

Заключение диссертационного совета МГУ.013.5
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

Решение диссертационного совета от « 20 » июня 2024г. № 27

О присуждении Лю Наньнань, гражданке Китайской Народной Республики, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «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» принята к защите диссертационным советом 02.05.2024, протокол № 24.

Соискатель, Лю Наньнань, 1994 года рождения, в 2019 году окончила педагогический университет Внутренней Монголии с присвоением квалификации «Магистр» по направлению «Физика и химия материалов». В настоящее время она продолжает осваивать программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия», не работает.

Диссертация выполнена на кафедре общей физики и физики конденсированного состояния физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Научные руководители:

– доктор физико-математических наук профессор, профессор кафедры общей физики и физики конденсированного состояния физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова Тишин Александр Метталинович;

– доктор физико-математических наук профессор РАН, профессор кафедры физики колебаний физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова Пятаков Александр Павлович – утверждены решением Ученого совета физического факультета.

Официальные оппоненты:

– Пирогов Юрий Андреевич – доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры медицинской физики физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова;

– Моргунов Роман Борисович – доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник, руководитель группы Магнитных и спиновых логических процессов и устройств Федерального исследовательского центра проблем химической физики и медицинской химии РАН;

– Родионова Валерия Викторовна – кандидат физико-математических наук, доцент, директор Научно-образовательного центра «Умные материалы и биомедицинские приложения» образовательно-научного кластера «Институт высоких технологий» Балтийского Федерального Университета имени И. Канта,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 7 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 7 работ (9.12 п.л.), из них 4 статьи (3.45 п.л.), опубликованных, в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.3.12 Физика магнитных явлений (физико-математические науки).

В качестве основных публикаций можно выделить следующие работы:

- 1). **Liu N.N.**, Alekhina Y.A., Pyatakov A.P., Perov N.S., Kovalev B.B., Sukhorukov G.B., Tishin A.M., Moriwaki T., Nakazawa K., Ichiyanagi Y. Investigation of Impact of the Annealing on Magnetothermal Properties of $Zn_{0.2}Mn_{0.8}Fe_2O_4$ Nanoparticles // IEEE Magnetics Letters. 2023. Vol.14. P. 1–5. (Impact Factor 1.2 – (JIF) Объем – 0.53 п.л. Авторский вклад – 0.5. doi: 10.1109/LMAG.2022.3233222
- 2). **Liu N.N.**, Pyatakov A.P., Saletsky A.M., Zharkov M.N., Pyataev N.A., Sukhorukov G.B., Gun'ko Y.K., Tishin A.M. The “field or frequency” dilemma in magnetic hyperthermia: The case of Zn Mn ferrite nanoparticles // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2022. Vol.555. P.169379. (Impact Factor 2.7 – (JIF). Объем – 1.06 п.л. Авторский вклад – 0.5. doi: 10.1016/j.jmmm.2022.169379
- 3). **Liu N.N.**, Pyatakov A.P., Zharkov M.N., Pyataev N.A., Sukhorukov G.B., Alekhina Y.A., Perov N.S., Gun'ko Y.K., Tishin A.M. Optimization of Zn–Mn ferrite nanoparticles for low frequency hyperthermia: Exploiting the potential of

superquadratic field dependence of magnetothermal response // Applied Physics Letters. 2022. Vol.120. P.102403. (Impact Factor 3.9 – (JIF) Объем – 0.64 п.л. Авторский вклад – 0.5. doi: 10.1063/5.0082857

4). **Лю Н.Н.**, Пятаков А.П., Жарков М.Н., Пятаев Н.А., Черепанова Ж.В., Итиянаги Ю., Наказова К., Мориваки Т., Сухоруков Г.Б., Тишин А.М. Зависимость магнитотепловых свойств наночастиц $Zn_xMn_{1-x}Fe_2O_4$ от магнитного поля в области физиологического предела Брезовича // Физика металлов и металловедение. 2022. Т.123. С.1022–1028. doi: 10.31857/S0015323022600824

Liu N.N., Pyatakov A.P., Zharkov M.N., Pyataev N.A., Cherepanova J.V., Ichiyanagi Y., Nakazawa K., Moriwaki T., Sukhorukov G.B., Tishin A.M. The Dependence of the Magnetothermal Properties of $Zn_xMn_{1-x}Fe_2O_4$ Nanoparticles on the Magnetic Field Near Physiological Brezovich Limit // Physics of Metals and Metallography. 2022. Vol.123. P. 954–962. (Impact Factor 1.3 - (JIF) Объем – 1.22 п.л. Авторский вклад – 0.5. doi: 10.1134/S0031918X22600919).

