

## **Отзыв**

Официального оппонента на диссертацию Осокина Сергея Александровича  
«Распространение спиновых волн в дискретных ограниченных  
ферромагнитных структурах», представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - «Физика  
конденсированного состояния».

### **Актуальность**

Работа С. А. Осокина посвящена исследованию резонансных и краевых эффектов при распространении спиновых волн в ограниченных ферромагнитных структурах, образованных дискретными включениями в ферромагнитной пленке и ферромагнитными микрочастицами в свободном пространстве. Структуры такого типа могут быть использованы при создании новых устройств обработки, передачи и хранения информации используя спиновые волны в качестве носителя информации. Использование подходов из области магноники, а также учет эффектов, возникающих на границах таких структур представляет безусловный интерес для магноники. Данная работа посвящена теоретическому изучению распространения спиновых волн в ферромагнитных структурах конечного размера, образованных дискретными ферромагнитными элементами. Тема, по которой были сделаны исследования, актуальна и относится к активно развивающимся направлениям физики конденсированного состояния – магноники и спинтроники.

### **Структура и содержание диссертации**

Диссертация состоит из введения, четырёх глав и заключения. Полный объём диссертации составляет 108 страниц, включая 35 рисунков. Списки цитируемой литературы, публикаций автора и рисунков приводятся в конце диссертации. Список литературы содержит 119 наименований.

### **Характеристика содержания диссертационной работы**

Во Введении и в Главе 1 приводится обзор актуальных работ по теме диссертации и описываются основные термины и методы решения задач из области магноники. Глава 2 посвящена исследованию свойств спиновых волн в ограниченных магнитных структурах. В качестве среды для распространения спиновых волн рассматривались ферромагнитные пленки с ограниченным массивом ферромагнитных цилиндрических включений с отличающейся намагниченностью насыщения, взаимодействие между



которыми учитывалось с помощью метода многократного рассеяния. В частности, исследовались частотные характеристики спиновых волн, распространяющихся в линейных цепочках цилиндрических включений в ферромагнитной пленке. Показано, что массив дискретных рассеивающих элементов является волноводом для спиновых волн с собственными частотами для мод, распространяющихся вдоль цепочки с малыми затуханиями на рассеяние. Глава 3 была посвящена решению задачи определения собственных частот спиновых волн в цепочке ферромагнитных столбиков в свободном пространстве. Выводилась математическая модель взаимодействия конечной системы цепочки ферромагнитных столбиков, связанных диполь-дипольным взаимодействием. Для объемных и краевых мод колебаний намагниченности численными методами были выведены аналитические формулы для резонансных частот. Глава 4 посвящена исследованию влияния эффектов формы для отдельных столбиков и краевых эффектов в цепочке столбиков на частотный спектр колебаний намагниченности. Численный эксперимент проводился для случая возбуждения спиновых волн импульсом спин-поляризованного тока, распространяющегося вдоль оси столбиков, и импульсом внешнего переменного магнитного поля.

### **Научная и практическая значимость**

Все полученные в диссертации результаты являются новыми. Среди полученных результатов наиболее важными являются следующие:

- Разработана математическая модель, описывающая распространение прямых объемных магнитостатических спиновых волн в ограниченных массивах ферромагнитных включений в ферромагнитной пленке, на основе которой было показано, что одномерные периодические массивы могут выполнять роль волноводов для спиновых волн.
- С помощью разработанной математической модели, описывающей распространение спиновых волн в ограниченных массивах ферромагнитных столбиков, описаны свойства краевых моды спиновых волн, резонансной частотой отличной от частоты остальных мод спиновых волн и локализованных на границах массива.
- С помощью методов численного моделирования было показано, что для массивов столбиков конечной высоты существует несколько резонансных частот для мод колебаний намагниченности, одна из которых является

резонансной для краевых состояний с амплитудой колебаний, локализованной на краю массива.

Диссертация Осокина С.А. хорошо оформлена, содержит достаточное количество иллюстраций и достаточно подкреплена ссылками на соответствующие публикации. В диссертации четко сформулированы цели исследования и хорошо описаны использованные аналитические и численные методы.

### **Замечания**

1. В Главе 2 при постановке задачи не раскрыта степень влияния обменного взаимодействия на намагниченность включений в пленке. Отсутствие учета данного взаимодействия может привести к результатам, которые могут не соответствовать реальным экспериментальным данным.
2. При моделировании результатов на рис. 2.3, 2.6, 2.7 не приведены значения использованных геометрических и магнитных параметров  $R$ ,  $R_{12}$ ,  $d$ ,  $M_1$ ,  $M_0$ .
3. По всей видимости, в подписи на рис. 3.1(b) опечатка, поскольку утверждается, цилиндрические магнитные столбики расположены периодически вдоль оси  $z$ .
4. В Главе 3 приводится оценка магнитного момента ферромагнитного столбика при выводе связанной системы линейных уравнений, но при этом данное приближение не сравнивается с уже имеющимися аналитическими решениями для магнитного поля нормально намагниченного цилиндра.
5. В Главе 4, в разделе 4.2 изучены свойства спиновых волн в цепочке ферромагнитных столбиков. При этом предполагается, что спиновый волны возбуждаются внешним переменным магнитным полем, приложенном только к одному из столбиков. Поскольку при проведении эксперимента сложно создать СВЧ магнитное поле в локальной области, то имело смысл также рассмотреть случаи, когда воздействие осуществляется сразу на несколько столбиков с различной амплитудой поля.
6. В Главе 4 не рассмотрено влияние краевых эффектов и эффектов формы на модовый состав спиновых волн для кольцевого массива столбиков,



чтобы провести более полное сравнение со структурами, рассмотренными в Главе 2.

Данные замечания не влияют на общую положительную оценку работы, которая выполнена на высоком научном уровне. Научные положения и результаты диссертации хорошо аргументированы и обоснованы. Основные научные результаты были опубликованы в 14 научных работах, среди которых 6 работ, опубликованных в отечественных и зарубежных журналах, рекомендованных ВАК и входящих в Международные базы данных в системы цитирования Scopus и Web of Science. Стоит выделить работы, опубликованные в журналах Physical Review B, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, а также в Письмах в ЖЭТФ.

Результаты диссертации могут быть рекомендованы к использованию в работах как фундаментального, так и прикладного характера. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертация Осокина С.А. удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям согласно требованиям “Положения о присуждении ученых степеней”. (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г.), а её автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент,  
доктор физико-математических наук,  
доцент физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова,  
Тел.: +79267337189  
E-mail: belotelov@physics.msu.ru



Белотелов В.И.

18.11.2020

Адрес места работы:  
119991, ГСП-1, Москва  
Ленинские горы, МГУ имени М.В.Ломоносова  
Дом 1, строение 2, Физический Факультет  
Тел.: +7 495 939-16-82; e-mail: info@physics.msu.ru

Декан физического факультета  
МГУ имени М.В.Ломоносова  
д.ф.-м.н., профессор



Сысоев Н.Н.