

## ОТЗЫВ официального оппонента

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

Диссертационная работа Губановой Е.М. посвящена теоретическому исследованию магнитных свойств системы взаимодействующих посредством диполь-дипольного взаимодействия суперпарамагнитных частиц с целью оптимизации таких систем для использования в саморегулируемой магнитной гипертермии. Тема работы актуальна. С одной стороны работа имеет характер фундаментального исследования, так как магнитное поведение ансамбля взаимодействующих наночастиц понято крайне недостаточно. С другой стороны для эффективного и безопасного использования метода магнитной гипертермии в медицинской практике требуется детальное знание влияния всех многочисленных факторов о магнитотепловых свойствах внедряемых наночастиц в больные органы. Несмотря на огромное число экспериментальных работ, посвященных данной тематике, подавляющее большинство из них носит эмпирический характер без детального количественного и даже качественного объяснения. что и требует разработки последовательной теории. Из вышесказанного следует, что появление работ Губановой Е.М., на которых основана ее диссертация, было весьма важным и своевременным.

Диссертация состоит из введения и пяти глав. Первая глава носит обзорный характер. В ней подробно изложено современное состояние проблемы магнитной гипертермии. Во второй главе описаны используемые автором стандартные выражения для составляющих полную энергию системы, стохастическое уравнение Ландау-Лифшица, и алгоритмы расчета. Остальные 3 главы содержат изложение полученных автором оригинальных

численных результатов моделирования гистерезиса и удельной поглощаемой мощности (УМП) при характерных для магнитной гипертермии частотах и полях для различных ансамблей магнитных наночастиц. А именно: ансамбля невзаимодействующих и взаимодействующих сферических наночастиц, асферических и вытянутых частиц, частиц с кубической магнитной анизотропией, цепочек частиц, имитирующих цепочки наночастиц в магнитотактических бактериях.

**Новизну работы** определяет исследование влияния многочисленных факторов на УМП таких как размер частиц, форма частиц, их концентрация, образование фракталов и цепочек частиц, величина и тип магнитной анизотропии, наличие или отсутствие оболочки.

**Научная и практическая значимость** работы определяется ее многочисленными оригинальными результатами, среди которых можно выделить следующие.

1. Найдены диапазоны размеров частиц, при которых УМП достигает наибольших значений.
2. Показано, что диполь-дипольное взаимодействие между частицами приводит к значительному уменьшению УМП и для уменьшения этого взаимодействия автор предлагает покрывать их немагнитной оболочкой.
3. Впервые дан анализ УМП для частиц, обладающих не одноосной, а кубической магнитной анизотропией.
4. Впервые дан расчет петель гистерезиса и УМП при использовании вращающего магнитного поля. Показано, что этим достигается примерно 30-40% выигрыш в УМП.
5. Для наночастиц железа с кубической анизотропией в вязкой жидкости найдены два типа магнитного поведения, связанных с броуновским и неелевским механизмом и показано, что теория линейного отклика работает только в слабых полях.



Полученные автором диссертации научные результаты **достоверны**, поскольку для их получения использовались стандартные теоретические методы и подходы, многократно зарекомендовавшие себя в различных областях науки. Кроме того, некоторые частные результаты, полученные автором для предельных случаев, согласуются с опубликованными в предыдущих работах по теме исследования.

Диссертационная работа не свободна от **недостатков**:

1. В оригинальной части работы очень мало дано сравнения с экспериментом или объяснения конкретных экспериментов. Приведу следующий пример: автор в большинстве случаев получает чрезвычайно высокие значения УМП, порядка 300 Вт/г. Тогда как в недавних опытах Пятакова А.П., Тишина А.М. и др для систем наночастиц оксидов железа получено значение 0.11 Вт/г. Следовало бы выяснить с чем связано такое различие. Другой пример- магнитные микропровода, для которых получены еще большие значения УМП до 950 Вт/г, правда в поле 700 Гс (Sc.Rep. DOI: 10.1038/srep39300).
2. Автор не всегда объясняет полученные данные и закономерности. Например, рецензенту осталось неясным, почему УМП цепочек частиц растет до числа частиц в цепочке 4-5, а затем не изменяется.
3. При расчете ансамбля взаимодействующих частиц неудачно выбрана концентрация частиц в непосредственной близости порога перколяции, когда частицы образуют непрерывные цепочки и кластеры, что не учитывается в расчете
4. Формула 6 на стр. 22 не описывает предельный переход к сферической частице
5. Представляется, что выбор параметра затухания 0.5 неправилен, а от него достаточно сильно должна зависеть УМП. Желательно было бы показать, как УМП зависит от выбора этого параметра.

6. Автор утверждает, что согласно литературным данным использование магнитного поля небезопасно при величине  $6 \times 10^7$  Э/с . Это значение без указания когда именно его можно использовать может привести читателя, особенно медика, в недоумение, так как получается, что использование поля в десятки килоэрстед допустимо в течение часа, что заведомо недопустимо.

Указанные замечания в основном связаны с оформлением работы, не умаляют значимости диссертационного исследования и не влияют на основные выводы диссертации.

Результаты работы могут быть рекомендованы во многих организациях, ведущих работы в области наномagnetизма, применений магнитных частиц в медицине, при интерпретации экстремальных данных и оптимизации магнитной гипертермии , и в первую очередь в ИРЭ РАН, ИФМ УРО РАН, ИФТ им. Иоффе, МФТИ, МИРЭА, Московском, Санкт-Петербургском, Новосибирском и Уральском университетах и др. , а также могут быть использованы для учебного процесса, особенно в курсах по физике магнитных явлений.

Автореферат точно и полностью отражает содержание диссертации. Статьи по теме диссертации опубликованы в высокорейтинговых журналах.

Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.03.12 (01.04.11) – «физика магнитных явления» (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.

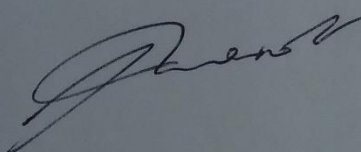


Таким образом, Губанова Елизавета Михайловна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.12 (01.04.11) – «физика магнитных явлений».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,  
профессор физического факультета  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Московский государственный университет имени  
М.В. Ломоносова»

ГРАНОВСКИЙ Александр Борисович

 подпись

Контактные данные:

тел.: +7 (495) 939-4787, e-mail: granov@magn.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом  
защищена диссертация:

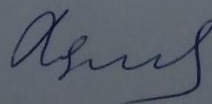
01.04.11 – физика магнитных явлений

Адрес места работы:

119991, г. Москва, Ленинские горы, д.1, стр.2, МГУ им. М.В.Ломоносова,  
Физический факультет

Тел.: +7 495 939-1847; e-mail: info@physics.msu.ru

Подпись проф. Грановского А.Б. удостоверяю  
Ученый Секретарь ученого совета физического факультета МГУ им.М.В.  
Ломоносова, профессор

 Караваяев В.А.

