

## ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертационную работу 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»

Магнитные наночастицы используются во многих областях нанотехнологий, а также в различных биомедицинских приложениях. Одним из таких приложений является магнитная гипертермия, новый перспективный метод лечения онкологических заболеваний. Однако, клиническая реализация данного метода лечения пока еще затруднена рядом нерешенных вопросов, как с физической, так и с медицинской точек зрения. Данная работа направлена на разработку важного вопроса об определении магнитных и геометрических параметров ансамблей магнитных наночастиц, предпочтительных для использования в магнитной гипертермии.

В связи с вышеизложенным, перед диссертанткой были поставлены следующие задачи: исследовать зависимость удельной поглощаемой мощности ансамбля магнитных наночастиц в переменном магнитном поле от типа магнитной анизотропии, размера и формы наночастиц, с учетом влияния тепловых флуктуаций магнитных моментов, а также сильного магнито-дипольного взаимодействия частиц в плотном ансамбле. Кроме того, провести исследование динамики разреженных ансамблей наночастиц с кубическим типом магнитной анизотропии в вязкой жидкости и сравнить удельную поглощаемую мощность таких ансамблей в жидкости, и в биологической среде.

В диссертации Е. М. Губановой использован современный вариант микромагнитного моделирования свойств ансамблей магнитных наночастиц, основанный на использовании стохастического уравнения Ландау-Лифшица. Этот подход позволяет одновременно и адекватно учесть различные типы магнитной анизотропии частиц в ансамбле, температурные эффекты и

эффекты магнито-дипольного взаимодействия частиц. На основе решения стохастического уравнения Ландау-Лифшица, с усреднением результатов расчетов по достаточно представительному набору независимых реализаций случайного ансамбля, можно детально проследить динамику намагниченности ансамбля при заданных частоте и амплитуде переменного магнитного поля, и объяснить изменение формы и площади низкочастотной петли гистерезиса ансамбля, которая определяет его удельную поглощаемую мощность.

С практической точки зрения, в рамках развитой теории получены рекомендации для экспериментаторов по выбору оптимальных магнитных и геометрических параметров частиц, которые позволяют существенно увеличить удельную поглощаемую мощность ансамбля при заданных внешних условиях (частота, амплитуда переменного поля, вязкость жидкости, пр.)

Губанова Елизавета Михайловна окончила аспирантуру Обнинского института атомной энергетики (филиал НИЯУ МИФИ) в августе 2022 года. Во время аспирантуры и после её окончания Губанова Е. М. работала в отделении биотехнологий НИЯУ МИФИ преподавателем и инженером, а также выполняла работу по аспирантскому гранту РФФИ. За время работы в аспирантуре под моим руководством Е. М. Губанова внимательно и аккуратно выполняла поставленные перед ней задачи. Она участвовала в обсуждении постановок новых задач, проводила трудоемкие численные расчеты, обрабатывала полученные данные, помогала в подготовке научных статей к публикации, готовила доклады на конференции. Цели и задачи, поставленные в работе, поэтапно реализовывались, все полученные результаты были представлены на российских и международных конференциях. Наряду с исследовательской работой, Губанова Е. М. активно участвует в учебной деятельности с целью приобретения навыков педагогического мастерства. Елизавета Михайловна обладает всеми основными качествами, которые должны быть присущи преподавателю

высшей школы: профессиональное образование, коммуникабельность, доброжелательность, умение найти общий язык со студентами. С сентября 2020 года Е. М. Губанова ведет семинары по курсу «Теоретические основы физических методов исследования материалов для биомедицины» для студентов-бакалавров 4 курса. Также она являлась консультантом для 2 бакалавров и 2 магистров, которые успешно защитили свои выпускные работы.

В период выполнения диссертационной работы Е. М. Губановой был проведен большой объем вычислительных экспериментов по изучению динамики намагниченности ансамблей магнитных наночастиц в переменном магнитном поле, проанализирован большой объем литературы и на основании полученной информации подтверждена достоверность полученных ею теоретических результатов. Следует отметить серьезность, добросовестность и инициативу Е. М. Губановой, которые она проявляет в проводимых научных исследованиях.

В настоящее время Е. М. Губанова является квалифицированным специалистом, имеющим достаточно хорошую теоретическую подготовку и необходимые навыки численного моделирования физических явлений в области микромагнетизма. По результатам диссертационной работы Е. М. Губановой опубликовано 7 научных статей, индексируемых в международных базах данных WoS и Scopus. Кроме того, полученные по теме диссертации результаты Е. М. Губанова докладывала на 9-ти международных и российских научных конференциях. Тезисы докладов опубликованы.

Считаю, что диссертационная работа Е. М. Губановой «Оптимизация свойств магнитных наночастиц для применения в магнитной гипертермии» удовлетворяет требованиям к кандидатским диссертациям, изложенным в разделе 2 «Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете» от 18.09.2019, а ее автор достойна

присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12 – «Физика магнитных явлений».

Научный руководитель,  
доктор физико-математических наук,  
ведущий научный сотрудник  
лаборатории геомагнитных вариаций

Н. А. Усов

Место работы: Институт земного магнетизма и ионосферы им. Н. В. Пушкова РАН

Адрес: 108840, Россия, г. Москва, г. Троицк, Калужское шоссе, д. 4, ИЗМИРАН

Тел.: 8(910) 861-50-64

E-mail: usov@izmiran.ru

Подпись Н.А.Усова удостоверяю

Ученый секретарь ИЗМИРАН

А. И. Рез