

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

Решение диссертационного совета от «22» мая 2025 г. № 38

О присуждении Гарееву Камиллю Газинуровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Магнитные нанокompозиты на основе многофазных систем с оксидами железа» по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений принята к защите диссертационным советом МГУ.013.5, протокол № 37 от 20.02.2025.

Соискатель Гареев Камиль Газинурович 1988 года рождения, в 2011 году с отличием окончил Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), специальность «микроэлектроника и твердотельная электроника». Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Магнитные композиты на основе наноразмерных частиц $\text{MeO}_n\text{-Fe}_2\text{O}_3$, интегрированных в диэлектрическую матрицу диоксида кремния» по специальности 05.27.06. Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники защитил в 2014 году в диссертационном совете, созданном на базе Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина). В 2022 году получил ученое звание доцента по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений.

В настоящее время соискатель работает доцентом кафедры микро- и нанoeлектроники факультета электроники Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина).

Диссертация подготовлена на кафедре микро- и нанoeлектроники факультета электроники Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина).

Научный консультант – доктор физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории физики профилированных кристаллов Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук Харитонский Петр Владимирович.

Официальные оппоненты:

Костишин Владимир Григорьевич, д.ф.-м.н., член-корреспондент Академии инженерных наук РФ, профессор, заведующий кафедрой технологии материалов электроники Института новых материалов Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»;

Пятаков Александр Павлович, д.ф.-м.н., профессор РАН, профессор кафедры физики колебаний физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова;

Юрасов Алексей Николаевич, д.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры нанoeлектроники Института перспективных технологий и индустриального программирования МИРЭА – Российского технологического университета

дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов обосновывался их компетентностью в области физики магнитных явлений, включая магнитные свойства оксидов железа и материалов на их основе, подтвержденной наличием публикаций в высокорейтинговых журналах и рядом выполненных научно-исследовательских работ по данной тематике. Официальные оппоненты не имеют совместных проектов и публикаций с соискателем.

Соискатель имеет свыше 113 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 44 работы, из них 37 статей, опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений (физико-математические науки).

Список наиболее важных авторских публикаций по теме диссертации:

1. **Gareev K.G.** Diversity of Iron Oxides: Mechanisms of Formation, Physical Properties and Applications // *Magnetochemistry*. – 2023. – Vol. 9, issue 5. – P. 119. – DOI: 10.3390/magnetochemistry9050119. IF = 2,6 (JIF). Объем: 3,0 п.л. Вклад автора: 1,0.
2. **Gareev K.**, Tagaeva R., Bobkov D., Yudintceva N., Goncharova D., Combs S.E., Ten A., Samochernych K., Shevtsov M. Passing of Nanocarriers across the Histohematic Barriers: Current Approaches for Tumor Theranostics // *Nanomaterials*. – 2023. – Vol. 13, issue 7. – P. 1140. – DOI: 10.3390/nano13071140. IF = 4,4 (JIF). Объем: 2,0 п.л. Вклад автора: 0,25.
3. **Gareev K.G.**, Grouzdev D.S., Koziaeva V.V., Sitkov N.O., Gao H., Zimina T.M., Shevtsov M. Biomimetic Nanomaterials: Diversity, Technology, and Biomedical Applications // *Nanomaterials*. – 2022. – Vol. 12, issue 14. – P. 2485. – DOI: 10.3390/nano12142485. IF = 4,4 (JIF). Объем: 2,0 п.л. Вклад автора: 0,8.
4. **Gareev K.G.**, Grouzdev D.S., Kharitonskii P.V., Kosterov A., Koziaeva V. V., Sergienko E.S., Shevtsov M.A. Magnetotactic Bacteria and Magnetosomes: Basic Properties and Applications // *Magnetochemistry*. – 2021. – Vol. 7, issue 6. – P. 86. – DOI: 10.3390/magnetochemistry7060086. IF = 2,6 (JIF). Объем: 1,3 п.л. Вклад автора: 0,8.
5. Zimina T.M., Sitkov N.O., **Gareev K.G.**, Fedorov V., Grouzdev D., Koziaeva V., Gao H., Combs S.E., Shevtsov M. Biosensors and Drug Delivery in Oncotheranostics Using Inorganic Synthetic and Biogenic Magnetic Nanoparticles // *Biosensors*. – 2022. – Vol. 12, issue 10. – P. 789. – DOI: 10.3390/bios12100789. IF = 4,9 (JIF). Объем: 2,5 п.л. Вклад автора: 0,2.
6. Bogachev Yu.V., Chernenco Ju.S., **Gareev K.G.**, Kononova I.E., Matyushkin L.B., Moshnikov V.A., Nalimova S.S. The Study of Aggregation Processes in Colloidal Solutions of Magnetite–Silica Nanoparticles by NMR Relaxometry, AFM, and UV–Vis-Spectroscopy // *Applied Magnetic Resonance*. – 2014. – Vol. 45, issue 4. – P. 329–337. – DOI: 10.1007/s00723-014-0525-7. IF = 1,1 (JIF). Объем: 0,5 п.л. Вклад автора: 0,8.

