

ОТЗЫВ

официального оппонента Закиняна Артура Робертовича на диссертационную работу Амбарова Александра Васильевича «Математическое моделирование динамических свойств ансамбля взаимодействующих суперпарамагнитных частиц», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

1. Актуальность темы диссертации

В настоящее время стремительно набирают популярность исследования, направленные на создание так называемых «интеллектуальных» материалов, что связано с развитием новых технологических направлений и востребованностью разработок новых функциональных устройств (датчиков, актуаторов и др.). В этой связи привлекают внимание композиционные материалы, содержащие ансамбли суперпарамагнитных наночастиц. Работа Амбарова А.В. посвящена изучению подобных композиционных сред, способных активно взаимодействовать с магнитным полем. Здесь актуальны создание и развитие соответствующих теоретических методов исследования и описания, направленных, в частности, на установление корреляций между структурой и свойствами этих новых материалов. В конечном итоге, регулируя структурные параметры таких систем посредством изменений внешних воздействий (в данном случае внешних магнитных полей), можно изменять макроскопические свойства в конкретных условиях использования рассматриваемого материала.

Явление суперпарамагнетизма наночастиц известно и исследуется с середины 20-го века, и может сложиться ложное ощущение того, что в этой области науки уже практически отсутствуют белые пятна. Однако, дело обстоит совершенно иначе, когда речь идет о текстурированных и структурированных системах частиц, в которых существенными являются межчастичные корреляции. Здесь возникают новые привлекательные особенности поведения и свойства таких систем, указывающие на перспективные возможности применения данных сред.

Диссертация Амбарова Александра Васильевича посвящена исследованию различных аспектов магнитных свойств систем взаимодействующих суперпарамагнитных частиц, выявлению связи межчастичных корреляций с макроскопическим магнитным откликом ансамбля частиц, что представляется весьма актуальной задачей.

2. Общая характеристика проведенного исследования и полученных результатов

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и трех приложений.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы ее задачи, отмечена новизна, научное и практическое значение результатов, а также приведены сведения об апробации работы.

Первая глава носит обзорный характер. В ней описаны основные сведения о магнитных наночастицах и их свойствах. Рассмотрены имеющиеся исследования по проблематике микроструктуры и взаимодействий магнитных частиц. Представлен анализ работ о динамических магнитных и релаксационных свойствах. Обобщены сведения о численные методы моделирования подобных систем.

Во второй главе представлено описание моделирования динамических свойств ансамбля обездвиженных суперпарамагнитных частиц. Построена математическая модель динамического отклика ансамбля обездвиженных взаимодействующих суперпарамагнитных частиц с выровненными осями легкого намагничивания. Модель основана на уравнении Фоккера-Планка-Брауна (ФПБ), в которое введено дополнительное слагаемое, учитывающее диполь-дипольные взаимодействия. Получено аналитическое решение в линейном приближении по амплитуде переменного поля. Проведено численное решение уравнения для произвольной амплитуды переменного магнитного поля. Представлено сравнение аналитических и численных результатов.

В третьей главе исследуется влияние статического поля на динамические свойства ансамбля обездвиженных суперпарамагнитных частиц. Аналитически решено уравнение ФПБ и представлены зависимости динамической намагниченности, динамической восприимчивости от диполь-дипольных взаимодействий, взаимной ориентации переменного и статического магнитных полей. Показано, что увеличение напряженности статического магнитного поля при любой ориентационной конфигурации магнитных полей уменьшает магнитный отклик рассматриваемой системы. Учет и увеличение диполь-дипольных взаимодействий усиливают магнитный отклик для любой взаимной ориентации переменного и статического магнитных полей. Проведено сравнение аналитических расчетов динамической восприимчивости с численными результатами, полученными для малой амплитуды переменного магнитного поля. Наблюдается хорошее согласование численных и аналитических данных. Проведен расчет характерных релаксационных времен.

В четвертой главе описаны разработанные программные комплексы. В частности, описывается расчет динамического отклика системы частиц, находящейся в переменном магнитном поле, параллельном осям легкого намагничивания. Также представлено описание расчета динамического отклика системы частиц, находящейся в переменном магнитном поле, перпендикулярном осям легкого намагничивания.

3. Основные результаты диссертационного исследования и их новизна

Полученные в диссертационной работе результаты обладают несомненной научной новизной. Отметим некоторые из них, имеющие, на наш взгляд, наибольшее значение.

Разработана и исследована новая математическая модель, одновременно учитывающая влияние межчастичных диполь-дипольных взаимодействий и амплитуды переменного магнитного поля на динамический магнитный отклик ансамбля обездвиженных суперпарамагнитных частиц. Впервые теоретически показано, что в случае параллельной конфигурации переменного и статического магнитных полей, учет подмагничивающего статического магнитного поля приводит к немонотонным эффектам зависимости динамической восприимчивости от магнитной анизотропии и амплитуды переменного магнитного поля в системе обездвиженных взаимодействующих магнитных частиц.

