

ОТЗЫВ официального оппонента

на диссертацию Губановой Елизаветы Михайловны «Оптимизация свойств магнитных наночастиц для применения в магнитной гипертермии», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12– «Физика магнитных явлений»

Диссертационная работа Е.М. Губановой посвящена теоретическому исследованию динамики намагниченности ансамблей магнитных наночастиц под действием переменного магнитного поля в зависимости от различных геометрических и магнитных параметров ансамбля, частоты и амплитуды переменного магнитного поля, а также вязкости окружающей среды.

Магнитные наночастицы широко применяются в современных нанотехнологиях, и в частности, в различных биомедицинских приложениях. Одним из актуальных направлений исследований является активно развивающаяся магнитная гипертермия. Данный метод лечения онкологических заболеваний пока ограничен в широком клиническом применении и требует проработки ряда физико-технических и медицинских вопросов. С точки зрения физики, важным является исследование процессов перемагничивания ансамблей магнитных наночастиц с целью выбора оптимальных геометрических и магнитных параметров наночастиц ансамбля для проведения эффективной и безопасной магнитной гипертермии. В связи с вышеизложенным тема работы Е.М. Губановой безусловно является **актуальной.**

Диссертационная работа Губановой Е. М. хорошо структурирована, материал представлен последовательно и логично. Диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения. Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, приведены основные положения, выносимые на защиту, отмечены научная новизна и практическая значимость. Во введении также обоснована достоверность

полученных результатов, содержатся сведения об апробации результатов и личном вкладе автора.

Первая глава представляет собой литературный обзор, который достаточно полно отражает текущее состояние вопроса. Здесь обсуждаются также актуальные проблемы, связанные с использованием магнитных наночастиц в магнитной гипертермии. Во второй главе описаны использованные в работе современные методы численного моделирования, основанные на применении стохастического уравнения Ландау-Лифшица, которое позволяет учесть как наличие тепловых флуктуаций магнитных моментов частиц, так и описать эффекты сильного магнито-дипольного взаимодействия в ансамбле магнитных наночастиц. Кроме того, описана методика расчета низкочастотных петель гистерезиса ансамбля в линейно-поляризованном и вращающемся магнитном поле, приведены формулы для вычисления удельной поглощаемой мощности ансамбля в переменном магнитном поле. В остальных главах диссертации описаны результаты проведенных исследований, которые четко и структурировано изложены. В заключении представлены основные результаты и выводы диссертационного исследования.

Все полученные автором результаты и положения, выносимые на защиту, обладают научной **новизной**. Из новых результатов, полученных в диссертационной работе, особый интерес представляют следующие:

1. Для разреженного ансамбля наночастиц с различным типом магнитной анизотропии (одноосная, кубическая, комбинированная) впервые показано существование оптимального окна диаметров, в котором удельная поглощаемая мощность ансамбля в переменном магнитном поле достигает максимума.
2. Впервые показано, что влияние магнито-дипольного взаимодействия в плотных кластерах магнитных наночастиц приводит к резкому уменьшению максимума удельной поглощаемой мощности разреженного ансамбля кластеров, при сохранении оптимального окна диаметров частиц.

3. На основе решения стохастического уравнения Ландау-Лифшица впервые рассчитана удельная поглощаемая мощность взаимодействующего ансамбля одноосных магнитных наночастиц во вращающемся магнитном поле.
4. Впервые рассчитана удельная поглощаемая мощность ориентированного, взаимодействующего ансамбля наночастиц несферической (вытянутой) формы.
5. Впервые проведен учет вращательных степеней свободы наночастиц с кубической анизотропией в вязкой жидкости в переменном магнитном поле. Обнаружено наличие вязкой и магнитной мод колебаний, возникновение которых зависит от частоты и амплитуды переменного магнитного поля.
6. Впервые найдена оптимальная геометрия цепочек наночастиц-магнетосом, для которой удельная поглощаемая мощность ансамбля цепочек максимальна.

Диссертационное исследование, выполненное Е. М. Губановой, обладает не только безусловной теоретической значимостью, но и практической направленностью, которая определяется возможностью применения полученных зависимостей удельной поглощаемой мощности ансамбля от геометрических и магнитных параметров наночастиц, частоты и амплитуды переменного магнитного поля, вязкости среды, при разработке новых методов синтеза ансамблей магнитных наночастиц с большой намагниченностью насыщения и узким распределением частиц по диаметрам. Полученные автором теоретические результаты могут быть использованы также для правильной интерпретации экспериментальных данных и согласования результатов по характеристике ансамблей магнитных наночастиц, исследованных в различных лабораториях.

Результаты диссертационной работы **достоверны**, так как они получены с использованием фундаментальных, хорошо разработанных аналитических подходов и современных методов численного моделирования. Сформулированные в диссертации научные положения, выводы и рекомендации обоснованы. Результаты и выводы диссертации были

апробированы автором на российских и международных конференциях и опубликованы в авторитетных научных журналах, включая *Nanomaterials*, *VJNano* и *JMMM*. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертационной работы.

Однако, диссертационная работа не свободна от некоторых недостатков. Диссертация опирается на большой литературный материал (195 ссылок в списке цитированной литературы), однако сопоставление результатов моделирования с экспериментальными данными носит преимущественно качественный характер. Количественное сопоставление отсутствует. Диссертационная работа значительно выиграла бы, если бы результаты расчетов были бы сопоставлены с экспериментальными данными и/или с теор. данными других авторов. Это замечание не обесценивает представленные в диссертации результаты, которые имеют предсказательный характер и могут рассматриваться как предложение для экспериментальных исследований.

Имеются также недочеты оформительского характера. Так ссылка №180 из списка цитированной литературы - «...Philos. trans. r. soc. london, ser. a //...» название журнала должно быть с заглавных букв, как это сделано в других ссылках. Недоумение вызывает смешение русско-язычного и латино-образного оформлений рисунков (систематическое обозначение рисунков как (a),(b),(c) и а),б),с) в подписи к рисункам и в тексте, вместо (a),(б),(в)).

Сделанные замечания не носят принципиального характера, не затрагивают основного содержания работы и не изменяют общей положительной оценки диссертации Губановой Е. М. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к диссертационным работам. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.12 – «Физика магнитных явлений» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени

М.В.Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Губанова Елизавета Михайловна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12 – «Физика магнитных явлений».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом физики атомного ядра Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова» (НИИЯФ МГУ)

Чеченин Николай Гаврилович

 30.01.2022

Контактные данные:

тел.: +7-495-939-23-48, e-mail: chechenin@sinp.msu.ru

Специальности, по которым официальным оппонентом защищена диссертация:

01.04.16 – «Физика ядра и элементарных частиц», 01.04.04 – «Физическая электроника»

Адрес места работы:

119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В.Скобельцына (НИИЯФ МГУ), отдел физики атомного ядра

Тел.: 8-495-939-2348; e-mail: chechenin@sinp.msu.ru

Подпись сотрудника Н.Г. Чеченина удостоверяю:

Зам. директора НИИЯФ МГУ

5



Д.О. Еременко

30.01.2023