7. Kharitonskii P.V., **Gareev K.G.**, Ionin S.A., Ryzhov V.A., Bogachev Yu.V., Klimenkov B.D., Kononova I.E., Moshnikov V.A. Microstructure and Magnetic State of $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ Colloidal Particles // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2015. – Vol. 20, issue 3. – P. 221–228. – DOI: 10.4283/JMAG.2015.20.3.221. IF = 0,6 (JIF). Объем: 0,5 п.л. Вклад автора: 0,5.
8. Грачева И.Е., **Гареев К.Г.**, Мошников В.А., Альмяшев В.И. Исследование наноконпозиционных материалов с иерархической структурой на основе системы Y-Fe-Si-O // Наносистемы: физика, химия, математика. – 2012. – Том 3, вып. 5. С. 111–124. IF = 0,9 (РИНЦ). Объем: 0,8 п.л. Вклад автора: 0,5.
9. Kharitonskii P.V., **Gareev K.G.**, Frolov A.M., Lebedev S.V., Velikorussov P.V. The Investigation of Superparamagnetic Colloidal Particles $\text{Fe}_m\text{O}_n\text{-SiO}_2$ // Solid State Phenomena. – 2016. – Vol. 247. – P. 138–141. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.247.138. IF = 0,4 (SJR). Объем: 0,25 п.л. Вклад автора: 0,5.
10. Kharitonskii P., Kamzin A., **Gareev K.**, Valiullin A., Vezo O., Sergienko E., Korolev D., Kosterov A., Lebedev S., Gurylev A., Reinyuk A. Magnetic Granulometry and Mössbauer Spectroscopy of $\text{Fe}_m\text{O}_n\text{-SiO}_2$ Colloidal Nanoparticles // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2018. – Vol. 461. – P. 30–36. – DOI: 10.1016/j.jmmm.2018.04.044. IF = 2,5 (JIF). Объем: 0,4 п.л. Вклад автора: 0,5.
11. Testov D.O., **Gareev K.G.**, Khmelnitskiy I.K., Kosterov A., Surovitskii L., Luchinin V.V. Influence of the Preparation Technique on the Magnetic Characteristics of $\epsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -Based Composites // Magnetochemistry. – 2023. – Vol. 9, issue 1. – P. 10. – DOI: 10.3390/magnetochemistry9010010. IF = 2,6 (JIF). Объем: 0,8 п.л. Вклад автора: 0,3.
12. Богачев Ю.В., **Гареев К.Г.**, Матюшкин Л.Б., Мошников В.А., Наумова А.Н. Исследование суспензии наночастиц магнетита методами фотометрии и ЯМР-релаксометрии // Физика твердого тела. – 2013. – Том 55, вып. 12. С. 2313–2317. IF = 0,8 (РИНЦ). Объем: 0,3 п.л. Вклад автора: 0,5.