4. Теоретическая и практическая значимость работы

Результаты диссертационной работы имеют научную значимость, поскольку направлены на решение сложных задач, связанных с теоретическим описанием комплексных систем взаимодействующих частиц, включая фундаментальные и прикладные аспекты. В работе представлены аналитические выражения и численные данные, прогнозирующие магнитные динамические свойства ансамбля суперпарамагнитных взаимодействующих частиц, в зависимости от режимных параметров. Разработанные модели могут быть применены для проектирования новых магнитоактивных материалов с заданными свойствами.

5. Достоверность и обоснованность научных положений, результатов и выводов

В данной диссертационной работе были использованы хорошо апробированные методы и подходы к аналитическим и численным исследованиям. Результаты диссертации представляются обоснованными и

достоверными. Научные исследования автора были поддержаны грантом Российского фонда фундаментальных исследований. Результаты докладывались на авторитетных научных конференциях и признаны в научном сообществе.

6. Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертации

Диссертационная работа Амбарова А.В. оформлена в соответствии с предъявляемыми к работам такого уровня требованиями. Объем работы составляет 122 страницы текста, в том числе 50 рисунков. Список литературных источников содержит 97 наименований.

Автором опубликовано по теме диссертации 4 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, Аттестационным советом УрФУ и входящих в базы данных Web of Science, Scopus, получено два свидетельства на программы для ЭВМ. Основные результаты диссертации прошли необходимую апробацию. Автореферат в полной мере передает содержание диссертационной работы.

Изложенные в диссертации материалы соответствуют формуле специальности, а также п. 1 «Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений»; п. 3 «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента»; п. 8 «Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента» паспорта научной специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

7. Замечания по содержанию диссертации

По работе имеются следующие замечания:

1. Обращает на себя внимание некоторая небрежность в записи уравнений, запутанность обозначений и отсутствие достаточных пояснений. Так, на странице 24, 4 и 6 строки, пропущены модуль радиуса-вектора и модуль магнитного момента.
2. Формула (2.1.3) выглядит записанной с несовпадением размерностей слагаемых. Действительно, левая часть и первые два слагаемых в правой части представляют энергию, тогда как последнее слагаемое в правой части представляет собой плотность энергии.

3. В формуле (2.3.11) утверждается, что A_1 является линейным дифференциальным оператором по пространственной переменной x , при этом в тексте ранее под величиной x понималось $\cos \vartheta$.
4. В формулах (4.3.2) и (4.3.3), вероятно, имеется виду скалярное произведение единичных векторов, при этом вектора не обозначены как единичные, и пояснения также отсутствуют.
5. Отсутствует единообразие при оформлении списка литературы. Например, пункты 2 и 3 списка литературы ссылаются на статьи в журналах, но оформлены по-разному, подобное имеет место и далее.
6. В тексте содержится ряд опечаток, например, на странице 16 «...то они есть могут деформироваться...» и др.

Несмотря на некоторые замечания и комментарии, считаю, что они не снижают научной ценности результатов и носят в большей степени характер рекомендаций для дальнейшего развития научной работы в данном направлении.

8. Заключение

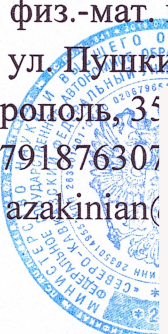
Анализ диссертации Амбарова А.В. позволяет сделать заключение о достаточно высоком научном уровне и практической значимости полученных в ней результатов. Работа обладает четкой структурой, материал подается автором в логической последовательности, продиктованной поставленной целью и раскрывающими ее задачами. Аналитические результаты хорошо согласуются с данными компьютерного моделирования, что указывает на их достоверность. Результаты работы хорошо опубликованы и прошли всестороннюю апробацию на международных конференциях. В целом, считаю, что работа Амбарова А.В. представляет собой самостоятельное завершённое исследование, в котором содержится решение крупной научной задачи, связанной с исследованием магнитных свойств систем взаимодействующих суперпарамагнитных наночастиц.

Вышеизложенное позволяет заключить, что диссертационная работа Амбарова Александра Васильевича «Математическое моделирование динамических свойств ансамбля взаимодействующих суперпарамагнитных частиц» полностью удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении учетных степеней УрФУ» и соответствует специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, а ее автор, Амбаров Александр Васильевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

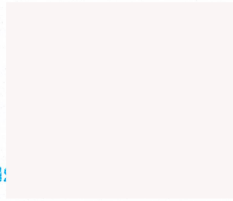
Я, Закинян Артур Робертович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент,
заведующий кафедрой теоретической
и математической физики
ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский
федеральный университет»

доктор физ.-мат. наук, доцент
Адрес: ул. Пушкина, д. 1,
г. Ставрополь, 35
Тел.: +791876307
e-mail: azakinian@



ПОДПИСЬ
УДОСТОВЕРЯЮ



А.Р. Закинян

А. В.

Дата подписания _____ бря 2022 г.