

**ОТЗЫВ официального оппонента
Родионовой Валерии Викторовны
на диссертацию на соискание ученой степени
физико-математических наук Лю Наньнань
на тему: «Изучение механизмов тепловыделения в магнитных наночастицах,
перспективных для лечения рака с помощью магнитной гипертермии:
магнитотепловые свойства наночастиц феррита ZnMn»
по специальности 1.3.12 Физика магнитных явлений**

Диссертация Лю Наньнань посвящена актуальной проблеме изучения механизмов тепловыделения в магнитных наночастицах, которые могут быть использованы для лечения рака методом магнитной гипертермии. **Актуальность** данной темы обусловлена необходимостью разработки новых методов лечения рака, которые будут более эффективными и безопасными для пациентов.

Автор диссертации ставит перед собой цель изучить механизмы тепловыделения в магнитных наночастицах и определить оптимальные условия для их использования в магнитной гипертермии. Для достижения этой цели автор проводит экспериментальные исследования, которые позволяют ему получить новые научные результаты.

Научная новизна диссертации заключалась в нахождении нетривиальных сверхквадратичных зависимостей удельного тепловыделения магнитных наночастиц от температуры и зависимости оптимального для тепловыделения содержания цинка в Zn-Mn феррите от частоты используемого излучения. Автор также предлагает новые подходы к оптимизации условий магнитной гипертермии, которые могут быть использованы в клинической практике.

Практическая значимость диссертации состоит в том, что результаты исследования могут быть использованы для разработки новых методов лечения рака с помощью магнитной гипертермии.

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

В первой обзорной главе автор анализирует современное состояние исследований в области магнитной гипертермии и определяет основные проблемы, которые необходимо решить для её развития. Во второй главе автор описывает методы синтеза, характеристики и исследования физических свойств магнитных наночастиц. В третьей и четвертой главе автор приводит результаты экспериментальных исследований, которые можно сформулировать следующим образом:

1. Значения величины SAR в Zn-замещенных магнитных наночастиц существенно выше, чем у чисто марганцевых наночастиц и обычных магнитных наночастиц магнетита.

2. Выполненные магнитотепловые измерения $Zn_xMn_{1-x}Fe_2O_4$ показали, что максимальные значения величины SAR имеют явную тенденцию к смещению в сторону более высоких концентраций Zn с увеличением частоты поля. Характер зависимости SAR(H) изменяется в зависимости от содержания Zn (и, следовательно, от среднего размера наночастиц). Для более мелких частиц ($x = 0,25$, $x = 0,3$) зависимость SAR тяготеет к традиционному квадратичному закону, а для более крупных ($x = 0,1-0,2$) показывает сверхквадратичную зависимость в диапазоне амплитуды магнитного поля тока 60–100 Э.

3. Сверхквадратичную зависимость тепловыделения более крупных наночастиц от магнитного поля (SAR, пропорциональную H^5) можно объяснить нелинейным магнитным откликом наночастицы из-за увеличения вклада гистерезисных потерь (петля гистерезиса и коэрцитивная сила более выражены для частиц феррита ZnMn с $x = 0 - 0,2$), в то время как неелевская релаксация доминирует для более мелких наночастиц ($x > 0,2$), обнаруживающих типичное суперпарамагнитное поведение. Характер зависимости SAR(H) резко изменяется в зависимости от амплитуды магнитного поля, что связано с изменением скорости увеличения площади петли гистерезиса при нарастании поля.

4. Показано влияние отжига на тепловыделение магнитных наночастиц. Отжиг наночастиц $Zn_{0,2}Mn_{0,8}Fe_2O_4$ привел к появлению $SAR \sim H^4$, что связано с активацией гистерезисного механизма только для отожженных частиц размером более 24 нм. Значительно больший диапазон размеров отожженных наночастиц с релаксацией Нееля рассматривается как признак изменения значения константы анизотропии.

Результаты работы опубликованы в 7 статьях в рецензируемых журналах, прошли апробацию на различных международных и российских конференциях.

В целом, диссертация Лю Наньнань представляет собой законченное научное исследование, которое вносит вклад в развитие методов лечения рака. Выбор темы имеет большое практическое значение. Текст работы написан строгим и ясным языком, показывает профессиональные знания автора. Автор использует терминологию, которая соответствует теме исследования. Диссертация также содержит необходимые ссылки на источники информации.

При общей высокой оценке диссертационной работы к ней есть следующие замечания:

1. В первой главе бросается в глаза недостаток иллюстративного материала, например, стоило бы рисунками пояснить различные механизмы нагрева.
2. В главе 2 в формуле (1) не пояснено, что такое ΔM , неясно, как связана константа анизотропии K из формулы (1) с K_{eff} из формулы (2). В формуле (10) противоречие самой формулы и ее описания: в описании сказано про массу на единицу объема образца, в формуле только масса. Масса на единицу объема называется не концентрацией, а плотностью.
3. В главе 3 неясно, какая погрешность указана на рисунке 3.2. Если речь идет о ширине распределения, погрешность должна быть гораздо больше, а если о приборной погрешности отдельного измерения, то это необходимо пояснить. В подписи к рисунку 3.5 указано, что есть значения SAR, на самом рисунке их нет.
4. Глава 4, рис.4.4. Экспериментальные точки не следует соединять линией, если не задана модель, по которой эта линия проводится. В данном случае имеет место набор экспериментальных данных, ломаные линии физического смысла не имеют.

Однако эти недостатки не влияют на общую положительную оценку работы. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.12 Физика магнитных явлений (по физико-математическим наукам), критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. Диссертация оформлена согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. Таким образом, соискатель Лю Наньнань заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений.

Официальный оппонент:

Кандидат физико-математических наук,
Директор научно-образовательного центра «Умные материалы и биомедицинские приложения»
Образовательно-научного кластера «Институт высоких технологий» Балтийского федерального университета имени И. Канта

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Балтийский федеральный университет имени И. Канта»

Родионова Валерия Викторовна



07.06.2024

Контактные данные:

тел.: 7(4012)595595, e-mail: vvrodionova@kantiana.ru
Специальность, по которой официальным оппонентом
защита диссертация:
01.04.11 - Физика магнитных явлений

Адрес места работы:

236001 г. Калининград, ул. Гайдара 6,
«Балтийский федеральный университет имени И. Канта», Образовательно-научный кластер
«Институт высоких технологий», Научно-образовательный центр «Умные материалы и
биомедицинские приложения»

Тел.: +7 (4012) 59-55-95 #9019; e-mail: VVRodionova@kantiana.ru

Подпись сотрудника

БФУ имени И. Канта В.В. Родионовой удостоверяю:

Проректор по научной работе



М.В. Демин