13. **Гареев К. Г.**, Непомнящая Э.К. Получение и характеристика биосовместимой магнитной жидкости на водной основе // Известия РАН. Серия физическая. – 2019. – Том 83, № 7. – С. 990–992. IF = 0,7 (РИНЦ). Объем: 0,2 п.л. Вклад автора: 0,5.
14. Velichko E.N., Nepomnyashchaya E.K., **Gareev K.G.**, Martínez J., Maicas M.C. Characterization of Magnetite–Silica Magnetic Fluids by Laser Scattering // Applied Sciences. – 2020. – Vol. 11, issue 1. – P. 183. – DOI: 10.3390/app11010183. IF = 2,5 (JIF). Объем: 0,8 п.л. Вклад автора: 0,3.
15. Везо О.С., **Гареев К.Г.**, Королев Д.В., Курьшев И.А., Лебедев С.В., Мошников В.А., Сергиенко Е.С., Харитонский П.В. Агрегативная устойчивость и магнитные характеристики коллоидных частиц $\text{Fe}_m\text{O}_n\text{--SiO}_2$, полученных золь-гель методом // Физика твердого тела. – 2017. – Т. 59, вып. 5. – С. 980–985. – DOI: 10.21883/FTT.2017.05.44390.372. IF = 0,8 (РИНЦ). Объем: 0,4 п.л. Вклад автора: 0,5.
16. Kharitonskii P., Kirillova S., **Gareev K.**, Kamzin A., Gurylev A., Kosterv A., Sergienko E., Valiullin A., Shevchenko E. Magnetic Granulometry and Mössbauer Spectroscopy of Synthetic $\text{Fe}_m\text{O}_n\text{--TiO}_2$ Composites // IEEE Transactions on Magnetics. – 2020. – Vol. 56, issue 2. – P. 7200209. – DOI: 10.1109/TMAG.2019.2957360. IF = 2,1 (JIF). Объем: 0,5 п.л. Вклад автора: 0,3.
17. Харитонский П.В., Костеров А.А., Гурылёв А.К., **Гареев К.Г.**, Кириллова С.А., Золотов Н.А., Аникиева Ю.А. Магнитные состояния двухфазных синтезированных частиц $\text{Fe}_m\text{O}_n\text{--Fe}_{3-x}\text{Ti}_x\text{O}_4$: экспериментальный и теоретический анализ // Физика твердого тела. – 2020. – Т. 62, вып. 9. – С. 1527–1530. – DOI: 10.21883/FTT.2020.09.49781.27H. IF = 0,8 (РИНЦ). Объем: 0,25 п.л. Вклад автора: 0,3.
18. Харитонский П.В., Аникиева Ю.А., Золотов Н.А., **Гареев К.Г.**, Ралин А.Ю. Микромагнитное моделирование композитов $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{--Fe}_{3-x}\text{Ti}_x\text{O}_4$ // Физика твердого тела. – 2022. – Т. 64, вып. 9. – С. 1323–1327. – DOI: 10.21883/FTT.2022.09.52827.31HH. IF = 0,8 (РИНЦ). Объем: 0,3 п.л. Вклад автора: 0,3.

19. Харитонский П.В., **Гареев К.Г.**, Ралин А.Ю., Сергиенко Е.С. Суперпарамагнетизм композитов $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{--Fe}_{3-x}\text{Ti}_x\text{O}_4$: микромагнитное моделирование // Физика металлов и металловедение. – 2023. – Т. 124, № 1. – С. 49–55. – DOI: 10.31857/S0015323022601568. IF = 1,5 (РИНЦ). Объем: 0,4 п.л. Вклад автора: 0,3.
20. Kharitonskii P., Zolotov N., Kirillova S., **Gareev K.**, Kosterov A., Sergienko E., Yanson S., Ustinov A., Ralin A. Magnetic Granulometry, Mössbauer Spectroscopy, and Theoretical Modeling of Magnetic States of $\text{Fe}_m\text{O}_n\text{--Fe}_{m-x}\text{Ti}_x\text{O}_n$ Composites // Chinese Journal of Physics. – 2022. – Vol. 78. – P. 271–296. – DOI: 10.1016/j.cjph.2022.06.024. IF = 4,4 (JIF). Объем: 1,5 п.л. Вклад автора: 0,3.
21. Kharitonskii P., Bobrov N., **Gareev K.**, Kosterov A., Nikitin A., Ralin A., Sergienko E., Testov O., Ustinov A., Zolotov N. Magnetic Granulometry, Frequency-Dependent Susceptibility and Magnetic States of Particles of Magnetite ore from the Kovdor Deposit // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2022. – Vol. 553. – P. 169279. – DOI: 10.1016/j.jmmm.2022.169279. IF = 2,5 (JIF). Объем: 0,5 п.л. Вклад автора: 0,5.
22. Kharitonskii P., Sergienko E., Ralin A., Setrov E., Sheidaev T., **Gareev K.**, Ustinov A., Zolotov N., Yanson S., Dubeshko D. Superparamagnetism of Artificial Glasses Based on Rocks: Experimental Data and Theoretical Modeling // Magnetochemistry. – 2023. – Vol. 9, issue 10. – P. 220. – DOI: 10.3390/magnetochemistry9100220. IF = 2,6 (JIF). Объем: 1,3 п.л. Вклад автора: 0,2.
23. Сергиенко Е.С., Янсон С.Ю., **Гареев К.Г.**, Харитонский П.В., Ралин А.Ю., Шейдаев Т.С., Сетров Е.А. Магнитные свойства и моделирование параметров гистерезиса раковин фораминифер Срединно-Атлантического хребта // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2024. – Т. 88, № 4. – С. 609–617. – DOI: 10.1134/S1062873823706232. IF = 0,7 (РИНЦ). Объем: 0,5 п.л. Вклад автора: 0,3.

