

Пространственно-неоднородные структуры в магнетиках

Борисов А.Б.



Предложена новая процедура интегрирования нелинейных уравнений, использующая методы классической дифференциальной геометрии. На этой основе теоретически предсказаны новые типы пространственно-неоднородных структур (магнитные «мишени», вихревые спирали и т.д.) в магнетиках.

При сильных внешних воздействиях физические свойства реальных конденсированных сред определяются не только солитонами, но и пространственно-неоднородными структурами. Спиральные структуры составляют важнейший и наиболее богатый класс пространственных структур в активных средах. Сложные стационарные структуры в пассивных средах являются одновременно дефектами равновесного состояния. В последнее десятилетие экспериментально установлено, что в тонких магнитных пленках формируются новые структуры - ведущие центры типа мишеней, спиральные домены. Из-за статической устойчивости такие структуры в магнитных средах являются дефектами равновесного состояния в магнетиках.

В наших работах показано, что вихревые спирали формируются основным, обменным приближением. Вихревые малоамплитудные магнитные спиральные структуры на двумерной решетке изучены с использованием аналитических методов и численного моделирования. Проведено численное моделирование спиральных спиновых конфигураций, предсказанных континуальной теорией. Выяснилось, что закрепленный в центре спин является причиной появления малоамплитудных спиральных структур как для ХУ, так и для гейзенберговской моделей. Причиной пиннинга спина может служить либо локальное магнитное поле, либо локальная анизотропия. Предсказанные двумерные вихревые спиральные домены, характеризуются целыми числами: числом заходов спирали N , топологическим зарядом Q и параметром закрученности k ($0 < k < 1$) (рис.1, 2). Структура таких спиралей качественно совпадает с наблюдаемыми структурами в магнетиках. Для выявления новых

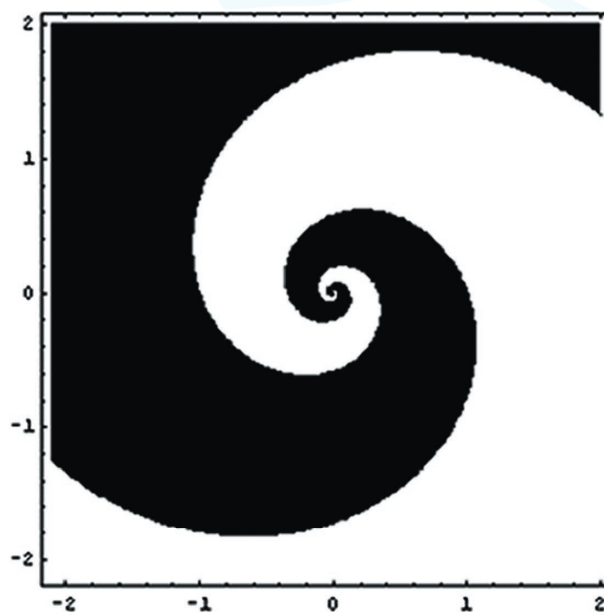


Рис.1

Вихревой однозаходный спиральный вихрь $N=1, Q=1N$.
Темная область - проекция намагниченности $M_z > 0$, светлая область - $M_z < 0$.

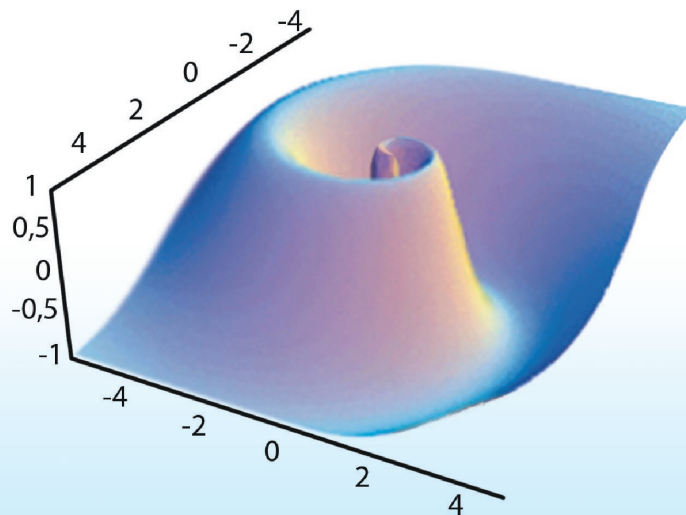


Рис.2

График $M_z/M_0, k = 1/3$

трехмерных магнитных структур в ферромагнетиках и многоподрешеточных магнетиках был использован метод феноменологических лагранжианов и предложена новая процедура интегрирования нелинейных уравнений с помощью методов классической дифференциальной геометрии.

