

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

д.ф.-м.н., профессора Преображенского Владимира Леонидовича
на диссертационную работу Темной Ольги Станиславовны на тему
«Управление затуханием волн и колебаний намагниченности
спиновым током в связанных ферромагнитных структурах»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности
1.3.8 – «Физика конденсированного состояния»

Диссертационная работа О.С.Темной посвящена теоретическому исследованию спиновой динамики связанных магнитных структур в условиях спиновой накачки электрическим током. Основное внимание в работе уделено дипольно связанным системам, обладающим РТ-симметрией, вносящей специфические особенности в формирование спектров и собственных мод спиновых колебаний и волн. Тот факт, что рассматриваемые системы хорошо адаптированы к современным технологиям, в то время как их характеристики оставались неизученными, делает тему представленного исследования безусловно актуальной.

Работа состоит из четырех глав, заключения, приложения, списка цитируемой литературы из 85 наименований и списка публикаций автора из 6 статей в рецензируемых изданиях. Общий объем диссертации составляет 100 страниц. Автореферат, отражающий основное содержание и результаты диссертационной работы, изложен на 22 страницах.

В первой главе диссертации изложены общие сведения из теории магнитостатических спиновых волн, приведен обзор методов компенсации затухания в магнитных системах, введено представление об особых точках и условиях их возникновения в пространстве параметров колебательных систем. Приведены известные теоретические результаты исследования особых точек в многослойных магнитных системах, связанных обменным взаимодействием РККИ. Сформулирована задача исследования динамики планарных систем, связанных магнитно-дипольным взаимодействием в условиях наличия особой точки. Поставлена задача анализа влияния нелинейных эффектов на особые точки в системах дипольно связанных спин-трансферных-наноосцилляторов.

Во второй главе рассмотрен эффект компенсации затухания поверхностных спиновых волн электрическим током в наноразмерной планарной структуре феррит-немагнитный металл. В рамках уравнения Ландау-Лифшица-Гильберта-Слончевского получены новые теоретические результаты, в частности, определены компоненты тензора высокочастотной восприимчивости и рассчитаны спектры и амплитуды спиновых волн при различных величинах тока, протекающего в слое металла. Показано согласие полученных результатов с имеющимися экспериментальными данными.

В третьей главе исследуются условия возникновения особой точки в спектре системы дипольно связанных волноводов магнитостатических волн. Рассчитываются собственные значения и собственные функции системы, определяются напряжения, которые должны прикладываться к металлическому слою для возникновения особой точки вырождения, устанавливается их зависимость от расстояния между волноводами. Рассчитываются спектры связанных волн при симметричной и асимметричной компенсации потерь в парциальных волноводах, определяются условия потери устойчивости спиновой системы, рассчитываются амплитудно-частотные характеристики парциального волновода и ширина спектральной линии при симметричной и асимметричной компенсации потерь и различных параметрах связи волноводов. Наконец, в той же главе исследованы процессы перекачки энергии между волноводами,

рассчитывается длина полной перекачки энергии из одного волновода в другой при асимметричном внесении потерь, отмечается рост длины перекачки энергии с увеличением управляющего тока. Также, исследована роль рассогласования параметров парциальных систем (собственных коэффициентов затухания и постоянных распространения) в условиях появления особой точки. Отмечается, что рассогласование в затуханиях уменьшает критический ток возникновения особой точки, тогда как рассогласование волновых чисел его увеличивает.

Представленные результаты содержат новую разностороннюю информацию о характеристиках дипольно связанных спинволновых систем и возможностях управления этими характеристиками.

Объектом исследования в четвертой главе диссертации является нелинейная динамика нормальных мод в системе дипольно связанных спин-трансферных осцилляторов с особой точкой в спектре. В качестве обоснованно выбранного вида нелинейности рассмотрена кубическая нелинейность, приводящая к нелинейному сдвигу частоты осцилляторов. Построена теоретическая модель связанных спинтронных осцилляторов Дуффинга с параллельным усилением и компенсацией потерь в парциальных подсистемах. Определены условия возникновения особой точки спектра нормальных колебаний при вариации параметра токовой накачки. Проанализировано влияние направления намагничивающего поля на характеристики системы. Показано, что нелинейность приводит к увеличению коэффициента эффективной связи между структурами.

К представленному тексту диссертационной работы имеется ряд замечаний.

- 1) При исследовании соотношений ортогональности нормальных мод связанных волноводов в формуле (3.12) и Приложении 1 допущена ошибка, приведшая к неверной интерпретации результата.
- 2) Расчет резонансных характеристик связанных волноводов на стр.50-51 и его результаты изложены невнятно. Непонятно какое отношение к этому расчету имеет уравнение (3.8).
- 3) При том, что работа посвящена дипольно связанным системам, в тексте отсутствует явный вид тензора дипольной связи, входящего в уравнение (3.1), и коэффициента связи в (4.1). По этой причине непонятна, в частности, линейность зависимости от расстояния между волноводами величины напряжения, при котором возникает особая точка (рис.3.2а).
- 4) В подписи к рис.4.6а использован не определенный в тексте термин «коэффициент неизохронности», тогда как на рисунке вместо коэффициента приведена резонансная частота, причем принимающая как положительные, так и отрицательные значения.
- 5) В тексте диссертации не унифицированы обозначения физических величин. В частности, переменная Ω в уравнениях (3.13) и (3.14) имеет разный смысл. Параметр вносимых потерь обозначен и как Δ , и как $\Delta\Gamma$ и как Γ .
- 6) Опечатки отмечены в формулах (1.27), (2.2), (3.1), (3.3) и (4.6). В главах 1 и 2 сбой в нумерации формул.
- 7) Неудачно используется термин «вносимые потери» для связанной системы в целом, тогда как потери вносятся в одну из парциальных подсистем, а в другой потери компенсируются. В результате появляются странные словосочетания вроде: «собственные потери компенсируются вносимыми потерями».
- 8) Многочисленные опечатки и стилистические недочеты отмечены по тексту.

Наконец, в выводах к главе 2, в частности, говорится: «Представленные результаты могут быть использованы при создании высокочувствительных сенсоров магнитных полей...». В порядке рекомендации отмечу, что хотелось бы видеть оценки возможной чувствительности таких сенсоров.

Несмотря на ряд замечаний, представленная диссертация может квалифицироваться как актуальный научный труд, содержащий новые, достоверные теоретические результаты, практическая значимость которых заключается в том, что они могут служить основой для разработки спинтронных элементов и устройств на основе связанных систем с особыми точками спектра. Результаты работы с достаточной полнотой отражены в шести публикациях и апробированы на четырех представительных конференциях. Содержание автореферата правильно отражает содержание диссертации.

По своему научному уровню представленная диссертационная работа соответствует требованиям ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор Темная О.С. заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. – «Физика конденсированного состояния».

Официальный оппонент,

доктор физико-математических наук (специальность 01.04.10 – «Физика полупроводников и диэлектриков»), главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук.

«18» 03 2025 г.  Преображенский Владимир Леонидович

Контактная информация:

Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук Адрес: 119991, г. Москва, ул. Вавилова, д. 38.

Телефон: +7 (499) 503-87-77 д.857, +7(903) 211-71-57

e-mail: vlpreobr@yandex.ru

Подпись Преображенского В.Л. заверяю.



 Заместитель директора
ИЦФИ ИОФ РАН
М.Н. Абрашин

19.03.2025