24. Toropova Y., Korolev D., Istomina M., Shulmeyster G., Petukhov A., Mishanin V., Gorshkov A., Podyacheva E., **Gareev K.**, Bagrov A., Demidov O. Controlling the Movement of Magnetic Iron Oxide Nanoparticles Intended for Targeted Delivery of Cytostatics // International Journal of Nanomedicine. – 2021. Vol. 16. – P. 5651–5664. – DOI: 10.2147/IJN.S318200. IF = 6,6 (JIF). Объем: 0,8 п.л. Вклад автора: 0,3.

На диссертацию и автореферат поступило 11 дополнительных отзывов, все положительные.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований получены новые научно обоснованные технологические и научные решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны. В частности, разработана технология синтеза нанокомпозитов на основе модельной системы $\text{Fe}_m\text{O}_n\text{--SiO}_2$, которые за счет варьирования среднего размера зерен оксида железа в диапазоне 10...30 нм и фазового состава ферритмагнитной фракции обладают управляемыми в широких пределах магнитными свойствами: удельным магнитным моментом насыщения от единиц до десятков $\text{A} \cdot \text{m}^2/\text{kg}$ и коэрцитивной силой от $\sim 10^2$ до $\sim 10^6$ А/м. В рамках единого технологического подхода разработаны три способа получения нанокомпозитов на основе модельной системы $\text{Fe}_m\text{O}_n\text{--SiO}_2$ (одностадийный и двухстадийный способы получения низкокоэрцитивных нанокомпозитов, а также способ получения высококоэрцитивных нанокомпозитов с фазой $\varepsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Низкокоэрцитивные нанокомпозиты $\text{Fe}_m\text{O}_n\text{--SiO}_2$, полученные одностадийным способом, в водной среде формируют устойчивый коллоидный раствор, стабильный при воздействии постоянного магнитного поля и при изменении ионной силы дисперсионной среды. Методами осаждения и соосаждения с последующей гидро- или

сольвотермальной обработкой получены природоподобные магнитные нанокompозиты на основе модельной системы $\text{Fe}_m\text{O}_n\text{--TiO}_2$, обеспечивающие воспроизведение основных особенностей структуры и состава естественных титаномagnetитов. Получены магнитные композиты на основе синтетических и литогенных частиц оксидов железа и гибкой матрицы на основе кремнийорганического гидрогеля или твердой матрицы на основе гипса, которые обеспечивают снижение мощности проходящего электромагнитного излучения в диапазоне частот 2...18 ГГц не менее чем в 10 раз при толщине 5 мм. Эксперименты *in vitro* и *in vivo* в согласовании с численными расчетами позволили установить возможность применения наночастиц на основе модельной системы $\text{Fe}_m\text{O}_n\text{--SiO}_2$ для контрастирования в магнитно-резонансной томографии и для магнитоуправляемой доставки лекарств. Практическая значимость результатов работы также подтверждается патентами РФ №2639709 «Способ получения магнитной жидкости» и №2688894 «Электромагнитный экран».

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. Использование разработанных теоретических моделей и экспериментальных данных для статических и динамических магнитных характеристик позволяет обнаружить суперпарамагнитную фракцию в исследуемых структурах при количествах ферромагнетика существенно меньших 1 % по объему, не выявляемых традиционными методами анализа, и определить распределение зерен по магнитным состояниям.

2. Полученные структуры на основе модельной системы «оксиды железа – диоксид кремния» обеспечивают экспериментальное определение пороговых уровней воздействия магнитного поля и электромагнитного излучения в диапазоне частот 0...10²¹ Гц, при достижении которых за счет различных

физических и химических процессов, включая диполь-дипольное магнитное взаимодействие, радиационно- и термически-индуцированные фазовые превращения в ряду «магнетит–маггемит–гематит», осуществляется направленное изменение магнитных свойств композитов.

3. Наличие оболочки диоксида кремния обеспечивает агрегативную устойчивость магнитных наночастиц на основе модельной системы «оксиды железа – диоксид кремния» при их нахождении в кровотоке в случае системного введения в организм животных, что позволяет осуществлять магнитоуправляемую доставку с использованием постоянных магнитов.

На заседании 22.05.2025 диссертационный совет принял решение присудить К.Г. Гарееву ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 17, против нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель диссертационного совета МГУ.013.5

Доктор физико-математических наук,
профессор

Перов Николай Сергеевич

Ученый секретарь диссертационного совета МГУ.013.5

кандидат физико-математических наук

Шапаева Татьяна Борисовна

22.05.2025