Постановка задач диссертационного исследования и построение плана проведения экспериментальных работ были выполнены автором совместно с научными руководителями. Все экспериментальные исследования, а также обработка и анализ результатов измерений рентгеноструктурного анализа, магнитотепловые измерения и просвечивающая электронная микроскопия проводились диссертантом. Синтез магнитных наночастиц и исследования с использованием вибрационного магнетометра проводились диссертантом совместно с соавторами публикаций. Подготовка и написание текстов статей, осуществлялось автором диссертации.

На диссертацию и автореферат поступило 3 дополнительных отзыва, все положительные.

Выбор официальных оппонентов обосновывался соответствием их научных интересов профилю рассматриваемой диссертации, профессионализмом, высокими достижениями и компетентностью в соответствующей отрасли науки, а также наличием публикаций, соответствующих тематике диссертации. Указанные оппоненты не имеют совместных проектов и публикаций по теме диссертации с соискателем.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований были решены важные научные задачи, связанные с определением особенностей механизмов нагрева при магнитной гипертермии. На основе биосовместимых и нетоксичных наночастиц феррита $ZnMn$ проанализирована зависимость удельной скорости поглощения от размера частиц, а также амплитуды и частоты магнитного поля исследованных образцов в водном растворе, в глицерине и в коллоидном состоянии. Полученные результаты могут иметь существенное практическое значение для клинического применения магнитной гипертермии.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

- 1). Для крупных магнитных наночастиц феррита $Zn_xMn_{1-x}Fe_2O_4$ ($x = 0.15$ и 0.2) выявлена сверхквадратичная зависимость SAR от амплитуды магнитного поля в диапазоне действующих значений 60–100 Э, в то время как для более мелких частиц ($x = 0.25$, $x = 0.3$) зависимость удельной скорости поглощения тяготеет к традиционному квадратичному закону.
- 2). Частотные зависимости удельной скорости поглощения отражают также зависимость этого параметра от размера частиц: максимум удельной скорости поглощения магнитных наночастиц с высоким содержанием цинка ($x = 0.25$ и 0.3) смещается в область высоких частот. Подбор оптимальных характеристик магнитных наночастиц, а также определение амплитуды и частоты воздействующего электромагнитного поля являются взаимосвязанными задачами, неотделимыми друг от друга, и составляют трилемму магнитной гипертермии.
- 3). На механизм тепловыделения магнитных наночастиц и величину удельной скорости поглощения значительное влияние оказывает отжиг. Предельный размер суперпарамагнитных частиц смещается в сторону больших диаметров:

с 13 нм для неотожженных частиц до 25 нм для отожженных магнитных наночастиц.

4). Стабилизация коллоидных магнитных наночастиц ZnMn феррита с помощью олеиновой кислоты приводит к зависимости удельной скорости поглощения от амплитуды и частоты электромагнитного поля, характерной для суперпарамагнитных частиц с неелевской релаксацией, в то время как для водных суспензий непокрытых частиц доминирует гистерезисный механизм нагрева.

На заседании 20 июня 2024 г. диссертационный совет принял решение присудить Лю Наньнань ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12 Физика магнитных явлений.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 6 докторов наук, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 18, против нет, недействительных бюллетеней нет.

Заместитель председателя
диссертационного совета МГУ.013.5
доктор физико-математических наук,
профессор

Кашкаров Павел Константинович

Ученый секретарь
диссертационного совета МГУ.013.5
кандидат физико-математических наук

Шапаева Татьяна Борисовна

20.06.2024