Схема основана на вложении нелинейного уравнения в частных производных в редукцию определенной криволинейной системы координат в трехмерном пространстве. В итоге искомая модель редуцирована в новую модель, связанную с тригональной системой для гармонических координат. Такой дифференциально-геометрический подход дает широкий класс пространственных структур, получение которых другими методами крайне затруднено. Были предсказаны новые типы трехмерных магнитных структур типа кноидальных и спиральных "ежей" в ферромагнетике. В многоподрешеточных антиферромагнетиках мы нашли одиннадцать пространственных текстур, включающих двумерные и трехмерные вихревые

и спиральные структуры, солитоны, трехмерные источники, нелокализованные структуры и структуры со степенью отображения, равной единице, сходные по некоторым своим свойствам с топологическими солитонами (рис.3). Полученные результаты могут быть использованы в новых способах записи информации, основанных не на двоичной системе.

В антиферромагнитных наноматериалах вихревые и спиральные структуры могут быть обнаружены методами спин-поляризованной сканирующей туннельной микроскопии (SPSTM), особенно, в перспективе ожидаемого создания SPSTM с атомной разрешающей способностью. В многоподрешеточных антиферромагнетиках, как и в одноподрешеточных, локальная намагниченность пропорциональна вторым производным от полей и сильно возрастает вблизи вихревых нитей и центров сингулярных структур.

Более подробно с представленными результатами и выводами можно ознакомиться в публикациях [1-4]

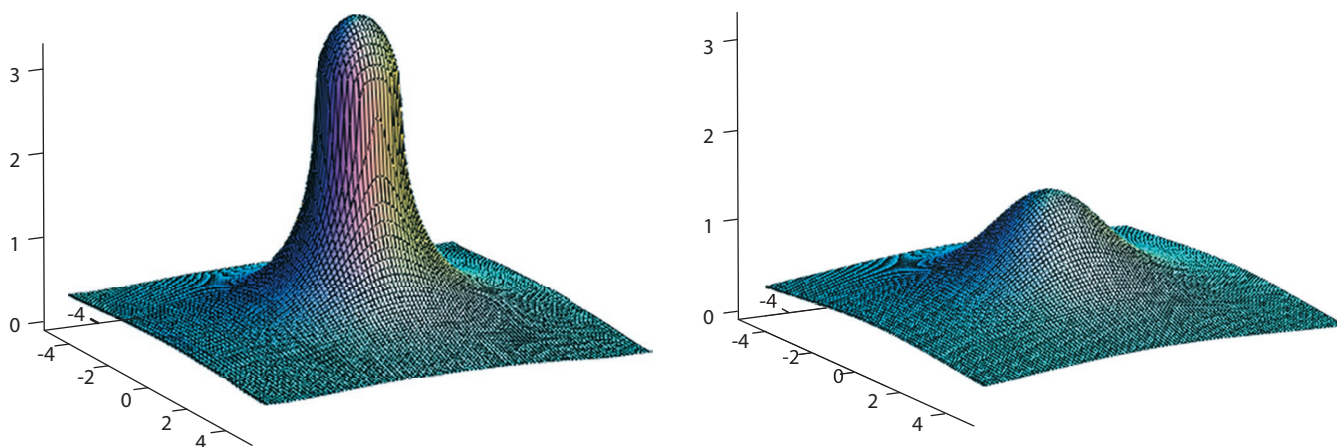


Рис.3

Трехмерный солитон в многоподрешеточном антиферромагнетике при различных значениях координаты z .

¹ Борисов А.Б. Письма в ЖЭТФ 76 (2003) № 2, 95.

² Борисов А.Б., Бострем И.Г., Овчинников А.С. Письма в ЖЭТФ 80 (2004) № 2, 112.

³ Борисов А.Б., ЖЭТФ 128 (2005) вып.3, 508.

⁴ Borisov A.B., Bostrem I.G., Ovchinnikov A.S., Phys.Rev.B72 (2005) 134423