау–Лифшица. Их можно рассматривать как газ квазичастиц, способный замедлить движение доменных стенок за счет диссипации энергии при столкновении с нелинейными возбуждениями. Это, в свою очередь, приводит к увеличению характерных времён жизни магнитных состояний при температурах, соответствующих эксперименту.

Выводы

В работе выполнены численные расчёты энергетических барьеров, частот и режимов перемагничивания одномерной атомной цепочки; полученные результаты показали хорошее количественное согласие с имеющимися данными в литературе. Предложено теоретическое описание, основанное на учёте полного набора решений уравнения Ландау–Лифшица, рассматриваемых в виде газа взаимодействующих квазичастиц. Полученные результаты и разработанное описание могут быть использованы при анализе квазиодномерных магнитных систем и при планировании дальнейших экспериментальных исследований.

Литература

1. Gambardella P., Dallmeyer A., Maiti K., Malagoli M. C., Eberhardt W., Kern K., Carbone C. Ferromagnetism in one-dimensional monatomic metal chains // *Nature*. 2002. Vol. 416. P. 301–304. <https://doi.org/10.1038/416301a>.
2. Kolesnikov S. V., Sapronova E. S., Saletsky A. M. Remagnetization of Finite-Length Ferromagnetic Cobalt Atomic Chains // *Physics of Metals and Metallography*. 2024. Vol. 125. P. 683-692. <https://doi.org/10.1134/S0031918X2460057X>.
3. Kolesnikov S. V., Sapronova E. S., Kolesnikova I. N. Ground and excited states of the finite-size Fe chains on Pt(664) surface // *European Physical Journal B*. 2023. Vol. 96, no. 196. P. 96-163. <https://doi.org/10.1140/epjb/s10051-023-00634-8>.
4. Bessarab P. F., Uzdin V. M., Jonsson H. Harmonic transition-state theory of thermal spin transitions // *Physical Review B*. 2012. Vol. 85. P. 184409. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.85.184409>.
5. Лобанов И. С., Поткина М. Н., Уздин В.М. Устойчивость и времена жизни магнитных состояний нано- и микроструктур (Миниобзор) // *Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики*. 2021. Т. 113, № 12. С. 833 – 847. <https://doi.org/10.31857/S1234567821120090>.